

ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای TRMM جهت پایش زمانی و مکانی خشکسالی، مطالعه موردی: حوضه مرزی غرب

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

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ^۲ استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران و ^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۶

چکیده

اکثر سیستم‌های ارزیابی خشکسالی عمدتاً بر مبنای داده‌های بارش استوارند. اما کوتاه بودن دوره آماری بسیاری از داده‌ها، تراکم ناکافی ایستگاه‌ها و کیفیت نامطلوب داده‌های شبکه‌های سنجش بارش، توانایی نشان دادن الگوی مکانی خشکسالی را کاهش می‌دهد. بنابراین لازم است منابع داده اقلیمی، که بتواند این نقیصه‌ها را مرتفع سازند، شناسایی نموده و پس از ارزیابی، به‌عنوان مکمل یا جایگزین مورد استفاده قرار گیرند. بر همین اساس در این پژوهش برای پایش خشکسالی در حوضه مرزی غرب (شامل استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان و لرستان)، با کمک داده‌های هواشناسی (شامل ۳۰ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی)، اقدام به ارزیابی داده‌های ماهانه ماهواره TRMM(3B43) شد. محاسبات پایش خشکسالی به کمک شاخص SPI و برای مقیاس‌های زمانی سه، شش، نه و ۱۲ ماهه در دوره آماری ۱۲ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۲ میلادی) انجام شد. پس از ارزیابی دقت و صحت داده‌های ماهانه ماهواره، برآورد مقدار خشکسالی در مقیاس‌های زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بارش ارزیابی شد. برآورد مقدار خشکسالی (SPI) در سراسر منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره TRMM و نقشه بارش ایستگاه‌های زمینی در قالب نرم‌افزار MATLAB انجام شد و در تمام پیکسل‌ها به‌طور پیوسته مقدار SPI محاسبه شد. نتایج نشان داد که بین شاخص SPI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در همه مقیاس‌های بررسی شده ارتباط نزدیکی موجود می‌باشد. طبق نتایج آمار، سال ۲۰۰۸ به‌عنوان سال کم باران معرفی شد، همچنین، نتایج نشان داد که با توجه به میزان SPI در حوضه مورد مطالعه، سال ۲۰۰۸، به‌عنوان سال خشک تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، حوضه مرزی غرب، داده‌های بارش، ماهواره TRMM، SPI

مقدمه

(۲۰۰۵). پایش خشکسالی یکی از عوامل مهم و کلیدی در مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. هدف کلی پایش خشکسالی، تهیه و تامین اطلاعاتی است که مردم و سازمان‌های مسئول در جهت انجام فعالیت‌هایی که باعث افزایش ضریب

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که در همه شرایط اقلیمی و در همه مناطق کره زمین به‌وقوع می‌پیوندد. اما اثرات و فراوانی آن در رژیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیشتر نمایان می‌شود (Chenari).

نمودند، همچنین توانستند سودمندی بارش TRMM را برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی و تحلیل بیلان آب در حوضه Xinjian چین ارزیابی کنند، نتایج نشان داد که در این زمینه همبستگی بسیار بالایی وجود دارد.

در تحقیقی دیگر در منطقه سیلهر یکتای در کشور هند، هم‌خوانی معنی‌داری (نزدیک به ۹۰ درصد) بین داده‌های رادار Doppler و داده‌های TRMM مشاهده شد (Sharma, ۲۰۰۳).

علاوه بر استفاده از شاخص‌های گیاهی و ترکیب طول موج‌های باندهای مرئی و مادون قرمز، استفاده از ترکیب سنجنده رادار بارش و طول موج کوتاه در ماهواره TRMM، امکان ارزیابی خشکسالی با کمک داده‌های این ماهواره از طریق اندازه‌گیری مقدار بارش و شاخص‌های مبتنی بر بارش نیز فراهم شده است. Li و همکاران (۲۰۱۰)، به تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهانه ماهواره TRMM پرداختند و سیر تغییرات شدت خشکسالی را طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بررسی کردند. مناطق تحت تاثیر خشکسالی را طی این دوره مشخص و شدیدترین دوره خشکسالی را تعیین نمودند. آن‌ها 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.

Jiang و همکاران در سال (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ میلادی و نیز ایستگاه‌های بالادست تا پایین دست یک حوزه آبخیز وسیع، شاخص SPI یک و سه ماهه را برای این حوزه محاسبه کردند و با استفاده از آزمون‌های آماری انطباق بیش از ۶۰ درصد کل مقایسات را تایید نمودند.

Yan و همکاران در سال (۲۰۱۴) داده‌های بارش ماهانه TRMM با داده‌های زمینی بارش ۴۰ ایستگاه در حوضه Ching، برای دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۰ مقایسه کردند و نشان دادند که همبستگی بسیار بالایی بین این دو منبع داده برقرار می‌باشد، سپس از این مقادیر بارش به عنوان ورودی برای محاسبه شاخص استاندارد بارش استفاده نمودند، نتایج نشان داد که

اطمینان برنامه‌ریزی‌ها و کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی می‌شوند را تشویق کند. اکثر سیستم‌های پایش خشکسالی عمدتاً بر مبنای داده‌های هواشناسی استوار است. این سیستم‌ها به عنوان مرحله نخست در ارزیابی خشکسالی نقش ارزشمندی را ایفا می‌کنند (Hejazizade و همکاران، ۲۰۱۲).

پیشرفت‌های اخیر فناوری‌های سنجنش از دور، پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر بارندگی و در ارزیابی و پایش خشکسالی در نواحی که اندازه‌گیری‌های زمینی محدود هستند، ایجاد کرده است. استفاده از منابع سنجنش از دوری که بتوانند به صورت عددی مقادیر داده‌های هواشناسی مانند بارندگی را ارائه دهند، باید بیش از پیش مورد استفاده قرار گیرند. امروزه ماهواره‌ها با بهره‌گیری از امواج مایکروویو فعال و غیرفعال رادار و سنسورهای عمل‌گرا در نور مرئی و مادون قرمز، قادر به تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت برای کل دنیا می‌باشند.

TRMM^۱، اولین ماهواره‌ای است که مأموریت اندازه‌گیری ساختار، نرخ و توزیع بارش‌های استوایی و نیمه استوایی را برعهده دارد و این امر را با استفاده از ترکیبی از سنجنده‌های ماکروویو و رادار انجام می‌دهد (National Space Development Agency of Japan, ۲۰۰۱). بر طبق اطلاعات ارائه شده از طرف ناسا (۲۰۰۱) توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل 0.25×0.25 درجه و حداکثر 5×5 درجه است.

این ماهواره، مقادیر بارندگی ساعتی، ماهانه و فصلی را برای بیشتر مناطق کره زمین (عرض‌های جغرافیایی 80^- تا 80^+) از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ و با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر در اختیار محققان قرار می‌دهند، با اعتبارسنجی و کالیبراسیون داده‌های TRMM در هر منطقه، امکان تهیه نقشه خشکسالی SPI^۲ مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر است.

Xiang-Hu و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از تصاویر TRMM (با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه)، تفاوت بین بارش TRMM و ایستگاه‌های باران‌سنج را در دو مقیاس روزانه و ماهانه، درحوضه Xinjiang طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ بررسی

^۱ Tropical Rainfall Measuring Mission

^۲ Standardized Precipitation Index

ایستگاه هواشناسی بندرکیشهر، متعلق به سازمان هواشناسی ارتباط برقرار می‌باشد.

علاوه بر استفاده از شاخص‌های گیاهی و ترکیب طول موج‌های باند مرئی و مادون قرمز، استفاده از ترکیب سنجنده رادار بارش و طول موج کوتاه در ماهواره TRMM، امکان ارزیابی خشکسالی با کمک داده‌های این ماهواره از طریق اندازه‌گیری مقدار بارش و شاخص‌های مبتنی بر بارش نیز فراهم شده است.

پژوهش پیش رو، با هدف تهیه نقشه خشکسالی بر اساس شاخص SPI و استفاده از داده‌های ماهانه بارش ماهواره‌ای TRMM در استان‌های ایلام، لرستان، کردستان، کرمانشاه در طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ و مقایسه آن با داده‌های ماهانه زمینی بارش انجام شد، همچنین دقت داده‌های آن برای تحلیل زمانی و مکانی پایش خشکسالی مورد ارزیابی قرار گرفت.

طی مطالعات انجام شده توسط Erfanian (۲۰۱۲)، برآورد شاخص SPI با کمک تصاویر ماهواره‌ای و با شاخص NDVI قابل محاسبه می‌باشد. در مطالعه حاضر ارزیابی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TRMM انجام شد که علاوه بر محاسبه شاخص‌های گیاهی و ترکیب طول موج‌های باند مرئی و مادون قرمز، استفاده از ترکیب سنجنده رادار بارش و طول موج کوتاه در ماهواره TRMM، امکان ارزیابی خشکسالی با کمک داده‌های این ماهواره از طریق اندازه‌گیری مقدار بارش و شاخص‌های مبتنی بر بارش نیز فراهم شده است، همچنین با کدنویسی در قالب نرم‌افزار MATLAB امکان برآورد SPI در تمامی پیکسل‌ها به‌طور پیوسته امکان‌پذیر شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: محدوده مورد مطالعه یکی از زیرحوضه‌های رتبه دو -تماب- به نام مرزی غرب می‌باشد که در استان‌های کردستان، ایلام، کرمانشاه و لرستان امتداد دارد. مساحت این حوضه 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

شاخص استاندارد در مقیاس سه‌ماهه بهترین خروجی را نمایش می‌دهد.

Hicham و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از محصول TMPA-3B43V6 و داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های حوضه رودخانه Lancang، شاخص SPI را در مقیاس‌های زمانی یک و سه‌ماهه بررسی نمودند، نتایج نشان داد که در مقیاس سه‌ماهه تطابق بسیار خوبی بین داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای برقرار شد.

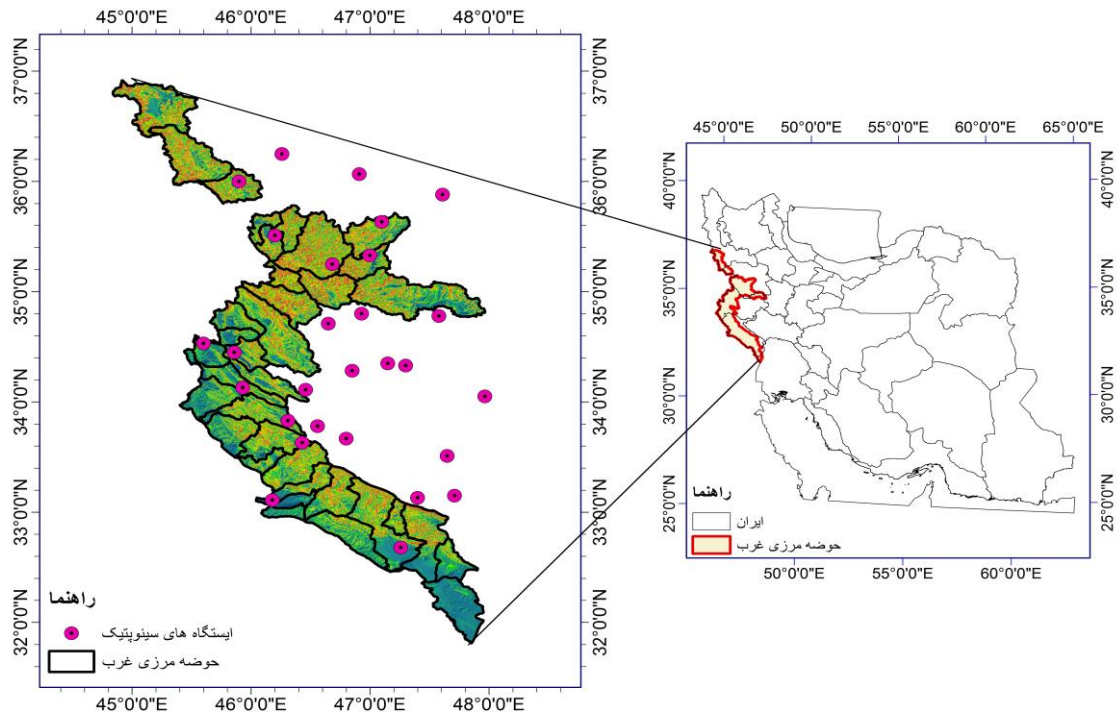
در ایران مطالعات زیادی در زمینه خشکسالی انجام شده است که بیشتر آن‌ها از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، مانند SPI و بر اساس داده‌های ایستگاه باران‌سنجی زمینی بوده است. استفاده از سنجش از دور (داده‌های ماهواره‌ای) در پایش خشکسالی، در شمار اندکی از پژوهش‌های اخیر دیده می‌شود (Khajeh, ۲۰۰۷)، برای پایش خشکسالی در استان اصفهان از شاخص NDVI استفاده کرد. نتایج پژوهش وی، بیان‌گر کارایی مناسب این شاخص برای پایش خشکسالی است.

Mahmoodzade (۲۰۰۸)، ضرایب همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی SPI شش‌ماهه و شاخص پوشش گیاهی NDVI را در منطقه فریدون‌شهر مورد بررسی قرار داد، نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص SPI و NDVI وجود دارد. Ghafourian (۲۰۱۴)، طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۸ در استان خراسان رضوی، با استفاده از شاخص SPI داده‌های زمینی و داده‌های ماهانه ماهواره TRMM، خشکسالی در مقیاس‌های یک و سه و شش و نه‌ماهه مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که به‌جز در مقیاس یک‌ماهه همبستگی نزدیکی بین داده‌های خشکسالی زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد.

Noroozi (۲۰۱۴)، طی مطالعات انجام شده در شمال کشور جهت برآورد خسارات باران‌های سیل‌آسا بر روی محصول برنج دریافتند که داده‌های ماهواره‌ای TRMM در مقیاس ماهانه ارتباط معنی‌داری با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دارد، ولی در مقیاس روزانه فاقد ارتباط و یا بسیار ضعیف می‌باشد. همچنین، بین داده‌های TRMM و داده‌های راداری

۱۰۰ تا ۳۰۰۰ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی واقع در این محدوده را نشان می‌دهد.

حوضه در نصف النهار ۴۶ تا ۴۸ درجه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۳۵ درجه شمالی قرار گرفته است. از نظر توپوگرافی، دارای تنوع ارتفاعی از ارتفاع



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه مرزی غرب و ایستگاه‌های سینوپتیک و کليماتولوژی

لرستان، کرمانشاه، کردستان و ایلام مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ است (شکل ۱).

داده‌های ماهواره‌ای شامل، داده‌های ماهانه بارش ماهواره TRMM در یک دوره آماری ۱۲ ساله می‌باشد، پس از استخراج مقادیر بارش ماهواره‌ای، می‌بایست بررسی مقدماتی نمونه، سری داده‌ها باید دارای معیارهای پایه‌ای باشند تا بتوان تابع چگالی را برای آن‌ها برآزش داد. این معیارها عبارتند از: تصادفی بودن، همگنی، ایستایی و نداشتن داده پرت (Rezaeipajand, ۲۰۰۹).

با استفاده از نرم‌افزار SPSS، برای داده‌های اولیه بارش، آزمایش نرمال بودن داده‌ها بررسی شد، سپس به منظور افزایش دقت در انتخاب مدل مناسب و تایید کارهای انجام شده، علاوه بر روش‌های آماری انجام یافته در نرم‌افزار SPSS، از ابزار آمار مکانی^۱ محیط ArcGIS استفاده شد، همچنین در این ابزار، از تحلیل

روش پژوهش: در این پژوهش، جهت پهنه‌بندی خشکسالی از آمار بارش ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده حوضه مرزی غرب به‌عنوان داده‌های مرجع و از داده‌های ماهانه بارش ماهواره TRMM برای امکان‌سنجی و تعیین دقت در پایش خشکسالی استفاده شد، به دلیل شروع به کار ماهواره TRMM از سال ۱۹۹۸ میلادی و هم‌پوشانی ایستگاه‌های مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ میلادی، دوره آماری مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۲ برای انجام این پژوهش انتخاب شد. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، داده برای تحلیل مکانی و زمانی بارش حداقل ۱۰ سال با توزیع مناسب مکانی داده‌ها، می‌تواند نماینده مناسبی از طول دوره آماری داده‌ها باشد (Rhee و Carbone, ۲۰۱۱).

داده‌های زمینی، شامل آمار بارندگی ۳۰ ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک و کليماتولوژی) استان‌های

^۱ Spatial Statistic

با استفاده از این دو داده بارش، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPI، بر اساس روش‌های درون‌یابی، مانند کریجینگ، معکوس فاصله و غیره بر مبنای کمترین میانگین مربعات خطا شد، سپس، با توجه به تقسیم‌بندی مربوط به تغییرات SPI، ترسالی و خشکسالی هر ماه تعیین شد و در نهایت از ضریب تعیین R^2 ، MBE و RMSE برای بررسی همبستگی میان نتایج داده‌های ماهواره و ایستگاه‌های زمینی استفاده شد. در منابع مرتبط هم از این شاخص‌ها استفاده شده است (Li و همکاران، ۲۰۱۰)

معرفی ماهواره TRMM: این ماهواره در ۲۸ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد. هدف از پرتاب این ماهواره اندازه‌گیری بارش در سطح اقیانوس‌ها و دریاها است، چرا که معمولاً احداث ایستگاه‌های باران‌سنجی در دریاها دشوار است. علاوه بر این از اطلاعات این ماهواره می‌توان در اندازه‌گیری بارش در سطح خشکی‌ها و مخصوصاً مناطقی که دارای آمار و اطلاعات ثبت شده مناسبی نمی‌باشند، استفاده نمود. این ماهواره در ارتفاع تقریبی ۳۵۰ کیلومتری زمین قرار داشته، با زاویه میل ۳۵ درجه در حال پیش‌ویژگی‌های جوی است. داده‌های مورد استفاده از ماهواره TRMM در این پژوهش، داده‌های ماهانه (میلادی) بارش با کد 3B43 از پایگاه داده‌های سازمان فضایی آمریکا (NASA)^۵ در طول دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰ با فرمت NetCDF دریافت شد، این داده‌ها با کمک نرم‌افزار ArcGIS به فرمت رستر تبدیل شد، سپس بر اساس موقعیت ایستگاه‌های زمینی، مقادیر بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای نقاط ایستگاه‌ها استخراج شد. این داده‌ها دارای قدرت تفکیک زمانی ماهانه و قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه هستند و ۵۰ درجه جنوب تا ۵۰ درجه شمال عرض جغرافیایی را پوشش می‌دهند.

OLS^۱، که بررسی همبستگی واریانس باقی‌مانده^۲ با میزان تغییرات متغیرهای وابسته را نشان می‌دهد، استفاده شد. OLS با ایجاد یک مدل رگرسیون ساده، رابطه بین متغیرها و فرایند بین آن‌ها را بیان می‌کند (Andri Baltensweiler, ۲۰۱۰). تعیین داده‌های پرت با روش مورانز با کمک نرم‌افزار ArcGIS انجام پذیرفت، اما به دلیل این که نباید به داده‌های اقلیمی به‌ویژه بارندگی به دید کاملاً ریاضی و آماری نگاه شود، داده‌های پرت را با داده‌های متناظر آن‌ها در ایستگاه‌هایی که دارای همبستگی (در سطح ۱۰ درصد معنی‌داری) با ایستگاه دارای داده پرت بودند، مقایسه نموده و پس از بررسی، تنها تعداد محدودی از آن‌ها از نظر پرت بودن تایید شدند، حذف شد. پس از حذف داده‌های پرت، با استفاده از روابط بین داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای TRMM، داده‌های بارش ماهواره‌ای به کمک داده‌های زمینی بارش صحت‌سنجی شدند.

همچنین، به منظور نشان دادن اعتبار داده‌های استفاده شده، از آماره‌های زیر استفاده می‌شود که عبارتند از:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y) \quad (2)$$

که در آن، n تعداد داده‌های بارش، y داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی، y_i داده‌های بارش ماهانه ماهواره TRMM، $RMSE$ ^۳ میانگین مربعات خطا و MBE ^۴ میانگین خطای اریبی می‌باشد.

باتوجه به نتایج به‌دست آمده از رابطه (۱)، نشان داده شده است که همواره باید میزان پارامتر RMSE از میانگین داده‌های مشاهده‌ای کمتر بوده، همچنین با استفاده از رابطه (۲)، پارامتر MBE، هرچه میزان این پارامتر کمتر (منفی) باشد، به معنی بیش برآوردی مدل و هرچه مقدار این شاخص بیشتر (مثبت) باشد، به معنی کم‌برآوردی مدل نیز می‌باشد (Ebert, ۲۰۰۷).

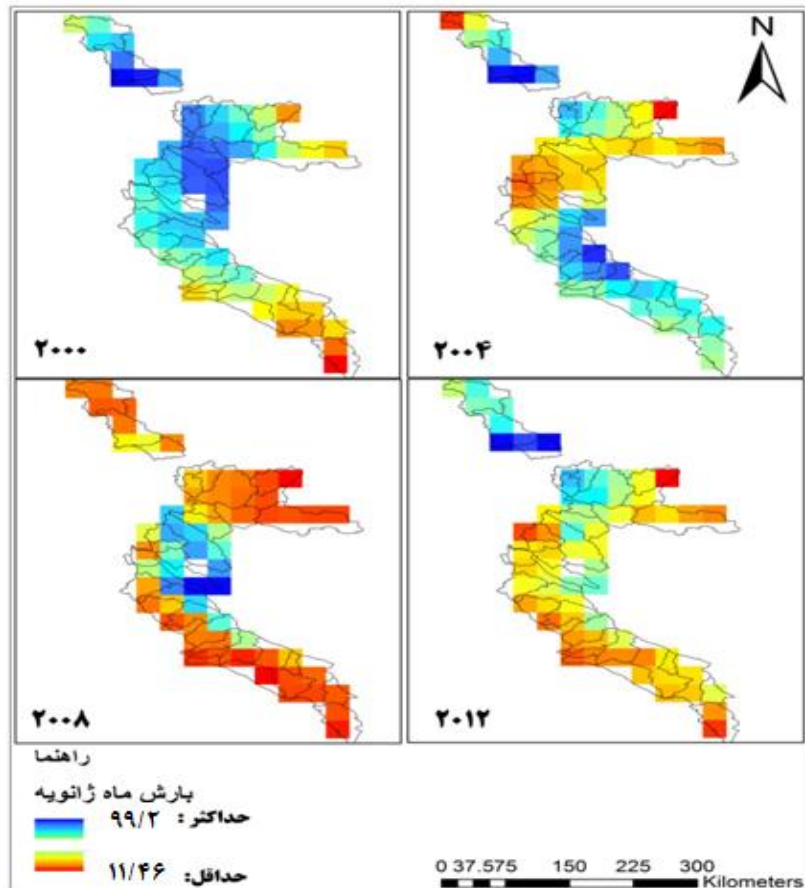
¹ Ordinary Least Square

² Residual

³ Root Mean Square Error

⁴ Mean Bias Error

⁵ National Aeronautics and Space Administration



شکل ۲- تصاویر بارش ماهانه TRMM در ماه ژانویه طی سال‌های فوق (میلی‌متر)

شاخص SPI: این شاخص نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد، برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. این روش توسط Makkie و همکاران در سال ۱۹۹۳ و با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخائر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. شاخص SPI از معادله زیر به دست می‌آید.

$$SPI = (P_i - \bar{P}) / \delta \quad (3)$$

که در آن، P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر، δ انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در جدول ۱ ارائه شده اند، تقسیم می‌شود.

جدول ۱- درجه‌بندی مقادیر شاخص SPI (Makkie و همکاران، ۱۹۹۳)

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

شمال به سمت جنوب حرکت کنیم، میزان خطای بارش تصویر، نسبت به میزان بارش مشاهده‌ای (واقعی) کمتر می‌شود. همچنین، به منظور ارزیابی دقت ماهواره‌ای TRMM در برآورد مقدار بارش در ایستگاه‌ها، با استفاده از آماره‌هایی همچون (MBE و RMSE) میزان خطای پیش‌بینی در هر ایستگاه محاسبه و به شکل نقشه در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده همواره مقدار RMSE 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 شد، که مقادیر مثبت به دست آمده از این شاخص به معنی بیش‌برآوردی مدل و مقادیر منفی به معنی کم‌برآوردی مدل می‌باشد.

نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که این داده‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای داده‌های زمینی باشند، اما به منظور دستیابی به خلاصه بررسی نتایج شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف، جدول ۳ تهیه شد. در این جدول، شاخص R^2 بیان‌گر میزان همبستگی میان نتایج شاخص SPI محاسبه شده از داده‌های بارش ماهانه TRMM و ایستگاه‌های زمینی در مقیاس‌های زمانی سه، شش، نه، ۱۲ ماهه در حوضه مرزی غرب به تفکیک نوع ایستگاه می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص همبستگی به تفکیک ایستگاه‌ها ارائه شده است.

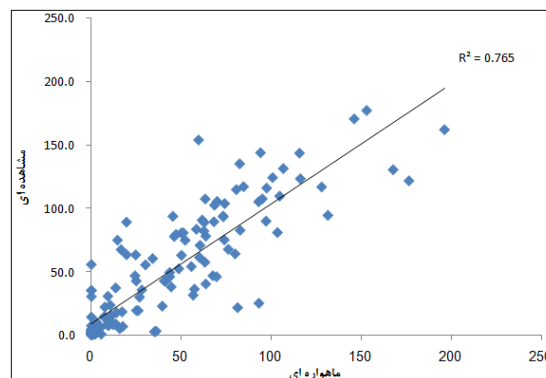
در این پژوهش برای محاسبه شاخص استاندارد از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. این نرم‌افزار برخلاف سایر نرم‌افزارها قابلیت محاسبه شاخص خشکسالی با استفاده از داده‌های بارش پیوسته (Pixel) را دارد که روشی متفاوت برای محاسبه شاخص خشکسالی می‌باشد، همچنین برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و تصمیم‌گیری با قاطعیت بیشتر در مورد دقت داده‌های ماهواره TRMM، محاسبات برای چهار مقیاس زمانی سه، شش، نه و ۱۲ ماهه انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

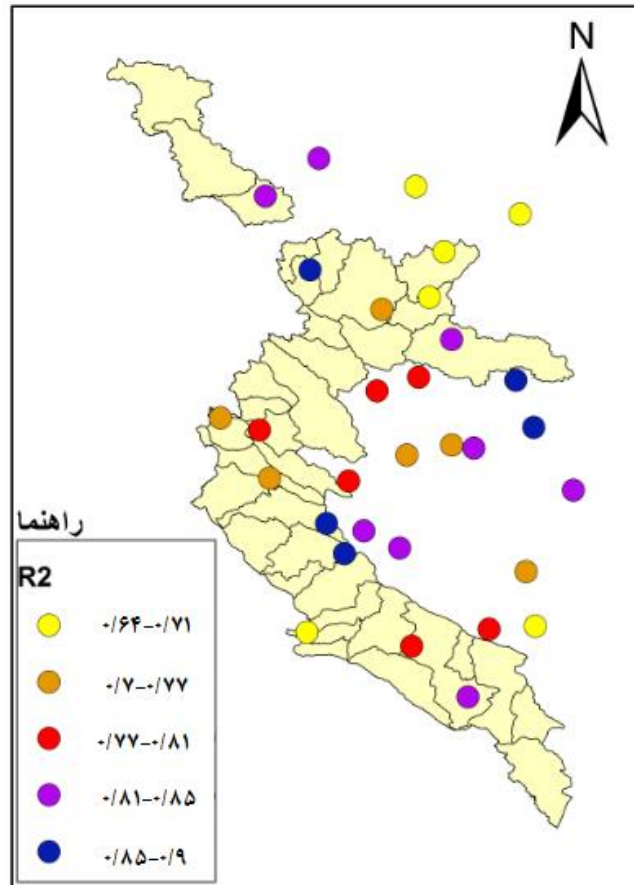
شکل ۳، همبستگی بارش محاسبه شده از داده‌های بارش ماهانه TRMM و ایستگاه‌های زمینی بارش ماهانه، را در ایستگاه آویهنگ در حوضه مرزی غرب نمایش می‌دهد.

با توجه به نمودار فوق، نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بین مقدار بارش حاصل از ایستگاه هواشناسی و تصویر ماهواره‌ای TRMM در مقیاس ماهانه بسیار خوب بوده، به همین دلیل، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به جای داده‌های زمینی در مناطق صعب‌العبور و فاقد ایستگاه‌های هواشناسی توصیه می‌شود، شکل زیر همبستگی بین داده‌های بارش ماهواره TRMM و داده‌های زمینی را در کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

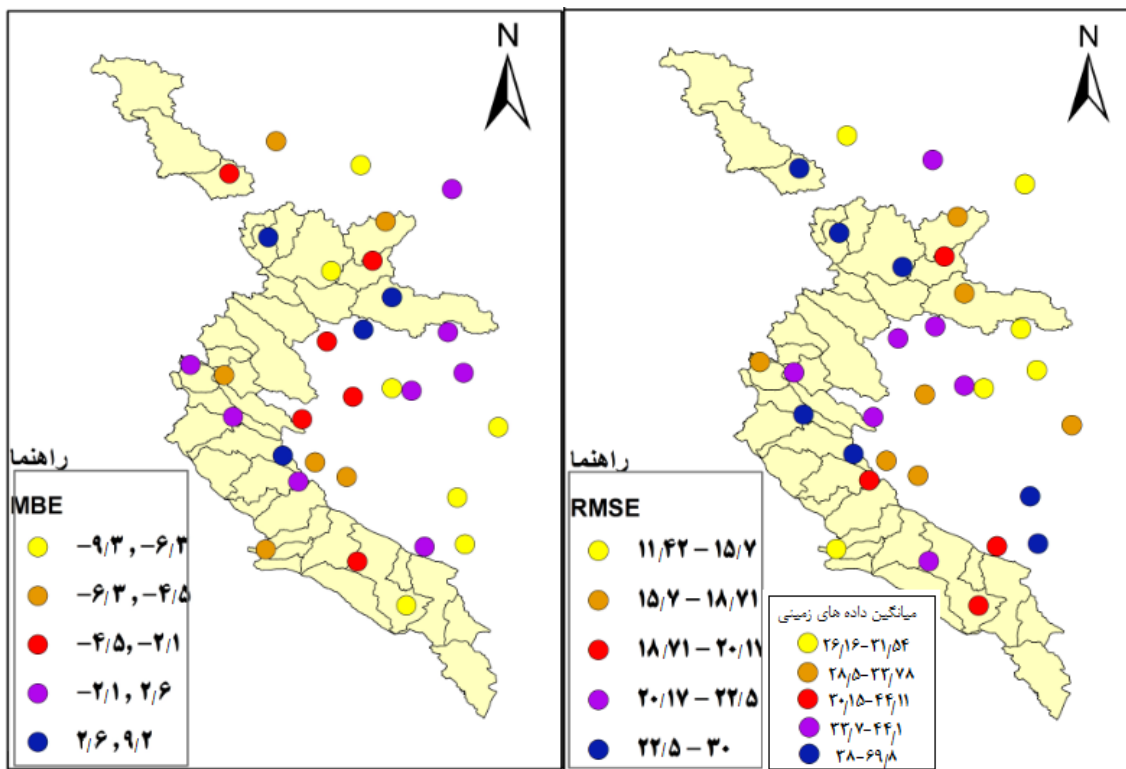
با توجه به شکل ۴، ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده بارش ایستگاه‌ها و مقادیر ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه در این محدوده بین ۰/۶۴-۰/۹ می‌باشد و همگی در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد، همچنین نتایج همبستگی مکانی نشان می‌دهد، هر چه در محدوده مورد مطالعه از شرق به غرب و از



شکل ۳- همبستگی داده‌های ماهانه بارش حاصل از دو منبع طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ در ایستگاه آویهنگ



شکل ۴- تغییرات مکانی ضریب همبستگی داده‌های ماهانه بارش در محدوده حوضه مرزی غرب طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲



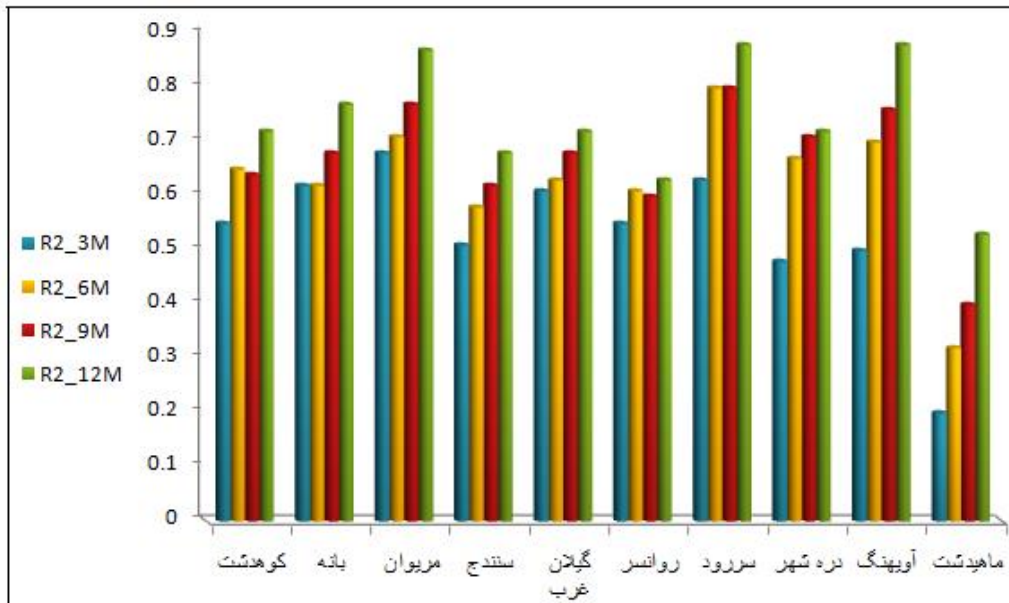
شکل ۵- نتایج آماره‌های اعتبارسنجی ایستگاه‌های حوضه مرزی غرب طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲

درست خشکسالی خطا ایجاد می‌کند، همچنین Raziie و همکاران (۲۰۰۳) طی مطالعات انجام داده به این نتیجه رسیدند که استفاده از مقیاس زمانی کوتاه‌مدت (سه و شش ماهه) این شاخص در مناطق خشک و کم‌بارش قابل اطمینان نمی‌باشد و هرچه تاثیر ماه‌های خشک و کم‌بارش در برآورد این شاخص کمتر باشد، میزان این ضریب همبستگی افزایش پیدا کرده است.

به‌طور کلی روند SPI در مقیاس‌های زمانی مورد بررسی، در طول دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۲ همخوانی خوب و قابل‌قبولی را نشان داد، همچنین علت بالا نبودن شاخص R^2 برای برخی مقیاس‌های زمانی می‌تواند این‌گونه بیان نمود: با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و میزان بارش سالانه کم در این محدوده، برخی از ماه‌های سال در این محدوده بارش وجود ندارد و با توجه به این‌که این شاخص، تحت تاثیر شدید میزان بارش می‌باشد، نبود بارش در تعیین

جدول ۳- نتایج خلاصه شده شاخص‌های ارزیابی دقت بین داده‌های میانگین ایستگاه‌های هواشناسی و ماهواره‌ی TRMM

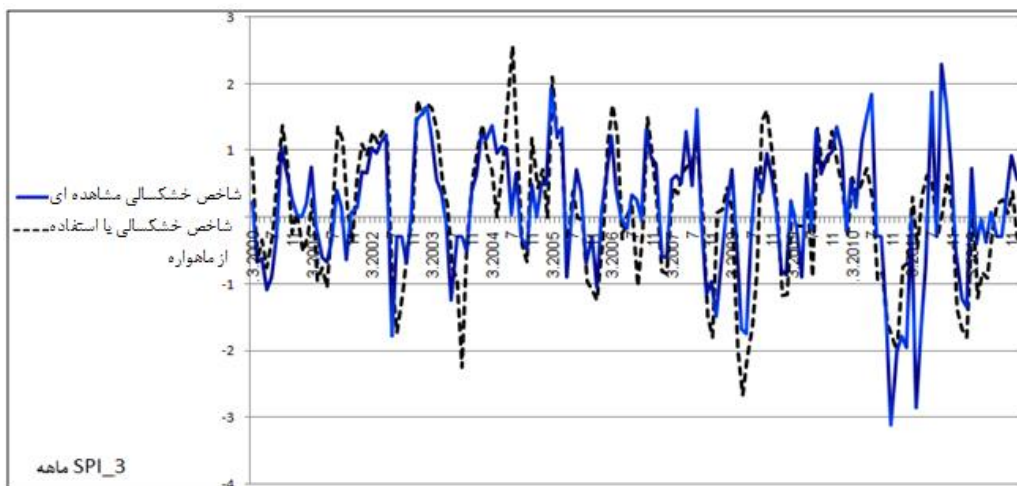
نام ایستگاه سنیوپتیک	مختصات هر پیکسل		مقیاس سه‌ماهه R^2	مقیاس شش‌ماهه R^2	مقیاس نه‌ماهه R^2	مقیاس ۱۲‌ماهه R^2
	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)				
پل دختر	۳۳/۱۵	۴۷/۷۱	۰/۵	۰/۵۶	۰/۴۱	۰/۳۵
کوه‌دشت	۳۳/۵۱	۴۶/۶۵	۰/۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۷۲
بانه	۳۶	۴۵/۹	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۷۷
بیجار	۳۵/۸۸	۴۷/۶۱	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۲۴
کامیار	۳۴/۸	۴۶/۹۳	۰/۴۲	۰/۵	۰/۵۱	۰/۳
مربوان	۳۵/۵۱	۴۶/۲	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۸۷
سقز	۳۶/۲۵	۴۶/۲۶	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۷۱
سنندج	۳۵/۳۳	۴۷	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۶۸
زرینه	۳۶/۰۶	۴۶/۹۱	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۵۷
اسلام‌آباد	۳۴/۱۱	۴۶/۴۶	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۳۵
قصر شیرین	۳۵/۵۳	۴۵/۶	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۷۳
گیلان غرب	۳۴/۱۳	۴۵/۹۳	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۲
کرمانشاه	۳۳/۳۵	۴۷/۱۵	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵	۰/۶۶
روانسر	۳۴/۷۱	۴۶/۶۵	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۶	۰/۶۳
سرپل ذهاب	۳۴/۴۵	۴۵/۸۶	۰/۵	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۴۵
سررود	۳۴/۳۳	۴۷/۳	۰/۶۳	۰/۸	۰/۸	۰/۸۸
سنقر	۳۴/۷۸	۴۷/۵۸	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۴	۰/۴۲
دره شهر	۳۳/۱۳	۴۷/۴	۰/۴۸	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۲
دهلران	۳۲/۶	۴۷/۲۶	۰/۳۸	۰/۵	۰/۴۲	۰/۴
ایوان غرب	۳۳/۸۳	۴۶/۳۱	۰/۳۸	۰/۵	۰/۴۷	۰/۵۳
ایلام	۳۳/۶۳	۴۶/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۵	۰/۶
مهران	۳۳/۱۱	۴۶/۱۸	۰/۶۸	۰/۴	۰/۲۴	۰/۴
آویهنگ	۳۵/۲۵	۴۶/۶۸	۰/۵	۰/۷	۰/۷۶	۰/۸۸
کنگاور	۳۴/۰۵	۴۷/۹۶	۰/۶	۰/۷	۰/۶۹	۰/۴۱
سرایله	۳۳/۷۸	۴۶/۵۶	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۸
ماهیدشت	۳۴/۲۸	۴۶/۸۵	۰/۲	۰/۳۲	۰/۴	۰/۵۳



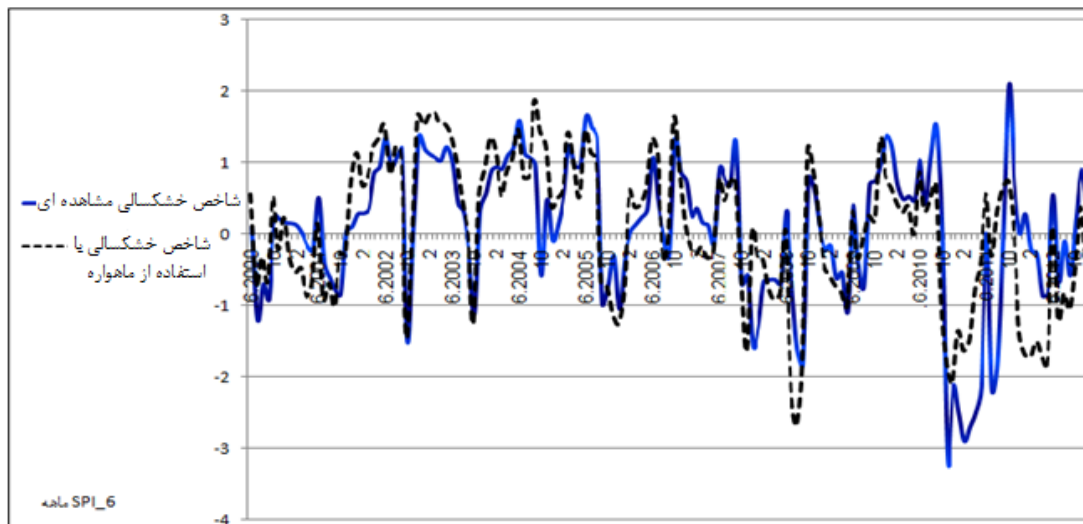
شکل ۶- مقایسه همبستگی بین شاخص SPI محاسبه شده با داده‌های TRMM و داده‌های زمینی در مقیاس‌های زمانی مختلف

شده نسبت به سایر دوره‌های زمانی با ایستگاه از انطباق بهتری برخوردار می‌باشد، بنابراین دوره خشکسالی ۱۲ ماهه جهت مطالعات از خروجی بهتری برخوردار می‌باشد، بر این اساس این دوره در مطالعه پیش‌رو به‌عنوان مبنای مطالعاتی قرار گرفت. همچنین با توجه به نتایج حاصله از SPI_12 ماهه در سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۵ میزان متوسط بارندگی در ایستگاه آویهنگ بین ۳۰-۵۰ میلی‌متر بوده و از نظر خشکسالی، در وضعیت ترسالی شدید بوده و از سال ۲۰۰۹ به دلیل کاهش میزان بارش وضعیت خشکسالی حاد بوده است.

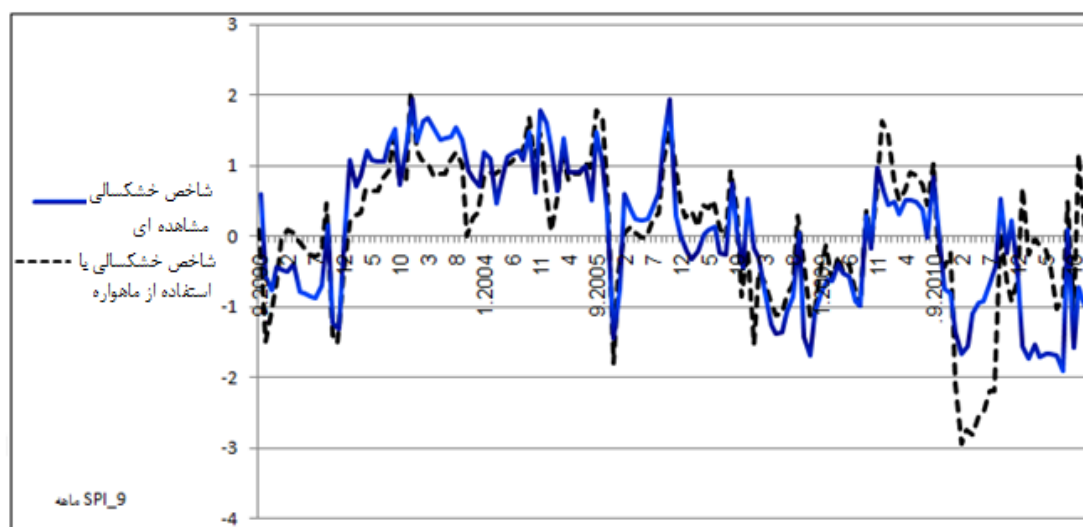
با توجه به شکل ۶، شاخص خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نسبت به سه‌ماهه برای ایستگاه‌های فوق رو به بهبود است، دلیل این را می‌توان مبنی بر میزان بارش دانست. همچنین ممکن است بنا به دلایلی در برخی از مشاهدات، این روند با خطا روبرو شود که علت آن را عدم بارش در آن دوره یا ایستگاه می‌باشد. نمودارهای فوق روند خشکسالی را در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۲ نشان می‌دهند. به عبارتی دیگر شاخص SPI در تمامی نمودارهای فوق بیان‌گر طول دوره ترسالی و خشکسالی می‌باشد، با توجه به بررسی شاخص SPI در منطقه مورد مطالعه، روند تغییرات خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه در دوره آماری بررسی



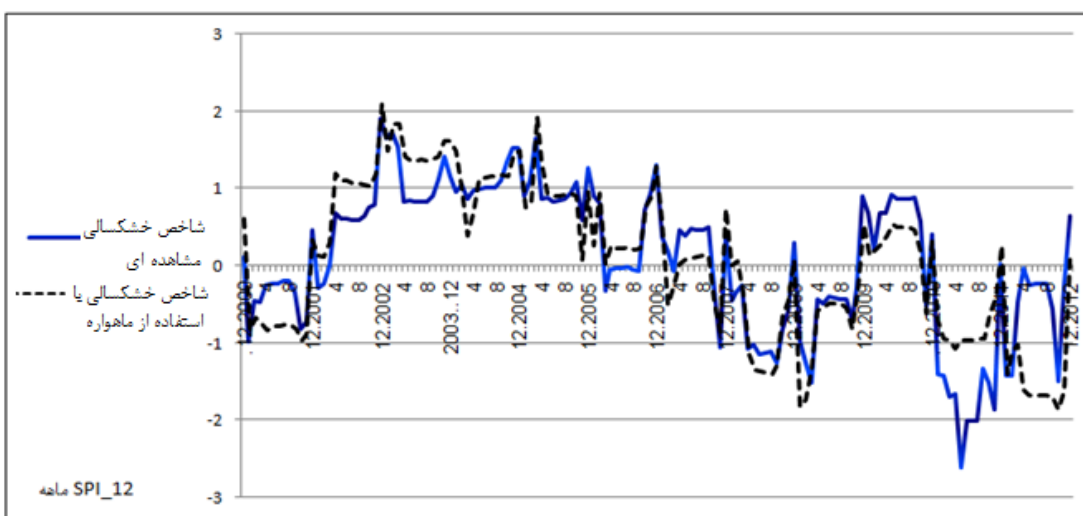
شکل ۷- روند تغییرات SPI_3 Month در محدوده ایستگاه آویهنگ



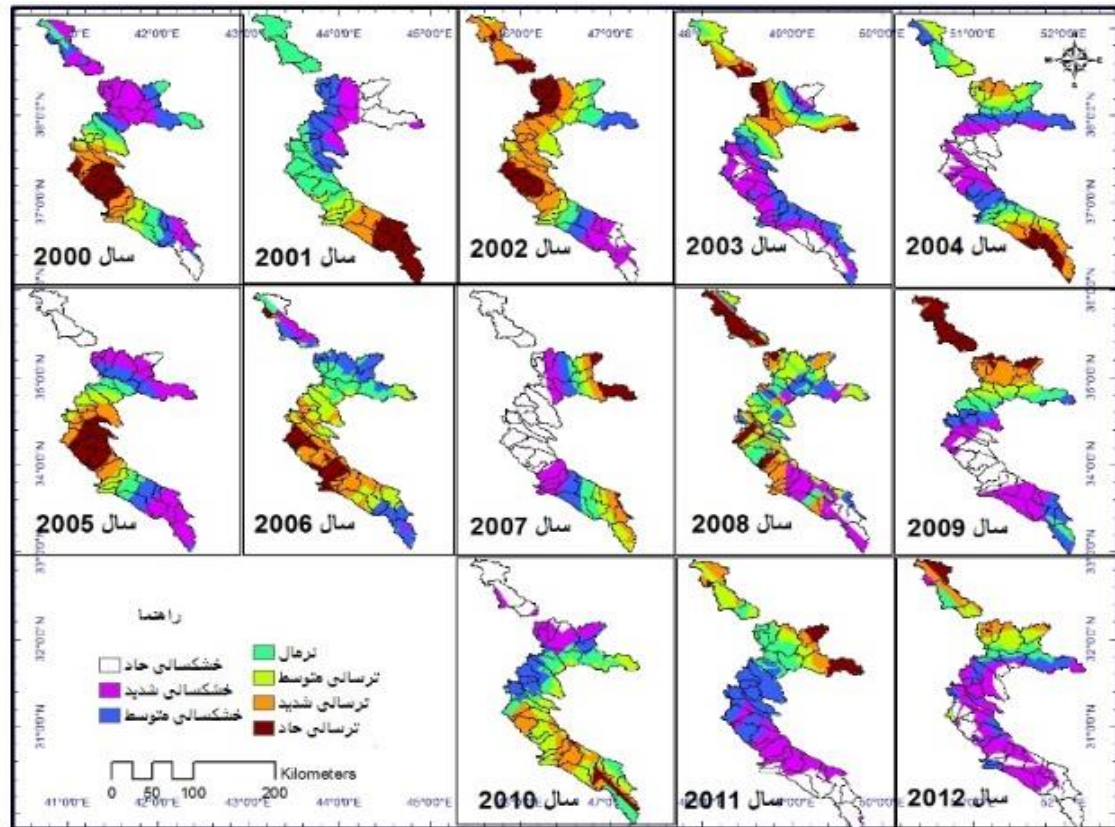
شکل ۸- روند تغییرات SPI_6 Month در محدوده ایستگاه آویهنگ



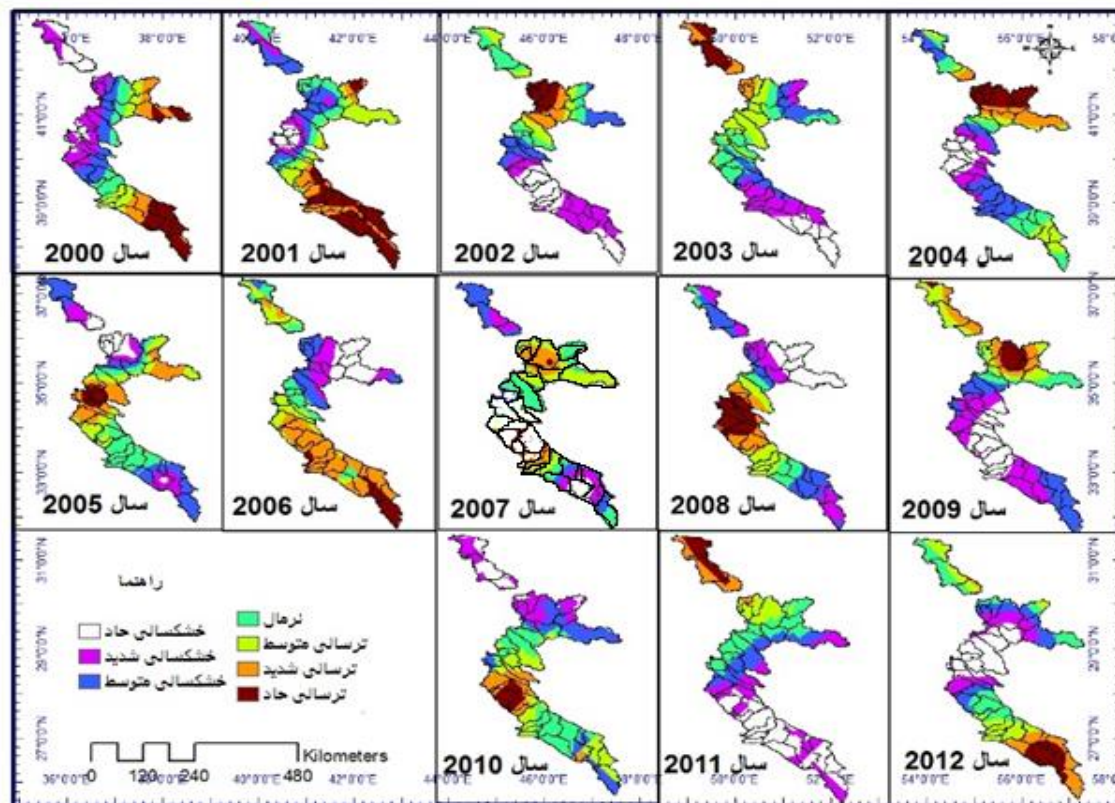
شکل ۹- روند تغییرات SPI_9 Month در محدوده ایستگاه آویهنگ



شکل ۱۰- روند تغییرات SPI_12 Month در محدوده ایستگاه آویهنگ



شکل ۱۱- پایش خشکسالی ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر در محدوده حوضه مرزی غرب با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰



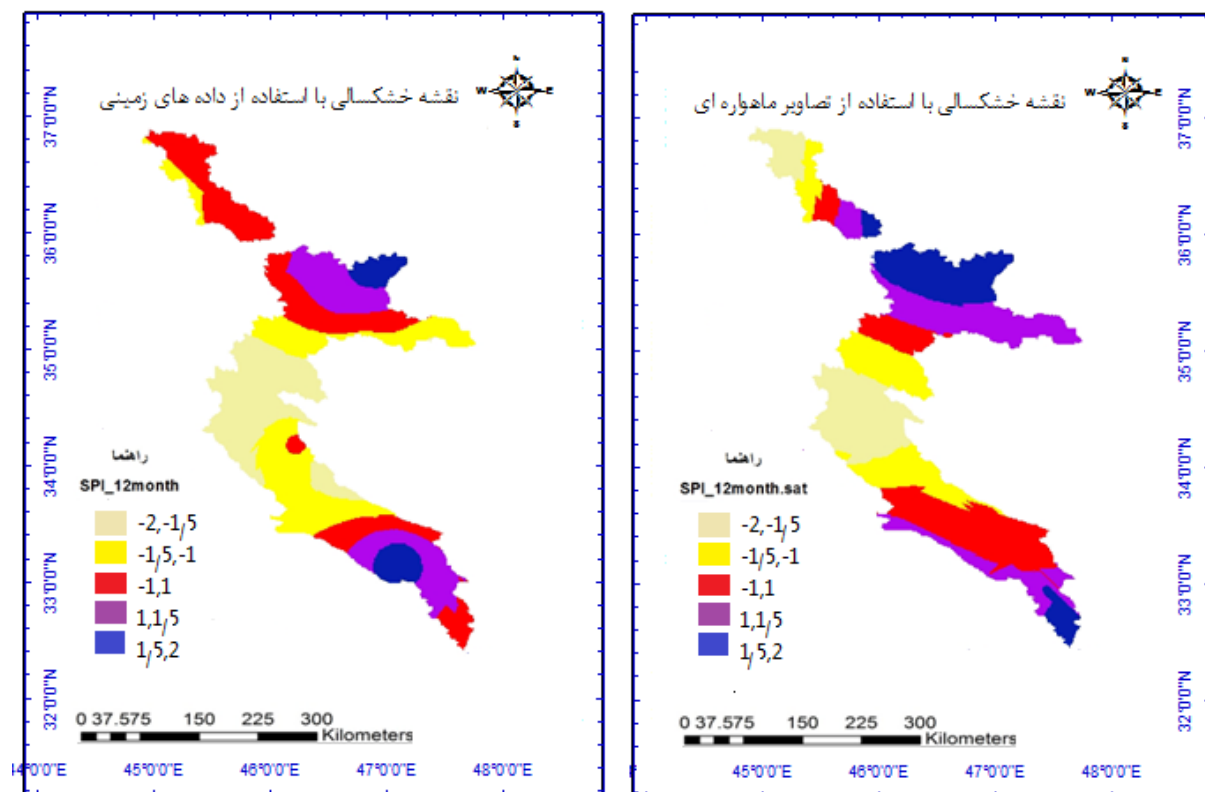
شکل ۱۲- پایش خشکسالی ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر در محدوده حوضه مرزی غرب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰

دسامبر از دو نمونه داده بارش ماهانه طی دوره آماری ۱۲ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۲) محاسبه شد، نتایج حاصل از شکل‌های فوق نشان داد، همبستگی در برخی از سال‌ها کاهش پیدا کرده است که ناشی از کم بودن میزان بارش، بالا بودن قدرت تفکیک مکانی و خطا در مقدار ورودی بارش حاصل از تصاویر ماهواره‌ای (رخداد رگبار) بوده است.

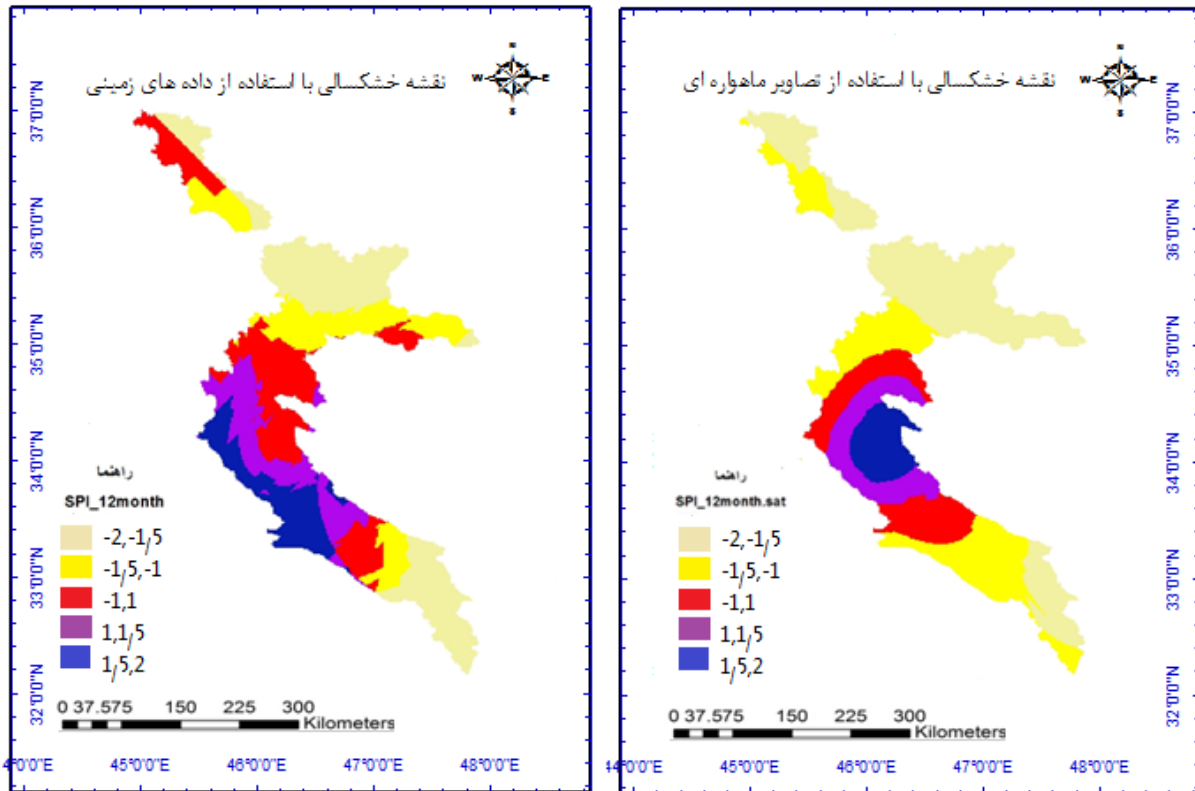
همچنین، عموماً از نظر اقلیم‌شناسی، تقسیم‌بندی خشکسالی به صورت کلی‌تر انجام می‌شود، در مطالعه انجام شده به منظور بررسی دقیق‌تر، تقسیم‌بندی خشکسالی در هفت طبقه گنجانده شد که مفهوم دقیق‌تری از وضعیت خشکسالی منطقه را نمایش می‌دهد، در نقشه‌های زیر طبق تقسیم‌بندی اقلیم‌شناسان خشکسالی ۱۲ ماهه بر طبق چهار طبقه مرتب شده است که نشان می‌دهد تفاوت کمتری در برآورد شاخص SPI از تصاویر ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی می‌باشد.

در ادامه، پس از تایید دقت مناسب داده‌های ماهواره در دوره‌های زمانی مورد استفاده در این پژوهش، به منظور شناسایی مناطقی که می‌توان از داده‌های ماهواره TRMM برای پایش خشکسالی در آن محدوده‌های جغرافیایی استفاده نمود، تحلیل مکانی برای حوضه مرزی غرب انجام شد، همچنین بر اساس روش‌های درون‌یابی، نقشه مکانی خشکسالی با استفاده از داده‌های زمینی بر اساس کمترین میانگین مربعات خطا تهیه شد.

شکل‌های ۱۱ و ۱۲، پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های هواشناسی و تصاویر TRMM را طی سال‌های آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۲ نمایش می‌دهد، با توجه به نتایج فوق بررسی شد که شاخص SPI به میزان بارندگی وابسته می‌باشد و مقدار بارش برآورد شده از تصاویر TRMM برای مناطق حاره‌ای (بارش شدید) مناسب می‌باشد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، بهترین همبستگی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه می‌باشد، بنابراین پهنه‌بندی نقشه خشکسالی ۱۲ ماهه منتهی به



شکل ۱۳- مقایسه شاخص SPI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی در سال ۲۰۰۴



شکل ۱۴- مقایسه شاخص SPI حاصله از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی در سال ۲۰۰۸

و اعتبارسنجی در دوره مورد مطالعه، انجام شد. پس از به‌دست آوردن اعتبار داده‌های بارش ماهواره‌ای با استفاده از پارامترهای اعتبارسنجی چون (RMSE و MBE) داده‌های ماهواره‌ای جایگزین داده‌های زمینی بارش شد، همچنین محاسبات پایش زمانی و مکانی خشکسالی به کمک شاخص SPI و برای مقیاس‌های زمانی سه، شش، نه و ۱۲ ماهه با کمک نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

نتایج نشان داد که همبستگی میان داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره TRMM در سری‌های زمانی SPI ۱۲ ماهه نسبت به سه‌ماهه بیشتر است، دلیل این را می‌توان مبنی بر میزان بارش دانست. همچنین ممکن است بنا به دلایلی در برخی از مشاهدات، این روند با خطا روبرو شود که علت آن را عدم بارش در آن دوره یا ایستگاه دانست.

بنابراین، طبق مشاهدات بارش انجام شده و آمار هواشناسی موجود، سال ۲۰۰۴ به‌عنوان سال پرباران و سال ۲۰۰۸ به‌عنوان سال کم‌باران انتخاب شد، شکل فوق بیان‌گر SPI-12 ماهه منتهی به دسامبر این دو سال می‌باشد که به مقایسه وضعیت خشکسالی حاصل از دوسری داده‌های بارش می‌پردازد. شکل فوق نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۸ به‌عنوان سال خشک محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی پایش خشکسالی در حوضه مرزی غرب، با کمک داده‌های هواشناسی (شامل ۳۰ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی)، اقدام به ارزیابی داده‌های ماهانه ماهواره TRMM(3B43) شد. همچنین برای ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ای عملیات صحت‌سنجی

منابع مورد استفاده

1. Chenari, M. 2005. Investigation on variation of some drought indices using Markov Chain in South Alborz climates samples. MSc Thesis, Tehran University, 159 pages (in Persian).
2. Ebert, E.E. 2007. Methods for verifying satellite precipitation estimates, Measuring precipitation from space-EURAINSAT and the future. Advances in Global Change Research, 28(40): 345-356.

3. Erfanian, M. 2012. Offering a new approach to assessment drought risk of Fars with combined monthly rainfall data TRMM and vegetation index data (NDVI) of the sensor TERRA/MODIS. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(1): 93-108 (in Persian).
4. Ghafourian, H. 2014. Comparing and assessment of TRMM data and ground based measurements data for drought monitoring. *Journal of Middle East Applied Science and Technology (JMEAST)*, 2014: 415-419.
5. Hicham, E., A. Bouziane and D. Ouazar. 2013. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indices in Morocco using open short time-series data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26: 36-48.
6. Hejazizade, Z., B. Alijani, P. Ziyaian, M. Karimi and S. Rafati. 2012. Estimation satellite rainfall and comparison with Kriging interpolation method. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(3): 49-64 (in Persian).
7. Khajeh, F. 2007. Drought monitoring with normalized difference vegetation index (NDVI) in Isfahan. MSc Thesis, Isfahan University, 243 pages (in Persian).
8. Li, J.G., H.X. Ruan, J.R. Li and S.F. Huang. 2010. Application of TRMM precipitation data in meteorological drought monitoring. *Journal of China Hydrology*, 30: 43-46 (in Chinese).
9. Mahmoodzade, A. 2008. Computing correlation between SPI and NDVI. 3rd Conference on Management of Water Resource in Iran, Department of Civil Engineering, 23-25 Oct 2008, University of Tabriz (in Persian).
10. Noroozi, A.A. 2014. Designing and creating systems, monitoring and damage to rice. Research final report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 132 pages (in Persian).
11. National Space Development Agency of Japan. 2001. TRMM Data Users Handbook, Earth Observation Center.
12. Rezaeipajand, H. 2001. Application of statistics and probability in water resourcing. Speaking Publishing, 468 Pages (in Persian).
13. Raziie, T., A. Shokohi, B. Saghafian and P. Danesh Arasteh. 2003. Drought monitoring in central Iran using SPI index. 3rd National Conference on Climate Change, 216-206 (in Persian).
14. Rhee, J.G., and J. Carbone. 2011. Estimating drought conditions for regions with limited precipitation data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 12: 548-560.
15. Sharma, S. 2003. Study of precipitating systems by doppler weather radar and TRMM precipitation radar. Department of Physics, Kohima Science College, Jotsoma, Kohima, Nagaland, India-797002.
16. Xiang-Hu, L., Q. Zhang and Xu. Chong-Yu. 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*, 2012(426-427): 28-38.