

**Web site:**

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

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

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

**Received:
2024-01-14**

**Accepted:
2024-08-16**

Pages: 83-95

Evaluating the Efficiency of Remote Sensing Based Indicators (VCI, TCI, VHI) in Order to Monitor the Level of Drought in the South of Kerman Province

Saghi Neshat ¹, Baharak Motamed Vaziri ^{2*}, Hadi Kiadaliry ³ and Mehdi Saraei Tabrizi ⁴

1) PhD student, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.

2) Associate Professor, Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.

3) Associate Professor, Department of Environmental and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Unit (Tehran), Iran.

4) Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Islamic Azad University, Science and Research Unit (Tehran).

*Corresponding author email: bm vaziri@gmail.com

Abstract:

Background and objectives: Drought is one of the natural phenomena caused by the decrease in rainfall and reduces vegetation and increases dust. The common method of drought monitoring is based on observational data from meteorological stations and calculates a drought index. Knowing the amount and intensity of drought in a region and planning to reduce its effects is one of the most important principles of management in regional planning fight against drought. Monitoring and management of drought is a region using remote sensing data and satellite images as a suitable tool in the temporal and spatial monitoring of agricultural drought has always been of interest to regional managers.

Materials and methods: This study investigates the efficacy of remote sensing data and satellite images in delineating agricultural drought zones in the southern watershed of Kerman Province from 2001 to 2022. For the purpose, three indices, including the Vegetation Cover Index (VCI), Temperature Condition Index (TCI), and Vegetation Health Index (VHI), were extracted from MODIS satellite images, and TerraClimate extracts data for growing season months based on remote sensing of vegetation cover from early March to late August (2001-2022), and the resulting indicators are compared with standard precipitation index (SPI) values. It was compared in one, three, six, nine-, twelve-, twenty-four-, and forty-eight-month time series. In this study, the correlation method between stations was employed to reconstruct the incomplete station data, and the stations with the highest correlation with the incomplete station were utilized for reconstruction. After organizing the data, the reconstructed information was entered into the SPIGenerator software as input, and the SPI indices for 1, 3, 6, 9, 12, 24, and 48 months were generated for the selected stations.

Results: In this article, the results of calculating the SPI index in various time series based on the average data from existing stations and remote sensing data were analyzed. To this end, the values obtained from all satellite-based indices, including VCI, VHI, and TCI, were extracted and compared with the ground-based SPI index in 1, 3, 6, 9, 12, 24, and 48-month time series. In other words, the response of vegetation cover in the region to rainfall with 1, 3, 6, 9, 12, 24, and 48-month time legs was investigated. The result of this study shows that the VCI index has a significant correlation at a 1% level with the SPI index in all time series except for the 1-month series. The TCI index has a significant correlation with none of the time series except for the 1-month series. The VHI index has a significant correlation at a 1% level with all time series except for the 1-month, 3-month, and 24-month series. Additionally, the drought indices TCI, VHI, and VCI have a positive significant correlation at a 1% level with rainfall and soil moisture.

Conclusion: The overall results of the analysis of the available data showed that among the studies indices, the VCI index has the highest correlation with SPI values in different time series during the growing season, with a significant correlation at the 0.01 level. Therefore, it is selected as the preferred satellite index for monitoring agricultural drought in southern Kerman Province. The results of this study provide a basis for a better understating and evaluation of drought conditions in southern Kerman Province, and can guide optimized management and provision of drinking water and agricultural resources, leading to increased and optimized agricultural production, and ultimately, proper environmental protection.

Keywords: drought, SPI, VCI, TCI, VHI index, MODIS satellite images, southern Kerman province



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

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

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

پست الکترونیک:

iawsrcj@srbiau.ac.ir
iawsrcj@gmail.com

سال چهاردهم

شماره ۲ (۵۴)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۵/۲۶

صفحات: ۸۳-۹۵

ارزیابی کارایی شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور (VHI, TCI, VCI) به منظور پایش سطح خشکسالی در جنوب استان کرمان^۱

ساقی نشاط^۱، بهارک معتمدوزیری^{۲*}، هادی کیادلیری^۳ و مهدی سرایی تبریزی^۴

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
(۲) دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
(۳) دانشیار، گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات (تهران)، ایران.
(۴) استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات (تهران).
* ایمیل نویسنده مسئول: bm vaziri@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی است که در اثر کاهش بارش به وجود آمده و باعث کاهش پوشش گیاهی و افزایش گرد و غبار می‌شود. روش رایج پایش خشکسالی مبتنی بر داده‌های مشاهداتی از ایستگاه‌های هواشناسی است و یک شاخص خشکسالی را محاسبه می‌کند. اطلاع از میزان و شدت خشکسالی در یک منطقه و برنامه‌ریزی جهت کاهش اثرات آن یکی از مهمترین اصول مدیریت در برنامه‌ریزی منطقه‌ای، مبارزه با خشکسالی است. پایش و مدیریت خشکسالی در یک منطقه با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک ابزار مناسب در پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی همواره مورد توجه مدیران منطقه‌ای بوده است.

روش پژوهش: در این پژوهش بررسی کارایی داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در پهنه‌بندی خشکسالی کشاورزی در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در حوزه آبخیز جنوب استان کرمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) از روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس و TerraClimate برای ماه‌های دوره رشد از سنجش از دور بر اساس وضعیت پوشش گیاهی از اول مارس تا آخر آگوست (۲۰۲۲-۲۰۰۱) استخراج و نتایج حاصل از این شاخص‌ها با مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI)، در سری‌های زمانی یک، سه، شش، نه، دوازده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه مقایسه گردید. در این تحقیق از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها برای بازسازی آمار ایستگاه‌های ناقص استفاده گردید و ایستگاه‌هایی که بیشترین همبستگی را با ایستگاه ناقص داشت برای بازسازی مورد استفاده قرار گرفت. سپس بعد از مرتب نمودن داده‌ها، اطلاعات بازسازی شده بعنوان ورودی به نرم‌افزار SPIGenerator وارد و مقایر SPI سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه برای ایستگاه‌های منتخب حاصل گردید.

یافته‌ها: در این مقاله نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPI در سری‌های زمانی مختلف بر اساس متوسط داده‌های ایستگاه‌های موجود و داده‌های سنجش از دور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور مقادیر حاصل از تمامی شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای شامل (VCI, VHI, TCI) استخراج و اقدام به مقایسه و بررسی ضریب همبستگی آنها با شاخص زمینی SPI در سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ گردید به عبارت دیگر پاسخ شرایط پوشش گیاهی منطقه به بارندگی با زمان‌های تاخیر یک، سه، شش، نه، دوازده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داده که شاخص VCI همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص SPI در همه سری‌های زمانی مختلف بجز یک ماهه دارد. شاخص TCI همبستگی معنی‌دار با هیچ یک از سری‌های زمانی بجز یک ماهه ندارد. شاخص VHI بجز با یک ماهه و سه ماهه و بیست و چهار ماهه همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد با سایر سری‌های زمانی دارد. همچنین شاخص‌های خشکسالی TCI و VHI و VCI با بارش و رطوبت خاک همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح یک درصد دارد.

نتایج: نتایج کلی از تجزیه و تحلیل داده‌های موجود نشان داد که از بین شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص VCI در طی فصل رشد بیشترین همبستگی با مقادیر SPI در سری‌های زمانی مختلف را داراست و همبستگی آن در سطح ۰/۱ معنی‌دار است، لذا به عنوان شاخص ماهواره‌ای مطلوب جهت پایش خشکسالی کشاورزی در جنوب استان کرمان انتخاب می‌گردد. نتایج این مقاله مبنایی برای درک کامل و بهتر و همچنین ارزیابی شرایط خشکسالی در جنوب استان کرمان را فراهم می‌کند و می‌تواند به بهتر مدیریت کردن و تأمین منابع آب شرب و کشاورزی و در نتیجه تولیدات کشاورزی بیشتر و بهینه‌تر و حفاظت درست از محیط زیست را به سمت کامل‌تر و بهتری هدایت کند.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، شاخص SPI و VCI، TCI، VHI، تصاویر ماهواره‌ای مودیس، جنوب استان کرمان

مقدمه

پایش مکانی و زمانی خشکسالی در روش‌های سنتی، مبتنی بر ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های غالباً بازنگری مربوط به آن‌هاست. این شیوه‌ها به دلیل عدم وجود شبکه پراکنش مناسب، نواقص آماری، عدم دسترسی به داده‌های بهنگام و نقطه‌ای بودن اطلاعات ایستگاه‌ها از دقت مطلوبی برخوردار نیست. بنابراین استفاده از روش‌های نوین بالاخص استفاده از تکنیک جدید سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای جهت ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی به منظور شناسایی تغییرات زمانی و مکانی این پدیده اقلیمی و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب جهت مقابله و مدیریت آن بسیار ضروری می‌باشد. کاظم پور^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، حمزه^۲ و همکاران (۲۰۱۹) و سلیمانی^۳ و همکاران (۲۰۱۹).

جهت ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای در پایش خشکسالی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI)، شاخص وضعیت بارش (PCI)، شاخص سلامت گیاه (VHI)، شاخص ترکیبی اول (CI1)، شاخص ترکیبی دوم (CI2) و شاخص ترکیبی سوم (CI3) را از روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس استخراج و با شاخص بارش استاندارد (SPI) در سری زمانی ۳، ۶ و ۹ ماهه مقایسه نمودند. نتایج آنها نشان داد که شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) مطلوب‌ترین شاخص جهت پایش خشکسالی کشاورزی در طول فصل رشد در منطقه مورد مطالعه است. پایش خشکسالی کشاورزی را با شاخص‌های VCI و TCI و SPI در ماه‌های رشد گیاهی (مارس تا اوت) سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ در حوزه آبخیز کارون بزرگ ارزیابی کردند. بر اساس نتایج به دست آمده کلیه شاخص‌ها در قسمت‌های جنوبی حوزه آبخیز، خشکسالی شدید را نشان داد. همچنین از بین شاخص‌های کشاورزی منتج از ماهواره، شاخص VCI همبستگی بالایی با شاخص SPI داشت.

درویشی^۴ (۲۰۱۹) به ارزیابی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین جهت تحلیل دوره خشکسالی و ترسالی در حریم پوششی رودخانه کارون استان خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترآ پرداختند. شاخص‌های سنجش از دوری VHI, VCI, TCI و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) سه ماه MAY, JUN, APR انتخاب شد. نتایج این مطالعه نشان داد تصاویر MODIS و شاخص‌های ساخته شده دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی می‌باشد. (Darvishi et al, 2019)

آمالو^۵ (۲۰۱۷) مقایسه بین خشکسالی مبتنی بر سنجش از دور (VHI و VCI, TCI) را در جاوه شرقی در سال ۲۰۱۵ انجام دادند. TCI در فصل خشک یا ماه‌هایی که دمای بالا رخ می‌دهد،

خشکسالی را با حساسیت شناسایی می‌کند. در حالی که VCI خشکسالی را در فصل مرطوب (دسامبر-ژانویه-فوریه تا می) نیز حساس‌تر از TCI و VHI تشخیص داد. (Amalo et al, 2017)

ژائو^۵ (۲۰۲۱) به پایش خشکسالی در حوضه رودخانه زرد از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ پرداختند. چهار شاخص خشکسالی (TCI, VCI, VHI, TVDI) نشان دهنده الگوهای زمانی و مکانی یکسان در سراسر منطقه مورد مطالعه است. با این حال، در برخی از مناطق کوچک، الگوهای زمانی و مکانی خشکسالی متفاوت بود. (Zhao et al, 2021)

در این تحقیق، علاوه بر شاخص خشکسالی (VCI, TCI, VHI)، از شاخص خشکسالی (SPI)، استفاده گردید. به منظور پایش سطح خشکسالی گیاهی در ماه‌های رشد (مارس تا آگوست) در جنوب استان کرمان استفاده گردید. در این پژوهش، از بستر (GoogleEarth Engine)، GEE که یک بستر محاسباتی داده‌های مکانی مبتنی بر رایانش ابری است، برای محاسبه شاخص‌های VCI, TCI, VHI در جنوب استان کرمان و مقایسه نتایج حاصل از این شاخص‌ها در زمان و مکان استفاده خواهد شد.

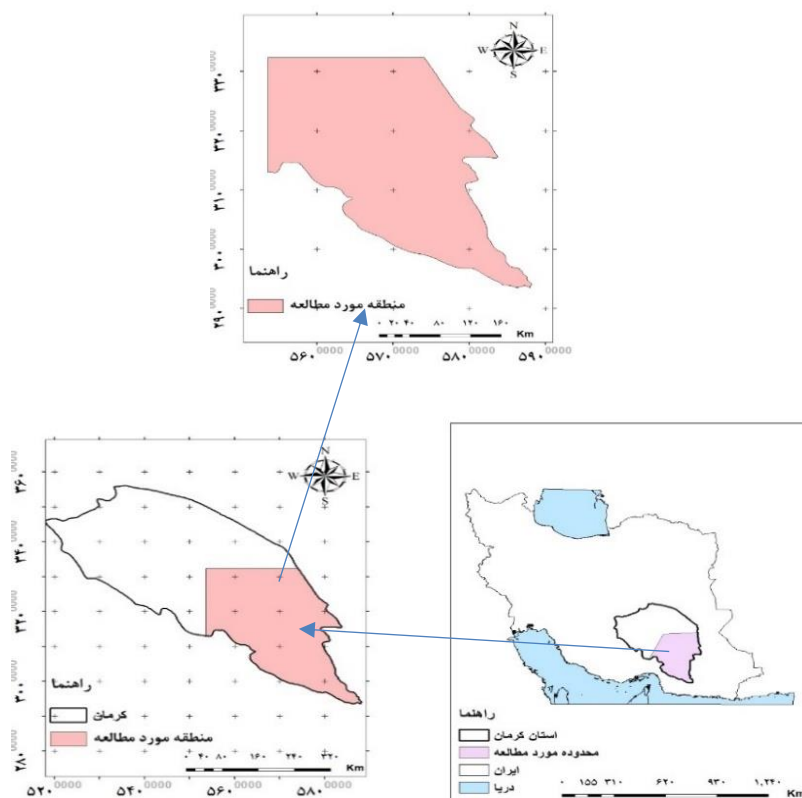
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنوب استان کرمان با مساحتی در حدود ۷۵۲۱۵ کیلومتر مربع در جنوب غرب ایران بین طول جغرافیایی ۴۴۰۹۶۶ تا ۷۵۸۶۴۱ متر عرض جغرافیایی ۲۹۰۹۵۸۵ تا ۳۳۰۷۴۷۰ متر از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است، شکل (۱).

روش انجام تحقیق

در این تحقیق چهار شاخص خشکسالی (VCI, TCI, VHI)، در بازه زمانی ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) و در مقیاس مکانی در جنوب استان کرمان مورد محاسبه و بررسی قرار گرفتند. از آنجا که معمولاً شاخص‌های منتج از سنجش از دور بر اساس وضعیت پوشش گیاهی، اطلاعاتی را در مورد وضعیت خشکسالی در یک منطقه ارائه می‌دهند، ارزیابی عملکرد آن‌ها در طول فصل رشد انجام می‌شود. به همین دلیل این شاخص‌ها در دسته شاخص‌های خشکسالی کشاورزی طبقه بندی می‌شوند. برای استخراج شاخص‌های ماهواره‌ای (VCI, VHI, TCI) تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر، در ماه‌های مارس تا آگوست یعنی ماه‌های رشد، تهیه شد. نیز همین ماه‌ها را به‌عنوان دوره رشد در حوزه آبخیز کارون بزرگ در نظر گرفتند. جهانگیر و مشیدی^۶ (۲۰۱۹)



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (جنوب استان کرمان)

جدول ۱. طبقات مختلف شاخص SPI

مقادیر SPI	توصیف وضعیت
> ۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا - ۰/۹۹	تقریباً نرمال
تا - ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
- ۱/۵ تا - ۱/۹۹	خشکسالی شدید
< - ۲	خشکسالی بسیار شدید

(McKee and colleagues, 1999)

۲- شاخص NDVI

شاخص NDVI با استفاده از معادله (۷) به دست می آید:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (7)$$

R: باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک می باشد. مقادیر محدودی این شاخص بین +۱ و -۱ است. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی می باشد. مقادیر پایین آن مربوط به خاک، آب و ابر است. این شاخص معیاری برای پوشش گیاهی سالم و سبز است. محدوده رایج برای پوشش گیاهی سبز ۰/۲ تا ۰/۸ است.

Russian et al (1973) ^۹.

۱- شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)، یک شاخص بی بعد است که توسط مک کی^۷ و همکاران (۱۹۹۳) به منظور تعریف و پایش خشکسالی توسعه داده شد. ویژگی SPI این امکان را به تحلیل گر می دهد تا پدیده نادر خشکسالی و همچنین ترسالی را در یک مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه ای از دنیا تعیین نماید.

SPI صرفاً از داده های ماهانه بارندگی استفاده می نماید. اصولاً SPI برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس های زمانی چندگانه طراحی شده است. این مقیاس های زمانی منعکس کننده اثرات ویژه خشکسالی روی قابلیت دسترسی به منابع آب مختلف می باشند. شرایط رطوبتی خاک نسبت به ناهنجاری های نسبتاً کوتاه مدت بارندگی واکنش نشان می دهد در حالی که آب های زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره مخزن تحت تأثیر ناهنجاری های درازمدت بارندگی قرار می گیرند. به این دلایل، مک کی و همکاران (۱۹۹۳) ابتدا از این شاخص برای مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نمودند. در واقع SPI، یک متغیر استاندارد شده می باشد که مقدار انحرافات بالاتر یا پایین تر از میانگین را نشان می دهد. جدول (۱) طبقات مختلف SPI را نشان می دهد. مک کی^۷ و همکاران (۱۹۹۳)، ادوارز^۸ و مک کی (۱۹۹۷)

۳- شاخص VCI

با یکدیگر استفاده شوند، ابزاری مناسب برای ارزیابی میزان محصول فراهم می‌شود. این شاخص نیز توسط کوگان در ۲۰۰۱ بیان شد.

$$VHI = aVCI + bTCI \quad (11)$$

که a یک نسبتی از VCI و TCI در VHI است. در شاخص VHI اگر دیگر شرایط، نزدیک نرمال باشند، پوشش گیاهی در طول شکل گیری تاج پوشش (ظهور برگ) به رطوبت و در دوره گلدهی به دما حساسیت دارد. از آن جایی که سهم رطوبت و دما در طی چرخه گیاهی به طور عادی نامشخص است، سهم VCI و TCI در شاخص VHI برابر نظر گرفته می‌شود، طبقه بندی خشکسالی این شاخص با شاخص VCI همانند است (جدول ۲). Kogan (2001).^{۱۱}

نتایج

۱- روند تغییرات زمانی خشکسالی با استفاده از شاخص VHI و VCI, TCI, SPI

به منظور بررسی خشکسالی اقلیمی، مشخص کردن دوره های ترسالی و خشکسالی در دوره آماری (۱۹۹۸-۲۰۲۲) در منطقه مورد مطالعه از بارش استاندارد SPI استفاده شد. این شاخص در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای ۲۴ ایستگاه‌های باران سنجی و سینوپتیک منتخب در منطقه مطالعاتی محاسبه شد. شکل (۲) روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که روند منحنی در بعضی سال‌ها کاهشی و در بعضی سال‌ها افزایشی و در اغلب سال‌ها تقریباً نرمال بوده است. نوسانات خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت در مقایسه با بازه‌های زمانی بلندمدت بیشتر است، اما تداوم کمی دارند. به همین دلیل در بازه زمانی کوتاه مدت، تعداد وقوع خشکسالی در ماه بیشتر از سایر بازه‌های زمانی است. در اشکال زیر مشخص است که در مقیاس‌های کوتاه مدت زمانی، مقادیر SPI با وقایع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها به کرات به بالا و پائین صفر حرکت می‌کنند. از این‌رو تعداد وقایع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها زیاد و یا بعبارتی فراوانی پریودهای خشکسالی و ترسالی زیاد ولی طول‌مدت آنها کم می‌باشد. با افزایش طول‌مدت مقیاس زمانی، پریودهای با مقادیر منفی و مثبت، از نظر تعداد یا فراوانی کاهش ولی از نظر تداوم یا طول مدت خشکسالی یا ترسالی افزایش می‌یابند. این مورد را می‌توان اینگونه توجیه کرد که در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت مجموع مقادیر بارش نسبت به مقیاس‌های زمانی بلند مدت کم می‌باشند. بطور مثال در مقیاس ۳ ماهه، بارندگی ۳ ماه قبل با هم جمع می‌شوند ولی در مقیاس ۱۲ ماهه بارندگی ۱۲ ماهه قبل با هم جمع زده می‌شوند، از این‌رو تغییر اندک بارش در ماه بعد

شاخص VCI، تغییر و تحول بارش را بهتر از NDVI بویژه در نواحی غیر همگن نشان می‌دهد. جدول (۱) طبقه بندی خشکسالی با شاخص VCI را نشان می‌دهد. این شاخص بصورت زیر می‌باشد:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100 \quad (8)$$

VCI تنها پوشش زمین و تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، بلکه اثر آب و هوا روش پوشش گیاهی را تعیین می‌کند. شاخص VCI امکان مقایسه اثر آب و هوا در نواحی با منابع اقتصادی و اکولوژیکی مختلف را فراهم می‌کند (Unganai and Kogan, 1998).^{۱۱}

جدول ۲. طبقه بندی خشکسالی با شاخص VCI (Bhuiyan et al (2006)

VCI	وضعیت
<۱۰	خشکسالی بسیار شدید
۱۰-۲۰	خشکسالی شدید
۲۰-۳۰	خشکسالی متوسط
۳۰-۴۰	خشکسالی خفیف
>۴۰	غیر خشکسالی

۴- شاخص وضعیت دما TCI

شاخص TCI را نیز کوگان در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد کرد و الگوریتم محاسباتی آن شبیه شاخص VCI است، ولی معادله آن برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است.
$$TCI = \frac{T_{max} - T_i}{T_{max} - T_{min}} * 100 \quad (9)$$
 که T_{max} و T_{min} مقادیر کمینه و بیشینه دمای کل دوره زمانی مورد مطالعه است. فراهانی (۱۳۹۴).

برای برآورد دمای سطح زمین از روش زیر استفاده شد:

$$LST = \frac{TB}{1 + \left(\frac{\lambda * TB}{\rho}\right) Lne} \quad (10)$$

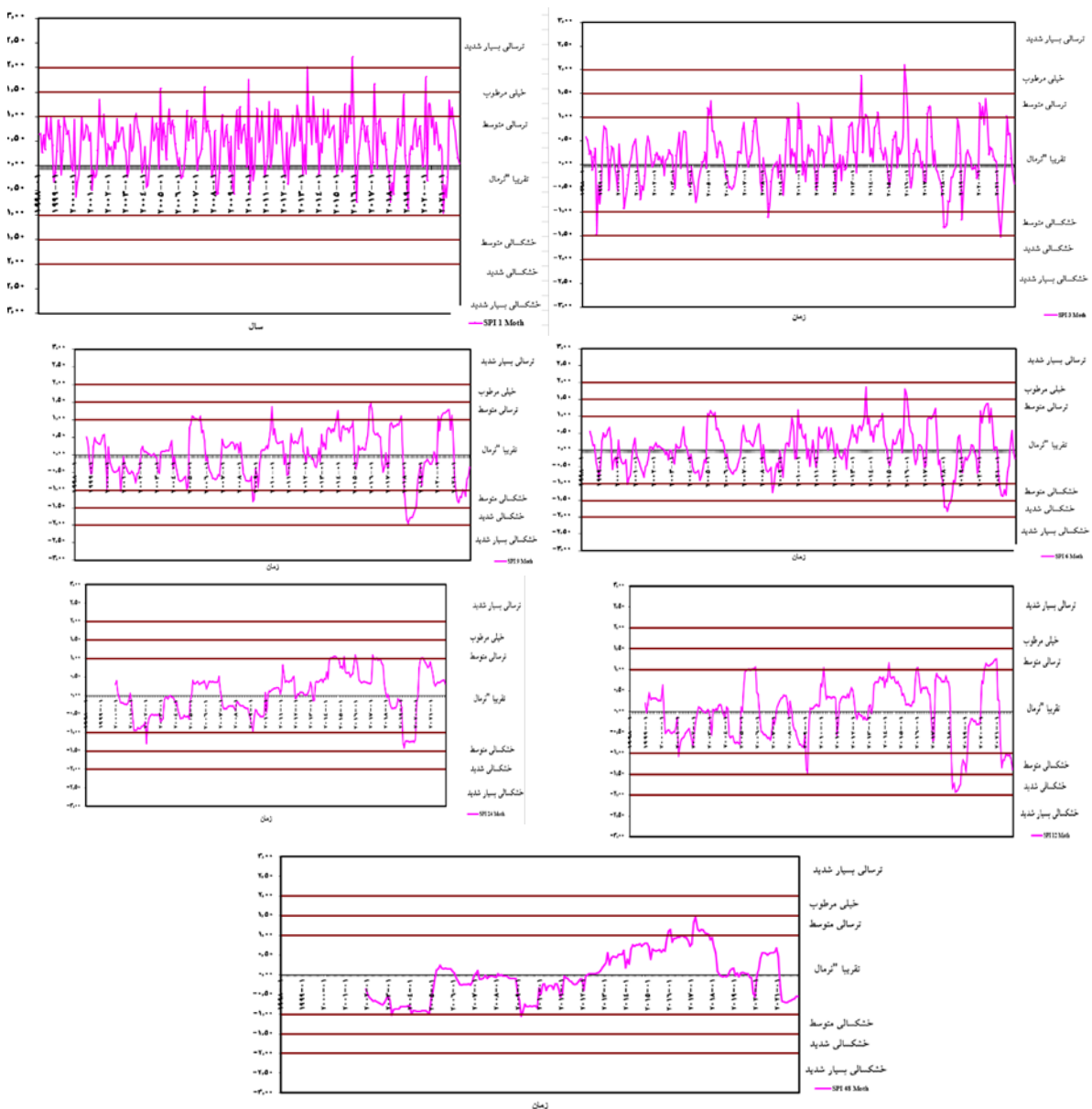
در رابطه فوق TB دمای درخشندگی، λ طول موج رادیانس ساطع شده، Lne لگاریتم طبیعی گسیلمندی و ρ برابر با ۰.۲-^۸ می‌باشد. طبقه بندی خشکسالی این شاخص با شاخص VCI همانند است (جدول ۲).

۵- شاخص سلامت گیاه VHI

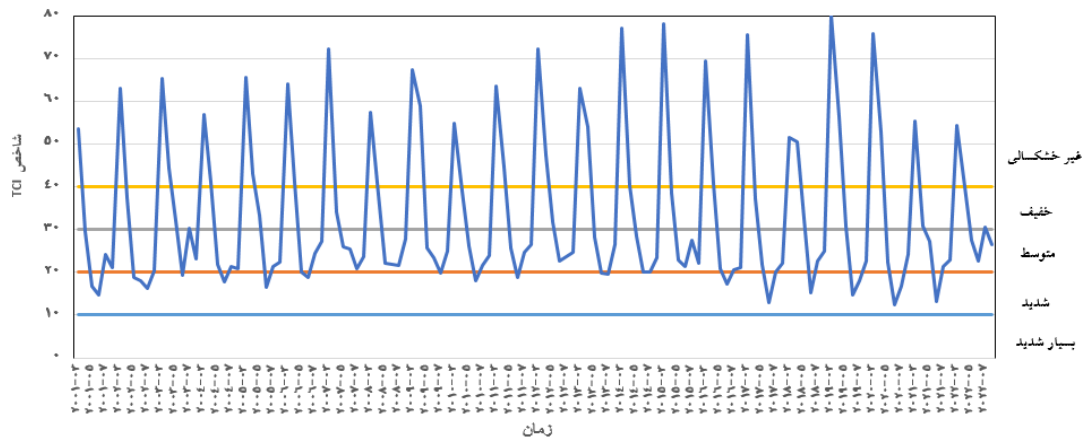
شاخص TCI و VCI به ترتیب شرایط دمایی و رطوبتی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. شاخص TCI مکملی مناسب برای VCI به منظور پایش خشکسالی است. هنگامی که این دو شاخص

ترسالی شناخته شد. سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ نیز خشکسال‌ترین سال‌ها تشخیص داده شد (شکل ۴). روند تغییرات زمانی شاخص TCI نشان داد که در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۹ و ۲۰۰۳ بالاترین سال‌های ترسالی شناخته شد. سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۲۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ نیز خشکسال‌ترین سال‌ها تشخیص داده شد (شکل ۳). روند تغییرات زمانی شاخص VHI نیز همانند شاخص VCI نشان داد که در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ بالاترین سال‌های ترسالی شناخته شد. سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ نیز خشکسال‌ترین سال‌ها تشخیص داده شد (شکل ۵).

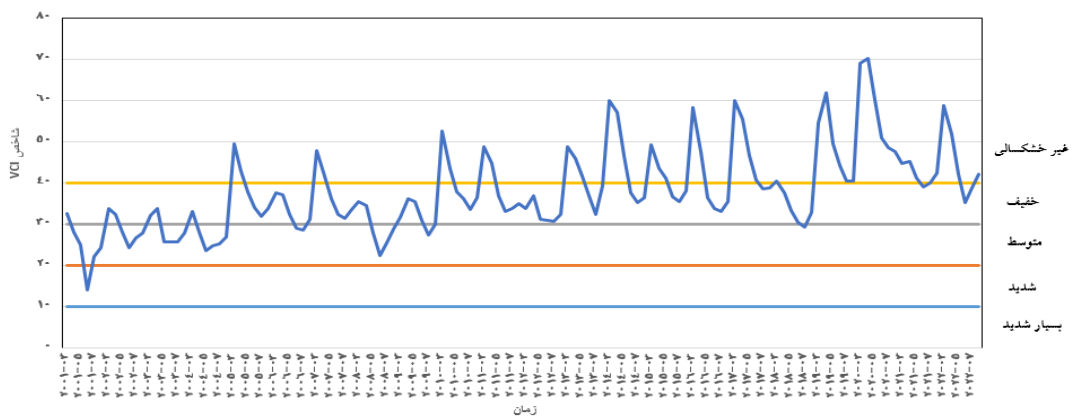
تأثیر شدیدی روی مقادیر مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت خواهد گذاشت و ممکن است بطور ناگهانی از یک خشکسالی شدید به ترسالی متوسط یا شدید برسیم. اما در مقیاس‌های بزرگ مقادیر بارش بزرگتری لازم است تا وضعیت ترسالی و خشکسالی تغییر یابد که این امر می‌تواند با یک بارش بسیار بزرگ و یا افزایش یا کاهش تدریجی بارش در هر ماه صورت گیرد. در این تحقیق ماه‌های دوره رشد از اول مارس تا آخر آگوست برای آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت، از این تاریخ به‌عنوان مبنا برای پهنه بندی شاخص SPI مورد استفاده قرار گرفت. روند تغییرات زمانی شاخص VCI نشان داد که در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ بالاترین سال‌های



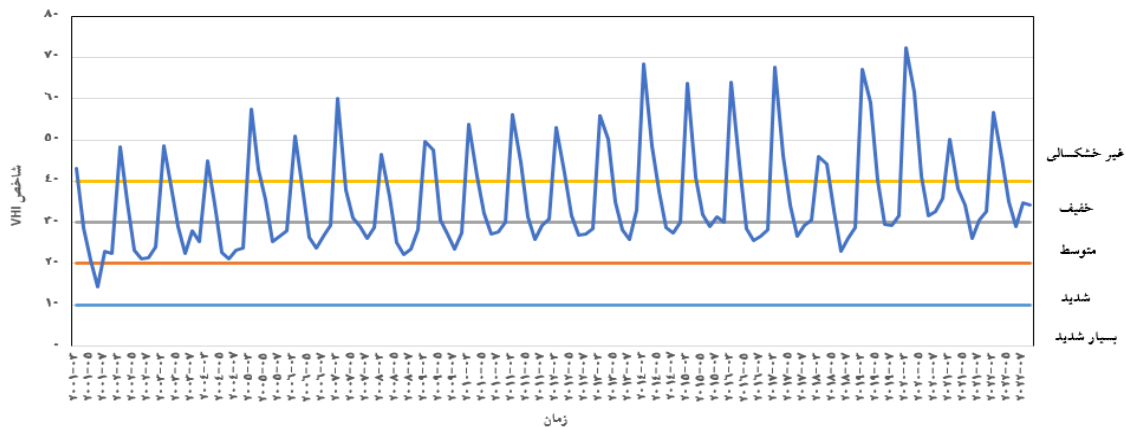
شکل ۲. روند تغییرات ماهانه مقادیر شاخص SPI در کل منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. روند تغییرات ماهانه مقادیر شاخص TCI در دوره رشد در کل منطقه مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)



شکل ۴. روند تغییرات ماهانه مقادیر شاخص VCI در دوره رشد در کل منطقه مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)



شکل ۵. روند تغییرات ماهانه مقادیر شاخص VHI در دوره رشد در کل منطقه مورد مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

۲- روند تغییرات مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص های سنجش از دور

تغییرات مکانی سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در جنوب استان کرمان را با استفاده از ۲۴ ایستگاه باران سنجی و سینوپتیک با روش زمین آماری کریجینگ معمولی برای دوره رشد از مارس تا آگوست در نظر گرفته شد را نشان می‌دهد.

پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی سال ۲۰۰۱ با شاخص SPI در دوره رشد (۱/۶- تا ۰/۸۲) نشان داد که جنوب و جنوب شرقی دارای خشکسالی شدید و متوسط می‌باشد و به سمت شمال و شمال غرب از میزان خشکسالی کاسته و به شرایط تقریباً نرمال می‌رسد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۲ (۱- تا ۰/۹۵) نشان داد که کل منطقه دارای شرایط نرمال می‌باشد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۳ (۰/۸- تا

ترسالی متوسط و خیلی مرطوب می‌باشد و مابقی مناطق در حالت نرمال می‌باشد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۶ (۱/۳- تا ۱/۲) نشان داد که قسمت‌های جنوب منطقه مورد مطالعه دارای حالت خشکسالی متوسط می‌باشد و قسمت‌های شمال و شمال شرقی دارای ترسالی متوسط است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۷ (۱/۶- تا ۱/۴) نشان داد که عمده مناطق در حالت نرمال به سر می‌برد و بصورت لکه‌ای دارای ترسالی متوسط می‌باشد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۸ (۱/۹- تا ۱/۳) نشان داد که قسمت‌هایی از غرب و مرکز دارای حالت خشکسالی متوسط می‌باشد و مابقی در حالت نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۹ (۱/۸- تا ۲/۱) نشان داد که قسمت‌هایی از مرکز و جنوب غربی دارای حالت خیلی مرطوب و ترسالی بسیار شدید می‌باشد و عمده مناطق در حالت نرمال به سر می‌برد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۲۰ (۱- تا ۲/۳) نشان داد که عمده منطقه در حالت نرمال می‌باشد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۲۱ (۱/۴- تا ۱/۳) نشان داد که عمده جنوب منطقه در حالت ترسالی متوسط و شمال شرقی در حالت خشکسالی متوسط به سر می‌برد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۲۲ (۱/۴- تا ۰/۶۸) نشان داد که قسمت عمده منطقه در شرایط نرمال می‌باشد.

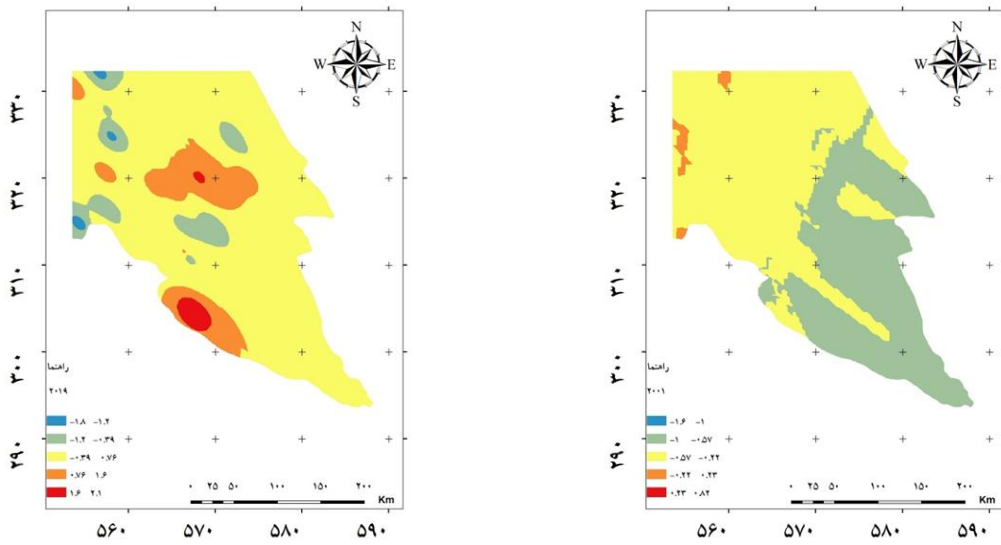
تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص VCI در منطقه مورد مطالعه در دوره رشد (۲۰۲۲-۲۰۰۱) نشان داد که سطح وسیعی از منطقه در طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ دارای خشکسالی شدید و بسیار شدید می‌باشد و سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ بالاترین میزان سبزی‌نگی و ترسالی را در طی دوره آماری دارد. که سال ۲۰۲۰ تقریباً تمام سطح منطقه در حالت ترسالی می‌باشد (شکل ۷).

تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص TCI در منطقه مورد مطالعه در دوره رشد (۲۰۲۲-۲۰۰۱) در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۲۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ عمده سطح منطقه درگیر خشکسالی می‌باشد و در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۹ و ۲۰۰۳ بیشترین میزان ترسالی تشخیص داده شد (شکل ۸).

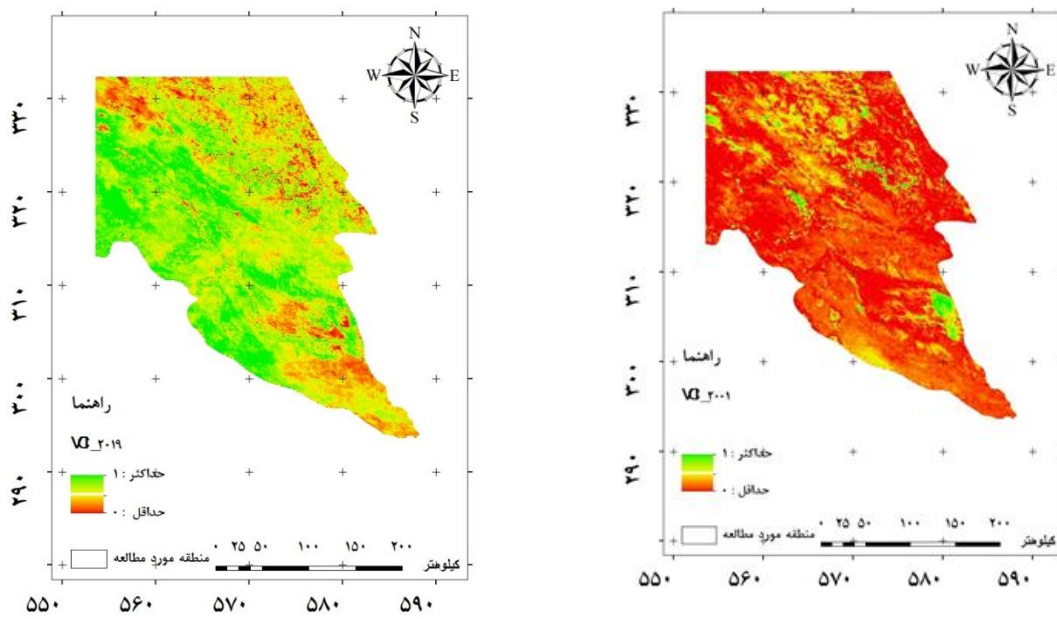
تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص VHI در منطقه مورد مطالعه در دوره رشد (۲۰۲۲-۲۰۰۱) نشان داد که عمده سطح منطقه در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ درگیر خشکسالی شدید و بسیار شدید می‌باشد و سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ عمده سطح منطقه سبزی‌نگی بالا دارد و منطقه در حالت ترسالی می‌باشد (شکل ۹).

۲/۹) نشان داد که از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی از شرایط نرمال به سمت شرایط ترسالی بسیار شدید پیش می‌رود. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۴ (۱/۶- تا ۱/۴) نشان داد که بجز لکه‌هایی در مناطق مرکزی، که دارای شرایط خشکسالی شدید و متوسط می‌باشد، بقیه منطقه مورد مطالعه دارای شرایط نرمال می‌باشد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۵ (۰/۹۹- تا ۱/۸) نشان داد که بجز قسمت‌های مرکزی و شمال غربی که دارای شرایط ترسالی متوسط و خیلی مرطوب می‌باشد، مابقی مناطق دارای شرایط نرمال می‌باشد.

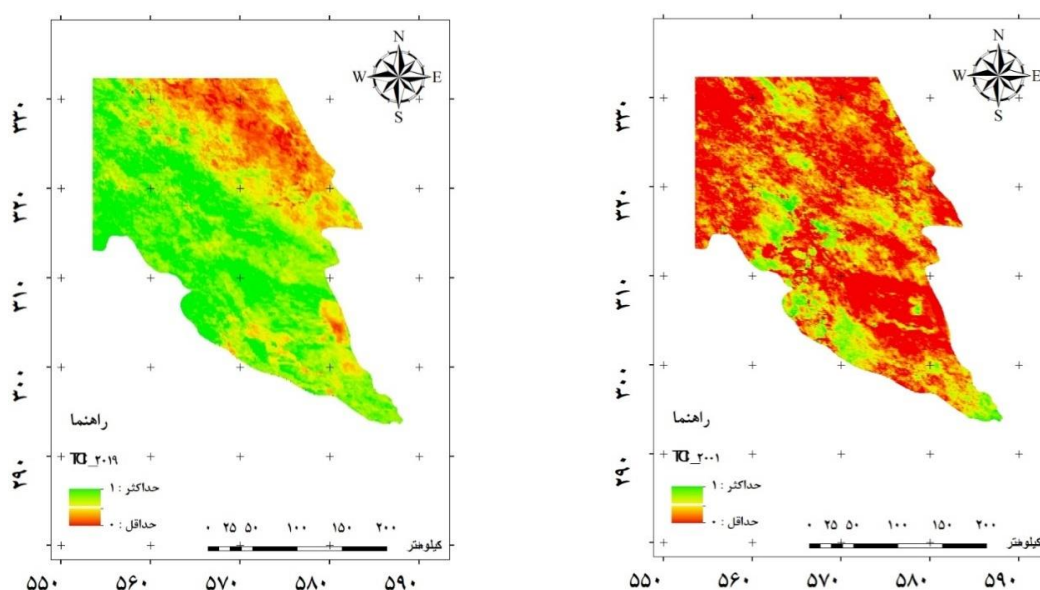
شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۶ (۱/۴- تا ۰/۶۵) نشان داد که قسمت‌های مرکزی و غرب دارای خشکسالی متوسط و مابقی در حال نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۷ (۰/۷۳- تا ۲/۱) نشان داد که بجز در قسمت مرکزی منطقه که دارای شرایط ترسالی بسیار شدید و خیلی مرطوب می‌باشد، مابقی در حال نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۸ (۲/۱- تا ۰/۹۱) نشان داد که قسمت‌های شمال منطقه دارای شرایط خشکسالی شدید و بسیار شدید می‌باشد و مابقی در حال نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۰۹ (۱/۲- تا ۲/۱) نشان داد که قسمت شمالی منطقه بصورت جزئی دارای شرایط ترسالی بسیار شدید بوده و عمده سایر مناطق دارای شرایط نرمال می‌باشد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۰ (۱/۵- تا ۰/۳۲) نشان داد که قسمت شمال شرقی منطقه دارای شرایط خشکسالی شدید و متوسط می‌باشد و مابقی مناطق دارای شرایط نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۱ (۱/۴- تا ۱/۹) نشان داد که عمده منطقه در شرایط نرمال به سر می‌برد و فقط قسمت‌های کوچکی بصورت پراکنده در حالت خشکسالی متوسط و خیلی مرطوب است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۲ (۱/۳- تا ۰/۸۹) نشان داد که قسمت‌هایی در شمال شرقی و شمال غربی و جنوب غرب دارای حالت خشکسالی متوسط بوده و مابقی شرایط نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۳ (۰/۱۷- تا ۱/۹) نشان داد که قسمت‌های شمال شرقی دارای شرایط ترسال متوسط تا خیلی مرطوب بوده و سایر مناطق در حالت نرمال به سر می‌برد. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۴ (۰/۱۶- تا ۲/۳) نشان داد که عمده مناطق شرقی دارای حالت ترسالی متوسط، خیلی مرطوب و ترسالی بسیار شدید می‌باشد و مابقی در حالت نرمال است. شاخص SPI در دوره رشد در سال ۲۰۱۵ (۰/۳۷- تا ۱/۶) نشان داد که قسمت شمال شرقی و محدوده کمی از غرب در حالت



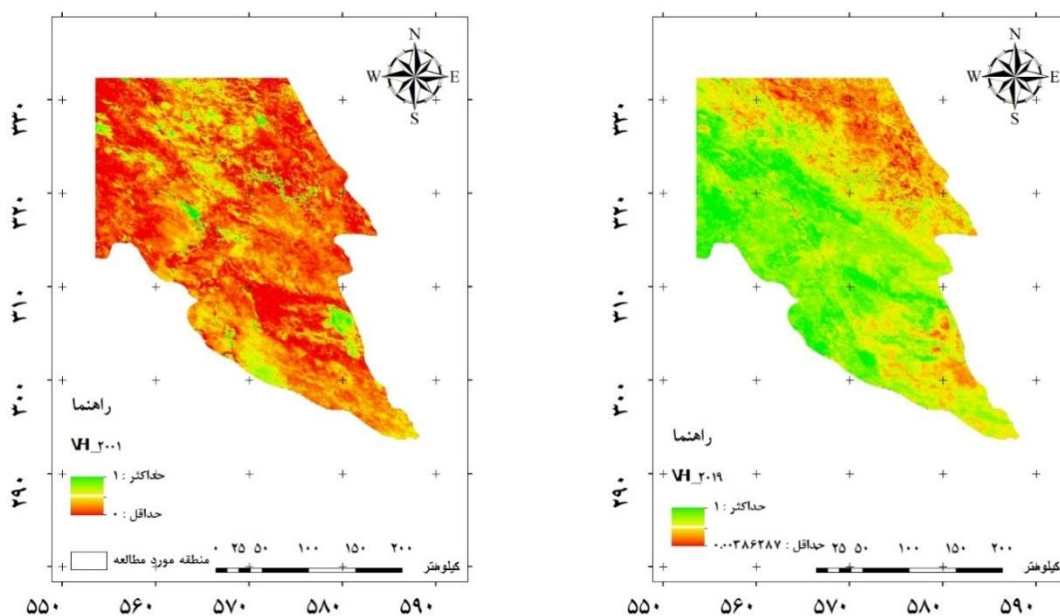
شکل ۶. تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص SPI در دوره رشد در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص VCI در دوره رشد در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص TCI در دوره رشد در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹. تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص VHI در دوره رشد در منطقه مورد مطالعه

بازمان‌های تاخیر یک، سه، شش، نه، دوازده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه مورد بررسی قرار گرفت. همانگونه که جدول (۳) نشان می‌دهد شاخص VCI همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص SPI در سری‌های زمانی مختلف دارد. شاخص TCI همبستگی معنی‌دار با هیچ یک از سری‌های زمانی بجز یک ماهه ندارد، شعبانی (۲۰۲۲) در شهرستان نیریز و مرادی (۲۰۲۳) در استان هرمزگان نیز همین نتیجه را بدست آوردند. شاخص VHI بجز با یک ماهه و سه ماهه همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد با سایر سری‌های زمانی دارد.

۳- بررسی همبستگی SPI، TCI، VCI و VHI

نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPI در سری‌های زمانی مختلف بر اساس متوسط داده‌های ایستگاه‌های موجود و داده‌های سنجش از دور بر اساس مقایسه ماهانه در دوره آماری (۲۰۲۲-۲۰۰۱) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور مقادیر حاصل از تمامی شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای شامل (VCI، VHI، TCI) استخراج و اقدام به مقایسه و بررسی ضریب همبستگی آن‌ها با شاخص زمینی SPI در سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ گردید. این نتایج در جدول (۳) آورده شده است. به عبارت دیگر، پاسخ شرایط پوشش گیاهی منطقه به بارندگی

جدول ۳. ضریب همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی و SPI در سری‌های زمانی مختلف در طی دوره رشد (۲۰۰۱-۲۰۲۲)

		VCI	TCI	VHI
SPI 1 Moth	R	۰/۲۷**	-۰/۳۹**	-۰/۱۷
	Sig.	۰۰	۰	۰/۰۵
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
SPI 3 Moth	r	۰/۲۷**	-۰/۱۱	۰/۰۸
	Sig.	۰	۰/۲	۰/۳۶
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
SPI 6 Moth	r	۰/۳۲**	۰/۰۳۷	۰/۲۵**
	Sig.	۰	۰/۶۸	۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
SPI 9 Moth	r	۰/۳۶**	۰/۰۴	۰/۲۶**
	Sig.	۰	۰/۶۵	۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
SPI 12 Moth	r	۰/۳۵**	۰/۰۳	۰/۲۵**
	Sig.	۰	۰/۷۲	۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
SPI 24 Moth	r	۰/۳۲**	۰/۰۳	۰/۲۵**
	Sig.	۰	۰/۷۲	۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
SPI 48 Moth	r	۰/۳۲**	۰/۰۳	۰/۲۳**
	Sig.	۰	۰/۷	۰/۰۱
	N	۱۲۶	۱۲۶	۱۲۶
VCI	r	۱	-۰/۱۴	۰/۵۲**
	Sig.		۰/۱۱	۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
TCI	r	-۰/۱۳	۱	۰/۷۷**
	Sig.	۰/۱۱		۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
VHI	r	۰/۵۲**	۰/۷۷**	۱
	Sig.	۰	۰	
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲
AOD	r	۰/۰۳	-۰/۲۷**	-۰/۲۲*
	Sig.	۰/۷۹	۰/۰۱	۰/۰۳
	N	۱۰۱	۱۰۱	۱۰۱
CHIRPS	r	-۰/۱۶	۰/۸۳**	۰/۶۳**
	Sig.	۰/۰۷	۰	۰
	N	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱
SoilMoisture	r	-۰/۰۱	۰/۸۵**	۰/۷۳**
	Sig.	۰/۹۲	۰	۰
	N	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲

R: ضریب همبستگی:

N: تعداد داده:

Sig: سطح معنی داری:

بحث و نتیجه گیری

و ۲۰۰۸ درگیر خشکسالی شدید و بسیار شدید می باشد و سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ عمده سطح منطقه سبزیگی بالا دارد و منطقه در حالت ترسالی می باشد. همانگونه که ملاحظه می گردد الگوهای زمانی و مکانی تقریباً یکسانی توسط شاخص‌های مورد نظر بدست آمد و در برخی از مناطق کوچک، الگوهای زمانی و مکانی خشکسالی متفاوت بود. که با نتایج تحقیق ژائو^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۱) در حوضه رودخانه زرد مطابقت دارد. نتایج حاصل از شاخص همبستگی نشان داد که شاخص VCI همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص SPI در سری‌های زمانی مختلف دارد. شاخص TCI همبستگی معنی‌دار با هیچ یک از سری‌های زمانی بجز یک ماهه ندارد، شعبانی (۱۴۰۱) در شهرستان نیریز و مرادی (۱۴۰۲) در استان هرمزگان نیز همین نتیجه را بدست آوردند. شاخص VHI بجز با یک ماهه و سه ماهه همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد با سایر سری‌های زمانی دارد. نتایج جهانگیر و مشیدی (۲۰۲۰) در حوزه آبخیز کارون بزرگ، کاظم پور و همکاران (۲۰۱۹) و در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه نیز نشان داد که شاخص VCI همبستگی بالایی با شاخص SPI دارد. همچنین نوایی و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که ضریب همبستگی بین نمایه VHI و SPI برابر ۰/۸۶ بدست آمد که نشان دهنده تطابق این شاخص با شاخص هواشناسی SPI می‌باشد. بنابر نتایج به دست آمده میتوان گفت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور میتواند مسیر هموارتری را جهت انجام پروژه‌ها فراهم کند. این داده‌ها با دارا بودن اندازه گیری‌های اولیه و گاهاً دقیق و صحیح‌تر و دسترسی آسان‌تر، هزینه و زمان کمتری را نسبت به اندازه گیری‌های زمینی می‌طلبند. نتایج این مقاله مبنایی برای درک بهتر و ارزیابی شرایط خشکسالی در ایران را فراهم می‌کند و می‌تواند مدیریت منابع آب، تولید کشاورزی و حفاظت از محیط زیست را هدایت کند. پیشنهاد می‌گردد تا سایر شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری نیز مورد استفاده قرار گیرد و با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

در این تحقیق سه شاخص خشکسالی گیاهی VCI، TCI و VHI از روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس و مجموعه داده TerraClimate برای دوره زمانی (۲۰۲۲-۲۰۰۱) و شاخص هواشناسی SPI با استفاده از ۲۴ ایستگاه هواشناسی برای ماه‌های دوره رشد (از ابتدای ماه مارس تا انتهای ماه آگوست میلادی) مقایسه گردید. شاخص SPI نشان داد که روند منحنی در بعضی سال‌ها کاهشی و در بعضی سال‌ها افزایشی و در اغلب سال‌ها تقریباً نرمال بوده است. نوسانات خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت در مقایسه با بازه‌های زمانی بلندمدت بیشتر است، اما تداوم کمی دارند. به همین دلیل در بازه زمانی کوتاه مدت، تعداد وقوع خشکسالی در ماه بیشتر از سایر بازه‌های زمانی است. روند تغییرات زمانی شاخص VCI نشان داد که در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ بالاترین سال‌های ترسالی، سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ نیز خشکسال‌ترین سال‌ها، در شاخص TCI سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۹ و ۲۰۰۳ بالاترین سال‌های ترسالی، سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۲۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ نیز خشکسال‌ترین سال‌ها و شاخص VHI نیز همانند شاخص VCI نشان داد که در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ بالاترین سال‌های ترسالی و سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ نیز خشکسال‌ترین سال‌ها تشخیص داده شد. تغییرات مکانی شدت خشکسالی شاخص VCI نشان داد که سطح وسیعی از منطقه در طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ دارای خشکسالی شدید و بسیار شدید و سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ بالاترین میزان سبزیگی و ترسالی را در طی دوره آماری دارد. شاخص TCI در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۲۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ عمده سطح منطقه درگیر خشکسالی می‌باشد و در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۹ و ۲۰۰۳ بیشترین میزان ترسالی تشخیص داده شد. شاخص VHI نشان داد که عمده سطح منطقه در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۲

Reference:

- Jahangir, M., Mashidi, Z. (2019). Evaluation of agricultural drought monitoring based on remote sensing using standardized rainfall index in growing months (case study: Karun Bozor watershed), *Iran Irrigation and Drainage Journal*, Volume 14, Number 4. [In Persian].
- Darvishi, Y., Fadaian, M., Sarli, R. (2019). Climate change assessment focusing on the risk of drought using spatial technology to manage underground water resources (case study: Karun River's protected area), *Climate Change Research Journal*, series 1. 15–31. [In Persian].
- Nawabi, (1401). Evaluation of indicators based on remote sensing in drought monitoring of Niriz city, *Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*, 13(4), 131-147. [In Persian].
- Hakimeh Industrial Technology, (2018). Identification of dust centers in the south of Kerman province using satellite products, management of dry and desert areas, Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Farahani, Z. (2014). Temporal and spatial monitoring of drought using remote sensing data (case study of Central Province of Iran), M.A. thesis of Malayer University. [In Persian].
- Moradi, (1402). Drought monitoring in the area of Iran based on the DSI drought severity index in Google Earth Engine, master's thesis in watershed management, Hormozgan University. [In Persian].

- Nawabi, N., Moghdisi, M., Ganji Khorram, N. (1400). Evaluation of agricultural drought monitoring using different indicators based on ground data and remote sensing, case study: Lake Urmia watershed, Watershed Engineering and Management Quarterly, Volume 13, Number1. [In Persian].
- Amalo, L., F., Rahmat, H., Haris, (2017). Comparison between remote-sensing-based drought, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 54, The 3rd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite For Food Security and Environmental Monitoring 2016 25–26 October 2016, Bogor, Indonesia Citation Luisa Febrina Amalo et al 2017 IOP Conf. Ser.: *Earth Environ. Sci.* 54 012009
- Bhuiyan, C., Singh, R.P., Kogan, F.N. (2006). Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, 289–302.
- Hamzeh S, Farahani Z, Mahdavi S, Chatroboun 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].
- Kogan, F.N. (2001). Operational space technology for global vegetation assessment. *Bull. Am. Meteorol.* 82, 9.1949–1964.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1993), the Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, In Proc, 8th Conf, January 11-22 Climatology, *American Meteorological Society*, Massachusetts, 116-184.
- 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.
- Solaimani K, Darvishi Sh, Shokrian F. (2019). Analysis Of Agricultural Drought Using Remote Sensing Indices (Case Study: Marivan City). *journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science)*, 10(2):15- 33. [In Persian].
- Unganai, S. and F. Kogan. (1998). Drought Monitoring and Corn Yield Estimation in Southern Africa from AVHRR Data. *Remote Sensing of Environment*, 63, 219-232.
- Zhao X, Xia H, Pan L, Song H, Niu W, Wang R, Li R, Bian X, Guo Y, Qin Y, (2021). Drought Monitoring over Yellow River Basin from 2003–2019 Using Reconstructed MODIS Land Surface Temperature in Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 13(18):37-48.

یادداشت‌ها

¹Kazempour(2019)

²Hamze (2019)

³Darvishi et al (2019)

⁴Amalo et al (2017)

⁵Zhao et al (2021)

⁶Jahangir and Mashidi(2019)

⁷Mc keeand colleagues(1993)

⁸Edorarz and Mc kee(1997)

⁹Russian et al(1973)

¹⁰Unganai and Kogan (1998)

¹¹Bhuiyanet al(2006)

¹²Kogan (2001)

¹³Zhao(2021)