



## شاخص احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی: روشی جهت تعیین خطر

### بیابان‌زایی

اسماعیل حیدری عمدارلو، پویان دهقان رحیم‌آبادی، حسن خسروی، جواد رفیع شریف‌آباد، حسن برآبادی

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

#### چکیده

شاخص VHI که شدت خشک‌سالی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد در پنج کلاس طبقه‌بندی شد. سپس درصد احتمال وقوع هر یک از طبقات محاسبه و در وزن هر طبقه که براساس شدت خشک‌سالی عددی بین صفر تا ۴ بود ضرب شد و در نهایت با جمع مقادیر به‌دست‌آمده برای هر طبقه، شاخص احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که به‌طورکلی در مناطق غربی، شرقی و بخش‌های جنوبی استان یزد احتمال خطر تخریب پوشش گیاهی و در نتیجه بیابان‌زایی بیشتر از مناطق دیگر است. بیشترین احتمال وقوع کلاس بدون خشک‌سالی مربوط به شهرستان ابرکوه ( $VHI=68/34$ ) و کمترین مقدار آن مربوط به شهرستان اردکان ( $VHI=53/59$ ) است. شهرستان ابرکوه با  $14/03$  درصد کمترین و شهرستان اردکان با  $46/02$  درصد بیشترین مساحت را در کلاس زیاد شاخص PVVI را دارند. همچنین نواحی کویری و اراضی بدون پوشش مانند کفه ابرکوه در کلاس خطر بیابان‌زایی کم قرار گرفت که دلیل آن می‌تواند عدم توانایی اکولوژیکی این منطقه در احیا شدن باشد. به‌طورکلی ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که شاخص PVVI، توانایی این را دارد که بیابان‌های واقعی را از مناطقی که دارای احتمال خطر بیابان‌زایی هستند، تفکیک کند.

تعیین خطر بیابان‌زایی راهکار مناسبی جهت اولویت‌بندی یک محدوده برای مدیریت و کنترل بیابان‌زایی است. یک عامل تعیین‌کننده خطر بیابان‌زایی، استفاده از شاخص احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی (PVVI) است. جهت انجام این کار، در این تحقیق از شاخص‌های LST و شاخص EVI به ترتیب از محصولات MODIS سنجنده MOD13A2 و MOD11A2 جهت برآورد شاخص‌های TCI و VCI به منظور برآورد شاخص VHI در استان یزد و در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ استفاده شد.

اسماعیل حیدری عمدارلو<sup>۱</sup>، پویان دهقان رحیم‌آبادی<sup>۲</sup>، حسن خسروی<sup>۳\*</sup>

جواد رفیع شریف‌آبادی<sup>۴</sup>، حسن برآبادی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> پسادکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳\*</sup> دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۴</sup> دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران

<sup>۵</sup> دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان ایران

DOI: 10.30495/girs.2022.692984

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

یزد است و سعی شده است کارایی این روش جهت ارزیابی خطر بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار گیرد.

**روش تحقیق:** منطقه مورد مطالعه استان یزد، ایران، است که جزئی از فلات مرکزی ایران است و با مساحتی در حدود ۷۳۵۵۱ کیلومتر مربع، چهارمین استان به لحاظ وسعت در کشور است. جهت ارزیابی خطر بیابان‌زایی در این استان از شاخص PVVI استفاده شد که نشان دهنده احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی است. جهت انجام این کار، در این تحقیق از شاخص‌های LST و شاخص EVI به ترتیب از محصولات MOD11A2 و MOD13A2 سنجنده MODIS جهت برآورد شاخص‌های TCI و VCI به منظور برآورد شاخص VHI در استان یزد و در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. شاخص VHI که شدت خشکسالی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد در پنج کلاس طبقه‌بندی شد. سپس درصد احتمال وقوع هر یک از طبقات محاسبه و در وزن هر طبقه که بر اساس شدت خشکسالی عددی بین صفر تا ۴ بود ضرب شد و در نهایت با جمع مقادیر به دست آمده برای هر طبقه، شاخص احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی محاسبه گردید.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که شهرستان یزد دارای بیشترین تغییرات و شهرستان بافق دارای کمترین تغییرات حول مقدار میانگین TCI است. همچنین میانگین شاخص TCI در استان یزد در طول دوره آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹) ۶۷/۰۶ با انحراف میانگین ۲۴/۴۰ است که نشان دهنده تغییرات زیاد این شاخص است. میانگین شاخص VCI در استان یزد در طول دوره آماری مورد مطالعه ۴۴/۵۵ با انحراف میانگین ۱۳/۶۱ است که نشان‌دهنده تغییرات زیاد این شاخص است. این مطلب نشان می‌دهد که شاخص VCI دارای تغییرات کمتری نسبت به شاخص TCI حول مقدار میانگین است. میانگین ۴۵/۳ و انحراف معیار ۱۲/۵ شاخص VHI دارای وضعیت ضعیفی از نظر سلامت پوشش گیاهی است. شهرستان‌های اردکان و ابرکوه به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار میانگین شاخص VHI و شهرستان‌های اردکان و مهریز به ترتیب دارای کمترین و بیشترین انحراف از میانگین شاخص VHI هستند. در نهایت نقشه احتمال خطر بیابان‌زایی استان یزد نشان داد که به طور کلی در سه ناحیه احتمال خطر بیابان‌زایی بیشتر از مناطق دیگر است. ناحیه اول قسمت غربی استان یزد است که در این ناحیه مراتع خوب ندوشن واقع شده است. ناحیه دوم در شرق و ناحیه سوم قسمت‌های جنوبی

**طرح مسئله:** تعیین خطر بیابان‌زایی راهکار مناسبی جهت اولویت‌بندی یک محدوده برای مدیریت و کنترل بیابان‌زایی است. یک عامل تعیین کننده خطر بیابان‌زایی، استفاده از شاخص احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی (PVVI) است. این پدیده به ویژه در مناطقی که دچار خشکسالی می‌شوند نیز می‌تواند بیشتر تاثیرگذار باشد و به تدریج اتفاق بیافتد، زیرا پیشرفت خشکسالی به کندی صورت می‌گیرد و اثرات آن ممکن است به تدریج در طول زمان ظاهر شود. واقع بیابان‌زایی یک مسئله اکولوژیکی و زیست محیطی در سراسر جهان بوده است و یک راه مؤثر برای درمان آن پایش است که وضعیت موجود و شدت عوامل متغیر و پویای مؤثر بر این پدیده را بررسی می‌کند. این فرآیند همواره با تخریب خاک و منابع آب، پوشش گیاهی و دیگر منابع در شرایط تنش طبیعی و اکولوژیکی همراه است. به دلیل آن که پدیده بیابان‌زایی از پیچیدگی بالایی برخوردار است، بررسی روند و تعیین مراحل وقوع آن به منظور دستیابی به روش‌های پیشگیری و کنترل و در نهایت مدیریت پایدار مناطق بیابانی و تخریب شده، ضرورت دارد. در واقع هدف از ارزیابی و پایش بیابان‌زایی، شناسایی مکان‌های وقوع و شدت این پدیده، پیش‌بینی خطرات ناشی از این رویداد و تلفات ناشی از آن است. پوشش گیاهی، به علل مختلف و به مرور زمان در اثر عوامل طبیعی و یا انسانی دچار تغییر شده که شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین نیاز به آشکارسازی، پیش‌بینی و مراقبت چنین تغییراتی در یک اکوسیستم از اهمیت بسزایی برخوردار است. شاخص‌های پوشش گیاهی به طور گسترده به عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و فاکتورهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تحقیقات زیادی از شاخص‌های گیاهی سنجنش از دور برای ارزیابی و احتمال خطر بیابان‌زایی استفاده شده است.

**هدف:** با توجه به مطالعات انجام شده، تغییرات پوشش گیاهی که یکی از مهمترین عناصر اکوسیستم‌های خشکی بوده و نمایانگر شرایط محیطی است، در طول زمان می‌تواند به مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر در راستای توسعه پایدار کمک شایانی کند. از این رو با توجه به ارزش پوشش گیاهی و نقش آن در ارزیابی تخریب سرزمینی هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی احتمال خطر بیابان‌زایی با استفاده از تحلیل سری زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی در استان

مرکز استان یزد احتمال خطر بیابانزایی بیشتر از مناطق دیگر است. نکته جالب در نتایج به دست آمده این است که نواحی شاخص کویری و اراضی بدون پوشش مانند کفه ابرکوه در کلاس خطر بیابانزایی کم قرار گرفته است. دلیل آن، این است که این مناطق بیابان واقعی‌اند و پوشش گیاهی بسیار کمی دارند که مختص این مناطق است و دارای مقاومت بالایی است، در نتیجه تخریب در این مناطق کمتر است. این نتیجه توانایی بالای شاخص PVVI در نشان دادن مناطق دارای پتانسیل تخریب نشان می‌دهد. در نهایت این پژوهش نشان داد که شهرستان‌های اردکان، صدوق و خاتم به ترتیب بیشترین مساحت و شهرستان‌های ابرکوه بافق و مهریز دارای کمترین مساحت کلاس خطر زیاد می‌باشند. به طور کلی ارزیابی نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که شاخص PVVI توانایی تفکیک بیابان‌های واقعی از مناطقی که دارای احتمال خطر بیابانزایی هستند، را دارد.

**واژگان کلیدی:** بیابانزایی، پوشش گیاهی، سنجش اژدور، یزد.

مرکز استان یزد را شامل می‌شود. نکته جالب در نتایج این است که نواحی شاخص کویری و اراضی بدون پوشش مانند کفه ابرکوه در کلاس خطر بیابانزایی کم قرار گرفته است. شهرستان‌های اردکان، صدوق و خاتم به ترتیب بیشترین مساحت و شهرستان‌های ابرکوه بافق و مهریز دارای کمترین مساحت کلاس خطر زیاد می‌باشند. نتایج بررسی میانگین و انحراف معیار سه شاخص VCI، TCI و VHI نشان داد که شاخص TCI در اکثر شهرستان‌ها دارای انحراف معیار بسیار بالاتری نسبت به دو شاخص دیگر است. دلیل این امر نوسانات زیاد دما در فصل بهار است. دلیل این امر علاوه بر متغیر بودن هوا در فصل بهار به ناهموازی‌های محدوده مورد مطالعه نیز بر می‌گردد. به طوری که ارتفاعات شیرکوه و نواحی پست مانند کفه ابرکوه در استان یزد وجود دارد. بررسی نتایج تغییرات دو شاخص VCI و TCI نشان می‌دهد که میانگین و انحراف معیار این دو شاخص به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی مثل ناهموازی و اقلیم محلی است.

**نتیجه‌گیری:** نقشه احتمال خطر بیابانزایی استان یزد نشان داد که به طور کلی در سه ناحیه قسمت‌های غربی، شرقی و بخش‌های جنوبی

پوشش گیاهی در استان یزد است. از این رو در این مقاله شاخص احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی (PVVI) توسعه داده شد و در کارایی این روش جهت ارزیابی خطر بیابانزایی مورد ارزیابی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

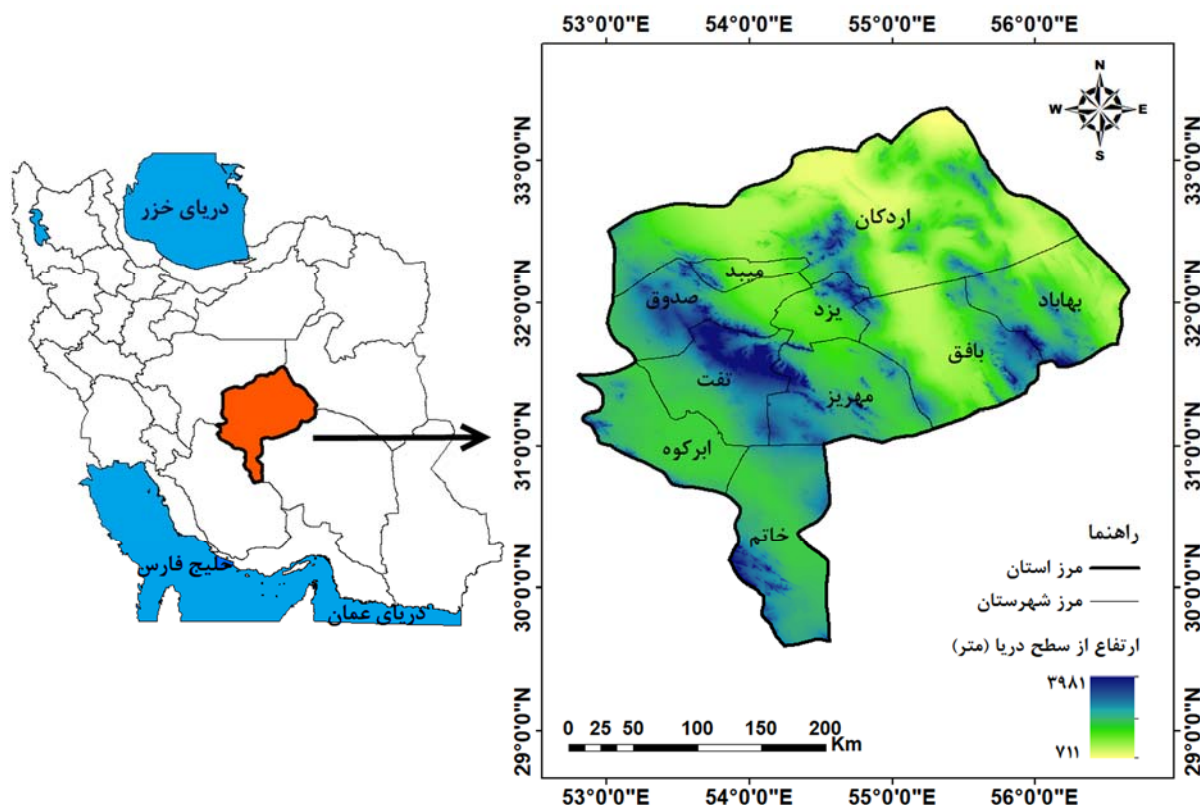
#### منطقه مورد مطالعه

استان یزد در قسمت مرکزی فلات مرکزی ایران، ما بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). محدوده استان یزد جزئی از فلات مرکزی ایران است که کویرهای ایران نیز عمدتاً در این فلات جای دارند و بخش بزرگی از مساحت محدوده استان را قسمت‌هایی از کویرهای مختلف پوشانده است. این استان با مساحتی در حدود ۷۳۵۵۱ کیلومتر مربع، چهارمین استان به لحاظ وسعت در کشور است. از شمال و غرب به استان‌های سمنان و اصفهان، از شمال شرق و شرق به استان‌های خراسان جنوبی و کرمان، از جنوب غربی استان فارس و از سمت جنوب شرقی به کرمان محدود می‌شود. از نظر پستی و بلندی دارای تنوع است. از حدود ۷۱۱ متر از سطح دریای آزاد (کویر ریگ زرین در نزدیکی عقدا) تا ۳۹۸۱ متر (قله شیرکوه) تغییر می‌کند. مقدار متوسط بارندگی سالانه بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر است. نوسان درجه حرارت در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار زیاد است. حداکثر حرارت ۴۵ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و حداقل ۲۰ درجه سانتی‌گراد زیر صفر متغیر است. میانگین روزانه دما برای تمام سال بین ۱۱/۹ تا ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد متغیر است (۳۳).

گسترش کانون‌های بحرانی و تسریع فرایند بیابانزایی شده است (۱۸).

اما در تحقیقات بین‌المللی از روند تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی برای ارزیابی بیابانزایی و احتمال خطر آن بیشتر استفاده شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در یک تحقیق به منظور ارزیابی روند بیابانزایی بخش Minqin چین از سری زمانی تصاویر ماهواره لندست از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ استفاده کردند. آن‌ها برای رسیدن به هدف پژوهش خود از شاخص EVI استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند که متوسط پوشش گیاهی در طول ۳۱ سال مورد مطالعه افزایش یافته است (۳۷). در یک تحقیق دیگر برای ارزیابی آسیب پذیری پوشش گیاهی در مشهد از شاخص EVI سنجنده MODIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که نواحی مورد مطالعه اکثر آسیب‌پذیری بالایی نسبت به بیابانزایی دارند (۱). در تحقیقی با مدل‌سازی سری زمانی شاخص NDVI در شش منطقه نیمه خشک برزیل نشان داده شد که بررسی پویایی پوشش گیاهی با استفاده از سنجنش از دور می‌تواند به عنوان ابزاری برای نظارت بر شرایط پوشش گیاهی و تعیین مناطق تخریب شده استفاده شود (۲۹).

با توجه به مطالعات انجام شده، تغییرات پوشش گیاهی که یکی از مهمترین عناصر اکوسیستم‌های خشکی بوده و نمایانگر شرایط محیطی است، در طول زمان می‌تواند به مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر در راستای توسعه پایدار کمک شایانی کند. استان یزد در قسمت مرکزی ایران قرار گرفته است و دارای اقلیم خشک می‌باشد، پوشش گیاهی بیشتر به عوامل محیطی وابسته هستند. از این رو با توجه به ارزش پوشش گیاهی و نقش آن در ارزیابی تخریب سرزمینی هدف از پژوهش حاضر، توسعه روشی جهت تعیین خطر بیابانزایی و ارزیابی احتمال خطر بیابانزایی با استفاده از تحلیل سری زمانی شاخص‌های



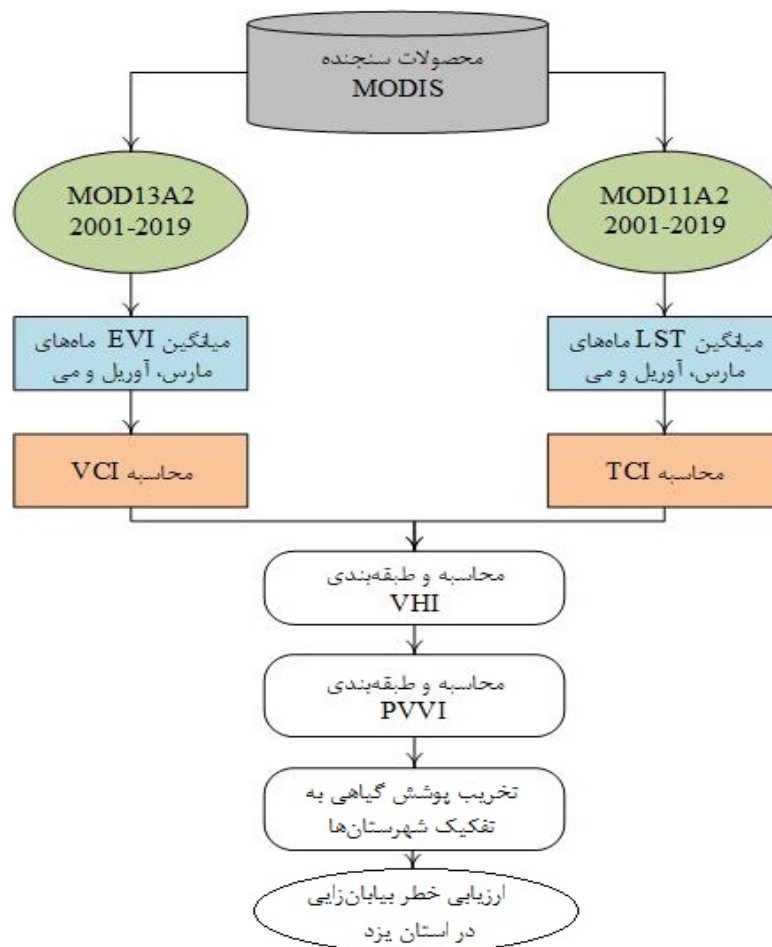
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study area

## روش کار

زمانی ۸ روزه و مکانی یک کیلومتر و محصول MOD13A2 دارای قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه و مکانی یک کیلومتر است. دانلود این محصولات از سایت <https://search.earthdata.nasa.gov> صورت گرفت. ابتدا میانگین LST و EVI برای ماه‌های مارس، آوریل و می که پوشش گیاهی در اکثر نقاط استان یزد در بهترین حالت خود در طول یکسال قرار دارد، برای هر سال از ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ محاسبه شد. سپس شاخص‌های VCI (Vegetation Condition Index), TCI (Temperature Condition Index), VHI (Vegetation Health Index) و PVVI محاسبه شد. شکل ۲ مراحل انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

جهت ارزیابی خطر بیابان‌زایی از شاخص PVVI (Probability of Vegetation Vulnerability Index) معرفی شده توسط Heydari Alamdarloo و همکاران (۲۰۱۸) که نشان‌دهنده احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی است، استفاده شد (۱۴). در این پژوهش از شاخص دمای سطح زمین MOD11A2 ((Land Surface Temperature) LST) و شاخص پوشش گیاهی تقویت شده (Enhanced) EVI (Vegetation Index) محصول MOD13A2 سنجنده در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. لازم به ذکر است که محصول MOD11A2 دارای قدرت تفکیک



شکل ۲. نمودار مراحل انجام تحقیق

Fig 2. Steps of the research

بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ است. حداکثر و حداقل مقادیر  $EVI$  به ترتیب بهترین و بدترین شرایط برای رشد گیاه است و هرچه به صد نزدیک‌تر باشد نشان دهنده رشد کامل‌تر پوشش گیاهی است (۳۵). این شاخص می‌تواند به طور مؤثری اثرات نویز ناشی از تغییرات فصلی را کاهش دهد و باعث افزایش دقت در مطالعات پوشش گیاهی شود (۱۱).

#### محاسبه شاخص TCI

TCI به طور خاص می‌تواند امکان بررسی تغییرات کمی در سلامت گیاهان را به دلیل تنش گرمایی فراهم نماید. این شاخص بر مبنای  $LST$  توسعه پیدا کرده و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲۴).

#### محاسبه شاخص VCI

$VCI$  یک شاخص مناسب برای تشخیص خشکسالی به وسیله کنترل رشد گیاه است (۳۱). این شاخص که اولین بار توسط Kogan (۱۹۹۰) بر مبنای شاخص  $NDVI$  (Normalized Difference Vegetation Index) معرفی شد، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۲۲).

$$VCI = \frac{EVI_i - EVI_{min}}{EVI_{max} - EVI_{min}} \times 100 \quad [1]$$

در این رابطه  $EVI_i$  ارزش  $EVI$  یک پیکسل خاص در سال  $i$  ام در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ است و به ترتیب  $EVI_{max}$  و  $EVI_{min}$  بیشترین ارزش و کمترین ارزش  $EVI$  همان پیکسل در

$$TCI = \frac{LST_i - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \times 100 \quad [2]$$

در این رابطه  $LST_i$  ارزش  $LST$  یک پیکسل خاص در سال  $i$  ام و  $LST_{min}$  و  $LST_{max}$  به ترتیب بیشترین و کمترین ارزش  $LST$  برای همان پیکسل در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ است. اختلاف بیشترین و کمترین دمای سطح زمین نشان دهنده دامنه تغییرات دما در مکان خاص است. هرچه این شاخص به ۱۰۰ نزدیکتر باشد، نشان دهنده نزدیکی دما به حدکثر خود و تنش گرمایی برای پوشش گیاهی است. بعد از محاسبه دو شاخص  $TCI$  و  $VCI$  میانگین شاخصها در شهرستانهای مختلف استان یزد با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.8 محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد.

#### محاسبه و کلاس بندی شاخص VHI

$VHI$  نشان دهنده سلامت کلی پوشش گیاهی است (۲۵) و برای تشخیص، شدت و مدت خشکسالی استفاده می شود (۲۱). این شاخص به طور گسترده ای برای نظارت و توصیف خشکسالی ها مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص ویژگی های اکوسیستم را از نظر نوسانات بین حداکثرها و

حداقل های شاخص  $NDVI$  (شاخص شرایط پوشش گیاهی:  $VCI$ ) و دمای سطح زمین ( $LST$ )؛ شاخص شرایط حرارتی:  $TCI$ ) در نظر می گیرد و به عنوان مجموع وزنی این دو برآورد می شود (۴).  $VHI$  شرایط رطوبت پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین را نشان می دهد (۳۶). بنابراین برای تعیین مناطق تحت تأثیر خشکسالی شاخص مناسبی است. این شاخص از ترکیب شاخص های  $TCI$  و  $VCI$  و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$VHI = \alpha \times VCI + (1 - \alpha) \times TCI \quad [3]$$

در این رابطه  $\alpha$  وزن شاخص های  $VCI$  و  $TCI$  را در  $VHI$  مشخص می کند و مقدار آن بستگی به شرایط متفاوت رطوبت و درجه حرارت در محدوده مورد مطالعه دارد (۲۹). در صورت مشخص نبودن سهم رطوبت و دما در طول چرخه گیاهی ضریب  $\alpha$  برابر ۰/۵ در نظر گرفته می شود (۶). بعد از محاسبه شاخص  $VHI$  در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹، این شاخص با توجه به جدول ۱ کلاس بندی شد.

جدول ۱. کلاس بندی شاخص  $VHI$  و وزن کلاس ها در شاخص  $PVVI$  (۲۴ و ۲۶)

Table 1.  $VHI$  Classification and weight of classes in  $PVVI$  (24 & 26)

شماره کلاس	محدوده مقدار $VHI$	کلاس شدت خشکسالی	وزن کلاس ها در $PVVI$
۱	۱۰-۰	خشکسالی بسیار شدید	۴
۲	۲۰-۱۰	خشکسالی شدید	۳
۳	۳۰-۲۰	خشکسالی متوسط	۲
۴	۴۰-۳۰	خشکسالی ملایم	۱
۵	۴۰<	بدون خشکسالی	۰

در نرم افزار ArcGIS 10.8 محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه ۴ درصد احتمال وقوع هر کلاس محاسبه شد.

$$P_{Ci} = \frac{n_{Ci}}{N} \times 100 \quad [4]$$

#### محاسبه شاخص $PVVI$

برای محاسبه شاخص  $PVVI$  ابتدا باید درصد احتمال وقوع هر کلاس محاسبه شود. برای این کار تعداد وقوع هر کلاس در بازه زمانی ۱۹ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۹) برای هر پیکسل

جدول ۲. طبقه‌بندی PVVI (۱۴)

Table 2. PVVI Classification (14)

کلاس PVVI	محدوده PVVI
کم	۰-۳۵
متوسط	۳۵-۶۵
شدید	۶۵-۱۰۰
خیلی شدید	۱۰۰-۴۰۰

### نتایج

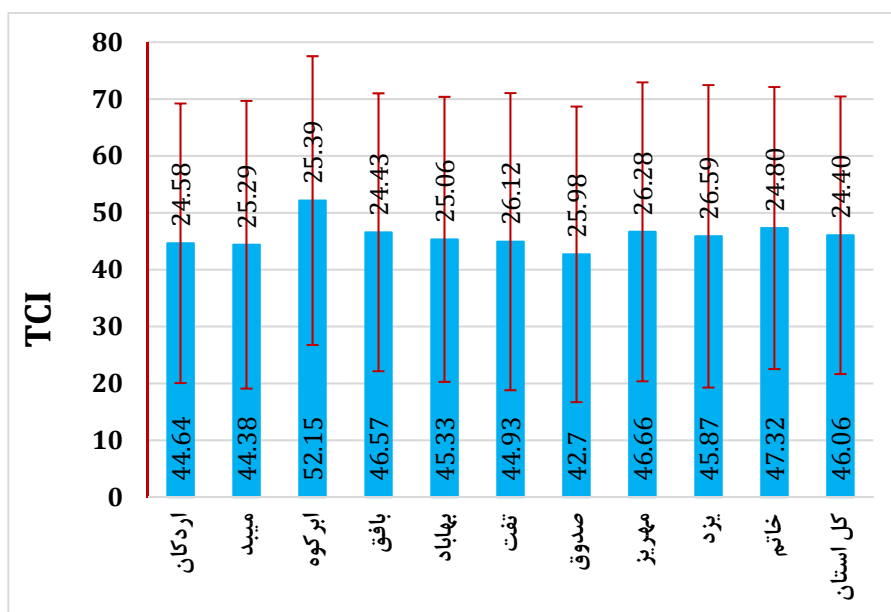
شکل ۳ نمودار میانگین و انحراف معیار شاخص TCI به تفکیک شهرستان‌ها و کل استان یزد را نشان می‌دهد با توجه به این نمودار، بیشترین میانگین شاخص TCI را شهرستان ابرکوه (۵۲/۱۵) دارد و کمترین مقدار این شاخص مربوط به شهرستان صدوق است. نتایج بررسی انحراف معیار نشان می‌دهد که شهرستان یزد دارای بیشترین تغییرات و شهرستان بافق دارای کمترین تغییرات حول مقدار میانگین است. همچنین میانگین شاخص TCI در استان یزد در طول دوره آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹) ۴۶/۰۶ با انحراف میانگین ۲۴/۴۰ است که نشان‌دهنده نوسانات زیاد این شاخص است.

در این معادله  $P_{Ci}$  درصد احتمال وقوع کلاس  $i$  ام،  $n_{Ci}$  تعداد وقوع کلاس  $i$  ام در پیکسل مورد نظر در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹ سال) و  $N$  تعداد کل شاخص  $VHI$  در هر بازه زمانی ( $N=19$ ) است.

از آنجا که وقوع شدت‌های متفاوت خشکسالی در میزان احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی یک منطقه از ارزش یکسانی برخوردار نیست، جهت کمی‌سازی و محاسبه PVVI مطابق جدول ۱ به هر کلاس شاخص  $VHI$  وزن داده شد. سپس با استفاده از رابطه ۵ شاخص PVVI محاسبه شد (۱۴).

$$PVVI = \sum_{i=1}^5 W_i \times P_{Ci} \quad [5]$$

در این معادله  $W_i$  وزن هر کلاس است. با توجه به وزن های کلاس‌ها شاخص PVVI بین صفر تا ۴۰۰ متغیر است و هر چه به ۴۰۰ نزدیک‌تر باشد احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی بیشتر است. این شاخص برای هر چهار دوره محاسبه شد (۱۴). سپس PVVI با استفاده از روش چارک در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 و بر اساس جدول ۲ کلاس‌بندی شد.



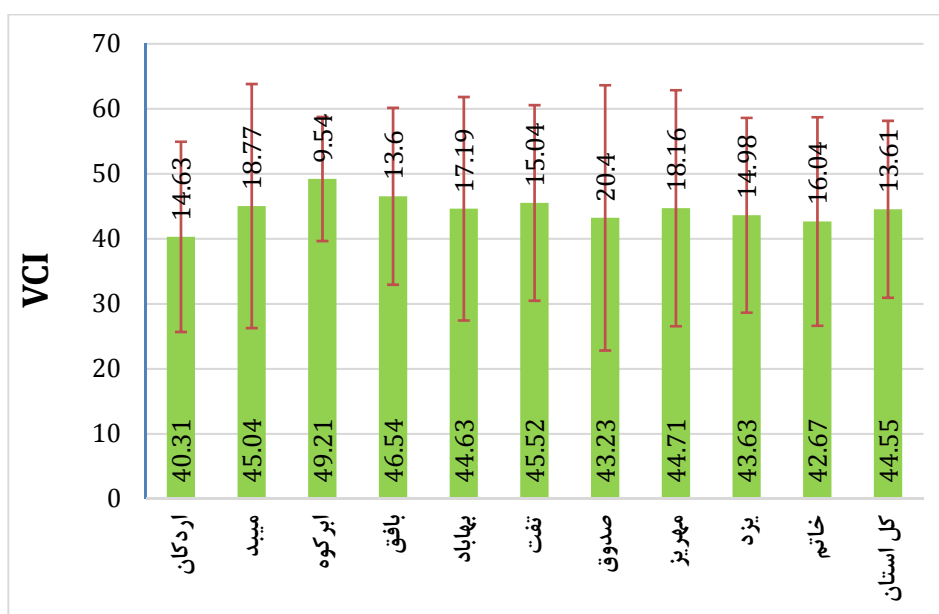
شکل ۳. نمودار میانگین و انحراف معیار TCI

Fig 3. The graph of mean and standard deviation values of TCI



میانگین است. شهرستان‌های اردکان و ابرکوه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار شاخص VCI (۴۹/۲۱ و ۴۰/۳۱) و شهرستان‌های ابرکوه و صدوق به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار انحراف از میانگین شاخص VCI (۲۰/۴۰ و ۹/۵۴) است.

شکل ۴ نمودار میانگین و انحراف معیار شاخص VCI به تفکیک شهرستان‌ها و کل استان نشان می‌دهد، میانگین شاخص VCI در استان یزد در طول دوره آماری مورد مطالعه ۴۴/۵۵ با انحراف میانگین ۱۳/۶۱ است که نشان‌دهنده تغییرات زیاد این شاخص است. این مطلب نشان می‌دهد که شاخص VCI دارای تغییرات کمتری نسبت به شاخص TCI حول مقدار

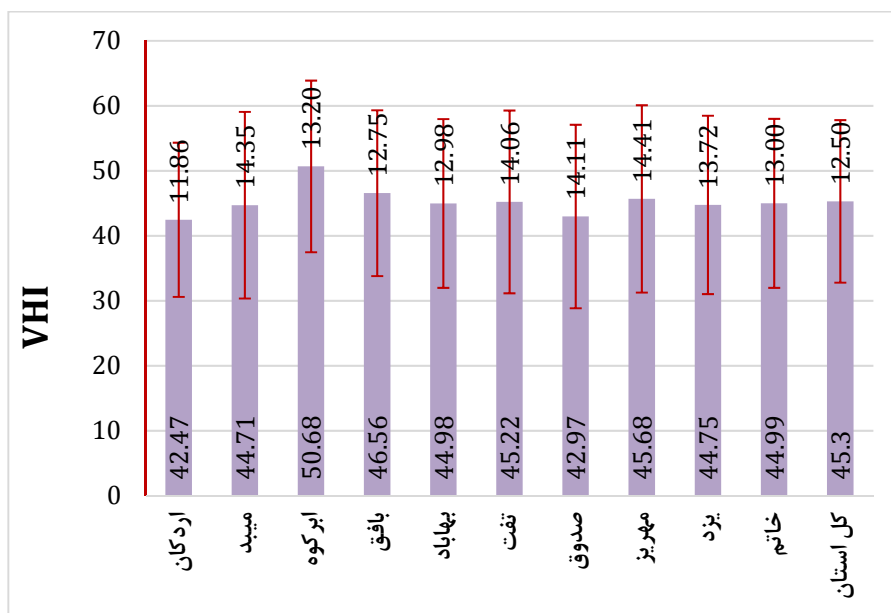


شکل ۴. نمودار میانگین و انحراف معیار VCI

Fig 4. The graph of mean and standard deviation values of VCI

مقدار ۴۰ برای شاخص VHI نشان دهنده شروع خشکسالی است. شهرستان‌های اردکان و ابرکوه به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار میانگین شاخص VHI و شهرستان‌های اردکان و مهریز به ترتیب دارای کمترین و بیشترین انحراف از میانگین شاخص VHI هستند.

شکل ۵ نمودار میانگین و انحراف معیار شاخص VHI به تفکیک شهرستان‌ها و کل استان نشان می‌دهد. نتایج این بخش نشان داد که استان یزد با میانگین ۴۵/۳ و انحراف معیار ۱۲/۵ شاخص VHI دارای وضعیت ضعیفی از نظر سلامت پوشش گیاهی است. لازم به یاد آوری است که با توجه به جدول ۱



شکل ۵. نمودار میانگین و انحراف معیار VHI

Fig 4. The graph of mean and standard deviation values of VHI

جدول ۳ میانگین و انحراف معیار احتمال وقوع خشکسالی پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص VHI به تفکیک شهرستان‌ها و کل استان را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، به طور کلی هر چه شدت خشکسالی بیشتر شود احتمال وقوع آن کمتر می‌شود. احتمال وقوع خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط و خشکسالی ملایم به ترتیب در شهرستان‌های تفت (۳/۶۱)، صدوق (۸/۰۵)، صدوق (۱۴/۳۶) و اردکان (۲۰/۰۵) دارای بیشترین مقدار و در شهرستان‌های بافق (۱/۸۸)، بهاباد (۵/۵۸)، ابرکوه (۹/۱۸) و ابرکوه (۱۱/۷۴) دارای کمترین مقدار است. بیشترین احتمال وقوع کلاس بدون خشکسالی مربوط به شهرستان ابرکوه (۶۸/۳۴) و کمترین مقدار آن مربوط به شهرستان اردکان (۵۳/۵۹) است. این موضوع نشان می‌دهد که بهترین وضعیت ثبات پوشش گیاهی در استان یزد مربوط به شهرستان ابرکوه و کمترین آن مربوط به شهرستان اردکان است.

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار احتمال وقوع خشکسالی پوشش گیاهی

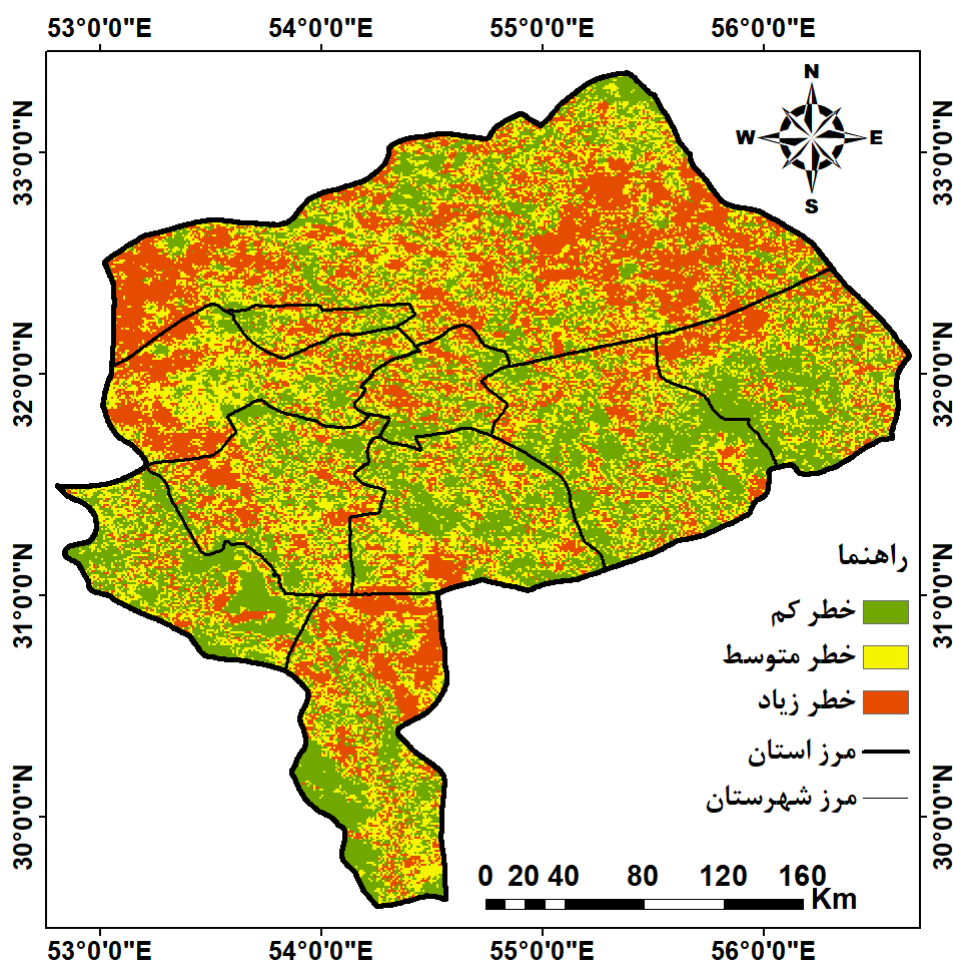
Table 3. Mean and standard deviation values of probability of vegetation drought

شهرستان	خشکسالی بسیار شدید		خشکسالی شدید		خشکسالی متوسط		خشکسالی ملایم		بدون خشکسالی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
اردکان	۳/۰۳	۳/۶	۷/۵۹	۵/۹۷	۱۳/۸۸	۸/۶۵	۲۰/۰۵	۱۰/۲۳	۵۳/۵۹	۱۴/۷۵
میند	۲/۴۵	۳/۵۲	۷/۶۳	۵/۳۰	۱۱/۳۶	۶/۶۱	۱۵/۵۲	۷/۹۱	۶۱/۱۶	۱۰/۸۹
ابرکوه	۳/۳۱	۳/۷۸	۵/۷۱	۵/۴۹	۹/۱۸	۶/۹۷	۱۱/۷۴	۷/۹۵	۶۸/۳۴	۱۱/۸۳
بافق	۱/۸۸	۲/۹۶	۶/۰۴	۵/۳۸	۱۱/۲۰	۷/۴۱	۱۶/۴۰	۸/۴۶	۶۲/۷۳	۱۲/۱۲
بهاباد	۲/۵۱	۳/۱۰	۵/۵۸	۵/۳۰	۱۰/۸۳	۷/۷۹	۱۸/۹۳	۹/۲۷	۶۰/۴۱	۱۴/۰۴
تفت	۳/۶۱	۳/۷۳	۷/۵۴	۵/۸۰	۱۰/۲۴	۶/۶۵	۱۵/۰۵	۸/۵۱	۶۱/۶۶	۱۱/۱۸
صدوق	۲/۴۷	۲/۹۹	۸/۰۵	۶/۱۳	۱۴/۳۶	۷/۸۷	۱۵/۸۶	۷/۷۴	۵۷/۳۸	۱۰/۲۱
مهریز	۲/۷۶	۳/۳۱	۶/۴۵	۵/۲۹	۹/۹۱	۶/۶۷	۱۶/۲۴	۸/۴۷	۶۲/۸۳	۱۱/۶۵

۱۲/۸۹	۵۹/۰۹	۸/۹۲	۱۷/۴۹	۷/۷۵	۱۲/۲۶	۵/۷۰	۶/۸۶	۳/۴۳	۲/۴۸	یزد
۱۳/۴۵	۶۰/۰۱	۸/۵۲	۱۶/۱۱	۷/۴۰	۱۲/۴۳	۶/۲۹	۷/۴۵	۳/۲۱	۲/۲۰	خاتم
۱۳/۸۱	۵۹/۱۰	۹/۳۸	۱۷/۲۸	۷/۹۴	۱۲/۰۹	۵/۸۲	۶/۹۸	۳/۴۳	۲/۷۳	کل استان

است که نواحی شاخص کویری و اراضی بدون پوشش مانند کفه ابرکوه در کلاس خطر بیابانزایی کم قرار گرفته است. جدول ۴ درصد مساحت کلاس‌های احتمال خطر بیابانزایی به تفکیک شهرستان‌ها و کل استان نشان می‌دهد. شهرستان‌های اردکان، صدوق و خاتم به ترتیب بیشترین مساحت و شهرستان‌های ابرکوه بافق و مهریز دارای کمترین مساحت کلاس خطر زیاد می‌باشند.

شکل ۶ نقشه احتمال خطر بیابانزایی با تاکید بر معیار پوشش را نشان می‌دهد که در سه کلاس کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شده است. نقشه احتمال خطر بیابانزایی استان یزد نشان داد که به طور کلی در سه ناحیه احتمال خطر بیابانزایی بیشتر از مناطق دیگر است. ناحیه اول قسمت غربی استان یزد است که در این ناحیه مراتع خوب ندوشن واقع شده است. ناحیه دوم در شرق و ناحیه سوم قسمت‌های جنوبی مرکز استان یزد را شامل می‌شود. نکته جالب دیگر در نتایج این



شکل ۶. نقشه احتمال خطر بیابانزایی با تاکید بر معیار پوشش گیاهی

Fig 6. Desertification risk hazard map with emphasis on vegetation criteria

جدول ۴. درصد مساحت کلاس‌های احتمال خطر بیابان‌زایی

Table 4. Percentage of area of desertification risk classes

شهرستان	کلاس احتمال خطر		
	زیاد	متوسط	کم
اردکان	۴۶/۰۲	۳۱/۰۷	۲۲/۹۱
میبد	۲۵/۴۷	۳۷/۵۹	۳۶/۹۴
ابركوه	۱۴/۰۳	۲۹/۹۰	۵۶/۰۷
بافق	۱۹/۹۶	۳۱/۴۳	۴۸/۶۱
بهباد	۲۵/۰۶	۳۰/۲۸	۴۴/۶۶
تفت	۲۸/۸۶	۳۷/۴۲	۳۳/۷۲
صدوق	۳۷/۱۶	۴۰/۹۴	۲۱/۹۰
مهریز	۲۰/۸۵	۳۴/۲۸	۴۴/۸۷
یزد	۳۱/۶۹	۳۰/۴۴	۳۷/۸۷
خاتم	۳۲/۸۴	۳۰/۳۶	۳۶/۸۰
کل استان	۳۱/۸۵	۳۳/۴۱	۳۴/۷۴

#### بحث

درک متقابل عوامل اقلیمی نسبت به پویایی پوشش گیاهی به عنوان یک اقدام مهم تحقیقاتی، به ویژه برای مدیریت احیای پوشش گیاهی در مناطق خشک که دارای اکوسیستم شکننده هستند، پدیدار شده است. بنابراین با توجه به محدودیت‌های اقلیمی از جمله بارندگی کم و با پراکندگی نامنظم از نظر زمانی و مکانی، بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی حائز اهمیت می‌باشد.

در این پژوهش سعی شد که با استفاده از شاخص احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی معرفی شده توسط Heydari Alamdarloo و همکاران (۲۰۱۸)، خطر بیابان‌زایی در استان یزد بررسی شود (۱۴). نتایج بررسی میانگین و انحراف معیار سه شاخص VCI، TCI و VHI نشان داد که شاخص TCI در اکثر شهرستان‌ها دارای انحراف معیار بسیار بالاتری نسبت به دو شاخص دیگر است. دلیل این امر نوسانات زیاد دما در فصل بهار است. دلیل این امر علاوه بر متغیر بودن هوا در فصل بهار به ناهم‌واری‌های محدودده مورد مطالعه نیز بر می‌گردد. به طوری که ارتفاعات شیرکوه و نواحی پست مانند کفه ابرکوه

در استان یزد وجود دارد. بررسی نتایج تغییرات دو شاخص VCI و TCI نشان می‌دهد که میانگین و انحراف معیار این دو شاخص به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی مثل ناهم‌واری و اقلیم محلی است که با نتایج Heydari Alamdarloo و همکاران (۲۰۱۸) و Pei و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد (۱۴) و (۳۰). همچنین در مطالعات بسیاری از شاخص‌های گیاهی برای بررسی ارتباط بین تغییرات اکوسیستم‌هایی خشک و پارامترهای اقلیمی استفاده شده است. Ding و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که عامل اصلی و محرک اقلیمی، دما است و همچنین عوامل اقلیمی می‌تواند با تأخیر زمانی بر رشد پوشش گیاهی در کل فصل رشد و سایر مراحل فرعی آن تأثیر داشته باشند (۱۰). همچنین Dehghan Rahimabadi و Azarnivand (۲۰۲۳) بیان می‌کنند که پوشش گیاهی عمدتاً وابسته به تغییرات اقلیمی کوتاه مدت بوده و با افزایش مقیاس زمانی متغیرهای اقلیمی همبستگی آنها کاهش می‌یابد که این موضوع در پوشش گیاهی تنک بیشتر است که این موضوع بانگیز این داد که دسترسی کوتاه مدت آب برای رشد پوشش گیاهی حیاتی می‌باشد (۸). Dastigerdi و همکاران (۲۰۲۴) گزارش دادند که پوشش گیاهی عمدتاً تحت تأثیر کاهش دما قرار دارد، در حالی که در مناطق پست، کاهش بارندگی به‌ویژه رشد پوشش گیاهی را محدود می‌کند (۷).

بررسی نتایج میانگین انحراف معیار شاخص VHI نشان داد که شهرستان ابرکوه دارای کمترین تغییرات در حول مقدار میانگین است. دلیل این امر نواحی بدون پوشش بیشتر در این شهرستان نسبت به دیگر نواحی استان یزد است. نمونه بارز آن کفه ابرکوه است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت خشکسالی به دست آمده از شاخص VHI احتمال وقوع آن کاهش می‌یابد که با نتایج Heydari Alamdarloo و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد (۱۴). بیشترین احتمال وقوع کلاس بدون خشکسالی مربوط به شهرستان ابرکوه (۶۸/۳۴) و کمترین مقدار آن مربوط به شهرستان اردکان (۵۳/۵۹) است. این موضوع نشان می‌دهد که بهترین وضعیت

فصلی آن و نیز مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی با توجه به نوسانات پارامترهای اقلیمی صورت گیرد.

ثبات پوشش گیاهی در استان یزد مربوط به شهرستان ابرکوه و کمترین آن مربوط به شهرستان اردکان است.

#### منابع مورد استفاده

1. Abdollahi A, Nezhad M.P, Pradhan B. 2019. Investigation of the Vegetation Cover and the Vulnerability of the Mashhad Regions to Desertification by Using MODIS Image and EVI. In 2019 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom). 46-49. doi:https://doi.org/10.1109/CYBERNETICSCOM.2019.8875666.
2. Ahmadi S, Khosravi H, & Dehghan, P. 2016. Evolution of land use changes using remote sensing (Case study: Hiv basin, Taleghan). International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE), 6(2): 49-55.
3. Almeida-Nauñay A.F, Villeta M, Quemada M, Tarquis A.M. 2022. Assessment of Drought Indexes on Different Time Scales: A Case in Semiarid Mediterranean Grasslands. Remote Sensing, 14(3): 565.
4. Bento VA, Gouveia CM, DaCamara CC, Trigo IF. 2018. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. Agricultural and Forest Meteorology. 259: 286-295.
5. Choubin B, Heydari Alamdarloo E, MosaviA, Sajedi Hosseini F, Ahmad S, Goodarzi M, Shamshirband Sh, 2019. Spatiotemporal dynamics assessment of snow cover to infer snowline elevation mobility in the mountainous regions. Cold Regions Science and Technology, 167: 2019, 102870.
6. Cong D, Zhao S, Chen C, Duan Z. 2017. Characterization of droughts during 2001-2014 based on remote sensing: a case study of Northeast China. Ecological Informatics, 39: 56-67.
7. Dastigerdi M, Nadi M, Sarjaz MR, & Kiapasha K. 2024. Trend analysis of MODIS NDVI time series and its relationship to temperature and precipitation in Northeastern of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 196(4): 1-16.
8. Dehghan Rahimabadi P, & Azarnivand H. 2023. Assessment of the effect of climate fluctuations and human activities on vegetation dynamics and its vulnerability. Theoretical and Applied Climatology, 153(1): 771-786.
9. Dehghan Rahimabadi P, Azarnivand H. Khosravi H. Zehtabian G. Moghaddam Nia A. 2020. An ecological agricultural model using fuzzy AHP and PROMETHEE II approach. DESERT, 26(1): 71-83.

#### نتیجه گیری

نقشه احتمال خطر بیابان‌زایی استان یزد نشان داد که به طور کلی در سه ناحیه قسمت‌های غربی، شرقی و بخش‌های جنوبی مرکز استان یزد احتمال خطر بیابان‌زایی بیشتر از مناطق دیگر است. نکته جالب دیگر در نتایج به دست آمده این است که نواحی شاخص کویری و اراضی بدون پوشش مانند کفه ابرکوه در کلاس خطر بیابان‌زایی کم قرار گرفته است. دلیل آن، این است که این مناطق بیابان واقعی‌اند و پوشش گیاهی بسیار کمی دارند که مختص این مناطق است و دارای مقاومت بالایی است، در نتیجه تخریب در این مناطق کمتر است. این نتیجه توانایی بالای شاخص PVVI در نشان دادن مناطق دارای پتانسیل تخریب نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در مناطق غربی، شرقی و بخش‌های جنوبی استان یزد احتمال خطر تخریب پوشش گیاهی و در نتیجه بیابان‌زایی بیش از دیگر مناطق است که بیشترین احتمال وقوع کلاس بدون خشک‌سالی مربوط به شهرستان ابرکوه ( $VHI=68/34$ ) و کمترین آن مربوط به شهرستان اردکان ( $VHI=53/59$ ) است. شهرستان ابرکوه با  $14/03$  درصد کمترین و شهرستان اردکان با  $46/02$  درصد بیشترین مساحت را در کلاس زیاد شاخص PVVI کلاس‌بندی شد. همچنین نواحی کویری و اراضی بدون پوشش مانند کفه ابرکوه در کلاس خطر بیابان‌زایی کم قرار گرفت که دلیل آن می‌تواند عدم توانایی اکولوژیکی این منطقه در احیا شدن باشد. در نهایت این پژوهش نشان داد که شهرستان‌های اردکان، صدوق و خاتم به ترتیب بیشترین مساحت و شهرستان‌های ابرکوه بافق و مهریز دارای کمترین مساحت کلاس خطر زیاد می‌باشند. با توجه به این دست آورد می‌توان نتیجه گرفت که باید سه شهرستان اردکان، صدوق و خاتم در اولویت کارهای بیابان‌زایی قرار بگیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های آینده تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر حساسیت و واکنش انواع مختلف پوشش گیاهی و تغییرات

- growth, physiology, and yield of crops. *Plant Physiology Reports*, 29(1): 28-36.
21. Karnieli A, Agam N, Pinker R.T, Anderson M, Imhoff M.L, Gutman G.G, Goldberg A. 2010. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of climate*, 23(3): 618-633.
  22. Kocaaslan S, Musaoğlu N, Karamzadeh S. 2021. Evaluating Drought Events by Time-Frequency Analysis: A Case Study in Aegean Region of Turkey. *IEEE Access*, 9, 125032-125041.
  23. Kogan F.N. 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11(8): 1405-1419.
  24. Kogan F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research*, 15(11): 91-100.
  25. Kundu A, Dwivedi S, Dutta D. 2016. Monitoring the vegetation health over India during contrasting monsoon years using satellite remote sensing indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2): 144.
  26. Le Hung T, Hoai D.K. 2015. Drought risk evaluation using remote sensing: a case study in BAC Binh District, Binh Thuan Province. *Scientific Journal of Ho Chi Minh Educational University*.
  27. Magee T.K, Ringold P.L, Bollman M.A. 2008. Alien species importance in native vegetation along wadeable streams, John Day River basin, Oregon, USA. *Plant Ecology*, 195(2): 287-307.
  28. Mansourmoghaddam M, Roustai I, Zamani M, Mokhtari M.H, Karimi Firozjaei M, Alavipanah S.K. 2022. Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. *RS and GIS for Natural Resources*, 12(4): 1-27. (In Persian).
  29. Mutti P.R, Lúcio P.S, Dubreuil V, Bezerra B.G. 2020. NDVI time series stochastic models for the forecast of vegetation dynamics over desertification hotspots. *International Journal of Remote Sensing*, 41(7): 2759-2788.
  30. Pei F, Wu C, Liu X, Li X, Yang K, Zhou Y, Xia G. 2018. Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 215-227.
  31. Quiring S.M, Ganesh S. 2010. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(3): 330-339.
  32. Rayegani B, Zehtabian G, Azarnivand H, Khajedin S.J, Alavipanah S.K. 2014. Survey of vegetation degradation in the East of Esfahan using Lada model. *Journal of rangeland and watershed management*, 67(2): 233-252.
  33. Sadeghi Ravesh M.H, Khosravi. H. 2020. Analysis of the Alternatives to Combat Desertification doi:<https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.303314.1006778>.
  10. Ding Y, Li Z, Peng S. 2020. Global analysis of time-lag and-accumulation effects of climate on vegetation growth. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92: 102179.
  11. Gao Y.H, Xu Y.J, Yang S.Q, Liu C, Ni B.S. 2013. Research and design of a drought remote sensing monitoring system based on the ArcGIS geoprocessing technology. *Journal of Southwest University (natural science edition)*, 35(4):1-7.
  12. Haghghi Khomami M, Tajaddod M.J, Ravanbakhsh M, Jamalzad Fallah F. 2021. Vegetation classification based on wetland index using object based classification of satellite images (Case study: Anzali wetland). *RS and GIS for Natural Resources*, 12(3): 1-17. (In Persian).
  13. Hasheminasab S.N, Jafari R. 2018. Evaluation of Land Use Changes order to Desertification Monitoring Using Remote Sensing Techniques. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(3): 67-82. (In Persian).
  14. Heydari Alamdarloo E, Behrang Manesh M, Khosravi H. 2018. Probability assessment of vegetation vulnerability to drought based on remote sensing data. *Environmental monitoring and assessment*, 190(12): 702.
  15. Heydari Alamdarloo E, Khosravi H, Dehghan Rahimabadi P, & Ghodsi M. 2021. The Effect of Climate Fluctuations on Vegetation Dynamics in West and Northwest of Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(2): 19-28.
  16. Heydari Alamdarloo E, Khosravi H, Nasabpour S, Gholami A. 2020. Assessment of drought hazard, vulnerability and risk in Iran using GIS techniques. *Journal of Arid Land*, 12(6): 984-1000. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0096-4>.
  17. Hill J, Stellmes M, Udelhoven T, Röder A, Sommer S. 2008. Mediterranean desertification and land degradation: mapping related land use change syndromes based on satellite observations. *Global and Planetary Change*, 64(3-4): 146-157.
  18. Jahanthigh M, Jahanthigh M. 2023. Monitoring of vegetation changes using daily Landsat-Modis simulated images at in three years of wet, normal and drought in arid region (Case study: Nimroze city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 14(1): 101-130. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685742>
  19. Jiang W, Niu Z, Wang L, Yao R, Gui X, Xiang F, Ji Y. 2022. Impacts of Drought and Climatic Factors on Vegetation Dynamics in the Yellow River Basin and Yangtze River Basin, China. *Remote Sensing*, 14(4): 930.
  20. Kamatchi KM, Anitha K, Kumar KA, Senthil A, Kalarani MK, Djanaguiraman M. 2024. Impacts of combined drought and high-temperature stress on

- Vegetation Condition Index (VCI). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 129: 103822.
36. Zeng J, Zhou T, Qu Y, Bento VA, Qi J, Xu Y, Li Y, & Wang Q. 2023. An improved global vegetation health index dataset in detecting vegetation drought. *Scientific Data*, 10(1): 338.
37. Zhu X, Leung K.H, Li W.S, Cheung L.K. 2019. Monitoring interannual dynamics of desertification in Minqin County, China, using dense Landsat time series. *International Journal of Digital Earth*, 13(8): 886-898.
- Derived from the Decision-Making Models Using the Social Choice Functions (Case Study of Khezerabad Region in Yazd Province). *J. Env. Sci. Tech.*, 22(4): 227-239.
34. Tran. H.T, Campbell J.B, Tran T.D, Tran H.T. 2017. Monitoring drought vulnerability using multispectral indices observed from sequential remote sensing (Case Study: Tuy Phong, Binh Thuan, Vietnam). *GIScience & Remote Sensing*, 54(2): 167-184.
35. Yin G, He W, Liu X, Xia Y, & Zhang H. 2024. Wetting or greening? Probing the global trends in



## Vegetation Vulnerability Probability Index: A Method for Determining Desertification Risk

Esmail Heydari Alamdarloo, Pouyan Dehghan Rahimabadi, Hassan Khosravi, Javad Rafiei Sharifabad, Hassan Barabadi

Received: 2022-03-18 / Accepted: 2022-07-19 / Available online: 2024-06-26

### Abstract

Determining desertification risk can be a good way to prioritize an area for management and control of the desertification process. One determinant of desertification risk is the use of the Probability of Vegetation Vulnerability Index (PVVI). For this purpose, in this study, LST and EVI of MOD11A2 and MOD13A2 products, respectively, from MODIS sensors were used to calculate TCI and VCI to estimate VHI in Yazd province from 2001 to 2019. VHI, which indicates the severity of drought, was classified into five classes.

**Esmail Heydari Alamdarloo<sup>1</sup>, Pouyan Dehghan Rahimabadi<sup>2</sup>, Hassan Khosravi<sup>3</sup> (✉), Javad Rafiei Sharifabad<sup>4</sup>, Hassan Barabadi<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Postdoc, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. in Combat to Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

<sup>4</sup> Ph.D. in Combat to Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Hormozgan, Iran

<sup>5</sup> Ph.D. in Combat to Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran

DOI: 10.30495/girs.2022.692984

e-mail: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

Then, the probability of occurrence for each class was calculated and multiplied by the weight of each class, which was between zero and 4 based on the severity of the drought. Finally, by adding the values obtained for each class, PVVI was calculated. The results showed that in the western, eastern, and southern parts of Yazd province, the risk of vegetation degradation and consequent desertification is generally higher than in other areas.

The highest probability of Non-drought class occurs in Abarkooh (VHI = 68.34) and the lowest is in Ardakan (VHI = 53.59). Abarkooh with 14.03% and Ardakan with 46.02% have the lowest and the highest areas in the high class of PVVI. Also desert areas and uncovered lands, such as Abarkuh, were at low risk of desertification, which could be due to the ecological inability of this area to regenerate the vegetation cover. In general, the evaluation of the results obtained in this study showed that PVVI can distinguish real deserts from the areas that are at risk of desertification.

**Statement of the Problem:** Determining desertification risk can be a good way to prioritize an area for management and control of desertification process. One determinant of desertification risk is the use of Probability of Vegetation Vulnerability Index (PVVI). This phenomenon, especially in areas facing with drought, can also be more effective and occur gradually, because the progression of drought is slow and its



effects may appear gradually over time. In fact, desertification has been an ecological and environmental issue all over the world, and monitoring is an effective way to treat, which examines the current situation and the severity of the variable and dynamic factors affecting this phenomenon.

This process is always associated with the destruction of soil and water resources, vegetation and other resources under natural and ecological stress conditions.

Due to the high complexity of desertification, it is necessary to study the process and determine the stages of its occurrence in order to achieve prevention and control methods and ultimately sustainable management of desert and degraded areas. In fact, the purpose of assessing and monitoring desertification is to identify the locations of the occurrence and severity of this phenomenon, to predict the risks of this event and the losses resulting from it.

**Purpose:** Vegetation changes over time for various reasons due to natural or human factors that affect the condition and performance of the ecosystem, so the need to detect, predict and care for such changes in an ecosystem is very important.

In this regards, vegetation indices are widely used as criteria for analyzing land cover changes, including vegetation and other factors. In many studies, vegetation indices based on remote sensing have been used to assess the risk of desertification. According to studies, vegetation change, which is one of the most important elements of terrestrial ecosystems and reflects the environmental conditions, can help better management and planning for sustainable development.

Therefore, considering the value of vegetation and its role in assessing land degradation, the purpose of this study is to assess the risk of desertification using time series analysis of vegetation indices in Yazd province and has evaluated the efficiency of this method to assess the risk of desertification.

**Methodology:** The study area is Yazd province in Iran, which is part of the central plateau of Iran and with an area of about 73551 Km<sup>2</sup>, is the fourth largest province in the country. In this study, to assess the risk of desertification in this province, LST and EVI of MOD11A2 and MOD13A2 products, respectively, from MODIS sensor were used to calculate TCI and VCI to estimate VHI in Yazd province during 2001-2019. VHI, which indicates the severity of drought, was classified into five classes.

Then, the probability of occurrence for each class was calculated and multiplied by the weight of each class, which was between zero and 4 based on the severity of the drought. Finally, by adding the values obtained for each class, PVVI was calculated.

**Results and discussion:** The results showed that Yazd and Bafgh cities have the most and the least changes, respectively, around the average value of

TCI. Also, the mean value of TCI in Yazd province during the statistical period (2001 to 2019) is 46.06 with a standard deviation of 24.40, which indicates many changes in this index. The mean value of VCI in Yazd province was 44.55 with a standard deviation of 13.61, which indicates a large change in this index. This indicates that the VCI has fewer changes than the TCI index around the mean.

With mean value of 45.3 and standard deviation of 12.5, VHI have a weak status in terms of vegetation health. Ardakan and Abarkooh counties have the lowest and highest mean VHI, respectively, and Ardakan and Mehriz counties have the lowest and highest standard deviations from the average of VHI, respectively.

Finally, the map of desertification risk in Yazd province showed that in general the risk of desertification is higher in three areas than other areas. The first area is the western part of Yazd province, in which good pastures of Nodoshan are located. The second area includes the east and the third area includes the southern parts of the center of Yazd province.

The interesting point in the results is that desert areas and uncovered lands such as Abarkooh are in low risk of desertification. Ardakan, Sadough and Khatam cities have the highest area and Abarkooh Bafgh and Mehriz cities have the lowest area of high risk class, respectively.

The results of the mean and standard deviation of the three indices including TCI, VCI and VHI, showed that the TCI in most cities has a much higher standard deviation than the other two indices. The reason for this issue is high temperature fluctuations in spring and unevenness of the study area. Examination of the results of changes in VCI and TCI showed that the mean and standard deviation of these two indices are strongly influenced by environmental factors such as unevenness and local climate.

**Conclusion:** The map of desertification risk of Yazd province showed that in general in three areas of the western, eastern and southern parts of the center of Yazd province, the risk of desertification is higher than other areas.

The interesting point in the results is that desert areas and uncovered lands such as Abarkooh are in low risk of desertification because these areas are real deserts and have very little vegetation, which is specific to these areas and has a high resistance, so there is less destruction in these areas.

This result indicated the high ability of the PVVI to show areas with potential for degradation. Finally, this study showed that Ardakan, Sadough and Khatam cities have the highest area and Abarkooh Bafgh and Mehriz counties have the lowest area of high risk class, respectively.

In general, the evaluation of the results obtained in this study showed that PVVI has the ability to

distinguish real deserts from the areas that are at risk of desertification.

**Keywords:** Desertification, Vegetation Cover, Remote Sensing, Yazd.

Please cite this article as: Heydari Alamdarloo E, Dehghan Rahimabadi P, Khosravi H, Rafiei Sharifabad J, Barabadi H. Vegetation Vulnerability Probability Index: A Method for Determining Desertification Risk. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 15(1): 1-19