



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

# پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

## مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی برای تحلیل شاخص خشک‌سالی در استان خراسان رضوی

زهرا شیرمحمدی علی‌اکبرخانی<sup>\*ib</sup>

گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران

### چکیده مبسوط

#### مقدمه و هدف

خشک‌سالی یک خطر طبیعی پیچیده است که می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی داشته باشد. روش‌های سنتی ارزیابی خشک‌سالی اغلب به اندازه‌گیری‌های بارندگی زمینی متکی هستند که به ویژه در مناطق دورافتاده و توسعه نیافته پراکنده و توزیع مناسبی ندارند. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به طور گسترده‌ای برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی به ویژه در مناطق خشک استفاده می‌شود. با این حال، قابلیت اعتماد محاسبات SPI به شدت به دسترسی و دقت داده‌های بارندگی وابسته است. داده‌های بارندگی ماهواره‌ای (SPPs) همراه با پوشش جامع و داده‌های پیوسته در مناطق گسترده و به ویژه در مناطقی با مشاهده‌های زمینی محدود، جایگزین مناسبی است.

#### مواد و روش‌ها

با استفاده از چهار داده میانگین ماهانه بارش، شامل: TRMM 3B43 (TRMM)، GPM-IMERGv6 (GPM)، ERA5 و PERSIANN-CDR (PERSIANN) موجود در موتور جستجوگر گوگل ارث، شاخص خشک‌سالی ۱۲ ماهه محاسبه شد. سپس، این شاخص با شاخص محاسبه شده با استفاده از داده‌های بلندمدت بارش ایستگاه‌های زمینی در دوره آماری هر ایستگاه به شکل جداگانه و تجمیعی در سطح استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران مقایسه شد. ایستگاه‌های انتخاب شده شامل قوچان، گناباد، کاشمر، مشهد، نیشابور، سرخس، سبزوار، گلستان، تربت جام و تربت حیدریه بودند. دوره پژوهش از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ بود و شامل تغییرات اقلیمی و رویدادهای خشک‌سالی گوناگونی بود.

#### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir

استناد: شیرمحمدی علی‌اکبرخانی، ز. ۱۴۰۴. مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی برای تحلیل شاخص خشک‌سالی در استان خراسان رضوی. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۸ (۲): ۱۹-۱.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2024.366564.1591

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱  
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱ تا ۱۹.

نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



برای ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای، چندین معیار ارزیابی عملکرد (ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، بایاس نسبی، شاخص ناش-ساتکلیف و احتمال برآورد) محاسبه شد. با استفاده از این معیارها می‌توان در چارچوب بسیارخوبی، دقت و قابلیت اطمینان داده‌های ماهواره‌ای را در برآورد شاخص خشک‌سالی ارزیابی کرد.

### نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای نتایج متفاوتی در ایستگاه‌های گوناگون نشان داد. عملکرد داده‌های TRMM در تربت‌حیدریه، قوچان، کاشمر، مشهد و نیشابور بهتر بود. این داده دارای ضریب همبستگی زیاد و اندازه‌های کم ریشه میانگین مربعات خطا با داده‌های زمینی بود که این موضوع نشانگر قابلیت اطمینان آن در این مناطق بود. عملکرد داده‌های PERSIANN و GPM به‌ترتیب در گلمکان و سبزوار بهتر بود و با داده‌های بارشی ایستگاه‌های زمینی تطابق بهتری را نشان دادند. بیشترین دقت در تربت‌جام، گناباد و سرخس مربوط به داده‌های ERA5 بود. نتایج معیارهای بایاس نسبی و میانگین خطا نشان داد داده‌های ماهواره‌ای به‌طورکلی برآوردهای دقیقی از بارش با کمترین انحراف سامانمند از داده‌های زمینی، ارائه دادند. اندازه‌های شاخص نش-ساتکلیف که می‌توان با استفاده از آن دقت پیش‌بینی مدل‌ها را اندازه‌گیری کرد، برای داده‌های برتر بیش از ۰/۶۵ بود که نشان‌دهنده کارایی زیاد این داده‌های در پایش خشک سالی بود. نتایج تحلیل‌های آماری داده‌های نقطه به نقطه در مقایسه با داده‌های تجمیعی در سطح استان بهتر بود. در تحلیل تجمیعی، بیشترین ضریب همبستگی ( $CC=0/8$ )، بیشترین شاخص نش-ساتکلیف ( $NSC=0/55$ )، کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE=0/61$ ) و بیشترین احتمال برآورد ( $POD=0/70$ ) از داده‌های ماهواره‌ای TRMM به‌دست آمد. به نظر می‌رسد ایستگاه‌های تکی ممکن است به‌دلیل شرایط خاص محلی مانند وجود منابع آب محلی، پوشش گیاهی ویژه یا دخالت‌های انسانی، داده‌هایی متفاوت از کل استان ارائه دهند. ازاین‌رو، با تجمیع داده‌ها در سطح استان، تأثیر این ناهنجاری‌های محلی افزایش یافت و نتایج به‌دست‌آمده به‌دلیل کاهش دقت نتایج و افزایش تأثیر ناهنجاری‌های محلی، به‌خوبی نمایانگر وضعیت واقعی اقلیمی استان نبود. می‌توان نتیجه گرفت که اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای نامبرده در تعیین شاخص خشک‌سالی ۱۲ ماهه باید به‌شکل محلی انجام شود.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس ارزیابی دقت SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه، عملکرد داده‌های بارش به‌دست آمده از ماهواره در مناطق مطالعه‌شده خوب بود. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری جداگانه داده‌ها در هر ایستگاه در مقایسه با بررسی تجمیعی ایستگاه‌ها بهتر بود. به‌طور ویژه، دقت داده‌های TRMM برای ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد، نیشابور و کاشمر، داده‌های GPM برای ایستگاه سبزوار، داده‌های ERA5 برای ایستگاه‌های تربت‌جام، سرخس و گناباد و داده‌های PERSIANN برای ایستگاه گلمکان مناسب بودند و برای مدیریت منابع آب و پایش خشک‌سالی می‌توان از آنها بهره برد. پیشنهاد می‌شود، با توجه به دقت مناسب داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها به‌عنوان یک مجموعه داده بلندمدت با ارزش برای بررسی خشک‌سالی‌ها در مناطق مطالعه‌شده استان خراسان‌رضوی به‌کار برده شوند. چونکه در داده‌های ماهواره‌ای از منابع متفاوتی از داده‌ها استفاده می‌شود و هر کدام از این داده‌ها ممکن است تحت تأثیر عامل‌های گوناگون محیطی، جغرافیایی، و اقلیمی باشند. ازاین‌رو، به‌دلیل ویژگی‌های محلی و تفاوت‌های ذاتی در دستورالعمل‌های استفاده‌شده در هر داده، نبود عملکرد یکسان در همه ایستگاه‌ها قابل پیش‌بینی بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود از داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس گسترده، از روش‌های تحلیل داده، واسنجی محلی، و مدل‌سازی نبودن قطعیت‌ها به‌شکل ترکیبی استفاده کرد تا بتوان به ضریب اطمینان مناسب برای این داده‌ها دست یافت.

### واژگان کلیدی

ارزیابی خشک‌سالی، داده‌های بارش ماهواره‌ای، مناطق خشک و نیمه‌خشک، موتور جستجوگر گوگل‌ارث

## مقدمه

خشک‌سالی به عنوان یکی از بلایای زیست‌محیطی در زمینه‌های گوناگونی چون محیط‌زیست، بوم‌نظام، آب‌شناسی، هواشناسی، زمین‌شناسی و کشاورزی بسیار به آن توجه شده است که بدون شک یکی از پیچیده ترین پدیده‌های طبیعی به‌شمار می‌آید (فلر ۲۰۱۶). این پدیده یک ویژگی ذاتی اقلیمی است و بازگشت آن اجتناب‌ناپذیر است. خشک‌سالی غالباً به تدریج در مناطق گسترده‌ای توسعه می‌یابد. عامل‌های تعیین کننده اثر خشک‌سالی شامل شدت، گستردگی منطقه، فراوانی و مدت آن است که به‌وسیله ساز و کارهای طبیعی تنظیم می‌شود که به‌راحتی قابل درک نیستند و مهار آن‌ها دشوار است (اباسی ۱۹۹۴؛ فلر ۲۰۱۶). این پدیده متأثر از بارش، تبخیر و تعرق، دما، رطوبت قابل دسترس خاک و شرایط در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی است (خسروی و همکاران ۲۰۱۷؛ مونتاندون و اسمال ۲۰۰۸؛ شهاب‌فر و همکاران ۲۰۱۲). پیش‌بینی دقیق خشک‌سالی به انتخاب صحیح متغیرهای ورودی بستگی دارد و نوع خشک‌سالی را که باید پیش‌بینی شود، تعیین می‌کند (میشرا و سینگ ۲۰۱۰). هیچ تعریف واحدی از خشک‌سالی وجود ندارد. تعریف اولیه خشک‌سالی به‌وسیله آب‌شناسان و متخصصان آب یعنی کمبود بارش‌های معمول و هوای خشک برای آبخیزها در هر نقطه از جهان در یک بازه زمانی خاص است (سازمان جهانی هواشناسی ۲۰۱۲). به‌طور کلی سه نوع خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و آب‌شناختی در نظر گرفته می‌شود (ویلپت و گلاتنز ۱۹۸۷؛ توپچو و سکین ۲۰۱۶). همان‌طور که تعریف واحدی از خشک‌سالی وجود ندارد، شاخص خشک‌سالی واحدی نیز ندارد که الزامات همه کاربردها را برآورده کند. یکی از شاخص‌های قابل قبول در تعیین انواع خشک‌سالی‌ها شاخص بارش استاندارد شده (SPI) می‌باشد که نقطه قوت واقعی آن توانایی محاسبه چندین مقیاس زمانی است که امکان مقابله با بسیاری از انواع خشک‌سالی را ممکن می‌سازد. SPI یک شاخص خشک‌سالی هواشناسی بسیار مطلوب است که منحصراً بر اساس داده‌های بارش است. SPI روش آسان و انعطاف‌پذیری برای پیش

خشک‌سالی در مقیاس‌های مختلف از شرایط تقریباً طبیعی تا خشک‌سالی شدید است (مک‌کی و همکاران ۱۹۹۳؛ مک‌کی ۱۹۹۵). این شاخص اغلب به‌وسیله تصمیم‌گیرندگان برای اندازه‌گیری و پایش شدت رویداد های خشک‌سالی هواشناسی استفاده شده است. افزون‌براین، SPI برای شناسایی گستره مکانی-زمانی خشک‌سالی‌های تاریخی طولانی‌مدت نیز مفید است و در پژوهش‌های پرشماری مناسب بودن آن برای برآورد خشک‌سالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت گزارش شده است (بلاینه و همکاران ۲۰۱۴؛ دوتا و همکاران ۲۰۱۵، ۲۰۱۳؛ گاتمن ۱۹۹۸؛ نرش کومار و همکاران ۲۰۰۹؛ پاتل و همکاران ۲۰۰۷؛ ژانگ و جیا ۲۰۱۳). از این شاخص می‌توان در مقیاس‌های زمانی متفاوت کوتاه‌مدت (۳-۱ ماه) یا مقیاس بلندمدت (۹-۱۲ ماه) استفاده کرد. تفسیر اندازه‌های SPI بستگی به مقیاس زمانی استفاده شده دارد.

میان SPI یک تا سه ماهه و شرایط رطوبت کوتاه‌مدت خاک نسبت به بارش در مقیاس زمانی کوتاه ارتباط نزدیکی وجود دارد (سازمان هواشناسی جهانی ۲۰۱۲). اما ارتباط میان SPI شش تا نه ماهه به جریان رود و SPI بلندمدت (۱۲ بیش از ماه) با جریان آب زیرزمینی بستگی دارد. استفاده از این شاخص در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت و در مناطق خشک با تفسیرهای همراه‌کننده ای همراه است (سازمان هواشناسی جهانی ۲۰۱۲).

اندازه‌های صفر می‌توانند محاسبات SPI را منحرف کرده و در نتیجه، فرض بهنجار بودن توزیع SPI را نقض کنند. بنابراین، در تعیین SPI‌های کوتاه‌مدت در مناطق خشک باید دقت داشت. وو و همکاران (۲۰۰۷) بهنجار بودن اندازه‌های SPI را در مکان‌های مختلف در ایالات متحده بررسی کردند. در برخی از مکان‌ها (کانزاس و نبراسکا)، مشخص شد که SPI‌های کوتاه‌مدت (تا مقیاس زمانی ۶ هفته‌ای) به‌طور بهنجار توزیع نشدند. بنابراین نتیجه گرفتند که شاخص SPI برای تشخیص سریع اثرات خشک‌سالی، هنگامی که در مقیاس‌های زمانی کوتاه استفاده می‌شود مؤثر است. از این‌رو، در مناطق خشک، قابلیت اطمینان آن می‌تواند تحت تأثیر

که با کاربرد آن می‌توان بینش‌های ارزشمندی برای مناطق و گوناگون پیشنهاد داد. این شاخص در شناسایی شدت و روند خشک‌سالی مؤثر است (سعاده و ابورمان ۲۰۱۷).

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ابزار ارزشمندی برای پایش و ارزیابی شرایط خشک‌سالی به ویژه در مناطق خشک است. با این حال، اثربخشی آن را می‌توان با استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تکمیل اندازه‌گیری‌های سنتی مبتنی بر بارش افزایش داد. اگرچه اطلاعات هواشناسی از ایستگاه‌های زمینی دقت خوبی دارند و در سراسر جهان مطلوب هستند، اما توزیع و تراکم ایستگاه‌های هواشناسی برای ثبت اطلاعات مکانی لازم، کافی نیستند (براون و همکاران ۲۰۰۸؛ دوتا و همکاران ۲۰۱۵). چنانچه توزیع مناسبی از ایستگاه‌های هواشناسی در سراسر منطقه وجود نداشته باشد، گستره مکانی خشک‌سالی را نمی‌توان به درستی شناسایی کرد. در سال‌های گذشته، پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل مزایایی چون هزینه کمتر، پوشش گسترده و هم‌پوشانی، تکرار مداوم در جمع‌آوری داده‌ها و قابلیت اطمینان زیاد، به طور گسترده‌ای پذیرفته شده است (دوتا و همکاران ۲۰۱۵). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مزایای زیادی برای نظارت بر خشک‌سالی دارد و در پژوهش‌های پرشماری استفاده شده است. در پژوهشی از داده‌های ماهواره‌ای IMERG برای پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI در ۸۰۷ ایستگاه در چین استفاده شد. نتایج نشان دهنده تطابق زیاد میان اندازه‌های SPI مبتنی بر IMERG و اندازه‌های SPI مبتنی بر ایستگاه‌های زمینی برای پایش خشک‌سالی در اکثر مناطق چین (با ضریب همبستگی بیش از ۰/۸) بود (وی و همکاران ۲۰۲۰). لو و همکاران (۲۰۱۸) شاخص خشک‌سالی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را با استفاده از چهار داده ماهواره‌ای (CMORPH RAW, CMORPH BLD version 1.0, TMPA 3B42RT و TMPA 3B42 version 7) در چین ارزیابی کردند. نتایج نشان داد SPI مبتنی بر ماهواره به‌رغم اینکه فقط بر اساس

فراوانی اندازه‌های صفر بارندگی باشد که منجر به توزیع غیر بهنجار اندازه‌های SPI می‌شود. این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی و نظارت بر خشک‌سالی در دوره‌های مختلف زمانی، از جمله دوره‌های ۱۲ ماهه استفاده می‌شود. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه به‌عنوان ابزاری حیاتی برای ارزیابی شدت خشک‌سالی هواشناسی و تنوع در مناطق مختلف از جمله غرب ماهاراشترا، هند (بهگت و همکاران ۲۰۲۲)، ناحیه بوریچا (انگداو و همکاران ۲۰۲۲)، یونان (تسملیس و همکاران ۲۰۲۲) و ناحیه گاجاپاتی اودیشا (موهانتا و همکاران ۲۰۲۰) در نظر گرفته شده است. در این مناطق برای انجام این پژوهش‌ها از SPI برای ارزیابی ویژگی‌های خشک‌سالی، مانند شدت و مدت، بر اساس انحراف از میانگین بلندمدت بارش استفاده کرده‌اند. محاسبات SPI الگوهای بارندگی غیریکنواخت، رویدادهای خشک‌سالی شدید و تغییر شدت شرایط خشک‌سالی را در طول زمان نشان می‌دهد. اهمیت SPI در مدیریت خطر خشک‌سالی و راهبردهای کاهش این پدیده است (بهگت و همکاران ۲۰۲۲؛ انگداو و همکاران ۲۰۲۲؛ موهانتا و همکاران ۲۰۲۰؛ تسملیس و همکاران ۲۰۲۲). در استان سند، پاکستان، SPI برای نظارت بر خشک‌سالی از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج نشان داد مقیاس‌های طولانی‌تر مانند ۱۲ ماهه پایدارتر و برای کاربردهای کشاورزی مفیدتر بودند (خان و گادیوالا ۲۰۱۳). یک پژوهش در اردن SPI-12 را با استفاده از مدل CARMA اعمال کرد که اثربخشی آن را برای بررسی منابع آب منطقه‌ای نشان داد (سعاده و ابورمان ۲۰۱۷). در یونان، SPI-12 در شناسایی شرایط خشک‌سالی شدید و بسیار شدید در مناطق مختلف مؤثر بود (لیوآدا و اسیماکوپولوس ۲۰۰۷). در پژوهشگران در جاوه مرکزی، اندونزی، از شاخص SPI-12 برای ارزیابی شدت خشک‌سالی استفاده کردند و رویدادهای خشک‌سالی قابل توجهی شناسایی کردند. این موضوع بر اهمیت SPI در راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی تأکید می‌کند (پرامودیا و اونیشی ۲۰۱۸). این شاخص در مقیاس ۱۲ ماهه یک ابزار قابل اعتماد و مفید برای نظارت و ارزیابی خشک‌سالی است

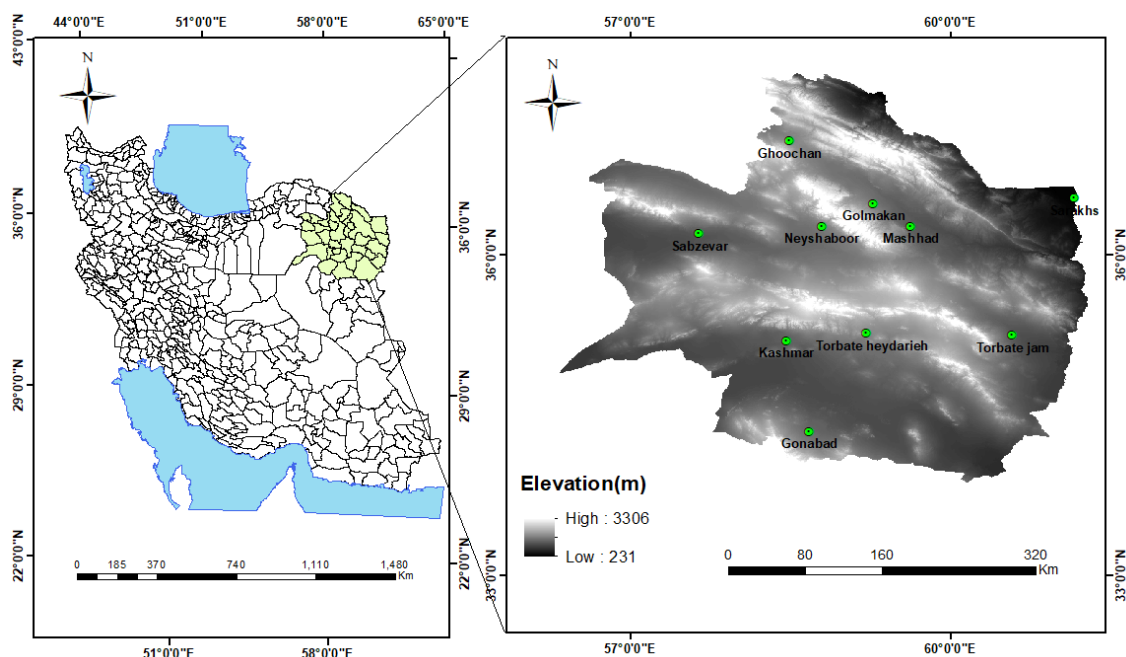
سالی را بهبود بخشد و داده‌های دقیقی را برای ارزیابی و پیش‌بینی خشک‌سالی فراهم کند. این روش‌ها به ویژه در مناطق با کمبود داده‌های زمینی مفید هستند و می‌توانند به‌عنوان ابزارهای مؤثر در مدیریت منابع آب و کاهش اثرات خشک‌سالی استفاده شوند. در این پژوهش شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های همدید محاسبه شد و توانایی ۴ داده ماهواره‌ای بارشی (GPM, TRMM, ERA5 و PERSIANN) برای محاسبه این شاخص در استان خراسان رضوی ارزیابی شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه شده

استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران با مساحت کل ۱۱۷۲۰۰ کیلومتر مربع است و دامنه بلندی آن از ۲۳۳ متر تا ۳۳۰۵ متر است (شکل ۱). در دوره آماری بررسی شده میانگین دمای سالانه در این منطقه  $15/9^{\circ}\text{C}$  و میانگین سالانه بارش آن ۱۷۹ میلی‌متر بود. در این پژوهش، داده‌های ماهانه بارش در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۰ با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدید استان خراسان رضوی از سازمان هواشناسی (IRIMO) در ۱۰ ایستگاه تربت جام، تربت حیدریه، سبزوار، سرخس، قوچان، کاشمر، گل‌مکان، گناباد، مشهد و نیشابور در طول دوره آماری هر ایستگاه جمع‌آوری شد (جدول ۱).

بارش است می‌تواند رویدادهای خشک‌سالی معمولی را در سراسر چین ثبت کند و برآورد SPI با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای می‌تواند برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی اعمال شود. در پژوهشی از داده‌های بارش GPM IMERG، TRMM و PERSIANN\_CDR در دو منطقه در کره برای محاسبه SPI استفاده شد و آن را با داده‌های مشاهده‌ای زمینی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که داده‌های GPM IMERG می‌توانند به‌عنوان یک عامل پیش‌بینی‌کننده در مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده شود و برای نظارت بر خشک‌سالی در زمان واقعی مناسب است (جانگ و همکاران ۲۰۱۷). در پژوهشی دیگر در آبخیز رود زرد چین سه داده بارش ماهواره‌ای بلندمدت (PERSIANN-CDR)، CHIRPS و GPCC 8.0 برای نظارت بر خشک‌سالی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که عملکرد این داده‌ها در نظارت بر خشک‌سالی خوب بود و بهترین عملکرد مربوط به GPCC 8.0 بود (وی و همکاران ۲۰۱۹). در پژوهشی در جنوب غرب ایران دقت داده‌های TRMM (3B42) و TRMM (3B43) برای برآورد SPI و نظارت بر خشک‌سالی بررسی شد. نتایج نشان داد که این داده‌ها می‌توانند رفتار فضایی و زمانی رویداد های خشک‌سالی را به خوبی ثبت کنند و 3B43 عملکرد بهتری در شناسایی خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت شدید داشت (منتظری و همکاران ۲۰۲۰). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای محاسبه SPI می‌تواند نظارت بر خشک



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده در استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران.

Figure 1- Layout of the study area and spatial distribution of meteorological stations utilized in this study.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری استفاده شده در ایستگاه‌های همدید مطالعه شده.

Table 1- Weather station locations and period of meteorological observations.

| Code | Station            | Longitude | Latitude | Elevation (m) | Mean Precipitation (mm) |
|------|--------------------|-----------|----------|---------------|-------------------------|
| S1   | Torbat-e Jam       | 60° 35'   | 35° 16'  | 950.4         | 131.18                  |
| S2   | Torbat-e Heydarieh | 59° 13'   | 35° 20'  | 1451          | 252.76                  |
| S3   | Sabzevar           | 57° 39'   | 36° 12'  | 962           | 189.86                  |
| S4   | Sarakhs            | 61° 10'   | 36° 32'  | 235           | 212.56                  |
| S5   | Quchan             | 58° 30'   | 37° 04'  | 1287          | 317.39                  |
| S6   | Kashmar            | 58° 28'   | 35° 16'  | 1110          | 183.84                  |
| S7   | Golmakan           | 59° 17'   | 36° 29'  | 1176          | 209.22                  |
| S8   | Gonabad            | 58° 41'   | 34° 21'  | 1056          | 128.82                  |
| S9   | Mashhad            | 59° 38'   | 36° 14'  | 999.2         | 242.81                  |
| S10  | Neyshabour         | 58° 48'   | 36° 16'  | 1213          | 206.13                  |

#### روش پژوهش

##### داده‌های بارش ماهواره‌ای (TRMM 3B43)

مأموریت اندازه‌گیری باران گرمسیری (TRMM) یک ماهواره تحقیقاتی است که به‌طور مشترک به‌وسیله سازمان ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) و آژانس اکتشافات هوافضای ژاپن (JAXA) توسعه یافت. این مجموعه داده، خروجی ترکیبی از چندین ماهواره میکروویو است که با وضوح فضایی ۲۵/۰ درجه میان

عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی در دسترس است. این داده‌ها به‌عنوان شدت بارش (mm/hr) برای سال‌های ۱۹۹۹ تا اواخر ۲۰۱۹ در موتور جستجوگر گوگل ارث قابل دسترسی هستند. این داده ماهواره‌ای برآوردهای بارش ماهانه را فراهم می‌کند. این داده‌ها با دقت تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتری از ترکیب مشاهده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های

**داده‌های PERSIANN-CDR**

PERSIANN-CDR یک مجموعه داده است که برای ارزیابی بارش با استفاده از اطلاعات دریافتی از ماهواره‌ها توسعه داده شده است. نام این داده از عبارت "Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record" نشأت می‌گیرد و از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده تا از داده‌های ماهواره‌ای مختلف، اطلاعات دقیق و مستندی از بارش‌ها در سطح جهانی استخراج شود. یک مجموعه داده جهانی بارش روزانه است که به وسیله NOAA و NCDC و مرکز هواشناسی آب‌شناختی و سنجش از راه دور (CHRS) در دانشگاه کالیفرنیا، ایروین توسعه یافته است. در این داده بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر (mm) از سال ۱۹۸۳ تاکنون با دقت تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتری در موتور جستجوگر گوگل ارث قابل دسترسی است و منطقه‌ای را از ۶۰ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی پوشش می‌دهد و به عنوان یک منبع ارزشمند برای بررسی الگوهای جهانی بارش و بررسی‌های مرتبط با اقلیم است. این مجموعه داده‌ها به وسیله سازمان‌ها و پژوهشگران در زمینه‌های مختلف مانند علوم زمین، مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیل و خشک‌سالی، ارزیابی خطرهای مربوط به بارش، مدیریت بحران، و برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار استفاده می‌شود. از ویژگی‌های آن می‌توان به دقت زیاد و پوشش جهانی آن اشاره کرد که با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های ماهواره‌ای به دست می‌آید. این داده‌ها می‌تواند به عنوان یک منبع مهم برای پژوهش‌های آب و هوا، تغییرات اقلیمی و مدیریت منابع آب در سطح جهانی استفاده شود (سروشیان و همکاران ۲۰۰۰).

**داده‌های ERA5 (ECMWF Re-Analysis version 5)**

نسل پنجم مجموعه داده‌های تحلیل مجدد اقلیمی ERA5 است که به وسیله مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های هواشناسی میان‌مدت (ECMWF) تولید شده است. این مجموعه داده‌ها، داده‌های مدل را با داده‌های مشاهده‌ای از سراسر جهان ترکیب می‌کند تا یک مجموعه داده جامع و یکپارچه تولید کند. هدف ERA5 ارائه داده

زمینی به دست می‌آیند و شامل اطلاعات با وضوح زیاد و پوشش گسترده جغرافیایی هستند. داده TRMM 3B43 برای تحلیل‌های اقلیمی و آب‌شناختی بسیار مفید است و برای پژوهشگران این امکان را فراهم می‌کند که الگوهای بارش را با دقت بیشتری بررسی کنند. این داده به ویژه در مناطق با دسترسی محدود به داده‌های زمینی کاربرد دارد و می‌تواند به بهبود دقت مدل‌های پیش‌بینی بارش و نظارت بر خشک‌سالی کمک کند. داده‌های TRMM3B43 معمولاً برای تحلیل‌های بلندمدت و مقایسه با داده‌های تاریخی استفاده می‌شوند و می‌توانند به عنوان منبع قابل اعتمادی برای بررسی‌های علمی در زمینه‌های گوناگون اقلیمی و محیط‌زیستی استفاده شوند (وانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ بانرجی و همکاران ۲۰۲۰).

**داده‌های GPM (اندازه‌گیری ماهانه بارش‌های جهانی)**

مأموریت بین‌المللی اندازه‌گیری بارش جهانی (GPM) ماهواره‌ای است که به منظور ارائه اندازه‌گیری‌های نسل جدیدی از بارش برف و باران هر سه ساعت یکبار طراحی شده است. هدف اصلی این مأموریت ارائه برآورد های دقیق از بارش در سطح جهانی است. این هدف با روش یکپارچه بازیابی چند ماهواره‌ای برای GPM (IMERG) که به وسیله مجموعه ماهواره‌های GPM استفاده می‌شود، تحقق یافته است. این مجموعه بخش گسترده‌ای از سطح زمین را پوشش می‌دهد (هافمن و همکاران ۲۰۱۹؛ پرکاش ۲۰۱۹). هدف دستورالعمل IMERG واسنجی، ترکیب و درون‌یابی برآوردهای بارش ماهواره‌ای مایکروویو، برآوردهای ماهواره‌ای مادون قرمز (IR) واسنجی شده با مایکروویو، تحلیل‌های سنجش باران سطحی و همچنین دیگر برآوردهای بارش موقتی و مکانی از دوره TRMM و GPM در سطح جهان است. این داده‌ها به عنوان شدت بارش (mm/hr) با دقت تفکیک مکانی ۱۱ کیلومتری برای سال‌های ۲۰۰۰ تا اواخر ۲۰۲۱ در موتور جستجوگر گوگل ارث قابل دسترسی هستند. این مجموعه داده منبع ارزشمندی برای بررسی و پایش الگوهای بارش جهانی در طول زمان است.

های ساعتی برای شاخص‌های پرشمار شرایط جوی، سطح زمین و دریا با وضوح افقی تقریبی ۲۷ کیلومتر است. این مجموعه داده به دلیل دقت بیشتر، جایگزین مجموعه داده‌های تحلیل مجدد شده است. ERA5 به طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی‌های هواشناسی و بررسی‌های اقلیمی استفاده می‌شود. در این داده مجموع بارندگی ماهانه بر حسب متر (m) و از سال ۱۹۷۹ تا اواسط ۲۰۲۰ با دقت تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتری در موتور جستجوگر گوگل ارث قابل دسترسی است و برای پژوهشگران و دانشمندان این امکان را فراهم می‌کند تا به راحتی به داده‌های زمانی و مکانی دقیق برای تحلیل های خود دست یابند (مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت وضع هوا ۲۰۱۸).

#### شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به وسیله مک کی و همکاران (۱۹۹۳، ۱۹۹۵) برای پیشنهاد یک معیار بدون تغییر زمانی و مکانی از کاهش (یا افزایش) بارش برای هر بازه تجمعی تعیین شد (نیومن و همکاران ۲۰۱۲). محاسبه این شاخص بر اساس داده‌های تاریخی بارش انجام می‌شود. SPI به منظور نظارت بر گستره زمانی-مکانی و شدت رویداد خشک سالی هواشناسی برآورد می‌شود. توزیع گاما معمولاً به شکل رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} \quad \text{for } x > 0 \quad (1)$$

X: اندازه بارش بر حسب میلی متر،  $\alpha > 0$  سنجه شکل،  $\beta > 0$  سنجه مقیاس و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است.

این شاخص برای اندازه گیری خشک سالی در بازه‌های زمانی ۴۸، ۳۶، ۲۴، ۱۲، ۶ و ۳ ماه به کار می‌رود. بنابراین، محاسبه SPI شامل برازش یک تابع چگالی احتمال گاما به یک سری زمانی از مجموع بارش‌های ماهانه برای یک ایستگاه می‌باشد. سپس، سنجه‌های به دست آمده برای یافتن احتمال رخداد یک رویداد بارشی خاص در یک بازه زمانی معین استفاده می‌شوند.

سپس، این احتمال به متغیر تصادفی بهنجار استاندارد Z تبدیل می‌شود که همان اندازه شاخص SPI است. به طور مفهومی، SPI برای یک بازه زمانی معین، اختلاف بارش از میانگین تقسیم بر انحراف معیار است. هنگامی یک رویداد را به عنوان خشک سالی تعریف می‌کنند که SPI به  $0/1 -$  یا کمتر برسد. آغاز این خشک سالی به عنوان دوره‌ای تعریف می‌شود که در آن SPI ابتدا منفی است. پایان خشک سالی هنگامی رخ می‌دهد که SPI به اندازه مثبت برسد. طبقه بندی خشک سالی SPI به وسیله مک کی و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین شدت خشک سالی‌های ناشی از SPI در جدول ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش ابتدا با برنامه نویسی جاوا اسکریپت در موتور جستجوگر گوگل ارث داده‌های بارشی ۴ داده ماهواره‌ای (TRMM, PERSIANN, CDR, GPM-IMERG, ERA5) دریافت شد.

سپس، اندازه شاخص SPI-12 با استفاده از بسته نرم افزار Drinc برای داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده های ماهواره‌ای محاسبه شد. پس از آن اندازه‌های این شاخص در طول دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۰۰) در ۱۰ ایستگاه هواشناسی استان خراسان رضوی ارزیابی شد. از آنجایی که طول دوره آماری در هر کدام از ایستگاه‌ها متفاوت بود، برای مقایسه شاخص SPI-12 محاسبه شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه های زمینی در کل استان خراسان رضوی، طول دوره آماری مشترک میان همه ایستگاه‌ها (۲۰۲۰-۲۰۰۰) انتخاب شد. پس از آن به منظور بررسی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای در استان خراسان رضوی تجزیه و تحلیل‌های آماری میان داده‌های هواشناسی و داده‌های بارش ماهواره‌ای در دوره مشترک آماری در مقیاس ماهانه انجام شد. سپس، با استفاده از میانگین داده‌های بارندگی در کل استان با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های بارش ماهواره‌ای، شاخص SPI-12 در کل استان محاسبه شد و نتایج با استفاده از سنجه‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند.

جدول ۲- طبقه‌بندی خشک‌سالی و ترسالی بر اساس اندازه‌های SPI (مک کی و همکاران ۱۹۹۳).

Table 2- Classification of drought and wetness based on SPI values.

| Climate        | Value of SPI  |
|----------------|---------------|
| Extremely wet  | +2.0 and more |
| Very wet       | 1.5 to 1.99   |
| Moderately wet | 1.0 to 1.49   |
| Near normal    | -0.99 to 0.99 |
| Moderately dry | -1.0 to -1.49 |
| Severely dry   | -1.8 to -1.99 |
| Extremely dry  | -2 and less   |

### تجزیه و تحلیل‌های آماری

با استفاده از شاخص‌های آماری چون ضریب همبستگی (CC)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص ناش-ساتکلیف (NSE) و انحراف معیار نسبی (RBIAS)، توان پیش‌بینی شاخص SPI با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (SPPs) در مقایسه با داده‌های بارش زمینی ارزیابی شد (جدول ۳). افزون بر این، سنجۀ آماری دیگری به نام احتمال برآورد (POE) برای ارزیابی رخداد SPI در داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد.

جدول ۳- شاخص‌های آماری استفاده‌شده به منظور ارزیابی شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای.

Table 3- The statistical indices of SPI estimates by the satellite products (SPPs) against rain-gauge data.

| Statistic indices               | Equations <sup>a</sup>                                                                                                                                                     | Optimal value |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Correlation coefficient (CC)    | $CC = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (r_n - \bar{r})^2}}$ | 1             |
| Relative bias (RBIAS)           | $RBIAS = \frac{\sum_{n=1}^N (f_n - r_n)}{\sum_{n=1}^N r_n}$                                                                                                                | 0             |
| Root-mean-square error (RMSE)   | $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2}$                                                                                                                     | 0             |
| Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) | $NSE = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (r_n - f_n)^2}{\sum_{n=1}^N (r_n - \bar{r})^2}$                                                                                              | 1             |
| Probability of Estimation (POE) | $POD = \frac{H}{H + M}$                                                                                                                                                    | 1             |

متغیرها:  $n$ ، تعداد داده‌ها،  $f_n$ ، اندازه‌های برآورد شاخص SPI با داده‌های بارش ماهواره‌ای،  $r_n$ ، اندازه‌های برآورد شاخص SPI با داده‌های زمینی،  $H$ ، تعداد ماه‌هایی که شاخص‌های SPI به وسیله تولیدات ماهواره‌ای به درستی برآورد شدند،  $M$ ، تعداد ماه‌هایی که شاخص SPI به وسیله باران‌سنج‌ها و داده‌های ماهواره‌ای متفاوت برآورد شدند.

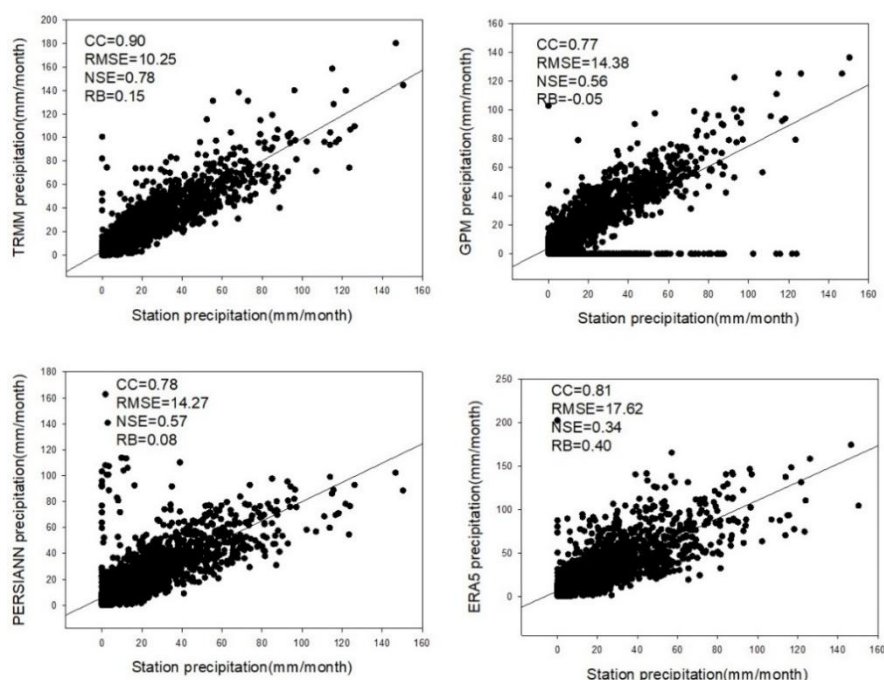
Variables:  $n$ , number of data;  $f_n$ , representing satellite SPI estimate;  $r_n$ , representing gauged SPI estimate;  $H$  means the number of SPI index correctly estimated by respective satellite products;  $M$  means the number of the SPI index estimated by rain gauges, but not correctly estimated by respective satellite products.

## نتایج و بحث

## ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه

ابتدا در دوره آماری مطالعه‌شده، نمودار میانگین بارندگی ماهانه در ۱۰ ایستگاه استان خراسان رضوی و داده‌های بارش ماهواره‌ای برای این ایستگاه‌ها رسم شد (شکل ۲). بر اساس شکل ۲، میان همه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه همبستگی زیادی ( $CC > 0.77$ ) وجود داشت. بیشترین اندازه ضریب همبستگی مربوط به داده‌های ماهواره‌ای TRMM (با ضریب همبستگی ۰/۹۰) بود. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که در استان خراسان رضوی عملکرد داده‌های بارش ماهواره‌ای برای برآورد اندازه بارش ماهانه قابل قبول بود. در پژوهشی شیرمحمدی و اکبری (۲۰۲۰) داده‌های بارندگی روزانه از داده‌های ماهواره‌ای (TRMM-3B42 V7) و

(GPM) را در مقایسه با داده‌های ۱۳ ایستگاه در استان خراسان رضوی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که همبستگی میان داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی خوب بود. داده‌های TRMM در مقایسه با GPM عملکرد بهتری داشتند و به‌ویژه در پاییز دقت برآورد بارندگی بیشتر بود. همچنین، داده‌های TRMM به‌عنوان منبعی قابل اعتماد برای مدل‌سازی آب‌شناختی مبتنی بر داده‌های روزانه در شمال شرق ایران شناسایی شد. البته بر پایه نظر لو و همکاران (۲۰۱۸) دقت داده‌های بارش لزوماً تأثیر یکسانی بر دقت برآوردهای SPI ندارد، زیرا SPI با استفاده از احتمال اندازه معینی از بارش محاسبه می‌شود. بر این اساس، در این پژوهش شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی ارزیابی شد.



شکل ۲- مقایسه اندازه داده‌های ماهواره‌ای بارش و ایستگاه‌های زمینی در استان خراسان رضوی.

Figure 2- Comparisons of the monthly precipitation values from satellite-based data with rain gauge measurements in Khorasan Razavi province.

شاخص ناشی-ساتکلیف ۰/۵۵ شاخص SPI-12 را با دقت قابل‌قبولی در کل استان خراسان‌رضوی برآورد کرد. همچنین، در طول دوره آماری وضعیت خشک سالی منطقه مطالعه‌شده با استفاده از این داده‌ها با دقت ۷۰٪ برآورد شد. این یافته بیانگر آن است که بارش فقط داده ورودی برای محاسبه شاخص SPI است و خطای داده‌های بارش ماهواره‌ای باعث زیاد شدن خطای محاسبه این شاخص می‌شود.

ارزیابی شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های تجمیعی ایستگاه‌های زمینی نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری مقایسه شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در کل استان خراسان‌رضوی در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس جدول ۴، داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM با ضریب همبستگی ۰/۸، ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۶۱،

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های ماهواره‌ای (SPPs) برای برآورد SPI در مقیاس ۱۲ ماهه در استان خراسان‌رضوی.

Table 4 - Statistical analysis results of Satellite Precipitation Products (SPPs) for estimating the SPI-12 in the Khorasan Razavi province.

| Satellite products | Statistic indices            |                       |                               |                                 |                                 |
|--------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                    | Correlation coefficient (CC) | Relative bias (RBIAS) | Root-mean-square error (RMSE) | Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) | Probability of Estimation (POE) |
| TRMM               | 0.80                         | -1.90                 | 0.61                          | 0.55                            | 0.70                            |
| GPM                | 0.76                         | -0.39                 | 0.66                          | 0.47                            | 0.67                            |
| PERSIANN           | 0.68                         | -1.80                 | 0.77                          | 0.27                            | 0.67                            |
| ERA5               | 0.76                         | 0.04                  | 0.69                          | 0.42                            | 0.66                            |

دیگر داده‌های ماهواره‌ای فراوانی خشک‌سالی را بیشتر از داده‌های ایستگاه‌های زمینی برآورد کردند. با مقایسه فراوانی خشک‌سالی به نظر می‌رسد داده‌های ماهواره TRMM بهتر از دیگر داده‌های ماهواره‌ای خشک‌سالی را در کل استان خراسان‌رضوی برآورد کرد.

فراوانی خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در جدول ۵ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، در حالت تجمیعی داده‌های TRMM مشابه داده‌های ایستگاه‌های زمینی فراوانی خشک‌سالی را ۱۵٪ برآورد کردند در حالی که

جدول ۵- فراوانی خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در استان خراسان‌رضوی.

Table 5 - Frequency of Drought Using Satellite Precipitation Data and Ground Station in the Khorasan Razavi Province.

| Station/Satellite products | Number of Droughts | Total Records | Drought Frequency (%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| Station                    | 29                 | 190           | 15                    |
| TRMM                       | 28                 | 190           | 15                    |
| GPM                        | 44                 | 190           | 23                    |
| PERSIANN                   | 31                 | 190           | 16                    |
| ERA5                       | 39                 | 190           | 21                    |

ارزیابی منطقه‌ای شاخص SPI محاسبه‌شده با داده های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی مطالعه‌شده

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری مقایسه دقت شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مقایسه داده‌های TRMM با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنه ۰/۹۳-۰/۴۱ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه مشهد و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در دامنه ۰/۴۱-۱/۰۵ متغیر بود که کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه نیشابور و بیشترین اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنه ۰/۸۵-۰/۵۷ متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه قوچان و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنه ۰/۸۴-۰/۵۴ متغیر بود. بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه سرخس و کمترین آن در ایستگاه گل‌مکان مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همه مناطق مطالعه‌شده به‌جز ایستگاه سرخس این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد.

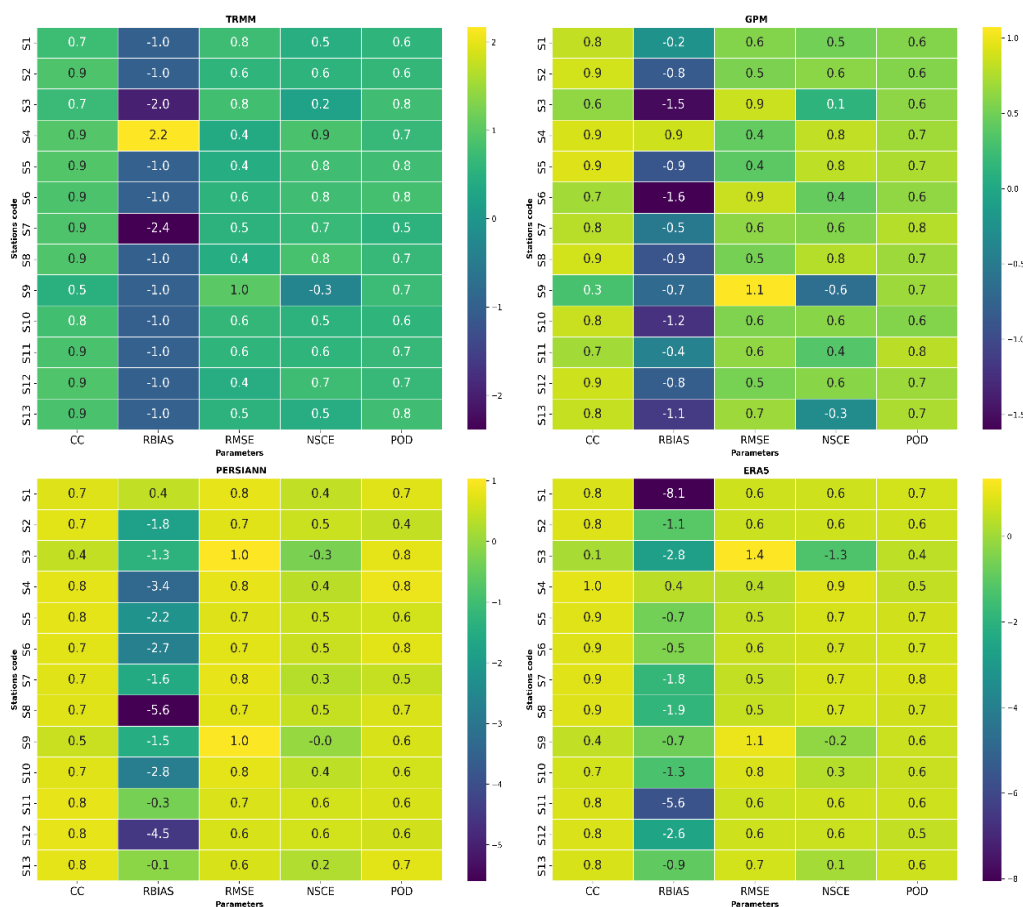
نتایج مقایسه داده‌های GPM با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنه ۰/۹۳-۰/۲۹ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه سبزوار و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در دامنه ۰/۴۰-۱/۰۷ متغیر بود که کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه سبزوار و بیشترین اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنه ۰/۸-۰/۶۴ متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه سبزوار و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنه ۰/۷۹-۰/۵۸

متغیر بود. بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه گناباد و کمترین آن در ایستگاه گل‌مکان مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همه مناطق مطالعه‌شده این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد. نتایج مقایسه داده‌های PERSIANN با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنه ۰/۹۰-۰/۲۲ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه گل‌مکان و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در دامنه ۰/۴۲-۱/۱۴ متغیر بود که کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه گل‌مکان و بیشترین اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنه ۰/۷۷-۰/۸۷ متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه گل‌مکان و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنه ۰/۷۹-۰/۵۳ متغیر بود. بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه سرخس و کمترین آن در ایستگاه تربت‌حیدریه مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همه مناطق مطالعه‌شده به‌جز ایستگاه سرخس و قوچان این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد.

نتایج مقایسه داده‌های ERA5 با داده‌های زمینی در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که ضریب همبستگی در دامنه ۰/۹۳-۰/۱۲ متغیر بود. بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه قوچان و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در دامنه ۰/۴۳-۱/۳۲ متغیر بود که کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه قوچان و بیشترین اندازه‌های ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. شاخص ناش-ساتکلیف در دامنه ۰/۸۴-۱/۴۹ متغیر بود که مطلوب‌ترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه قوچان و بدترین شاخص ناش-ساتکلیف در ایستگاه کاشمر مشاهده شد. احتمال برآورد در دامنه ۰/۷۴-۰/۵۳ متغیر بود. بیشترین احتمال برآورد در ایستگاه‌های سرخس و قوچان و کمترین آن در ایستگاه کاشمر

و احتمال برآورد بیشتر و ریشه میانگین مربعات خطا کمتری را نشان دادند در رتبه ۱ و بقیه ماهواره‌ها در رتبه بعدی قرار گرفتند. نتایج رتبه‌بندی در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در پیش‌بینی شاخص خشک‌سالی SPI-12 دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد، نیشابور و کاشمر، دقت داده‌های ماهواره‌ای GPM در ایستگاه سبزوار، دقت داده‌های ماهواره‌ای ERA5 در ایستگاه‌های تربت‌جام، سرخس و گناباد و دقت داده‌های ماهواره‌ای PERSIANN در ایستگاه گل‌مکان مناسب بود. منتظری و همکاران (۲۰۲۰) نیز در جنوب‌غرب ایران دریافتند که می‌توان از داده‌های بارشی TRMM با دقت قابل‌قبولی در تعیین شاخص خشک‌سالی SPI در این مناطق استفاده کرد.

مشاهده شد. اندازه‌های بایاس نسبی نشان داد که در همه مناطق مطالعه‌شده به‌جز ایستگاه تربت‌جام و گناباد این داده، اندازه‌های این شاخص را کم برآورد کرد. دلایل گوناگونی برای این یافته وجود دارد که می‌توان به تفاوت در دقت و پوشش مکانی داده‌ها و یا تفاوت در حساسیت ابزارهای سنجش اشاره کرد. با این حال، نتایج تحلیل‌های انجام‌شده نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی هر دو ابزارهای مهم و مکملی برای پایش و ارزیابی خشک‌سالی در استان خراسان رضوی شناسایی شد. سپس، با مقایسه نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری در مناطق مطالعه‌شده و در این داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها در هر منطقه رتبه‌بندی شدند. به این ترتیب که با مقایسه سنجه‌های آماری به‌دست‌آمده در هر کدام از ایستگاه‌ها داده‌های ماهواره‌ای که ضریب همبستگی، ضریب ناش-ساتکلیف



شکل ۳- مقایسه دقت شاخص SPI محاسبه‌شده با داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی.

Figure 3- Comparison of the accuracy of SPI index calculated with satellite data and ground station and data.

در برخی مناطق، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های بارش جایگزین منجر به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های آب‌شناختی شده است. در این راستا، نتایج پژوهشی در منطقه آفریقای شرقی نشان داد که می‌توان با داده‌های بارش ماهواره‌ای به‌طور مؤثری خشک‌سالی‌ها را شناسایی و تحلیل کرد (آگوتو و همکاران ۲۰۱۷).

در مناطقی که پوشش ایستگاه هواشناسی محدود است، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و دیگر داده‌های بارندگی جایگزین می‌تواند به پر کردن این خلاها کمک کند. این داده‌ها با پوشش گسترده‌تر و به‌روزر، اطلاعات دقیقی فراهم می‌کنند که می‌تواند برای تحلیل‌های آب و هوایی و آب‌شناختی بسیار مفید باشد.

جدول ۶- رتبه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای (SPPs) برای برآورد 12- SPI ماهه در مناطق مختلف.  
Table 6- Ranking of satellite products (SPPs) for 12-month SPI estimation in different regions.

| Study Area         | Ranking  |      |          |
|--------------------|----------|------|----------|
|                    | 1        | 2    | 3        |
| Torbat-e Jam       | ERA5     | GPM  | TRMM     |
| Torbat-e Heydarieh | TRMM     | GPM  | ERA5     |
| Sabzevar           | GPM      | TRMM | ERA5     |
| Sarakhs            | ERA5     | TRMM | GPM      |
| Quchan             | TRMM     | ERA5 | GPM      |
| Kashmar            | TRMM     | GPM  | PERSIANN |
| Golmakan           | PERSIANN | GPM  | ERA5     |
| Gonabad            | ERA5     | TRMM | GPM      |
| Mashhad            | TRMM     | GPM  | PERSIANN |
| Neyshabour         | TRMM     | GPM  | PERSIANN |
| Khorasan Razavi    | TRMM     | GPM  | ERA5     |

#### مقایسه شاخص SPI با داده‌های تجمیعی و داده‌های نقطه‌ای در سطح استان

نتایج تحلیل‌های آماری داده‌های نقطه به نقطه در مقایسه با داده‌های تجمیعی در سطح استان بهتر بود. در بررسی تجمیعی، بیشترین ضریب همبستگی ( $CC=0.8$ )، بیشترین شاخص ناش-ساتکلیف ( $NSC=0.55$ )، کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE=0.61$ ) و بیشترین احتمال برآورد ( $POD=0.70$ ) از تجمیع داده‌های ماهواره‌ای TRMM به‌دست آمد. به نظر می‌رسد ایستگاه‌های تکی ممکن است به‌دلیل شرایط خاص محلی مانند وجود منابع آب محلی، پوشش گیاهی ویژه یا دخالت‌های انسانی، داده‌هایی متفاوت از کل استان ارائه دهند. از این‌رو، با تجمیع داده‌ها در سطح استان، تأثیر این ناهنجاری‌های محلی افزایش یافت و نتایج به‌دست آمده به‌دلیل کاهش دقت نتایج و افزایش تأثیر ناهنجاری‌های محلی، به‌خوبی نمایانگر وضعیت واقعی اقلیمی استان نبود. می‌توان نتیجه گرفت که اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای

نامبرده در تعیین شاخص خشک‌سالی ۱۲ ماهه باید به شکل منطقه‌ای انجام شود.

#### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، دقت و قابلیت کاربرد داده‌های بارش بلندمدت TRMM، GPM، PERSIANN-CDR و ERA5 برای پایش خشک‌سالی در مقیاس ۱۲ ماهه، بر اساس داده‌های ۱۰ ایستگاه همدید برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به‌شکل جداگانه و تجمیعی در سطح استان خراسان‌رضوی به‌طور جامع ارزیابی شد. در این پژوهش از پنج معیار آماری و دسته‌بندی برای ارزیابی و مقایسه داده‌های TRMM، GPM، PERSIANN-CDR و ERA5 با داده‌های ایستگاه‌های همدید در استان خراسان‌رضوی استفاده شد. بر اساس ارزیابی دقت SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه، عملکرد داده‌های بارش به‌دست آمده از ماهواره در مناطق مطالعه‌شده خوب بود. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری جداگانه داده‌ها در هر ایستگاه در مقایسه با بررسی

**تضاد منافع نویسندگان**

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارد.

**دسترسی به داده‌ها**

داده‌ها و نتایج استفاده‌شده در این پژوهش، با مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

**مشارکت نویسندگان**

نویسنده مسئول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم افزاری/آماري، نگارش مقاله.

تجمیعی ایستگاه‌ها بهتر بود. در بررسی نقطه‌ای ایستگاه‌ها، دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد، نیشابور و کاشمر، دقت داده‌های ماهواره‌ای GPM در ایستگاه سبزوار، دقت داده‌های ماهواره‌ای ERA5 در ایستگاه‌های تربت‌جام، سرخس و گناباد و دقت داده‌های ماهواره‌ای PERSIANN در ایستگاه گل‌مکان مناسب بودند و برای مدیریت منابع آب و پایش خشک‌سالی می‌توان از آنها بهره برد. پیشنهاد می‌شود، با توجه به دقت مناسب داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها به‌عنوان یک مجموعه داده بلندمدت با ارزش برای بررسی خشک‌سالی‌ها در مناطق مطالعه‌شده استان خراسان رضوی به‌کار برده شوند.

**فهرست منابع**

Agutu NO, Awange JL, Zerihun A, Ndehedehe CE, Kuhn M, Fukuda Y. 2017. Assessing multi-satellite remote sensing, reanalysis, and land surface models' products in characterizing agricultural drought in East Africa. *Remote Sensing of Environment*. 194:287–302.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.041>

Banerjee A, Chen R, Meadows ME, Singh RB, Mal S, Sengupta D. 2020. An analysis of long-term rainfall trends and variability in the uttarakhand himalaya using google earth engine. *Remote Sensing*. 12(4),709.

<https://doi.org/10.3390/rs12040709>

Belayneh A, Adamowski J, Khalil B, Ozga-Zielinski B. 2014. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural networks and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.052>

Bhagat AD, Gorantiwar SD, Malunekar VS. 2022. Assessment of Meteorological Drought using Standard Precipitation Index (SPI) in Western Maharashtra, India. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 47(02): 152–156. <https://doi.org/10.56228/JART.2022.47205>

Brown JF, Wardlow BD, Tadesse T, Hayes MJ, Reed BC. 2008. The vegetation drought response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in

vegetation. *GIScience and Remote Sensing*. 45(1): 16–46.

<https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.1.16>

Dutta D, Kundu A, Patel NR. 2013. Predicting agricultural drought in eastern Rajasthan of India using NDVI and standardized precipitation index. *Geocarto International*.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2012.679975>

Dutta D, Kundu A, Patel NR, Saha SK, Siddiqui AR. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 18(1): 53–63.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.03.006>

ECMWF. 2018. Annual Report 2017. Reading: ECMWF Annual Report. <https://www.ecmwf.int/node/18309>

Engdaw G, Legesse A, Mohammed Y, Likissa D. 2022. Analysis of meteorological drought using Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDIst) at Bilate Basin, Southern Ethiopia. [accessed 2024 Jun 15].

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1664681/v1>

Feller U. 2016. Drought stress and carbon assimilation in a warming climate: Reversible and irreversible impacts. *Journal Plant Physiology*. Sep20; 203:84–94. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.04.002>

- Guttman NB. 1998. Comparing the Palmer Drought INDEX and the Standardized Precipitation INDEX1. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1): 113–121. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x>
- Huffman, GJ, Stocker EF, Bolvin DT, Nelkin EJ, Jackson T. 2019. GPM IMERG final precipitation L3 half hourly 0.1 degree  $\times$  0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard earth sciences data and information services center (GESDISC), <https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06>
- Jang S-M, Rhee J, Yoon S, Lee T, Park K. 2017. Evaluation of GPM IMERG Applicability Using SPI based Satellite Precipitation. *J Korean Soc Agric Eng*. 59(3): 29–39. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2017.59.3.029>
- Khan MA, Gadiwala MS. 2013. A Study of Drought over Sindh (Pakistan) Using Standardized Precipitation Index (SPI) 1951 to 2010. *Pakistan Journal of Meteorology*. 9(18): 15–22.
- Khosravi H, Haydari E, Shekoohizadegan S, Zareie S. 2017. Assessment the Effect of Drought on Vegetation in Desert Area using Landsat Data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 20; s3-s12. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.007>
- Livada I, Assimakopoulos VD. 2007. Spatial and temporal analysis of drought in greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology*. 89(3–4): 143–153. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0227-z>
- Lu J, Jia L, Menenti M, Yan Y, Zheng C, Zhou J. 2018. Performance of the Standardized Precipitation Index Based on the TMPA and CMORPH Precipitation Products for Drought Monitoring in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 11(5): 1387–1396. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2810163>
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Times Scales. *American Meteorological Society*. 9<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 15-22 Janvier, Dallas. pp. 233-236.
- McKee TB, Nolan J, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprint of the Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society.
- Mishra AK, Singh VP. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 391(1): 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Mohanta DR, Soren J, Sarangi SK, Sahu S. 2020. Meteorological drought trend analysis by standardized precipitation index (SPI) and reconnaissance drought index (RDI): A case study of Gajapati District. *International Journal of Chemical Studies*. 8(3):1741–1746. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3x.9448>
- Montandon L, Small E. 2008. The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sens Environmental Remote Sensing and Environment*. 112 p. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.007>
- Montazeri M, Kiany M, Masoodian S. 2020. Evaluation of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA v7) in drought monitoring over southwest Iran. *Climatic Research*. 82:55–73. <https://doi.org/10.3354/cr01622>
- Naresh Kumar M, Murthy CS, Sesha Sai MVR, Roy PS. 2009. On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. *Meteorol Appl*. 16(3): 381–389 <https://doi.org/10.1002/met.136>
- Naumann G, Barbosa P, Carrao H, Singleton A, Vogt J. 2012. Monitoring drought conditions and their uncertainties in Africa using TRMM data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 51(10). <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0113.1>
- Obasi GOP. 1994. WMO's role in the international decade for natural disaster reduction. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 75(9): 1655–1662. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1994\)075<1655:WRITID>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1994)075<1655:WRITID>2.0.CO;2)
- Patel NR, Chopra P, Dadhwal VK. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*. 14(4):329–336. <https://doi.org/10.1002/met.33>
- Prakash S. 2019. Performance assessment of CHIRPS, MSWEP, SM2RAIN-CCI, and TMPA precipitation products across India. *J Hydrol*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.036>
- Pramudya Y, Onishi T. 2018. Assessment of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Tegal City, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 129:012019 <https://doi.org/10.1088/1755-315/129/1/012019>
- Saada N, Abu-Romman A. 2017. Multi-site Modeling and Simulation of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Jordan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 14:83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.002>
- Shahabfar A, Ghulam A, Eitzinger J. 2012. Drought monitoring in Iran using the

perpendicular drought indices. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*. 18:119–127. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.011>.

Shirmohammadi-Aliakbarhaneh Z, Akbari A. 2020. Ground validation of diurnal TRMM 3B42 V7 and GPM precipitation products over the northeast of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 142:1413–1423. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03392-0>

Sorooshian S, Hsu K-L, Gao X, Gupta HV, Imam B, Braithwaite D. 2000. Evaluation of PERSIANN System Satellite-Based Estimates of Tropical Rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81(9):2035–2046. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2)

Topçu E, Seckin N. 2016. Drought analysis of the Seyhan Basin by using standardized precipitation index (SPI) and L-moments. *Journal of Agricultural Sciences*, 22(2),196-215. [https://doi.org/10.1501/Tarimbil\\_0000001381](https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001381).

Tsamelis DE, Vasilakou CG, Kalogeropoulos K, Stathopoulos N, Alexandris SG, Zervas E, Oikonomou PD, Karavitis CA. 2022. Drought assessment using the standardized precipitation index (SPI) in GIS environment in Greece. In: *Computers in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier. pp. 619–633. [accessed 2024 Jun 15].

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323898614000257>

Wang Y, Ma J, Xiao X, Wang X, Dai S, Zhao B. 2019. Long-term dynamic of Poyang Lake surface water: A mapping work based on the

Google Earth Engine cloud platform. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs11030313>

Wei J, Jiang M, Ren J, Yuan J, Zhang. 2019. Performance of two long-term Satellite-Based and GPCC 8.0 precipitation products for drought monitoring over the Yellow River Basin in China. *Sustainability*. 11(18): 4969. <https://doi.org/10.3390/su11184969>

Wei L, Jiang S, Ren L, Zhang L, Wang M, Duan Z. 2020. Preliminary utility of the retrospective IMERG precipitation product for large-scale drought monitoring over Mainland China. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/RS12182993>

Wilhite DA, Glantz MH. 1987. Understanding the drought phenomenon. The role of definitions. *Understanding the drought phenomenon: The role of definitions*. *Water international*. 10(3): 111-120.

World Meteorological Organization. 2012. *Standardized Precipitation Index user guide* (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). Geneva: (WMO-No. 1090).

Wu H, Svoboda MD, Hayes MJ, Wilhite DA, Wen F. 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*. 27(1): 65–79. <https://doi.org/10.1002/joc.1371>.

Zhang A, Jia G. 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 134:12–23. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.023>



## Comparison of Satellite and Ground-Based Precipitation Data for Drought Index Analysis in the Khorasan Razavi Province

Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani\*<sup></sup>

Department of Water Science and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Khorasan  
Razavi, Iran

### Extended Abstract

#### Introduction and Goal

Drought is a complex natural hazard that can have significant impacts on socio-economic and environmental. Traditional methods of drought assessment often rely on ground-based precipitation measurements, which can be sparse and unevenly distributed, especially in underdeveloped regions. The Standardized Precipitation Index (SPI) is widely used for its assessing and monitoring drought, especially in arid regions. However, the reliability of SPI calculations heavily depends on the availability and accuracy of precipitation data. Satellite precipitation products (SPPs) offer an alternative by providing comprehensive coverage and consistent data over large areas, which is particularly useful in regions with limited ground-based observations.

#### Materials and Methods

Using four monthly SPPs-TRMM 3B43 (TRMM), GPM-IMERG v6 (GPM), PERSIANN-CDR (PERSIANN), and ERA5- available on the Google Earth search engine, the 12-month drought index was calculated. Then, this index was compared with the index calculated using long-term precipitation data from ground-based stations, both individually for each station and collectively at the provincial level in Khorasan Razavi, located in northeastern Iran.

The selected stations include Quchan, Gonabad, Kashmar, Mashhad, Neyshabour, Sarakhs, Sabzevar, Golmakan, Torbat-e Jam and Torbat-e Heydarieh. The study period spans from 2000 to 2020, covering various climatic variations and drought events. To assess the performance of the satellite data, several statistical metrics were computed, including the correlation coefficient (CC), root mean square error (RMSE), relative bias (RBIAS), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), and estimation probability (POD). Using these criteria, the accuracy and reliability of satellite products in estimating drought indices can be evaluated within a robust framework.

#### Results and Discussion

The performance evaluation of the satellite products revealed varied results across different stations.

**Article Type:** Research Article

**\*Corresponding Author's E-mail:** shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir

**Citation:** Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. 2025. Comparison of Satellite and Ground-Based Precipitation Data for Drought Index Analysis in the Khorasan Razavi Province. *Watershed Management Research*. 38(2): 1-19.

**DOI:** 10.22092/wmrj.2024.366564.1591

**Received:** 31 July 2024, **Received in revised form:** 03 September 2024, **Accepted:** 19 September 2024

**Published online:** 22 June 2025

*Watershed Management Research*, VOL. 38, No. 2, Ser. No: 147, Summer, pp. 1-19.

**Publisher:** Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



The performance of the TRMM product was better in Torbat-e Heydarieh, Quchan, Kashmar, Mashhad, and Neyshabour. This product exhibited a high correlation coefficient and low root mean square error values compared to ground-based data, indicating its reliability in these regions. The performance of the PERSIANN and GPM products was better in Golmakan and Sabzevar, respectively, and they showed better agreement with ground-based rainfall data at these stations. The ERA5 product was found to be most effective in Torbat-e Jam, Gonabad, and Sarakhs, demonstrating a high degree of accuracy in these areas. The relative bias and mean error metrics also showed that overall, the satellite products provided accurate rainfall estimates with minimal systematic deviation from ground-based data. The NSE values, which can be used to assess the predictive accuracy of models, were greater than 0.65 for the top-performing products, indicating their high efficiency in drought monitoring.

The results of the point-by-point statistical analysis were better compared to the aggregated data at the provincial level. In the aggregated analysis, the highest correlation coefficient ( $CC=0.8$ ), the highest Nash-Sutcliffe efficiency ( $NSC=0.55$ ), the lowest root mean square error ( $RMSE=0.61$ ), and the highest probability of detection ( $POD=0.70$ ) were obtained from the TRMM satellite data. It seems that individual stations may provide different data compared to the entire province due to specific local conditions such as the presence of local water sources, specific vegetation cover, or human influences. Therefore, by aggregating the data at the provincial level, the impact of these local anomalies was amplified, and the resulting outcomes, due to reduced accuracy and increased influence of local anomalies, no longer accurately reflected the actual climatic conditions of the province. It can be concluded that the validation of the aforementioned satellite products in determining the 12-month drought index should be carried out locally.

### **Conclusion and Suggestions**

Based on the accuracy assessment of the 12-month SPI time scale, the performance of satellite-derived precipitation data in the studied areas was satisfactory. The results of separate statistical analyses of the data at each station were more accurate compared to the aggregated analysis of all stations. In particular, the accuracy of TRMM data for Torbat-e Heydarieh, Quchan, Mashhad, Neyshabour, and Kashmar stations; the GPM data for Sabzevar station; the ERA5 data for Torbat-e Jam, Sarakhs, and Gonabad stations; and the PERSIANN data for Golmakan station were suitable and can be used for water resources management and drought monitoring. It is suggested that, given the appropriate accuracy of satellite data, these data can be used as a valuable long-term dataset to investigate droughts in the studied areas of Khorasan Razavi Province. Because satellite data uses different data sources, each of these data may be affected by various environmental, geographical, and climatic factors. Therefore, due to local characteristics and inherent differences in the instructions used in each data, it was expected that performance would not be the same across all stations. Therefore, it is suggested to use large-scale satellite data, data analysis methods, local calibration, and uncertainty modeling in a combined manner to achieve an appropriate confidence factor for these data.

**Keywords:** arid and semiarid regions, drought assessment, google earth engine, satellite-based precipitation products

**Article Type:** Research Article

### **Conflicts of interest**

The authors of this article declare that they have no conflicts of interest regarding the writing and publication of the content and results of this research.

### **Data Availability Statement**

The data and results used in this research will be made available upon request through correspondence with the corresponding author.

### **Authors' Contribution**

All parts of the article were written by the corresponding author.