

## Investigating the Impact of Climatic Drought Changes on Vegetation Indicators (Case study: Eshtehard city, Alborz province)

Behzad Aslanpanjeh, Hossein Arzani\*, Ali Tavili, Hamidreza Keshtkar, Shahram Khalighi sigaroodi  
Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran,  
Karaj, Iran.

\*Corresponding Author: harzani@ut.ac.ir

(Received: 29 August 2023

Revised: 01 October 2023

Accepted: 24 October 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Vegetation provides valuable ecosystem services to various terrestrial ecosystems, such as carbon sequestration, fodder supply, and water resource regulation. It is predicted that the fluctuation and changes of climate in the future will have a great impact on terrestrial ecosystems, including the destruction of rangelands and desertification, increased drying of trees and reduction of carbon sequestration. Drought is a complex and climatic phenomenon that occurs frequently or intermittently in any type of climate and its progress is slow, so that its effects may appear gradually. Due to the high sensitivity of vegetation to climate fluctuations especially in arid and semi-arid regions, droughts can affect vegetation faster and disrupt its natural growth. Therefore, knowing the severity, duration and place covered by the drought phenomenon could reduce the damages. As the global air temperature is continuously increasing under the influence of climate change, the spatio-temporal pattern of rainfall and land use is expected to change significantly in the coming decades. Therefore, it is necessary to develop more accurate and effective drought monitoring tools. In this case, remote sensing plays an important role in drought studies since it provides unique data from the earth's surface. Satellite data provide the possibility to identify the damaged vegetation in different types of uses and assess the severity of the damage. Using satellite data to monitor plant activities in a large area has many advantages compared to studies based on traditional methods and is currently a hot topic of pioneering research in the field of drought diagnosis. The purpose of this research is to evaluate the dynamics of vegetation cover and the effect of climate change on it in Eshtehard Karaj township. It is hoped that its results will be used by managers and planners of natural resources for sustainable management of vegetation.

**Materials and methods:** This research was done in two parts. In the first part, the effect of drought on vegetation was investigated using Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Enhanced vegetation index (EVI), and in the next part, the vulnerability of vegetation was calculated using EVI index. In the second part, SPEI of 3, 6, 9 and 12 months were calculated in MATLAB software for 8 meteorological stations. It should be noted that SPEI has positive and negative values, in which the more negative values indicate the severity of drought. After calculating the SPEI index in the scale of 3, 6, 9 and 12 months for all 8 weather stations, drought intensity maps were obtained using the Inverse Distance Weighted (IDW) method. Then, the ready-made EVI, the MOD13Q1 product of the MODIS sensor was used from the beginning of 2001 to the end of 2022. First, the average EVI index for the entire county of Eshtehard was extracted on a monthly basis and the month with the highest average EVI was selected as the target month. Pearson correlation and coefficient of determination ( $R^2$ ) were calculated between SPEI maps of 3, 6, 9 and 12 months and EVI of the selected month in Earth Trend Modeler (ETM) TerrSet software. Then the time scale of SPEI with the highest  $R^2$  was extracted. In the following, the intensity of EVI changes of the selected month was calculated in terms of SPEI changes (slope of changes) using linear analysis in ETM tool of TerrSet software. In the second part, the probability of vegetation vulnerability was calculated using the probability of vegetation vulnerability index (PVVI). For this reason, vegetation condition index (VCI) was first calculated using EVI index. After calculating the VCI index for the selected month of each year in the period from 2001 to 2022, this index was classified into five classes. Then the probability percentage of each

**Citation:** Aslanpanjeh, B., Arzani, H., Tavili, A., Keshtkar, H., & Khalighi sigaroodi, S. (2023). Investigating the impact of climatic drought changes on vegetation indicators (Case study: Eshtehard city, Alborz province). *Integrated Watershed Management*, 3 (4), 18-32. doi:10.22034/iwm.2023.2010428.1103

### 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>).



class was calculated. Finally, the PVVI index was calculated by multiplying the weight of each class by the probability of its occurrence.

**Results:** The monthly average EVI index showed that the months of April and October have the highest and lowest average value of EVI in the studied area, respectively. The month of April was chosen as the target month. According to the  $R^2$ , the relationship between SPEI in different time scales and EVI of the chosen month, in 68.9% of the studied area, three-month SPEI has the strongest relationship with vegetation compared to 6, 9, 12-month SPEI. Most of the mountainous areas in the south of Eshtehard city are in this class. Also, parts of the northwest are included in this class. SPEI of six months in 17.3% of the study area has the strongest relationship with vegetation and SPEI ratio in other time scales. Examining the results of this section showed that the general spatial pattern of vegetation vulnerability probability obtained from the probability of vegetation vulnerability index (PVVI) is to an acceptable extent similar to the pattern of the intensity map of vegetation changes compared to drought. Therefore, the middle belt from west to east is in the probability of vegetation vulnerability map in the high and very high vulnerability class (26.4% and 14.4% of the study area, respectively). In general, 13% and 20.6% of the studied area are placed in the classes of low and very low probability of vulnerability, respectively. These areas are mostly concentrated in the northern belt from east to west, as well as south and southwest of the studied area.

**Discussion and conclusion:** The results of evaluating the probability of vegetation vulnerability in Eshtehard city showed that the general spatial pattern of the probability of vegetation vulnerability obtained from the PVVI index is to an acceptable extent similar to the pattern of the map of intensity of changes in vegetation compared to drought. Therefore, it can be said that the PVVI index can determine areas with high vulnerability of vegetation for better drought management.

**Keywords:** Vulnerability of vegetation, Enhanced vegetation index, Standardised Precipitation Evapotranspiration Index, Severity of changes

**Citation:** Aslanpanjeh, B., Arzani, H., Tavili, A., Keshtkar, H., & Khalighi sigaroodi, S. (2023). Investigating the impact of climatic drought changes on vegetation indicators (Case study: Eshtehard city, Alborz province). *Integrated Watershed Management*, 3 (4), 18-32. doi:10.22034/iwm.2023.2010428.1103

**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 تاثیر تغییرات خشکسالی اقلیمی بر شاخص‌های پوشش گیاهی (مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد، استان البرز)

بهزاد اصلان پنجه، حسین ارزانی\*، علی طویلی، حمیدرضا کشت کار، شهرام خلیقی سیگارودی  
گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران  
\*نویسنده مسئول: harzani@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷

### چکیده

پوشش گیاهی نه تنها به عنوان یک شاخص مستقیم از وضعیت اکوسیستم‌های زمینی به کار گرفته می‌شود، بلکه تغییرات محیطی محلی و جهانی را نیز به نمایش می‌گذارد. خشک‌سالی و نوسانات شدید اقلیمی یکی از عوامل مهم در تغییرات پوشش گیاهی است. در این پژوهش سعی شده است که تأثیر نوسانات اقلیمی بر پویایی پوشش گیاهی شهرستان اشتهارد کرج مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور ابتدا با استفاده از داده‌های بارش و دمای ۸ ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۲ شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در بازه زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه و برای محدوده مورد مطالعه پهنه‌بندی صورت گرفت. سپس رابطه این شاخص‌ها با شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI) در ماهی که دارای بیشترین میانگین این شاخص است، بررسی شد. در نهایت با استفاده از شاخص احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی (PVVI) میزان آسیب‌پذیری پوشش گیاهی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در ۶۸/۹ درصد محدوده مورد مطالعه SPEI سه ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی نسبت به SPEI سایر بازه‌های زمانی دارد و اکثر نواحی کوهستانی جنوب شهرستان اشتهارد در این کلاس قرار می‌گیرند. همچنین نتایج ارزیابی شدت تغییرات نشان داد که ۲۰/۳ و ۱۸/۶ درصد از محدوده مورد مطالعه نیز به ترتیب در کلاس‌های شدت تغییرات زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که عموماً در کمربند میانی از غرب تا شرق محدوده مورد مطالعه متمرکز شده‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی نیز حاکی از آن است که الگوی کلی احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی تا حد قابل قبولی مشابه الگوی نقشه شدت تغییرات پوشش گیاهی نسبت به خشک‌سالی است که این مطلب کارایی شاخص PVVI را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تحلیل داده‌های سنجش‌ازدور امکان شناسایی نواحی دارای پوشش گیاهی حساس‌تر به نوسان اقلیم را فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری پوشش گیاهی، شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده، شدت تغییرات

استناد: اصلان پنجه، ب.، ارزانی، ح.، طویلی، ع.، کشت کار، ح. و خلیقی سیگارودی، ش. (۱۴۰۲). بررسی تاثیر تغییرات خشکسالی اقلیمی بر شاخص‌های پوشش گیاهی (مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد، استان البرز). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۴)، ۳-۱۸.

### 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

در عصر حاضر تغییرات و نوسانات اقلیمی تأثیرات زیادی بر محیط‌زیست، توسعه اجتماعی (Mishra *et al.*, 2010; Schmidhuber & Tubiello, 2007; Funatsu *et al.*, 2019) و سلامت انسان (Caminade *et al.*, 2019) دارد و بسیاری از چالش‌های جهانی مانند ناامنی غذایی، بحران آب، از دست دادن تنوع زیستی و مسائل مربوط به سلامت به این پدیده وابسته است. به همین دلیل، شناخت الگوهای آب و هوایی برای توسعه، تکامل و پایداری جوامع انسانی بسیار مهم است (Woznicki *et al.*, 2016; Levy *et al.*, 2019). به‌طور کلی اقلیم سیستمی با تغییرپذیری بالا است (Nunes *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2016). اقلیم در طول زمان به دو دسته نوسانات اقلیمی و تغییرات اقلیمی تقسیم می‌شود. نوسانات اقلیمی از قبیل خشک‌سالی‌ها شامل تغییرات کوتاه‌مدت اقلیمی (در مقیاس زمانی ماه‌ها، سال‌ها و حتی دهه‌ها) و تغییرات اقلیمی از قبیل گرمایش جهانی شامل تغییرات بلندمدت اقلیم (در مقیاس زمانی دهه‌ها و قرن‌ها) است. پوشش گیاهی که یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های سلامت اکوسیستم است به‌شدت تحت تأثیر نوسان و تغییرات اقلیمی است (Bagheri *et al.*, 2021). پوشش گیاهی خدمات ارزشمندی مانند ترسیب کربن، تأمین علوفه و تنظیم منابع آب ارائه می‌کند (Pakeman *et al.*, 2019). پیش‌بینی می‌شود که نوسان و تغییر اقلیم در آینده تأثیر زیادی بر اکوسیستم‌های زمینی از جمله تخریب مراتع و تشدید بیابان‌زایی (Miao *et al.*, 2015)، افزایش خشکیدگی درختان، تحریک آتش‌سوزی در اکوسیستم‌ها و کاهش ترسیب کربن داشته باشد (Allen *et al.*, 2010). خشک‌سالی پدیده‌ای پیچیده و طبیعی است که به‌طور مکرر یا متناوب در هر شرایط آب و هوایی رخ می‌دهد (Nejadrekabi *et al.*, 2022) و پیشرفت آن کند است، به‌طوری‌که ممکن است اثرات آن به‌مرور زمان ظاهر شود (Kocaaslan *et al.*, 2021). به‌طور کلی،

خشک‌سالی‌ها به علت حساسیت زیاد پوشش گیاهی به نوسان اقلیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌تواند سریع‌تر پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد (Khosravi *et al.*, 2017) و رشد طبیعی آن را مختل کند. این حساسیت به علت ذخیره رطوبتی کمتر، تبخیر تفرق بیشتر و... است؛ بنابراین اطلاع داشتن از شدت، مدت و مکان تحت تأثیر پدیده خشک‌سالی می‌تواند با اتخاذ تدابیر مناسب مدیریتی، آسیب‌های ناشی از آن را کاهش دهد (Measho *et al.*, 2019). از آنجاکه دمای هوای جهانی به‌طور مداوم تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی در حال تغییر است و انتظار می‌رود الگوی مکانی-زمانی بارندگی و کاربری زمین در دهه‌های آینده به‌طور قابل‌توجهی تغییر کند (Liu *et al.*, 2014)، توسعه ابزارهای دقیق‌تر و مؤثرتر پایش خشک‌سالی ضروری است. در این زمینه، سنجش‌ازدور به دلیل مزایای مکانی و زمانی که می‌تواند ارائه دهد، نقش مهمی در مطالعات خشک‌سالی ایفا می‌کند (West *et al.*, 2019). داده‌های ماهواره‌ای امکان شناسایی پوشش گیاهی آسیب‌دیده در انواع کاربری‌های مختلف و ارزیابی شدت آسیب را فراهم می‌کنند (Rimkus *et al.*, 2017). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای جهت پایش فعالیت‌های گیاهی در یک منطقه بزرگ در مقیاسه با مطالعات مبتنی بر روش‌های سنتی مزیت‌های زیادی دارند (Pei *et al.*, 2018) و در حال حاضر موضوع داغ تحقیقات پیشگام در زمینه تشخیص خشک‌سالی است (Choi *et al.*, 2013; Lin *et al.*, 2014). تاکنون تحقیقات متنوعی در زمینه ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در مواجهه با نوسانات اقلیمی و خشک‌سالی انجام شده که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Askarizadeh و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی واکنش گیاهان به تغییر اقلیم بیان داشتند که وجود همبستگی

نوسان اقلیم بر پوشش گیاهی از شاخص‌های SPEI و NDVI در شمال شرق چین استفاده کرده و گزارش نمودند که تقریباً ۴۵/۴ درصد از پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه در معرض خطر متوسط یا زیاد خشکسالی قرار دارد. همچنین Javed و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود با هدف ارزیابی اثر نوسان اقلیم بر فنولوژی گیاهی در کشور چین، از شاخص SPEI و EVI بهره بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که همبستگی قوی‌تری بین EVI و SPEI در مقایسه با همبستگی EVI و بارش وجود دارد. همچنین آن‌ها بیان داشتند که شمال چین به تغییرات آب و هوایی حساس‌تر است.

با توجه ارزیابی مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج کشور، ارزیابی اثر نوسان اقلیم بر پوشش گیاهی و به‌طور کلی پویایی پوشش گیاهی همچنان دارای چالش‌های زیادی است.

شهرستان اشتهارد استان البرز در دسته‌ی مناطق خشک تقسیم‌بندی می‌شود و از نظر تقسیمات ژئوبوتانیکی به روش پابو در ناحیه استپی سرد جای می‌گیرد و در اکثر نقاط محدودیت‌های ادافیکی و اقلیمی زیاد بوده است و باعث فقر پوشش شده است (Dehghan *et al.*, 2018)؛ بنابراین در این محدوده پوشش گیاهی و مدیریت درست آن از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این پژوهش ارزیابی پویایی پوشش گیاهی و اثر نوسان اقلیم بر آن در شهرستان اشتهارد کرج است.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

شهرستان اشتهارد یکی از شهرستان‌های استان البرز است که در ۱۲۰ کیلومتری تهران و ۶۳ کیلومتری کرج، در محدوده طول جغرافیایی ۵۰°۹'۱۹" تا

بالا بین شاخص  $SPI^1$  و  $NDVI^2$  در مراتع پلور و سد لار نشان می‌دهد که تقریباً در تمامی سال‌های کاهش پوشش گیاهی، خشکسالی شدید تا متوسط رخ داده است. Firouzi و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود در دشت سیستان حساسیت دو شاخص  $NDVI$  و  $EVI^3$  نسبت به وقوع خشکسالی در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ را ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که شاخص  $EVI$  در مقایسه با  $NDVI$  در مناطق خشک و نیمه‌خشک که از پوشش گیاهی کمی دارند، کارایی بهتری دارد. Behrang Manesh و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود رابطه خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در اقلیم‌های مختلف ایران را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که در ایران در ماه ژوئن و کلاس اقلیمی خشک، بیشترین همبستگی بین شاخص‌های SPEI ۱۲ ماهه و  $VHI^4$  رخ می‌دهد. در تحقیقی دیگر، Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود اثر خشکسالی هواشناسی بر پویایی پوشش گیاهی در ایران را با استفاده از شاخص  $SPEI^5$  و  $EVI$  ارزیابی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که به ترتیب در ۱۸/۴۶، ۲۲/۶۳، ۳۰/۷۷ و ۲۸/۱۴ درصد از کل مساحت ایران، SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه بیشترین میزان همبستگی با پوشش گیاهی را دارد. Alamdarloo و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود شاخص جدیدی را تحت عنوان شاخص احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی ( $PVVI^6$ ) معرفی نمودند تا بتوانند احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی نسبت به خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران را ارزیابی نمایند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی شاخص  $PVVI$  در مناطق خشک و فرا خشک بیشتر از دیگر اقلیم بوده است در نتیجه احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی نسبت به خشکسالی در آن‌ها بیشتر است. Li و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود به‌منظور ارزیابی اثر

5. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

6. Probability of Vegetation Vulnerability Index (PVVI)

1. Standardized Precipitation Index (SPI)

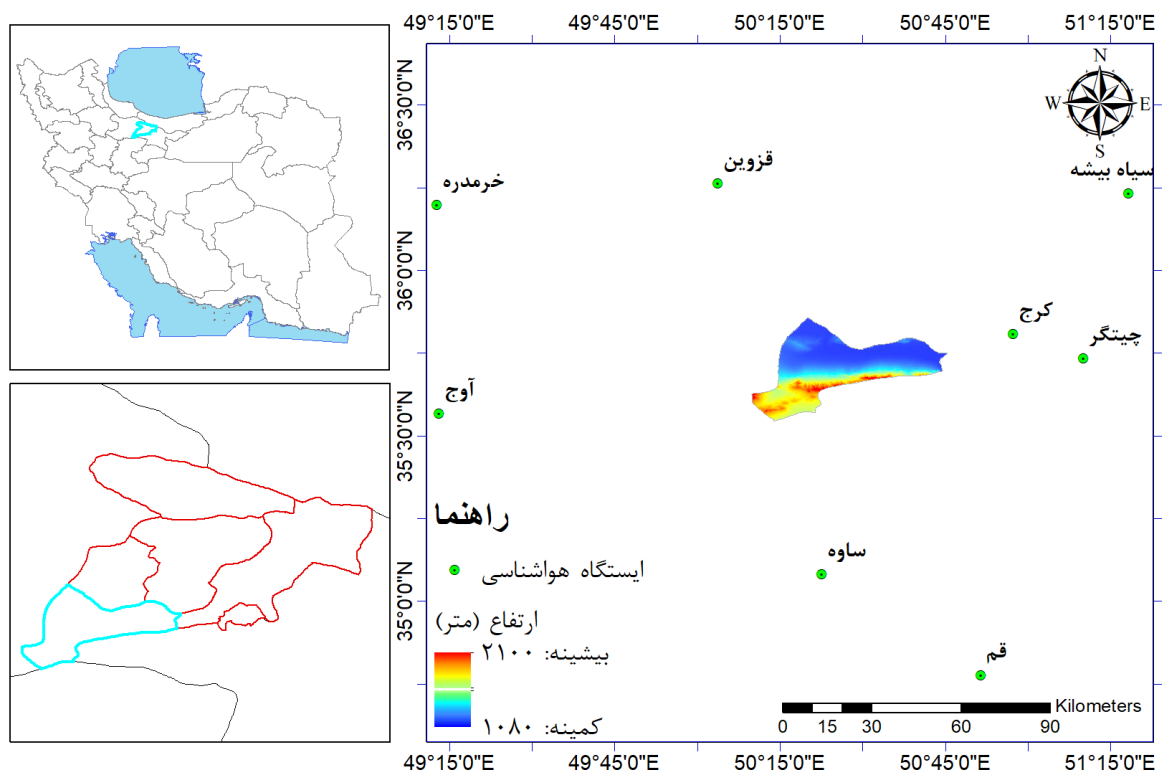
2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

3. Enhanced Vegetation Index (EVI)

4. Vegetation Health Index (VHI)

تابستان ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد و بیشینه آن ۳۶ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی بلندمدت سالیانه در شهرستان اشتهارد ۲۳۸/۴ میلی‌متر است (اداره کل هواشناسی استان البرز<sup>۱</sup>). بخش جنوبی شهرستان اشتهارد به صورت مناطق مرتفع و بخش شمالی آن به صورت مناطق دشتی است.

۵۰°۴۵'۳" و عرض جغرافیایی ۳۵°۳۲'۲۷" تا ۳۵°۵۱'۵۲" واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان از نظر طبقه‌بندی آب و هوایی جزو نواحی خشک تا تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد است. در بررسی کلی آب‌وهوای این منطقه بر مبنای آمارهای ایستگاه باران‌سنجی اشتهارد و ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاه پیام، متوسط درجه حرارت در



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

Figure 1- The location of the study area and the meteorological stations

## بخش اول -

### شاخص SPEI

این شاخص با استفاده از دو پارامتر بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) محاسبه می‌شود. به همین منظور از داده‌های بارش و دمای ۸ ایستگاه هواشناسی (شکل ۱) در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۲ به صورت ماهانه استفاده شد. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص

## روش تحقیق

این پژوهش در دو بخش انجام شد. در بخش اول اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی با استفاده از شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI<sup>۲</sup>) و شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته (EVI<sup>۳</sup>) بررسی شد و در بخش بعدی احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی با استفاده از شاخص EVI محاسبه گردید.

3. Enhanced Vegetation Index (EVI)

1. <http://alborzmet.ir/>

2. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

می‌شود و علامت SPEI قرینه می‌شود (-Vicente) باشد P با 1-P جایگزین اما اگر  $P > 0.5$  باشد P با 1-P جایگزین می‌شود و علامت SPEI قرینه می‌شود (-Vicente) تمامی محاسبات SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در نرم‌افزار MATLAB کدنویسی و برای ۸ ایستگاه هواشناسی انجام شد. لازم به ذکر است که SPEI دارای مقادیر مثبت و منفی است که هر چه این مقدار منفی‌تر باشد نشان‌دهنده خشک‌سالی با شدت بیشتر است. بعد از محاسبه شاخص SPEI، با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW<sup>1</sup>) نقشه‌های شدت خشک‌سالی به دست آمد. دلیل استفاده از این روش تعداد کم ایستگاه‌ها و پراکنش نامنظم آن است.

### شاخص EVI

در مناطق با پوشش گیاهی غیر متراکم، ترکیب پیچیده نوع خاک، آثار جوی و پوشش گیاهی، امکان استخراج اطلاعات قابل‌اعتماد را از داده‌های ماهواره‌ای کاهش می‌دهد. در این پژوهش بنابر توصیه تحقیقات گذشته (Bagheri et al., 2021; Behrang Manesh et al., 2018; Alamdarloo et al., 2019) از EVI به دست آمده از محصول MOD13Q1 سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز از ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۲۲ استفاده شد. در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است که در آن فاکتور تنظیم خاک می‌گردد که باعث می‌شود حساسیت به نواحی پوشش گیاهی را افزایش و اثرات منفی خاک پس‌زمینه کاهش یابد (Huete et al., 2002).

در ادامه میانگین شاخص EVI برای کل شهرستان اشتهارد به صورت ماهانه استخراج و ماه دارای بیشترین میانگین EVI به عنوان ماه هدف انتخاب شد.

### همبستگی و رگرسیون بین SPEI با EVI

در این مرحله شاخص همبستگی پیرسون و ضریب تعیین  $R^2$ ، بین نقشه‌های SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و EVI ماه انتخابی در Earth Trend Modeler (ETM)

SPEI به روش برآورد تبخیر و تعرق ارتباطی ندارد. در این مطالعه برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از معادله تورنت وایت (۱۹۴۸) استفاده شد. سپس با استفاده از رابطه (۱) کمبود یا مازاد آب ماهانه و در گام بعدی  $X_{i,j}^k$  از معادله (۲) محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این روابط  $i$  سال موردنظر،  $j$  ماه موردنظر و  $k$  مقیاس زمانی است. در این تحقیق SPEI در مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه شد.

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

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,j} & \text{if } j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,j} & \text{if } j \geq k \end{cases} \quad (2)$$

Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) توزیع‌های سازگار با سری مشاهدات  $D$  را موردبررسی و آزمون قرار دادند و نتیجه گرفتند که توزیع سه پارامتری لوگ-لجیستیک مناسب‌ترین توزیع سازگار با آن است و انتخاب مناسبی جهت استاندارد کردن سری  $D$  برای تعیین شاخص SPEI است. تابع چگالی احتمال توزیع سه پارامتری لوگ-لجیستیک به صورت رابطه (۳) است.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2} \quad (3)$$

در رابطه (۳)  $\beta$ ،  $\alpha$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاسی، شکلی و مرزی برای مقادیر  $D$  در بازه  $0 < D < \infty$  هستند. در نهایت بر مبنای تابع  $F(x)$ ، SPEI با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (4)$$

در معادله (۴)  $C_0 = 2.515517$ ،  $C_1 = 0.802853$ ،  $C_2 = 0.010328$ ،  $d_1 = 1.432788$ ،  $d_2 = 0.189269$  و  $d_3 = 0.001308$  می‌باشند. همچنین در این معادله اگر  $P = 1 - F(x) \leq 0.5$  باشد آنگاه  $W =$

$$VCI = \frac{EVI_i - EVI_{min}}{EVI_{max} - EVI_{min}} \times 100 \quad (5)$$

در این معادله  $EVI_i$  از  $EVI$  یک پیکسل خاص در سال  $i$ ام در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ است و به ترتیب  $EVI_{max}$  و  $EVI_{min}$  بیشترین ارزش و کمترین ارزش  $EVI$  همان پیکسل در بازه زمانی مورد مطالعه است. شاخص  $EVI$  بیانگر میزان پوشش در سطح زمین بوده و حداکثر و حداقل مقادیر  $EVI$  به ترتیب بهترین و بدترین شرایط برای رشد گیاه را منعکس می‌کنند و تفاوت بین آن‌ها شرایط زندگی گیاه محلی را نشان می‌دهد (Qian et al., 2016). بعد از محاسبه شاخص  $VCI$  برای ماه انتخابی هر سال در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲، این شاخص با توجه به جدول (۱) کلاس‌بندی شد.

نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد. سپس مقیاس زمانی SPEI دارای بیشترین مقدار ضریب  $R^2$  استخراج گردید. در ادامه شدت تغییرات  $EVI$  ماه انتخابی برحسب تغییرات SPEI (شیب تغییرات) با استفاده از آنالیز خطی در نرم‌افزار Earth Trend Modeler (ETM) نرم‌افزار TerrSet محاسبه گردید.

### – بخش دوم

در این بخش احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی با استفاده از شاخص PVVI محاسبه شد. به این منظور ابتدا شاخص  $VCI$  با استفاده از شاخص  $EVI$  محاسبه شد. این شاخص، یک شاخص مناسب برای تشخیص خشک‌سالی به‌وسیله کنترل رشد گیاه است (Quiring & Ganesh, 2010). این شاخص که اولین بار توسط Kogan (۱۹۹۰) معرفی شد، با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

جدول ۱- کلاس‌بندی شاخص  $VCI$  (Kogan 1995; Le Hung & Hoai 2015) و وزن کلاس‌ها در شاخص PVVI  
Table 1- Classification of VCI index (Kogan 1995; Le Hung & Hoai 2015) and weight of classes in PVVI index

شماره کلاس	محدوده مقدار VCI	کلاس شدت خشک‌سالی	وزن کلاس‌ها در PVVI
1	0-10	خشک‌سالی بسیار شدید	4
2	10-20	خشک‌سالی شدید	3
3	20-30	خشک‌سالی متوسط	2
4	30-40	خشک‌سالی ضعیف	1
5	40<	بدون خشک‌سالی	0

در این معادله  $P_{Ci}$  درصد احتمال وقوع کلاس  $i$ ام،  $n_{Ci}$  تعداد وقوع کلاس  $i$ ام در پیکسل موردنظر در بازه زمانی مورد مطالعه و  $N$  تعداد کل شاخص  $VCI$  در هر بازه زمانی (N=22) است. از آنجاکه وقوع شدت‌های متفاوت خشک‌سالی در میزان احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی یک منطقه از ارزش یکسانی برخوردار نیست، جهت کمی‌سازی و محاسبه PVVI مطابق جدول (۱) به هر کلاس شاخص  $VCI$  وزن داده شد. سپس شاخص PVVI محاسبه شد (رابطه ۷).

به‌منظور محاسبه شاخص PVVI، ابتدا درصد احتمال وقوع هر کلاس محاسبه شد. برای این کار تعداد وقوع هر کلاس در بازه زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲) برای هر پیکسل در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه (۶) درصد احتمال وقوع هر کلاس محاسبه شد.

$$P_{Ci} = \frac{n_{Ci}}{N} \times 100 \quad (6)$$

ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۲۲ محاسبه شده است را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار ماه آوریل بیشترین و ماه اکتبر کمترین مقدار میانگین EVI محدوده مورد مطالعه را دارا است. با توجه به این نتایج ماه آوریل به‌عنوان ماه انتخابی تعیین گردید. همچنین شکل (۳) نقشه میانگین EVI ماه آوریل محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد که به توجه به این شکل نواحی غربی نوار مرکزی بیشترین مقدار شاخص EVI را دارا است.

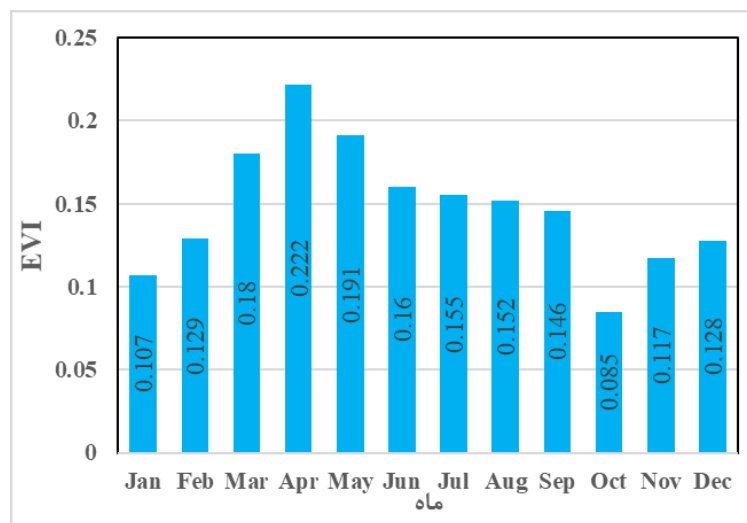
$$PVVI = \sum_{i=1}^5 W_i \times P_{Ci} \quad (7)$$

در این معادله  $W_i$  وزن هر کلاس است. سپس با استفاده از روش شکست طبیعی این شاخص به ۵ کلاس طبقه‌بندی شد.

## نتایج

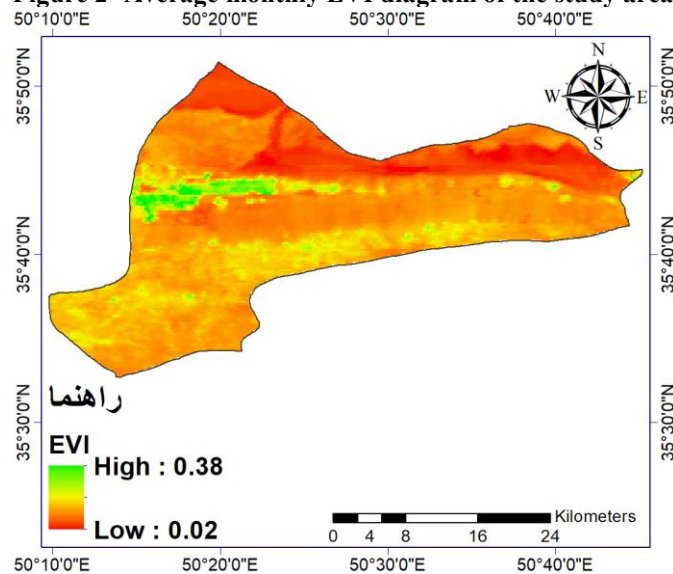
### بخش اول

شکل ۲ تغییرات میانگین شاخص EVI محدوده مورد مطالعه به‌صورت ماهانه که از داده‌های ۱۶ روزه از



شکل ۲- نمودار میانگین EVI ماهانه مورد مطالعه

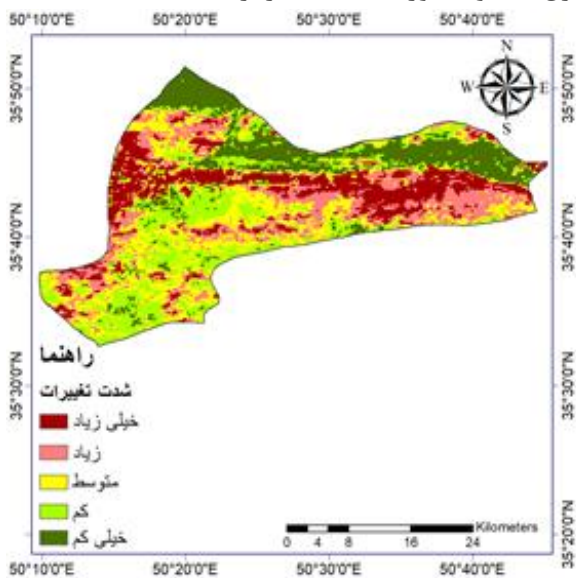
Figure 2- Average monthly EVI diagram of the study area



شکل ۳- نقشه میانگین EVI ماه آوریل محدوده مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

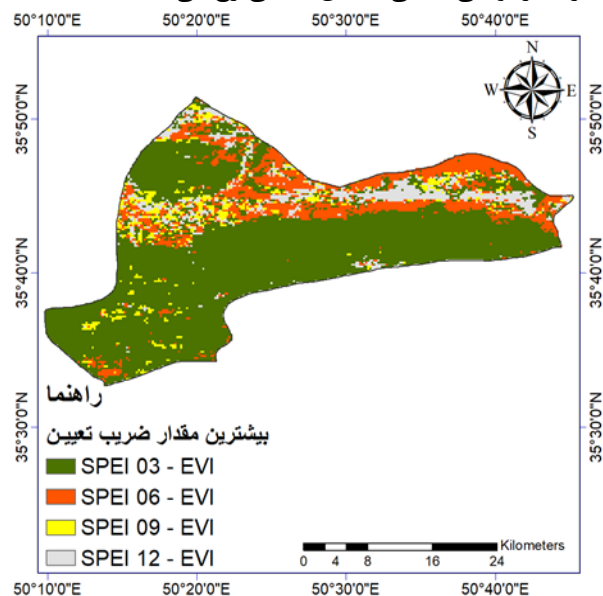
Figure 3- Map of average EVI in April of the study area (2001-2022)

بعد از تعیین قوی‌ترین رابطه بین نوسان اقلیم و پوشش گیاهی در ماه آوریل شیب تغییرات این معادلات از نواحی موردنظر استخراج شد و سپس با ادغام آن‌ها نقشه نهایی شدت تغییرات (شیب) پوشش گیاهی (EVI) و نوسان اقلیم (SPEI) به دست آمد. شکل (۵) نقشه طبقه‌بندی شدت تغییرات مذکور را نشان می‌دهد. ۱۸/۵ درصد از محدوده مورد مطالعه در کلاس شدت تغییرات کم قرار می‌گیرند که این نواحی بیشتر در بخش‌های شمالی واقع شده‌اند و حکایت از آن دارند که در این نواحی تغییرات EVI به نسبت دیگر نواحی اثرپذیری کمتری نسبت به تغییرات شاخص SPEI دارد. همچنین ۲۰/۶ درصد از نواحی نیز در کلاس شدت تغییرات کم قرار می‌گیرد که در بخش‌هایی از نواحی جنوب غربی تا غربی واقع شده‌اند. بر اساس نتایج، ۲۲ درصد از محدوده مورد مطالعه نیز در کلاس شدت تغییرات متوسط قرار گرفته است. در نهایت، ۲۰/۳ و ۱۸/۶ درصد از محدوده مورد مطالعه نیز به ترتیب در کلاس‌های شدت تغییرات زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که عموماً در کمربند میانی از غرب تا شرق محدوده مورد مطالعه متمرکز شده‌اند.



شکل ۵- نقشه شدت تغییرات EVI نسبت به SPEI  
Figure 5- The intensity map of EVI changes compared to SPEI

در مرحله بعد بین نقشه‌های SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ماه آوریل و EVI آن ماه آنالیز همبستگی و رگرسیون در Earth Trend Modeler (ETM) نرم‌افزار TerrSet انجام شد. شکل ۴ نقشه بیشترین مقدار ضریب  $R^2$  رابطه بین SPEI در مقیاس زمانی‌های مختلف و EVI ماه انتخابی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل در ۶۸/۹ درصد محدوده مورد مطالعه SPEI سه ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی نسبت به SPEI ۶، ۹، ۱۲ ماهه دارد. اکثر نواحی کوهستانی جنوب شهرستان اشتهارد در این کلاس قرار گرفتند. همچنین بخش‌هایی از شمال غرب نیز در این کلاس قرار گرفته‌اند. ۱۷/۳ درصد از مساحت شهرستان اشتهارد در کلاسی قرار گرفت که رابطه SPEI شش ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی نسبت به SPEI در مقیاس زمانی‌های دیگر دارد. قوی‌ترین رابطه بین SPEI نه ماهه و پوشش گیاهی تنها در ۵/۳ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه مشاهده شد. در نهایت در ۸/۵ درصد از شهرستان اشتهارد SPEI ۱۲ ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی نسبت به SPEI ۳، ۶، ۹ ماهه دارد. اکثر نواحی که SPEI سه ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی نسبت به SPEI ۶، ۹ و ۱۲ ماهه دارد. اکثر نواحی که SPEI سه ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی ندارد، در نواحی دشتی مناطق شمالی رخ می‌دهد.



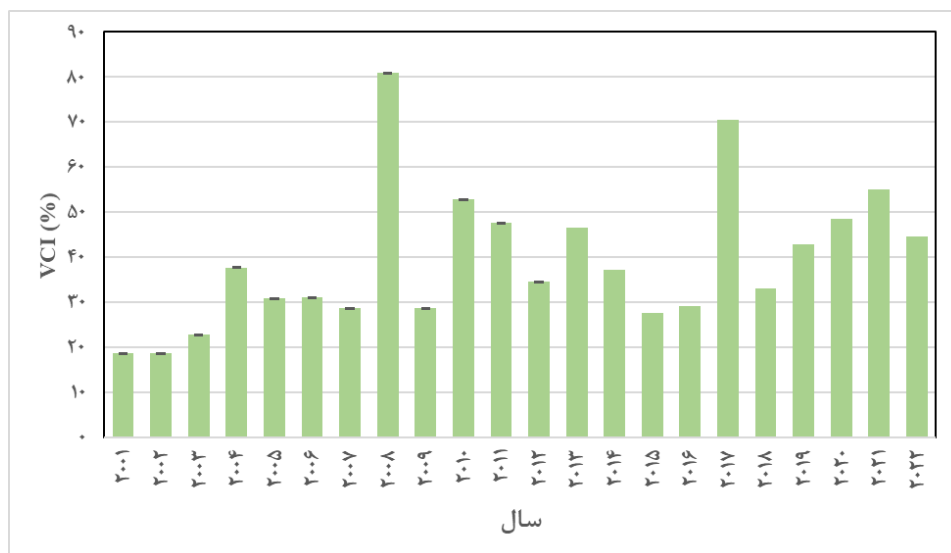
شکل ۴- نقشه بیشترین مقدار ضریب  $R^2$  بین SPEI و EVI  
Figure 4- The map of the maximum value determining the relationship between SPEI and EVI

## بخش دوم

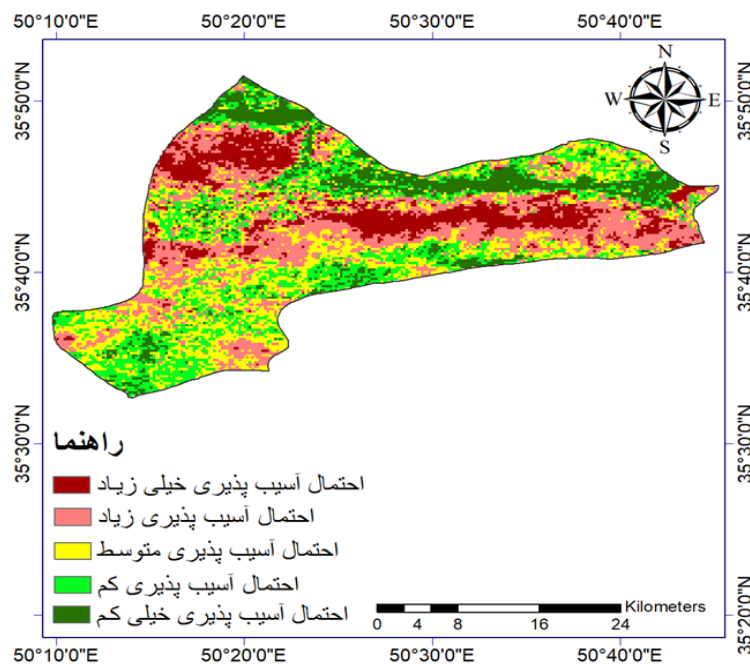
همان‌طور که قبلاً گفته شد، در بخش دوم این پژوهش شاخص PVVI محاسبه شد. در این بخش ابتدا شاخص VCI بر پایه شاخص EVI به دست آمد. شکل (۵)، نمودار میانگین شاخص VCI محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد با توجه به این شکل به ترتیب سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ بیشترین مقدار شاخص VCI را در میان سال‌های دیگر دارند که حکایت از شرایط پوشش گیاهی مناسب محدوده مورد مطالعه نسبت به دیگر سال‌ها دارد. همچنین سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ با کمترین مقدار شاخص VCI در دوره زمانی مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. به عبارت دیگر در این سال‌ها شرایط پوشش گیاهی در بدترین حالت خود در بازه زمانی مورد مطالعه قرار دارد.

بعد از محاسبه و طبقه‌بندی شاخص VCI، درصد احتمال وقوع هر یک از کلاس‌ها محاسبه گردید. در نهایت با ضرب درصد احتمال هر کلاس در وزن آن،

شاخص PVVI ماه انتخابی محاسبه شد. شکل (۶) نقشه احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی نتایج این بخش نشان داد که الگوی کلی مکانی احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی به دست آمده از شاخص PVVI تا حد قابل قبولی مشابه الگوی نقشه شدت تغییرات پوشش گیاهی نسبت به خشک‌سالی است. به طوری که کمربند میانی از غرب به شرق در نقشه احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی در کلاس احتمال آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد (به ترتیب ۲۶/۴ و ۱۴/۴ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه). به طور کلی ۱۳ و ۲۰/۶ درصد از محدوده مورد مطالعه به ترتیب در کلاس‌های احتمال آسیب‌پذیری کم و خیلی کم قرار گرفته است. این نواحی بیشتر در کمربند شمالی از شرق تا غرب و همچنین جنوب و جنوب غربی محدوده مورد مطالعه متمرکز دارند.



شکل ۶- نمودار میانگین شاخص VCI محدوده مورد مطالعه  
Figure 6- Average graph of VCI index of study area



شکل ۷- نقشه احتمال آسیب پذیری پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه

Figure 7- Map of the probability of vegetation vulnerability in the study area

خود بیان می‌دارند که استان‌های همجوار رشته‌کوه البرز مانند مازندران، گیلان، جنوب گلستان و بخش‌های شمالی استان‌های سمنان، تهران و البرز، SPEI سه ماهه قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی دارد. دلیل این امر این است که پوشش گیاهی یکساله در این محدوده‌ها زیاد بوده که به شدت تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مودت سه‌ماهه هستند. لازم به ذکر است که تخریب باعث مساعدتر شدن شرایط محیط برای استقرار گیاهان یکساله می‌شود (Yari *et al.*, 2007; Arzani *et al.*, 2018). البته این مطلب در همه محدوده مورد مطالعه صدق نمی‌کند و به خصوص در نواحی شمالی شهرستان اشتهارد رابطه بین SPEI سه ماهه و پوشش گیاهی قوی‌ترین رابطه نیست. دلیل این امر شرایط محیطی متفاوت حاکم بر مناطق مختلف محدوده مورد مطالعه است. Ding و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با هدف ارزیابی مکانی-زمانی اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی کشور چین، به این موضوع اشاره کرده‌اند.

## بحث

گیاهان نقش اساسی را در فراهم کردن نیازهای اساسی انسان دارند (Khajoei Nasab & Khosravi, 2014). خشک‌سالی یکی از عوامل تهدیدکننده پوشش گیاهی در اکثر نقاط جهان است. در پژوهش حاضر سعی شده است پویایی پوشش گیاهی شهرستان اشتهارد استان البرز تحت تأثیر خشک‌سالی ارزیابی شود. با توجه به نتایج همبستگی شاخص‌های SPEI و EVI، اثر خشک‌سالی هواشناسی بر پوشش گیاهی در مکان‌ها و مقیاس‌های زمانی مختلف، متفاوت است. این نتیجه با نتایج Bagheri و همکاران (۲۰۲۱)، Behrang و همکاران (۲۰۱۹) و Ma'Rufah و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. Pei و همکاران (۲۰۱۸) این تفاوت را به علت تأثیر اقلیم محلی و توپوگرافی می‌داند. به‌طور کلی در بیشتر نواحی محدوده مورد مطالعه شاخص SPEI سه ماهه، قوی‌ترین رابطه را با پوشش گیاهی نسبت به SPEI ۶، ۹، ۱۲ ماهه دارد. تحقیقات Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) نیز تا حدود زیادی این موضوع را تأیید می‌کند. به‌طوری‌که آن‌ها در پژوهش

گرایش مراتع نگران‌کننده شده و وضعیت این روند با وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی وخیم‌تر شده است. در دوره خشک‌سالی علاوه بر خشکیدگی دسته‌ای از گیاهان، از طراوت گیاهان دیگر نیز کاسته می‌شود. در دوره خشک‌سالی رقابت برای جذب آب افزایش یافته و گیاهان با سیستم جذب آب ضعیف‌تر به سرعت از سطح مرتع حذف می‌شوند. چنانچه در این دوره چرای دام متعادل با ظرفیت تولید نباشد در اثر فشار ناشی از چرای مفرط و زودرس، گیاهان خوش‌خوراک به سرعت از سطح مراتع حذف می‌شوند؛ بنابراین ترکیب گیاهی مرتع تغییر کرده و گیاهان نامرغوب و غیرخوشخوراک جایگزین گیاهان خوشخوراک می‌شوند (Bagheri *et al.*, 2021). لذا ارزیابی پدیده خشک‌سالی و اثر آن بر پوشش گیاهی محدوده موردنظر می‌تواند در مدیریت مراتع و چرای دام نیز موثر واقع شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر مکان با توجه به شرایط بیوفیزیکی و بیولوژیکی، نوسانات اقلیمی در بازه‌های زمانی مختلف (۳، ۶، ۹، ۱۲ و غیره) همبستگی‌های متفاوتی با پوشش گیاهی دارند. همچنین با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد شاخص PVVI توانایی لازم برای تعیین مناطق با احتمال آسیب‌پذیری بالای پوشش گیاهی جهت مدیریت بهتر خشک‌سالی را دارد. پیشنهاد می‌شود در مناطق دیگر و مقیاس‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر این شاخص محاسبه شده تا بتوان توانایی آن را برای مشخص کردن احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی بهتر ارزیابی نمود

## References

- Alamdarloo, E. H., Manesh, M. B. & Khosravi, H. (2018). Probability assessment of vegetation vulnerability to drought based on remote sensing data. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-11.
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Running, S., Semerci, A. & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, 259(4), 660-684.
- Arzani, H., Abedi, M., Shahriyari, E. & Ghorbani, M. (2007). Investigation of soil surface

نتایج ارزیابی شدت تغییرات پوشش گیاهی نسبت به نوسانات اقلیمی نشان می‌دهد که نواحی شمالی شهرستان اشتهارد که تراکم پوشش گیاهی کمتری نسبت به نواحی جنوبی دارند به‌نحوی که حتی در بعضی از نواحی اراضی بایر مشاهده می‌شود، در کلاس شدت تغییرات کم و خیلی کم قرار می‌گیرند. تحقیقات Bagheri و همکاران (۲۰۲۱) و Behrang Manesh و همکاران (۲۰۱۹) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. نتایج حاصل از ارزیابی احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی در شهرستان اشتهارد نشان داد که الگوی کلی مکانی احتمال آسیب‌پذیری پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از شاخص PVVI تا حد قابل قبولی مشابه الگوی نقشه شدت تغییرات پوشش گیاهی نسبت به خشک‌سالی است؛ بنابراین می‌توان گفت که شاخص PVVI توانایی لازم برای تعیین مناطق با احتمال آسیب‌پذیری بالای پوشش گیاهی جهت مدیریت بهتر خشک‌سالی را دارد. Alamdarloo و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود نیز بر این نکته تأکید دارند.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان گفت که بخش عمده مساحت ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و از طرفی مراتع کشور با وسعتی حدود ۸۳/۳ میلیون هکتار، عمدتاً در این مناطق قرار گرفته‌اند و بخش قابل توجهی از بهره‌برداران و دام‌ها از این مراتع استفاده می‌کنند. در دهه‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری نادرست، روند

- indicators and rangeland functional attributes by grazing intensity and land cultivation (case study: Orazan Taleghan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14(1), 68-79.
- Askarizadeh, D., Arzani, H., Jafary, M., Bazrafshan, J. & Prentice, I. C. (2018). Surveying of the past, present, and future of vegetation changes in the central Alborz ranges in relation to climate change. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 9(3), 1-18. (In Persian).
- Bagheri, S., Heydari Alamdarloo, E., Khosravi, H. & Abolhasani, A. (2021). The effect of meteorological drought on vegetation

- dynamics in Iran. *Rangeland*, 15(4), 622-637. (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.
- Caminade, C., McIntyre, K. M. & Jones, A. E. (2019). Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436(1), 157-173.
- Choi, M., Jacobs, J. M., Anderson, M. C. & Bosch, D. D. (2013). Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, 476, 265-273.
- Dehghan, P., Azarnivand, H., Khosravi, H., Zehtabian, G. & Moghaddam Nia, A. (2018). Design of Agricultural Ecological and Rangeland Capability Model Using Integrated Approach of FUZZY-AHP (A case study: Eshtehard city). *Journal of Range and Watershed Management*, 71(1), 11-24. doi: 10.22059/jrwm.2017.238015.1147
- 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.
- Firouzi, F., Tavosi, T. & Mahmoudi, P. (2019). Investigating the sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to dry and wet years in arid and semi-arid regions (Case study: Sistan plain, Iran). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 163-179. doi: 10.22131/sepehr.2019.36621
- Funatsu, B. M., Dubreuil, V., Racapé, A., Debortoli, N. S., Nasuti, S. & Le Tourneau, F. M. (2019). Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities. *Global Environmental Change*, 57, 101923, 1-13.
- Huete, Alfredo, Kamel Didan, Tomoaki Miura, E. Patricia Rodriguez, Xiang Gao, and Laerte G. Ferreira. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices." *Remote sensing of environment* 83, no. 1-2 (2002), 195-213.
- Javed, T., Li, Y., Feng, K., Ayantobo, O. O., Ahmad, S., Chen, X. Rashid, S. & 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.
- Khajoei Nasab, F. & Khosravi, A. R. (2014). Ethnobotanical study of medicinal plants of Sirjan in Kerman Province, Iran. *Journal of ethnopharmacology*, 154(1), 190-197.
- Khosravi, H., Haydari, E., Shekoohzadegan, S. & Zareie, S. (2017). Assessment the effect of drought on vegetation in desert area using landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, S3-S12.
- 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.
- Levy, O., Dayan, T., Porter, W. P. & Kronfeld-Schor, N. (2019). Time and ecological resilience: can diurnal animals compensate for climate change by shifting to nocturnal activity? *Ecological Monographs*, 89(1), e01334, 1-21.
- Li, K., Tong, Z., Liu, X., Zhang, J. & Tong, S. (2020). Quantitative assessment and driving force analysis of vegetation drought risk to climate change: Methodology and application in Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 282, 107865.
- Lin, Y., Gao, W., Shi, J. P. & Wang, J. (2014). Remote sensing monitoring of drought based on MODIS and FY-2D satellite rainfall data. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 28(12), 51-57.
- Liu, Z., Yao, Z., Huang, H., Wu, S. & Liu, G. (2014). Land use and climate changes and their impacts on runoff in the Yarlung Zangbo river basin, China. *Land Degradation & Development*, 25(3), 203-215.
- Ma'Rufah, U., Hidayat, R. & Prasasti, I. (2017). *Analysis of relationship between meteorological and agricultural drought using standardized precipitation index and vegetation health index*. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 54, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Measho, S., Chen, B., Trisurat, Y., Pellikka, P., Guo, L., Arunyawat, S. Tuankruea, V., Ogbazghi, W. & Yemane, T. (2019). Spatio-temporal analysis of vegetation dynamics as a response to climate variability and drought

- patterns in the semiarid region, Eritrea. *Remote Sensing*, 11(6), 724.
- Miao, L., Ye, P., He, B., Chen, L. & Cui, X. (2015). Future climate impact on the desertification in the dry land Asia using AVHRR GIMMS NDVI3g data. *Remote Sensing*, 7(4), 3863-3877.
- Mishra, A. K., Singh, V. P. & Jain, S. K. (2010). Impact of global warming and climate change on social development. *Journal of Comparative Social Welfare*. 26(2-3), 239-260.
- 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.
- Nunes, S. A., Romani, L. A., Avila, A. M., Traina, J. C., De Sousa, E. P. & Traina, A. J. (2011). Fractal-based analysis to identify trend changes in multiple climate time series. *Journal of Information and Data Management*. 2(1), 51-57
- Pakeman, R. J., Fielding, D. A., Everts, L. & Littlewood, N. A. (2019). Long-term impacts of changed grazing regimes on the vegetation of heterogeneous upland grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 56(7), 1794-1805.
- Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., Wang, K., Xu, L. & Xia, G. (2018). Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agricultural and forest meteorology*, 248, 215-227.
- Qian, X., Liang, L., Shen, Q., Sun, Q., Zhang, L., Liu, Z. Zhao, S. & Qin, Z. (2016). Drought trends based on the VCI and its correlation with climate factors in the agricultural areas of China from 1982 to 2010. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1-13.
- 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.
- Rimkus, E., Stonevicius, E., Kilpys, J., Maciulyte, V. & Valiukas, D. (2017). Drought identification in the eastern Baltic region using NDVI. *Earth system dynamics*, 8(3), 627-637.
- Schmidhuber, J. & Tubiello, FN. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(50), 19703-19708.
- 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.
- West, H., Quinn, N. & Horswell, M. (2019). Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111291, 1-14.
- Woznicki, S. A., Nejadhashemi, A. P., Tang, Y. & Wang, L. (2016). Large-scale climate change vulnerability assessment of stream health. *Ecological Indicators*. 69:578-594.
- Xu, J., Chen, Y., Li, W., Liu, Z., Tang, J. & Wei, C. (2016). Understanding temporal and spatial complexity of precipitation distribution in Xinjiang, China. *Theoretical and applied climatology*. 123(1-2), 321-333.
- Yari, R. Heshmati, GH. & Rafiei, H. (2018). An introduction into the flora, life forms, geographical distribution, and plant protection status species (case study: Chaharbagh summer rangelands in Golestan Province). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(3), 736-750.