

Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city

Ramin Mardani¹ , Hossein Montaseri^{2*} , Mehdi Fazeli² , Reza Khalili³ 

¹Graduated M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

³ Ph.D. Student, Department of Water and Wastewater Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Drought is considered a complex hazard, whose severity depends on the climate and weather conditions of each region. In fact, drought is caused by dry and unusual weather conditions, among other things, lead to a change in vegetation characteristics. Since this dangerous phenomenon is caused by the lack of rainfall for a long period of time, it slowly and gradually leads to a natural disaster and conquers the environment compared to other environmental hazards. Therefore, it is not noticed and taken less seriously by people and authorities. Undoubtedly, the occurrence of drought and as a result the crisis of reduction and shortage of water resources is one of the main and most important risks of the natural environment that humans have faced since the past. Therefore, it can be stated that the possibility of this natural phenomenon also exists in humid areas. Drought causes unfortunate and in some cases irreparable damage to human life as well as the natural ecosystem which is very different from other natural events such as floods, storms, and earthquakes. So that it has caused wide and big problems in the economic, social, political, and cultural fields. Therefore, the impacts it causes are not only structural and the damage it causes affects different areas. Drought is one of the destructive phenomena of the natural environment that affects a significant number of countries and causes problems. Simultaneous droughts with the period of vegetation growth cause environmental ecosystem consumption, which results in biological compounds such as land surface, soil amount, and plant growth rate, that we need proper management and planning in order to deal with this phenomenon.

Materials and Methods

In the present study, drought in Marvdasht city was analyzed using remote sensing technology and satellite imagery as a time series. For this purpose, during the statistical period of 20 years (2000-2019), out of 460 satellite imagery of land surface temperature (LST) and vegetation cover (NDVI) were used in conjunction with the MODIS sensor of Terra satellite, from which to estimate the temperature condition index (TCI) and vegetation condition index (VCI) was used. The optimal index indicating the state of drought from satellite imagery, the SPI was also used. In this way, using the rainfall data recorded by synoptic and rain gauge stations in the study area, the SPI was calculated using MATLAB software for the period of 3, 6, and 12 months. One of the other goals pursued in this study is to determine the basic and optimal index, indicating the state of drought in the study area, which is based on TCI and VCI satellite drought indices. Thus, after calculating the SPI and its intervals for each station, the points of each ground station were placed on the maps produced from TCI and VCI satellite indicators. Then, by taking the numerical value of the corresponding points for each of the years of the investigated period, the obtained values were entered into SPSS 22 software and the amount of correlation coefficients between SPI and its intervals with TCI and VCI values was calculated.

Results and Discussion

According to the drought maps extracted from the TCI, the highest amount of land area with very severe drought in 2016 was 118.90 km², and then in 2018 with 112.25 km², and in 2017 with an amount of 101.66 km² has happened. On the other hand, the least amount of extreme drought area in the first place is related to 2006 with

an area of 46.10 km², and then 2002 with an area of 48.21 km². In terms of the severe drought category, 2009 with an area of 433.71 km² experienced the largest area and 2007 with an area of 45.78 km² experienced the lowest amount of drought. According to the maps obtained from the TCI, a very severe drought situation is observed in the southern and southwestern parts, especially in 2016 and 2018. It is also consistent with the results of the different intervals of the SPI in 2016 and 2018. They are considered as the years in which the highest amount of drought occurred. In addition, the year 2013 has less drought than other years in all three ranges of the SPI. From the comparison of the average SPI values for the studied years with the values obtained from the two indices, TCI and VCI obtained from satellite imagery, the highest amount of correlation coefficient between TCI and six-month SPI was equal to 0.65, which indicates that the TCI satellite index is the optimal index to indicate the drought situation in Marvdasht city.

Conclusion

According to the maps obtained from the NDVI, the studied area has normal and semi-dense vegetation density, which is scattered in all its different areas, so it has more density in the central and northwestern parts. The results of the VCI for the studied area, in none of the years, has not faced very severe drought. In terms of medium aridity, they have experienced the highest amount of drought in 2010 with an area of 62.98 km² and after that in 2019 with an area of 50.04 km². In contrast, the lowest drought in this layer was in 2002 with an area of 5.09 km². According to the maps showing the drought condition of VCI, the studied area has almost the same distribution pattern in all areas and except for a small part of the southern part of the area which has a medium drought condition, the other areas have a mild drought condition and are not dry in most areas.

Keywords: Drought, Marvdasht city, Remote sensing, Temperature condition index , Vegetation condition index

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: hmontaseri@yu.ac.ir

Citation: Mardani, R., Montaseri, H., Fazeli, M., & Khalili, R. (2023). Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 72-89.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11541.1140

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.5.7

Received: 18 September, Received in revised form: 06 October 2022, Accepted: 07 October 2022, Published online: 07 October 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 72-89

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تغییرات زمانی و مکانی خشک سالی هواشناسی و ارتباط آن با شاخص های دمایی و وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای در شهرستان مرودشت

رامین مردانی^۱، حسین منتصری^{۲*}، مهدی فاضلی^۲، رضا خلیلی^۳

^۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه آب و فاضلاب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده:

خشک سالی یک خطر پیچیده و مهم محسوب می شود که شدت آن به اقلیم و شرایط آب و هوایی هر منطقه بستگی دارد که می تواند باعث تغییر ویژگی های پوشش گیاهی شود. بی شک وقوع خشک سالی و در نتیجه آن بحران کاهش و کمبود منابع آب یکی از اصلی ترین و مهم ترین مخاطرات محیط زیست طبیعی است که بشر از گذشته تاکنون با آن مواجه بوده و نیاز به برنامه ریزی همه جانبه جهت مقابله با این پدیده است. در تحقیق حاضر خشک سالی شهرستان مرودشت با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای به صورت سری زمانی تغییرات و همچنین وضعیت خشک سالی حاصل از تصاویر ماهواره ای با استفاده از SPI مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ۴۶۰ تصویر از محصولات دمای سطح زمین (LST) و پوشش گیاهی (NDVI) مربوط به سنجده مودیس ماهواره ترا تصاویر ماهواره ای در دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۰) جهت برآورد شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) استفاده شد. همچنین، وضعیت خشک سالی با استفاده از داده های بارش ثبت شده توسط ایستگاه های موجود در محدوده مورد مطالعه و SPI به وسیله نرم افزار MATLAB در بازه های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد. با توجه به نقشه های حاصل از TCI وضعیت خشکی خیلی شدید بیش تر در قسمت های جنوبی و جنوب غربی به ویژه در سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ مشاهده می شود. بر اساس نقشه های حاصل از NDVI، محدوده مورد مطالعه دارای تراکم پوشش گیاهی معمولی و نیمه تراکم بوده که در تمامی نواحی مختلف آن پراکنده شده و بر اساس نقشه های حاصل از شاخص خشک سالی VCI، در هیچ یک از سال ها، شهرستان مرودشت با خشکی بسیار شدید و شدید مواجه نبوده است. همچنین، مطابق با نتایج به دست آمده از بازه های مختلف SPI سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ بیش ترین میزان خشک سالی مشاهده شد و سال ۲۰۱۳ در هر سه بازه SPI از خشک سالی کمتری نسبت به سایر سال ها برخوردار است. در نهایت، تحلیل ضریب همبستگی نشان داد که SPI همبستگی بیش تری با TCI در مقایسه با VCI دارد.

واژه های کلیدی: خشک سالی، سنجش از دور، شاخص وضعیت پوشش گیاهی، شاخص وضعیت دمایی، شهرستان مرودشت

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hmontaseri@yu.ac.ir

استناد: مردانی، رامین، منتصری، حسین، فاضلی، مهدی، و خلیلی، رضا (۱۴۰۲). تغییرات زمانی و مکانی خشک سالی هواشناسی و ارتباط آن با شاخص های دمایی و وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای در شهرستان مرودشت. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۷۲-۸۹.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11541.1140

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.5.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۷۲ تا ۸۹

© نویسنده گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

شناخت مخاطره خشک‌سالی با توجه به شناخت عوامل و پدیده‌های تأثیرگذار در بروز آن موجب درک و فهم بهتر از این پدیده شده است (Khalili et al., 2021). خشک‌سالی یکی از پدیده‌های مخرب و ویران‌گر محیط طبیعی است که تعداد قابل‌توجهی از کشورها را به خود درگیر کرده و باعث بروز مشکلات عدیده‌ای شده است (Afsharinia and Panahi, 2021). چنانچه خشک‌سالی هم‌زمان با دوره رشد پوشش گیاهی باشد باعث به هم خوردن تعادل محیط زیستی و بوم‌سازگان می‌شود که در نتیجه آن متغیرهای زیستی مانند دمای سطح زمین، رطوبت خاک و همچنین فرآیند تبخیر و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Darvand et al., 2021).

سازوکارهای کشاورزی در ایران طی سالیان طولانی به‌صورت متداول متأثر از شرایط نامساعد و توزیع نامهمسان و غیریکنواخت ریزش‌های جوی به‌ویژه بارش بوده است (Khalili et al., 2021). به‌طوری‌که ناهنجاری‌های دما و بارش، شرایط کشت را با مشکلاتی مواجه ساخته است (Lee et al., 2022). در سال‌های اخیر به‌دلیل عدم وجود شرایط رطوبت مناسب در خاک و کاهش بارندگی‌ها در فصول مربوط به کشت به‌ویژه فصل بهار، میزان تولیدات کاهش‌یافته و دچار تهدیدهای جدی شده و احتمال رخداد خشک‌سالی را افزایش داده است؛ بنابراین، توجه ویژه به خشک‌سالی از موارد ضروری است که در مدیریت و اقتصاد کشاورزی جلوه می‌نماید (Moussa et al., 2021). خشک‌سالی به‌عنوان یک پدیده آب‌وهوایی ناگوار محسوب می‌شود که به‌طور مستقیم تأثیرات بسیاری بر جوامع از طریق محدود کردن دسترسی به منابع آب بر جای می‌گذارد و در سال‌های اخیر این پدیده مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این زمینه، (Khosravi et al., 2017) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص‌های شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، VCI و SPI به ارزیابی اثر خشک‌سالی بر وضعیت پوشش گیاهی در دشت یزد پرداختند و بدین ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی دشت یزد را در کلاس‌های مختلف طی دوره مورد بررسی تهیه نمودند. یکی از نتایج بررسی آن‌ها حاکی از این است که در دشت یزد مراتع نسبت به وقوع خشک‌سالی دارای حساسیت بیش‌تری هستند، درحالی‌که اراضی زراعی به‌دلیل انجام آبیاری دارای حساسیت کم‌تری بوده و نسبت به خشک‌سالی مقاوم‌تر هستند.

(Palchaudhuri and Biswas (2020) به بررسی و پایش خشک‌سالی با استفاده از تصاویر سنجنش از دور سنجنده‌های

(LISS) و مودیس (MODIS) و شاخص‌های NDVI و VCI طی یک دوره ۱۶ ساله در ناحیه بنگال غربی در کشور هند اقدام نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۰ و همچنین ۲۰۱۶-۲۰۱۵ ناحیه مورد مطالعه با خشک‌سالی شدیدی مواجه بوده است. (Zhou et al., 2020) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و مودیس که از نظر قدرت تفکیک مکانی متفاوت هستند و با استفاده از NDVI و شاخص وضعیت دمای پوشش گیاهی^۱ VTCI، دشت گوانژونگ^۲ در چین را به لحاظ خشک‌سالی مورد بررسی و پایش قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان‌دهنده قابلیت بالای تلفیق تصاویر با قدرت تفکیک مکانی متفاوت جهت محاسبه VTCI و در نتیجه امکان ارزیابی خشک‌سالی است. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده مودیس در برآورد خشک‌سالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در مطالعه‌ای توسط (Rezaeimoghadam et al., 2013) صورت گرفت. آن‌ها از داده‌های سنجنده مودیس ماهواره ترا و همچنین از داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه استفاده نمودند. در ابتدا توسط شاخص‌های VCI و TCI، نقشه‌های خشک‌سالی برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ را به‌دست آوردند. از آن‌جا که نتایج خشک‌سالی حاصل از این دو شاخص مختلف بود جهت ارزیابی و تعیین کارایی مناسب‌ترین شاخص ماهواره‌ای نشان‌دهنده خشک‌سالی از SPI به‌دست‌آمده توسط ایستگاه‌های زمینی استفاده نمودند. سپس مقادیر شاخص‌های VCI و TCI سال ۲۰۱۱ را از روی تصاویر استخراج نمودند. سپس همبستگی پیرسون بین آن‌ها را محاسبه نمودند که بر اساس آن ضریب همبستگی پیرسون بین VCI و SPI برابر با ۰/۷ و همبستگی TCI با SPI برابر با ۰/۲۵ بود. بنابراین، نتیجه نهایی مطالعه آن‌ها حاکی از این است که VCI و تصاویر مودیس می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در برآورد خشک‌سالی محدوده مورد مطالعه باشد.

(Mirmosavi and Karimi (2013) به‌منظور بررسی اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی در استان کردستان از داده‌های سنجنش از دور و داده‌های هواشناسی استفاده کردند. آن‌ها در ابتدا SPI را برای شش ایستگاه هواشناسی در سطح استان کردستان محاسبه نمودند. در مرحله بعد با استفاده از ۴۰ تصویر ماهواره‌ای برگرفته از سنجنده مودیس ماهواره ترا، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) را برای محدوده مورد مطالعه

¹ Linear Imaging Self Scanning (LISS)

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

³ Vegetation Temperature Condition Index (VTCI)

⁴ Guanzhong Wikipedia

⁵ Fusion

بارندگی به برآورد خشک‌سالی در ایستگاه همدید شهر کهنوج اقدام نمودند. نتایج نهایی مطالعه آن‌ها حاکی از بیش‌ترین انطباق VHI با شاخص هواشناسی SPI است و لذا VHI به‌عنوان شاخص خشک‌سالی برتر حاصل از داده‌های سنجش از دور در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته بررسی خشک‌سالی منطقه‌ای جهت جلوگیری و مدیریت صحیح تأثیر بر منابع آب سطحی یک امر مهم است. در تحقیق حاضر خشک‌سالی شهرستان مرودشت با استفاده از سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت سری زمانی بررسی و همچنین تأثیر بروز خشک‌سالی بر منابع آب دریاچه سد درودزن به‌عنوان مهم‌ترین منبع آب سطحی شهرستان بررسی شده است.

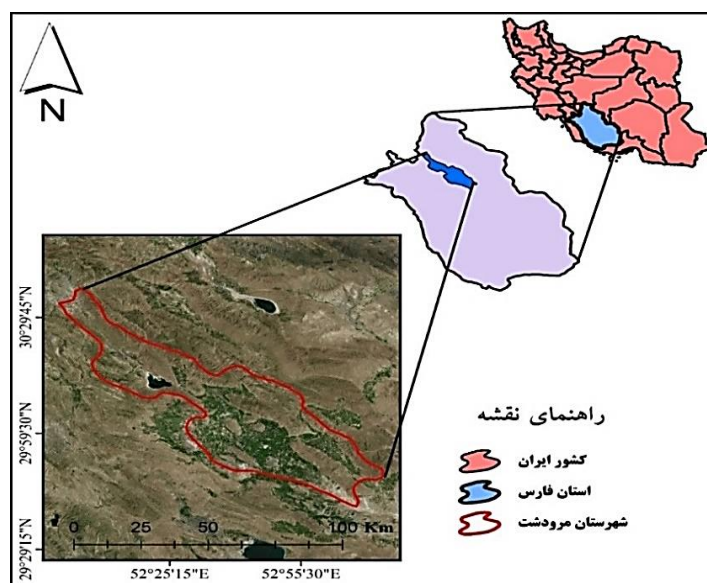
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در سال‌های اخیر در مناطق مختلفی از کشور خشک‌سالی‌های متعددی رخ داده و شهرستان مرودشت نیز از این امر مستثنی نبوده است. این شهرستان با مساحت ۳۶۵۵/۸۲ کیلومترمربع به لحاظ جغرافیایی و موقعیت قرارگیری در کره زمین بین ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه و ۱۱ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه و ۹ ثانیه عرض شمالی واقع شده است، همچنین متوسط بارندگی سالانه ۱۸۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و اقلیم نیمه خشک را دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

محاسبه و به‌این‌ترتیب پوشش گیاهی استان کردستان را در شش طبقه استخراج نمودند. در گام بعدی به مقایسه بین SPI و NDVI پرداختند. یافته‌های آن‌ها حاکی از این است که بین میانگین شاخص‌های SPI و NDVI همبستگی بالا (۰/۷۷+) و در سطح معناداری ۰/۰۱ وجود دارد و با کاهش تقریباً ۰/۲۰ درصد از میزان SPI به‌طور متوسط ۱/۲ درصد سطح پوشش گیاهی ضعیف منطقه افزایش پیدا می‌کند. (Zarei and Emami, 2017) به پایش و تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات پوشش گیاهی در استان یزد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس و همچنین استفاده از شاخص‌های NDVI، SPI و RDI اقدام نمودند. آن‌ها به‌منظور پهنه‌بندی شاخص‌های خشک‌سالی مذکور از پنج روش درون‌یابی استفاده نمودند. همچنین با استفاده از سری‌های ۱۶ روزه NDVI سنجنده مودیس طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ میانگین NDVI فصلی و سالانه را محاسبه نمودند. در مرحله بعد روابط بین شاخص خشک‌سالی SPI و RDI با NDVI محاسبه و بررسی شد. یافته‌های آن‌ها بیان‌گر این نکته است که در سال‌های آبی ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ استان یزد در وضعیت خشک‌سالی شدید قرار داشته است.

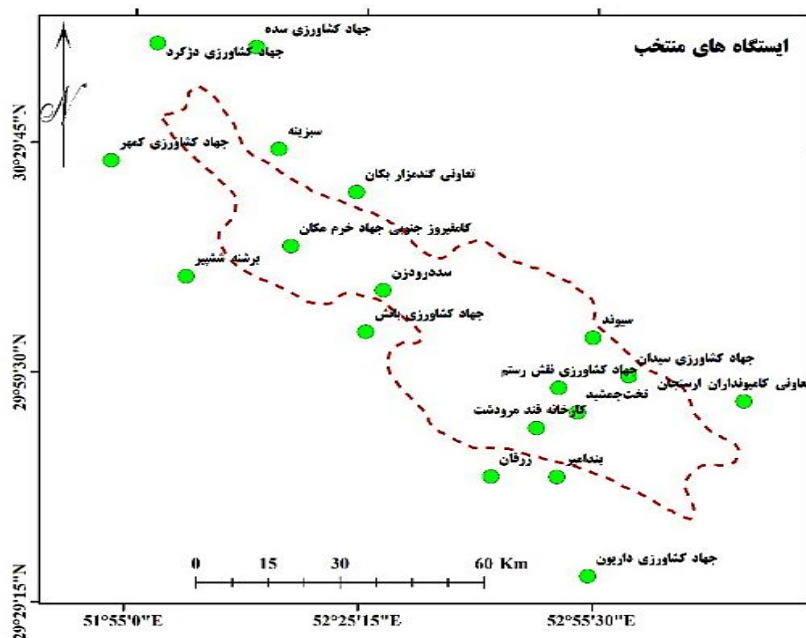
(Soleimani and Zaree, 2019) Soleimani and Zaree (2019) حوضه جازموریان را با استفاده از شاخص‌های VCI، TCI، VHI و SPI با کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس و محصولات آن شامل دمای سطحی (MOD11A1) و پوشش گیاهی (MOD13A1) در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها پس از استخراج نقشه‌های خشک‌سالی با کمک شاخص‌های VHI و VCI سال‌هایی با رخداد خشک‌سالی با طبقات بحرانی و خیلی شدید را مشخص نمودند. سپس با استفاده از SPI و داده‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه
Figure 1- Geographical location of the study area

۲۰۱۹-۲۰۲۰ دریافت شد و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB داده‌های روزانه به ماهانه تبدیل شد.

۲-۲- دریافت و پردازش داده‌های زمینی داده‌های زمینی جهت انجام مطالعه حاضر داده‌های بارش داده‌های مربوط به ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی و همدید (شکل ۲) در بازه زمانی



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه
Figure 2- The location of the stations under study

دارای مقادیر عددی ۰/۰۵ تا ۰/۲، پوشش گیاهی نیمه‌متراکم و معمولی مقادیر ۰/۲ تا ۰/۶ و پوشش گیاهی که به صورت بسیار متراکم و فشرده هستند مقادیر ۰/۶ تا ۰/۸ را دارند. مطابق این شاخص خاک دارای مقدار عددی ۰/۰۵ و آب و برف دارای مقادیر منفی و مناطقی که پوشیده از ابر هستند برابر با صفر هستند (Ali et al., 2021).

۲-۴- شاخص سلامت پوشش گیاهی (VCI)

شاخص سلامت پوشش گیاهی^۱ یا VCI اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط کوگان^۲ برای بررسی رخداد خشک‌سالی ارائه شده است. VCI نسبت به NDVI نتایج مناسب‌تری را جهت بررسی میزان بارندگی به‌ویژه در مناطقی که به لحاظ جغرافیایی غیر همگن هستند، نشان می‌دهد. VCI از یک طرف قادر است به توصیف شرایط پوشش سطح زمین و تغییرات مکانی-زمانی آن بپردازد و از طرف دیگر می‌تواند به تخمین تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر گیاهان مختلف بپردازد؛ بنابراین این شاخص قابلیت بسیار بالایی برای شناسایی و ارزیابی تأثیر خشک‌سالی، بررسی زمان آغاز خشک‌سالی، شدت و همچنین مدت خشک‌سالی و تأثیرات آن بر

۲-۳- شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

به‌عنوان شاخص نشان‌دهنده سلامت و میزان تراکم پوشش گیاهی معرفی شده است (Khalili et al., 2021). اختلافات ناشی از بازتاب تابش خورشید در محدوده‌های طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک و همچنین خصوصیات پوشش گیاهی مبنای استفاده از این شاخص است. با استفاده از این شاخص می‌توان اطلاعات بسیاری را راجع به سلامت گیاه به‌دست آورد که این اطلاعات به نوبه خود جهت ارزیابی میزان تنش گیاهان از نظر آب آن‌ها و میزان محصول آن‌ها به‌کار می‌رود. لذا به‌دلیل ارتباط نزدیک میان وضعیت پوشش گیاهی و میزان رطوبت خاک موجود و در دسترس، به‌عنوان یکی از شاخص‌های محاسبه خشک‌سالی توسط پژوهشگران زیادی به‌کار رفته است. رابطه (۱) نحوه محاسبه NDVI را نشان می‌دهد (Talebi Khiavi and Mostafazadeh, 2021).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

که در آن NIR و RED به ترتیب بازتابندگی طیفی اندازه‌گیری شده در بخش مادون قرمز نزدیک و قرمز طیف الکترومغناطیس است. مقادیر این شاخص در محدوده -۱ تا +۱ در نوسان است. مطابق این شاخص پوشش گیاهی که به صورت تنک هستند

¹Vegetation Condition Index (VCI)

² Kogan

اما هم‌چنان موضوع دقت نتایج مورد ارزیابی و بحث است. مطابق با مطالعات و بررسی‌های انجام شده مقادیر شاخص‌های VCI و TCI در پنج کلاس به شرح جدول ۱ قابل دسته‌بندی هستند (Bento et al., 2018).

جدول ۱- کلاس‌های مختلف طبقات VCI و TCI
Table 1- Classification of VCI and TCI classes

وضعیت خشک‌سالی	ارزش پیکسل	وضعیت خشکی	ارزش پیکسل
خشک‌سالی بسیار شدید	<10	خشکی ملایم	30-40
خشک‌سالی شدید	10-20	بدون خشکی	>40
خشک‌سالی متوسط	20-30	-	-

۲-۶- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

SPI نخستین بار توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) در دانشگاه کلرادو ابداع و ارائه شد. این شاخص از جمله شاخص‌های برآورد و محاسبه خشک‌سالی است که از طریق آن می‌توان زمان آغاز، میزان شدت و همچنین مدت رخداد خشک‌سالی را در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌دست آورد. این امر حاکی از قابلیت بسیار زیاد این شاخص جهت محاسبه و تعیین خشک‌سالی و اثرات آن بر ذخایر آبی در بازه زمانی کوتاه‌مدت مانند تغییرات و نوسانات موجود در بخش کشاورزی و بازه‌های زمانی بلندمدت مانند تغییرات سفره‌های آب زیرزمینی است. اصل اساسی جهت محاسبه SPI احتمالات بارندگی در بازه‌های زمانی متفاوت است. برای محاسبه این شاخص می‌توان میزان بارندگی ماهانه و یا مجموع بارندگی در بازه‌های زمانی مورد نظر و دلخواه برای مثال بازه‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه را با استفاده از توزیع‌های آماری مناسب مانند توزیع گاما یا پیرسون تیپ سه برآزش داده و از این طریق میزان خشک‌سالی را محاسبه نمود (Jahangir et al., 2022). مطابق با تجربیات و اظهار نظر مک‌کی بهترین توزیع آماری برای سری زمانی داده‌های کلیماتولوژی توزیع گاما است (Ghasemi and Zarei, 2022).

SPI در دو حالت کوتاه‌مدت و بلندمدت قابل محاسبه است که حالت کوتاه‌مدت خصوصیات و ویژگی‌های رطوبت کوتاه‌مدت را منعکس می‌کند و برآوردی از بارندگی فصلی ارائه می‌دهد. در واقع حالت کوتاه‌مدت دارای حساسیت بیشتری به تغییرات وضعیت رطوبت است و با افزایش مقیاس زمانی و طولانی‌تر شدن آن، بارندگی ماه جدید تأثیر کم‌تری بر مجموع بارندگی دارد. هم‌چنین، SPI در بازه زمانی بلندمدت با وقوع سیلاب‌ها، تغییرات سطح آب موجود در مخازن سدها و هم‌چنین نوسانات منابع آب زیرزمینی در ارتباط است. SPI در مقایسه با شاخص پالمر به‌صورت مناسب‌تری دوره‌های تر و یا خشک غیرعادی را نشان می‌دهد. این شاخص به‌عنوان یک شاخص محاسبه

پوشش گیاهی به‌ویژه در مناطق وسیع را دارد. جهت محاسبه VCI از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

که در آن NDVI شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب میانگین بیشینه و کمینه NDVI است (Abdolzadeh et al., 2020). این شاخص شرایط غالب پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. این شاخص از طریق دامنه‌ای از مقادیر NDVI طولانی‌مدت محاسبه شده و نرمال می‌شود. دامنه مقادیر آن بین صفر تا ۱۰۰ قرار دارد، بدین ترتیب که مقادیر کم آن وضعیت تنش گیاهی، مقادیر میانه وضعیت متوسط و مقادیر بالای آن وضعیت بهینه و نرمال را نشان می‌دهد (Gidey et al., 2018). هم‌چنین از پوشش گیاهی و دما به‌صورت پروداکت استفاده شد که از رابطه‌های VCI و TCI استفاده شده است.

۲-۵- شاخص وضعیت دمایی (TCI)

شاخص وضعیت دمایی^۱ یا TCI به‌عنوان ابزاری مناسب جهت مکمل شاخص خشک‌سالی VCI توسط کوگان در سال ۱۹۹۵ برای بررسی بهتر و دقیق‌تر پدیده خشک‌سالی ارائه شد. روش محاسبه TCI تا حدود زیادی شبیه به VCI است، با این تفاوت که جهت محاسبه آن از دمای درخشندگی یا دمای سطح زمین استفاده می‌شود. بدین ترتیب که در مواقعی که میزان دما به بالاترین میزان خود می‌رسد، میزان خشک‌سالی نیز به بیش‌ترین مقدار خود خواهد رسید. فرض مهم در این شاخص این است که رخداد خشک‌سالی باعث کاهش مقدار رطوبت موجود در خاک می‌شود که این امر در نتیجه به وجود آمدن تنش حرارتی در سطح زمین و افزایش میزان درجه حرارت هوا در سال‌های خشک نسبت به سال‌های نرمال است. مقادیر عددی TCI بین اعداد صفر و یک متغیر است، به‌طوری‌که در شرایط رخداد خشک‌سالی مقدار آن به صفر نزدیک شده و در شرایط ترسالی مقدار آن به یک نزدیک می‌شود. رابطه (۳) نحوه محاسبه TCI را بیان می‌کند (Moisa and Gameda, 2022).

$$TCI = \frac{T_{Max} - T}{T_{Max} - T_{Min}} \quad (3)$$

که در رابطه فوق T دمای سطح زمین، T_{Max} و T_{Min} به ترتیب کمینه و بیشینه دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه است. اگرچه در طول سال‌های اخیر روش‌های مختلفی جهت محاسبه دمای سطح زمین به‌ویژه برای داده‌های حرارتی ارائه شده است

¹Temperature Condition Index (TCI)

²Land Surface Temperature (LST)

شکل ۳ نقشه‌های دمای سطح زمین شهرستان مرودشت از پروداکت ۲۵۰ متری در دوره مورد بررسی (۲۰۱۹-۲۰۰۰) را نشان می‌دهد. مطابق با شکل‌های مذکور قسمت‌های جنوب و جنوب غربی محدوده مورد مطالعه نسبت به سایر مناطق از دمای بالاتری برخوردار است، به طوری که در برخی از سال‌ها مانند سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۷ میزان حداکثر دما در این نواحی به بیش از ۵۰ درجه سلسیوس رسیده است. از سویی بر اساس بررسی‌های صورت گرفته به صورت کلی میانگین دمای سطح زمین محدوده مورد مطالعه در حدود ۴۳/۵ درجه سلسیوس است و همچنین قسمت‌های شمالی و شمال شرقی از دمای پایین‌تری نسبت به سایر نواحی برخوردار هستند که در این نواحی میانگین دما در حدود ۳۶/۱۵ درجه سلسیوس است.

۳-۲- نقشه‌های حاصل از شاخص وضعیت دمایی (TCI)

جدول ۳ مساحت طبقات مختلف شاخص مذکور برای سال‌های مورد بررسی در شهرستان مرودشت را نشان می‌دهد. وضعیت شاخص در این پژوهش نشان داد که برای شهرستان مرودشت، بالاترین میزان مساحت خشکی با طبقه خشکی بسیار شدید در سال ۲۰۱۶ به میزان ۱۱۸/۹۰ کیلومتر مربع و پس از آن به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۸ با میزان ۱۱۲/۲۵ کیلومتر مربع و سال ۲۰۱۷ با میزان ۱۰۱/۶۶ کیلومتر مربع اتفاق افتاده است. از سوی دیگر کم‌ترین میزان مساحت خشکی خیلی شدید در رتبه اول سال ۲۰۰۶ با مساحت ۴۶/۱۰ کیلومتر مربع و بعد از آن نیز سال ۲۰۰۲ با مساحت ۴۸/۲۱ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. از لحاظ طبقه خشکی شدید نیز سال ۲۰۰۹ با مساحت ۴۳۳/۷۱ کیلومتر مربع وسعت بیش‌ترین مساحت و سال ۲۰۰۷ با مساحت ۴۵/۷۸ کیلومتر مربع کم‌ترین میزان خشکی در این طبقه را تجربه کرده‌اند. در ادامه نقشه‌های پروداکت ۲۵۰ متری حاصل از TCI برای دوره مورد بررسی به تفکیک هر سال در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های مذکور وضعیت خشکی خیلی شدید بیش‌تر در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی به ویژه در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ مشاهده می‌شود. همچنین محدوده‌های خشکی شدید نیز بیش‌تر در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی و در برخی سال‌ها در قسمت‌های مرکزی نمایان است. مطابق با نقشه ۲۰۰۷ به جز بخش محدودی از قسمت‌های جنوب شهرستان، سایر نواحی به صورت کلی دارای وضعیت بدون خشکی هستند.

شکل (۵) نمودار تغییرات وضعیت شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) محدوده مورد مطالعه را برحسب شرایط میانگین، کمینه و بیشینه مقادیر آن به تفکیک سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. مطابق با نمودار مربوطه سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ از لحاظ میانگین، با مقادیر ۰/۲۲ بیش‌ترین میزان

خشک‌سالی هواشناسی است که تنها عنصر مؤثر جهت محاسبه آن عنصر بارندگی است. مقادیر مثبت در این شاخص نشان‌دهنده عدم خشک‌سالی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده رخداد خشک‌سالی است. یکی از ویژگی‌های مهم و اساسی SPI این است که تحلیل‌گر می‌تواند با استفاده از آن وقوع خشک‌سالی و یا ترسالی را برای هر منطقه از دنیا محاسبه نماید. جهت محاسبه SPI از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (4)$$

که در آن، P_i معادل بارش سال مفروض برحسب میلی‌متر، \bar{P} برابر با میانگین بارش درازمدت ایستگاه مورد نظر و SD انحراف معیار بارش است. طبقات این شاخص به صورت جدول ۲ است (Zou et al., 2022).

جدول ۲- طبقه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از SPI
Table 2- Classification of drought using SPI

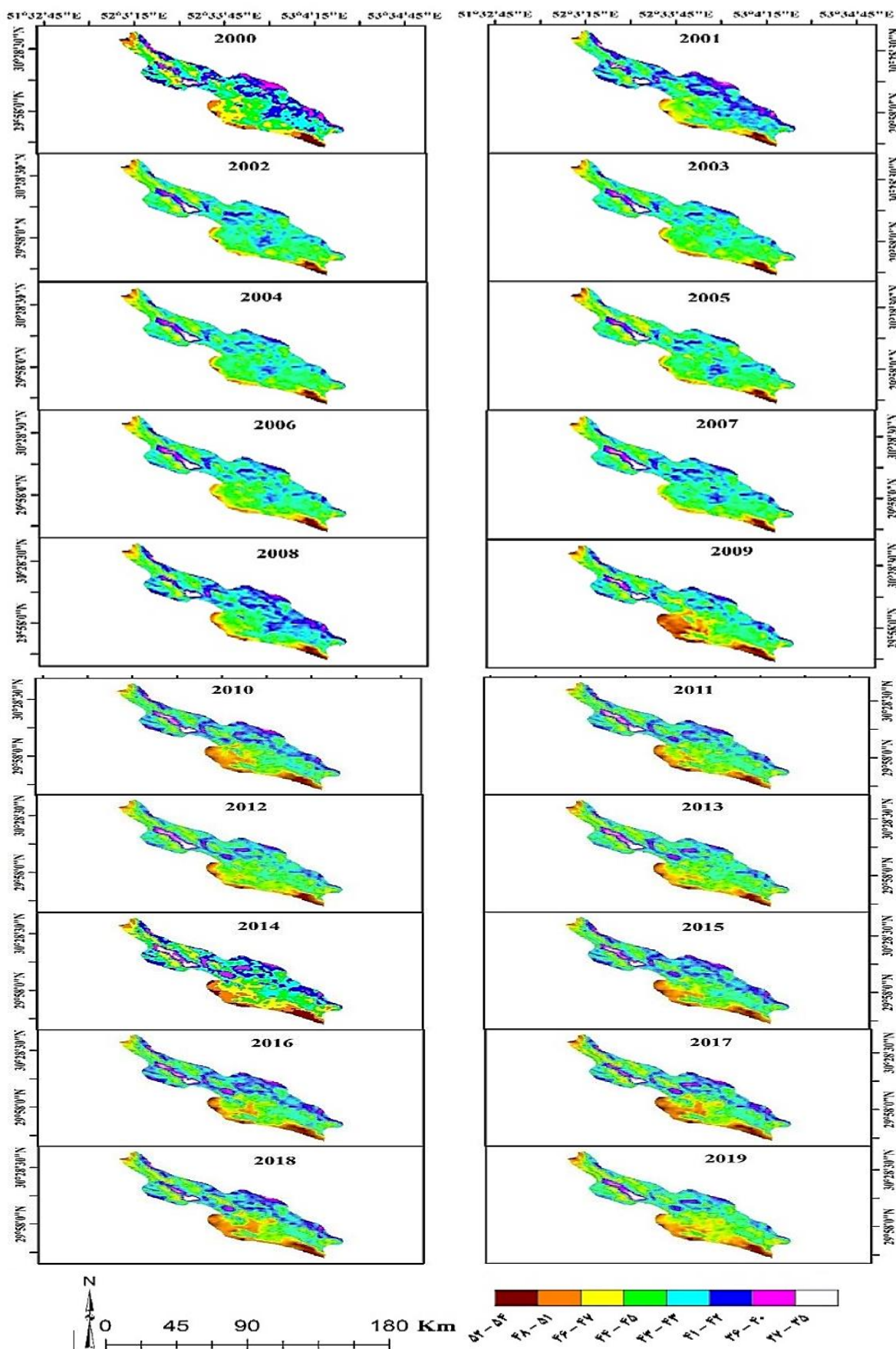
SPI	طبقه خشکی
$2 \leq SPI$	ترسالی بسیار شدید
$1.5 \leq SPI < 1.99$	ترسالی شدید
$1.49 \leq SPI \leq 1$	ترسالی متوسط
$0.99 \leq SPI < 0.00$	ترسالی خفیف
$0.00 \leq SPI < -0.99$	خشک‌سالی خفیف
$-1.00 \leq SPI < -1.49$	خشک‌سالی متوسط
$-1.5 \leq SPI < -1.99$	خشک‌سالی شدید
$SPI \leq -2$	خشک‌سالی بسیار شدید

۳-۲- همبستگی بین SPI و شاخص‌های VCI و TCI

یکی از دیگر اهدافی که در مطالعه حاضر دنبال می‌شود تعیین شاخص مبنای، بهینه و نشان‌دهنده وضعیت خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه است که بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی ماهواره ای TCI و VCI طراحی شده باشد. لذا به منظور دستیابی به این هدف از SPI محاسبه شده در بازه‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه نشان‌دهنده وضعیت خشک‌سالی برای هر یک از ایستگاه‌های زمینی مورد بررسی در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. بدین ترتیب که پس از محاسبه SPI و بازه‌های آن برای هر ایستگاه، نقاط هر یک از ایستگاه‌های زمینی روی نقشه‌های تولید شده حاصل از شاخص‌های ماهواره‌ای TCI و VCI قرار داده شد. سپس با برداشت مقدار عددی نقاط متناظر برای هر یک از سال‌های دوره مورد بررسی مقادیر به دست آمده به نرم‌افزار SPSS 22 وارد شد و میزان ضرایب همبستگی بین مقادیر SPI و بازه های آن با مقادیر شاخص‌های TCI و VCI محاسبه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نقشه‌های دمای سطح زمین محدوده مورد مطالعه



شکل ۳- تغییرات دمای سطح زمین (LST) در محدوده مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۹)
 Figure 3- Land surface temperature (LST) change in the studied area (2000-2019)

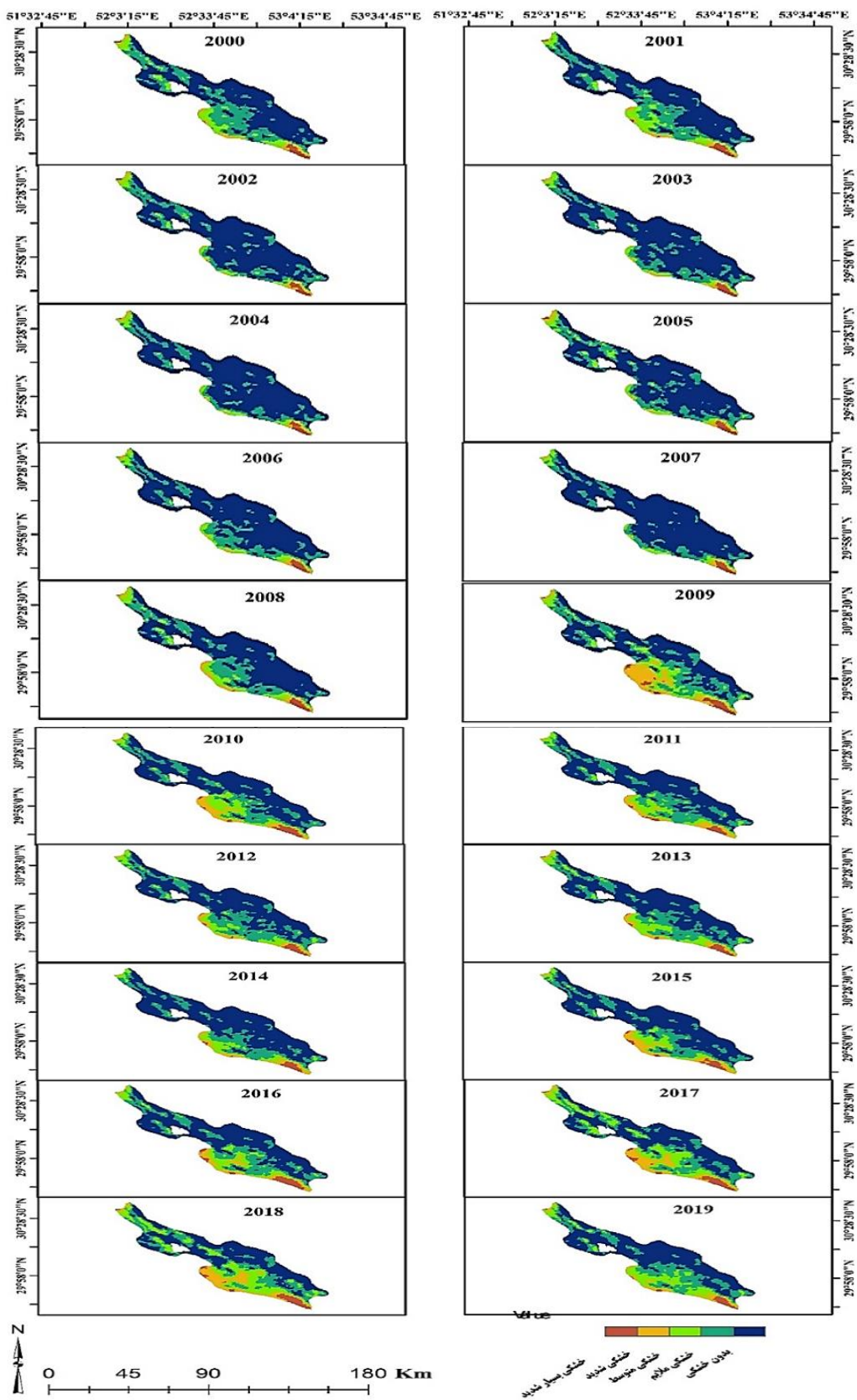
است. از لحاظ طبقه خشکی متوسط نیز سال ۲۰۱۰ با مساحت ۶۲/۹۸ کیلومترمربع وسعت و بعد از آن سال ۲۰۱۹ با مساحت ۵۰/۰۴ کیلومترمربع بیش‌ترین میزان خشکی را تجربه کرده‌اند. از سوی دیگر کم‌ترین میزان خشکی در این طبقه در سال ۲۰۰۲ با مساحت ۵/۰۹ کیلومترمربع اتفاق افتاده است. مطابق با نقشه‌های نشان‌دهنده وضعیت خشک‌سالی VCI، محدوده مورد مطالعه از الگوی پراکنش تقریباً یکسانی در تمامی مناطق برخوردار است و به‌جز بخش اندکی از قسمت‌های جنوب محدوده که دارای وضعیت خشک‌سالی متوسط است، سایر نواحی دارای وضعیت خشکی ملایم و بدون خشکی هستند که در اکثر نواحی توزیع شده‌اند.

NDVI را طی سال‌های مورد بررسی داشته‌اند. در ادامه در شکل (۶) نقشه‌های نشان‌دهنده شاخص پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه آورده شده است. همان‌طور که از شکل‌های مذکور نمایان است محدوده مورد مطالعه دارای تراکم پوشش گیاهی معمولی و نیمه‌تراکم است که در تمامی نواحی مختلف آن پراکنده شده است. به‌طوری‌که در قسمت‌های مرکزی و شمال غربی از تراکم بیش‌تری برخوردار است.

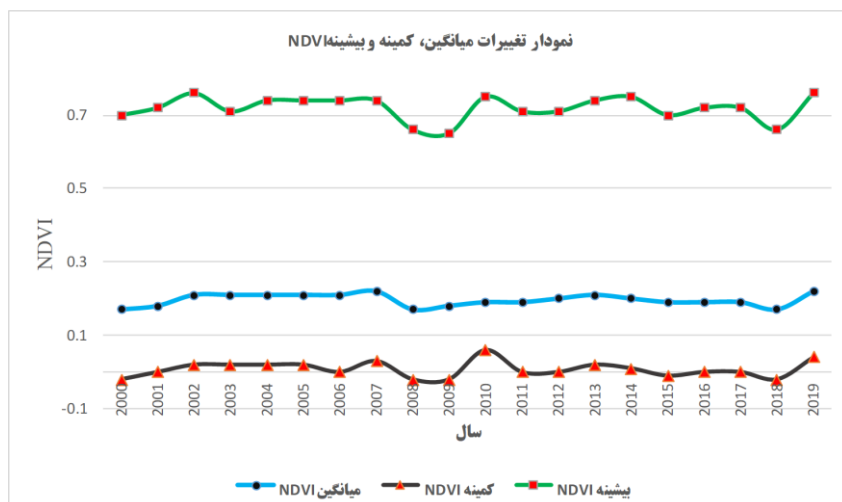
در ادامه، جدول ۴ و شکل ۷ نتایج حاصل از VCI برای محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده طی دوره مورد بررسی در هیچ‌یک از سال‌های محدوده مورد بررسی با خشکی بسیار شدید و شدید مواجه نبوده

جدول ۳- مساحت طبقات خشک‌سالی محدوده مورد مطالعه بر اساس TCI به کیلومترمربع
Table 3- Area of drought classes of the study area based on TCI in km²

سال	بدون خشکی	خشکی ملایم	خشکی متوسط	خشکی شدید	خشکی بسیار شدید
2000	1993.16	1093.23	344.14	105.98	62.15
2001	2056.64	982.00	379.74	104.36	69.68
2002	2548.4	752.86	177.73	65.24	48.21
2003	2521.09	791.67	158.80	67.01	54.08
2004	2699.33	634.08	145.75	46.36	46.33
2005	2387.95	837.12	233.11	79.40	55.07
2006	2498.83	779.97	198.83	69.33	46.10
2007	2801.31	549.85	144.86	45.78	51.14
2008	2201.95	905.36	298.33	130.05	56.94
2009	1566.92	1070.36	431.94	433.71	89.66
2010	1936.63	892.60	416.68	247.49	99.12
2011	1922.70	1022.20	389.65	189.65	69.67
2012	1928.85	1072.52	342.15	122.75	65.12
2013	1905.36	1036.70	443.44	135.80	71.88
2014	2261.87	839.33	280.88	147.96	61.98
2015	2068.80	850.02	329.32	254.79	89.77
2016	1882.69	957.24	425.97	207.90	118.92
2017	1539.55	935.62	678.92	337.06	101.66
2018	1454.23	804.90	733.51	388.84	112.25
2019	1838.20	98.26	57.71	149.07	67.41



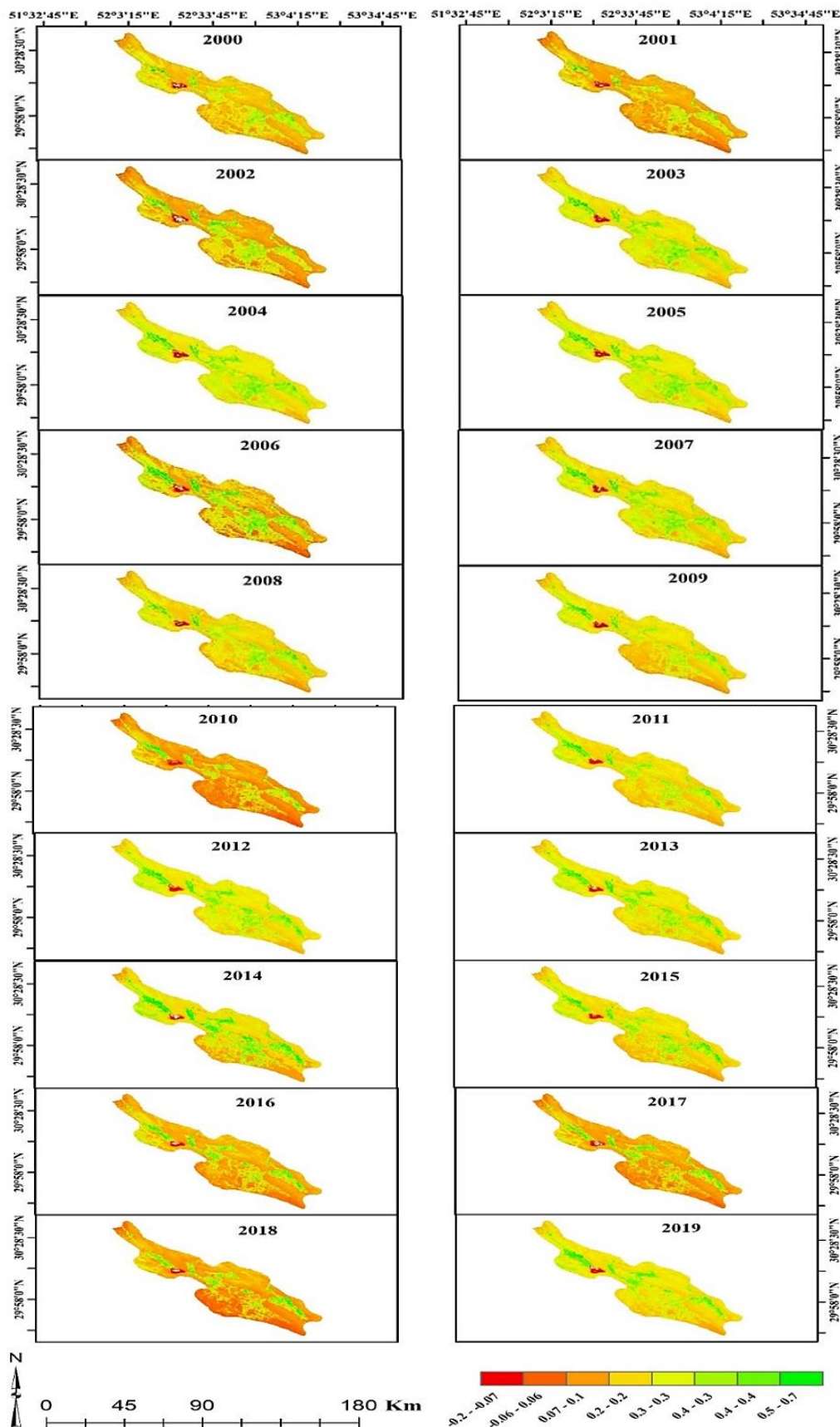
شکل ۴- وضعیت خشک‌سالی کشاورزی محدوده مورد مطالعه بر اساس TCI در دوره ۲۰۰۰ - ۲۰۱۹
 Figure 4- Agricultural drought situation in the studied area based on TCI during 2000-2019



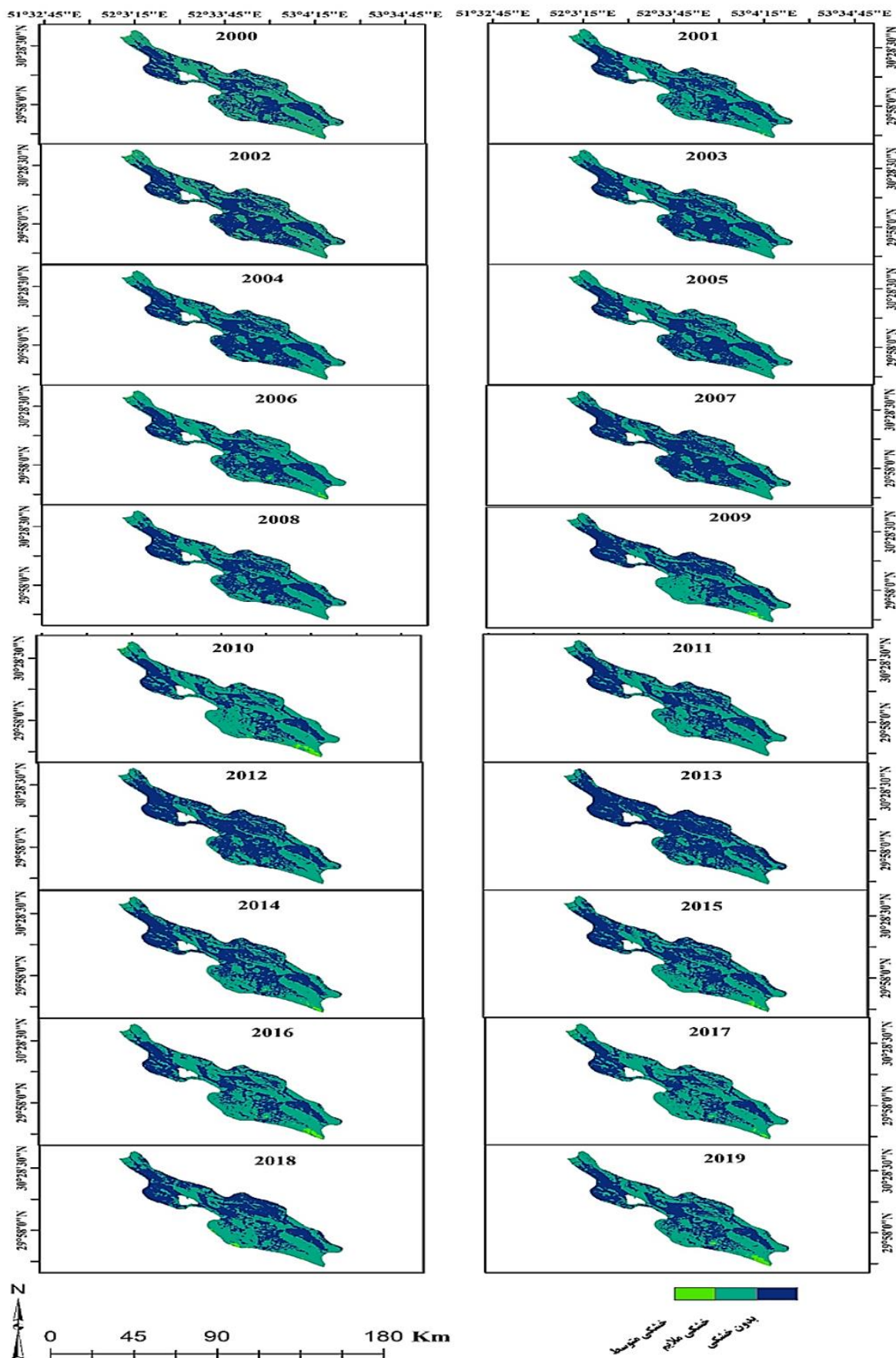
شکل ۵- تغییرات وضعیت پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه به تفکیک سال‌های مورد بررسی
Figure 5- Changes in vegetation status of the studied area by the studied years

جدول ۴- مساحت طبقات خشک‌سالی محدوده مورد مطالعه بر اساس TCI به کیلومتر مربع
Table 4- Area of drought classes of the study area based on TCI in km²

سال	بدون خشکی	خشکی ملایم	خشکی متوسط	خشکی شدید	خشکی بسیار شدید
2000	1655.22	1963.52	6.52	-	-
2001	1695.49	1894.65	8.68	-	-
2002	2035.45	1557.92	5.09	-	-
2003	2041.34	1557.42	-	-	-
2004	2019.39	1572.85	6.47	-	-
2005	1837.26	1756.09	5.47	-	-
2006	1616.97	1957.08	23.78	-	-
2007	2208.55	1390.28	-	-	-
2008	1919.76	1676.01	-	-	-
2009	1902.10	1671.11	25.21	-	-
2010	1332.55	2203.24	62.98	-	-
2011	1737.64	1861.31	-	-	-
2012	2271.41	1326.74	-	-	-
2013	2554.37	1043.70	-	-	-
2014	1883.15	1697.52	19.19	-	-
2015	1871.34	1706.37	20.90	-	-
2016	1424.28	2129.25	44.95	-	-
2017	1403.71	2172.17	23.28	-	-
2018	1795.51	1783.74	19.74	-	-
2019	1647.39	1901.01	50.04	-	-



شکل ۶- شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۹
 Figure 6 - Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) during 2000-2019



شکل ۷- وضعیت خشک‌سالی کشاورزی محدوده مورد مطالعه بر اساس VCI در دوره ۲۰۱۹ - ۲۰۰۰
 Figure 7- Agricultural drought situation in the studied area based on VCI during 2000-2019

مورد بررسی تهیه شد که بر اساس نقشه‌ها قسمت‌های جنوب و جنوب غربی محدوده مورد مطالعه نسبت به سایر مناطق از دمای بالاتری برخوردار است؛ به طوری که در برخی از سال‌ها، مانند سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۷ میزان دما در این نواحی، حدود ۵۰ درجه سلسیوس رسیده است. از سویی بر اساس بررسی‌های صورت گرفته به صورت کلی میانگین دمای سطح زمین محدوده مورد مطالعه در حدود ۴۳/۵ درجه سلسیوس است و همچنین در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی از دمای پایین‌تری نسبت به سایر نواحی برخوردار هستند که در این نواحی میانگین دما در حدود ۳۶/۱۵ درجه سلسیوس است. بر اساس شاخص خشک‌سالی TCI بالاترین میزان مساحت خشکی با طبقه خشکی بسیار شدید در سال ۲۰۱۶ به میزان ۱۱۸/۹۰ کیلومتر مربع و پس از آن به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۸ با میزان ۱۱۲/۲۵ کیلومتر مربع و سال ۲۰۱۷ با میزان ۱۰۱/۶۶ کیلومتر مربع، بیش‌ترین مقدار مساحت خشکی بسیار شدید در شهرستان مرودشت اتفاق افتاده است. از سویی دیگر کم‌ترین میزان مساحت خشکی شدید در رتبه اول مربوط به سال ۲۰۰۶ و با مساحت ۴۶/۱۰ کیلومتر مربع است و پس از آن نیز سال ۲۰۰۲ با مساحت ۴۸/۲۱ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. از لحاظ طبقه خشکی شدید نیز سال ۲۰۰۹ با مساحت ۴۳۳/۷۱ کیلومتر مربع وسعت بیش‌ترین مساحت و سال ۲۰۰۷ با مساحت ۴۵/۷۸ کیلومتر مربع کم‌ترین میزان خشکی در این طبقه را تجربه کرده‌اند.

با توجه به نقشه‌های حاصل از TCI وضعیت خشکی خیلی شدید بیش‌تر در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی به‌ویژه در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ مشاهده می‌شود. همچنین محدوده‌های خشکی شدید نیز بیش‌تر در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی و در برخی سال‌ها در قسمت‌های مرکزی نمایان است که این مدل با پژوهش Bento et al., (2018) هم‌راستا بوده که بیان‌گر کارایی مدل است. از دیگر شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر NDVI است که از آن جهت محاسبه و برآورد VCI استفاده شد. بر اساس نقشه‌های حاصل از NDVI، محدوده مورد مطالعه دارای تراکم پوشش گیاهی معمولی و نیمه‌متراکم است که در تمامی نواحی مختلف آن پراکنده شده است؛ به طوری که در قسمت‌های مرکزی و شمال غربی از تراکم بیش‌تری برخوردار است. مطابق با نقشه‌های حاصل از VCI برای محدوده مورد مطالعه، در هیچ‌یک از سال‌ها محدوده مورد بررسی با خشکی بسیار شدید و شدید مواجه نبوده است که با پژوهش Xie and Fan (2021) مطابقت خوبی دارد. از لحاظ طبقه خشکی متوسط نیز سال ۲۰۱۰ با مساحت ۶۲/۹۸ کیلومتر مربع وسعت و پس از آن سال ۲۰۱۹ با مساحت ۵۰/۰۴ کیلومتر مربع بیش‌ترین میزان خشکی را تجربه کرده‌اند. از سوی دیگر کم‌ترین میزان خشکی

۳-۳- تعیین وضعیت خشک‌سالی ایستگاه‌های منتخب بر اساس SPI خلاصه‌ای از مقادیر عددی محاسبه شده وضعیت خشک‌سالی SPI برای بازه‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه که نمود بهتری از وضعیت خشک‌سالی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهند به تفکیک هر ایستگاه در جدول ۵ آورده شده است. مطابق با جدول مذکور به‌عنوان نمونه ایستگاه همدید سد درود زن طی دوره آماری ۲۰ ساله و بر اساس بازه زمانی ۱۲ ماهه، هشت سال دارای شرایط خشک‌سالی نرمال، هشت سال دارای شرایط ترسالی نرمال، دو سال دارای شرایط خشک‌سالی شدید، یک سال شرایط ترسالی متوسط و یک سال نیز دارای شرایط ترسالی شدید بوده است. مطابق با بازه زمانی شش ماهه نیز ۱۰ سال دارای شرایط ترسالی نرمال، نه سال دارای خشک‌سالی نرمال و یک سال دارای متوسط بوده است. همچنین، بر اساس بازه زمانی سه ماهه ایستگاه مذکور، ۱۵ سال دارای شرایط ترسالی نرمال، چهار سال دارای خشک‌سالی نرمال و در نهایت یک سال دارای شرایط ترسالی متوسط بوده است. مطابق با نتایج به‌دست آمده از بازه‌های مختلف SPI سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ به‌عنوان سال‌هایی که بیش‌ترین میزان خشک‌سالی در آن‌ها رخ داده محسوب می‌شوند. همچنین، سال ۲۰۱۳ در هر سه بازه SPI از خشک‌سالی کم‌تری نسبت به سایر سال‌ها برخوردار است.

۳-۴- همبستگی بین خشک‌سالی حاصل از SPI و شاخص‌های VCI و TCI

جدول ۶ میزان ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد که مطابق با آن میزان همبستگی SPI و بازه‌های آن با TCI در مقایسه با VCI بیش‌تر است که در این میان میزان ضریب همبستگی SPI در بازه شش ماهه با TCI ۰/۶۵ نسبت به سایر بازه‌های آن قوی‌تر است؛ بنابراین، می‌توان بیان داشت که TCI وضعیت خشک‌سالی محدوده مورد مطالعه را بهتر نشان می‌دهد و می‌توان آن را به‌عنوان شاخص ماهواره‌ای بهینه و مطلوب معرفی کرد که این نتایج با پژوهش Jiao et al. (2016) تطابق خوبی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت ارزیابی و پایش سری زمانی خشک‌سالی کشاورزی شهرستان از داده‌های ماهواره‌ای و نیز شاخص‌های پرکاربرد سنجش از دور از قبیل شاخص‌های وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) استفاده شد. جهت محاسبه شاخص وضعیت دمایی (TCI) که از جمله شاخص‌های ماهواره‌ای نشان‌دهنده وضعیت خشک‌سالی و خشکی است، از شاخص دمای سطح زمین (LST) استفاده شد. لذا نقشه‌های دمای سطح زمین محدوده مورد مطالعه برای هر یک از سال‌های

جنوب محدوده که دارای وضعیت خشک‌سالی متوسط است، سایر نواحی دارای وضعیت خشکی ملایم و بدون خشکی هستند که در اکثر نواحی توزیع شده‌اند.

در این طبقه در سال ۲۰۰۲ با مساحت ۵/۰۹ کیلومتر مربع اتفاق افتاده است. مطابق با نقشه‌های نشان‌دهنده وضعیت خشک‌سالی VCI، محدوده مورد مطالعه از الگوی پراکنش تقریباً یکسانی در تمامی مناطق برخوردار است و به جز بخش اندکی از قسمت‌های

جدول ۵- وضعیت خشک‌سالی SPI در بازه‌های مختلف زمانی به تفکیک هر ایستگاه در طول دوره مورد بررسی (۲۰۰۰-۲۰۱۹)
Table 5- SPI drought in different time periods separately for each station during study period (2000-2019)

ایستگاه	بازه زمانی به ماه	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	ترسالی نرمال	خشک‌سالی نرمال	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی بسیار شدید
	12	0	1	2	7	7	1	2	0
دژ کرد	6	0	0	1	11	7	1	0	0
	3	0	0	0	17	3	0	0	0
کمهر	12	0	0	3	10	5	1	0	1
	6	0	0	1	14	4	1	0	0
	3	0	0	0	16	4	0	0	0
	12	0	0	3	8	5	1	2	1
برشته ششپیر	6	0	0	0	11	8	1	0	0
	3	0	0	0	15	5	0	0	0
	12	1	1	1	7	8	1	1	0
سبزینه	6	0	0	0	10	9	0	0	0
	3	0	0	0	15	5	0	0	0
	12	0	0	2	9	6	3	0	0
گندمزاربکان	6	0	0	0	13	7	0	0	0
	3	0	0	0	18	2	0	0	0
	12	0	1	3	7	7	1	2	0
خرم‌مکان	6	0	0	0	11	7	1	0	0
	3	0	0	0	17	3	0	0	0
	12	0	1	1	8	8	1	2	0
سد درود زن	6	0	0	0	10	9	0	0	0
	3	0	0	0	15	4	0	0	0
	12	0	0	3	6	9	1	0	1
باناش	6	0	0	0	12	8	0	0	0
	3	0	0	0	16	4	0	0	0
	12	0	0	3	8	6	2	1	0
سیوند	6	0	0	0	12	8	0	0	0
	3	0	0	0	16	4	0	0	0
	12	0	1	2	8	8	1	0	0
کارخانه قند مرودشت	6	0	0	0	12	8	0	0	0
	3	0	0	0	17	3	0	0	0
	12	0	0	2	8	8	1	0	1
سیدان	6	0	0	0	13	7	0	0	0
	3	0	0	0	17	3	0	0	0
	12	0	1	1	7	8	1	1	0
زرقان	6	0	0	0	21	9	0	0	0
	3	0	0	0	15	5	0	0	0
	12	0	1	2	6	9	1	1	0
بندامیر	6	0	0	0	12	8	0	0	0
	3	0	0	0	16	4	0	0	0
	12	0	0	2	11	4	1	0	2
کامیونداران ارسنجان	6	0	0	0	14	4	1	1	0
	3	0	0	0	15	5	0	0	0
	12	0	0	3	7	7	2	1	0
داربوی	6	0	0	0	12	8	0	0	0
	3	0	0	0	16	4	0	0	0
	12	0	1	1	8	8	1	1	0
سده	6	0	0	0	12	8	0	0	0
	3	0	0	0	12	8	0	0	0
	12	0	0	3	9	5	2	1	0
نقش رستم	6	0	0	0	10	10	0	0	0
	3	0	0	0	16	4	0	0	0
	12	0	1	1	7	8	1	2	0
تخت جمشید	6	0	0	0	13	6	1	0	0
	3	0	0	0	14	6	0	0	0

جدول ۶- نتایج ضریب همبستگی بین VCI، TCI و SPI در بازه‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه
Table 6- The results of correlation coefficient between VCI, TCI, and SPI in 3, 6, and 12 months intervals

	SPI	VCI	TCI
بازه ۳ ماهه	همبستگی پیرسون	0.284	0.412
	Sig. (2-tailed)	0.537	0.359
بازه ۶ ماهه	همبستگی پیرسون	0.507	0.654
	Sig. (2-tailed)	0.246	0.111
بازه ۱۲ ماهه	همبستگی پیرسون	-0.192	0.364
	Sig. (2-tailed)	0.681	0.423

منابع

- افشاری‌نیا، مهدیه، و پناهی، فاطمه (۱۴۰۰). تأثیر خشکسالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۱)، ۳۶-۴۶. doi:10.22098/mmws.2021.1181
- اسکندری دامنه، هادی، اسکندری دامنه، حامد، و خسروی، حسن (۱۴۰۰). پیش‌بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره آبی و تأثیر آن بر بیابان‌زایی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۱)، ۵۳-۶۶. doi:10.22098/mmws.2021.1181
- اسکندری دامنه، هادی (۱۳۹۸). پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و مقایسه با شاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جازموریان). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۰(۲۰)، ۲۵۰-۲۶۱. doi:10.29252/jwmr.10.20.250
- رضایی مقدم، محمد حسین، ولی‌زاده کامران، خلیل، رستم‌زاده، هاشم، رضایی، علی (۱۳۹۱). ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده‌ی MODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبریز دریاچه ارومیه). *جغرافیا و پایداری محیط*، (۴)، ۳۷-۵۲.
- زارعی، ارسطو، و امامی، حسن (۱۳۹۶). ارائه مدلی برای پیش‌بینی دوره بهبود وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه و ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی دوره تثبیت آن با استفاده از سنجش از دور. *علوم و فنون نقشه‌برداری*، (۲)، ۲۰۱-۲۱۴.
- میرموسوی، سید حسین، و کریمی، حمیده (۱۳۹۲). مطالعه اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS مورد: استان کردستان. *جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۳۱)، ۷۶-۵۷.
- افشاری‌نیا، مهدیه، و پناهی، فاطمه (۱۴۰۰). تأثیر خشکسالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۱)، ۳۶-۴۶. doi:10.22098/mmws.2021.1181
- جهانگیر، محمدحسین، اصغری کلشانی، فاطمه، و ستاریان اصیل، کتایون (۱۴۰۱). مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (SPI) و هیدرولوژیک (SSI) بر اساس بهترین تابع توزیع تجمعی برای حوضه آبریز ارومیه. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۲)، ۴۳-۶۳. doi:10.22098/mmws.2022.10810.1089
- خلیلی، رضا، منتصری، حسین، متقی، حامد، و جلیلی، محمدباقر (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه تالار استان مازندران با استفاده از ترکیب شاخص‌های کیفیت آب و مدل‌سازی چندمتغیره. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۴)، ۳۰-۴۷. doi: 10.22098/mmws.2021.9322.1033
- خلیلی، رضا، زالی، ابوالفضل، و متقی، حامد (۱۴۰۰). ارزیابی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه هراز، با استفاده از شاخص بار آلودگی (PLI) و شاخص تجمع جغرافیایی (Igeo). *تحقیقات آب و خاک ایران*، (۴)، ۵۲-۹۳۳-۹۴۲. doi: 10.22059/ijswr.2021.316080.668850
- Research*, 28(17), 2190-21925. doi:10.1007/s11356-020-12146-4
- Bento, V.A., Trigo, I.F., Gouveia, C.M., & DaCamara, C.C. (2018). Contribution of land surface temperature (TCI) to vegetation health index: A comparative study using clear sky and all-weather climate data records. *Remote Sensing*, 10(9), 1324. doi:10.3390/rs10091324
- Darvand, S., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., & Khosravi, H. (2021). Prediction of the change trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(1), 53-66. doi: 10.22098/mmws.2021.1181 [In Persian]
- Ghasemi, M.M., Mokarram, M., & Zarei, A.R. (2022). Assessing the performance of SN-SPI

References

- Abdolzadeh, Z., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., & Moameri, M. (2020). Rangeland canopy cover estimation using Landsat oli data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), 1-13. doi:10.1007/s12517-020-5150-1
- Afsharinia, M., & Panahi, F. (2021). Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan plain. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(2), 36-46. doi: 10.22098/mmws.2021.8982.1018 [In Persian]
- Ali, S., Zhan, H., Ma, Q., Sun, L., Jiang, N., Qianmin, J., & Fujian, J. (2021). Monitoring drought events and vegetation dynamics in relation to climate change over mainland China from 1983 to 2016. *Environmental Science and Pollution*

- and SPI and the trend assessment of drought using the XI correlation technique over Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13(8), 3152–3169. doi:10.2166/wcc.2022.176
- Gidey, E., Dikinya, O., Sebego, R., Segosebe, E., & Zenebe, A. (2018). Analysis of the long-term agricultural drought onset, cessation, duration, frequency, severity and spatial extent using vegetation health index (VHI) in raya and its environs, Northern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 7(1), 1–18. doi:10.1186/s40068-018-0115-z
- Jahangir, M.H., Asghari Koleshani, F., & Sataryanasil, K. (2022). Comparative study of drought meteorological (SPI) and hydrological (SSI) indices based on the best cumulative distribution function for Urmia basin. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 53–63. [In Persian]
- Jiao, W., Zhang, L., Chang, Q., Fu, D., Cen, Y., & Tong, Q. (2016). Evaluating an enhanced vegetation condition index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. *Remote Sensing*, 8(3), 224. doi:10.3390/rs8030224
- Khalili, R., Montaseri, H., Motaghi, H., & Jalili, M.B. (2021). Water quality assessment of the Talar river in Mazandaran province based on a combination of water quality indicators and multivariate modeling. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(4), 30–47. doi:10.22098/mmws.2021.9322.1033 [In Persian]
- Khalili, R., Zali, A., & Motaghi, H. (2021). Evaluation of heavy metals in water and sediments of Haraz river, using pollution load index (PLI) and geoaccumulation index (Igeo). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(4), 933-942. [In Persian]
- Khosravi, H., Haydari, E., Shekoohizadegan, 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, 3–12. doi:10.1016/j.ejrs.2016.11.007
- Lee, S.J., Cho, J., Ryu, J.H., Kim, N., Kim, K., Sohn, E., Park, K.H., Jang, J.C., & Lee, Y. (2022). Retrieval of vegetation health index for the Korean peninsula using GK2A AML. *Remote Sensing*, 38(2), 179–188.
- Mirmosavi, S.H., & Karimi, H. (2013). Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images case: Kurdistan province. *Geography and Development*, 11(31), 57–76. [In Persian]
- Moisa, M.B., Merga, B.B., & Gameda, D.O. (2022). Multiple indices-based assessment of agricultural drought: A case study in Gilgel Gibe Sub-basin, Southern Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(1), 455–464. doi:10.1007/s00704-022-03962-4
- Moussa Kourouma, J., Eze, E., Negash, E., Phiri, D., Vinya, R., Girma, A., & Zenebe, A. (2021). Assessing the spatio-temporal variability of NDVI and VCI as indices of crops productivity in Ethiopia: A remote sensing approach. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2880–2903. doi:10.1080/19475705.2021.1976849
- Palchadhuri, M., & Biswas, S. (2020). Application of LISS III and MODIS-derived vegetation indices for assessment of micro-level agricultural drought. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 221–229. doi:10.1016/j.ejrs.2019.12.004
- Rezaeimoghadam, M., Valizadeh Kamran, K., Rostamzadeh, H., & Rezaee, A. (2013). Evaluating the adequacy of MODIS in the assessment of drought (Case study: Urmia lake basin). *Geography and Environmental Sustainability*, 2(4), 37–52. [In Persian]
- Soleimani Sardo, M., & Zarei, M. (2019). Drought monitoring using MODIS Data and its comparison with SPI Meteorological index in short periods (Case study: Jaz_Murian basin). *Journal of Watershed Management Research*, 10(20), 250-261. doi:10.29252/jwmr.10.20.250 [In Persian]
- Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2021). Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 1–15. doi:10.1007/s12517-021-08690-z
- Xie, F., & Fan, H. (2021). Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and land surface temperature (LST): Is data reconstruction necessary? *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 101, 102352. doi:10.1016/j.jag.2021.102352
- Zareei, A., & Emami, H. (2017). A new model for forecasting recovery period of the Urmia lake water level and assessment of spatiotemporal changes of its stabilization using remote sensing. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 7(2), 201-214. [In Persian]
- Zhou, X., Wang, P., Tansey, K., Zhang, S., Li, H., & Wang, L. (2020). Developing a fused vegetation temperature condition index for drought monitoring at field scales using Sentinel-2 and MODIS imagery. *Computers and electronics in agriculture*, 168, 105144. doi:10.1016/j.compag.2019.105144
- Zou, Y., Xi, Y., Pan, J., Ahmad, M.I., Zhang, A., Zhang, C., Li, Y., & Zhang, H. (2022). Soy oil and SPI based-oleogels structuring with glycerol monolaurate by emulsion-t empled approach: Preparation, characterization and potential application. *Food Chemistry*, 133767. doi:10.1016/j.foodchem.2022.133767