

آنالیز مکانی - زمانی دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM برای برآورد شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش در محدوده ایران مرکزی

یعقوب نیازی - دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
علی طالبی* - استاد گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
محمدحسین مختاری - استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
مجید وظیفه‌دوست - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۳

چکیده

بیشتر سیستم‌های ارزیابی خشک‌سالی عمدتاً بر مبنای داده‌های بارش استوارند. تحقیق حاضر، با هدف آنالیز مکانی و زمانی دقت داده‌های باران ماهواره TRMM در محدوده ایران مرکزی برای تهیه نقشه توزیع مکانی خشک‌سالی مبتنی بر بارش در طی دوره آماری ۲۰۰۱ - ۲۰۰۵ انجام شده است. در این پژوهش، از داده‌های بارش ماهانه ۵۰ ایستگاه سینوپتیک و سری داده‌های ماهانه TRMM-3B43 V7 با مقیاس مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ استفاده شده است. پس از پردازش اولیه، نخست داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای باران در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی، و سالانه مقایسه تطبیقی شد. پس از حصول اطمینان از دقت بالای این داده‌ها، نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دست آمد. ارزیابی دقت نقشه توزیع مکانی خشک‌سالی مبتنی بر بارش ماهواره‌ای بر اساس مقایسه با نقشه توزیع مکانی خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های بارش زمینی و داده‌های رطوبت خاک انجام گرفته است. نتایج بررسی معیارهای ارزیابی نشان داد که شدت خشک‌سالی برآوردشده به وسیله داده‌های TRMM در انطباق با نقشه شدت خشک‌سالی حاصل از داده‌های بارش و داده‌های رطوبت زمینی از بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۷۱ و همچنین کمترین خطای برآوردی به‌ویژه در کلاس‌های شدت خشک‌سالی ملایم، متوسط، و شدید برخوردار بوده است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی، ایران مرکزی، باران ماهواره، خشک‌سالی، سنجش از دور.

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی و نامحسوس است که در پی کاهش بارندگی در طی یک دوره ممتد کوتاه یا طولانی روی می‌دهد (হারدی، ۲۰۰۳: ۳۹). این پدیده، به‌منزله یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت، برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است؛ تقوی و محمدی (۱۳۸۶: ۱۸) از آن با نام «ناهنجاری اقلیمی» یاد کرده‌اند. کردوانی (۱۳۸۰: ۳۰) نمونه‌های زیادی از خشک‌سالی را در ایران و جهان و اثرهای آن در کشورهایی که از لحاظ اقلیمی شرایطی بهتر از کشور ما دارند بیان کرده است. اظهارنظر کارشناسان گویای آن است که ایران در ۲۲ سال گذشته سیزده خشک‌سالی را پشت سر گذاشته است (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶: ۱۵). برای مطالعه و ارزیابی خشک‌سالی، شاخص‌های متعددی ارائه شده است. کمبود اطلاعات سبب روی آوردن پژوهشگران به شاخص‌های ساده‌تر بر پایه بارش شده است (گاتمن،

۱۹۹۸: ۲). بارندگی، به‌عنوان بی‌ثبات‌ترین متغیر اقلیمی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت فراوانی دارد. تغییرات بارش به‌طور مستقیم در رطوبت خاک و جریان‌های سطحی و زیرزمینی انعکاس می‌یابد. به همین دلیل، بارش اولین برداری است که می‌تواند در بررسی هر حالتی از خشک‌سالی مورد توجه قرار گیرد (نوحی و عسگری، ۱۳۸۴: ۵۹). بر این اساس، در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشک‌سالی بر پایهٔ مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های آب و هوایی بوده است. این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشک‌سالی به‌وجود آورده است. در چهار دهه سنجش از دور، ابزار پایش خشک‌سالی به صورت وسیع و گسترده فراهم آمده و مدل‌های پایش خشک‌سالی زیادی ارائه شده است (ابراهیمی خوسفی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۰). پیشرفت‌های اخیر فناوری‌های سنجش از دور پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر بارندگی در نواحی‌ای که اندازه‌گیری‌ها و دیدبانی‌های زمینی محدودند ایجاد کرده است. با توجه به اینکه تحلیل خشک‌سالی با کمک این روش مستلزم دارابودن تصاویر قوی و ابزارهای تفسیرکننده است و تهیهٔ آن همواره با مشکلات خاصی روبه‌روست، در کشورهای در حال توسعه رشد چندانی نیافته است. با این حال، باید از منابع سنجش از دوری که بتواند به صورت عددی مقادیر داده‌های هواشناسی مانند بارندگی را ارائه دهد بیش از پیش استفاده کرد. از جملهٔ این ماهواره‌ها می‌توان به ماهوارهٔ TRMM^۱ اشاره کرد.

عسکری و همکارانش (۱۳۸۷: ۸) در مطالعهٔ خود به دانلود، پردازش، و مقایسهٔ بصری و آماری محصول 3B42RT ماهوارهٔ TRMM با داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک ایران برای آذرماه سال ۱۳۸۶ اقدام کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهندهٔ انطباق ۷۰ درصدی داده‌های باران ماهوارهٔ TRMM با مقادیر زمینی در این ماه بود. میرحیمی و فیضی‌زاده (۱۳۸۷: ۷) دقت داده‌های رادار زمینی و ماهوارهٔ TRMM در برآورد بارندگی را برای روز ۲۷ دسامبر ۲۰۰۶ بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بین داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای همبستگی نسبتاً خوبی وجود دارد. بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰: ۸) داده‌های ماهوارهٔ TRMM-3B43 را با داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شدهٔ زمینی پروژهٔ گردآوری داده‌های مشاهداتی بارش با قدرت تفکیک بالا در بازهٔ زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند ضرایب همبستگی در برآورد بارش میانگین زمستان به‌عنوان پُربارش‌ترین فصل سال ۰/۸۳ و در فصل بهار ۰/۸۶ و در فصل پاییز ۰/۸۳ در کل کشور است. سرانجام، اعلام کردند به‌طور کلی داده‌های ماهانهٔ ماهوارهٔ TRMM در پایش باران در کشور ایران عملکرد موفقی را نشان می‌دهد. شیروانی و فخاری‌زاده شیرازی (۱۳۹۳: ۱) مقادیر مشاهداتی برآوردهای ماهوارهٔ TRMM را در استان فارس ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که به طور کلی همبستگی معنی‌داری در سطح پنج‌درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در بیشتر مناطق استان فارس برای همهٔ مقیاس‌های زمانی وجود دارد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳: ۹۳) برای ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان فارس از تلفیق داده‌های ماهانهٔ بارندگی ماهوارهٔ TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجندهٔ Terra/MODIS استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر انطباق قابل قبول نقشه‌های SPI داده‌های زمینی و SPI مبتنی بر داده‌های TRMM بود. غفوریان و همکاران (۱۳۹۳: ۶۳۹) برای تعیین مناطق مناسب جهت پایش خشک‌سالی در استان خراسان رضوی از داده‌های ماهواره‌ای TRMM استفاده کردند. محاسبات پایش خشک‌سالی به کمک شاخص SPI و برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در دورهٔ آماری سیزده‌ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۰) انجام پذیرفت. ارزیابی داده‌های ماهانهٔ ماهواره به کمک

شاخص‌های CSI و R^2 انجام شد. نتایج نشان داد غیر مقیاس زمانی یک‌ماهه، سازگاری بسیار خوبی بین داده‌های ماهانه ماهواره و ایستگاه‌های زمینی وجود دارد.

اسلام و همکاران (۲۰۱۰: ۱۲) داده‌های TRMM را در مقیاس روزانه با استفاده از داده‌های ۱۵ ایستگاه زمینی واقع در نپال کالیبره کردند. داده‌های برآوردی ماهواره در مقیاس ماهانه، فصلی، و سالانه توزیع مشابهی با الگوی به‌دست‌آمده از داده‌های زمینی داشت. نتایج آن‌ها در مقیاس روزانه نشان داد با وجود اینکه در بیشتر روزها TRMM مقادیر باران را کمتر برآورد می‌کند، روند بسیار مشابه با داده‌های زمینی دارد. لی و همکاران (۲۰۱۰: ۴۳) به تحلیل زمانی و مکانی خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهانه ماهواره TRMM پرداختند و سیر تغییرات شدت خشک‌سالی را طی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بررسی کردند. مناطق تحت تأثیر خشک‌سالی را طی این دوره مشخص و شدیدترین دوره خشک‌سالی را تعیین کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند 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. ژانگ و همکاران (۲۰۱۱: ۹۷)، با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش، پایش، و تحلیل، خشک‌سالی شدید سال ۲۰۱۰ چین را با کمک داده‌های روزانه (3B42) و ماهانه (3B43) انجام دادند. آن‌ها مناطقی را که در آن سال دچار خشک‌سالی شدید بودند و محدوده‌هایی را هم که خشک‌سالی با شدت کمتری در آن مناطق به‌وقوع پیوسته بود تعیین کردند. سرانجام، آن‌ها نتیجه گرفتند چون داده‌های ماهواره TRMM اثرهای خشک‌سالی هواشناسی را در چنین پژوهشی به‌خوبی نشان می‌دهد، این داده‌ها می‌تواند برای تحلیل و پایش خشک‌سالی در مقیاس مکانی بزرگ‌تری در چین نیز به‌کار برده شود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲: ۲۷۳) از داده‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ میلادی (دوره آماری دوازده‌ساله) استفاده کردند و برای مقیاس‌های زمانی یک و سه‌ماهه شاخص SPI را برای ایستگاه‌های بالادست تا پایین‌دست یک حوضه آبریز وسیع (دارای ناهمگنی جغرافیایی، اقلیمی، و ایستگاهی) و داده‌های ماهواره TRMM (پیکسل‌های موجود در منطقه مطالعاتی) محاسبه کردند و با استفاده از آزمون‌های آماری انطباق بیش از ۶۰ درصد کل مقایسات صورت‌گرفته را تأیید کردند. دو خشک‌سالی شدید به‌وقوع پیوسته در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ میلادی در بخشی از چین با کمک داده‌های ماهواره TRMM تشخیص داده شد. سرانجام، آن‌ها نتیجه گرفتند که داده ماهانه ماهواره TRMM پتانسیل پایش خشک‌سالی را در مناطقی با داده‌های پراکنده دارد.

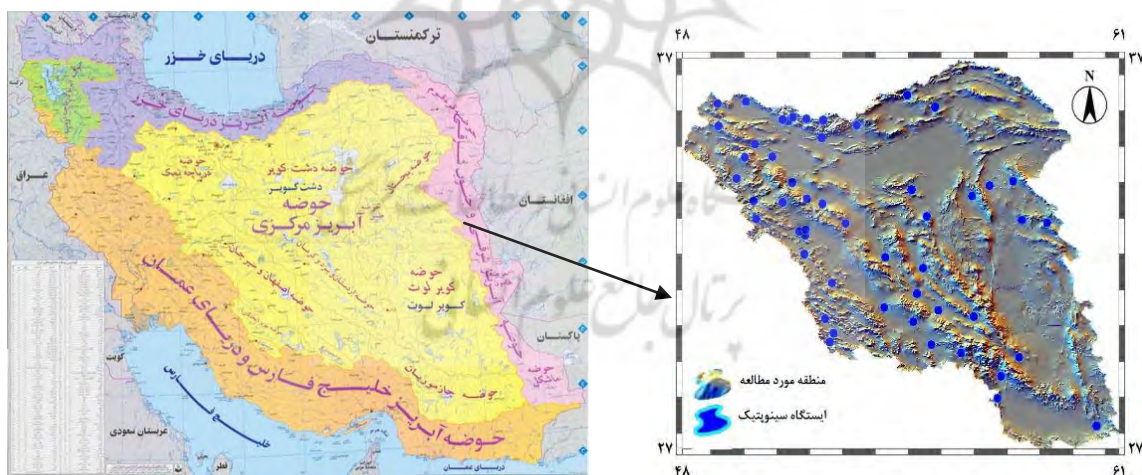
با توجه به اهمیت خشک‌سالی، هنوز نیاز به مطالعات بیشتر در رابطه با خشک‌سالی در مناطق مختلف کشور احساس می‌شود. از طرفی، پایش خشک‌سالی و پی‌بردن به الگوی بارش فصول خشک در زمان و مکان برای مواجه‌شدن با شرایط خشک‌سالی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. برای محاسبات مربوط به تعیین خشک‌سالی اندازه‌گیری متغیرها، که مهم‌ترین آن‌ها بارش است، نیاز است. این در حالی است که پراکندگی ایستگاه‌ها در بیشتر مناطق مناسب نیست. علاوه بر این، کوتاهی دوره آماری بسیاری از ایستگاه‌ها، مطالعات منابع آبی و اقلیمی را با مشکل مواجه کرده است، از این رو، لازم است منابع داده اقلیمی دیگری را که فاقد این مشکلات باشد ارزیابی و از آن استفاده کرد. بر همین اساس، در این تحقیق نخست مقایسه تطبیقی بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای باران در سه مقیاس ماهانه، فصلی، و سالانه انجام شده است. سپس، از داده‌های ماهواره TRMM برای تهیه نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش در محدوده ایران مرکزی استفاده شده و دقت داده‌های آن با استفاده از نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش ایستگاه‌های زمینی و داده‌های رطوبت خاک ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

حوزه ایران مرکزی محدوده اقلیمی مربوط به دشت‌های خشک تا کویری فلات مرکزی ایران را شامل می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها به‌خصوص دشت‌های پهناور کویری چون دشت لوت و دشت کویر است؛ این دشت‌ها دارای زمستانی سرد با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفرند. تابستان این دشت‌ها خشک و سوزان است و دما به ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالای صفر می‌رسد. رطوبت نسبی این دشت‌ها پایین است و به طور متوسط ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵ درصد و در موارد استثنایی می‌تواند تا ۱۰ درصد و کمتر برسد. نزولات جوی این حوزه اندک است و متوسط سالیانه آن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر، اغلب ۵۰ میلی‌متر، و در مواردی حتی به ۲۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. بالعکس تبخیر سالیانه در این حوزه بالاست و در موارد زیادی به بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال هم می‌رسد. این حوزه، با مساحت ۸۳۷.۱۸۴ کیلومتر مربع، ۵۰٫۸ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است.

در این تحقیق، به منظور ارزیابی و مقایسه نقشه توزیع مکانی خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های باران ماهواره TRMM با داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه، محدوده ایران مرکزی شامل ۵۰ ایستگاه سینوپتیک دارای باران‌سنج انتخاب شده است. در این مناطق، شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی بسیار پراکنده و نامنظم بوده و بارندگی از تغییرات زیادی برخوردار است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارندگی ماهانه ۵۰ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های سری TRMM-3B43 V7 با دوره آماری پنج‌ساله از ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ است. داده‌های TRMM-3B43 V7 از سایت ناسا دانلود شد و پس از پردازش اولیه و آماده‌سازی از آن استفاده شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش مکانی ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱ و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی

داده‌های TRMM

ماهواره TRMM (مأموریت اندازه‌گیری باران مناطق حاره‌ای) اولین سیستم فضایی رادار بارش است و هنوز هم در مدار است و از اطلاعات آن استفاده می‌شود (کمرو و بارنز، ۱۹۹۸: ۸۰۹). این ماهواره در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد و اولین مأموریت اختصاص داده‌شده برای اندازه‌گیری باران

جدول ۱. ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در محدوده ایران مرکزی

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	ایران‌شهر	۶۰٫۷۲	۲۷٫۲۱	۵۹۱٫۱۰
۲	کهنوج	۵۷٫۷۲	۲۷٫۹۷	۴۶۹٫۷۰
۳	میان ده جیرفت	۵۷٫۸۲	۲۸٫۵۹	۶۰٫۱
۴	بم	۵۸٫۳۷	۲۹٫۱۱	۱۰۶۶٫۹۰
۵	بافت	۵۶٫۵۹	۲۹٫۲۴	۲۲۸۰
۶	سیرجان	۵۵٫۶۹	۲۹٫۴۷	۱۷۳۹٫۴۰
۷	شیراز	۵۲٫۶۱	۲۹٫۵۴	۱۴۸۴
۸	زرقان	۵۲٫۷۳	۲۹٫۷۹	۱۵۹۶
۹	شهر بابک	۵۵٫۱۴	۳۰٫۱۰	۱۸۳۴٫۱۰
۱۰	سد درودزن	۵۲٫۴۶	۳۰٫۱۹	۱۶۵۲
۱۱	کرمان	۵۶٫۹۸	۳۰٫۲۵	۱۷۵۲٫۸۰
۱۲	رفسنجان	۵۵٫۹۱	۳۰٫۴۲	۱۵۸۰٫۹۰
۱۳	مروست	۵۴٫۲۶	۳۰٫۵۰	۱۵۴۶٫۶۰
۱۴	انار	۵۵٫۲۶	۳۰٫۸۹	۱۴۰۸٫۸۰
۱۵	آباده	۵۲٫۶۸	۳۱٫۱۹	۲۰۳۰
۱۶	بافق	۵۵٫۴۴	۳۱٫۶۰	۹۹۱٫۴۰
۱۷	یزد	۵۴٫۲۹	۳۱٫۹۰	۱۲۳۷٫۲۰
۱۸	شهرضا	۵۱٫۸۴	۳۱٫۹۹	۱۸۴۵٫۲۰
۱۹	کبوترآباد	۵۱٫۸۶	۳۲٫۵۲	۱۵۴۵
۲۰	اصفهان	۵۱٫۶۸	۳۲٫۶۲	۱۵۵۰٫۴۰
۲۱	شرق اصفهان	۵۱٫۸۸	۳۲٫۶۷	۱۵۴۳
۲۲	نائین	۵۳٫۰۹	۳۲٫۸۵	۱۵۴۹
۲۳	بیرجند	۵۹٫۲۱	۳۲٫۸۷	۱۴۹۱
۲۴	خور بیرجند	۵۸٫۴۴	۳۲٫۹۴	۱۱۱۷٫۴۰
۲۵	داران	۵۰٫۳۸	۳۲٫۹۷	۲۲۹۰
۲۶	رباط پشت	۵۵٫۵۶	۳۳٫۰۴	۱۱۸۸
۲۷	اردستان	۵۲٫۳۹	۳۳٫۳۹	۱۲۵۲٫۴۰
۲۸	میامه	۵۱٫۱۸	۳۳٫۴۴	۱۹۸۰
۲۹	گلیپگان	۵۰٫۲۹	۳۳٫۴۷	۱۸۷۰
۳۰	نطنز	۵۱٫۹۱	۳۳٫۵۴	۱۶۸۴٫۹۰
۳۱	طبس	۵۶٫۹۳	۳۳٫۶۰	۷۱۱
۳۲	خور بیابانک	۵۵٫۰۹	۳۳٫۷۹	۸۴۵
۳۳	بشرویه	۵۷٫۴۶	۳۳٫۹۰	۸۸۵
۳۴	کاشان	۵۱٫۴۶	۳۳٫۹۹	۹۸۲٫۳۰
۳۵	فردوس	۵۸٫۱۸	۳۴٫۰۲	۱۲۹۳
۳۶	اراک	۴۹٫۷۸	۳۴٫۱۰	۱۷۰۸
۳۷	تفرش	۵۰٫۰۳	۳۴٫۶۹	۱۹۷۸٫۷۰
۳۸	قم	۵۰٫۸۶	۳۴٫۷۰	۸۸۷٫۴۰
۳۹	ساوه	۵۰٫۳۴	۳۵٫۰۵	۱۱۰۸
۴۰	قمصر	۵۲٫۳۶	۳۵٫۲۴	۸۹۹٫۹۰
۴۱	اوج	۴۹٫۲۳	۳۵٫۵۷	۲۰۳۴٫۹۰
۴۲	سمنان	۵۳٫۴۳	۳۵٫۵۹	۱۱۲۷
۴۳	فیروزکوه	۵۲٫۴۱	۳۵٫۷۲	۳۹۸۵٫۷۰
۴۴	چیتگر	۵۱٫۱۸	۳۵٫۷۴	۱۳۰۵٫۲۰
۴۵	آبعلی	۵۱٫۸۹	۳۵٫۷۵	۳۴۶۵٫۲۰
۴۶	شمال تهران	۵۱٫۴۹	۳۵٫۸۰	۱۵۴۹٫۱۰
۴۷	بیارجمند	۵۵٫۸۱	۳۶٫۰۹	۱۰۹۹٫۳۰
۴۸	خرم دره	۴۹٫۱۹	۳۶٫۱۹	۱۵۷۵
۴۹	قزوین	۵۰٫۰۶	۳۶٫۲۶	۱۲۷۹٫۲۰
۵۰	شاهرود	۵۴٫۹۶	۳۶٫۴۲	۱۳۴۹٫۱۰

مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای از طریق سنسورهای مایکروویو، مادون قرمز، و مرئی است. این ماهواره اندازه‌گیری‌های سیستماتیک، چندساله، مرئی، مادون قرمز، و مایکروویو بارندگی را در مناطق حاره‌ای به‌عنوان ورودی‌های اصلی پروژه‌های آب و هوایی و اقلیم فراهم می‌کند. مشاهدات ماهواره‌ای توسط داده‌های باران‌سنج‌ها و رادارهای زمینی به‌منظور اعتبارسنجی تکنیک‌های ماهواره‌ای برآورد بارندگی تکمیل می‌شوند. 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.

محاسبه شاخص خشک‌سالی بارش (PDI)^۱

شاخص خشک‌سالی مبتنی بر بارش داده‌های اندازه‌گیری‌شده ایستگاه‌های زمینی و داده‌های TRMM در این مطالعه بر اساس رابطه ۱ محاسبه شده است (بالینت و همکاران، ۲۰۱۱: ۸).

$$PDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=0}^{IP-1} P_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n*IP)} \sum_{k=1}^n \left[\sum_{j=0}^{IP-1} P_{(m-j),k}^* \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(P^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(P^*)}}} \quad (1)$$

که در آن P^* مقدار بارش اصلاح‌شده ماهانه است که از رابطه $P+1$ به‌دست می‌آید، IP دوره انتخابی مورد نظر، $RL(P)$ طول دوره اجرا که برابر با حداکثر تعداد ماه‌های زیر متوسط بارش طولانی‌مدت در دوره انتخابی است، n تعداد سال‌ها با داده‌های مرتبط است، z مجموع پارامترهای اجرایی پوشش‌دهنده IP ، و k مجموع پارامتر پوشش‌دهنده سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آن‌ها در دسترس است. طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی مبتنی بر مقادیر شاخص PDI به صورت زیر است:

جدول ۲. درجه‌بندی مقادیر شاخص PDI

شدت خشک‌سالی	مقدار شاخص PDI
بدون خشک‌سالی	>۱
خشک‌سالی ملایم	۱-۰٫۸
خشک‌سالی متوسط	۰٫۸-۰٫۶
خشک‌سالی شدید	۰٫۶-۰٫۴
خشک‌سالی خیلی شدید	<۰٫۴

ارزیابی داده‌های TRMM-3B43 V7

برای آنالیز مکانی و زمانی دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM جهت برآورد بارش و شدت خشک‌سالی مبتنی بر آن با استفاده از شاخص خشک‌سالی PDI، داده‌های اندازه‌گیری‌شده ایستگاه‌های زمینی و داده‌های TRMM با استفاده از معیارهای آماری خطا مقایسه تطبیقی شد که در ادامه شرح داده می‌شود.

ضریب همبستگی پیرسون (R)

ضریب همبستگی پارامتری پیرسون یکی از رایج‌ترین و مفیدترین روش‌های آماری است که درجه همبستگی بین دو

متغیر را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین -۱ و +۱ است و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. این ضریب در مقیاس‌های ماهانه، فصلی، و سالانه (مقادیر باران بزرگ‌تر از صفر) محاسبه شد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (2)$$

که در آن O_i مقدار بارش یا شاخص خشک‌سالی حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی، P_i مقدار بارش یا شاخص خشک‌سالی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای TRMM، \bar{O} و \bar{P} به ترتیب متوسط مقدار بارش یا شاخص خشک‌سالی حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی و ماهواره‌ای TRMM، و n تعداد کل داده‌هاست.

میانگین خطا (ME)

میانگین خطا میزان ارزیابی یا انحراف داده‌های برآوردی را از مقادیر مشاهده‌ای به طور متوسط نشان می‌دهد. معیار ME مثبت بیانگر این است که مقادیر TRMM بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای است، ولی ME منفی بیانگر برآورد کمتر TRMM در مقایسه با میانگین منطقه‌ای مقادیر مشاهده‌ای است.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (3)$$

میانگین خطای مطلق (MAE)

میانگین خطای مطلق متوسط مقدار مطلق خطاها را نشان می‌دهد. این معیار آماری از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (4)$$

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)

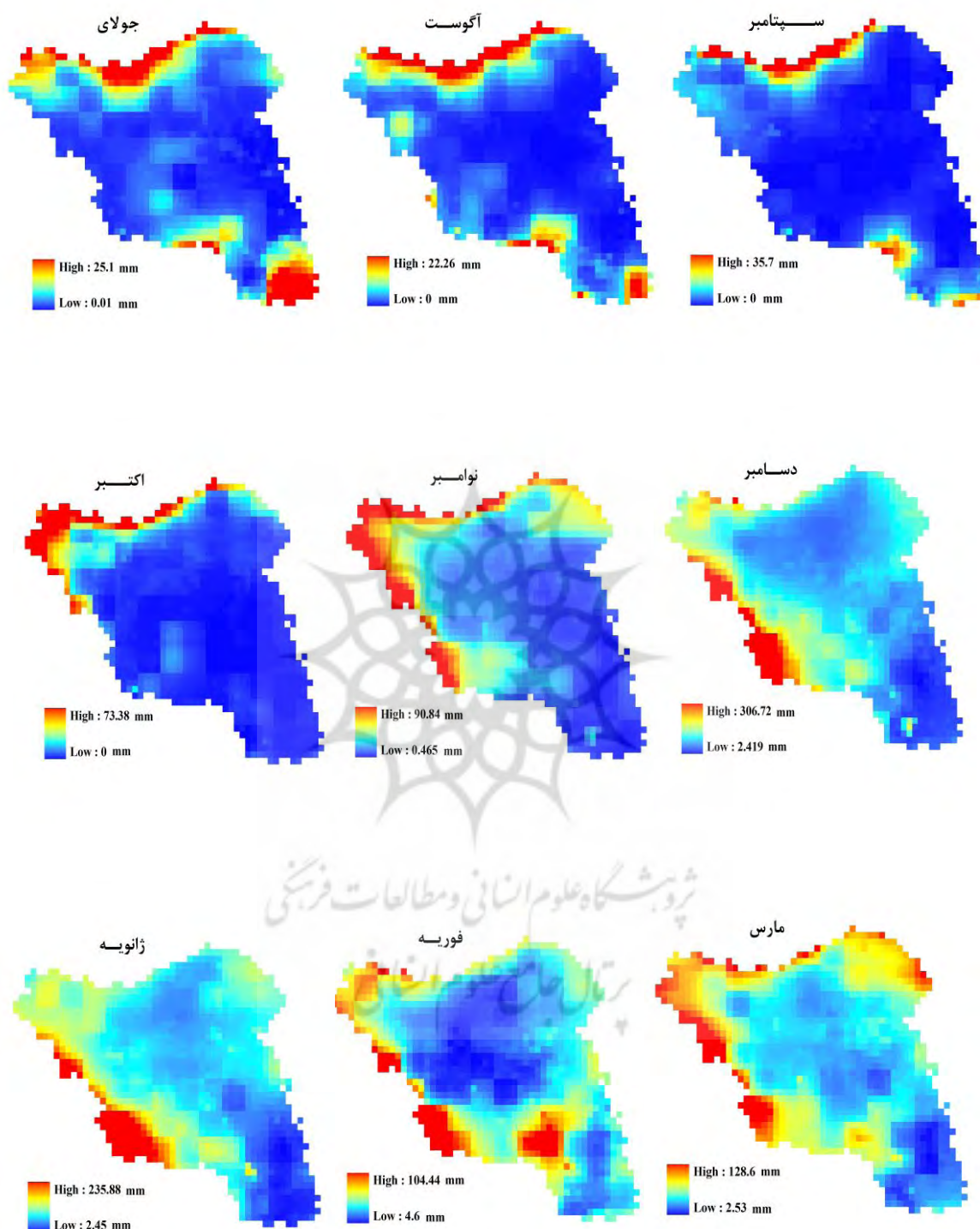
ریشه دوم میانگین مربعات خطا میانگین خطاهای کوچک و بزرگ را نشان می‌دهد و در مقایسه با MAE برای خطاهای بزرگ نسبت به خطاهای کوچک وزن بیشتری را در نظر می‌گیرد. رابطه محاسبه این معیار آماری به صورت رابطه ۵ است:

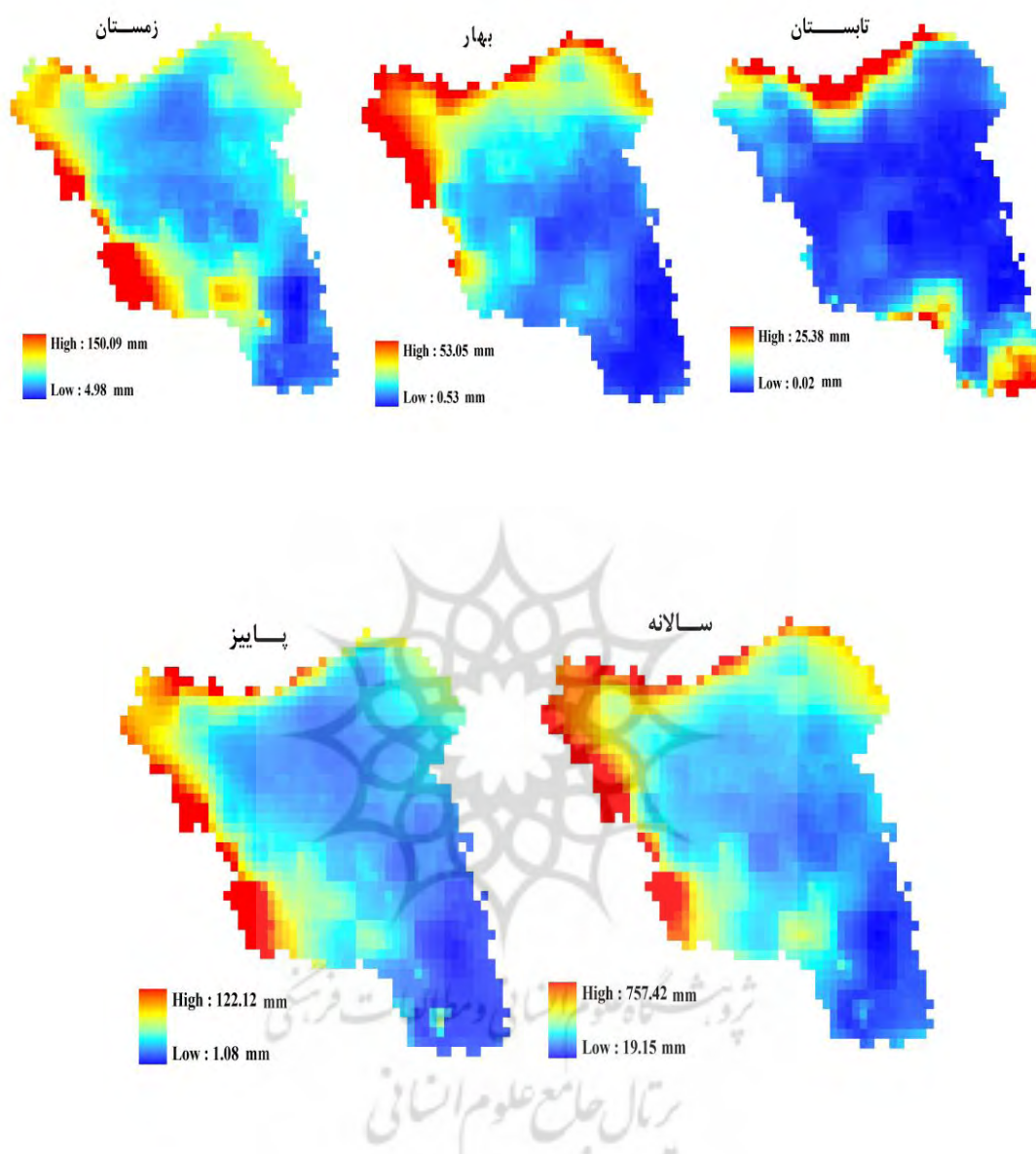
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (5)$$

یافته‌های پژوهش

توزیع مکانی- زمانی بارندگی ماهانه، فصلی، و سالانه ماهواره TRMM-3B43 V7

توزیع مکانی بارندگی ماهانه، فصلی، و سالانه بر حسب میلی‌متر برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. بارندگی ماهانه، فصلی، و سالانه از داده‌های TRMM-3B43 V7 و متوسط سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ به دست آمده است. در سه توزیع ماهانه، فصلی، و سالانه عمدتاً بیشترین مقدار بارندگی در حاشیه شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است؛ در حالی که توزیع مکانی کمترین مقدار بارندگی در سه گام زمانی مورد بررسی روند متفاوتی در منطقه مورد مطالعه داشته است.

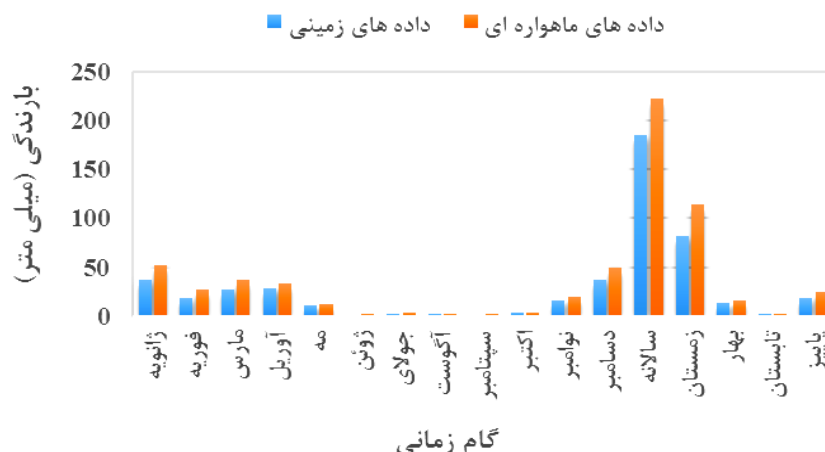




شکل ۲. توزیع مکانی میانگین ماهانه، فصلی، و سالانه باران برآوردشده ماهواره TRMM در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۵

مقایسه متوسط ماهانه، فصلی، و سالانه بارندگی

میانگین بارندگی ماهانه، فصلی، و سالانه کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه انتخابی و داده‌های TRMM در طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۵ مقایسه شده است (شکل ۳). داده‌های TRMM در همه گام‌های زمانی به جز ماه آگوست مقدار متوسط ماهانه منطقه را بیش از مقدار مشاهده‌ای تخمین زده است.

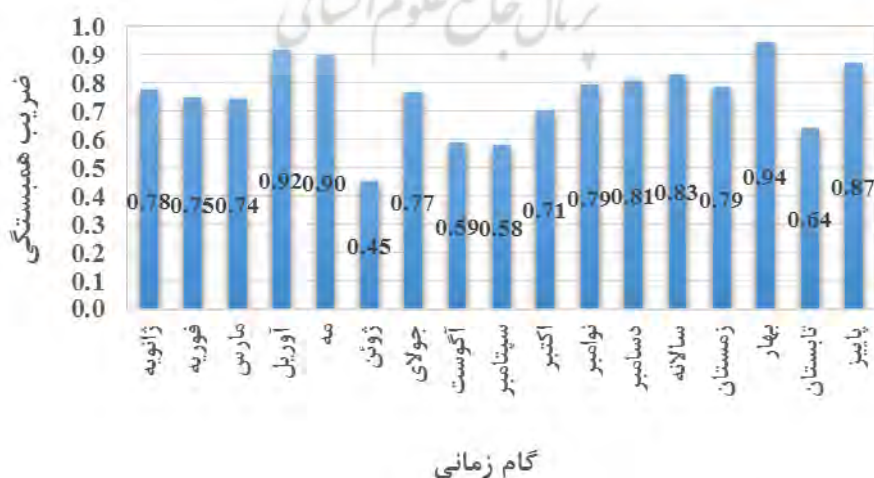


شکل ۳. مقایسه میانگین ماهانه، فصلی، و سالانه منطقه‌ای داده‌های TRMM و مشاهده‌ای در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۵

معیارهای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM-3B43 V7

در شکل ۴ هیستوگرام ضرایب همبستگی بین متوسط داده‌های ماهانه، فصلی، و سالانه باران سنج‌ها و TRMM طی دوره پنج‌ساله ۲۰۰۱-۲۰۰۵ درج شده است. این ضریب برای همه گام‌های زمانی مورد بررسی بین ۰/۴۵ تا ۰/۹۴ متغیر است و متوسط آن برابر ۰/۷۶ است. بیشترین ضریب همبستگی در بازه زمانی ماهانه مربوط به ماه آوریل با ضریب ۰/۹۲ و کمترین مربوط به ماه ژوئن با ضریب ۰/۴۵ است. در گام زمانی فصلی نیز بیشترین ضریب همبستگی مربوط به فصل بهار با ضریب ۰/۹۴ و کمترین مربوط به فصل تابستان با ضریب ۰/۶۴ است. ضریب همبستگی گام زمانی سالانه نیز برابر ۰/۸۳ بوده است.

جدول ۳ معیارهای آماری خطای محاسبه‌شده در هر یک از گام‌های زمانی مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج معیارهای آماری خطای محاسبه‌شده نشان می‌دهد که داده‌های TRMM بارندگی را در همه گام‌های زمانی به جز ماه اگوست بیشتر برآورد می‌کند. کمترین مقدار معیارهای آماری خطای محاسبه‌شده به ترتیب در مقیاس ماهانه، فصلی، و سالانه بوده است.



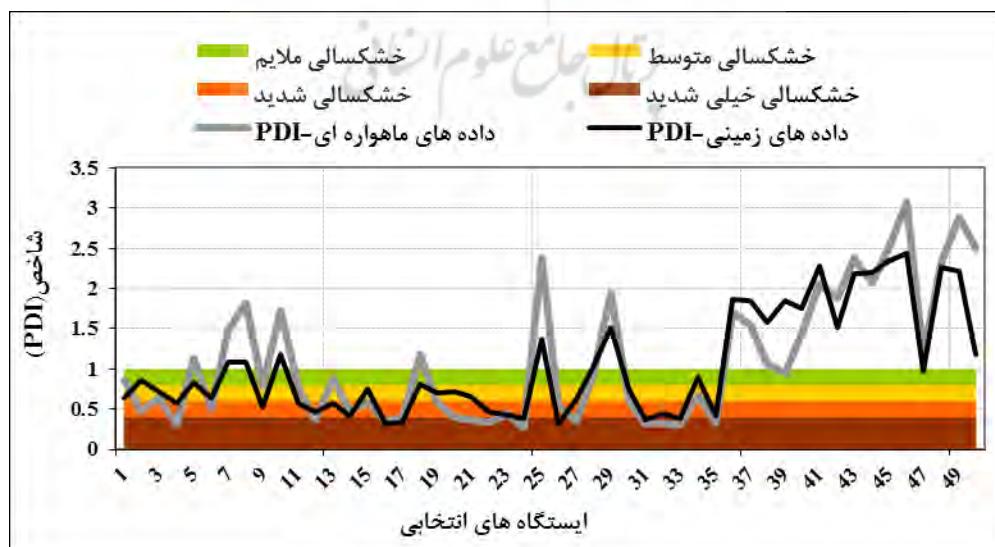
شکل ۴. هیستوگرام ضرایب همبستگی بین میانگین منطقه‌ای داده‌های ماهانه، فصلی، و سالانه TRMM و مشاهده‌ای

جدول ۳. معیارهای آماری خطای محاسبه‌شده در گام‌های زمانی ماهانه، فصلی، و سالانه

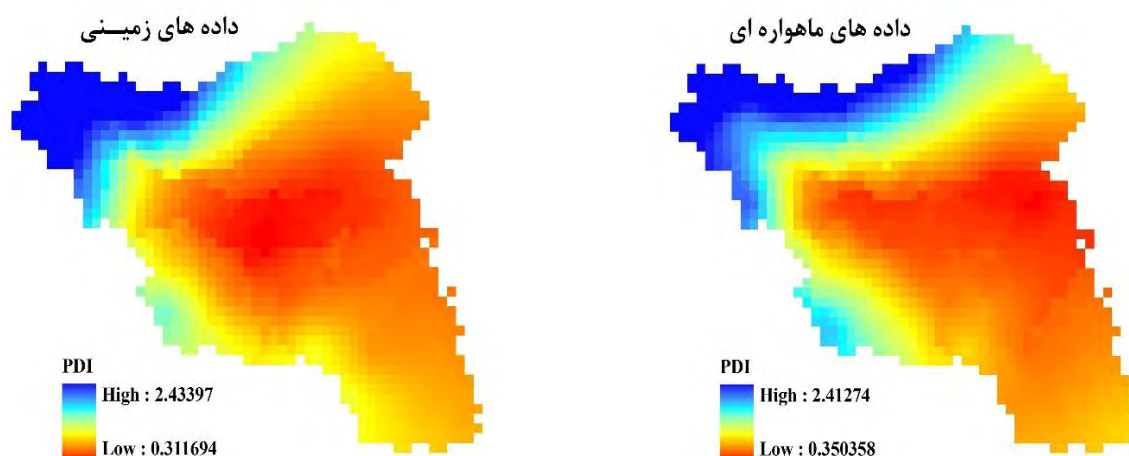
گام زمانی	ME(mm)	MAE(mm)	RMSE(mm)
ژانویه	۱۵,۴۴	۱۷,۳۹	۲۷,۲۳
فوریه	۸,۰۱	۹,۸۳	۱۳,۵۷
مارس	۹,۳۳	۱۲,۹۵	۱۶,۶۷
آوریل	۴,۰۹	۷,۵۸	۱۰,۱۴
مه	۱,۲۰	۳,۶۲	۵,۴۳
ژوئن	۰,۸۱	۱,۱۱	۲,۲۸
جولای	۰,۸۴	۱,۷۲	۲,۸۲
آگوست	-۰,۱۶	۲,۲۱	۴,۳۸
سپتامبر	۰,۶۷	۱,۲۹	۲,۵۸
اکتبر	۰,۹۷	۲,۴۲	۵,۰۶
نوامبر	۴,۴۴	۷,۰۳	۱۰,۹۵
دسامبر	۱۲,۵۳	۱۵,۷۶	۲۴,۵۷
سالانه	۳۸,۵۶	۶۱,۰۶	۸۴,۷۸
زمستان	۱۰,۹۲	۱۳,۳۹	۲۷,۲۳
بهار	۲,۰۳	۴,۱۰	۱۶,۶۷
تابستان	۰,۴۵	۱,۷۴	۱۳,۵۷
پاییز	۵,۹۸	۸,۴۱	۲۰,۰۳

توزیع مکانی خشک‌سالی مبتنی بر بارش ماهواره TRMM-3B43 V7 و ایستگاه‌های زمینی

شکل ۵ متوسط مقدار شاخص PDI بر اساس بارش اندازه‌گیری‌شده از ۵۰ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های TRMM طی دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۱ در محدوده ایران مرکزی نشان می‌دهد. شکل ۶ توزیع میانگین مکانی خشک‌سالی مبتنی بر بارندگی حاصل از داده‌های اندازه‌گیری‌شده ایستگاه‌های زمینی و داده‌های TRMM طی دوره ۲۰۰۵-۲۰۰۱ را با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. هر دو شکل نشان‌دهنده برآورد کمتر شدت خشک‌سالی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای نسبت به داده‌های زمینی است.



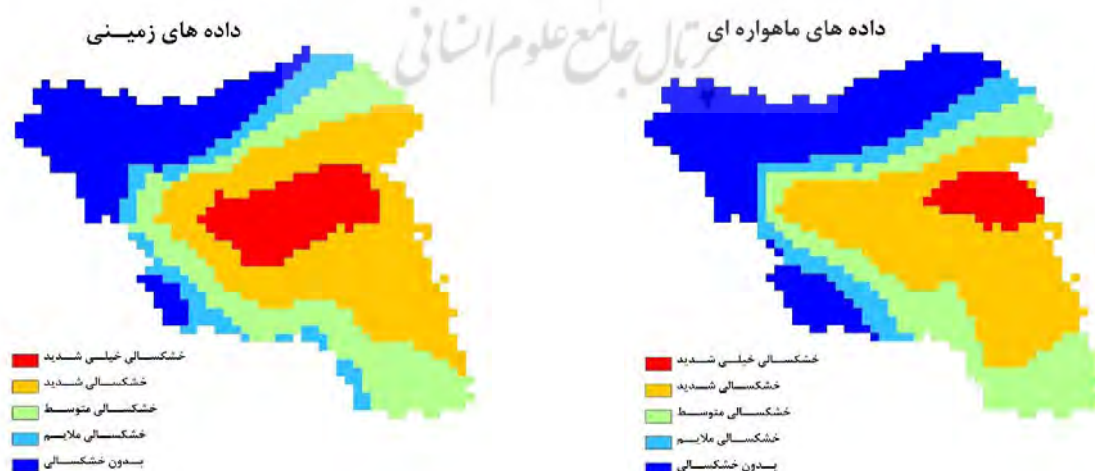
شکل ۵. مقایسه میانگین شاخص خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های TRMM و مشاهده‌ای طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۵



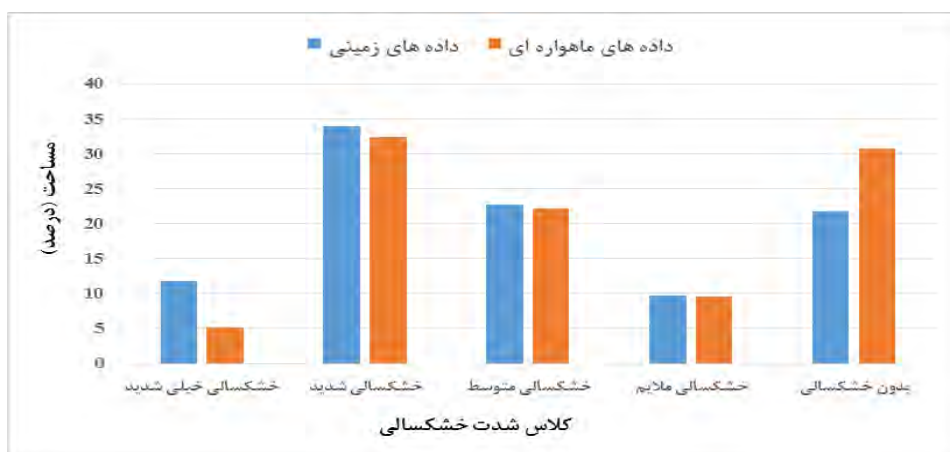
شکل ۶. توزیع مکانی میانگین شاخص خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های زمینی و ماهواره‌ای TRMM

طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش ماهواره TRMM-3B43 V7 و ایستگاه‌های زمینی

نقشه‌های طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی PDI در پنج کلاس بدون خشک‌سالی، خشک‌سالی ملایم، خشک‌سالی متوسط، خشک‌سالی شدید، و خشک‌سالی خیلی شدید حاصل از داده‌های زمینی و داده‌های TRMM در محدوده ایران مرکزی در شکل ۷ نشان داده شده است. شکل ۸، درصد سهم هر یک از طبقات شدت خشک‌سالی در کل محدوده مورد بررسی را در نقشه‌های حاصل از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای نشان می‌دهد. بر اساس این دو شکل، در کلاس خشک‌سالی خیلی شدید مقدار برآوردی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای کمتر از داده‌های زمینی است؛ در حالی که در کلاس بدون خشک‌سالی نتایج کاملاً برعکس است. در سایر کلاس‌های شدت خشک‌سالی، نتایج داده‌های ماهواره‌ای و زمینی به هم نزدیک بوده است.



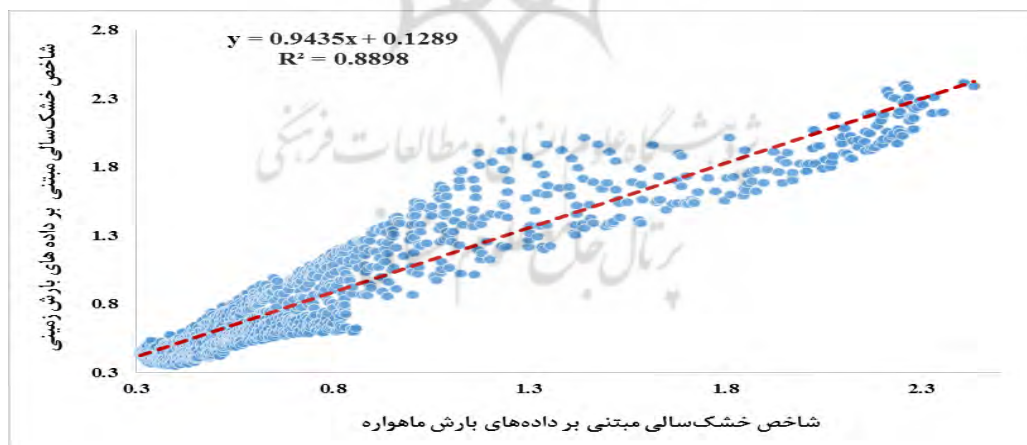
شکل ۷. نقشه طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های زمینی و ماهواره‌ای TRMM



شکل ۸. مقایسه درصد مساحت نقشه‌های طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های زمینی و ماهواره‌ای TRMM

معیارهای ارزیابی نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM-3B43 V7

شکل ۹ نمودار پراکنش، رابطه رگرسیون خطی، و ضریب همبستگی بین نقشه توزیع مکانی میانگین شاخص خشک‌سالی PDI مبتنی بر داده‌های زمینی و ماهواره‌ای TRMM را طی دوره پنج‌ساله ۲۰۰۵-۲۰۰۱ نشان می‌دهد. جدول ۴ نتایج معیارهای آماری ارزیابی حاصل از انطباق نقشه توزیع مکانی خشک‌سالی PDI مبتنی بر داده‌های TRMM با پیکسل‌های متناظر نقشه توزیع مکانی خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهد. نتایج معیارهای آماری ارزیابی و خطای محاسبه‌شده نشان می‌دهد که نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های TRMM از دقت بالا و انطباق قابل قبولی با داده‌های زمینی برخوردار بوده است.

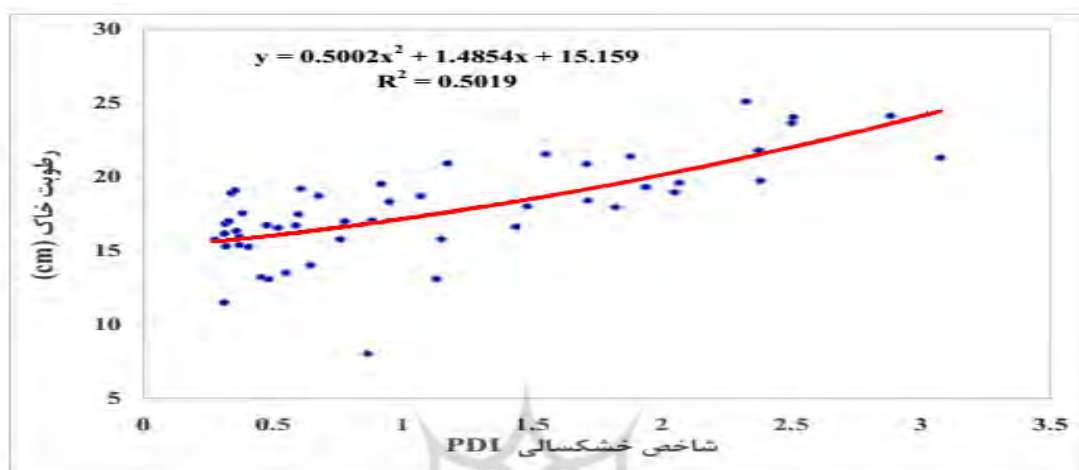


شکل ۹. نمودار پراکنش بین مقادیر شاخص خشک‌سالی مبتنی بر میانگین منطقه‌ای داده‌های TRMM و مشاهده‌ای

جدول ۴. نتایج معیارهای آماری ارزیابی دقت شاخص خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های TRMM در مقایسه با داده بارش زمینی

RMSE	MAE	ME	معنی‌دار در سطح ۹۵٪	R
۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۰۸	+	۰/۹۴

به منظور ارزیابی دقیق‌تر شاخص PDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM نمودار پراکنش، رابطه رگرسیون خطی، و ضریب همبستگی بین نقشه شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص مذکور با مقادیر رطوبت خاک مبتنی بر داده‌های زمینی طی دوره مورد مطالعه در شکل ۱۰ نشان داده است. نتایج معیارهای آماری ارزیابی این شاخص با مقادیر رطوبت خاک مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۱۰. مقایسه مقادیر متوسط شاخص خشک‌سالی PDI و رطوبت خاک طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۵

جدول ۵. نتایج معیارهای آماری ارزیابی دقت شاخص خشک‌سالی PDI مبتنی بر داده‌های TRMM در مقایسه با داده رطوبت زمینی

RMSE	MAE	ME	معنی‌دار در سطح ۹۵٪	R
۲٫۳۳	۱٫۷۶	-۰٫۰۲	+	۰٫۷۱

نتایج معیارهای آماری ارزیابی و خطای محاسبه‌شده نشان می‌دهد که نقشه شدت خشک‌سالی PDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای از دقت و انطباق قابل قبولی با داده‌های زمینی بارش و رطوبت خاک برخوردار بوده است.

نتیجه‌گیری

از آنجا که بیشتر مناطق ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، آگاهی از مقدار و تغییرات زمانی باران در هر منطقه می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مفید باشد. مهم‌ترین پارامتر اقلیمی دخیل در ارزیابی خشک‌سالی بارش است که نسبت به سایر متغیرها ابزار بیشتری برای سنجش آن وجود دارد. اما تراکم ناکافی ایستگاه‌ها، هزینه‌بر بودن احداث و نگهداری این ایستگاه‌ها، و کیفیت نامطلوب داده‌های شبکه‌های سنجش باران باعث کاهش توانایی بالقوه در نشان‌دادن الگوی مکانی و دقیق این شاخص‌ها می‌شود. از این رو، لازم است منابع داده اقلیمی، که بتواند این نقیصه‌ها را مرتفع سازد، شناسایی و پس از ارزیابی از آن‌ها استفاده شود. بر همین اساس، در این پژوهش، نخست بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای باران در سه مقیاس ماهانه، فصلی، و سالانه مقایسه تطبیقی انجام شد. سپس، از داده‌های ماهواره TRMM برای تهیه نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش در محدوده ایران مرکزی استفاده شد و دقت داده‌های آن با استفاده از نقشه شدت خشک‌سالی مبتنی بر بارش ایستگاه‌های زمینی ارزیابی شد. نتایج حاصل از بررسی معیارهای ارزیابی نشان از معنی‌دار بودن معادله بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای

است. در مقیاس زمانی ماهانه بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ماه آوریل (۰/۹۲) و کمترین مربوط به ماه ژوئن (۰/۴۵) بوده است. در این مقیاس زمانی کمترین مقدار معیارهای آماری خطا مربوط به ماه ژوئن و بیشترین مقدار آن مربوط به ماه ژانویه است. در مقیاس فصلی نیز بیشترین ضریب همبستگی مربوط به فصل بهار (۰/۹۴) و کمترین مربوط به فصل تابستان (۰/۶۴) است. در این مقیاس زمانی کمترین مقدار معیارهای آماری خطا مربوط به فصل تابستان و بیشترین مقدار آن مربوط به فصل زمستان است. به طور کلی، خطای بیشتر برآورد بارش داده‌های ماهواره‌ای TRMM در فصل زمستان می‌تواند با اثر سطوح پوشیده‌شده توسط برف و یخ و همچنین کاستی‌ها و نقص‌های مربوط به الگوریتم‌های بازیابی بارش در این داده‌های ماهواره‌ای مرتبط باشد. مقیاس زمانی سالانه نیز با وجود دقت قابل قبول در مقایسه با گام‌های زمانی ماهانه و فصلی از خطای بیشتری در برآورد بارش برخوردار بوده است. به طور کلی، داده‌های TRMM-3B43 V7 از دقت خوبی در برآورد بارش برخوردارند؛ اما مقدار بارش را در محدوده ایران مرکزی به غیر از ماه آگوست بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده‌اند. ارزیابی نقشه شدت خشک‌سالی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای نیز نشان داد که شدت خشک‌سالی برآوردشده به وسیله داده‌های TRMM در انطباق با نقشه شدت خشک‌سالی حاصل از داده‌های زمینی از بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطای برآوردی به‌ویژه در کلاس‌های شدت خشک‌سالی ملایم، متوسط، و شدید برخوردار بوده است. اما اختلاف حداقلی بین خروجی داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های زمینی مربوط به کلاس‌های شدت خشک‌سالی خیلی شدید و بدون خشک‌سالی بود که به‌نظر می‌رسد مربوط به مقدار برآورد بیشتر بارش توسط داده‌های TRMM نسبت به داده‌های زمینی است. از این رو، با اجرای تصحیحات و کالیبراسیون این داده‌ها قبل از استفاده می‌توان دقت خروجی حاصل از آن‌ها را در مطالعات مختلف هواشناسی، هیدرولوژی، و زمینه‌های مرتبط با آن افزایش داد.

منابع

- ابراهیمی خوسفی، م.؛ درویش‌زاده، ر.؛ متکان، ع.ا. و عاشورلو، د. (۱۳۸۹). بررسی خشک‌سالی در مناطق خشک مرکزی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تکیه بر شاخص‌های گیاهی (مطالعه موردی: شیرکوه یزد)، علوم محیطی، ۷(۴): ۷۲-۵۹.
- بارانی‌زاده، ا.؛ بهیار، م.ب. و عابدینی، ی.ع. (۱۳۹۰). ارزیابی برآوردهای بارندگی ماهواره TRMM-3B43 با استفاده از مقایسه با داده‌های زمینی مشاهداتی شبکه‌های بارش قدرت تفکیک بالا (APHRODIT) در ایران، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ص ۸.
- تقوی، ف. و محمدی، ح. (۱۳۸۶). بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست‌محیطی، محیط‌شناسی، ۳۳(۴۳): ۱۱-۲۰.
- شیروانی، ا. و فخاری‌زاده شیرازی، ا. (۱۳۹۳). مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس، نشریه هواشناسی کشاورزی، ۲(۲): ۱-۱۵.
- عسگری، ق.؛ پورباقری، س.م. و مبارکی، ز. (۱۳۸۷). اعتبارسنجی داده‌های بارش به‌دست‌آمده از ماهواره TRMM به کمک ایستگاه‌های خودکار هواشناسی، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۷، تهران، ۲۲-۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۷.
- عرفانیان، م.؛ وفایی، ن. و رضاییان، م. (۱۳۹۳). ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده TerraMODIS، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۱): ۹۳-۱۰۸.
- غفوریان، ه.؛ ثنایی‌نژاد، س.ح. و داوری، ک. (۱۳۹۲). بررسی تعیین مناطق مناسب جهت پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۳): ۶۴۸-۶۳۹.
- کردوانی، پ. (۱۳۸۰). خشک‌سالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- میررحیمی، س.م. و فیضی‌زاده، ب. (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۷، تهران، ۲۲-۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۷.
- نوحی، ک. و عسگری، ا. (۱۳۸۴). مطالعه خشک‌سالی و دوره‌های برگشت ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها در منطقه قم، فصل‌نامه خشکی و خشک‌سالی کشاورزی، ۱۵: ۴۷-۶۴.
- Askary, G.H.; Pourbagher, S.M. and Mobaraki, Z. (2008). Validation of estimated TRMM rainfall data by automatic weather stations in Iran, *Geomatics 87 National Conference*, Tehran. May 11-12, 2008.
- Balint, Z.; Mutua, F.M. and Muchiri, P. (2011). Drought Monitoring with the Combined Drought Index, *Journal of Methodology and Software*, FAO-SWALIM Nairobi, Kenya: 1-28.
- Barani Zadeh, A.; Behyar, M.B. and Abedini, Y. (2011). Assessment Evaluation of Monthly TRMM Satellite Data using Asian Precipitation Highly- Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water (APHRODITE) in Iran, *2th national conference of applications research of water resources management*, Zanjan, May, 2011.
- Chokngamwong, R. and Chiu, L.S. (2008). Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products, *Journal of Hydrometeorol*, 9(2): 256-266.
- Ebrahimi Khusfi, M.; Darvishzade, R.; Matkan, A. and Ashourloo, D. (2010). Drought Assessment in Arid Regions Using Vegetation Indices - A Case Study of "Shirkooh of Yazd in Central Iran, *Journal of Environmental Sciences*, 7(4): 59-72. (In Persian).

- Erfanian, M.; Vafaei, N. and Rezaianzadeh, M. (2014). A New Method for Drought Risk Assessment by Integrating the TRMM Monthly Rainfall Data and the Terra/MODIS NDVI Data in Fars Province, Iran, *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 46(1): 93-108. (In Persian).
- Ghafourian, H.; Sanaeinejad, S.H. and Davary, K. (2014). Investigation of Suitable Regions Determination for Drought Monitoring Using TRMM Satellite Data (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 28(3): 639-648. (In Persian).
- Guttman, N. (1998). Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index, *Journal of Am. Water Resources Association*, 34: 113-121.
- Hardy, J. (2003). *Climate Change, Causes, Effects and Solutions*, John Wiley Sons, Ltd, pp. 39.
- Kardavani, P. (2001). *Drought & the Ways of Confronting with it in Iran*, University of Tehran Press, 28-33. (In Persian).
- Islam, M.; Das, S. and Uyeda, H. (2010). Calibration of TRMM Derived Rainfall Over Nepal During 1998-2007, *Atmospheric Science Journal*, 4: 12-23.
- Kummerow, C. and Barnes, W. (1998). The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15: 809-817.
- Li J.G., Ruan H.X., Li J.R. and Huang, S.F. (2010). Application of TRMM precipitation data in meteorological drought monitoring, *Journal of China Hydrology*, 30: 43-46.
- Mirrahimi, S.M. and Feizizadeh, B. (2008). Accuracy of ground radar and TRMM data to estimate precipitation, *Geomatics 87 National Conference*, Tehran, May 11-12, 2008.
- Nouhi, K. and Asgari, A. (2005). Study and periods of drought and famine in the years returned to Qom, *Dry season and drought, agricultural extension staff letter*, 15: 64-67.
- Shirvani, A. and Fakhari Zade Shirzai, E. (2015). Comparison of ground based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province, *Journal of Agricultural Meteorology*, 2(2): 1-15. (In Persian).
- Taghavi, F. and Mohammadi, H. (2007). Study the Return Period of Extreme Climate Events for Reduction of Environmental Impacts, *Journal of Environmental Studies*, 33(43): 11-20. (In Persian).
- Zang, W.B.; Ruan, B.Q.; Li, J.G. and Huang, S.F. (2011). Analysis of extraordinary meteorological drought in Southwest China by using TRMM precipitation data, *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 8: 97-106.
- Zeng, H.; Lijuan, L. and Li, J. (2012). The evaluation of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) in drought monitoring in the Lancang River Basin, *Journal of Geographical Sciences*, 22(2): 273-282.