

بررسی همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی در تحلیل خشکسالی با استفاده از تصاویر مودیس (مطالعه موردی: استان‌های قم، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی)

صالح آرخی^{۱*}، مرضیه بزرگر سواسری^۲، ندا سوری‌زائی^۳، بنیامین عشقی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

چکیده

خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که ممکن است در هر اقلیمی رخ دهد. در دهه‌های اخیر، کشور ایران به‌طور پیاپی تحت‌تأثیر خشکسالی‌های شدید و گسترده قرار داشته و آثار زیان‌باری بر بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش کشاورزی، محیط‌زیست و منابع آب کشور تحمیل کرده است. امروزه برای شناسایی و تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی از شاخص‌های پوشش گیاهی که به کمک فناوری سنجنش از دور به دست می‌آیند، استفاده می‌شود. هدف پژوهش حاضر بررسی میزان همبستگی بین شاخص SPI و شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) و پوشش گیاهی بهبودیافته (EVI) حاصل تصاویر مودیس طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به‌منظور پایش خشکسالی در مناطق مرکزی ایران است. در این راستا، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترا و داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در منطقه مورد مطالعه، آشکارسازی تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۰ ساله محاسبه شد. بدین منظور ابتدا با بررسی داده‌های ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) چهار ماه (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر) به‌عنوان نمونه انتخاب شد. در این مطالعه با توجه به دقت زمانی، پوشش طیفی بالا، سهولت دسترسی، عدم نیاز به تصحیح اتمسفری و زمین مرجع نمودن، تصاویر با کد (MOD13A2) از محصولات ماهواره مودیس سنجنده ترا مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به‌دلیل اطمینان از وجود پدیده ترسالی و خشکسالی استفاده شد و سپس شاخص SPI با شاخص‌های NDVI و EVI مورد مقایسه قرار گرفت. برای تعیین میزان همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص‌های سنجنش از دور، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان همبستگی بین شاخص خشکسالی SPI با NDVI و EVI به‌ترتیب برابر با ۰/۸۳۲ و ۰/۱۴۹- است. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که در مناطقی با داده‌های باران‌سنجی ناکافی و پراکنش نامناسب برای پایش خشکسالی می‌توان از داده‌های سنجنش از دور و همچنین شاخص پوشش گیاهی NDVI برای پایش تغییرات پوشش گیاهی استفاده کرد. نتایج پایش خشکسالی نشان داد که طی این دوره ده‌ساله در برخی از سال‌ها خشکسالی شدید وجود داشته است. برای مثال در سال ۲۰۲۰ این خشکسالی بسیار شدید بوده است و در سال ۲۰۱۱ ترسالی بسیار شدیدی را نشان داد. نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های سنجنش از دوری نشان داد که شاخص SPI بالاترین همبستگی را با شاخص NDVI در سطح ۰/۰۱ دارد که مشخص شد تصاویر MODIS و شاخص ساخته‌شده دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی است. نتایج این تحقیق می‌تواند گزینه مناسبی برای تصمیم‌گیران به‌منظور نظارت، بررسی و حل‌وفصل وضعیت خشکسالی مؤثر باشد.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، شاخص SPI، شاخص‌های پوشش گیاهی، NDVI، EVI، مناطق مرکزی ایران.

۱. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران؛ S.arekhi@gu.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه نقشه‌برداری، مؤسسه غیرانتفاعی لامعی گرگانی، گرگان، ایران.

* این مقاله برگرفته از پژوهش آزاد است.

مقدمه

یکی از تفاوت‌های عمده خشکسالی با دیگر بلایای طبیعی در این است که این مصیبت به نسبت سایرین که به صورت ناگهانی اتفاق می‌افتند، در زمان طولانی‌تر و به تدریج رخ می‌دهد. به همین علت است که این بلا را بلای خزننده دانسته‌اند (کوگن،^۱ ۲۰۰۰). خطرهای ناشی از خشکسالی خیلی بیشتر از خشکی است. به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، در بسیاری از نقاط ایران، خشکسالی یک تهدید حتمی و اجتناب‌ناپذیر است. کمبود بارش در یک منطقه برای دوره‌های زمانی طولانی مدت به عنوان خشکسالی شناخته می‌شود. این کمبود آب در چرخه هیدرولوژیکی منتشر می‌شود و انواع مختلف خشکسالی را ایجاد می‌کند (فیوریلو و گوادانیو،^۲ ۲۰۱۰). بروز خشکسالی و کاهش بارش بر منابع آب و کشاورزی در هر منطقه تأثیرگذار است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۲۰۱۰). تغییرپذیری منابع آب زیرزمینی از تغییرات اقلیمی ناشی از فرایندهای هیدرولوژیکی مانند بارش، تبخیر و تعرق و تعامل با آب سطحی انجام می‌گیرد (چن^۳ و همکاران، ۲۰۰۴). خشکسالی وضعیت دائمی یک اقلیم نیست و در تمامی اقلیم‌ها چه اقلیم مرطوب و چه در اقلیم خشک رخ می‌دهد (دراکاپ^۴ و همکاران، ۱۹۸۰). غالباً خشکسالی‌ها از خشکسالی هواشناسی شروع شده و به ترتیب به خشکسالی هیدرولوژیکی، کشاورزی و سرانجام اجتماعی اقتصادی تبدیل می‌شود (علیزاده، ۲۰۱۴). برای برآورد خشکسالی یک منطقه روش‌های متفاوتی وجود دارد که این روش‌ها نیاز به داشتن داده‌های قابل اطمینان از گذشته دارند، ولی به دلیل فقدان داده‌ها و عدم دقت در برداشت‌ها آن‌ها، امر محاسبه خشکسالی را با مشکلاتی همچون عدم دقت در زمان و شدت وقوع خشکسالی و درک درست خسارت ناشی از خشکسالی مواجه ساخته است. تجزیه و تحلیل شاخص بارش استاندارد (SPI)^۵ یکی از روش‌های پرکاربرد برای شناسایی خشکسالی در سراسر جهان است (طبری و همکاران، ۲۰۱۲؛ داتا^۶ و همکاران، ۲۰۱۵). داده‌های

هواشناسی به علت دسترسی محدود به محل اندازه‌گیری و در مواردی به دلیل ناقص بودن اطلاعات آن، برای ارزیابی به‌ویژه در مناطق بزرگ چندان مناسب نیست. بنابراین، استفاده از روش‌های سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای، تعریف شاخص‌های مرتبط با سنجش از دور به دلیل ارزان و قابل تکرار بودن، به‌روز بودن و در بر گرفتن سطح وسیعی از منطقه مطالعاتی می‌تواند ضمن پوشش کاستی‌های مرتبط با داده‌های هواشناسی ایستگاهی، ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های پوشش گیاهی را برقرار سازد (رستمی و همکاران، ۲۰۱۶). از آنجاکه امروزه سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکسالی به کار می‌روند، در مطالعه حاضر از اطلاعات سنجنده MODIS^۷ استفاده شد؛ زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر خشکسالی مناسب‌تر است (سکاتو^۸ و همکاران، ۲۰۰۱). مودیس (اسپکترورادایومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط)، سنجنده‌ای است که بر روی ماهواره ترا (EOS-AM) قرار داده شده است. سنجنده مودیس ماهواره ترا، هر دو روز یک بار از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می‌کند. سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی است و دامنه طیفی آن از طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۴ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۳۰ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند.

دامنه وسیعی از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های مودیس برای نظارت بر خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تاکنون ارائه شده است. در همین خصوص، تحقیقات متعددی در سطح جهان و ایران صورت پذیرفته است که در بیشتر آن‌ها با به‌کارگیری داده‌ها و روش‌های سنجش از دور، اقدام به پهنه‌بندی شدت و وسعت خشکسالی شده است. چوپرا^۹

1. Kogan
2. Fiorillo & Guadagno
3. Chen
4. Dracup
5. Standardized Precipitation Index
6. Dutta

7. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
8. Ceccato
9. Chopra

مقیاس فصلی (جولای-اکتبر) نقشه‌برداری شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد وضعیت خشکی در سراسر سودان در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف متغیر است. نتایج DSI^۷ نشان داد بیشتر مناطق سودان از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ متأثر از خشکسالی بوده است. ییلدیریم و آسیک^۸ (۲۰۱۸) خشکسالی کشاورزی در دشت کاواکدره ترکیه را به وسیله شاخص‌های NDVI و SAVI و دمای سطح ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که هر دو شاخص مذکور با دمای سطح طی فصل آبیاری، جایی که درجه حرارت افزایش یافته و بارندگی کاهش یافته، به طور مؤثری رطوبت قابل دسترس را کاهش داده است، همبستگی منفی دارند. در بخش مطالعات داخلی نیز پژوهش‌هایی انجام پذیرفته است که در ذیل به آن‌ها پرداخته می‌شود. چنار^۹ (۲۰۰۱) در مطالعات خود، خشکسالی را در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر NOAA/AVHRR ارزیابی کرد. در این مطالعه، نتایج محاسبه شاخص NDVI در مورد تغییرات تراکم پوشش گیاهی، ارزیابی زمینی خسارت خشکسالی را در استان آذربایجان شرقی تأیید کرده و نتایج به دست آمده به استان‌های آذربایجان غربی و اردبیل نیز تعمیم داده شد. همچنین در این تحقیق اثبات شد که بارندگی‌های فصلی به ویژه زمستانی که به صورت برف هستند، نقش زیادی در بروز یا عدم بروز خشکسالی دارند. محمدزاده و همکاران (۲۰۰۸) از دو شاخص SPI و NDVI طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ برای بررسی خشکسالی در منطقه فریدون‌شهر استفاده کرده و در نهایت این دو شاخص را باهم مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که بین تصاویر NDVI ماه‌های آوریل و می و SPI دسامبر و ژانویه همبستگی معناداری وجود دارد. حمزی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان «پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجنده از دور استان مرکزی»، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مودیس به بررسی الگوهای خشکسالی پرداخته است. نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی با شرایط اقلیمی محدوده تطابق

در ایالت گجرات هندوستان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های NOAA و AVHRR اقدام به محاسبه شاخص NDVI^۱ نموده و این شاخص را با شاخص SPI مقایسه کرده و در این مقایسه شاهد ارتباط نزدیک این دو شاخص در حالت SPI سه‌ماهه بوده است (چوپرا، ۲۰۰۶). کوگن و همکاران (۲۰۰۰) ایالات متحده آمریکا را با استفاده از تصاویر سنجنده‌های NOAA و MODIS و با استفاده از شاخص‌های VCI و TCI در سال ۱۹۸۸ مورد مطالعه قرار دادند و در کار صورت گرفته متوجه شدند که شاخص VCI نسبت به شاخص TCI وضعیت خشکسالی را بهتر نشان می‌دهد (کوگن، ۲۰۰۰). روزویتتیارتی^۲ و همکاران (۲۰۱۰) به برآورد خشکسالی در جزیره جاوای اندونزی پرداختند. آنها برای این کار از تصاویر MODIS برای شاخص EVI^۳ و دمای سطح زمین (LST) استفاده کردند. شاخص VHI با استفاده از VCI و TCI به دست آمده است و در آخر با استفاده از نقشه VHI سلامت پوشش گیاهی در جزیره جاوا به دست آمده است. زامبرانو^۴ و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه بیویو شیلی به منظور بررسی خشکسالی کشاورزی، شاخص‌های VCI و SPI در مقیاس زمانی یک تا شش ماه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ را در ۱۸ ایستگاه بررسی کردند. نتایج نشان داد SPI سه‌ماهه بیشترین همبستگی (r=۰/۷۷) را با شاخص VCI دارد. پی‌ای‌ای^۵ و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای در کشور چین با هدف پایش پویایی گیاه با استفاده از شاخص‌های VCI، TCI و VHI برای دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ انجام دادند و در نهایت ذکر کردند که رابطه بین TCI و VCI در نواحی مختلف متفاوت است. الهاگ و ژانگ^۶ (۲۰۱۸) مطالعه‌ای را با هدف بررسی و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی بر پایه دو شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص شدت خشکسالی DSI و تأثیر خشکسالی بر بهره‌وری ذرت خوشه‌ای در سودان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ انجام دادند. برای شناسایی مناطق خشک و مرطوب، از داده‌های بارش ماهواره TRMM از سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ استفاده و در

1. Normalized difference Vegetation Index
2. Roswintarti
3. Enhanced Vegetation Index
4. Zambrano
5. Pei
6. Elhag & Zhang

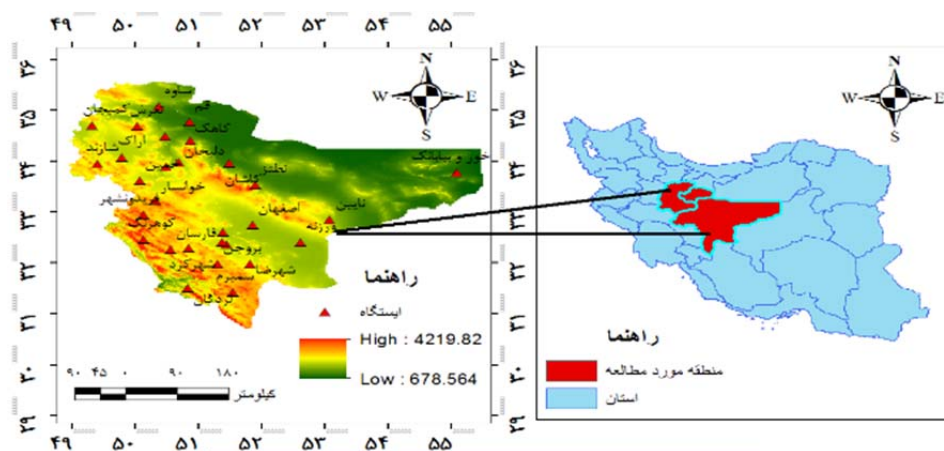
7. Drought Severity Index
8. Yildirim & Asik
9. Chanar

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن روی کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، جزء مناطق کم‌باران جهان به شمار می‌آید. استان‌های قم، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی نیز از جمله استان‌هایی هستند که درباره وضعیت خشکسالی آن‌ها در چند سال اخیر، مدام هشدار داده شده است. مطالعه خشکسالی در این چهار استان، به دلیل حساسیت این استان‌ها و همچنین جمعیت بسیار زیادی که در خود جای داده است، اهمیت ویژه‌ای دارد. به همین دلیل، استان‌های فوق در این پژوهش انتخاب شدند. استان‌های فوق در مرکز ایران در محدوده طول جغرافیایی ۴۹ درجه تا ۵۵ درجه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه تا ۳۵ درجه واقع شده‌اند. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۶۳۹۷۷ کیلومتر مربع است. میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه بین ۱۴۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در تغییر است و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. از جنوب به شمال این منطقه، به دلیل شرایط توپوگرافی و طبیعی متفاوت، اقلیم متنوعی دیده می‌شود. قسمت‌های جنوبی بیشتر زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و قسمت‌های شمالی زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم دارد (خدایی و همکاران، ۲۰۱۶). در شکل (۱)، موقعیت منطقه در کشور همراه با ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی نشان داده شده است.

بیشتری دارد؛ به گونه‌ای که این شاخص بهترین شاخص برای پایش خشکسالی انتخاب شد. سلطانی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان «پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست» به پایش خشکسالی و سلامت پوشش گیاهی در منطقه کرمانشاه پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این موضوع است که تصاویر لندست و شاخص‌های ساخته شده دارای قابلیت لازم و کافی برای پایش خشکسالی است. محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی، روش مناسب برای اندازه‌گیری تراکم، کیفیت، میزان رشد، پراکنش و شناسایی امراض و بیماری‌های گیاهی و همچنین محاسبه خشکسالی است. جمع‌آوری این شاخص‌ها به وسیله روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است. با این حال استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده و دقیق‌تر پوشش گیاهی را فراهم کرده است (علوی‌پناه، ۲۰۱۰). از طریق دریافت اطلاعات با قدرت تفکیک مکانی و زمانی در سطح وسیعی از زمین و به صورت دریافت نزدیک به زمان واقعی، امکان پایش روند خشکسالی‌ها با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور براساس بازتابندگی طیفی در باندهای مختلف و امکان محاسبه در هر پیکسل فراهم آمده است (یارمحمدی، ۲۰۰۵). هدف پژوهش حاضر بررسی میزان همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های NDVI و EVI حاصل از تصاویر مودیس در طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به منظور پایش خشکسالی در مناطق مرکزی ایران است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location and stations of the studied area

مواد استفاده شده

داده‌های زمینی

در این پژوهش، از آمار بارندگی ۲۹ ایستگاه هواشناسی واقع در استان‌های اصفهان، قم، چهارمحال و بختیاری و مرکزی استفاده شد. ایستگاه‌ها بر مبنای طول دوره آماری، پوشش مناسب مکانی (شکل ۱؛ جدول ۱) در منطقه مورد مطالعه و قابل اعتماد بودن داده‌های آماری آن‌ها انتخاب شده‌اند. دوره زمانی مورد مطالعه در این تحقیق از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ میلادی است. از آنجاکه داده‌های مورد استفاده برای مقایسه از نظر مقیاس زمانی با تصاویر ماهواره‌ای همخوانی داشته باشند و با توجه به اینکه داده‌های ماهواره Terra به صورت میلادی و همچنین داده‌های ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک نیز به صورت میلادی است. لذا از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک برای این تحقیق استفاده شد. داده‌های نهایی براساس مطابقت دقیق با روزهای ماه میلادی، با جمع داده‌های روزانه و تبدیل آن‌ها به داده‌های ماهانه میلادی به دست آمد (تبدیل هجری شمسی به میلادی).

داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های دورسنجی مورد استفاده شامل داده‌های سنجنده مودیس از سری تصاویر ماهواره ترا می‌باشد. بدین منظور از محصول شانزده روزه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI) در قالب فایل MOD13A2 با فرمت hdf و قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده شد. از این محصول، تعداد ۸۰ تصویر MOD13A2 از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ برای تمامی ماه‌های (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیرماه) تهیه شد.

روش تحقیق

تصاویر مودیس پس از دریافت توسط اطلاعات موجود در شناسه تصویر و ابزار Modtool اضافه شده در نرم افزار ENVI5.3^۱ فراخوانی و سیستم مختصات آن‌ها به سیستم مختصات جغرافیایی تبدیل شد و سپس با فرمت tif ذخیره گردید. لازم به یادآوری است از آنجاکه تصاویر ماهواره‌ای مودیس دارای سیستم سینوسوئیدال یا سینوسی^۲ هستند، سیستم مختصات آن‌ها به جغرافیایی تغییر داده شد تا همخوانی لازم با نقشه توپوگرافی وجود داشته باشد. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰، محدوده ۴ استان از کل تصویر جدا و سپس اقدام به محاسبه شاخص‌ها شد. در تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است. در این مطالعه با توجه به دقت زمانی، پوشش طیفی بالا، سهولت دسترسی، عدم نیاز به تصحیح اتمسفری و زمین مرجع نمودن تصویر از محصولات ماهواره مودیس سنجنده ترا مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به دلیل اطمینان از وجود پدیده ترسالی و خشکسالی استفاده شد. اطلاعات سنجنش از دور مورد استفاده در این پژوهش، شامل محصول آماده MOD13A2 است که مربوط به سری‌های زمانی شاخص NDVI و EVI است که مستقیماً از تارنمای Earth Data دریافت شده و نیاز به تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری ندارد (فن شولت^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). در مرحله بعد با بررسی

جدول (۱): موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه
Table (1): The location of the synoptic stations of the studied area

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	کاشان	۹۹۵	۳۳/۶۹	۵۱/۴۸
۲	مبارکه	۱۶۸۰/۲	۳۲/۸۸	۵۱/۴۵
۳	نطنز	۱۶۸۵	۳۳/۳۳	۵۱/۹۰
۴	سمیم	۲۴۵۹/۹	۳۱/۷۷	۵۱/۵۴
۵	خور و بیابانک	۸۴۲/۲	۳۳/۷۷	۵۵/۰۸
۶	نائین	۱۵۷۳/۷	۳۲/۱۶	۵۳/۰۷
۷	فریدون‌شهر	۲۴۹۰	۳۲/۹۴	۵۰/۱۲
۸	شهرضا	۱۸۵۸	۳۱/۱۶	۵۱/۸۱
۹	نجف‌آباد	۱۶۳۶/۲	۳۲/۴۴	۵۱/۳۸
۱۰	زرین‌شهر	۱۷۱۳/۸	۳۲/۳۹	۵۱/۳۷
۱۱	اصفهان	۱۵۵۱/۹	۳۲/۴۱	۵۱/۸۶
۱۲	ورزنه	۱۴۵۰	۳۲/۴۰	۵۲/۶۱
۱۳	خواتسار	۲۳۰۰	۳۳/۲۳	۵۰/۳۱
۱۴	لردگان	۱۶۱۱	۳۱/۵۰	۵۰/۸۳
۱۵	کوه‌رنگ	۲۳۶۵	۳۲/۴۵	۵۰/۱۲
۱۶	شهرکرد	۲۰۴۸/۹	۳۲/۲۹	۵۰/۸۳
۱۷	فارسان	۲۰۶۲	۳۲/۲۵	۵۰/۵۵
۱۸	سلفچگان	۱۳۸۱/۴	۳۴/۴۸	۵۰/۴۶
۱۹	قم	۸۷۹/۱	۳۴/۷۷	۵۰/۸۵
۲۰	کاهک	۱۴۰۳/۱	۳۴/۴۰	۵۰/۸۶
۲۱	دلجان	۱۵۲۴/۳	۳۳/۹۷	۵۰/۶۸
۲۲	نقرش	۱۹۷۹/۷	۳۴/۶۸	۵۰/۰۳
۲۳	شازند	۱۹۱۳	۳۳/۹۴	۴۹/۴۰
۲۴	خمین	۱۸۳۴/۶	۳۳/۶۳	۵۰/۰۶
۲۵	محلان	۱۶۲۲	۳۳/۸۸	۵۰/۴۸
۲۶	ساوه	۱۱۱۱/۶	۳۵/۰۸	۵۰/۳۷
۲۷	کمیجان	۱۷۴۱	۳۴/۷۹	۴۹/۳۱
۲۸	بروجن	۶۰۲۲	۳۱/۹۷	۵۱/۲۹
۲۹	اراک	۱۷۰۲	۳۴/۰۷	۴۹/۷۸

1. Environment for Visualizing Images
2. Sinusoidal
3. Fensholt

غیرتصادفی در سری داده‌ها تأیید شود، احتمال وجود روند در این داده‌ها وجود دارد. آماره‌های به‌دست‌آمده از این آزمون‌ها مربوط به پارامترهای میانگین بارش در جدول (۲) مشاهده می‌شود. در آزمون‌های همگنی فرض صفر، آزمون مبنی بر همگن بودن داده‌هاست. چنانچه آماره آزمون در ناحیه بحرانی قبول فرض صفر قرار گیرد، همگن بودن داده‌ها تأیید می‌گردد؛ در غیر این صورت عدم همگنی سری مورد تأیید است. نتایج حاصل از آزمون‌های بالا در جدول (۲)، برای متغیر میانگین بارش به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه آمده است. همان‌طور که در جدول نام‌برده آمده، مقدار p-value برای پارامتر میانگین بارش حاصل از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف بیشتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین نرمال بودن سری داده‌ها تأیید می‌شود. همچنین از آنجاکه این مقدار برای آزمون همگنی (ران تست) در ناحیه بحرانی قبول فرض صفر (بیشتر از ۰/۰۵) قرار دارد، تصادفی بودن داده‌های بارش برای تمامی ایستگاه‌ها تأیید می‌شود.

داده‌های باران‌سنجی و سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، چهار ماه (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر مصادف با دوره رشد پوشش گیاهی و خشکسالی) به‌عنوان نمونه انتخاب شد. برای پردازش داده‌های اکسلی از نرم‌افزار ArcGIS10.4 و روش‌های زمین‌آماری بهره گرفته شد.

تحلیل نتایج نرمال بودن داده‌ها و تعیین تصادفی بودن آن‌ها

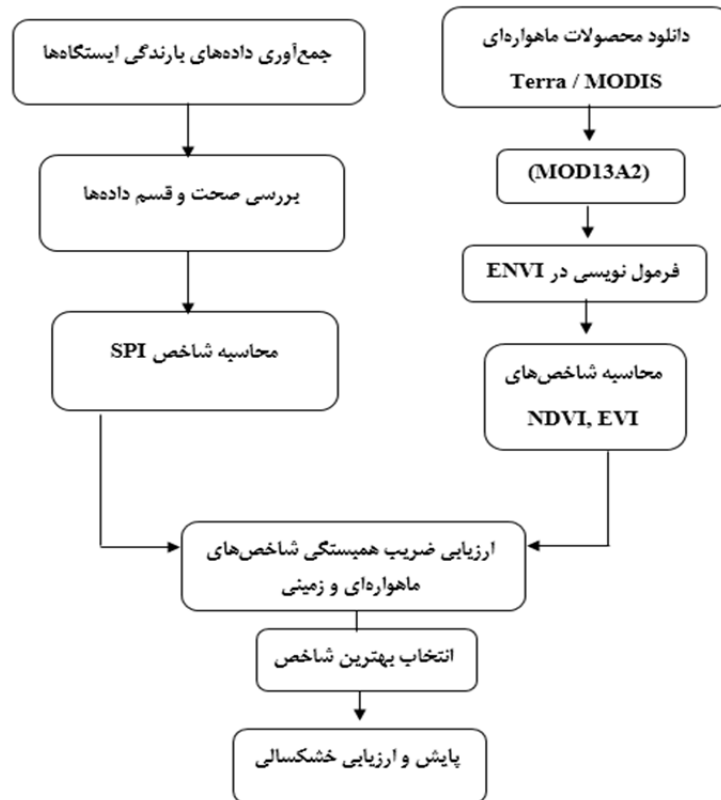
از آنجاکه پژوهش‌های آماری اقلیم‌شناسی با تأکید بر تحلیل سری‌های زمانی گسسته در قلمرو زمان استوار است، نخست غیرتصادفی بودن داده‌ها و نرمال بودن آن‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد. با این هدف، برای تعیین ویژگی نرمال بودن آن، به‌ترتیب از آزمون‌های همگنی یا ران تست و کلموگراف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در صورتی‌که

جدول (۲): نتایج آزمون‌های همگنی و نرمال بارش متوسط ایستگاه‌های منتخب

Table (2): The results of tests of homogeneity and normality of average precipitation of selected stations

آزمون همگنی	آزمون نرمال	سری زمانی	ایستگاه	ردیف
ران تست	کلموگراف-اسمیرنوف			
۰/۸۱۸	۰/۱۹	سالانه	کاشان	۱
۰/۸۱۸	۰/۲۰	سالانه	مبارکه	۲
۰/۲۵۱	۰/۲۰	سالانه	نطنز	۳
۰/۴۹۱	۰/۳۸	سالانه	سمیرم	۴
۰/۸۱۸	۰/۲۰	سالانه	خور و بیابانک	۵
۰/۰۶۹	۰/۷۳	سالانه	نابین	۶
۰/۴۹۱	۰/۱۱۵	سالانه	فریدونشهر	۷
۰/۴۹۱	۰/۹۸	سالانه	شهرضا	۸
۰/۴۹۱	۰/۲۰	سالانه	نجف‌آباد	۹
۰/۴۹۱	۰/۲۰	سالانه	زرین‌شهر	۱۰
۰/۸۱۸	۰/۲۰	سالانه	اصفهان	۱۱
۰/۸۱۸	۰/۲۰	سالانه	ورزنه	۱۲
۰/۸۱۸	۰/۲۰	سالانه	خوانسار	۱۳
۰/۰۷۲	۰/۱۷۳	سالانه	لردگان	۱۴
۰/۸۱۸	۰/۲۰	سالانه	کوه‌رنگ	۱۵
۰/۴۹۱	۰/۲۰	سالانه	شهرکرد	۱۶
۰/۴۹۱	۰/۱۷	سالانه	فارسان	۱۷
۰/۴۹۱	۰/۱۹۳	سالانه	بروجن	۱۸
۰/۱۰۸	۰/۲۰	سالانه	سلفچگان	۱۹
۰/۱۳	۰/۱۸۶	سالانه	قم	۲۰
۰/۴۹۱	۰/۲۰	سالانه	کاهک	۲۱
۱	۰/۱۹۶	سالانه	اراک	۲۲
۰/۰۸۹	۰/۰۸	سالانه	دلیجان	۲۳
۰/۰۸۹	۰/۲	سالانه	تفرش	۲۴
۱	۰/۲	سالانه	شازند	۲۵
۰/۲۵۱	۰/۰۹	سالانه	خمین	۲۶
۰/۰۹۲	۰/۲۰	سالانه	محلات	۲۷
۰/۲۵۱	۰/۲	سالانه	ساوه	۲۸
۰/۲۵۱	۰/۲۸	سالانه	کمیجان	۲۹

بنابراین با توجه به نرمال بودن داده‌ها، به منظور برآورد همبستگی بین داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.



شکل (۲): مراحل جریان روش تحقیق

Figure (2): Flow steps of the research method

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}$$

که در آن P_{RED} باند قرمز (باند ۱ مودیس) و P_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک (باند ۲ مودیس) است. چون در این پژوهش از داده MOD13A2 سنجده ترا استفاده شده، این شاخص به صورت آماده در اختیار کاربران قرار داده شده است؛ فقط باید شاخص NDVI را در Scale Factor آن ضرب نمود تا مقادیر NDVI بین منفی ۱ و مثبت ۱ نمایان گردد. کلاس‌های تراکم پوشش گیاهی انتخاب شده در این مطالعه و تعریف آن‌ها به شرح زیر است:

فاقد پوشش گیاهی: < 0 ؛ پوشش گیاهی ضعیف: $0/2 - 0$ ؛ پوشش گیاهی متوسط: $0/4 - 0/2$ ؛ پوشش گیاهی نیمه متراکم: $0/6 - 0/4$ ؛ پوشش گیاهی متراکم: $> 0/6$

معرفی مدل‌ها و شاخص‌های سنجش از دور در خشکسالی

شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)

شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) کاربرد گسترده‌ای برای تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم از ناسالم و مناطق عاری از پوشش دارد. این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می‌دهد. ارزش عددی شاخص NDVI بین -۱ تا ۱ متغیر است. ارزش‌های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و مکان‌های خیس و آب، ارقام نزدیک به -۱ را دارا هستند (هدل، ۲۰۱۲). این شاخص از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI)

نمایه EVI، برای بهبود شاخص NDVI به وسیله بهینه سازی سیگنال های پوشش گیاهی در محدوده شاخص سطح برگ با استفاده از انعکاس باند آبی برای تصحیح کردن سیگنال پس زمینه خاک و کاهش اثر جو شامل پراکنش ذرات معلق توسعه یافته است. ترکیب روابط تجربی برای تصحیح اتمسفری منجر به ایجاد نمایه EVI شده است. این شاخص از طریق معادله زیر به دست می آید:

$$EVI = 2.5 \left[\frac{R_2 - R_1}{R_2 + 6R_1 - 7.5R_3 + 1} \right]$$

در این معادله: R2 بازتاب در محدوده فرسرخ نزدیک، R1 بازتاب در محدوده طول موج قرمز و R3 بازتاب باند آبی است. این شاخص در بازه -۱ تا +۱ قرار دارد. از مزایای این شاخص این است که از اثرات اتمسفر و پخش ابروسل می کاهد (لی و همکاران، ۲۰۰۹). در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است (علوی پناه، ۲۰۱۴). کلاس های تراکم پوشش گیاهی EVI مشابه NDVI است. مشخصات محصولات پوشش گیاهی در جدول (۳) قرار داده شده است.

جدول (۳): مشخصات محصولات NDVI و EVI

Table (3): Specifications of NDVI and EVI products

Scale Factor	Valid Range	NoData Value	Fill Value	Data Type	Units	Description	SDS Name
0.0001	-2000 to 10000	N/A	-3000	16-bit signed integer	NDVI	1 km 16 days NDVI	1 km 16 days NDVI
0.0001	-2000 to 10000	N/A	-3000	16-bit signed integer	EVI	1 km 16 days EVI	1 km 16 days EVI

جدول (۴): طبقه بندی شدت خشکسالی براساس شاخص های

هواشناسی و سنجش از دوری (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)

Table (4): Drought severity classification based on meteorological and remote sensing indicators (McKay et al., 1993)

SPI	شدت خشکسالی
< -۲	خشکسالی حاد
-۲ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
-۱/۵ تا -۱	خشکسالی متوسط
-۱ تا ۱	نرمال
۱/۵ تا ۱	ترسالی متوسط
۱/۵ تا ۲	ترسالی شدید
> ۲	ترسالی حاد

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

در این پژوهش برای مقایسه و اعتبارسنجی شاخص های پوشش گیاهی از شاخص SPI و ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد که به خوبی می تواند برای کاربردهای مختلف سطح زمین، استفاده شود. محاسبه SPI برای هر مکان، براساس ثبت بارش های طولانی مدت در دوره زمانی مورد نظر پایه گذاری شده است. این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه است.

$$SPI = (P_i - \bar{P}) / S$$

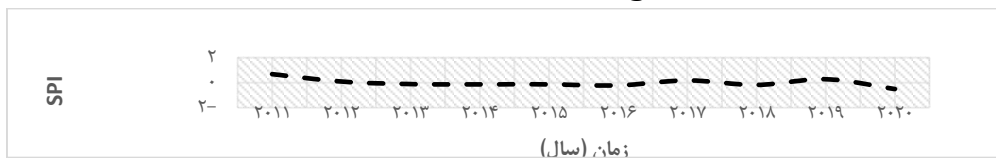
که در آن، P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقدار بارش است. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده های بارش استفاده می شود که پس از انجام محاسبه های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می گیرد. در جدول ۴، رتبه بندی خشکسالی با شاخص SPI در نرم افزار DIP نشان داده شده است.

بررسی روابط آماری بین خشکسالی هواشناسی و

شاخص های پوشش گیاهی

برای بررسی میزان ارتباط بین متغیرها، ضرایب همبستگی بین آنها محاسبه می شود. براساس نوع مقیاس داده ها در این تحقیق از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس های فاصله ای و نسبتی است که دارای توزیع نرمال نیز باشند. این ضریب با علامت r نمایش داده می شود و بین +۱ و

کل منطقه آورده شده است. روند تغییرات نمایه SPI برای کل منطقه مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است. در ادامه، وضعیت خشکسالی در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمایه SPI سالانه برای دوره آماری دهساله (۲۰۱۱-۲۰۲۰) بررسی شد. با بررسی تغییرات نمایه‌های خشکسالی در تمامی ایستگاه‌ها طی دوره آماری دهساله، مشخص شد که در اکثر ایستگاه‌های استان‌های مورد مطالعه، سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ خشکسالی‌های شدیدی رخ داده است. سپس مقادیر این داده‌ها در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۲۰ تفکیک و آزمون مقایسه میانگین برای این دوره انجام شد. نتایج در جدول (۵) ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، تفاوتی بین میانگین واریانس دوره مورد مطالعه وجود نداشته و نمایه‌های خشکسالی از روند خاصی پیروی نمی‌کنند. بنابراین تغییرات در این نمایه‌ها و وقوع سال‌های ترسالی و خشکسالی را می‌توان مربوط به نوسانات اقلیمی دانست.



شکل (۳): نمودار روند تغییرات نمایه SPI سالانه
Figure (3): Annual SPI index change trend chart

بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، چهارمحال بختیاری و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب شرقی استان قم و بخش‌های شمال شرقی استان مرکزی از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۴). همچنین بر پایه این شاخص، ماه فروردین به‌عنوان مرطوب‌ترین ماه منطقه محسوب می‌شود. در نواحی جنوبی استان‌های اصفهان و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین مناطق شمالی استان قم به‌شدت خشکسالی‌ها در این ماه افزوده شده است. در این ماه میانگین شاخص SPI، ۲/۶ است. براساس شکل (۴)، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، شرقی و شمال غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان اصفهان از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردارند.

۱- تغییر می‌کند. مقدار r شدت رابطه خطی بین X و Y را نشان می‌دهد و علامت آن بیانگر جهت رابطه است. برای محاسبه ضریب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

که در آن، هرکدام از شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI به‌عنوان متغیر مستقل X و شاخص خشکسالی هواشناسی SPI به‌عنوان متغیر وابسته Y مشخص شد.

نتایج

پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های هواشناسی

برای بررسی خشکسالی‌های رخ داده در استان‌های مورد مطالعه از آمار و اطلاعات هواشناسی این استان‌ها استفاده شد. به دلیل تعداد زیاد نمودارهای مربوط به هر ایستگاه، تنها نتایج مربوط به

جدول (۵): نتایج آزمون مقایسه میانگین و تحلیل واریانس نمایه SPI سری زمانی (۲۰۱۱-۲۰۲۰)

Table (4): The results of the average comparison test and variance analysis of the time series SPI index (2011-2020)

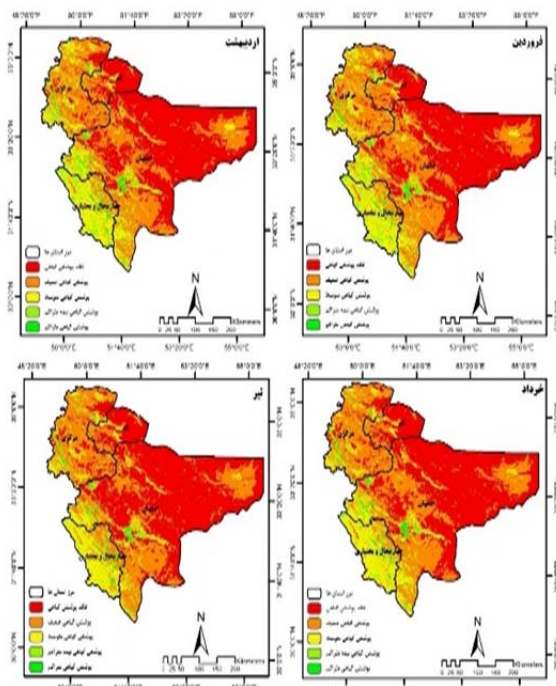
کل منطقه مورد مطالعه	تحلیل واریانس		مقایسه میانگین	
	آماره t	P-Value	آماره t	P-Value
	۰/۵۹	۰/۷۱۲	۰/۳۸۵	۰/۱۸۵

پهنه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI به صورت ماهانه

بررسی‌های به‌عمل‌آمده در خشکسالی‌های رخ داده در ۲۹ ایستگاه هواشناسی در طول دوره آماری مورد مطالعه بیانگر موارد زیر است:

نتایج ارائه‌شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در خردادماه است؛ به‌طوری‌که میانگین شاخص SPI در این ماه، ۲/۵- است. بر این اساس

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص EVI (شکل ۶)، بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی و مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در ماه تیر بوده است؛ به طوری که میانگین شاخص مذکور در این ماه، ۰/۰۹ است. بر این اساس بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و قسمت‌های مرکزی استان مرکزی از فقر پوشش گیاهی در این ماه برخوردار بوده‌اند. همچنین بر پایه این شاخص، ماه اردیبهشت از بیشترین میزان مناطق پوشش گیاهی متراکم و نیمه‌متراکم برخوردار بوده است. در این ماه میانگین شاخص EVI، ۰/۸ است. براساس شکل (۶)، بخش‌هایی از پهنه‌های غرب استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین غرب استان اصفهان از تراکم پوشش گیاهی بالاتری برخوردارند.

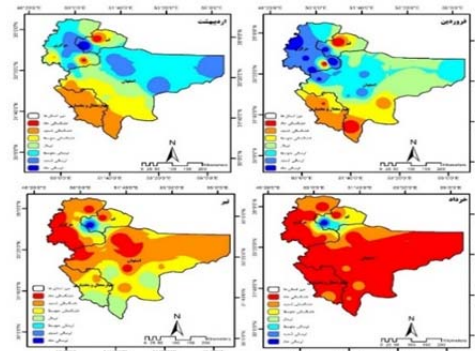


شکل (۶): نقشه طبقات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه براساس شاخص EVI

Figure (6): Map of the vegetation classes of the study area based on the EVI index

پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از داده‌های زمینی به صورت سالانه

نتایج ارائه شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در سال ۲۰۲۰ است؛ به طوری که میانگین

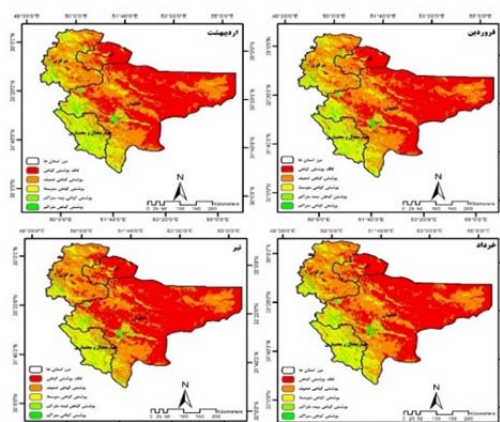


شکل (۴): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه براساس شاخص SPI

شاخص SPI

Figure (4): Drought zoning map of the study area based on SPI index

پهنه‌بندی شاخص‌های پوشش گیاهی به صورت ماهانه با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص NDVI (شکل ۵)، بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی و مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در ماه خرداد بوده است؛ به طوری که میانگین شاخص مذکور در این ماه، ۰/۰۲ است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و مرکزی از فقر پوشش گیاهی در این ماه برخوردار بوده‌اند. همچنین بر پایه این شاخص، ماه فروردین از بیشترین میزان مناطق پوشش گیاهی متراکم و نیمه‌متراکم برخوردار بوده است. در این سال میانگین شاخص NDVI، ۰/۹۵ است. براساس شکل (۵)، بخش‌هایی از استان‌های غرب استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین غرب استان اصفهان از تراکم پوشش گیاهی بالاتری برخوردارند.

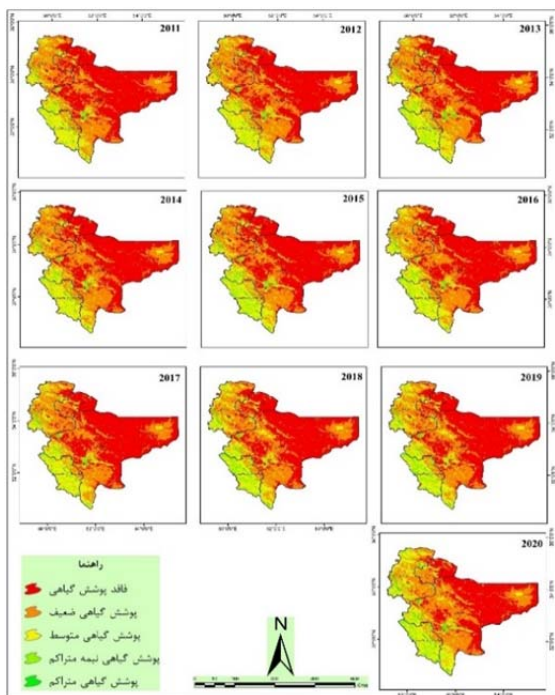


شکل (۵): نقشه طبقات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه براساس شاخص NDVI

شاخص NDVI

Figure (5): Map of the vegetation classes of the study area based on the index

آماري ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۲۰ بوده است؛ به طوری که میانگین شاخص مذکور در این سال، ۰/۰۸ است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و مرکزی از فقر پوشش گیاهی در این دوره برخوردار بوده‌اند. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۱ از بیشترین میزان مناطق پوشش گیاهی متراکم و نیمه‌متراکم برخوردار بوده است. در این سال میانگین شاخص NDVI، ۰/۸ است. براساس شکل (۸)، بخش‌هایی از پهنه‌های غرب و جنوب غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از تراکم پوشش گیاهی بالاتری برخوردارند.



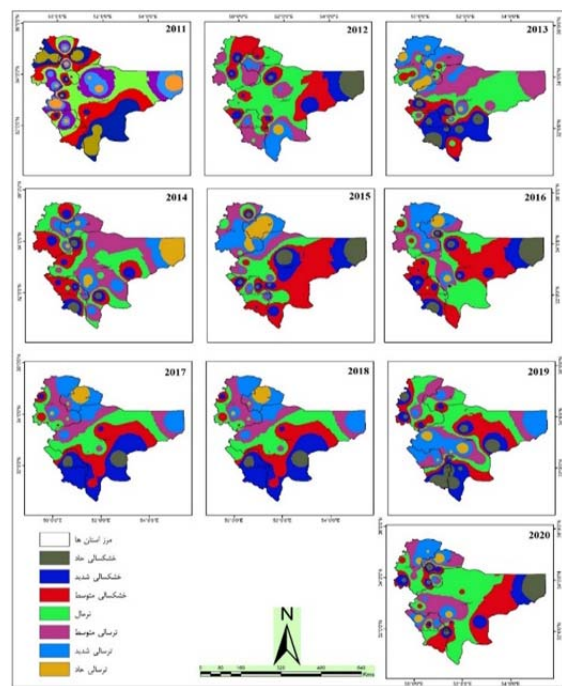
شکل (۸): نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه براساس

شاخص NDVI

Figure (8): Vegetation density map of the study area based on NDVI index

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص EVI (شکل ۹)، بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی و مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۲۰ بوده است؛ به طوری که میانگین شاخص مذکور در این سال، ۰/۰۵ است. بر این اساس بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان و قم از فقر پوشش گیاهی در این دوره برخوردار بوده‌اند. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۸ از بیشترین میزان مناطق پوشش گیاهی

شاخص SPI در این سال، ۳/۲- است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب شرقی استان قم و بخش‌های شمال شرقی استان مرکزی از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۷). همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۱ به عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال میانگین شاخص SPI، ۳/۱ است. براساس شکل (۷)، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، شرقی و شمال غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان اصفهان از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردارند. سپس در نواحی جنوبی استان‌های اصفهان و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین مناطق شمالی استان قم به شدت خشکسالی‌ها در این سال افزوده شده است.



شکل (۷): نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه براساس

شاخص SPI

Figure (7): Drought zoning map of the study area based on SPI index

پهنه‌بندی شاخص‌های پوشش گیاهی به صورت سالانه با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص NDVI (شکل ۸)، بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی و مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف در کل دوره

بهترین همبستگی را میان NDVI و SPI برای آمریکا به دست آوردند. پرویز و همکاران (۲۰۱۲) نیز به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های NDVI و NDWI نمی‌توانند بدون در نظر گرفتن تأخیر زمانی، شاخص‌های مناسبی برای پایش خشکسالی باشند.

جدول (۶): ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص SPI و

شاخص‌های پوشش گیاهی

Table (6): Pearson's correlation coefficient between SPI index values and vegetation indices

EVI	NDVI	SPI	Correlation
-۰/۱۴۹	**۰/۸۳۲	۱	SPI
-۰/۴۹	۱	**۰/۸۳۲	NDVI
۱	-۰/۴۹	-۰/۱۴۹	EVI

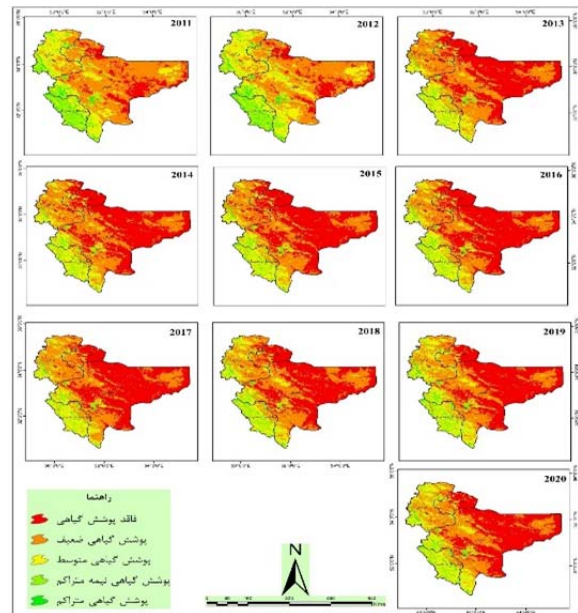
** در سطح ۰/۰۱ معنادار است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که مقادیر ضریب همبستگی شاخص NDVI با شاخص SPI در تمام طول دوره بیشتر از شاخص EVI است و این مسئله تأثیر بارش بر این شاخص را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی مثبت شاخص هواشناسی SPI و شاخص NDVI، حاکی از این است که رشد پوشش گیاهی در استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، مرکزی و قم نسبت به بارش حساسیت بیشتری دارد. بنابراین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شاخص NDVI نسبت به تغییرات اقلیمی از حساسیت قابل توجهی برخوردارند.

تحلیل مکانی شاخص‌های پوشش گیاهی به‌صورت سالانه

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده براساس شاخص ماهواره‌ای NDVI بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی و پوشش ضعیف در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۲۰ بوده است؛ به‌طوری‌که مساحت این کلاس‌ها در مجموع به میزان ۸۱/۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۳ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی متوسط به مقدار ۱۷/۰ درصد از مساحت کل استان‌ها را در سال ۲۰۱۲ اشغال کرده است. سال ۲۰۱۱ نیز کلاس‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی نیمه‌متراکم و متراکم در مجموع به میزان ۱۹/۹ درصد از مساحت کل منطقه مورد

متراکم و نیمه‌متراکم برخوردار بوده است. در این سال میانگین شاخص EVI، ۰/۵ است. براساس شکل (۹)، بخش‌هایی از پهنه‌های غرب و جنوب غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین غرب استان اصفهان از تراکم پوشش گیاهی بالاتری برخوردارند.



شکل (۹): نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه براساس

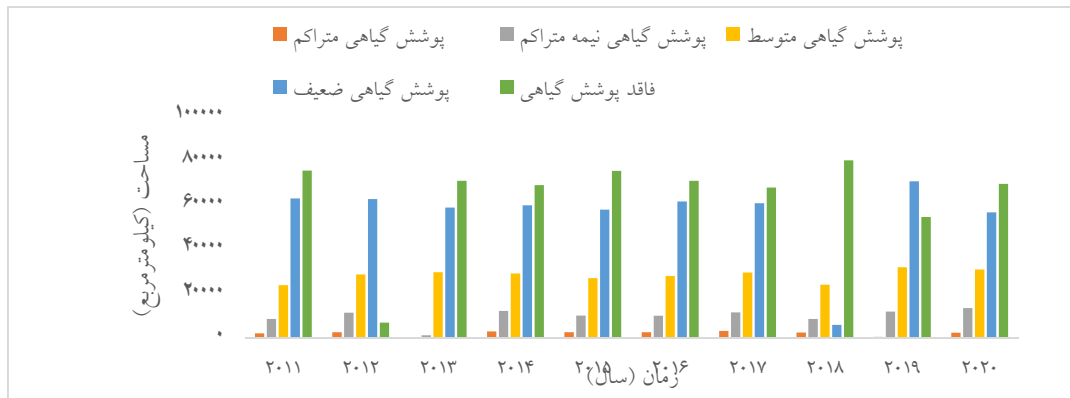
شاخص EVI

Figure (9): Vegetation density map of the study area based on the EVI index

نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی

در ادامه برای اطمینان از نتایج حاصل از شاخص‌های پوشش گیاهی، ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های NDVI و EVI و شاخص هواشناسی SPI در حالت میانگین دوره‌ای و همچنین همبستگی میان شاخص‌های ماهواره‌ای، برای ایستگاه‌های مورد نظر محاسبه شد. در جدول (۶)، ضرایب همبستگی پیرسون میان شاخص‌های پوشش گیاهی و هواشناسی آورده شده است. نتایج همبستگی نشان داد که شاخص SPI در بین شاخص‌های پوشش گیاهی بالاترین همبستگی را با نمایه NDVI در سطح ۹۹ درصد دارد. همچنین همبستگی معناداری بین شاخص SPI و شاخص EVI در طول دوره مورد مطالعه وجود ندارد. جی و پیترز^۱ (۲۰۰۳) نیز

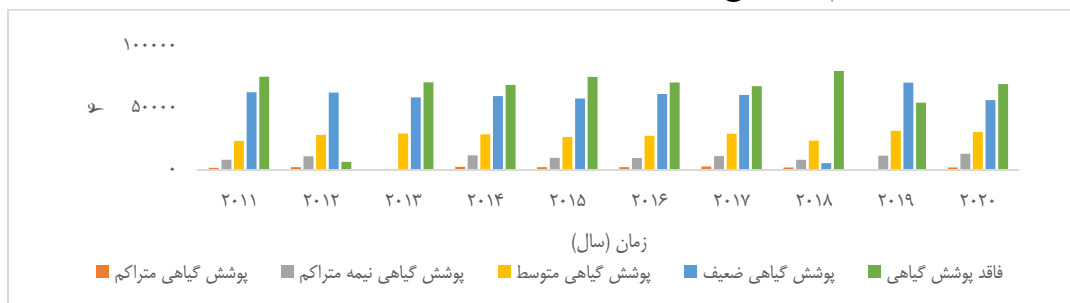
مطالعه را به خود اختصاص داده است. شکل (۱۰) نیز نمودار نشان می‌دهد. مساحت طبقات پوشش گیاهی را براساس شاخص NDVI



شکل (۱۰): نمودار مساحت طبقات پوشش گیاهی براساس شاخص NDVI
Figure (10): Area diagram of vegetation classes based on NDVI index

درصد از مساحت کل استان‌ها را در سال ۲۰۱۲ اشغال کرده است. سال ۲۰۱۸ نیز طبقه ۵ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم به میزان ۱/۸ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. شکل (۱۱) نیز نمودار مساحت طبقات پوشش گیاهی را براساس شاخص EVI نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده براساس شاخص ماهواره‌ای EVI بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی و پوشش ضعیف در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۸ بوده است؛ به‌طوری‌که مساحت این کلاس‌ها در مجموع به میزان ۷۱/۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقات ۳ و ۴ به‌ترتیب به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف و پوشش نیمه‌متراکم در مجموع با مقدار ۳۸/۸



شکل (۱۱): نمودار مساحت طبقات پوشش گیاهی براساس EVI
Figure (11): Area chart of vegetation classes based on EVI

۲۰۱۵ نیز کلاس ۳ به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به‌میزان ۳۰/۹ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در سال ۲۰۲۰ طبقه نرمال به مقدار ۳۴/۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

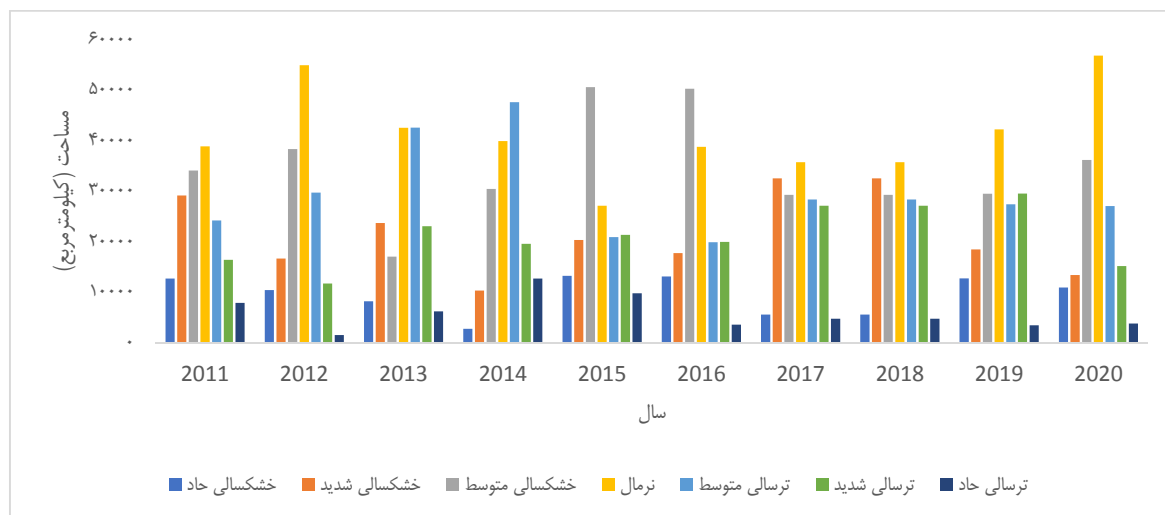
با توجه به اینکه میزان درصد مساحت شاخص هواشناسی SPI را در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که بیشترین درصد به‌میزان ۷/۷ درصد از مساحت

تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی به‌صورت سالانه

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده براساس شاخص هواشناسی SPI، بیشترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۵ بوده است؛ به‌طوری‌که مساحت این طبقه به میزان ۸/۱ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید در مجموع ۳۹/۸ درصد از مساحت کل استان‌ها را در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ اشغال کرده است. سال

اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۴ نیز کلاس ۵ که به‌عنوان کلاس ترسالی متوسط است، به میزان ۲۹/۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. شکل (۱۲) نیز نمودار مساحت طبقات خشکسالی را براساس شاخص SPI نشان می‌دهد.

کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره آماری برای سال ۲۰۱۴ به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به سال ۲۰۱۹ است که این سال به مقدار ۰/۱۸ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس



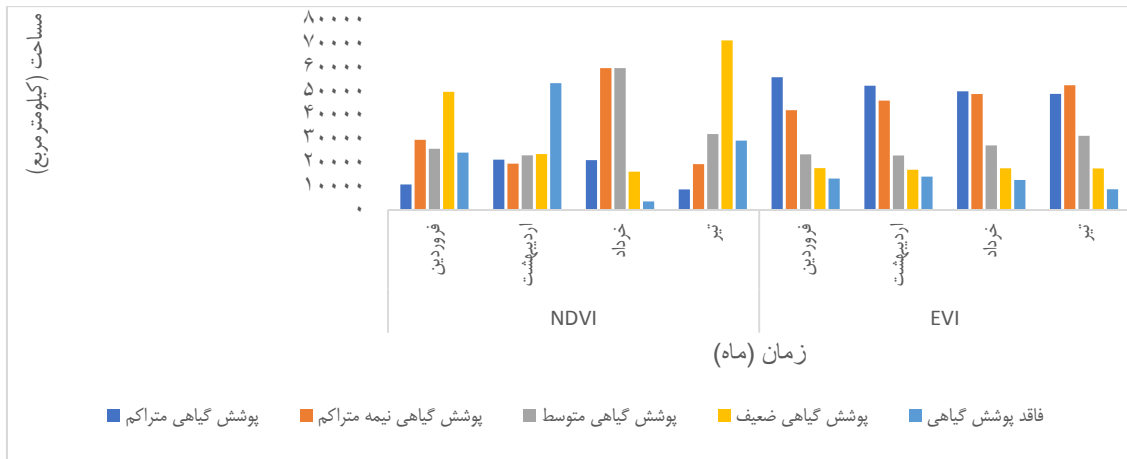
شکل (۱۲): نمودار مساحت طبقات خشکسالی براساس شاخص SPI

Figure (12): Area diagram of drought classes based on SPI index

(۷)، براساس شاخص پوشش گیاهی EVI بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی در کل دوره چهارماهه، در ماه اردیبهشت بوده است؛ به طوری که مساحت این طبقه به میزان ۱۴۰۱۶/۲ کیلومتر مربع از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف به مقدار ۱۷۶۰۲/۶ کیلومتر مربع از مساحت کل استان‌ها را در ماه فروردین اشغال کرده است. ماه تیر نیز در طبقه ۳ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی متوسط به میزان ۳۱۲۰۲/۵ کیلومتر مربع از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. در ماه تیر نیز طبقه پوشش گیاهی نیمه‌مترکم به مقدار ۵۲۴۹۷/۴ کیلومتر مربع از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. همچنین طبق شاخص مذکور بیشترین میزان مناطق دارای پوشش گیاهی مترکم نیز مربوط به ماه فروردین است که این ماه به مقدار ۵۵۸۵۵/۰ کیلومتر مربع از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. شکل (۱۳) نیز نمودار مساحت طبقات مختلف پوشش گیاهی را براساس شاخص‌های NDVI و EVI نشان می‌دهد.

تحلیل مکانی شاخص‌های پوشش گیاهی به‌صورت ماهانه

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده براساس شاخص پوشش گیاهی NDVI بیشترین میزان مناطق فاقد پوشش گیاهی در کل دوره چهارماهه در ماه اردیبهشت بوده است؛ به طوری که مساحت این طبقه به میزان ۵۳۳۵۶/۲ کیلومتر مربع از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف به مقدار ۷۱۳۷۷/۷ کیلومتر مربع از مساحت کل استان‌ها را در ماه تیر اشغال کرده است. ماه خرداد نیز در طبقه ۳ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی متوسط به میزان ۵۹۷۱۹/۰ کیلومتر مربع از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. در ماه خرداد نیز طبقه پوشش گیاهی نیمه‌مترکم به مقدار ۵۹۷۵۲/۰ کیلومتر مربع از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. همچنین طبق شاخص مذکور، بیشترین میزان مناطق پوشش گیاهی مترکم نیز مربوط به ماه اردیبهشت است که این ماه به مقدار ۲۱۱۲۷/۱ کیلومتر مربع از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول



شکل (۱۳): نمودار طبقات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های NDVI و EVI به صورت ماهانه

Figure (13): Diagram of vegetation classes using NDVI and EVI indices on a monthly basis

جدول (۷): مساحت طبقات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های NDVI و EVI به صورت ماهانه (کیلومتر مربع)

Figure (13): Area of vegetation classes using NDVI and EVI indices on a monthly basis (square kilometers)

شاخص	ماه	پوشش گیاهی متراکم	پوشش گیاهی نیمه‌متراکم	پوشش گیاهی متوسط	پوشش گیاهی ضعیف	فاقد پوشش گیاهی
NDVI	فروردین	۱۰۷۱۹	۲۹۵۱۰	۲۵۷۳۸	۴۹۷۲۱	۲۴۱۴۷
	اردیبهشت	۲۱۱۲۷	۱۹۴۹۸	۲۲۹۹۱	۲۳۵۲۹	۵۳۳۵۶
	خرداد	۲۰۹۶۶	۵۹۷۵۲	۵۹۷۱۹	۱۶۱۱۹	۳۵۲۵
	تیر	۸۶۱۸	۱۹۲۸۶	۳۱۹۴۵	۷۱۳۷۷	۲۹۱۵۶
EVI	فروردین	۵۵۸۵۵	۴۱۹۵۸	۲۳۳۸۲	۱۷۶۰۲	۱۳۲۲۱
	اردیبهشت	۵۲۳۲۸	۴۶۰۶۳	۲۲۸۸۹	۱۶۸۹۹	۱۴۰۱۶
	خرداد	۴۹۹۲۶	۴۸۷۹۸	۲۷۱۷۷	۱۷۵۰۲	۱۲۶۰۲
	تیر	۴۸۸۴۷	۵۲۴۹۷	۳۱۲۰۲	۱۷۴۷۰	۸۶۹۱

بحث و نتیجه‌گیری

حاصل از تصاویر مودیس در طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به منظور پایش خشکسالی در مناطق مرکزی ایران است. با توجه به پژوهش انجام‌شده، بعد از محاسبه مقادیر شاخص‌ها و نیز تهیه نقشه‌های خشکسالی منطقه مورد مطالعه، به محاسبه همبستگی بین آن‌ها پرداخته شد. نتایج همبستگی نشان داد که شاخص SPI در بین شاخص‌های پوشش گیاهی بالاترین همبستگی را با نمایه NDVI در سطح ۹۹ درصد دارد. در مقابل، همبستگی معناداری بین شاخص SPI و شاخص EVI در طول دوره مورد مطالعه وجود ندارد. ضریب همبستگی مثبت شاخص هواشناسی SPI و شاخص NDVI، حاکی از این است که رشد پوشش گیاهی در استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، مرکزی و قم نسبت به بارش حساسیت بیشتری دارد. بنابراین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شاخص

شاخص‌های خشکسالی عناصر مهمی در پایش و برآورد خشکسالی هستند. شاخص‌ها فهم ارتباط اطلاعات را درباره بی‌نظمی‌های اقلیمی برای کاربران گوناگون آسان‌تر می‌کنند و به دانشمندان اجازه می‌دهند تا کمیت بی‌نظمی‌های اقلیمی را که در روابط شدت، مدت، فراوانی و گستر مکانی برآورد می‌شود، مطالعه کنند. در چند دهه اخیر با پیشرفت‌هایی که در تولیدات سنجش از دور ماهواره‌ای اتفاق افتاده، شاخص‌های مختلفی برای مطالعه پویایی پوشش گیاهی به‌خصوص برای ارزیابی اثرات خشکسالی‌ها ارائه شده است. از بین این شاخص‌ها، دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI بسیار مورد توجه محققان مختلف بوده است. هدف پژوهش حاضر بررسی میزان همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های NDVI و EVI

ساخته شده دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی است. پایش خشکسالی نقشی کلیدی در کاهش خسارات ناشی از آن دارد. کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی و نقص داده‌های آماری همواره دقت ارزیابی خشکسالی هواشناسی را در مناطق فاقد آمار تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. داده‌های بارش وضعیت خشکسالی را به دلیل توزیع زمانی و مکانی آن به خوبی نشان نمی‌دهند؛ لذا شاخص‌های خشکسالی هواشناسی بارش برای ارزیابی خشکی به‌تنهایی دقت چندانی ندارند، بلکه همراه با داده‌های ماهواره‌ای ارزیابی و دقت آن‌ها بیشتر شده و خشکسالی رخ داده در منطقه را نیز برآورد می‌کنند.

با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق آثاری که بر گیاهان و کشاورزی دارد، مطالعه کرد و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت. در تحلیل خشکسالی با استفاده از روش سنجش از دور، شاخص SPI با شاخص NDVI همبستگی مثبت قوی دارد و با افزایش مقادیر SPI، مقادیر شاخص NDVI نیز افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر، شاخص EVI دارای ضریب همبستگی منفی نسبت به شاخص NDVI بود. علت این امر می‌تواند به دلیل بازتاب بیش از حد خاک زمینه در منطقه مورد مطالعه باشد (جی و پیترز، ۲۰۰۳). شاخص‌های NDVI و EVI دارای پارامترهایی هستند که خشکسالی پس از وقوع با تأخیر زمانی روی آن‌ها تأثیر می‌گذارد و این مانع پایش لحظه‌ای خشکسالی می‌شود که به کمک شاخص خشکسالی هواشناسی SPI جبران می‌شود. خصوصیات پوشش گیاهی، دوره زمانی مورد مطالعه، خصوصیات مربوط به خاک و چگونگی توزیع و شدت بارندگی عوامل مهمی هستند که بر وقوع بالاترین ضریب همبستگی میان شاخص NDVI و دوره تأخیری SPI است. شاخص‌های ماهواره‌ای از نظر تشخیص اندازه تغییر، همبستگی خوبی با یکدیگر دارند و همچنین بین شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص‌های زمینی بیشترین همبستگی مربوط به شاخص NDVI-SPI است؛ لذا شاخص NDVI را برای پایش خشکسالی هواشناسی به دلیل انطباق بیشتر می‌توان استفاده کرد. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای نسبت به روش‌های

NDVI نسبت به تغییرات اقلیمی از حساسیت قابل توجهی برخوردارند. لیو و وو^۱ (۲۰۰۸) همبستگی میان SPI و NDVI را بررسی کردند و استفاده از SPI را توصیه کردند. کاکمو^۲ و همکاران (۲۰۱۱)، نیز به این نتیجه رسیدند که شاخص NDVI با SPI با تأخیر زمانی ۶ ماهه همبستگی بالاتری داشته‌اند. همچنین کمترین همبستگی‌ها در شاخص‌های NDWI و EVI بوده است. جی و پیترز (۲۰۰۴) نیز بهترین همبستگی را میان NDVI و SPI برای آمریکا به دست آوردند. نتایج این مطالعه تأییدکننده وجود خشکسالی و ترسالی به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۱ است. این نتایج با توجه به شاخص SPI منطقه مورد مطالعه که نشان‌دهنده خشکسالی و ترسالی در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۱ می‌باشد، تأیید شده است. نتایج این تحقیق مشابه با نتایج سلطانی و همکاران (۲۰۱۹)، حمزی و همکاران (۲۰۱۷)، غفوریان (۲۰۱۴) بود که نشان دادند شاخص‌های سنجش از دوری دارای دقت مناسبی در پایش خشکسالی است. در پژوهشی که عزیز و سفراد در سال ۱۳۹۱ انجام دادند، با استفاده از نمایه اقیانوسی نینو، سال‌های النینو و لانینا را در دوره آماری ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ براساس شدت طبقه‌بندی کردند که براساس این طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ به‌عنوان سال النینو و سال ۲۰۲۰ به‌عنوان سال لانینا معرفی شدند. همچنین در پژوهش خورشیددوست و همکاران (۱۳۸۶) نیز سال ۲۰۱۶ که خشکسالی‌های فراگیر در جهان وجود داشته با فاز سرد پدیده انسو مطابقت داشته است. بنابراین علت رخداد خشکسالی در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ در منطقه را می‌توان وقوع پدیده لانینا در سطح کره زمین در این سال‌ها دانست. نتایج پایش خشکسالی نشان داد که طی این دوره ده‌ساله در برخی از سال‌ها خشکسالی شدید وجود داشته که در همان سال نیز بارش به‌میزان کمتری رخ داده است. برای مثال در سال ۲۰۲۰ این خشکسالی بسیار شدید بوده است و در سال ۲۰۱۱ ترسالی بسیار شدیدی را نشان داد. نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های سنجش از دوری نشان داد که شاخص SPI بالاترین همبستگی را با شاخص NDVI در سطح ۰/۰۱ دارد که مشخص گردید تصاویر MODIS و شاخص

1. Liu & Wu
2. Caccamo

به‌طور کلی می‌توان پیشنهاد کرد که در مناطقی با داده‌های باران‌سنجی ناکافی و پراکنش نامناسب برای پایش خشکسالی از داده‌های سنجش از دور و همچنین شاخص پوشش گیاهی NDVI برای پایش تغییرات پوشش گیاهی استفاده کرد.

هواشناسی نقطه‌ای (ایستگاه‌های ثبت بارش) دارای مزایایی همچون تعداد نقاط نمونه‌برداری بیشتر، سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کمترند، استفاده از دانش سنجش از دور برای پایش خشکسالی پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Alawi Panah, S.K. (2010). *Application of Remote Sensing in Earth Sciences (Soil Sciences)*. University of Tehran Press. Third Edition, 478 pages (in Persian).
- Alawi panah, S.K. (2014). *Application of remote sensing in the earth sciences (soil)*. University of Tehran press. 4th edition, 479 Pages. (In Farsi).
- Alizadeh, A. (2014). *Applied Hydrology*. Imam Reza University Press, thirty- eighth edition, 941 pages.
- Azizi, Q., & Safarrad, T. (2012). Analysis of wind characteristics during ENSO phases, case study; 1997, 2008 and 2010. *Journal of Climatological Research*, 3(9), 82-70 (in Persian).
- Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A., & Puotinen, M.L., (2011). Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115: 2626-2639.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Gregoire, J. M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77, Pp. 22-33.
- Chen, Z., Grasby, S.E., & Osadetz, K.G. (2004). Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba Canada. *Journal of Hydrology*, No. 290, 43-62.
- Chopra, P. (2006). *Droyght Risk Assessment using Rimote sensing and GIS: Acase study of Gujora*. M. scthesis, ITC University
- Dracup, J.A., Lee, K.S. J.R. & Paulson, E.G. (1980). On the definition of drought. *Water Resource Res*, 16(2), 297-302PP.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N.R., Saha, S.K., & Siddiqui, A.R., (2015). Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, 18(1), 53-63; Elsevier.
- Elhag, K., & Zhang, W., (2018). Monitoring and Assessment of Drought Focused on Its Impact on Sorghum Yield over Sudan by Using Meteorological Drought Indices for the Period 2001-2011. *Remote Sensing*, Vol 10 (8), 1231 p.
- Fensholt, R., Langanke, T., Rasmussen, K., Reenberg, A., Prince, S.D., Tucker, C., Scholes, R.J., Le, Q.B., Bondeau, A., Eastman, R., Epstein, H., Gaughan, A.E., Hellden, U., Mbow, C., Olsson, L., Paruelo, J., Schweitzer, Ch., Seaquist, J., & Wessels, K. (2012). Greenness in semi-arid areas across the globe 1981- 2007- an Earth Observing Satellite based analysis of trends and drivers. *Remote Sensing of Environment*, 121: 144-158.
- Fiorillo, F., & Guadagno, F.M. (2010). Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. *Water Resources Management*, 24(9): 1867-1884.
- Ghafourian, H., Sanaeinejad, S.H., & Davari, K., (2014). Study to determine suitable areas for drought monitoring using TRMM satellite data (Case study: Khorasan Razavi province (water and soil). *Agricultural Sciences and Industries* (3). 639-648 (in Persian).
- Ghanar, A. (2001). *Drought Assessment Using NOAA Images in East Azerbaijan, West Azerbaijan and Ardabil Province*. Tarbiat Modares University Master Thesis. 89 p (in Persian).
- Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chatar Abgon, O., & Golam Niah, M. (2017). Temporal and Spatial Monitoring of Agricultural Drought Using Remote Sensing Data, Case Study: Markazi Province of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4(3), 70-53 (in Persian).
- Hodel, E. (2012). *Analysing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data superviso Hans Hurni*, Masterarbeit der Philosophisch. Universität Bern.
- Ji, L., & Peters, A.J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*, 87, 85-98pp.
- Ji, L., & Peters, A.J. (2004). A Spatial Regression Procedure for Evaluating the Relationship between AVHRR-NDVI and Climate in the Northern Great Plains. *Int. J. Remote Sensing*, 25, 297-311.
- Khodaei, M., Shad, R., Maghsoudi Mehrani, Y., & Ghaemi, M. (2016). *Determining an optimal index of several remote sensing sensors in order to improve the real-time drought monitoring process in areas with heterogeneous land cover*. *Echo Hydrology*, Volume 3, Number 3, Tehran. (in Persian)

21. khoosh Akhlaq, F., Ranjbar, F., Toulabi, S., Moqbel, M., & Mamasoompour Asmakoush, J. (2010). Study of Drought in the Water Year 2007-2008 and Its Effects on Agricultural Water Resources (Case Study: Marvdasht County). *Journal of Geography*, No. 24, 136-119 (in Persian)
22. Kogan, F.N. (2000). Global drought detection and impact: Assessment from space, *In Wilhite Editor Drought a Global Assessment*, 1, 197-206.
23. Li, B., Tang, H., & Chen, D. (2009). Drought Monitoring Using the Modified Temperature/Vegetation Dryness Index, 2nd *International Congress on Image and Signal Processing*, 17-19 October, China.
24. Liu, C. L., & Wu, J.J. (2008). Crop drought monitoring using MODIS NDVI over Mid-Territory of China, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
25. Mahmoudzadeh, A.H., Saghafian, B., & Mokhtari, A. (2008). Correlation between Drought Index SPI and NDVI Index of Fereydunshahr Region, *Third Water Resources Management Conference*. University of Tabriz. Faculty of Civil Engineering. 8 pages (in Persian).
26. Parviz, L., Khayyat Khalqi, M., Valizadeh, K., Iraqi Nejad, S., & Irannejad, P. (2012). Evaluation of the efficiency of indicators resulting from remote sensing technology in assessing meteorological drought; Case Study: Sefidrood Watershed, *Geography and Development Quarterly*, May 2011, 9(22), 147 -164 (in Persian).
27. Pei, F., Li, X., Liu, X., & Lao, C. (2013). Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. *Journal of Environmental Management*, 114, 362-371.
28. Rostami, A., Bzane, M., & Raini, M. (2016). Spatial and temporal monitoring of agricultural drought using Modis imagery and remote sensing technology. *Journal of Soil and Water Science*, 27, 213-226 (in Persian).
29. Roswintiarti, O., Oarwati, S., & Anggraini, N. (2010). Potential Drought Monitoring over Agriculture Area in Java Island, Indonesia, *Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)*, Progress Report of SAFE Prototype Year.
30. Soltani, M., Soltani, A., Kalhehui, M., & Soleimani, K. (2019). Regional Drought Monitoring Using Landsat Images, Study Area: Kermanshah County. *Geographical Information Quarterly (Sepehr)*, 28(109), 138-146 (in Persian).
31. Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talae, P. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrol. Process*, 26 (22), 3351-3361; Wiley Online Library.
32. Yiar, Mohammadi, P. (2005). The Necessity of combing Geographic Information Systems and Remote Sensing in Drought Monitoring, *Scientific Journal of Drought and Drought*, No. 18 (in Persian).
33. Yildirim, T., & Aşık, Ş. (2018). Index-based Assessment of Agricultural Drought using Remote Sensing in the Semi-arid Region of Western Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 24, 510-516.
34. Zambrano, F., Lillo-Saavedra, M., Verbist, K., & Lagos, O. (2016). Sixteen Years of Agricultural Drought Assessment of the BioBio Region in Chile Using a 250 m Resolution Vegetation Condition Index (VCI). *Remote Sensing*, 8, 530, 1-20.

Evaluating the Efficiency of Vegetation Indices in Analyzing Drought Using MODIS Images: A Case Study Qom, Isfahan, Chaharmahal Bakhtiari, and Markazi Provinces

Saleh Arekhi,^{1*} Marzieh Barzegar Savasari,² Neda Sorizaie,³ Bangamin Eshghi⁴

Received: 10/03/2024

Accepted: 08/09/2024

Extended Abstract

Introduction: As a natural disaster, drought may occur in any climate. In recent decades, widespread severe droughts have continuously affected Iran, imposing detrimental effects on the country's various economic sectors, including agriculture, environment, and water resources. Today, vegetation indices obtained from remote sensing are widely used to identify and analyze meteorological droughts. Remote sensing technology enables near-real-time monitoring of drought conditions by analyzing high-resolution spectral data, allowing for pixel-level calculations over large geographic areas. The Iranian provinces of Qom, Isfahan, Chaharmahal Bakhtiari, and Markazi are among those regions whose drought conditions have frequently been warned about within the last few years. Therefore, as the study of drought in these four provinces bears special significance due to the sensitivity of the provinces and the large population they accommodate, the current research selected the provinces as its study areas.

Material and methods: this study set out to investigate the correlation between SPI, NDVI, and EVI that were obtained from MODIS images from 2011 to 2020, seeking to monitor drought in central regions of Iran. To this end, changes made over a period of 10 years were identified using the images of the Modis satellite sensor and the precipitation data collected from the synoptic stations located in the study area. In this regard, four months (April, May, June, and July) were selected as sample periods by reviewing the data collected from the existing stations using the standardized precipitation index (SPI) model. This study selected MODIS Terra MOD13A2 imagery from 2011 to 2020 due to its high temporal resolution, broad spectral coverage, ease of access, and the absence of atmospheric and geometric correction requirements. This dataset was chosen to ensure the capture of both wet and dry periods. Subsequently, the Standardized Precipitation Index (SPI) was compared with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI). Moreover, the Pearson correlation coefficient was used to determine the correlation between the SPI meteorological drought index and remote sensing indices.

Results: According to the study's results, the correlation between SPI NDVI and EVI was found to be 0.832 and -0.149, respectively. In general, the results indicated that in areas with insufficient precipitation data and poor distribution of drought monitoring, remote sensing, and NDVI data can be used to monitor vegetation changes. Moreover, the results of drought monitoring revealed that during the ten-year study period, severe droughts occurred in some years. For instance, severe drought and extremely wet periods occurred in 2020 and 2011, respectively. On the other hand, the results of the correlation between SPI and remote sensing indices suggested that SPI had the highest correlation with NDVI at the level of 0.01. The results of this study can effectively contribute to the decisions made by decision-makers in monitoring, investigating, and resolving drought conditions.

1. Associated Professor, Department of Geography, Faculty of Human Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran, Email: S.arekhi@gu.ac.ir

2. MS.c Student, Faculty of Human Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

3. MS.c Student, Faculty of Human Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

4. MS.c Student, Geographic information system, Mapping Department, non-profit Lampi Gorgani Institute, Gorgan, Iran

Discussion and conclusion: Vegetation characteristics, the studied time period, soil characteristics, and the distribution and intensity of precipitation are important factors involved in the establishment of the highest correlation coefficient between the NDVI and the SPI during the delay period. Satellite indices show a remarkable correlation with each other in terms of detecting the magnitude of change, and the highest correlation between satellite indices and terrestrial indices is found in the NDVI-SPI pair. Therefore, the NDVI is used to monitor meteorological drought. Compared to point meteorological methods (precipitation recording stations), satellite images offer greater advantages, including the number of sampling points, wider coverage area, higher time resolution, and lower cost. Therefore, remote sensing knowledge is suggested for drought monitoring. Generally, remote sensing data and NDVI are suggested as appropriate indices to be used for monitoring vegetation changes in areas with insufficient rain gauge data and inappropriate distribution of drought monitoring.

Keywords: Drought, SPI, Vegetation Indices, NDVI and EVI, Central Regions of Iran.