

Original Article



Evaluation of the Effect of Drought on the Vegetation of Iran Using Satellite Images and Meteorological Data

Samad Khosravi Yegane¹, Mustafa Karampour^{2*}, Behrouz Nasiri³

Affiliation

1. Ph.D. Student, Dep. of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorram Abad, Lorestan, Iran
2. Assistant prof., Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorram Abad, Lorestan, Iran
3. Associate Prof., Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorram Abad, Lorestan, Iran

Citation: Khosravi Yegane, S., Karampour, M., Nasiri, B., Evaluation of the Effect of Drought on the Vegetation of Iran Using Satellite Images and Meteorological Data, *Iran J Remote Sens GIS*, 16(1):81-102.

ABSTRACT

Introduction: Drought conditions can vary from moderate to severe and have different durations, necessitating continuous and operational monitoring. The longer the drought persists, the more pronounced its impact on vegetation and water resources becomes, and the more severe the drought, the greater the limitation of services for humans and the alteration of natural systems. Habitat destruction for wildlife, reduced water quality, and reduced access to water resources could be considered as most effects of drought. Drought monitoring is essential for researchers, managers, and decision-makers to identify vulnerable areas, which can be used to reduce the consequences of drought.

Material and Methods: In this study, an attempt has been made to investigate the vegetation drought situation in Iran by using Suomi NPP infrared sensor images obtained from the Earth Data website (earthdata.nasa.gov) and using (NDVI), (VCI), (TCI), and (VHI) indices. The study period, spanning from April 1st to July (the 13th to 26th week), was selected as it encompasses the typical drought duration in Iran. The Standard Precipitation Index (SPI) was calculated for Iran using daily precipitation data from 143 synoptic stations. Subsequently, the correlation coefficient was calculated between SPI and each of the indices (NDVI), (VCI), (TCI), and (VHI). In infrared images, M bands have a resolution of 750 meters, while I bands have a resolution of 375 meters.

Results and Discussion: Based on the rainfall data recorded in synoptic meteorological stations, there is minimal rainfall during the summer months (July, August, and September). Conversely, the majority of rainfall occurs during the autumn, winter, and spring seasons. Consequently, the water year in most regions of Iran commences approximately in the third decade of September and continues until the second and third decade of June annually. In this study area, the optimal temporal base for monitoring and estimating drought on the vegetation is from April 1st to June 30th. In this article, the effect of precipitation on vegetation conditions was investigated using the standardized precipitation index (SPI), derived from monthly precipitation data from synoptic meteorological stations. Iran experiences a dry season in summer, with August being the driest month of the year. The temporal and spatial changes in drought for each vegetation indicator are markedly different.

Conclusion: Based on the majority of years experiencing drought, the vegetation cover is expected to face mild or severe drought. This is demonstrated by a decrease in the values of each indicator. In years that the vegetation was affected by drought, the values of the indices show a decrease in April, followed by an increase in June and July. This suggests the beginning of a severe drought. Based on the calculated SPI, it was determined that the area experiences low precipitation during the hot months, indicating a lower rate compared to other months.

Keywords: Remote Sensing Drought Indices, Standard index of precipitation, Iran.





ارزیابی تأثیر خشکسالی در پوشش گیاهی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی

صمد خسروی یگانه^۱، مصطفی کرم‌پور^{۲*}، بهروز نصیری^۳

سمت

۱. دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران
۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران
۳. دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران

چکیده

سابقه و هدف: شرایط خشکسالی ممکن است، از متوسط تا شدید و با مدت زمان متفاوت، متغیر باشد؛ این تغییرات به نظارت مداوم و عملیاتی نیاز دارد. هرچه خشکسالی بیشتر طول بکشد، در پوشش گیاهی و منابع آبی تأثیر بیشتری می‌گذارد و خشکسالی تشدید می‌شود؛ در نتیجه، ممکن است خدمات به انسان‌ها را محدود کند و سیستم‌های طبیعی را تغییر دهد. از جمله تأثیرات خشکسالی، تخریب زیستگاه حیات‌وحش، کاهش کیفیت آب و کاهش دسترسی به منابع آب است. پایش خشکسالی برای محققان، مدیران و تصمیم‌گیرندگان، به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، ضروری است و نتایج آن با هدف کاهش پیامدهای خشکسالی به‌کار می‌رود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تلاش شده است، با استفاده از تصاویر مادون‌قرمز سنجنده Suomi NPP دریافتی از سایت earth data.nasa.gov و بهره‌گیری از شاخص‌های VHI و TCI و وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی در ایران بررسی شود. دوره مورد مطالعه ۲۰۲۱-۲۰۱۳، اول آوریل تا انتهای جولای (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی)، به‌صورت میانگین هفتگی است. میانگین ماهیانه شاخص استاندارد بارش (SPI) در ایران با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۴۳ ایستگاه سینوپتیک به‌دست آمد. سپس ضریب همبستگی (SPI) با هریک از شاخص‌های VHI، TCI، VCI و NDVI محاسبه شد. در تصاویر مادون‌قرمز، باندهای M دارای قدرت تفکیک ۷۵۰ و باندهای I برابر با ۳۷۵ متر است.

نتایج و بحث: براساس داده‌های بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، می‌توان گفت که عمده بارش در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار رخ داده و سهم تابستان در بارش سالانه اندک می‌باشد. بنابراین سال آبی، در بیشتر مناطق ایران، به‌طور تقریبی از دهه سوم سپتامبر شروع و تا دهه دوم و سوم ژوئن هر سال ادامه دارد. در منطقه مورد مطالعه، بهترین پایه زمانی برای پایش و برآورد آن از اول آوریل تا اواخر ژوئن است. در فصل تابستان، ایران یک فصل خشک را می‌گذراند و ماه اوت خشک‌ترین ماه سال است. تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی با یکدیگر تفاوت زیادی دارد.

نتیجه: میزان هریک از شاخص‌ها در شرایطی که پوشش گیاهی در وضعیت خشکسالی قرار دارد کاهش یافته و در طبقه خشکسالی خفیف و سپس شدید قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، طی سال‌هایی که خشکسالی رخ داده است، مقدار شاخص‌ها از ماه آوریل روند نزولی دارد و در ژوئن و جولای، شاخص‌ها به‌سمت خشکسالی شدید میل پیدا می‌کند. براساس محاسبات، مشخص شد که مقدار شاخص استاندارد بارش در پهنه مورد مطالعه، طی ماه‌های گرم سال منفی است. این نکته بیانگر پایین‌بودن میزان بارش دریافتی در قیاس با دیگر ماه‌های سال است.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری، شاخص استاندارد بارش، ایران.

استناد: خسروی یگانه، ص.، کرم‌پور، م.، نصیری، ب.، ارزیابی تأثیر خشکسالی در پوشش گیاهی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳: ۱-۱۰۲.



۱- مقدمه

شرایط خشکسالی ممکن است، از متوسط تا شدید و با مدت زمان متفاوت، متغیر باشد؛ این تغییرات نظارت مداوم و عملیاتی را می‌طلبد. با افزایش طول مدت خشکسالی، پوشش گیاهی و منابع آبی بیشتر تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد؛ خشکسالی تشدید می‌شود و می‌تواند خدمات به انسان‌ها را محدود کند و سیستم‌های طبیعی را تغییر دهد. تأثیرات خشکسالی شامل تخریب زیستگاه حیات‌وحش، کاهش کیفیت آب، کاهش دسترسی به منابع آب و مواردی از این دست می‌شود (Brown et al., 2008) و در نتیجه، اختلالاتی مانند حوادث طبیعی، از جمله آتش‌سوزی، افزایش می‌یابد (Littell et al., 2016). خشکسالی در کشاورزی، منابع آب، تولید انرژی و بسیاری جنبه‌های دیگر جامعه نیز تأثیرگذار است. پایش خشکسالی برای محققان، مدیران و تصمیم‌گیرندگان، به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، ضروری است و اطلاعات حاصل برای کاهش پیامدهای خشکسالی به کار می‌رود. سنجش از دور مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای و انواع حسگرهای گوناگون، به دلیل پوشش یکپارچه، تکرار زمانی بالا و مشاهدات مستمر با وضوح متوسط، برای پایش خشکسالی پوشش گیاهی ابزار مفیدی به شمار می‌رود (Tadesse et al., 2014). کاربران مانیتور خشکسالی ایالات متحد (USDM)، به جای استفاده از یک شاخص، از چندین شاخص خشکسالی استفاده می‌کنند و دهه‌ها ورودی را در مدل مورد نظر به کار می‌گیرند تا، با بهره‌گیری از نقاط قوت و ضعف هر یک، رویکردی ترکیبی مطرح کنند. کاربران و محققان USDM با بهره‌گیری از منابع متعددی شامل شاخص‌های خشکسالی، داده‌های سطحی، هیدرولوژی، رطوبت خاک مدل‌سازی شده و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین استفاده از دیدگاه‌های کارشناسان خشکسالی، برای عرضه خدمات به کاربران تلاش می‌کنند. در دهه‌های گذشته، استفاده از ابزارهای متنوع بسیار برای توصیف انواع گوناگون پوشش گیاهی و شرایط وابسته به آن

افزایش یافته است (Fuchs et al., 2021). رضایی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی را با استفاده از سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی، بررسی کردند. آنها از تصاویر سنجنده مادیس ماهواره ترا^۲، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و داده‌های بارش از ایستگاه‌های سینوپتیک استان، استفاده کردند. براساس نتایج تحقیق آنها، مقادیر شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)^۳ طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به ترتیب، بیشترین و سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ کمترین میزان خشکسالی را داشته است. برای ارزیابی موفقیت تحقیق، شاخص SPI متعلق به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳، در نه ایستگاه محاسبه و با مقادیر برداشت‌شده از روی نقشه‌های حاصل از VCI در ایستگاه‌ها مقایسه شد. به علاوه، نتایج پژوهش آنها نشان داد به منظور برآورد خشکسالی کشاورزی از طریق سنجش از دور، استفاده از شاخص VCI روش بسیار مناسبی است و در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی به صورت پراکنده قرار دارند یا اصلاً ایستگاهی وجود ندارد، می‌توان از این مدل برای برآورد خشکسالی بهره برد. جهانگیر و مشیدی^۴ (۲۰۱۹) پایش خشکسالی کشاورزی مبتنی بر سنجش از دور را با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در ماه‌های رشد، در حوضه آبریز کارون، ارزیابی کردند. برای این کار، از تصاویر سنجنده مادیس در استخراج شاخص‌های VCI و TCI، طی ماه‌های مارس تا اوت سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ و داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تمامی شاخص‌ها، در بخش‌های جنوبی حوضه آبریز، خشکسالی شدید رخ داده‌اند. همچنین خشکسالی کشاورزی منتج از تصاویر ماهواره‌ای، براساس شاخص VCI، ضریب همبستگی بالایی با SPI داشت.

1. Rezai

2. Terra

3. Vegetation Condition Index

4. Jahangir & Mashidi

قرمزچشمه^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، برای بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با تأثیرپذیری پوشش گیاهی در استان لرستان، از روش سنجش دور استفاده کردند. این محققان از داده‌های بارش در دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۶ براساس تصاویر سنجنده مادیس نیز، برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی در دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰ استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که وضعیت شاخص پوشش گیاهی، در رده‌های خشکسالی با درجه متوسط، بیشترین تطابق را با شاخص بارش دارد. با توجه به روند تغییر اقلیم و کاهش بارندگی در دهه‌های اخیر، خشکسالی به مشکلی بزرگ در جهان و به‌ویژه، در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران، تبدیل شده است. درمقابل روش‌های رایج و قدیمی که مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی‌اند و بیشتر به بررسی خشکسالی هواشناسی می‌پردازند، استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، به‌منزله ابزاری مفید در پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی، مورد توجه محققان قرار گرفته است. اما استفاده از این تکنیک و نتایج آن، درمورد مناطق متفاوت، همچنان به ارزیابی و واسنجی نیاز دارد. شاخص‌های پوشش گیاهی روش‌های کاربردی برای پایش خشکسالی، از طریق داده‌های ماهواره‌ای، به‌شمار می‌روند. مطالعات انجام‌شده، 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 پوشش گیاهی و نیز بررسی خشکسالی وجود ندارد. علاوه‌براین اغلب مطالعات مورد نظر در مناطق با بارش نرمال انجام شده است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، نمی‌توان در مطالعه خشکسالی از هر شاخص گیاهی در هر منطقه‌ای استفاده کرد و نتایج مشابهی را انتظار داشت. از این‌رو باید رابطه هر یک از شاخص‌های ماهواره‌ای، با خشکسالی در منطقه مطالعاتی مدنظر، بررسی شود. بنابراین، به‌منظور پایش

زمانی و مکانی خشکسالی در ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، از جدیدترین روش و محصولات تصاویر ماهواره‌ای، یعنی مجموعه تصاویر مادون‌قرمز استفاده شد. در کشور ما، خشکسالی و مشکلات ناشی از آن، از نظر سیاسی، اقتصادی و اجتماعی جایگاه ویژه‌ای دارد و کمیت و کیفیت آن، در طرح‌های مقابله با خشکسالی و سامانه‌های پایش خشکسالی، قطعاً باید در اولویت قرار گیرد. بدین ترتیب لزوم تحقیق و مطالعه بیشتر در این زمینه در مناطق گوناگون کشورمان، به‌منظور شناسایی تغییرات زمانی و مکانی تأثیر بارش به‌منزله مهم‌ترین عامل مؤثر اقلیمی در پوشش گیاهی هر منطقه، بسیار ضروری است. اما متأسفانه به این موضوع مهم چندان پرداخته نشده و بیشتر مطالعات در این زمینه یا براساس داده‌های محدود زمینی و یا مختص مناطقی خاص و زمانی محدود انجام شده و نیز تکراری‌اند؛ بنابراین اغلب ایده جدیدی که با کارهای پیشین تفاوت بنیادی داشته باشد، در آنها به‌چشم نمی‌خورد. پس از مطالعه این پژوهش‌ها، در تحقیق پیش رو، سعی شده است با روشی جدید و انتخاب چند شاخص متفاوت به‌طور هم‌زمان، در دوره زمانی کوتاهی به‌صورت میانگین هفتگی، پوشش گیاهی در ایران رصد و شرایط آن بررسی شود. از آنجاکه روش‌های نوین گسترش یافته‌اند و از تکنیک جدید سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی استفاده می‌شود و از سویی، در داده‌های عناصر جوی نواقصی دیده می‌شود و ایستگاه‌های هواشناسی نیز پراکندگی مناسبی ندارند، لزوم توجه به روش‌های نوین، با قابلیت داده‌پردازی و مدل‌سازی بالا و بازخوانی داده‌های نقاط گوناگون، پررنگ شده است؛ به‌گونه‌ای که در سال‌های اخیر در مدیریت و سامان‌دهی مناسب تأثیرات خشکسالی، علاوه‌بر شاخص‌ها و روش‌های آماری، داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای نقش مهمی در پایش خشکسالی ناشی از شرایط محیطی یافته‌اند.

1. Qermwz Cheshme

۲- مواد و روش‌ها

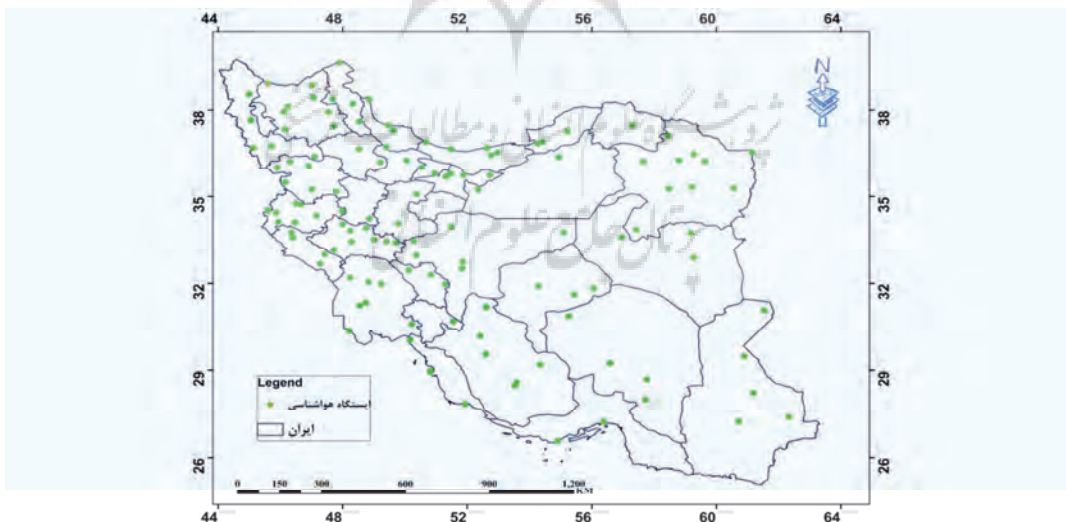
۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

کشور ایران، با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع، بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).

۲-۲- داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه تلاش شده است با استفاده از تصاویر مادون قرمز سنجنده Suomi NPP دریافتی از سایت earth data.nasa.gov و با بهره‌گیری از شاخص‌های NDVI، VCI، TCI و VHI وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی در ایران بررسی شود. دوره مورد مطالعه سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۳، از ابتدای آوریل تا انتهای جولای (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی)، به صورت میانگین هفتگی است. میانگین ماهیانه شاخص استاندارد بارش (SPI) در ایران با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۴۳ ایستگاه سینوپتیک مشخص شد تا وضعیت بارش به خوبی تحلیل و ماه‌های خشک و مرطوب از یکدیگر تفکیک شود. سپس ضریب همبستگی (SPI) با هریک از شاخص‌های NDVI، VCI، TCI و VHI محاسبه شد.

در تصاویر مادون قرمز، باندهای M دارای قدرت تفکیک ۷۵۰ و باندهای I برابر با ۳۷۵ متر هستند. مشخصات باندهای تصاویر مادون قرمز در جدول ۱ آمده و شاخص NDVI (رابطه (۱)) براساس باندهای (NIR=I2) و (Red=I1) محاسبه شده است. از آنجاکه NDVI و دمای روشنایی (BT) مؤلفه‌های آب‌وهوا و اقلیم محیط را در سیگنال سلامت پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌کنند، به منظور برآورد خشکسالی ناشی از آب‌وهوا استفاده شدند. a به میزان ۰/۵ و ضریبی ثابت است (Shelford, 1931; Holdren & Ehrlich, 1974; Kogan, 1995). NDVImax بیانگر پوشش گیاهی بسیار سالم یا نرمال است که از نظر عددی، ۱۰۰ تخمین زده می‌شود. NDVimin نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار ناسالم است که در حد صفر برآورد شده است. VHI یا شاخص سلامت پوشش گیاهی^۱، در مقیاس بسیار سالم تا خیلی ضعیف و با برخی شرایط میانی مانند عادی، کمی بالاتر یا پایین‌تر از نرمال و استرس را مشخص می‌کند. شاخص وضعیت گیاهی مبتنی بر NDVI VCI دمای مبتنی بر BT شاخص وضعیت TCI و ترکیبی از سلامت گیاهی به صورت روابط (۱) تا (۳) محاسبه می‌شود.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش

1. Vegetation Health Index

$$VCI = 100 \times \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

رابطه (۲)

$$TCI = 100 \times \frac{(BT_{max} - BT)}{(BT_{max} - BT_{min})}$$

رابطه (۳)

$$VHI = a \times VCI + (1 + a) \times TCI$$

رابطه (۴)

جدول ۲ بیانگر طبقه‌بندی یا خشکسالی است. میزان هر یک از شاخص‌های مورد بررسی در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

میزان هر یک از شاخص‌ها از صفر (استرس شدید) به ۱۰۰ (بسیار سالم) تغییر می‌کند. طبق یک اصل، اگر پوشش گیاهی بسیار سبز و شاخص‌های (رطوبت، حرارتی و ترکیبی) بسیار سالم به مقدار ۱۰۰ و میزان سبزی‌نگی پوشش گیاهی بسیار کم باشد، وضعیت پوشش گیاهی از حالت نرمال خارج و دچار تنش می‌شود (Kogan, 1995; 1997; 2001a).

جدول ۲ طبقه‌بندی هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad (NIR + Red) / ((NDVI = NIR - Red))$$

جدول ۱. مشخصات باندهای تصاویر VIIRS

باندها	محدوده طیفی (میکرومتر)	موارد استفاده اولیه
M1	۰/۴۲۲-۰/۴۰۲	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها
M2	۰/۴۵۴-۰/۴۳۶	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها
M3	۰/۴۹۸-۰/۴۷۸	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها
M4	۰/۵۶۵-۰/۵۴۵	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها
I1	۰/۶۸۰-۰/۶۰۰	تصویرسازی پدیده‌ها
M5	۰/۶۸۲-۰/۶۶۲	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها
M6	۰/۷۵۴-۰/۷۳۹	تصحیح اتمسفری
I2	۰/۸۸۵-۰/۸۴۶	شاخص پوشش گیاهی
M7	۰/۸۸۵-۰/۸۴۶	رنگ اقیانوس و آئروسول‌ها
M8	۱/۲۵-۱/۲۳۰	اندازه ذرات ابرها
M9	۱/۳۸۶-۰/۳۷۱	تشخیص نوع ابرها
I3	۰/۶۴۰-۱/۵۸۰	نقشه دوبعدی برف
M10	۱/۶۴۰-۱/۵۸۰	کسر (حذف) برف
M11	۲/۲۷۵-۲/۲۲۵	ابرها
I4	۳/۹۳۰-۳/۵۵۰	تصاویر ابرها
M12	۳/۸۴۰-۳/۶۶۰	دمای سطح آب اقیانوس‌ها
M13	۴/۱۲۸-۳/۹۷۳	دمای سطح آب اقیانوس‌ها و آتش‌سوزی‌ها
M14	۸/۷۰۰-۸/۴۰۰	خواص برتر ابرها
M15	۱۱/۲۶۳-۱۰/۲۶۳	دمای سطح آب اقیانوس‌ها
I5	۱۲/۴۰۰-۱۰/۵۰۰	تصاویر ابرها
M16	۱۲/۴۸۸-۱۱/۵۳۸	دمای سطح آب اقیانوس‌ها
DNB	۰/۹۰۰-۰/۵۰۰	آلودگی نوری

جدول ۲. طبقه‌بندی میزان خشکسالی VCI، TCI و VHI

VHI، TCI و VCI مقدار	۱۰ <	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	۴۰-۳۰	۶۰-۴۰	۶۰ >
شرایط خشکسالی	بسیار شدید	شدید	متوسط	ملایم	نرمال	ترسالی

منبع: Bhuviyan et al., 2011

جدول ۳. طبقه‌بندی وضعیت های خشکسالی شاخص NDVI

مقدار NDVI	< ۰	۰/۲-۰	۰/۴-۰/۲	۰/۴-۰/۶	≥ ۰/۶
خشکسالی	خشکی شدید	خشکی	نرمال	ترسالی	ترسالی

در فصل تابستان (جولای، اوت و سپتامبر) بارش اندکی رخ می‌دهد و فقط در پاییز، زمستان و بهار شاهد بارش هستیم. بنابراین سال آبی، در بیشتر مناطق ایران، تقریباً از دهه سوم سپتامبر آغاز می‌شود و تا دهه دوم و سوم ژوئن هر سال ادامه دارد. در منطقه مورد مطالعه، اگر پوشش گیاهی دچار خشکسالی شود، بهترین پایه زمانی برای پایش و برآورد آن از اول آوریل تا انتهای ژوئن است زیرا، چنانچه پوشش گیاهی در دیگر ماه‌ها دچار خشکسالی شود، بارش در دیگر ماه‌های سال می‌تواند خشکسالی پوشش گیاهی را جبران کند و کمبود بارش در میزان پوشش گیاهی تأثیرگذار نخواهد بود. از این رو انتخاب پایه زمانی اول آوریل (هفته ۱۳) تا انتهای ژوئن (هفته ۲۶)، برای بررسی خشکسالی حادث شده در پوشش گیاهی، مناسب است. در این مقاله برای تشخیص تأثیر بارش در شرایط پوشش گیاهی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) براساس اطلاعات بارندگی ماهیانه میلادی، متعلق به ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، استفاده و تحلیل شد. در فصل تابستان، ایران فصل خشکی را از سر می‌گذرانند و ماه اوت خشک‌ترین ماه سال است. نقشه‌های پوشش گیاهی به‌دست آمده از سنجنده

در جدول ۳، مقادیر منفی NDVI بیانگر شرایط پوشش گیاهی پایین‌تر از نرمال است که وضعیت خشکسالی را معرفی می‌کند (Berhan et al., 2011). مک کی و همکاران (۱۹۹۵)، از دانشگاه ایالتی کلرادو، شاخص بارندگی استاندارد شده را تدوین کردند. این شاخص براساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هر ماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص، تقسیم‌بر انحراف معیار بارندگی در آن مقیاس زمانی، محاسبه می‌شود و با معادله زیر محاسبه شده است.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad \text{رابطه (۵)}$$

X_i میانگین بارندگی در هر ماه، \bar{X} میانگین بارش در دوره مورد نظر و S_x انحراف معیار مقدار بارش است. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی در کلاس‌های متفاوت (جدول ۳) دسته‌بندی می‌شود.

۳- یافته‌ها

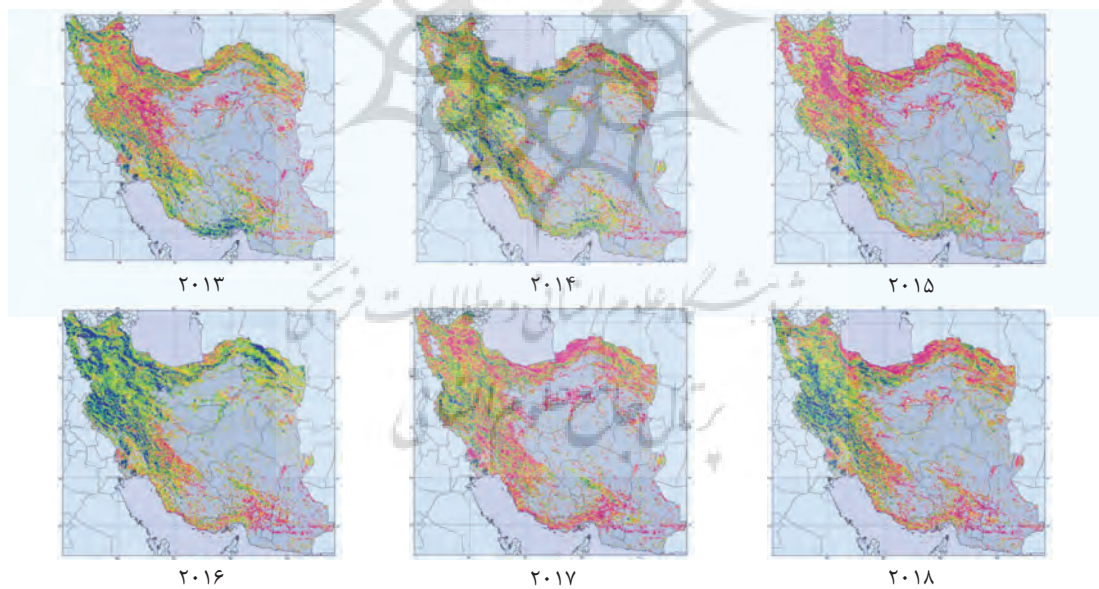
با توجه به پهنه مورد مطالعه، تعیین زمان خاصی به‌منزله آغاز دوره رشد و دوره خزان پوشش گیاهی قدری مشکل است. براساس داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، می‌توان گفت که

جدول ۴. طبقه‌بندی شرایط خشکسالی SPI

SPI مقدار	≥ ۰/۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	۰/۱ تا ۱/۴۹	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	-۰/۱ تا -۱/۴۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	≤ -۲
شرایط خشکسالی	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید

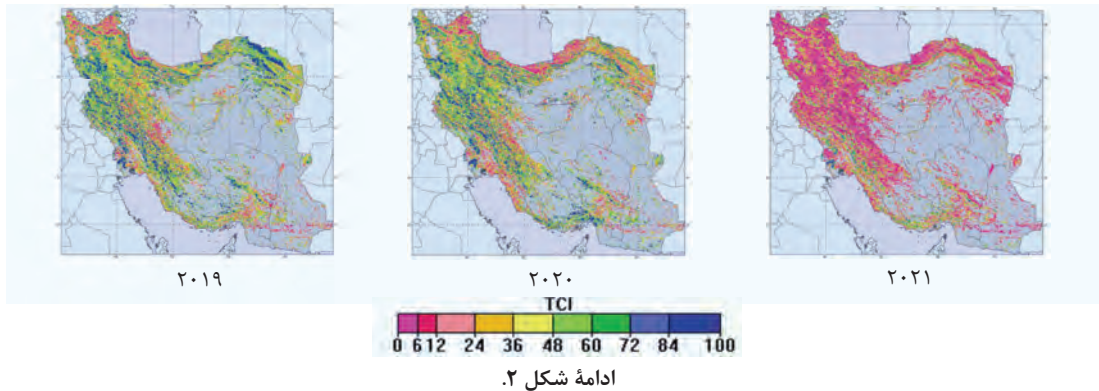
در وضعیت نرمالی قرار داشته است. براساس جدول ۲، شاخص وضعیت پوشش گیاهی از شاخص‌هایی است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌منظور پایش منظم و سیستماتیک وضعیت خشکسالی و تنش آبی پوشش گیاهی، عمومیت گسترده‌ای یافته و در همه سال‌ها از الگویی منظم و یکسان پیروی نمی‌کند. این شاخص با استفاده از مقادیر حداکثر و حداقل NDVI تعیین می‌شود و از درصد پوشش گیاهی، فعالیت فتوسنتزی گیاه، آب سطحی، شاخص سطح برگ و مقدار زیست‌توده تأثیر مستقیم می‌پذیرد. این شاخص، به‌دلیل حساسیت در برابر وضعیت و سلامت پوشش گیاهی، کاربردهای فراوانی در پایش و کنترل استرس آبی انواع اراضی دارای پوشش گیاهی دارد. با استفاده از این شاخص می‌توان، در فاصله‌های زمانی کوتاه، نواحی و مناطق تحت تنش آبی را شناسایی کرد و اقدامات لازم به‌منظور کنترل این پدیده را انجام داد.

Suomi NPP که از نوع تصاویر مادون‌قرمز قابل دید (VIIRS)^۱ است، برای نُه سال (از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱) در مورد منطقه مورد مطالعه تهیه شد. با توجه به این تصاویر، به‌طور کلی وضعیت نرمال و غیرنرمال پوشش گیاهی در طول بازه زمانی، در سراسر محدوده مورد مطالعه، وضعیت کاملاً متفاوتی داشته است. تصاویر مادون‌قرمز قابل دید به‌صورت میانگین هفتگی، طی هفته ۲۶ (در ۲۰۲۱-۲۰۱۳)، برای نشان دادن شرایط نرمال و خشکسالی پوشش گیاهی انتخاب شده است که می‌توانند تغییرات پوشش گیاهی در کوتاه‌ترین زمان را به‌خوبی نشان دهند. می‌توان گفت، در تمامی سال‌های مورد بررسی، شاخص وضعیت دما (TCI)^۲ در ایران شرایط یکنواختی نداشته و با توجه به شکل ۲، پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ دچار خشکسالی شده و در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸



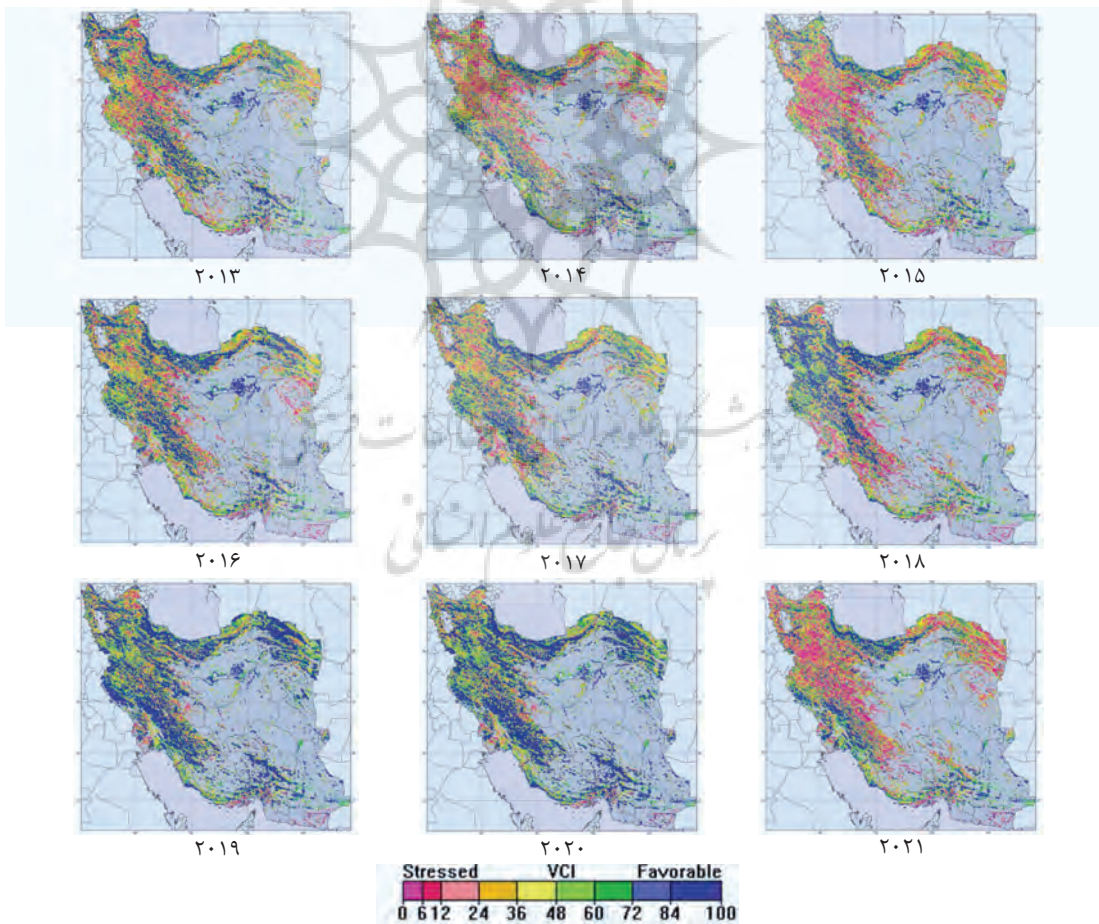
شکل ۲. میانگین هفتگی شاخص وضعیت دما (TCI) در ایران (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۲۱-۲۰۱۳)

1. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
2. Temperature Condition Index



خشکسالی). در سال ۲۰۲۱ که خشک‌ترین وضعیت این شاخص به‌شمار می‌رود، از هفته ۱۳ میلادی (اول آوریل تا اواخر ژوئن) روند نزولی داشته است. به‌عبارت دیگر، این شاخص در سالی که دچار خشکسالی یا ترسالی شده،

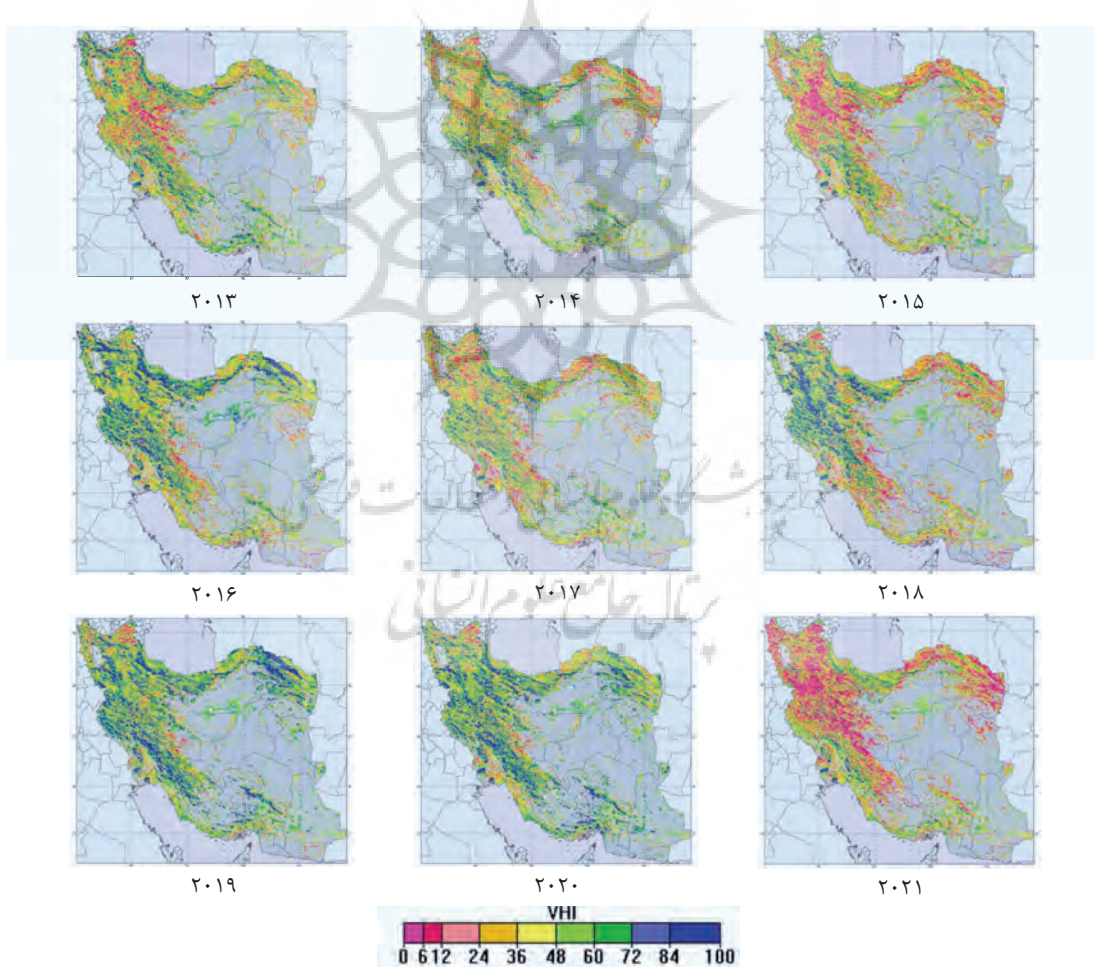
با توجه به شکل ۳، می‌توان دریافت که شرایط شاخص VCI در تمامی مناطق ایران وضعیتی کاملاً متفاوت دارد و از نظر تغییرات منطقه‌ای، چندان محسوس نبوده است (در وضعیت ترسالی یا



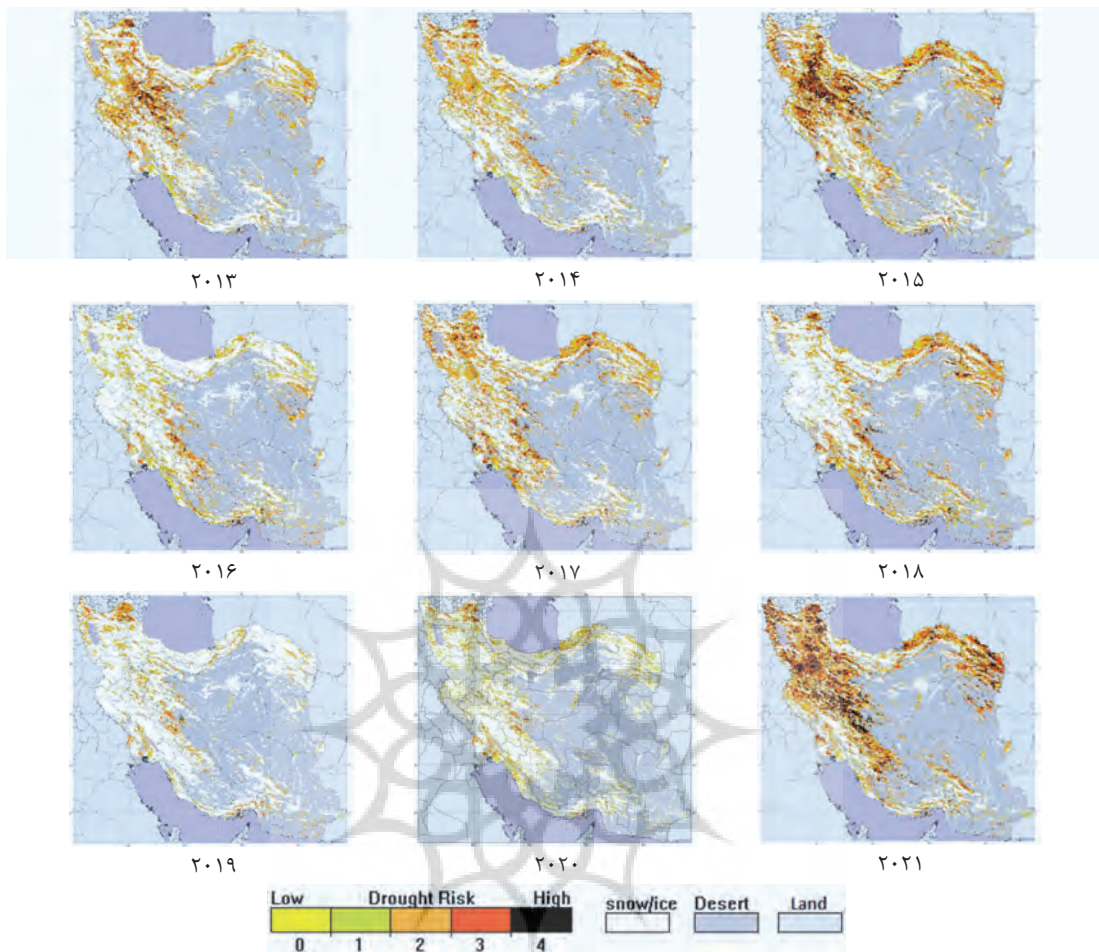
وضعیت مطلوبی نداشته است. در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹، پوشش گیاهی به مراتب در وضعیت نرمال تری قرار داشت. در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹، در مناطق شمال شرق کشور در وضعیتی مساعدتر از دیگر سال‌ها بوده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در دوره مورد مطالعه، روند ریسک خشکسالی پوشش گیاهی در ایران همواره متفاوت بوده است. در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ شدیدترین دوره خشکسالی یا ریسک خشکسالی پوشش گیاهی ایران رخ داده است. در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ خطر خشکسالی پوشش گیاهی کمتر از دیگر سال‌های مورد مطالعه بوده و شرایط آن مساعدتر بوده است.

از اول آوریل، شرایط یکسانی نداشته و روند مقادیر آن نزولی یا صعودی بوده است. مرطوب‌ترین سال‌ها، طبق این شاخص، سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ است. پوشش گیاهی ایران براساس شاخص مورد نظر، در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱، در وضعیت خشکسالی قرار داشته که میزان آن، در مناطق شمال غرب و غرب ایران، بیشتر بوده است.

براساس شاخص سلامت، پوشش گیاهی شاخصی مفید و کاربردی در پایش خشکسالی پوشش گیاهی به شمار می‌رود. براساس شکل ۴، وضعیت این شاخص در سراسر ایران یکسان نبوده است. در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ پوشش گیاهی، براساس این شاخص،



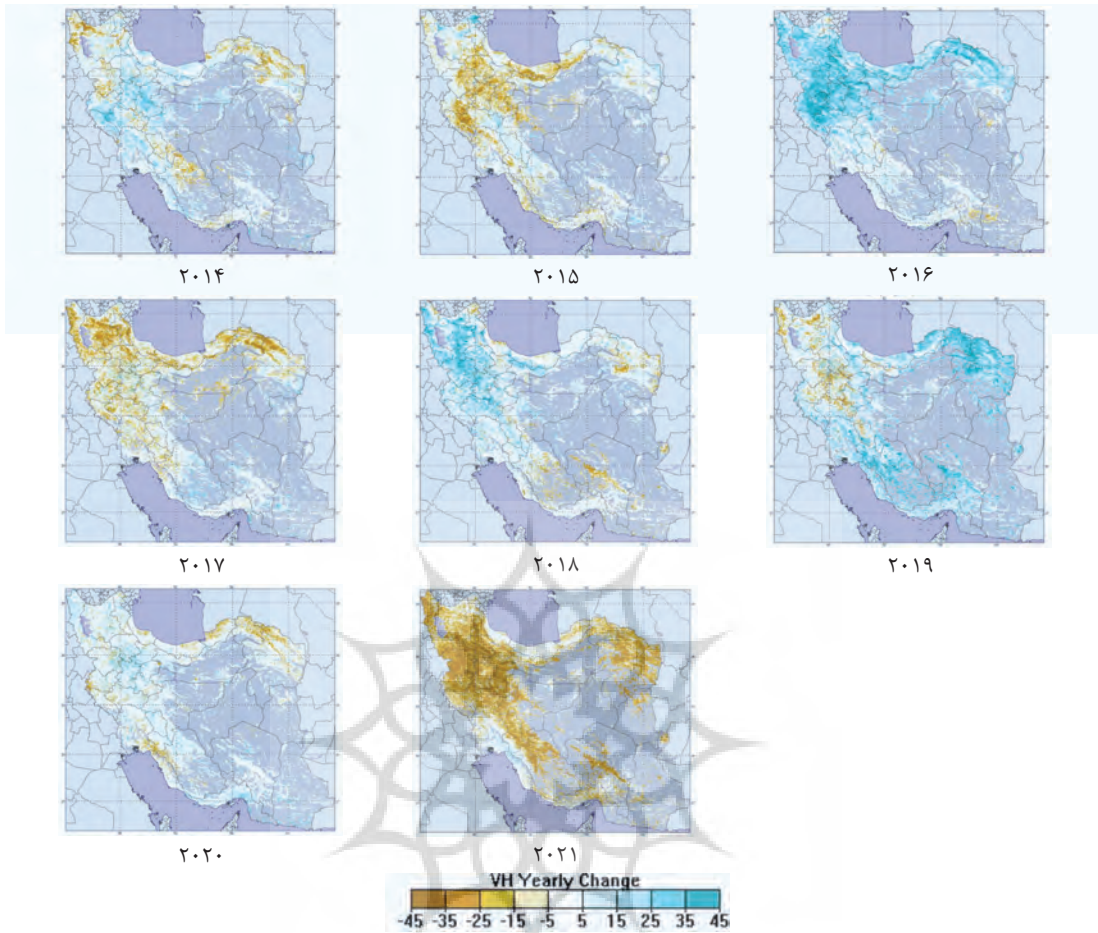
شکل ۴. میانگین هفتگی شاخص سلامت پوشش گیاهی ایران در هفته ۲۶ (۲۰۱۳-۲۰۲۱)



شکل ۵. میانگین هفتگی خطر خشکسالی ایران (هفته ۱۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

گیاهی استخراج شده است، میزان شاخص‌های VCI، پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، می‌توان بیان کرد در بسیاری از بخش‌های منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱، این شاخص در پایین‌ترین سطح بوده است. این وضعیت حتی در نواحی شمالی کشور نیز به چشم می‌خورد. وضعیت مساعد این شاخص، در بازه سالیانه ۲۰۱۶ و وضعیت غیرمساعد آن در سال ۲۰۲۱ مشاهده شده است. براساس مندرجات جدول ۴ که مقدار عددی هر یک از شاخص‌های پوشش

طبق شکل ۶ که تغییرات سالیانه شاخص سلامت گیاهی را نشان می‌دهد، می‌توان بیان کرد در بسیاری از بخش‌های منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱، این شاخص در پایین‌ترین سطح بوده است. این وضعیت حتی در نواحی شمالی کشور نیز به چشم می‌خورد. وضعیت مساعد این شاخص، در بازه سالیانه ۲۰۱۶ و وضعیت غیرمساعد آن در سال ۲۰۲۱ مشاهده شده است. براساس مندرجات جدول ۴ که مقدار عددی هر یک از شاخص‌های پوشش



شکل ۶. تغییرات سالیانه شاخص سلامت پوشش گیاهی در ایران

جدول ۵. میانگین هفتگی مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه

سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI	سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI
۲۰۱۳	۱۳	۰/۱۰۲	۵۸/۰۴	۲۹/۴۶	۴۳/۷۴	۲۰۱۵	۱۳	۰/۱	۵۶/۲۹	۳۶/۹۲	۴۶/۶
۲۰۱۳	۱۴	۰/۱۰۵	۵۷/۰۳	۳۰/۹۸	۴۳/۹۹	۲۰۱۵	۱۴	۰/۱۰۴	۵۵/۹۳	۳۵/۶۸	۴۵/۸
۲۰۱۳	۱۵	۰/۱۰۸	۵۶	۳۳/۱۷	۴۴/۷۵	۲۰۱۵	۱۵	۰/۱۰۸	۵۵/۷۵	۳۳/۰۳	۴۴/۳۹
۲۰۱۳	۱۶	۰/۱۰۹	۵۴/۳۹	۳۶/۸۹	۴۵/۶۳	۲۰۱۵	۱۶	۰/۱۱	۵۴/۷۴	۲۹/۵۱	۴۲/۱۲
۲۰۱۳	۱۷	۰/۱۰۹	۵۲/۶۳	۳۸/۹۹	۴۵/۷۸	۲۰۱۵	۱۷	۰/۱۱۱	۵۲/۸۸	۲۸/۴۴	۴۰/۶۵
۲۰۱۳	۱۸	۰/۱۱	۵۱/۶۷	۳۹/۵۲	۴۵/۵۵	۲۰۱۵	۱۸	۰/۱۱	۵۱/۱۶	۲۸/۲۳	۳۹/۶۹
۲۰۱۳	۱۹	۰/۱۰۹	۵۰/۳۴	۳۹/۴۲	۴۴/۸۴	۲۰۱۵	۱۹	۰/۱۰۹	۴۹/۰۲	۲۸/۳۴	۳۸/۶۸
۲۰۱۳	۲۰	۰/۱۰۷	۴۹/۱۳	۳۹/۷۵	۴۴/۴۱	۲۰۱۵	۲۰	۰/۱۰۶	۴۷/۱۷	۳۰/۱۱	۳۸/۶۶
۲۰۱۳	۲۱	۰/۱۰۵	۴۸/۱۱	۳۷/۸۱	۴۲/۹۵	۲۰۱۵	۲۱	۰/۱۰۴	۴۵/۳۲	۲۹/۵۴	۳۷/۴۶
۲۰۱۳	۲۲	۰/۱۰۳	۴۷/۷۸	۳۶/۳۱	۴۲/۰۲	۲۰۱۵	۲۲	۰/۱	۴۴/۰۵	۲۹/۰۴	۳۶/۵۷
۲۰۱۳	۲۳	۰/۱۰۱	۴۸/۱۱	۳۴/۷۴	۴۱/۳۸	۲۰۱۵	۲۳	۰/۰۹۷	۴۳/۳۹	۲۸/۳۵	۳۵/۸۷

ادامه جدول ۵.

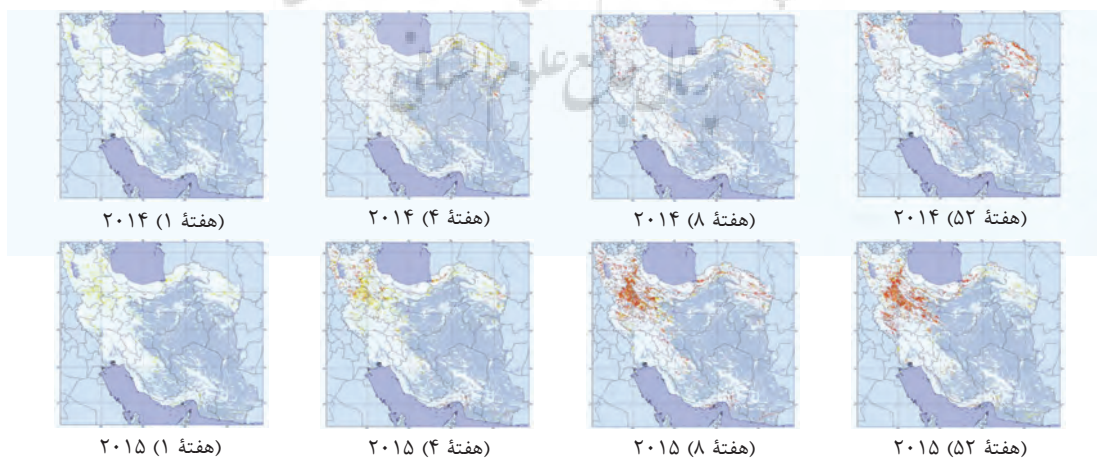
سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI	سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI
۲۰۱۳	۲۴	۰/۰۹۷	۴۶/۸۲	۳۵	۴۰/۸۷	۲۰۱۵	۲۴	۰/۰۹۴	۳۲/۰۸	۲۷/۹۸	۳۵/۰۳
۲۰۱۳	۲۵	۰/۰۹۳	۴۵/۲۴	۳۵/۸۴	۴۰/۵۲	۲۰۱۵	۲۵	۰/۰۹	۴۰/۷۵	۲۹/۴۳	۳۵/۱
۲۰۱۳	۲۶	۰/۰۹۱	۴۵/۴۱	۳۴/۲۹	۳۹/۸۳	۲۰۱۵	۲۶	۰/۰۸۷	۴۰/۸۷	۲۹/۵۳	۳۵/۲۱
۲۰۱۴	۱۳	۰/۰۹۶	۵۵/۶۱	۳۷/۷۳	۴۶/۶۶	۲۰۱۶	۱۳	۰/۱۰۵	۶۰/۹۶	۳۲/۶۶	۴۶/۸
۲۰۱۴	۱۴	۰/۱	۵۴/۶	۳۷/۹	۴۶/۲۵	۲۰۱۶	۱۴	۰/۱۰۹	۵۹/۹۵	۳۵/۰۸	۴۷/۵۱
۲۰۱۴	۱۵	۰/۱۰۳	۵۳/۷۳	۳۷/۴۵	۴۵/۵۹	۲۰۱۶	۱۵	۰/۱۱۲	۵۸/۹۳	۳۶/۲۴	۴۷/۵۷
۲۰۱۴	۱۶	۰/۱۰۵	۵۲/۷	۳۶/۴۹	۴۴/۵۹	۲۰۱۶	۱۶	۰/۱۱۴	۵۷/۶۸	۳۷/۴۷	۴۷/۵۸
۲۰۱۴	۱۷	۰/۱۰۶	۵۱/۲۶	۳۵/۴	۴۳/۳۲	۲۰۱۶	۱۷	۰/۱۱۴	۵۵/۵۹	۳۸/۶۵	۴۷/۱۲
۲۰۱۴	۱۸	۰/۱۰۷	۵۰/۴۴	۳۵/۰۷	۴۲/۷۳	۲۰۱۶	۱۸	۰/۱۱۴	۵۴/۱۸	۳۸/۵۲	۴۶/۳۵
۲۰۱۴	۱۹	۰/۱۰۷	۴۹/۳۵	۳۵/۵۵	۴۲/۴۴	۲۰۱۶	۱۹	۰/۱۱۳	۵۲/۵۸	۳۸/۷	۴۵/۶۵
۲۰۱۴	۲۰	۰/۱۰۵	۴۷/۹۲	۳۹/۶	۴۳/۷۷	۲۰۱۶	۲۰	۰/۱۱۲	۵۱/۴۷	۴۰/۱۶	۴۵/۸۵
۲۰۱۴	۲۱	۰/۱۰۳	۴۶/۳	۴۰/۶۶	۴۳/۵۳	۲۰۱۶	۲۱	۰/۱۱	۵۰/۳۷	۳۹/۵۲	۴۵/۰۱
۲۰۱۴	۲۲	۰/۱۰۱	۴۵/۷	۳۹/۹۸	۴۲/۹	۲۰۱۶	۲۲	۰/۱۰۸	۵۰/۴۷	۳۹/۲۴	۴۴/۹۴
۲۰۱۴	۲۳	۰/۰۹۸	۴۵/۴۵	۳۸/۲۷	۴۱/۹۱	۲۰۱۶	۲۳	۰/۱۰۵	۵۰/۶۱	۳۸/۱۸	۴۴/۴۷
۲۰۱۴	۲۴	۰/۰۹۵	۴۴/۱۷	۳۷/۵۶	۴۰/۹۱	۲۰۱۶	۲۴	۰/۱	۴۸/۹۲	۳۹/۷۸	۴۴/۴۳
۲۰۱۴	۲۵	۰/۰۹۱	۴۲/۹۸	۳۷/۳	۴۰/۱۹	۲۰۱۶	۲۵	۰/۰۹۶	۴۷/۰۴	۴۱/۹	۴۴/۵۶
۲۰۱۴	۲۶	۰/۰۸۸	۴۲/۹۷	۳۵/۹۶	۳۹/۴۹	۲۰۱۶	۲۶	۰/۰۹۲	۴۶/۷۳	۴۱/۰۲	۴۳/۹۶
۲۰۱۷	۱۳	۰/۰۸۷	۴۸/۰۶	۳۸/۱۶	۴۳/۱۱	۲۰۱۹	۱۳	۰/۱۰۲	۵۹/۶۸	۵۸/۱۲	۵۸/۸۹
۲۰۱۷	۱۴	۰/۰۹۲	۴۸/۲	۳۶/۲۹	۴۲/۲۴	۲۰۱۹	۱۴	۰/۱۰۷	۶۰/۳	۶۰/۶۴	۶۰/۴۷
۲۰۱۷	۱۵	۰/۰۹۶	۴۸/۶۸	۳۱/۸۸	۴۰/۲۸	۲۰۱۹	۱۵	۰/۱۱۲	۶۱/۵۵	۶۲/۴۹	۶۲/۰۲
۲۰۱۷	۱۶	۰/۱	۴۸/۹۱	۲۹/۲۲	۳۹/۰۶	۲۰۱۹	۱۶	۰/۱۱۶	۶۲/۳۳	۶۲/۵۴	۶۲/۴۴
۲۰۱۷	۱۷	۰/۱۰۴	۴۸/۶۶	۲۷/۰۲	۳۷/۸۴	۲۰۱۹	۱۷	۰/۱۱۹	۶۲/۴۸	۶۰/۰۵	۶۱/۲۷
۲۰۱۷	۱۸	۰/۱۰۶	۴۹/۰۵	۲۶/۰۸	۳۷/۵۵	۲۰۱۹	۱۸	۰/۱۲	۶۲/۸۹	۵۶/۸۹	۵۹/۹
۲۰۱۷	۱۹	۰/۱۰۸	۴۹/۶۴	۲۵/۳۹	۳۷/۴۹	۲۰۱۹	۱۹	۰/۱۲	۶۲/۷۲	۵۵/۵۳	۵۹/۱۵
۲۰۱۷	۲۰	۰/۱۰۸	۵۰/۲۷	۲۵/۸۳	۳۸/۰۳	۲۰۱۹	۲۰	۰/۱۱۹	۶۲/۲۶	۵۶/۱۴	۵۹/۲۶
۲۰۱۷	۲۱	۰/۱۰۸	۵۰/۴	۲۴/۶۱	۳۷/۵۱	۲۰۱۹	۲۱	۰/۱۱۸	۶۱/۷۸	۵۴/۳۷	۵۸/۱۸
۲۰۱۷	۲۲	۰/۱۰۶	۵۱/۱۶	۲۳/۷۴	۳۷/۴۶	۲۰۱۹	۲۲	۰/۱۱۵	۶۱/۹۷	۵۱/۹۷	۵۷/۰۹
۲۰۱۷	۲۳	۰/۱۰۴	۵۲/۱۲	۲۲/۵۲	۳۷/۳۲	۲۰۱۹	۲۳	۰/۱۱۲	۶۲/۱۲	۴۸/۴	۵۵/۳۷
۲۰۱۷	۲۴	۰/۱۰۱	۵۱/۲۲	۲۳/۴۸	۳۷/۳۷	۲۰۱۹	۲۴	۰/۱۰۸	۶۰/۸۷	۴۵/۶	۵۳/۴۴۳
۲۰۱۷	۲۵	۰/۰۹۷	۴۹/۹۵	۲۵/۳۹	۳۷/۷	۲۰۱۹	۲۵	۰/۱۰۳	۵۹/۱۳	۴۳/۸۴	۵۱/۵۹
۲۰۱۷	۲۶	۰/۰۹۳	۴۹/۸۳	۲۶/۲۷	۳۸/۰۹	۲۰۱۹	۲۶	۰/۰۹۹	۵۸/۱۸	۴۱/۷۶	۵۰/۰۴
۲۰۱۸	۱۳	۰/۰۹۶	۵۳/۰۴	۲۲/۴۵	۳۸/۴۷	۲۰۲۰	۱۳	۰/۱۰۵	۶۴/۱۲	۵۲/۸۳	۵۸/۴۷
۲۰۱۸	۱۴	۰/۰۹۹	۵۱/۳۶	۲۶/۴۹	۳۸/۹۲	۲۰۲۰	۱۴	۰/۱۱	۶۴/۰۸	۵۶/۹۴	۶۰/۵۱
۲۰۱۸	۱۵	۰/۱۰۲	۴۹/۹۵	۳۰/۳۵	۴۰/۱۵	۲۰۲۰	۱۵	۰/۱۱۱	۶۴/۱۴	۵۹/۹۱	۶۲/۰۳
۲۰۱۸	۱۶	۰/۱۰۳	۴۸/۰۲	۳۵/۴۶	۴۱/۷۵	۲۰۲۰	۱۶	۰/۱۱۷	۶۴/۳۵	۶۰/۳۳	۶۲/۳۴
۲۰۱۸	۱۷	۰/۱۰۴	۴۶/۱۵	۴۰/۳۳	۴۳/۲۱	۲۰۲۰	۱۷	۰/۱۲	۶۴/۶۳	۵۸/۵۳	۶۱/۵۸
۲۰۱۸	۱۸	۰/۱۰۵	۴۵/۴۴	۴۳/۳۴	۴۴/۴۱	۲۰۲۰	۱۸	۰/۱۲۲	۶۵/۵۲	۵۳/۹۹	۵۹/۷۵
۲۰۱۸	۱۹	۰/۱۰۶	۴۴/۸۶	۴۵/۶۸	۴۵/۳۲	۲۰۲۰	۱۹	۰/۱۲۲	۶۵/۷۳	۴۹/۴۳	۵۷/۵۸
۲۰۱۸	۲۰	۰/۱۰۶	۴۴/۹۹	۴۷/۶۸	۴۶/۴۱	۲۰۲۰	۲۰	۰/۱۲۲	۶۵/۵۵	۴۷/۴۹	۵۶/۵۳

ادامه جدول ۵.

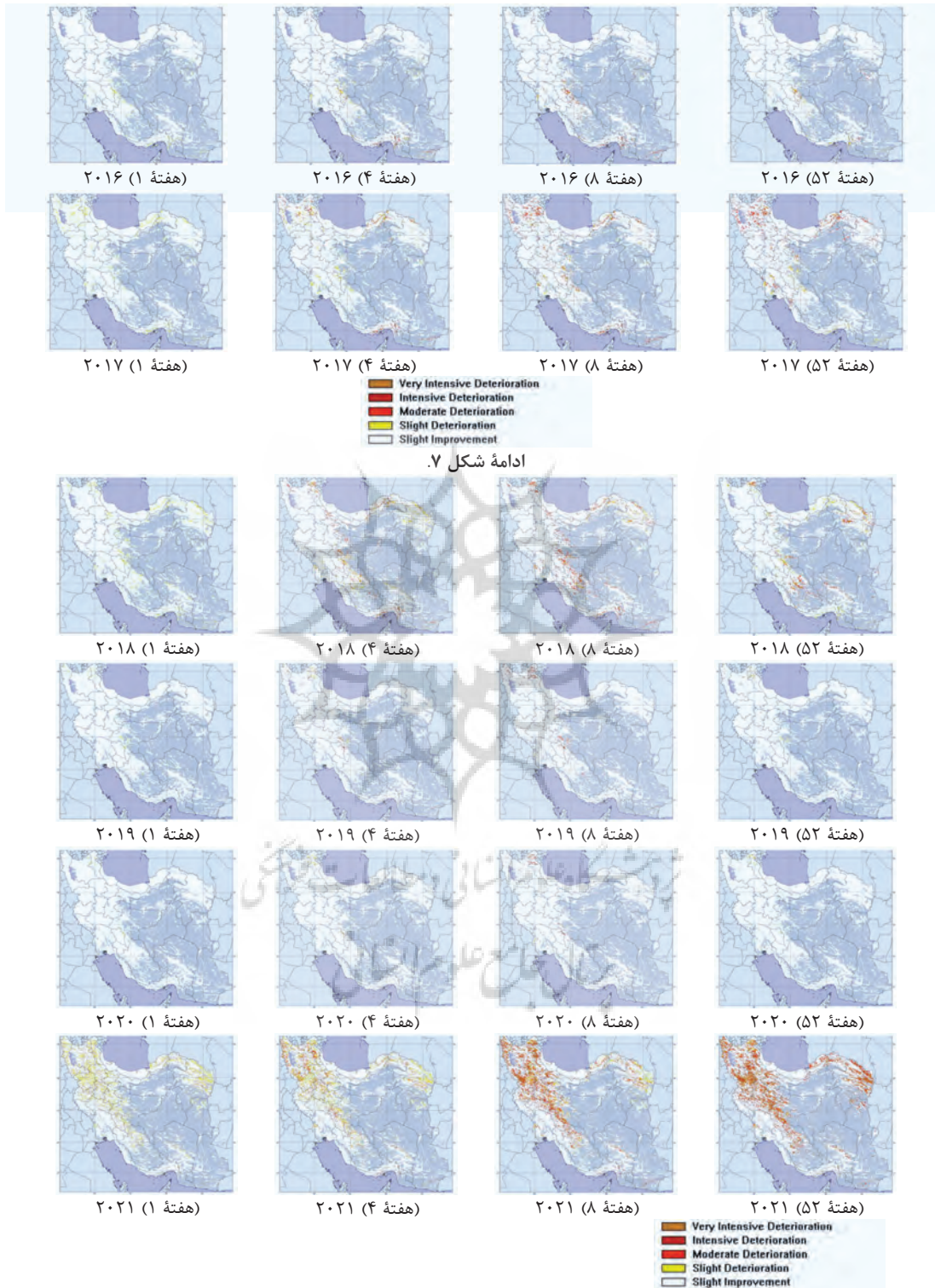
سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI	سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI
۲۰۱۸	۲۱	۰/۱۰۵	۴۵/۲	۴۶/۵	۴۵/۹۵	۲۰۲۰	۲۱	۰/۱۲	۶۵/۰۵	۴۳/۶۴	۵۴/۳۶
۲۰۱۸	۲۲	۰/۱۰۴	۴۶/۱۴	۴۴/۹۳	۴۵/۶۵	۲۰۲۰	۲۲	۰/۱۱۷	۶۴/۷۱	۴۰/۵۹	۵۲/۶۶
۲۰۱۸	۲۳	۰/۱۰۳	۴۷/۱۷	۴۲/۰۶	۴۴/۷۲	۲۰۲۰	۲۳	۰/۱۱۴	۶۴/۶۲	۳۸	۵۱/۲۹
۲۰۱۸	۲۴	۰/۰۹۹	۴۶/۹	۳۸/۹۳	۴۳/۰۱	۲۰۲۰	۲۴	۰/۱۰۹	۶۳/۱۸	۳۷/۲	۵۰/۱۷
۲۰۱۸	۲۵	۰/۰۹۶	۴۶/۲۳	۳۵/۶۱	۴۱	۲۰۲۰	۲۵	۰/۱۰۴	۶۱/۱۱	۳۸/۹۴	۵۰/۰۲
۲۰۱۸	۲۶	۰/۰۹۲	۴۶/۱۷	۳۳/۱۴	۳۹/۷۲	۲۰۲۰	۲۶	۰/۱	۶۰/۳۱	۴۰/۸۹	۵۰/۶۱
۲۰۲۱	۱۳	۰/۱	۵۸/۰۲	۲۱/۱۱	۳۹/۵۶	۲۰۲۱	۲۰	۰/۱۰۴	۴۶/۱۲	۲۲/۲۲	۳۴/۱۵
۲۰۲۱	۱۴	۰/۱۰۳	۵۶/۴۶	۱۹/۵۹	۳۸/۰۲	۲۰۲۱	۲۱	۰/۱۰۲	۴۴/۹۵	۱۹/۷۵	۳۲/۳۴
۲۰۲۱	۱۵	۰/۱۰۶	۵۴/۸۸	۱۸/۹۱	۳۶/۹	۲۰۲۱	۲۲	۰/۱	۴۴/۷	۱۷/۶۴	۳۱/۱۶
۲۰۲۱	۱۶	۰/۱۰۷	۵۲/۸۸	۱۹/۴۷	۳۶/۱۷	۲۰۲۱	۲۳	۰/۰۹۸	۴۵/۰۸	۱۷/۰۸	۳۱/۰۴
۲۰۲۱	۱۷	۰/۱۰۷	۵۰/۵۳	۱۹/۹۱	۳۵/۲۱	۲۰۲۱	۲۴	۰/۰۹۵	۴۴/۵۹	۱۶/۶۶	۳۰/۶۱
۲۰۲۱	۱۸	۰/۱۰۷	۴۸/۸۸	۲۱/۰۶	۳۴/۹۴	۲۰۲۱	۲۵	۰/۰۹۱	۴۳/۵۹	۱۸/۹	۳۱/۲۴
۲۰۲۱	۱۹	۰/۱۰۶	۴۷/۳	۲۱/۳۱	۳۴/۲۷	۲۰۲۱	۲۶	۰/۰۸۸	۴۴/۰۱	۲۱/۵	۳۲/۷۵

ابتدایی زانوویه، شرایط پوشش گیاهی در وضعیت مساعدی قرار داشته و این وضعیت، در هفته‌های بعد نیز ادامه داشته است. درمورد سال ۲۰۲۱، به‌منزله خشک‌ترین سال پوشش گیاهی که تنش زیادی بر پوشش گیاهی وارد شده است، می‌توان ملاحظه کرد که از هفته اول زانوویه، خشکسالی خفیف در پوشش وجود داشته و در هفته‌های ۴ و ۸ و ۵۲، بر شدت تنش پوشش گیاهی افزوده شده است.

براساس شکل‌های ۷ و ۸ که تغییرات درجات خشکسالی پوشش گیاهی ایران را نمایش می‌دهند، می‌توان گفت شدت خشکسالی در مناطقی که در اول زانوویه دچار خشکسالی ضعیف شدند، در ماه‌های بعد، افزایش یافته است. به‌عبارت دیگر، در سال‌هایی که پوشش گیاهی دچار تنش می‌شود، از همان هفته‌های ابتدایی این تنش با میزان خفیف به‌نظر می‌رسد. برای نمونه، می‌توان سال ۲۰۲۰ را مرطوب‌ترین سال پوشش گیاهی برشمرد. ملاحظه می‌شود که از همان هفته



شکل ۷. تغییرات میزان خشکسالی پوشش گیاهی در ایران

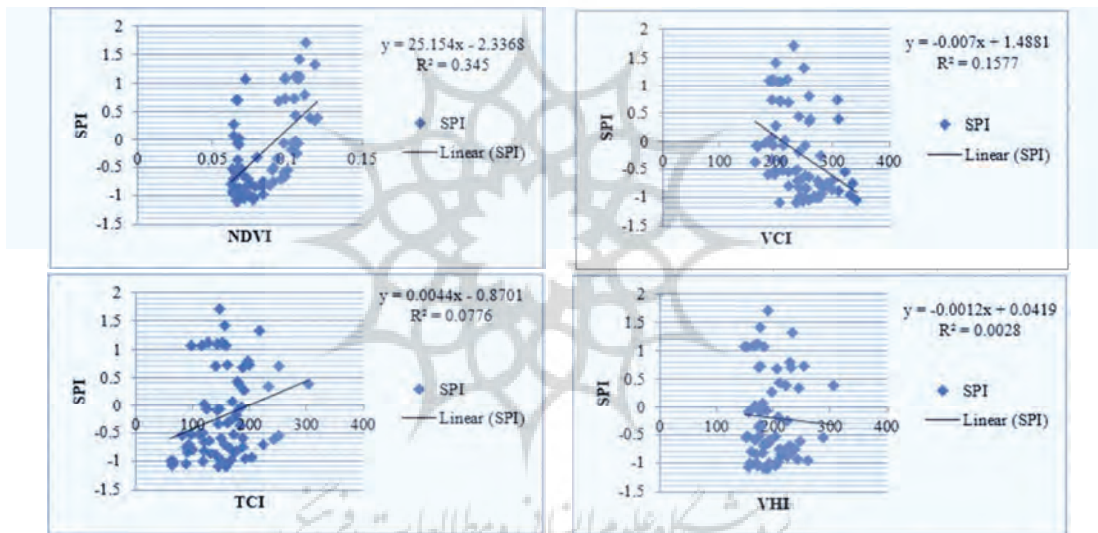


شکل ۸. تغییرات میزان خشکسالی پوشش گیاهی در ایران

شکل ۱۰ سری زمانی ماهیانه شاخص‌های NDVI و SPI را نمایش می‌دهد؛ مطابق آن، در فصل تابستان، هر دو شاخص سیر نزولی داشته است. بیشتر سال‌ها، در ماه می، شاخص SPI به بالاترین مقدار خود رسیده است. در ژوئن، روند نزولی هر دو شاخص آغاز شده و در سپتامبر، در پایین‌ترین حد قرار داشته است.

در شکل ۱۱، سری زمانی شاخص‌های VCI، TCI و VHI در بازه زمانی میانگین هفتگی، در ایران نمایش داده شده است. برطبق آن، می‌توان اظهار کرد شاخص VCI روندی تقریباً یکسان داشته است و افت‌وخیز

در این پژوهش، پس از محاسبه شاخص استاندارد بارش با استفاده از آمار روزانه بارش در ۱۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور، همبستگی شاخص استاندارد بارش با مقدار شاخص‌های پوشش گیاهی، از جمله NDVI، VCI، TCI و VHI برآورد شد. مطابق شکل ۹، میزان همبستگی SPI با شاخص NDVI برابر با ۰/۳۴، میزان همبستگی SPI با شاخص VCI برابر با ۰/۱۵، میزان همبستگی SPI با شاخص TCI برابر ۰/۰۷ و میزان همبستگی SPI با شاخص VHI برابر ۰/۰۲ برآورد شده است.



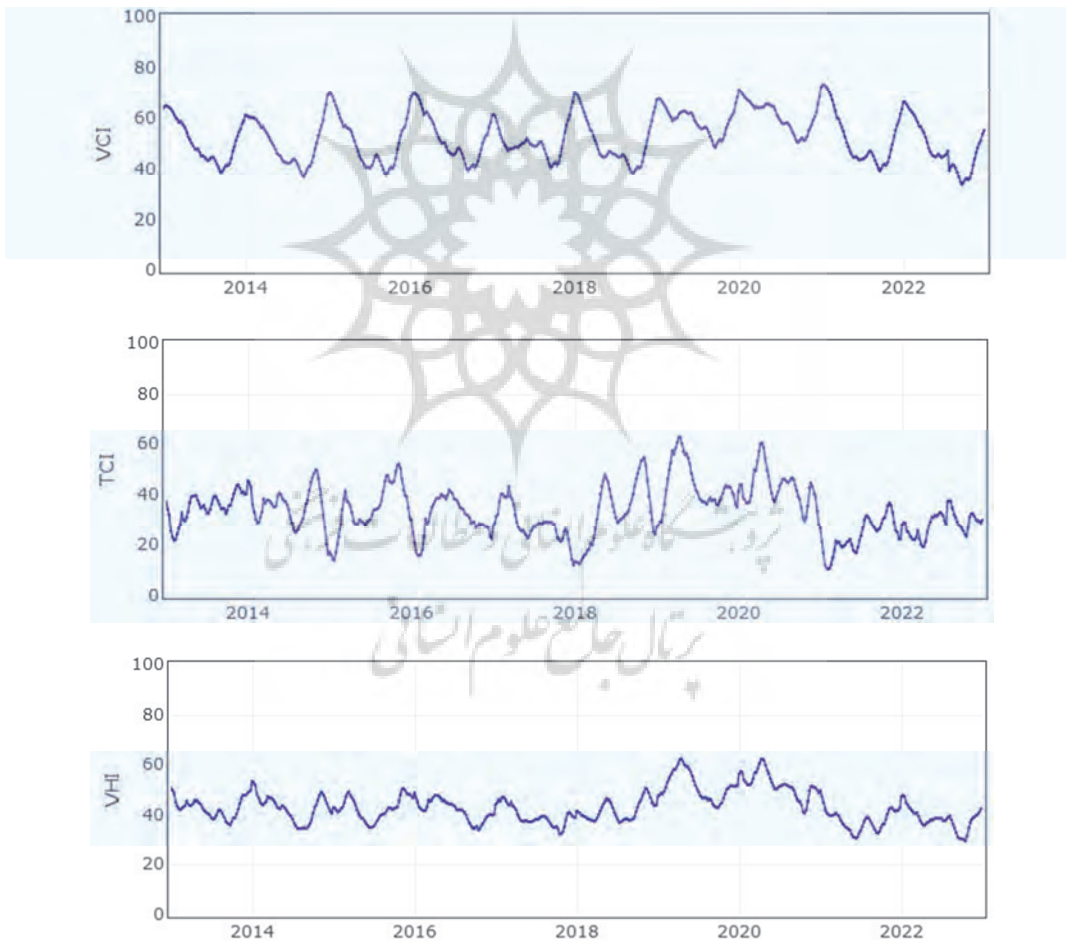
شکل ۹. نمودار همبستگی شاخص SPI با هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه



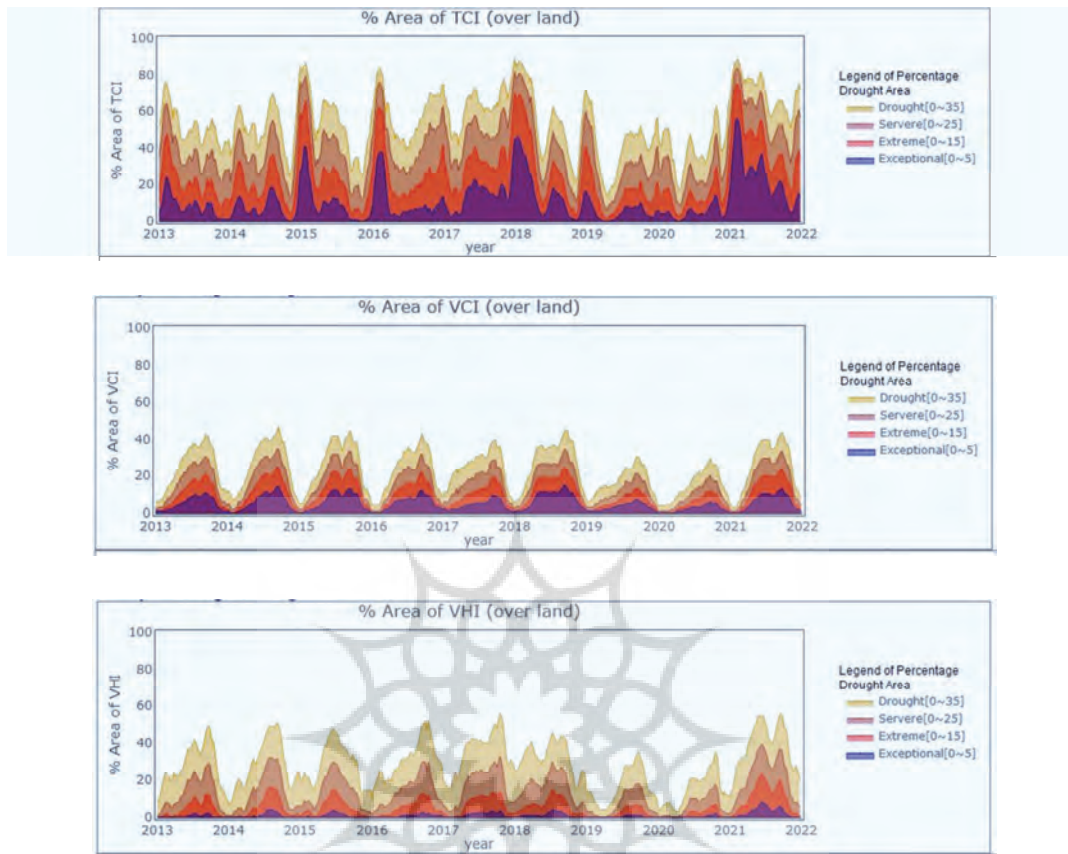
شکل ۱۰. سری زمانی شاخص‌های NDVI و SPI در منطقه مورد مطالعه

شکل ۱۲ درصد خشکسالی هریک از شاخص‌های به‌دست‌آمده TCI، VCI و VHI را نمایش می‌دهد. بر مبنای این شکل، می‌توان گفت این شدت خشکسالی شاخص TCI نوسانی بیشتر از دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی دارد. همچنین مشاهده می‌شود که درصد خشکسالی شاخص VCI در بازه ۰-۳۵ نسبت یا درصد بیشتری از دیگر بازه‌های این شاخص دارد. مشاهده می‌شود که درصد خشکسالی شاخص VHI در بازه ۰-۳۵ بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است.

شایان ملاحظه‌ای در آن دیده نمی‌شود؛ به‌گونه‌ای که مقدار نوسان آن، در بازه ۴۰ تا ۷۰، تغییر چندانی نداشته است. اما سری زمانی شاخص TCI نوسان زیادی را نشان می‌دهد و میزان آن، در بازه ۱۰ تا بالای ۶۰، متغیر بوده است و سطوح متفاوتی را به‌نمایش می‌گذارد. شاخص VHI، همانند شاخص VCI، با آهنگ یکنواختی در دوره مطالعاتی در بازه ۳۵ تا ۴۵ ادامه داشته است. بالاترین نقطه این روند در هفته‌های آغازین ۲۰۱۹ و هفته‌های میانی ۲۰۲۰ نمایان است.



شکل ۱۱. میانگین هفتگی سری زمانی شاخص‌های VCI، TCI و VHI در محدوده مطالعاتی



شکل ۱۲. درصد هفتگی میزان خشکسالی شاخص‌های TCI، VCI و VHI در منطقه مورد مطالعه

۴- بحث و نتیجه‌گیری

آن منطقه تداوم منفی بیابد. پایان دوره خشکسالی نیز زمانی است که شاخص استاندارد بارش مثبت شود. همان‌طور که در بخش‌های پیشین این پژوهش گفته شد، تمامی شاخص‌های مربوط به شرایط پوشش گیاهی به صورت میانگین هفتگی محاسبه شده است زیرا، هرچه بازه زمانی بررسی شرایط پوشش گیاهی کوتاه‌تر باشد، بهتر می‌توان به سایر جزئیات پی برد و تحلیل‌های دقیق‌تری انجام داد. براساس مندرجات جدول‌های ۵ و ۶، می‌توان گفت بیشتر سال‌هایی که شرایط پوشش گیاهی در وضعیت خشکسالی قرار می‌گیرد این مسئله را تقریباً از هفته بیستم میلادی می‌توان پیش‌بینی کرد؛ در این وضعیت، مقادیر هر یک

خشکسالی پدیده‌ای است ناشی از کمبود نزولات جوی و افزایش دما به نسبت میانگین بلندمدت که با توجه به ماهیت پیچیده و پیش‌بینی‌ناپذیر زمان آغاز، پایان و دوره تکرار آن، برخلاف دیگر پدیده‌های طبیعی پیش‌بینی آن دشوار است و می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای در زندگی انسان‌ها و محیط‌زیست داشته باشد و خسارات جبران‌ناپذیری برجای گذارد. درک صحیح و کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش گیاهی، همچون شرایط نرمال یا خشکسالی رخ داده در هر مکان، اهمیت فراوانی دارد. در هر منطقه‌ای، وقوع خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که میانگین بارش دریافتی از میانگین بلندمدت کمتر باشد و میزان شاخص استاندارد بارش

غربی و شمال غرب رخ داده و در ۲۰۲۱، شدیدترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. چنانچه ضریب همبستگی SPI با NDVI، VCI، TCI و VHI با توجه به تأثیر بارش در ایجاد خشکسالی یا شرایط نرمال پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه مدنظر باشد، NDVI همبستگی بیشتری با SPI نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این مقاله، پیشنهاد می‌شود به منظور بررسی تأثیر بارش در پوشش گیاهی، مناطق با وسعت اندک یا مقیاس کوچک (استان یا شهرستان) انتخاب شود.

۵- منابع

- Benedetti, R. & Rossin, P., 1993, **On the Use of NDVI Profiles as a Tool for Agricultural Statistics: The Case Study of Wheat Estimate and Forecast in Emilia**, Remote Sensing of Environment, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90113-C](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90113-C).
- 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**, GIS Cience Remote Sensing, 45, PP. 16-46.
- Brown, J.F., Howard, D., Wylie, B., Frieze, A., Ji, L. & Gacke, C., 2015, **Application-Ready Expedited MODIS Data for Operational Land Surface Monitoring of Vegetation Condition**, Remote Sensing, 7, PP. 16226-16240. <https://doi.org/10.3390/rs71215825>.
- Boyte, S.P., Wylie, B.K. & Major, D.J., 2015, **Mapping and monitoring cheatgrass dieoff in rangelands of the Northern Great Basin, USA**, Rangel, Ecol, Manag., 68, PP. 18-28, <https://doi.org/10.1016/j.rama.2014.12.005>.
- Berhan, G., Hill, S., Tadesse, T. & Atnafu, S., 2011, **Using Satellite Images for Drought Monitoring: A Knowledge Discovery Approach**, J. Strategic Innov. Sustain., 7(1), P. 135, https://www.researchgate.net/publication/260248307_Using_Satellite.

از شاخص‌ها کاهش می‌یابد و در طبقه خشکسالی خفیف و سپس شدید قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در سال‌هایی که گونه‌ای خشکسالی در شاخص‌های پوشش گیاهی رخ داده است، طی ماه آوریل، مقادیر شاخص‌ها روند نزولی دارد و سپس در ژوئن و جولای، شاخص‌ها به سمت خشکسالی شدید میل پیدا می‌کند. در پهنه مورد مطالعه، مقدار شاخص استاندارد بارش محاسبه شده طی ماه‌های گرم سال منفی بوده که گویای پایین بودن میزان بارش دریافتی در قیاس با ماه‌های دیگر سال است. در این مطالعه، علاوه بر بررسی شرایط نرمال پوشش گیاهی، ارتباط آن با بارش دریافتی در منطقه مورد نظر نیز تحلیل شد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزار مناسبی برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی اکوسیستم‌های خشک، از جمله ایران، محسوب می‌شود. به‌دیگرسخن، به‌کارگرفتن روش سنجش از دور در بررسی پوشش گیاهی و دسترسی چندزمانه و با هزینه نسبتاً اندک، و نیز پایش مداوم پوشش سبز سطح زمین، توانایی مطلوبی در اختیار می‌گذارد و امکان مقایسه واقعی آنها را فراهم می‌آورد. این تحقیق تأثیر بارش در تغییرات پوشش گیاهی ایران را مطالعه و ارزیابی کرده است. در آن، از تصاویر VIIRS استفاده شده که به صورت میانگین هفتگی در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۱۳، شاخص‌های VCI، TCI، VHI و NDVI را در محدوده کشور ایران محاسبه کرده است. وضعیت اقلیمی منطقه، طی دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۱۳، با استفاده از SPI که به صورت میانگین ماهیانه محاسبه شد، مورد تحلیل قرار گرفت. محاسبات SPI نشان داد ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر در این منطقه، شاخص SPI منفی است. طبق نتایج، بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای به منظور پایش خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، NDVI است و این شاخص بیشترین هماهنگی و هم‌خوانی را با شاخص استاندارد بارش SPI دارد. در ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱، بیشترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در مناطق

- Bhuiyan, C., 2008, **Desert Vegetation during Droughts: Response and Sensitivity**, Int. Arch. Photogr. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 37(B8), PP. 907-912, https://www.researchgate.net/publication/228452114_DESERT.
- Cracknell, A.P., 1997, **The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)**, London: Taylor & Francis, P. 534, <https://www.cambridge.org/core/journals/geological-logical->.
- Fuchs, B.A., 2021, **National Drought Mitigation Center**, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA. <https://drought.unl.edu/>.
- Holdren, J.P. & Ehrlich, P.R., 1974, **Human Population and Global Environment**, Am. Sci., 62, PP. 282-292, <https://www.jstor.org/stable/27844882>.
- Jahangir, M. & Mashidi, D., 2019, **Evaluation of Agricultural Drought Monitoring Based on Remote Sensing Using the Standardized Rainfall Index in the Growing Months (Case Study: Karun Bozor Watershed)**, Iran Irrigation and Drainage Journal, 14(4), PP. 1252-1264.
- Jenkerson, C.B., Maierperger, T. & Schmidt, G., 2010, **eMODIS, A User-Friendly Data Source**, U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1055, U.S. Geological Survey EROS Center: Sioux Falls, SD, USA., P. 10. <https://pubs.usgs.gov/of/2010/1055/pdf/OF2010-1055.pdf>.
- Ji, L., Gallo, K., Eidenshink, J.C. & Dwyer, J., 2008, **Agreement Evaluation of AVHRR and MODIS 16-Day Composite NDVI Data Sets**, Int. J. Remote Sensing of Environment, 29, PP. 4839-4861, <https://doi.org/10.1080/01431160801927194>.
- JPSS, 2014, **Joint Polar Satellite System**, cited 2014, <https://doi.org/10.1002/2013JD020389>.
- Justice, C.O., Roman, M.O., Csiszar, I., Vermote, E.F., Wolfe, R.E., Hook, S.J., Friedl, M., Wang, Z., Schaaf, C.B. & Miura, T., 2013, **Land and Cryosphere Products from Suomi NPP VIIRS: Overview and Status**, J. Geophys. Res. Atmos., 118, PP. 9753-9765.
- Kidwell, KB., 1990, **Global Vegetation Index User's Guide**, Washington (DC): US Department of Commerce. (NOAA, 38), [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T).
- Kogan F.N., 1995, **Droughts of the Late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite Data**, Bull. Am. Meteorol. Soc., 76, PP. 655-667, <https://www.jstor.org/stable/26232390>.
- Kogan, FN., 1997, **Global Drought Watch from Space**, Bull. Am. Meteorol. Soc., 78, PP. 621-636, [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2).
- Kogan, F.N., 2001a, **Contribution of Remote Sensing to Drought Early Warning. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**, National Environmental Satellite Data and Information Services (NESDIS), Washington: DC. U.S.A. <https://www.researchgate.net/publication/253598539>.
- Kogan, FN., 2001b, **Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment**, Bull. Am. Meteorol. Soc., 82, PP. 1949-1964, https://www.star.nesdis.noaa.gov/data/smcd1/vhp/VH_doc/Felix/2001_OperationalSpaceTech4GlobalVegetation.pdf.
- Kogan, F.N. & Guo, W., 2016, **Early Twenty-First-Century Droughts during the Warmest Climate**, Geomatics Nat. Hazards Risk, 7, P. 127-137, <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.878399>.
- Kogan, F.N., Goldberg, M., Schott, T. & Guo, W., 2015, **Suomi NPP/VIIRS: Improving Drought Watch, Crop Loss Prediction, and Food Security**, Int. J. Remote Sensing of Environment, 36, PP. 5373-5383, <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2015.1095370>.
- Krzanowski, W.J., 1998, **Selection of Variables to Preserve Multivariate Data Structure, Using Principal Components**, Journal of the Royal Statistical Society, 36(1), <https://www.jstor.org/stable/3450140>.
- Littell, J.S., Peterson, D.L., Riley, K.L., Liu, Y. & Luce, C.H. (Eds.) **Fire and Drought**, U.S.

- Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office: Washington, DC, USA. http://www.ncforests.service.gov/Managing_your_forest/pdf/EffectsDroughtForestsRangelands.pdf.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kliest, J., 1995, **Drought Monitoring with Multiple Time Scales**, In Proceedings of the 9th Conference of Applied Climatology, 15-20 January, Dallas TX. American Meteorological Society, Boston, MA. PP. 233-236.
- Qermwz Cheshme, B., Hosseini, M.Gh., Hosseini, T. & Sherafati, A., 2019, **Evaluation of the Relationship between Meteorological Drought and Vegetation Cover of Rainfed Lands in Lorestan Province**, Watershed Researches, 34(2), PP. 77-90, <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.342647.1332>.
- Rezai Banafsheh, M., Rezaei, A. & Faridpour, M., 2014, **Agricultural Drought Analysis of East Azerbaijan Province with Emphasis on Remote Sensing and Vegetation Status Index**, Danesh Water and Soil Science, 25(1), PP. 113-123. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_3509.html.
- Roger, J.C., Vermote, E.F., Devadiga, S. & Ray, J.P., 2020, **Suomi-NPP VIIRS Surface Reflectance User's Guide**, https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS_Surface_Ref_UserGuide_v2.0.pdf.
- Roswintarti, O., Oarwati, S. & Angraini, 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 Year.
- Su, Z.B., Yacob, A., Wen, J., Roerink, G., He, Y.B., Gao, B.H., Boogaard, H. & van Diepen, C., 2003, **Assessing Relative Soil Moisture with Remote Sensing Data: Theory, Experimental Validation, and Application to Drought Monitoring over the North China Plain**, Physics and Chemistry of the Earth, 28(1-3), [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(03\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(03)00010-X).
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M. & Stooksbury, D., 2002, **The Drought Monitor**, Bull. Am. Meteorol. Soc., 83, PP. 1181-1190, <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1181>.
- Tadesse, T., Demisse, G.B., Zaitchik, B. & Dinku, T., 2014, **Satellite-Based Hybrid Drought Monitoring Tool for Prediction of Vegetation Condition in Eastern Africa: A Case Study for Ethiopia**, Water Resour. Res., 50, PP. 2176-2190.
- Vermote, E., Franch, B. & Claverie, M., **VIIRS, NPP Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500 m SIN Grid, V001**, <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/VNP09H1>.
- Vicente-Serrano, S.M., Cuadrat-Prats, J.M. & Romo, A., 2006, **Early Prediction of Crop Production Using Drought Indices at Different Time-Scales and Remote Sensing Data: Application in the Ebro Valley (North-East Spain)**, International Journal of Remote Sensing, 27(3).
- Wang, D., Morton, D., Masek, J., Wu, A., Nagol, J., Xiong, X., Levy, R., Vermote, E. & Wolfe, R., 2012, **Impact of Sensor Degradation on the MODIS NDVI Time Series**, Remote Sensing of Environment, 119, PP. 55-61.
- Wang, X., Li, Y., Wang, X., Li, Y., Lian, J. & Gong, X., 2015, **Temporal and Spatial Variations in NDVI and Analysis of the Driving Factors in the Desertified Areas of Northern China From 1998 to 2015**, Front. Environ. Sci., 9, P. 633020, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.633020>.
- Wylie, B.K., Zhang, L., Bliss, N., Ji, L., Tieszen, L.L. & Jolly, W.M., 2008, **Integrating Modelling and Remote Sensing to Identify Ecosystem Performance Anomalies in the Boreal Forest, Yukon River Basin, Alaska**, Int. J. Digit. Earth, 1, PP. 196-220.
- Zeng, L., Wardlow, B.D., Xiang, D., Hu, S. & Li, D., 2020, **A Review of Vegetation Phenological Metrics Extraction Using Time-Series, Multispectral Satellite Data**,

- Remote Sens. Environ., 237, P. 111511,
[https://doi: 10.1016/j.rse.2019.111511](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111511).
- Zhang, X., Liu, L., Liu, Y., Jayavelu, S., Wang, J., Moon, M., Henebry, G.M., Friedl, M.A. & Schaaf, C.B., 2018, **Generation and Evaluation of the VIIRS Land Surface Phenology Product**, Remote Sensing of Environment, 216, PP. 212-229,
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.047>.
- Zhu, X. & Liu, D., 2015, **Improving Forest Aboveground Biomass Estimation Using Seasonal Landsat NDVI Time-Series**, ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing of Environment, 102, PP. 222-231,
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014>.

