



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

**Vol. 14  
No. 2 (54)**

**Received:**  
2023-11-29

**Accepted:**  
2024-05-02

**Pages: 97-108**

# Capability of VCADI, TSDI and TVDI Indices in Estimating the Drought of Agricultural Land in Hesar Village, Maheshan City

Mehdi Feyzolahpour<sup>1</sup>

1) Assistant Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

\*Corresponding author emails: feyzolahpour@znu.ac.ir

**Abstract:**

**Background and Aim:** Today, many drought indices have been presented based on the regression relationships of vegetation indices and surface temperature. The purpose of this research is to evaluate the capability of each of the vegetation temperature aridity index (TVDI), vegetation albedo aridity index (VCADI) and modified vegetation soil aridity index (TSDI) in estimating the aridity condition in the Hesar of Mahneshan in the shore of the river Qezelozan.

**Method:** In this research, the differences and capabilities of 3 aridity indicators on the shore of Qezelozan River in Hesar Mahneshan section were investigated. For this purpose, Landsat 5 and 8 images were used in 1990 and 2023. These indices are based on the regression relations between vegetation, surface temperature and albedo, and a regression relation was established between NDVI, LST, albedo and MSAVI indices, and TVDI, TSDI and VCADI indices were created. Each of these indicators used certain bands and band 6 of Landsat 5 satellite and band 10 of Landsat 8 satellite were used to estimate the earth's surface temperature. Origin 8 software was used to draw the scatter diagram and the corresponding regression equation was obtained. The values of slope and intercept were used to draw the index map. The accuracy of each of these indicators was checked using the Kappa coefficient.

**Results:** In order to check the drought condition, the studied area is divided into five classes with very low, low, medium, high and very high dryness and it was observed that the area with high dryness in the VCADI index increased from 0.65 km<sup>2</sup> in 1990 to 53.1 square kilometer in 2023 and has reached 23.6% from 10% of the area of the region. This amount has increased from 0.47 and 0.65 km<sup>2</sup> to 18.7 and 23.64 percent in the very large area for TSDI and TVDI indicators, respectively.

**Conclusion:** The results showed that the highest Pearson correlation coefficient of -0.55 was established between LST index and NDVI and occurred in 2023. Based on the drought indices, it was observed that in the VCADI index, the areas with very dry areas increased from 0.65 square kilometers to 1.53 square kilometers and reached 23.6% from 10%. In TSDI and TVDI indices, similar results have been obtained and have reached 23.64 and 18.7 percent in 2023 from 10 and 7.26 percent in 1990, respectively. Based on Pearson's correlation and Kappa coefficient, it was observed that the TVDI index has a better ability to assess drought compared to other indices, and the TSDI index with a correlation coefficient of -0.54% is in the second place in 2023.

**Keywords:** Dryness index, TVDI, TSDI, VCADI, Hesar Mahneshan



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰  
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

سال چهاردهم

شماره ۲ (۵۴)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۲/۱۳

صفحات: ۹۷-۱۰۸

## قابلیت شاخص‌های TVDI، TSDI، VCADI در برآورد خشکسالی اراضی زراعی

### روستای حصار شهرستان ماهشان

مهدی فیض اله پور<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: feyzolahpour@znu.ac.ir

#### چکیده:

**زمینه و هدف:** امروزه شاخص‌های خشکسالی زیادی بر اساس روابط رگرسیونی شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح زمین ارائه شده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی قابلیت هر یک از شاخص‌های شاخص خشکسالی دمای پوشش گیاهی (TVDI)، شاخص خشکسالی شرایط آلودی پوشش گیاهی (VCADI) و شاخص خشکسالی اصلاح شده خاک پوشش گیاهی (TSDI) در برآورد وضعیت خشکسالی در محدوده حصار ماهشان در ساحل رودخانه قزل اوزن می‌باشد.

**روش پژوهش:** در این تحقیق تفاوت‌ها و قابلیت‌های ۳ شاخص خشکسالی در ساحل رودخانه قزل اوزن در بخش حصار ماهشان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از تصاویر لندست ۵ و ۸ در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ استفاده شد. این شاخص‌ها بر اساس روابط رگرسیونی بین پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و آلودی بنا نهاده شده و بین شاخص‌های LST، NDVI، albedo و MSaVI رابطه رگرسیونی برقرار شده و شاخص‌های TVDI، TSDI و VCADI ایجاد شد. هر یک از این شاخص‌ها از باندهای معینی استفاده کرده و برای برآورد دمای سطح زمین از باند ۶ ماهواره لندست ۵ و باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده شد. برای ترسیم نمودار پراکنش نیز از نرم افزار 8 origin استفاده شده و معادله رگرسیونی مربوطه برآورد شد. از مقادیر a و b برای ترسیم نقشه شاخص‌ها بهره گرفته شد. صحت هر یک از این شاخص‌ها با استفاده از ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** به منظور بررسی شرایط خشکسالی منطقه مورد مطالعه به پنج طبقه با خشکی بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم می‌شود و بر اساس یافته‌های به دست آمده مشاهده شد که منطقه با خشکسالی زیاد در شاخص VCADI از ۰/۶۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۱/۵۳ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته و از ۱۰ درصد مساحت منطقه به ۲۳/۶ درصد رسیده است. این میزان در پهنه خیلی زیاد برای شاخص‌های TSDI و TVDI به ترتیب از ۰/۴۷ و ۰/۶۵ کیلومتر مربع به ۱۸/۷ و ۲۳/۶۴ درصد افزایش یافته است.

**نتایج:** نتایج نشان داد که بیشترین رابطه ضریب همبستگی پیرسون به میزان ۰/۵۵- بین شاخص LST و NDVI برقرار بوده و در سال ۲۰۲۳ رخ داده است. بر اساس شاخص‌های خشکسالی مشاهده شد که در شاخص VCADI مناطق برخوردار از خشکسالی خیلی زیاد از ۰/۶۵ کیلومتر مربع به ۱/۵۳ کیلومتر مربع افزایش یافته و از ۱۰ درصد به ۲۳/۶ درصد رسیده است. در شاخص‌های TSDI و TVDI نیز نتایج مشابهی حاصل شده و به ترتیب از ۱۰ و ۷/۲۶ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۲۳/۶۴ و ۱۸/۷ درصد در سال ۲۰۲۳ رسیده است. بر اساس روابط همبستگی پیرسون و ضریب کاپا مشاهده شد که شاخص TVDI نسبت به سایر شاخص‌ها از قابلیت بهتری در بررسی خشکسالی برخوردار بوده است.

**کلید واژه‌ها:** شاخص خشکسالی، TVDI، TSDI، VCADI، حصار ماهشان

## مقدمه

خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که خسارات وسیعی به بخش‌های مختلف جامعه و اقتصاد مانند کشاورزی، محیط زیست، انرژی و گردشگری وارد کرده است (Brown et al., 2008). رطوبت خاک یکی از عوامل مهمی است که بر رشد و نمو پوشش گیاهی تاثیر می‌گذارد. تامین آب ناکافی منجر به قطع رشد و نمو طبیعی پوشش گیاهی شده و به طور مستقیم بر رشد و عملکرد محصولات زراعی تاثیر می‌گذارد (Zormand et al., 2017). بنابراین شناسایی مدل‌های پایش عینی و پویا که بر انواع مختلف اقلیمی منطبق هستند از اهمیت علمی بالایی برخوردار بوده و می‌توانند مبنای تصمیم‌گیری قدرتمندی برای توسعه پایدار قرار گیرند. فناوری سنجش از دور یکی از کارآمدترین ابزارها برای تهیه پارامترهای سطح زمین در مناطق وسیع بوده و می‌تواند به طور غیرمستقیم، تنش خشکی پوشش گیاهی را از طریق شاخص‌های  $NDVI^1$ ، دمای سطح زمین و آلبدو برآورد نماید (Liu et al., 2015; Amazirh et al., 2018; Yue et al., 2020). با بهره‌گیری از باندهای مادون قرمز حرارتی، مرئی و مادون قرمز نزدیک و بر اساس پارامترهای  $LST^2$ ،  $NDVI$  و آلبدو، مجموعه‌ای از شاخص‌های خشکسالی ایجاد شده‌اند. این شاخص‌ها را می‌توان به دسته‌های مختلفی تقسیم نمود. شاخص‌های خشکسالی متشکل از شاخص اینرسی ظاهری (Price., 1985; Lu et al., 2018)، و شاخص وضعیت دما (Kogan., 1995) می‌باشند. شاخص‌های خشکسالی می‌توانند به مانند شاخص شرایط پوشش گیاهی به پوشش‌های گیاهی وابسته باشند (Bento et al., 2018). برخی از شاخص‌های خشکسالی بر اساس روابط رگرسیونی بین پوشش گیاهی و دما ایجاد می‌شوند. بر اساس این رابطه رگرسیونی شاخص خشکسالی دمای پوشش گیاهی ( $TVDI^3$ ) ایجاد می‌شود (Sandholt et al., 2002). شاخص شرایط دمایی پوشش گیاهی ( $VTCl^4$ ) شاخص دیگری است که از این روابط رگرسیونی حاصل می‌شود (Wang et al., 2001). شاخص‌هایی نیز بر اساس بازتاب طیفی (Ghulam et al., 2007; Liu et al., 2013; Amani et al., 2017; Pandey et al., 2019; Le Page et al., 2019) ایجاد شده‌اند. شاخص‌های TVDI و VTCl با بهره‌گیری از روابط رگرسیونی بین  $LST$  و  $NDVI$  به ابزار موثری برای نظارت بر خشکسالی، بررسی نوع کاربری زمین و تخمین تبخیر و تعرق تبدیل شده‌اند (Marzban et al., 2018; Yagci et al., 2018; Khellouk et al., 2019; Wigmore et al., 2019; Wang et al., 2020; Zhao et al., 2021).

با وقوع خشکسالی، سطح پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. در همین حال با وقوع تنش آبی، دمای سطح زمین به سرعت افزایش خواهد یافت (Sandholt et al., 2002). بنابراین، شاخص

های پوشش گیاهی و  $LST$  شاخص‌های خوبی برای پایش شرایط خشکسالی به شمار می‌آیند. در سال‌های اخیر در بسیاری از تحقیقات از روابط رگرسیونی  $NDVI$  و  $LST$  استفاده شده است. هان و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه دست یافتند که می‌توان در شرایط اشباع پوشش گیاهی بین روابط رگرسیونی  $LST$  و  $NDVI$  و  $LAI^5$  ارتباط معنی‌داری برقرار کرد (Han et al., 2006). گلام و همکاران (۲۰۰۷) شاخصی را بر اساس روابط رگرسیونی بین  $NDVI$  و آلبدو ارائه کرده‌اند.

ژائو و همکاران (۲۰۱۰) به این نتیجه دست یافتند که روابط رگرسیونی بین  $SAVI$  و  $LST$  نسبت به روابط رگرسیونی  $NDVI$  و  $LST$  با دقت بیشتری اقدام به برآورد خشکسالی نمودند. لیو و یو (۲۰۱۷) نشان دادند که شاخص TVDI می‌تواند از طریق روابط رگرسیونی بین  $EVI^7$  و  $LST$  شرایط خشکسالی را نمایش دهد (Lu et al., 2007). شاخص کمبود آب بر گرفته از روابط رگرسیونی بین  $EVI$  و  $LST$  می‌باشد (Wang et al., 2011). ایلدریم و آسیکا (۲۰۱۸) نشان دادند که در طول فصول آبیاری بین شاخص‌های  $NDVI$  و  $SAVI$  با شاخص  $LST$  همبستگی منفی برقرار است (Yildirima et al., 2018). لیو و یو (۲۰۱۸) نشان دادند که نمودار سهمی شکل حاصل شده از روابط رگرسیونی بین  $NDVI$  و  $LST$  نسبت به نمودار مثلثی بین این دو شاخص به نتایج بهتری در نظارت بر خشکسالی دست می‌یابد. با استفاده از روابط رگرسیونی بین  $LAI$  و  $LST$ ، شاخص دمای سطح برگ ارائه شد. این شاخص در شرایط اشباع  $NDVI$ ، نسبت به شاخص TVDI به نتایج بهتری دست می‌یابد (Sui et al., 2013). وو و همکاران (۲۰۱۹) بر اساس روابط رگرسیونی بین شاخص‌های گیاهی اصلاح شده خاک ( $MSAVI$ ) و آلبدو، شاخص بیابان‌زایی نیمه خشک را ارائه کردند (Wu et al., 2019). علاوه بر شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص تابش فعال فتوسنتزی جذب شده می‌تواند به طور مستقیم وضعیت رشد پوشش گیاهی را مشخص کند (Pickett et al., 2017; Qin et al., 2014). شاخص FPAR می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در پایش خشکسالی در نظر گرفته شود (Cammalleri et al., 2019; Peng et al., 2019; Dang et al., 2020; Liu et al., 2021). موارد ذکر شده در بالا نشان داد که شاخص  $MSAVI$  می‌تواند در برآورد شاخص خشکسالی، جایگزین شاخص  $NDVI$  گردد. همچنین آلبدو می‌تواند به شکل رابطه رگرسیونی  $NDVI$  و  $albedo$ ، جایگزین  $LST$  گردد. در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه شاخص‌های برآورد خشکسالی انجام شده است. پور خسروانی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از شاخص‌های  $NDVI$  و  $LST$  به تحلیل فضایی خشکسالی حوضه سیرجان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که ارتباط معنی

است. به طوری که در جوار آن معدن نمک چهرآباد قرار گرفته است. به علت کاهش آب رودخانه قزل اوزن و افت شدید آب های زیرزمینی، این منطقه با خشکسالی اقلیمی قابل توجهی مواجه گردیده است. در این تحقیق به بررسی شاخص های خشکسالی در این منطقه پرداخته شده است.

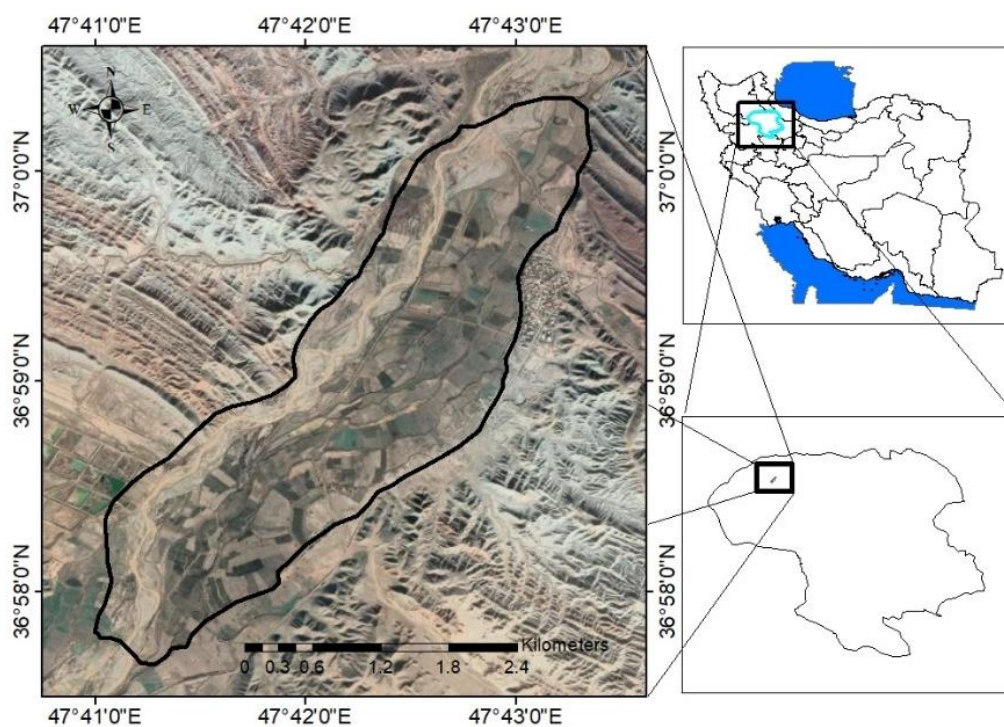
در این تحقیق برای برآورد شاخص های خشکسالی منطقه حصار ماهنشان از تصاویر ۱۷ می ۱۹۹۰ لندست ۵ و ۲۹ ژوئن ۲۰۲۳ لندست ۸ استفاده شده است. علت انتخاب ماه می برای تصویر برداری از منطقه، افزایش پر آبی ناشی از بارندگی و پر آبی رودخانه قزل اوزن می باشد. به علت کشت برنج در منطقه مورد مطالعه، وضعیت آبی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. برای سال ۲۰۲۳ تصویر برداری از ماه ژوئن انجام شد که زمان آغاز برداشت محصول برنج بوده است. این تصاویر از گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۴ تهیه شده و در تصویر سال ۱۹۹۰ درصد ابرناکی معادل ۵ درصد بوده و این میزان در سال ۲۰۲۳ معادل ۲/۸۱ درصد برآورد گردیده است. ماهواره لندست ۵ متشکل از ۷ باند بوده که در این تحقیق از تمامی باندها استفاده شده است. همچنین از بین باندهای ماهواره لندست ۸ به غیر از باند ۱، ۸، ۹ و ۱۱ از تمامی باندها بهره گرفته شد. سنجنده های به کار گرفته شده در لندست ۵ سنجنده TM بوده و از هر دو سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ استفاده شد.

داری بین این دو شاخص وجود داشته است. حمزه و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از داده های سنجش از دور به پایش زمانی و مکانی خشکسالی استان مرکزی پرداختند نتایج نشان داد که شاخص VCI در مناطق خشک نسبت به شاخص TVDI به نتایج بهتری دست یافته است.

هدف از این تحقیق، ارزیابی قابلیت هر یک از شاخص های شاخص خشکسالی دمای پوشش گیاهی (TVDI)، شاخص خشکسالی شرایط آلودی پوشش گیاهی (VCAD<sup>۱</sup>) و شاخص خشکسالی اصلاح شده خاک پوشش گیاهی (TSDI<sup>۱</sup>) در برآورد وضعیت خشکسالی در محدوده حصار ماهنشان در ساحل رودخانه قزل اوزن می باشد.

### مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه با وسعتی معادل ۶/۴۷ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این منطقه در بخش ساحل شرقی رودخانه قزل اوزن در محدوده روستای حصار از توابع استان زنجان قرار گرفته است. این منطقه از شرایط اقلیمی نیمه خشک برخوردار بوده و به علت قرارگیری در مجاورت کوه های رنگی آلاگلار و معادن نمک از آب زیرزمینی شوری برخوردار



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در محدوده رودخانه قزل اوزن

ماهواره لندست ۸ استفاده می شود. مراحل محاسبه LST بر اساس روش تاکور و همکاران (۲۰۲۰) و کافی و همکاران (۲۰۲۱) در زیر شرح داده شده است. به این منظور در ابتدا مقادیر تابش طیفی در بالای اتمسفر محاسبه شده و رابطه زیر برای این منظور در نظر گرفته شده است.

$$L\lambda = AL + ML * Qcal \quad (3)$$

در این رابطه  $L\lambda$  تابش طیفی در بالای اتمسفر، ML فاکتور درجه بندی شده ترکیبی تابشی برای باند ۱۰ و Qcal تعداد دیجیتال باند ۱۰ می باشد. سپس مقادیر تابش طیفی  $L\lambda$  به مقادیر درجه روشنایی ماهوار (TB) تبدیل می گردد.

$$TB = \frac{\sum(K2)}{\left(\ln\left(\frac{K1}{L\lambda + 1}\right)\right)} \quad (4)$$

در این رابطه TB درجه روشنایی بوده و K1 و K2 ضریب حرارتی ثابت برای باند ۱۰ می باشد.

نسبت پوشش گیاهی (PV) و انتشار سطحی (E) نیز بر اساس معادلات زیر محاسبه می شود.

$$PV = \left[ \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \right]^2 \quad (5)$$

$$E = (0.004.PV) + 0.986 \quad (6)$$

در نهایت، مقادیر درجه روشنایی به مقادیر LST تبدیل می گردد:

$$LST = \left[ \frac{TB}{1 + \left(\frac{\lambda.TB}{a}\right) \ln E} \right] \quad (7)$$

در این رابطه  $\lambda$  طول موج تابش ساطع شده، a ضریب ثابت برای ماهواره لندست ۸، h ضریب ثابت پلانک، c سرعت نور و k ضریب بولتزمن می باشد.

شاخص NDVI تاثیر پس زمین خاک بر سطوح زیرین را در نظر نمی گیرد. شاخص MSAVI با توجه به شرایط محیط به ضریب تنظیم خاک اضافه شده و مشکل حساس بودن NDVI به زمینه خاک را اصلاح کرده است (Zhao et al, 2010). زائو و همکاران (۲۰۱۰) به این نکته پی بردند که می توان خشکسالی را بر اساس روابط بین MSAVI و LST ارزیابی کرد. شاخص حاصل شده از این رابطه با عنوان شاخص TSDI شناخته شد. برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده شد:

$$TSDI = a(MSAVI) - LST \quad (8)$$

برای محاسبه شاخص MSAVI از رابطه زیر استفاده شد.

$$MSAVI = \frac{2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2} \quad (9)$$

سندھولت و همکاران (۲۰۰۲) بر اساس روابط بین NDVI و LST شاخصی را برای برآورد خشکسالی ارائه کردند. این شاخص با عنوان شاخص TVDI نامگذاری گردید. این شاخص بر این اصل استوار است که وقتی شرایط تابش خورشیدی بدون تغییر باقی بماند کاهش بارندگی می تواند منجر به کمبود آب برای محصولات کشاورزی گردد. زمانی که رطوبت خاک کافی باشد تبخیر و تعرق پوشش گیاهی شدت می یابد. بیشترین میزان انرژی برای مصرف گرمای نهان استفاده شده و تنها بخش کوچکی از انرژی برای افزایش دمای سطوح زیرین به کار گرفته می شود. زمانی که رطوبت خاک کافی نباشد پوشش گیاهی بخشی از روزه های برگ را می بندد تا به دلیل تنش آبی، تعرق کاهش یابد. کاهش مصرف شار گرمای نهان تبخیر منجر به افزایش حرارتی محسوس و شار حرارتی خاک شده و در نتیجه، دمای سطح زیرین را افزایش می دهد (Patel et al., 2009). بنابراین تحلیل تغییرات رطوبت خاک از منظر وضعیت رشد گیاهی و دمای سطح امکان پذیر می باشد. دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی بوسیله داده های سنجنش از دور به دست آمده و برای برآورد شاخص TVDI به کار گرفته می شوند. نقاط پراکنده شده در نمودار پراکنش پهنه ای را در بر می گیرند که در آن پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از خاک برهنه تا پوشش متراکم متغیر بوده و رطوبت خاک نیز از وضعیت خشک تا بسیار مرطوب تغییر می کند (Sandholt et al., 2002). برای محاسبه شاخص TVDI از رابطه زیر استفاده می شود:

$$TVDI = a(NDVI) - LST \quad (1)$$

برای برآورد شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) نیز از باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز استفاده می شود. مقادیر NDVI از رابطه زیر برآورد شد (Sandholt et al., 2002):

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} \quad (2)$$

در ماهواره لندست ۵ باندهای ۳ و ۴ اختصاص به باندهای قرمز و مادون قرمز داشته و در ماهواره لندست ۸ این باندها در باندهای ۴ و ۵ قرار گرفته اند. در بخش دوم از رابطه رگرسیونی نیاز به برآورد شاخص LST می باشد. این شاخص، دمای سطح زمین را نشان می دهد.

بررسی دمای سطح زمین برای درک چرخه انرژی و تبادل آب با محیط امری حیاتی می باشد. تجزیه و تحلیل LST با استفاده از داده های حرارتی ماهواره ای مستلزم روش های مختلفی از جمله تراز رادیومتری سنجنده، تصحیح بازتاب سطح و هوا و تغییرات LULC می باشد. برای محاسبه LST از باند ۱۰



پوشش گیاهی بر وضعیت آلودگی سطح زمین تاثیر معکوس می گذارد. بیشترین و کمترین میزان آلودگی در سال ۱۹۹۰ حدود ۱۳۱ و ۵۷ می باشد. فاکتور دمای سطح زمین نیز با پوشش گیاهی رابطه عکس داشته و کاهش پوشش گیاهی منجر به افزایش دمای سطح زمین شده می تواند وضعیت خشکسالی را نشان دهد. در تاریخ ۱۷ می ۱۹۹۰ بیشترین دمای ثبت شده برای منطقه حدود ۳۴/۴۶ درجه سانتیگراد بوده و کمترین دما حدود ۲۰/۶ درجه سانتیگراد برآورد گردید. برای صحت سنجی مقادیر فوق از داده های دمایی ایستگاه ماهنشان در تاریخ تصویربرداری ماهواره ای استفاده شده است. بیشترین دماهای سطح زمین در بخش ساحل غربی رودخانه قزل اوزن برآورد شده و کمترین دماها در کشتزارهای برنج در بخش شرقی رودخانه مشاهده شد. در تاریخ ۲۹ ژوئن ۲۰۲۳ بیشترین و کمترین دما به ترتیب در حدود ۴۳/۵۹ و ۲۷ درجه سانتیگراد مشاهده شد. بررسی ها نشان داد که در بخش شرقی رودخانه برخی نواحی با افزایش دما مواجه شده است. این فرایند در بازه زمانی ۳۳ سال رخ داده و می تواند به علت کاهش آب رودخانه قزل اوزن و اتکای روستائیان به منابع آب زیرزمینی به وقوع پیوسته است.

برقراری روابط رگرسیونی علاوه بر نمایش همبستگی بین شاخص ها می تواند قابلیت هر شاخص خشکسالی را نسبت به نمونه های دیگر نشان دهد. بر اساس روابط رگرسیونی بین شاخص های  $albedo$ ،  $MSAVI$ ،  $NDVI$ ،  $LST$ ، شاخص های خشکسالی  $TVDI$ ،  $TSDI$  و  $VCADI$  ایجاد شد. در رابطه رگرسیونی بین  $LST$  با  $NDVI$ ، شاخص  $TVDI$  ارائه شده و این دو شاخص از ضریب همبستگی پیرسون معادل ۰/۲۶- در سال ۱۹۹۰ برخوردار بوده اند. در واقع رابطه بین  $NDVI$  و  $LST$  به صورت معکوس می باشد. ضریب همبستگی بین دو شاخص  $LST$  و  $MSAVI$  نیز معادل ۰/۲۳- می باشد. مقدار فوق برای سال ۱۹۹۰ بوده است. از طریق رابطه رگرسیونی بین این دو شاخص، شاخص  $TSDI$  ارائه شده است. مقادیر ضریب همبستگی این دو شاخص در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۵۴- بوده است. از طریق روابط رگرسیونی بین  $albedo$  و  $NDVI$  نیز شاخص  $VCADI$  ارائه گردیده و ضریب همبستگی پیرسون برای این دو شاخص در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ به ترتیب معادل ۰/۱۴- و ۰/۲۳- می باشد. بررسی ها نشان داد که همبستگی ها در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۱۹۹۰ قویتر بوده و بیشترین همبستگی به میزان ۰/۵۵- بین دو شاخص  $LST$  و  $NDVI$  مشاهده شد. از روابط بین این دو شاخص، شاخص  $TVDI$  ارائه شده است. روابط همبستگی بین  $LST$  و  $MSAVI$  با مقادیر معادل ۰/۵۴- در جایگاه دوم قرار دارد.

آلودگی یک پارامتر فیزیکی است که انعکاس سطح را در تابش خورشیدی موج کوتاه نشان داده و نسبت انرژی بازتابی کل به انرژی ورودی را برآورد می نماید. گلام و همکاران (۲۰۰۷) شاخص  $VCADI$  را با استفاده از روابط رگرسیونی  $NDVI$  و  $albedo$  ارائه کردند. برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده شد:

$$VCADI = a(NDVI) - albedo \quad (10)$$

شاخص  $albedo$  نیز با استفاده از رابطه زیر برآورد می گردد:

$$(11)$$

$$albedo = [(0.85 \cdot blue) + (0.13 \cdot Red) + (0.373 \cdot NIR) + (0.085 \cdot SWIR1) + (0.072 \cdot SWIR2) - 0.018]$$

برای بررسی روابط بین شاخص ها نیز از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. به این منظور از نرم افزار Origin 8 بهره گرفته شد. برای برآورد این ضریب از رابطه زیر استفاده می شود:

$$Pr = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

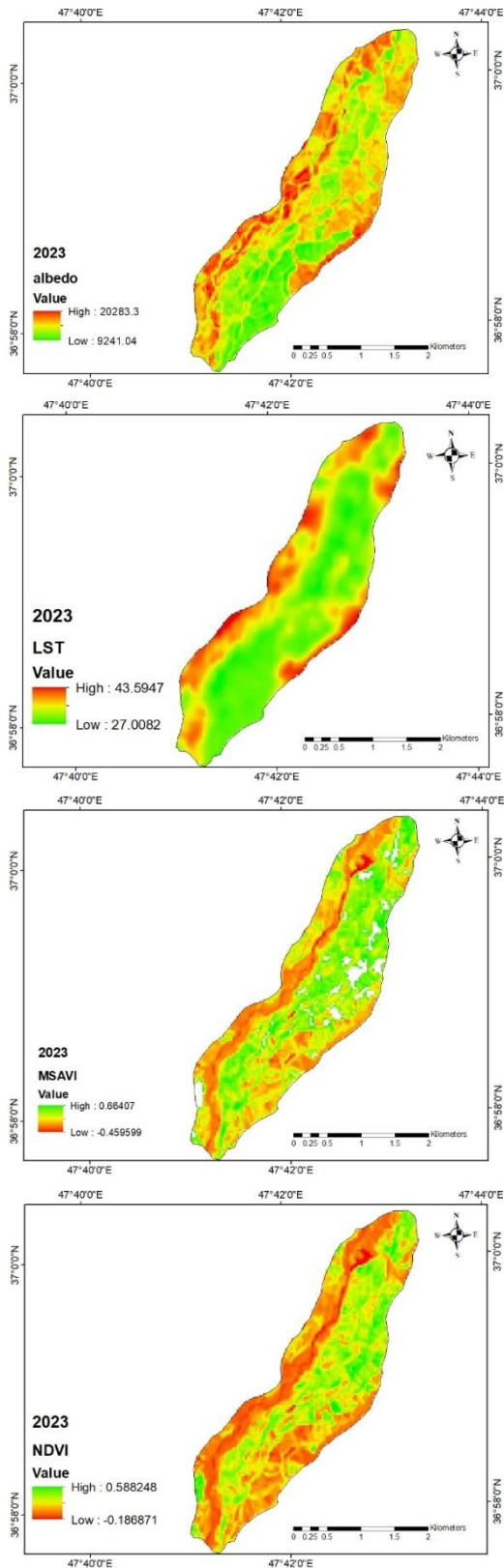
در نهایت برای صحت سنجی هر یک از شاخص ها از ضریب کاپا به کار گرفته شد. این شاخص، پیکسل های طبقه بندی شده را با پیکسل های تصادفی مقایسه می کند. مقدار این شاخص بین ۱- و ۱+ قرار می گیرد. با افزایش دقت شاخص، میزان کاپا افزایش می یابد. برای برآورد این شاخص از رابطه زیر استفاده شد:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+})} \quad (13)$$

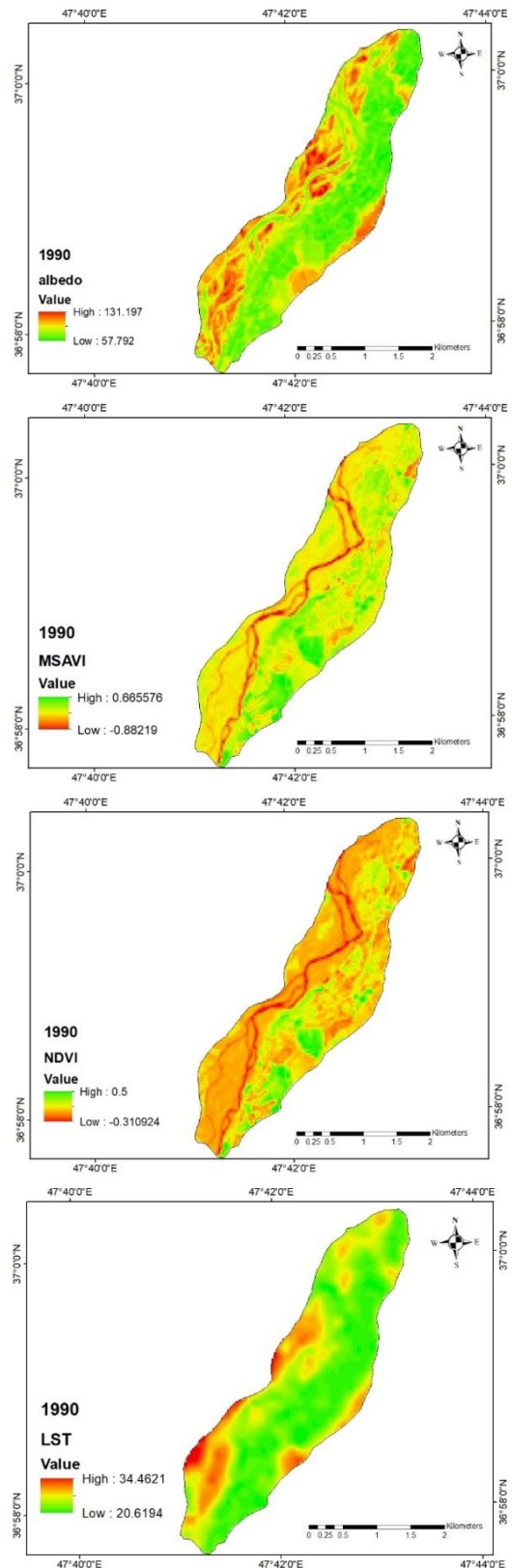
در این رابطه،  $x_{ii}$  مجموع تعداد تمامی پیکسل ها در ردیف  $i$ ،  $x_{i+}$  تعداد کل پیکسل ها در ردیف  $i$  و  $N$  تعداد پیکسل کل در ماتریس پراکنده می باشد.

## نتایج و بحث

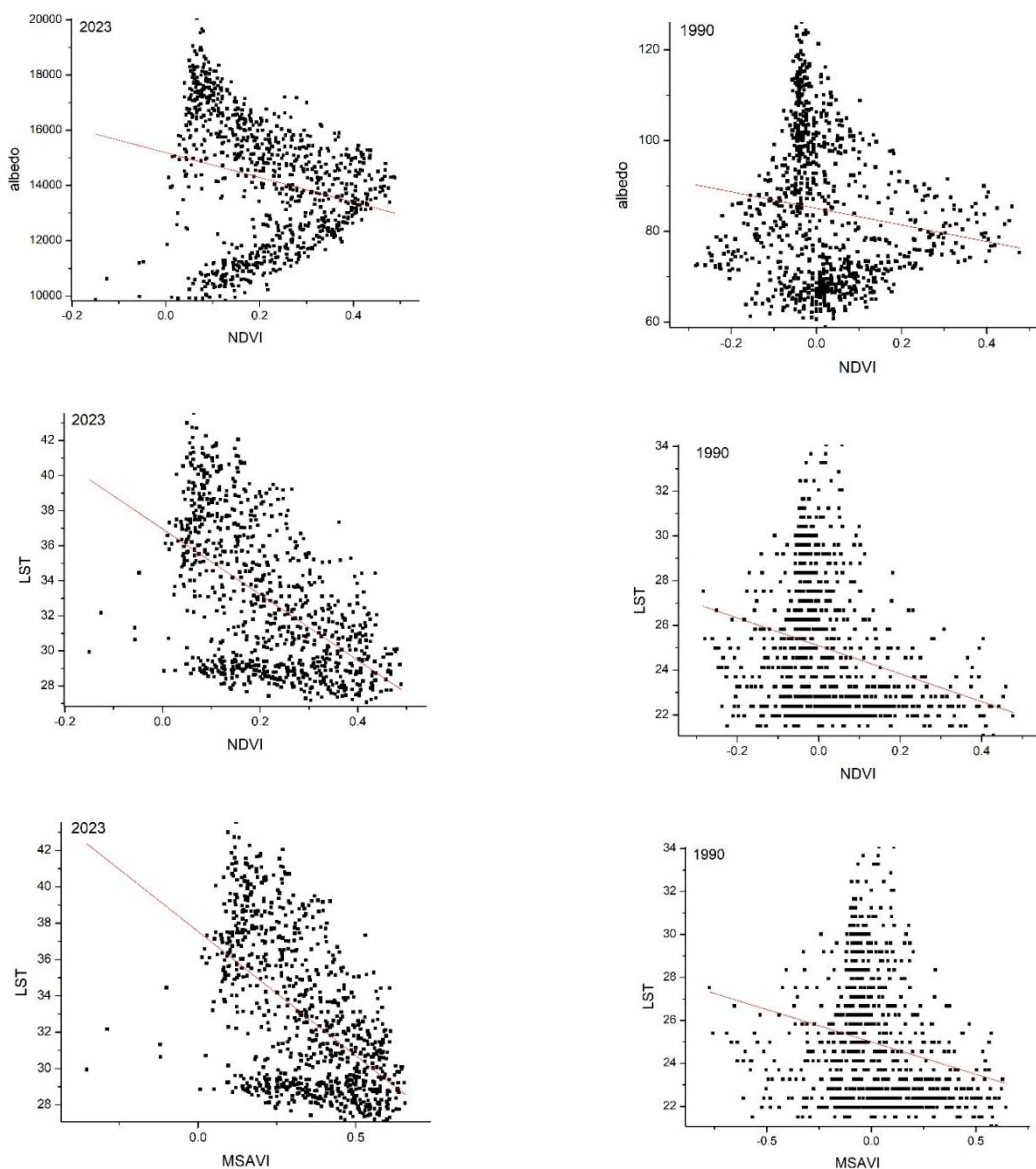
برای بررسی تغییرات خشکسالی در طول زمان، روند آن در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی پوشش گیاهی از شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی ( $NDVI$ ) و شاخص اصلاح شده خاک پوشش گیاهی ( $MSAVI$ ) استفاده شد. در سال ۱۹۹۰ بیشترین میزان  $NDVI$  معادل ۰/۵ بوده و کمترین آن در حدود ۰/۳۱- برآورد گردید. در سال ۲۰۲۳ مقادیر حداکثر و حداقل معادل ۰/۵۸ و ۰/۱۸- بوده است. در شاخص  $MSAVI$  این مقادیر برای سال ۱۹۹۰ به ترتیب معادل ۰/۶۶ و ۰/۸۸- بوده است. این میزان برای این شاخص در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۶۶ و ۰/۴۵- می باشد. تغییرات



شکل ۳. نقشه شاخص‌های albedo و LST, MSAVI, NDVI در سال ۱۹۹۰



شکل ۲. نقشه شاخص‌های albedo و LST, MSAVI, NDVI در سال ۱۹۹۰



شکل ۵. نمودارهای پراکنش شاخص های TVDI، TSDI و VCADI در سال ۲۰۲۳

شکل ۴. نمودارهای پراکنش شاخص های TVDI، TSDI و VCADI در سال ۱۹۹۰

بر اساس روابط رگرسیونی بین شاخص های LST، MSAVI، NDVI و albedo، شاخص های TVDI، TSDI و VCADI ایجاد شد. نقشه های مربوط به این شاخص ها با قرارگیری ضرایب a و b در نقشه ها ترسیم شد. مقادیر a و b به همراه معادلات رگرسیونی در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۲. روابط رگرسیونی و مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین

شاخص های خشکسالی در سال ۱۹۹۰

ضریب همبستگی	رابطه رگرسیونی	روابط بین شاخص ها	شاخص خشکسالی
-۰/۵۵	$LST = -18.7(NDVI) + 36.9$	$LST, NDVI$	TVDI
-۰/۵۴	$LST = -13.6(MSAVI) + 37$	$LST, MSAVI$	TSDI
-۰/۲۳	$albedo = -4486(NDVI) + 15190$	$Albedo, NDVI$	VCADI

جدول ۱. روابط رگرسیونی و مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین

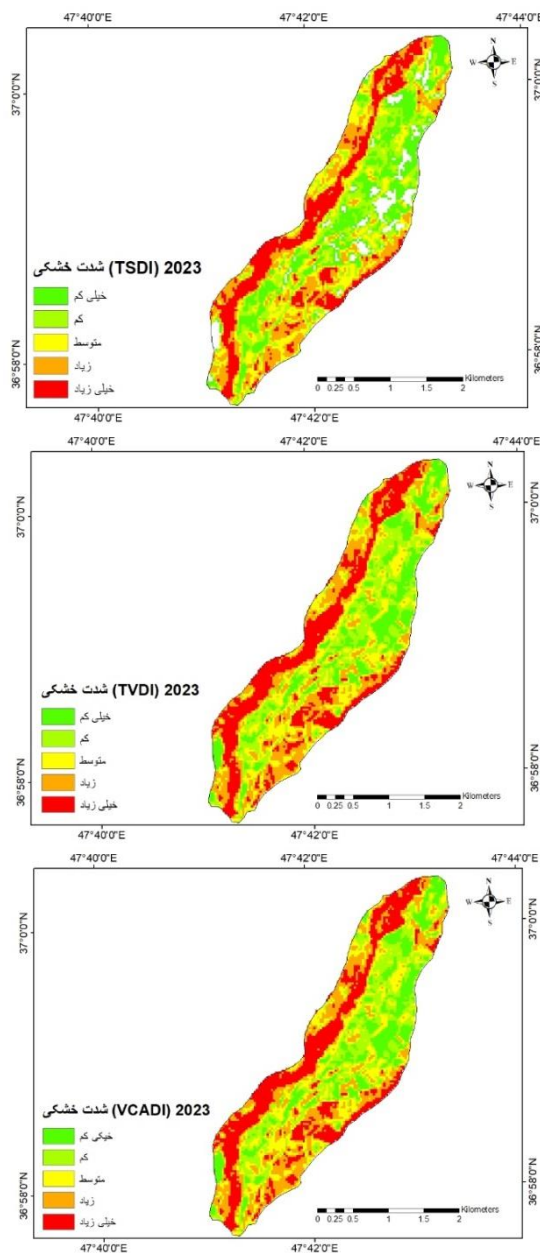
شاخص های خشکسالی در سال ۱۹۹۰

ضریب همبستگی	رابطه رگرسیونی	روابط بین شاخص ها	شاخص خشکسالی
-۰/۲۶	$LST = -6.2(NDVI) + 25$	$LST, NDVI$	TVDI
-۰/۲۳	$LST = -3.01(MSAVI) + 25$	$LST, MSAVI$	TSDI
-۰/۱۴	$albedo = -18.3(NDVI) + 85$	$Albedo, NDVI$	VCADI

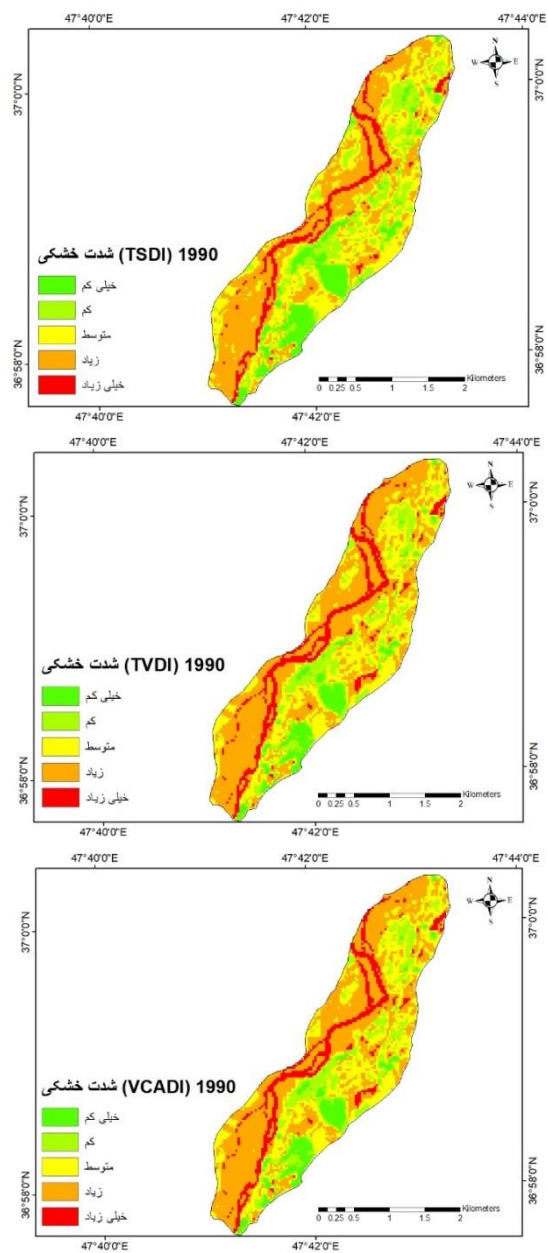


مربع در سال ۲۰۲۳ افزایش داشته است. بر این اساس، مناطقی با شدت خشکسالی خیلی زیاد از ۱۰ درصد به ۲۳/۶ درصد افزایش یافته است. بر اساس شاخص TSDI پهنه با خشکسالی خیلی زیاد از ۰/۴۷ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۱/۲۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. به عبارتی دیگر میزان این پهنه از ۷/۲۶ درصد کل منطقه در سال ۱۹۹۰ به ۱۸/۷ درصد در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. در شاخص TVDI نیز میزان خشکسالی خیلی زیاد از ۱۰ درصد به ۲۳/۶۴ درصد افزایش یافته است.

پس از ترسیم نقشه‌ها، منطقه بر اساس شدت خشکسالی و روش طبقه‌بندی شکست طبیعی جنکز به ۵ طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. تقسیم بندی فوق بر اساس روش پیشنهادی لیو و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد. بررسی‌ها نشان داد که منطقه خشکسالی خیلی کم در شاخص VCADI برای سال ۱۹۹۰ معادل ۰/۳۸ کیلومتر مربع بوده و این میزان برای این شاخص در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۸۹ برآورد گردید. لیکن در این شاخص وسعت منطقه با خشکسالی خیلی زیاد از ۰/۶۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۱/۵۳ کیلومتر



شکل ۷. نقشه طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص های TVDI، TSDI و VCADI در سال ۲۰۲۳



شکل ۶. نقشه طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص های TVDI، TSDI و VCADI در سال ۱۹۹۰

## نتیجه‌گیری

ساحل رودخانه قزل اوزن در بخش حصار استان زنجان جز ناطی است که به علت قرارگیری در ساحل رودخانه، اختصاص به کشت برنج یافته است لیکن کاهش حجم آب رودخانه منجر به اتکای کشاورزان به منابع آب زیرزمینی شده است. برای بررسی شرایط خشکسالی نیاز به بررسی پارامترهای پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و آلودگی می باشد. لذا در این تحقیق با برقراری روابط رگرسیونی بین شاخص های LST، NDVI و albedo شاخص های خشکسالی TVDI، TSDI و VCADI ارائه شد. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی پیرسون به میزان  $0/55$  - متعلق به روابط بین NDVI و LST داشته و بر این اساس، شاخص خشکسالی TVDI ارائه شد. همچنین نتایج نشان داد که بین تمامی شاخص ها با شاخص LST و albedo همبستگی منفی برقرار بوده است. بر اساس شاخص های خشکسالی مشاهده شد که در شاخص VCADI مناطق برخوردار از خشکسالی خیلی زیاد از  $0/65$  کیلومتر مربع به  $1/53$  کیلومتر مربع افزایش یافته و از  $10$  درصد به  $23/6$  درصد رسیده است. در شاخص های TSDI و TVDI نیز نتایج مشابهی حاصل شده و به ترتیب از  $10$  و  $7/26$  درصد در سال  $1990$  به  $23/64$  و  $18/7$  درصد در سال  $2023$  رسیده است. بر اساس روابط همبستگی مشاهده شد که شاخص TVDI نسبت به شاخص های TSDI و VCADI به نتایج بهتری دست یافته است. بررسی ها نشان می دهد که وضعیت خشکسالی در منطقه در حال شدت یافتن بوده است. احداث سدها بر روی این رودخانه و بهره برداری از منابع آبی این رودخانه باعث کاهش قابل توجه سطح این رودخانه شده و ساکنان محلی را با مشکلات قابل توجهی در زمینه کشاورزی، باغداری و پرورش ماهی مواجه ساخته است.

## Reference:

- Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., Masjedi, A., & Dehnavi, S. (2017). Temperature-vegetation-soil moisture dryness index (TVMDI). *Remote Sens. Environ* 197: 1–14.
- Amazirh, A., Merlin, O., Er-Raki, S., Gao, Q.i., Rivalland, V., Malbeteau, Y., Khabba, S., & Escorihuela, M.J. (2018). Retrieving surface soil moisture at high spatio-temporal resolution from a synergy between sentinel-1 Radar and Landsat thermal data: a study case over bare soil. *Remote Sens. Environ* 211: 321–337.
- Bento, V.A., Gouveia, C.M., DaCamara, C.C., & Trigo, I.F. (2018). A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agr. Forest Meteorol* 259: 286–295.
- Brown, J.F., Wardlow, B.D., Tadesse, T., Hayes, M.J., & Reed, B.C. (2008). The vegetation drought response index (VegDRI): a new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GISci. Remote Sens* 45 (1): 16–46.
- Cammalleri, C., & Vogt, J.V. (2019). Non-stationarity in MODIS FAPAR time-series and its impact on operational drought detection. *Int. J. Remote Sens* 40 (4): 1428–1444.
- Dang, C.Y., Liu, Y., Yue, H., Qian, J.X., & Zhu, R. (2020). Autumn crop yield prediction using data-driven approaches: support vector machines, random forest, and deep neural network methods. *Can. J. Remote Sens.*, 1–20
- Ghulam, A., Qin, Q., & Zhan, Z. (2007). Designing of the perpendicular drought index. *Environ. Geol* 52 (6): 1045–1052.
- Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chatrobgoun, O., & Gholamnia, M. (2017). Spatio-temporal monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 4 (3): 53-70 [In Persian]

جدول ۳. مساحت پهنه های متأثر از خشکسالی در شاخص های TVDI، TSDI و VCADI در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ (کیلومتر مربع)

شاخص	شدت خشکی	۱۹۹۰		۲۰۲۳	
		مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
VCADI	خیلی کم	۰/۳۸	۰/۸۷	۱۳/۷۵	۰/۸۹
	کم	۰/۸۱	۱۲/۵۱	۲۰/۲۴	۱/۳۱
	متوسط	۱/۷۲	۲۶/۵۸	۲۰/۷۸	۱/۳۲
TSDI	زیاد	۲/۸۹	۵۰/۰۴	۲۱/۶۳	۱/۴
	خیلی زیاد	۰/۶۵	۱۰	۲۳/۶	۱/۵۳
	خیلی کم	۰/۵۹	۹/۱۱	۱۷/۹۲	۱/۱۶
TVDI	کم	۱/۱	۱۷	۲۱/۳۷	۱/۲۴
	متوسط	۱/۷۸	۲۷/۷۳	۲۰/۳۹	۱/۱۹
	زیاد	۲/۵۲	۳۸/۹	۱۹/۶۲	۱/۲۷
VCADI	خیلی زیاد	۰/۴۷	۷/۲۶	۲۰/۷	۱/۲۱
	خیلی کم	۰/۳۸	۵/۸۷	۱۳/۷۵	۰/۸۹
	کم	۰/۸۱	۱۲/۹۵	۲۰/۱	۱/۳
TVDI	متوسط	۱/۷۲	۲۶/۵۸	۲۰/۸۸	۱/۳۲
	زیاد	۲/۸۹	۴۴/۶	۲۱/۶۳	۱/۴
	خیلی زیاد	۰/۶۵	۱۰	۲۳/۶۴	۱/۵۳

جدول ۴. مقادیر ضریب کاپا در بین شاخص های TVDI، TSDI و VCADI در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

شاخص	ضریب کاپا ۱۹۹۰	ضریب کاپا ۲۰۲۳
TVDI	۰/۶۲	۰/۷۳
TSDI	۰/۵۷	۰/۶۹
VCADI	۰/۴۹	۰/۵۱

در آخرین بخش از تحقیق برای صحت سنجی بین شاخص ها از ضریب کاپا استفاده شد. مقادیر ضریب فوق برای هر یک از شاخص ها در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ انجام شد. بر اساس مقادیر حاصله مشاهده می شود که ضریب کاپا در شاخص TVDI به میزان  $0/73$  بیشترین میزان حاصله در بین شاخص ها بوده و شاخص TSDI با مقادیر  $0/69$  در جایگاه بعدی قرار دارد. مقادیر حاصله در جدول ۴ نشان داده شده است.

- Han, L., Wang, P., Yang, H., Liu, S., & Wang, J. (2006). Study on NDVI-Ts space by combining LAI and evapotranspiration. *Sci. China Earth Sci* 49 (7): 747–754.
- Kafy, A.A. (2021). Impact of Vegetation Cover Loss on Surface Temperature and Carbon Emission in a Fastest-Growing City, Cumilla, Bangladesh, 207. *Building and Environment*.
- Khellouk, R., Barakat, A., Jazouli, A.E., Boudhar, A., & Benabdelouahab, T. (2019). An integrated methodology for surface soil moisture estimating using remote sensing data approach. *Geocarto Int* 30: 1–14
- Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. Space Res* 15 (11): 91–100.
- Le Page, M., & Zribi, M. (2019). Analysis and predictability of drought in northwest Africa using optical and microwave satellite remote sensing products. *Sci. Rep-uk*. 9, 1466.
- Liu, Y., Wu, L.X., & Ma, B.D. (2013). Remote sensing monitoring of soil Moisture on the basis of TM/ETM + spectral space. *J. China Univ. Min. Technol* 42: 296–301 (in Chinese).
- Liu, Y., Wu, L., & Yue, H. (2015). Biparabolic NDVI-Ts space and soil moisture remote sensing in an arid and semi-arid area. *Can. J. Remote Sens* 41 (3): 159–169.
- Liu, Y., & Yue, H. (2017). Dynamic monitoring of drought conditions in Henan Province based on LAI-Ts space. *IEEE Geosci. Remote Sens. Symp* 23: 5097–15010
- Liu, Y., & Yue, H. (2018). The temperature vegetation dryness index (TVDI) based on bi-parabolic NDVI-Ts space and gradient-based structural similarity (GSSIM) for long-term drought assessment across Shaanxi province, China (2000–2016). *Remote Sens-Basel*. 10 (6), 959. <https://doi.org/10.3390/rs10060959>.
- Liu, Y., Dang, C., Yue, H., Lyu, C., & Dang, X. (2021). Enhanced drought detection and monitoring using sun-induced chlorophyll fluorescence over Hulun Buir Grassland, China. *Sci. Total Environ.* 770, 145271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145271>.
- Lu, Y., Horton, R., Zhang, X., & Ren, T. (2018). Accounting for soil porosity improves a thermal inertia model for estimating surface soil water content. *Remote Sens. Environ* 212: 79–89.
- Lu, Y., Tao, H., & Wu, H. (2007). Dynamic drought monitoring in Guangxi using revised temperature vegetation dryness index. *Wuhan Univ. J. Natl. Sci* 12 (4): 663–668.
- Marzban, F., Sodoudi, S., & Preusker, R. (2018). The influence of land-cover type on the relationship between NDVI–LST and LST-Tair. *Int. J. Remote Sens* 39 (5): 1377–1398.
- Pandey, V., & Srivastava, P. (2019). Integration of microwave and optical/ infrared derived datasets for a drought hazard inventory in a subtropical region of India. *Remote Sens-Basel*. 11 (4), 439. <https://doi.org/10.3390/rs11040439>.
- Patel, N.R., Anapashsha, R., Kumar, S., Saha, S.K., & Dadhwal, V.K. (2009). Assessing potential of modis derived temperature/vegetation condition index (tvdI) to infer soil moisture status. *Int. J. Remote Sens* 2009 (30): 23–39.
- Peng, J., Muller, J.-P., Blessing, S., Giering, R., Danne, O., Gobron, N., Kharbouche, S., Ludwig, R., Müller, B., Leng, G., You, Q., Duan, Z., & Dadson, S. (2019). Can we use satellite-based FAPAR to detect drought? *Sensors-Basel*. 19 (17), 3662. <https://doi.org/10.3390/s19173662>.
- Pickett-Heaps, C.A., Canadell, J.G., Briggs, P.R., Gobron, N., Haverd, V., Paget, M.J., Pinty, B., & Raupach, M.R. (2014). Evaluation of six satellite-derived fraction of absorbed photosynthetic active radiation (FAPAR) products across the Australian continent. *Remote Sens. Environ* 140: 241–256.
- Pourkhosravani, M., Mehrabi, A., & Mousavi, S. (2018). Drought spatial analysis of Sirjan Basin using Remote sensing, *Desert Ecosystem engineering Journal* 7(20): 13-22. [In Persian]
- Price, J.C. (1985). On the analysis of thermal infrared imagery: the limited utility of apparent thermal inertia. *Remote Sens. Environ* 18 (1): 59–73.
- Qin, H., Wang, C., Pan, F., Lin, Y., Xi, X., & Luo, S. (2017). Estimation of FPAR and FPAR profile for maize canopies using airborne Lidar. *Ecol. Indic* 83: 53–61.
- Sandholt, I., Andersen, J., & Rasmussen, K. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of soil moisture status. *Remote Sens. Environ* 79: 213–224.
- Sui, X.X., Qin, Q.M., Dong, H., Wang, J.L., Meng, Q.Y., & Liu, M.C. (2013). Monitoring of farmland drought based on LST-LAI spectral feature space. *Spectrosc. Spect. Anal* 33: 201–205
- Thakur, S., Mondal, I., Bar, S., Nandi, S., Das, P., Ghosh, P.B., & De, T.K. (2020). Shoreline changes and its impact on the mangrove ecosystems of some Islands of Indian Sundarbans, North- East coast of India, *J Clean Prod*, 284, 124764. Elsevier.
- Wang, P.X., Li, X.W., Gong, J.Y., & Song, C.H. (2001). Vegetation temperature condition index and its application for drought monitoring. In: *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia, 9–13 July 2001*.
- Wang, H., He, N., Zhao, R., & Ma, X. (2020). Soil water content monitoring using joint application of PDI and TVDI drought indices. *Remote Sens. Lett* 11 (5): 455–464.
- Wang, W., Huang, D., Wang, X.-G., Liu, Y.-R., & Zhou, F. (2011). Estimation of soil moisture using trapezoidal relationship between remotely sensed land surface temperature and vegetation index. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 15 (5): 1699–1712.
- Wigmore, O., Mark, B., Mckenzie, J., Baraer, M., & Lautz, L. (2019). Submeter mapping of surface soil moisture in proglacial valleys of the tropical Andes using a multispectral unmanned aerial vehicle. *Remote Sens. Environ*. 222: 104–118.
- Wu, Z., Lei, S., Bian, Z., Huang, J., & Zhang, Y. (2019). Study of the desertification index based on the albedo-MSAVI feature space for semi-arid steppe region. *Environ. Earth. Sci.* 78, 232.
- Yagci, A.L., & Santanello, J.A. (2018). Estimating evapotranspiration from satellite using easily obtainable variables: a case study over the southern Great Plains, USA. *IEEE J-Stars*. 11 (1): 12–23.
- Yildirim, T., & Asika, S. (2018). Index-based assessment of agricultural drought using remote sensing in the semi-arid region of western Turkey. *J. Agr. Sci.-Tarim. Bili.* 24: 510–516.
- Yue, H., Liu, Y., & Qian, J. (2020). Soil moisture assessment through the SSMMI and GSSIM algorithm based on SPOT, WorldView-2, and Sentinel-2 images in the Daliuta Coal Mining Area, China. *Environ. Monit. Assess.* 192, 237.

- Zhao, H., Li, Y.i., Chen, X., Wang, H., Yao, N., & Liu, F. (2021). Monitoring monthly soil moisture conditions in China with temperature vegetation dryness indexes based on an enhanced vegetation index and normalized difference vegetation index. *Theor. Appl. Climatol.* 143 (1-2): 159–176.
- Zhao, L.H., Du, P.J., Pang, Y.F., & Zhang, H.P. (2010). Monitoring drought using temperature/vegetation drought index based on remote sensing images. *Bull. Soil Water Conserv.* 30, 110–115
- Zormand, S., Jafari, R., & Koupaei, S.S. (2017). Assessment of PDI, MPDI and TVDI drought indices derived from MODIS Aqua/Terra Level 1B data in natural lands. *Nat. Hazards.* 86 (2): 757–777.

## یادداشت‌ها

- <sup>1</sup> *Normalized difference vegetation index*
- <sup>2</sup> *Land surface temperature*
- <sup>3</sup> *Temperature vegetation dryness index*
- <sup>4</sup> *Vegetation Temperature Condition Index*
- <sup>5</sup> *Leaf area index*
- <sup>6</sup> *Soil adjusted vegetation index*
- <sup>7</sup> *Enhanced Vegetation Index*
- <sup>8</sup> *Vegetation condition albedo dryness index*
- <sup>9</sup> *Total storage deficit index*