

استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه بارش سنجش از دور در اقلیم‌های مختلف ایران

هادی غفوریان^۱

سیدحسین ثنائی‌نژاد^۲

مهدی جباری نوقابی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۴/۰۷

چکیده

ارزیابی و واسنجی داده‌های سنجش از دور به‌عنوان منبع جدید برآورد بهتر و دقیق‌تر بارش در مناطق مختلف امری ضروری است. بر همین اساس در پژوهش حاضر، داده‌های ماهانه بارش ۱۵ ایستگاه سینوپتیک در ۵ اقلیم ایران (خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب و بسیارمرطوب) به‌عنوان مبنا در دوره زمانی ۲۰ ساله ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ انتخاب گردید. داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای (TMPA (3B43_v7) مورد ارزیابی قرار گرفته و با کمک مدل حاصل‌ضربی واسنجی شدند. ارزیابی نتایج با کمک شاخص‌های R^2 ، MAE، MBE و RSME انجام پذیرفت. بر اساس نتایج مقادیر تصحیح‌نشده، شاخص R^2 از ۰/۶ برای ایستگاه آبعلی تا ۰/۸۹ برای ایستگاه کوه‌رنگ متغیر بود. در مناطق خشک داده‌های ماهواره‌ای بیش برآورد و در مناطق مرطوب کم برآورد داشتند. پس از اعمال تبدیل لگاریتمی و مدل حاصل‌ضربی بر داده‌ها، پارامتر ماهانه C جهت تصحیح داده‌های ماهواره‌ای برای اقلیم‌های مختلف به دست آمد. پس از تصحیح، شاخص‌های ارزیابی به‌ویژه در معیار MBE کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت. به طوری که مقادیر این خطا در پیکسل‌های متناظر ایستگاه‌های بم، شهرضا، بجنورد و اراک (با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک) به ترتیب به ۰/۳-، ۰/۶-، ۰/۳- و ۰/۵- میلی‌متر کاهش یافت و در ایستگاه نیشابور به صفر رسید. درصد کاهش انحراف خطا در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب و خیلی مرطوب به ترتیب ۸۸/۷، ۹۵/۳، ۶۸/۴، ۳۸/۴ و ۶۳/۹ درصد به دست آمد. براساس نتایج، مدل تصحیح به‌ویژه در مناطق خشک قابلیت استفاده را دارد.

واژه‌های کلیدی: بارش، تصحیح خطا، داده TMPA، سنجش از دور.

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد h.ghafourian@mail.um.ac.ir

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول) sanaein@gmail.com

۳- استادیار گروه آمار، دانشگاه فردوسی مشهد jabbarinm@um.ac.ir

۱- مقدمه

اهمیت پدیده بارش در ابعاد مختلف زندگی بشری سبب شده است داده‌های بارش از کاربرد بسزایی برخوردار باشد. از این رو، اندازه‌گیری‌های دقیق بارندگی در انواع مدیریت‌ها از جمله کشاورزی، منابع آب و صنعت دارای اهمیت بسزایی است. مشکلات موجود در تعمیم بارش نقطه‌ای به بارش منطقه‌ای، موضوعی است که باعث شده روش‌های جایگزینی در برآورد بارش به وجود آیند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش سنجش از دور ماهواره‌ای اشاره نمود. به طور کلی سنجش از دور هنر و علم به دست آوردن اطلاعات درباره یک جسم، منطقه یا پدیده از طریق تجزیه و تحلیل داده‌هایی است که توسط ابزاری بدون تماس فیزیکی با موضوع به دست آمده‌اند (Alavipanah, 2017). با ظهور فن‌آوری‌های پیشرفته در فرآیند دریافت اطلاعات هواشناسی ماهواره‌ای و رادارهای تخصصی و همچنین نتایج متفاوتی که داده‌های حاصله در مکان‌های مختلف ارائه می‌دهند، در سراسر جهان تحقیقاتی در زمینه روش‌های پردازش داده‌ها و ارزیابی میزان دقت مدل‌های مربوطه در حال انجام است (Sorooshian و همکاران، ۲۰۰۲). با این حال استفاده از منابع سنجش از دوری که بتوانند به صورت 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^۱ اشاره نمود. این ماهواره در نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد. از اطلاعات این ماهواره می‌توان در اندازه‌گیری بارش در سطح خشکی‌ها و مخصوصاً مناطقی که دارای آمار و اطلاعات ثبت شده مناسبی نمی‌باشند، استفاده نمود (NASA, 2001).

مطالعات مختلفی برای ارزیابی خطاهای ناشی از برآوردهای مربوط به محصولات مختلف ماهواره صورت گرفته است که یکی از این پژوهش‌ها را Sorooshian و همکاران (۲۰۰۰) در دوره زمانی آگوست ۱۹۹۸ تا می ۱۹۹۹

با استفاده از سیستم شبکه عصبی مصنوعی PERSIANN^۲، اقدام به تولید داده‌های ماهانه بارش با دقت مکانی $1^\circ \times 1^\circ$ نمودند. ایشان سپس با استفاده از داده‌های تولید شده، پایش بارش مناطق غربی آمریکا، اقیانوس آرام و آسیای شرقی را انجام دادند.

Islam و Uyeda (۲۰۰۷) با داده‌های روزانه و ماهانه ماهواره TRMM در دوره پنج ساله (۲۰۰۲-۱۹۹۸ میلادی) 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 کم‌برآوردی در طی وقوع مانسون و در مناطق مرطوب دارد. در داده‌های به روز شده (نسخه جدید) ماهواره TRMM بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی کاهش یافته است.

Javanmard و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM، برآوردهای بارندگی محصول روزانه TRMM را با داده‌های شبکه‌بندی شده زمینی با قدرت تفکیک بالا یعنی تفکیک مکانی 0.25° که 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 رشته کوه‌های زاگرس نشان می‌دهد به طوری که ضریب همبستگی بارش سالانه میانگین در کل کشور، در طول دریای خزر و رشته کوه‌های زاگرس به ترتیب 0.77 ، 0.57 و 0.75 است.

Chen و همکاران (۲۰۱۳) داده‌های بارش دو نسخه‌ی ۶ و ۷ ماهواره TRMM را بین ژوئن ۲۰۰۸ تا می ۲۰۱۱ در ایالات متحده ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بر اساس میانگین بارش روزانه در این سه سال، در این منطقه داده روزانه (3B42) نسخه ۷ تخمین بهتری نسبت به داده روزانه نسخه ۶ از بارش به دست می‌دهد. بر اساس نتایج، مقدار

2- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Neural Networks

1- Tropical Rainfall Measuring Mission

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
 استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه... / ۹

Tarnavsky و همکاران (۲۰۱۲) داده‌های دو محصول مختلف از ماهواره TRMM یعنی 3B42 و 2B31 را با داده‌های ایستگاه زمینی برای دو منطقه خشک تونس و سنگال مقایسه و تصحیح کردند. نتایج نشان داد که داده‌های سری زمانی مربوط به ماهواره در حالت تصحیح شده نسبت به حالت تصحیح نشده، بسیار نزدیک‌تر به اندازه‌گیری‌های زمینی است. همچنین این روش قابلیت را برای تولید سری‌های زمانی شدت بارش با جزئیات مکانی و زمانی واقعی برای مدل پویا از رواناب و نفوذ که بسیار برای مدیریت منابع آبی در مناطق خشک مهم هستند، معرفی می‌کند.

Vernimmen و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در اندونزی نشان دادند که داده ماهانه ماهواره TRMM پتانسیل پایش خشکسالی در مناطق با داده پراکنده را نیز دارد. محققین این پژوهش سه منبع داده‌ای TRMM، PERSIANN و CMORPH را با هم از نظر 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 هر دوی این‌ها بسیار متفاوت از مقدار داده حاصل از ماهواره TRMM هستند. ثابت شد که داده‌های ماهواره TRMM با تصحیح توسط یک معادله تجربی واحد، از نظر مکانی و زمانی یکنواخت می‌شود. 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 است. Hashemi و همکاران (۲۰۱۷) برای مناطق با ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر اقدام به تصحیح داده‌های بارش ماهانه TMPA برای دوره ۱۷ ساله ۲۰۱۵-۱۹۹۸ با کمک رابطه بین خطای انحراف با ارتفاع، اقدام به تصحیح داده‌های ماهواره‌ای نمودند.

در ایران نیز ارزیابی صحت داده‌های باران ماهواره TRMM در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی ایران در

ضریب همبستگی از ۰/۸۵ در نسخه ۶ به ۰/۹۲ در نسخه ۷ افزایش، مقدار انحراف خطا هم از ۲۲/۹۵- درصد در نسخه ۶ به ۲/۳۷- درصد در نسخه ۷ کاهش یافت. مقدار RMSE از ۰/۸۰ میلی‌متر در نسخه ۶ به ۰/۴۸ میلی‌متر در نسخه ۷ کاهش می‌یابد. آن‌ها در پایان نتیجه گرفتند که تخمین روزانه نسخه ۶ در غالب موارد دچار کم‌برآوردی است.

Ghafourian و همکاران (۲۰۱۴) جهت پایش خشکسالی در استان خراسان رضوی از داده‌های ماهواره TRMM بهره برد. ایشان شاخص خشکسالی SPI را برای دوره‌های ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در این منطقه و دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۸ تعیین نمودند. همخوانی بسیار خوبی برای دوره‌های ۶ و ۱۲ ماهه این شاخص خشکسالی بین نتایج داده‌های ماهواره‌ای و زمینی توسط ایشان به دست آمد. ضمن اینکه خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ به خوبی توسط داده‌های ماهواره‌ای شناسایی شد. ایشان نتیجه گرفتند جهت شناسایی خشکسالی از داده‌های ماهواره‌ای در این استان می‌توان بهره برد.

در برخی مطالعات علاوه بر ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای، تصحیح هم روی داده‌ها انجام شده است. بر اساس نتایج پژوهش حبیب و همکاران به دلیل اینکه داده‌های بارش از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند، جهت تصحیح خطاهای بارش مدل خطی قابل استفاده نبوده و مدل‌های غیرخطی باید مورد استفاده قرار بگیرد (Habib و همکاران، ۲۰۰۱).

Habib و همکاران (۲۰۰۹) و Tian و همکاران (۲۰۱۳) رابطه‌ای را برای تفکیک خطای کل به سه جزء ارائه کردند که در ادامه توسط همین محققین مورد استفاده قرار گرفت. Tian و همکاران (۲۰۱۳) مدل حاصل ضربی را نسبت به مدل حاصل جمعی جهت تعیین و تصحیح خطای بارش مناسب‌تر تشخیص دادند. چرا که مدل حاصل ضربی قابلیت تصحیح خطاهای سیستمی و تصادفی را با دقت مناسب داراست. بر همین اساس Tang و همکاران (۲۰۱۵) مدل حاصل ضربی را برای تصحیح بارش ماهواره‌ای روزانه در آمریکا مورد استفاده قرار دادند.

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 می‌کنند که پس از واسنجی، با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی ماه‌های آگوست و دسامبر بهبود قابل ملاحظه‌ای در تخمین بارش توسط ماهواره TRMM اتفاق افتاد.

زنگنه اینالو و همکاران (۱۳۹۸) ارزیابی بارش ماهواره‌ای TMPA در 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 بارش ماهواره‌ای TMPA پرداختند. نتایج برآورد بارش از مدل‌های TMPA و اصلاح‌شده بارش ساعتی و روزانه نسبت به ماهانه دقت کمتری داشتند. نتایج برآورد بارش از مدل TMPA اصلاح‌شده در مدل ماهانه دارای ضریب تعیین بیش از ۰/۸۶ در ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد.

بررسی پژوهش‌های محققین نشان می‌دهد داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای TMPA دارای همبستگی بالا با داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه بوده و مکمل خوبی برای داده‌های زمینی است.

از طرفی داده‌های بارش ماهواره‌ای TMPA بیش‌برآوردی در مناطق و ماه‌های کم بارش، همچنین کم‌برآوردی در ماه‌ها و مناطق رطوبتی سال دارد. ضمن اینکه این داده‌ها نسبت به داده سایر منابع سنجش از دوری مانند PERSIANN و CIMORPH از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند. اما در هر صورت تصحیح داده‌های بارش ماهواره‌ای قبل از استفاده ضروری است.

با توجه به این‌که تصحیح داده‌های بارش ماهواره‌ای در کشور ایران ضروری است؛ در پژوهش حاضر دقت مدل حاصل‌ضربی اصلاح‌شده جهت واسنجی داده‌های ماهانه بارش ماهواره‌ای برای پنج اقلیم ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل اینکه Erfanian و همکاران (۲۰۱۶) در

مقیاس‌های روزانه و ماهانه انجام شده است. در پژوهشی مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های انتخابی واقع در شش ناحیه اقلیمی در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹ انجام شد.

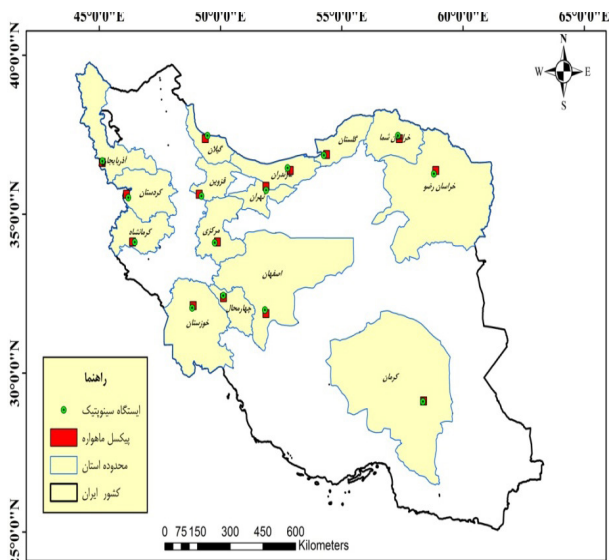
نتایج پژوهش نشان داد داده‌های ماهواره‌ای دارای خطای قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. بر همین اساس مقادیر تخمینی TRMM در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه به تفکیک ناحیه‌های اقلیمی و ایران واسنجی شد. ضرایب تصحیح بر اساس روش رگرسیون خطی ارائه شد. بیشترین مقدار ضریب همبستگی در دو مقیاس روزانه و ماهانه در ناحیه نیمه کوهستانی به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۹۹ و کمترین مقدار آن‌ها ۰/۴۹ و ۰/۷۸ در ناحیه مرطوب ساحلی به دست آمد. داده‌های واسنجی‌شده TRMM در بیشتر ناحیه‌ها و ایستگاه‌ها، مشابه یا نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای به دست آمد (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۶).

بادپی و کاویانپور (۱۳۹۶) در مطالعه خود تخمین‌های بارش IMERG ماهواره GPM و تخمین بارش TMPA-3B42 ماهواره TRMM با رادار امیرآباد واقع در منطقه گلستان و مازندران مورد بررسی قرار دادند. مقادیر بارش ماهواره‌ای توسط روش تابع توزیع تجمعی تصحیح و تأثیر این روش را بر بهبود مقادیر بارش ماهواره‌ای بررسی نمودند. در این مطالعه مشاهده شد که با تأثیر این روش میزان دقت در برداشت اطلاعات بارش به طور میانگین ۲۱ درصد برای GPM و ۵۰ درصد برای TRMM افزایش پیدا می‌کند اما قدرت تشخیص بارش به طور میانگین ۳۱ درصد برای GPM و ۲۶ درصد برای TRMM کمتر می‌شود.

صفوی گردینی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی صحت داده‌های بارشی B43-TRMM در ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۹ ایستگاه سینوپتیک استان هرمزگان در مقیاس ماهانه در دوره (۲۰۱۲-۱۹۹۸) پرداختند. براساس نتایج به دست آمده ایشان، بیشترین دقت ماهواره TRMM در فصل‌های زمستان و بهار و کمترین آن در تابستان اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، ماهواره TRMM توانسته است وقوع بارندگی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۱)
 استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه... / ۱۱

ASCI⁴ گردآوری شده^۵ (NASA, 2018). هدف الگوریتم 3B43، تولید داده‌های اندازه‌گیری بارندگی حاره‌ای و برآورد میزان بارش در مقیاس ماهانه است. این برآوردهای شبکه‌ای از تولیدات سطح سه ماهواره‌ای بوده، 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. داده‌های این الگوریتم شامل داده‌های شش منبع است که عبارتند از: داده‌های سه سنسور اسکن‌کننده فروسرخ-میری^۶، تصویربرداری میکروموجی^۷ و رادار بارش^۸ به همراه داده‌های منابع شاخص بارش جهانی^۹، مرکز اقلیمی بارش جهانی^{۱۰} و سامانه پیش‌بینی و ارزیابی اقلیمی^{۱۱} (NASA, 2001).



نگاره ۱: موقعیت پیکسل‌های مورد مطالعه و ایستگاه‌های متناظر

۲-۳- آزمون‌های پایه آماری

پس از بررسی مقدماتی نمونه، سری داده‌ها باید دارای معیارهای پایه‌ای باشند تا بتوان تابع چگالی را بر آنها

4- American Standard Code for Information Interchange
 5- https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/TRMM_L3/TRMM_3B43.7/contents.html
 6- Visible and Infrared Scanner
 7- TRMM Microwave Imager
 8- Precipitation Radar
 9- Global Precipitation Index
 10- Global Precipitation Climatology Center
 11- Climate Assessment and Monitoring System

پژوهش خود با مدل خطی تصحیحات را انجام داده‌اند و مدل خطی در پژوهش Habib و همکاران (۲۰۰۱) برای تصحیح تأیید نشده است، لذا در پژوهش حاضر مدل غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته و تلفیق دو پژوهش، مدنظر قرار گرفته است (Condom و همکاران، ۲۰۱۱؛ Tang و همکاران، ۲۰۱۵). بر همین اساس اهداف ذیل مدنظر بوده‌اند: (۱) تفکیک خطاهای بارش ماهواره‌ای در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب، نیمه مرطوب و بسیار مرطوب ایران در مقیاس ماهانه.

(۲) ارائه مدل واسنجی غیرخطی مستقل از داده‌های زمینی جهت تصحیح خطای داده‌های ماهانه بارش ماهواره‌ای.
 (۳) بررسی دقت مدل واسنجی به دست آمده با کمک شاخص‌های ارزیابی.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

برای انجام پژوهش حاضر، داده‌های بارش ۱۵ ایستگاه سینوپتیک در پنج اقلیم متفاوت (با کمک روش دو مارتن گسترش یافته^۱) (Rahimi و همکاران، ۲۰۱۳)، به‌عنوان داده‌های مرجع انتخاب شد و داده‌های ماهانه بارش سنجش از دوری (3B43_v7) TMPA تصحیح گردید.

جهت قابل اعتماد بودن نتایج، انتخاب ایستگاه‌ها کاملاً تصادفی از ۱۵ استان مجزا و با شرایط توپوگرافی مختلف صورت گرفت. مشخصات ایستگاه‌های انتخابی و پیکسل‌های متناظر در جدول ۱ و موقعیت آن‌ها در نگاره ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- منابع داده مورد استفاده

در این پژوهش، داده‌های ماهواره‌ای TMPA^۲ با کد 3B43-V7 از پایگاه داده‌های سازمان فضایی آمریکا (NASA) در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۸ و با فرمت

1- Extended De Martonne
 2- TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis
 3- National Aeronautics and Space Administration

جدول ۱: خصوصیات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

اقلیم	استان	ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی پیکسل ماهواره (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی پیکسل ماهواره (درجه شمالی)
خشک	کرمان	بم	۵۸/۳۵	۲۹/۱	۱۰۶۶/۹	۵۸/۳۷۵	۲۹/۱۲۵
	اصفهان	شهرضا	۵۱/۸۳	۳۱/۹۸	۱۸۴۵/۲	۵۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵
	خوزستان	شوشتر	۴۸/۸۳	۳۲/۰۵	۶۷	۴۸/۸۷۵	۳۲/۱۲۵
نیمه‌خشک	خراسان رضوی	نیشابور	۵۸/۸	۳۶/۲۷	۱۲۱۳	۵۸/۸۷۵	۳۶/۳۷۵
	خراسان شمالی	بجنورد	۵۷/۳۲	۳۷/۴۷	۱۰۹۱	۵۷/۳۷۵	۳۷/۳۷۵
مدیترانه‌ای	مرکزی	اراک	۴۹/۷۷	۳۴/۱	۱۷۰۸	۴۹/۸۷۵	۳۴/۱۲۵
	کرمانشاه	اسلام‌آباد غرب	۴۶/۴۷	۳۴/۱۲	۱۳۴۸/۸	۴۶/۳۷۵	۳۴/۱۲۵
	قزوین	آوج	۴۹/۲۲	۳۵/۵۷	۲۰۳۴/۹	۴۹/۱۲۵	۳۵/۱۲۵
	گلستان	گرگان	۵۴/۲۷	۳۶/۸۵	۱۳/۳	۵۴/۳۷۵	۳۶/۸۷۵
مرطوب	تهران	آبعلی	۵۱/۸۸	۳۵/۷۵	۲۴۶۵/۲	۵۱/۸۷۵	۳۵/۸۷۵
	آذربایجان غربی	پیرانشهر	۴۵/۱۳	۳۶/۶۷	۱۴۵۵	۴۵/۱۲۵	۳۶/۱۲۵
	مازندران	قائم‌شهر	۵۲/۷۷	۳۶/۴۵	۱۴/۷	۵۲/۸۷۵	۳۶/۳۷۵
بسیار مرطوب	کردستان	مریوان	۴۶/۲	۳۵/۵۲	۱۲۸۶/۸	۴۶/۱۲۵	۳۵/۱۲۵
	گیلان	بندر انزلی	۴۹/۴۷	۳۷/۴۷	-۲۶/۲	۴۹/۳۷۵	۳۷/۳۷۵
	چهارمحال و بختیاری	کوهرنگ	۵۰/۱۲	۳۲/۴۳	۲۲۸۵	۵۰/۱۲۵	۳۲/۳۷۵

برازش داد. این معیارها عبارتند از: تصادفی بودن، همگنی، ایستایی و نداشتن داده پرت (رضایی پزند، ۱۳۸۰). آزمون‌های پایه بر روی داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌ای صورت پذیرفت (علیزاده، ۱۳۸۶). در ادامه نحوه بررسی معیارهای پایه توضیح داده می‌شود.

در این پژوهش برای تعیین داده‌های پرت، از نمودار جعبه‌ای^۱ استفاده گردید. بر اساس نظر محققین چنانچه داده‌ای از $4\pm$ برابر فاصله میان چارکی (فاصله میان چارک اول و سوم) بیشتر باشد، داده پرت محسوب می‌شود

(جباری نوقایی، ۱۳۹۰). تعیین داده‌های پرت با کمک نرم‌افزار آماری R انجام پذیرفت. پس از شناسایی، این داده‌ها با روش همبستگی بازسازی شدند (علیزاده، ۱۳۸۶). آزمون ناپارامتری ران-تست^۲ نیز برای بررسی تصادفی بودن و

۲-۴- مدل واسنجی

پس از آزمون‌های آماری پایه و تأیید صحت داده‌ها، با توجه به مشخص بودن موقعیت ایستگاه‌های زمینی، پیکسل‌هایی که درون آن‌ها ایستگاه زمینی قرار گرفته‌اند تعیین گردید. در پژوهش حاضر سعی بر آن شد مدل واسنجی به گونه‌ای باشد که بتواند خطاها را بهتر تفکیک نماید (Tian et al., 2013). ضمن اینکه رابطه

1- Box-Plot

2- Run Test

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۳)
 استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه... / ۱۳

$$P'_{S_{i,j}} = (P_{S_{i,j}} + 1)^{C_i} - 1 \quad (6)$$

که $P'_{S_{i,j}}$ بارش تصحیح شده ماهواره و $P_{S_{i,j}}$ بارش ماهواره در ماه i و سال j می‌باشد.

با روش معرفی شده در نهایت مقدار بارش ماهواره‌ای در مناطق فاقد ایستگاه با کمک پارامتر C و داده‌های ماهواره‌ای موجود قابل تصحیح خواهند بود.

روش مورد استفاده در پژوهش حاضر با روش Condom و همکاران (۲۰۱۱) مشابه بوده اما تغییراتی در جهت بهبود تصحیح خطاها انجام شده است. در روش کاندام تمامی داده‌های بارش تبدیل لگاریتمی انجام می‌شود؛ اما در پژوهش حاضر ابتدا خطاها تفکیک سپس تبدیل لگاریتمی انجام شد. بر همین اساس در سال ۲۰۱۵ مدلی ارائه شد که خطاهای سنجش از دور بارش را به صورت ذیل به سه دسته تقسیم‌بندی نموده است (Tang و همکاران، ۲۰۱۵):

$$E = H - M + F \quad (7)$$

E : خطای کل

H : خطای دقت^۱

M : بارش ثبت نشده^۲

F : بارش کاذب^۳

خطای دقت بارش (H)، زمانی که هر دو منبع زمینی و ماهواره‌ای مقدار بارش را ثبت نموده‌اند اما در این حالت در مقدار دقیق بارش بین دو مقدار ثبت شده اختلاف وجود داشته باشد. این خطا می‌تواند مثبت و یا منفی باشد.

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

خطای بارش ثبت نشده (M) خطایی است که بارش رخ داده توسط ماهواره برآورد نشده باشد. مقدار این خطا همواره منفی می‌باشد.

نهایی مستقل از داده‌های زمینی (رابطه ۳) و اصلاح شده روش محققین گذشته (Condom et al., 2011) باشد. Condom و همکاران (۲۰۱۱) رابطه‌ای لگاریتمی را برای تصحیح نامتقارنی داده‌های بارش به صورت زیر ارائه نمودند:

$$RT_i = \log(P_i + 1) \quad (1)$$

که RT_i بارش تبدیل شده لگاریتمی می‌باشد (برای پیکسل ماهواره و ایستگاه زمینی).

محققین مختلفی با انجام پژوهش‌هایی دریافته‌اند که مدل حاصل ضربی و غیرخطی نسبت به مدل‌های حاصل جمعی و خطی جهت تصحیح داده‌های بارش مناسب‌تر هستند (Habib و همکاران، ۲۰۰۹؛ Tian و همکاران، ۲۰۱۳). در ادامه با کمک معادله (۲) پارامتر C معرفی می‌شود (به عنوان مدل حاصل ضربی) (Condom و همکاران، ۲۰۱۱):

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^j \left(\frac{RT_{S_{i,j}}}{RT_{S_{i,j}}} \right)}{N} \quad (2)$$

$RT_{S_{i,j}}$ و $RT_{G_{i,j}}$ مقدار بارش تبدیل شده لگاریتمی در ماه i در هر سال است (به ترتیب برای ماهواره و ایستگاه زمینی). j شماره سال و i ماه‌های سال و N تعداد سال‌های مورد استفاده است. در واقع ۱۲ مقدار پارامتر C برای ماه‌های مختلف سال به دست می‌آید. اگر فاکتور تصحیح C_i را نسبت داده‌های لگاریتمی تصحیح شده و اولیه ماهواره در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$C_i = \frac{RT'_{S_{i,j}}}{RT_{S_{i,j}}} \quad (3)$$

$$\Rightarrow C_i = \frac{\log(P'_{S_{i,j}} + 1)}{\log(P_{S_{i,j}} + 1)} \quad (4)$$

$$\Rightarrow \log(P'_{S_{i,j}} + 1) = C_i \cdot \log(P_{S_{i,j}} + 1) \quad (5)$$

$RT'_{S_{i,j}}$ بارش ماهواره‌ای تصحیح و تبدیل شده لگاریتمی در ماه i و سال j می‌باشد. در نهایت مقدار بارش تصحیح شده ماهواره‌ای از رابطه (۶) به دست خواهد آمد:

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

متناظر» خودداری شده است. بیان نام ایستگاه در بررسی شاخص‌های ارزیابی، به معنی مقادیر این شاخص‌ها برای پیکسل متناظر با آن ایستگاه می‌باشد.

با توجه به مقادیر صفر خطای بارش ثبت نشده (M) در جدول ۲، می‌توان از این خطا چشم‌پوشی کرد و مقادیر بارش صفر سنجش از دوری را حذف کرده و نیازی به تصحیح نخواهند داشت؛ چرا که در زمان و مکان‌هایی که بارش ماهواره‌ای صفر ثبت شده است همین اتفاق در محل ایستگاه زمینی رخ داده است. این عمل دقت نتایج به دست آمده را افزایش می‌دهد. ضمن اینکه مقادیر صفری که در مخرج پارامتر C ارائه شده توسط Condom و همکاران (۲۰۱۱) (رابطه ۲) مشکل ایجاد می‌کند، حذف می‌شود.

همان‌طور که از نتایج جدول ۲ می‌توان مشاهده نمود، داده‌های ماهواره‌ای در مناطق خشک بیش‌برآورد و در اغلب مناطق مرطوب کم‌برآورد دارند که مطابق با پژوهش‌های سایر محققین می‌باشد (Hashemi و همکاران، ۲۰۱۷؛ Vernimmen و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به وجود خطا بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای در مقیاس ماهانه، واسنجی داده‌های ماهواره‌ای در اقلیم‌های مورد مطالعه به طور جداگانه انجام شد.

در جدول ۳ نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی برای ۱۵ پیکسل متناظر با ایستگاه‌های مورد مطالعه قبل و بعد از تصحیح ارائه شده است. همبستگی بسیار خوبی میان داده‌های اولیه (تصحیح نشده) ماهواره‌ای و زمینی مشاهده شد. ضریب تعیین از ۰/۶ برای ایستگاه ابعلی تا ۰/۸۹ برای ایستگاه کوه‌رنگ افزایش یافت. داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های کوه‌رنگ، میوان، پیرانشهر، شوشتر و شهرضا (به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۸۳، ۰/۸ و ۰/۸) بیشترین همبستگی را نشان داد.

پس از تصحیح، ضریب تعیین به طور متوسط ۵٪ در اقلیم‌های مختلف افزایش یافت. داده‌های اولیه TMPA مقدار بارش ماهانه را برای ایستگاه‌های بم، پیرانشهر و ابعلی با کمترین مقدار انحراف خطا برآورد کردند. بیشترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه‌های میوان، بندر انزلی و کوه‌رنگ است. به عبارت دیگر، بیشترین خطا مربوط به ناحیه اقلیمی

همان‌طور که در رابطه (۲) مشاهده می‌شود، بر اساس رابطه معرفی شده توسط Condom و همکاران (۲۰۱۱)، چنانچه مقادیر داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای (RT_{gij}) برابر با صفر باشند، محاسبات با مشکل مواجه می‌شوند. بر همین اساس، ابتدا با استفاده از رابطه (۴)، خطاها تجزیه شدند. چنانچه مقادیر خطای M قابل چشم‌پوشی باشد، می‌توان از مقادیر صفر داده‌های ماهواره‌ای صرفه نظر کرده و تصحیح خطاها را برای سایر داده‌ها انجام داد.

۲-۵- ارزیابی مدل واسنجی

برای ارزیابی داده‌ها و مقایسه آن‌ها از چندین روش مختلف آماری استفاده شده که در ذیل آورده می‌شود:

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_{S_i} - \bar{P}_S)(P_{g_i} - \bar{P}_g))^2}{\sum_{i=1}^n (P_{S_i} - \bar{P}_S)^2 \sum_{i=1}^n (P_{g_i} - \bar{P}_g)^2} \quad (8)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{S_i} - P_{g_i})}{n} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |(P_{S_i} - P_{g_i})|}{n} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{S_i} - P_{g_i})^2}{n}} \quad (11)$$

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

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

\bar{P}_{S_i} = میانگین بارش ماهواره

\bar{P}_{g_i} = میانگین بارش ایستگاه زمینی

n = تعداد کل داده‌های استفاده شده

۳- نتایج و بحث

نتایج مربوط به خطاهای تفکیک شده بارش برای پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۲ ارائه شده است. به منظور جلوگیری از تکرار بیش از حد در نمایش و بررسی نتایج، از ذکر عبارت «پیکسل

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه... / ۱۵

جدول ۲: میانگین خطاهای تفکیک شده بارش ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

اقلیم	ایستگاه	خطای کل (میلی‌متر)	خطای دقت (میلی‌متر)	بارش کاذب (میلی‌متر)	بارش ثبت نشده (میلی‌متر)
خشک	بم	۱/۷	۱/۳	۰/۴	۰
	شهرضا	۹/۲	۸/۸	۰/۴	۰
	شوشتر	۱۸/۲	۱۷/۵	۰/۷	۰
نیمه‌خشک	نیشابور	۶/۹	۶/۷	۰/۲	۰
	بجنورد	۷/۷	۷/۶	۰/۱	۰
	اراک	۴/۹	۳/۷	۱/۲	۰
مدیترانه‌ای	اسلام‌آباد غرب	۵	۴/۹	۰/۱	۰
	آوج	-۵/۱	-۵/۳	۰/۲	۰
	گرگان	-۱۳/۸	-۱۳/۸	۰	۰
مرطوب	آبعلی	۱/۴	۰/۹	۰/۵	۰
	پیرانشهر	-۳/۵	-۳/۷	۰/۲	۰
	قائم‌شهر	-۴/۸	-۴/۸	۰	۰
بسیار مرطوب	مریوان	-۱۷/۸	-۱۸	۰/۲	۰
	بندر انزلی	-۴۶	-۴۶	۰	۰
	کوه‌رنگ	۴۷/۴	۴۷/۶	۰/۲	۰

ارائه شده است. از مهم‌ترین نتایج این جدول، درصد کاهش انحراف خطا است که در ایستگاه‌های شهرضا، نیشابور، اسلام‌آباد غرب، قائم‌شهر و بندر انزلی به ترتیب ۹۳/۵، ۱۰۰، ۸۱/۶، ۶۶/۷ و ۹۶/۷ درصد در اقلیم‌های پنج‌گانه به دست آمده است. بیشترین درصد کاهش شاخص MAE در هر اقلیم به ترتیب برای ایستگاه‌های شهرضا، بجنورد، گرگان، آبعلی و بندر انزلی بوده است. این کاهش غیر از ایستگاه آبعلی بیشتر از ۲۵ درصد می‌باشد. این نتایج موفقیت مدل حاصل ضربی در کاهش خطای داده ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

متوسط تغییرات شاخص‌های ارزیابی قبل و بعد از تصحیح در اقلیم‌های مورد مطالعه نیز در نگاره (۲) به درصد نشان داده شده است. متوسط تغییرات شاخص‌های ارزیابی نتایج مهمی را نشان می‌دهد (نگاره ۲). متوسط تغییرات ضریب تعیین در همه اقلیم‌ها پس از تصحیح تقریباً

بسیار مرطوب است. این در حالی است که بیشترین درصد خطا در مناطق خشک مشاهده شده است.

براساس نتایج جدول ۳، شاخص‌های ارزیابی پس از تصحیح، به‌ویژه در معیار MBE کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. مقادیر این خطا در پیکسل‌های متناظر ایستگاه‌های بم، شهرضا، بجنورد و اراک (با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک) به ترتیب به ۰/۳، ۰/۶، ۰/۳ و ۰/۵- میلی‌متر کاهش یافته و در ایستگاه نیشابور به صفر رسیده است. با وجود مقدار خطای بیشتر در مناطق پر بارش، کاهش درصد خطا در مناطق کم بارش محسوس‌تر بوده است.

به منظور نمایش بهتر تغییرات شاخص‌ها پس از تصحیح، اختلاف شاخص‌ها قبل و بعد از تصحیح در جدول ۴ و همچنین به منظور مقایسه بهتر در اقلیم‌های مختلف، تغییرات به‌صورت درصد نیز در ستون‌های جداگانه در همین جدول

جدول ۳: نتایج شاخص‌های ارزیابی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه (قبل و بعد از تصحیح)

اقلیم	ایستگاه	R^2_2	R^2_1	MBE_2 (mm)	MBE_1 (mm)	MAE_2 (mm)	MAE_1 (mm)	$RMSE_2$ (mm)	$RMSE_1$ (mm)
خشک	بم	۰/۷۶	۰/۷۲	-۰/۳	۱/۷	۲/۲	۲/۷	۴/۵	۵/۵
	شهرضا	۰/۸۲	۰/۸	۰/۶	۹/۲	۴/۹	۱۰/۲	۸/۲	۱۷/۵
	شوشتر	۰/۸۳	۰/۸	-۱/۸	۱۸/۲	۹/۵	۱۹/۷	۱۷/۳	۳۲/۹
نیمه‌خشک	نیشابور	۰/۷۹	۰/۷۶	۰	۶/۹	۷	۹/۲	۱۱/۱	۱۵/۹
	بجنورد	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۳	۷/۷	۶/۱	۱۰/۲	۹/۶	۱۴/۹
	اراک	۰/۸۵	۰/۷۶	-۰/۵	۴/۹	۶/۹	۸/۵	۱۰/۸	۱۵/۲
مدیترانه‌ای	اسلام‌آباد غرب	۰/۸۲	۰/۷۷	-۰/۹	۵	۱۰	۱۲/۴	۱۸/۵	۲۴/۶
	آوج	۰/۷۱	۰/۶۶	-۵/۱	-۵/۱	۱۰/۴	۱۱/۹	۱۷/۵	۱۹/۱
	گرگان	۰/۷۸	۰/۷۴	-۶/۳	-۱۳/۸	۱۲/۳	۱۶/۷	۱۷/۱	۲۲/۹
مرطوب	آبعلی	۰/۶۵	۰/۶	-۱	۱/۴	۱۷/۹	۲۰	۲۶/۱	۲۸/۶
	پیرانشهر	۰/۸۶	۰/۸۳	-۲/۸	-۳/۵	۱۲/۶	۱۳/۳	۲۱/۵	۲۳/۲
	قائم‌شهر	۰/۷۸	۰/۷۴	-۱/۶	-۴/۸	۱۵/۴	۱۵/۹	۲۱/۵	۲۲/۵
بسیار مرطوب	مریوان	۰/۸۸	۰/۸۵	-۹/۸	-۱۷/۸	۱۸/۳	۲۳/۲	۳۳/۶	۴۱/۳
	بندر انزلی	۰/۸۵	۰/۷۸	۱/۵	-۴۶	۳۷/۲	۵۸/۹	۶۳/۶	۹۲
	کوه‌رنگ	۰/۹۱	۰/۸۹	-۲۳/۶	-۴۷/۴	۳۳/۹	۵۱/۱	۵۶/۳	۸۳/۴

۱. قبل از تصحیح ۲. بعد از تصحیح

اقلیم مدیترانه‌ای اختلاف کمی با نتایج اقلیم بسیار مرطوب دارد.

از نتایج اعمال مدل تصحیح ملاحظه می‌شود در تمامی اقلیم‌ها عملکرد این مدل مطلوب بوده است، درحالی‌که مدل رگرسیون خطی مورد استفاده عرفانیان و همکاران (۱۳۹۵) در اقلیم مناطق ساحلی خزر (اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب) سبب کاهش خطا نشده است.

نتایج مربوط به پارامتر تصحیح (C) در جدول ۵ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه و میانگین آن در اقلیم‌های مورد مطالعه نیز در نگاره ۳ ارائه شده است. مقادیر پارامتر C در اقلیم خشک بیانگر اعمال ضریب کاهش برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای برای تمامی ماه‌ها دارد چرا که مقادیر این پارامتر برای تمامی ماه‌ها در اقلیم خشک کمتر از یک به دست آمده است. عدد کمتر از یک به مفهوم کمتر بودن

به یک اندازه بوده است. اما در سه شاخص دیگر نتایج متفاوت است. شاخص انحراف خطا، داده‌های ماهواره‌ای در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، پس از تصحیح به طور متوسط ۸۰ درصد کاهش انحراف خطا را داشته است. در این شاخص غیر از اقلیم مرطوب، سایر اقلیم‌ها بیش از ۶۰ درصد کاهش داشته است. متوسط شاخص قدر مطلق خطا در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و بسیار مرطوب کاهش بیش از ۳۰ درصدی را بعد از تصحیح نشان می‌دهد. شاخص RMSE نیز غیر از اقلیم مرطوب در سایر اقلیم‌ها با کاهش بیش از ۲۰ درصدی مواجه بوده است. بیشترین کاهش درصد در این شاخص همانند دو شاخص قبل مربوط به اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک است. نتایج فوق بیانگر این است که مدل تصحیح در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و بسیار مرطوب عملکرد بهتری را داشته است. هرچند نتایج

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه... / ۱۷

جدول ۴: تفاوت شاخص‌های ارزیابی برای بارش ماهواره‌ای (قبل و بعد از تصحیح)

اقلیم	ایستگاه	ΔR^2	ΔR^2 (%)	ΔMBE^* (mm)	ΔMBE (%)	ΔMAE (mm)	ΔMAE (%)	$\Delta RMSE$ (mm)	$\Delta RMSE$ (%)
خشک	بم	۰/۰۴	۵/۶	- ۱/۴	- ۸۲/۴	- ۰/۵	- ۱۸/۵	- ۱/۱	- ۱۸/۲
	شهرضا	۰/۰۲	۲/۵	- ۸/۵	- ۹۳/۵	- ۵/۲	- ۵۳/۱	- ۹/۳	- ۵۳/۱
	شوشتر	۰/۰۳	۳/۸	- ۱۶/۵	- ۹۰/۱	- ۱۰/۲	- ۴۷/۴	- ۱۵/۶	- ۴۷/۴
نیمه‌خشک	نیشابور	۰/۰۳	۳/۹	- ۶/۹	- ۱۰۰	- ۲/۲	- ۳۰/۲	- ۴/۸	- ۳۰/۲
	بجنورد	۰/۰۳	۴/۱	- ۷/۳	- ۹۶/۱	- ۴/۱	- ۳۵/۶	- ۵/۳	- ۳۵/۶
	اراک	۰/۰۹	۱۱/۹	- ۴/۴	- ۸۹/۸	- ۱/۶	- ۲۸/۹	- ۴/۵	- ۲۸/۹
مدیترانه‌ای	اسلام‌آباد غرب	۰/۰۵	۶/۵	- ۴	- ۸۱/۶	- ۲/۴	- ۱۹/۴	- ۶/۱	- ۲۴/۸
	آوج	۰/۰۴	۶/۱	- ۳/۵	- ۶۹/۳	- ۱/۵	- ۱۲/۴	- ۱/۶	- ۸/۴
	گرگان	۰/۰۴	۵/۴	- ۷/۶	- ۵۴/۳	- ۴/۴	- ۲۶/۳	- ۵/۸	- ۲۵/۳
مرطوب	آبعلی	۰/۰۵	۸/۳	- ۰/۴	- ۲۸/۶	- ۲/۱	- ۱۰/۵	- ۲/۵	- ۸/۷
	پیرانشهر	۰/۰۳	۳/۶	- ۰/۶	- ۲۰	- ۰/۸	- ۵/۳	- ۱/۷	- ۷/۳
	قائم‌شهر	۰/۰۴	۵/۴	- ۳/۲	- ۶۶/۷	- ۰/۵	- ۳/۱	- ۱/۱	- ۴/۴
بسیار مرطوب	مریوان	۰/۰۳	۳/۵	- ۸	- ۴۴/۹	- ۴/۸	- ۲۱/۱	- ۷/۷	- ۱۸/۶
	بندر انزلی	۰/۰۷	۹	- ۴۴/۵	- ۹۶/۷	- ۲۱/۷	- ۳۶/۸	- ۲۸/۵	- ۳۰/۹
	کوهرنگ	۰/۰۲	۲/۲	- ۲۳/۸	- ۵۰/۲	- ۱۷/۱	- ۳۳/۷	- ۲۷/۱	- ۳۲/۵

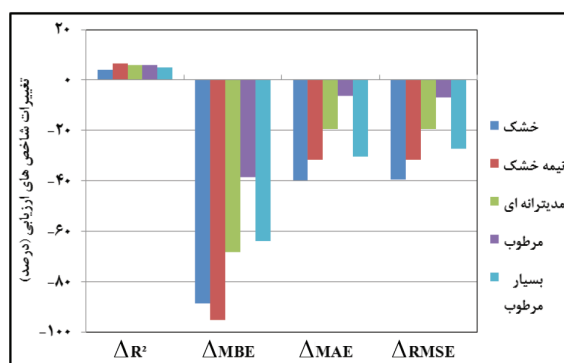
* اختلاف بین قدر مطلق MBE_1 و MBE_2

سپتامبر کمی کم‌برآوردی مشاهده شده است. پارامتر C برای این ماه ۱/۰۱ به دست آمده است. در ایستگاه اراک در همین ماه ضریب کاهشی (۰/۷۲) جهت تصحیح مورد نیاز است. در اقلیم مدیترانه‌ای در ماه‌های گرم سال (ژوئن، ژوئیه و آگوست) نیاز به اعمال ضریب کاهشی می‌باشد. با توجه به کم بارش بودن این ماه‌ها، بیش‌برآوردی برای این مناطق امری منطقی به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است ایستگاه گرگان در تمامی ماه‌ها نیازمند اعمال ضریب افزایشی است که نشان دهنده کم‌برآوردی در این ایستگاه می‌باشد.

در اقلیم مرطوب برای ۶ ماه بهار و تابستان نیاز به اعمال ضریب کاهشی می‌باشد؛ که با توجه به میزان بارش در این مناطق، کاهش مقدار بارش در این فصول نسبت به فصول سرد سال، باعث برآورد بیشتر و وجود خطا در این مناطق می‌شود. در ماه‌های سرد سال (فصول پاییز و زمستان) به دلیل بارش قابل ملاحظه، اعمال ضریب افزایشی به دلیل کم‌برآوردی مورد انتظار خواهد بود.

در اقلیم بسیار مرطوب در ماه‌های گرم سال (ژوئن،

متوسط مقدار داده‌های زمینی نسبت به ماهواره‌ای در این مناطق دارد که تأییدکننده بیش‌برآوردی داده‌های ماهواره‌ای در این مناطق می‌باشد. در این اقلیم ایستگاه شوشتر در ماه اکتبر ضریب کاهش قابل ملاحظه‌تری (۰/۷۲) دارد.



نگاره ۲: میانگین تغییر شاخص‌های ارزیابی قبل و بعد از تصحیح در اقلیم‌های مورد مطالعه

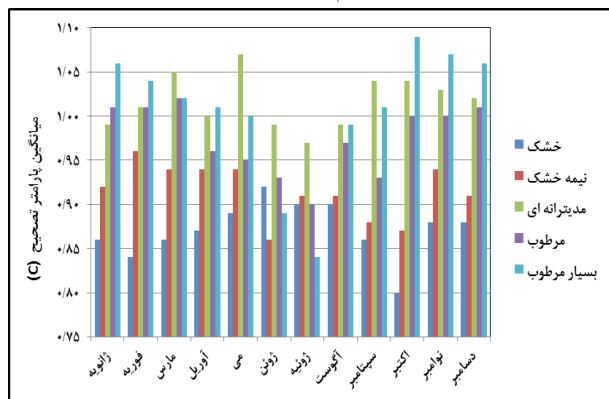
برای اقلیم نیمه‌خشک نیز مقادیر کاهشی برای تمامی ماه‌های سال به دست آمده است. در ایستگاه بجنورد در ماه

جدول ۵: پارامتر تصحیح بارش (C) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	*C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	اقلیم
یم	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۹	خشک
شهرضا	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۸	
شوشتر	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۸۹	۰/۸۷	
نیشابور	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۹۱	نیمه‌خشک
بجنورد	۰/۸۷	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۸۷	
اراک	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۹۵	
اسلام‌آباد غرب	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۵	۱/۰۴	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۰	۱/۱۲	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۴	مدیترانه‌ای
آوج	۰/۹۷	۱/۰۰	۱/۰۹	۱/۰۶	۱/۱۱	۰/۹۸	۰/۹۱	۱/۰۵	۰/۹۶	۱/۰۵	۱/۰۲	۰/۹۹	
گرگان	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۸	۰/۹۹	۱/۰۴	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۰۱	۱/۰۵	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۱۲	
آبعلی	۱/۰۰	۱/۰۳	۱/۰۱	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۹۸	۱/۰۳	مرطوب
پیرانشهر	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۳	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۰	۰/۹۲	۰/۹۴	۱/۰۸	۰/۹۹	۰/۹۷	
قائم‌شهر	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۹۴	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۴	
مریوان	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۹۳	۰/۹۵	۱/۰۸	۱/۰۰	۱/۰۵	بسیار مرطوب
بندر انزلی	۱/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۴	۱/۰۶	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۰۹	۱/۱۱	
کوهرنگ	۱/۰۹	۱/۰۷	۱/۰۴	۱/۱۲	۱/۰۹	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۹۷	۰/۹۴	۱/۰۲	۱/۱۱	۱/۰۴	

* C₁ مربوط به ماه ژانویه است

اینکه برای ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر نیز در اقلیم مدیترانه‌ای کم‌برآوردی مشاهده می‌شود (پارامتر تصحیح بیشتر از یک). در اقلیم بسیار مرطوب در ماه‌های وقوع بارش (سپتامبر تا آوریل) ضریب‌ها بیشتر از یک (کم‌برآوردی) و در سایر ماه‌ها ضریب کمتر از یک به دست آمده است. نکته بسیار مهم این است که در تمامی ماه‌های سال، اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک پارامتر تصحیح کمتر از یک (بیش‌برآوردی) دارد. ضمن اینکه این ضریب غیر از ماه ژوئن، برای اقلیم خشک کمتر از ۰/۹ می‌باشد.



نگاره ۳: میانگین پارامتر تصحیح (C) در اقلیم‌های مورد مطالعه

ژوئیه و آگوست) نیاز به اعمال ضریب کاهش می‌باشد. با توجه به کم بارش بودن این ماه‌ها به همراه تعداد روزهای ابری بالا، بیش‌برآوردی در این مناطق منطقی خواهد بود. در ماه‌های سرد سال (فصول پاییز و زمستان)، به دلیل کم‌برآوردی ضرایب بیشتر یک باید در تصحیح اعمال شوند. در این اقلیم در ماه ژوئیه ایستگاه مریوان بیشترین تصحیح بیش‌برآوردی با ضریب (۰/۷۲) به دست آمده است. در ماه اکتبر نیز در ایستگاه بندر انزلی کم‌برآوردی داده‌های ماهواره‌ای در این اقلیم با ضریب افزایشی (۱/۱۷) متمایز شده است.

با توجه به نگاره ۳ (میانگین پارامتر تصحیح ماهانه)، بیشتر داده‌های ماهواره‌ای در اقلیم‌های مورد مطالعه نیاز به تصحیح با ضریب کمتر از یک دارند، به این مفهوم که داده‌ها به طور کلی دارای بیش‌برآوردی هستند. اما در ماه‌هایی از سال ضریب‌های بیشتر از ۱/۰۵ برای تصحیح مورد نیاز است و کم‌برآوردترین داده‌های موجود هستند. این شرایط عبارتند از: اقلیم بسیار مرطوب در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه و اقلیم مدیترانه‌ای در ماه می. به‌علاوه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۹)
 استفاده از مدل حاصل ضربی برای تصحیح داده‌های ماهانه... / ۱۹

۴- نتیجه‌گیری

منابع و مأخذ

۱. بادپی، ا.، و کاویان‌پور، م. ر. ۱۳۹۶. تصحیح خطا تخمین‌های بارش ماهواره‌های TRMM و GPM با استفاده از رادار هواشناسی. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. شهریور. اردبیل.
۲. جباری نوقابی، م. ۱۳۹۰. داده‌های پرت، مفهوم و کاربرد آن. نشریه ندا، ۹(۱): ۱-۱۶.
۳. رضایی پزند، ح. ۱۳۸۰. کاربرد آمار و احتمال در منابع آب. چاپ اول. انتشارات سخن گستر.
۴. 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): ۲۰۳-۲۱۶.
۵. صفوی گردینی، م.، دلبری، م.، امیری، م.، پیری، ج.، و اسنجدی داده‌های باران سری 3B43 ماهواره TRMM در استان هرمزگان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۹(۳): ۹۹-۱۱۲.
۶. عرفانیان، م.، کاظم‌پور، س.، حیدری، ح. ۱۳۹۵. و اسنجدی داده‌های باران سری B42 و B43 ماهواره TRMM در زون‌های اقلیمی ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۸(۲): ۳۰۳-۲۸۷.
۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و سوم. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ویرایش هفتم. مشهد.
8. Alavipanah, S.K. 2017. Principles of Modern Remote Sensing and Interpretation of Satellite Images and Arial Photos. Tehran University Pub. Tehran. 800p.
9. Chen, S., Hong, H., J. Gourley, J., Huffman, J.G., Tian, Y., Cao, Q., Yong, B., Kirstetter, P., Hu, J., Hardy, J., Li, Z., Khan, S., Xue, X. 2013. Evaluation of the successive V6 and V7 TRMM multisatellite precipitation analysis over the Continental United States. Water Resources Research. 49. 8174-8186. <https://doi.org/10.1002/2012WR012795>.
10. Condom, T., P. Rau, and J. C. Espinoza, 2011: Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌ای TMPA و واسنجدی آن در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب، نیمه مرطوب و بسیار مرطوب ایران در مقیاس ماهانه بوده است. نتایج پژوهش نشان داد که داده‌های اولیه برآوردی ماهواره‌ای TMPA در مقیاس ماهانه توزیع مشابهی با الگوی به دست آمده از داده‌های زمینی دارد (به دلیل همبستگی بالای ۰/۷۵: $R^2 > 0/6$). با این حال، ضرایب تعیین (R^2) در اقلیم‌های مختلف بیانگر همبستگی خوبی بین دو منبع اطلاعاتی است. داده‌های اولیه TMPA مقدار بارش ماهانه را برای ایستگاه‌های بی‌م، پیرانشهر و آبعلی با کمترین مقدار انحراف خطا برآورد کردند. بیشترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه‌های مریوان، بندر انزلی و کوه‌رنگ است.

به عبارت دیگر، بیشترین خطا مربوط به ناحیه اقلیمی بسیار مرطوب و بیشترین درصد خطا در مناطق کم بارش بوده است.

واسنجدی داده‌های TRMM در ۵ اقلیم نشان داد که تصحیح داده‌های ماهانه TMPA باعث بهبود مقادیر تخمینی ماهواره‌ای می‌شود. مقادیر پارامتر تصحیح C در اقلیم خشک بیانگر اعمال ضریب کاهشی برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای برای تمامی ماه‌ها است. برای اقلیم نیمه‌خشک نیز مقادیر کاهشی برای تمامی ماه‌های سال به دست آمد. در اقلیم مدیترانه‌ای در ماه‌های گرم سال (ژوئن، ژوئیه و آگوست) نیاز به اعمال ضریب کاهشی می‌باشد. در اقلیم مرطوب برای ۶ ماه بهار و تابستان نیاز به اعمال ضریب کاهشی است.

در ماه‌های سرد سال (فصول پاییز و زمستان) اعمال ضریب افزایشی مورد انتظار خواهد بود. در اقلیم بسیار مرطوب در ماه‌های گرم سال (ژوئن، ژوئیه و آگوست) نیاز به اعمال ضریب کاهشی می‌باشد. در نهایت در ماه‌های سرد سال (فصول پاییز و زمستان) این اقلیم، ضرایب بیشتر یک باید در تصحیح اعمال شوند.

- (NASA). 2018. Homepage of Rainfall Archives, https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opendap/TRMM_L3/TRMM_3B43.7/contents.html Visited: 2018/04/10.
22. 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*, 112(3-4): 409-418.
23. 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. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2)
24. Sorooshian, S., X. Gao, K. Hsu, R. A. Maddox, Y. Hong, H. V. Gupta, B. Imam, 2002. Diurnal Variability of Tropical Rainfall Retrieved from Combined GOES and TRMM Satellite Information. *J. Climate*, 15, 983-1001. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0983:DVOTRR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0983:DVOTRR>2.0.CO;2).
25. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.016>.
26. Tarnavsky, E. Mulligan, M. and Husak, G. 2012. Spatial disaggregation and intensity correction of TRMM-based rainfall time series for hydrological applications in dryland catchments. *Hydrological Sciences Journal*. 57(2):248-264. DOI: 10.1080/02626667.2011.637498.
27. Tian, Y., Peters-Lidard, C.D., Eylander, J.B., Joyce, R.J., Huffman, G.J., Adler, R.F., Hsu, K., Turk, F.J., Garcia, M., and Zeng, J., 2009. Component analysis of errors in satellite-based precipitation estimates. *J. Geophys. Res.* 114 (D24), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1029/2009JD011949>.
28. Tian, Y., Huffman, G.J., Adler, R.F., Tang, L., Sapi-ano, M., Maggioni, V., Wu, H., 2013. Modeling errors in daily precipitation measurements: Additive or multiplicative? *Geophys. Res. Lett.* 40 (10), 2060-2065. <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50320>.
29. 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. doi: 10.5194/hess-16-133-2012.
- the mountainous areas of Peru during the period 1998-2007. *Hydrol. Processes*, 25, 1924-1933, doi:10.1002/hyp.7949.
11. Dickey, D., 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. doi:10.1080/01621459.1979. 10482531
12. Ghafourian, H., Sanaei Nejad, S.H., and Davary, K. 2014. Comparing and Assessment of TRMM Data and Ground Based Measurements Data for Drought Monitoring. *Journal of Middle East Applied Science and Technology (JMEAST)*, 15(3): 415-419.
13. Habib, E., Krajewski, W.F., Ciach, G.J., 2001. Estimation of rainfall interstation correlation. *J. Hydrometeorol.* 2 (6). [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2001\)002<0621:EORIC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2001)002<0621:EORIC>2.0.CO;2).
14. Habib, E., Larson, B.F., Grascel, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.010>.
15. Hashemi, H., Nordin, M., Lakshmi, V., Huffman, G., 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. doi: 10.1175/JHM-D-17-0025.1.
16. Huffman, G.J. 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.
17. Iranian Meteorological Organization. 2018. Available at <http://irimo.ir/far/wd/2703.html>. (visited 15 May 2018).
18. 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, doi:10.1016/j.rse.2006.11.011.
19. Javanmard, S., A. Yatagai, M. Nodzu, J. BodaghJamali, and H. Kawamoto. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Adv. Geosci.*, 25, 119-125, doi:10.5194/adgeo-25-119-2010.
20. National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2001. TRMM Data Users Handbook, February. 226p.
21. National Aeronautics and Space Administration