

Research Paper

An Analysis of the Impact of Rainfall Changes on Vegetation in East Azerbaijan Province Using Remote Sensing Data.

Samad Khosravi Yeganeh¹, Seyed Yaghoub Karimi^{2*},

¹ PhD in Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

² Assistant Prof. in Water science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.



10.22125/iwe.2025.527640.1884

Received:

June 1, 2025

Accepted:

September 29, 2025

Available online:

June 25, 2026

Keywords:

Standard Precipitation Index, drought, remote sensing, East Azerbaijan.....

Abstract

This study investigates vegetation drought in East Azerbaijan Province using infrared imagery from the S-NPP JPSS sensor, as vegetation conditions are highly sensitive to rainfall fluctuations and drought is a recurring global phenomenon.

Visible and infrared images from April 1st to the end of July (weeks 13-26 AD) between 2013 and 2021 were analyzed to assess vegetation status and varying drought levels. Weekly averages of vegetation indices were used to detect changes and fluctuations. The monthly average Standard Precipitation Index (SPI) for East Azerbaijan Province was calculated from monthly precipitation data collected at six synoptic meteorological stations: Ahar, Kalibar, Maragheh, Mianeh, Sarab, and Tabriz. Correlations between average NDVI, VCI, TCI, VHI, and SPI were estimated to determine the relationship between precipitation and vegetation indices.

The correlation between the Standardized Precipitation Index (SPI) and NDVI, VCI, TCI, and VHI was 0.0037, 0.0048, 0.174, and 0.150, respectively. TCI exhibited the strongest correlation with SPI, making it a suitable method for combining remote sensing and meteorological data to assess vegetation conditions in East Azerbaijan province. The most intense vegetation droughts occurred in the western and central regions in 2013 and 2015, and province-wide in 2021. SPI calculations indicated below-normal precipitation during July, August, and September. Overall, the VHI was determined to be the most effective satellite-based index for monitoring vegetation drought in the study area.

Remote sensing effectively monitors vegetation due to its multi-temporal accessibility and low cost, enabling continuous tracking and comparison of green cover. Annual vegetation experienced varying drought levels, with the most severe drought in 2021, particularly in the province's central, southern, and northeastern regions. Droughts were less severe in 2013, 2015, and 2018, while 2016, 2019, and 2020 saw more favorable vegetation conditions. The extent of drought change varied across different regions.

* **Corresponding Author:** Seyed Yaghoub Karimi

Address: Assistant Prof. in Water science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.

Email: karimi.y@lu.ac.ir

Tel: Number

1. Introduction

Climate is one of the most important factors affecting vegetation conditions. The spatial distribution of vegetation is closely related to weather conditions. Since drought is a natural and frequent occurrence in the climate and occurs in almost all climatic zones. Drought affects vegetation every year in most regions of the world. Vegetation responds to fluctuations in the amount of precipitation received. In this paper, an attempt has been made to investigate the drought status of vegetation in East Azerbaijan province using infrared images from the S-NPP JPSS sensor. The Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) is one of the key instruments on the US National Aeronautics and Space Administration's (NASA) polar-orbiting spacecraft (Suomi NPP), which was successfully launched on October 28, 2011, enabling a new generation of medium-resolution imaging capabilities after AVHRR on NOAA and MODIS on Terra and Aqua satellites. VIIRS operational environmental monitoring and numerical weather prediction with 22 radiometric imaging bands covering wavelengths from 0.41 to 12.5 μm .

2. Materials and Methods

In this study, visible infrared images of the 2013-2021 study period from April 1 to the end of July (weeks 13 to 26 AD), which are weekly averages, are used to investigate the state of vegetation and investigate different degrees of drought. Vegetation is examined in the selected weekly average time period, which can detect changes and fluctuations in various vegetation indices. If the vegetation is very green and strong, the satellite-derived numerical conditions are set to very healthy (100) indices (humidity, thermal, and combined). If the vegetation is much less green, severe, or even wilted, the vegetation condition is classified as very unhealthy or very stressed zero. Between these two extreme conditions (very healthy and severe stresses), vegetation health is continuously estimated. The monthly average of the Standard Precipitation Index (SPI) in East Azerbaijan Province has been calculated using monthly precipitation data from 6 synoptic meteorological stations: Ahar, Kalibar, Maragheh, Mianeh, Sarab, and Tabriz. The average of each of the NDVI, VCI, TCI, and VHI indices and the Standard Precipitation Index (SPI) have been calculated and their correlation has also been estimated to determine the relationship between precipitation and vegetation indices.

3. Results

The correlation between the Standard Precipitation Index and the NDVI, VCI, TCI, and VHI indices is 0.0037, 0.0048, 0.174, and 0.150, respectively. The TCI index has a higher correlation with the SPI index and is suitable as a combined method of remote sensing and meteorological station information to investigate vegetation conditions in this province. It was found that the TCI index has the highest coordination and consistency with the SPI in the study area. In 2013 and 2015, the most severe vegetation drought occurred in the western and central regions of East Azerbaijan Province. In 2021, the most severe vegetation drought occurred in the study area. The SPI index was calculated for each month of the year. The SPI index calculations showed that the months of July, August and September in East Azerbaijan Province were negative, indicating less than normal precipitation. The results show that the best index based on satellite images for monitoring vegetation drought in the study area is the VHI index.

4. Discussion and Conclusion

The use of remote sensing methods has a good ability to study vegetation and the possibility of multi-temporal access and at a relatively low cost, allows for continuous monitoring of the green cover of the land surface and allows for their real comparison. Annual vegetation is faced with varying degrees of drought, and the most severe vegetation drought occurred in 2021 in most regions of the province, especially in the central, southern and northeastern parts of the province. In the years 2013, 2015, and 2018, vegetation drought occurred with less severity, and in 2016, 2018, 2019, and 2020, vegetation was in more favorable conditions. The degree of change in the degree of drought varies in different regions.

5. Six important references

- 1) Alavipanah, Seyyed Kazem; Rafiei Imam, Ammar; Hosseini, Seyyed Zein Al-Abidin; Jafar Bigloo, Mansour 2006. Study of spectral variability of different vegetation and water phenomena using remote sensing, *Geographical Research* 38(55)81-97. (In Persian).
- 2) Berhan, G, Hill S, Tadesse, T& Atnafu S. 2011. "Using satellite images for drought monitoring". a knowledge discovery approach. *Journal Strategic Innov Sustain*, VOL. 7(1):135.
- 3) Ehrlich, PR, Holdren, JP. 1971. "Impact of population growth. *Science*". VOL. 171(3977):1212–1217.
- 4) Hui, C. 2006. Carrying capacity. "Population equilibrium, and environment's maximal load". *Ecol Modell*. VOL. 192(1-2):317–320.
- 5) Hamzeh, Saeed; Farahani, Zahra; Mahdavi, Shahriar; Chaterabgun, Omid; Gholamnia, Mehdi. (2017). Temporal and spatial monitoring of agricultural drought using remote sensing data. Case study: Markazi Province of Iran, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Year 4, Issue 3, Fall 2017. (In Persian).
- 6) Kogan, FN. 1997. "Global drought watches from space". *Bull Am Meteorol Soc*. 78:621–636.



تحلیل داده‌های سنجش از دور بر مبنای تغییرات بارش و اثرات آن بر شرایط پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی

صمد خسروی یگانه^۱، سید یعقوب کریمی^{۲*}

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷

مقاله پژوهشی

چکیده

آب و هوا یکی از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر شرایط پوشش گیاهی است. خشکسالی هر ساله در بیشتر مناطق جهان پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار می دهد. پوشش گیاهی به نوسان میزان بارش دریافتی واکنش نشان می دهد. در این پژوهش سعی شده است که با بهره گیری از تصاویر مادون قرمز سنجنده S-NPP JPSS وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی و بررسی درجات متفاوت خشکسالی تصاویر مادون قرمز مرئی دوره مورد مطالعه ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مربوط به اول آوریل تا انتهای ژوئیه (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی) مورد استفاده قرار گیرد. بررسی پوشش گیاهی در بازه زمانی میانگین هفتگی انتخاب شده که می توان به تغییرات و نوسان شاخص های مختلف پوشش گیاهی پی برد. میانگین ماهانه شاخص استاندارد بارش (SPI) در استان آذربایجان شرقی با استفاده از داده های بارش ماهانه ۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اهر، کلیبر، مراغه، میانه، سراب، و تبریز انجام گرفته است. میانگین هریک از شاخص های NDVI، VCI، TCI و VHI و شاخص استاندارد بارش (SPI) محاسبه و میزان همبستگی آنها نیز برآورد شده تا رابطه بارش و شاخص های پوشش گیاهی مشخص شود. میزان همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص NDVI، 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 ایستگاه های هواشناسی برای بررسی شرایط پوشش گیاهی در این استان مناسب است. مشخص گردید که شاخص TCI بیشترین هماهنگی و همخوانی SPI در منطقه مورد مطالعه دارد. در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، بیشترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در مناطق غربی و مرکزی استان آذربایجان شرقی رخ داده است. در ۲۰۲۱ شدیدترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. شاخص SPI برای هریک از ماه های سال محاسبه شده است. محاسبات شاخص SPI نشان داد که ماه های ژوئیه، اگوست و سپتامبر در استان آذربایجان شرقی منفی است که نشان دهنده بارش کمتر از نرمال است. نتایج نشان می دهد که بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره ای جهت پایش خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شاخص VHI است. استفاده از روش سنجش از دور توانایی خوبی در بررسی پوشش گیاهی و امکان دسترسی چند زمانه و با هزینه نسبتاً اندک، امکان پایش مداوم پوشش سبز سطح زمین را فراهم و امکان مقایسه واقعی آنها را فراهم می آورد. پوشش گیاهی همساله با درجات مختلفی از خشکسالی روبه رو بوده و شدیدترین خشکسالی پوشش گیاهی در ۲۰۲۱ در بیشتر مناطق استان به ویژه قسمت های مرکزی، جنوبی و شمال شرقی استان رخ داده است. در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ خشکسالی پوشش گیاهی با شدت کمتری رخ داده و در سال های ۲۰۱۶، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ پوشش گیاهی در شرایط مطلوب تری قرار داشته است. میزان تغییرات درجه خشکسالی در مناطق مختلف، متفاوت است. این نوشتار از نظر استفاده از تصاویر ماهواره ای مادون قرمز از نخستین پژوهش های انجام شده، محسوب می شود.

واژه های کلیدی: آذربایجان شرقی، تصاویر مادون قرمز، دور کاوی، خشکسالی کشاورزی، شاخص استاندارد بارش،

۱. دانش آموخته دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

مقدمه

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین و مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است و تأثیرات مخربی بر محیط زیست، اقتصاد، منابع آب، کشاورزی و جامعه در سراسر جهان دارد (ون لون،^۱ ۲۰۱۵). منفی‌ترین تأثیرات خشکسالی شامل از بین رفتن محصولات کشاورزی، بحران غذا، قحطی، سوء‌تغذیه و فقر است که منجر به از دست رفتن جان انسان‌ها و مهاجرت دسته جمعی می‌شود (ویسنت سرانو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹، نگکامو و چاری^۳، ۲۰۲۰؛ گبرچورکس^۴ و همکاران، ۲۰۲۰) در سطح جهانی، وقوع رویدادهای شدید، مانند خشکسالی، در نتیجه افزایش دما و تقاضای تبخیر جوی افزایش یافته است (ون لون و همکاران، ۲۰۲۲ و ونر^۵ و همکاران، ۲۰۲۱) افزایش تغییرات اقلیمی، فراوانی و شدت رویدادهای خشکسالی را افزایش داده است که منجر به خسارات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی قابل توجهی در سطح جهان شده است. علاوه بر این، وقوع و تأثیر خشکسالی‌ها توسط فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری زمین و مدیریت و تقاضای آب تشدید می‌شود (ون لون و همکاران، ۲۰۲۲). در طول چند دهه گذشته، تعدادی از رویدادهای خشکسالی شدید، با تأثیرات قابل توجه، در نقاط مختلف جهان رخ داده است، مانند سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۱ در جنوب شرقی استرالیا انتظار می‌رود این روندها در آینده تحت تغییرات پیش‌بینی شده در اقلیم ادامه یابد (ناومان^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). شاخص SPI (شاخص استاندارد بارش) بر اساس بارش محاسبه می‌شود، که آن را به یک شاخص

ساده و کاربردی برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی در مناطق مختلف جهان تبدیل می‌کند (ژائو^۷ و همکاران، ۲۰۱۷؛ گبرچورکوس و همکاران، ۲۰۲۰؛ سان^۸ و همکاران، ۲۰۲۲؛ کامالری^۹ و همکاران، ۲۰۲۲) با این حال، شاخص SPI سایر متغیرهای اقلیمی که ممکن است بر خشکسالی تأثیر بگذارند و در سناریوی فعلی تغییرات اقلیمی ثابت نیستند، به ویژه آن دسته از متغیرهای هواشناسی که تقاضای تبخیر جوی را کنترل می‌کنند، در نظر نمی‌گیرد (ویسنت سرانو و همکاران، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲). در واقع، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که گرمایش جهانی شدت خشکسالی را افزایش داده است، که با افزایش فشار بر پوشش گیاهی و منابع آب نشان داده شده است. ماستروتئودوروس^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰) مشابه شاخص‌های SPI، SPEI را می‌توان برای طیف وسیعی از مقیاس‌های زمانی (۱ تا ۴۸ ماه) محاسبه کرد. محاسبه SPEI نیاز به مجموعه داده‌های بارش و تقاضای تبخیر جوی بلندمدت و با کیفیت بالا دارد که می‌توان آنها را از ایستگاه‌های زمینی یا داده‌های شبکه‌ای مبتنی بر تحلیل مجدد و همچنین مجموعه داده‌های ماهواره‌ای و چند منبعی به دست آورد. اطلاعات خشکسالی با وضوح بالا به ارزیابی بهتر تغییرات مکانی و زمانی و تغییرپذیری در مدت، شدت و بزرگی خشکسالی در مقیاس بسیار دقیق‌تر کمک می‌کند، که از توسعه اقدامات سازگاری خاص مکان پشتیبانی می‌کند. با وضوح مکانی نسبتاً جزئی در دسترس هستند؛ پایگاه SPEI با وضوح مکانی ۰.۵ درجه که از واحد تحقیقات اقلیمی (هریس^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۰) محاسبه شده است، در

¹ Van Loon

² Vicente-Serrano

³ Ngcamu and Chari

⁴ Gebrechorkos

⁵ Wehner

⁶ Naumann

⁷ Xu

⁸ Sun

⁹ Cammalleri

¹⁰ Mastrotheodoros

¹¹ Harris



همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی تاب آوری پوشش گیاهی در شرایط خشکسالی فزاینده در شمال تانزانیا در دوره ۱۹۴۰-۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر رادیومتریک پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تغییرات پوشش گیاهی و تاب آوری پوشش گیاهی مرتبط با وقوع خشکسالی و بارش طی دوره ۱۹۴۰-۲۰۲۰ تغییر معنی داری نداشت، اما میانگین دمای ماهانه افزایش یافت. دماهای بالاتر منجر به خشکسالی های مکرر و طولانی تر به دلیل افزایش بیشتر شد. نرخ بالقوه تبخیر و تعرق پوشش گیاهی بین سال های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ به میزان ۹/۷ درصد کاهش یافت کمتر از میزان گزارش شده در چندین مطالعه دیگر است و به احتمال زیاد ناشی از افزایش خشکسالی است. از طرف دیگر مقاومت پوشش گیاهی هنوز بالاست، به این معنی که یک فصل یا سال خشک منجر به آن می شود پوشش گیاهی پایین تر، اما بهبود سریع در طول فصل بارانی نرمال یا بالاتر از نرمال بعدی مشاهده شد. محصولات و داده های VIIRS، که داده های شاخص گیاهی سری زمانی (VI) را ارائه می دهد. حسگر VIIRS، روی مجموعه مشترک سازمان ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) و سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) Suomi National ماهواره مشارکت مدار قطبی (Suomi-NPP) در اکتبر ۲۰۱۱ به فضا پرتاب شد. تصاویر VIIRS از ۲۲ باند تشکیل شده است باندهای طیفی: ۱۶ باند با وضوح متوسط ۷۵۰ متری (باند M)، پنج باند تصویری ۳۷۵ متری هستند. باندهای وضوح (باند I)، و یکی شامل داده های شب و روز است. سطح ۳ محصولات که اغلب برای مطالعات مقایسه ای استفاده می شوند، بهترین انتخاب سطح ۲ هستند پیکسل بر اساس پوشش مشاهده، زاویه سنسور کم، بدون ابر یا سایه ابر، و بارگذاری آئروسول، و از نظر مکانی و زمانی تا ۱ کیلومتر (به طور دقیق تر ۹۶۳ متر) جمع می شود و ۵۰۰ متر (به طور دقیق تر ۴۶۳ متر) برای باندهای M و I هستند. کوگان و همکاران قابلیت های تشخیص خشکسالی مبتنی بر VIIRS NDVI را با AVHRR مقایسه کرد، با استفاده از شاخص سلامت پوشش گیاهی، که از سال ۲۰۰۵ در برنامه های کاربردی نشان داده شده

دسترس است و شاخص خشکسالی GPCC مجموعه داده های SPEI را با وضوح مکانی ۱۰۰ درجه برای مقیاس های زمانی محدود (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) ارائه می دهد. این مجموعه داده ها، اگرچه برای ارزیابی بلندمدت مفید هستند، اما ممکن است محدودیت هایی برای ارزیابی ویژگی های خشکسالی در مقیاس های مکانی دقیق داشته باشند. در این مطالعه، چهار مجموعه داده SPEI با وضوح بالا جهانی بر اساس دو مجموعه داده بارش با وضوح بالا و دو مجموعه داده تبخیر و تعرق بالقوه که دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۲ را پوشش می دهند، توسعه داده شده اند. مجموعه داده های جدید SPEI در مقایسه با مجموعه داده های SPEI با وضوح مکانی بیشتر و سایر متغیرها مانند رطوبت خاک منطقه ریشه و شاخص های پوشش گیاهی ارزیابی می شوند. مجموعه داده های بارش و تبخیر و تعرق مورد استفاده در این مطالعه به طور گسترده استفاده می شوند و عموماً قابل اعتماد هستند، اگرچه ممکن است مناطقی وجود داشته باشند که قابلیت اطمینان آنها محدود باشد. از این رو، توسعه چندین شاخص با استفاده از مجموعه داده های مختلف به مدیریت و نظارت بهتر خشکسالی نسبت به استفاده از یک مجموعه داده واحد کمک می کند (ترکو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). سعید حمزه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده های سنجنش از دور در استان مرکزی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که محدوده مطالعاتی به طور کلی از پوشش گیاهی متوسط تا کم برخوردار است. بر مبنای محاسبه های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI (شاخصی که نشان دهنده وضعیت رطوبتی گیاه است) در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد. در نتیجه شاخص VCI به عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی کشاورزی استان مرکزی انتخاب گردید. همچنین نتایج به دست آمده از به کارگیری شاخص گیاهی VCI نشان دهنده وضعیت خشکسالی در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ وضعیت ترسالی در سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه مورد نظر می باشد. وروهوف^۲ و

² Verhoeve

¹ Turco

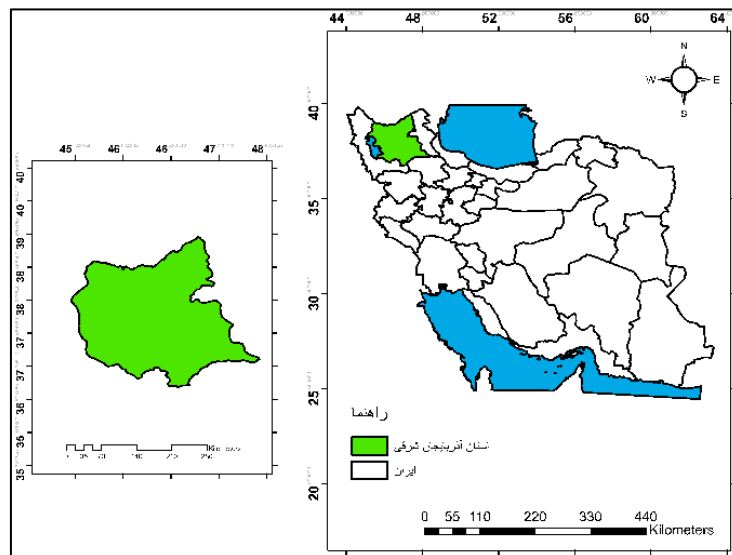
زمینه پوشش گیاهی با استفاده از این نوع تصاویر انجام شده و این پژوهش به نوعی پیشگام در این زمینه شده است. از نظر انواع خشکسالی ها، خشکسالی پوشش گیاهی از جمله خشکسالی کشاورزی محسوب می شود.

مواد و روش ها

محدوده مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی. استان آذربایجان شرقی با ۴۵۴۸۱ کیلومتر مربع مساحت، حدود ۲/۸ درصد از وسعت کل ایران را به خود اختصاص داده است. این استان در شمال غرب کشور و بین مدارهای ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و نصفالنهارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی جای گرفته است. (شکل-۱)

است. آنها دریافتند که استفاده از داده های VIIRS تشخیص خشکسالی را در منطقه آن، در تنش، مدت، و اثرات خشکسالی در مقایسه با محصولات حسگر قبلی (به عنوان مثال، AVHRR) بهبود بخشید. کشور ایران از جمله استان آذربایجان شرقی با توجه به قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک و کمبود منابع آبی بیشتر با این پدیده اقلیمی و تبعات آن روبرو است، لذا لزوم تحقیق و مطالعه بیشتر در این زمینه در مناطق مختلف کشور ایران به منظور شناسایی تغییرات زمانی و مکانی این پدیده اقلیمی و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب جهت مقابله و مدیریت آن بسیار ضروری می باشد. می توان گفت که آنچه باعث تفاوت این پژوهش با سایر پژوهش های حاضر شده است، این است که استفاده از تصاویر مادون قرمز و به صورت هفتگی بودن برای نخستین بار می باشد. پس از بررسی انجام شده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

انتهای ژولای (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی) به صورت میانگین هفتگی است. از نظر علم سنجش از دور هر چه بازه زمانی جهت پایش تغییرات پدیده های زمینی و پوشش گیاهی کوتاه تر در نظر گرفته شود جزئیات بهتر و بیشتری را می توان استخراج و استنباط نمود، به همین دلیل تصاویر به صورت میانگین هفتگی مورد استفاده قرار گرفت. محاسبه

در این مطالعه تلاش شده است با استفاده از تصاویر مادون قرمز سنجنده Suomi NPP اخذ شده از سایت earth.data.nasa.gov با بهره گیری از شاخص های VHI و TCI، VCI، NDVI به بررسی وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی پرداخته شود. دوره مورد مطالعه ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مربوط به اول آوریل تا



$$\begin{aligned} \text{رابطه (۱)} & \quad (\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}), (\text{NIR} + \text{VIS})) \\ \text{رابطه (۲)} & \quad \text{VCI} = 100 \times (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}) \\ \text{رابطه (۳)} & \quad \text{TCI} = 100 \times (\text{BT}_{\max} - \text{BT}) / (\text{BT}_{\max} - \text{BT}_{\min}) \\ \text{رابطه (۴)} & \quad \text{VHI} = a \times \text{VCI} + (1-a) \times \text{TCI} \end{aligned}$$

از آنجایی که NDVI، NDVImax و NDVimin (BT) و Btmax و Btmin هفتگی بدون نویز هستند. NDVI و BT و حداکثر و حداقل مطلق آنها ۱۹۸۱-۲۰۱۶ (اقلیم شناسی)، به ترتیب؛ a ضریب کمی است که سهم VCI و TCI در VHI. این سهم عموماً برای محصول و مکان خاصی شناخته شده نیست. این سه شاخص برای ارزیابی سلامت پوشش گیاهی مبتنی بر رطوبت از VCI تنظیم شدند. سلامت پوشش گیاهی مبتنی بر حرارت از TCI و سهم ترکیبی آنها (رطوبت حرارتی) از VHI. هر سه مقدار شاخص از صفر، استرس شدید، به ۱۰۰ (بسیار سالم) تغییر می کند (کوگان^۵، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، ۲۰۰۱). طبق یک اصل ساده که ایجاد شده: اگر پوشش گیاهی بسیار سبز و قوی است، شرایط عددی مشتق از ماهواره به شکل از شاخص های (رطوبت، حرارتی و ترکیبی) بسیار سالم تنظیم شده است (۱۰۰) اگر پوشش گیاهی بسیار کمتر سبز، شدید یا حتی پژمرده نباشد، وضعیت پوشش گیاهی به صورت بسیار ناسالم یا بسیار تحت استرس (۰) طبقه بندی می شود. بین این دو شرایط شدید (بسیار تنش های سالم و شدید)، سلامت پوشش گیاهی به طور مستمر برآورد می شود سطوح مختلف سلامت پوشش گیاهی، مانند، برای سطح استرس: سبک، متوسط، شدید، افراطی، استثنایی و برای سطوح سالم: عادی، متوسط، سالم و غیره اصول ارزیابی در هر مرحله از توسعه پوشش گیاهی و برای هر مرحله اعمال می شود (فائو^۶ ۲۰۱۷) در جدول ۲. طبقه بندی خشکسالی هر یک از شاخص های مورد استفاده با مقادیر آن آورده شده است.

شاخص استاندارد بارش SPI با استفاده از داده های بارش ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی اهر، کلیبر، مراغه، میانه، سراب، و تبریز انجام شده تا وضعیت بارش به خوبی تحلیل شده و ماه های خشک و مرطوب از یکدیگر تفکیک شوند. سپس ضریب همبستگی SPI با هر یک از شاخص های NDVI، VCI، TCI و VHI محاسبه گردید. شاخص NDVI (رابطه ۱) از باندهای (NIR=I2) و (Red=I1) محاسبه شده است. از آنجایی که NDVI و دمای روشنایی (BT) مؤلفه های آب و هوا و اقلیم محیط را در سیگنال سلامت پوشش گیاهی اندازه گیری می کنند، به منظور برآورد خشکسالی ناشی از آب و هوا مورد استفاده قرار گرفت. a به میزان ۰/۵ یک ضریب ثابت است (اولریچ و هولدرن^۱؛ ۱۹۷۱؛ کوگان^۲؛ ۱۹۹۵؛ هوی^۳، ۲۰۰۶). NDVImax نشان دهنده پوشش گیاهی بسیار سالم یا نرمال که از نظر عددی ۱۰۰ تخمین زده می شود. VHI شاخصی برای ارزیابی سلامت پوشش گیاهی در مقیاس بسیار سالم تا خیلی ضعیف و شرایط میانی مانند عادی، کمی بالاتر یا پایین تر از عادی و تنش را مشخص می کند. شاخص وضعیت گیاهی مبتنی بر (VCI) NDVI، دمای مبتنی بر (BT) شاخص وضعیت TCI و VCI-TCI ترکیبی از سلامت گیاهی VHI به صورت روابط ۱ تا ۳ محاسبه شده است. میزان هر یک از شاخص ها از صفر، استرس شدید، به ۱۰۰ (بسیار سالم) تغییر می کند. طبق یک اصل: اگر پوشش گیاهی بسیار سبز، شاخص های (رطوبت، حرارتی و ترکیبی) بسیار سالم به مقدار (۱۰۰) و چنانچه میزان سبزیگی پوشش گیاهی در بازه بسیار کم قرار گیرد، وضعیت پوشش گیاهی از حالت عادی خارج و دچار تنش می گردد (کوگان^۴، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، ۲۰۰۱). جدول ۱ طبقه بندی هر یک از شاخص های مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می دهد.

⁴ Kogan

⁵ Kogan

⁶ Food and Agriculture Organization of the United

¹ Ehrlich, & Holdren

² Kogan

³ Hui

نشان دهنده شرایط بهتر پوشش گیاهی محسوب می شود

درجات خشکسالی از نظر عددی از کمتر از ۱ آغاز شده که هر چقدر این اعداد به میزان عدد صد نزدیک تر باشند،

جدول (۱): طبقه بندی درجات خشکسالی شاخص های VCI, TCI, VHI

مقدار VCI, TCI, VHI	۱۰ <	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	۴۰-۳۰	۶۰-۴۰	۶۰ >
شرایط خشکسالی	بسیار شدید	شدید	متوسط	ملایم	نرمال	غیر خشکسالی

جدول (۲): طبقه بندی وضعیت های خشکسالی شاخص NDVI

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

که در آن 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 بازه زمانی میانگین ماهانه، با استفاده از Excel و نرم افزار R وضعیت رطوبتی به کلاس های مختلف که در جدول ۳ ارائه شده اند، تقسیم می شود. در جدول ۳- مقادیر و طبقه بندی شاخص استاندارد بارش را در ۷ طبقه نشان می دهد. جهت کوتاه تر شده متن این نوشتار رابطه ی محاسبه شاخص SPI ذکر نشده است.

در جدول - مقادیر منفی NDVI بیانگر شرایط پوشش گیاهی زیر نرمال است که وضعیت خشکسالی را معرفی می کند (برهان^۱ و همکاران ۲۰۱۱).

شاخص استاندارد شده بارش

شاخص بارندگی استاندارد شده، توسط مک کی^۲ و همکارانش از دانشگاه ایالتی کلرادو، در سال ۱۹۹۳ تدوین شد. 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 می گردد. این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه می باشد.

جدول (۳): طبقه بندی شرایط خشکسالی شاخص SPI

مقدار SPI	≥ ۰/۲	۱/۵ - ۱/۹۹	۰/۱ تا ۱/۴۹	-۰/۹۹ - ۰/۹۹	-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

آذربایجان شرقی با استفاده از داده های بارش ماهانه هفت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اهر، کلیبر، مراغه، میانه، سراب، و تبریز انجام گرفته تا وضعیت بارش به خوبی تحلیل شود و ماه های خشک و تر از یکدیگر تفکیک شوند. سپس ضریب همبستگی SPI باهریک از شاخص های NDVI، VCI, TCI, VHI، محاسبه شود. در تصاویر مادون قرمز، باندهای M دارای قدرت تفکیک ۷۵۰ و باندهای I ۳۷۵

در این نوشتار سعی شده است که با بهره گیری از تصاویر مادون قرمز سنجنده S-NPP JPSS وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گیرد. دوره مورد مطالعه ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مربوط به اول آوریل تا انتهای ژولای (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی) که تصاویر به صورت میانگین هفتگی هستند، مورد استفاده قرار گیرد. میانگین ماهانه شاخص استاندارد بارش (SPI) در استان

² Mckee

¹ Berhan



متر هستند. مشخصات باندهای تصاویر مادون قرمز در (جدول ۳) ذکر شده است.

جدول (۴): مشخصات باندهای تصاویر VIIRS

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

یافته ها

با توجه به داده های بارش ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک می توان گفت که در فصل تابستان (ژولای، آگوست و سپتامبر) در استان آذربایجان شرقی بارش رخ نمی دهد و تنها در فصول پاییز، زمستان و بهار شاهد بارش هستیم. بنابراین سال آبی در استان آذربایجان شرقی به طور تقریبی از دهه سوم سپتامبر آغاز و تا دهه دوم ژوئن هر سال ادامه دارد. اگر در استان آذربایجان شرقی پوشش گیاهی دچار خشکسالی شود، بهترین پایه زمانی برای پایش و برآورد آن از اول آوریل تا انتهای ژوئن می باشد، به عبارت دیگر اگر پوشش گیاهی در دیگر ماه های سال دچار خشکسالی شود، بارش در دیگر ماه های سال می تواند خشکسالی پوشش گیاهی را جبران کند و کمبود

بارش تاثیر زیادی بر روی پوشش گیاهی نداشته باشد. بنابراین انتخاب پایه زمانی برای بررسی خشکسالی حادث شده بر روی پوشش گیاهی اول ماه آوریل (هفته ۱۳) تا انتهای ماه ژوئن (هفته ۲۶ میلادی) مناسب است در این نوشتار، برای تشخیص تاثیر بارش بر شرایط پوشش گیاهی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، از اطلاعات بارندگی ماهانه میلادی، مربوط به ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک و باران سنجی واقع در استان آذربایجان شرقی محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در فصل تابستان استان آذربایجان شرقی یک فصل خشک را می گذارند و ماه آگوست خشک ترین ماه سال می باشد. گفتنی است که به دلیل حجم زیاد اشکال تولید شده هریک از شاخص های پوشش گیاهی، فقط ارائه نقشه شاخص ها در

بارش در این سال ها می باشد همچنین بر گویای شرایط مساعد گیاهی و به عبارتی ترسالی است، که بر اساس نتایج ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۲۱ نیز با مقادیر بالای شرایط VCI مجدداً با میزان بارندگی در این سال ها به نسبت کل دوره مورد مطالعه همخوانی دارد و با استفاده از شاخص غالب شرایط متمایل به ترسالی را برای این سال ها نشان می دهد. همان طور که در قسمت روش تحقیق آورده شد این در طول دوره مطالعه استخراج شده است، اما نتایج آنها تا حدی با یکدیگر متفاوت NDVI شاخص از روی تغییرات شاخص این است که این شاخص نوسانات کوتاه مدت ، NDVI است. علت تفاوت نتایج حاصل از این شاخص در مقایسه با شاخص در طول دوره آماری، VCI که مربوط به آب و هواست را از تغییرات بلند مدت جدا می کند. در نتیجه با استفاده از VCI در دوره مورد مطالعه با شرایط خشکسالی پوشش گیاهی مواجه نیست. این نوشتار از نظر تصاویر مورد استفاده از نخستین پژوهش های انجام شده در این زمینه است. تصاویر مادون قرمز با قدرت تفکیک کمتر از ۵۰۰ متر و میانگین هفتگی این مزیت را دارد که بتوان تغییرات پوشش گیاهی را مورد بررسی قرار داد. این امر به نوعی نوآوری این نوشتار به شمار می رود.

هفته ۲۶ (میلادی هر سال) امکان پذیر بود. نقشه های 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 شدند . در این تصاویر به روشنی پویایی پوشش گیاهی در سال های مختلف قابل مشاهده است. با توجه به این تصاویر به طور کلی وضعیت نرمال و غیر نرمال پوشش گیاهی در طول این بازه ی زمانی، در سراسر محدوده مورد مطالعه از وضعیت کاملاً متفاوتی برخوردار بوده است. می توان گفت در تمامی سال های مورد بررسی (TCI) در سطح استان آذربایجان شرقی شرایط یکنواختی نداشته و با توجه به شکل ۲- مشاهده می شود پوشش گیاهی در ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ دچار خشکسالی شده و در ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ پوشش گیاهی در وضعیت نرمالی قرار داشته است. براساس (جدول-۴) (VCI) در همه سال ها از یک الگوی منظم و یکسان پیروی نمی کند، که دلیل آن نیز می تواند به تراکم بارندگی در سال های مختلف و یا نوع مدیریت زراعی و باغی اعم از کشت دیم و آبی در استان آذربایجان شرقی هم باشد. در ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۲۱ دارای شرایط خشکسالی مستخرج از داده های زمینی همخوانی نسبتاً خوبی SPI متوسط و خفیف می باشد و بیانگر کارآیی این شاخص در تخمین خشکسالی کشاورزی متاثر از کمبود

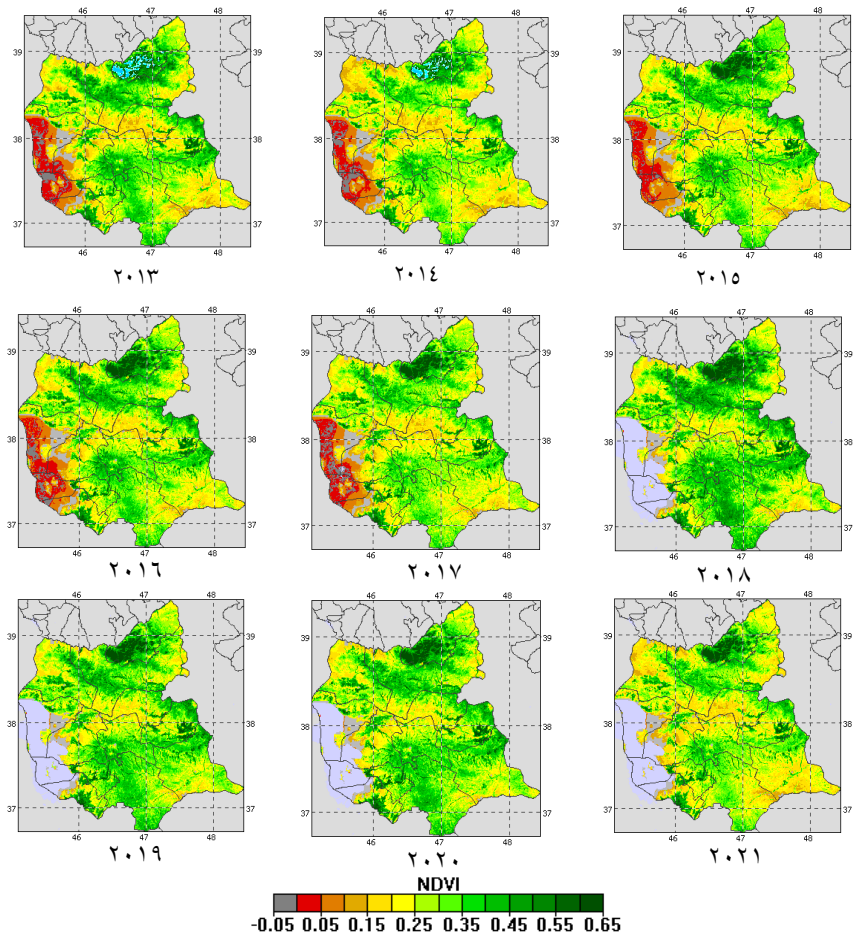


جدول (۵): میانگین هفتگی شاخص‌های NDVI، TCI، VCI و VHI در آذربایجان شرقی

سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI	سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI
۲۰۱۳	۱۳	۰/۱۴۴	۷۴/۶۸	۸/۵۶	۴۱/۶۲	۲۰۱۵	۱۳	۰/۱۵۱	۷۹/۲۷	۲۱/۷۲	۵۰/۵
۲۰۱۳	۱۴	۰/۱۵۸	۷۳/۹۳	۹/۷۶	۴۱/۸۵	۲۰۱۵	۱۴	۰/۱۶۷	۸۱/۱۵	۲۵/۲۶	۵۲/۷۱
۲۰۱۳	۱۵	۰/۱۷۲	۷۳/۳۱	۱۱/۸۵	۴۲/۵۸	۲۰۱۵	۱۵	۰/۱۸۴	۸۱/۶۴	۲۶/۷۱	۵۴/۱۸
۲۰۱۳	۱۶	۰/۱۸۵	۷۱/۹	۱۵/۲۳	۴۳/۵۷	۲۰۱۵	۱۶	۰/۲۰۱	۸۲/۲۴	۲۵/۶۵	۵۳/۹۵
۲۰۱۳	۱۷	۰/۱۹۹	۷۰/۱۱	۱۹/۷۸	۴۴/۹۴	۲۰۱۵	۱۷	۰/۲۱۶	۸۱/۵۶	۲۶/۶۲	۵۴/۰۹
۲۰۱۳	۱۸	۰/۲۰۹	۶۶/۷۸	۲۵/۱۶	۴۵/۹۷	۲۰۱۵	۱۸	۰/۲۲۸	۷۹/۰۸	۲۷/۴۲	۵۳/۲۵
۲۰۱۳	۱۹	۰/۲۱۷	۶۲/۲۹	۲۹/۵۷	۴۵/۹۳	۲۰۱۵	۱۹	۰/۲۳۶	۷۴/۷۷	۲۸/۲۹	۵۱/۵۳
۲۰۱۳	۲۰	۰/۲۲۳	۵۷/۶۵	۳۴/۷۶	۴۶/۲	۲۰۱۵	۲۰	۰/۲۴۱	۶۸/۹۸	۳۱/۳۸	۵۰/۱۸
۲۰۱۳	۲۱	۰/۲۲۷	۵۴/۲۸	۳۷/۱۸	۴۵/۷۳	۲۰۱۵	۲۱	۰/۲۴۲	۶۳/۷۹	۳۱/۰۷	۴۷/۴۳
۲۰۱۳	۲۲	۰/۲۲۸	۵۱/۷۸	۴۰/۴۵	۴۶/۱۲	۲۰۱۵	۲۲	۰/۲۳۸	۵۹/۲۱	۳۰/۰۲	۴۶/۶۱
۲۰۱۳	۲۳	۰/۲۲۶	۵۱/۱۹	۴۱/۱۴	۴۶/۱۶	۲۰۱۵	۲۳	۰/۲۳۲	۵۵/۴۷	۲۸/۸۲	۴۲/۱۴
۲۰۱۳	۲۴	۰/۲۲۱	۵۰/۸۴	۴۰/۰۸	۴۵/۴۷	۲۰۱۵	۲۴	۰/۲۲۳	۵۲	۲۶/۵۱	۳۹/۲۶
۲۰۱۳	۲۵	۰/۲۱۲	۴۹/۲۸	۳۸/۱۶	۴۳/۷۳	۲۰۱۵	۲۵	۰/۲۱۱	۴۷/۸۱	۲۵	۳۶/۴۱
۲۰۱۳	۲۶	۰/۲۰۳	۴۷/۸۲	۳۶/۵۹	۲۱/۴۲	۲۰۱۵	۲۶	۰/۱۹۹	۴۴/۲۹	۲۴/۲۱	۳۴/۲۶
۲۰۱۴	۱۳	۰/۱۲۹	۶۵/۸	۱۶/۸۳	۴۱/۳۲	۲۰۱۶	۱۳	۰/۱۵۵	۸۲/۰۳	۲۷/۱	۵۴/۵۷
۲۰۱۴	۱۴	۰/۱۴۲	۶۳/۷۴	۱۸/۵۴	۴۱/۱۴	۲۰۱۶	۱۴	۰/۱۶۹	۸۱/۳۲	۳۱/۶۱	۵۶/۴۷
۲۰۱۴	۱۵	۰/۱۵۵	۶۲/۵۹	۲۰/۷۱	۴۱/۶۵	۲۰۱۶	۱۵	۰/۱۸۵	۸۲/۱	۳۳/۸۲	۵۷/۹۶
۲۰۱۴	۱۶	۰/۱۷	۶۲/۱۵	۲۰/۹۴	۴۱/۵۵	۲۰۱۶	۱۶	۰/۲۰۳	۸۳/۴۸	۳۴/۷۶	۵۹/۱۲
۲۰۱۴	۱۷	۰/۱۸۴	۶۰/۹۸	۲۲/۱۳	۴۱/۵۵	۲۰۱۶	۱۷	۰/۲۱۸	۸۲/۹۵	۳۸/۱۷	۶۰/۵۶
۲۰۱۴	۱۸	۰/۱۹۷	۵۸/۹	۲۲/۹۳	۴۰/۹۲	۲۰۱۶	۱۸	۰/۲۳	۸۰/۶۷	۴۲/۹	۶۱/۷۹
۲۰۱۴	۱۹	۰/۲۰۶	۵۵/۳۲	۲۴/۰۸	۳۹/۷	۲۰۱۶	۱۹	۰/۲۳۸	۷۶/۵۸	۴۷/۹	۶۲/۲۴
۲۰۱۴	۲۰	۰/۲۱۲	۵۰/۲۲	۳۰/۲۵	۴۰/۲۳	۲۰۱۶	۲۰	۰/۲۴۵	۷۲/۱۷	۴۹/۶۷	۶۰/۹۲
۲۰۱۴	۲۱	۰/۲۱۴	۴۵/۱۶	۳۳/۲۴	۳۹/۲	۲۰۱۶	۲۱	۰/۲۴۷	۶۷/۷	۵۰/۵۸	۵۹/۱۴
۲۰۱۴	۲۲	۰/۲۱۴	۴۲/۰۶	۳۶/۱۶	۳۹/۱۱	۲۰۱۶	۲۲	۰/۲۴۵	۶۴/۰۶	۵۲/۸	۵۸/۴۳
۲۰۱۴	۲۳	۰/۲۱۱	۳۹/۸۲	۳۹/۵۹	۳۹/۷۱	۲۰۱۶	۲۳	۰/۲۳۸	۶۰/۳	۵۵/۲۵	۵۷/۷۸
۲۰۱۴	۲۴	۰/۲۰۵	۳۸/۷	۴۱/۸۱	۴۰/۲۶	۲۰۱۶	۲۴	۰/۲۲۸	۵۵/۹۸	۵۹/۸۳	۵۷/۹۱
۲۰۱۴	۲۵	۰/۱۹۵	۳۶/۵۳	۴۲/۸۷	۳۹/۷	۲۰۱۶	۲۵	۰/۲۱۵	۵۱/۷۲	۶۱/۵۸	۵۶/۶۶
۲۰۱۴	۲۶	۰/۱۸۵	۳۴/۲۷	۴۱/۲۶	۳۹/۷۷	۲۰۱۶	۲۶	۰/۲۰۳	۴۸/۳۷	۶۱/۴۹	۵۴/۹۴

جدول (۶): میانگین هفتگی شاخص های VHI و VCI، TCI، NDVI در آذربایجان شرقی

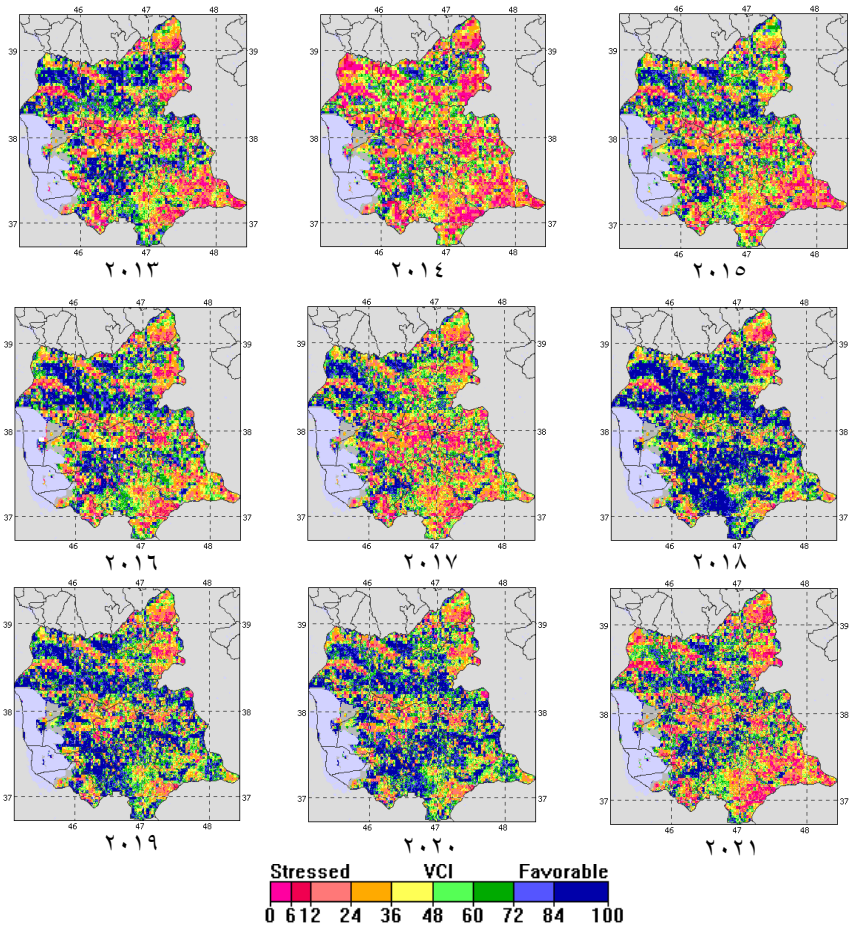
سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI	سال	هفته	NDVI	VCI	TCI	VHI
۲۰۱۷	۱۳	۰/۱۰۸	۴۹/۴۵	۳۰/۴۵	۳۹/۹۵	۲۰۱۹	۱۳	۰/۱۱۲	۵۵/۶۹	۵۳/۴۶	۵۴/۵۷
۲۰۱۷	۱۴	۰/۱۲۳	۵۰/۱۹	۲۷/۵۷	۳۸/۸۸	۲۰۱۹	۱۴	۰/۱۳۸	۵۸/۰۳	۵۷/۳۳	۵۷/۶۸
۲۰۱۷	۱۵	۰/۱۴	۵۱/۸۱	۲۴/۷۸	۳۸/۳	۲۰۱۹	۱۵	۰/۱۵۷	۶۱/۵۶	۵۸/۳۱	۵۹/۹۳
۲۰۱۷	۱۶	۰/۱۵۸	۵۳/۸۱	۲۳/۲۲	۳۸/۵۲	۲۰۱۹	۱۶	۰/۱۷۶	۶۴/۲۷	۵۶/۰۴	۶۰/۱۶
۲۰۱۷	۱۷	۰/۱۷۶	۵۵/۳۱	۲۲/۹۱	۳۹/۱۱	۲۰۱۹	۱۷	۰/۱۹۴	۶۶/۷	۵۱/۷۸	۵۹/۲۴
۲۰۱۷	۱۸	۰/۱۹۳	۵۶/۵۳	۲۱/۹۴	۳۹/۲۳	۲۰۱۹	۱۸	۰/۲۱۱	۶۸/۴۷	۴۷/۲	۵۷/۸۴
۲۰۱۷	۱۹	۰/۲۰۶	۵۵/۸۳	۲۱/۳۳	۳۸/۵۸	۲۰۱۹	۱۹	۰/۲۲۶	۶۸/۷	۴۴/۰۲	۵۶/۳۶
۲۰۱۷	۲۰	۰/۲۱۶	۵۳/۳۱	۲۲/۹۱	۳۸/۱۱	۲۰۱۹	۲۰	۰/۲۳۸	۶۷/۷۷	۴۳/۶۷	۵۵/۷۲
۲۰۱۷	۲۱	۰/۲۲۲	۵۱/۱۸	۲۲/۷۷	۳۶/۹۸	۲۰۱۹	۲۱	۰/۲۴۵	۶۶/۵	۴۱/۰۷	۵۳/۷۹
۲۰۱۷	۲۲	۰/۲۲۵	۴۹/۷۹	۲۴/۵۹	۳۷/۱۹	۲۰۱۹	۲۲	۰/۲۴۷	۶۵/۴۶	۳۹/۰۶	۵۲/۲۶
۲۰۱۷	۲۳	۰/۲۲۳	۴۸/۳۹	۲۶/۲۳	۳۷/۳۱	۲۰۱۹	۲۳	۰/۲۴۳	۶۳/۷۴	۳۹/۴۳	۵۱/۵۸
۲۰۱۷	۲۴	۰/۲۱۶	۴۶/۷۸	۲۶/۹۵	۳۶/۸۷	۲۰۱۹	۲۴	۰/۲۳۶	۶۱/۸۶	۴۱/۲۹	۵۱/۵۸
۲۰۱۷	۲۵	۰/۲۰۷	۴۴/۶۹	۲۶/۸۲	۳۵/۷۶	۲۰۱۹	۲۵	۰/۲۲۶	۵۹/۶۶	۴۰/۵	۵۰/۰۹
۲۰۱۷	۲۶	۰/۱۹۶	۴۲/۲۵	۲۶/۵	۳۴/۳۹	۲۰۱۹	۲۶	۰/۲۱۵	۵۷/۳۴	۳۹/۴۱	۴۸/۳۹
۲۰۱۸	۱۳	۰/۱۵۶	۴۲/۷۴	۲۰/۸۹	۵۱/۸۲	۲۰۲۰	۱۳	۰/۱۲۸	۶۳/۱۳	۳۸/۷۳	۵۰/۹۳
۲۰۱۸	۱۴	۰/۱۷۳	۸۳/۷	۲۴/۳	۵۴	۲۰۲۰	۱۴	۰/۱۴۶	۶۵/۶۲	۴۳/۰۲	۵۴/۳۲
۲۰۱۸	۱۵	۰/۱۸۸	۸۴/۱۷	۲۷/۷۴	۵۵/۹۵	۲۰۲۰	۱۵	۰/۱۶۴	۶۷/۷۹	۴۶/۵۲	۵۷/۱۵
۲۰۱۸	۱۶	۰/۲۰۴	۸۳/۴۵	۳۲/۸۲	۵۸/۱۴	۲۰۲۰	۱۶	۰/۱۸۳	۷۰/۲۷	۴۶/۵	۵۸/۳۹
۲۰۱۸	۱۷	۰/۲۱۸	۸۲/۵۶	۳۸/۵۹	۶۰/۵۸	۲۰۲۰	۱۷	۰/۲۰۲	۷۲/۵۴	۴۵/۲۴	۵۸/۸۹
۲۰۱۸	۱۸	۰/۲۳۱	۸۰/۹۲	۴۳/۱۷	۶۲/۰۴	۲۰۲۰	۱۸	۰/۲۱۹	۷۳/۷۹	۴۲/۹	۵۸/۳۴
۲۰۱۸	۱۹	۰/۲۴۲	۷۸/۶۸	۴۸/۰۷	۶۳/۳۸	۲۰۲۰	۱۹	۰/۲۳۴	۷۳/۶۹	۴۰/۹۴	۵۷/۳۱
۲۰۱۸	۲۰	۰/۲۵۲	۷۶/۵۵	۵۱/۵۴	۶۴/۰۵	۲۰۲۱	۲۰	۰/۲۴۵	۷۲/۴۲	۳۹	۵۵/۷۱
۲۰۱۸	۲۱	۰/۲۵۷	۷۴/۷۸	۵۱/۲۶	۶۳/۰۲	۲۰۲۰	۲۱	۰/۲۵۱	۷۰/۷۵	۳۴/۲۶	۵۲/۵
۲۰۱۸	۲۲	۰/۲۵۸	۷۳/۵۲	۵۲/۵۴	۶۳/۰۳	۲۰۲۰	۲۲	۰/۲۵۲	۶۸/۸۷	۳۱/۴۹	۵۰/۱۸
۲۰۱۸	۲۳	۰/۲۵۴	۷۲	۵۳/۴	۶۲/۷	۲۰۲۰	۲۳	۰/۲۸۴	۶۶/۸۵	۳۰/۷۶	۴۸/۸۱
۲۰۱۸	۲۴	۰/۲۴۶	۶۹/۹۲	۵۱/۲۹	۶۰/۶۲	۲۰۲۰	۲۴	۰/۲۳۹	۶۴/۲۱	۳۲/۱	۴۸/۱۶
۲۰۱۸	۲۵	۰/۲۳۵	۶۶/۸۷	۴۵/۷۴	۵۶/۳۱	۲۰۲۰	۲۵	۰/۲۲۷	۶۰/۴۲	۳۴/۹	۴۷/۶۷
۲۰۱۸	۲۶	۰/۲۲۲	۶۲/۹۴	۲۲/۳۱	۵۲/۶۴	۲۰۲۰	۲۶	۰/۲۱۴	۵۶/۹۳	۳۸/۶	۴۸/۷۸
۲۰۲۱	۱۳	۰/۱۴۵	۷۶/۶۵	۱۷/۶۴	۴۷/۱۴	۲۰۲۱	۲۰	۰/۲۳۲	۶۳/۲۶	۱۱/۸۸	۳۷/۵۷
۲۰۲۱	۱۴	۰/۱۶	۷۶/۹۹	۱۵/۹۹	۴۶/۴۹	۲۰۲۲	۲۱	۰/۲۳۳	۵۷/۸۸	۱۱/۱	۳۴/۴۹
۲۰۲۱	۱۵	۰/۱۷۶	۷۷/۴۳	۱۵/۲۸	۴۶/۳۵	۲۰۲۱	۲۲	۰/۲۳	۵۳/۴۷	۱۱/۰۸	۳۲/۲۸
۲۰۲۱	۱۶	۰/۱۹۱	۷۶/۸	۱۳/۷۲	۴۵/۲۶	۲۰۲۱	۲۳	۰/۲۲۵	۴۹/۸۳	۱۱/۵۲	۳۰/۷۶
۲۰۲۱	۱۷	۰/۲۰۶	۷۶/۰۱	۱۲/۲	۴۴/۱۱	۲۰۲۱	۲۴	۰/۲۱۶	۴۷/۱۶	۱۱/۸۱	۲۹/۴۸
۲۰۲۱	۱۸	۰/۲۱۸	۷۳/۳۷	۱۱/۳۹	۴۲/۳۸	۲۰۲۱	۲۵	۰/۲۰۷	۴۴/۸۶	۱۱/۳۳	۲۸/۱
۲۰۲۱	۱۹	۰/۲۲۶	۶۸/۸۶	۱۰/۶۹	۳۹/۷۸	۲۰۲۱	۲۶	۰/۱۹۹	۴۵/۱۹	۱۲/۳	۲۸/۷۵



شکل (۲): میانگین هفتگی (NDVI) آذربایجان شرقی (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

(میلادی) اول آوریل تا اواخر ژوئن روند نزولی داشته (جدول ۴) و به نوعی قابل پیش بینی است. به عبارت دیگر در سالی که خشکسالی یا ترسالی در این شاخص رخ داده از اول آوریل شرایط یکسانی نداشته و روند مقادیر نزولی یا صعودی بوده است. مرطوب ترین سال ها از نظر این شاخص ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ است.

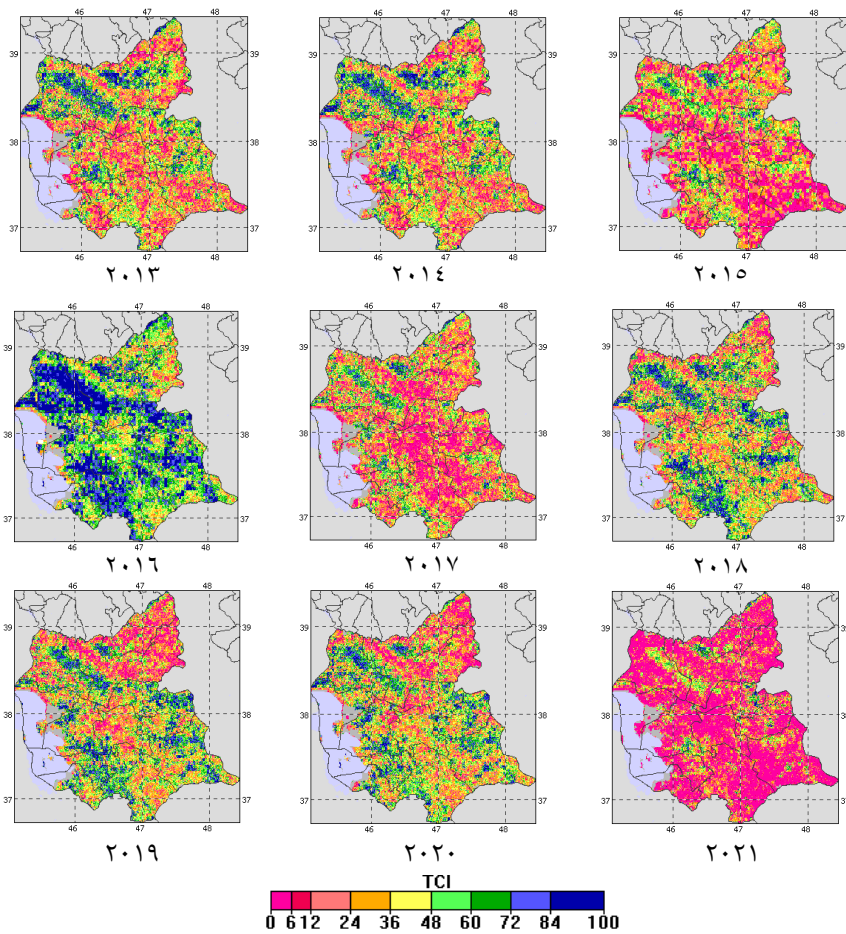
براساس شکل ۳ می توان ملاحظه نمود که شرایط شاخص Vegetation Condition index (VCI) در استان آذربایجان شرقی در تمامی سطح استان از شرایط کاملا متفاوتی برخوردار بوده به طوری وضعیت این شاخص در استان از نظر تغییرات منطقه ای زیاد محسوس نبوده است (در وضعیت ترسالی یا خشکسالی). در سال ۲۰۲۱ که خشک ترین وضعیت این شاخص می باشد از هفته ۱۳



شکل (۳): میانگین هفتگی (VCI) آذربایجان شرقی (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

استفاده از شاخص های مختلف با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، نتایج متفاوتی را نشان می دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص ها از نظر صحت داده ها و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود دارد. از این رو باید رابطه هرکدام از شاخص های ماهواره ای با خشکسالی در هر منطقه ای به طور جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد و برای هر منطقه بسته به شرایط خاص اقلیمی و پوشش گیاهی اقدام به انتخاب شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی پوشش گیاهی نمود.

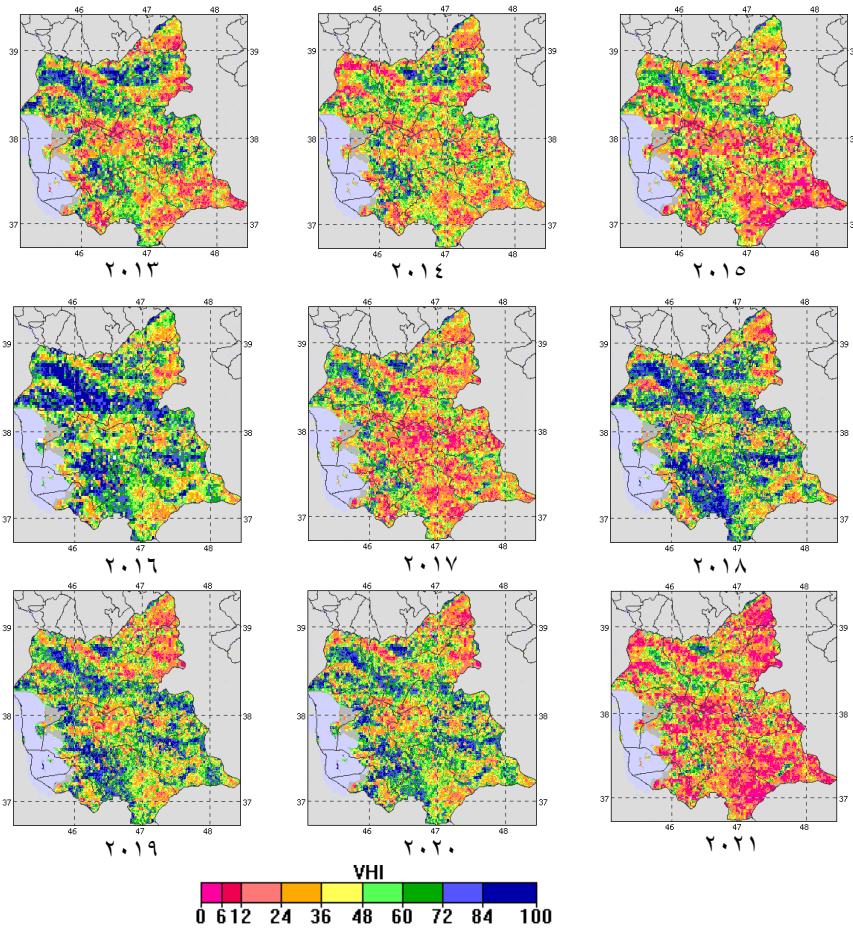
می توان این گونه بیان کرد در سال های که پوشش گیاهی دچار خشکسالی شده است مقادیر (VHI) به خوبی هماهنگ با Drought Risk در استان آذربایجان شرقی می باشد شکل-۵. همان طور که مقادیر (VHI) در جدول ۲ نشان می دهد در ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۲۱ که پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی دچار خشکسالی شده و از حالت نرمال خارج شده است و کلاس های آن به سمت خشکسالی تغییر کرده است. مقادیر (VHI) به خوبی این نتیجه را تایید می کند. مطالعات صورت گرفته با



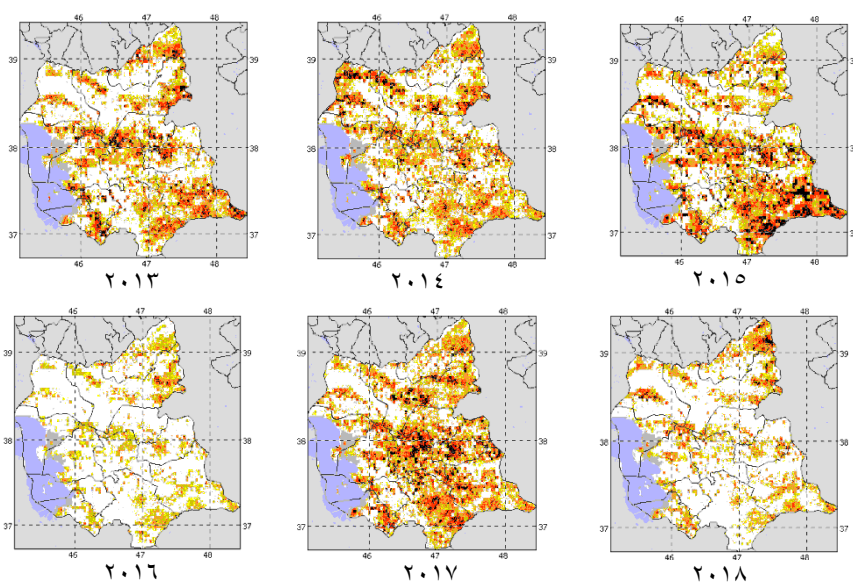
شکل (۴): یانگین هفتگی (TCI) آذربایجان شرقی (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)

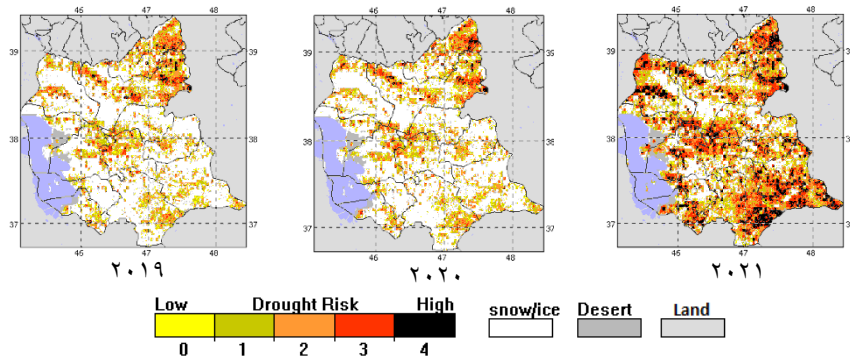
خشکسالی از یکدیگر تفکیک شده است. در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی همه ساله با درجه ای از خشکسالی مواجه بوده است. در ۲۰۲۱ درجه High که با رنگ سیاه در بیشتر مناطق استان آذربایجان شرقی مشاهده می باشد که بالاترین سطح خشکسالی پوشش گیاهی محسوب می شود. در ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ بیشترین خشکسالی پوشش گیاهی در قسمت های غربی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. در سال هایی که خشکسالی پوشش گیاهی گسترده ای صورت نگرفته، می توان مشاهده کرد که در بعضی قسمت های جنوبی منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی در مناطق جنوبی مورد خشکسالی قرار گرفته است.

همان طور که مشاهده می شود (شکل-۵) در استان آذربایجان شرقی وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی در دوره (۲۰۱۳-۲۰۲۱) در هر سالی با سال دیگر از لحاظ تغییرات یا جابه جایی مکانی و یا درجات خشکسالی پوشش گیاهی متفاوت می باشد. در ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ پوشش گیاهی دچار خشکسالی شدیدی شده است. اما در ۲۰۲۱ شدیدترین و گسترده ترین خشکسالی پوشش گیاهی اتفاق افتاده است. در همه ی سال ها در هفته ۲۶ پوشش گیاهی دچار خشکسالی شده است اما درجات خشکسالی حادث شده، متفاوت می باشد. براساس راهنمای شکل ۵- که بر اساس رنگ بندی درجات



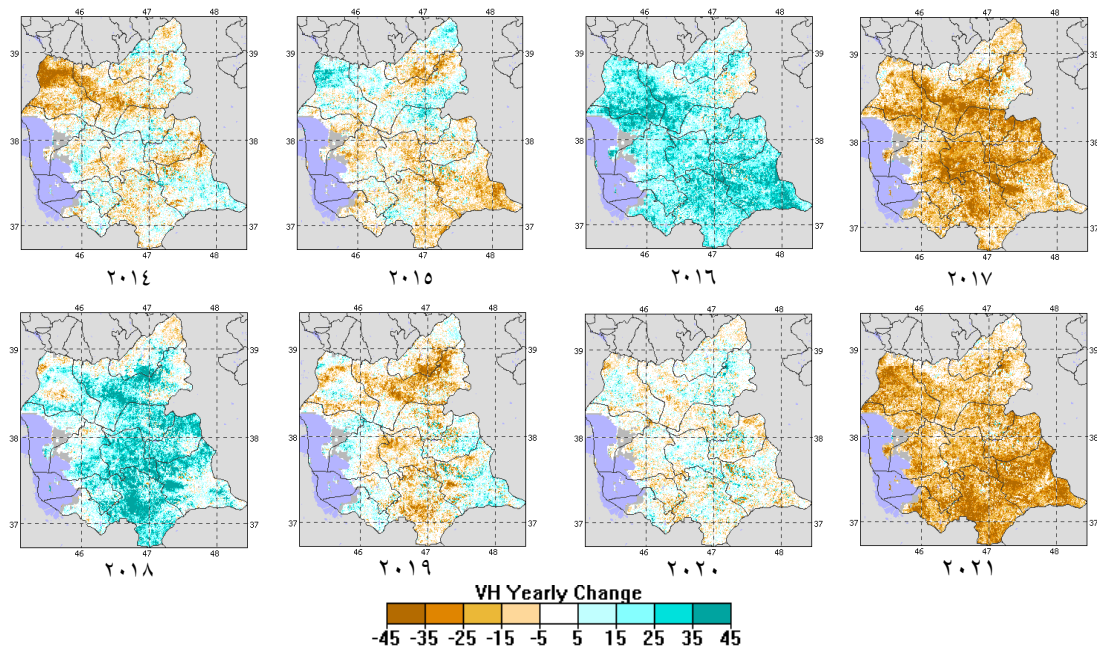
شکل (۵): میانگین هفتگی (VHI) آذربایجان شرقی (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۱۳-۲۰۲۱)





شکل (۶): میانگین هفتگی **Drought Risk** استان آذربایجان شرقی (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۲۱-۲۰۱۳)

تمامی شاخص های مربوط به شرایط پوشش گیاهی به صورت میانگین هفتگی محاسبه شده است. زیرا هرچه بازه زمانی بررسی شرایط پوشش گیاهی کوتاه تر باشد، بهتر می توان به سایر جزئیات پی برد و تحلیل های دقیق تری انجام داد. براساس مندرجات جدول ۴ می توان گفت که در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ خشکسالی در شرایط پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی به وقوع پیوسته و در سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ شرایط پوشش گیاهی در وضعیت مساعدی بوده و به نوعی ترسالی حاکم بوده است. براساس طبقه بندی درجات خشکسالی یا ترسالی در شرایط پوشش گیاهی جدول ۱ می توان گفت که اکثر سال هایی شرایط پوشش گیاهی در وضعیت خشکسالی قرار می گیرد از هفته ۲۰ میلادی قابل پیش بینی می باشد، به طوری که هر یک از مقادیر شاخص ها کاهش یافته و در کلاس خشکسالی خفیف، سپس شدید قرار می گیرد. به عبارت دیگر در سال هایی که به نوعی دچار خشکسالی در شاخص های پوشش گیاهی رخ داده است، در ماه آوریل مقادیر شاخص ها از ماه آوریل و می روند نزولی داشته و سپس در ژوئن و ژولای شاخص ها به سمت خشکسالی شدید میل پیدا می کنند.

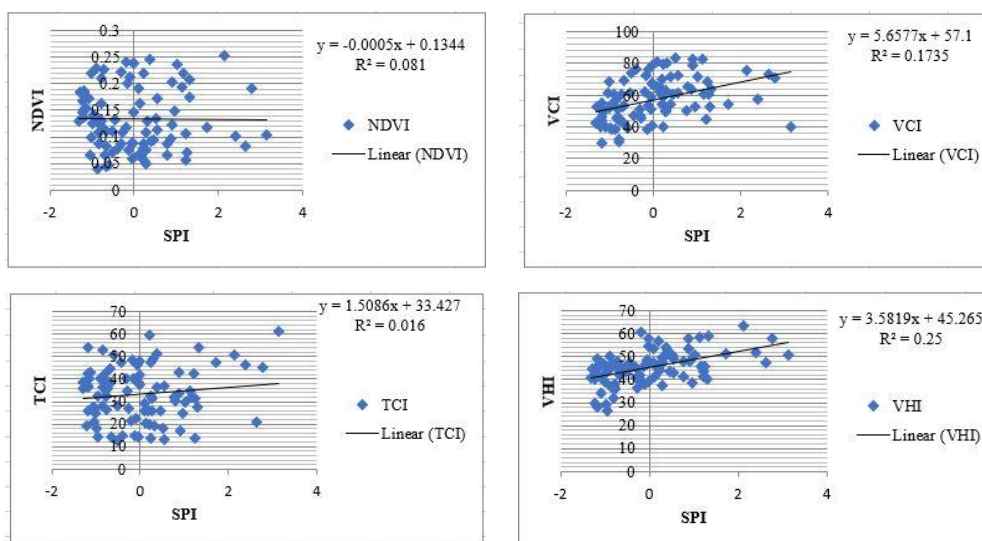


شکل (۷): تغییرات سالانه شاخص سلامت پوشش گیاهی

همبستگی گرفته شد و میانگین دیگر ماه های لحاظ نشده است. جهت نمایش بهتر ارتباط بارش دریافتی با میزان نوسان و تغییرات شاخص های پوشش گیاهی، شاخص استاندارد بارش با هر یک از شاخص های پوشش گیاهی رابطه همبستگی آنها محاسبه شده است (شکل ۸-). براساس نتایج حاصل شده میزان همبستگی شاخص های NDVI، VCI، TCI و VHI به ترتیب ۰/۰۸۱، ۰/۱۷۳۵، ۰/۱۶ و ۰/۲۵ است

همبستگی بارش و شاخص های پوشش گیاهی

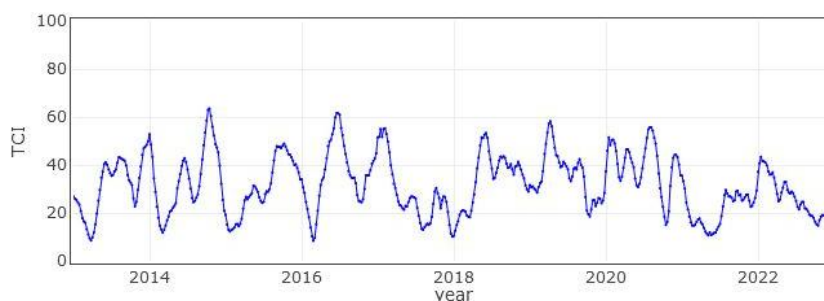
برای محاسبه ضریب همبستگی شاخص SPI با میانگین ماهانه SMN, VCI, TCI, VHI، ابتدا میانگین ماهانه هر یک از SMN, VCI, TCI, VHI محاسبه گردید، سپس میانگین هر ماه در هر سال به صورت یک واحد با SPI همبستگی گرفته شد. بدین معنی که میانگین آوریل، می و ژوئن محاسبه و با SPI ماه های آوریل، می و ژوئن ضریب

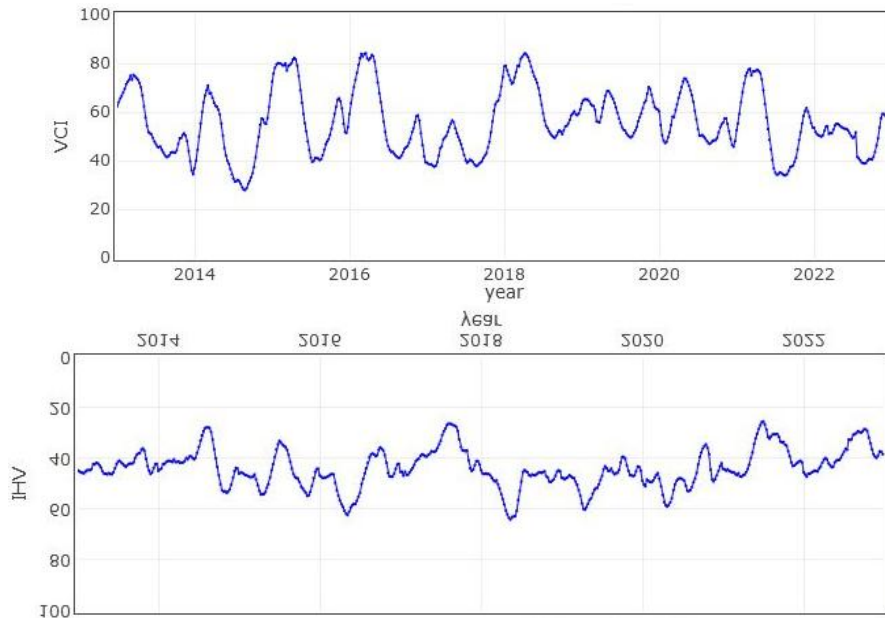


شکل ۸): نمودار همبستگی شاخص استاندارد بارش با هریک از شاخص های پوشش گیاهی مورد بررسی

هفتگی شاخص (VCI) در سال های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ سیر صعودی داشته است. این روند در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ کمترین میزان را داشته است. خشک ترین زمان این شاخص در اواسط ۲۰۱۵ رخ داده است. روند این بازه در دوره مورد مطالعه دارای نوسان زیاد می باشد. براساس نمودار میانگین شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI می توان ملاحظه کرد که در این بازه، روند در اواسط ۲۰۱۳، اواخر ۲۰۱۵ و در ۲۰۲۱ روند افزایشی داشته است که نشان دهنده شرایط خشکسالی پوشش گیاهی ملایم به شدید می باشد. در سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ این روند به کمترین مقادیر در این بازه رسیده است و شرایط ترسالی پوشش گیاهی را نشان می دهد. می توان گفت در سال های ۲۰۱۶، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به بیشترین میزان خود رسیده است.

براساس شکل ۸. که سری زمانی شاخص TCI را نشان می دهد، این شاخص دارای افت و خیزی نسبتاً زیادی بوده به طوری که در سال های ۲۰۱۸، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ کمترین میزان را نشان می دهد. روند این شاخص نشان می دهد که در هفته های اولیه ی هر سال روند این شاخص سیر افزایشی داشته و در هفته های پایانی هر سال روند آن سیر نزولی به خود می گیرد. شاخص TCI نوسان دارد و افت و خیزی زیادی در این بازه نشان نمی دهد. با توجه به شکل ۱۲. که میانگین هفتگی شاخص سلامت پوشش گیاهی در بازه کمتر از ۱۵ را نمایش می دهد، ملاحظه می شود که در اواسط سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ روند این شاخص افزایشی بوده و در سال های دیگر این روند تقریباً ثابت و دارای افت و خیز کمتری می باشد. میانگین هفتگی شاخص VCI، ملاحظه می شود که سری زمانی میانگین





شکل (۹): سری زمانی میانگین هفتگی هریک از شاخص های پوشش گیاهی مورد بررسی (TCI) در استان آذربایجان شرقی

نتیجه گیری

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. در این مطالعه علاوه بر بررسی شرایط نرمال پوشش گیاهی، ارتباط آن را با بارش دریافتی در منطقه مورد مطالعه نیز مورد تجربه و تحلیل قرار گرفت. استفاده از تصاویر ماهواره ای ابزار مناسبی جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی اکوسیستم های خشک از جمله استان آذربایجان شرقی است، استفاده از روش سنجش از دور توانایی خوبی در بررسی پوشش گیاهی و امکان دسترسی چند زمانه و با هزینه نسبتاً اندک، امکان پایش مداوم پوشش سبز سطح زمین را فراهم و امکان مقایسه واقعی آنها را فراهم می آورد. این تحقیق تأثیر بارش بر تغییرات پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی را مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده است. در این نوشتار از تصاویر مادون قرمز که به صورت میانگین

هفتگی در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۱۳ برای محاسبه شاخص های NDVI, VCI, TCI, VHI در محدوده ی استان آذربایجان شرقی استفاده شده است. جهانگیر و مشیدی در سال ۱۳۹۹ به ارزیابی پایش خشکسالی کشاورزی مبتنی بر سنجش از دور با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در ماه های رشد در حوضه آبریز کارون پرداختند. به منظور پایش خشکسالی کشاورزی در حوضه آبریز کارون شاخص SPI استفاده نمودند. به این منظور از اطلاعات حاصل از تصاویر سنجنده MODIS در استخراج شاخص های VCI و TCI در ماه های رشد گیاهی (مارس تا اوت) سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ و داده های بارش ایستگاه های باران سنجی مورد استفاده قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که کلیه شاخص ها در قسمت های جنوبی حوضه آبریز، خشکسالی شدید رخ داده است. همچنین خشکسالی کشاورزی منتج از تصاویر ماهواره ای، شاخص VCI ضریب همبستگی بالایی با شاخص استاندارد بارش SPI داشت.



با شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) مقایسه شده است، نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین هر دو شاخص وجود دارد. در دو مقیاس سالانه و فصلی خشکسالی مشخص گردید که به علت نوسان های شدید بارش بر اساس آمار هواشناسی، الزاما وجود خشکسالی سالانه دلیلی بر وجود خشکسالی فصلی نیست و یا برعکس آن وقوع خشکسالی فصلی نمی تواند الزاما خشکسالی در کل سال را توجیه کند. بنابراین شاخص SPI برای هر یک از ماه های سال محاسبه شده است. محاسبات SPI نشان داد که ماه های ژولای، اگوست و سپتامبر در استان آذربایجان شرقی منفی است. نتایج نشان می دهد که بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره ای جهت پایش خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه (VHI) است. مشخص گردید که شاخص VHI بیشترین هماهنگی و همخوانی SPI در منطقه مورد مطالعه دارد. در ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ بیشترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در مناطق غربی و مرکزی استان آذربایجان شرقی رخ داده است. در ۲۰۲۱ شدیدترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. چنانچه ضریب همبستگی شاخص SPI با NDVI, VCI, TCI, VHI را در ارتباط تاثیر بارش بر شرایط خشکسالی و یا شرایط نرمال پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه مد نظر باشد (VHI) همبستگی بیشتری با (SPI) دارد. نتایج حاصل از این نوشتار نشان می دهد که بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره ای جهت پایش خشکسالی SPI و VHI است. می توان نتایج این پژوهش از با کارهای انجام شده مورد مقایسه قرار داد.

قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۹) برای بررسی شاخص خشکسالی سالی هواشناسی و ارتباط آن با تأثیرپذیری پوشش گیاهی از روش سنجش دوربرد در استان لرستان استفاده کردند. آنها از داده های بارش در دوره ۱۳۶۶ - ۱۳۹۶ از تصاویر سنجنده MODIS برای استخراج شاخص پوشش گیاهی در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷ استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین تطابق وضعیت شاخص پوشش گیاهی در رده های خشکسالی متوسط با شاخص بارش دارد. ورهوف و همکاران در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی به بررسی تاب آوری پوشش گیاهی در شرایط خشکسالی فزاینده در شمال تانزانیا در دوره ۱۹۴۰-۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر رادیومتریک پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تغییرات پوشش گیاهی و تاب آوری پوشش گیاهی مرتبط با وقوع خشکسالی و بارش طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۴۰ تغییر معنی داری نداشت. داتا و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی و ارزیابی خشکسالی با استفاده از تصاویر NOAA و شاخص VCI در هند پرداختند. در این پژوهش، مقادیر شاخص VCI در سال ۲۰۰۲ به عنوان سال خشک و سال ۲۰۰۳ به عنوان سال مرطوب با شاخص های هواشناسی SPI و شاخص ناهنجاری بارش مقایسه شد. نتایج نشان داد ناهنجاری بارش بین مقادیر شاخص VCI با SPI و ناهنجاری بارش همبستگی بالایی وجود دارد. آیولیا و همکاران در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی، به بررسی خشکسالی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و شاخص گیاهی بارز شده EVI طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داد این شاخص به خوبی می تواند پاسخ پوشش گیاهی به پدیده خشکسالی را نشان دهد. همچنین مقادیر این شاخص

منابع

- جهانگیر، م، ح و مشیدی، ض. (۱۳۹۹). ارزیابی پایش خشکسالی کشاورزی مبتنی بر سنجش از دور با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در ماه های رشد (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۱۴، صص ۱۲۶۴-۱۲۵۲.
- قرمزچشمه، ب؛ سادات م، م، حسینی، ط؛ حسینی، س، ع؛ شرافتی، الف. (۱۳۹۹). ارزیابی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی زمین های دیم در استان لرستان، پژوهش های آبخیزداری، دوره ۳۴، شماره دو، صص ۹۰-۷۷.

- علوی پناه، س، ک، رفیعی امام، ع، حسینی، س، ز؛ جعفر بیگلو، م. (۱۳۸۵). بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف گیاهی و آبی با استفاده از سنجش از دور، تحقیقات جغرافیایی ۳۸(۵۵) ۸۱-۹۷.
- Aulia, M. R., Setiawan, Y., & Fatikhunnada, A. (2016). Drought detection of west java's paddy field using MODIS EVI satellite images (case study: rancaekek and rancaekek wetan). *Procedia Environmental Sciences*, 33, 646-653.
- 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.
- 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. *GIScience & Remote Sensing*, 45(1), 16-46.
- Brown, J. F., & Pervez, M. S. (2014). Merging remote sensing data and national agricultural statistics to model change in irrigated agriculture. *Agricultural Systems*, 127, 28-40.
- Brown, J. F., Ji, L., Gallant, A., & Kauffman, M. (2019). Exploring relationships of spring green-up to moisture and temperature across Wyoming, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 40(3), 956-984.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N. R., Saha, S. K., & Siddiqui, A. R. (2015). Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 53-63.
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of population growth. *Science*, 171(3977), 1212-1217.
- Esetlili, M. T., Balçık, F. B., Sanlı, F. B., Kalkan, K., Ustuner, M., Goksel, C., ... & Kurucu, Y. (2018). Comparison of object and pixel-based classifications for mapping crops using Rapideye imagery: a case study of Menemen Plain, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(2), 231-243.
- Guttman, N. B. (1998). Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 113-121.
- Hui, C. (2006). Carrying capacity, population equilibrium, and environment's maximal load. *Ecological Modelling*, 192(1-2), 317-320.
- Hamzeh, Saeed; Farahani, Zahra; Mahdavi, Shahriar; Chaterabgun, Omid; Gholamnia, Mehdi. (2017). Temporal and spatial monitoring of agricultural drought using remote sensing data. Case study: Markazi Province of Iran, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Year 4, Issue 3, Fall 2017. (In Persian).
- Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American meteorological society*, 78(4), 621-636.
- Kogan, F. N. (2001). Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American meteorological society*, 82(9), 1949-1964.
- 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.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1995, January). Drought monitoring with multiple time scales. *PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY*. LOM, 2017. Liebig's Law of the Minimum.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific reports*, 11(1), 1280.



Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales", Proceedings of the Eighth Conferences on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, 179-184.

Perkins, D., Uhl, E., Biber, P., Du Toit, B., Carraro, V., Rötzer, T., & Pretzsch, H. (2018). Impact of climate trends and drought events on the growth of oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) within and beyond their natural range. *Forests*, 9(3), 108.

Shelford, V. E. (1931). Some concepts of bioecology. *Ecology*, 12(3), 455-467.

Saugier, B. 1996. *Vegetation ET atmosphere*, (France: Dominos Flammarion), 107 p.

Verhoeve, S. L., Keijzer, T., Kaitila, R., Wickama, J., & Sterk, G. (2021). Vegetation resilience under increasing drought conditions in northern Tanzania. *Remote Sensing*, 13(22), 4592.