



Evaluation of Remote Sensing-Based Indices for Drought Monitoring Using MODIS Images (Case Study: Bam Plain)

Elham Rafiei Sardooi¹ | Mina Eghtedarnejad² | Shapour Kohestani^{3*}

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

2. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

Correspond E-mail: sh.kouhestani@ujiroft.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 16 Apr. 2025

Revised: 13 May. 2025

Accepted: 18 May. 2025

Published online: 01 Jan. 2026

Keywords:

Drought,

Standardized Precipitation Index,

Temperature Condition Index,

Vegetation Health Index,

Vegetation Condition Index.

Abstract

Drought is a phenomenon which almost occurs all over the world. The effects of this imperceptible phenomenon in arid and semi-arid regions are higher due to inappropriate distribution and low amount of annual precipitation. Therefore, its monitoring and management is important. Since that the traditional methods are based on meteorological station data and more investigate meteorological drought, hence, the application of remote sensing techniques and satellite images have been considered as a useful tool for monitoring of agricultural drought. In this study, the relationship between the meteorological drought index (SPI) and remote-sensing-based indices (VCI, TCI and VHI) has been studied in Bam plain. In this regard, using Terra satellite images (Modis sensor) and precipitation data of synoptic and rain gauge stations in the study area, the occurred changes were detected over the 15-year period. In this study, with respect to high temporal accuracy and spectral coverage and accessibility, MOD13A3 and MOD11A1 products extracted from MODIS sensor were used during 2009 to 2023. Then, indices of VCI, TCI and VHI were compared with Standard Precipitation Index (SPI). The results of drought mapping with the SPI index during 2010 to 2024 showed that the drought severity has increased from north to south in the study area. So that, extremely drought is detected in the southern regions of the plain and extremely wet is detected in the northern regions. The annual correlation coefficient between SPI, VCI and SPI indices is 0.70 and 0.53, respectively. It shows high significant positive correlation at level of 0.05. The correlation coefficient between SPI and TCI is 0.11 which shows a weak correlation but significant positive at level of 0.05. Therefore, VCI and VHI Indices have more correlation with annual precipitation and have acceptable results compared with TCI Index.

Cite this article: Rafiei Sardooi, E., Eghtedarnejad, M., Kohestani, S. (2025). Evaluation of Remote Sensing-Based Indices for Drought Monitoring Using MODIS Images (Case Study: Bam Plain). *Journal of Range & Watershed Management*, 78 (4), 471-489. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2025.393588.1821>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Drought is one of the most important natural disasters that affects various aspects of human life with its gradual and slow occurrence. As an unfortunate climatic phenomenon that directly affects societies through limited access to water resources, this disaster has high economic, social and environmental costs (Goddard et al., 2001). Drought is a complex phenomenon with different effects. Therefore, indicators are used to determine the severity and extent of drought. Most of the indicators used in this field are based on meteorological criteria and examine variables such as soil moisture, temperature, or especially precipitation. Meteorological data are not very suitable for drought assessment, especially in wide regions, due to limited access to the measurement stations and missing data. Therefore, the use of remote sensing technique and the indicators obtained from remote sensing, due to their cheapness, repeatability, up-to-dateness, and coverage of a wide study area, can cover the shortcomings associated with station meteorological data and establish a more accurate connection between meteorological drought and agricultural drought (Rostami et al, 2016).

In the present study, the MODIS sensor data was used MODIS sensor for drought monitoring due to its different bands and potential electromagnetic spectrum (Sekato et al, 2001).

Remote sensing-based indices have been widely used for monitoring drought. However, studies have shown different results depending on the location, environmental and climatic conditions, and the index used, and as a result, there is no possibility of general comparison.

Therefore, the relationship between each satellite index and SPI in the study area should be examined. With regard to the previous researches, in the present study, the aim is to evaluate the spatial and temporal drought using the SPI meteorological index and the remote sensing indices of VCI, VHI, and TCI in the Bam Plain during 2009 to 2023. Then, the correlation between the SPI index and selected satellite indices is examined.

Materials and Methods: To conduct this study, rainfall data of 9 meteorological stations were used to estimate the standardized precipitation index (SPI) over the 2009 to 2023. Remote sensing-based indices were obtained from MODIS sensor of the TERRA satellite image. For this purpose, Normalized Difference Vegetation Index (MOD13A3) and Land Surface Temperature (MOD11A1) products were used with spatial resolution of 1 kilometer over the 2009 to 2023. After receiving these images, they were processed using MODIS TOOLKIT extension in ENVI 5.3. Then, the indices were analyzed in ArcGIS 10.7 to prepare drought maps. The remote sensing data used in this study include the MOD13A3 and MOD11A1 products, which are related to the NDVI and LST indices, respectively, which were received directly from the Earth Data Search website. In the next step, the standardized precipitation index (SPI) was obtained based on the rain gauge and synoptic data of the existing stations in MATLAB software. Then, the vegetation condition (VCI), temperature condition (TCI), and vegetation health (VHI) indices were computed in ArcGIS10.7 and were compared in SPSS. Also, the Pearson correlation coefficient was used to estimate the correlation between these indices and the SPI index values in SPSS software.

Results and Discussion: The purpose of this research is to monitor drought based on the VCI, TCI and VHI indices extracted from MODIS sensor images. According to the research conducted, after calculating the values of the indices and preparing drought maps of the studied region, the correlation between indices was calculated. Considering the specific weather conditions of Iran and the climatic conditions of arid regions, it is not possible to use the same methods and indices to study drought in all regions and expect completely similar results. Therefore, the relationship between each satellite index and meteorological drought should be separately studied for each region. Therefore, in each region, depending on the specific climatic conditions and vegetation cover, an appropriate index should be selected for agricultural drought monitoring.

The advantage of satellite data is their application in areas where there are no meteorological stations or stations are scattered, while remote sensing data can be used in such areas to estimate agricultural drought with high accuracy. According to the results, considering the high correlation between the SPI index and satellite data, it can be concluded that satellite images have high efficiency for drought monitoring which is consistent with the results of Hamzeh et al. (2017), Shamsipour et al. (2010), Jahanbakhsh et al. (2010) and Arekhi et al. (2023). The results of this study show that VCI provides better results ($r=0.7$) than VHI and TCI indices, which is line with the findings of Zambrano et al. (2016) in the BioBío region of Chile, Rahimzadeh (2005) and Arekhi et al. (2023). Also, the vegetation condition indices of VHI and VCI provide more acceptable results compared with the temperature factor index TCI ($r=0.11$).

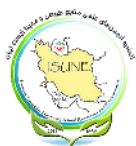
The results of Ray (2010) in the dry region of Arizona and New Mexico and Shareful et al. (2013) in northwestern Bangladesh confirm this issue.

Conclusion: Using satellite images is a very suitable method for drought analysis in different regions of Iran. Based on the results of this study, it can be concluded that the VCI, TCI and VHI indices concerning MODIS sensor can be a good alternative for estimating the drought with respect to meteorological indices and consequently can give a better idea on drought conditions in the study area. It was shown that remote sensing data can be practically useful in analyzing the drought events in Bam plain. The use of maps derived from drought monitoring and assessment indices can help improve drought management programs and play a significant role in reducing the effects of drought.

Keywords: Drought, Standardized Precipitation Index, Temperature Condition Index, Vegetation Health Index, Vegetation Condition Index.

Article Type: Research Article

Conflicts of interest: The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



دوره ۷۸ (۴)

شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

نشریه مرتع و آبخیزداری



ارزیابی شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور در پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر مودیس (مطالعه موردی: دشت بم)

الهام رفیعی ساردوئی^۱ | مینا اقتدارنژاد^۲ | شاپور کوهستانی^{۳*}

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

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منبع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

رایانامه: sh.kouhestani@ujiroft.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه‌ها:

خشکسالی،

شاخص بارش استاندارد شده،

شاخص سلامت پوشش گیاهی،

شاخص وضعیت پوشش گیاهی،

شاخص وضعیت دمایی.

خشکسالی پدیده‌ای است که تقریباً در تمامی اقلیم‌های جهان رخ می‌دهد. اثرات این پدیده خزنده و آرام در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل مقدار کم و توزیع نامناسب سالانه بارندگی، بیشتر است. از این رو پایش و مدیریت آن امری مهم می‌باشد. از آنجایی که روش‌های سنتی مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی هستند و بیش‌تر به بررسی خشکسالی هواشناسی می‌پردازند، استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک ابزار مفید برای پایش خشکسالی کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق به بررسی ارتباط بین شاخص خشکسالی هواشناسی (شاخص SPI) و شاخص‌های سنجش از دوری VCI، TCI و VHI در دشت بم پرداخته شده است. در این راستا، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره ترآ سنجنده مودیس و داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک واقع در منطقه مورد مطالعه، تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۵ ساله آشکارسازی شد. در این مطالعه با توجه به دقت زمانی، پوشش طیفی بالا و سهولت دسترسی، تصاویر با کد MOD13A3 و MOD11A1 از محصولات ماهواره ترآ سنجنده مودیس، مربوط به سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ استفاده شد و سپس شاخص‌های VCI، TCI و VHI با شاخص بارش استاندارد (SPI) مقایسه گردید. نتایج پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص SPI در دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ نشان داد در منطقه مورد مطالعه از شمال به جنوب بر شدت خشکسالی افزوده شده است. به‌طوری که خشکسالی حاد در مناطق جنوبی دشت و ترسالی حاد در مناطق شمالی دشت مشاهده می‌شود. ضریب همبستگی سالانه بین شاخص‌های VCI، SPI و VHI، به ترتیب برابر با ۰/۷۰ و ۰/۵۳ که نشان دهنده همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد در سطح ۰/۰۵ بوده است؛ ضریب همبستگی بین شاخص SPI و TCI برابر با ۰/۱۱ که نشان دهنده همبستگی ضعیف اما معنادار مثبت در سطح ۰/۰۵ بوده است. بنابراین شاخص VCI و VHI همبستگی بیشتری با بارش سالانه منطقه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI داشته است.

استناد: رفیعی ساردوئی؛ الهام، اقتدارنژاد؛ مینا، کوهستانی؛ شاپور (۱۴۰۴). ارزیابی شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور در پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر مودیس (مطالعه موردی: دشت بم). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۸ (۴)، ۴۸۹-۴۷۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2025.393588.1821>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد. این بلا به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی که به طور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد (Goddard et al., 2001). پدیده خشکسالی، پدیده‌ای پیچیده با اثرات متفاوت است. از این رو از شاخص‌هایی برای تعیین شدت و وسعت خشکسالی استفاده می‌شود. بیشتر شاخص‌هایی که در این زمینه به کار گرفته می‌شوند، براساس معیارهای هواشناسی استوار بوده و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما و یا به خصوص میزان بارش را مورد بررسی قرار می‌دهند. داده‌های هواشناسی به علت دسترسی محدود به محل اندازه‌گیری، برداشت به صورت نقطه‌ای و در مواردی به دلیل ناقص بودن اطلاعات آن برای ارزیابی به‌ویژه در مناطق بزرگ چندان مناسب نیست. بنابراین، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای و تعریف شاخص‌های مرتبط با سنجش از دور به دلیل ارزان و قابل تکرار بودن، به روز بودن و در بر گرفتن سطح وسیعی از منطقه مطالعاتی می‌تواند ضمن پوشش کاستی‌های مرتبط با داده‌های هواشناسی ایستگاهی، ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی را در پایش دقیق‌تر برقرار سازد (Rostami et al, 2016). با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی خصوصاً از نوع کشاورزی را مطالعه کرد (Heim, 2002).

از آنجایی که امروزه سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکسالی به کار می‌روند، در مطالعه حاضر از اطلاعات سنجنده MODIS¹ استفاده شد، زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر خشکسالی مناسب‌تر است (Sekato et al, 2001). از این رو، از سال ۲۰۰۰ پس از کسب اولین داده‌های ماهواره‌ای از این سنجنده، استفاده از اطلاعات آن به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی مد نظر قرار گرفت. دامنه وسیعی از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های مودیس برای نظارت بر خشکسالی در مناطق کشاورزی و نیمه‌خشک تاکنون ارائه شده است. در همین خصوص، محققین زیادی با به کارگیری داده‌ها و روش‌های سنجش از دور، به پهنه‌بندی شدت و وسعت خشکسالی پرداخته‌اند (جی و پیترز^۲، ۲۰۰۳؛ کارنلی^۳ و همکاران، ۲۰۰۶؛ ژانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۹؛ رستمی و همکاران، ۲۰۲۲؛ شمسی پور و همکاران، ۲۰۱۰؛ غفوریان، ۲۰۱۴؛ پیشنماز احمدی و همکاران، ۲۰۱۷). در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است.

رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۲) کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از شاخص‌های VCI^۵، TCI^۶ و SPI^۷ استفاده شده است. با توجه به نتایج، شاخص VCI و سنجنده MODIS می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی باشند. شارفول^۸ و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی در شمال غرب بنگلادش با استفاده از تصاویر NDVI^۹ و LST^۹ سنجنده MODIS پرداختند. آن‌ها پس از محاسبه شاخص VCI از NDVI، شاخص TCI از LST، شاخص VHI^{۱۰} را برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ محاسبه کردند. نتایج نشان داد که شاخص VHI برای تعیین مناطق تحت تأثیر خشکسالی شاخص مناسبی است. زامبرانو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه بیوبیو^{۱۲} شیلی به منظور بررسی خشکسالی کشاورزی، شاخص‌های VCI و SPI در مقیاس زمانی یک تا شش ماه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ در ۱۸ ایستگاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، SPI سه ماهه بیشترین همبستگی ($r=0.77$) را با شاخص VCI دارد. سلطانی و همکاران (۲۰۱۹)

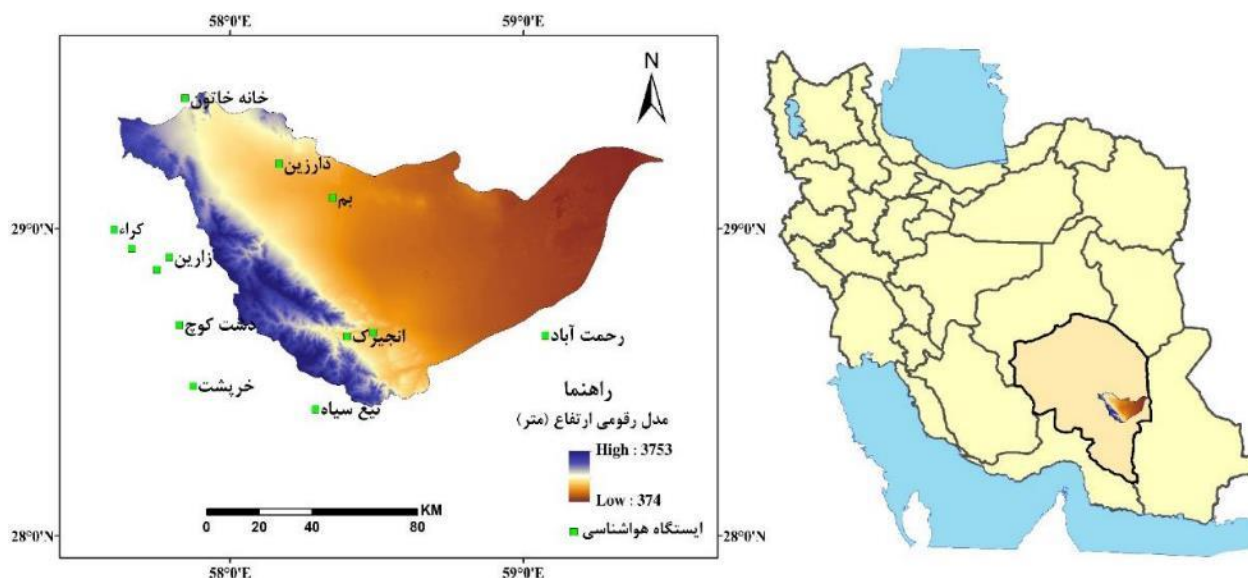
¹ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer² Ji & Peters³ Karnieli⁴ Zhang⁵ Vegetation Condition Index⁶ Temperature Condition Index⁷ Standardized Precipitation Index⁸ Shareful⁹ Land Surface Temperature¹⁰ Vegetation Health Index¹¹ Zambrano¹² BioBio

در پژوهشی با عنوان پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست (منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه) به پایش خشکسالی و سلامت پوشش گیاهی در منطقه کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان دهنده این موضوع است که تصاویر لندست و شاخص‌های سنجش از دوری ساخته شده دارای قابلیت لازم و کافی برای پایش خشکسالی می‌باشد. شاخص‌ها روش‌های کاربردی برای پایش خشکسالی از طریق داده‌های ماهواره‌ای هستند. ولی مطالعات صورت گرفته با توجه به مکان اجرا، شرایط محیطی، اقلیمی و شاخص مورد استفاده نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی وجود ندارد. از این رو باید رابطه هر یک از شاخص‌های ماهواره‌ای با خشکسالی در منطقه مطالعاتی مدنظر مورد بررسی قرار گیرد؛ بنابراین، با توجه به تحقیقات فوق، در پژوهش حاضر، هدف ارزیابی مکانی و زمانی خشکسالی با استفاده از شاخص هواشناسی SPI و شاخص‌های سنجش از دوری VCI، VHI و TCI در دشت بزم برای سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ است و در ادامه همبستگی بین شاخص زمینی SPI و شاخص‌های منتخب ماهواره‌ای بررسی می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

دشت بزم به فاصله ۲۰۷ کیلومتری جنوب شرقی مرکز استان کرمان و در حاشیه کویر لوت قرار دارد. این منطقه بین طول‌های ۵۷° و ۳۰° تا ۵۹° و عرض‌های ۳۰° و ۲۸° تا ۴۵° و ۲۹° شمالی واقع شده است. این منطقه از شمال به کویر لوت و از مشرق به کویر سیستان و از مغرب به سلسله جبال بارز محدود می‌باشد. ارتفاع متوسط دشت بزم از سطح دریا ۹۶۰ متر و وسعت آن حدود ۹۶۹۶ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و موقعیت دشت بزم در ایران و استان کرمان

۲-۲. داده‌های زمینی

برای اجرای این تحقیق، از آمار بارندگی ۹ ایستگاه هواشناسی استفاده گردید. ایستگاه‌ها بر مبنای طول دوره آماری، پوشش مناسب

مکانی در منطقه مورد مطالعه و قابل اعتماد بودن داده‌های آماری آن‌ها انتخاب شده‌اند. دوره زمانی مورد مطالعه در این تحقیق از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۴۰۲ می‌باشد.

۲-۳. داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های دورسنجی مورد استفاده شامل داده‌های سنجنده MODIS از سری تصاویر ماهواره Terra می‌باشد. بدین منظور از محصولات شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI^۱) و دمای سطح زمین (LST) برای دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ استفاده شده است. مودیس سنجنده‌ای است که بر روی ماهواره ترا (EOS-AM) قرار داده شده است که از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می‌کند. سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و دامنه طیفی آن از طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۴ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۳۰ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند.

۲-۴. روش تحقیق

داده‌های سنجش از دور مورد استفاده در این پژوهش، شامل محصولات آماده MOD13A3 و MOD11A1 با فرمت hdf و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر است که به ترتیب مربوط به سری‌های زمانی شاخص NDVI و LST است که مستقیماً از تارنمای Earth Data Search دریافت شده است. این تصاویر پس از دریافت توسط ابزار Modis toolkit اضافه شده در نرم افزار ENVI فراخوانی و سیستم مختصات آن‌ها به سیستم مختصات جغرافیایی تبدیل گردید و سپس اقدام به محاسبه شاخصها شد.

آماده‌سازی اولیه‌ی داده‌های بارش ۱۳ ایستگاه باران سنجی موجود در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه در در نرم‌افزار Excel انجام شد و در ادامه، داده‌ها به نرم‌افزار MATLAB انتقال یافت و شاخص SPI در مقیاس زمانی سالانه به دست آمد. برای محاسبه شاخص SPI ابتدا باید بارش ایستگاه‌ها با توزیع‌های مختلف برازش داده شوند تا بهترین توزیع انتخاب شود. سپس احتمالات تجمعی بهترین توزیع محاسبه و براساس اصل انتقال هم احتمال، توزیع تجمعی انتخاب شده به توزیع نرمال تغییر یافت. سپس متغیر تصادفی Z یا SPI مربوط به هر مقدار بارندگی در سطوح هم‌احتمال از منحنی احتمالات تجمعی نرمال استخراج شد و نقشه‌های خشکسالی SPI در طول دوره مورد مطالعه با استفاده از نقاط SPI به دست آمده از ایستگاه‌های موجود در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه و روش درون یابی کریجینگ^۲ در نرم افزار ArcGIS10.7 تهیه گردیدند.

پس از آنکه معادلات روی تصاویر اجرا شد، نتایج به دست آمده به نرم‌افزار Arc Map انتقال یافت و رتبه‌بندی خشکسالی شاخص‌ها روی آن‌ها انجام گرفت و نقشه‌های نهایی به دست آمد. در نهایت برای ارزیابی کارایی شاخص‌های VCI، TCI و VHI در نرم‌افزار ArcGIS مقادیر این شاخص‌ها از روی نقشه‌ها استخراج شد. سپس بین این مقادیر و مقادیر شاخص SPI در نرم‌افزار SPSS همبستگی پیرسون برقرار شد و نتایج به دست آمد.

۲-۴-۱. معرفی مدل‌ها و شاخص‌های سنجش از دوری خشکسالی

۲-۴-۱-۱. شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)

این شاخص گیاهی از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی شناخته شده است که برای اولین بار توسط رز^۳ و

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

^۳ Rouse

^۲ Kriging

همکاران (۱۹۷۳)، ارائه گردید. ارزش عددی شاخص NDVI بین ۱- تا ۱ متغیر می‌باشد. ارزش‌های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و مکان‌های خیس و آب، ارقام نزدیک به ۱- را دارا هستند (Hodel, 2012). این شاخص از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن P_{RED} باند قرمز (باند ۱ مودیس) و P_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک (باند ۲ مودیس) است. چون در پژوهش از داده MOD13A3 سنجنده ترا استفاده شده است، لذا این شاخص به صورت آماده در اختیار کاربران قرار داده شده است.

۲-۱-۴-۲. شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

این نمایه اولین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ برای حذف اثر تفاوت آب و هوایی و توپوگرافی از روی نتایج شاخص NDVI طراحی شده است و براساس رابطه ۲ به دست می‌آید. شاخص VCI بر حسب درصد بیان می‌شود. اگر مقدار این نمایه بین ۵۰ تا ۱۰۰ باشد، نشان‌دهنده شرایط مطلوب خواهد بود و هر چه به صفر نزدیک‌تر شود، بیانگر وجود خشکسالی در منطقه می‌باشد.

$$VCI = \left[\frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right] \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه: $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب مقدار کمینه و بیشینه NDVI برای این دوره زمانی در مدت زمان طولانی است. شاخص VCI از شاخص‌های مهم در تغییرات پوشش گیاهی محسوب می‌شود. این شاخص نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را نسبت به میزان بارندگی به خصوص در مناطقی که از نظر جغرافیایی ناهمگون هستند، ارائه می‌دهد. بازه تغییرات این شاخص بین صفر تا یک می‌باشد (Kogan, 1997). زمانی که VCI به صفر درصد نزدیک می‌شود، نشان‌گر یک ماه بسیار خشک است و وقتی که مقدار VCI به بیشترین مقدار نزدیک می‌شود، وضعیت خشکسالی بهبود می‌یابد. مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی در پی اشاره به افزایش خشکسالی دارد (Thenkabail et al, 2003).

۲-۱-۴-۳. شاخص وضعیت دمایی (TCI)

شاخص TCI را نیز کوگان در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد کرد و الگوریتم محاسباتی آن شبیه شاخص VCI است، ولی معادله‌ی آن (رابطه ۳) برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است.

$$TCI = \frac{T_{max} - T_i}{T_{max} - T_{min}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که T_{max} و T_{min} مقادیر کمینه و بیشینه دمای کل دوره زمانی مورد مطالعه و i نشان دهنده سال جاری است.

۲-۱-۴-۴. شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

شاخص VCI و TCI به ترتیب شرایط دمایی و رطوبتی پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. شاخص TCI مکملی مناسب برای VCI به منظور پایش خشکسالی است. هنگامی که این دو شاخص با یکدیگر استفاده شوند، ابزاری برای ارزیابی میزان محصول فراهم می‌شود. این شاخص نیز توسط کوگان در سال ۲۰۰۰ بیان شد. این شاخص براساس رابطه ۴ از ترکیب شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت دمایی (TCI) محاسبه می‌شود.

$$VHI = 0.5 \times VCI + 0.5 \times TCI \quad \text{رابطه (۴)}$$

در شاخص VHI اگر دیگر شرایط، نزدیک نرمال باشند، پوشش گیاهی در طول شکل‌گیری تاج پوشش (ظهور برگ) به رطوبت و در دوره گل‌دهی به دما حساسیت بیشتری دارد. از آن جایی که سهم رطوبت و دما در طی چرخه گیاهی به‌طور عادی نامشخص است، سهم VCI و TCI در شاخص VHI برابر در نظر گرفته می‌شود (Kogan, 2000). در جدول ۱ نحوه طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر این شاخص‌ها ارائه شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های VHI, TCI, VCI (Bhuiyan, 2008)

طبقات خشکسالی	VCI	TCI	VHI
خشکسالی حاد	<۱۰	<۱۰	<۱۰
خشکسالی شدید	۱۰ - ۱۹/۹	۱۰ - ۱۹/۹	۱۰ - ۱۹/۹
خشکسالی متوسط	۲۰ - ۲۹/۹	۲۰ - ۲۹/۹	۲۰ - ۲۹/۹
نرمال	۳۰ - ۳۹/۹	۳۰ - ۳۹/۹	۳۰ - ۳۹/۹
ترسالی متوسط	۴۰ - ۴۹/۹	۴۰ - ۴۹/۹	۴۰ - ۴۹/۹
ترسالی شدید	۵۰ - ۵۹/۹	۵۰ - ۵۹/۹	۵۰ - ۵۹/۹
ترسالی حاد	>۶۰	>۶۰	>۶۰

۲-۴-۱-۵. شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI توسط مک کی McKee و همکارانش از دانشگاه ایالات کلرادو، در سال ۱۹۹۳ تدوین شد. یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی به‌شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است (Bonaccorso, 2003). این شاخص به‌علت سادگی، استفاده از داده‌های قابل دسترس و قابلیت محاسبه برای مقیاس زمانی دلخواه، مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی و تحلیل مکانی آن است و امکان مطالعه وضعیت منابع آب در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را که در کشاورزی، مطالعات جریان‌های سطحی و آبخوان‌های زیرزمینی دارای اهمیت است، فراهم می‌کند. این شاخص از طریق رابطه ۵ قابل محاسبه می‌باشد:

$$SPI = (P_i - \bar{P}) / S \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن P_i : مقدار بارش در دوره مورد نظر، $\bar{P}$: میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و S : انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در جدول ۲ ارائه شده‌اند، تقسیم می‌شود. در این مطالعه این شاخص در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد.

جدول ۲. طبقه‌بندی مقادیر شاخص SPI (Mckee et al, 1993)

طبقات خشکسالی یا ترسالی	مقدار شاخص
خشکسالی حاد	$SPI < -2$
خشکسالی شدید	$-2 < SPI < -1/5$
خشکسالی متوسط	$-1/5 < SPI < -1$

$-1 < SPI < 1$	نرمال
$1 < SPI < 1/5$	ترسالی متوسط
$1/5 < SPI < 2$	ترسالی شدید
$SPI > 2$	ترسالی حاد

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از داده‌های هواشناسی به صورت سالانه (SPI سالانه)

برای بررسی خشکسالی‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه از آمار و اطلاعات هواشناسی استفاده شد. تغییرات نمایه SPI برای کل منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار روند تغییرات نمایه SPI سالانه

برای دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۴۰۲ آزمون مقایسه میانگین و تحلیل واریانس انجام شد. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود شاخص خشکسالی از روند خاصی پیروی نمی‌کند و تفاوتی بین میانگین و واریانس دوره آماری مورد مطالعه وجود نداشته است.

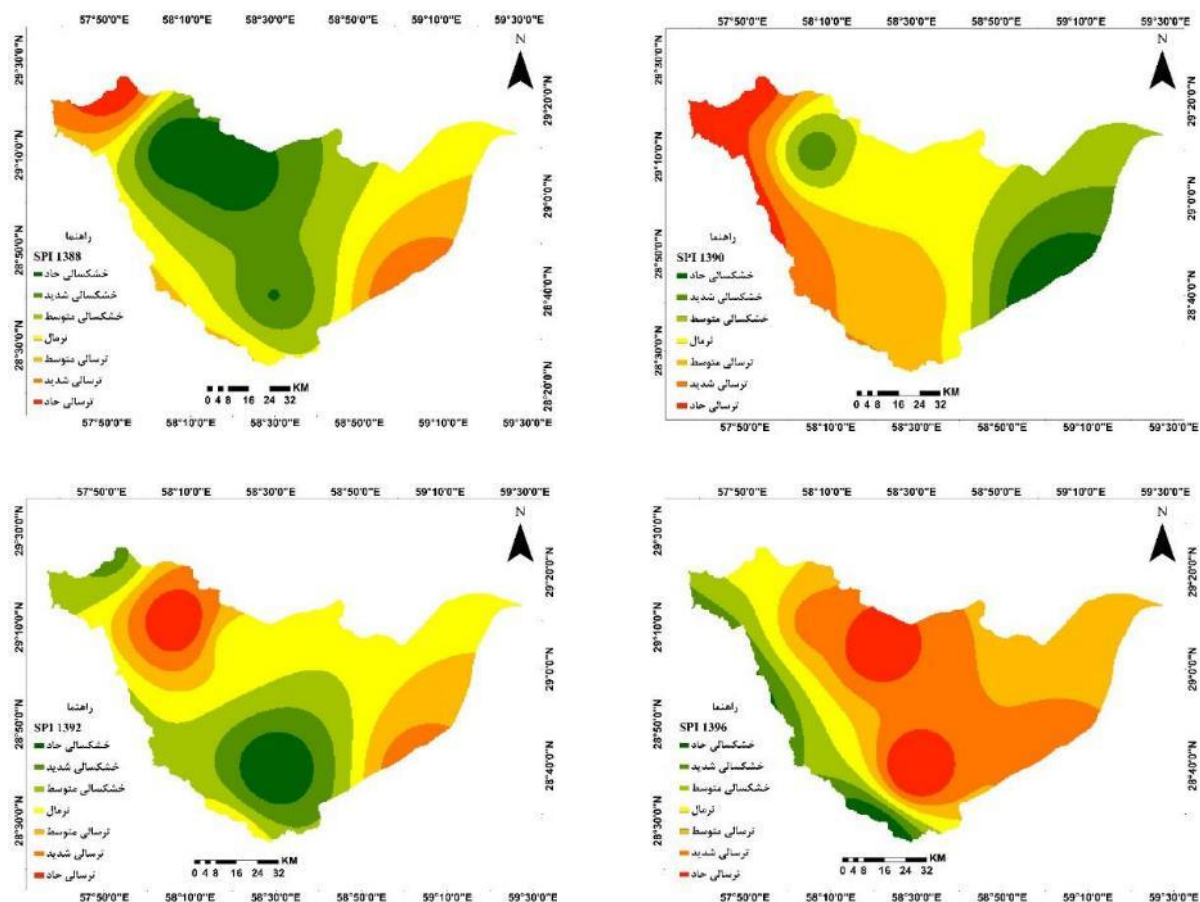
جدول ۳. نتایج آزمون مقایسه میانگین و تحلیل واریانس نمایه SPI سری زمانی (۱۳۸۸-۱۴۰۲)

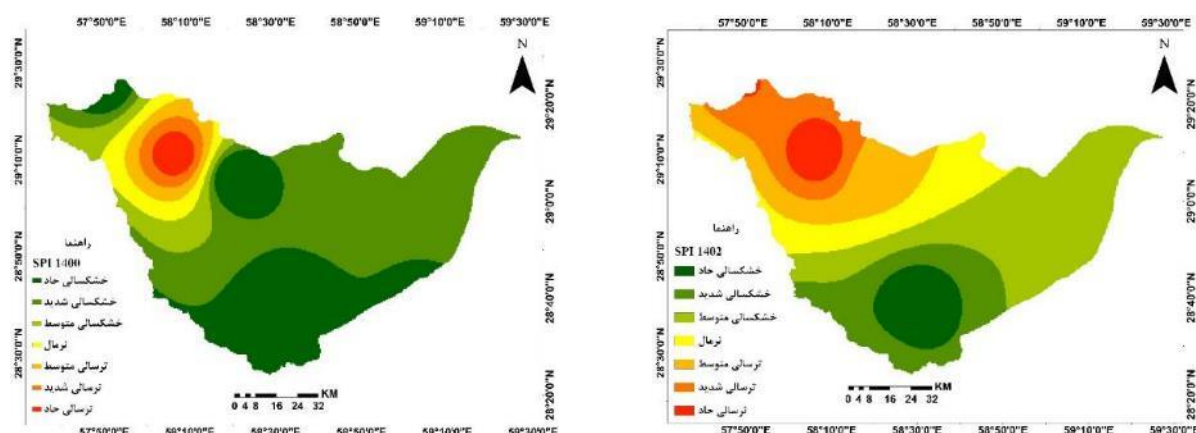
مقایسه میانگین		تحلیل واریانس	
آماره t	P-Value	آماره t	P-Value
۰/۳۹۱	۰/۸۲۱	۰/۵۶	۰/۱۸۳

با توجه به مباحث ذکر شده در ادامه نتایج حاصل از شاخص‌های SPI، VCI، TCI و VHI در قالب نقشه‌ها و جداول ارائه می‌گردد. پهنه بندی خشکسالی با شاخص SPI در دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ انجام شد و به دلیل زیاد بودن تعداد نقشه‌ها، نقشه سال‌های

۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ در شکل ۳ آورده شده است. نتایج ارائه شده توسط شاخص SPI بیانگر این است که در منطقه مورد مطالعه از شمال به جنوب بر شدت خشکسالی افزوده شده است. به‌طوری که خشکسالی حاد در مناطق جنوبی دشت و ترسالی حاد در مناطق شمالی دشت مشاهده می‌شود.

تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی حاد در منطقه در سال ۱۴۰۰ می‌باشد. در این سال ۳۳/۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۱۳۹۷ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال ۹ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است.

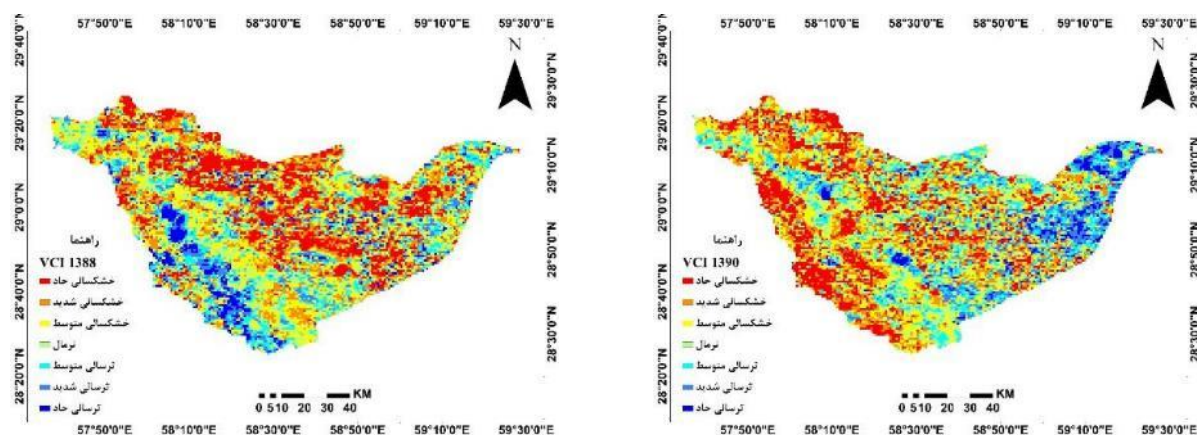


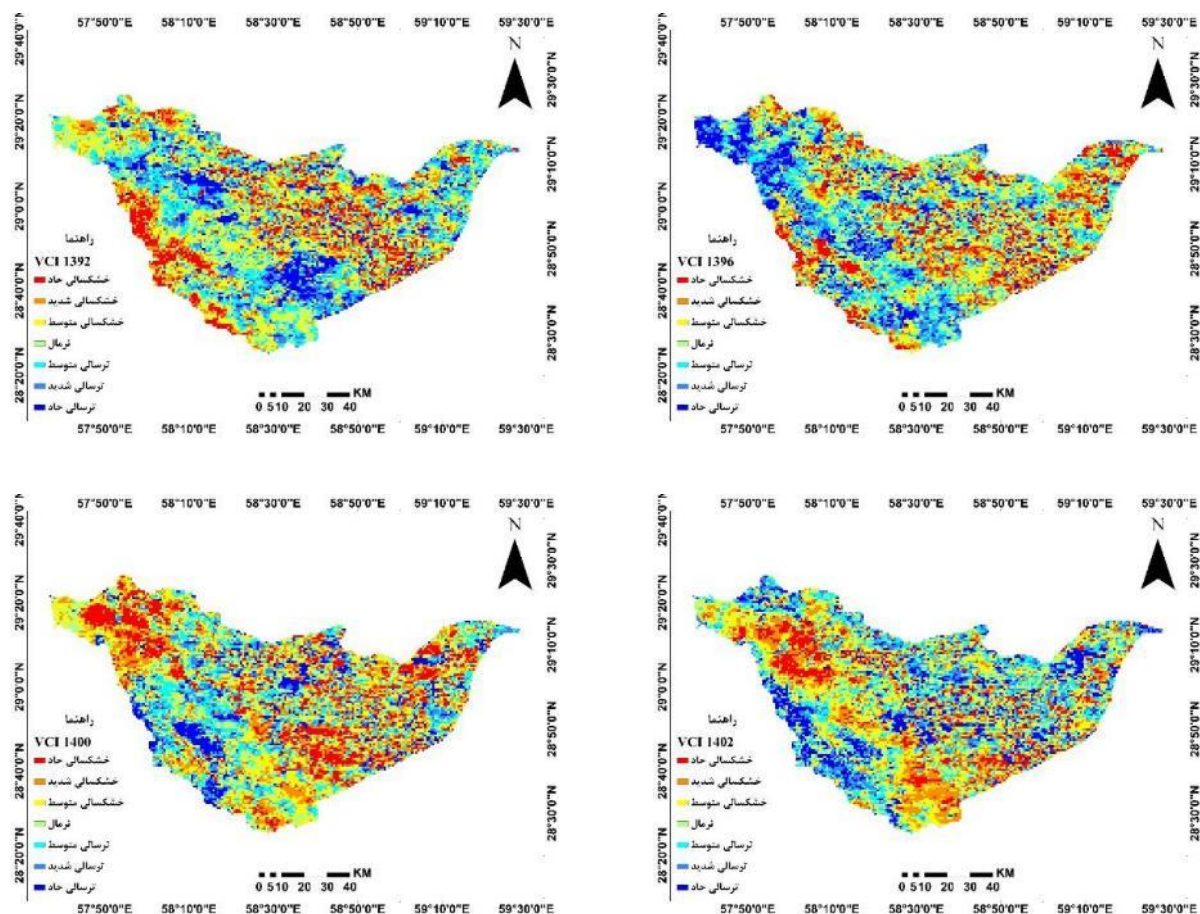


شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص SPI در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲

۳-۲. نتایج حاصل از شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری VCI، TCI و VHI (سالانه)

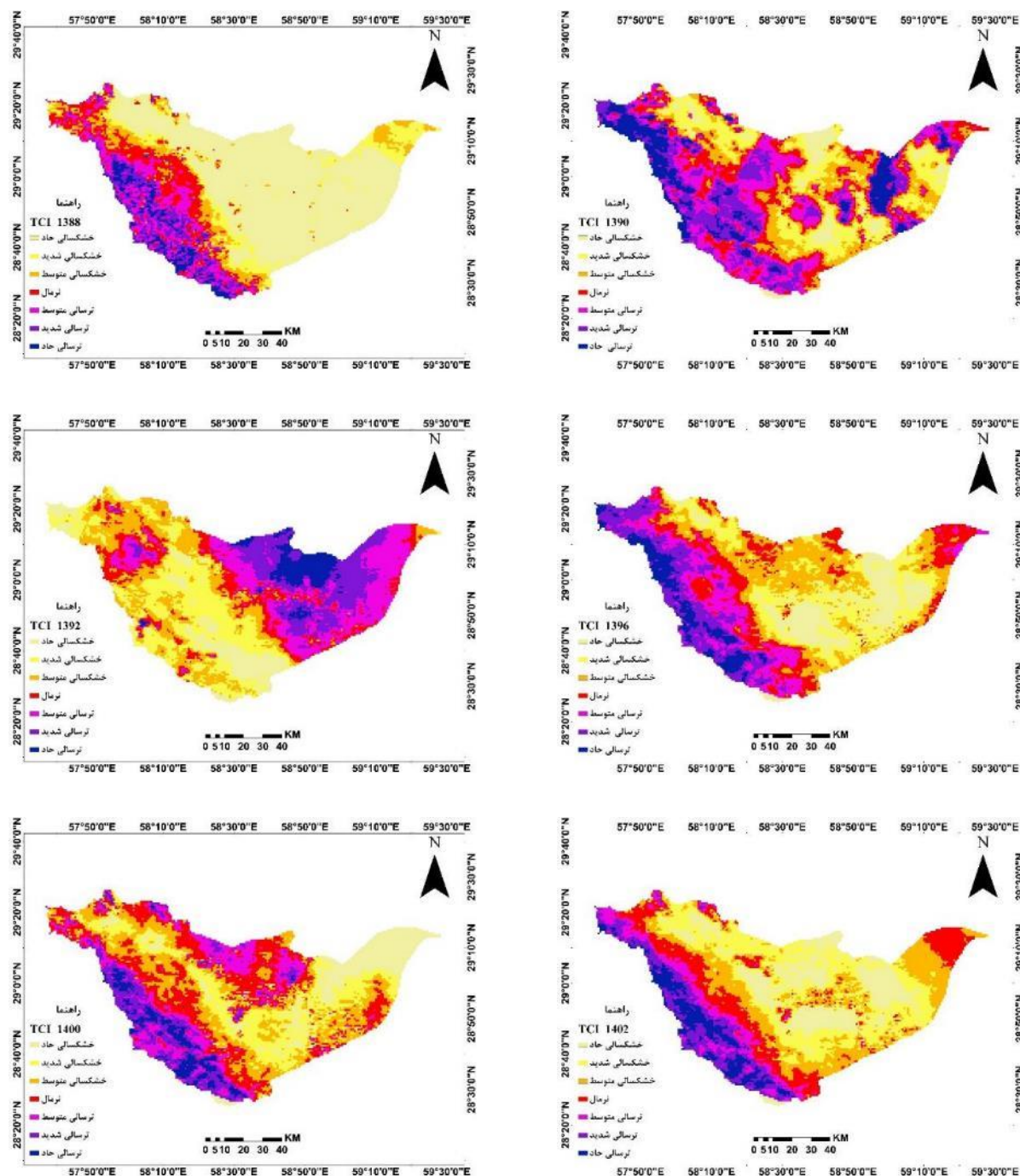
پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های VCI، TCI و VHI در دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ انجام شد و به دلیل زیاد بودن تعداد نقشه‌ها، نقشه سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص VCI (شکل ۴)، در سال ۱۳۹۹ خشکسالی حاد در منطقه رخ داده است. در این سال ۱۹/۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۱۳۸۸ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال ۱۵/۸ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است.





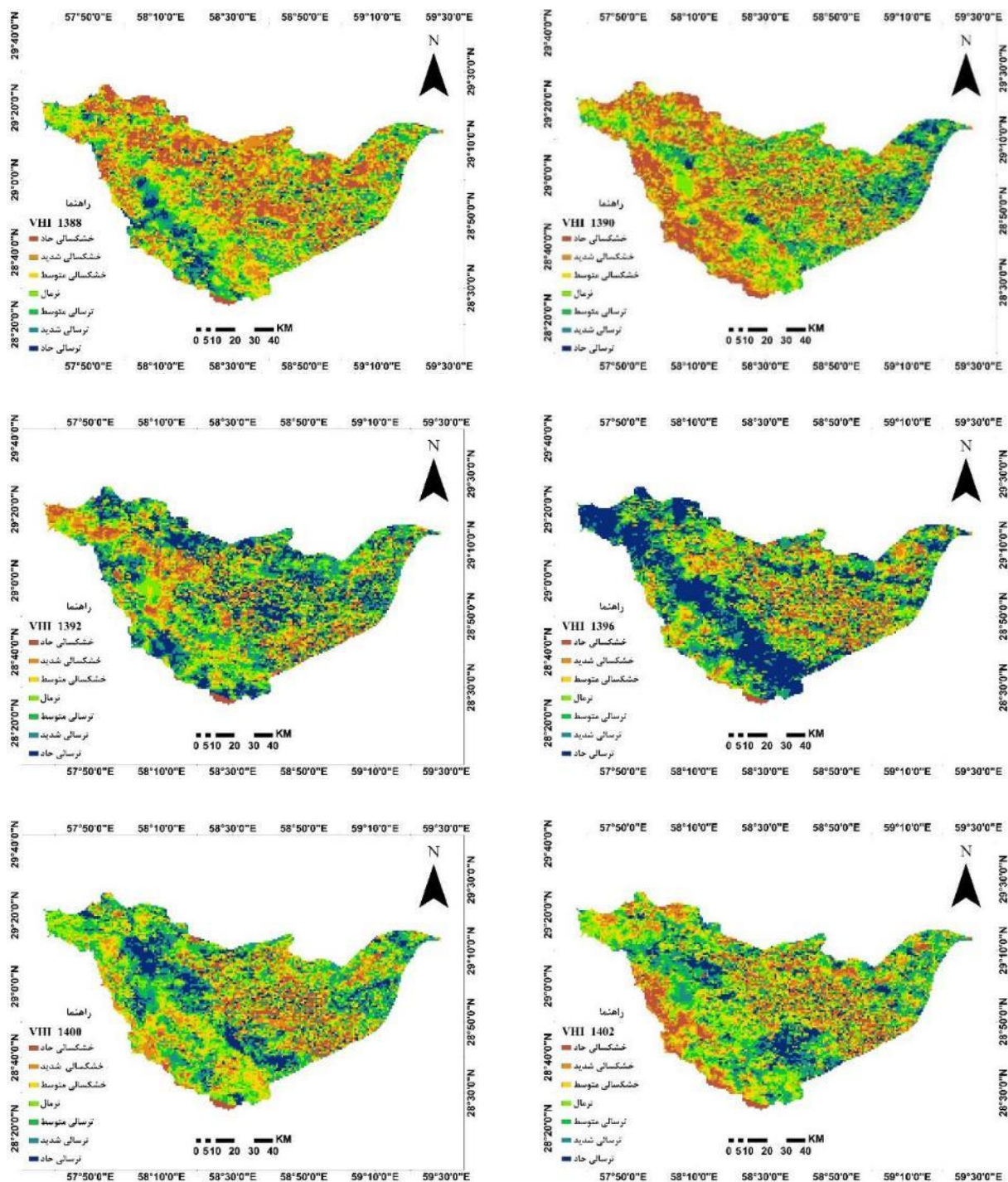
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص VCI در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص TCI (شکل ۵)، در سال ۱۳۸۸ خشکسالی حاد در منطقه رخ داده است. در این سال ۵۲/۱۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۱۳۹۷ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال ۸۲/۵ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است.



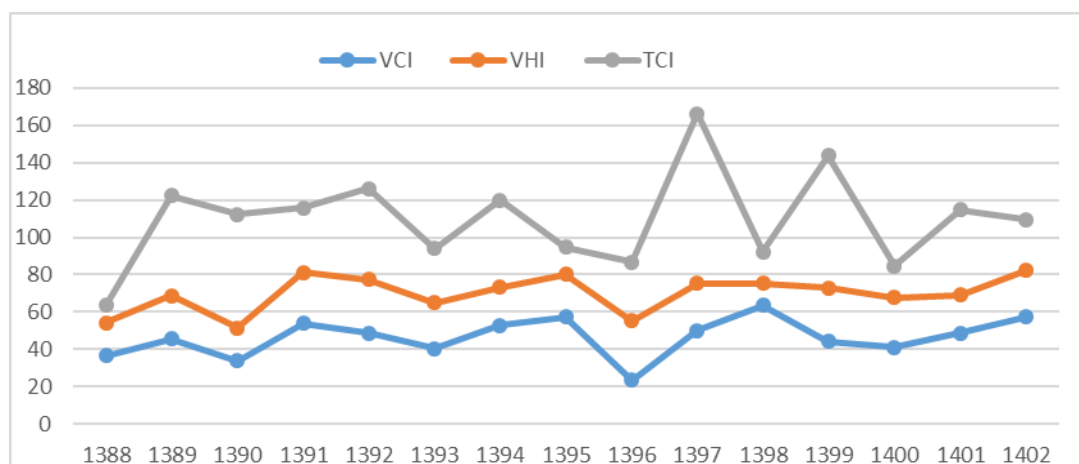
شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص TCI در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص VHI (شکل ۶)، در سال ۱۳۹۸ خشکسالی حاد در منطقه رخ داده است. در این سال ۳۷/۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۱۳۹۹ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال ۹/۲ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است.



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص VHI در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲

نمودار مقایسه میانگین شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری VCI، TCI و VHI (سالانه) در این قسمت آورده شده است.



شکل ۷. نمودار مقایسه میانگین شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری VCI، TCI و VHI

۳-۳. نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری

در ادامه برای اطمینان از نتایج حاصل از شاخص‌های ماهواره‌ای، ضرایب همبستگی پیرسون بین نمایه‌های VCI، TCI و VHI و نمایه هواشناسی SPI محاسبه شد. در جدول ۴، ضرایب همبستگی پیرسون میان شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی آورده شده است. با توجه به مقادیر جدول ۴ ضریب همبستگی سالانه بین شاخص‌های SPI، VCI و VHI، به ترتیب برابر با ۰/۷۶ و ۰/۵۳ که دارای همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد در سطح ۰/۰۵ بوده است؛ ضریب همبستگی بین شاخص SPI و TCI برابر با ۰/۱۱ که دارای همبستگی ضعیف اما معنادار مثبت در سطح ۰/۰۵ بوده است. بنابراین شاخص VCI و VHI همبستگی بیشتری با بارش سالانه منطقه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI داشته است.

جدول ۴. ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص SPI سالانه و شاخص‌های ماهواره‌ای

شاخص	VCI	TCI	VHI
سالانه	۰/۷۶	۰/۱۱	۰/۵۳

۳-۴. درصد مساحت طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی (سالانه)

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۵ براساس شاخص SPI، در سال ۱۴۰۰، ۳۳/۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. در سال ۱۳۹۷، ۹ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است و به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. براساس شاخص VCI، در سال ۱۳۹۹، ۱۹/۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. در سال ۱۳۸۸، ۱۵/۸ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است و به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. براساس شاخص TCI، در سال ۱۳۸۸، ۵۲/۱۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. در سال ۱۳۹۷، ۸۲/۵ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است. و به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. براساس شاخص VHI، در سال ۱۳۹۸، ۳۷/۴ درصد منطقه با خشکسالی حاد مواجه بوده است. در سال ۱۳۹۹، ۹/۲ درصد منطقه با ترسالی حاد مواجه بوده است. و به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود.

جدول ۵. درصد مساحت طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی (سالانه)

شاخص	شدت	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲
SPI	خشکسالی حاد	۱۴/۵	۴/۶	۵/۴	۵/۵	۶/۷	۶/۴	۴/۶	۲/۴	۲/۲	۴/۷	۱۶/۲	۶/۳	۳۳/۴	۱۴/۵	۸/۹
	خشکسالی شدید	۲۰/۲	۷/۶	۱۱/۲	۱۱/۷	۱۱/۸	۱۶/۷	۹/۶	۱۲/۴	۱۰/۵	۲۶/۴	۴۱/۰	۱۶/۰	۳۹/۷	۱۴/۱	۱۶/۳
	خشکسالی متوسط	۲۲/۶	۱۹/۷	۱۹/۶	۳۱/۱	۲۲/۹	۱۲/۰	۲۲/۱	۳۰/۸	۱۲/۲	۳۷/۰	۱۴/۷	۲۱/۰	۸/۳	۲۳/۲	۲۹/۶
	نرمال	۲۴/۹	۲۶/۷	۳۰/۹	۲۳/۱	۳۵/۰	۴۲/۶	۴۱/۱	۲۷/۱	۲۷/۴	۸/۹	۸/۲	۲۳/۸	۶/۰	۲۰/۸	۱۳/۶
	ترسالی متوسط	۱۰/۵	۲۱/۶	۱۷/۸	۱۸/۸	۱۳/۸	۱۶/۰	۱۱/۳	۱۹/۴	۲۹/۸	۱۰/۷	۵/۹	۲۰/۱	۴/۴	۱۴/۳	۱۴/۲
	ترسالی شدید	۲/۲	۱۱/۹	۸/۱	۶/۸	۵/۵	۳/۲	۵/۱	۵/۷	۱۱/۷	۳/۲	۴/۰	۸/۸	۳/۰	۶/۸	۱۳/۱
	ترسالی حاد	۵/۰	۸/۰	۷/۰	۳/۰	۴/۳	۳/۱	۶/۲	۲/۲	۶/۳	۹/۰	۱۰	۴/۱	۵/۲	۶/۴	۴/۳
VHI	خشکسالی حاد	۱۹/۴	۱۱/۰	۱۹/۰	۱۱/۶	۹/۵	۱۲/۵	۱۸/۱	۱۹/۸	۹/۲	۱۲/۴	۳۷/۴	۸/۸	۱۰/۳	۱۴/۶	۱۲/۲
	خشکسالی شدید	۳۲/۷	۲۳/۱	۳۷/۴	۱۹/۴	۱۷/۸	۲۷/۲	۳۰/۸	۲۴/۷	۱۳/۷	۲۲/۶	۲۵/۲	۱۱/۴	۱۶/۸	۳۱/۲	۲۲/۰
	خشکسالی متوسط	۲۲/۹	۲۹/۳	۲۱/۰	۲۰/۹	۲۱/۰	۲۴/۰	۲۲/۶	۱۷/۹	۱۷/۵	۲۵/۲	۱۱/۴	۲۲/۴	۲۶/۴	۲۳/۶	۲۷/۰
	نرمال	۱۱/۰	۱۸/۸	۱۳/۱	۲۰/۱	۲۲/۰	۱۸/۳	۱۳/۱	۱۲/۸	۱۸/۲	۱۹/۴	۷/۸	۲۱/۲	۲۳/۱	۱۴/۸	۲۱/۱
	ترسالی متوسط	۴/۱	۷/۷	۴/۹	۱۲/۵	۱۱/۹	۹/۲	۶/۰	۸/۸	۱۵/۴	۱۱/۶	۲/۴	۱۳/۶	۱۱/۳	۶/۱	۹/۳
	ترسالی شدید	۱/۹	۳/۳	۱/۳	۱۱/۴	۱۲/۷	۷/۵	۵/۱	۹/۸	۲۲/۹	۴/۵	۱/۱	۷/۶	۶/۸	۲/۵	۵/۱
	ترسالی حاد	۷/۰	۶/۸	۳/۳	۴/۰	۵/۱	۱/۳	۳/۲	۶/۲	۳/۱	۵/۲	۶/۱	۹/۲	۲/۳	۷/۳	۳/۳
VCI	خشکسالی حاد	۱۸/۲	۹/۶	۱۸/۵	۱۰/۱	۱۱/۶	۱۴/۶	۷/۴	۶/۷	۱۵/۹	۱۱/۱	۸/۳	۱۹/۴	۱۵/۵	۹/۶	۸/۶
	خشکسالی شدید	۱۰/۹	۵/۹	۱۳/۲	۸/۹	۳/۷	۹/۶	۳/۱	۱/۷	۳۶/۶	۴/۸	۳۱/۶	۲۰/۹	۹/۹	۶/۵	۲/۸
	خشکسالی متوسط	۱۳/۵	۱۲/۱	۱۵/۷	۲۰/۵	۹/۲	۱۲/۷	۸/۴	۲۰/۶	۱۲/۶	۹/۴	۱۸/۱	۸/۷	۱۲/۸	۲۱/۱	۲۸/۰
	نرمال	۱۸/۸۰	۲۸/۷۳	۱۵/۸۹	۳۱/۴۳	۳۵/۳۶	۲۴/۴۱	۴۰/۴۶	۳۵/۱۹	۹/۳۳	۳۸/۳۲	۱۶/۸۰	۲۴/۳۴	۲۵/۳۵	۲۵/۳۴	۲۹/۰۲
	ترسالی متوسط	۱۲/۱	۱۴/۹	۱۲/۴	۱۱/۲	۱۴/۶	۱۲/۸	۱۴/۰	۱۲/۶	۸/۸	۱۲/۲	۸/۵	۸/۸	۱۳/۰	۱۲/۶	۱۰/۷
	ترسالی شدید	۱۰/۶	۱۳/۱	۹/۸	۱۱/۰	۱۳/۶	۱۲/۰	۱۴/۳	۱۳/۰	۱۳/۰	۵/۹	۱۲/۷	۹/۱	۷/۹	۱۰/۱	۱۱/۴
	ترسالی حاد	۱۵/۸	۱۵/۶	۱۴/۵	۶/۸	۱۲/۰	۱۳/۸	۱۲/۳	۱۰/۱	۱۰/۸	۱۱/۴	۷/۷	۱۰/۰	۱۳/۲	۱۳/۲	۹/۶
TCI	خشکسالی حاد	۵۲/۱۴	۲/۴	۱/۵	۹/۴	۰/۲	۳/۱	۰/۱	۳۹/۶	۵/۵	۲/۵	۵۰/۷	۹/۴	۲۷/۸	۲۱/۷	۱۱/۲
	خشکسالی شدید	۱۶/۴۶	۲/۷	۴/۵	۹/۳	۸/۳	۱۷/۹	۱/۹	۳۲/۰	۲۰/۹	۵/۷	۸/۲	۱/۸	۳۷/۵	۱۷/۲	۳۱/۶
	خشکسالی متوسط	۱۷/۱۴	۱۶/۹	۱۴/۲	۲۳/۹	۲۵/۲	۳۵/۰	۱۴/۲	۲۰/۸	۳۷/۰	۲/۱	۸/۸	۱۲/۴	۲۲/۳	۱۹/۲	۲۴/۳
	نرمال	۷/۳۶	۳۰/۱	۱۷/۰	۱۹/۵	۱۹/۲	۲۴/۳	۱۸/۱	۴/۱	۱۷/۹	۱/۱	۱۳/۶	۲۷/۵	۷/۳	۴/۳	۱۳/۵
	ترسالی متوسط	۹/۳	۱۹/۳	۱۳/۹	۲۵/۹	۲۰/۹	۱۵/۱	۲۲/۸	۱/۸	۱۲/۴	۱/۳	۱۶/۰	۲/۸	۵/۰	۱۵/۰	۴/۷
	ترسالی شدید	۲/۱۴	۲۵/۲	۴۸/۴	۸/۷	۲۶/۳	۳/۶	۲۰/۲	۱/۵	۸/۷	۰/۰۲	۱/۷	۱/۳	۰/۱	۲۱/۰	۴/۲
	ترسالی حاد	۱/۴۰	۲/۵	۱/۶	۳/۲۶۲	۰/۹۷۵	۲۲/۶	۰/۰۲۹	۷/۵۳۶	۸۲/۵	۱	۴۴/۸۰	۰/۰۲۲	۱/۶	۱۰/۵	۱۰/۵

۴. بحث و نتیجه‌گیری

به دلیل ارتباط نزدیکی که بین خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی وجود دارد، در بیش‌تر مطالعات برای بررسی تاثیر

خشکسالی بر روند تغییرات پوشش گیاهی، از تکنیک سنجش از دور استفاده می‌شود. شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در بیش‌تر مطالعات با همدیگر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، زیرا خشکسالی روشی ارتباط نزدیکی با آب و هوا دارد. هدف از انجام این پژوهش، پایش خشکسالی براساس شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص‌های ماهواره‌ای VCI، TCI و VHI با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS بوده است. در این مطالعه نتایج شاخص‌های VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی متفاوت بود. این نتیجه لزوم استفاده از شاخص‌های متعدد را در ارزیابی خشکسالی تایید می‌کند. این مطلب توسط محققان متعدد اعلام شده است، به‌طوری‌که برخی از محققان برای پایش خشکسالی شاخص VCI، NDVI و EVI را توصیه کرده‌اند (کویرینگ و گانش^۱، ۲۰۱۰؛ دوتا^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ شجاعی شیر و همکاران، ۲۰۲۵). جیانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) از SPEI و EVI برای پایش وضعیت خشکسالی و تاثیر آن بر تغییرات پوشش گیاهی استفاده کردند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که VCI نسبت به شاخص‌های VHI و TCI نتایج بهتری را ارائه می‌دهد که با نتایج زامبران و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه بیوبیو شیلی، رحیم‌زاده (۲۰۰۵) و آرخی و همکاران (۲۰۲۳) هم‌خوانی دارد. شاخص VCI یکی از شاخص‌هایی است که بر مبنای شاخص NDVI محاسبه می‌گردد. یکی از شاخص‌های سنجش از دوری که به دفعات برای بررسی و نظارت بر روند تغییرات پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص NDVI می‌باشد. این شاخص به تنهایی برای بررسی خشکسالی مناسب نیست (کوگان^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). در NDVI، مولفه اکولوژیکی قوی، مولفه آب و هوا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از سویی دیگر، شاخص VCI، نوسانات کوتاه مدت NDVI، مربوط به آب و هوا را از تغییرات بلند مدت اکوسیستم جدا می‌کند (کوگان، ۱۹۹۵).

به طور کلی شاخص VCI شاخص بهتری نسبت به NDVI برای نظارت بر خشکسالی است زیرا شادابی پوشش گیاهی را نسبت به بهترین و بدترین شرایط در طول فصل‌های مشابه و در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین، به گفته برخی از محققان VCI شاخص بهتری برای کمبود رطوبت نسبت به NDVI است، زیرا امکان جداسازی سیگنال کوتاه مدت آب و هوا را از سیگنال اکولوژیکی بلند مدت فراهم می‌کند (جاین^۵ و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به این که VCI یک شاخص خشکسالی قابل اعتماد در مناطق وسیع است، بنابراین از این شاخص می‌توان برای تمرکز بر ارزیابی خشکسالی استفاده کرد. همچنین بر طبق نتایج شاخص‌های با وضعیت پوشش گیاهی VHI و VCI که مبنای محاسبه آنها شاخص NDVI است، تطابق بیش‌تری نسبت به شاخص TCI که مبنای محاسبه آن عامل دما و LST است، دارند و شاخص SPI را تایید می‌کنند. نتایج ری (۲۰۱۰) در منطقه خشک آریزونا و نیومکزیکو، شارفول و همکاران (۲۰۱۳) در شمال غرب بنگلادش تایید کننده این مطلب می‌باشند. شاخص VHI پارامتر دما و پوشش گیاهی را برای ارزیابی خشکسالی ادغام می‌کند (کوگان، ۱۹۹۵). در این مطالعه با توجه اینکه عامل دما، نتایج قابل قبولی را نشان نداده است، شاخص VHI هم به دلیل در نظر گرفتن عامل دما نتایج ضعیف تری نسبت به شاخص VCI، که صرفاً پوشش گیاهی را در نظر می‌گیرد، نشان می‌دهد. نتایج آرخی و همکاران (۲۰۲۰) تایید کننده این مطلب است.

بر طبق نتایج با توجه به وجود همبستگی بالا بین شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از قدرت بالایی برای پایش خشکسالی برخوردار می‌باشند، که با نتایج حمزه و همکاران (۲۰۱۷)، شمسی پور و

¹ Quiring & Ganesh² Dutta³ Jiang⁴ Kogan⁵ Jain

همکاران (۲۰۱۰)، جهانبخش و همکاران (۲۰۱۰) و آرخی و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. در مورد شاخص‌های ماهواره‌ای، عواملی مانند دمای سطح زمین، بارش و وضعیت پوشش گیاهی هم‌زمان در پایش ماهواره‌ای خشکسالی نقش ایفا می‌کنند و در صورت در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای بدون پوشش ابر، امکان ارزیابی خشکسالی با شاخص‌های VCI، VHI و TCI نسبت به شاخص استاندارد بارش SPI، مناسب‌تر است. هم‌چنین با توجه به اینکه معمولاً تعداد ایستگاه‌های هواشناسی کافی نیست یا پراکنش مناسبی در سطح منطقه مطالعه شده ندارند، استفاده از فناوری سنجش از دور به منظور ارزیابی و پایش هرچه دقیق‌تر پدیده خشکسالی به ویژه در مناطق بدون ایستگاه‌های زمینی یا مناطقی با شبکه ایستگاه‌های زمینی پراکنده و نامنظم پیشنهاد می‌شود. استفاده از نقشه‌های حاصل از شاخص‌های پایش و ارزیابی خشکسالی می‌تواند به بهبود برنامه‌های مدیریت خشکسالی کمک نموده و نقش بسزایی را در کاهش اثرات خشکسالی ایفا می‌کند.

References

- Arekhi, S., Barzegar Savasari, M., & Emadaddian, S. (2022). Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 189-224. (In Persian)
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., & Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management*, 17: 273-296.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Gregoire, J.M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77:22-33.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N. R., Saha, S. K., & Siddiqui, A. R. (2015). Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 53-63.
- Ghaffourian, H., Sana'inezhad, S.H., & Davari, K. (2014). Study on determining suitable areas for drought monitoring using TRMM satellite data (Case study: Khorasan Razavi Province (water and soil). *Agricultural Sciences and Industries*. 3: 639-648. (In Persian).
- Goddard, L., Mason, S.J., Zebiak, S.E., Ropelewski, C.F., Basher, R., & Cane, M.A. (2001). Current approaches to seasonal to inter annual climate predictions. *International Journal of Climatology*. 21: 1111-1152.
- Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, Sh., Chaterabgun, O., & Gholamnia, M. (2017). Temporal and spatial monitoring of agricultural drought using remote sensing data, case study: Markazi province of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. 4(3), 53-70. (In Persian).
- Heim, R.R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1149-1165.
- Hodel, E. (2012). Analysing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data supervisor Hans Hurni, Masterarbeit der Philosophisch, Universität Bern. <https://www.scrip.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=4981>
- Jahanbakhsh, S., Hadiani, M., Rezaei Banafsheh, M., & Dinpajouh, Y. (2010). Modeling Climate Change Parameters in Mazandaran Province. *Proceedings of the Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World*. Pp 13.
- Jain, S. K., Keshri, R., Goswami, A., & Sarkar, A. (2010). Application of meteorological and vegetation indices for evaluation of drought impact: a case study for Rajasthan, India. *Natural hazards*, 54, 643-656.
- Ji, L., & Peters, A.J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*, 87, 85-98. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703001743>.
- Jiang, W., Wang, L., Feng, L., Zhang, M., & Yao, R. (2020). Drought characteristics and its impact on changes in surface vegetation from 1981 to 2015 in the Yangtze River Basin, China. *International Journal of Climatology*, 40(7), 3380-3397.
- Karnieli, A., Bayasgalan, M., Bayarjargal, Y., Agam, N., Khudulmur, S., & Tucker, C.J. (2006). Comments on the use of the Vegetation Health Index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10): 2017-2024.

- Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15 (11): 91-100.
- Kogan, F.N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636.
- Kogan, F.N. (2000). Global drought detection and impact: Assessment from space, In Wilhite Editor Drought a Global Assessment, 1: 197-206.
- Kogan, F., Guo, W., & Yang, W. (2017). SNPP/VIIIRS vegetation health to assess 500 California drought. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1383-1395.
- McKee, T.B., N.J. Doesken & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22): 179-183.
- Pishnamaz Ahmadi, M., Houshmand, A., & Zamani, F. (2017). Drought monitoring in the northwest of the country using TRMM and MODIS data. 24th National Geomatics Conference, May 2017. (In Persian).
- 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.
- Rahimzadeh, P. (2005). *Investigating the possibility of using NOAA-AVHRR images for drought monitoring*. Master's thesis, University of Tehran, Faculty of Environment. (In Persian).
- Rezaei Moghadam, M.H., Valizadeh, K., Rostamzadeh, H., & Rezaei, A. (2012). Evaluating the efficiency of MODIS sensor data in drought estimation (case study: Lake Urmia watershed). *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 3, 1-16. (In Persian).
- Rhee, J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2875-2887.
- Rostami, A., Bzane, M., & Raini, M. (2016). Spatial and temporal monitoring of agricultural drought using Modis imagery and remote sensing technology. *Journal of Soil and Water Science*, 27, 213-226. (In Persian).
- Rostami, F., Attarod, P., Keshtkar, H., & Nazeri Tahroudi, M. (2022). Impact of climatic parameters on the extent of mangrove forests of southern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20(4), 671-682.
- Rouse, J.W.; Haas, Jr. R.; Schell, H. J. A.; & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA: 309-317.
- Shamsipour, A., Alavipanah, K., & Mohammadi, H. (2010). Studying the effectiveness of NOAA-AVHRR satellite vegetation and thermal indexes in drought analysis of Kashan region. *Iranian Scientific and Research Journal of Rangeland and Desert Research*, 17(3), 445 - 465. (In Persian).
- Shareful Hassan, M., & Mahmud-ul-islam, S. (2013). Drought Vulnerability Assessment in the High Barind Tract of Bangladesh Using MODIS NDVI and Land Surface Temperature (LST) Imageries. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online)*, 2319-7064.
- Shojaee Shiri, H., Arzani, H., Keshtkar, H., Bagheri, S. & Kavoosi, O. (2025). Assessment and Monitoring of Drought Using Satellite and Meteorological Time Series Data (Case Study: Zanjan Province). *Journal of Ecohydrology*, 12(1), 613-634. (In Persian)
- Sultani, M., Soltani, A., Kalehhoi, M., & Soleimani, K. (2019). Regional drought monitoring using Landsat images, case study: Kermanshah city. *Geographic Information Quarterly (Sepehr)*, 28(109), 138-146. (In Persian).
- Thenkabail, P.S., Gamage, M.S.D.N., & Smakhtin, V.U. (2003). The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia. *Research report*. 85, 1-34.
- Tsakiris, G.; & Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management*, 18, 1-12.
- Zamanian, M.T., Behyar, M.B., Hosseini Karimi, A. & Vazife Dust M. (2016). Monitoring and analysis of drought using NOAA-AVHRR satellite sensing products 2012. *Journal of Climatological Research*, 9(3), 33-54.
- Zambrano, F., Lillo-Saavedra, M., Verbist, K., & Lagos, O. (2016). Sixteen years of agricultural drought assessment of the BioBío region in Chile using a 250 m resolution Vegetation Condition Index (VCI). *Remote Sensing*, 8(6), 530-549.
- Zhang, M., Zhu, X., Fan, J., Li, G., & Zhang Y. (2009). Monitoring drought dynamics in Huanghuai region of China using AVHRR-based vegetation health indices in comparison with ground data. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XI*. 72-74. Proc of SPIE Edited by Christopher M. U. Neale, Antonino Maltese.