

Drought induced vegetation changes in south of Kerman Province

Saeid Barkhori^{*1}, Mojtaba Dolatkordestani¹, Kimia Javaheri²

1. Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Iran

2. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Natural Resources, University of Tehran, Iran

* Corresponding author: Barkhori.s@gmail.com

(Received: 27 April 2024

Revised: 03 Jun 2024

Accepted: 10 Jun 2024)

Extended Abstract

Introduction: Drought, as an important climatic condition, has affected extensive areas of the world. Vegetation cover is also affected by low precipitation, high temperatures, and evaporation in dry ecosystems. These impacts can be defined as ecological drought on vegetation cover. Long-term droughts can have dangerous effects on vegetation cover. The SPEI index, which is based on the difference between precipitation and potential evapotranspiration, has been used in various studies to examine the spatiotemporal patterns of drought. Additionally, the use of satellite images with high spatial and temporal resolution is an effective tool for studying vegetation cover changes and the impacts of drought.

Materials and methods: To investigate the impact of drought on vegetation cover in the southern Kerman regions, the Enhanced Vegetation Index (EVI) from MODIS satellite imagery and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) were used. In this research, EVI derived from the MOD13Q1 MODIS sensor product with a spatial resolution of 250 meters and a temporal resolution of 16 days was used. First, the monthly average of this index was estimated for the study area from the beginning of 2001 to the end of 2022 on the Google Earth Engine platform, and then the monthly average over the study period was calculated. Based on the results of this section, the two months with the highest EVI values were selected. To investigate the impact of meteorological drought on vegetation cover, the SPEI index with different time scales of 3, 6, 9, and 12 months for the months of March and April over 22 years (2001-2022) was calculated using MATLAB software. The sensitivity of EVI to SPEI in March and April was calculated by the Pearson correlation coefficient in the Trend Analysis Module (ETM) of TerrSet software. Then, the slope of the relationship between the 3, 6, 9, and 12-month SPEI and EVI based on the Chatfield (2016) linear regression equations in the ETM model of TerrSet software was calculated to investigate the impact of SPEI fluctuations at different time scales on vegetation cover.

Results and Discussion: According to the results, the months of April and March have the highest EVI values throughout the year, indicating maximum growth and vitality of vegetation during these months. The months of January and December have the lowest average EVI values. The months of April and March, which had the highest EVI values, were selected to investigate the impact of drought on vegetation cover. According to the results obtained in March, the highest correlation of EVI was with the 12-month SPEI, covering 40.4% of the study area. Furthermore, in this month, the lowest correlation of EVI was with the 9-month SPEI, covering around 15.55% of the study area. In April, the highest correlation of EVI was with the 12-month SPEI, followed by the 6-month SPEI, covering 25.53% and 20.57% of the study area, respectively. In most areas of Qalat, Roudbar Jonob, Jiroft, Faryab, Manoojan, Amberabad, and Arzueie, especially from the central regions of the study area towards the south, the 12-month SPEI had the highest correlation with EVI. The lowest correlation of EVI was with the 9-month SPEI, followed by the 3-month SPEI, covering 10.75% and 15.44% of the study area, respectively. In March, the positive high, moderate, and low classes accounted for 29.02%, 19.41%, and 15.03% of the study area, respectively. These percentages for April were 41.89%, 28.1%, and 14.69%. The lowest percentage of area in both months belonged to the very high negative and high negative classes. In March, areas in the north, northeast, and parts of the west of the study area, including most areas of Fahraj, Narmashir, Bam, and Rigan had very low and low sensitivity to drought, while areas in the central regions towards the south, southwest, and southeast, including the south regions of Jiroft, west of Roudbar Jonob, and most areas of Kahnuj, showed the highest sensitivity of EVI to SPEI. In April, EVI in major parts of the western, northwestern, central, east, southeast, south, and southwest regions of the study area showed very high and high sensitivity to drought compared to SPEI. The lowest sensitivity of EVI to drought in this month was related to the northeastern parts.

Conclusion: Based on the results of the correlation analysis of EVI with SPEI at different time scales, in both months of March and April, the highest correlation of EVI with SPEI has been with SPEI 12, 6, 3, and 9 months respectively. Therefore, the greatest impact of drought on vegetation cover in southern Kerman is related to SPEI 12 months, with the least impact related to SPEI 9 months. These results are due to different environmental conditions in the study area, which have led to different results in each region. The results of the sensitivity of EVI to SPEI show that the highest sensitivity is allocated primarily to high positive, medium positive, and low positive classes, mainly related to central, western, southwestern, south to southeast and eastern parts of the study area. Additionally, the results of sensitivity of EVI to SPEI show that the lowest sensitivity of vegetation cover to drought is related to the northeastern regions, some parts of the southeastern and northern areas of the study area. These regions mainly include barren lands or pastures with poor vegetation cover. Therefore, due to the lack and scarcity of vegetation cover, the sensitivity of EVI to SPEI is at its lowest level. According to the results of this research, environmental conditions such as climatic characteristics, topography, type of vegetation cover, human management, and so on have a significant influence on determining the relationship between vegetation cover index and meteorological drought index. It is suggested that future research, considering these factors, prioritize predicting this phenomenon and modeling changes in vegetation cover under the influence of drought.

Keywords: Linear regression analysis, Pearson correlation, EVI, SPEI.

Citation: Barkhori, S., Dolatkordestani, M., & Javaheri, K. (2025). Drought induced vegetation changes in south of Kerman Province. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 18-31. doi: 10.22034/iwm.2024.2027447.1150

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشکسالی در جنوب استان کرمان

سعید برخوردار^{۱*}، مجتبی دولت کردستانی^۱، کیمیا جواهری^۲

۱- گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، ایران

۲- گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*نویسنده مسئول: Barkhori.s@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

چکیده مبسوط

مقدمه: خشکسالی به عنوان یک وضعیت اقلیمی مهم، مناطق گسترده‌ای از جهان را تحت تأثیر قرار داده است. این پدیده در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. پوشش گیاهی نیز به‌عنوان یک عامل اساسی در اکوسیستم‌های خشک، تحت تأثیر بارش کم، دمای بالا و تبخیر و تعرق قرار دارد. خشکسالی‌های طولانی مدت می‌تواند تأثیرات خطرناکی بر پوشش گیاهی داشته باشد. برای بررسی الگوهای زمانی-مکانی خشکسالی، شاخص SPEI که حاصل اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل است، در مطالعات مختلف به‌کار گرفته شده است. همچنین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، ابزاری مؤثر در بررسی تغییرات پوشش گیاهی و تأثیرات خشکسالی است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی در نواحی جنوب کرمان، شاخص پوشش گیاهی EVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نیز شاخص خشکسالی هوشناسی SPEI مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش از EVI به دست آمده از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز استفاده شد. ابتدا میانگین ماه به ماه این شاخص برای محدوده مورد مطالعه از ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۲۲ در پلتفرم Google Earth Engine برآورد شد و سپس میانگین ماهانه دوره مطالعاتی محاسبه گردید. با استفاده از نتایج این بخش، دو ماه که دارای بیش‌ترین مقدار EVI بود انتخاب شد. به‌منظور بررسی اثر خشکسالی هوشناسی بر پوشش گیاهی ابتدا شاخص SPEI با مقیاس‌های زمانی مختلف ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل طی ۲۲ سال (۲۰۰۱-۲۰۲۲) توسط نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. دقت حساسیت EVI نسبت به SPEI در ماه مارس و آوریل، توسط ضریب همبستگی پیرسون، در مدل‌ساز روند زمین (ETM) نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد. سپس شیب خط اثر رابطه SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و EVI بر اساس معادلات رگرسیون خطی Chatfield (۲۰۱۶) در مدل‌ساز ETM نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد تا اثر نوسانات SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف بر پوشش گیاهی بررسی شود.

نتایج و بحث: با توجه به نتایج ماه‌های آوریل و مارس به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار EVI را در طول سال دارند که نشان‌دهنده حداکثر رشد و شادابی پوشش گیاهی در این ماه‌ها است. ماه‌های ژانویه و دسامبر نیز کم‌ترین مقدار میانگین شاخص EVI را به خود اختصاص داده‌اند. در ماه مارس، بیش‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه است که معادل ۴۰/۴٪ مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. همچنین در این ماه، کم‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۹ ماهه بود که در حدود ۱۵/۵۵٪ مساحت منطقه است. در ماه آوریل نیز، بیش‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه و پس از آن SPEI ۶ ماهه است که به‌ترتیب در ۵۳/۲۵٪ و ۲۰/۵۷٪ محدوده مطالعاتی مشاهده شد. در اکثر شهرستان‌های قلعه‌گنج، رودبار جنوب، جیرفت، فاریاب، منوجان، عنبرآباد و ارزوئیه به خصوص از نواحی مرکز محدوده مورد مطالعه به سمت جنوب، SPEI ۱۲ ماهه بیش‌ترین همبستگی را با شاخص EVI دارد. کم‌ترین همبستگی EVI نیز با SPEI ۹ ماهه و پس از آن ۳ ماهه به‌ترتیب در ۱۰/۷۵٪ و ۱۵/۴۴٪ منطقه مشاهده گردید. در ماه مارس، کلاس‌های دقت حساسیت EVI به SPEI، مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم به‌ترتیب ۲۹/۰۲، ۱۹/۴۱ و ۱۵/۰۳٪ از منطقه را به خود اختصاص دادند. این مقادیر برای ماه آوریل نیز به ترتیب ۴۱/۸۹، ۲۸/۱ و ۱۴/۶۹٪ می‌باشد. همچنین کمترین درصد مساحت نیز در هر دو ماه مربوط به کلاس‌های منفی خیلی زیاد و منفی زیاد می‌باشد. در ماه مارس شاخص EVI در قسمت‌هایی از شمال، شمال‌شرق و بخش‌هایی از غرب محدوده مطالعاتی شامل اکثر مساحت شهرستان‌های فهرج، نرماشیر، بهم، ریگان حساسیت خیلی کم و کم را به خشکسالی داشته در حالی که در بخش‌هایی از غرب منطقه، نواحی مرکزی به سمت جنوب، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق شامل نواحی جنوب شهرستان جیرفت، غرب شهرستان رودبار جنوب، اکثر نواحی کهنوج، بیش‌ترین حساسیت EVI به SPEI مشاهده شده است. با توجه به مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی در ماه آوریل نیز شاخص EVI در عمده قسمت‌های غربی، شمال‌غربی، مرکزی، شرق و جنوب‌شرق، جنوب و جنوب‌غرب محدوده مطالعاتی دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت SPEI است. در این ماه نیز کم‌ترین حساسیت EVI به خشکسالی مربوط به قسمت‌های شمال‌شرق است.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج آنالیز همبستگی EVI با SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف، در هر دو ماه مارس و آوریل، بیش‌ترین همبستگی EVI به‌ترتیب با SPEI ۱۲، ۶، ۳ و ۹ ماهه بوده؛ بنابراین بیش‌ترین تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در جنوب کرمان مربوط به SPEI ۱۲ ماهه است و کم‌ترین آن مربوط به SPEI ۹ ماهه است. این نتایج به علت شرایط محیطی متفاوت در محدوده مورد مطالعه است که باعث شده در هر منطقه نتایج متفاوتی به دست آید. نتایج دقت حساسیت EVI به SPEI نشان داد که بیش‌ترین دقت حساسیت به‌ترتیب به کلاس‌های مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم اختصاص دارد که عمدتاً به شهرستان‌های مرکزی، غربی، جنوب‌غربی، جنوب تا جنوب‌شرق و بخش‌هایی از شرق محدوده مطالعاتی مربوط می‌شود. همچنین نتایج حساسیت EVI به SPEI نشان داد که کم‌ترین حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی مربوط به نواحی شمال‌شرق، بخش‌هایی از جنوب‌شرق و شمال محدوده مطالعاتی می‌باشد. این نواحی عمدتاً اراضی بایر و یا مرتع با تاج پوشش فقیر را شامل می‌شود. با توجه به نتایج، شرایط محیطی مانند ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و مدیریت انسان و غیره تأثیر بسیار مهمی در تعیین ارتباط بین شاخص‌های پوشش گیاهی و خشکسالی هوشناسی دارد. پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی با در نظر گرفتن عوامل مذکور، پیش‌بینی این پدیده و مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر پدیده خشکسالی در اولویت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رگرسیون خطی، همبستگی پیرسون، EVI، SPEI

استناد: برخوردار، س.، دولت‌کردستانی، م.؛ و جواهری، ک. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشکسالی در جنوب استان کرمان. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۳۱-۱۸.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

ترکیب و ساختار و پویایی گیاهان اثرگذار باشد (Shahzad *et al.*, 2019). بنابراین انجام مطالعاتی در خصوص بررسی خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی از اهمیت بسیاری برخوردار است. شاخص $SPEI^1$ که حاصل اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل است به‌طور وسیع در مطالعات مختلف برای بررسی الگوهای زمانی-مکانی خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است (Zhao *et al.*, 2023). علاوه بر آن، سنجش‌ازدور ابزاری است که کاربرد وسیعی در بررسی تغییرات و کاهش پوشش گیاهی دارد و تصاویر ماهواره‌ای که به‌طور منظم و با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا از سطح زمین تهیه می‌شود، می‌تواند ابزاری کارآمد در بررسی پوشش گیاهی و تغییرات آن باشد. در این راستا، بررسی همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش‌ازدور از جمله EVI^2 و نیز شاخص‌های خشکسالی همچون $SPEI$ می‌تواند ما را به شناخت صحیحی از تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی برساند. تاکنون مطالعات متعددی به‌منظور بررسی تأثیر شاخص‌های خشکسالی بر پوشش گیاهی در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است.

در پژوهشی Mazidi و همکاران (۲۰۲۳) با تحلیل خشکسالی شهر کرمان دریافتند که شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی در این مطالعه روند افزایشی داشته و شدت و مدت خشکسالی را نشان می‌دهند و نقشه پوشش‌گیاهی منطقه کاهش مساحت را نشان داده و روند $NDVI$ سیری زولی داشته است. در مطالعه‌ای Won و Kim (۲۰۲۳) واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی را با استفاده از شاخص‌های SPI و VHI مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی هواشناسی بر اساس نوع کاربری اراضی متفاوت است. در پژوهشی Nejadrekabi و همکاران (۲۰۲۲) با

خشکسالی وضعیت اقلیمی مهمی است که بخش وسیعی از جهان را تحت تأثیر خود قرار داده است (Khosravi *et al.*, 2018; Bagheri *et al.*, 2021) فراوانی و شدت آن در سال‌های اخیر تحت تأثیر تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (Ma *et al.*, 2023). خشکسالی هواشناسی حاصل تغییر پارامترهای هواشناسی از جمله بارندگی است که می‌تواند منجر به خشکسالی هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی گردد (Won & Kim, 2023). به‌طور کلی خشکسالی هواشناسی اثر مستقیم بر سلامت اکوسیستم از جمله رشد و تولید کشاورزی دارد که می‌تواند در نهایت به خشکسالی اکولوژیکی منجر گردد و کاهش تنوع زیستی و تخریب اکوسیستم را رقم بزند (Boori *et al.*, 2022). از آنجایی که پوشش گیاهی به‌عنوان یک مؤلفه اصلی در اکوسیستم‌های خشکی، رابط اصلی اتمسفر، آب و خاک محسوب می‌شود، به شدت تحت تأثیر بارش کم، دمای بالا و تبخیر و تعرق بالا قرار می‌گیرد (Kong *et al.*, 2017). بدین ترتیب اثر خشکسالی هواشناسی بر پوشش گیاهی را می‌توان به‌عنوان خشکسالی اکولوژیکی پوشش گیاهی تعریف کرد (Won & Kim, 2023).

با توجه به حساسیت مناطق خشک و نیمه‌خشک و بارش‌های کم و غیر یکنواخت، اثرات خشکسالی در این مناطق بیش از حد تشدید شده و روی منابع آبی، کشاورزی و پوشش گیاهی نمود بیش‌تری می‌باید. پوشش گیاهی طبیعی از جمله مهم‌ترین عوامل سلامت اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شود که به شدت تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد. خشکسالی‌های طولانی‌مدت اثرات خطرناکی بر پوشش گیاهی دارد (Bagheri *et al.*, 2021) به نحوی که می‌تواند بر تولید،

1. Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index
2. Enhanced vegetation index

در جنوب کرمان با استفاده از سنجش از دور و شاخص خشکسالی هواشناسی است. تفاوت این پژوهش با تحقیقات قبلی این است که در اینجا سعی شده اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی به صورت پیکسل به پیکسل ارزیابی قرار گردد و این ارزیابی در مقیاس‌های مختلف صورت گرفته است.

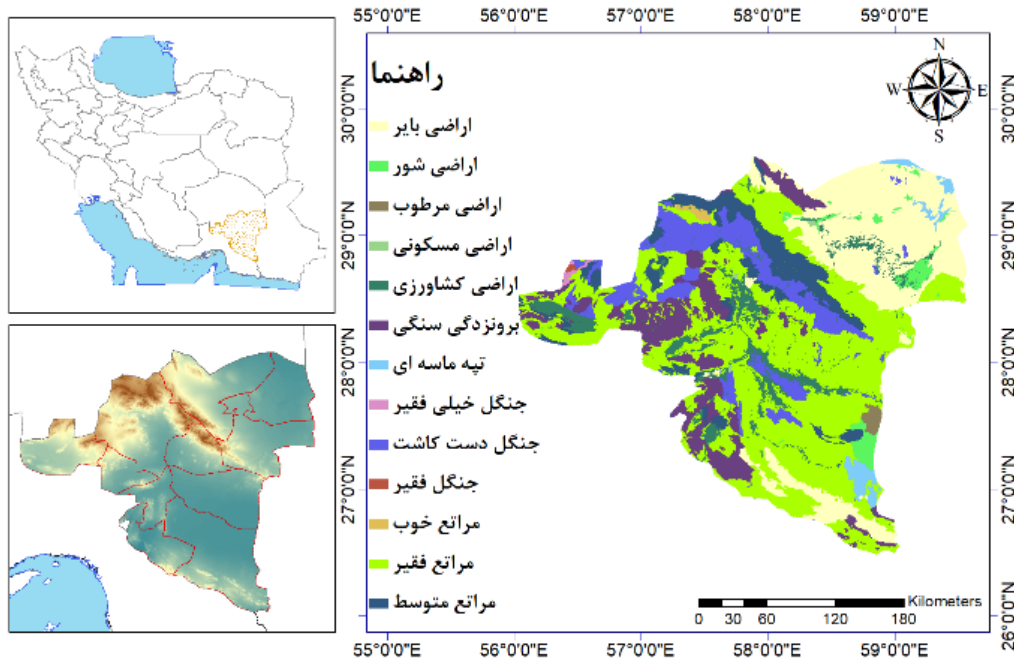
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران از لحاظ آب و هوایی یکی از منحصربه‌فردترین کشورهاست. مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب‌مداری باعث شده که نوار بیابانی نیم‌کره شمالی از مرکز این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از ایران از جمله استان کرمان حکم‌فرما سازد (Nasabpour *et al.*, 2017). استان کرمان با وسعت ۱۸۳ هزار کیلومتر مربع، حدود ۱۱ درصد مساحت کشور را شامل می‌شود. این استان در جنوب‌شرقی فلات مرکزی ایران واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه در استان کرمان حدود ۱۴۰ میلی‌متر است که ۵۸ درصد متوسط بارش سالانه کشور و ۱۹ درصد میانگین بارش کره زمین را شامل می‌شود. محدوده مطالعاتی در پژوهش حاضر، شهرستان‌های جنوبی استان کرمان را در بر می‌گیرد (شکل ۱). این شهرستان‌ها شامل ارزوئیه، بم، جیرفت، رودبار جنوبی، ریگان، عنبرآباد، فاریاب، فهرج، قلعه گنج، کهنوج، منوجان و نرماشیر می‌باشد. مساحت محدوده انتخابی ۶۴/۸ هزار کیلومتر مربع می‌باشد. نواحی شمال شرق، بخش‌هایی از جنوب شرق و شمال محدوده مطالعاتی عمدتاً اراضی بایر و یا مرتع با تاج پوشش فقیر را شامل می‌شود (Mazidi *et al.*, 2023; Savari *et al.*, 2024).

استفاده از شاخص‌های SPEI و NDVI مناطق در خطر خشکسالی را در استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شدت خشکسالی در نواحی شمالی استان بیش‌تر از سایر قسمت‌ها است. در پژوهشی Javed و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از شاخص SPEI و EVI، اثر خشکسالی بر فنولوژی گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ به ترتیب خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال در بازه زمانی بودند و تغییرات سریع در فنولوژی گیاهی بین این سال‌ها مشاهده شده است. Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) اثر خشکسالی هواشناسی بر پویایی پوشش گیاهی در ایران را با استفاده از SPEI و EVI مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که پوشش گیاهی در نواحی جنوب غرب، جنوب شرق، مرکزی و سواحل خلیج فارس نسبت به خشکسالی حساسیت بیش‌تری دارند.

در ۸۰ درصد نواحی ایران طول فصل گرم در حال افزایش است (Heydari Alamdarloo *et al.*, 2021). این موضوع باعث افزایش حساسیت پوشش گیاهی به نوسان اقلیم و خشکسالی می‌شود. از این‌رو ارزیابی اثر نوسانات اقلیمی که عموماً با شاخص‌های ارزیابی خشکسالی هواشناسی صورت می‌گیرد، می‌تواند در راستای مدیریت، حفظ و احیای پوشش گیاهی نقش شایانی داشته باشد. همان‌طور که بیان شد، می‌توان با استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، اثر خشکسالی بر پویایی پوشش گیاهی را مورد ارزیابی قرار داد و به نتایج دقیق و گسترده‌ای در پیرامون این موضوع رسید. با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی جنوبی استان کرمان و اهمیت بررسی تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در این نواحی، هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر خشکسالی



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی

Figure 1- The location of the study area

شاخص EVI

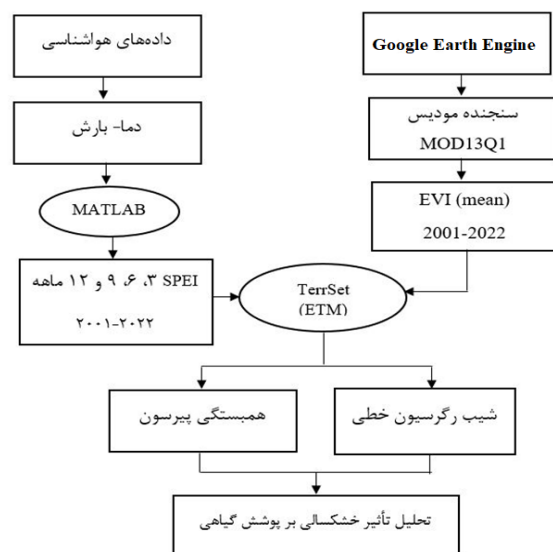
در مناطق با پوشش گیاهی غیرمتراکم، ترکیب پیچیده نوع خاک، آثار جوی و پوشش گیاهی، امکان استخراج اطلاعات قابل‌اعتماد را از داده‌های ماهواره‌ای کاهش می‌دهد؛ بنابراین همواره تلاش شده تا شاخص‌های پوشش گیاهی که قادرند آثار ناخواسته عواملی مانند خاک زمینه را کاهش دهند، ارائه شود (Bagheri *et al.*, 2021; Eskandari Damaneh *et al.*, 2021a). Huete و همکاران (۲۰۰۲) شاخص پوشش گیاهی EVI را برای استفاده در داده‌های MODIS پیشنهاد کرده‌اند که در معادله (۷) الگوریتم باندی برای محاسبه‌ی آن ارائه شده است.

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

در این معادله NIR، بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، R بازتاب در باند قرمز، B بازتاب در باند آبی، L برابر ۱، C1 برابر ۶ و C2 برابر ۷/۵ می‌باشد. از مزایای این شاخص این است که با پیشرفت به‌وسیله‌ی بازتاب باند آبی در محدوده LAI (شاخص سطح برگ)، اثرات خاک

روش تحقیق

به‌منظور بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی در نواحی جنوبی استان کرمان، شاخص پوشش گیاهی EVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نیز شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI استفاده شد. مراحل انجام پژوهش به‌طور اختصار در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام پژوهش

Figure 2- Diagram of research steps

و با استفاده از دو پارامتر بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص SPEI به روش برآورد تبخیر و تعرق ارتباطی ندارد (Stagge *et al.*, 2014). در این مطالعه برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از معادله Thornthwaite (۱۹۴۸) استفاده شد.

$$PET = 16N_m \left(\frac{10T_m}{I}\right)^a \quad (۲)$$

در این معادله N_m ضریب اصلاحی است که بر مبنای ماه موردنظر و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود. T_m میانگین دمای ماه موردنظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، I شاخص حرارتی برای کل سال و a که بر مبنای I محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از معادله (۳) بیلان آب اقلیمی ماهانه و در گام بعدی $X_{i,j}^k$ از معادله (۴) محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این معادلات i سال موردنظر، j ماه موردنظر و k مقیاس زمانی می‌باشد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (۳)$$

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,l} & \text{if } j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,l} & \text{if } j \geq k \end{cases} \quad (۴)$$

Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) توزیع‌های سازگار با سری مشاهدات D را مورد بررسی و آزمون قرار دادند و نتیجه گرفتند که توزیع سه‌پارامتری لگ-لجیستیک مناسب‌ترین توزیع سازگار با سری بیلان آب اقلیمی ماهانه است و انتخاب مناسبی برای استاندارد کردن سری مشاهدات D برای تعیین SPEI می‌باشد. تابع چگالی احتمال توزیع سه‌پارامتری لگ-لجیستیک به صورت رابطه (۵) می‌باشد.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]^{-2} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاسی، شکلی و مرزی برای مقادیر D در بازه $\gamma < D < \infty$ هستند. این پارامترها را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف از روی مشاهدات برآورد نمود. از میان آن‌ها روش گشتاورها مطمئن‌تر و ساده‌ترین روش است (Ahmad *et al.*, 1988). وقتی گشتاورها محاسبه

پس‌زمینه را تصحیح می‌کند و از اثرات اتمسفر و پخش آئروسول می‌کاهد. در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است که در آن فاکتور تنظیم خاک (L) و دو ضریب C_1 و C_2 لحاظ می‌گردد (Behrang Manesh *et al.*, 2019; Bagheri *et al.*, 2021; Moradi *et al.*, 2023; Alamdarloo *et al.*, 2024). این روش حساسیت به نواحی پوشش گیاهی را افزایش و کاهش آثار جوی را موجب می‌شود. در این پژوهش از EVI به دست آمده از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز استفاده شد. ابتدا میانگین ماه به ماه این شاخص برای محدوده مورد مطالعه از ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۲۲ در پلتفرم Google Earth Engine برآورد شد و سپس میانگین ماهانه دوره مطالعاتی محاسبه گردید. با استفاده از نتایج این بخش، دو ماه که دارای بیش‌ترین مقدار EVI بود انتخاب شد. با این کار دو ماه که دارای بیش‌ترین مقدار پوشش گیاهی برای ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی انتخاب شد. Google Earth Engine یک پلتفرم ابری برای تحلیل داده‌های مکانی است که توسط شرکت گوگل ارائه شده است. این پلتفرم برای پردازش داده‌های مکانی از منابع مختلفی مانند تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های راداری و لیزری، داده‌های جوی و غیره استفاده می‌کند.

شاخص SPEI

در این تحقیق شاخص SPEI با مقیاس‌های زمانی مختلف ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل طی ۲۲ سال (۲۰۰۱-۲۰۲۲) توسط نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. شاخص SPEI که یک شاخص مناسب برای پایش و ارزیابی شدت نوسانات اقلیمی و تعیین ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در شرایط روند افزایش دمای کره زمین می‌باشد (Vicente-Serrano *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2024) که توسط Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده است. شاخص SPEI مبتنی بر محاسبه بیلان آب اقلیمی است (Bazarafshan & Hejabi, 2016; Eskandari Damaneh *et al.*, 2022a)

سال و میانگین EVI آن ماه در طول دوره آماری می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که +۱ به معنای همبستگی مثبت کامل، صفر به معنی عدم همبستگی و -۱ به معنی همبستگی منفی کامل است (جدول ۱) (Eskandari, Damaneh et al., 2021b).

جدول ۱- طبقه‌بندی دقت حساسیت EVI به SPEI بر

مبنای ضریب همبستگی پیرسون (Evans, 1996)

Table 1- Accuracy classification of EVI sensitivity to SPEI based on Pearson correlation coefficient

ردیف	کلاس	مقادیر r
1	همبستگی منفی خیلی زیاد	(-1) تا (-0.8)
2	همبستگی منفی زیاد	(-0.8) تا (-0.6)
3	همبستگی منفی متوسط	(-0.6) تا (-0.4)
4	همبستگی منفی کم	(-0.4) تا (-0.2)
5	همبستگی منفی خیلی کم	(-0.2) تا (0)
6	همبستگی مثبت خیلی کم	(0) تا (0.2)
7	همبستگی مثبت کم	(0.2) تا (0.4)
8	همبستگی مثبت متوسط	(0.4) تا (0.6)
9	همبستگی مثبت زیاد	(0.6) تا (0.8)
10	همبستگی مثبت خیلی زیاد	(0.8) تا (1)

میزان حساسیت رابطه EVI و SPEI

در این پژوهش شیب خط اثر رابطه SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و EVI بر اساس رابطه (۹) و معادلات رگرسیون خطی Chatfield (۲۰۱۶) در مدل‌ساز ETM نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد تا اثر نوسانات SPEI در مقایسه‌های زمانی مختلف بر پوشش گیاهی بررسی شود.

$$\text{Slope} = \frac{21 \left(\sum_{i=2001}^{2022} \text{SPEI}_i \text{EVI}_i - \sum_{i=2001}^{2022} \text{SPEI}_i \sum_{i=2001}^{2022} \text{EVI}_i \right)}{21 \left(\sum_{i=2001}^{2022} \text{SPEI}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{2022} \text{SPEI}_i \right)^2 \right)} \quad (9)$$

مقدار شیب، میزان وابستگی متغیرها را نشان می‌دهد. شیب منفی نشان‌دهنده رابطه عکس و شیب مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم است. اندازه شیب (قدرمطلق) هرچه قدر بزرگ‌تر باشد، حساسیت پوشش

شدند، پارامترهای توزیع لگ-لجیستیک با استفاده از روابط پیشنهادی Singh و همکاران (۱۹۹۳) تخمین زده می‌شود. رابطه (۶) تابع توزیع احتمالی سری D با توجه به توزیع لگ-لجیستیک را نشان می‌دهد.

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

در نهایت بر مبنای تابع $F(x)$ شاخص SPEI با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

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

در این رابطه $C_0 = 2.515517$ ، $C_1 = 0.802853$ ، $C_2 = 0.010328$ ، $d_1 = 1.432788$ ، $d_2 = 0.189269$ و $d_3 = 0.001308$ می‌باشد. همچنین در این رابطه $W = \sqrt{-2 \ln P}$ اگر $P = 1 - F(x) > 0.5$ اما اگر $P > 0.5$ باشد P یا $1 - P$ جایگزین می‌شود و علامت SPEI قرینه می‌شود. به منظور انجام مراحل بعدی پژوهش و بررسی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر خشکسالی، سری زمانی SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه دوره زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۲ در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. بعد از محاسبه شاخص SPEI، با استفاده از روش درون‌یابی فاصله معکوس وزنی (IDW^3) نقشه‌های شدت خشکسالی به دست آمد (Eskandari Damaneh et al., 2022b).

دقت حساسیت رابطه EVI و SPEI

در پژوهش حاضر، دقت حساسیت EVI نسبت به SPEI در ماه مارس و آوریل، توسط ضریب همبستگی پیرسون، در مدل‌ساز روند زمین (ETM) نرم‌افزار TerrSet طبق رابطه (۸) محاسبه شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

در این معادله r نقشه ضریب همبستگی پیرسون، x_i و \bar{x} به ترتیب SPEI در مقایسه زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و میانگین آن در طول دوره آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲) و y_i و \bar{y} به ترتیب مقدار EVI ماه هدف در هر

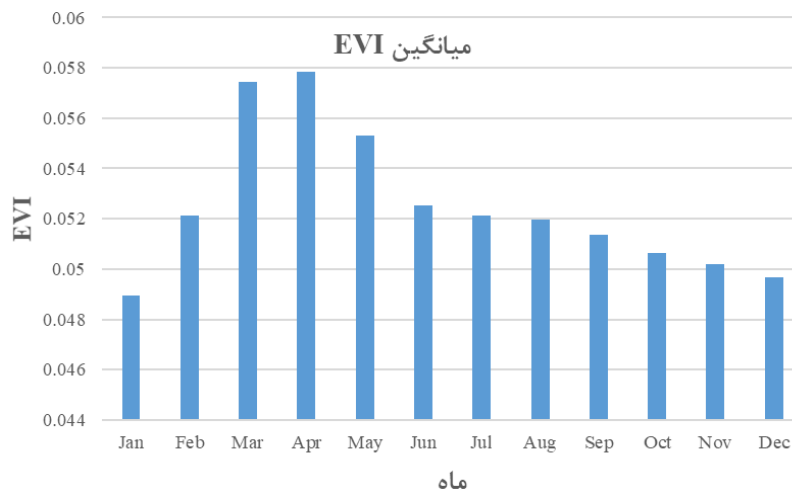
مقدار EVI را در طول سال دارند که نشان‌دهنده حداکثر رشد و شادابی پوشش گیاهی در این ماه‌ها است. از طرف دیگر ماه‌های ژانویه و دسامبر نیز کم‌ترین مقدار میانگین شاخص EVI را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نتایج این بخش ماه‌های آوریل و مارس که دارای بیش‌ترین مقدار شاخص EVI بودند، جهت بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی انتخاب شدند.

گیاهی به نوسان اقلیم بیش‌تر است (Eskandari Damaneh et al., 2021b).

نتایج

انتخاب ماه‌های هدف

شکل (۳) میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، به ترتیب ماه‌های آوریل و مارس بیش‌ترین

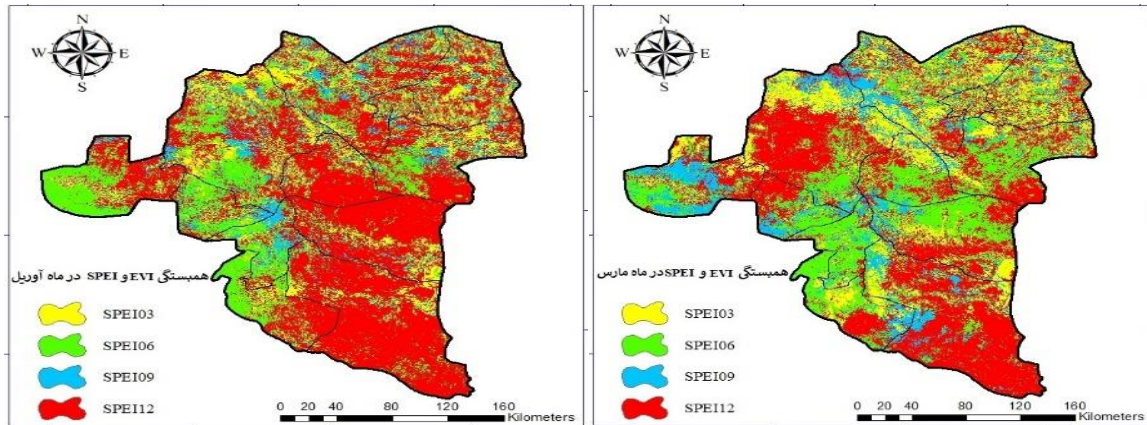


شکل ۳- میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲

Figure 3- Long-term monthly average of EVI index in the time series of 2001-2022

نتایج ارزیابی دقت حساسیت رابطه SPEI و EVI (۴) بیش‌ترین مقدار همبستگی شاخص EVI با شاخص SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست‌آمده در ماه مارس، بیش‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه بوده که معادل ۴۰/۴٪ مساحت محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود. این مناطق عمدتاً در مناطق جنوبی، جنوب‌شرق و تا بخش‌هایی از شرق و شمال‌غرب محدوده مطالعاتی که شامل اکثر مساحت شهرستان‌های قلعه‌گنج، رودبار جنوب، جیرفت و فاریاب می‌باشد. همچنین در این ماه، کم‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۹ ماهه بوده که در حدود ۱۵/۱۵۵٪ مساحت محدوده مطالعاتی مشاهده شده است (جدول ۲). در ماه آوریل نیز، بیش‌ترین همبستگی

نتایج ارزیابی دقت حساسیت رابطه SPEI و EVI (۴) بیش‌ترین مقدار همبستگی شاخص EVI با شاخص SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ماه‌های مارس و آوریل را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست‌آمده در ماه مارس، بیش‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۱۲ ماهه بوده که معادل ۴۰/۴٪ مساحت محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود. این مناطق عمدتاً در مناطق جنوبی، جنوب‌شرق و تا بخش‌هایی از شرق و شمال‌غرب محدوده مطالعاتی که شامل اکثر مساحت شهرستان‌های قلعه‌گنج، رودبار جنوب، جیرفت و فاریاب می‌باشد. همچنین در این ماه، کم‌ترین همبستگی EVI با SPEI ۹ ماهه بوده که در حدود ۱۵/۱۵۵٪ مساحت محدوده مطالعاتی مشاهده شده است (جدول ۲). در ماه آوریل نیز، بیش‌ترین همبستگی



شکل ۴- بیش‌ترین همبستگی شاخص SPEI و EVI با مقیاس زمانی متفاوت در ماه مارس و آوریل

Figure 4- The highest correlation of EVI and SPEI index with different time scale in March and April

نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، در ماه مارس، دقت حساسیت مثبت خیلی قوی، قوی و متوسط عمدتاً مربوط به شهرستان‌های قلعه‌گنج، منوجان، کهنوج، فاریاب، ارزوئیه، بخش‌های جنوبی، جنوب‌شرق، جنوب، جنوب‌غرب، غرب و نواحی مرکزی جیرفت، رودبار جنوبی و قسمت‌های زیادی از عنبرآباد می‌باشد. عمده قسمت‌های شمالی و شمال‌شرقی محدوده مطالعاتی که شامل نرماشیر، بم، فهرج و ریگان می‌باشد، دقت حساسیت رابطه شاخص SPEI و EVI در طبقات منفی قرار دارد. همچنین در ماه آوریل بیش‌ترین دقت حساسیت رابطه شاخص SPEI و EVI به طبقات دقت حساسیت مثبت زیاد و مثبت متوسط اختصاص داشت که در قسمت‌های مرکزی، غربی، جنوب‌غرب، جنوب، جنوب‌شرق تا شرق محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود.

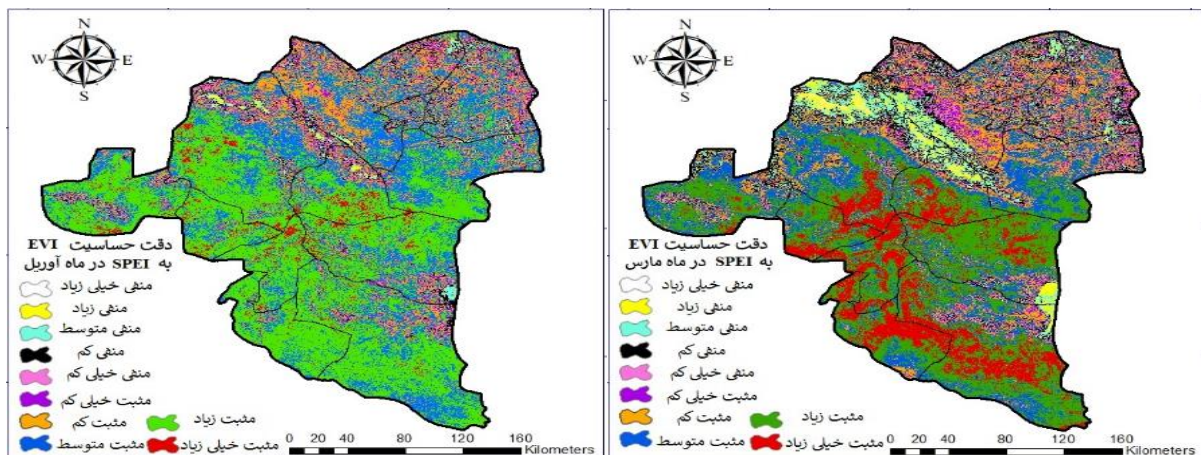
جدول ۲- درصد مساحت همبستگی EVI و SPEI با

مقیاس زمانی مختلف در ماه مارس و آوریل

Table 2- Correlation area percentage of EVI and SPEI with different time scales in March and April

مقیاس زمانی مختلف SPEI	مساحت (%)	
	ماه آوریل	ماه مارس
۳ ماهه	15.44	18.98
۶ ماهه	20.57	25.07
۹ ماهه	10.75	15.55
۱۲ ماهه	53.25	40.4

بعد از تعیین بیش‌ترین مقدار همبستگی EVI و SPEI با مقیاس‌های زمانی مختلف، نقشه‌های همبستگی ادغام و نقشه دقت حساسیت به دست آمد. شکل (۵) نقشه دقت حساسیت رابطه شاخص SPEI و EVI در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در ماه‌های مارس و آوریل



شکل ۵- دقت حساسیت رابطه بین EVI با SPEI ماه‌های مارس و آوریل

Figure 5- The accuracy of the sensitivity of the relationship between EVI and SPEI in March and April

حساسیت شاخص EVI نسبت به SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف

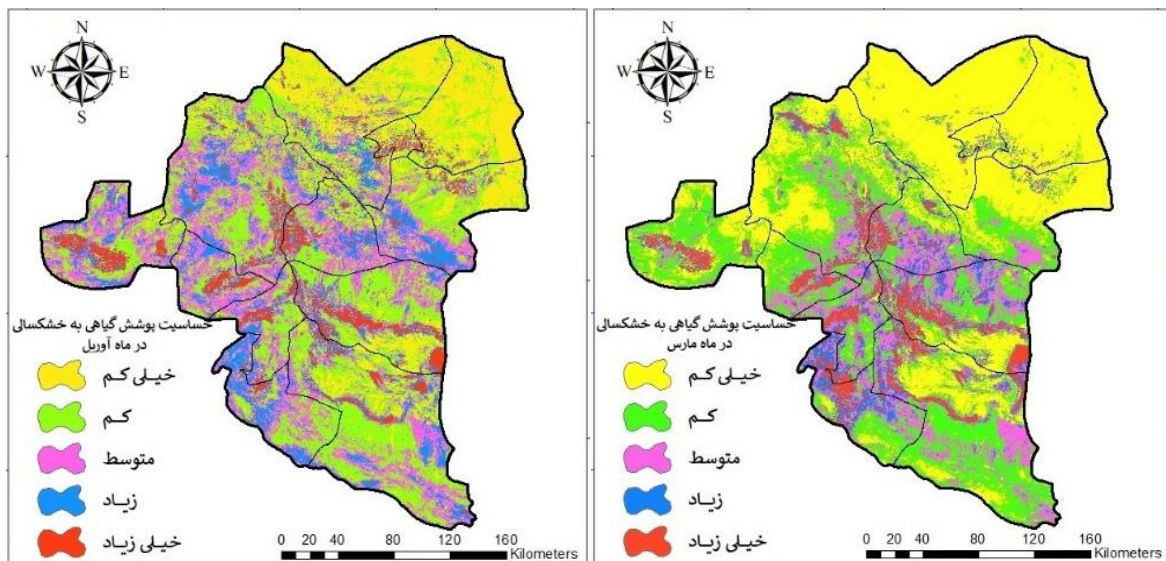
حساسیت شاخص EVI به شاخص SPEI که معرف حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی است، برای ماه مارس و ماه آوریل در شکل (۶) ارائه شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که در ماه مارس شاخص EVI در قسمت‌هایی از شمال، شمال شرق و بخش‌هایی از غرب محدوده مطالعاتی شامل اکثر مساحت شهرستان‌های فهرج، نرماشیر، بم، ریگان حساسیت خیلی کم و کم را به خشکسالی داشته در حالی که در بخش‌هایی از غرب منطقه، نواحی مرکزی به سمت جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق شامل نواحی جنوب شهرستان جیرفت، غرب شهرستان رودبار جنوب، اکثر نواحی کهنوج، بیشترین حساسیت EVI به SPEI مشاهده شده است. با توجه به درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی (جدول ۴) در ماه آوریل نیز شاخص EVI در عمده قسمت‌های غربی، شمال غربی، مرکزی، شرق و جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب محدوده مطالعاتی دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت SPEI بوده است. در این ماه نیز کمترین حساسیت EVI به خشکسالی مربوط به قسمت‌های شمال شرق است.

جدول (۳) درصد مساحت کلاس‌های مختلف دقت حساسیت EVI به SPEI در ماه مارس و آوریل را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در ماه مارس، کلاس‌های مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم به ترتیب ۲۹/۰۲، ۱۹/۴۱ و ۱۵/۰۳٪ از محدوده مورد مطالعه را به خود اختصاص دادند. این مقادیر برای ماه آوریل نیز به ترتیب ۴۱/۸۹، ۲۸/۱ و ۱۴/۶۹٪ می‌باشد. همچنین کمترین درصد مساحت نیز در هر دو ماه مربوط به کلاس‌های منفی خیلی زیاد و منفی زیاد می‌باشد.

جدول ۳- درصد مساحت کلاس‌های مختلف دقت حساسیت EVI به SPEI در ماه مارس و آوریل

Table 3- Area percentage of different accuracy classes of EVI sensitivity to SPEI in March and April

درصد مساحت		طبقات دقت حساسیت
ماه آوریل	ماه مارس	
0.01	0.24	منفی خیلی زیاد
0.36	2.46	منفی زیاد
1.53	5.49	منفی متوسط
3.39	8.05	منفی کم
2.62	3.31	منفی خیلی کم
4.2	4.36	مثبت خیلی کم
14.69	15.03	مثبت کم
28.1	19.41	مثبت متوسط
41.89	29.02	مثبت زیاد
3.21	12.64	مثبت خیلی زیاد



شکل ۶- میزان حساسیت رابطه EVI با SPEI ماه‌های مارس و آوریل

Figure 6- The sensitivity of the relationship between EVI and SPEI in March and April

کشور چین، به این موضوع اشاره کرده‌اند. همچنین Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود بیان داشتند که در جنوب کرمان بیش‌ترین همبستگی تغییرات پوشش گیاهی با SPEI ۱۲ ماهه است.

نتایج دقت حساسیت EVI به SPEI نشان داد که بیش‌ترین دقت حساسیت به ترتیب به کلاس‌های مثبت زیاد، مثبت متوسط و مثبت کم اختصاص دارد که عمدتاً به شهرستان‌های مرکزی، غربی، جنوب‌غربی، جنوب تا جنوب‌شرق و بخش‌هایی از شرق محدوده مطالعاتی مربوط می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش مقدار SPEI (افزایش به معنای رطوبت بیش‌تر و کاهش به معنای رطوبت کم‌تر است) باعث افزایش مقدار EVI که نمایانگر میزان پوشش گیاهی و طراوت آن است، می‌شود. از طرفی مساحت کلاس مثبت زیاد نیز نمایانگر نقش مهم اقلیم در تحولات پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه است.

همچنین نتایج حساسیت EVI به SPEI نشان داد که کم‌ترین حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی مربوط به نواحی شمال‌شرق، بخش‌هایی از جنوب‌شرق و شمال محدوده مطالعاتی می‌باشد. این نواحی عمدتاً اراضی بایر و یا مرتع با تاج پوشش فقیر را شامل می‌شود؛ بنابراین به دلیل فقدان و کمبود پوشش گیاهی حساسیت EVI به SPEI در کم‌ترین حالت قرار دارد. Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) و BehrangManesh و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش‌های خود به این موضوع اشاره می‌نمایند.

به طور کلی از نتایج ارزیابی پدیده خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی محدوده می‌توان در مدیریت پوشش گیاهی به ویژه مراتع و چرای دام نیز بهره برد. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که شرایط محیطی مانند ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و مدیریت انسان و غیره تأثیر بسیار مهمی در تعیین ارتباط بین شاخص پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی هواشناسی دارد. از طرفی با نظارت و کنترل پدیده خشکسالی می‌توان از اثرات منفی آن تا حد قابل

جدول ۴- درصد مساحت کلاس‌های مختلف حساسیت

پوشش گیاهی به خشکسالی در ماه مارس و آوریل

Table 4- Area percentage of different classes of vegetation sensitivity to drought in March and April

کلاس حساسیت	مساحت (%)	
	ماه آوریل	ماه مارس
خیلی کم	18.98	42.32
کم	34.62	29.35
متوسط	27.12	16.11
زیاد	13.27	5.74
خیلی زیاد	6.01	6.48

بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی‌ها عمدتاً به علت کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق ناشی از افزایش دما است (Greve et al., 2014; Novick et al., 2016). تحت تأثیر گرمایش جهانی، فراوانی و شدت رویدادهای خشکسالی به ویژه در عرض‌های جغرافیایی میانی افزایش یافته است (Sheffield & Wood, 2008; Lau et al., 2013). با توجه به تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر و وقوع خشکسالی‌های متعدد در استان کرمان، شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی جنوب این استان و اهمیت حفظ پوشش گیاهی در این نواحی، در پژوهش حاضر تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی با بهره‌گیری از شاخص خشکسالی SPEI و شاخص پوشش گیاهی EVI مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز همبستگی EVI با SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف، در هر دو ماه مارس و آوریل، بیش‌ترین همبستگی EVI به ترتیب با SPEI ۱۲، ۶، ۳ و ۹ ماهه بوده است؛ بنابراین بیش‌ترین تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در جنوب استان کرمان مربوط به SPEI ۱۲ ماهه است و کم‌ترین آن مربوط به SPEI ۹ ماهه است. این نتایج به علت شرایط محیطی متفاوت در محدوده مورد مطالعه است که باعث شده در هر منطقه نتایج متفاوتی به دست بیاید. Ding و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با هدف ارزیابی مکانی-زمانی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی

سنجش از دوری، تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های اقلیمی نظیر SPEI و SPI در بازه‌های زمانی مختلف و در مناطق جغرافیایی متفاوت از لحاظ اقلیمی، توپوگرافی و غیره استفاده کرد تا ارتباط بین این دو شاخص دقیق‌تر بررسی شود.

توجهی جلوگیری کرد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی با در نظر گرفتن عوامل مذکور، پیش‌بینی این پدیده و مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر پدیده خشکسالی در اولویت قرار گیرد؛ که در جهت دستیابی به این موضوع می‌توان از تکنیک

References

- Alamdarloo, E.H., Abolhasani, A., Manesh, M.B., & Khosravi, H. (2024). Application of remote sensing techniques for evaluating land surface vegetation. In *Remote Sensing of Soil and Land Surface Processes* (pp. 199-216). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15341-9.00006-X>
- Ahmad, M.I., Sinclair, C.D., & Werritty, A. (1988). Log-logistic flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 98(3-4), 205-224. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90015-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90015-7).
- Bagheri, S., Heydari Alamdarloo, E., Khosravi, H., & Abolhasani, A. (2021). The effect of meteorological drought on vegetation dynamics in Iran. *Journal of Rangeland*, 15(4), 622-637. (In Persian)
- Bazarafshan, C., Hejabi, S. (2016). *Drought and its monitoring methods (along with applications in MATLAB programming environment)*. Tehran University Press, 224 pages. (In Persian)
- Behrang Manesh, M., Khosravi, H., Heydari Alamdarloo, E., Saadi Alekasir, M., Gholami, A., & Singh, V.P. (2019). Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1025-1033. <http://doi.org/10.1007/s00704-019-02878-w>.
- Boori, M.S., Choudhary, K., & Kupriyanov, A. (2022). Detecting vegetation drought dynamics in European Russia. *Geocarto International*, 37(9), 2490-2505. <http://doi.org/10.1080/10106049.2020.1750063>.
- Chatfield, C. (2016). *The analysis of time series: an introduction*. CRC press. pp 352. <https://doi.org/10.4324/9780203491683>
- Ding, Y., Xu, J., Wang, X., Peng, X., & Cai, H. (2020). Spatial and temporal effects of drought on Chinese vegetation under different coverage levels. *Science of The Total Environment*, 716, 137166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137166>.
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., Gilevari, A., & Adeli Sardooei, M. (2021a). A survey on the effect of drought on environmental indices derived from the MODIS data over the 2001-2019 period (Case study: Rangelands of Isfahan province). *Rangeland*, 15(3), 460-476. (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Sayadi, Z., & Khoorani, A. (2021b). Evaluation of spatiotemporal changes and correclations of aerosol optical depth, NDVI and climatic data over Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(4), 772-786. <http://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125252> (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Mahdavi, R., Khoorani, A., & Li, J. (2022a). Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars province). *Desert Ecosystem Engineering*, 8(24), 49-64. <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.24.35>. (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivan, H., & Barati, A. (2022b). Investigating the influence of drought on trend of vegetation changes in arid and semiarid regions, using remote sensing technique: A case study of Hormozgan Province). *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28), 13-28. <http://doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.11> (In Persian)
- Evans, J.D. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
- Greve, P., Orlowsky, B., Mueller, B., Sheffield, J., Reichstein, M., & Seneviratne, S.I. (2014). Global assessment of trends in wetting and drying over land. *Nature*

- geoscience*, 7(10), 716-721.
<http://doi.org/10.1038/ngeo2247>
- Heydari Alamdarloo, E., Moradi, E., Abdolshahnejad, M., Fatahi, Y., Khosravi, H., & da Silva, A.M. (2021). Analyzing WSTP trend: a new method for global warming assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15.
<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09600-2>
- 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)
- Javed, T., Li, Y., Feng, K., Ayantobo, O.O., Ahmad, S., Chen, X., & Suon, S. (2021). Monitoring responses of vegetation phenology and productivity to extreme climatic conditions using remote sensing across different sub-regions of China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 3644-3659.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10769-1>
- Khosravi, H., Eskandari Dermaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Borji, M., & Nakhaee Nejadfard, S. (2018). Drought trend assessment in riverheads of karkheh and dez basins based on streamflow drought index (SDI). *Desert Ecosystem Engineering*, 7(2), 45-54.
<https://doi.org/10.22052/jdee.2018.101087.1019> (In Persian)
- Kong, D., Zhang, Q., Singh, V.P., & Shi, P. (2017). Seasonal vegetation response to climate change in the Northern Hemisphere (1982–2013). *Global and Planetary Change*, 148, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.020>
- Lau, W.K.M., Wu, H.T., & Kim, K.M. (2013). A canonical response of precipitation characteristics to global warming from CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 40(12), 3163-3169.
<http://doi.org/10.1002/grl.50420>
- Lee, S., Moriasi, D.N., Mehr, A.D., & Mirchi, A. (2024). Sensitivity of standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI) to the choice of SPEI probability distribution and evapotranspiration method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101761.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101761>
- Ma, J., Zhang, C., Li, S., Yang, C., Chen, C., & Yun, W. (2023). Changes in vegetation resistance and resilience under different drought disturbances based on NDVI and SPEI time series data in Jilin Province, China. *Remote Sensing*, 15(13), 3280.
<https://doi.org/10.3390/rs15133280>
- Mazidi, A., Mohammadi Ravari, F., & Behzadi Shahrehabak, Z. (2023). Assessment of the drought situation in Kerman using drought indicators and its relationship with the state of vegetation change in the region. *Nivar (Journal of Meteorological Organization)*, 47(120-121), 166-180.
<https://doi.org/10.30467/nivar.2023.3949001244> (In Persian)
- Moradi, E., Darabi, H., Alamdarloo, E.H., Karimi, M., & Kløve, B. (2023). Vegetation vulnerability to hydrometeorological stresses in water-scarce areas using machine learning and remote sensing techniques. *Ecological Informatics*, 73, 101838.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101838>
- Nasabpour, S., Khosravi, H., & Heydari Alamdarloo, E. (2017). National assessment of climate resources for tourism seasonality in Iran using the tourism climate index. *Desert*, 22(2), 175-186.
- Nejadrekabi, M., Eslamian, S., & Zareian, M. J. (2022). Spatial statistics techniques for SPEI and NDVI drought indices: A case study of Khuzestan Province. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7), 6573-6594.
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03852-8>
- Novick, K. A., Miniati, C. F., & Vose, J. M. (2016). Drought limitations to leaf-level gas exchange: results from a model linking stomatal optimization and cohesion–tension theory. *Plant, cell & environment*, 39(3), 583-596.
<https://doi.org/10.1111/pce.12657>
- Savari, M., Damaneh, H.E., & Damaneh, H.E. (2024). Managing the effects of drought through the use of risk reduction strategy in the agricultural sector of Iran. *Climate Risk Management*, 45, 100619.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100619>

- Sheffield, J., & Wood, E.F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate dynamics*, 31, 79-105. <http://doi.org/10.1007/s00382-007-0340-z>
- Singh, V.P., Guo, H., & Yu, F.X. (1993). Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 7, 163-177. <https://doi.org/10.1007/BF01585596>
- Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Xu, C.Y., & Van Lanen, H. A. (2014). Standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. In *Hydrology in a changing world*, 363, 367-373.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94. <https://doi.org/10.2307/210739>.
- Vicente-Serrano, S.M., Cabello, D., Tomás-Burguera, M., Martín-Hernández, N., Beguería, S., Azorin-Molina, C., & El Kenawy, A. (2015). Drought variability and land degradation in semiarid regions: Assessment using remote sensing data and drought indices (1982–2011). *Remote Sensing*, 7(4), 4391-4423. <https://doi.org/10.3390/rs70404391>.
- Wang, Q., Wu, J., Lei, T., He, B., Wu, Z., Liu, M., & Liu, D. (2014). Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. *Quaternary International*, 349, 10-21. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.021>.
- Won, J., & Kim, S. (2023). Ecological drought condition index to monitor vegetation response to meteorological drought in Korean Peninsula. *Remote Sensing*, 15(2), 337. <https://doi.org/10.3390/rs15020337>.
- Zhao, H., Huang, Y., Wang, X., Li, X., & Lei, T. (2023). The performance of SPEI integrated remote sensing data for monitoring agricultural drought in the North China Plain. *Field Crops Research*, 302, 109041. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109041>