



Assessment of the impact of drought on the vegetation cover in Lorestan Province using advanced infrared images

Samad khosravi Yeganeh^a, Mustafa Karampour^{b*}, Behrouz Nasiri^b

^a Ph.D. student in climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

^b Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Received: 25 April 2023

Revised: 28 August 2023

Accepted: 13 September 2023

Abstract

The Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) is one of the key instruments on the National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) polar-orbiting satellite, Suomi NPP, which was successfully launched on October 28, 2011. VIIRS represents a new generation of moderate-resolution imaging capabilities, succeeding the AVHRR at NOAA and MODIS on the Terra and Aqua satellites. It provides operational environmental monitoring and supports numerical weather prediction through its 22 radiometric imaging bands, ranging from 0.41 to 12.5 micrometers.

To examine the impact of precipitation on vegetation cover in Lorestan Province, the monthly mean Standardized Precipitation Index (SPI) was calculated using rainfall data from seven meteorological stations in the province. Additionally, weekly-averaged infrared images from the Suomi NPP sensor over the period 2013 to 2021 (April 1 to the end of July) were analyzed to assess the state of vegetation cover.

The results indicated that the correlation between the SPI and the vegetation indices NDVI, VCI, TCI, and VHI were 0.037, 0.048, 0.174, and 0.150, respectively. Among these indices, the TCI index exhibited the highest correlation with SPI, making it a suitable method for combining remote sensing data with meteorological station data to monitor vegetation cover conditions in Lorestan Province.

The findings also revealed that vegetation experienced varying degrees of drought each year, with the most severe drought occurring in 2021 across most regions of the province, particularly in the central, southern, and northeastern areas. In contrast, drought conditions were less severe in 2013, 2015, and 2018, while vegetation cover showed better conditions in 2016, 2018, 2019, and 2020.

Keywords: Remote Sensing, Drought Monitoring, Vegetation Indices, Standardized Precipitation Index (SPI), VIIRS Satellite Data, Lorestan province.

*.Corresponding author Mustafa Karampour Email: karampour.m@lu.ac.ir Tel:+989163618907

How to cite this Article: khosravi Yagane, S., & karampour, M, Nasiric, B. (2024). Evaluation of the effect of drought on the vegetation of Lorestan province using advanced infrared images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 247-279.





ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی استان لرستان با استفاده از تصاویر پیشرفته مادون قرمز

صمد خسروی یگانه-دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

مصطفی کرم پور^۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

بهرز نصیری-دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۲

چکیده

مجموعه رادیومتر تصویربرداری مادون قرمز مرئی (VIIRS) یکی از ابزارهای کلیدی روی فضاپیمای سازمان ملی امریکا در مدار قطبی (Suomi NPP) است که با موفقیت در ۲۸ اکتبر ۲۰۱۱ پرتاب شد که نسل جدیدی از قابلیت‌های تصویربرداری با وضوح متوسط عملیاتی پس از AVHRR در NOAA، MODIS در ماهواره‌های Terra و Aqua را امکان‌پذیر می‌کند. VIIRS نظارت عملیاتی محیطی و پیش‌بینی عددی آب و هوا با ۲۲ باند تصویربرداری رادیومتریک با طول موج‌های ۰/۴۱ تا ۱۲/۵ میکرومتر را پوشش می‌دهند. به منظور آشکارسازی تأثیر بارش بر پوشش گیاهی استان لرستان، میانگین ماهانه شاخص استاندارد بارش SPI با استفاده از داده‌های بارش ۷ ایستگاه هواشناسی استان محاسبه شد. سپس با استفاده از تصاویر مادون قرمز به صورت میانگین هفتگی در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۳ (اول آوریل تا پایان ژولای) اخذ شده از سنجنده Suomi NPP به بررسی وضعیت پوشش گیاهی پرداخته شد. نتایج نشان داد میزان همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص VCI، TCI و VHI به ترتیب ۰/۰۳۷، ۰/۰۴۸، ۰/۱۷۴ و ۰/۱۵۰ است. شاخص TCI همبستگی بیشتری با شاخص SPI داشته و به عنوان یک روش ترکیبی از سنجش از دور و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی برای بررسی شرایط پوشش گیاهی در استان لرستان مناسب است. پوشش گیاهی همه ساله با درجات مختلفی از خشکسالی روبه‌رو بوده و شدیدترین خشکسالی پوشش گیاهی در ۲۰۲۱ در بیشتر مناطق استان به ویژه قسمت‌های مرکزی، جنوبی و شمال شرقی استان رخ داده است. در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ خشکسالی پوشش گیاهی با شدت کمتری رخ داده و در ۲۰۱۸، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ پوشش گیاهی در شرایط مطلوب‌تری قرار داشته است.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، پایش خشکسالی، شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص بارش استاندارد شده، داده‌های ماهواره‌ای VIIRS، استان لرستان.

۱- مقدمه

خشکسالی را به‌عنوان یک پدیده، می‌توان بخشی از اقلیم هر منطقه از سطح کره‌ی زمین، محسوب کرد. این پدیده به‌کندی شروع شده و دارای ماهیتی پنهانی است. در مواقعی که مدت‌زمان وقوع آن طولانی می‌شود، خسارت‌های ناشی از آن نیز در بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره به‌تدریج ظاهر می‌شود. خسارات و آثار ناشی از این پدیده در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی مانند سیل، زمین‌لرزه بسیار زیاد و فراگیرتر است. به‌منظور مدیریت خشکسالی، کسب اطلاعات از دوره‌ی زمانی قبل از وقوع، هنگام وقوع و پس‌از آن اهمیت زیادی دارد. در دهه‌های گذشته مطالعات بسیاری برای بررسی و پایش خشکسالی صورت گرفته و از روش‌های مختلف خصوصاً روش‌های آماری، جهت بررسی آن استفاده شده است؛ اما بسیاری از این مطالعات دقت لازم را نداشته و هر یک از این روش‌ها مشکلات خاص خود را دارند. برای تحلیل خشکسالی وجود یک شاخص جهت تعیین دقیق دوره‌های تر و خشک بسیار ضروری است. شاخص‌های پوشش گیاهی توسط بسیاری از دانشمندان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای نقشه‌برداری زمین‌های کشاورزی، بررسی بارش، تخمین اثرات آب‌وهوایی، محاسبه میزان بیوماس، بازدهی محصول و فراوری چراگاه، شرایط خشکسالی و تعیین مقدار توان گیاهان مطرح شده است (Dabrowska-Zielinska, Kogan, Ciolkosz, Gruszczynska & Kowalik, 2002). یکی از مؤثرترین شاخص‌ها، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI است (Jensen, 1996). زمانی که خشکسالی هم‌زمان با فصل رشد است، موجب عدم تعادل زیست‌محیطی خواهد شد که پارامترهای بیولوژیک مانند پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ghulam, Li, Qin & Tong, 2007). خشکسالی‌ها همواره به چهار دسته هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی و اقتصادی طبقه‌بندی می‌شوند (Wilhite & Glantz, 1985). محققان روش‌های مختلفی برای ارزیابی و تشخیص شدت خشکسالی‌ها ارائه داده‌اند. برخی شاخص‌های بالم و مولی (BMDI)، شاخص بارش استاندارد شده

(SPI) و شاخص ناهنجاری بارش (RAI) تنها بر اساس داده‌های هواشناسی پایه‌گذاری شده است (Bhalme, 1965; Reddy, Mooley & Ramana Murty, 1981; McKee, Doesken & Kleist, 1993; Van-Rooy, 1965).

اساس بسیاری از شاخص‌های خشکسالی کشاورزی همچون شاخص رطوبت محصول (CMI) و شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI) همچنین استفاده از داده‌های رطوبت خاک و تبخیر و تعرق است (Narasimhan & Srinivasan, 2005 Palmer, 1965). درحالی‌که شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی همچون شدت خشکسالی پالمر (PDSI) براساس مدل تعادل آبی طراحی شده‌اند (Shafer & Dezman, 1982; Weghorst, 1996). در چند دهه اخیر نیز با پیشرفت‌هایی که در تولیدات سنجش‌ازدور ماهواره‌ای حاصل شده است، مطالعات زیادی با استفاده از این تولیدات برای ارزیابی اثرات خشکسالی انجام شده است (Ghulam et al., 2007; Peters, 2002; Tadesse, Brown & Hayes, 2005; Wan, Wang & Li, 2004).

بین بازتاب موج کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) و محتوای آب رابطه منفی وجود دارد که علت آن مربوط به ناحیه جذب می‌باشد (Hunt Jr & Rock, 1989; Tucker & Sellers, 1986) و بین مادون‌قرمز نزدیک و میزان آب درون برگ رابطه عکس وجود دارد (Ceccato, Flasse, Tarantola, Jacquemoud & Grégoire, 2001; Gao, 1996). از کاربرد شاخص‌های گیاهی برای بررسی خشکسالی چند دهه می‌گذرد و هنوز هم در سطح وسیعی استفاده می‌شود (Akbari, 2003). در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI و شاخص پیشرفته پوشش گیاهی EVI هر دو از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای ارائه نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شوند. به‌ویژه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات مورد تأیید قرار گرفته است. اساس این شاخص بر این مبنا است که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نیز نور مادون‌قرمز نزدیک را منعکس سازد. مقدار این شاخص و شاخص‌های دیگر پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارند که اطلاعات کلیدی و مهمی در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی ارائه می‌دهند. از طرف دیگر شاخص EVI جزئیات کاملی را در رابطه با تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی فراهم می‌نماید و نیز بسیاری از مسائلی که ایجاد ناخالصی در شاخص NDVI به وجود می‌آورند (Pettoirelli et al., 2005; Matsushita, Yang, Chen, Onda & Qiu, 2007). با توجه

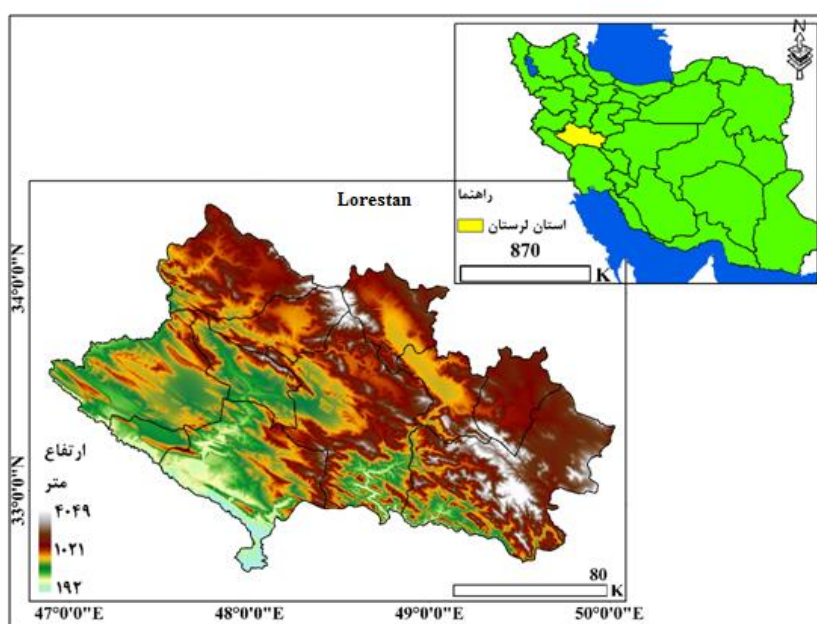
به روند تغییر اقلیم و کاهش بارندگی در دهه‌های اخیر، خشکسالی به یک مشکل بزرگ در جهان و بالأخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از قبیل ایران تبدیل شده است. از این رو پایش و ارزیابی آن امری مهم است. در مقابل روش‌های سنتی که مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی هستند و بیشتر به بررسی خشکسالی هواشناسی می‌پردازند، استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی مورد توجه محققان واقع شده است؛ اما استفاده از این تکنیک و نتایج حاصل از آن همچنان نیاز به ارزیابی و واسنجی برای مناطق مختلف دارد. شاخص‌های پوشش گیاهی روش‌های پر کاربردی برای پایش خشکسالی از طریق داده‌های ماهواره‌ای به شمار می‌روند. مطالعات صورت گرفته با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی و شاخص مورد استفاده نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص‌ها از نظر صحت داده‌ها با شرایط گیاه و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، نمی‌توان برای مطالعه خشکسالی از هر شاخص گیاهی در هر منطقه استفاده نمود و نتایج مشابهی را انتظار داشت؛ بنابراین به‌منظور پایش زمانی و مکانی خشکسالی در استان لرستان جدیدترین تصاویر ماهواره‌ای (تصاویر مادون‌قرمز) مورد استفاده قرار گرفته است. در ایران به دلیل بحث‌های مرتبط با خشکسالی به دلایل موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و در طرح‌های مقابله با خشکسالی و سیستم‌های پایش خشکسالی از نظر کمیت و کیفیت قطعاً باید در اولویت قرار گیرد. بررسی تأثیر بارش به‌عنوان مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیرگذار بر پوشش گیاهی در هر منطقه بسیار ضروری است. در این تحقیق سعی شده است که با یک روش جدید و انتخاب چند شاخص متفاوت در دوره زمانی میانگین هفتگی، شرایط پوشش گیاهی در استان لرستان رصد و شرایط آن مورد بررسی قرار گیرد. با عنایت به اینکه گسترش روش‌های نوین و استفاده از تکنیک جدید سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای جهت ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی، وجود دارد. نواقص موجود در داده‌های عناصر جوی و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، دلایلی هستند که لزوم توجه به روش‌های نوین با قابلیت داده‌پردازی و مدل‌سازی بالا و بازخوانی داده‌های نقاط مختلف را نشان می‌دهند. به‌طوری‌که در سال‌های اخیر در مدیریت و ساماندهی مناسب اثرات خشکسالی علاوه بر شاخص‌ها و روش‌های آماری، محصولات

سنجنده‌های ماهواره‌ای یک نقش مهم در پایش خشکسالی مرتبط با شرایط محیطی ایفا می‌نمایند؛ بنابراین برای اعمال مدیریت صحیح، علمی و منطقی، پایش این تغییرات به صورت هفتگی و یا روزانه ضروری است.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲ منطقه مورد مطالعه

مطابق (شکل ۱) محدوده‌ی مطالعاتی این پژوهش استان لرستان است که در غرب کشور ایران بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲ مواد و روش‌ها

در این مطالعه تلاش شده است با استفاده از تصاویر مادون قرمز سنجنده Suomi NPP اخذ شده از سایت earth data.nasa.gov با بهره‌گیری از شاخص‌های NDVI، VCI، TCI و VHI به بررسی وضعیت خشکسالی پوشش

گیاهی در استان لرستان پرداخته شود. دوره مورد مطالعه ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مربوط به اول آوریل تا انتهای ژوئیه (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی) به صورت میانگین هفتگی است. محاسبه شاخص استاندارد بارش SPI با استفاده از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی الیگودرز، دورود، خرم‌آباد، بروجرد، نورآباد، کوه‌دشت و ازنا انجام شده تا وضعیت بارش به خوبی تحلیل شده و ماه‌های خشک و مرطوب از یکدیگر تفکیک شوند. سپس ضریب همبستگی SPI با هریک از شاخص‌های NDVI، VCI، TCI و VHI محاسبه گردید. در تصاویر مادون قرمز، باندهای M دارای قدرت تفکیک ۷۵۰ و باندهای I ۳۷۵ متر هستند. مشخصات باندهای تصاویر مادون قرمز در (جدول ۴) ذکر شده است. شاخص NDVI (رابطه ۱) از باندهای (NIR=I2) و (Red=I1) محاسبه شده است. از آنجایی که NDVI و دمای روشنائی (BT) مؤلفه‌های آب‌وهوا و اقلیم محیط را در سیگنال سلامت پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌کنند، به منظور برآورد خشکسالی ناشی از آب‌وهوا مورد استفاده قرار گرفت. a به میزان ۰/۵ یک ضریب ثابت است (Ehrlich & Holdren, 1971; Hui, 2006; Kogan, 1995).

NDVImax نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار سالم یا نرمال که از نظر عددی ۱۰۰ تخمین زده می‌شود. VHI شاخصی برای ارزیابی سلامت پوشش گیاهی در مقیاس بسیار سالم تا خیلی ضعیف و شرایط میانی مانند عادی، کمی بالاتر یا پایین‌تر از عادی و تنش را مشخص می‌کند. شاخص وضعیت گیاهی مبتنی بر NDVI (VCI)، دمای مبتنی بر (BT) شاخص وضعیت TCI و ترکیبی از سلامت گیاهی VHI به صورت روابط ۱ تا ۳ محاسبه شده است. میزان هر یک از شاخص‌ها از صفر، استرس شدید، به ۱۰۰ (بسیار سالم) تغییر می‌کند. طبق یک اصل: اگر پوشش گیاهی بسیار سبز، شاخص‌های (رطوبت، حرارتی و ترکیبی) بسیار سالم به مقدار (۱۰۰) و چنانچه میزان سبزی‌نگی پوشش گیاهی در بازه بسیار کم قرار گیرد، وضعیت پوشش گیاهی از حالت عادی خارج و دچار تنش می‌گردد (Kogan, 1995; 1997; 2000).

جدول ۱ طبقه‌بندی هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

$$(NIR + Red) / ((NDVI = (NIR - Red)$$

رابطه (۱)

$$VCI = 100 \times (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$TCI = 100 \times (BT_{max} - BT) / (BT_{max} - BT_{min}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$VHI = a \times VCI + (1 + a) \times TCI \quad \text{رابطه (۴)}$$

جدول ۱ و ۲ طبقه‌بندی خشکسالی هریک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر هر یک از شاخص‌های مورد بررسی در (جدول ۴) بیان شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی درجات خشکسالی شاخص‌های VCI,TCI,VHI

Table 1- Drought Classification Based on VCI,TCI,VHI

VCI,TCI,VHI Value	10 <	10-20	20-30	30-40	40-60	60 >
شرایط خشکسالی	بسیار شدید	شدید	متوسط	ملازم	نرمال	غیر خشکسالی
Drought Conditions	Extremely Severe	Severe	Moderate	Mild	Normal	Non- Drought

جدول ۲- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی شاخص NDVI

Table 2- Drought Classification Based on NDVI

NDVI Value	0 <	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	≥ 0.6
خشکسالی	خشکی شدید	خشکی	نرمال	ترسالی	غیر خشکسالی
Drought	Severe Drought	Drought	Normal	Extremely Wet	Non- Drought

شاخص استاندارد شده بارش

شاخص بارندگی استاندارد شده، توسط مک کی و همکاران (McKee et al., 1993) از دانشگاه ایالتی کلرادو، در سال ۱۹۹۳ تدوین شده است. این شاخص، بر اساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هر ماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص تقسیم بر انحراف معیار بارندگی در آن مقیاس زمانی محاسبه می‌گردد. این شاخص از طریق معادله ۵ قابل محاسبه است.

رابطه (۵)

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x}$$

که در آن X_i میانگین بارندگی در هر ماه \bar{X} میانگین بارش در دوره موردنظر و S_x انحراف معیار مقدار بارش است. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در (جدول ۳) ارائه شده‌اند، تقسیم‌بندی شده است.

جدول ۳- طبقه‌بندی شرایط خشکسالی SPI

SPI Value	≥ 0.2	1.5-1.99	0.1-1.49	-0.99-0.99	-0.1- -1.49	-1.5- -1.99	≤ -2
شرایط خشکسالی	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
Drought Conditions	Extremely Severe Extremely Wet	Severe Extremely Wet	Moderate Extremely Wet	Normal	Moderate Drought	Severe Drought	Extremely Severe Drought

Table 3- Drought Classification Based on SPI

جدول ۴- مشخصات باندهای تصاویر VIIRS

Table 4- Band characteristics of images VIIRS

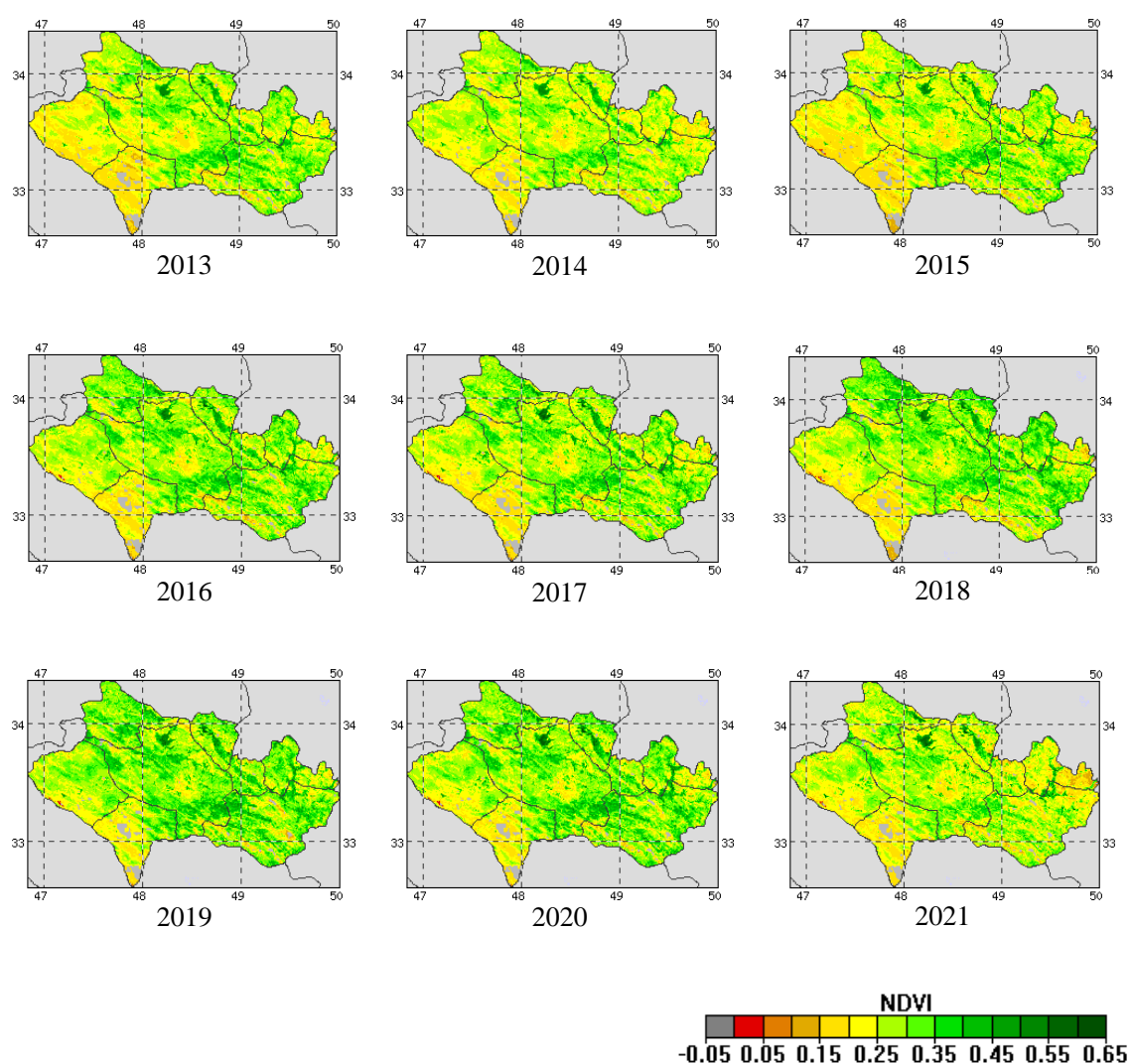
باندها	محدوده طیفی (میکرومتر)	موارد استفاده اولیه
Bands	Spectral Range	Primary Applications
M1	0.402-0.422	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها Color of Oceans and Aerosols
M2	0.436-0.454	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها Color of Oceans and Aerosols
M3	0.478-0.498	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها Color of Oceans and Aerosols
M4	0.545-0.565	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها Color of Oceans and Aerosols
I1	0.600-0.680	تصویرسازی پدیده‌ها Phenomenon Visualization
M5	0.662-0.682	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها Color of Oceans and Aerosols

M6	0.739-0.754	تصحیح اتمسفری Atmospheric Correction
I2	0.846-0.885	شاخص پوشش گیاهی
M7	0.846-0.885	رنگ اقیانوس و آئروسولها Color of Oceans and Aerosols
M8	1.230-1.25	اندازه ذرات ابرها Cloud Partical Size
M9	0.371-1.386	تشخیص نوع ابرها Cloud Type Detection
I3	1.580-1.640	نقشه دوبعدی برف 2D Snow Map
M10	1.580-1.640	کسر (حذف) برف Snow Removal
M11	2.225-2.275	ابرها Clouds
I4	3.550-3.930	تصاویر ابرها Cloud Image
M12	3.600-3.840	دمای سطح آب اقیانوسها Sea Surface Temp.
M13	3.973-4.128	دمای سطح آب اقیانوسها و آتش سوزیها Sea Surface Temp. and Wildfires
M14	8400-8.700	خواص برتر ابرها Superior Properties of clouds
M15	10.263-11.263	دمای سطح آب اقیانوسها Sea Surface Temp.
I5	10.500-12.400	تصاویر ابرها Cloud Image
M16	11.538-12.488	دمای سطح آب اقیانوسها Sea Surface Temp.
DNB	0.500-0.900	آلودگی نوری Light Pollution

۳- نتایج و بحث

بر اساس آمار بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استان لرستان می‌توان گفت که در فصل تابستان (ژولای، اوت و سپتامبر) در محدوده مطالعاتی بارش رخ نمی‌دهد و تنها در فصول پاییز، زمستان و بهار شاهد بارش هستیم؛ بنابراین سال آبی در استان لرستان به‌طور تقریبی از دهه سوم سپتامبر آغاز و تا دهه دوم و سوم ژوئن هر سال ادامه دارد. اگر در این استان پوشش گیاهی دچار خشکسالی شود، بهترین پایه زمانی برای پایش آن از اول آوریل تا انتهای ژوئن است، به عبارت دیگر اگر پوشش گیاهی در دیگر ماه‌های سال دچار خشکسالی شود، بارش در دیگر ماه‌های سال می‌تواند خشکسالی پوشش گیاهی را جبران کند و کمبود

بارش تأثیر چشمگیری بر روی پوشش گیاهی نخواهد داشت؛ بنابراین انتخاب پایه زمانی برای بررسی خشکسالی رخ داده بر روی پوشش گیاهی اول ماه آوریل (هفته ۱۳) تا انتهای ماه ژوئن (هفته ۲۶ میلادی) مناسب است. در این نوشتار، برای تشخیص تأثیر بارش بر شرایط پوشش گیاهی، شاخص SPI، از آمار بارندگی ماهانه میلادی، مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی واقع در استان لرستان محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در فصل تابستان استان لرستان یک فصل خشک را طی می‌کند و ماه اوت خشک‌ترین ماه سال است. گفتنی است که به دلیل حجم زیاد اشکال تولیدشده هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی، فقط ارائه نقشه شاخص‌های هفتگی در (هفته ۲۶ میلادی هر سال) امکان‌پذیر بود. نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل از سنجنده S-NPP JPSS که از نوع تصاویر مادون قرمز برای یک دوره زمانی ۹ ساله از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در این تصاویر به روشنی وضعیت پوشش گیاهی در سال‌های مختلف قابل مشاهده است. با توجه به این تصاویر به طور کلی وضعیت نرمال و غیر نرمال پوشش گیاهی در طول این بازه‌ی زمانی، در سراسر منطقه مطالعاتی از وضعیت کاملاً متفاوتی برخوردار بوده است. پوشش گیاهی در ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ دچار خشکسالی شده و در ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ پوشش گیاهی در وضعیت نرمالی قرار داشته است. بر اساس خروجی‌ها مشخص گردید میزان شاخص NDVI در قسمت‌های جنوبی و شرقی استان که شامل پل‌دختر و کوه‌دشت است، نسبت به دیگر مناطق زودتر کاهش پیدا می‌کنند (شکل ۲). تجزیه و تحلیل بارش در مناطق فوق‌الذکر نشان داد که بارش کمتری نسبت به قسمت‌های استان داشته‌اند که این امر تأثیر زیادی بر تنش وارد شده بر پوشش گیاهی افزوده است. دوره بارش در این مناطق بسیار کوتاه بوده و حتی می‌توان گفت در دوره مورد مطالعه در ماه‌های آوریل و می بارش چندانی نداشته‌اند. در سال‌های که بارش شرایط بهتری نداشته در بعضی مناطق مرکزی و شمال غربی محدوده مطالعاتی شرایط شاخص NDVI نیز دچار تنش شده که خروجی گرافیکی تغییرات سالانه شاخص سلامت پوشش این امر را اثبات می‌نماید. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۹ مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال ۲۰۲۱ محسوب می‌گردد.

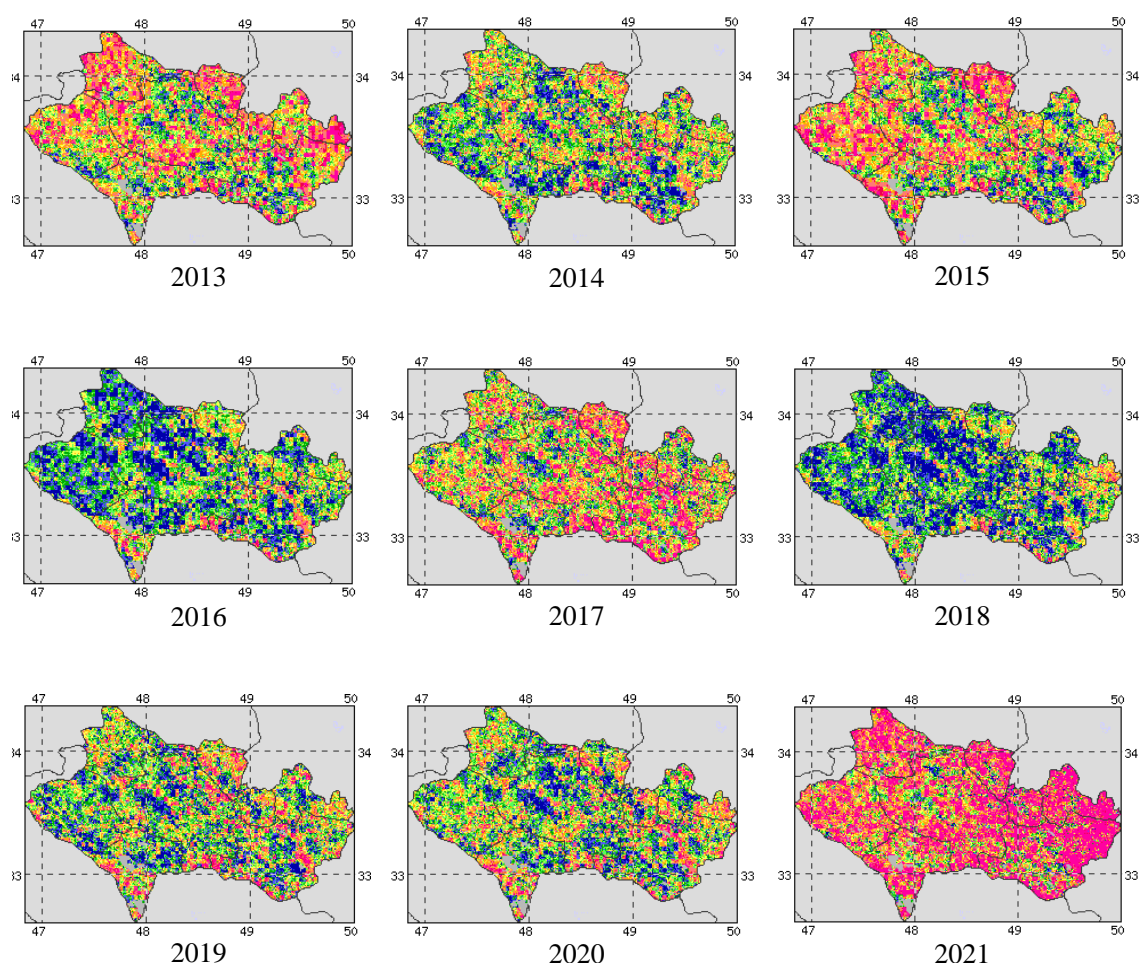


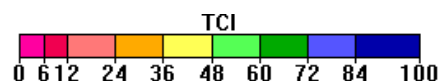
شکل ۲- میانگین هفتگی شاخص NDVI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

Fig. 2. Weekly average of NDVI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده شاخص TCI (شکل ۳) بیانگر رخداد خشکسالی شدید در هفته ۲۶ سال ۲۰۲۱ بوده است. میانگین هفتگی این شاخص در هفته‌های ۲۰ تا ۲۶ به ترتیب ۸/۹۸، ۹/۰۵، ۹/۲۳، ۱۰/۱۱، ۱۱/۶۷، ۱۴/۴۳، ۲۰/۷۷ بوده است. خروجی این شاخص نشان‌دهنده خشکسالی شدید در بیشتر مناطق غربی، جنوبی و شمال شرقی و همچنین مناطق مرکزی منطقه مطالعاتی است، که این ارقام،

خشکسالی شدید را در دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس این شاخص در سال‌هایی که خشکسالی به وقوع پیوسته علاوه بر کمبود بارش کوتاه بودن دوره بارش نیز تأثیر زیادی در تشدید خشکسالی داشته که نمونه آن در سال ۲۰۲۱ اثبات شده است. تحلیل شاخص SPI نشان داد که در سال ۲۰۲۱ ماه‌های آوریل، می و ژوئن کمترین بارش را داشته است. از آنجایی که این ماه‌ها، جزئی از دوره سال آبی هر سال است، کمبود بارش در این ماه‌ها تأثیر زیادی بر پوشش گیاهی دارد. تأثیر کمبود بارش زمانی تشدید می‌شود که بارش اندک چند ماه متوالی ادامه داشته است. در دوره مورد مطالعه میزان همبستگی شاخص TCI با شاخص SPI، ۰/۱۷۴ است که نسبت به دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی از بالاترین میزان همبستگی برخوردار بوده است. در دوره مورد مطالعه شاخص TCI در سطح استان لرستان شرایط یکنواختی نداشته است (شکل ۳).

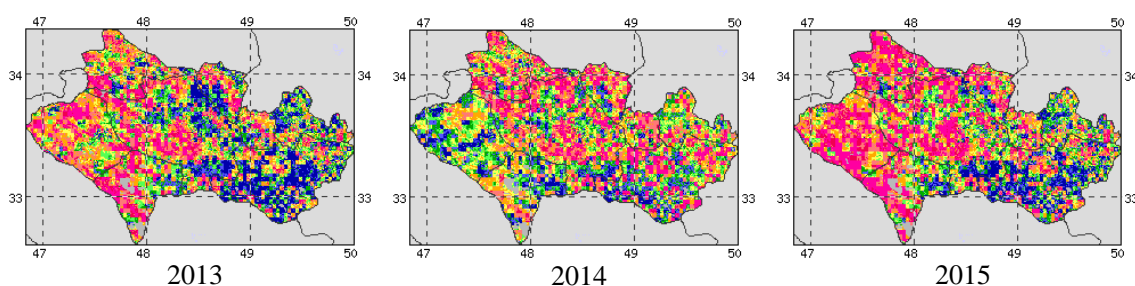


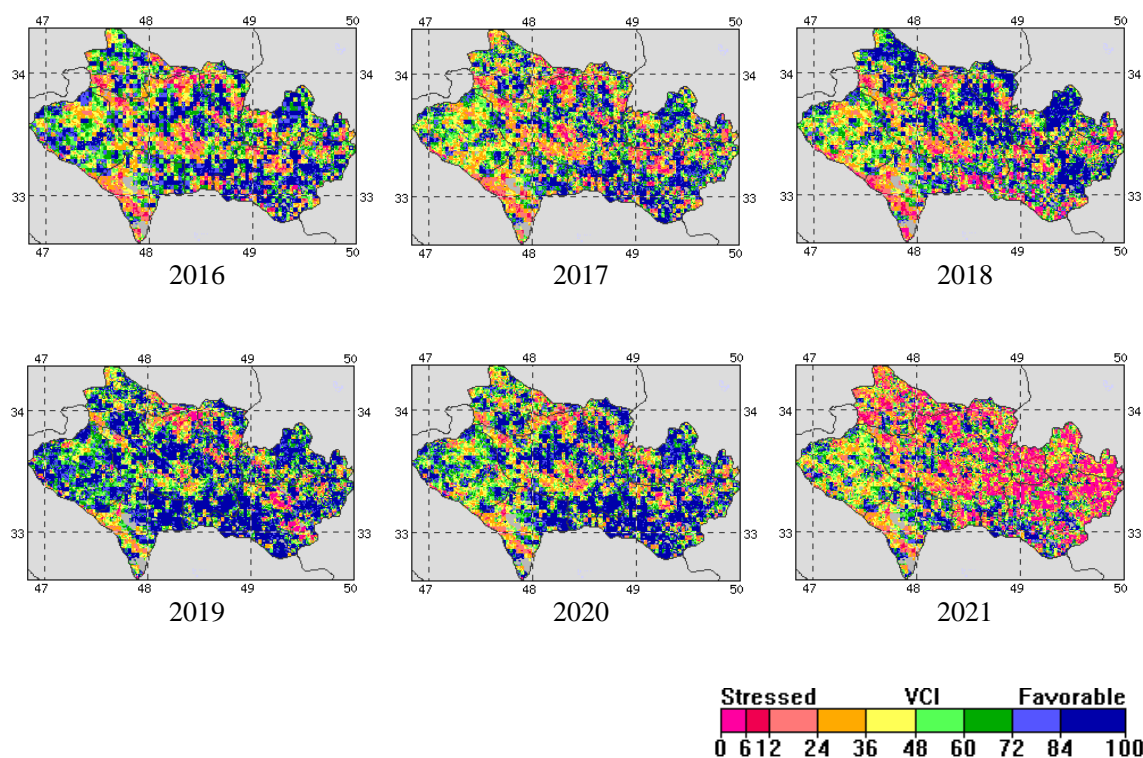


شکل ۳- میانگین هفتگی شاخص TCI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

Fig. 3. Weekly average of TCI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

بر اساس نتایج حاصل شده از تصاویر طبقه‌بندی شده شاخص VCI (شکل ۴) می‌توان ملاحظه نمود که شرایط شاخص VCI در استان لرستان از شرایط کاملاً متفاوتی برخوردار بوده، به گونه‌ای که وضعیت این شاخص در استان از نظر تغییرات منطقه‌ای زیاد محسوس نبوده است. در سال ۲۰۲۱ که خشک‌ترین وضعیت این شاخص است. طبق نتایج عددی شاخص مذکور مشخص گردید که از هفته ۱۳ (میلادی) اول آوریل تا اواخر ژوئن روند نزولی بوده است (جدول ۴). از هفته ۲۰ تا ۲۶ در سال ۲۰۲۱ کمترین میزان این شاخص را داشته، که این امر نشان‌دهنده خشکسالی شدید است. در زمانی که خشکسالی در این شاخص رخ داده از اول آوریل شرایط یکسانی نداشته و روند مقادیر نزولی آغاز شده است. هم‌چنین مشخص گردید که مرطوب‌ترین سال از نظر این شاخص در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ است. از نظر تغییرات مکانی نوسان این شاخص در بیشتر قسمت‌های جنوبی و غربی استان نسبت به دیگر قسمت‌ها بسیار زیاد است. خشک‌ترین یا به عبارتی خشکسالی شدید این شاخص در سال ۲۰۲۱ کمتر از میانگین هفتگی ۳۷ بوده که نسبت به دوره مورد مطالعه بی‌سابقه است.



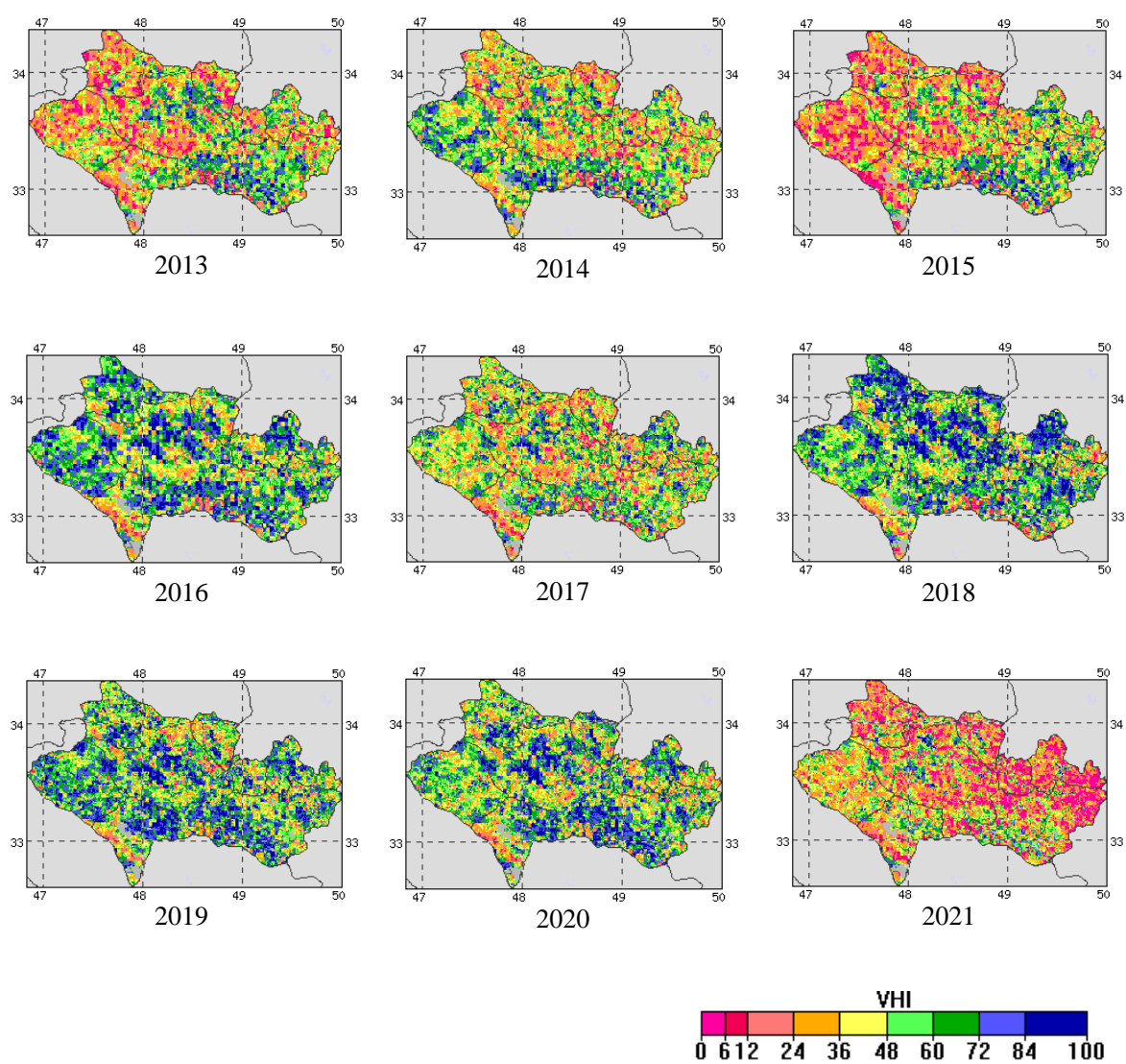


شکل ۴- میانگین هفتگی شاخص VCI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

Fig. 4. Weekly average of VCI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

بر اساس نتایج حاصل شده از تصاویر طبقه‌بندی شده (شکل ۵) می‌توان بیان کرد در سال‌هایی که پوشش گیاهی دچار خشکسالی شده است، مقادیر این شاخص به‌خوبی با شاخص استخراج شده Drought Risk در استان لرستان همخوانی داشته است. همان‌طور که میزان شاخص VHI در (جدول ۵) نشان می‌دهد در ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۲۱ پوشش گیاهی در استان لرستان دچار خشکسالی و از حالت نرمال خارج شده است و مقادیر آن به سمت خشکسالی تغییر کرده است. مقادیر حاصل شده از شاخص VHI به‌خوبی این نتیجه را تأیید می‌کند. براساس نتایج حاصل شده مربوط به این شاخص خشکسالی شدید آن در سال ۲۰۲۱ با میانگین هفتگی کمتر از ۳۱ بوده که نسبت به دوره مورد مطالعه پایین‌ترین میزان است. در سال ۲۰۲۱ خشکسالی این شاخص از هفته ۱۳ تا هفته ۲۶ ادامه داشته است. چنانچه با جزئیات بیشتری این شاخص بررسی گردد می‌توان گفت که بالاترین میزان خشکسالی شدید این شاخص در هفته‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ به ترتیب با میانگین

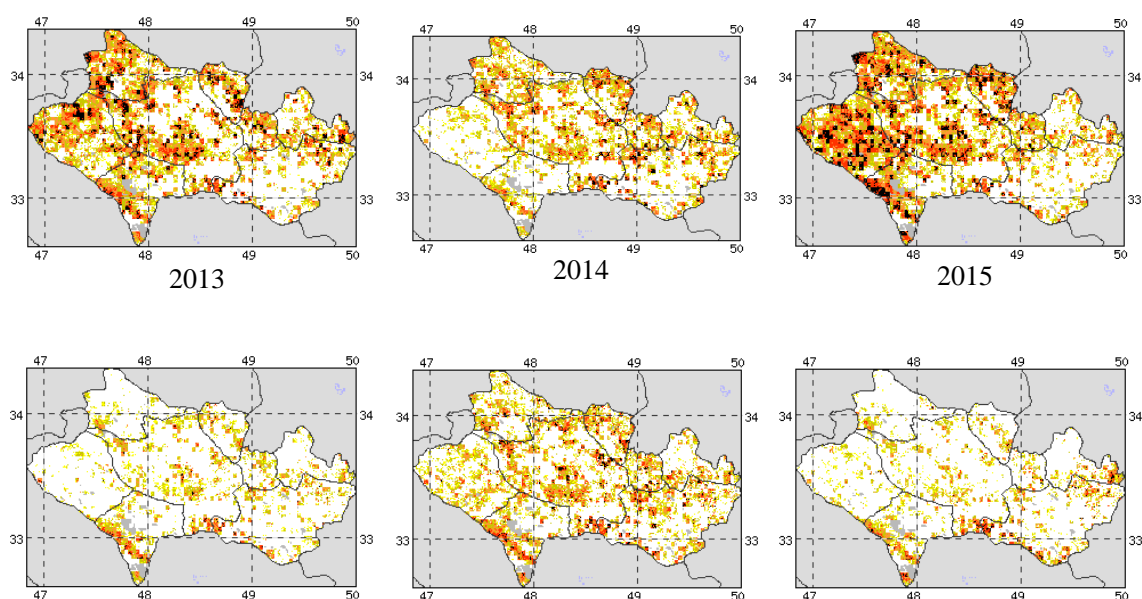
هفتگی ۸/۲۹، ۸/۲۶ و ۸/۵۷ است که این میزان نسبت به تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی کمترین میزان را داشته که خشکسالی بسیار شدید این شاخص محسوب می‌گردد.

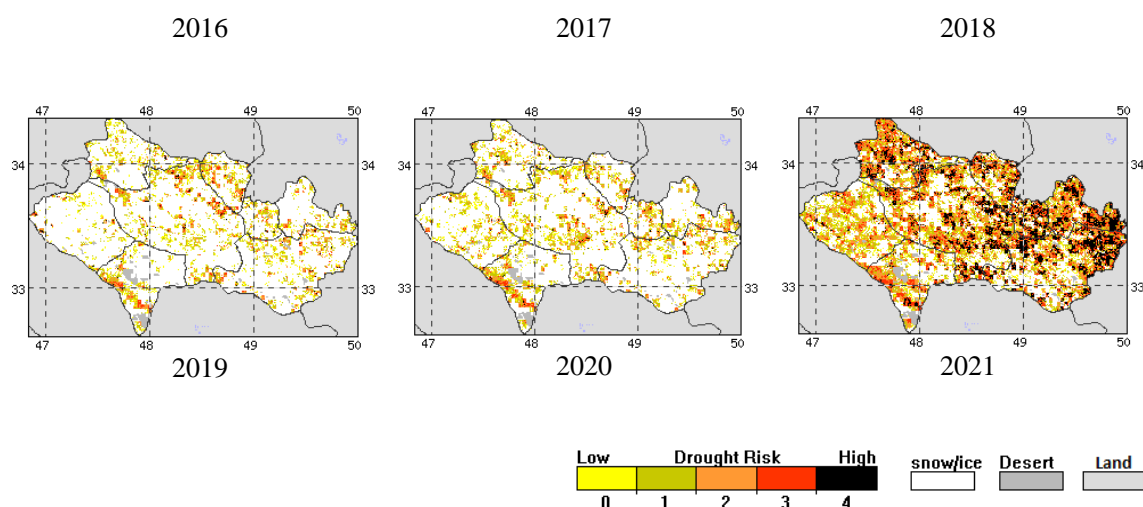


شکل ۵- میانگین هفتگی شاخص VHI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۲۱-۲۰۱۳)

Fig.5. Weekly average of VHI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

مطابق خروجی شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (شکل ۶) که از ترکیب شاخص‌های VCI و TCI در استان لرستان استخراج شده، بیانگر خشکسالی پوشش گیاهی در دوره مورد مطالعه است. نوسان این شاخص در هرساله با سال دیگر از لحاظ تغییرات مکانی و درجات خشکسالی پوشش گیاهی متفاوت است. در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ پوشش گیاهی دچار خشکسالی شدیدی گردیده است. در سال ۲۰۲۱ شدیدترین و گسترده‌ترین خشکسالی پوشش گیاهی رخ داده است. پس از تجزیه و تحلیل هر یک از شاخص‌ها به صورت هفتگی مشخص گردید که در اکثر سال‌ها در هفته ۲۶ پوشش گیاهی دچار خشکسالی شده که دلیل این امر کوتاه شدن دوره بارش و همچنین کمبود بارش در ماه‌های می و ژوئن است. درجات خشکسالی حادث شده، متفاوت است. نوسان خشکسالی و تغییرات زمانی آن با میزان بارش دریافتی همخوانی زیادی دارد. از نظر پراکندگی مکانی در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی همه‌ساله با درجه‌ای از خشکسالی مواجه شده است. در راهنمای تصاویر طبقه‌بندی شده درجه High بارنگ سیاه تنظیم شده، می‌توان خشکسالی شدید را در بیشتر مناطق استان لرستان مشاهده نمود. در سال ۲۰۲۱ بالاترین و گسترده‌ترین سطح خشکسالی پوشش گیاهی است. در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ بیشترین خشکسالی پوشش گیاهی در قسمت‌های جنوبی و غربی منطقه مورد مطالعه رخ داده است.





شکل ۶- میانگین هفتگی خطر خشکسالی پوشش گیاهی استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

Fig. 6. Weekly average drought risk of vegetation in Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

نتایج حاصل از پردازش تصاویر و طبقه‌بندی میزان هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی در قالب جدول ارائه شده است. میزان عددی شاخص‌های مربوط به شرایط پوشش گیاهی به صورت میانگین هفتگی محاسبه شده است (جدول ۵)؛ زیرا هرچه بازه زمانی بررسی شرایط پوشش گیاهی کوتاه‌تر باشد، بهتر می‌توان به سایر جزئیات پی برد و تحلیل‌های دقیق‌تری انجام داد. بر اساس مندرجات (جدول ۵) می‌توان گفت در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ خشکسالی در شرایط پوشش گیاهی استان لرستان به وقوع پیوسته و در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ شرایط پوشش گیاهی در وضعیت مساعدی بوده و به نوعی ترسالی حاکم بوده است. از نظر تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی هر ساله دچار تنش شده و چنانچه کمبود بارش دو ماهه (نسبت به بلندمدت) به صورت متوالی رخ دهد، خشکسالی پوشش گیاهی افزایش قابل توجهی می‌یابد. بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۱ که خشکسالی شدید رخ داده است از هفته ۱۳ خشکسالی آغاز شده و در هفته‌های بعد از آن میزان خشکسالی تشدید شده است.

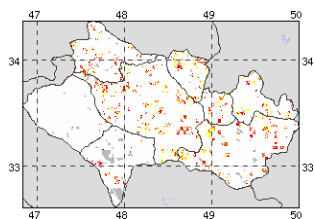
جدول ۵- میانگین هفتگی شاخص‌های پوشش گیاهی در استان لرستان

Table 5- Weekly average of vegetation indices in Lorestan province

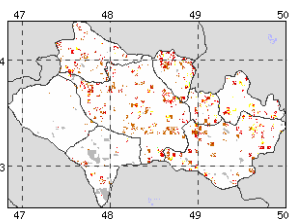
Year	Week	NDVI	VCI	TCI	VHI	Year	Week	NDVI	VCI	TCI	VHI
2013	13	212.0	42.71	12.22	77.46	2015	13	229.0	35.81	94.30	15.56
2013	14	222.0	33.68	33.27	83.47	2015	14	244.0	14.80	83.34	49.57
2013	15	229.0	03.65	86.32	94.48	2015	15	253.0	47.78	55.33	01.56
2013	16	232.0	9.60	97.40	93.50	2015	16	258.0	6.75	49.29	55.52
2013	17	234.0	59.56	57.47	08.52	2015	17	257.0	88.70	59.27	24.49
2013	18	233.0	97.52	89.53	43.53	2015	18	251.0	82.64	666.27	24.46
2013	19	231.0	76.49	95.58	36.54	2015	19	243.0	56.58	88.26	72.42
2013	20	226.0	04.47	82.61	43.54	2015	20	233.0	06.53	99.26	03.40
2013	21	22.0	31.45	88.58	1.52	2015	21	222.0	13.47	67.27	4.37
2013	22	213.0	31.44	4.55	86.49	2015	22	209.0	79.41	59.28	19.35
2013	23	203.0	26.44	75.50	5.47	2015	23	198.0	15.39	98.28	06.34
2013	24	191.0	32.42	41.48	37.45	2015	24	186.0	24.37	41.30	83.33
2013	25	18.0	17.41	5.43	34.42	2015	25	174.0	17.35	86.34	02.35
2013	26	17.0	98.41	27.37	63.39	2015	26	164.0	92.33	13.40	03.37
2014	13	2.0	92.65	34.38	13.52	2016	13	238.0	21.86	13.43	67.64
2014	14	215.0	71.65	45.41	58.53	2016	14	251.0	75.84	49	87.66
2014	15	229.0	74.66	58.42	66.54	2016	15	262.0	93.83	03.53	48.68
2014	16	242.0	57.68	66.40	62.54	2016	16	27.0	37.83	69.54	03.69
2014	17	251.0	88.68	27.38	57.53	2016	17	274.0	68.81	16.57	42.69
2014	18	252.0	47.67	49.38	98.52	2016	18	274.0	76.79	84.59	8.69
2014	19	249.0	72.64	9.39	32.52	2016	19	27.0	25.77	67.60	96.68
2014	20	241.0	49.59	85.45	68.52	2016	20	263.0	86.74	34.60	6.67
2014	21	228.0	34.53	59.51	47.52	2016	21	251.0	45.71	43.59	44.65
2014	22	217.0	27.49	54.53	41.51	2016	22	24.0	66.69	29.61	47.65
2014	23	204.0	69.45	95.51	82.48	2016	23	226.0	85.66	59.61	22.64
2014	24	191.0	47.43	07.50	77.46	2016	24	21.0	24.63	11.62	67.62
2014	25	179.0	35.41	71.49	53.45	2016	25	194.0	39.58	22.63	81.60
2017	13	162.0	25.46	85.43	05.45	2019	13	201.0	88.65	77.64	33.65
2017	14	179.0	54.46	34.47	94.46	2019	14	218.0	93.66	93.68	93.67
2017	15	194.0	92.47	71.46	32.47	2019	15	235.0	76.69	04.72	9.70
2017	16	209.0	87.49	86.44	37.47	2019	16	248.0	69.71	63.71	66.71
2017	17	222.0	87.51	42.42	14.47	2019	17	257.0	9.72	09.68	5.70
2017	18	231.0	1.53	55.41	33.47	2019	18	262.0	48.73	33.64	41.69
2017	19	236.0	86.54	24.38	56.46	2019	19	262.0	51.73	77.63	65.68
2017	20	237.0	06.56	32.35	7.45	2019	20	257.0	04.72	51.65	79.68
2017	21	232.0	36.55	66.36	02.46	2019	21	249.0	59.70	43.63	02.67
2017	22	22.50	55.56	07.36	31.46	2019	22	239.0	34.70	97.58	66.64
2017	23	217.0	78.57	4.33	59.49	2019	23	228.0	65.69	01.56	83.62
2017	24	203.0	51.55	33.37	42.46	2019	24	215.0	02.69	88.53	45.61

2017	25	19.0	65.53	88.38	26.46	2019	25	203.0	89.67	15.52	02.60
2017	26	179.0	62.52	71.38	66.45	2019	26	19.0	26.66	21.51	74.58
2018	13	207.0	69.69	02.33	35.51	2020	13	212.0	79.72	86.45	33.59
2018	14	22.0	98.67	71.41	85.54	2020	14	229.0	03.73	22.49	12.61
2018	15	229.0	13.67	37.49	25.58	2020	15	24.0	92.72	77.51	35.62
2018	16	237.0	09.65	54.58	81.61	2020	16	25.0	82.72	97.52	89.62
2018	17	242.0	18.63	01.67	1.65	2020	17	257.0	56.72	48.52	52.62
2018	18	244.0	63.61	94.71	78.66	2020	18	26.0	81.71	23.51	52.61
2018	19	244.0	04.60	89.75	97.67	2020	19	258.0	05.70	27.49	67.59
2018	20	242.0	13.59	17.78	65.58	2020	20	252.0	68.67	94.47	82.57
2018	21	237.0	2.59	42.76	81.67	2020	21	243.0	79.64	87.45	34.55
2018	22	231.0	75.60	68.75	21.68	2020	22	232.0	1.63	16.45	13.54
2018	23	222.0	96.61	45.72	18.67	2020	23	221.0	73.62	74.45	23.54
2018	24	21.0	69.61	32.68	01.65	2020	24	209.0	93.61	11.47	52.54
2018	25	197.1	62.59	2.65	41.62	2020	25	196.0	81.60	65.48	73.54
2018	26	183.0	07.56	92.63	60	2020	26	186.0	66.60	67.50	66.55
2021	13	212.0	29.73	98.17	64.45	2021	20	215.0	94.40	98.8	96.24
2021	14	225.0	35.71	01.16	68.43	2021	21	207.0	68.36	05.9	87.22
2021	15	232.0	63.68	83.13	23.41	2021	22	2.0	04.35	23.9	14.22
2021	16	235.0	4.64	11	7.37	2021	23	192.0	83.34	11.10	47.22
2021	17	234.0	28.59	29.8	79.33	2021	24	184.0	13.36	67.11	9.23
2021	18	23.0	16.53	26.8	71.30	2021	25	176.0	72.73	43.14	08.26
2021	19	222.0	5.46	57.8	45.27	2021	26	169.0	96.40	77.20	87.30

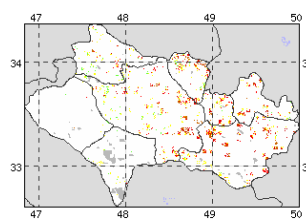
بر اساس (اشکال ۷ و ۸) که تغییرات پوشش گیاهی را در هفته‌های ۴، ۸ و هفته پایانی هر سال را نشان می‌دهد، می‌توان بیان نمود، در دوره مورد مطالعه درجه خشکسالی پوشش گیاهی در هر سال با سال دیگر متفاوت است. از نظر تغییرات مکانی درجه شدت خشکسالی در هر منطقه‌ای از سطح استان رخ داده است. شدت خشکسالی و گسترده آن در هفته‌های ۸ و ۵۲ سال ۲۰۱۵ رخ داده و شدیدترین شدت و نیز وسیع‌ترین خشکسالی در هفته‌های ۸ و ۵۲ سال ۲۰۲۱ رخ داده است. خروجی حاصل از تغییرات خشکسالی نشان داد که در انتهای ماه ژانویه چنانچه پوشش گیاهی با خشکسالی روبه‌رو بوده در هفته‌های بعد باز پوشش گیاهی هرچند با افزایش بارش دریافتی، تغییری زیادی در خشکسالی پوشش گیاهی حاصل نشده است و خشکسالی ادامه یافته است.



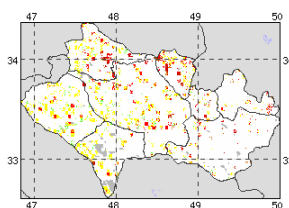
2014(week4)



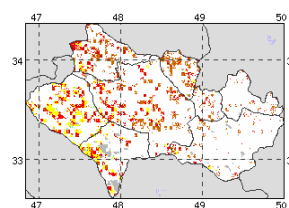
2014(week8)



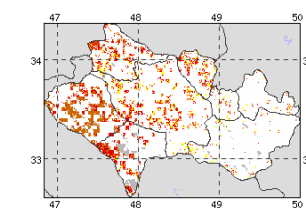
2014 (week52)



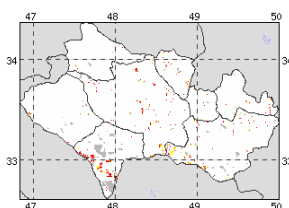
2015(week4)



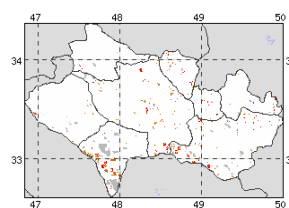
2015 (week8)



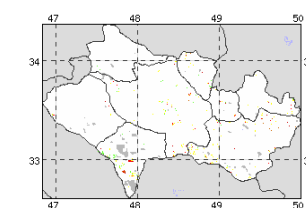
2015(week52)



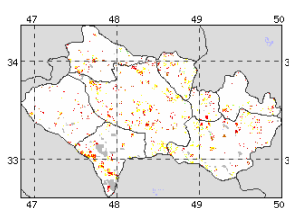
2016(week4)



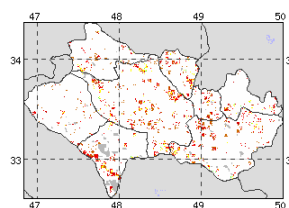
2016 (week8)



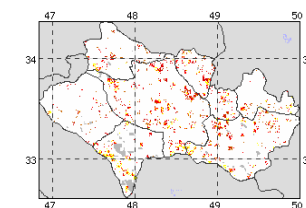
2016 (week52)



2017 (week4)



2017 (week8)



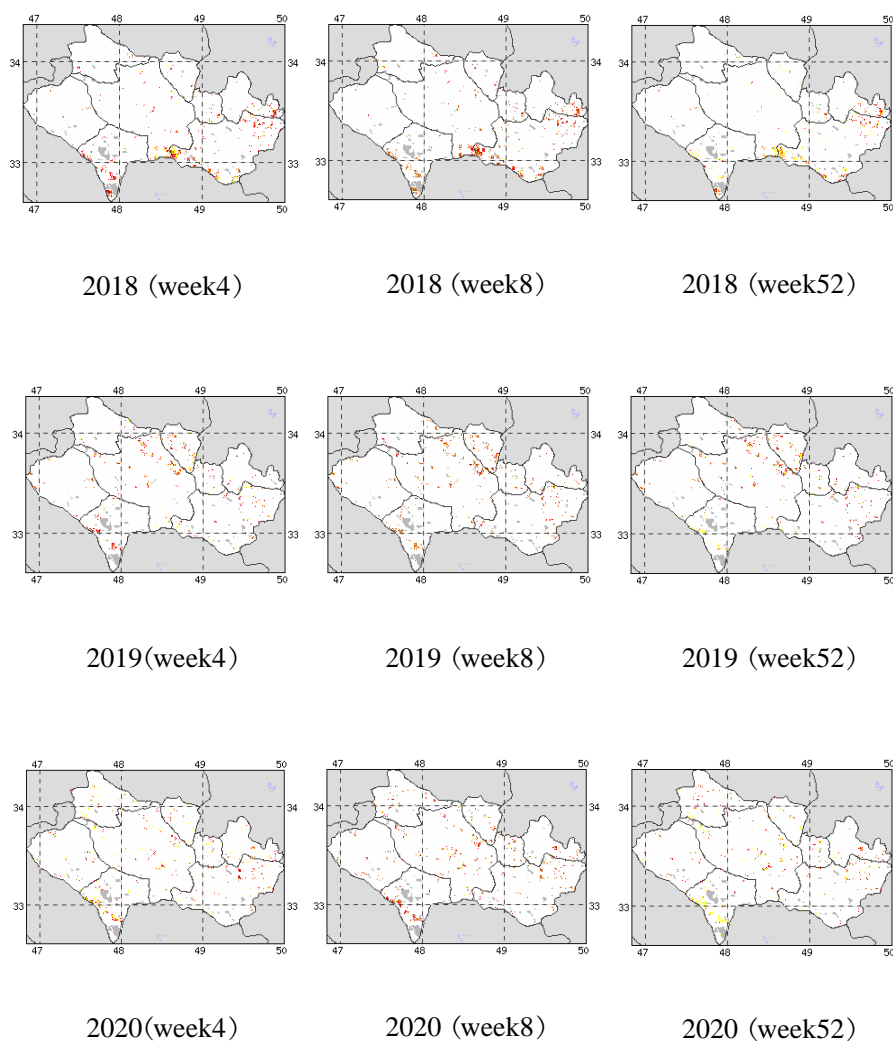
2017 (week52)

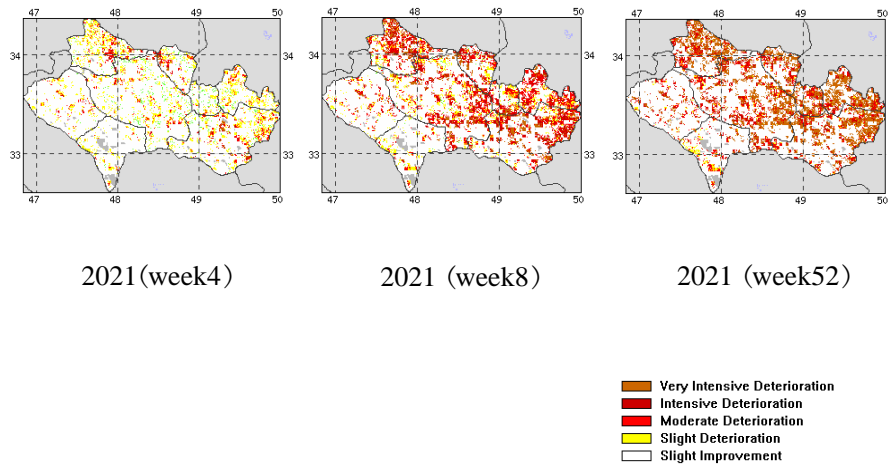


شکل ۷- تغییرات درجات خشکسالی پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig.7. Changes in vegetation drought degrees in Lorestan province

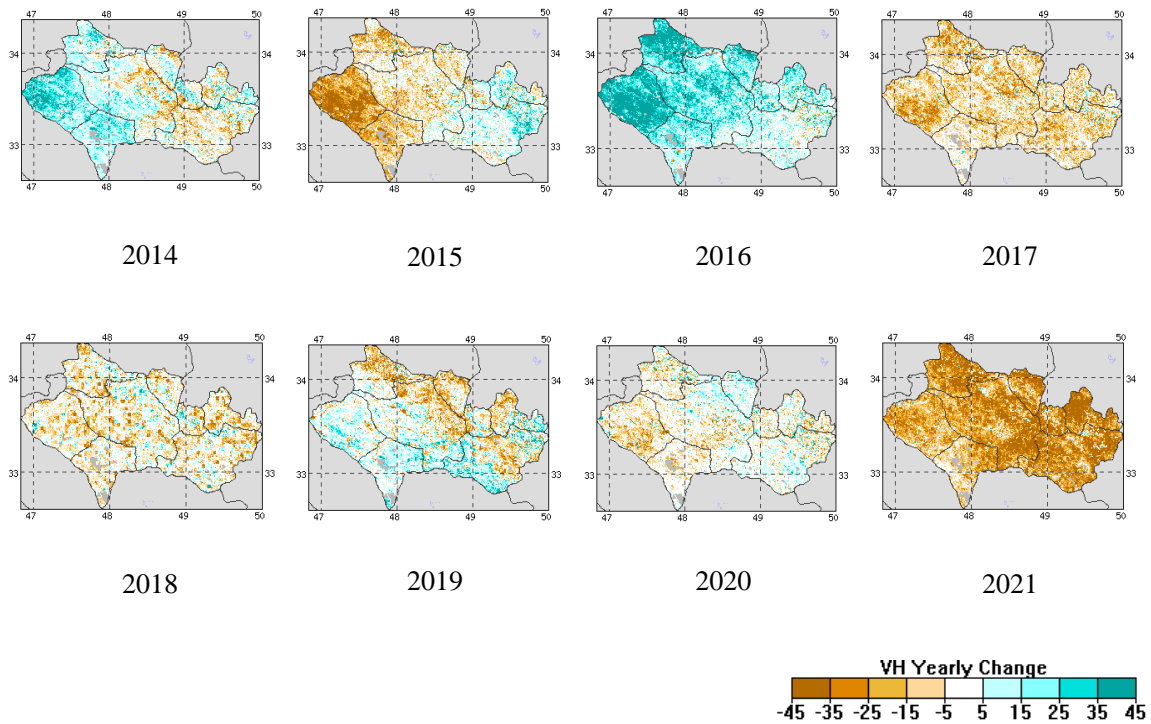
با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده سالانه شاخص VHI (شکل ۹) بیانگر خشکسالی شدید در بیشتر مناطق جنوبی، شرقی و شمال شرقی استان است. به گونه‌ای که میانگین این شاخص ۲۰۲۱ کمترین میزان را داشته است. در قسمت‌های زیادی از منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ میزان این شاخص در پایین‌ترین میزان خود قرار داشته است. وضعیت مساعد این شاخص در سال ۲۰۱۶ در وضعیت غیر مساعد آن در سال ۲۰۲۱ مشاهده شده است.





شکل ۸- تغییرات درجات خشکسالی پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig. 8. Changes in the degree of drought of vegetation in Lorestan province

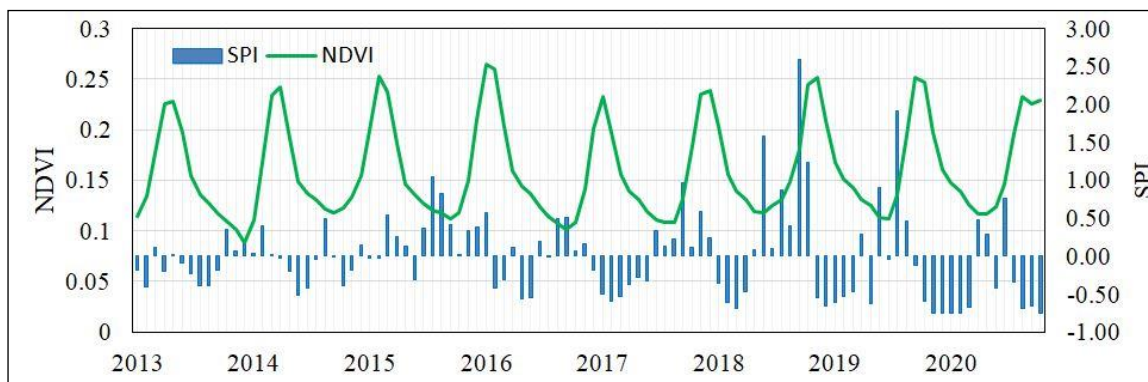


شکل ۹- تغییرات سالانه شاخص سلامت پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig. 9. Annual changes of vegetation health index in Lorestan province

به‌طورکلی تشخیص زمان آغاز و پایان خشکسالی مسئله بسیار مشکلی است. اصولاً تشخیص زمان خشکسالی به تعریف مورد استفاده و نوع خشکسالی وابسته است. آغاز خشکسالی زمانی است که ذخیره رطوبتی چه در محیط خاک (خشکسالی کشاورزی) و چه در مخازن آبی (خشکسالی آب‌های سطحی و زیرزمینی) خاتمه یافته باشد. در امر کشاورزی، پایان خشکسالی زمانی است که نزول باران، رطوبت مورد نیاز خاک را تأمین نماید و از نظر مباحث هیدرولوژیکی زمانی که جریان رودخانه مجدداً برقرار شده و مخازن زیرزمینی مجدداً تغذیه شوند، پایان خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. زمان آغاز تا پایان خشکسالی به‌عنوان دوره تداوم خشکسالی نامیده می‌شود. هر چه قدر میزان بارندگی نسبت به شرایط متوسط کمتر باشد، به همان اندازه میزان تأثیر خشکسالی بیشتر نمایان می‌گردد. میزان استمرار حالت خشکسالی در یک منطقه نیز گویای شدت خشکسالی در همان منطقه است یعنی در شرایطی که خشکسالی تنها برای یک ماه استمرار داشته باشد احتمال دارد بارش ماه بعد میزان کمبود ماه مزبور را جبران نماید. ولی اگر ماه بعدی نیز خود نسبت به شرایط طبیعی کمبود داشته باشد به‌مراتب در شدت بخشیدن به حالت خشکسالی مؤثر خواهد بود (Lashni Zand, 2003). جهت محاسبه شاخص SPI از آمار بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان استفاده گردید. به‌منظور محاسبه و تحلیل آماری هر یک از شاخص‌های VCI، TCI، NDVI و VHI و ترسیم نمودار همبستگی و مقایسه با شاخص استاندارد بارش به‌صورت عددی استخراج شدند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص استاندارد بارش و ارقام مربوط به هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در مرحله بعد مدل رگرسیون سطح اطمینان ۹۵ درصد ترسیم گردید (شکل ۱۰) نتایج ارائه شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های آوریل، می و ژوئن در سال ۲۰۲۱ است. به‌طورکلی در دوره مورد مطالعه میزان شاخص SPI در ماه‌های ژولای، اوت و سپتامبر منفی است که نشان‌دهنده خشکسالی است. میانگین شاخص SPI در سال ۲۰۱۵ در ژوئن، ژولای و اوت مثبت است. ماه اوت خشک‌ترین ماه از نظر بارش در استان لرستان بر اساس شاخص SPI است. در ۲۰۱۵ میانگین SPI در اکثر ماه‌های سال مثبت است که این امر در افزایش مقادیر شاخص NDVI در سال ۲۰۱۶ به‌خوبی قابل مشاهده است. به‌طورکلی نمودار شاخص SPI در سال‌های اخیر در اکثر ماه‌ها منفی بوده

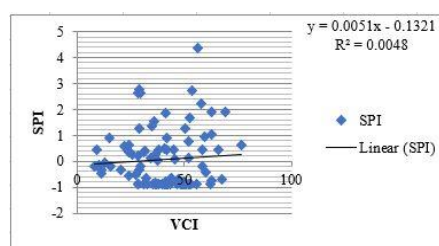
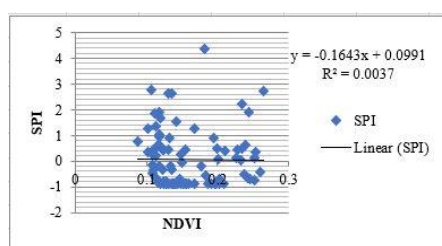
است. مثبت و منفی شاخص استاندارد بارش به ترتیب بیانگر شرایط ترسالی و خشکسالی بارش است. کمبود بارش در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس به صورت پیوسته ادامه داشته است.

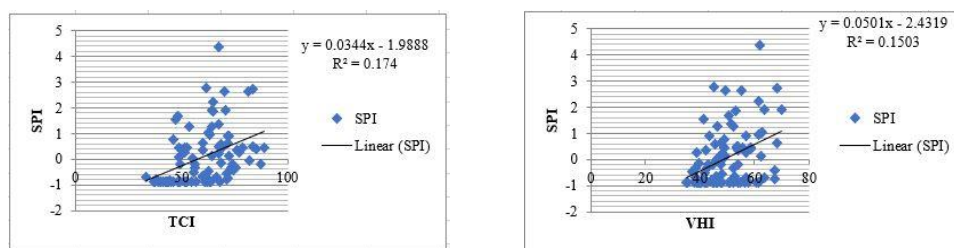


شکل ۱۰- نمودار سری زمانی میانگین ماهانه (ژانویه تا دسامبر) شاخص NDVI و SPI در استان لرستان

Fig.10. Monthly average time series graph (January to December) of NDVI and SPI index in Lorestan province

به منظور تفسیر بهتر شرایط بارشی و شاخص NDVI نمودار ترکیبی آن ترسیم گردید. میزان شاخص SPI در ماه‌های گرم سال منفی بوده و بیانگر خشکسالی بارش است. در سال ۲۰۱۹ بارش دریافتی در شرایط عادی قرار داشته است. کمترین میزان این شاخص در سال ۲۰۲۱ است. برای یافتن ارتباط بین شاخص SPI و هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی ضریب همبستگی آن محاسبه گردید. طبق نتایج حاصل شده می‌توان گفت که میزان همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص NDVI، VCI، TCI و VHI به ترتیب به ترتیب ۰/۰۰۴۸، ۰/۱۷۴ و ۰/۱۵۰ است (شکل ۱۱).

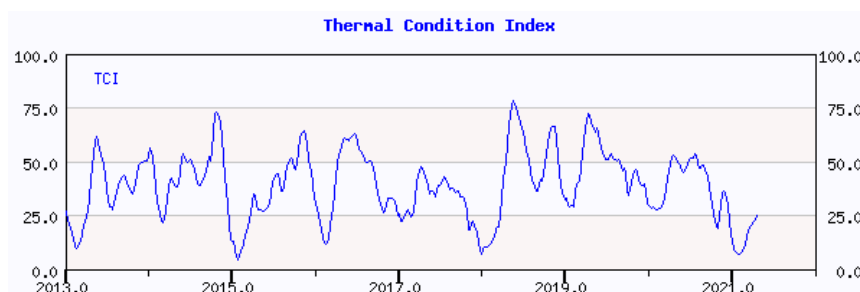


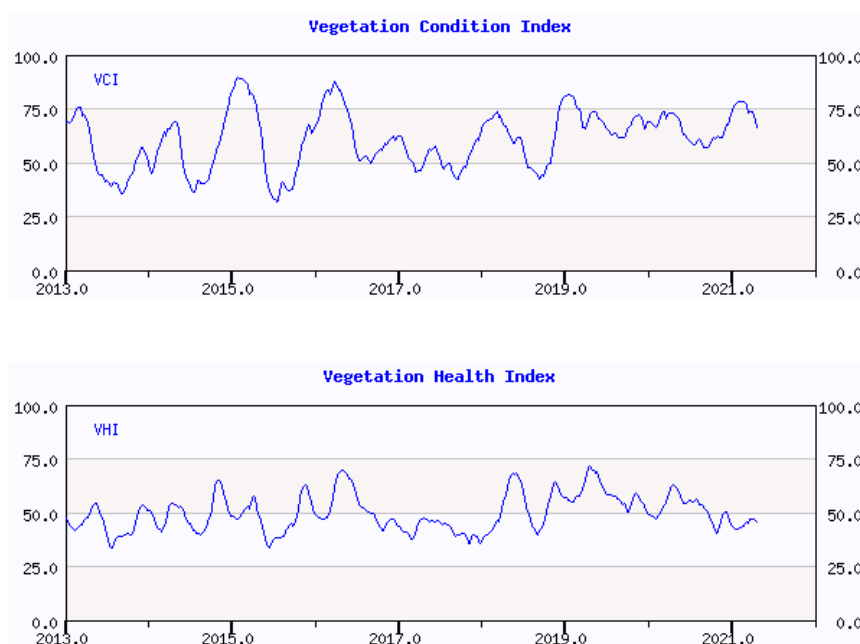


شکل ۱۱- نمودار همبستگی SPI با هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig. 11. Correlation diagram of SPI with each vegetation index in Lorestan province

مطابق (شکل ۱۲) که سری زمانی شاخص TCI را نشان می‌دهد، این شاخص دارای افت و خیز زیادی است. در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ کمترین میزان نوسان را نشان می‌دهد. در اواسط سال ۲۰۱۸ مقدار این شاخص در بازه ۷۵ قرار داشته است. روند این شاخص نشانگر آن است که در هفته‌های اولیه هر سال این شاخص روندی افزایشی داشته و در هفته‌های پایانی هر سال روند آن سیر نزولی به خود می‌گیرد. روند نزولی آن سیر خشکسالی این شاخص را اثبات می‌نماید. دلیل این امر پایان دوره بارش و کمبود بارش است. بر اساس نمودار میانگین هفتگی شاخص VCI ملاحظه می‌گردد که سری زمانی میانگین هفتگی شاخص VCI در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ روندی صعودی است و به میزان ۷۵ و حتی بالاتر از آن افزایش یافته است. این روند در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ کمترین میزان را داشته و خشک‌ترین زمان این شاخص در اواسط ۲۰۱۵ رخ داده است.



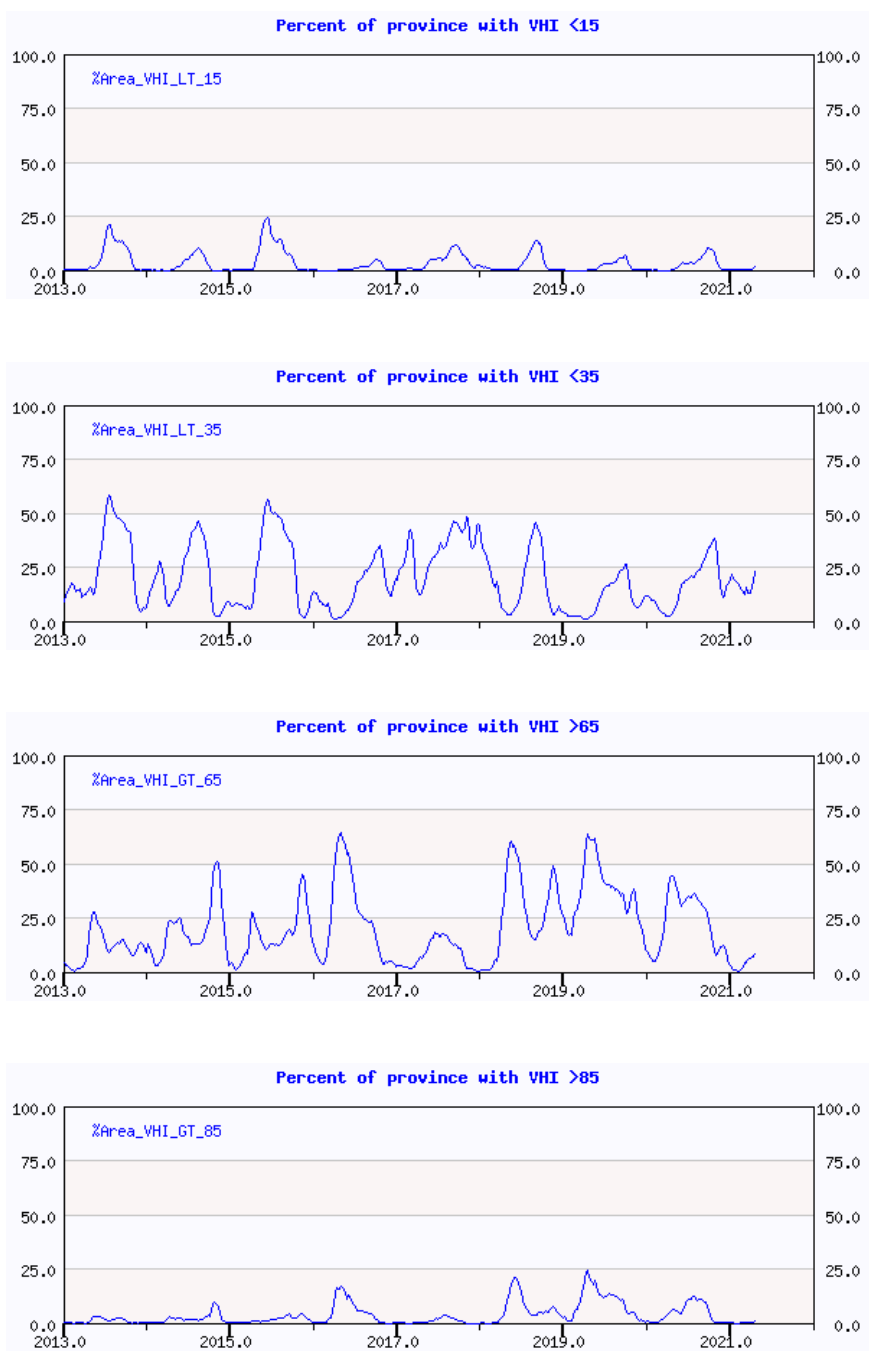


شکل ۱۲- میانگین هفتگی هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه در استان لرستان

Fig. 12. Weekly average of each of the studied indicators in Lorestan province

طبق (شکل ۱۳) میانگین هفتگی شاخص VHI در بازه‌های مختلف را نشان می‌دهد. در بازه کمتر از ۱۵ ملاحظه می‌گردد که در اواسط سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ روند این شاخص افزایشی بوده و در سال‌های دیگر این روند تقریباً ثابت و دارای افت و خیز کمتری است. در بازه کمتر از ۳۵ این روند در اواسط ۲۰۱۳ اواخر ۲۰۱۵ و در ۲۰۲۱ روند افزایشی داشته که نشان‌دهنده شرایط خشکسالی ملایم به شدید است. در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ این روند به کمترین مقادیر در این بازه رسیده و شرایط عادی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. در بازه بیشتر از ۶۵ در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به بیشترین میزان خود رسیده است. به عبارت دیگر در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ این شاخص در شرایط خشکسالی و تقریباً در بازه صفر قرار گرفته است. در بازه مقادیر بالاتر از ۸۵ در سال‌های ۲۰۱۶، اواسط ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ به میزان ۲۵ درصد رسیده و در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ در کمترین حد خود قرار دارد. این شاخص تنها در سال ۲۰۱۹ به

بالاترین میزان خود صعود کرده که نشان‌دهنده شرایط ترسالی و عادی پوشش گیاهی این شاخص در منطقه مطالعاتی است.



شکل ۱۳- میانگین هفتگی شاخص VHI استان لرستان

Fig. 13. Weekly average of VHI index of Lorestan province**۴- نتیجه گیری**

پوشش گیاهی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی هر منطقه است که به‌سرعت نسبت به شرایط بارش دریافتی واکنش نشان می‌دهد. درک صحیح و کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش گیاهی از قبیل شرایط نرمال و یا خشکسالی رخ داده در هر مکانی از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزار مناسبی جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک از جمله استان لرستان است، استفاده از روش سنجش‌ازدور توانایی خوبی در بررسی پوشش گیاهی و امکان دسترسی چند زمانه و با هزینه نسبت اندک، امکان پایش مداوم پوشش گیاهی و مقایسه آن‌ها را با زمان گذشته امکان‌پذیر می‌نماید. شرایط عادی و تنش پوشش گیاهی هر منطقه‌ای، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، به شرایط محیطی حاکم بر آن منطقه وابستگی زیادی دارد و دارای پاسخ سریع به تغییرات شرایط اقلیمی است؛ به‌طوری‌که مقدار اندکی از نزولات جوئی باعث رشد سریع و همچنین شادابی مضاعف آن‌ها می‌شود. واکنش‌های پوشش گیاهی در چنین مناطقی به‌صورت تغییر در فراوانی و شادابی گیاهان قابل‌مشاهده است که نتیجه آن در میزان بازتابش طیفی آن‌ها مشخص می‌گردد. آنچه اهمیت استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و شاخص‌های محاسبه شده از آن را چند برابر می‌کند، پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین نبود نظم و تداوم در اطلاعات مستخرج از آن‌هاست؛ درحالی‌که این مشکل در داده‌های ماهواره‌ای کمتر به چشم می‌خورد. البته پایش مستمر و کارآمد خشکسالی مستلزم دسترسی منظم و دائمی به اطلاعات منطقه مورد مطالعه است و در حال حاضر این ویژگی‌ها در اطلاعات ماهواره‌ای وجود دارد. این امر سبب شده است در مطالعه حاضر، با استفاده از شاخص پوشش گیاهی، کارایی این داده‌ها در رابطه با شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی قرار گیرد. هدف از انجام این پژوهش، پایش خشکسالی استان لرستان براساس شاخص استاندارد شده بارش و شاخص‌های NDVI, VCI, TCI, VHI با استفاده از تصاویر مادون‌قرمز بوده است. تصاویر مادون‌قرمز که به‌صورت میانگین هفتگی در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مورد استفاده گرفته است. بعد از محاسبه شاخص‌ها و تهیه نقشه‌های خشکسالی همبستگی بین آن‌ها محاسبه گردید. مدل رگرسیونی نشان داد بین متغیرهای شاخص SPI با متغیرهای پوشش

گیاهی، همبستگی معنی‌دار و مستقیمی وجود دارد. براساس همبستگی با احتمال ۹۵ درصد اطمینان میزان ضریب همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص NDVI، VCI، TCI و VHI به ترتیب ۰/۰۰۳۷، ۰/۰۰۴۸، ۰/۱۷۴ و ۰/۱۵۰ است. می‌توان گفت که با افزایش بارش و مثبت شدن شاخص SPI میزان پوشش گیاهی و هریک از شاخص‌های آن نیز افزایش می‌یابد. شاخص TCI همبستگی بیشتری با شاخص SPI دارد. تجزیه و تحلیل بارش نشان داد ماه‌های ژولای، اوت و سپتامبر در استان لرستان بسیار خشک و مقادیر شاخص استاندارد بارش به صورت منفی است. نمودار گرافیکی شاخص NDVI و SPI نشان داد که تغییرات زمانی بارش و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی با یکدیگر همخوانی دارند. نتایج این نوشتار نشان می‌دهد بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای جهت پایش خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شاخص TCI است. در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ بیشترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در مناطق غربی و مرکزی استان لرستان رخ داده و در ۲۰۲۱ شدیدترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. تجزیه و تحلیل بارش ایستگاه‌های سینوپتیک نشان داد که در قسمت‌های مرکزی، جنوبی و شرقی استان کمترین بارش را داشتند. تصاویر هریک از شاخص‌های مورد مطالعه، تنش در پوشش گیاهی مناطق جنوبی و شرقی محدوده مطالعاتی را اثبات کرد. نتایج حاصل از این نوشتار نشان می‌دهد، بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای جهت پایش خشکسالی SPI و TCI است. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری می‌شود که خشکسالی ارتباط معناداری با تغییرات پوشش گیاهی در طول مورد مطالعه داشته است.

References

- Akbari, M. (2003). *Evaluation and classification of desertification using RS and GIS techniques in the arid region of northern Isfahan*. Master's thesis, Isfahan University. [In Persian]
- Berhan, G., Hill, S., Tadesse, T., Atnafu, S. (2011). Using satellite images for drought monitoring: a knowledge discovery approach. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, 7(1), 135-153.
- Bhalme, H. N., Reddy, R. S., Mooley, D. A., & Ramana Murty, B. V. (1981). Solar activity and Indian weather/climate. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Earth and Planetary Sciences*, 90, 245-262. <https://doi.org/10.1007/BF03029206>
- Bhuiyan, C. (2008). Desert vegetation during droughts: response and sensitivity. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 907-912.

- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J. M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77(1), 22-33. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2)
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszczynska, M., & Kowalik, W. (2002). Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), 1109-1123. <https://doi.org/10.1080/01431160110070744>
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth: Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive. *Science*, 171(3977), 1212-1217. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>
- Gao, B. C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghulam, A., Li, Z., Qin, Q., & Tong, Q. (2007). Exploration of the spectral space based on vegetation index and albedo for surface drought estimation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 1(1), 013529. <https://doi.org/10.1117/1.2784792>
- Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1974). Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American Scientist*, 62(3), 282-292. <https://www.jstor.org/stable/27844882>
- Hollinger, S. E., Isard, S. A., & Welford, M. R. (1993). A new soil moisture drought index for predicting crop yields. In *Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, USA: American Meteorological Society*, 187-190.
- Hui, C. (2006). Carrying capacity, population equilibrium, and environment's maximal load. *Ecological Modelling*, 192(1-2), 317-320. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.001>
- Hunt Jr, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43-54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1)
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. New Jersey: Prentice Hall. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20001911540>
- Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076%3C0655:DOTLIT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076%3C0655:DOTLIT%3E2.0.CO;2)
- Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078%3C0621:GDWFS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078%3C0621:GDWFS%3E2.0.CO;2)
- Kogan, F. N. (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, 75-87. <https://www.researchgate.net/publication/253598539>

- Lashni Zand, M. (2003). Investigating the intensity, continuity, and frequency of climatic droughts in six basins located in the west and northwest of the country. In *Proceedings of the 3rd Regional Conference on Climate Change*. [In Persian] <https://civilica.com/doc/12486/>
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11), 2636-2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179-183.
- Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1-4), 69-88. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.012>
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. US. *Weather Bureau Res. Paper*, 45, 1-58.
- Peters, D. P. (2002). Plant species dominance at a grassland-shrubland ecotone: an individual based gap dynamics model of herbaceous and woody species. *Ecological Modeling*, 152(1), 5-32. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00460-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00460-4)
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Roswintarti, O., Oarwati, S., & Anggraini, N. (2010). Potential drought monitoring over agriculture area in Java Island. *Indonesia, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype*, 121-135.
- Shafer, B. A., & Dezman, L. E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, CO*, 164-175.
- Tadesse, T., Brown, J. F., & Hayes, M. J. (2005). A new approach for predicting drought-related vegetation stress: Integrating satellite, climate, and biophysical data over the US central plains. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(4), 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.02.003>
- Tucker, C. J., & Sellers, P. J. (1986). Satellite remote sensing of primary vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1395-1416. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168608948944>
- Van-Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index (RAI), independent of time and space, *Notos*, 14, 43-48.
- Wan, Z., Wang, P., & Li, X. (2004). Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 61-72. <https://doi.org/10.1080/0143116031000115328>

- Weghorst, K. (1996). The Reclamation Drought Index: guidelines and practical applications. In *North American Water and Environment Congress & Destructive Water*, ASCE, 637-342.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>