

## ارزیابی یک شاخص خشکسالی ترکیبی جدید مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری (RCDI) در محدوده ایران مرکزی

- یعقوب نیازی<sup>۱</sup>، علی طالبی<sup>۲\*</sup>، محمدحسین مختاری<sup>۳</sup>، مجید وظیفه‌دوست<sup>۴</sup>  
 ۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد  
 ۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد  
 ۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد  
 ۴. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۱۰/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۱/۲۷)

### چکیده

نخستین گام در هر سیستم مدیریت خشکسالی پایش وضعیت و سیر تکاملی خشکسالی است. این تحقیق روشی جدید برای پایش سیر تکاملی و شدت خشکسالی با شاخص خشکسالی ترکیبی مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری (RCDI) ارائه می‌دهد. شاخص حاضر براساس این واقعیت استوار است که خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که به وسیله ترکیبی از فاکتورهای مختلف از قبیل کمبود در مقدار بارش، تداوم بارندگی‌های کمتر از متوسط در طولانی مدت، دمای بیش از حد نرمال و خصوصیات مربوط به رطوبت خاک ایجاد می‌شود. سه منبع داده استفاده شده در شاخص RCDI شامل داده‌های بارندگی، دما و پوشش گیاهی است. در تحقیق حاضر، از داده‌های سنجش از دوری TRMM و MODIS برای تهیه داده‌های مورد نیاز شاخص RCDI در محدوده ایران مرکزی به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی خشکسالی طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۴ استفاده شده است. ارزیابی دقت شاخص خشکسالی ترکیبی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از معیارهای ارزیابی R و RMSE در سطح اطمینان ۹۵ درصد و براساس مقایسه با مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در ۵۰ ایستگاه سینوپتیک انجام گرفته است. نتایج به دست آمده از بررسی معیارهای ارزیابی نشان داد که شدت خشکسالی برآورد شده به وسیله شاخص RCDI در انطباق با مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به طور متوسط ضریب همبستگی معنادار (۰/۶۱) و کمترین خطای برآوردی (۱/۹۸) داشته است. از این رو، شاخص خشکسالی RCDI به خوبی می‌تواند در سیستم‌های هشدار سریع خشکسالی استفاده شود.

**کلیدواژگان:** ایران مرکزی، پایش خشکسالی، داده‌های ماهواره‌ای، رطوبت خاک، سنجش از دور، شاخص خشکسالی ترکیبی.

## مقدمه

خشکسالی یک ویژگی اقلیمی با خصوصیات از قبیل شرایط نامساعد آب و هوایی است که به کمبود منابع آب شیرین، افزایش دما و بادهای شدید منجر می‌شود. این ویژگی اقلیمی توسط مراکز تحقیقاتی اقلیمی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر محیط زیست و همچنین یک رخداد تکرارشونده اقلیمی شناخته می‌شود [۷، ۱۲، ۱۴ و ۱۵]. اگرچه خشکسالی پدیده مرسوم تغییر اقلیم محسوب می‌شود، وقوع آن اغلب یک خطر طبیعی مخرب و پیچیده است که در پی کاهش بارندگی طی یک دوره ممتد کوتاه یا طولانی روی می‌دهد [۹]. این پدیده به‌عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است که تقوی و محمدی [۲۷] از آن به‌عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند و نمونه‌های زیادی از خشکسالی را در ایران و جهان و اثرهای آن در کشورهای خشکسالی را از لحاظ اقلیمی شرایط بهتر از کشور ما دارند، یاد کرده است. بیشتر قاره‌ها در سه دهه اخیر دچار خشکسالی شده‌اند و این موضوع با افزایش تقاضای آب در برابر منابع محدود آن اهمیت می‌یابد [۱۹]. اظهار نظر کارشناسان گویای آن است که ایران در ۲۲ سال گذشته ۱۳ خشکسالی را پشت سر گذاشته است [۲۰]. با توجه به پیامدهای منفی و ناخواسته این پدیده چندبعدی بر رشد توسعه جوامع از یک سو و زیاده‌بودن امکان وقوع خشکسالی در ایران از دیگر سو، تدبیر سازوکارهای بابرنامه برای مقابله، مهار و مدیریت بحران خشکسالی ضروری می‌کند [۲۵].

برای مطالعه و ارزیابی خشکسالی، شاخص‌های متعددی ارائه شده است که هر یک قوت‌ها و ضعف‌های خود را دارند [۸، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۲۶ و ۳۰]. بیشتر شاخص‌هایی که در این زمینه به‌کار می‌روند، بر پایه معیارهای هواشناسی است و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما یا به‌ویژه میزان بارش را بررسی می‌کنند. این روش‌ها به‌علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت نقطه‌ای و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به‌وجود آورده است. با فراهم‌شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آنها امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این فناوری فراهم شده است [۱۰]. در چهار دهه اخیر، سنسجش از دور ابزار پایش خشکسالی را به‌صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و

مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است [۴، ۲۲ و ۲۹].

شمسی‌پور و همکارانش [۲۵] به ردیابی و تحلیل خشکسالی با شاخص‌های VCI، NDVI، (Vegetarian Condition Index) و VHI (Vegetarian Health Index) در منطقه بیابانی و خشک کاشان پرداختند. با توجه به نتایج، بهره‌گیری از داده‌های سنسجش از دور در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی توصیه می‌شود. باعقیده و همکارانش [۱] به بررسی شاخص NDVI در تحلیل خشکسالی استان اصفهان پرداختند. داده‌های به‌کاررفته، تصاویر ماهواره‌ای NOAA و داده‌های بارش در ایستگاه‌ها بوده است. در بین دوره‌های زمانی شاخص SPI (Standardized Precipitation Index)، دوره‌های زمانی سه‌ماهه، همبستگی زیادی نشان داد. نتایج همبستگی نشان داد که NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی خشکسالی‌ها باشد. رضایی مقدم و همکارانش [۲۱] کارایی داده‌های سنسجندة MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) در برآورد خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را ارزیابی کردند. در این پژوهش از شاخص‌های VCI، TCI و SPI استفاده شده است. با توجه به نتایج، شاخص VCI و سنسجندة MODIS می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی باشند.

عرفانیان و همکارانش [۵] برای ارزیابی ریسک خشکسالی استان فارس از تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنسجندة Terra/MODIS استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها بیانگر انطباق قابل قبول نقشه‌های SPI داده‌های زمینی و SPI مبتنی بر داده‌های TRMM بود. غفوریان و همکارانش [۶] به‌منظور تعیین مناطق مناسب برای 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 دوره آماری ۱۳ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۰) انجام پذیرفت. ارزیابی داده‌های ماهانه ماهواره به‌کمک شاخص‌های CSI و  $R^2$  انجام شد. نتایج نشان داد غیر مقیاس زمانی ۱ ماهه، سازگاری بسیار خوبی بین داده‌های ماهانه ماهواره و ایستگاه‌های زمینی وجود دارد.

دارد. ژانگ و همکارانش [۳۱] 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 که در این سال دچار خشکسالی شدید بودند و محدوده‌هایی هم که خشکسالی با شدت کمتری در آن مناطق به وقوع پیوسته بود را تعیین کردند. در نهایت، آنها نتیجه گرفتند چون داده‌های ماهواره TRMM تأثیرات خشکسالی هواشناسی را در چنین پژوهشی به خوبی نشان دادند، این داده‌ها می‌توانند برای تحلیل و پایش خشکسالی در مقیاس مکانی بزرگ‌تری در چین نیز به کار برده شوند. بالینت و همکارانش [۲] در تحقیقی با عنوان «پایش خشکسالی با بهره‌گیری از شاخص ترکیبی خشکسالی در کنیا» به ارائه روشی برای پایش تکامل و شدت خشکسالی با استفاده از یک شاخص ترکیبی جدید پرداختند و با به کارگیری این روش در نقاط انتخاب شده از نواحی مختلف آب و هوایی و مقایسه نتایج آن با سوابق رویدادهای خشکسالی در دسترس، نشان دادند که ارتباط بین این دو مثبت است. علاوه بر این، مشخص شد که شاخص ترکیبی خشکسالی قادر به تحلیل تغییرات آب و هوایی مربوط به خشکسالی بوده، احتمال وقوع آن را هشدار می‌دهد.

در دهه‌های گذشته تلاش‌های مختلفی برای توصیف خشکسالی و پی‌بردن به الگوی بارش فصول خشک در زمان و مکان برای مواجه‌شدن با شرایط خشکسالی از طریق شاخص‌های خشکسالی انجام شده است. شاخص‌های منفرد یا تک‌متغیره برای مکان‌های خاص و هدف و کاربردی مشخص تا حد زیادی مفیدند، اما تصویر جامعی از ویژگی‌های خشکسالی به‌عنوان یک پدیده پیچیده اقلیمی ارائه نمی‌کنند. از این‌رو، تلاش‌هایی برای توسعه شاخص‌های چندمتغیره مبتنی بر ترکیب شاخص‌های مختلف خشکسالی یا معرف‌های مختلف خشکسالی به‌منظور ارائه تصویری جامع از شرایط و ویژگی‌های خشکسالی از سال‌های قبل شروع شده است و در حال حاضر نیز ادامه دارد. از سویی دیگر محاسبات مربوط به تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی ترکیبی نیازمند اندازه‌گیری متغیرهایی است که مهم‌ترین آنها بارش و دماست. این در حالی است که پراکندگی ایستگاه‌ها در بیشتر مناطق مناسب نیست. علاوه بر این، کوتاهی دوره آماری بسیاری

تکابایل و همکارانش [۲۸] در منطقه جنوب غربی آسیا با اجرای شاخص‌های VHI، TCI، VCI، NDVI، Dev و VHI به ارزیابی خشکسالی پرداختند. این پژوهش روش‌هایی برای پایش خشکسالی با استفاده از اتصال داده‌های تاریخی سنجنده AVHRR با داده‌های روزانه سنجنده مدرن MODIS را پیشنهاد می‌کند. هلدن و کریستین [۱۱] از شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، برای پایش بیابان‌زایی در سطح منطقه‌ای و جهانی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که بین بارندگی و NDVI همبستگی فراوانی در بیشتر مناطق خشک دنیا وجود دارد. لی و همکارانش [۱۶] 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 تأثیر خشکسالی را طی این دوره مشخص و شدیدترین دوره خشکسالی را تعیین کردند. آنها نتیجه گرفتند داده‌های ماهواره TRMM به‌علت پیوستگی زمانی و مکانی بارش نسبت به داده‌های زمینی می‌توانند کاربرد بیشتری در تعیین ابعاد زمانی و مکانی خشکسالی داشته باشند. روسوینتارتی و همکارانش [۲۳] به برآورد خشکسالی در جزیره جاوای اندونزی پرداختند. آنها برای این کار از تصاویر MODIS برای شاخص EVI و دمای سطح زمین (LST) استفاده کردند. شاخص VHI با استفاده از VCI و TCI به‌دست آمده است و در آخر با استفاده از نقشه VHI سلامت پوشش گیاهی در جزیره جاوا به‌دست آمده است.

ژنگ و همکارانش [۳۲] از داده‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ میلادی (دوره آماری ۱۲ ساله) استفاده کردند و برای مقیاس‌های زمانی ۱ و ۳ ماهه، شاخص SPI را برای ایستگاه‌های بالادست تا پایین‌دست یک حوضه آبریز وسیع (دارای ناهمگنی جغرافیایی، اقلیمی و ایستگاهی) و داده‌های ماهواره TRMM (پیکسل‌های موجود در منطقه مطالعاتی) محاسبه و با استفاده از آزمون‌های آماری انطباق بیش از ۶۰ درصد کل مقایسه‌های صورت گرفته 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. در نهایت، آنها نتیجه گرفتند که داده ماهانه ماهواره TRMM پتانسیل پایش خشکسالی را در مناطق با داده‌های پراکنده

می‌تواند تا ۱۰ درصد و کمتر برسد. نزولات جوّی 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. به‌عکس تبخیر سالیانه در این حوزه زیاد است و در موارد فراوانی به بیش از ۴ هزار 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.

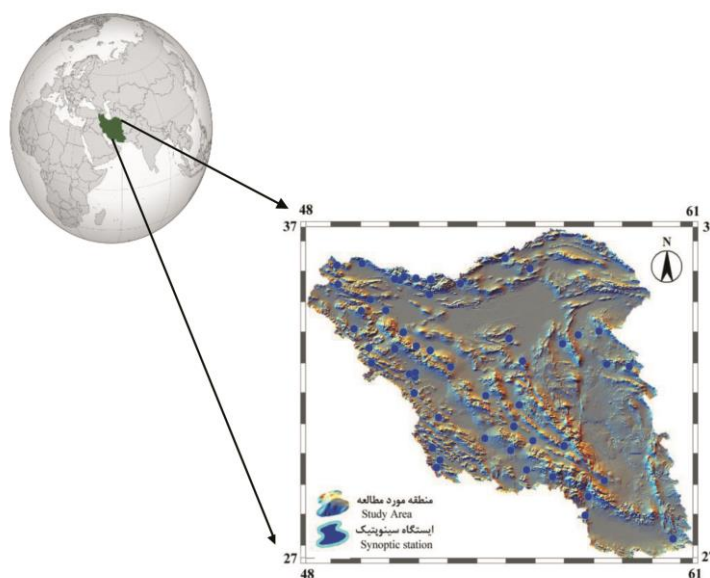
در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی و مقایسه نقشه توزیع مکانی خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه، محدوده ایران مرکزی شامل ۵۰ ایستگاه سینوپتیک انتخاب شده است. در این مناطق، شبکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی بسیار پراکنده و نامنظم است و مقادیر رطوبت خاک تغییرات زیادی دارد. داده‌های استفاده‌شده شامل داده‌های رطوبت خاک ماهانه ۵۰ ایستگاه سینوپتیک، داده‌های سری TRMM-3B43 و محصولات دمایی و پوشش گیاهی سنجنده MODIS ماهواره Terra با دوره آماری ۴ ساله از ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ هستند. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده و پراکنش مکانی ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱ و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است.

از ایستگاه‌ها، مطالعات منابع آبی و اقلیمی را با مشکل مواجه کرده است، از این‌رو، لازم است منابع داده اقلیمی، که بتوانند این نقیصه‌ها را مرتفع سازند، ارزیابی و استفاده شوند. بر همین اساس در این تحقیق برای نخستین‌بار از داده‌های ماهانه ماهواره TRMM و MODIS برای تهیه نقشه شدت خشکسالی با استفاده از یک شاخص خشکسالی ترکیبی جدید مبتنی بر ترکیب وزنی شاخص‌های خشکسالی بارش، دما و شاخص پوشش گیاهی در محدوده ایران مرکزی استفاده شده و دقت داده‌های آن با استفاده از مقادیر رطوبت خاک ایستگاه‌های زمینی ارزیابی شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعه‌شده 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 زمستانی سرد با دمای تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر دارند. تابستان این دشت‌ها خشک و سوزان است و دمای تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالای صفر می‌رسد. رطوبت نسبی این دشت‌ها کم و به‌طور متوسط ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵ درصد و در موارد استثنایی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی

جدول ۱. ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در محدوده ایران مرکزی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
کهنوج	۵۷/۷۲	۲۷/۹۷	۴۶۹/۷۰
میا ده جیرفت	۵۷/۸۲	۲۸/۵۹	۶۰۱
بم	۵۸/۳۷	۲۹/۱۱	۱۰۶۶/۹۰
بافت	۵۶/۵۹	۲۹/۲۴	۲۲۸۰
سیرجان	۵۵/۶۹	۲۹/۴۷	۱۷۳۹/۴۰
شیراز	۵۲/۶۱	۲۹/۵۴	۱۴۸۴
زرقان	۵۲/۷۳	۲۹/۷۹	۱۵۹۶
شهر بابک	۵۵/۱۴	۳۰/۱۰	۱۸۳۴/۱۰
سد درودزن	۵۲/۴۶	۳۰/۱۹	۱۶۵۲
کرمان	۵۶/۹۸	۳۰/۲۵	۱۷۵۳/۸۰
رفسنجان	۵۵/۹۱	۳۰/۴۲	۱۵۸۰/۹۰
مروست	۵۴/۲۶	۳۰/۵۰	۱۵۴۶/۶۰
انار	۵۵/۲۶	۳۰/۸۹	۱۴۰۸/۸۰
آباده	۵۲/۶۸	۳۱/۱۹	۲۰۳۰
بافق	۵۵/۴۴	۳۱/۶۰	۹۹۱/۴۰
یزد	۵۴/۲۹	۳۱/۹۰	۱۲۳۷/۲۰
شهرضا	۵۱/۸۴	۳۱/۹۹	۱۸۴۵/۲۰
کبوترآباد	۵۱/۸۶	۳۲/۵۲	۱۵۴۵
اصفهان	۵۱/۶۸	۳۲/۶۲	۱۵۵۰/۴۰
شرق اصفهان	۵۱/۸۸	۳۲/۶۷	۱۵۴۳
نائین	۵۳/۰۹	۳۲/۸۵	۱۵۴۹
بیرجند	۵۹/۲۱	۳۲/۸۷	۱۴۹۱
خور بیرجند	۵۸/۴۴	۳۲/۹۴	۱۱۱۷/۴۰
داران	۵۰/۳۸	۳۲/۹۷	۲۲۹۰
رباط پشت	۵۵/۵۶	۳۳/۰۴	۱۱۸۸
اردستان	۵۲/۳۹	۳۳/۳۹	۱۲۵۲/۴۰
میامه	۵۱/۱۸	۳۳/۴۴	۱۹۸۰
گلپایگان	۵۰/۲۹	۳۳/۴۷	۱۸۷۰
نطنز	۵۱/۹۱	۳۳/۵۴	۱۶۸۴/۹۰
طَبَس	۵۶/۹۳	۳۳/۶۰	۷۱۱
خور بیابانک	۵۵/۰۹	۳۳/۷۹	۸۴۵
بشرویه	۵۷/۴۶	۳۳/۹۰	۸۸۵
کاشان	۵۱/۴۶	۳۳/۹۹	۹۸۲/۳۰
فردوس	۵۸/۱۸	۳۴/۰۲	۱۲۹۳
اراک	۴۹/۷۸	۳۴/۱۰	۱۷۰۸
تفرش	۵۰/۰۳	۳۴/۶۹	۱۹۷۸/۷۰
قم	۵۰/۸۶	۳۴/۷۰	۸۸۷/۴۰
ساوه	۵۰/۳۴	۳۵/۰۵	۱۱۰۸
قمصر	۵۲/۳۶	۳۵/۲۴	۸۹۹/۹۰
أوج	۴۹/۲۳	۳۵/۵۷	۲۰۳۴/۹۰
سمنان	۵۳/۴۳	۳۵/۵۹	۱۱۲۷
فیروزکوه	۵۲/۴۱	۳۵/۷۲	۲۹۸۵/۷۰
چیتگر	۵۱/۱۸	۳۵/۷۴	۱۳۰۵/۲۰
آبعلی	۵۱/۸۹	۳۵/۷۵	۲۴۶۵/۲۰
شمال تهران	۵۱/۴۹	۳۵/۸۰	۱۵۴۹/۱۰
بیارجمند	۵۵/۸۱	۳۶/۰۹	۱۰۹۹/۳۰
خرمدره	۴۹/۱۹	۳۶/۱۹	۱۵۷۵
قزوین	۵۰/۰۶	۳۶/۲۶	۱۲۷۹/۲۰
شاهرود	۵۴/۹۶	۳۶/۴۲	۱۳۴۹/۱۰

تفسیر ریاضی همگن از شرایط خشکسالی اجتناب‌ناپذیر است. این فرایند محاسباتی با اضافه کردن مقدار عددی ۱ به بیشترین مقدار دما و طول دوره اجرای شاخص خشکسالی و کم کردن مقدار ۰/۰۱ از کمترین مقدار شاخص پوشش گیاهی با هدف جلوگیری از تقسیم شدن مقادیر شاخص‌های خشکسالی به صفر براساس روابط ارائه شده در معادله ۱ صورت می‌گیرد. این اصلاحات تنها برای سهولت در فرایند محاسباتی این شاخص‌ها است و هیچ‌گونه تغییری در ماهیت داده‌ها و نتایج آنها ایجاد نمی‌کند [۳]:

$$\begin{aligned} T^* &= (T_{\max} + 1) - T \\ RL^* &= (RL_{\max} + 1) - RL \\ NDVI^* &= NDVI - (NDVI_{\min} - 0/01) \end{aligned} \quad (2)$$

در ارتباط با اصلاح مؤلفه بارش رابطه دیگری به‌ویژه برای مناطقی که فصول خشک طولانی بدون هر گونه بارشی دارند، ارائه شده است. این رابطه با اضافه کردن مقدار عددی ۱ به مقدار بارش از به دست آمدن مقادیر بزرگ غیرواقعی شاخص خشکسالی جلوگیری می‌کند. حتی در مناطقی که بارش در هر زمان از سال انتظار می‌رود و کار با داده‌های اولیه بارش امکان‌پذیر است و خطای مطرح شده را ایجاد نمی‌کند استفاده از داده‌های بارش اصلاح شده هنوز هم پیشنهاد می‌شود [۳]:

$$P^* = P + 1 \quad (3)$$

در این تحقیق شاخص خشکسالی ترکیبی از داده‌های سنجش از دوری<sup>۴</sup> استخراج شده و شاخص خشکسالی RCDI نام‌گذاری شده که در ادامه ارائه شده است.

#### محاسبه شاخص خشکسالی بارش (PDI)

شاخص خشکسالی مبتنی بر بارش داده‌های TRMM در این مطالعه براساس رابطه ۴ محاسبه شده است [۳]:

$$PDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=1}^{IP-1} P_{i,(m-j)}^*}{\left[ \frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n \left[ \sum_{j=1}^{IP-1} P_{(m-j),k}^* \right] \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(P^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(P^*)}}} \quad (4)$$

#### معرفی شاخص خشکسالی ترکیبی مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری (RCDI)

محاسبه خشکسالی در این تحقیق از ترکیب مؤلفه‌هایی است که در ادامه گفته می‌شود. مؤلفه بارش که به کمبود بارندگی و تداوم خشکی توجه می‌کند؛ مؤلفه پوشش گیاهی که به‌عنوان نماینده کمبود رطوبت خاک استفاده می‌شود و مقدار کم NDVI و به تداوم این کاستی توجه می‌کند؛ و مؤلفه دما که به دمای زیاد و تداوم آن توجه می‌کند. شاخص خشکسالی محاسبه شده در این مطالعه براساس مؤلفه بارش به‌عنوان شاخص خشکسالی بارش<sup>۱</sup> براساس مؤلفه پوشش گیاهی به‌عنوان شاخص خشکسالی پوشش گیاهی<sup>۲</sup> و براساس مؤلفه دما به‌عنوان شاخص خشکسالی دمایی<sup>۳</sup> نام‌گذاری شده است. شاخص خشکسالی که حاصل ترکیب وزنی این سه مؤلفه خشکسالی است، شاخص خشکسالی ترکیبی نامیده می‌شود [۳]. این شاخص جدید، یک شاخص آماری است که شرایط آب و هوایی حاضر را با متوسط خصوصیات درازمدت آن در همان زمان مد نظر در طول سال مقایسه می‌کند. این شاخص برای مؤلفه‌های مختلف بارش، دما و پوشش گیاهی به‌صورت کلی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۳]:

$$\text{شاخص خشکسالی} = \frac{\text{متوسط واقعی برای IP}}{\text{IP برای LTM}} \quad (1)$$

که عبارت است از نسبت مقدار متوسط واقعی یا کنونی مؤلفه‌های مؤثر در وقوع خشکسالی (بارش، دما و پوشش گیاهی) برای IP که معرف دوره انتخابی مد نظر است به LTM که معرف مقدار میانگین طولانی‌مدت همان مؤلفه‌ها در همان دوره انتخابی است. از اصطلاح کمبود یا نقصان برای مؤلفه‌های بارش و پوشش گیاهی به معنای مقدار کمتر بارش و پوشش گیاهی نسبت به مقدار متوسط طولانی‌مدت این دو مؤلفه و اصطلاح مازاد یا اضافی برای مقدار بیش از متوسط طولانی‌مدت مؤلفه دما استفاده می‌شود. از آنجا که شاخص‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از هریک از مؤلفه‌های بارش، دما و پوشش گیاهی از مقایسه وضعیت کنونی خشکسالی به شرایط طولانی‌مدت آن به‌دست می‌آید، اغلب استانداردهای داده‌های ورودی برای

1. Precipitation Drought Index (PDI)
2. Vegetation Drought Index (VDI)
3. Temperature Drought Index (TDI)

که در آن  $T^*$  مقدار دمای اصلاح‌شده ماهانه است که از رابطه  $T - (T_{\max} + 1)$  به دست می‌آید،  $IP$  دوره انتخابی مد نظر،  $RL^{(T)}$  طول دوره اجرا که برابر با بیشترین تعداد دهه‌های متوالی یا ماه‌هایی با مقدار بیشتر از متوسط طولانی‌مدت دما در دوره انتخابی است،  $n$  تعداد سال،  $Z$  مجموع پارامترهای محاسبه‌شده برای  $IP$  و  $k$  مجموع پارامترهای محاسبه‌شده برای سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آنها در دسترس است.

#### محاسبه شاخص خشکسالی RCDI

این شاخص از مجموع میانگین وزنی سه شاخص خشکسالی بارش، پوشش گیاهی و دما مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری براساس رابطه ۷ به دست می‌آید [۳]:

$$RCDI_{i,m} = w_{PDI} * PDI_{i,m} + w_{TDI} * TDI_{i,m} + w_{VDI} * VDI_{i,m} \quad (7)$$

که  $w$  نمایانگر وزن تخصیص داده‌شده به هر شاخص است که مقدار آن ۵۰ درصد برای  $w_{PDI}$  و ۲۵ درصد برای هر یک از دو  $w_{VDI}$  و  $w_{TDI}$  است. البته در مواردی که داده‌های ناقصی برای دما و پوشش گیاهی وجود دارد مقدار  $w_{PDI}$  را برابر با ۶۷ درصد و مجموع وزن دو شاخص دیگر را ۳۳ درصد در نظر می‌گیرند. طبقه‌بندی شدت خشکسالی مبتنی بر مقادیر شاخص RCDI به صورت زیر است:

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت خشکسالی براساس مقادیر شاخص

شدت خشکسالی	RCDI مقدار شاخص
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 شاخص خشکسالی RCDI

به منظور ارزیابی دقت مقادیر برآورده‌شده شاخص خشکسالی ترکیبی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS، یک مقایسه تطبیقی با مقادیر رطوبت خاک مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های زمینی با استفاده از معیارهای آماری خطا در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد که در ادامه شرح داده می‌شود.

که در آن  $P^*$  مقدار بارش اصلاح‌شده ماهانه است که از رابطه  $P + 1$  به دست می‌آید،  $IP$  دوره انتخابی مد نظر (برای مثال، ۳، ۴، ۵ و... دهه یا ماه)،  $RL^{(P)}$  طول دوره اجرا که برابر با بیشترین تعداد دهه‌های متوالی یا ماه‌هایی با مقادیر کمتر از متوسط طولانی‌مدت بارش است،  $n$  تعداد سال،  $Z$  مجموع پارامترهای محاسبه‌شده برای  $IP$  و  $k$  مجموع پارامترهای محاسبه‌شده برای سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آنها در دسترس است.

#### محاسبه شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (VDI)

شاخص خشکسالی مبتنی بر NDVI به دست آمده از سنجنده MODIS در این مطالعه براساس رابطه ۵ محاسبه شده است [۳]:

$$VDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=-}^{IP-1} NDVI_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n \left[ \sum_{j=-}^{IP-1} NDVI_{(m-j),k}^* \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(NDVI^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(NDVI^*)}}} \quad (5)$$

که در آن  $NDVI^*$  مقدار شاخص پوشش گیاهی اصلاح‌شده ماهانه است که از رابطه  $NDVI - (NDVI_{\min} - 0.1)$  به دست می‌آید،  $IP$  دوره انتخابی مد نظر،  $RL^{(NDVI)}$  طول دوره اجرا که برابر با بیشترین تعداد دهه‌های متوالی یا ماه‌هایی با مقدار کمتر از متوسط طولانی‌مدت شاخص پوشش گیاهی در دوره انتخابی است،  $n$  تعداد سال،  $Z$  مجموع پارامترهای محاسبه‌شده برای  $IP$  و  $k$  مجموع پارامترهای محاسبه‌شده برای سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آنها در دسترس است.

#### محاسبه شاخص خشکسالی دمایی (TDI)

شاخص خشکسالی مبتنی بر دمای به دست آمده از سنجنده MODIS در این مطالعه براساس رابطه ۶ محاسبه شده است [۳]:

$$TDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=-}^{IP-1} T_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n \left[ \sum_{j=-}^{IP-1} T_{(m-j),k}^* \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(T^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(T^*)}}} \quad (6)$$

RCDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS با مقادیر رطوبت خاک مبتنی بر داده‌های زمینی طی دوره ۴ ساله ۲۰۰۱-۲۰۰۴ در شکل ۳ نشان داده است. نتایج معیارهای آماری ارزیابی از انطباق نقشه توزیع مکانی خشکسالی RCDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS با مقادیر رطوبت خاک مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، در جدول ۳ ارائه شده است.

بیشترین ضریب همبستگی (۰/۷۲) مختص به سال ۲۰۰۱ و کمترین (۰/۵۳) مختص به سال ۲۰۰۳ است. کمترین و بیشترین مقدار میانگین خطا به مقدار ۱/۷۴ و ۲/۱۵ به ترتیب مختص به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ بوده است.

مقدار میانگین خطا هر چه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر مشابهت بیشتر مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای است. نتایج معیارهای آماری ارزیابی و خطای محاسبه شده نشان می‌دهد که نقشه شدت خشکسالی RCDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای، دقت و انطباق قابل قبولی با داده‌های زمینی داشته است.

#### طبقه‌بندی شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI

نقشه‌های طبقه‌بندی شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI در پنج کلاس بدون خشکسالی، خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید حاصل از داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ در محدوده ایران مرکزی در شکل ۴ نشان داده شده است.

شکل ۵ درصد سهم هر یک از این طبقات شدت خشکسالی در کل محدوده بررسی شده را برای نقشه‌های به‌دست‌آمده از شاخص خشکسالی RCDI برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ نشان می‌دهد. براساس این دو شکل، کلاس خشکسالی خیلی شدید فقط در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ مشاهده شده است در حالی که مناطق فاقد خشکسالی درصد بیشتری را در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ نسبت به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ به خود اختصاص داده‌اند.

#### ضریب همبستگی پیرسون (R)

ضریب همبستگی پارامتری پیرسون، یکی از روش‌های آماری رایج و مفید است که درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین -۱ و +۱ است و از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (8)$$

که در آن  $O_i$  مقدار شاخص خشکسالی مبتنی بر ایستگاه‌های سینوپتیک،  $P_i$  مقدار شاخص خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای،  $\bar{O}$  و  $\bar{P}$  به ترتیب متوسط مقدار شاخص خشکسالی حاصل از ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای و  $n$  تعداد کل داده‌ها هستند.

#### 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 زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (9)$$

#### نتایج

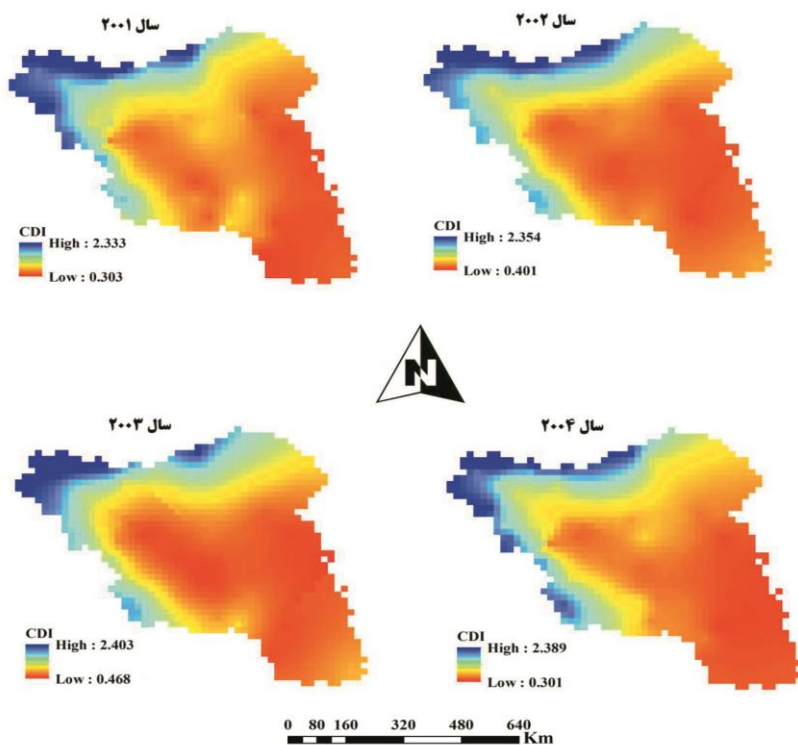
##### نقشه‌های شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI

شکل ۲ نقشه‌های شدت خشکسالی براساس شاخص خشکسالی ترکیبی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۴ را با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی برای محدوده ایران مرکزی نشان می‌دهد. کمترین و بیشترین مقدار شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۳ به میزان ۰/۳۰۱ و ۲/۴۰۳ بوده است.

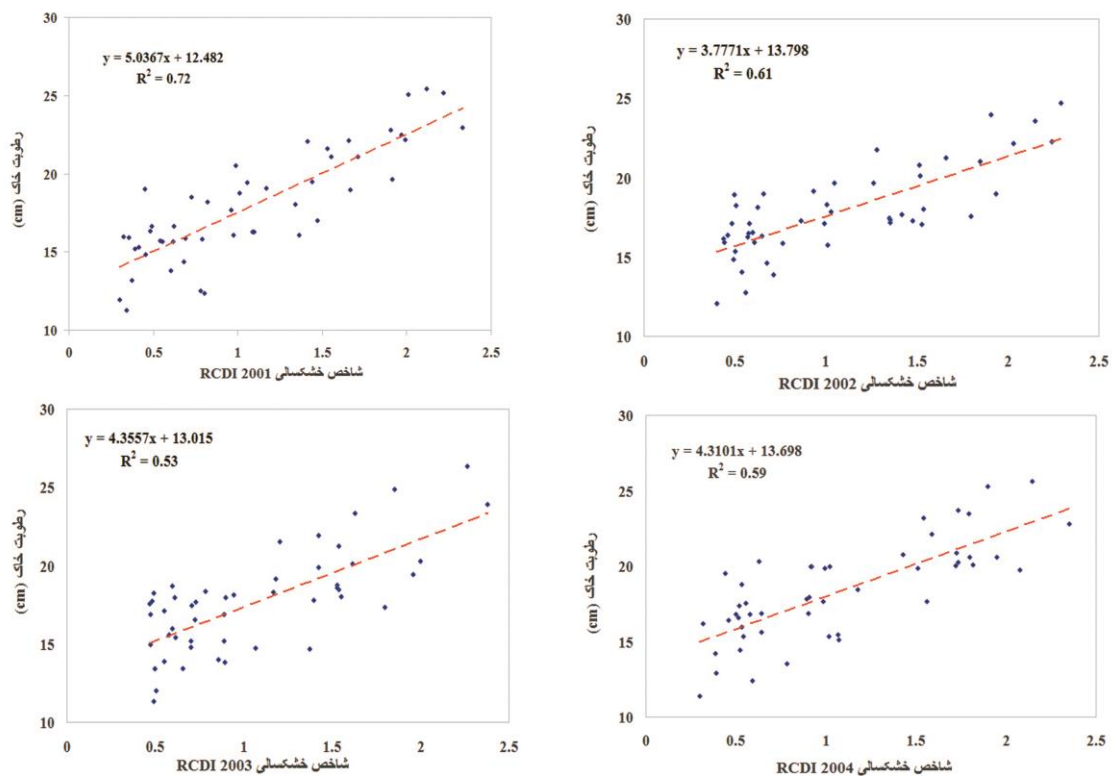
##### ارزیابی نقشه‌های شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI

نمودار پراکنش، رابطه رگرسیون خطی و ضریب همبستگی بین نقشه‌های شدت خشکسالی براساس شاخص خشکسالی





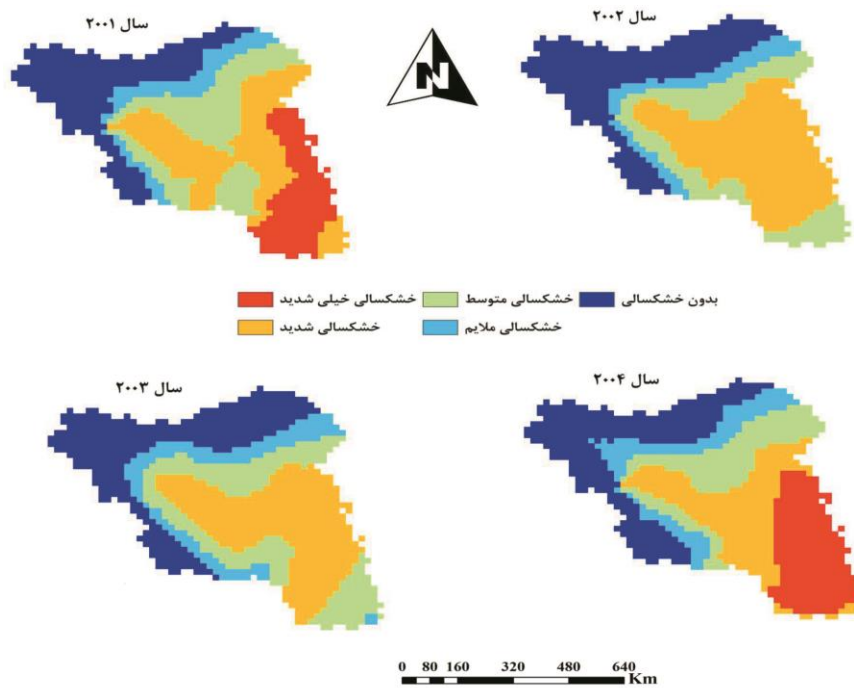
شکل ۲. نقشه‌های شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS



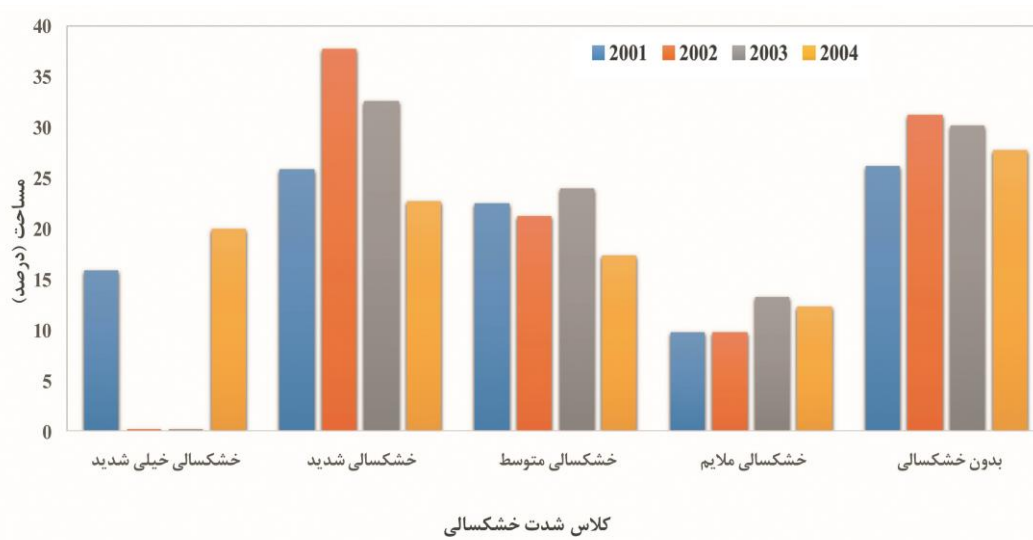
شکل ۳. مقایسه بین مقادیر شاخص خشکسالی RCDI و رطوبت خاک طی دوره آماری ۲۰۰۴-۲۰۰۱

جدول ۳. مقایسه خصوصیات آماری نقشه‌های شاخص خشکسالی RCDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای MODIS و TRMM

سال	R	معنادر در سطح ۹۵٪	RMSE	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۲۰۰۱	۰/۷۲	+	۱/۸۸	۰/۳۰۳	۲/۳۳۳	۰/۸۱۵	۰/۴۵۱
۲۰۰۲	۰/۶۱	+	۱/۷۴	۰/۴۰۲	۲/۳۵۴	۰/۸۶۸	۰/۴۲۵
۲۰۰۳	۰/۵۳	+	۲/۱۴	۰/۴۶۹	۲/۴۰۴	۰/۸۸۲	۰/۴۰۴
۲۰۰۴	۰/۵۹	+	۲/۱۵	۰/۳۰۱	۲/۳۹۰	۰/۸۲۵	۰/۴۶۷



شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI



شکل ۵. مقایسه درصد مساحت نقشه‌های طبقه‌بندی شدت خشکسالی براساس شاخص RCDI

### بحث و نتیجه‌گیری

بیشتر سیستم‌های ارزیابی خشکسالی عمدتاً بر مبنای داده‌های هواشناسی استوارند. داده‌های هواشناسی را می‌توان همراه با داده‌ها و اطلاعات دیگر به منظور برآورد تأثیر احتمالی خشکسالی استفاده کرد. مهم‌ترین پارامتر اقلیمی دخیل در ارزیابی خشکسالی بارش و دما 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 اندازه‌گیری زمینی، سبب کاهش توانایی بالقوه در نشان دادن الگوی مکانی و دقیق این شاخص‌ها می‌شود. از این رو، لازم است منابع داده‌ای، که بتوانند این نقیصه‌ها را مرتفع سازند، شناسایی و پس از ارزیابی استفاده شوند. در این مطالعه یک شاخص ترکیبی جدید که ترکیب وزنی از سه پارامتر بارش، دما و پوشش گیاهی است برای برآورد خشکسالی در محدوده ایران مرکزی استفاده و ارزیابی شده است. داده‌های استفاده‌شده در این شاخص از منابع داده‌های سنجش از دوری استخراج شده است.

بر همین اساس در این پژوهش نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص RCDI برای محدوده ایران مرکزی طی دوره ۴ ساله، از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴، از داده‌های ماهواره‌ای (3B43) TRMM و MODIS تهیه و سپس با استفاده از داده‌های رطوبت خاک ایستگاه‌های سینوپتیک که به‌عنوان یکی از فراسنج‌های مهم و اساسی خاک در مطالعات خشکسالی استفاده می‌شود، ارزیابی شد. ارزیابی نقشه شدت خشکسالی به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره با کمک معیارهای ارزیابی آماری نشان داد که شدت خشکسالی برآوردشده به‌وسیله این شاخص ترکیبی جدید به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای در انطباق با داده‌های رطوبت خاک به‌طور متوسط برای دوره زمانی مطالعه‌شده از ضریب همبستگی معنادار (۰/۶۱) و کمترین خطای برآوردی (۱/۹۸) در سطح اطمینان ۹۵ درصد برخوردار بوده است. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۷۲) مختص به سال ۲۰۰۱ و کمترین (۰/۵۳) مختص به سال ۲۰۰۳ است. کمترین و بیشترین مقدار میانگین خطا به مقدار ۱/۷۴ و ۲/۱۵ به ترتیب مختص به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ بوده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص بیشترین سطح خشکسالی خیلی شدید تا ملایم به ترتیب مختص به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴،

۲۰۰۳ و ۲۰۰۲ بوده است در حالی که بیشترین سطح مناطق فاقد خشکسالی به ترتیب مختص به سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۱ بوده است.

در مجموع، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص خشکسالی ترکیبی استفاده‌شده در این مطالعه مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای TRMM و MODIS می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی به‌منظور برآورد خشکسالی به‌ویژه در مناطقی که ما با محدودیت داده روبه‌رو هستیم، باشد. از این رو، با توجه به اینکه در تصاویر ماهواره‌ای، تعداد نقاط نمونه‌برداری بسیار بیشتر از تعداد ایستگاه‌های زمینی است، استفاده از دانش سنجش از دور پیشنهاد می‌شود. پژوهش‌های جهانی‌بخش و همکارانش [۱۳] رضایی‌مقدم و همکارانش [۲۱] و شمسی‌پور و همکارانش [۲۵] نیز نشان داده است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روش بسیار مناسبی برای تحلیل خشکسالی در مناطق مختلف کشور ایران است که با نتایج این تحقیق منطبق است. پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش دقت مکانی نقشه‌های شدت خشکسالی، از تلفیق اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر ایستگاه‌های زمینی استفاده کرد و با افزایش قدرت تفکیک اطلاعات، زمینه را برای مطالعات دقیق‌تر فراهم آورد. همچنین با توجه به اهمیت موضوع خشکسالی و برنامه‌ریزی آن و کمبود داده‌های مورد نیاز برای پایش خشکسالی هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی، شاخص ترکیبی RCDI در محدوده جغرافیایی کل کشور ارزیابی شود.

### منابع

- [1]. Baaghideh M, Alijani B, Ziaian P. Evaluation The Possibility of Using The NDVI of Using The NDVI Index to Analyze and Monitor Droughts in Esfahan Province. Journal of Arid Regions Geographic Studies. 2011; 1(4). 1-16. [Persian]
- [2]. Balint Z, Mutua FM, Muchiri P, Omuto CT. Monitoring Drought with the Combined Drought Index in Kenya. Journal of Developments in Earth Surface Processes. 2013; Vol. 16. pp. 341-356.
- [3]. Balint Z, Mutua FM, Muchiri P. Drought Monitoring with the Combined Drought Index. Methodology and Software. FAO-SWALIM Nairobi, Kenya. 2011; PP. 1-28.

- [4]. Ebrahimi Khusfi M, Darvishzade R, Matkan A, Ashourloo D. Drought Assessment in Arid Regions Using Vegetation Indices - A Case Study of "Shirkooh of Yazd" in Central Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 2010; 7(4), 59-72. [Persian]
- [5]. Erfanian M, Vafaei N, Rezaianzadeh M. 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*. 2014; 46(1). 93-108. [Persian]
- [6]. Ghafourian H, Sanaeinejad SH, Davary K. 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)*. 2014; 28(3). 639-648. [Persian]
- [7]. Gommès R, Petrassi F. Rainfall Variability and Drought in Sub-Saharan Africa Since 1960. *Agrometeorology Series Working Paper No. 9*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy; 1994.
- [8]. Guttman N. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. of Am Water Resources Association*. 1998; 34, PP.113-121.
- [9]. Hardy J. *Climate Change, Causes, Effects and Solutions*. John Wiley Sons. 2003; Ltd. pp. 39.
- [10]. Heim RR. A Review of Twentieth-century Drought Indices Used in United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2002; 84: 1149-1165.
- [11]. Hellden U, Christian T. Regional Desertification: a Global Synthesis. *Global and Planetary Change*. 2008; Vol. 64, No. 3-4, PP. 169-176.
- [12]. Herweijer C, Seager, R. The global footprint of persistent extra-tropical drought in the instrumental era. *Int. J. Climatol*. 2008; 28, 1761-1774.
- [13]. Jahanbakhsh Asl S, Sari Sarraf B, Khorshidoost AM, Rostamzadeh H. Spatio-Temoral Analysis of Dry and Wet Years with The Purpose of The Recognition of Moisture Fluctuation Susceptibility of Sarab Plain Using MFI Index and GIS Models. *Journal of Geography and Planning*. 2010; 15(33). 105-130. [Persian]
- [14]. Jones PD, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *Journal of Climatology*. 1996; 16, 361-377, (R).
- [15]. Lloyd-Hughes B, Saunders MA. A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol*. 2002; 22, 1571-1592.
- [16]. Li JG, Ruan HX, Li JR, Huang SF. Application of TRMM precipitation data in meteorological drought monitoring. *Journal of China Hydrology*. 2010; 30: PP 43-46.
- [17]. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales, In: *Proceedings of the 8th conference on applied climatology*. 17-22 January, Anaheim, CA, Am Meteor Soc, Boston, MA, 1993; 179-184.
- [18]. McKee TB, Doesken NJ, Kleist JY. Drought monitoring with multiple time scales. *Ninth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society: Dallas. TX. 1995; PP 233-236.
- [19]. Mishra AK, Singh VP. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 2010; 391(1), 202-216.
- [20]. Morid S, Smakhtin V, Moghaddasi M. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *Int. J. Climatol*. 2006; 26, 971-985.
- [21]. Rezaeimoghadam MH, Valizadeh Kamran KH, Rostamzadeh H, Rezaee A. Evaluating the Adequacy of MODIS in the Assessment of Drought (Case Study: Urmia Lake Basin). *Journal of Geography and Environmental Sustainability*. 2013; 2(5). 37-52. [Persian]
- [22]. Rhee J. Monitoring Agricultural Drought for Arid and Humid Regions Using Multi-sensor Remote Sensing Data. *Remote Sensing of Environment*. 2010; 114, 2875-2887.
- [23]. Roswintarti O, Oarwati S, Anggraini N. Potential drought monitoring over agriculture area in Java Island. Indonesia, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype Year. 2010; Pp.121-135.
- [24]. Shakya N, Yamaguchi Y. Vegetation, water and thermal stress index for study of drought in Nepal and central Northeastern India. *Int. J. Remote. Sens*. 2010; 31, 903-912.
- [25]. Shamsipour AA, Alavipanah SK, Mohammadi H. Efficiency of Vegetation and Thermal Indices of NOAA-AVHRR Satellite in Ecological Drought Analysis of Kashan Region. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 2010; 3(40). 445-465. [Persian]

- [26]. Szinell CS, Bussay A, Szentimrey T. Drought tendencies in Hungary. *Int. J. Climatol.* 1998; 18, 1479–1491.
- [27]. Taghavi F, Mohammadi H. Study the Return Period of Extreme Climate Events for Reduction of Environmental Impacts. *Journal of Environmental Studies.* 2007; 33(43). 11–20. [Persian]
- [28]. Thenkabail PS, Enclona EA, Ashton MS, Legg C, Jean De Dieu M. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in southwest Asia. *International Water Management Institute.* PO Box 2075. Colombo. Sri Lanka. 2004.
- [29]. Wilhite DA. Drought as a natural hazard, In: Wilhite, D. A (Editor), *Drought: A Global Assessment*, Routledge, London. 2000.
- [30]. Wu H, Hayes MJ, Weiss A, Hu Q. An evaluation of the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical z-score. *Int. J. Climatol.* 2001; 21, 745–758.
- [31]. Zang WB, Ruan BQ, Li JG, Huang SF. Analysis of extraordinary meteorological drought in Southwest China by using TRMM precipitation data. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research.* 2011; 8: PP 97–106.
- [32]. Zeng H, Lijuan L, Li J. The evaluation of TRMM multisatellite precipitation pnalysis (TMPA) in drought monitoring in the Lancang River Basin. *Journal of Geographical Sciences.* 2012; 22(2): 273-282.