

## بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی با شاخص‌های سنجش‌ازدوری در حوضه شوراب سمنان (مقاله پژوهشی)

۱- علی اکبر رستمی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۲- محمد رحیمی\*، استاد، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.  
mrahimi@semnan.ac.ir

۳- علی اکبر دماوندی، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲

### چکیده

خشکسالی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که تأثیرات فراوانی بر منابع طبیعی، کشاورزی و اقتصاد جوامع بشری دارد. در میان انواع مختلف خشکسالی، خشکسالی هواشناسی به دلیل ارتباط مستقیمی که با شرایط جوی و تغییرات دما و بارش دارد به‌عنوان شاخص اصلی در بررسی و تحلیل خشکسالی‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت شناخته می‌شود. این پدیده با تأثیر بر میزان بارش‌ها و تغییرات دمای سطح زمین می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر پوشش گیاهی و منابع آب در مناطق مختلف تأثیر بگذارد. حوضه شوراب سمنان، به‌عنوان یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، تحت تأثیر نوسانات اقلیمی و تغییرات دمای سطح زمین قرار دارد. در این پژوهش برای بررسی رابطه خشکسالی با پوشش گیاهی از شاخص VHI استفاده گردید. برای رسیدن به این هدف ابتدا شاخص سلامت پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ برای چهار دوره ۱۶ روزه مربوط به ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد محاسبه شد که اکثر پوشش‌های گیاهی حوزه در ماه‌های مذکور در اوج شادابی می‌باشند. سپس شاخص SPEI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی موجود در محدوده مورد مطالعه و اطراف آن محاسبه گردید و با روش درون‌یابی فاصله معکوس پهنه‌بندی شد. در گام بعدی همبستگی و شیب اثر شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده در مقیاس ۱۲ ماهه با شاخص سلامت پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده، همبستگی مناسبی با تغییرات وضعیت پوشش گیاهی در ماه فروردین و اردیبهشت دارد. همچنین نتایج ارزیابی حساسیت پوشش گیاهی حوضه مذکور به نوسانات اقلیمی و خشکسالی‌های ماه فروردین، با استفاده از شاخص سلامت پوشش گیاهی، نشان‌دهنده واکنش متنوع پوشش گیاهی به تغییرات اقلیمی است.

**واژگان کلیدی:** خشکسالی هواشناسی، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، سنجش‌ازدور، شاخص VHI.

### مقدمه

از جمله اثرات خشکسالی‌ها می‌توان به دمای بالا، وزش بادهای شدید، رطوبت نسبی کم، کمبود بارش و توزیع نامناسب بارش در طی سال، به‌ویژه در دوره رشد گیاهان اشاره کرد. برخلاف خشکی که ویژگی دائمی اقلیم محسوب می‌شود و محدود به نواحی کم بارش است، خشکسالی پدیده‌ای موقتی است و به شرایط اقلیمی خاصی محدود نمی‌شود. فعالیت‌های

در چند دهه اخیر، خشکسالی (به‌عنوان یک خطر طبیعی) توجه بسیاری از دانشمندان حوزه‌های مختلف را به خود جلب کرده است. خشکسالی‌ها، در همه نواحی اقلیمی، از نواحی خشک و کم‌باران تا نواحی بسیار مرطوب و پر باران، اتفاق می‌افتند و عمده‌تاً از کاهش در مقدار بارش دریافتی در دوره زمانی معین (یک‌فصل یا سال معین) ناشی می‌شود.

[۱۷، ۱۳، ۳۵]. آنچه به عنوان یک نقص اساسی در پایش دمای سطح زمین به شمار می‌آید، نبود ایستگاه‌های هواشناسی کافی جهت آگاهی از مقادیر دمایی در نقاط فاقد ایستگاه است. با توجه به محدودیت اطلاعاتی که در تأمین داده‌ها به‌ویژه در وسعت زیاد با مشکلات و موانع فراوانی همراه است و دستیابی در زمان واقعی سخت و یا غیرممکن است. بنابراین، لزوم استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور با شرایط زمانی، همراه با ویژگی پیوستگی و داده‌برداری در محدوده‌های گسترده بسیار می‌تواند کارا باشد [۱۴]. با توجه به تحقیقات گذشته که تاثیر خشکسالی را بر تخریب پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین نمایان ساختند و همچنین با توجه به این موضوع که اکثر تحقیقات پیشین بر کمبود ایستگاه‌های هواشناسی صحنه گذاشته‌اند تحقیق حاضر در جهت آشکارسازی اثر خشکسالی هواشناسی بر پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در حد پیکسل در یک منطقه خشک و با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری صورت گرفت.

در این پژوهش هدف بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی با تغییرات پوشش و دمای سطح زمین می‌باشد که فرض شده است که با بروز خشکسالی، دمای سطح زمین افزایش یافته و به‌تنبوب آن با کاهش بارش و افزایش دمای سطح زمین، پوشش گیاهی نیز کاهش می‌یابد؛ که با بهره‌گیری هم‌زمان از شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI در بازه‌های زمانی مختلف (۳ و ۱۲ ماهه) و شاخص تلفیقی VHI حاصل از داده‌های سنجش‌ازدور، به بررسی دقیق و مقایسه‌ای روابط میان خشکسالی هواشناسی، دمای سطح زمین (LST) و وضعیت پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان پرداخته شده است. همچنین در این تحقیق اهداف فرعی مانند بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی با تغییرات پوشش و دمای سطح زمین در ماه‌های مختلف سال و ارزیابی همبستگی این پارامترها در سطح ماهانه مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. نوآوری این تحقیق در تحلیل مکانی-زمانی پیکسل‌محور شاخص‌های مذکور با دقت بالا در محدوده‌ای خاص و کمتر بررسی شده و

انسانی مانند توسعه بیش‌ازحد کشاورزی، بهره‌برداری بیش‌ازحد منابع آبی، جنگل‌زدایی و فرسایش به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در ایجاد و تشدید خشکسالی دخالت دارند [۳]. به‌طور کلی ۴ نوع خشکسالی وجود دارد که شامل: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آب‌شناسی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی می‌شود. در این تحقیق خشکسالی هواشناسی مورد بررسی قرار خواهد گرفت که تأثیر مهمی بر دمای سطح زمین و پوشش گیاهی دارد: از دیگر اثرات خشکسالی بر محیط طبیعی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: ۱- افزایش دما: در دوران خشکسالی، اغلب دماها بالا می‌رود که این افزایش دمای می‌تواند اثرات مخربی بر رشد گیاهان داشته باشد. ۲- کاهش رطوبت هوا: خشکسالی معمولاً با کاهش رطوبت هوا همراه است که منجر به تبخیر سریع‌تر آب از سطح زمین و گیاهان می‌شود. ۳- کاهش پوشش گیاهی: خشکسالی معمولاً به کاهش پوشش گیاهی منجر می‌شود. ۴- افزایش خطر حریق: در دوران خشکسالی، ریسک حریق جنگلی و خشکیدگی خاک افزایش می‌یابد که می‌تواند به تخریب پوشش گیاهی و تغییرات جدی در مناظر طبیعی منجر شود. بنابراین، خشکسالی هواشناسی می‌تواند به تغییرات دمای سطح زمین و پوشش گیاهی منجر شود و این تأثیرات ممکن است در تضمین موازنه بیولوژیکی و محیط‌زیست مناطق مختلف تأثیرگذار باشند [۱۸، ۲۰، ۲۴، ۲۵، ۳۳].

درجه حرارت نیز در طبقه‌بندی آب‌وهوا یکی از عوامل مهم در تعیین نوع و میزان پوشش گیاهی طبیعی و زراعی است. در مناطق خشک و بیابانی با کاهش دما و کاهش رطوبت، پوشش گیاهی به گیاهانی با تطابق بیشتر با این شرایط، مانند گیاهان خاردار و خشکی مقاوم می‌شود. به‌طور کلی، هر نوع گیاهی دارای تحمل و حساسیتی نسبت به دما است. با افزایش دما، برخی گیاهان ممکن است روند رشد و عملکرد خود را افزایش دهند در حالی که دیگران ممکن است تحمل کمتری داشته باشند. در عین حال کاهش دما نیز می‌تواند روی رشد و عملکرد گیاهان تأثیر بگذارد

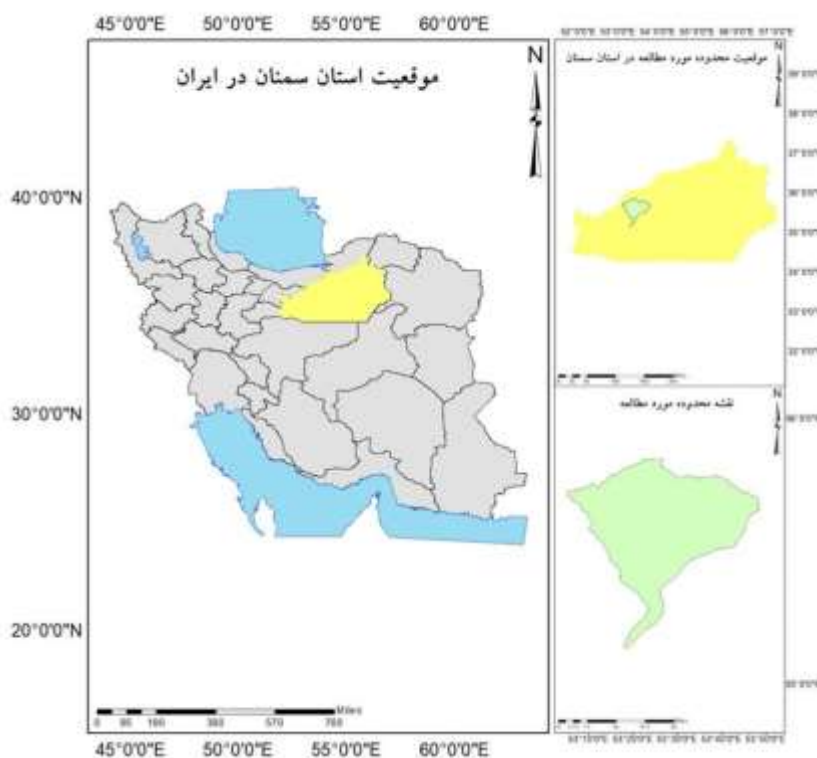
مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشد، در ناحیه‌ای نیمه‌خشک و بیابانی در شمال شرق ایران و استان سمنان واقع شده است. بارش‌های سالانه در حوضه شوراب سمنان کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر است و بیشتر در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهند. با این حال، در تابستان‌ها به دلیل افزایش تبخیر و کاهش رطوبت هوا، شرایط خشکی در منطقه شدت می‌یابد. این ویژگی‌ها باعث شده‌اند که برای پوشش گیاهی و تأمین منابع آبی چالش‌های زیادی ایجاد کند. حوضه آبخیز شوراب سمنان، در شمال غرب استان سمنان با طول تقریبی ۸۰ کیلومتر و مساحتی در حدود ۲۱۹۸۳۳ هکتار، در مختصات جغرافیایی بین ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱۸ ثانیه درجه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۷ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۴ ثانیه درجه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

همچنین ترکیب رویکردهای هواشناسی و سنجش‌ازدور برای پایش چندجانبه خشکسالی می‌باشد و تأخیر زمانی نیز مورد بررسی قرار گرفت. به عبارت دیگر در هر ناحیه مشخص می‌گردد که کدام شاخص خشکسالی با تأخیر زمانی بیشترین همبستگی را با پوشش گیاهی (به صورت پیکسلی) دارد.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

کشور ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشک جهانی، وجود فاصله از اقیانوس‌ها و دریاها و ... جزء کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. استان سمنان نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی آن در کشور و دشت مرکزی ایران دارای اقلیم خشک بوده و یکی از استان‌هایی می‌باشد که نمایانگر مناسبی از اقلیم خشک و بیابانی در کشور می‌باشد. همچنین حوضه شوراب سمنان که منطقه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

## داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده شامل دو محصول ماهواره‌ای MODIS برای تحلیل پوشش گیاهی و دمای سطح زمین است. برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی، از محصول MYD13Q1 استفاده شده که شاخص پوشش گیاهی بازسازی شده (EVI) را در هر پیکسل ارائه می‌دهد. شاخص EVI حساسیت بالاتری نسبت به مناطق با بیوماس بالا دارد و دقت بالاتری را در تشخیص مناطق با پوشش گیاهی متراکم فراهم می‌کند. محصول MYD13Q1 از سنجنده MODIS دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر بوده و در قالب تصاویری با شبکه‌ای از پیکسل‌ها در ابعاد حدود ۴۸۰۰×۴۸۰۰ ارائه می‌شود (۷).

همچنین برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت بارندگی و دمای سطح زمین در استان سمنان، ابتدا مجموعه‌ای از داده‌های هواشناسی شامل مقادیر بارش و دمای میانگین ماهانه از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و کلیماتولوژی کشور که در محدوده جغرافیایی این استان و نواحی هم‌جوار آن قرار دارند، گردآوری شد. ایستگاه‌های انتخابی شامل سمنان، گرمسار، شاهرود، ایوانکی، میامی، فیروزکوه، فیروزکوه (آلودگی زمینه جو)، دامغان، بیارجمند و مهدی‌شهر بودند که داده‌های آن‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مورد مطالعه

ردیف	نام	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	بیارجمند	سمنان	۵۵/۸۰۵۲۸	۳۶/۰۸۵۸۳
۲	دامغان	سمنان	۵۴/۳۶۶۶۷	۳۶/۱۵
۲	ایوان کی	سمنان	۵۲/۰۷	۳۵/۳۳۳۳۳
۴	فیروزکوه	تهران	۵۲/۷۳۳۳۳	۳۵/۷۵
۵	فیروزکوه (آلودگی زمینه جو)	تهران	۵۲/۵۸۶۶۷	۳۵/۷۰۲۵
۶	گرمسار	سمنان	۵۲/۳۶۰۲۸	۳۵/۲۴۳۰۶
۷	مهدی‌شهر	سمنان	۵۳/۳۳۳۳۳	۳۵/۷
۸	میامی	سمنان	۵۵/۶۳۳۱	۳۶/۴
۹	شاهرود	سمنان	۵۴/۹۲۹۷۲	۳۶/۳۸۰۵۶
۱۰	سمنان	سمنان	۵۳/۴۲۱۳۹	۳۵/۵۸۸۳۳

## نرم‌افزارهای مورد استفاده

در مراحل مختلف این تحقیق برای محاسبه و تجزیه و تحلیل شاخص‌های مورد استفاده، از نرم‌افزارهای مختلفی استفاده گردید که از آن جمله می‌توان به برنامه‌ها و نرم‌افزارهای متلب، گوگل ارث انجین، Arc gis 10.8 و Terrset 2020 اشاره کرد.

## روش تحقیق

شاخص استاندارد شده بارش\_تبخیر و تعرق (SPEI)<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

توزیع سه پارامتری لوگ-لجستیک مناسب‌ترین توزیع برای استانداردسازی سری  $D$  جهت تعیین شاخص SPEI است. تابع چگالی احتمال توزیع سه پارامتری لوگ-لجستیک به صورت معادله (۵) محاسبه می‌شود. [۳۱]

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-2} \quad (5)$$

روش گشتاورها مطمئن‌ترین و ساده‌ترین روش برای محاسبه پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  می‌باشند [۱]. تابع توزیع تجمعی (CDF) توزیع سه پارامتری لوگ لجستیک براساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-1} \quad (6)$$

در گام نهایی، مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر  $(D_i)$  (مقادیر  $F(x)$ ) به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌شوند که معادل مقادیر شاخص SPEI هستند. همچنین، شاخص SPEI را می‌توان به‌ازای مقادیر استاندارد شده  $F(x)$  با استفاده از معادله زیر به دست آورد [۲۹].

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (7)$$

در این معادله  $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$  اگر  $P=1-P$  باشد اما اگر  $P > 0.5$  باشد  $F(x) \leq 0.5$  جایگزین می‌شود و علامت SPEI قرینه می‌شود. همچنین مقادیر  $C_0, C_1, C_2$  و مقادیر  $d_1, d_2, d_3$  اعداد ثابتی هستند. این شاخص در بازه زمانی موردنظر برای هر ایستگاه هواشناسی محاسبه و سپس در نرم‌افزار ArcGIS برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW) پهنه‌بندی شد.

### شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI)<sup>۲</sup>

شاخص EVI در سال ۱۹۹۹ به منظور بهبود تحلیل داده‌های MODIS معرفی شد و الگوریتم محاسباتی آن در معادله (۸) آورده شده است [۱۵].

در محاسبه این شاخص، تفاوت بین میزان بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل به‌عنوان متغیر اصلی در نظر گرفته می‌شود. تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از دو پارامتر کلیدی، یعنی دمای روزانه و موقعیت جغرافیایی (عرض جغرافیایی) در محیط نرم‌افزار متلب محاسبه گردید. برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) در این پژوهش، از معادله تورنت وایت که در سال ۱۹۴۸ معرفی شده است، استفاده گردید. معادله تورنت وایت براساس دمای میانگین ماهانه و طول روز، مقدار PET را محاسبه می‌کند و این مقدار به‌طور مستقیم در محاسبه شاخص SPEI به‌کار می‌رود.

$$PET = 16 N_m \left(\frac{10 T_m}{I}\right)^a \quad (1)$$

در این معادله، ضریب تصحیحی  $N_m$  بسته به ماه موردنظر و عرض جغرافیایی منطقه مطالعه محاسبه می‌شود. همچنین،  $T_m$  به‌عنوان میانگین دمای ماهانه در درجه سانتی‌گراد تعریف می‌شود. شاخص حرارتی  $I$  برای کل سال محاسبه شده و  $a$  به‌طور مستقیم از مقدار  $I$  استخراج می‌گردد. پس‌از آن، با استفاده از معادله (۳) کمبود یا مازاد آب ماهانه به دست می‌آید و در مرحله بعد،  $X_{i,j}^k$  از معادله (۴) محاسبه می‌شود. در این معادلات،  $i$  نمایانگر سال،  $j$  نمایانگر ماه و  $K$  نشان‌دهنده مقیاس زمانی است. تفاضل بین بارش  $(P)$  و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) برای ماه  $i$  از طریق معادله (۲) محاسبه می‌شود:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

برای محاسبه شاخص SPEI، لازم است که احتمال تجمعی مقادیر  $D_i$  با استفاده از برازش یک تابع چگالی احتمال محاسبه شود؛ بنابراین، در محاسبه شاخص SPEI از توزیع لوگ لجستیک استفاده شد. تابع چگالی احتمال سری‌های  $D$  براساس توزیع لوگ لجستیک سه پارامتری از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-1} \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-2} \quad (4)$$

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,l} & \text{if } j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,l} & \text{if } j \geq k \end{cases}$$

<sup>2</sup> Enhanced Vegetation Index

معادله (۸):

$$EVI = \frac{NIR - R}{NIR + C1 \times R - C2 \times B + L} (1 + L)$$

در شاخص EVI که برای تحلیل پوشش گیاهی به کار می‌رود، بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک (NIR)، بازتاب در باند قرمز (R) و بازتاب در باند آبی (B) در معادله لحاظ شده‌اند. همچنین، مقادیر ثابت برای این شاخص به صورت  $L=1$ ،  $C1=6$  و  $C2=5/7$  تعریف شده است. [۱۶، ۱۲].

### شاخص دمای سطح زمین (LST)<sup>۳</sup>

در این پژوهش، برای محاسبه دمای سطح زمین (LST)، از داده‌های موجود در محصول MOD11A2 استفاده شده است. این داده‌ها از ابتدای سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۲ به صورت میانگین ماهانه محاسبه و تحلیل شدند [۳۴].

### شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)<sup>۴</sup>

این شاخص براساس حداقل و حداکثر مقادیر EVI در یک دوره چندساله محاسبه می‌شود و رابطه آن به صورت زیر است:

$$VCI = \frac{EVI_i - EVI_{min}}{EVI_{max} - EVI_{min}} \times 100 \quad \text{معادله (۹)}$$

در این معادله  $EVI_i$ ،  $EVI_{max}$  و  $EVI_{min}$  به ترتیب ارزش EVI یک پیکسل خاص در سال  $i$ ام، بیشترین ارزش و کمترین ارزش EVI همان پیکسل در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ است [۸].

### شاخص شرایط دمایی (TCI)<sup>۵</sup>

رابطه TCI به صورت زیر است:

$$TCI = \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} \times 100 \quad \text{معادله (۱۰)}$$

در اینجا  $LST_i$  و  $LST_{max}$  و  $LST_{min}$  به ترتیب ارزش  $LST$  یک پیکسل خاص در سال  $i$ ام، بیشترین و کمترین ارزش  $LST$  برای همان پیکسل در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ می‌باشد.

### شاخص سلامتی گیاهان (VHI)<sup>۶</sup>

در این مطالعه، برای ارزیابی اثر خشکسالی‌های هواشناسی بر خشکسالی کشاورزی در حوضه شوراب سمنان، از شاخص‌های EVI و LST در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. این ماه‌ها به دلیل شرایط بهینه رشد پوشش گیاهی در این دوره انتخاب شده‌اند. برای محاسبه این شاخص‌ها، از محصولات ماهواره‌ای MOD11A2 برای LST و MOD13A2 برای EVI استفاده گردید. هر دو محصول دارای رزولوشن مکانی ۱ کیلومتر و به صورت داده‌های ۱۶ روزه در دسترس هستند. ابتدا، تصاویر مربوط به حوضه شوراب سمنان از این محصولات استخراج شد. پس از آن، تصاویر 8 LST روزه از محصول MOD11A2 با میانگین‌گیری به تصاویر ۱۶ روزه تبدیل شدند تا هماهنگی زمانی بین داده‌های LST و EVI برای ماه‌های هدف در هر سال برقرار گردد.

در این مطالعه، VHI با محاسبه هر دو شاخص VCI (شاخص پوشش گیاهی) و TCI (شاخص وضعیت دما) که به ترتیب از داده‌های LST و EVI حاصل شده، به صورت زیر محاسبه گردید (معادله ۴) [۹].

معادله (۳):

$$VHI = \alpha \times VCI + (1 - \alpha) \times TCI$$

در این معادله وزن شاخص‌های VCI و TCI را در VHI مشخص می‌کند. در این مطالعه به علت مشخص نبودن نیاز گیاهان در طول چرخه رشد، ضریب  $\alpha$  برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود [۵].

### نتایج

#### مشخص کردن ماه هدف

در شکل ۲، میانگین ماهانه بلندمدت شاخص EVI طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ به تصویر کشیده شده است. در این مطالعه، ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد به عنوان ماه‌های هدف برای بررسی اثرات خشکسالی و رابطه آن با پوشش گیاهی

<sup>۶</sup> vegetation health index

<sup>۳</sup> Land Surface Temperature

<sup>۴</sup> Land Surface Temperature

<sup>۵</sup> Temperature Condition Index

داده است. در سال ۲۰۰۷، احتمالاً بیشترین مقادیر شاخص SPEI گواهی بر وقوع بارش‌های فراوان و شرایط مساعد رطوبتی در بیشتر نواحی حوضه آبخیز شوراب سمنان بود؛ بنابراین سال ۲۰۰۷ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال (بیشترین مقدار شاخص SPEI) شناسایی گردید.

همچنین شاخص SPEI در مقیاس دوازده‌ماهه در سال ۲۰۲۰ با شرایط خشکسالی شدیدتر از دیگر سال‌ها با درصد مساحت ۷۶/۰۲ درصد به‌عنوان خشک‌ترین سال ثبت شد.

شکل ۳-ج زمان وقوع مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال‌ها در حوضه آبخیز شوراب سمنان را براساس شاخص SPEI در بازه زمانی دوازده‌ماهه در ماه خرداد نشان می‌دهد. مقادیر مثبت شاخص SPEI در این سال می‌تواند نشان‌دهنده بارش‌های قابل‌توجه و شرایط اقلیمی مساعد برای رشد پوشش گیاهی و تأمین منابع آبی منطقه باشد.

### ارزیابی دمای سطح زمین

دمای سطح زمین (LST) یکی از پارامترهای کلیدی در بررسی شرایط اقلیمی و تغییرات زیست‌محیطی محسوب می‌شود. در این بخش، تغییرات LST در ماه فروردین در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ برای منطقه شوراب سمنان ارزیابی شده است (شکل ۴-الف). نتایج حاکی از آن است که این منطقه در طول دو دهه گذشته، الگوهای متفاوتی از کمینه و بیشینه دما را تجربه کرده است که در زیر به تفصیل آمده است.

تحلیل نتایج نشان‌داد که در میان سال‌های موردبررسی، ۲۰۰۹ با پوشش ۲۴/۱۹ درصد از مساحت منطقه، پایین‌ترین دماهای ثبت‌شده را به خود اختصاص داده است. پس‌از آن، سال ۲۰۱۹ با ۲۲/۹۸ درصد و ۲۰۲۰ با ۱۹/۶۳ درصد از مساحت منطقه، به‌عنوان دیگر سال‌های با کمترین دما در این ماه در بازه موردبررسی، شناخته شدند.

از سوی دیگر، نتایج حاکی از آن است که سال ۲۰۰۱ با پوشش ۴۹/۶۹ درصد از منطقه، بیشترین دمای سطح زمین را در ماه فروردین ثبت کرده است

انتخاب شدند. این انتخاب براساس تحلیل میانگین درازمدت شاخص <sup>۷</sup>EVI در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ صورت گرفت. نتایج نشان‌داد که این ماه‌ها بیشترین مقدار شاخص EVI را در طول این دوره داشتند و به همین دلیل برای ادامه مطالعه انتخاب شدند. به‌طور خاص، ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد نشان‌دهنده بیشترین تغییرات مثبت در پوشش گیاهی بوده و به همین دلیل به‌عنوان ماه‌های هدف برای تحلیل‌های بعدی انتخاب شدند.

### ارزیابی خشکسالی

شکل ۳-الف زمان وقوع مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال‌ها در منطقه شوراب سمنان را براساس شاخص SPEI در بازه زمانی (۱۲ ماهه) در ماه فروردین را نمایش می‌دهد. این تحلیل‌ها تغییرات خشکسالی و شرایط مرطوب را در طول سال‌های مختلف بررسی کرده است. که در محیط نرم‌افزار Arcgis و با روش IDW پهنه‌بندی شدند. نتایج نشان‌داد که در ماه فروردین سال ۲۰۰۷، در مقیاس‌های بلندمدت (۱۲ ماهه)، تقریباً در تمامی نواحی به‌عنوان مرطوب‌ترین سال شناسایی شد. بیشترین میزان شاخص SPEI می‌تواند حاکی از وقوع بارش‌های مطلوب و شرایط اقلیمی مساعد در بازه‌های زمانی مختلف باشد. کمترین مقادیر شاخص SPEI در این مقیاس‌ها، نمایانگر خشکسالی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر بود.

در شکل ۳-ب، ارزیابی خشکسالی در حوضه آبخیز شوراب سمنان با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI برای بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در ماه اردیبهشت نشان داده شده است. تحلیل‌های خشکسالی در مقیاس زمانی دوازده‌ماهه صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده، نمایانگر نوسانات قابل‌توجه در شرایط اقلیمی حوضه شوراب سمنان است. همچنین نتایج حاکی از آن است که شاخص SPEI، سال ۲۰۰۷ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال شناخته شد که بیش از ۹۶ درصد از منطقه را تحت پوشش قرار

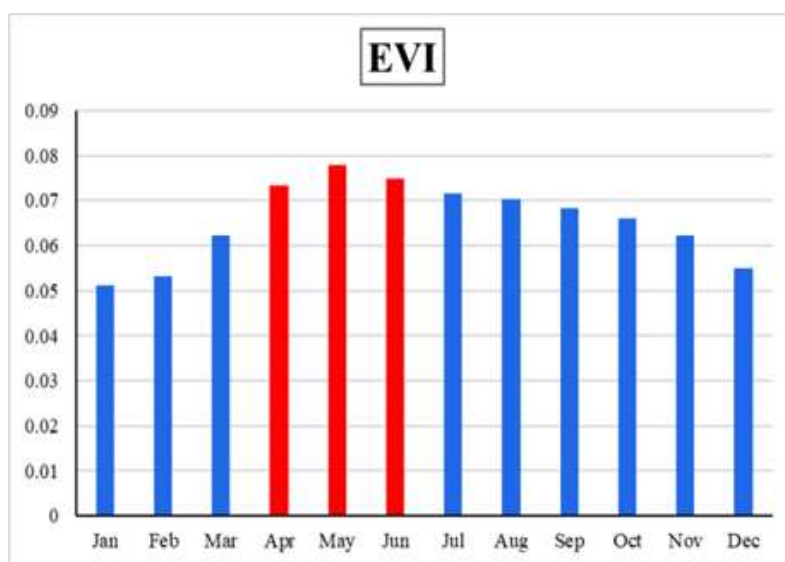
<sup>7</sup> Enhanced Vegetation Index

کاهش بارندگی و افزایش تأثیرات خشکسالی در آن سال بوده است. علاوه بر آن، سال‌های ۲۰۱۱ (۲۹/۸۱ درصد) و ۲۰۱۷ (۱۷/۸۱ درصد) نیز بیشترین مقادیر دمای سطح زمین را در این ماه ثبت کردند.

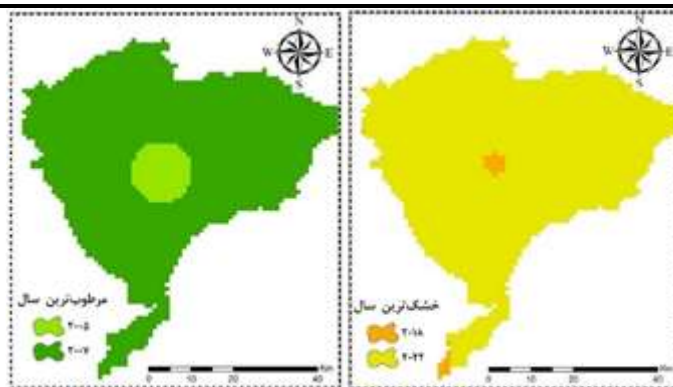
بررسی زمان وقوع تغییرات دمای سطح زمین (LST)، در ماه خرداد در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در منطقه شوراب سمنان، در شکل ۴-ج نشان داده شده است. نتایج به وضوح نشان داد که زمان وقوع کمترین میزان شاخص دمای سطح زمین در ماه خرداد به سال ۲۰۰۹ تعلق دارد که ۸۴/۸۰ درصد از مساحت منطقه را تحت پوشش قرار داده است. از سوی دیگر، بیشترین میزان شاخص دمای سطح زمین در همین ماه در سال ۲۰۲۱ ثبت شده است که ۷۱/۵۰ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. علاوه بر آن، سال ۲۰۱۷ نیز با ۱۹/۹۵ درصد از مساحت منطقه به عنوان یکی دیگر از سال‌های با بیشترین میزان شاخص دمای سطح زمین شناخته شد.

که شامل بخش‌هایی از شرق، شمال شرقی و جنوب محدوده مورد مطالعه را شامل شده است. پس از آن، سال ۲۰۲۱ با ۳۰/۸۴ درصد و ۲۰۰۸ با ۱۹/۳۵ درصد از مساحت منطقه، به ترتیب در جایگاه دوم و سوم سال‌های با بیشترین دما قرار گرفتند.

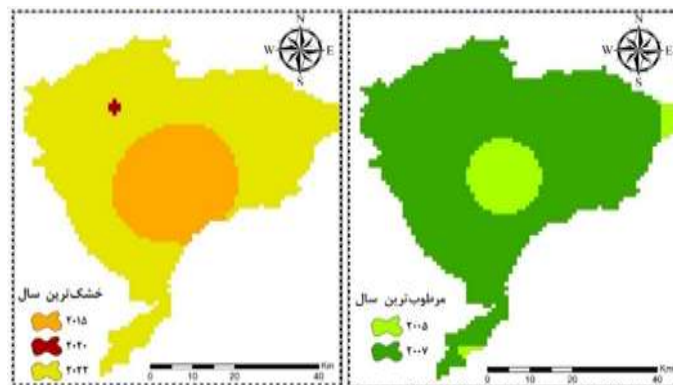
شکل ۴-ب تغییرات دمای سطح زمین (LST) در ماه اردیبهشت، الگوهای مشخصی از کمینه و بیشینه دما را در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در منطقه شوراب سمنان نشان می‌دهد. کمترین مقادیر دمای سطح زمین در ماه اردیبهشت مربوط به سال ۲۰۱۸ بوده است که ۳۴/۴۷ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته است. پس از آن، سال ۲۰۰۳ با ۲۵/۶۸ درصد، ۲۰۰۹ با ۱۵/۴۳ درصد و ۲۰۲۲ با ۱۲/۹۱ درصد از مساحت منطقه، کمترین میزان شاخص دمای سطح زمین را در بازه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر همان‌طور که به وضوح در شکل مشخص است، بیشترین دمای سطح زمین در ماه اردیبهشت به سال ۲۰۰۱ با مساحت ۳۵/۷۸ درصد از منطقه مورد مطالعه است. این شرایط احتمالاً ناشی از



شکل ۲- میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲



الف) ماه فروردین

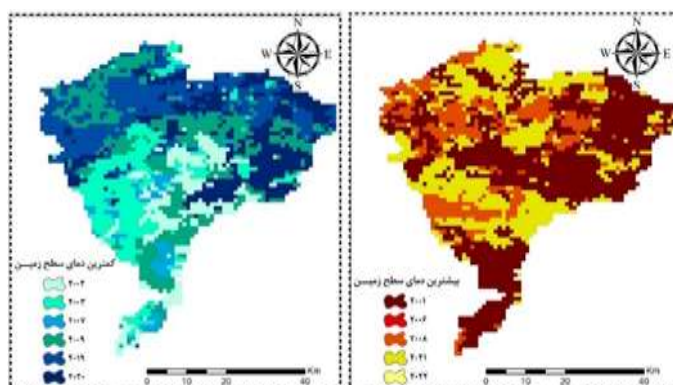


ب) ماه اردیبهشت

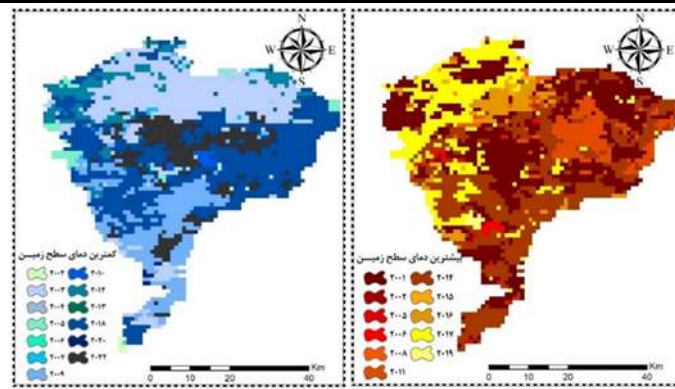


ج) ماه خرداد

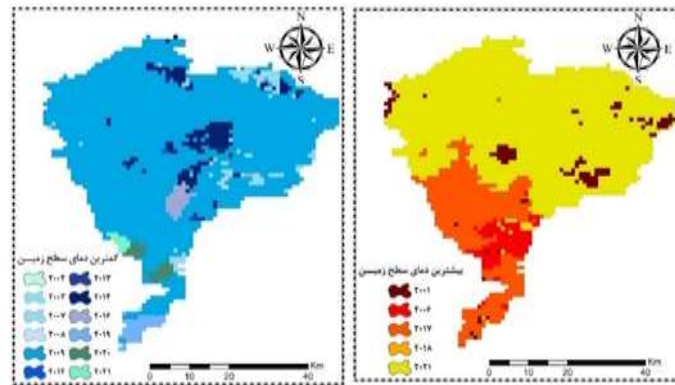
شکل ۳- زمان وقوع شدیدترین ترسالی و خشکسالی دوازده‌ماهه در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد



الف) ماه فروردین



ب) ماه اردیبهشت



ج) ماه خرداد

شکل ۴- زمان وقوع شدیدترین و کمترین میزان شاخص LST در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد

کم‌تنش، داده‌های این سال مورد تحلیل بیشتر قرار گرفت و با استفاده از شاخص VHI، طبقه‌بندی پوشش گیاهی برای ماه فروردین انجام شد. نتایج حاصل از این طبقه‌بندی، سه طبقه اصلی را برای وضعیت پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۰ مشخص کرد (جدول ۲). نکته جالب این است که در سال ۲۰۲۰ در ماه فروردین، هیچ‌گونه منطقه‌ای در طبقات خشکسالی خیلی شدید و خشکسالی شدید قرار نداشت و بیش از ۹۰ درصد از مساحت منطقه در طبقه بدون خشکسالی جای گرفت. این وضعیت استثنایی در مقایسه با سایر سال‌ها، نشان‌دهنده بهبود قابل توجه سلامت پوشش گیاهی و کاهش اثرات خشکسالی در این سال است.

### نتایج ارزیابی شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

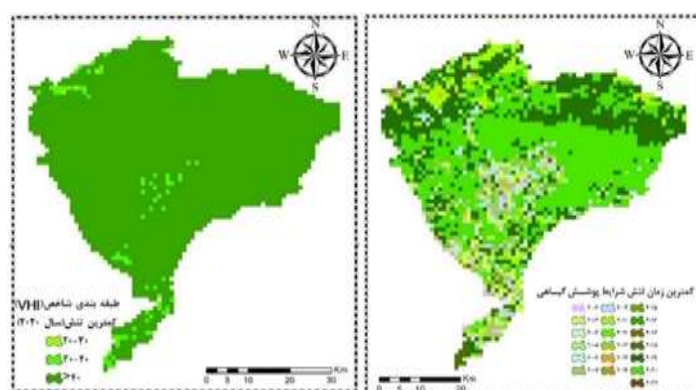
در این پژوهش، روند تغییرات تنش پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از شاخص VHI مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵- الف). برای این منظور، ابتدا کمترین میزان تنش پوشش گیاهی در بازه زمانی مذکور محاسبه شد و سال ۲۰۲۰ به‌عنوان سال با کمترین میزان تنش انتخاب گردید. نتایج نشان داد که ۴۲/۵۴ درصد از مساحت منطقه در سال ۲۰۲۰ در وضعیت کم تنش قرار داشته است که این نشان‌دهنده شرایط اقلیمی و محیطی مطلوب در آن سال در مقایسه با سایر سال‌ها است. پس از شناسایی سال ۲۰۲۰ به‌عنوان سال

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص VHI در ماه فروردین

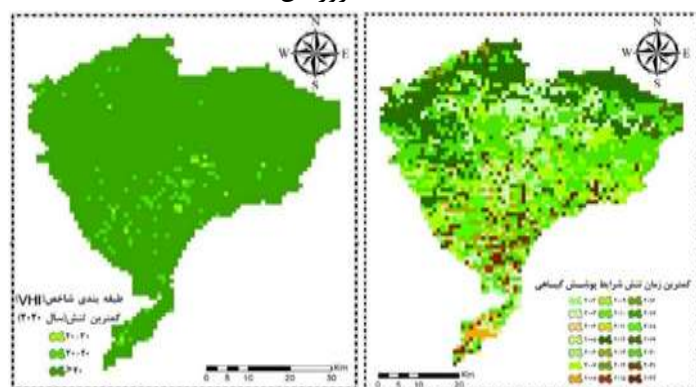
سطح شدت	ارزش VHI (سال ۲۰۲۰)
۰.۱۱	۳۰--۲۰
۲.۸۶	۴۰-۳۰
۹۷.۰۱	۴۰<

شکل (۵-ج) روند تغییرات تنش پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از شاخص VHI را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌داد که در ماه اردیبهشت، سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۲ به ترتیب با مساحت ۲۳/۸۳ درصد و مساحت ۲۲/۰۵ درصد، کمترین تنش پوشش گیاهی را در میان سال‌های بررسی شده تجربه کردند. در این ماه کمترین میزان تنش پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۹ با مساحت ۳۸/۲۳ درصد مشاهده شده است.

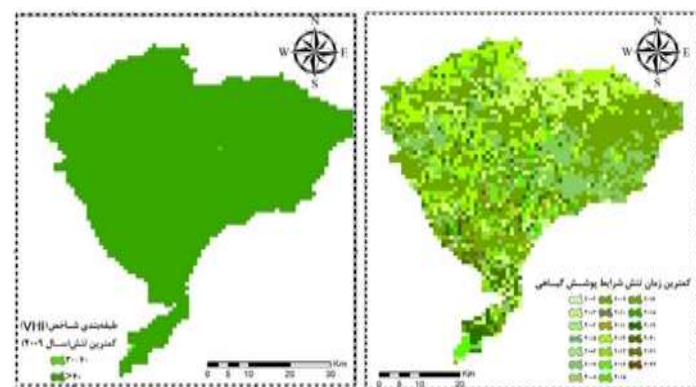
روند تغییرات تنش پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از شاخص VHI در شکل (۵-ب) نشان داده شده است. کمترین میزان تنش پوشش گیاهی برای هرماه از سال‌ها محاسبه شده است. در ماه اردیبهشت، سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۲ به ترتیب با مساحت ۲۳/۸۳ درصد و مساحت ۲۲/۰۵ درصد، کمترین تنش پوشش گیاهی را در میان سال‌های بررسی شده تجربه کردند.



الف) ماه فروردین



ب) ماه اردیبهشت



ج) ماه خرداد

شکل ۵- زمان وقوع کمترین تنش پوشش گیاهی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد

دقیق‌تر، طبقه‌بندی شاخص VHI براساس این سال و در ماه فروردین انجام شد که نشان‌داد منطقه در این سال در پنج کلاس مختلف قرار گرفت (جدول ۳). از این پنج کلاس، ۳۹/۴۴ درصد از مساحت منطقه در کلاس خشکسالی خیلی شدید و ۲۹/۱۴ درصد در کلاس خشکسالی شدید قرار گرفتند که نشان‌دهنده تنش بسیار شدید و وضعیت بحرانی پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۱ است.

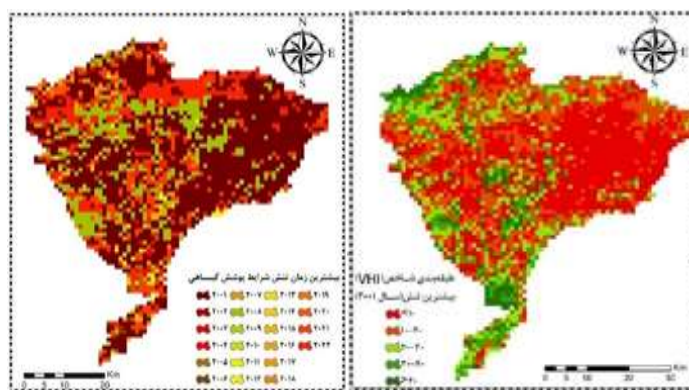
روند تغییرات تنش پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از شاخص VHI مورد بررسی قرار گرفت که در شکل (۶-الف) نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن بود که در ماه فروردین از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، پرتنش‌ترین سال از نظر وضعیت پوشش گیاهی مربوط به سال ۲۰۰۱ بوده است. در این سال، ۵۵ درصد از مساحت منطقه در وضعیت بحرانی و تحت تأثیر خشکسالی شدید قرار داشت. برای بررسی وضعیت

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص VHI در ماه فروردین

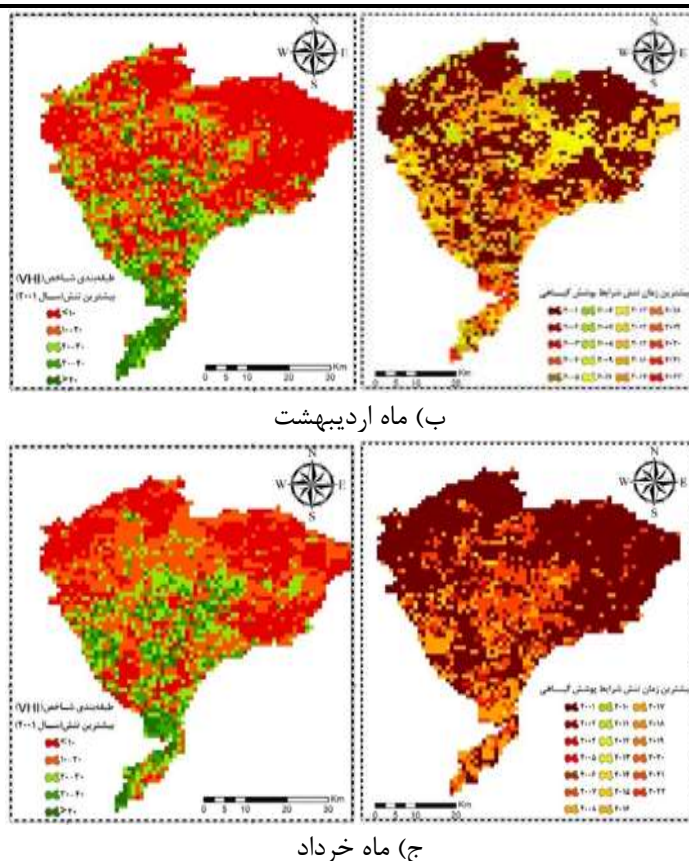
سطح شدت	ارزش VHI (سال ۲۰۰۱)	کلاس شدت
۳۹.۴۴	<۱۰	خلی کم
۲۹.۱۴	۲۰-۱۰	کم
۱۶.۸۵	۳۰-۲۰	متوسط
۹.۳	۴۰-۳۰	زیاد
۵.۲۷	۴۰<	خیلی زیاد

در این پژوهش، روند تغییرات تنش پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶-ج). نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، تنوع معناداری در میزان تنش پوشش گیاهی در ماه‌های مختلف و در سال‌های مختلف این بازه زمانی نشان‌داد. به‌طور خاص، نتایج مربوط به ماه خرداد نشان‌دهنده وضعیت بحرانی پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۱ به‌عنوان پرتنش‌ترین سال از نظر شاخص VHI بود.

روند تغییرات تنش پوشش گیاهی در حوضه شوراب سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از شاخص VHI در شکل (۶-ب) نشان داده شده است. در ماه اردیبهشت از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، بیشترین میزان تنش پوشش گیاهی، یعنی پرتنش‌ترین سال از نظر وضعیت پوشش گیاهی، مربوط به سال ۲۰۰۱ بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سال ۲۰۰۱ به‌عنوان پرتنش‌ترین سال در این سال شناسایی شد. درصد مساحت این سال ۵۱/۳۴ درصد از محدوده مورد مطالعه را شامل شده است.



الف) ماه فروردین



شکل ۶- زمان وقوع بیشترین تنش پوشش گیاهی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد

افزایشی در خشکسالی‌های منطقه تبدیل شود؛ که نمایانگر افزایش خشکسالی‌های بلندمدت نسبت به خشکسالی‌های کوتاه‌مدت می‌باشد. این روند می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی جهانی و محلی باشد که به افزایش فراوان خشکسالی‌ها در آینده منجر خواهد شد [۳۱،۲۱].

نتایج این پژوهش نشان داد که خشکسالی‌های شدید منجر به افزایش دمای سطح زمین شده‌اند، درحالی‌که دوره‌های مرطوب‌تر همراه با بارش‌های بیشتر، موجب کاهش دما شده‌اند؛ که نشان‌دهنده تأثیر خشکسالی بر افزایش دمای سطح زمین در مناطق خشک می‌باشد [۲۹]. علاوه بر این، بررسی تأثیر شدت و مدت‌زمان خشکسالی بر افزایش دمای سطح زمین، نتایج این پژوهش را در مورد سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ تأیید می‌کند [۶]. درنهایت، بررسی‌ها نشان می‌دهد که خشکسالی‌های بلندمدت با افزایش دمای سطح زمین مرتبط است که با تحلیل سال‌های

### بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌های مختلف در سراسر جهان و ایران نشان می‌دهند که شاخص SPEI ابزار مناسبی برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی است. این شاخص به‌عنوان یک شاخص حساس به خشکسالی هیدرولوژیکی می‌تواند به‌خوبی وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف شبیه‌سازی کند [۲۲]. همچنین شاخص SPEI قادر به شناسایی دقیق خشکسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف است [۲۷، ۲۸]. SPEI نه‌تنها خشکسالی‌های کوتاه‌مدت، بلکه روندهای بلندمدت خشکسالی را نیز به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند. در مقیاس‌های بلندمدت (۱۲ ماهه)، خشکسالی‌های طولانی‌مدت نظیر سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۱ به‌طور دقیق شناسایی شدند که این امر تأکید بر تداوم خشکسالی در این مقیاس‌ها است [۲۳]. بررسی روندهای بلندمدت در مقیاس‌های ۱۲ ماهه نشان می‌دهد که خشکسالی‌های طولانی‌مدت به‌ویژه در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ می‌تواند به یک روند

۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ در منطقه شوراب سمنان همخوانی دارد [۱۵].

نتایج ارزیابی حساسیت پوشش گیاهی نیز در حوضه شوراب سمنان در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد نشان‌دهنده تأثیرات مختلف و درعین حال پیوسته خشکسالی و نوسانات اقلیمی بر وضعیت پوشش گیاهی این منطقه است. همان‌طور که در مطالعات قبلی مشاهده شده است، کاهش بارش‌ها و افزایش تبخیر-تعرق تأثیرات منفی زیادی بر پوشش گیاهی دارد. در حوضه شوراب سمنان نیز تغییرات دمای سطح زمین، کاهش بارش‌ها و شدت خشکسالی‌ها به‌طور عمده بر پوشش گیاهی تأثیر گذاشته‌اند، ولی شدت و نوع این تأثیرات در هر ماه متفاوت بوده است. به‌ویژه، در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند حوضه شوراب، حتی تغییرات دمایی نسبی و کاهش رطوبت خاک می‌تواند اثرات منفی زیادی بر پوشش گیاهی بگذارد [۱۹]. این موضوع مشابه نتایج پژوهش‌های پیشین می‌باشد که در آن‌ها نشان داده شده است که شرایط اقلیمی و محدودیت‌های منابع آبی تأثیر زیادی بر حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی‌ها دارند. در ماه فروردین که به‌طور معمول از ماه‌های ابتدایی بهار محسوب می‌شود، شاهد تأثیرات قابل‌توجه خشکسالی بر پوشش گیاهی بودیم. در این ماه، نزدیک به ۵۰ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد قرار داشت که نشان‌دهنده حساسیت بالای پوشش گیاهی به نوسانات اقلیمی است [۱۰]. این موضوع مشابه یافته‌های گذشته است که در آن، به تأثیر تغییرات دمای سطح زمین و کاهش بارش‌ها در ابتدای فصل اشاره شده است. به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تغییرات دمایی و کاهش رطوبت خاک می‌تواند اثرات منفی قابل‌توجهی بر پوشش گیاهی داشته باشد. همچنین در ماه اردیبهشت، وضعیت مشابهی مشاهده شد، هرچند که شدت تأثیرات کمی کاهش یافته بود. این کاهش شدت تأثیرات خشکسالی در این ماه می‌تواند به دلیل بارش‌های بهاری باشد که ممکن است در برخی

نواحی افزایش یافته باشد. با این حال، همچنان دمای بالای سطح زمین و خشکی خاک از رشد و تاب‌آوری پوشش گیاهی جلوگیری کرد [۴]. نتایج نشان می‌دهد شرایط خشکسالی و نوسانات دمایی در مناطق خشک همچنان بر پوشش گیاهی تأثیرگذار است [۲]. در حوضه شوراب نیز شدت خشکسالی در ماه اردیبهشت به‌طور چشمگیری ادامه داشت. در ماه خرداد نیز، شرایط به اوج خود رسید و نزدیک به ۴۳ درصد از مساحت حوضه در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد قرار داشت. این وضعیت نشان‌دهنده اوج حساسیت پوشش گیاهی به نوسانات اقلیمی در این ماه است که پژوهش‌های قبل هم مشابه نتایج همین تحقیق به تأثیرات شدید خشکسالی و تغییرات دمایی در ماه‌های گرم سال اشاره دارد [۱۹]. در حوضه شوراب سمنان نیز، افزایش دمای سطح زمین و کاهش شدید بارش‌ها باعث تشدید خشکسالی و کاهش شدید پوشش گیاهی شده است. در مجموع، نتایج تحقیق حاضر به‌طور کامل هم‌راستا با نتایج پژوهش‌های پیشین است. به‌ویژه در ماه‌های اردیبهشت و خرداد، تأثیر خشکسالی به‌طور ملموس‌تری نمایان شد و پوشش گیاهی تحت تأثیر شدید نوسانات اقلیمی قرار گرفت. این روند مشابه نتایج مطالعات پیشین است که در آن‌ها نیز اثرات خشکسالی و تغییرات دمایی به‌طور چشمگیر بر وضعیت پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیرگذار بوده است [۴، ۱۰].

نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌ها تهدیدی جدی برای پوشش گیاهی و منابع طبیعی حوضه شوراب سمنان است. مطالعات اخیر تأکید کرده‌اند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نظارت و مدل‌سازی خشکسالی می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آبی و کشاورزی کمک کند. همچنین، استفاده از شاخص‌های مانند VHI و SPEI می‌تواند ابزارهای مؤثری برای پیش‌بینی و نظارت بر وضعیت خشکسالی و پوشش گیاهی در این مناطق باشد [۲]. نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که این منطقه در سال‌های اخیر و با گسترش خشکسالی‌ها نیازمند

می‌توان از شاخص‌های ترکیبی در سامانه هشدار خشکسالی یا مدیریت چرا استفاده نمود یا شاخص‌های خشکسالی را در فصول دیگر سال نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

تدابیر مدیریتی مناسب جهت حفظ و احیای پوشش گیاهی و منابع طبیعی منطقه می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود تحقیقات کامل‌تری در این زمینه صورت گیرد: برای مثال

## References

- [1]. Ahmad, F. M., Shen, R., Zaheer, A. B., Ahmad, M. N., & Zhang, Y. (2018). Study capability of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index to represent soil moisture variability during winter season over Pakistan for the period 1951–2010. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 130(6), 689-699.
- [2]. Alqadhi, S., Mallick, J., & Hang, H. T. (2025). Assessing drought trends and vegetation health in arid regions using advanced remote sensing techniques: a case study in Saudi Arabia. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(1), 33.
- [3]. Bazrafshan J., Hejabi S. (1395). Drought: Monitoring Methods. Tehran University Publications. Second edition.
- [4]. Chere, Z., & Debalke, D. B. (2024). Modeling agricultural drought based on the earth observation-derived standardized precipitation evapotranspiration index and vegetation health index in the northeastern highlands of Ethiopia. *Natural Hazards*, 120(3), 3127-3151.
- [5]. 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.
- [6]. Davis, N. A., Richter, J. H., Glanville, A. A., Edwards, J., & LaJoie, E. (2022). Limited surface impacts of the January 2021 sudden stratospheric warming. *Nature communications*, 13(1), 1136. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28836-1>.
- [7]. Didan, K. (2021). MODIS/Aqua vegetation indices 16-Day L3 global 250m SIN grid V061. *NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (DAAC) data set*, MYD13Q1-061.
- [8]. Gao, Y., Zhou, X., Wang, Q., Wang, C., Zhan, Z., Chen, L., ... & Qu, R. (2013). Vegetation net primary productivity and its response to climate change during 2001–2008 in the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 444, 356-362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.014>.
- [9]. Gidey, E., Dikinya, O., Sebege, R., Segosebe, E., & Zenebe, A. (2018). Analysis of the long-term agricultural drought onset, cessation, duration, frequency, severity and spatial extent using Vegetation Health Index (VHI) in Raya and its environs, Northern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 7(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0115-z>
- [10]. Hang, Q., Guo, H., Meng, X., Wang, W., Cao, Y., Liu, R., ... & Wang, Y. (2024). Optimizing the vegetation health index for agricultural drought monitoring: evaluation and application in the Yellow River Basin. *Remote Sensing*, 16(23), 4507. <https://doi.org/10.3390/rs16234507>.
- [11]. Huete A. Didan K. Leeuwen W.V. (1999). MODIS VEGETATION INDEX (MOD 13) ALGORITHM THEORETICAL BASIS DOCUMENT Version 3.1. The University of Arizona.
- [12]. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- [13]. Hussain, S., Qin, S., Nasim, W., Bukhari, M. A., Mubeen, M., Fahad, S., ... & Aslam, M. (2022). Monitoring the dynamic changes in vegetation cover using spatio-temporal remote sensing

- data from 1984 to 2020. *Atmosphere*, 13(10), 1609. <https://doi.org/10.3390/atmos13101609>
- [14]. Kakeh Mami A., Ghorbani A., Asghari S., Qaleh A., Ghaffari S. (2010). Investigation of changes in land use and land cover with land surface temperature in Namin County. *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources*. 11. 27-48. <https://sid.ir/paper/362167/fa> [in Farsi].
- [15]. Kew S., Philip S., Hauser M., Hobbins M., Wanders N., Oldenborgh G.J.V., Wiel K.V.D., Veldkamp T., Kimutai J., Funk C., Otto F. (2021). Impact of precipitation and increasing temperatures on drought trends in eastern Africa. *Earth System Dynamics*. 12, 17–35. <https://doi.org/10.5194/esd>.
- [16]. Lee Rodgers, J., & Nicewander, W. A. (1988). Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1), 59-66. <https://doi.org/10.1080/00031305.1988.10475524>
- [17]. Li Zh L., Wu H., Duan Si-Bo., Zhao W., Ren H., Liu X., Leng P., Teng R., Ye X., Zhu J., Sun Y., Si M., Liu M., Yan G., Zhou Ch. (2022) Satellite remote sensing of Global land surface temperature: definition, methods, products and applications. *Reviews of Geophysics*. 61.
- [18]. Li W., Pacheco-Labrador J., Migliavacca M., Miralles D., Hoek van Dijke A., Reichstein M., Orth R. (2023). Widespread and complex drought effects on vegetation physiology inferred from space. *Nature Communications*, 14(1), 4640. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40226-9>.
- [19]. Makula, E. K., Mangara, R. J., Kazimili, B., Mbigi, D., Mtewe, Z. F., Kebacho, L. L., ... & Limbu, P. T. S. (2025). Assessment of drought characteristics using SPEI and VHI in Tanzania and their associated climate factors. *Natural Hazards*, 121(2), 2071-2093. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06894-6>
- [20]. Mansoor, S., Kour, N., Manhas, S., Zahid, S., Wani, O. A., Sharma, V., ... & Ahmad, P. (2021). Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. *Chemosphere*, 271, 129458. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129458>
- [21]. Mosaedi, A. (2017). Drought characteristics based on Reconnaissance Drought Index and its variations in different time periods and regions of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(6), 27-52. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.8878.2266>
- [22]. Nosrati K. (2012). Regional analysis of hydrological drought in the Sefidrood watershed using the base flow index. *Scientific and Research Journal of Rangeland and Watershed Management*. 65(2). 257-267. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2012.30016> [in Farsi]
- [23]. Nosrati K., Mohseni Saravi M., Shahbazi R. (2014). Comparison and application of two standardized precipitation indices and standardized precipitation-evapotranspiration indices for assessing meteorological drought conditions in Tehran province. *Desert Management*. 2(3). 77-90. doi: 10.22034/jdmal.2014.17073. [in Farsi]
- [24]. Patal A. (2023) Enhancing Heat Transfer Efficiency in solar thermal system Using advanced heat exchanger. *Multidisciplinary international Journal of Research and development*. 02.060 31-51
- [25]. Patrick NJ., Richard G., Racheal H., Rod J., and Zhang L. (2023). Forests, fire and vegetation change impacts on Murray-Darling basin water resources. *Australasian Journal of water Resources*. 27(1), 68-84. <https://doi.org/10.1080/13241583.2023.217955>
- [26]. Senanayake I.P. Welivitiya W.D.D.P. nadeeka P.M. 2013. Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanaka using Landsat 7 ETM+ data. *Urban Climate*. 5. 19-35. <https://doi.org/>

- [27]. Shokoohi, A., Hosseini Pazhouh, N., & Bakhtiari, A. (2017). Flood forecasting using daily scale SPI. *J. Civil Environ. Engine.* [in Farsi]
- [28]. Seiler, R. A., Hayes, M., & Bressan, L. (2002). Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International journal of climatology*, 22(11), 1365-1376. DOI: 10.1002/joc.79
- [29]. Singh V. P., Guo H., Yu F. X. (1993). Parameter estimation for 3-parameter loglogistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrol.* 7. 163-177
- [30]. Smith N.E., Kooijmans L., Koren G., Schaik E., Auke M., van der Woude V.D., Wanders N., Ramonet M., Xueref-Remy I., Siebicke L., Manca G., Brümmner Ch., Baker I., Haynes K., Luijckx I., Peters W. (2020). Spring enhancement and summer reduction in carbon uptake during the 2018 drought in northwestern Europe. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 375: 20190509. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.050>
- [31]. Torabi nejad N., Zarin A., Dadashi rudbari A. (1402). Study of drought types and their characteristics in Iran using the standardized evapotranspiration precipitation index (SPEI). *Water and Soil*. 37(3). 473-486. doi:10.22067/jsw.2023.81322.1257. [in Farsi]
- [32]. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- [33]. Xie, F., & Fan, H. (2021). Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and Land Surface Temperature (LST): Is data reconstruction necessary?. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 101, 102352. 10.1016/j.jag.2021.1023
- [34]. Zhang, X., Friedl, M. A., & Schaaf, C. B. (2006). Global vegetation phenology from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Evaluation of global patterns and comparison with in situ measurements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(G4). <https://doi.org/10.1029/2006JG00021>
- [35]. Zeng, J., Zhang, R., Qu, Y., Bento, V. A., Zhou, T., Lin, Y., ... & Wang, Q. (2022). Improving the drought monitoring capability of VHI at the global scale via ensemble indices for various vegetation types from 2001 to 2018. *Weather and Climate Extremes*, 35, 100412. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100412>

## Investigating the Relationship between Meteorological Drought and Remotely Sensed Drought Indices in the Semnan Shurab Basin (Research Paper)

- 1 -Aliakbar Rostami, PhD student, Natural Resources Engineering Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan. Iran.
- 2 -mohammad Rahimi\*, Professor, Desertification Group, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan. Iran.  
mrahimi@semnan.ac.ir
- 3- Ali Akbar Damavandi, Agricultural Education and Extension Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

Received: 28 Sep.2025

Accepted: 12 Jan. 2026

### Abstract

Drought is one of the most significant climatic phenomena, with substantial impacts on natural resources, agriculture, and the economies of human societies. Among the various types of drought, meteorological drought is considered a primary indicator for the analysis of both long-term and short-term droughts due to its direct relationship with atmospheric conditions, particularly variations in temperature and precipitation. This phenomenon can significantly influence vegetation and water resources by altering precipitation patterns and land surface temperature. The Semnan Shurab Basin, located in an arid and semi-arid region of Iran, is highly sensitive to climatic variability and changes in land surface temperature. In this study, the Vegetation Health Index (VHI) was used to examine the relationship between drought conditions and vegetation dynamics. First, VHI values were calculated for four 16-day periods corresponding to the months of April, May, and June—when natural vegetation in Iran typically reaches its peak—over the period from 2001 to 2022. Subsequently, the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was computed at a 12-month time scale for ten meteorological stations located within and around the study area. The SPEI values were spatially interpolated using the inverse distance weighting (IDW) method. In the final step, the correlation coefficients and trend slopes between the 12-month SPEI and VHI were calculated and analyzed. The results indicate a strong correlation between the standardized precipitation–evapotranspiration index and vegetation condition, particularly in April and May. Furthermore, the assessment of vegetation sensitivity to climatic fluctuations and drought in the Semnan Shurab Basin using VHI reveals a spatially diverse response of vegetation to climate variability.

**Keywords:** Land Surface Temperature, Meteorological Drought, Remote Sensing, Vegetation, Vegetation Health Index.