

ارزیابی داده‌های واسنجی شده بارندگی ماهواره TRMM در پایش خشک‌سالی

مهدی دستورانی^{۱*}، عباس خاشعی سیوکی^۲، سحر بابایی حصار^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۶

چکیده

خشک‌سالی از پدیده‌های آب و هوایی است که در همه شرایط اقلیمی و در همه مناطق کره زمین به وقوع می‌پیوندد. اما اثرات و فراوانی آن در رژیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر نمایان می‌شود. پایش خشک‌سالی از عوامل مهم و کلیدی در مدیریت خشک‌سالی، به ویژه در مناطق مستعد و در معرض خطر است. این تحقیق با هدف ارزیابی تصاویر واسنجی شده TRMM در تهیه نقشه‌های SPI در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی انجام شد. برای این منظور نقشه‌های SPI در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ تهیه گردید. برای ارزیابی این نقشه‌ها از آمار ۱۴ ایستگاه همدیدی واقع در منطقه استفاده شد و پس از محاسبه شاخص خشک‌سالی توسط داده‌های ایستگاهی، نقاط متناظر این ایستگاه‌ها از نقشه‌های SPI استخراج گردید. برای بررسی اعتبار نقشه‌های تهیه شده، از شاخص‌های مطابقت شامل FAR و SR استفاده شد. از محاسبه معیارهای مطابقت و مقایسه کلاس‌های خشک‌سالی معلوم شد تطابق بسیار خوبی میان شاخص SPI برآورد شده با تصاویر ماهواره و داده‌های زمینی وجود دارد. در SPI شش و نه ماهه مطابقت بیش از ۸۰ درصدی و در مقیاس سه و ۱۲ ماهه به ترتیب تشابه ۷۳ و ۶۱ درصدی ملاحظه گردید.

واژه‌های کلیدی: تصاویر TRMM، خشک‌سالی، شاخص مطابقت، شاخص SPI

مقدمه

خشک‌سالی از بلایای طبیعی است که در اثر کاهش طولانی مدت رطوبت، افزایش دمای زمین یا هوا و افزایش نرخ تبخیر و تعرق در هر منطقه آب و هوایی ممکن است رخ دهد. خشک‌سالی، حادثه‌ی طبیعی و پدیده‌ای است آرام که به اعتقاد بسیاری دارای مکانیسم پیچیده‌ای بوده و ماهیت آن نسبت به انواع دیگر حوادث طبیعی کم‌تر شناخته شده است. این پدیده به دلیل وابستگی مستقیم به رطوبت ناشی از بارندگی در وهله نخست بر منابع آب سطحی و زیرزمینی، تأثیر می‌گذارد و در نهایت آثارش بر بخش کشاورزی و منابع طبیعی بروز می‌کند. بررسی پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی نشان می‌دهد که خشک‌سالی در رده اول فهرست پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی قرار دارد (Blenkinsop and Fowler., 2007). خشک‌سالی می‌تواند سبب بروز و یا تشدید اثرات پدیده‌های مخاطره‌آمیز دیگر مانند تندباد

و طوفان شود (Wilhite., 2000).

هدف کلی پایش خشک‌سالی، تهیه و تأمین اطلاعاتی است که مردم و سازمان‌های مسئول را در جهت انجام فعالیت‌هایی که باعث افزایش ضریب اطمینان برنامه‌ریزی‌ها و کاهش خسارت‌های ناشی از خشک‌سالی می‌شوند، تشویق کنند. اکثر سیستم‌های پایش خشک‌سالی عمدتاً بر مبنای داده‌های هواشناسی استوار است. این سیستم‌ها به‌عنوان مرحله نخست در ارزیابی خشک‌سالی نقش ارزشمندی را ایفا می‌کنند (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹). برای مطالعه اثر خشک‌سالی از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که شاخص استاندارد شده بارش (SPI) از متداول‌ترین و آسان‌ترین روش‌ها است. SPI در سال ۱۹۹۳ توسط McKee در ایالت کلرادو آمریکا ارایه شد (McKee., 1993). این شاخص با هدف کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف ارایه شده است و فرآیند محاسبه آن، بر اساس داده‌های بارندگی ماهانه استوار است. بنابراین تخمین دقیق بارندگی مهم‌ترین گام در ارزیابی خشک‌سالی است (Gómez., 2007). در حال حاضر بارندگی عمدتاً توسط سه منبع ایستگاه‌های باران‌سنجی، رادارهای هواشناسی و روش‌های سنجش از دور برآورد می‌شود (Alexakis and Tsanis., 2016). ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در مناطق مختلف، پراکنش مکانی مناسبی ندارند

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مدیریت آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان

*- نویسنده مسئول: (Email: mdastourani@birjand.ac.ir)

و ماهانه و مقیاس‌های مکانی مختلف از طریق مقایسه با داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه مرکزی رشته کوه‌های آند مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند (Scheel et al., 2010). نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های بارش ماهواره‌ای تمایل به کم‌برآوردی بارندگی‌های شدید دارند و همبستگی بین داده‌های بارش مشاهده‌ای با داده‌های بارش ماهواره‌ای از سری زمانی روزانه به ماهانه بیش‌تر می‌شود. زنگ و همکاران، با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش، پایش و تحلیل خشک‌سالی شدید سال ۲۰۱۰ چین را با کمک داده‌های روزانه و ماهانه ماهواره TRMM انجام دادند (Zang et al., 2010). آن‌ها مناطقی که در این سال دچار خشک‌سالی شدید بودند و نیز محدوده‌هایی را که خشک‌سالی با شدت کم‌تری در آن مناطق به وقوع پیوسته بود، تعیین نمودند. در نهایت به دلیل اینکه داده‌های ماهواره TRMM اثرات خشک‌سالی هواشناسی را در چین پژوهشی به خوبی نشان داد، نتیجه گرفتند که این داده‌ها می‌توانند برای تحلیل و پایش خشک‌سالی در مقیاس مکانی بزرگ‌تری در چین نیز به کار برده شود.

آدجی و همکاران داده‌های بارش ماهواره TRMM-3B42-RT را در سری‌های زمانی ماهانه، سالانه و فصلی با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ۵ ایستگاه باران‌سنجی حوضه ولتای سیاه^۲ واقع در غنا مقایسه و ارزیابی و امکان استفاده از آن را برای تکمیل اندازه‌گیری‌های زمینی بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به طور کلی بارش در سطح منطقه مورد مطالعه به خوبی توسط ماهواره TRMM، برآورد شده است و این تصاویر می‌توانند برای برآورد بارش در حوضه‌های فاقد آمار برای تکمیل اندازه‌گیری‌های زمینی استفاده شوند (Adjei et al., 2011). زنگ و همکاران از داده‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ میلادی (دوره آماری ۱۲ ساله) استفاده کردند و برای مقیاس‌های زمانی ۱ و ۳ ماهه، شاخص SPI را برای ایستگاه‌های بالادست تا پایین‌دست یک حوزه آبخیز وسیع (دارای ناهمگنی جغرافیایی، اقلیمی و ایستگاهی) و داده‌های ماهواره TRMM (پیکسل‌های موجود در منطقه مطالعاتی) محاسبه نمودند و با استفاده از آزمون‌های آماری انطباق بیش از ۶۰ درصد کل مقایسات صورت گرفته را تایید کردند (Zeng et al., 2012). گوفنگ و همکاران، دقت و صحت داده‌های بارش ماهواره TRMM را در منطقه جنوب‌غربی چین بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ ارزیابی و بررسی کردند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش ماهواره‌ای با داده‌های بارش مشاهده‌ای، همبستگی بالایی دارند، اما داده‌های بارش ماهواره‌ای دارای کم‌برآورد بارش هستند. به طور کلی آن‌ها نتیجه گرفتند که می‌توان از داده‌های بارش ماهواره TRMM برای برنامه‌های کاربردی در منابع آب و هیدرولوژی در مناطق با ایستگاه

و فاصله آن‌ها بر اساس قوانین خاصی نبوده و همچنین بر روی سطح دریاها و دریاچه‌ها که به عنوان منابع عظیم چرخه هیدرولوژی هستند، ایستگاه‌های باران‌سنجی وجود ندارد. این روش دارای مشکلاتی از قبیل عدم پوشش مناطق صعب‌العبور، وابستگی آن‌ها به شرایط محیطی و نیاز به تاسیسات پرهزینه است (De Marchi., 2006).

ماهواره‌ها با متمرکز کردن، جمع‌آوری، ذخیره و توزیع مکانی یک تا پنج کیلومتر، قدرت تفکیک زمانی متفاوت، پوشش دادن سطح وسیعی از منطقه در یک لحظه و از همه مهم‌تر پایش مناطقی که اطلاعات آن‌ها توسط باران‌سنج‌ها ثبت نمی‌شود، بخش عمده‌ای از این مشکلات را حل کرده‌اند. مشاهدات ماهواره‌ای توسط داده‌های باران‌سنج‌ها و رادارهای زمینی، به منظور اعتبارسنجی فنون ماهواره‌ای برآورد بارندگی تکمیل می‌شوند (Liang et al., 2012). ماهواره TRMM اولین سیستم فضایی رادار بارش است و یک ماهواره مدار قطبی می‌باشد. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM در ایران و سایر کشورها انجام شده است. حبیب و همکاران شش واقعه بارش شدید منطقه لوزیانا^۱ در آمریکا را با داده‌های بارش ماهواره TRMM نسخه‌های TRMM-3B42-RT (اصلاح شده با نزدیک به زمان واقعی) و TRMM-3B42-V7 (اصلاح شده با داده‌های بارش زمینی) در گام زمانی ۳ ساعته مقایسه کردند (Habib et al., 2009). نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که هر دو نسخه ماهواره TRMM توانایی خوبی در تشخیص رخداد بارش دارند ولی دارای بایاس (خطای نسبی) مثبت و منفی در حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد هستند. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که هر دو نسخه، تمایل به بیش‌برآورد بارش با مقادیر زیاد و کم‌برآورد بارش با مقادیر کم بارش دارند.

اسلام و همکاران، داده‌های TRMM را در مقیاس روزانه با استفاده از داده‌های ۱۵ ایستگاه زمینی واقع در نیپال کالیبره کردند (Islam et al., 2010). داده‌های برآوردی این ماهواره در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه تطابق زیادی با داده‌های زمینی نشان داد. نتایج تحقیق نامبردگان نشان داد که داده‌های TRMM قادر است ۹۹/۱ درصد از داده‌های مشاهده‌ای را برآورد کند.

لی و همکاران به تحلیل زمانی و مکانی خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهانه ماهواره TRMM پرداختند و سیر تغییرات شدت خشک‌سالی را طی سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ بررسی کردند. ایشان مناطق تحت تاثیر خشک‌سالی را طی دوره مشخص، و شدیدترین دوره خشک‌سالی را تعیین نمودند، نتیجه گرفتند که داده‌های ماهواره TRMM به علت پیوستگی زمانی و مکانی بارش نسبت به داده‌های زمینی می‌تواند کاربرد بیش‌تری در تعیین ابعاد زمانی و مکانی خشک‌سالی داشته باشد (Li et al., 2010). شل و همکاران کارایی ماهواره TRMM-3B42-V6 را در سری‌های زمانی روزانه، هفتگی، ۱۵ روزه

پراکنده و اندک استفاده نمود (Guofeng et al., 2017).

اکبری ینگه قلعه (۱۳۹۲) داده‌های بارش ماهواره TRMM را در سری‌های زمانی روزانه، ماهانه و فصلی با داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در استان خراسان رضوی، برای دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۱۰ مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که داده‌های بارش ماهواره‌ای در سری‌های زمانی ماهانه و فصلی با داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی همبستگی بالایی دارند. ولی در سری زمانی روزانه، همبستگی بسیار پایینی وجود دارد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) خطر خشک‌سالی استان فارس را با استفاده از شاخص خشک‌سالی SPI بدست آمده از تصاویر TRMM طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸ بررسی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد بیش‌تر استان فارس مستعد خشک‌سالی می‌باشد. مددی و همکاران (۱۳۹۴) داده‌های بارش ماهواره TRMM را در سری‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه با داده‌های بارش ایستگاه‌های باران-سنجی حوزه مرزی غرب کشور برای دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰ مقایسه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در سری‌های زمانی ماهانه و سالانه وجود دارد. ولی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در سری زمانی روزانه همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود ندارد. خدایی و همکاران (۱۳۹۶) از داده‌های برآورد بارش TRMM در جهت بهبود فرآیند پیش‌بینی زمان واقعی خشک‌سالی در مناطقی با پوشش اراضی ناهمگن استفاده کردند. نقشه‌های شاخص خشک‌سالی حاصل از مطالعه نامبردگان نشان داد در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ در مناطق مرکزی و جنوب‌شرق استان تهران و مناطق مرکزی و شمالی استان قم، خشک‌سالی شدیدی رخ داده است.

جمع‌بندی نتایج تحقیقات صورت گرفته، نشان می‌دهد که داده‌های بارندگی ماهواره TRMM از قدرت بالایی در تخمین بارندگی در مقیاس‌های زمانی ماهانه و بیش‌تر برخوردار است. بررسی‌های انجام شده در زمینه پیش‌بینی خشک‌سالی بر اساس داده‌های ماهواره TRMM حاکی از مقبولیت و اعتبار نتایج حاصله است، بنابراین در این مطالعه عملکرد داده‌های واسنجی شده ماهواره TRMM در پیش‌بینی خشک‌سالی استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی صورت گرفت.

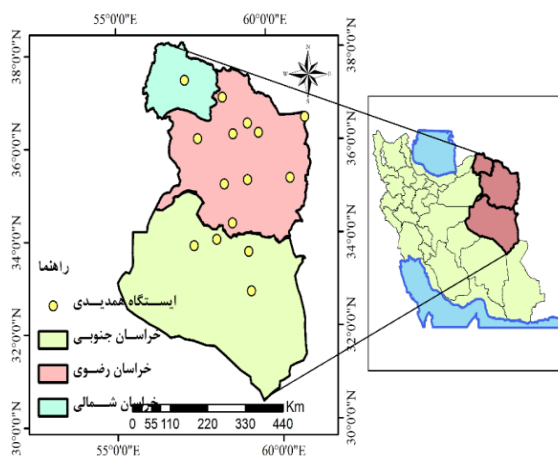
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل کل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی است. این استان‌ها در محدوده طول جغرافیایی $32^{\circ}57'$ تا $50^{\circ}60'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}30'$ تا $38^{\circ}14'$ شمالی گسترش

دارند. اقلیم این استان‌ها از سه زون کوهستانی، بیابانی و نیمه‌بیابانی تشکیل شده است. زون کوهستانی عمدتاً شامل خراسان شمالی بوده و زون بیابانی و نیمه‌بیابانی دو استان خراسان رضوی و جنوبی را در بر می‌گیرد. میانگین بارندگی این استان‌ها به ترتیب از شمالی به جنوبی برابر با ۳۰۴، ۲۰۸ و ۱۲۸ میلی‌متر در سال است. از لحاظ ناهمواری، این منطقه به دو قسمت "کوهستانی و مرتفع" در شمال و شمال غرب و قسمت "پست و هموار" در دشت‌های مرکز و جنوبی تقسیم می‌شود. با توجه به نحوه قرار گرفتن مناطق پست یا مرتع منطقه به دو دسته "آب و هوای خشک و گرم" و "آب و هوای خشک و ملایم" تقسیم می‌شود. شکل ۱ گستره جغرافیایی و موقعیت قرارگیری این سه استان را در ایران نشان می‌دهد.

داده‌های مورد نیاز تحقیق شامل دو بخش مشاهدات زمینی و تصاویر بارندگی ماهواره TRMM در مقیاس ماهانه برای دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ است که بخش اول داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید و بخش دوم، تصاویر ماهواره برای منطقه مورد مطالعه از پایگاه سازمان فضایی آمریکا (NASA) <http://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm> دانلود شد. برای انجام محاسبات و تهیه تصاویر از نرم‌افزارهای متلب و ArcGIS استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

پردازش تصاویر ماهواره TRMM

ماهواره TRMM با همکاری سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا (NASA) و آژانس اکتشاف فضایی ژاپن (JAXA) در ۲۸ نوامبر ۱۹۹۷ در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع

- 1- National Aeronautics and Space Administration
- 2- Japan Aerospace Exploration Agency
- 3- Japan Aerospace Exploration Agency

شاخص POD^۵

این شاخص نسبت تعداد پیش‌بینی‌های درست بر تعداد پیش‌بینی‌های درست و از دست رفته را در هر کلاس جدول توافقی نشان می‌دهد. این شاخص نسبت به رویدادهای از دست‌رفته حساس است نه تعداد پیش‌بینی‌های نادرست. مقدار آن بین صفر و یک متغیر است.

$$POD = \frac{H}{H+M} \quad (۶)$$

H تعداد پیش‌بینی‌های درست، M تعداد پیش‌بینی‌های از دست‌رفته است.

شاخص FAR^۶

این شاخص عبارت است از نسبت تعداد پیش‌بینی‌های نادرست بر تعداد کل پیش‌بینی‌ها. همان‌طور که از نام این شاخص مشخص است صرفاً نسبت به پیش‌بینی‌های نادرست حساس است. مقدار آن بین صفر و ۱ متغیر است و هرچه کم‌تر باشد بیانگر دقت بیش‌تر ماهواره است. این شاخص به صورت رابطه ۷ بیان می‌شود.

$$FAR = \frac{F}{F+H} \quad (۷)$$

H تعداد پیش‌بینی‌های درست و F تعداد پیش‌بینی‌های غلط را نشان می‌دهد.

شاخص CSI^۷

این شاخص، به اختصار TS^۸ نیز نامیده می‌شود و دقت نسبی ماهواره TRMM را محاسبه می‌کند. به عنوان مزیت این شاخص باید گفت که هم نسبت به پیش‌بینی‌های نادرست و هم نسبت به رویدادهای از دست‌رفته حساس است. مقدار شاخص CSI بین صفر و ۱ متغیر است و به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$CSI = \frac{H}{H+M+F} \quad (۸)$$

H تعداد پیش‌بینی‌های درست، M تعداد پیش‌بینی‌های از دست‌رفته و F تعداد پیش‌بینی‌های غلط را نشان می‌دهد.

شاخص SR^۹

این شاخص عبارت است از نسبت تعداد پیش‌بینی‌های درست بر تعداد کل پیش‌بینی‌ها و به صورت رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$SR = \frac{H}{H+F} \quad (۹)$$

H تعداد پیش‌بینی‌های درست F تعداد پیش‌بینی‌های غلط را نشان می‌دهد.

شاخص TSS^{۱۰}

این شاخص پیش‌بینی‌های درست و تصادفی را شامل می‌شود که

تقریبی ۳۵۰ کیلومتری زمین و با زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به استوا با دوره گردش زمانی ۹۱/۵ دقیقه به فضا پرتاب شد (Huffman and Bolvin, 2013). این ماهواره داده‌های شدت بارش را با استفاده از دریافت تابش ناشی از ذوب شدن یخ درون قطرات باران، برآورد کرده و با دقت زمانی سه ساعته در ابعاد ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی ارائه می‌دهد. همچنین اطلاعات روزانه و ماهانه بارش با استفاده از اطلاعات سه ساعته بارش، محاسبه شده و در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

در این مطالعه، برای ارزیابی و مقایسه عملکرد داده‌های بارش ماهواره TRMM با داده‌های زمینی، از شاخص‌های آماری خطا و معیارهای مطابقت استفاده شد:

شاخص‌های آماری خطا

به منظور بررسی کارایی ماهواره TRMM در برآورد بارش منطقه مورد مطالعه از طریق مقایسه آن با داده‌های بارش مشاهداتی از معیارهای آماری شامل نسبت برآورد (ES^۱)، میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE^۲)، ضریب تبیین (R^۲) و ناش-ساتکلیف (NSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE^۴) به شرح زیر استفاده شد (روابط ۱ تا ۵):

$$ES = \frac{\sum_{i=1}^N P_{est}(i)}{\sum_{i=1}^N P_{obs}(i)} \quad (۱)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (P_{obs}(i) - \bar{P}_{obs})(P_{est}(i) - \bar{P}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{obs}(i) - \bar{P}_{obs})^2 \sum_{i=1}^N (P_{est}(i) - \bar{P}_{est})^2}} \right)^2 \quad (۲)$$

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - P_{est})^2}{N}} \quad (۳)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - P_{est})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - \bar{P}_{obs})^2} \right] \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\text{abs}(P_{obs} - P_{est})}{n} \quad (۵)$$

که در این معادلات مقدار بارش برآورد شده توسط ماهواره در زمان i و P_{obs}(i) مقدار بارش مشاهده شده در ایستگاه باران‌سنجی در زمان i و N تعداد کل داده‌ها است. محدوده تغییرات آماره‌های فوق به ترتیب بین منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت، صفر تا ۱، صفر تا بی‌نهایت، منفی بی‌نهایت تا ۱ و صفر تا بی‌نهایت می‌باشد.

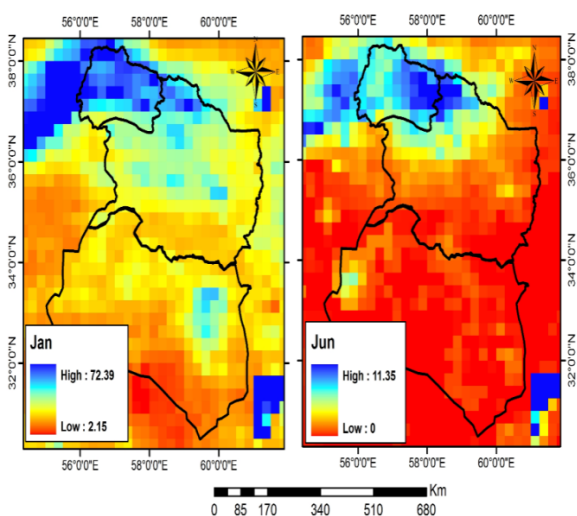
شاخص‌های مطابقت

شاخص‌های مطابقت جهت مقایسه نظیر به نظیر مقادیر برآوردی و واقعی به کار می‌رود.

- 5- Probability of Detection
- 6- False Alarm Ratio
- 7- Critical Success Index
- 8- Treat Score
- 9- Success Ratio
- 10-True Skill Statistic

- 1- Estimation Ratio
- 2- Root Mean Square Error
- 3- Returns the Square
- 4- Mean Absolut Error

خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ میانگین بارندگی ۱۵ ساله را برای ماه‌های دی و خرداد، جهت نمایش تغییرات زمانی و مکانی بارندگی در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد. براساس این نقشه‌ها، در ماه دی، مقدار بارندگی دوره، از دو میلی‌متر در قسمت‌های جنوبی منطقه تا ۷۲ میلی‌متر در قسمت‌های شمالی متغیر است. از این نقشه‌ها معلوم می‌شود قسمت عمده بارندگی‌ها در نواحی شمالی منطقه که شامل استان خراسان شمالی و قسمت کوچکی از استان خراسان رضوی است، روی می‌دهد. در ماه خرداد، قسمت‌های جنوبی منطقه فاقد بارندگی بوده و نواحی شمالی طی ۱۵ سال به طور میانگین حدود ۱۱ میلی‌متر بارندگی دریافت کرده است.



شکل ۲- نقشه میانگین بارندگی (میلی‌متر) در دوره آماری مورد مطالعه، ماه‌های دی و خرداد

واسنجی و اعتبارسنجی تصاویر ماهواره TRMM

مقایسه داده‌های اولیه TRMM (قبلا از انجام واسنجی) با مقادیر واقعی، نشان‌دهنده بیش‌برآورد مقدار بارندگی توسط این ماهواره است و لازم است این تصاویر قبل از استفاده، واسنجی شده و اعتبار آن بررسی گردد. شکل ۳، نمودار تغییرات بارندگی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای را در قبل و بعد از واسنجی در ایستگاه مشهد (طی دوره واسنجی) نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود قبل از واسنجی تصاویر ماهواره‌ای، نمودار تغییرات بارندگی مربوط به داده‌های زمینی و ماهواره، دارای اختلاف چشم‌گیری هستند و هم‌نوایی کم‌تری بین آن‌ها مشاهده می‌شود. اما پس از واسنجی، دو نمودار تشابه بیشتری نشان می‌دهند. به منظور انجام واسنجی تصاویر حاصل از ماهواره TRMM، دو سوم داده‌های دوره آماری (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷) و جهت انجام صحت‌سنجی، یک سوم داده‌ها اختصاص یافت. طی واسنجی تصاویر ماهواره‌ای، رابطه‌ی خطی بین داده‌های ماهانه

باید اریب باشند. مقدار آن بین +۱ و -۱ متغیر است. چنان‌چه ماهواره هیچ پیش‌بینی از دست‌رفته و یا نادرست نداشته باشد، مقدار شاخص +۱ خواهد بود.

$$TSS = \frac{N \times H - F \times M}{(N+F) \times (M+H)} \quad (10)$$

H تعداد پیش‌بینی‌های درست، M تعداد پیش‌بینی‌های از دست‌رفته، N تعداد روزهای دارای مطابقت پیش‌بینی عدم وقوع باران توسط ماهواره و مشاهدات زمینی و F تعداد پیش‌بینی‌های غلط را نشان می‌دهد.

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

این شاخص توسط مک‌کی و همکارانش با توجه به بررسی اثرات کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک، کلاهک برفی و جریان آبراهه در ایالت کلرادو ارائه شد (McKee et al., 1993). SPI جهت کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است. این مقیاس‌ها اثرات خشک‌سالی را بر روی منابع آب نشان می‌دهند. کمبود بارش در مقیاس‌های کوتاه مدت، عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد، در صورتی‌که کمبود بارش طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و منابع آب موثر است (McKee et al., 1993).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (11)$$

که در این معادله؛ P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقدار بارش است. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف تقسیم می‌شود که این کلاس‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- کلاس‌بندی مقادیر شاخص SPI

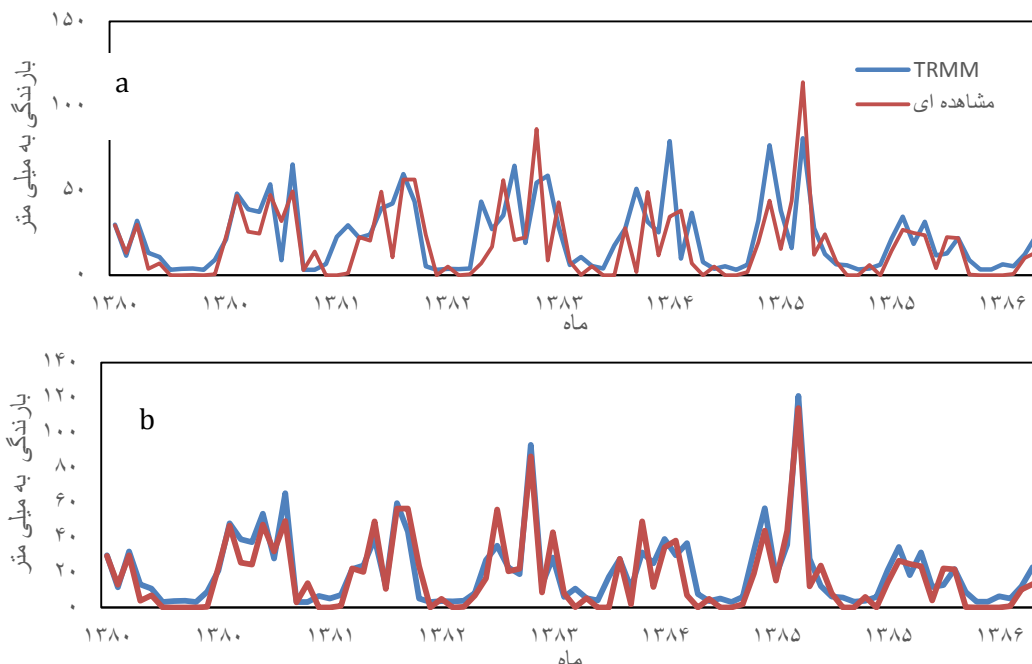
مقدار شاخص SPI	وضعیت
$SPI \leq -2$	خشک‌سالی حاد
$-2 < SPI \leq -1.5$	خشک‌سالی شدید
$-1.5 < SPI \leq -1$	خشک‌سالی متوسط
$-1 < SPI < 1$	نرمال
$1 \leq SPI < 1.5$	ترسالی متوسط
$1.5 \leq SPI < 2$	ترسالی شدید
$2 \leq SPI$	ترسالی حاد

نتایج

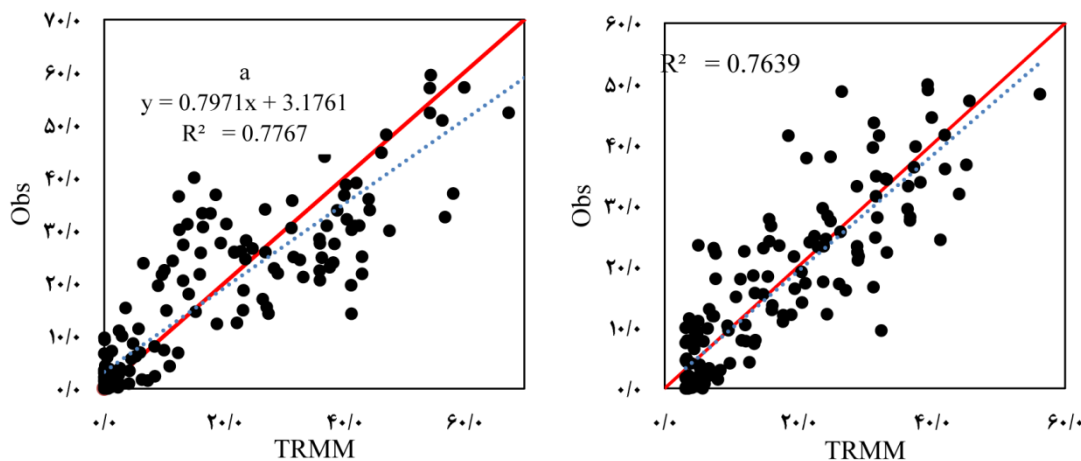
در تحقیق حاضر، از داده‌های سری TRMM-3B43 و داده‌های بارندگی ماهانه ۱۴ ایستگاه همدیدی با دوره آماری ۱۵ ساله استفاده شد و پس از پردازش اولیه و آماده‌سازی، جهت محاسبه شاخص

در خط ۱:۱ و خط رگرسیونی مشاهده می‌شود. در نمودار b گرچه پراکنش نقاط زیاد است و این امر سبب کاهش ضریب تعیین شده است، اما همان‌طور که ملاحظه می‌شود، انطباق بیش‌تری بین خط ۱:۱ و خط رگرسیونی وجود دارد که خود بیانگر تاثیر اعمال واسنجی بر تصاویر ماهواره است.

ایستگاه‌های همدیدی واقع در منطقه و پیکسل‌های متناظر، برقرار شد. شکل ۴، نمودار ۱:۱ داده‌های واسنجی نشده (داده‌های اولیه) و داده‌های واسنجی شده را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه ارایه شده در این شکل، داده‌های ماهواره TRMM، واسنجی گردید. در نمودار a که رابطه میان مقادیر مشاهده‌ای بارش و داده‌های اولیه ماهواره را نشان می‌دهد، علی‌رغم بالا بودن مقدار ضریب تعیین، تطابق کم‌تری



شکل ۳- نمودار تغییرات بارندگی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای مشهود در قبل (a) و بعد از واسنجی (b).



شکل ۴- نمودار ۱:۱ پراکنش نقاط مشاهده‌ای و داده‌های ماهواره‌ای در قبل (a) و پس از واسنجی (b).

مقدار معیارهای خطا برای مرحله واسنجی (داده‌های اولیه) و مرحله اعتبارسنجی محاسبه شد. جدول ۲ مقدار معیارهای خطا و شاخص‌های مطابقت را نمایش می‌دهد. در مرحله واسنجی، علی‌رغم

پس از آن که ضرایب مورد نیاز فرآیند واسنجی تعیین شد، این ضرایب بر داده‌هایی که جهت اعتبارسنجی کنار گذاشته شده بود، اعمال گردید. برای مقایسه تاثیر کالیبراسیون بر تصاویر ماهواره‌ای،

نادرست ۱۰ درصد کاهش یافت و به ۲۸ درصد رسید. پس از واسنجی تصاویر ماهواره‌ای بارندگی، نقشه‌های SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ تهیه شد. شکل ۵، نقشه‌های SPI را در مقیاس‌های مذکور برای سال ۱۳۸۹ (برای نمونه) نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه‌ها، در مقیاس ۳ ماهه، در سال ۱۳۸۹، دامنه SPI از خشک‌سالی متوسط تا ترسالی شدید متغیر است. در مقیاس ۶ ماهه، بجز استان خراسان شمالی، سایر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه، ترسالی متوسط تا شدید را تجربه نموده‌اند. شرایط نرمالی در مقیاس ۹ ماهه بر منطقه حاکم بوده و در مقیاس ۱۲ ماهه نیز، وضعیت نرمال تا ترسالی شدید ملاحظه شد.

بالا بودن مقدار R^2 ، مقدار سایر معیارهای خطای بیش‌تر است. آماره ER، مقدار بیش‌برآورد بارندگی را توسط ماهواره نشان می‌دهد. با توجه به مقدار آن، می‌توان دریافت که ماهواره مقدار بارندگی در حدود ۵ درصد بیش‌تر برآورد می‌کند. در حالی که مقدار بیش‌برآورد تصاویر پس از اعمال واسنجی، ۱ درصد است که رقم ناچیزی محسوب می‌شود. مقدار RMSE، برای داده‌های اولیه، در حدود ۱۰ میلی‌متر در ماه محاسبه شد که این مقدار پس از واسنجی به ۷ میلی‌متر کاهش پیدا کرد. معیار مطابقت FAR، که بیانگر تعداد پیش‌بینی‌های نادرست به کل پیش‌بینی‌ها می‌باشد، در قبل از واسنجی تصاویر، ۳۸ درصد برآورد شد. در صورتی که پس از اعمال واسنجی تعداد پیش‌بینی‌های

جدول ۲- شاخص‌های مطابقت و معیارهای خطا در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی تصاویر TRMM

معیارهای مطابقت			معیارهای خطا		
معیار	واسنجی	اعتبارسنجی	معیار	واسنجی	اعتبارسنجی
POD	۰/۹۷	۱/۰۰	R^2	۰/۷۷	۰/۷۶
FAR	۰/۳۸	۰/۲۸	ER	۱/۰۵	۱/۰۱
SR	۰/۶۲	۰/۷۲	RMSE	۹/۹۴	۶/۸۲
CSI	۰/۶۱	۰/۷۲	NSE	۰/۷۲	۰/۷۷
TSS	۰/۰۶	۰/۰۹	MAE	۶/۵۷	۵/۲۷

جدول ۳- مقایسه کلاس خشک‌سالی بدست آمده از داده‌های زمینی

و داده‌های ماهواره‌ای		SPI 12	
استان	ایستگاه	ماهواره	مشاهده‌ای
خراسان شمالی	بجنورد	N	N*
خراسان رضوی	مشهد	N	N
خراسان رضوی	فردوس	N	MD
خراسان رضوی	قوچان	N	N
خراسان رضوی	گلمکان	N	N
خراسان رضوی	گناباد	N	N
خراسان رضوی	کاشمر	N	N
خراسان رضوی	نیشابور	N	N
خراسان رضوی	سبزوار	N	N
خراسان رضوی	سرخس	N	N
خراسان رضوی	تربت حیدریه	MW	N
خراسان رضوی	تربت جام	N	N
خراسان جنوبی	بیرجند	IW	MW
خراسان جنوبی	قائن	MW	N

N*: نرمال، MD: خشک‌سالی متوسط، MW: ترسالی متوسط و IW: ترسالی شدید

در صورت عدم تعلق خشک‌سالی به کلاس مشابه نیز، تنها یک اختلاف در کلاس آن مشاهده می‌شود. برای مثال، در ایستگاه

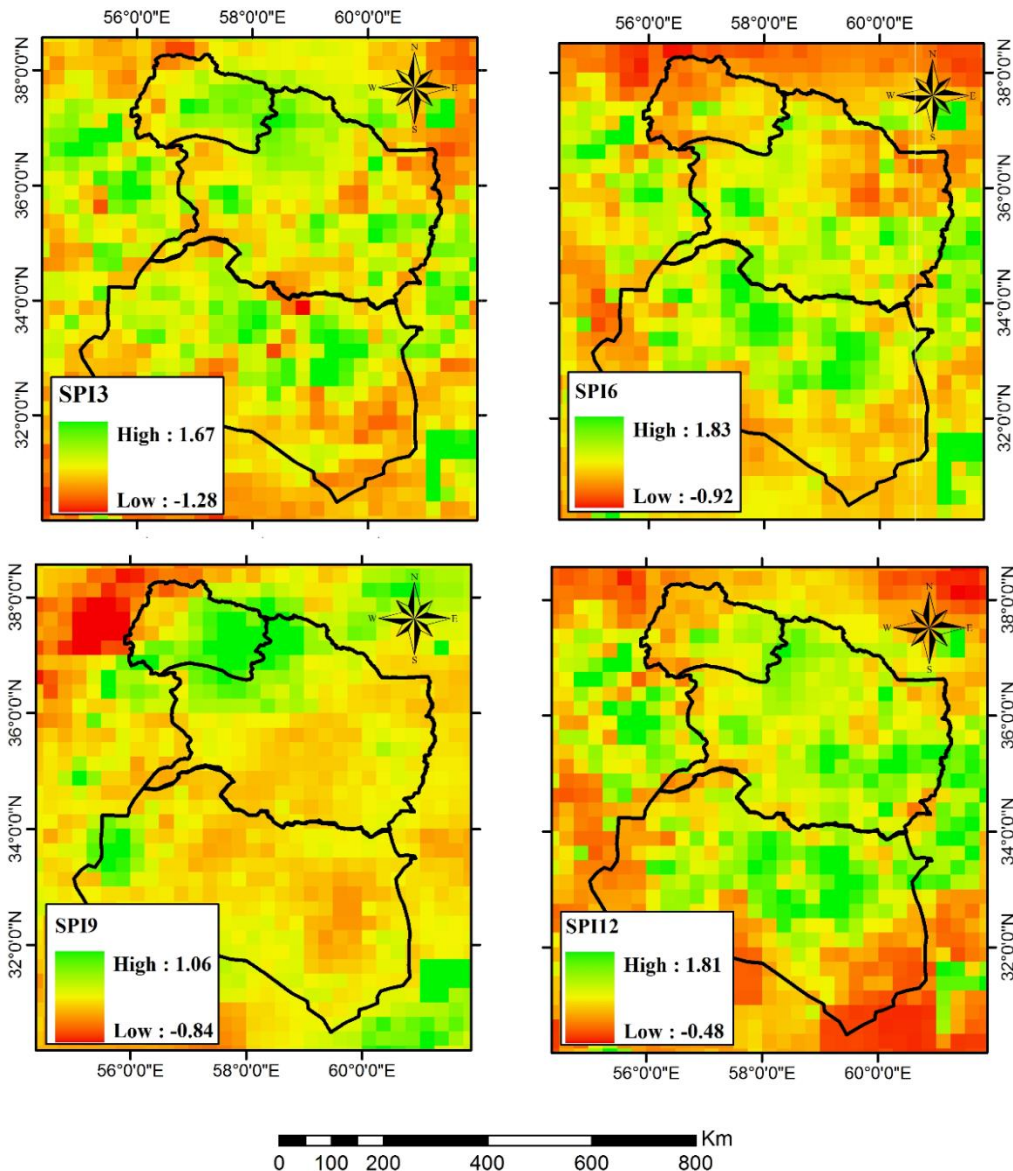
استفاده از تصاویر واسنجی‌شده TRMM در محاسبه SPI

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای واسنجی شده TRMM جهت تولید نقشه‌های SPI استفاده شد. این نقشه‌ها در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ تهیه گردید. شکل ۵، نقشه‌های SPI را در مقیاس‌های مذکور برای سال ۱۳۸۹ (برای نمونه) نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه‌ها، در مقیاس ۳ ماهه، در سال ۱۳۸۹، دامنه SPI از خشک‌سالی متوسط تا ترسالی شدید متغیر است. در مقیاس ۶ ماهه، بجز استان خراسان شمالی، سایر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه، ترسالی متوسط تا شدید را تجربه کرده است. شرایط نرمالی در مقیاس ۹ ماهه بر منطقه حاکم بود و در مقیاس ۱۲ ماهه نیز، وضعیت نرمال تا ترسالی شدید ملاحظه گردید.

برای ارزیابی نقشه‌های SPI، مقدار این شاخص برای ایستگاه‌های همدیدی، طی همان دوره آماری محاسبه شد و مقدار آن برای نقاط متناظر این ایستگاه‌ها، از تصاویر استخراج گردید. سپس کلاس خشک‌سالی برای SPI‌های بدست آمده از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای TRMM، تعیین شد. مقایسه کلاس‌های خشک‌سالی نشان داد که تطابق خوبی میان شاخص خشک‌سالی متوسط هر دو نوع داده وجود دارد. در جدول ۳، کلاس‌های خشک‌سالی ۱۲ ماهه، در سال ۱۳۸۹ (برای نمونه) برای داده‌های زمینی و ماهواره‌ای ارایه شد. این جدول نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین کلاس خشک‌سالی برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی وجود دارد.

آماري انجام و شاخص‌های مطابقت SR و FAR برای مقایسه تشابه کلاس‌های خشک‌سالی استفاده شد.

بیرجند، محاسبه شده با داده‌های زمینی، متعلق به کلاس IW بوده و SPI حاصل از داده‌های ماهواره‌ای با اختلاف یک کلاس، متعلق به کلاس MW است. این شیوه در کلیه ایستگاه‌ها و سال‌های



شکل ۵- نقشه‌های SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در سال ۱۳۸۹

یک کلاس تعلق داشت. در مقیاس ۳ ماهه نیز ۷۳ درصد از خشک-سالی‌های پیش‌بینی شده توسط ماهواره به همان کلاسی تعلق دارد که با استفاده از داده‌های زمینی تعیین شد. شاخص FAR تعداد پیش-بینی‌های نادرست را نشان می‌دهد. کم‌ترین درصد شاخص SR مربوط به ایستگاه‌های فردوس، قائن و تربت حیدریه است و بیش-ترین مقدار آن در ایستگاه‌های گلکان و نیشابور بدست آمد که حاکی

شاخص SR تعداد پیش‌بینی‌های درست را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر چنانچه خشک‌سالی حاصل از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای هر دو متعلق به یک کلاس باشد، در این صورت شاخص SR برابر با ۱ می‌شود. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود در مقیاس ۶ و ۹ ماهه، بیش از ۸۰ درصد تطابق بین کلاس‌های خشک‌سالی وجود دارد. در مقیاس ۱۲ ماهه، ۶۱ درصد پیش‌بینی‌ها به

از وجود مطابقت بالا میان شاخص SPI داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای است.

نتیجه‌گیری

پایش خشک‌سالی در درجه اول منوط به تهیه داده‌های مناسب و با کیفیت بارندگی است. عدم دسترسی به داده‌های صحیح و یا وجود

خلا آماری، عموماً پیش‌بینی‌ها را با مشکل مواجه ساخته و سبب ناکارآمد بودن نتایج مدل‌سازی می‌گردد. با توجه به این که پیکسل‌های ماهواره TRMM، سطح وسیعی را پوشش می‌دهد و قدرت تفکیک مکانی آن اندک است، این مقدار خطای برآورد بارندگی، در مساحت‌های زیاد می‌تواند باعث برآورد حجم زیادی از رواناب گردد. این امر، ضرورت واسنجی تصاویر ماهواره TRMM را معلوم می‌سازد.

جدول ۴- شاخص‌های مطابقت حاصل از مقایسه کلاس‌های خشک‌سالی داده‌های زمینی و نقاط متناظر در تصاویر

شاخص SR				ایستگاه	استان
SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12		
۸۰/۱۰۰	۸۶/۶۶	۹۳/۳۳	۶۶/۶۶	بجنورد	خراسان شمالی
۷۳/۳۳	۸۰/۱۰۰	۸۶/۶۶	۶۶/۶۶	مشهد	خراسان رضوی
۶۰/۱۰۰	۷۳/۳۳	۶۶/۶۷	۴۶/۷۰	فردوس	خراسان رضوی
۸۰/۱۰۰	۹۳/۳۳	۸۰/۱۰۰	۵۳/۳۳	قوچان	خراسان رضوی
۸۰/۶۶	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰	۸۶/۶۶	گلمکان	خراسان رضوی
۶۶/۶۶	۷۳/۳۳	۸۶/۶۶	۵۳/۳۳	گناباد	خراسان رضوی
۸۶/۶۶	۹۳/۳۳	۹۳/۳۳	۵۳/۳۳	کاشمر	خراسان رضوی
۸۰/۱۰۰	۸۶/۶۶	۱۰۰/۱۰۰	۸۶/۶۶	نیشابور	خراسان رضوی
۹۳/۳۳	۱۰۰/۱۰۰	۸۶/۶۶	۶۶/۶۶	سبزوار	خراسان رضوی
۶۶/۶۶	۷۳/۳۳	۸۰/۱۰۰	۵۳/۳۳	سرخس	خراسان رضوی
۵۳/۳۳	۶۰/۱۰۰	۷۳/۳۳	۴۶/۷۰	تربت حیدریه	خراسان رضوی
۷۳/۳۳	۸۶/۶۶	۹۳/۳۳	۷۳/۳۳	تربت جام	خراسان رضوی
۵۳/۳۳	۶۶/۶۶	۷۳/۳۳	۵۳/۳۳	بیرجند	خراسان جنوبی
۶۶/۶۶	۶۰/۱۰۰	۶۰/۱۰۰	۴۶/۷۰	قائن	خراسان جنوبی
۷۲/۸۵	۸۱/۴۳	۸۳/۸۱	۶۰/۹۶	میانگین شاخص SR	
۳۷/۱۵	۱۸/۵۷	۱۶/۱۹	۳۹/۰۴	شاخص FAR	

خشک‌تری نسبت به نواحی شمالی است، بیش‌تر ملاحظه می‌گردد. از آن‌جا که تغییرات بارندگی در زون‌های اقلیمی خشک‌تر معمولاً بیش از نواحی مرطوب است، بنابراین افزایش دامنه تغییرات بارندگی در اثر افزایش تعداد داده‌ها، می‌تواند موجب کاهش میزان تطابق کلاس‌های خشک‌سالی گردد. در سایر مقیاس‌ها به دلیل کاهش تعداد ماه‌ها که به معنای کاهش تعداد داده‌های مورد استفاده است، با کاهش تغییرات در رنج داده‌ها میزان تطابق افزایش یافت. در نهایت باید گفت، در دو مقیاس شش و نه ماهه و تا حدودی در مقیاس سالانه (۱۲ ماهه) مطابقت مناسبی میان کلاس‌های خشک‌سالی موجود است ولی لازم است در بکارگیری تصاویر TRMM در محاسبه شاخص SPI سه ماهه احتیاط بیش‌تری لحاظ گردد.

تشکر و قدرانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱/۶۵۳۱/د/

پس از واسنجی تصاویر، اقدام به محاسبه SPI در چهار مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه گردید. محاسبه شاخص‌های تطابق و مقایسه کلاس‌های خشک‌سالی نشان داد در مقیاس‌های ۶ و ۹ ماهه تطابق بسیار مناسبی بین کلاس خشک‌سالی حاصل از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای، در دوره آماری مورد مطالعه وجود دارد.

حتی مطابقت ۱۰۰ درصدی نیز در برخی از ایستگاه‌های واقع در استان خراسان رضوی مشاهده می‌گردد. در مقیاس ۱۲ ماهه کم‌ترین تشابه (۶۱ درصد) در بین کلاس‌های خشک‌سالی مشاهده شد. نتایج مشابهی در مطالعه انجام شده توسط ژنگ و همکاران بدست آمد (Zeang et al., 2012). مقدار اندک شاخص تطابق SR در ایستگاه‌های فردوس، قائن و تربت حیدریه سبب کاهش مقدار شاخص مطابقت در کل منطقه شده است. به نظر می‌رسد در مقیاس ۱۲ ماهه، به علت افزایش تعداد ماه‌های دخیل در محاسبات، از میزان تطابق کلاس‌ها کاسته شده. این امر در نواحی جنوبی که دارای اقلیم

- Gómez, M.S. 2007. editor Spatial and temporal rainfall gauge data analysis and validation with TRMM microwave radiometer surface rainfall retrievals. ITC.
- Guofeng, Z., Dahe, Q., Yuanfeng, L., Fenli, C., Pengfei, H., Dongdong, C. 2017. Accuracy of TRMM precipitation data in the southwest monsoon region of China. *Theoretical and applied Climatology*. 129.1-2:353-62.
- Habib, E., Henschke, A. 2009. Adler RF. Evaluation of TMPA satellite-based research and real-time rainfall estimates during six tropical-related heavy rainfall events over Louisiana, USA. *Atmospheric Research*. 94.3:373-88.
- Huffman, G.J. and Bolvin, D.T. 2013. TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA, Greenbelt, USA, 28.
- Islam, M.N., Das, S., Uyeda, H. 2010. Calibration of TRMM derived rainfall over Nepal during 1998–2007. *Open Atmosphere Science Journal*. 4:12-23.
- Li, J., Ruan, H., Li, J., Huang, S. 2010. Application of TRMM precipitation data in meteorological drought monitoring. *Journal of China Hydrology*. 30.4:43-6.
- Liang, S., Li, X., Wang, J. 2012. Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications: Academic Press.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
- Scheel, M., Rohrer, M., Huggel, C., Villar, D.S., Silvestre, E., Huffman, E. 2011. Valuation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. *Hydrology Earth System Science Discuss*. 7.5:8545-86.
- Zang, W., Ruan, B., Li, J., Huang, S. 2010. Analysis of extraordinary meteorological drought in Southwest China by using TRMM precipitation data. *Journal of China Institute Water Resource Hydropower Resource*. 8.2:97-106.
- Zeng, H., Li, L., Li, J. 2012. The evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) in drought monitoring in the Lancang River Basin. *Journal of Geographical Scienc*. 22.2: 273-82.
- Wilhite, D.A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions.
- ۱۳۹۶ مورخه ۰۳/۰۴/۱۳۹۶ و با استفاده از اعتبار پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شد که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.
- ### منابع
- اکبری ینگه قلعه، م. ۱۳۹۲. کارایی و دقت داده‌های سنجنده 3B42 ماهواره TRMM در برآورد بارش روزانه، ماهانه و فصلی خراسان- رضوی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران.
- حجازی‌زاده، ز.، جوی‌زاده، س. ۱۳۸۹. مقدمه‌ای بر خشک‌سالی و شاخص‌های آن. تهران، انتشارات سمت، چاپ اول، ۳۵۸ ص.
- خدایی، م.، شاد، ر.، مقصودی مهرانی، ی.، قائمی، م. ۱۳۹۵. تعیین یک شاخص بهینه چند سنسوره سنجش از دوری به منظور ارتقا فرآیند پایش زمان واقعی خشک‌سالی در مناطقی با پوشش اراضی ناهمگن، اکوهیدرولوژی. ۳: ۳۳۹-۴۵۴.
- عرفانیان، م.، وفایی، ن.، رضائیان‌زاده، م. ۱۳۹۳. ارزیابی روش نوین برای ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده Terra/MODIS، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱: ۹۳-۱۰۸.
- مددی، غ.، حمزه، س.، و نوروزی، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی بارش درمقیاس-های روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه مرزی غرب ایران). *مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۲: ۷۴-۵۹.
- Adjei, K.A., Ren, L., Appiah-Adjei, E.K., Kankam-Yeboah, K., Agyapong, A.A. 2011. Validation of TRMM data in the Black Volta Basin of Ghana. *Journal of Hydrologic Engineering*. 17.5:647-54.
- Alexakis, D., Tsanis, I. 2016. Comparison of multiple linear regression and artificial neural network models for downscaling TRMM precipitation products using MODIS data. *Environmental Earth Sciences*. 75.14:1-13.
- Blenkinsop, S., Fowler, H. 2007. Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology*. 342.1:50-71.
- De Marchi, C. 2006. Probabilistic estimation of precipitation combining geostationary and TRMM satellite data: Georgia Institute of Technology.

Evaluating Calibrated Rainfall Data Obtained From the TRMM Satellite for Monitoring Drought

M. Dastourani^{1*}, A. Khashei-siuki² and S. Babaei Hesar³

Received: Oct.27, 2017

Accepted: Dec.17, 2017

Abstract

Drought is a climatic phenomenon that can occur in all climatic conditions and in all parts of the planet. But its effects and abundance appear more in dry and semi-dry zones. Drought monitoring is one of the key factors in drought management, especially in vulnerable areas. The purpose of this study was to evaluate the TRMM calibrated images and to prepare SPI maps. The purpose of this study was to evaluate the TRMM calibrated images in the preparation of SPI maps. For this purpose, SPI maps were prepared at intervals of 3, 6, 9 and 12 months. To evaluate these maps, the statistics of 14 stations were used in the region. After calculating the drought index by the station's data, the corresponding points of these stations were extracted from the SPI maps. To verify the validity of the maps, certain criteria for conformity were used such as the FAR and SR. By calculating the conformity index and comparing the drought categories, it was found that there is a very good agreement between the SPI index with satellite imagery and ground data. The SPI of the sixth and ninth month showed a conformity of more than 80%, while the SPI of the third and twelfth month showed conformities of 73% and 61%, respectively.

Keywords: TRMM images, drought, conformity index, SPI index

1- Assistant Professor., Department. of Water Engineering, University of Birjand

2- Associate Professor., Department. of Water Engineering, University of Birjand

3- Ph.D Student of Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Kashan University
(*-Corresponding Author; Email:mdastourani@birjand.ac.ir)