



ارزیابی بارش در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعهٔ

موردی: حوزهٔ مرزی غرب ایران)

غزاله مددی^{۱*}، سعید حمزه^۲، علی اکبر نوروزی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه ملایر

۲. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۱ تیر ۱۳۹۳

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۳

دسترسی اینترنتی: ۲۳ شهریور ۱۳۹۴

واژه‌های کلیدی:

اعتبارسنجی

بارش

سنجش از دور

ماهواره TRMM

حوزه مرزی غرب

چکیده

متغیر بارش نقش بسیار مهمی در مطالعات هیدرومتئورولوژی و کشاورزی دارد. بنابراین اندازه‌گیری و تخمین بارندگی در سطح منطقه‌ای به ما کمک می‌کند تا درک درستی از آب و چرخه انرژی بدست آوریم. با توجه به تغییرپذیری زیاد کمیت بارش در مکان و زمان، پایش آن در مقیاس‌های منطقه‌ای به وسیله ایستگاه‌های زمینی بسیار دشوار می‌باشد. از اینرو استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی بالا توصیه می‌شود. اما لازم است قبل از استفاده از این داده‌ها، دقت زمانی و مکانی آن‌ها ارزیابی شود. هدف از این تحقیق، ارزیابی قابلیت داده‌های ماهوارهٔ TRMM در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه در مقیاس مکانی 0.25×0.25 درجه، برای دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰ میلادی و مقایسه آن با داده‌های بارش در ۳۰ ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک و کلیماتولوژی) در حوزه مرزی غرب ایران بوده است. با بررسی تغییرات میزان بارش در دوره آماری فوق، سری زمانی و مکانی ضریب همبستگی پیرسون برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در مقیاس‌های ماهانه و سالانه وجود دارد. با استفاده از نتایج بدست آمده، ارتباط بین داده‌های ماهانه بارش حاصل از تصویر ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌ها با استفاده از دو روش رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی برای هر سال بررسی شد. همچنین با کمک آماره‌های اعتبارسنجی، اعتبار مدل‌های مورد استفاده تعیین گردید.

*ghazaal.madadi@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

بارش یک پارامتر بسیار مهم در چرخه هیدرولوژی است که زندگی بدون آن امکان پذیر نیست. تغییرات زمانی و مکانی زیاد این پارامتر باعث شده که آن را تبدیل به پارامتر بحث برانگیز در مدل‌های جوی- اقلیمی کند (۷، ۸ و ۱۷). نوسان‌های حدی بارش در طول زمان‌های مختلف بر مسائل اجتماعی و اقتصادی نیز تأثیرگذار بوده است. از این رو، پیش بارش در مقیاس زمانی کوتاه و مقیاس مکانی کوچک نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد (۴، ۶ و ۲۲). ایستگاه‌های هم‌دید (سینوپتیک) و باران‌سنجی موجود به خوبی در مناطق مختلف توزیع نشده‌اند و فاصله آن‌ها بر اساس قوانین خاصی نیست، هم‌چنین بر روی آب‌ها، دریاها و دریاچه‌ها شبکه هم‌دید و باران‌سنجی موجود نمی‌باشد به طوری که برای اندازه‌گیری باران در این مناطق که آب موجود است، از ترکیب داده‌های ساحلی و جزیره‌ای استفاده می‌شود (۱۹ و ۲۱). پیش بارش در این مناطق بر دقت اندازه‌گیری بر روی این منابع عظیم چرخه هیدرولوژی تأثیرگذار است، بنابراین تعداد و پراکندگی مکانی نامناسب ایستگاه‌های هم‌دید و باران‌سنجی و عدم پیش در فاصله‌های زمانی کوتاه از مشکل‌های همیشگی کاربران داده‌های بارش است، به علاوه در صورت موجود بودن آمار، به دلایل مختلفی از جمله حساسیت دستگاه، اشتباه کاربر، خرابی دستگاه و غیره آمارها از دقت خوبی برخوردار نیستند، بنابراین داده‌های رادار منابع مناسبی برای کالیبره کردن داده‌های باران‌سنجی می‌باشد، اما آن‌ها هم مشکلاتی از قبیل نیازمندی به تأسیسات گران قیمت، داشتن خطاهای معنی‌دار، ناهمگنی داده‌های جمع‌آوری شده و خطای بازتاب پذیری، به نرخ بارندگی و محدودیت پوشش مکانی دارند (۱۱ و ۱۴). در مقابل سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای با داشتن دیدی وسیع و متمرکز با جمع‌آوری، ذخیره و توزیع داده و همچنین داشتن قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا به پیش مناطق عاری از باران‌سنج می‌پردازد (۱۰ و ۱۲). کالیبراسیون داده‌های باران‌سنجی و رادار بسیار گران قیمت و هزینه‌بر می‌باشد و برای تعیین توزیع بارندگی جهانی مقرون به

صرفه نمی‌باشد. بنابراین تلاش‌هایی که برای استفاده از امواج (IR) Infrared و (VIS) Visible جهت تخمین بارندگی انجام شده است. امروزه ماهواره‌ها با بهره‌گیری از امواج میکروویو فعال و غیرفعال رادار و سنجنده‌های عمل‌گرا در نور مرئی و مادون قرمز، قادر به تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت برای کل دنیا می‌باشند. ماهواره (TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission) اولین ماهواره‌ای است که با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا اطلاعات ارزشمندی در زمینه بلایای طبیعی در اختیار کاربران قرار می‌دهد (۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۰).

اخیراً چند فعالیت برای برآورد بارندگی با استفاده از گروه‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی تصاویر ماهواره‌ای انجام گردید، در حوزه Xinjiang، استفاده از تصاویر TRMM در دو مقیاس روزانه و ماهانه، نشان داد که برای شبیه‌سازی پروسه‌های هیدرولوژیکی و آنالیز بیلان آب سودمند می‌باشد (۱۷). برونو کلیسوم و همکاران (۵) در مطالعه‌ای بر رودخانه Tapajo که بخشی از حوزه آمازون باشد، با استفاده از تصاویر بارش سه ساعته ماهواره TRMM و باران‌سنج‌ها (ایستگاه‌های زمینی)، در دو مقیاس روزانه و ماهانه برآورد بارش گرمسیری با هدف اندازه‌گیری رسوب بر روی اقیانوس‌ها و مناطق استوایی طی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۰۶ نشان دادند که برآوردهای ماهواره‌ای می‌تواند یک ابزاری برای تشخیص مکان‌های آسیب دیده و یا باران‌سنج‌های نابجا در مقیاس بزرگ باشد. جیان فانگ (۷) در مطالعه‌ای بر رودخانه xiao، که از نظر موقعیت توپوگرافی در یک منطقه کوهستانی قرار گرفته است، با استفاده از داده‌های بارش ماهواره TRMM بر اساس روابط بارش، توپوگرافی و پوشش گیاهی downscaling نمود و رگرسیون حاصل از تصاویر در مقابل داده‌های زمینی افزایش یافت، سپس از یک معادله رگرسیونی مربوط به شاخص بارش با متغیرهای توپوگرافی، با استفاده از روش کریجینگ، نقشه‌های بارندگی را در منطقه کوهستانی اسکاتلند ترسیم نمودند. جین منگ و همکاران (۱۶) در مطالعه‌ای بر رودخانه YELLOW واقع در همسایگی شمال فلات تبت برای ارزیابی کمی بارش

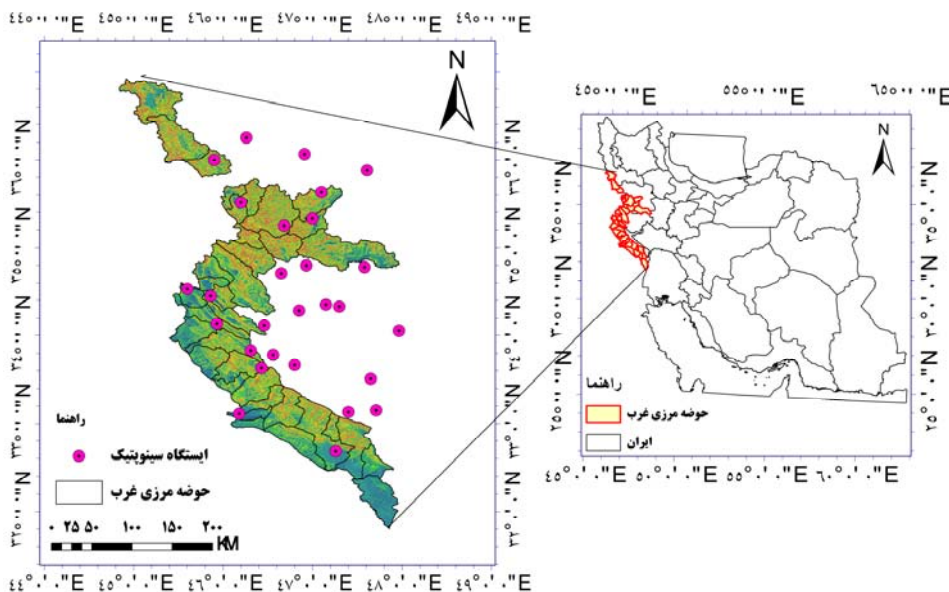
نقطه برآورد نمود، سپس با استفاده از پارامترهای اعتبارسنجی، اعتبار مدل را محاسبه نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه یکی از زیر حوزه‌های رتبه دو تماب به نام مرزی غرب می‌باشد که در استان‌های کردستان، ایلام، کرمانشاه و لرستان امتداد دارد. مساحت این حوزه ۳۹۵۳۷ کیلومتر مربع بوده و از شمال با آذربایجان غربی از شرق با همدان و بخشی از لرستان، از جنوب با خوزستان و از غرب با عراق همسایه است. در این محدوده، تنوع پوشش گیاهی شامل جنگل‌های بلوط تا مراتع و اراضی کشاورزی به چشم می‌خورد. این حوزه در طول ۴۶° تا ۴۸° طول شرقی و ۳۲° تا ۳۵° عرض شمالی قرار گرفته است. از نظر توپوگرافی، دارای تنوع ارتفاعی از ارتفاع ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی واقع در این محدوده را نشان می‌دهد.

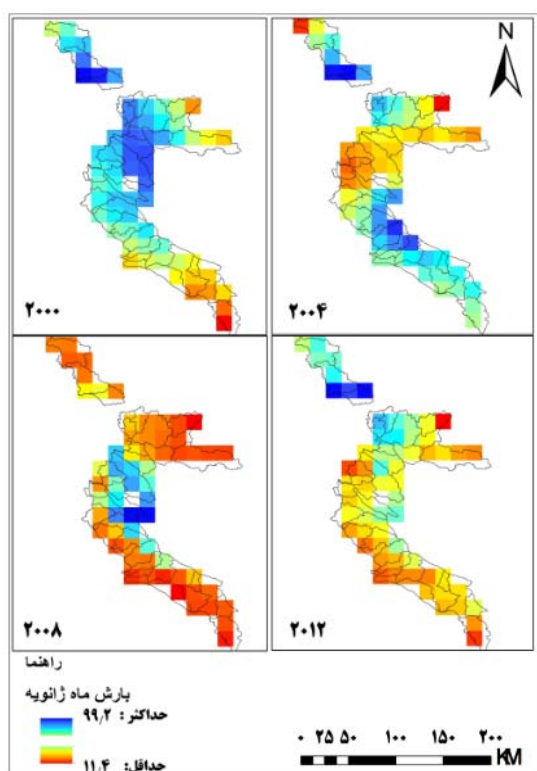
از سال ۱۹۹۸-۲۰۰۸ از محصول TRMM Multisatellite (Precipitation Analysis) TMPA-3B42(V6) استفاده کردند و بارش را با استفاده از این ماهواره با ارزیابی بارش‌های باران‌سنج مقایسه کردند. نتایج نشان داد، بارش TMPA، توزیع مکانی و زمانی بارش در مقیاس روزانه ارتباط کمتری دارد در حالی که داده‌های ماهانه TMPA دارای یک رابطه خطی بسیار خوب با داده‌های بارش حاصل از باران‌سنج می‌باشد، همچنین این داده‌ها برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد. متکان و همکاران (۱) قابلیت الگوریتم ترکیبی همسان‌سازی احتمال داده‌های TRMM و Meteosat در تخمین بارندگی شدید را در استان گلستان، مورد بررسی قرار دادند، از این رو برای پیش‌بینی بارندگی از روش ترکیبی همسان‌سازی احتمالات (PMW) و برای پایش سیلاب از مدل همسان‌سازی احتمالات (GEOSFM) استفاده گردید. نتایج نشان داد که بین تخمین ماهواره و مشاهدات زمینی همبستگی ۰/۵۳ درصد وجود دارد. هدف از انجام این مطالعه، برآورد میزان بارش ماهانه مناطق فاقد ایستگاه با استفاده از روش‌های خطی و غیرخطی می‌باشد که با کمک آن و رابطه حاصل، برای هر نقطه بارش مشاهده‌ای، می‌توان مقدار بارش حاصل از تصویر را در همان



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه مرزی غرب و ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی

ایستگاه‌های باران‌سنجی

صحت‌سنجی به صورت خطی و غیرخطی مورد تحلیل قرار گرفت، همچنین به منظور بررسی اعتبار روش به کار برده شده، سه پارامتر MAE، MBE، RMSE، محاسبه گردید، سپس به کمک این رابطه، ارتباط بین داده‌های ایستگاه و داده‌های ماهواره‌ای TRMM مورد ارزیابی قرار گرفت و به صورت مدلی ارائه گردید.



شکل ۲. تصاویر بارش ماهانه TRMM در ماه ژانویه طی سال‌های فوق بر حسب میلی‌متر

نمودار سری‌های زمانی

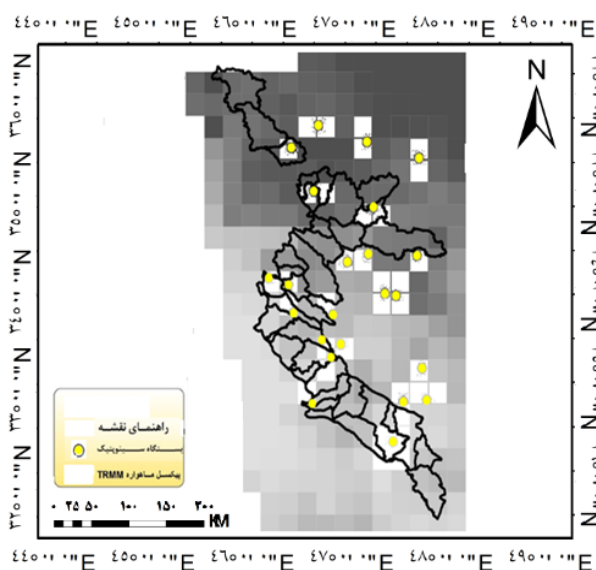
نخستین مرحله در تجزیه و تحلیل مجموعه‌ای از داده‌ها که در گذر زمان ثبت شده است، رسم نمودار سری‌های زمانی مربوط می‌باشد. این نمودارها خواص یک سری را آشکار و مقایسه مقادیر واقعی و تخمین زده شده را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین از نمودار سری‌های زمانی داده‌های مشاهده شده و ماهواره‌ای برای بررسی اولیه چگونگی تغییرات هم‌زمان این داده‌ها استفاده شد.

در این پژوهش، از داده‌های بارش روزانه 3B42 و تجمعی ماهانه 3B43 ماهواره TRMM (با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه جغرافیایی) در دوره ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۱۲ واقع در محدوده حوزه مرزی غرب، استفاده شدند، فرمت تصاویر دریافتی NCDF می‌باشد که در محیط نرم‌افزار Arc GIS[®] 10.1 قابلیت تبدیل به رستر را دارد (شکل ۲). داده‌های بارش روزانه و ماهانه، سال ۲۰۱۲-۲۰۰۰ از ۳۰ ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک و کلیماتولوژی) که توزیع آن در شکل ۱ نشان داده شده است، از سازمان هواشناسی اخذ گردید. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تبدیل به نقشه‌های پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی شدند که مقادیر بارش به صورت فیلدهای اطلاعاتی از ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۱۲ به صورت داده‌های توصیفی به این نقشه‌ها پیوست شدند. با استفاده از روش‌های آماری در داخل ایستگاه‌های فاقد آمار، روش‌های نرمال‌سازی و تولید داده به همراه حذف داده‌های پرت انجام گردید. پس از کنترل کیفیت داده‌ها و اخذ داده‌ها در سطح ۲ با پیش پردازش‌های لازم، تصاویر روزهای متناظر با تاریخ اخذ داده ایستگاه‌ها، شناسایی و با کمک ابزار مکانی Spatial Analysis در محیط نرم‌افزار Arc GIS[®] 10.1، اطلاعات بارش از روی تصاویر TRMM روزانه و ماهانه متناظر با ایستگاه استخراج گردید، همچنین سری‌های زمانی روزانه و ماهانه (ماه‌های با بارش و کل ماه‌ها) و سالانه ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای به طور جداگانه ساخته شد. در این تحقیق ماه اکتبر و می به عنوان ماه‌های آغاز و پایان بارش در نظر گرفته شد. از ماه اکتبر تا می نیز به عنوان ماه‌های با بارش (ماه‌های تر) در نظر گرفته شد. پردازش‌های اولیه بر روی داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی، نشان داد که در مقیاس روزانه بین داده‌های بارش ارتباط معناداری برقرار نمی‌شود و این رابطه بین دو داده بارش، در مقیاس ماهانه برقرار می‌باشد، علاوه بر بررسی همبستگی بین ایستگاه‌ها، این مقادیر بارش ابتدا ارزیابی دقت گردید و پس از به دست آمدن اعتبار این داده‌ها در ایستگاه‌ها، با استفاده از روابط،

سری‌های مکانی

آن‌ها تهیه گردید. این قبیل بررسی‌ها به منظور تشخیص مناطق قوت و ضعف تصاویر ماهواره‌ای در برآورد بارش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به منظور بررسی ارتباط بین مقادیر مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه، سری مکانی



شکل ۳. موقعیت پیکسل‌ها و ایستگاه‌های زمینی مورد استفاده

ضریب همبستگی پیرسون

از روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون (r_{xy}) برای مقایسه بارش زمینی و ماهواره‌ای استفاده گردید. ضریب همبستگی پیرسون از تقسیم کواریانس نمونه‌ای به حاصل ضرب انحراف معیار نمونه‌ای دو متغیر X و Y از رابطه ۱ تعیین گردید.

$$r_{xy} = S_{xy} / S_x S_y \quad [1]$$

در این رابطه؛ S_x و S_y به ترتیب کواریانس بین X و Y ، انحراف معیار X و انحراف معیار Y می‌باشند. ضریب همبستگی پیرسون برای سه مقیاس، روزانه، ماهانه و سالانه استفاده شد که در مقیاس‌های ماهانه، ضریب همبستگی علاوه بر کل دوره آماری برای ماه‌های پربارش نیز محاسبه گردید.

صحت سنجی

برای ارزیابی دقت و موفقیت‌نهایی، عملیات صحت‌سنجی از سال ۲۰۱۲-۲۰۰۰، با استفاده از ۳۱ داده موجود، تعداد ۲۲ ایستگاه به عنوان آموزش (TRAIN) و ۹ ایستگاه به عنوان داده آزمون (TEST) تعیین گردید و عملیات صحت‌سنجی در دو بخش، با استفاده از کل ماه‌ها و ماه‌های تر و خشک انجام گردید.

اعتبارسنجی

با توجه به محدودیت ابزار اندازه‌گیری بارش و پیچیدگی زمین، روش‌های درون‌یابی مانند کریجینگ در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی می‌باشد با خطا روبرو بوده، به همین منظور برای بررسی میزان صحت مدل در برآورد و اعتبارسنجی با استفاده از پارامترهای آماری، میزان خطای پیش‌بینی، مشخص و به کار برده شد (۹ و ۱۳). به منظور نشان دادن اعتبار داده‌های استفاده شده از پارامترهای اعتبارسنجی استفاده

گردید.

نتایج و بحث

نمودارهای سری زمانی

نمودارهای سری زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در مقیاس روزانه و ماهانه و سالانه به طور نمونه در ایستگاه همدیدی دهلران به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در روند روزانه بارش دیده می‌شود، همبستگی کمی میان مقادیر بارش روزانه مشاهده‌ای و تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد، بنابراین جایگزینی تصاویر، به جای داده‌های ایستگاه‌های زمینی بارش توصیه نمی‌گردد، هم‌چنین روند تغییرات بارش در مقیاس ماهانه و سالانه ملاحظه می‌گردد که نوسان‌های ماهانه و سالانه بارش ایستگاهی و ماهواره‌ای دارای روند مشابه می‌باشد. با توجه به شکل‌های ۴، ۵ و ۶ می‌توان گفت که رفتار هر دو سری زمانی در مقیاس‌های سالانه و ماهانه بسیار نزدیک می‌باشند و با افزایش (کاهش) بارش ایستگاهی، بارش ماهواره‌ای نیز افزایش (کاهش) می‌یابد. نکته دیگری که از نمودار قابل درک است این است که در اغلب سال‌ها ماهواره مقدار بارش را بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده است.

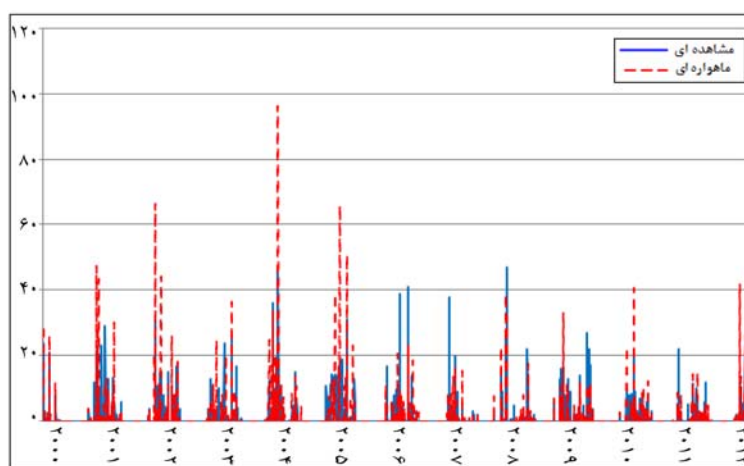
$$RMSE=[1/n\sum(y_i-y)^2]^{0.5} \quad [۲]$$

$$MBE=1/n\sum(y_i-y) \quad [۳]$$

$$MAE=1/n\sum |(y_i-y)| \quad [۴]$$

$$BIAS=\sum(y_i)/\sum(y) \quad [۵]$$

در این رابطه‌ها؛ N تعداد داده‌های بارش، Y داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی، Y_i داده‌های بارش ماهانه ماهواره TRMM، RMSE میانگین مربعات خطا و MBE میانگین خطای اریبی و MAE میانگین خطای مطلق و BIAS می‌باشد. باتوجه به نتایج به دست آمده از رابطه ۲، نشان داده شده است که همواره باید میزان پارامتر RMSE از میانگین داده‌های مشاهده‌ای کمتر بوده، با استفاده از رابطه ۳، پارامتر MBE، هر چه میزان این پارامتر کمتر (منفی) باشد، به معنی بیش برآوردی مدل و هر چه مقدار این شاخص بیشتر (مثبت) باشد، به معنی کم برآوردی مدل نیز می‌باشد. هم‌چنین با استفاده از رابطه ۴، پارامتر MAE، میزان خطا و اختلاف مقادیر بارش از میزان میانگین به دست می‌آید و در نهایت با استفاده از رابطه ۵ روشی دیگر جهت برآورد میزان خطای برآوردی ماهواره از مقادیر واقعی (مشاهده‌ای) می‌باشد (۳).

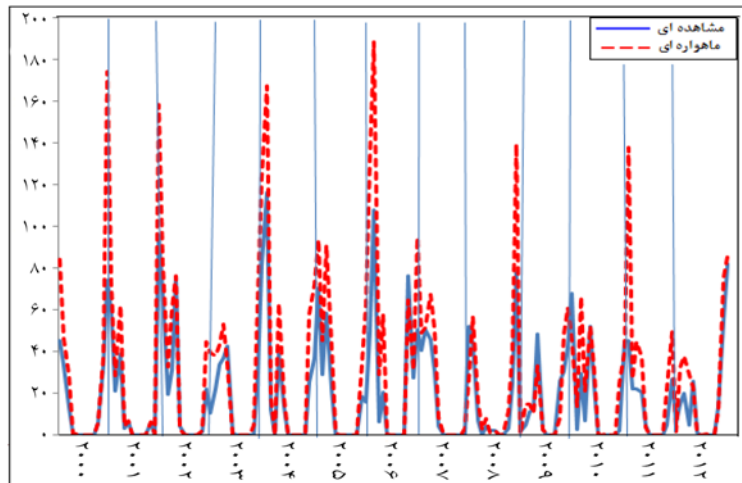


شکل ۴. سری زمانی داده‌های روزانه تصاویر ماهواره‌ای TRMM و داده‌های زمینی در ایستگاه دهلران

طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲

میزان بارش در این محدوده، در این مقیاس از باران‌های استوایی کمتر بوده، این ماهواره در برآورد بارش روزانه دقت کافی را نداشته است.

شکل ۴ روند تغییرات بارش روزانه را در محدوده حوزه مرزی غرب نمایش می‌دهد، با توجه به نتایج حاصله در نیمه اول دوره آماری مورد بررسی میزان ریزش بارش بسیار بیشتر از نیمه دوم دوره آماری مورد بررسی بوده اما به دلیل اینکه



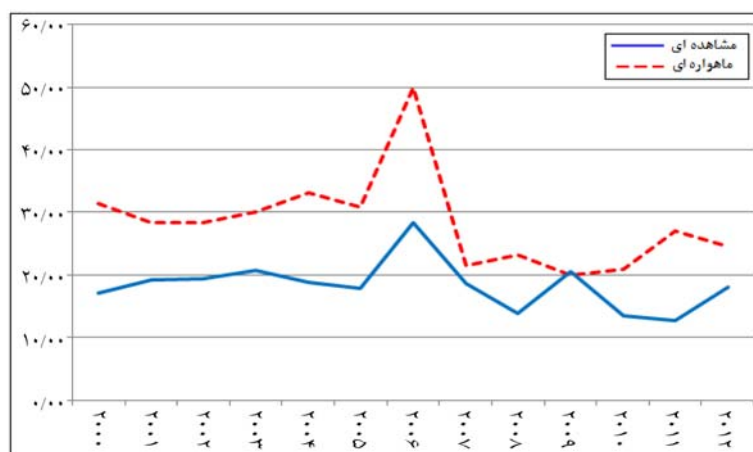
شکل ۵. سری زمانی داده‌های ماهانه تصاویر ماهواره‌ای TRMM و داده‌های زمینی در ایستگاه دهلران طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰

بارش در این محدوده مربوط به سال ۲۰۰۸ می‌باشد.

ضرایب همبستگی پیرسون

نتایج زیر همبستگی ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس‌های روزانه و ماهانه را طی دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰ نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ (A) نشان داده شده، ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های زمینی و تصاویر بارش در مقیاس روزانه پایین می‌باشد، بنابراین در این مقیاس، استفاده از این تصاویر در مدل‌سازی که بارش به عنوان پارامتر ورودی مهم در آن محسوب شود، مناسب نمی‌باشد، همچنین با توجه به شکل ۷ (B)، ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های زمینی و تصاویر بارش در مقیاس ماهانه بسیار خوب می‌باشد، بنابراین در این مقیاس، استفاده از این تصاویر در مدل‌سازی که بارش ماهانه به عنوان پارامتر ورودی مهم در آن محسوب شود، مناسب بوده، همچنین با جایگزین نمودن مقادیر ماهواره‌ای می‌توان در مناطقی که امکان قرار دادن باران‌سنج مشکل و با هزینه کمتر از این داده‌ها استفاده نمود.

روند تغییرات بارش ماهانه در محدوده حوزه مرزی غرب در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصله همبستگی بسیار نزدیکی در میزان بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در این مقیاس دیده می‌شود، به طور کلی در سال‌هایی با بارش متوسط، مانند سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶، بیشترین میزان بارش مربوط به ماه‌های آذر و دی بوده و بعد از آن میزان ارتفاع بارش نیز کمتر می‌شود، به طور کلی در (ماه‌های آذر و دی) سال ۲۰۰۶ بیشترین میزان ارتفاع بارش در این دوره مطالعه دیده شده است. این ماهواره در برآورد ارتفاع بارش کمی بالاتر از مقدار واقعی خود محاسبه می‌کند به گونه‌ای که این اختلاف در نمودار فوق موجود می‌باشد. شکل ۶ روند تغییرات میانگین بارش در ایستگاه دهلران را طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ در مقیاس سالانه در محدوده حوزه مرزی غرب نمایش می‌دهد، با استفاده از نتایج به دست آمده مقادیر بارش حاصل از ماهواره بیش از مقدار بارش مشاهده‌ای بوده، همچنین نمودار فوق نشان می‌دهد حداکثر ارتفاع بارش در سال ۲۰۰۶ و کمترین ارتفاع



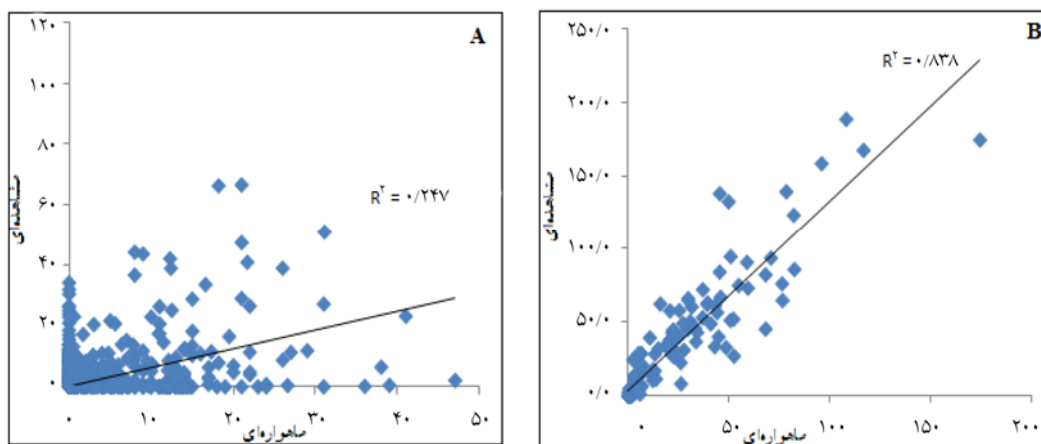
شکل ۶. سری زمانی داده‌های سالانه تصاویر ماهواره‌ای TRMM و داده‌های زمینی در ایستگاه دهلران طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰

نشان داده شده، ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های زمینی و تصاویر بارش در مقیاس روزانه پایین می‌باشد، بنابراین در این مقیاس، استفاده از این تصاویر در مدل‌سازی که بارش به عنوان پارامتر ورودی مهم در آن محسوب شود، مناسب نمی‌باشد، هم‌چنین با توجه به شکل ۷ (B)، ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های زمینی و تصاویر بارش در مقیاس ماهانه بسیار خوب می‌باشد، بنابراین در این مقیاس، استفاده از این تصاویر در مدل‌سازی که بارش ماهانه به عنوان پارامتر ورودی مهم در آن محسوب شود، مناسب بوده، هم‌چنین با جایگزین نمودن مقادیر ماهواره‌ای می‌توان در مناطقی که امکان قرار دادن باران‌سنج مشکل و با هزینه کمتر از این داده‌ها استفاده نمود.

شکل ۶ روند تغییرات میانگین بارش در ایستگاه دهلران را طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ در مقیاس سالانه در محدوده حوزه مرزی غرب نمایش می‌دهد، با استفاده از نتایج به دست آمده مقادیر بارش حاصل از ماهواره بیش از مقدار بارش مشاهده‌ای بوده، هم‌چنین نمودار فوق نشان می‌دهد حداکثر ارتفاع بارش در سال ۲۰۰۶ و کمترین ارتفاع بارش در این محدوده مربوط به سال ۲۰۰۸ می‌باشد.

ضرایب همبستگی پیرسون

نتایج زیر همبستگی ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس‌های روزانه و ماهانه را طی دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰ نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ (A)



شکل ۷. همبستگی بین داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای، (A) مقیاس روزانه، (B) مقیاس ماهانه.

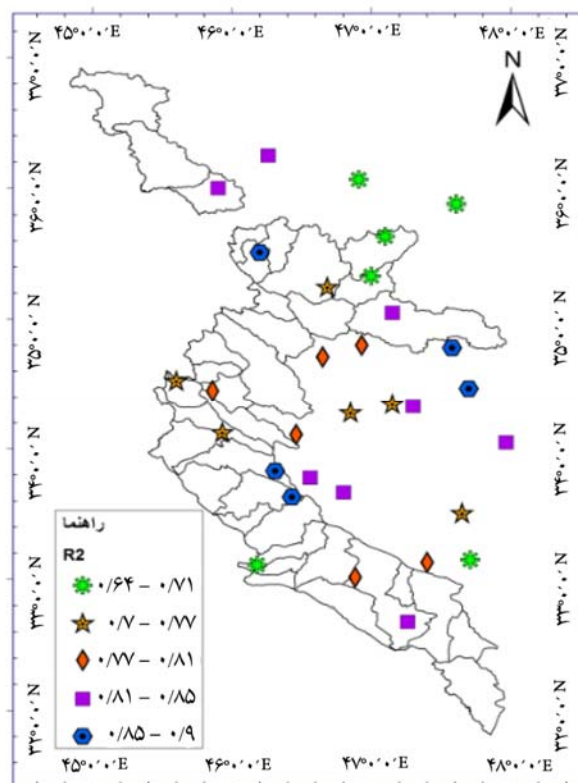
می‌دهد، هرچه در محدوده مورد مطالعه از شرق به غرب و از شمال به سمت جنوب حرکت کنیم، میزان خطای بارش تصویر، نسبت به میزان بارش مشاهده‌ای (واقعی) کمتر می‌گردد. هم‌چنین وجود همبستگی بالا بین مقادیر مشاهده‌ای و ماهواره‌ای، دلیل اعتبار داده‌های ماهواره‌ای نمی‌باشد، بنابراین لازم است ابتدا داده‌های ماهواره‌ای در هر مکان، ارزیابی دقت شوند و پس از تأیید دقت استفاده از این داده‌ها، عملیات صحت‌سنجی و اعتبارسنجی برای محدوده مورد مطالعه انجام گردد.

شکل ۹ دقت ماهواره‌ای TRMM در برآورد مقدار بارش در ایستگاه‌ها، با استفاده از آماره‌هایی هم‌چون (RMSE و BIAS) میزان خطای پیش‌بینی در هر ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده همواره مقدار RMSE، از میانگین بارش ماهانه کمتر و مدل دارای اعتبار می‌باشد. هر چه میزان این پارامتر کمتر باشد، اعتبار مقادیر حاصل از تصاویر به جای داده‌های ماهانه زمینی بیشتر می‌باشد.

شاخص BIAS به منظور بررسی میزان خطای مقادیر ماهواره‌ای نسبت به داده‌های مشاهده‌ای به کار برده می‌شود، هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد این خطا و اختلاف کمتر می‌گردد، بنابراین هر چه این شاخص از یک بیشتر باشد به منظور بیش برآوردی مدل و مقادیر کمتر از یک به معنی کم برآوردی مدل می‌باشد، با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، در ایستگاه‌هایی که میزان RMSE کم بوده، شاخص BIAS نیز نزدیک به یک بوده که این نشان می‌دهد مشاهدات ماهواره‌ای در برآورد میزان بارش خوب بوده و در نواحی که میزان RMSE بیشتر شده، شاخص BIAS بالاتر از یک بوده و نشان می‌دهد مشاهدات ماهواره‌ای مقایره بارش را از مشاهدات زمینی بیشتر برآورد می‌نماید.

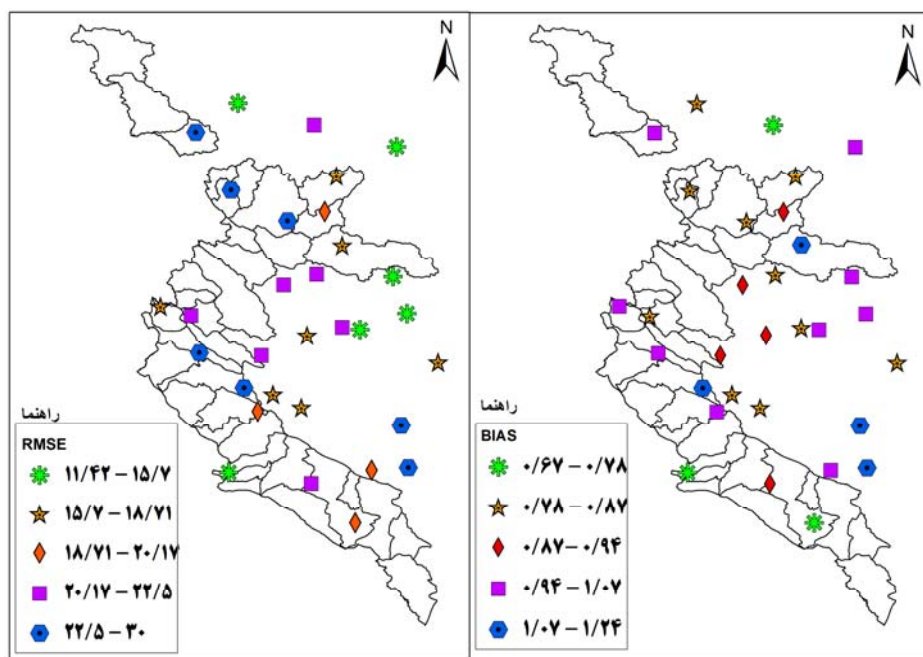
تحلیل مکانی و ارزیابی دقت داده‌های بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی

با توجه به شکل ۵ سری زمانی بارش در مقیاس ماهانه، دارای روند بسیار نزدیکی با داده‌های زمینی می‌باشد، بدین منظور تغییرات مکانی همبستگی بارش در تمامی ایستگاه‌های حوزه مرزی غرب، به تفکیک، طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰، در شکل ۸ مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۸. تغییرات مکانی ضریب همبستگی داده‌های ماهانه بارش در محدوده حوزه مرزی غرب طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰

با توجه به شکل ۸، ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده بارش ایستگاه‌ها و مقادیر ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه بین ۰/۶۴-۰/۹ می‌باشد و همگی در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد، هم‌چنین نتایج همبستگی مکانی نشان



شکل ۹. نتایج آماره‌های اعتبارسنجی ایستگاه‌های حوزه مرزی غرب طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲

آزمون، طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲ با دو روش خطی و غیرخطی انجام شد، همچنین نتایج همبستگی و روابط بین داده‌های آموزش در جدول ۱ مشخص گردید.

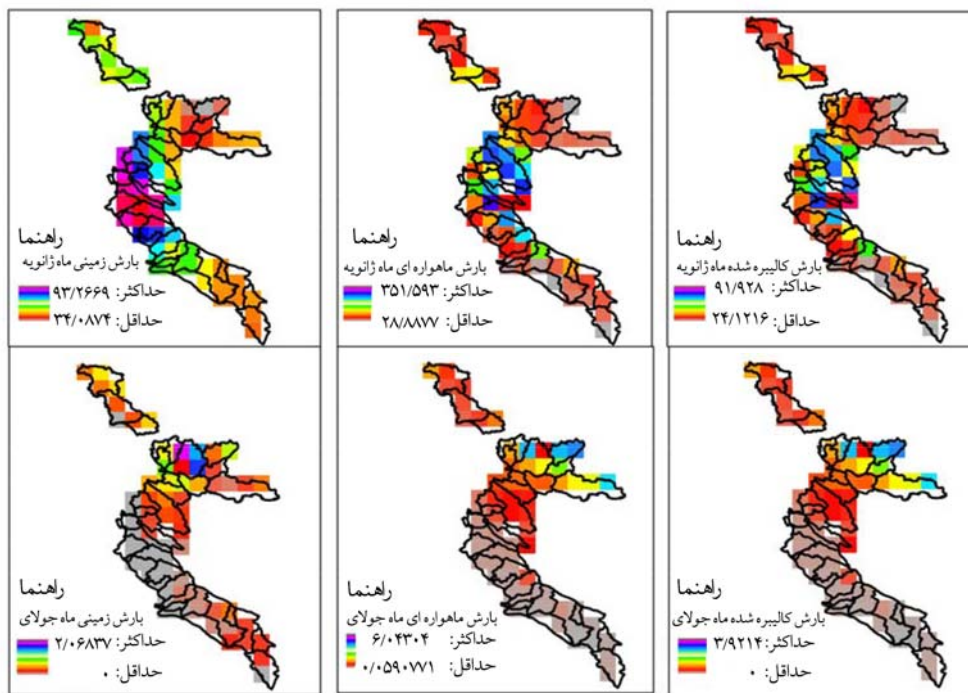
صحت‌سنجی با استفاده از کل داده‌های ماهانه بارش عملیات صحت‌سنجی برای کلیه ماه‌های سال در محدوده حوزه مرزی غرب، پس از مشخص شدن داده‌های آموزش و

جدول ۱. همبستگی و ارتباط بین کل داده‌های آموزشی ماهانه با استفاده از دو روش خطی و غیرخطی

| سال آماری | R^2 (خطی) | $Y=TRMM \times A + B$ | R^2 (غیرخطی) | $Y=(TRMM)^2 \times A + B \times (TRMM) + C$ |
|-----------|-------------|-------------------------------|----------------|---|
| ۲۰۰۰ | ۰/۹۱ | $Y=TRMM \times ۰/۶۶ + ۳/۰۵$ | ۰/۸۶ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۱ | ۰/۸۲ | $Y=TRMM \times ۰/۶۲ + ۰/۹$ | ۰/۸۲ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۲ | ۰/۹۴ | $Y=TRMM \times ۰/۸۶ - ۱/۱$ | ۰/۸۸ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۳ | ۰/۹۳ | $Y=TRMM \times ۰/۸۴ + ۰/۰۶$ | ۰/۸۷ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۴ | ۰/۹ | $Y=TRMM \times ۰/۸۵ + ۰/۴۲$ | ۰/۸۱ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۵ | ۰/۹۱ | $Y=TRMM \times ۰/۷۸ - ۰/۴۲$ | ۰/۸۳ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۶ | ۰/۶۸ | $Y=TRMM \times ۰/۸۱ + ۶/۳۳$ | ۰/۷۰ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۷ | ۰/۷۳ | $Y=TRMM \times ۰/۸۴ + ۲/۴۶$ | ۰/۷۴ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۸ | ۰/۶۵ | $Y=TRMM \times ۰/۷۶ + ۳/۵۴$ | ۰/۶۸ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۹ | ۰/۷۶ | $Y=TRMM \times ۱/۰.۳۳ + ۱/۳۱$ | ۰/۷۶ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۱۰ | ۰/۸۵ | $Y=TRMM \times ۰/۷۲ + ۶/۸۳$ | ۰/۷۴ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۱۱ | ۰/۶۷ | $Y=TRMM \times ۰/۸۴ + ۶/۲۴$ | ۰/۷۱ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |
| ۲۰۱۲ | ۰/۷۶ | $Y=TRMM \times ۱/۰.۴ + ۰/۱$ | ۰/۷۶ | $Y=-۰/۰.۳۳X^2 + ۱/۲۶X + ۰/۳۲$ |

تصاویر ماهواره‌ای ماهانه TRMM_3B43، مقدار بارش حاصله پس از اعمال کالیبراسیون به دست می‌آید، که نمونه‌ای از این تصاویر به طور خلاصه، تهیه شده‌اند که در شکل زیر نشان داده شده است. شکل ۱۰ مقادیر بارش حاصل از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای TRMM برای داده‌های آموزشی، طی دو ماه سرد و گرم، در سال ۲۰۰۸ را نمایش می‌دهد.

با توجه به جدول ۱، همبستگی حاصل از روش خطی و غیرخطی بسیار خوب بوده، اما در برخی سال‌ها که میزان بارش دارای روند افزایشی یا کاهشی مرتبی می‌باشد، روش خطی دارای همبستگی بیشتر و در برخی با روند بارش غیرمرتب، روش غیرخطی بهتر جواب می‌دهد. همچنین پس از استخراج روابط حاصله از داده‌های آموزش، در سال‌های مورد نظر، به



شکل ۱۰. مقایسه تغییرات مقدار بارش حاصل از تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از اعمال کالیبراسیون داده‌های آموزشی با مقادیر واقعی زمینی در سال ۲۰۰۸

صحت‌سنجی ماه‌های پربارش و کم‌بارش، با استفاده از داده‌های ماهانه

در این پژوهش عملیات صحت‌سنجی برای کلیه ماه‌های سال در محدوده حوزه مرزی غرب طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲ انجام شد، ولی به دلیل وجود داده‌های بدون بارش در ماه‌های تابستان روابط بین فرمول‌های داده‌های بارش کمی با خطا روبرو گردید، بنابراین در نظر گرفته شد که عملیات صحت‌سنجی صرفاً برای ماه‌هایی که در آن بارش رخ می‌دهد، و برای ماه‌های فاقد بارش به دو صورت مجزا انجام گردید. این کار موجب می‌شود عملیات صحت‌سنجی بارش با استفاده

همچنین نتایج حاصله نشان می‌دهد در ژانویه و جولای سال ۲۰۰۸ حداکثر میزان بارش برآوردی از ماهواره در محدوده مورد مطالعه، به ترتیب ۳۵۱ و ۶ میلی‌متر بوده و در حالی که مقادیر واقعی بارش در این ماه ۹۳ و ۲ میلی‌متر می‌باشد، لذا می‌توان نتیجه گرفت میزان بارش برآوردی توسط ماهواره کمی بیشتر بوده است، بنابراین با اعمال روابط حاصل بین این دو منبع داده می‌توان با استفاده از داده‌های واقعی بارش میزان بیش‌برآوردی بارش حاصل از ماهواره را اصلاح نمود.

محدوده مورد مطالعه می‌توان مقدار بارش حاصل از تصاویر ماهواره‌ای را استخراج نمود و مطابق روابط حاصل با استفاده از شرایط آب و هوایی برای این منطقه مقدار بارش را به دست آورد.

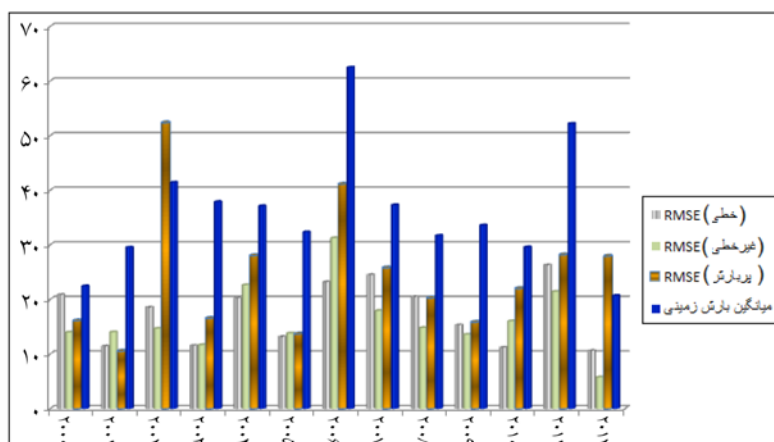
از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بیشتری انجام گردید، نتایج همبستگی بین داده‌های آموزش با استفاده از روش خطی در دو دوره پربارش و کم‌بارش در جدول ۲ آورده شده است. مطابق جدول ۲، صحت‌سنجی در دو قسمت بر روی داده‌های هر سال انجام گردید، با استفاده از روابط استخراج گردیده، برای

جدول ۲. همبستگی بین داده‌های آموزش با استفاده از روش خطی در دو دوره پربارش و کم‌بارش

| سال آماری | R^2 (پربارش) | $Y=TRMM \times A+B$ | R^2 (کم بارش) | $Y=TRMM \times A+B$ |
|-----------|----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| ۲۰۰۰ | ۰/۷۶ | $Y=TRMM \times ۰/۶۳+۶/۳۸$ | ۰/۷۱ | $Y=TRMM \times ۱/۱+۰/۰۷۸$ |
| ۲۰۰۱ | ۰/۷۵ | $Y=TRMM \times ۰/۶۲+۱/۳۷$ | ۰/۶۱ | $Y=TRMM \times ۰/۶+۰/۳۶$ |
| ۲۰۰۲ | ۰/۹ | $Y=TRMM \times ۰/۸۶-۲/۱$ | ۰/۹۴ | $Y=TRMM \times ۰/۸۵-۰/۱۳$ |
| ۲۰۰۳ | ۰/۸۸ | $Y=TRMM \times ۰/۸۴+۰/۰۶$ | ۰/۸۶ | $Y=TRMM \times ۰/۴-۰/۰۱$ |
| ۲۰۰۴ | ۰/۸۶ | $Y=TRMM \times ۰/۸۵+۱/۳۸$ | ۰/۷۹ | $Y=TRMM \times ۰/۶۱-۰/۰۶$ |
| ۲۰۰۵ | ۰/۸۷ | $Y=TRMM \times ۰/۷۸-۱/۱۱$ | ۰/۸۵ | $Y=TRMM \times ۱/۴۳-۰/۰۶۲$ |
| ۲۰۰۶ | ۰/۶۸ | $Y=TRMM \times ۰/۷۶+۱۴/۴۸$ | ۰/۵۰ | $Y=TRMM \times ۰/۴-۰/۰۶$ |
| ۲۰۰۷ | ۰/۷۳ | $Y=TRMM \times ۰/۹۳+۰/۱۱$ | ۰/۶۴ | $Y=TRMM - ۰/۳۲$ |
| ۲۰۰۸ | ۰/۶۵ | $Y=TRMM \times ۰/۷۸+۳/۹۴$ | ۰/۸۶ | $Y=TRMM \times ۰/۶۶-۰/۰۶۷$ |
| ۲۰۰۹ | ۰/۷۶ | $Y=TRMM \times ۰/۹۴+۴/۴۳$ | ۰/۷۴ | $Y=TRMM \times ۱/۳۰-۰/۰۹۷$ |
| ۲۰۱۰ | ۰/۷۲ | $Y=TRMM \times ۰/۹۸+۵/۴۷$ | ۰/۶۹ | $Y=TRMM \times ۰/۵۴-۰/۰۹۷$ |
| ۲۰۱۱ | ۰/۶۷ | $Y=TRMM \times ۰/۸۹+۸/۳۹$ | ۰/۵۸ | $Y=TRMM \times ۰/۵۲-۰/۰۱۸$ |
| ۲۰۱۲ | ۰/۷۶ | $Y=TRMM \times ۱/۰۴+۲/۵$ | ۰/۶ | $Y=TRMM \times ۰/۹۲-۰/۰۶۲$ |

برآورد میزان خطای پیش‌بینی شده، در دو مقیاس صحت‌سنجی شده در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نمایش داده شده است.

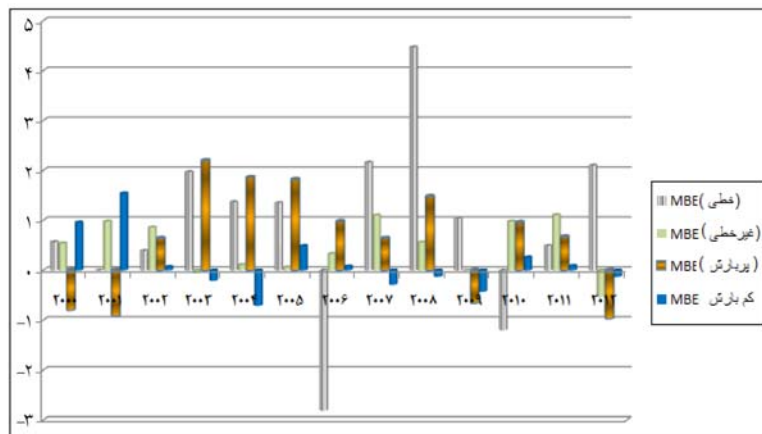
اعتبارسنجی سالانه با استفاده از داده‌های ماهانه بارش در این پژوهش به منظور بررسی میزان اعتبار مدل، پارامترهای آماری با استفاده از داده‌های ماهانه بارش جهت



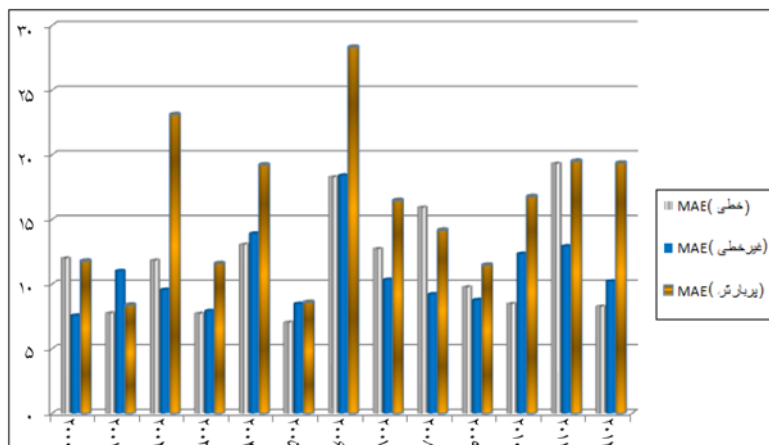
شکل ۱۱. تغییرات شاخص RMSE با استفاده از روش‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰

هم چنین به منظور برآورد خطای کمتر، این اعتبارسنجی در دو مرحله ماه‌های پربارش و کم‌بارش انجام گردید که هم‌چنین نتایج حاصل از اعتبارسنجی ماه‌های پربارش، از روش خطی بهتر می‌باشد. پارامتر MAE میزان خطای مطلق مقادیر بارش در هر سال را نسبت به مقدار میانگین بارش در آن سال با دو روش خطی و غیرخطی و برای کلیه داده‌ها و برای ماه‌های پربارش نمایش می‌دهد، نتایج حاصله از این پارامتر نشان می‌دهد، در روش خطی این اختلاف در سال ۲۰۱۱ بیشتر بوده و در روش غیرخطی و با در نظر گرفتن ماه‌های پربارش این اختلاف در سال ۲۰۰۶ از همه بیشتر بوده و به مقدار ۲۸ نیز رسیده است، و این پارامتر با هر سه روش به کار برده در سال ۲۰۰۵ دارای کمترین خطا نیز بوده است (شکل ۱۳).

با توجه به نتایج به دست آمده همواره مقدار RMSE، در مدل‌های مورد استفاده از میانگین بارش ماهانه کمتر و مدل دارای اعتبار می‌باشد. با توجه به این هر چه میزان این پارامتر کمتر باشد، اعتبار مقادیر حاصل از تصاویر به جای داده‌های ماهانه زمینی بیشتر می‌باشد. شاخص MBE به منظور بررسی اعتبار داده‌های بارش حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی بارش استفاده گردید، که مقادیر مثبت به دست آمده از این شاخص به معنی کم برآوردی مدل و مقادیر منفی به معنی بیش برآوردی مدل می‌باشد (شکل ۱۲). نتایج حاصل از شکل ۱۲ در اعتبارسنجی کل داده‌ها به دو روش خطی و غیرخطی و ماه‌های پربارش و کم‌بارش، نشان داد که مقادیر بیش برآوردی و کم برآوردی در مدل غیرخطی کمتر بوده و برای استفاده از داده‌های بارش این منطقه، روش غیرخطی بهتر جواب می‌دهد،



شکل ۱۲. تغییرات شاخص MBE با استفاده از روش‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲



شکل ۱۳. تغییرات شاخص MAE با استفاده از روش‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲

نتیجه گیری

پارامتر بارش ورودی اغلب مدل‌های اقلیمی، جوی و مدل‌های مربوط به چرخه هیدرولوژیک است. در صورت نیاز به مطالعه در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی دستیابی به یک بانک اطلاعاتی وسیع و همگن از ضروریات است. در تحقیق حاضر دقت داده‌های بارش ماهواره TRMM در حوزه مرزی غرب با داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین تحلیل مکانی مقادیر ایستگاه‌ها و ارزیابی دقت تصاویر ماهواره‌ای در جایگزین نمودن داده‌های مشاهده‌ای، نشان داد که ارتباط خوب و معناداری بین این دو منبع داده بارش وجود دارد، هم‌چنین پس از بررسی دقت داده‌های ماهواره‌ای، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی با آماره‌های اعتبارسنجی انجام شد و این داده‌ها می‌تواند در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. متکان، ع. ا.، ع. ر. شکیب، د. عاشورلو، ج. بداق جمالی و و. محمدیان. ۱۳۸۸. قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو غیرفعال سنجش ازدور و تخمین بارندگی و پایش سیلاب. فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران، ۱(۲): ۳۱-۴۴.
2. Adler RF, Kidd C, Petty G, Morissey M, Goodman HM. 2001. Intercomparison of global precipitation products: The third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(7): 1377-1396.
3. Barrera D. 2005. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against rain gauge observations. In *Proceedings of the VII Congresso da IAHS, Foz do Iguaçu*, pp 3-9.
4. Collier C. 2007. Flash flood forecasting: What are the limits of predictability? *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 133(622): 3-23.
5. Collischonn B, Collischonn W, Tucci CEM. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, 360(1): 207-216.
6. Ebert EE. 2007. Methods for verifying satellite precipitation estimates. In: *Measuring precipitation from space*. Springer, pp 345-356.
7. Fang J, Du J, Xu W, Shi P, Li M, Ming X. 2013. Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on the orographical effect and meteorological conditions in a mountainous area. *Advances in Water Resources*, 61: 42-50.
8. Hou AY, Skofronick-Jackson G, Kummerow CD, Shepherd JM. 2008. Global precipitation measurement. In: *Precipitation: advances in measurement, estimation and prediction*. Springer, pp 131-169.
9. Hudlow MD. 1979. Mean rainfall patterns for the three phases of GATE. *Journal of Applied Meteorology*, 18(12): 1656-1669.
10. Kidd C, Levizzani V. 2011. Status of satellite precipitation retrievals. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(4): 1109-1116.
11. Krzanowski W. 1987. Selection of variables to preserve multivariate data structure, using principal components. *Applied Statistics*, 36(24):22-33.
12. Kummerow C, Barnes W, Kozu T, Shiue J, Simpson J. 1998. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3): 809-817.
13. Kummerow C, Simpson J, Thiele O, Barnes W, Chang A, Stocker E, Adler R, Hou A, Kakar R, Wentz F. 2000. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39(12): 1965-1982.
14. Li X, Zhang Q, Xu C-Y. 2014. Assessing the performance of satellite-based precipitation products and its dependence on topography over Poyang Lake basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(3-4): 713-729.
15. Li X-H, Zhang Q, Xu C-Y. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, 426: 28-38.
16. Meng J, Li L, Hao Z, Wang J, Shao Q. 2014. Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. *Journal of Hydrology*, 509: 320-332.
17. Porcù F, Milani L, Petracca M. 2014. On the

- of errors in satellite-based precipitation estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 114(D24): 43-59.
21. Turk FJ, Miller SD. 2005. Toward improved characterization of remotely sensed precipitation regimes with MODIS/AMSR-E blended data techniques. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 43(5): 1059-1069.
 22. Zhang WW, Yao L, Li H, Sun DF, Zhou LD. 2011. Research on land use change in Beijing Hanshiqiao wetland nature reserve using remote sensing and GIS. *Procedia Environmental Sciences (3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology ESIAT)*, 10(A): 583– 588.
 - uncertainties in validating satellite instantaneous rainfall estimates with raingauge operational network. *Atmospheric Research*, 144: 73-81.
 18. Scheel M, Rohrer M, Huggel C, Santos Villar D, Silvestre E, Huffman G. 2011. Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(8): 2649-2663.
 19. Sharma S. 2003. study of precipitating systems by Doppler weather radar and TRMM rainfall radar, Department of Physics, Kohima Science College, Jotsoma, Kohima, Nagaland, India-797002.
 20. Tian Y, Peters-Lidard CD, Eylander JB, Joyce RJ, Huffman GJ, Adler RF, Hsu Kl, Turk FJ, Garcia M, Zeng J. 2009. Component analysis



Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (Case study: west boundary basin of Iran)

Gh. Madadi ^{1*}, S. Hamzeh ², A. A. Noroozi ³

1. MSc. Student of Water Engineering, University of Malayer

2. Assis. Prof. College of Geography, University of Tehran

3. Assis. Prof. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 July 2014

Accepted 18 February 2015

Available online 14 September 2015

Keywords:

Validation

Precipitation

Remote sensing

Tropical Rainfall Measuring Mission

(TRMM) satellite

West boundary basin

ABSTRACT

Precipitation variable is the key parameter of agricultural and hydrometeorology studies. Therefore, measurement and estimation of rainfall at the regional level help to understand the manner of water and energy cycles. In spite of the high variability of temporal and spatial precipitation quantity, precipitation monitoring using ground stations at regional scales is considerably difficult. The use of satellite images with high spatial resolution is therefore recommended. However, it is first necessary to evaluate temporal and spatial accuracy of data. The aim of this study was to evaluate the accuracy of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite data for estimating daily, monthly, and annual rainfall on a regular spatial scale ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) during 2000-2012, and to compare these estimated data with precipitation data at 30 stations (synoptic and climatological) in the west boundary basin of Iran. The Pearson correlation coefficient was calculated daily, monthly, and annually for the mentioned rainfall period changes. The results indicated a significant correlation ($p < 0.05$) among the monthly and annual collected data of terrestrial and satellite precipitation. The relationship between monthly precipitation data from satellite images and observed data from stations were also determined using a linear and nonlinear regression for each year. The model reliability was also subsequently determined using statistical validation.

* Corresponding author e-mail address: ghazaal.madadi@gmail.com