

بررسی ضرایب اصلاح شبکه بارش TRMM در استان مازندران

فاطمه خورسندی^۱، مهدی نادی^{۲*}، عبدالله درزی نفتچالی^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

DOI: 10.22103/nrswe.2023.20333.1014

چکیده

بارش از عناصر بنیادی مطالعات آب‌وهواشناسی به‌شمار می‌رود. به دلیل تعداد و تراکم محدود ایستگاه‌های باران‌سنجی و نبود ایستگاه هواشناسی در مناطق کوهستانی و سخت‌گذر، استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای به عنوان ابزاری موثر در پیش‌بینی توزیع مکانی منطقه‌ای بارش مورد توجه محققین قرار گرفته است. اما عیب آن خطای تخمین بالای بارش در منطقه است که نیاز به ارزیابی دقت این داده‌ها، قبل از استفاده است. برای این منظور بر مبنای داده‌های بارش ۲۱ ایستگاه هواشناسی استان مازندران از سال ۲۰۱۸-۱۹۹۸، کارایی داده‌های بارش ماهواره TRMM و دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بر خلاف همبستگی مناسب شبکه TRMM با داده‌های واقعی، این شبکه دارای خطای اریبی بالایی است. مثلاً در مورد داده‌های سالانه بارش، خطای اریبی شبکه به ۷۰ میلی‌متر رسید که تقریباً حدود ۳۰ درصد خطای سالانه می‌باشد. ضرایب اصلاح خطای شبکه در استان مازندران بین ۰ و ۲ بدست آمد که بیشتر ضرایب بالاتر از یک بود که بیانگر آن است که شبکه TRMM در مازندران عمدتاً دچار خطا کم برآوردی می‌باشد. مقایسه دقت شبکه اصلاح شده TRMM با روش‌های درون‌یابی مورد بررسی بیانگر آن بود که استفاده از شبکه اصلاح شده به جای روش‌های درون‌یابی در ترسیم نقشه‌های همبارش، مقدار میانگین مربعات خطا سالانه بارش را از ۲۳۷ به ۱۸۶ میلی‌متر کاهش می‌دهد.

واژگان کلیدی: اصلاح شبکه بارش، کریجینگ، مازندران، وزنی عکس فاصله.

^۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

^{۲*} - نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. ایمیل: m.nadi@sanru.ac.ir

^۳ - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

بارش یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژی است که تخمین آن هم در بعد مکان و هم در بعد زمان به‌ویژه در مناطقی با توپوگرافی پیچیده بسیار سخت است. از طرفی یکی از مهمترین چالش‌ها در تحلیل بارش و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیک در مدیریت منابع آب، کمبود داده‌های بارش و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی است (Moazemi et al. 2013). با توجه به اینکه کشور ایران به لحاظ موقعیت جغرافیایی در کمربند اقلیمی خشک جهان قرار دارد، لذا تغییرات بارندگی اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است (Zabihi et al. 2017). یکی از عوامل محدودکننده پژوهش‌ها در زمینه هواشناسی و علوم آب کشورهای درحال توسعه مانند ایران، کمبود داده‌های پایه مانند بارش است. این کمبود شامل کوتاه بودن طول سری زمانی و یا پراکنش کم ایستگاه‌های برداشت داده است. به‌علاوه کمبود داده بارشی همواره یکی از محدودیت‌های اصلی پژوهش‌ها و مطالعه در زمینه مهندسی آب و هواشناسی بوده است. به کارگیری شبکه بارش ماهواره TRMM جهت استفاده در مطالعات آب و هواشناسی در استان مازندران اهمیت ویژه‌ای دارد، بخصوص برای پژوهشگران و مهندسانی که همواره به دنبال یک جایگزین و یا مکمل برای داده‌های بارش بوده‌اند (Ghaderpour et al. 2020). برای غلبه بر محدودیت تخمین مکانی بارش می‌توان از انواع روش‌های درون‌یابی فضایی، رگرسیون آماری و الگوریتم‌های تخمین بارندگی با کمک تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. خطای روش‌های درون‌یابی در مناطق مرتفع و کوهستانی، خشک و نیمه-خشک بسیار بالاست (Ghazanfari Moghadam et al. 2011). روش‌های بسیاری برای تخمین مقدار بارندگی در نقاط فاقد ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی به‌کاربرده می‌شود. روش‌های زمین آماری از جمله روش‌هایی است که با به‌کارگیری مدل‌های درون‌یابی، به برآورد یک متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای از نقاط مشاهده‌ای می‌پردازند (Muller 2014). امروزه پایگاه‌های بارش شبکه‌بندی شده جهانی و تصاویر ماهواره‌ای یکی از گزینه‌های اصلی و معتبر تخمین مقدار بارندگی نقاط فاقد ایستگاه‌هاست (Hosseini Moghari et al. 2016). ماهواره‌ها با فراهم کردن یک پوشش مکانی کامل قادر به تخمین بارش برای کل جهان هستند. با انجام این مهم، به‌خصوص در کشورهای درحال توسعه مانند ایران

که در بسیاری از حوضه‌های آن آمار مناسبی از داده‌های بارندگی موجود نیست، اطلاعات بارش در اختیار قرار می‌گیرد (Moazemi et al. 2013). این ماهواره‌ها صدها کیلومتر بالای زمین قرار گرفته و مناطق بزرگی را در یک زمان خاص مشاهده می‌کنند. ابرها و دیگر پدیده‌های هواشناسی در پهنای وسیعی اسکن شده و این ویژگی به هواشناس‌ها دید بهتری برای مطالعه بر روی سامانه‌های هواشناسی متحرک می‌دهد (Guo et al. 2016). به‌علاوه استفاده از ماهواره‌های تخمین بارش دارای چندین مزیت مانند وضوح زمانی و مکانی بالا، پوشش مکانی جهانی بر روی اقیانوس‌ها و زمین و به‌طور مشخص مناطق کوهستانی و دور افتاده است (Sharifi et al. 2016). در حال حاضر یکی از گزینه‌های مهم برای برآورد جامع از بارش در سطح جهانی، استفاده از ماهواره‌های مشاهداتی زمین می‌باشد که البته قبل از داده‌های ماهواره‌ای لازم است این داده‌ها با داده‌های زمینی مقایسه شده، دقت آنها مشخص شود و تا حد امکان تصحیح شوند (Hong et al. 2012). در این زمینه مطالعات زیادی نیز در داخل و خارج کشور صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات (Yousefi Kebria et al. 2021) اشاره کرد که داده‌های بارندگی سیزده ایستگاه سینوپتیکی واقع در استان مازندران را با آمار بارندگی ماهواره TRMM در دوره آماری چهارده ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۱) مقایسه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دهنده میزان انطباق و همبستگی بالای ۹۰ درصد بین آمار بارندگی ماهانه ماهواره با آمار ایستگاه‌های زمینی بود. همچنین در مطالعه دیگر (Yousefi Kebria et al. 2022) با اصلاح شبکه ماهواره‌ای TRMM با استفاده از روش گرادیان چهار بعدی، بارش استان مازندران در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ را تخمین زده و به این نتیجه دست یافتند که اصلاح شبکه TRMM سبب افزایش ۳۰ الی ۵۰ درصدی دقت این ماهواره شده است. (Ghahreman et al. 2017) در پژوهشی به ارزیابی اطلاعات بارش برآوردی از تصاویر ماهواره‌ای TRMM و TRMM اصلاح شده در حوضه آبخیز شاپور استان فارس پرداختند و از اطلاعات ۲۸ رخداد بارش روزانه و ساعتی ایستگاه‌های واقع در حوضه یادشده و رخداد‌های بارش روزانه در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ برای پنج ایستگاه بوشیگان، کازرون، چیتی، دشت ارژن و پسقالت در محدوده مطالعاتی کازرون استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های TRMM و TRMM

مساحت، بین طول جغرافیایی $۳۴^{\circ} ۵۰'$ و $۱۰^{\circ} ۵۴'$ و عرض جغرافیایی $۳۵^{\circ} ۳۵'$ و $۳۶^{\circ} ۳۵'$ در جنوب دریای مازندران (خرز) و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. دریای مازندران و رشته کوه البرز نقش تعیین کننده‌ای در آب و هوای استان دارند. وجود رشته کوه البرز در قسمت جنوبی این استان یک قوس عظیمی را بوجود آورده است که مانع عبور رطوبت دریای مازندران به مرکز ایران می‌شود و جلگه‌های پست دریای مازندران را از فلات مرکزی جدا ساخته و حد فاصل بین این دو آب و هوا متضاد است. عوامل مؤثر در آب و هوای این منطقه را می‌توان به وجود رشته کوه البرز، جهت قرار گرفتن آن‌ها، ارتفاع مکان، نزدیکی به دریا، پوشش گیاهی، بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد. در میان عوامل ذکر شده نقش کوه‌ها و دریای مازندران و بادهای بیش از سایر عوامل در آب و هوای استان تأثیر دارد (Nadi and Dastigerdi, 2022).

داده‌های بارندگی

منابع آماری مورد استفاده شامل شبکه ایستگاه‌های سازمان هواشناسی، وزارت نیرو در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۸) می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد اندکی از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور در ارتفاعات استان مازندران می‌باشند، بنابراین برای اکثریت ایستگاه‌ها از شبکه ایستگاهی وزارت نیرو استفاده شد که پراکنش ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده و سال تاسیس آن‌ها نیز در جدول (۱) مشخص است. بررسی این جدول نشان می‌دهد که از ۲۱ ایستگاه هواشناسی مورد استفاده تعداد ۸ ایستگاه متعلق به شبکه ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور بوده و مابقی از شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی وزارت نیرو استفاده شده است. محدوده ارتفاعی ایستگاه‌ها نیز بین ۲۱- تا ۲۳۱۶ متر از سطح دریا تغییر می‌کند.

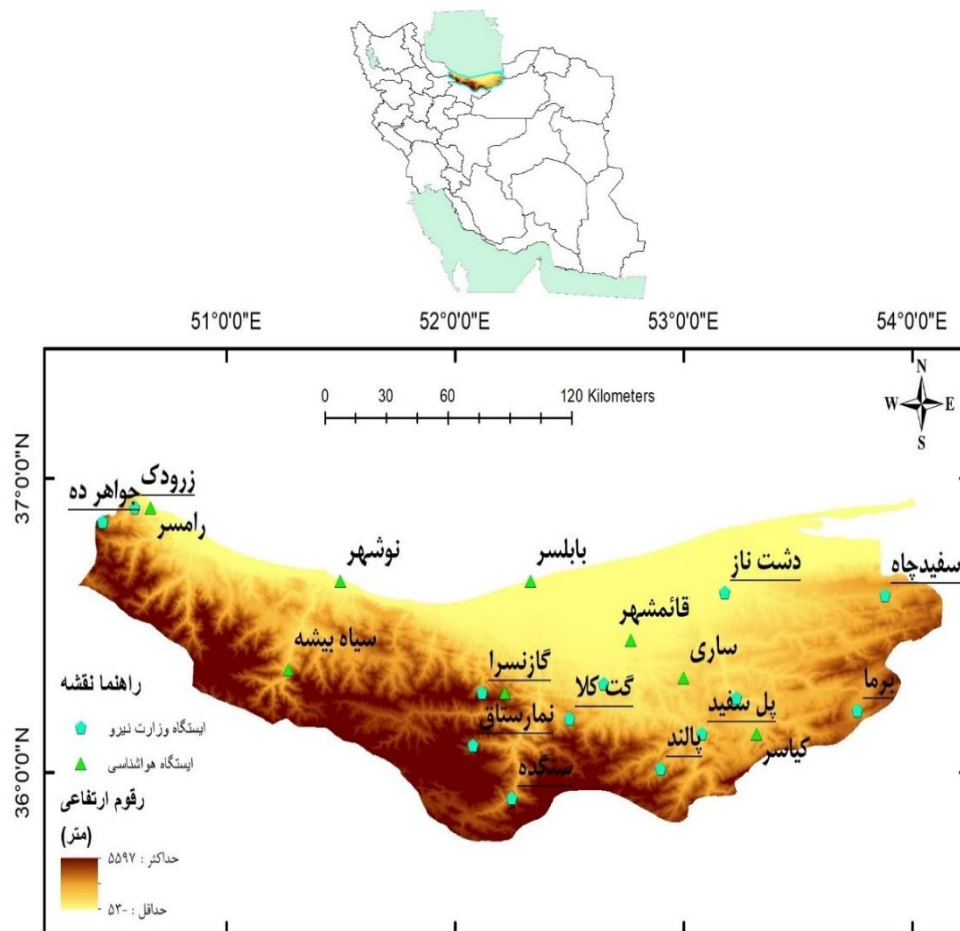
اصلاح شده در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کمی دارند؛ گرچه همبستگی داده‌های مشاهداتی در مقیاس ساعتی با TRMM اصلاح شده نسبت به TRMM بیشتر است. در زمینه بررسی دیگر شبکه‌های جهانی نیز (Nadi et al. 2013)، در پژوهشی از داده‌های ۲۴ ایستگاه هواشناسی شامل ۵ ایستگاه همدیدی و ۱۹ ایستگاه باران‌سنجی به منظور ارزیابی شبکه آفرودیت^۴ در استان گلستان استفاده کردند و آنالیز داده‌ها را در ۳ مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه انجام دادند. پس از بررسی و ارزیابی دقت داده‌های شبکه، به منظور اصلاح خطای داده‌های بارش ماهانه و سالانه شبکه، از ضریب اصلاحی نسبت میانگین‌ها استفاده شد که مقایسه داده‌های اصلاح شده با روش‌های درون‌یابی در همه ماه‌های مورد بررسی نشان داد که شبکه اصلاح شده از هر دو روش درون‌یابی کارآمدتر است. همچنین بررسی ضرایب همبستگی داده‌های واقعی و برآوردی نشان داد که همبستگی شبکه اصلاح شده با داده‌های واقعی در همه ماه‌ها مثبت است، اما در روش‌های وزنی عکس فاصله و کریجینگ عمومی در برخی موارد ضریب همبستگی منفی به دست آمد که نشان می‌دهد شبکه اصلاح شده علاوه بر خطای کمتر در تشخیص درست نقاط کم‌بارش و پر بارش منطقه نسبت به روش‌های درون‌یابی کارآمدتر است. با توجه به اهمیت بارش بر اقتصاد خانوارهای استان مازندران و از طرفی توپوگرافی پیچیده این استان و قرارگیری آن بین رشته کوه البرز در جنوب و دریای خزر در شمال استان، مطالعه تغییرات بارش در این منطقه سخت و پیچیده بوده و نیاز به بررسی امکان استفاده از شبکه‌های جهانی بارش مانند TRMM به عنوان جایگزینی برای روش‌های درون‌یابی و امکان اصلاح و عملیاتی نمودن و اصلاح داده‌ها در این استان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران از وسعتی معادل $۱/۴۶$ درصد ایران برخوردار است. این استان با داشتن $۲۳۷۵۶/۴$ کیلومتر مربع

^۴ -Aphrodite



شکل (۱): وضعیت پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران

داده شبکه بارش ماهواره TRMM

این ماهواره محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل 0.25×0.25 درجه و حداکثر 5×5 درجه است. این ماهواره در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند. تکرار برداشت‌ها و عبور این ماهواره برای مناطق مختلف کره زمین متفاوت می‌باشد و بستگی به عرض جغرافیایی محدوده مورد نظر دارد. چرخش کامل زمین هر بار به مدت $91/538$ دقیقه زمان خواهد برد و ۱۶ مدار در روز طی خواهد شد. زاویه میل ماهواره، ۳۵ درجه می‌باشد. داده‌های

ماهواره TRMM در فرمت‌های مختلف از جمله (KMZ, TRMM Data ASCII, TXT و فایل‌های HDF) می‌باشد (User Handbook 2001). سطوح تولیدی ماهواره شامل سطح یک: داده‌های پردازش نشده، سطح دو: زمین مرجع نمودن اطلاعات داده‌ها و متصل به سطح اجرایی صفر و پردازش وابسته به حسگر واحدهای فیزیکی و سطح سه: پارامترهای هواشناسی است (TRMM Data User Handbook 2001). ماهواره TRMM دارای حسگرهایی هم‌چون رادار آب و هوایی، چند تشعشع‌سنج ماکروویو غیرفعال و تشعشع‌سنج بسیار پیشرفته با وضوح بالا می‌باشد (Huffman et al. 2010). داده‌های این ماهواره از سایت شبکه بارش ماهواره TRMM^۵ قابل دانلود می‌باشد.

^۵ - <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	سازمان مربوطه	نوع ایستگاه	سال تاسیس
رامسر	۵۰/۶۶	۳۶/۹	۲۱	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۱۹۵۱
نوشهر	۵۱/۵	۳۶/۶۵	-۱۸	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۱۹۹۷
ساری	۵۳	۳۶/۵۵	۱۰	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۱۹۹۹
کیاسر	۵۳/۵۵	۳۶/۲۱	۱۶۸۸	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۲۰۰۲
سیابیشه	۵۱/۳	۳۶/۲۵	۱۹۹۱	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۱۹۹۹
آمل	۵۲/۳۸	۳۶/۴۶	۱۰۵	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۲۰۰۱
بابلسر	۵۲/۶۵	۳۶/۷۱	-۲۱	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۱۹۵۲
قائم شهر	۵۲/۸۸	۳۶/۴۸	۳۷	سازمان هواشناسی	سینوپتیک	۱۹۸۴
سفیدچاه	۵۳/۸۸	۳۶/۶	۱۰۲۳	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۹
برما	۵۳/۷۶	۳۶/۶	۱۰۲۸	وزارت نیرو	باران سنج	۲۰۰۱
سلیمان تنگه	۵۳/۲۳	۳۶/۲۵	۵۳۰	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۱
گت کلاً	۵۲/۵	۳۶/۱۸	۱۲۵۶	وزارت نیرو	باران سنج	۲۰۰۱
زرودک	۵۰/۶	۳۶/۹	۲۲۱	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۶
پالند	۵۲/۹	۳۶/۰۱	۱۴۷۶	وزارت نیرو	باران سنج	۲۰۰۴
جواهر ده	۵۰/۴۶	۳۶/۸۵	۲۰۰۵	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۷
گازن سرا	۵۲/۱۲	۳۶/۲۷	۲۳۱۶	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۷
نمارستاق	۵۲/۰۸	۳۶/۰۹	۲۱۹۹	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۰
فیروزجاه	۵۲/۶۵	۳۶/۲	۶۳۲	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۹۹
سنگده	۵۲/۲۵	۳۶/۹۱	۱۴۳۴	وزارت نیرو	باران سنج	۱۹۷۰
دشت ناز	۵۳/۱۸	۳۶/۶۱	۱۶	وزارت نیرو	باران سنج	۲۰۰۱
پل سفید	۵۳/۰۸	۳۶/۱۳	۱۱۲۸	وزارت نیرو	باران سنج	۲۰۰۳

همچنین این محصولات به دلیل در دسترس بودن سری‌های طولانی مدت (۲۰۱۸-۱۹۹۸) از داده‌های نزدیک به زمان واقعی، تفکیک مکانی و زمانی نسبتاً خوب و دسترسی رایگان به داده‌ها انتخاب شدند. روش‌های درون‌یابی معمول مورد بررسی در این تحقیق شامل کریجینگ معمولی و وزنی عکس فاصله می‌باشد.

روش کریجینگ

کریجینگ یکی از روش‌های درون‌یابی است که می‌تواند بر اساس مدل برازش داده شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند (Akhavan and kleinn, 2009). کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و این تخمین‌گر به صورت ذیل تعریف می‌شود:

همچنین این محصولات به دلیل در دسترس بودن سری‌های طولانی مدت (۲۰۱۸-۱۹۹۸) از داده‌های نزدیک به زمان واقعی، تفکیک مکانی و زمانی نسبتاً خوب و دسترسی رایگان به داده‌ها انتخاب شدند. روش‌های درون‌یابی معمول مورد بررسی در این تحقیق شامل کریجینگ معمولی و وزنی عکس فاصله می‌باشد.

روش کریجینگ

کریجینگ یکی از روش‌های درون‌یابی است که می‌تواند بر اساس مدل برازش داده شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند (Akhavan and kleinn, 2009). کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و این تخمین‌گر به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n f_i Z_{v_i} \quad (۱)$$

$$E(Z_v - Z_v^*) = 0 \quad (۲)$$

که در آن Z_v مقدار پارامتر واقعی در نقطه‌ای با مختصات معلوم و Z_v^* مقدار پارامتر تخمینی در همان نقطه است. رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$E(Z_v - \sum_{i=1}^n f_i Z_{v_i}) = 0 \quad (۳)$$

و رابطه زیر را می‌توان نتیجه گرفت:

$$E(Z_v) - E\left[\sum_{i=1}^n f_i Z_{v_i}\right] = 0 \quad (4)$$

از طرفی $E(Z_v) = m$ ، لذا می‌توان نوشت:

$$m - \sum_{i=1}^n f_i m = 0 \quad (5)$$

چون $m \neq 0$ است لذا باید رابطه زیر برقرار باشد.

$$\sum_{i=1}^n f_i = 1 \quad (6)$$

برای اینکه واریانس تخمین کریجینگ حداقل شود، این امر باید با رعایت مجموع ضرایب برابر ۱ صورت گیرد. زیرا شرط نالریب بودن کریجینگ این محدودیت که مجموع ضرایب کریجینگ باید واحد باشد را به وجود می‌آورد.

روش وزنی عکس فاصله

روش وزنی عکس فاصله یکی از مهم‌ترین روش‌های درون-یابی است. فرض اساسی در این روش آن است که با افزایش فاصله مقدار تاثیر مشخصه‌ها کاهش می‌یابد. برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده است از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش‌بینی، عامل وزن بر اساس فاصله ایستگاه‌ها از نقطه مجهول تعیین می‌شود. به عبارتی به نقاط نزدیک وزن بیشتری داده می‌شود و با میانگین گرفتن از آن‌ها، ارزش نقطه مجهول برآورد شود (Akhavan et al. 2012). در این روش توانی برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود، ولی اغلب از توان ۲ استفاده می‌شود، یعنی عکس مجذور فاصله. رابطه کلی درون‌یابی به روش IDW به صورت رابطه زیر است:

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^n f_i w_i \quad (7)$$

$$f_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-a}} \quad (8)$$

که در آن f_i وزن ایستگاه i ام، D_i فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، a توان وزندهی و n تعداد نقاط نمونه است.

اصلاح داده شبکه TRMM

ضریب اصلاح شبکه

منظور از اصلاح شبکه، رفع مشکل اریبی در داده‌ها در صورت بیش برآوردی یا کم برآوردی بودن داده‌هاست که با توجه به مقدار مثبت و منفی شاخص (MBE) در همه ماه‌ها، می‌توان گفت شبکه به ترتیب دارای مشکل بیش برآوردی یا کم برآوردی است. البته این روش در صورتی قابل انجام است که همبستگی بالایی بین داده‌های ایستگاهی و نقاط شبکه وجود داشته باشد که می‌توان داده‌های شبکه را با روش نسبت میانگین‌ها از رابطه زیر اصلاح نمود (Nadi and Baziyarpoor, 2017).

$$APH_{adj} = APH * \frac{\mu_{obs}}{\mu_{aph}} \quad (9)$$

در این معادله، (APH) داده‌های شبکه و $(\mu_{aph} | \mu_{obs})$ به ترتیب میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبکه TRMM در ماه مورد نظر است. بنابراین با تقسیم میانگین داده‌های ایستگاهی به میانگین شبکه، ضریب اصلاح بدست می‌آید که با ضرب آن در داده‌های شبکه، داده‌های اصلاح شده (APH_{adj}) محاسبه می‌شود. در این پژوهش برای اصلاح داده‌های بارش شبکه TRMM از نزدیک‌ترین نقاط شبکه به ایستگاه‌های هواشناسی استفاده و با داده‌های واقعی ایستگاهی مقایسه شد. بر این اساس با نسبت‌گیری از داده‌های واقعی ایستگاهی و داده‌های TRMM ضریبی بوجود می‌آید تا داده‌های شبکه را اصلاح کرده و تخمین دقیق‌تری از بارش داشته باشد. چنانچه داده‌های شبکه TRMM داده‌های واقعی را بیشتر از مقدار واقعی تخمین بزند ضریب اصلاحی باید کمتر از یک باشد تا داده‌های اصلاح شده نزدیک به داده‌های واقعی گردد. اما اگر شبکه TRMM مقدار بارش را کمتر از مقدار داده‌های واقعی برآورد کند، ضرایب اصلاحی باید بزرگتر از یک باشد تا به داده‌های واقعی نزدیک گردد.

معیارهای ارزیابی روش‌ها

در این پژوهش برای مقایسه دقت روش‌های مورد بررسی از آماره‌های RMSE (میانگین مربعات خطا) و MBE (میانگین خطای اریب) و ضریب همبستگی پیرسون (R) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{Z}_{(X_i)} - Z_{(i)})^2}{N}} \quad (10)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}_{(X_i)} - Z_{(X_i)}) \quad (11)$$

و مثبت شاخص MBE بیانگر آن است که داده‌های این شبکه در منطقه مورد مطالعه، بارش ماهانه را در یک سری ماه‌ها بیشتر از داده‌های واقعی و در یک سری ماه‌ها کمتر از داده‌های واقعی برآورد می‌کنند. در مورد داده‌های سالانه TRMM مقدار خطا نزدیک به ۷۰ میلی‌متر بوده که مقدار زیادی است و همچنین این شبکه بارش سالانه را ۶۸/۴۵ میلیمتر کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. بنابراین می‌توان گفت شبکه مذکور دچار خطای کم برآوردی است، یعنی مقادیر داده‌های برآوردی را کمتر از مقادیر واقعی نشان داده است.

ضریب همبستگی داده‌های واقعی و داده‌های شبکه TRMM به همراه حدود معناداری ۹۵ درصد در شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد برخلاف خطای اریبی بالای شبکه، همبستگی مثبت و معناداری بین داده‌های واقعی و شبکه وجود دارد. به طوری که در بعضی از ماه‌ها به ۰/۷ می‌رسد. لذا ضریب همبستگی معنادار به همراه خطای اریبی بالا، اصلاح خطای اریبی را امکان‌پذیر می‌کند.

که در آن، $\hat{Z}(Xi)$ مقدار برآورد شده و $Z(Xi)$ مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها هستند.

نتایج و بحث

ارزیابی روش‌های درون‌یابی

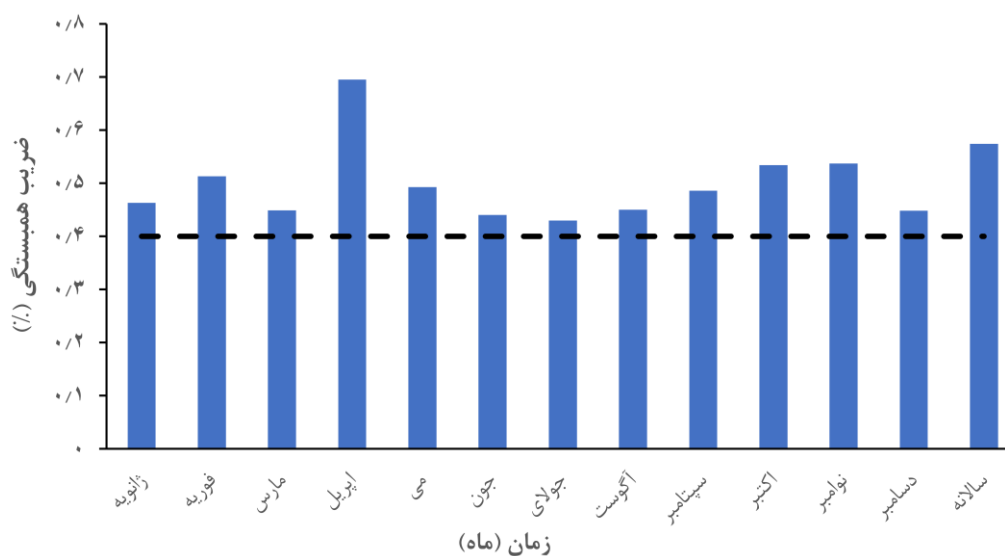
مقدار میانگین مربعات خطای روش‌های درون‌یابی و شبکه TRMM در جدول (۲) نشان داده شده است. بررسی این جدول نشان می‌دهد در اغلب ماه‌ها خطای TRMM از خطای روش کریجینگ و وزنی عکس فاصله کمتر است به جز ماه‌های گرم سال مانند ماه‌های آوریل، جون، جولای و آگوست که میزان خطای TRMM بیشتر و دقت آن کاهش یافته است. در مورد داده‌های سالانه نیز استفاده از TRMM مقدار خطا را حدود ۴۰ میلی‌متر کاهش می‌دهد. همچنین بررسی جدول (۳) حاکی از آن است که مقدار شاخص خطای اریبی (MBE) شبکه در اغلب ماه‌ها منفی و در روش‌های کریجینگ و عکس فاصله مقداری ناچیز و مقدار سالانه آن کمتر از ۳ میلی‌متر بوده است. بررسی مقدار منفی

جدول (۲): مقادیر RMSE روش‌های درون‌یابی و شبکه TRMM برای داده‌های بلند مدت

ماه	TRMM	کریجینگ	وزنی عکس فاصله
ژانویه	۱۶/۸	۱۷/۶	۲۲/۹
فوریه	۱۱/۶	۱۱/۷	۱۰/۷
مارس	۱۵/۴	۱۵/۵	۱۷/۰
آوریل	۱۴/۷	۱۴/۶	۱۳/۹
می	۱۳/۶	۱۳/۷	۱۷/۲
جون	۲۲/۱	۱۶/۹	۱۵/۷
جولای	۲۰/۰	۱۸/۱	۱۶/۹
آگوست	۲۳/۹	۲۰/۶	۱۸/۴
سپتامبر	۲۹/۹	۳۴/۶	۴۴/۱
اکتبر	۴۷/۱	۶۱/۵	۶۱/۱
نوامبر	۳۴/۰	۳۸/۵	۴۰/۱
دسامبر	۲۱/۷	۲۲/۳	۲۳/۳
سالانه	۱۹۵/۵	۲۳۶/۷	۲۲۶/۳

جدول (۳): مقادیر MBE روش‌های مورد بررسی برای داده‌های بلند مدت بارش

ماه	TRMM	کریچینگ	وزنی عکس فاصله
ژانویه	۵/۶	-۰/۱	-۱/۰
فوریه	-۲/۹	-۰/۴	۰/۳
مارس	۳/۱	-۰/۳	۱/۳
آوریل	۵/۰	-۰/۱	-۰/۸
می	-۶/۷	-۰/۱	۱/۴
ژوئن	-۱۶/۸	-۰/۳	۰/۶
جولای	-۱۲/۴	-۰/۷	۰/۶
اگوست	-۱۷/۸	-۰/۵	۰/۱
سپتامبر	-۱۲/۵	-۰/۰	-۰/۴
اکتبر	-۵/۴	-۰/۱	-۱/۳
نوامبر	-۴/۹	-۰/۱	-۱/۱
دسامبر	-۲/۷	-۰/۳	-۰/۳
سالانه	-۶۸/۴	-۰/۹	-۲/۳



شکل (۲): ضریب همبستگی داده‌های درازمدت بارش ماهانه و سالانه واقعی و شبکه TRMM (خط چین افقی حد معناداری ۹۵ درصدی ضرایب همبستگی را نشان می‌دهد)

اریب بوده است که از ۱۹۵ به ۱۸۵ تغییر کرده است. همچنین روش اصلاح شده نسبت به سایر روش‌ها بیش از ۵۰ میلی‌متر خطای بارش سالانه را کاهش می‌دهد.

تحلیل ضرایب اصلاح شبکه

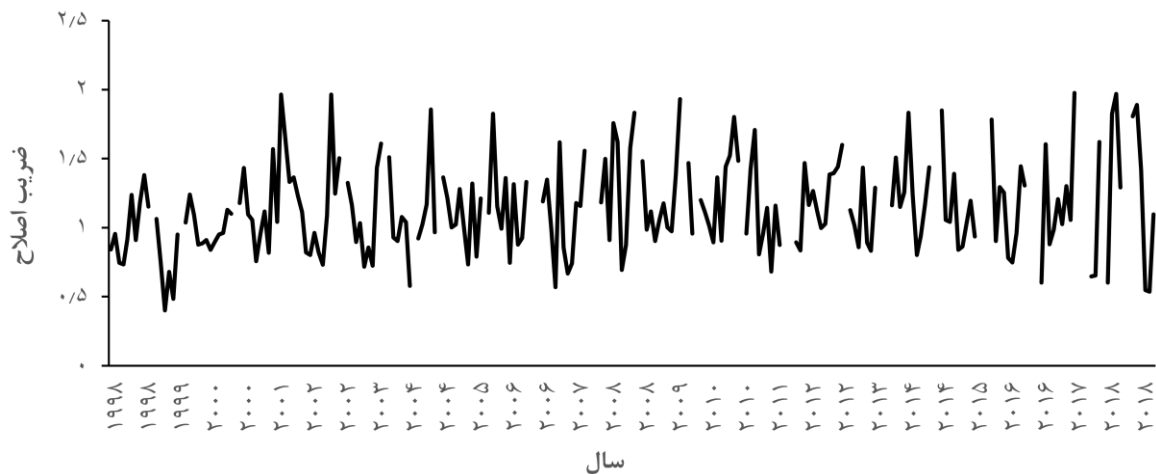
با توجه به تغییر ضرایب اصلاح شبکه در هر ماه، لذا مقدار ضریب اصلاح برای هر ماه به طور مجزا محاسبه شد که در شکل (۳) نمودار ضرایب اصلاح در طول دوره مورد بررسی را نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر آن ۱/۹۷ و کمترین آن ۰/۴ و محدوده ضرایب بین ۰ و ۲ متغیر است. با توجه به غیر منطقی بودن ضرایب اصلاح بزرگتر از ۲ که باعث واگرایی شبکه می‌شود، ضرایب اصلاح در این ماه‌ها حذف شد که شامل ۳۴ ماه می‌باشد و نشان می‌دهد شبکه TRMM در این ماه‌ها قابلیت لازم برای تخمین مکانی بارش را ندارد و البته برای تکمیل شبکه بارش در این ماه‌ها از درون‌یابی داده‌های واقعی با روش وزنی عکس فاصله استفاده شد. بنابراین در ترسیم نمودار شکل (۳)، ضرایب بیشتر از ۲ حذف گردیده است.

اصلاح شبکه بارش ماهواره TRMM

با توجه به نتایج جداول (۲ و ۳) و شکل (۲) می‌توان دریافت شبکه TRMM دارای خطای اریبی بالایی است و نیاز به اصلاح دارد و به نظر می‌رسد محصولات بارش TRMM دارای مشکل کم برآوردی است که باید با اعمال ضرایبی اصلاح گردد. بدین منظور در ادامه داده‌های شبکه با روش نسبت میانگین‌ها اصلاح شد (Nadi and Baziyarpoor, 2017). به منظور اصلاح شبکه برای هر ماه از سال یک ضریب اصلاح محاسبه شد که در طول ۲۱ سال معادل ۲۵۲ ماه ضریب اصلاح بدست آمد. برای درک از میزان دقت شبکه TRMM اصلاح شده، کارایی این شبکه با روش‌های معمول درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله مقایسه شد که در جدول (۴) خطای این روش‌ها و شبکه اصلاح شده TRMM نشان داده شده است. نتایج جدول (۴) نشان داد که اصلاح خطای اریبی شبکه TRMM به طور قابل ملاحظه‌ای دقت را افزایش می‌دهد به طوری که در داده‌های سالانه بارش مقدار خطا ۱۰ میلی‌متر کاهش یافت. به عبارتی از خطای کل سالانه ۱۰ میلی‌متر به‌خاطر خطای

جدول (۴): مقدار RMSE شبکه TRMM و TRMM اصلاح شده

ماه	TRMM	اصلاح شده TRMM
ژانویه	۱۶/۸	۱۵/۷
فوریه	۱۱/۵	۱۱/۵
مارس	۱۵/۴	۱۴/۸
آوریل	۱۴/۶	۱۲/۹
می	۱۳/۶	۱۲/۱
ژوئن	۲۲/۱	۱۴/۹
جولای	۲۰/۰	۱۵/۹
اگوست	۲۳/۹	۱۵/۷
سپتامبر	۲۹/۹	۲۷/۴
اکتبر	۴۷/۱	۴۶/۸
نوامبر	۳۴/۰	۲۳/۹
دسامبر	۲۱/۷	۲۱/۷
سالانه	۱۹۵/۵	۱۸۵/۷

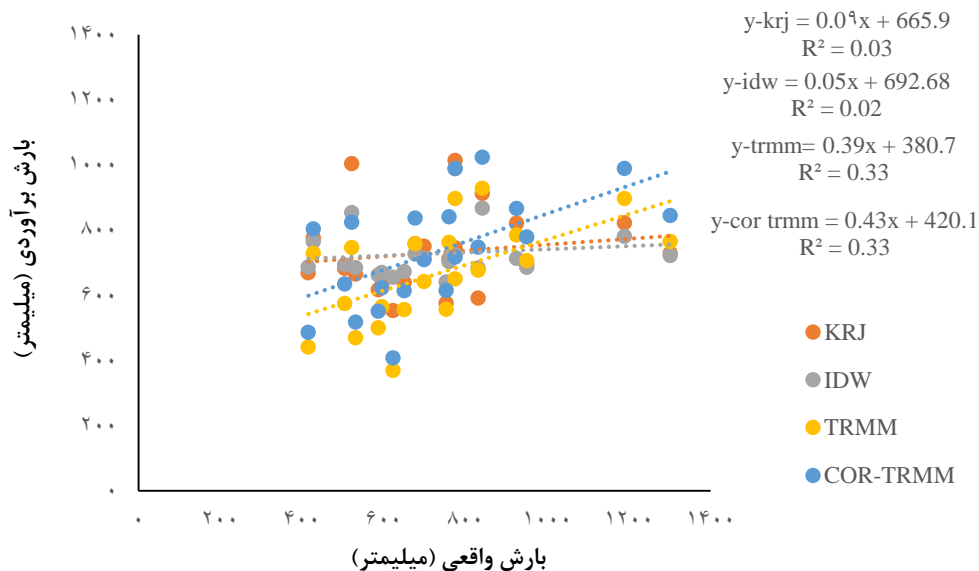


شکل (۳): تغییرات ضرایب اصلاح شبکه TRMM استان مازندران در دوره (۱۹۹۸-۲۰۱۸)

تحلیل رگرسیونی روش‌ها

تحلیل رگرسیونی دو روش درونیایی مورد بررسی و شبکه TRMM و TRMM اصلاح شده برای داده‌های میانگین درازمدت بارش سالانه در شکل (۴) نشان داده شده است که معادله خط برای روش‌های مختلف درونیایی بر داده‌ها برآزش یافت. هر چقدر ضرایب شیب و عرض از مبدا معادلات رگرسیونی به ترتیب به اعداد ۱ و ۰ نزدیکتر باشد،

روش مناسبتر است. با توجه به شکل (۴) بهترین معادله خط مربوط به روش TRMM اصلاح شده می‌باشد که بیشترین شیب را در مقایسه با سایر روش‌ها دارد. همچنین داده‌های TRMM نیز نسبت به سایر روش‌ها معادله خط بهتری ارائه داد. نتایج تحلیل رگرسیونی نشان می‌دهد اصلاح شبکه TRMM علاوه بر کاهش خطا درک بهتری از بارش ارتفاعات استان ارائه می‌دهد.



شکل (۴): تحلیل رگرسیون روش‌های مورد بررسی برای داده‌های میانگین درازمدت بارش سالانه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با هدف اصلاح داده‌های بارش شبکه TRMM ابتدا داده‌های بارش شبکه با روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله مقایسه شد و مشخص شد که شبکه اصلاح شده مورد نظر نسبت به روش‌های درون‌یابی دارای دقت بالاتری است. نتایج حاکی از آن بود که با استفاده از داده‌های شبکه اصلاح شده نسبت به داده‌های ایستگاهی، مقدار میانگین مربعات خطا سالانه از ۲۳۷ به ۱۸۵ میلی‌متر که معادل ۲۳ درصد می‌باشد، کاهش پیدا کرده است. براساس نتایج این تحقیق داده‌های شبکه TRMM بدون اعمال ضرایب قابل استفاده نمی‌باشد. مثلاً در مورد داده‌های سالانه شبکه TRMM میزان خطا اریبی به ۷۰ میلی‌متر می‌رسد که تقریباً حدود ۳۰ درصد خطا سالانه مربوط به TRMM می‌باشد. بنابراین قبل از استفاده نیاز به اصلاح دارد. برای اصلاح شبکه از روش نسبت میانگین‌ها استفاده شد که ضرایب معمولاً بین ۰ و ۲ است که ضرایب کوچکتر از یک نشان‌دهنده خطا بیش برآوردی

و بزرگتر از یک نشان‌دهنده خطا کم برآوردی است. تحلیل ضرایب اصلاح نشان داد که عمده ضرایب بالاتر از یک است که نشان‌دهنده این است که شبکه مورد نظر در مازندران عمدتاً دچار خطا کم برآوردی است. هم‌چنین در حدود ۳۴ ماه از ۲۵۲ ماه (تقریباً معادل ۸ درصد) ضرایب اصلاح مقادیر غیرواقعی را نشان می‌دهد که برای تکمیل شبکه در این ماه‌ها از داده‌های ایستگاهی و روش درون‌یابی عکس فاصله استفاده شد. تحلیل رگرسیون نتایج نیز این واقعیت را نشان داد که روش اصلاح شده نه تنها دارای خطای کمتری بوده، بلکه درک بهتری از بارش ارتفاعات استان دارد. اما نکته بسیار مهم اینکه با وجود برتری شبکه بارش TRMM در تخمین بارش ارتفاعات، باید دقت شبکه مورد نظر قبل از استفاده در تک تک ماه‌ها بررسی گردد و بنظر می‌رسد در بعضی از ماه‌ها شبکه TRMM حتی در صورت اصلاح، دقت لازم برای استفاده را نداشته و باید از آن صرف‌نظر نمود.

منابع

1. Akhavan R., and Kleinn C. 2009. On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock (case study: Beneshki plantation). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(2): 303-318 (In Persian).
2. Akhavan R., Karami Khorramabadi M., and Soosani J. 2012. Application of kriging and idw methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (case study: Kakareza region, Khorramabad). Iranian Journal of Forest, 3(4): 305-316 (In Persian).
3. Ghazanfari Moghadam, M., Alizadeh, A., Mousavi baygi, M., Farid-Hosseini, A., and Bannayan Aval, M. 2011. Comparison the persiann model with the interpolation method to estimate daily precipitation (a case study: North Khorasan). Water and Soil, 25(1): 207-215 (In Persian).
4. Ghaderpour E., Ben Abbes A., Rhif, M., Pagiataki S.D., and Farah I. R. 2020. Non-stationary and unequally spaced NDVI time series analyses by the lswave software. International Journal of Remote Sensing, 41: 6. 2374-2390 (In Persian).
5. Ghahreman B., Zangeneh Inanloo M.R., and Farid Hoseini A.R. 2017. An evaluation of the accordance of modified TRMM satellite precipitation data with observational data in the shapour basin in the Fars province, Watershed Management Research, 121 (15): 44 -57 (In Persian).
6. Guo H., Chen S.H., Bao A., Behrangi A., Hong Y., Ndayisaba F., Junjun, HU. and Stepanian P.M. 2016. Early assessment of integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China. Journal of Atmospheric Research, 176-177: 121-133.
7. Hong Y., Ren L.L., Gourley J.J., Huffman G.J., Chen X., Wang W., and Khan S. 2012. Assessment of evolving TRMM based multi-satellite real-time precipitation estimation

- methods and their impacts on hydrologic prediction in a high latitude basin. *Journal of Geophysics Research*, 117: 108-115.
8. Hosseini Moghari S.M., Iraqinejad SH. and Ebrahimi K. 2016. Evaluation of global rainfall bases and their application in drought monitoring-Case (Karkheh basin). *Journal of Agricultural Meteorology*, (2): 14-26 (In Persian).
 9. Huffman GJ., Adler RF., Bolvin DT., and Nelkin EJ. 2010. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (tmpa). *Satellite rainfall application for surface hydrology, Journal of Hydrometeorology*, 11(2): 3-22.
 10. Moazemi S., Golian S., Kavianpour M.R., and 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 (In Persian).
 11. Muller J.C.Y. 2014. Adapting to climate change and addressing drought learning from the red cross red crescent experiences in the horn of Africa. *Weather and Climate extremes*. 3: 31-36.
 12. Nadi M., and Baziyarpoor H. 2017. Evaluation and modification of aphrodite daily precipitation network in Golestan province, *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(4): 273-286 (In Persian).
 13. Nadi M., and Dastigerdi M. 2022. Preparation of Mazandaran climate map by extended de martonne climate classification method. National conference on environmental change using remote sensing technology and GIS, Sari, Iran (In Persian).
 14. Nadi M., Jamei M., Bazrafshan J., and Janatrostami, S. 2012. Evaluation of different methods for interpolation of mean monthly and annual precipitation data (case study: Khuzestan Province), *Physical Geography Research Quarterly*, 44(4): 117-130 (In Persian).
 15. Nadi M., Khalili A., Pourtahmasi K., and Bazrafshan J. 2013. Comparing the various interpolation techniques of climatic data for determining the most important factors affecting the trees growth in the elevated areas of chaharbagh, Gorgan, *Forest and Wood Products*, 66(1): 83-95 (In Persian).
 16. Sharifi E., Steinacker R., and Saghafian B. 2016. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary Results. *Remote Sensing*, 8(135): 68-79 (In Persian).
 17. TRMM Data Users Handbook, National Space Development of Japan, 2001, Landsat Technical guide, GLCF, University of Maryland.
 18. Yousefi Kebriya A., Nadi M., and Jamei M. 2022. Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (3): 49-70 (In Persian).
 19. Yousefi Kebriya A., Nadi M, and Jamei M. 2021. Investigation of statistical and geostatistical methods in preparing the rainfall map of Mazandaran province. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23): 212-223 (In Persian).
 20. Zabihi M., MostafaZadeh R., and Sharari M. 2017. Analysis of wet and dry spells intensity and duration using precipitation-based and evapotranspiration influenced indices, *Journal of Watershed Management Research*, 8(15): 125-136 (In Persian).

Investigating modification coefficients of TRMM rainfall network in Mazandaran province

Fatemeh Khorsandi ¹, Mehdi Nadi*², Abdollah Darzi-Naftchali³

DOI: 10.22103/nrswe.2023.20333.1014

Abstract

Precipitation is one of the basic elements of Hydrometeorological studies. Due to the limited number of rain-gauging stations and the lack of meteorological stations in highland area, the use of satellite rainfall products as an effective tool in predicting the regional spatial distribution of precipitation data has attracted the attention of researchers. But its disadvantage is the high estimation error of rainfall estimation, which requires accuracy evaluating before using. For this purpose, based on the rainfall data of 21 meteorological stations of Mazandaran province from 1998-2018, the performance of TRMM data and two interpolation methods of kriging and inverse distance weighting were investigated. The results showed that contrary to the proper correlation of TRMM data with observed data, this network has a high bias error. For example, in the case of annual rainfall data, the network bias error reached 70 mm, which is approximately 30% of the annual error. The modification coefficients of TRMM data were found between 0 and 2, that most of the coefficients were higher than one, which indicates the TRMM data in Mazandaran mostly has an underestimation error. The comparison of modified TRMM with the interpolation methods showed that using the modified network instead of interpolation methods in estimation of rainfall data reduces the mean square error of annual rainfall from 237 to 186 mm.

Keywords: Rainfall network modification, Kriging, Mazandaran, Inverse distance weighting

¹- M.Sc. graduated of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

^{2*}- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. (Corresponding author: m.nadi@sanru.ac.ir)

³ - Associated Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.