



Agricultural Drought Assessment using Remote Sensing Data (Case study: Tuyserkan County)

Maedeh Malmir¹, Kamran Shayesteh^{ID}^{2*} & Iman Pazhouhan^{ID}³

1 and 2- M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran, respectively.

3- Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

(*- Corresponding author's Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir)

Received: 12-11-2023

Revised: 18-03-2024

Accepted: 18-03-2024

Available Online: 09-11-2024

How to cite this article:

Malmir, M., Shayesteh, K., & Pazhouhan, I. (2024). Agricultural drought assessment using Remote Sensing Data (Case study: Tuyserkan county). *Journal of Agroecology*, 16(3), 513-531. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85155.1173>

Introduction

In recent years, with the growing significance of drought and climate change, there is an increasing need for a well-structured plan to implement effective management strategies and monitor drought conditions. Considering the importance of investigating agricultural drought in relation to the yield of agricultural products and the fact that agriculture in Iran has always been affected by the amount and distribution of inappropriate rainfall, and climate change has caused problems in the cultivation conditions in the country by causing anomalies in temperature and precipitation; in recent years, due to the lack of suitable moisture conditions in the soil and the decrease of rainfall in the spring season, the amount of production and the quality of products have suffered serious threats, among these threats is the threat to human food security and, by nature, social and economic problems. Effective monitoring at the right moment can greatly reduce damage to agricultural production. The use of remote sensing and satellite imagery as effective tools for monitoring agricultural drought has gained significant attention from researchers. Remote sensing allows for the study of drought's effects on plant growth, leading to more accurate and impactful results in drought modeling.

Materials and Methods

Tuyserkan city covers an area of 1,556 square kilometers, 7.98% of the area of Hamedan province, in the west of Iran, and it is located along the Zagros mountain range. In this study, the goal is to evaluate the spatial and temporal patterns of agricultural drought in Tuyserkan County using vegetation coverage indicators derived from satellite data, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Vegetation Condition Index (VCI), the Plant Health Index (VHI), and the Thermal Condition Index (TCI), over a 20-year period and at seasonal and annual scales. The satellite data used in this study are from MODIS imagery. These images are a suitable tool for drought monitoring due to the power of proper spatial separation and providing bands with different wavelengths. After pre-



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85155.1173>

processing these images using ENVI software, surface temperature and rainfall data (used by interpolation method) are used as effective data in the drought process in the study area during this period.

Results and Discussion

The Vegetation Condition Index (VCI) has significant correlation with different seasons, as well as with the Standardized Precipitation Index (SPI). Therefore, it can be stated with confidence that this index can be used to monitor temporal and spatial changes in agricultural droughts in the study area with acceptable accuracy. In fact, the months from the fourth to the sixth are the best time for the growth and development of plants because whatever the effect of precipitation, it will show itself during this period, and the highest correlation between the SPI and VCI for the fourth to the sixth months. However, in the VHI for the seventh to ninth months, meaningful correlation could be because of the fact that the vegetation of Tuyserkan is mostly farmland (ending in October) and orchard (with a high amount of walnuts and almonds, which continue until September). Rahimzadeh et al. (2008) found the best correlation between the VCI and SPI for one to three months in the monitoring of droughts in Northwest Iran, and in this study, the correlation between the VCI and SPI for one to nine months was obtained. Generally, the VCI index provides better results for measuring precipitation, especially in areas that are climatically heterogeneous. As a result, the VCI was selected as the best index for monitoring agricultural droughts in the region.

Conclusion

Based on the calculations performed, the climate of the region shows a better match with the seasonality of the Vegetation Coverage Index (VCI). Generally, the results of the VCI and SPI indices largely confirm the results of the NDVI index. As a result, the VCI index was chosen as the best index for monitoring agricultural droughts in Tuyserkan County. Additionally, the results derived from the use of the vegetation index VCI indicate the state of droughts in 2008 and 2014 and the state of precipitation in 2007 and 2018 compared to the study period in the region.

Keywords: Standardized Precipitation Index, Thermal Condition Index, Vegetation Condition Index



مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۳۱-۵۱۳

ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: شهرستان

تویسرکان)

مائده مالمر^۱، کامران شایسته^{۲*} و ایمان پژوهان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

چکیده

امروزه با توجه به اهمیت خشک‌سالی و تغییر اقلیم، نیازمند یک برنامه منظم برای ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب و پایش خشک‌سالی جهت به حداقل رساندن زیان‌های کشاورزی می‌باشیم. با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور می‌توان خشک‌سالی را از طریق اثراتی که روی گیاهان دارد، مطالعه و به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشک‌سالی دست یافت. هدف این تحقیق، ارزیابی الگوهای مکانی و زمانی خشک‌سالی پوشش گیاهی باغی و باغی کشاورزی شهرستان تویسرکان با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی به‌دست آمده بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای MODIS شامل: شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص سلامت گیاهی (VHI)، شاخص وضعیت دما (TCI)، برای دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ و در مقیاس‌های زمانی فصلی، چهار ماهه، شش ماهه، نه ماهه و سالانه است. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین شاخص‌های ماهواره‌ای و مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) نشان داد که بین شاخص VCI ماه‌های آوریل تا ژوئن سال و SPI ماه‌های ژانویه تا سپتامبر همبستگی برابر با ۰/۵۹۹ و بین شاخص VCI در ماه‌های آوریل تا ژوئن و SPI ماه‌های ژانویه تا ژوئن همبستگی (۰/۵۷۰) معنی‌داری وجود دارد. بر مبنای محاسبات انجام شده، شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد. به‌طور کلی، نتایج شاخص VCI و SPI تا حدود زیادی نتایج شاخص NDVI را تأیید می‌کند. در نتیجه، شاخص VCI به‌عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشک‌سالی کشاورزی شهرستان تویسرکان انتخاب گردید. همچنین، شاخص گیاهی VCI نشان‌دهنده وضعیت خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ و وضعیت ترسالی در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص بارش، شاخص پوشش گیاهی، شاخص دما

مقدمه

مطالعات متعددی نشان می‌دهد که خشک‌سالی باعث کاهش شدید محصولات کشاورزی در سراسر جهان شده است. به عبارتی، خشک‌سالی بخش‌های مختلف اقلیم، منابع آب و کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. توجه به خشک‌سالی کشاورزی به‌علت ارتباط تنگاتنگ آن با تولید محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری می‌یابد (Asong et al., 2018; Gidey et al., 2018). از آن‌جا که خشک‌سالی یک رویداد مکرر آب‌وهوایی است که به‌طور کلی، به‌عنوان

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85155.1173>

روی کار آمدن ماهواره‌های سنجش‌ازدور، می‌توان برآورد بهتری از خشکسالی داشت، زیرا در مشاهدات ماهواره‌ای، از نظر مکانی با چالش‌های مشاهدات میدانی از جمله فقدان مقیاس مکانی مواجه نیستیم و به دلیل حصول برداشت و پهنه وسیعی را که در بر می‌گیرد، در بسیاری از مطالعات خشکسالی رو به افزایش است. بنابراین، ابزار پایش خشکسالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و می‌تواند به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یابد (Gidey et al., 2018; Farzaneh et al., 2021; Veisi et al., 2018) دارا بودن شاخص‌های خشکسالی قابل اعتماد و سازگار مبتنی بر سنجش‌ازراه‌دور همراه با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در نقشه‌برداری و نظارت بر خشکسالی کشاورزی ایفا می‌کند. اگر چه خشکسالی‌های کشاورزی پیچیده و تحت تأثیر پارامترهای مختلف آب‌وهوایی جهانی هستند، اما چارچوب گسترده اتخاذ شده در استخراج شاخص‌های گیاهی مختلف از داده‌های ماهواره‌ای سری زمانی، می‌تواند با تغییرات جزئی و متناسب با شرایط محلی در ارزیابی و پایش خشکسالی کشاورزی استفاده شود (Sandeep et al., 2021). فناوری سنجش‌ازدور به طور گسترده در بسیاری زمینه‌ها استفاده می‌شود، که طیف وسیعی از مشاهدات را به موقع جمع‌آوری کرده و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها را با محدودیت کمتری بکار می‌گیرد که کشاورزی یکی از مهم‌ترین زمینه‌ها برای اعمال و تحقیق سنجش‌ازدور است. از طرفی، امکان به دست آوردن اطلاعات در مورد کشاورزی را به طور منظم با رویکردهای اندازه‌گیری کمترین حضور در محل فراهم می‌کند، ولی داده‌های صحرائی کافی برای پایش کشاورزی با سنجش‌ازدور بسیار مهم است. این روش‌ها برای پایش بررسی وضعیت رشد و بازدهی و سلامت محصولات کشاورزی معمولاً با ترکیبی از باندها و ویژگی‌های مختلف مشخص می‌شوند که برای ایجاد ارتباط با پارامترهای بیوفیزیکی و یا اکوفیزیولوژیکی محصول، مانند شاخص سطح برگ (LAI)، محتوای کلروفیل، محتوای آب گیاه و غیره استفاده می‌شوند. براساس این ویژگی‌ها و مزایا، سنجش‌ازراه‌دور پتانسیل قابل توجهی در زمینه ارزیابی سلامت محصولات کشاورزی دارد. بنابراین، پایش رشد محصول و تخمین بازدهی، عایدی‌های اصلی سنجش‌ازراه‌دور کشاورزی هستند که نظارت بر رشد محصول و تخمین بازدهی با مطالعه پارامترهای فیزیولوژیکی و ساختاری ارتباط نزدیکی با شرایط رشد محصول دارند،

یک دوره زمانی طولانی با کمبود آب و افزایش دمای غیرعادی نسبت به میانگین آماری چند ساله تعریف شده است (Schwarz et al., 2020)، پایش خشکسالی اهمیت بسیار زیادی در ارائه اطلاعات علمی در تدوین سیاست و کاهش خطر خشکسالی دارد. به همین دلیل، پایش و مدیریت خشکسالی امری مهم و حیاتی می‌باشد، زیرا پایش مؤثر و به موقع می‌تواند به میزان زیادی در به حداقل رساندن زیان‌های کشاورزی مفید باشد (He et al., 2020; West et al., 2020). در گذشته، رویکرد پایش خشکسالی براساس پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی بوده است که این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری به صورت نقطه‌ای می‌باشند و از طرفی، پراکندگی ایستگاه‌ها محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به وجود می‌آوردند (Karimi & Shahidi, 2018). با توجه به اهمیت بررسی خشکسالی کشاورزی در ارتباط با بازدهی محصولات کشاورزی و اینکه کشاورزی در ایران همواره تحت تأثیر مقدار و توزیع نامناسب بارش بوده و تغییر اقلیم با ایجاد ناهنجاری‌های دما و بارش، شرایط کشت در کشور را با مشکلاتی روبه‌رو کرده، در سال‌های اخیر به علت نبود شرایط رطوبتی مناسب در خاک و کاهش بارندگی در فصل بهار، مقدار تولید و کیفیت محصولات دچار تهدیدات جدی شده است که از جمله این تهدیدات، تهدید امنیت غذایی انسان و به تبع آن مشکلات اجتماعی و اقتصادی می‌باشد. تحلیل بیان انرژی و رطوبتی اکوسیستم‌ها، به ویژه توجه به پدیده خشکسالی ضرورتی است که در مدیریت و اقتصاد کشاورزی جلوه می‌یابد. البته کشور ایران نیز همواره با خشکسالی‌ها عجین بوده و هدف کلی پایش خشکسالی، تهیه و تأمین اطلاعاتی است که مردم و سازمان‌های مسئول در جهت انجام فعالیت‌هایی که باعث افزایش ضریب اطمینان برنامه‌ریزی‌ها و کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی می‌شوند را تشویق کند. بیشتر سیستم‌های پایش خشکسالی عمدتاً بر مبنای داده‌های هواشناسی استوار است که این سیستم‌ها به عنوان مرحله نخست در ارزیابی خشکسالی نقش ارزشمندی را ایفا می‌کنند (Veisi et al., 2018; Soleimani et al., 2018). از این رو، برای ایمن‌سازی و غذای کافی برای جمعیت جهان که به سرعت در حال رشد است، بیش از هر زمان دیگری به نوآوری‌های تکنولوژیک نیاز است. پیشرفت‌های علمی منجر به درک بهتری از انواع مختلف اجزاء سیستم کشاورزی، از سلول تا سطح میدانی شده است (Jinha et al., 2021). امروزه با به

آسان‌تر می‌کند (Gidey et al., 2018; Veisi et al., 2018; Soleimani et al., 2018). به‌طور کلی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی برای مقاصد پایش سلامتی و تنش‌های محصولات زراعی می‌تواند یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش‌ازدور باشد. برخی پدیده‌ها مانند کاهش میزان سبزیگی در گیاهان، حجم آب در گیاه، کاهش دمای سطح به‌علت فتوستنتز و مانند آن‌ها می‌توانند سبب تغییر در بازتاب نور از گیاه در یک یا چند باند غیرمرئی یا مرئی شوند. با توجه به تغییرات باندهای مختلف، شاخص‌هایی به‌صورت نسبی توسط پژوهشگران ارائه شده‌اند که این شاخص‌ها، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه، پوشش کلی گیاه، زیست‌توده، رطوبت خاک، محتوای آب داخل گیاه و تنش‌های موجود در گیاه است که می‌توان با جمع‌بندی این شاخص‌ها، توصیه‌هایی را برای مدیریت کشاورزی ارائه کرد. این نوع تحلیل‌ها با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای موجود، این امکان را فراهم آورده است که با هزینه‌ای مقرون به‌صرفه، هر شش روز یک بار بتوان در هر ۱۰۰ مترمربع از زمین متوجه شد که احتمالاً چه اتفاقی برای گیاه رخ داده است. این روش نسبت به بازدید زمینی برای مزارع بزرگ (خصوصاً ۵۰ هکتار به بالا) مزیت چشم‌گیری دارد. هرچه گیاه سالم‌تر و متراکم‌تر باشد، بازتاب آن در طول موج نزدیک به مادون قرمز بیشتر می‌شود و بازتاب آن در طول موج قرمز کاهش می‌یابد (Iran Space Organization, 2019).

از آنجایی که تغییرات اقلیم موجب خشک‌سالی در چند دهه اخیر شده و محصولات کشاورزی را با افت حاصلخیزی مواجه کرده است، بنابراین، لازم است به بررسی خشک‌سالی پرداخت که منطقه مورد مطالعه ما شهرستان تویسرکان مصون از تغییر اقلیم با ایجاد ناهنجاری‌های دما و بارش، نمی‌باشد و شرایط کشت در این شهرستان با توجه به اینکه عمده درآمد مردم این شهرستان، کشاورزی و دامداری است را با مشکلاتی مواجه کرده است، زیرا متغیر اصلی خشک‌سالی، بارش می‌باشد که به‌عنوان منبع اصلی آب بیشتر امور کشاورزی و دامی به آن وابسته است را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه تاکنون این تحقیق در این منطقه انجام نگرفته است، در نتیجه نیازمند به بررسی ارزیابی خشک‌سالی در چند دهه اخیر می‌باشیم و از طرفی، خصوصیات اراضی کشاورزی از جمله گستردگی سطح پوشش، اجرای پروژه در جبهه‌های کاری مختلف، اولویت اجرایی بخش‌های مختلف و ...، استفاده از ابزارهای کمکی و فناوری

محقق می‌شود (Lucas et al., 2020). در این میان، با دانش سنجش‌ازدور به مشاهده تدریجی سطوح زمین و دستیابی سریع به اطلاعات در مقیاس گسترده با صرف زمان و هزینه کم و استفاده از باندهای طیفی موجود در ماهواره، اطلاعاتی دقیق و جامع در هر بازه زمانی و مکانی مهیا می‌شود و این داده‌ها به‌دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند چند زمانه بودن، چند طیفی بودن، قابلیت تفکیک مکانی و رادیومتریکی مناسب و متنوع و دید وسیع و یکپارچه، قادر به تفکیک عارضه‌ها و پدیده‌های گوناگون کشاورزی از جمله سطح، نوع و الگوهای زمانی و مکانی کشت هستند. مطالعه مکان‌های زیر کشت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای موجود و تهیه نقشه اراضی زیر کشت آن در هر سال می‌تواند دولت را در مدیریت بهینه این اراضی و برنامه ریزی برای توزیع محصولات کمک کند (Hashemi et al., 2021; Darvand et al., 2021; Mousavi et al., 2021). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات خشک‌سالی، تطابق بسیار خوبی با روش‌های تحلیل آب‌وهوایی نشان می‌دهند که یکی از مؤثرترین شاخص‌ها در بررسی تغییرات و پایش پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) است که به‌عنوان شاخص سلامت تراکم پوشش گیاهی مطرح می‌شود. این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی پوشش گیاهی، برآورد سلامت محصولات کشاورزی و تشخیص خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین برای بررسی تأثیر کاهش بارش بر خشک‌سالی کشاورزی از شاخص‌های VCI^۲ و NDVI و شاخص SPI^۳ می‌توان استفاده نمود و برای برآورد خشک‌سالی کشاورزی از طریق سنجش‌ازدور، شاخص VCI روش بسیار مناسبی بوده و در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت پراکنده هستند و یا اصلاً وجود ندارد، می‌توان از این مدل برای برآورد خشک‌سالی استفاده کرد. زیرا تعداد نقاط نمونه‌برداری در تصاویر ماهواره‌ای بسیار بیشتر از تعداد ایستگاه‌های هواشناسی است. از طرفی، با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور همراه با GIS^۴ می‌توان با به‌کارگیری شاخص‌های VCI، VHI^۵ و NDVI کنترل بهتری بر خشک‌سالی کشاورزی داشت. این داده‌ها تقریباً تمام جنبه‌های انتشار خشک‌سالی را نشان می‌دهند و درک ما را از این پدیده

- 1-Normalized Difference Vegetation
- 2-Vegetation Condition Index
- 3-Standardized Precipitation Index
- 4- Geographical Information System
- 5- Vegetation Health Index

است. گندم، جو و کلزا نیز در شهرستان، بیشترین سطح زیر کشت را دارند (Asong et al., 2018).

مشخصات تصاویر

داده‌های دورسنجی مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های سنجنده MODIS^۱ از سری تصاویر ماهواره Terra می‌باشد. بدین منظور، محصول MOD13Q1,006 از سطح ۳ حسگر MODIS انتخاب شد که اثرات ابر را به حداقل می‌رساند. محصول MOD13Q1,006 که داده‌های NDVI و داده‌های شاخص‌های گیاهی یعنی VCI و VHI را در وضوح فضایی ۲۵۰ متر ارائه داده و شامل موزاییکی از تصاویر از مشاهدات روزانه بازتاب‌های دو طرفه در طول ۱۶ روز است و محصول MOD11A2,006، داده‌های دمای سطح زمین یعنی (TCI) را در وضوح فضایی یک کیلومتر ارائه می‌دهد که این شامل موزاییکی از تصاویر از مشاهدات روزانه بازتاب‌ها در طول هشت روز هستند و در قالب فایل‌ها با فرمت hdf^۴ می‌باشند که از سایت <https://search.earthdata.nasa.gov> دانلود شده‌اند (جدول ۱). برای شاخص میزان بارش (SPI) از داده CHIRPS DAILY:Climate Hazards Group Infrared Precipitation نسخه ۲ نهایی از ۱۱ ایستگاه هواشناسی استفاده گردید. این تصاویر و داده‌ها برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ (تمامی ماه‌های سال) استخراج شده است و به دلیل قدرت تفکیک مکانی ۰/۰۵ درجه و ارائه باندهایی با طول موج‌های مختلف، ابزار مناسبی در زمینه پایش خشکسالی هستند (Vijith et al., 2020).

شاخص‌های خشکسالی

الف) شاخص مبتنی بر داده‌های زمینی: شاخص زمین مرجع برای تصاویر ماهواره‌ای، شاخص SPI بوده است که بر مبنای آمار ایستگاه‌های زمینی (روش درون‌یابی) محاسبه شد. این شاخص، یکی از شاخص‌های اساسی است که برای محاسبه آن، نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است.

های نوین برای اعمال مدیریت مطلوب در خشکسالی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد که استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره ای به‌عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی و همچنین، شناسایی الگوهای اقلیمی و روابط میان عناصر مختلف اقلیمی با یکدیگر می‌تواند کاربرد داشته باشد. در ارتباط با کاربردی بودن تصاویر مادیس در بررسی خشکسالی مطالعات زیادی انجام گرفته است، حمزه و همکاران (Hamzeh et al., 2016) خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص NDVI از سنجنده MODIS در استان مرکزی بررسی کردند و نتایج نشان داد که شاخص مذکور برای پایش خشکسالی کشاورزی مناسب‌تر است، همچنین نتایج نشان داد که تصاویر MODIS می‌تواند در تحلیل خشکسالی کشاورزی بسیار کارآمد باشد. در این رابطه، تحقیقات متعددی انجام گرفت که از آن جمله مطالعات، کریمی و همکاران (Karimi & Shahidi, 2017) در حوزه آبخیز قره سو، طاعت‌زاده (Taatzadeh et al., 2021) در شهرستان چرام، فانک و همکاران (Funk et al., 2009) در زینب‌آباده، یوهاس و همکاران (Yuhas et al., 2009) در چین اشاره کرد. به این دلیل، در این پژوهش سعی شد، از قابلیت‌ها و کارایی شاخص پوشش گیاهی NDVI با بهره‌گیری از سنجنده MODIS در مطالعه تغییرات خشکسالی کشاورزی شهرستان تویسرکان استفاده شود که راهی مطمئن و مؤثر برای شناخت و پایش خشکسالی‌ها بوده و نتایج مناسبی را ارائه نمود.

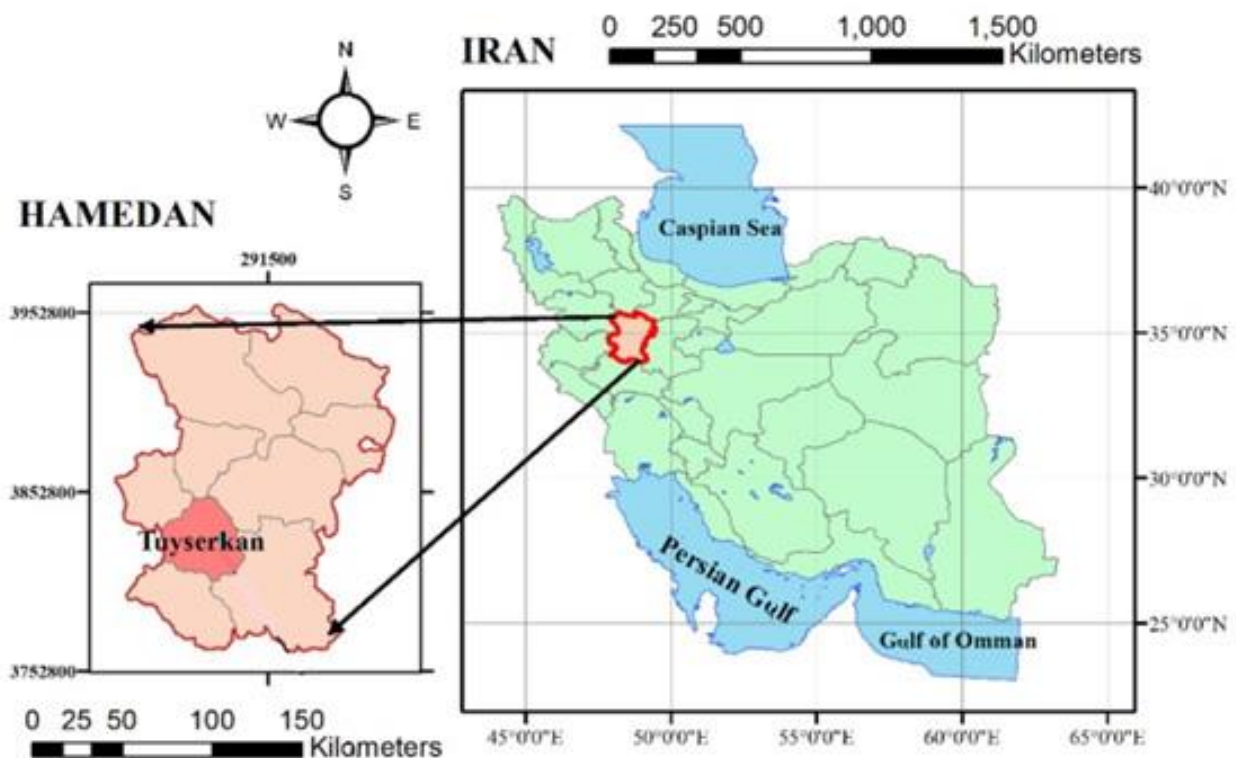
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان تویسرکان (شکل ۱) مساحتی معادل ۱۵۵۶ کیلومتر مربع، ۷/۹۸ درصد از مساحت استان همدان، در غرب ایران را در بر گرفته است و کوهستانی می‌باشد که در امتداد رشته‌کوه زاگرس قرار دارد. تویسرکان دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی، و بارش سالانه کم و دمای معتدل است. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۷۸۴ متر بوده و مختصات جغرافیایی آن بین مدار ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و پنج دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی است که طبق آمار رسمی اعلام شده، این شهرستان دارای ۱۸۰ هزار هکتار مرتع و اراضی کشاورزی و بیش از ۵۵ هزار هکتار مساحت زراعت و ۹۵۰۰ هکتار مساحت باغات می‌باشد و با ۵۵۰۰ هکتار باغ گردو و برداشت ۲۰ هزار تن قطب تولید گردو

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2- Hierarchical data forma



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Location of the study area

جدول ۱- خصوصیات باندهای طیفی محصول MODIS

Table 1- Characteristics of spectral bands of MODIS product

نوع محصول	شماره باند	بازه زمانی (روز)	قدرت تفکیک طیفی	قدرت تفکیک زمینی (رزولوشن)(متر)	قدرت تفکیک رادیومتری
Product type	Paragraph number	Time frame (days)	Spectral separation power	Territorial separation power (m)(resolution)	Radiometric separation power
مودیس 13Q1 MOD13Q1	1	16	645	250	620-670
مودیس 11A2 MOD11A2	2	8	531	1000	526-235

می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به طبقات مختلف تقسیم می‌شود (Karimi & Shahidi, 2017).

ب) شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای: پایش خشکسالی با استفاده از روش‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای، نیازمند استخراج شاخص‌های مختلف از باندهای طیفی نوری و گرمایی است. در این پژوهش، با استفاده از شاخص NDVI و LST،

کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک و طولانی‌مدت اغلب بر روی آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر آب مؤثر است. این شاخص از طریق معادله ۱ قابل محاسبه است. (Karimi & Shahidi, 2017)

$$SPI = \frac{P_i - P}{S} \quad (1)$$

که در آن، P_i : مقدار بارش در دوره مورد نظر، P : میانگین دراز مدت برای دوره مورد نظر و S : انحراف معیار مقدار بارش است. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده

اقدام به محاسبه و استخراج سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی (Vegetation Condition Index) سلامت پوشش گیاهی (Vegetation Health Index) و وضعیت دمایی (Temperature index changes) شده است که در ادامه، به‌طور مختصر شرح داده خواهد شد (Karimi & Shahidi, 2017).

شاخص‌های پوشش گیاهی

۱) شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)

این شاخص برای اولین بار توسط تاکر جهت سنجش سلامت پوشش گیاهی مطرح گردید. در این شاخص، مقدار عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ متغیر است. مقدار این شاخص برای مناطق دارای پوشش گیاهی تنک (۰/۱) تا متراکم (۰/۸) تغییر می‌کند (Karimi & Shahidi, 2017). هدف ما در ارزیابی پیکسل‌های تصاویر مادیس و محاسبه کسر پوشش گیاهی در شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، جداسازی مناطق دارای پوشش گیاهی از مناطق غیرپوشش گیاهی برای هر یک از نقاط نمونه‌برداری است. ساده‌ترین کار برای این راه استفاده از حد آستانه است. بدین صورت که مناطقی که شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی آن‌ها بالاتر از ۰/۲ است، به عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی فرض شد. مقادیر آستانه با توجه به شرایط منطقه، اطلاعات جانبی و علم و تجربه، تعیین و اعمال می‌شود. معمولاً بهترین مقادیر در یک فرآیند سعی و خطا به‌دست می‌آید (Mather & Koch, 2010) و حد آستانه برای هر کدام از تصاویر در نظر گرفته شد.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{R}) / (\text{NIR}+\text{R}) \quad \text{معادله (۲)}$$

۲) شاخص وضعیت گیاهی (VCI)

این شاخص اولین بار به‌وسیله Kogan در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد. VCI، شاخصی است که وضعیت پوشش گیاهی را برحسب NDVI_{max} و NDVI_{min} برای یک منطقه خاص در درازمدت بیان کرده و به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Thenkabail & Gamage, 2004).

$$100 \times \text{VCI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، NDVI_{max} و NDVI_{min} در طول یک ماه محاسبه می‌شود و z: نمایه ماه مورد نظر است. شرایط پوشش گیاهی زمین

به‌وسیله شاخص VCI بر حسب درصد بیان می‌شود. اگر مقدار این شاخص بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد باشد، نشان‌دهنده شرایط مطلوب یا شرایط بالای نرمال می‌باشد. درحالی‌که اگر VCI به صفر نزدیک شود، نشان‌دهنده وجود یک خشکسالی شدید در ماه است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که شاخص VCI نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را برای بررسی میزان بارندگی خصوصاً در مناطقی که از نظر جغرافیایی غیرهمگون هستند، نشان می‌دهد (Thenkabail & Gamage, 2004).

۳) شاخص وضعیت دما TCI

این شاخص نیز به‌وسیله Kogan سال ۱۹۹۷ مطرح شد که براساس دمای درخشندگی استوار است و برای بررسی عملکرد پوشش گیاهی نسبت به دما ارائه شده است. در این شاخص، زمانی که دما به بالاترین مقدار خود می‌رسد، خشکسالی نیز به حد نصاب خود می‌رسد که با استفاده از معادله ۴ نشان داده می‌شود (Kogan et al., 2005).

$$\text{TCI} = \frac{BT_{\max} - BT_i}{BT_{\max} - BT_{\min}} \quad \text{معادله (۴)}$$

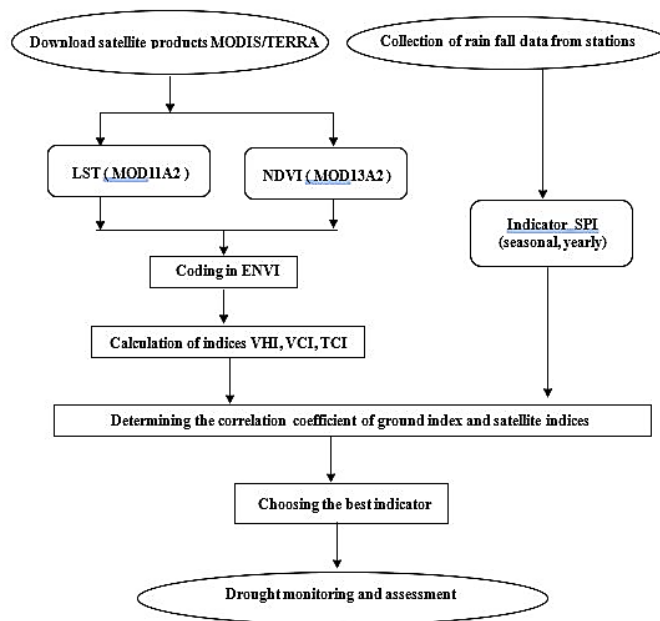
که در آن، BT: دمای درخشندگی، BT_{max} و BT_{min}: به‌ترتیب مقدار دمای درخشندگی بیشینه و کمینه برای یک پریود زمانی بلندمدت است.

۴) شاخص سلامت پوشش گیاه VHI

این نمایه، ترکیبی از نمایه‌های VCI و TCI است که با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA سنچیده AVHRR برای نمایه تنش خشکسالی که تابعی از تازگی پوشش گیاهی و دما است، محاسبه شده و برای سلامت پوشش گیاهی به‌کار برده می‌شود. به عبارت دیگر، اثر ترکیبی تنش رطوبت و گرما بوده و به کمک معادله ۵ محاسبه می‌شود. (Kogan et al., 2005)

$$\text{VHI} = a\text{VCI} + b\text{TCI} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، VCI و TCI: نمایه شرایط دما و a و b: ضرایبی هستند که سهم نمایه‌های VCI و TCI را در VHI به‌صورت کمی در می‌آورند.



شکل ۲- فلورچارت تحقیق
Fig. 2- Research flowchart

شد. فلورچارت تحقیق در شکل شماره ۲ آورده شده است.

روش پژوهش

تکنیک سنجش از دور، نقش مهمی در پایش فرآیند خشکسالی از طریق بررسی اثراتی که بر روی پوشش گیاهی، سلامت محصولات کشاورزی و تغییرات در تولیدات محصولات کشاورزی دارد. در این مطالعه، تحلیل خشکسالی پوشش گیاهی باغی و باغی کشاورزی شهرستان تویسرکان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ صورت می‌گیرد. این تصاویر به دلیل قدرت تفکیک مکانی مناسب و ارائه باندهایی با طول موج‌های مختلف، ابزار مناسبی در زمینه پایش خشکسالی هستند. بعد از پیش‌پردازش این تصاویر با استفاده از نرم افزار ENVI^۱ همچنین از داده‌های دمای سطح زمین و میزان بارندگی (به روش درون‌یابی مورد استفاده قرار گرفته) به عنوان داده‌های مؤثر در فرآیند خشکسالی در منطقه مورد مطالعه در طی این مدت استفاده می‌شود. برای بررسی شرایط خشکسالی از دو شاخص شامل شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (Vegetation Condition Index)، شاخص وضعیت دما (Temperature index changes) و شاخص سلامتی گیاه (Vegetation Health Index) در بخش کشاورزی استفاده خواهد

نتایج و بحث

در این بخش، ابتدا نتایج به دست آمده از خشکسالی هواشناسی مستخرج از داده‌های اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی و سپس نقشه‌های خشکسالی کشاورزی مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای ارائه شده است و در نهایت، به مقایسه و ارزیابی این نقشه‌ها پرداخته شده و اقدام به ارائه شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی منطقه مورد مطالعه گردیده است.

نتایج حاصل از تحلیل خشکسالی هواشناسی با استفاده از داده‌های زمینی

نمودار پهنه‌بندی بارش سالانه تهیه شده با استفاده از شاخص SPI برای پوشش گیاهی باغی و باغی کشاورزی منطقه در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. با استناد به نمودار میزان بارش ماه‌های ژانویه تا ژوئن (شکل ۳)، ژانویه تا نوامبر (شکل ۴) و آوریل تا ژوئن (شکل ۵) در سال ۲۰۱۴ با کمترین بارش مواجه بودند که بر میزان

1- Environment Visualizing Image

زراعی و باغی هم باشد. در بین سال‌های مختلف مورد مطالعه، سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ دارای شرایط خشکسالی متوسط و خفیف می‌باشد که این نتایج با نتایج حاصل از شاخص SPI مستخرج از داده‌های زمینی هم‌خوانی نسبتاً خوبی داشت و بیانگر کارایی این شاخص در تخمین خشکسالی کشاورزی متأثر از کمبود بارش در این سال بود. همچنین براساس نتایج سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ نیز با مقادیر بالای VCI گویای شرایط مساعد گیاهی و به عبارتی ترسالی بود، که مجدداً با میزان بارندگی در این سال‌ها به‌نسبت کل دوره مورد مطالعه هم‌خوانی دارد و با استفاده از شاخص VCI شرایط غالب شرایط متمایل به ترسالی را برای این سال‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در قسمت روش تحقیق آورده شد، این شاخص از روی تغییرات شاخص NDVI در طول دوره مطالعه استخراج شده است، اما نتایج آن‌ها تا حدی با یکدیگر متفاوت است. علت تفاوت نتایج حاصل از این شاخص در مقایسه با شاخص NDVI، این است که این شاخص نوسانات کوتاه مدت که مربوط به آب‌وهواست را از تغییرات بلندمدت جدا می‌کند. در نتیجه با استفاده از شاخص VCI در طول دوره آماری، منطقه مورد مطالعه با شرایط خشکسالی شدیدی مواجه نیست.

نتایج حاصل از شاخص TCI که بیانگر وضعیت تغییرات دمایی در منطقه می‌باشد در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از شاخص TCI، مقادیر نسبتاً بالای این شاخص با توزیع مکانی مختلف در تمامی سال‌ها در نواحی مختلف منطقه را نشان می‌دهد. شرایط دمایی سطحی کم‌نوسان، ولی تفاوت‌های زیاد در میزان پوشش گیاهی در ماه‌های متمایز و زمین‌های با پوشش گیاهی متنوع در منطقه را می‌توان دلیل این امر دانست. از آنجایی که شهرستان تویسرکان جزء نواحی نسبتاً خشک با پوشش گیاهی متوسط تا کم می‌باشد، با استفاده از این شاخص برخلاف شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI که اراضی کشاورزی و مراتع در تصاویر به‌صورت مجزا دیده می‌شود، تفکیک دقیقی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود و کارایی آن را در بررسی مقادیر خشکسالی با ابهام روبه‌رو می‌کند. جهت بررسی دقیق‌تر استفاده از داده‌های حرارت سطح به‌عنوان شاخصی از خشکسالی در ادامه به بررسی وضعیت تغییرات این پارامتر در ارتباط با پوشش گیاهی توسط شاخص VHI که بیانگر وضعیت سلامت گیاهی منطقه می‌باشد، پرداخته شده است.

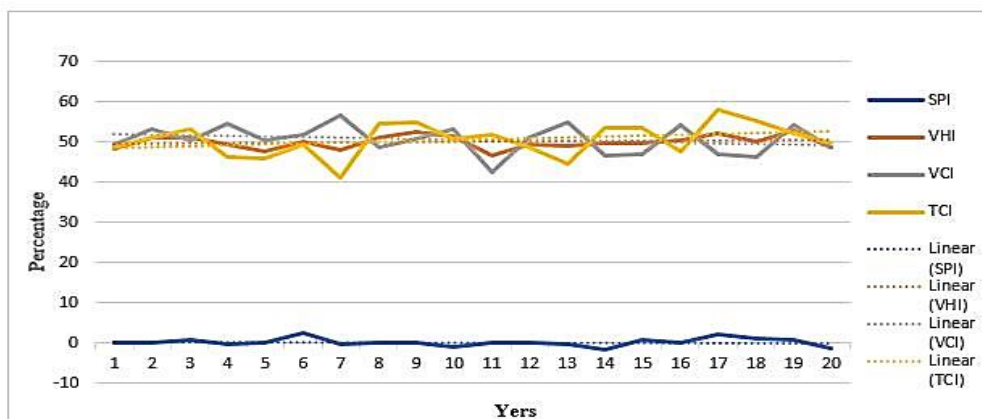
شاخص وضعیت گیاهی (VCI)^۱ و شاخص سلامت گیاهی (VHI)^۲ کشاورزی و باغی کشاورزی تأثیرگذار بوده و باعث کاهش این دو شاخص گردیده است، از طرفی، میزان شاخص وضعیت حرارتی افزایش را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۸ در نمودار بیشترین بارش را داشتند که سبب افزایش شاخص وضعیت گیاهی (VCI) و شاخص سلامت گیاهی (VHI) شده و میزان شاخص وضعیت حرارتی (TCI)^۳ کاهش را نشان می‌دهد. کليه ایستگاه‌های منطقه از سال ۲۰۰۲ الی ۲۰۲۱ وضعیت بارش و تأثیر آن بر پوشش گیاهی کشاورزی و باغی کشاورزی منطقه به‌صورت خطی افزایش را نشان می‌دهند. با توجه به این سه شکل ۳، ۴ و ۵، در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ ترسالی با سطوح مختلف در قسمت‌های مختلف منطقه مشخص است که در سال ۲۰۰۸ بعد از سال ۲۰۱۴ شرایط کم‌بارش با خشکسالی، و سال ۲۰۰۷ شرایط نرمال با تمایل به ترسالی را نشان می‌دهند، البته لازم به ذکر است که نمودار یک تا شش ماه از ماه‌های پرباران منطقه تهیه شده است، بنابراین چنین نتیجه‌ای در مقایسه با دوره زمانی سالانه، کاملاً منطبق بر واقعیت و انتظار است.

نتایج حاصل از خشکسالی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

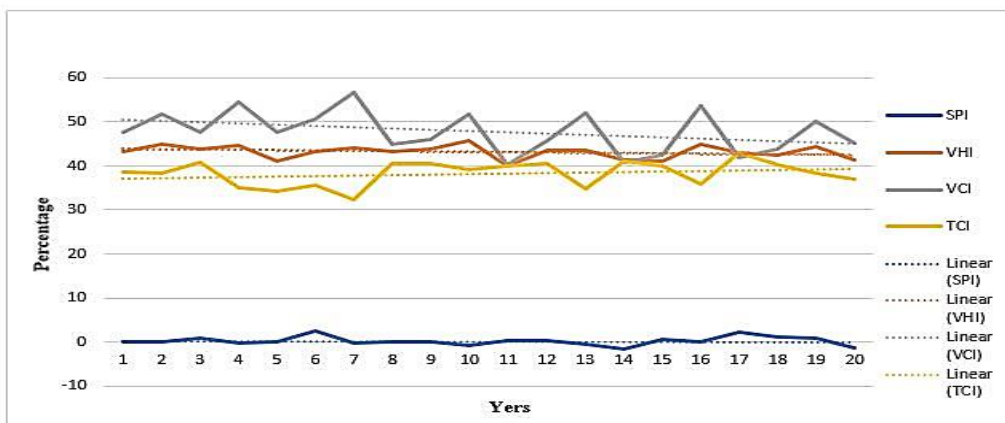
نتایج حاصل از تغییرات شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی منطقه (VCI و NDVI) برای سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۸ ترسالی شدید بین سال‌ها و ۲۰۰۸، ۲۰۱۴ خشکسالی بسیار شدید بین سال‌های مورد مطالعه در شکل ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است، قسمت اعظم منطقه، پوشش معمولی و نیمه‌متراکم دارد و مناطق ضعیف با پوشش گیاهی تنک مساحت کم و متفاوتی را در طی دوره این چهار ساله نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده از شاخص VCI میزان خشکسالی در نواحی غرب و جنوب شرقی منطقه، بیشتر است که البته در همه سال‌ها از یک الگوی منظم و یکسان پیروی نمی‌کند که دلیل آن نیز می‌تواند به تراکم بارندگی در سال‌های مختلف و یا نوع مدیریت

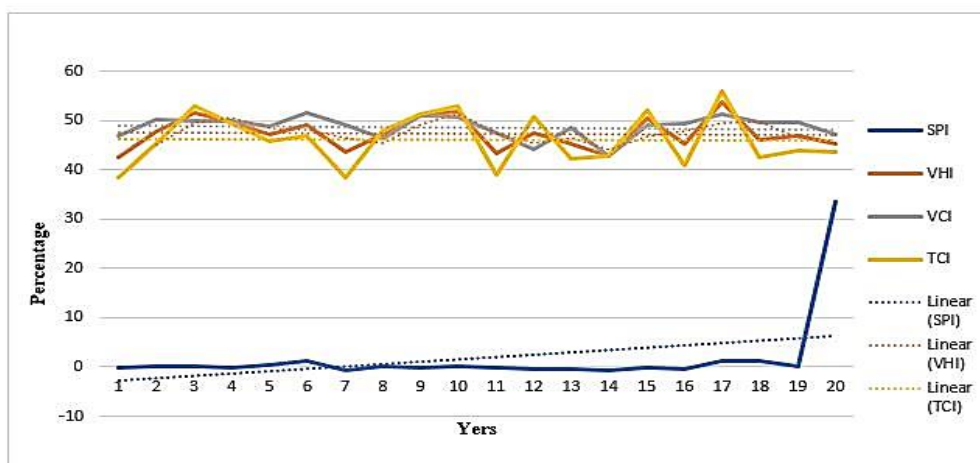
- 1-Vegetation Condition Index
- 2- Vegetation Health Index
- 3 - Temperature index changes



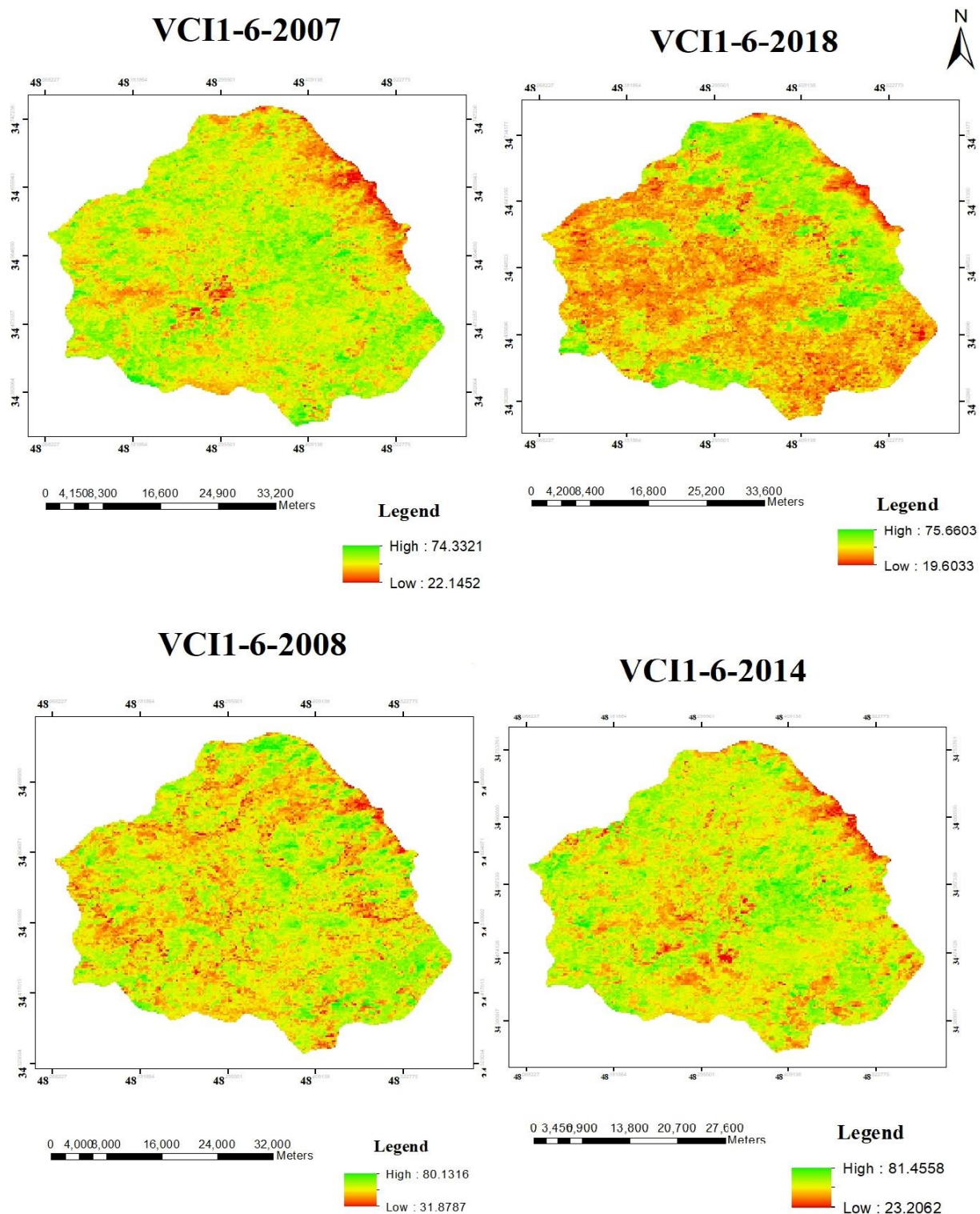
شکل ۳- وضعیت شاخص‌ها ۱-۶ ماه
Fig. 3- Indicators for 1-6 months



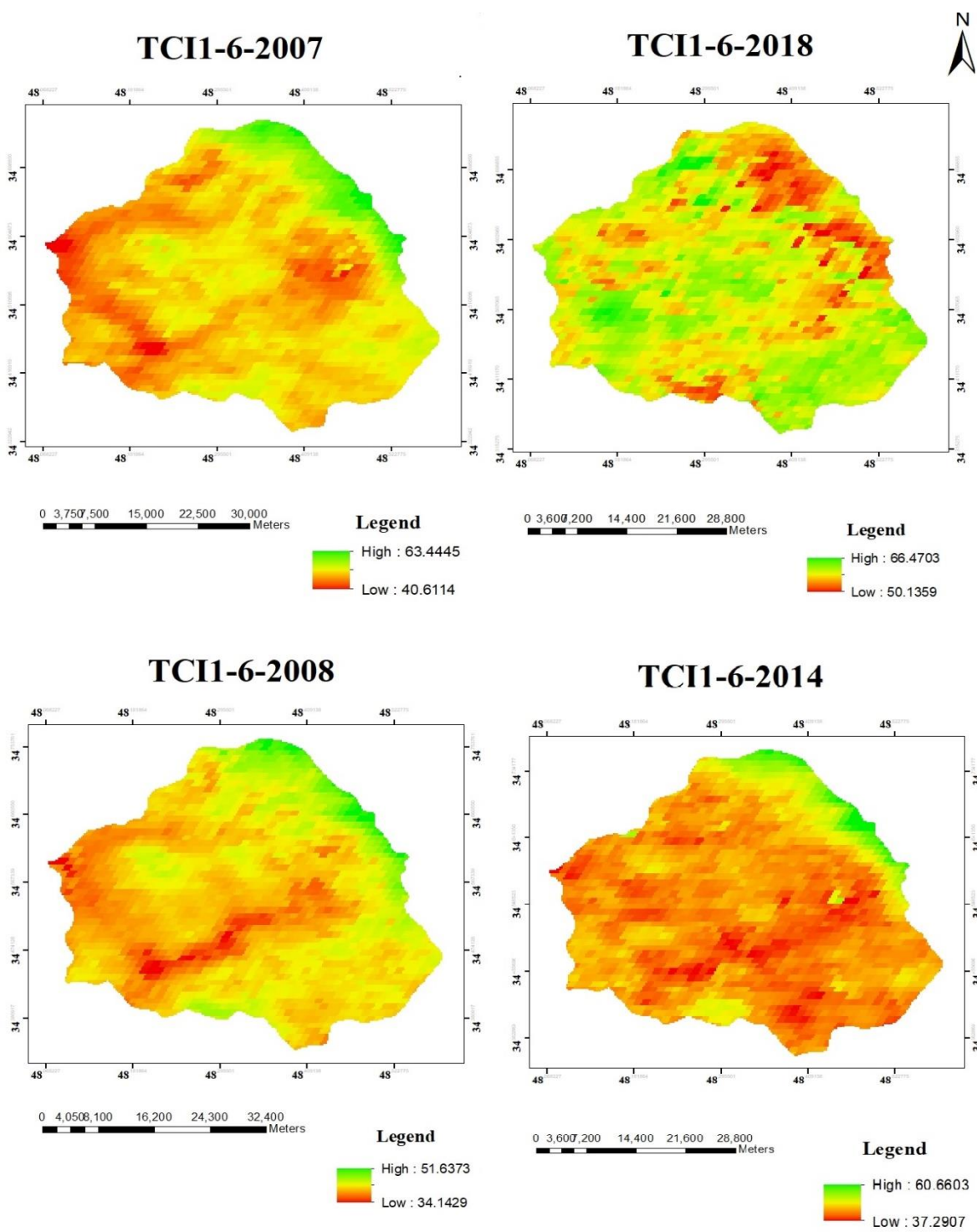
شکل ۴- وضعیت شاخص‌ها ۱-۹ ماه
Fig. 4- Indicators for 1-9 months



شکل ۵- وضعیت شاخص‌ها ۴-۶ ماه
Fig. 5- Chart of for 4-6 months



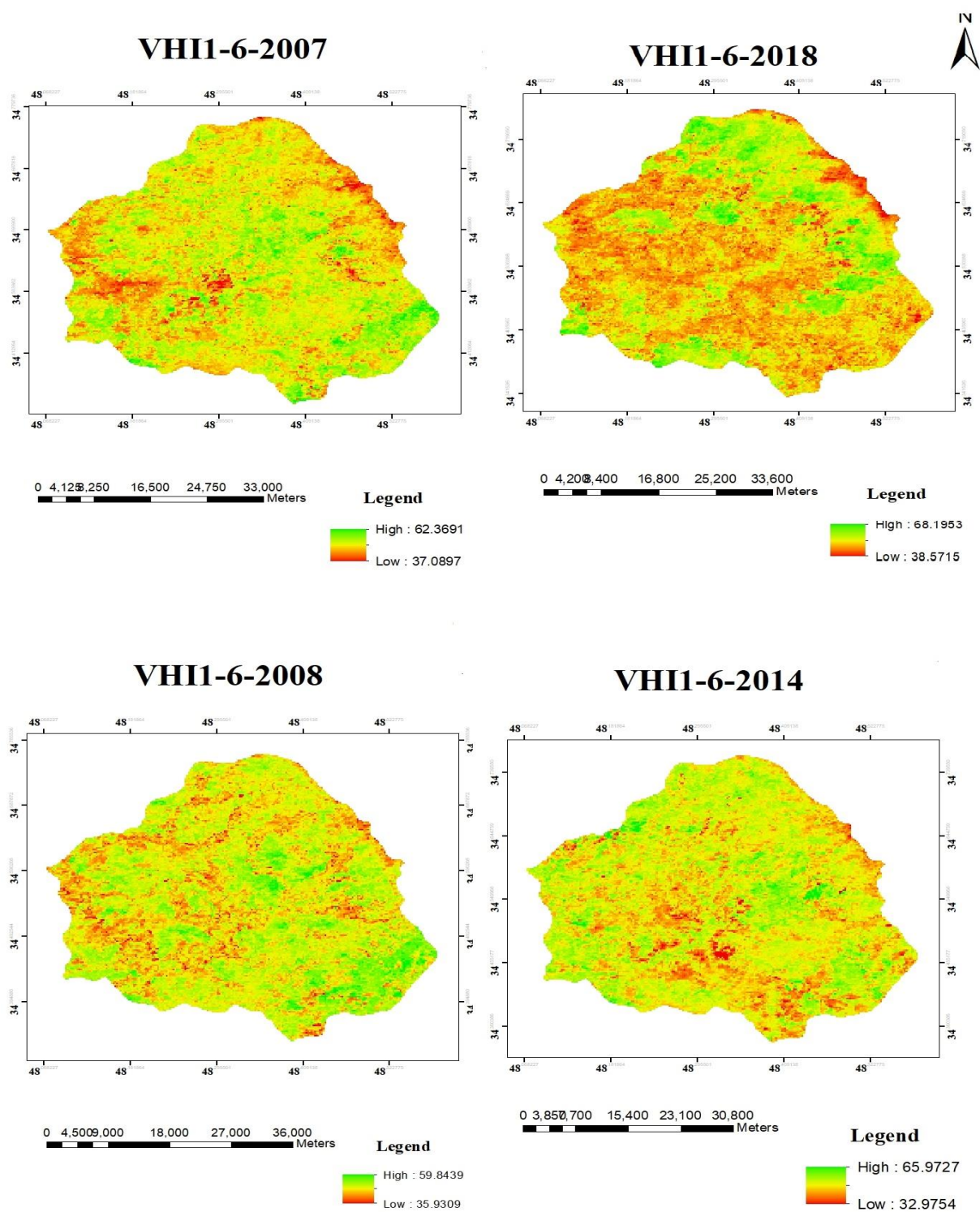
شکل ۶- تغییرات پوشش گیاهی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸
 Fig. 6- Vegetation changes in 2018, 2014, 2008, 2007



شکل ۷- تغییرات شاخص دمایی سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۴، ۲۰۰۸، ۲۰۰۷
 Fig. 7- Temperature index changes in 2007, 2008, 2014, 2018

گیاهی در یک منطقه وسیع دارد، شرایطی که در این منطقه وجود ندارد، که همین امر دلیل عدم کارایی و توانایی این شاخص در به تصویر کشیدن دقیق نواحی و سال‌های متأثر از خشک‌سالی می‌باشد.

با توجه به شکل ۸، شاخص VHI دارای مقادیر نسبتاً بالا با تغییرات نسبتاً اندک در سال‌های مختلف می‌باشد. نکته مهم و قابل ذکر این است که شاخص VHI، نیاز به وجود تراکم و تنوع پوشش



شکل ۸- شاخص سلامت محصولات کشاورزی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸
 Fig. 8- Health index of agricultural products in 2007, 2008, 2014, 2018

جدول ۲- ضریب همبستگی بین شاخص فصلی و سالانه با میانگین فصلی و سالانه شاخص‌های ماهوارهای
 Table 2- Correlation coefficient between seasonal and annual SPI index with seasonal and annual average of satellite indices

شاخص استاندارد بارش Standardized Precipitation Index	شاخص وضعیت گرمایی Thermal condition index												شاخص سلامت گیاهی Vegetation health index												شاخص وضعیت گیاهی Vegetation condition index											
	10-12	7-9	4-6	1-12	1-9	1-6	1-3	10-12	7-9	4-6	1-12	1-9	1-6	1-3	10-12	7-9	4-6	1-12	1-9	1-6	1-3	10-12	7-9	4-6	1-12	1-9	1-6	1-3								
	-0.027	-0.210	-0.04	-0.14	0.117	-0.095	0.050	-0.25	0.13	-0.30	-0.06	0.03	0.05	0.119	0.037	-0.464*	-0.151	0.024	-0.126	0.250	1-3	1-6	1-9	1-12	4-6	7-9	10-12									
	-0.268	-0.320	0.319	0.148	0.180	0.338	-0.027	-0.15	-0.18	0.46*	-0.19	0.049	0.30	-0.24	0.171	-0.234	-0.570**	-0.218	-0.08	-0.122	-0.292	1-6	-0.156	-0.0181	-0.271	-0.599**	-0.110	0.073								
	0.076	-0.377	0.323	0.222	0.189	0.428	-0.05	-0.02	-0.499*	0.462*	0.20	0.131	0.38	-0.064	0.073	-0.110	-0.599**	-0.271	-0.0181	-0.156	-0.04	1-9	-0.004	-0.0181	-0.271	-0.599**	-0.110	0.073								

*معنی دار در سطح ۵ درصد، **معنی دار در سطح یک درصد
 significant at the 5% level, **significant at the 1% level*

در قسمت‌های بعد، نتایج ضریب همبستگی شاخص زمینی با شاخص‌های ماهواره‌ای بیان خواهد شد. از آنجایی که شاخص VHI ضریب همبستگی بالایی با شاخص بارش در تمام فصول را ندارد، نمی‌توان با قطعیت نتایج نقشه‌های تهیه شده با استفاده از شاخص VHI را تعمیم داد. بنابراین همان‌طور که ملاحظه گردید، شاخص‌های VHI و TCI که مرتبط با وضعیت حرارتی و سلامت گیاهان هستند، از توانایی خوبی در به تصویر کشیدن تغییرات خشکسالی‌ناشدند که علت آن هم وضعیت خاص کم‌پوشش گیاهی منطقه توپسراکان و غالب بودن شرایط خشکی نسبی در سرتاسر این منطقه است که این امر لزوم استفاده از شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی همانند VCI را که واکنش بهتری نسبت به تغییرات بارندگی دارند را برای این منطقه روشن می‌کند. جهت تبیین بهتر این موضوع در قسمت بعد به تحلیل کمی ارتباط بین نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای و خشکسالی هواشناسی مستخرج از داده‌های بارندگی پرداخته شده است.

مقایسه خشکسالی‌های کشاورزی و هواشناسی و انتخاب شاخص بهینه پایش خشکسالی

براساس هدف اصلی این تحقیق که ارزیابی دقت تصاویر ماهواره‌ای در برآورد خشکسالی و مقایسه خشکسالی‌های کشاورزی و هواشناسی و در نهایت، ارائه شاخص بهینه جهت پایش خشکسالی کشاورزی در منطقه بود. بدین منظور، در پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های هواشناسی مقادیر حاصل از تمامی شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد و اقدام به مقایسه و بررسی ضریب همبستگی میانگین فصلی و سالانه شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص SPI زمینی گردید. این نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

براساس مقادیر این جدول، سطح همبستگی بین میانگین فصلی SPI یک تا نه ماهه با VCI چهار تا شش ماهه برابر با ۰/۵۹۹ مشاهده شد که دلیل این امر نیز فاصله زمانی بین رخداد بارش و پاسخ گیاه است. این فاصله زمانی در هر منطقه متفاوت است. بر مبنای جدول ۲ به دست آمده از محاسبات آماری، در بین شاخص‌های ماهواره‌ای ضعیف‌ترین سطح همبستگی را شاخص TCI با شاخص SPI دارد.

رابطه همبستگی مناسب و سطح معنی‌داری نیز تنها بین شاخص SPI با شاخص‌های گیاهی VCI و VHI وجود دارد. نکته حائز اهمیت این است که همبستگی ضعیف شاخص ماهواره‌ای TCI از نظر علمی کاملاً توجیه‌پذیر است. در مورد شاخص VHI، نیاز به وجود تراکم و تنوع پوشش گیاهی در یک منطقه داریم، بنابراین این شاخص در این منطقه برای SPI یک تا سه ماهه نمی‌تواند به بهترین نحو خشکسالی را مدل کند و در نتیجه، ضرایب همبستگی ضعیفی نیز با شاخص بارندگی دارد. اما در SPI یک تا شش ماهه با VHI چهار تا شش ماه مقدار ۰/۴۶، SPI یک تا نه ماهه با VHI هفت تا نه ماهه مقدار ۰/۲۴۶، SPI یک تا نه ماهه با VHI چهار تا شش ماهه مقدار ۰/۹۴۹ ضریب همبستگی معنی‌داری وجود دارد و می‌توان سلامت پوشش گیاهی منطقه را مورد مطالعه قرار داد. همان‌گونه که از نتایج جدول ۲ مشخص است، شاخص VCI چهار تا شش ماهه همبستگی معنی‌داری با فصول مختلف و با شاخص SPI دارد. بنابراین، با اطمینان می‌توان بیان داشت که این شاخص جهت پایش تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با دقتی قابل قبول در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. در واقع، ماه‌های چهارم تا ششم بهترین زمان رشد و نمو گیاهان است، چرا که اثر بارندگی هر چه باشد، در این دوره خودش را نشان می‌دهد و بیشترین همبستگی، بین SPI با VHI چهار تا شش ماهه است. هر چند که در VHI هفت تا نه ماهه هم معنی‌دار بوده که این می‌تواند به دلیل پوشش گیاهی توپسیرکان که بیشتر پوشش کشاورزی (تا تیر ماه تمام می‌شود) و باغی (سطح زیادی از گردو و بادام است و تا شهریور ادامه پیدا می‌کند) است، باشد. رحیم زاده و همکاران (Rahimzadeh et al., 2008) در پایش خشکسالی در شمال غرب ایران، بهترین همبستگی بین VCI را با SPI یک تا سه ماهه به‌دست آوردند و در مطالعه حاضر، این همبستگی بین شاخص VCI و SPI یک تا نه ماه به‌دست آمد که به‌طور کلی، در این مطالعات، شاخص VCI نتایج بهتری را برای بررسی میزان بارندگی خصوصاً در مناطقی که از نظر جغرافیایی غیرهمگون هستند، نشان می‌دهد. در نتیجه، شاخص VCI به‌عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی کشاورزی منطقه انتخاب گردید. همچنین نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری شاخص گیاهی VCI، نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ و وضعیت ترسالی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه می‌باشد که با نتایج تحقیقات میدانی معاونت برنامه‌ریزی و

امور اقتصادی و اداره کل هواشناسی در مورد نسبت میزان محصولات کشاورزی تولید شده به‌میزان بارندگی بلندمدت شهرستان توپسیرکان در این سال‌ها هم‌خوانی دارد که در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ میزان بارندگی سالانه به‌ترتیب برابر ۲۵۴/۲ میلی‌متر (۲۰۰۸) و ۳۳۵/۹ میلی‌متر (۲۰۱۴) و میزان محصولات باغی و باغی‌کشاورزی برای این سال‌ها به‌ترتیب برابر ۳۵۱۸۲ و ۱۵۹۱۰۰ تن (۲۰۰۸) و ۳۷۴۷۳ و ۱۰۱۵۱۷ تن (۲۰۱۴) بوده و در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ میزان بارندگی سالانه به‌ترتیب برابر ۶۰۴/۴ میلی‌متر (۲۰۰۷) و ۳۸۶ میلی‌متر (۲۰۱۸) و میزان محصولات باغی و باغی‌کشاورزی برای این سال‌ها به‌ترتیب برابر ۳۷۸۴۴ و ۱۹۹۳۲۹ تن (۲۰۰۷) و ۴۵۵۱۴ و ۱۷۱۴۹۲ تن (۲۰۱۸) می‌باشد. به‌وضوح مشخص شد که سال‌هایی با بارندگی بیشتر به‌دلیل رطوبت بیشتر در منطقه پوشش گیاهی در منطقه رشد بهتری دارند و این رشد در سال‌های خشک که میزان بارندگی در آن کم است، کم‌تر می‌شود (Thomás et al., 2015). در تجزیه و تحلیل اولیه خشکسالی در سال ۲۰۱۲ در مناطق نیمه‌خشک آلاگواس با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی از طریق سنجنده مودیس به این نتیجه رسید که خشکسالی زمانی تأثیر خودش را بر پوشش گیاهی می‌گذارد که یک منطقه، بارش کافی برای مدت زمان طولانی را نداشته باشد که منجر به کمبود آب می‌شود. در مناطقی که خشکسالی شدید به‌طور دائم رخ می‌دهد، عوامل مؤثر و سازوکارهای فیزیکی بسیار پیچیده هستند، همان‌طور که در سال ۲۰۰۸ برای منطقه توپسیرکان با وجود بارش کم در این سال، تأثیر چندانی در تولید میزان محصولات باغی و باغی‌کشاورزی نداشته است که به‌دلیل بارش خوب سال ۲۰۰۷ می‌باشد (Gidey et al., 2018) با استفاده از شاخص‌های VHI، NDVI، VCI و TCI، روابط آماری بین خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در شمال اتیوپی را نشان دادند که همه شاخص‌ها همبستگی بالایی با شاخص SPI دارند، اما شاخص VHI برای منطقه مورد مطالعه جهت درک بهتر تغییرات خشکسالی مؤثرتر است. ولی در پژوهش حاضر، میزان همبستگی شاخص VCI بیشتر از شاخص VHI بود که این تفاوت نتایج می‌تواند به‌دلیل شرایط متفاوت توپوگرافی دو منطقه باشد. در این مطالعه نتایج نشان می‌دهد که محدوده مطالعاتی به‌طور کلی از پوشش گیاهی متوسط تا کم برخوردار است. بر مبنای محاسبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI، در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی و ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی شهرستان تویسرکان با استفاده از علم سنجش‌ازدور در یک دوره ۲۰ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس انجام گرفت که خشک‌سالی این ناحیه با شاخص‌های سلامت گیاهی (VHI)، وضعیت گیاهی (VCI)، وضعیت حرارتی (TCI) و بارش (SPI) بررسی و ارزیابی شدند و نتایج براساس این شاخص‌ها، خشک‌سالی کشاورزی در طی دوره ۲۰ ساله در کلاس‌های خیلی شدید، شدید و متوسط در شهرستان تویسرکان رخ داده است که غالب خشک‌سالی‌های این منطقه در برخی از سال‌ها با شدت ملایم بوده است. تلفیق (SPI) با نقشه‌های بارندگی برای تهیه نقشه پوشش گیاهی (NDVI) نشان می‌دهد که سال ۲۰۱۸ و ۲۰۰۷ ترسالتین و سال ۲۰۱۴ و ۲۰۰۸ خشک‌سالی شدید بوده است. همچنین استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی سنجش‌ازدور می‌تواند مشکلات دسترسی به داده‌های هواشناسی را در مناطق صعب‌العبور و وسیع برطرف کند، چرا

که تصاویر ماهواره‌ای با پوشش گسترده امکان بررسی خشک‌سالی را فراهم می‌آورد و با ارائه نقشه‌های خشک‌سالی برنامه‌ریزان را در امر برنامه‌ریزی یاری می‌نماید و این امر موجب کاهش اثرات نامطلوب خشک‌سالی بر زندگی ساکنان یک ناحیه می‌شود. استفاده از شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت حرارتی (TCI)، شاخص وضعیت سلامت پوشش گیاهی (VHI)، شاخص بارش (SPI) و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) در این پژوهش در ارتباط با تحلیل خشک‌سالی کشاورزی، نتایج خوبی را ارائه داد و نتایج مطالعه حاضر گویای این است که استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش‌ازدور، ابزار مفیدی جهت پایش خشک‌سالی یک ناحیه است و استفاده از این روش‌ها می‌تواند در کاهش هزینه و زمان و ارائه اطلاعات جامع مؤثر باشد. نتایج این تحقیق، مبانی نظری مهم برای برنامه‌ریزی، مدیریت، توسعه حفاظت از پوشش گیاهی منطقه‌ای و کشاورزی در شهرستان تویسرکان را فراهم می‌کند.

References

1. Asong, Z.E., Wheeler, H.S., Bonsal, B., Razavi, S., & Kurkute S. (2018). Historical drought patterns over Canada and their teleconnections with large-scale climate signals. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(6), 145-159. <https://doi.org/10.5194/hess>
2. Dosarani, M., Wali, A., Sepehr, A., & Komaki, C. (2015). Drought survey on vegetation using MODIS meter in Razavi Khorasan. *Scientific and Research Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 4(7), 1-8. (In Persian with English abstract)
3. Darvand, S., Khosravi, H., Eskandari Domain, H., & Eskandari Domain, H. (2021). Investigating the trend of changes in NDVI index obtained from Modis sensor images. *Iran Watershed Association, Destruction and Restoration of Natural Lands*, 1(2), 69-79. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.27174425.1399.1.2.7.8>
4. Funk, C., & Budd, M.E. (2009). Phenologically Tuned MODIS NDVI-based production normally estimates for Zimbabwe, Remote Sensing of Environment. *Journal Article*, 113(1), 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.015>
5. Farzaneh, S., Shah Hosseini, R., & Kordpour, A. (2021). Studying the estimation of providing an efficient index based on the combination of satellite gravimetric data and ground station information for pre-drought in Iran. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, 30(1), 117,12-1. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244447>
6. Bahramlou, R., Old, A., Jolani, SH., Samavatian, M., Tabar, A., & Khodayvandi, M., (2021). Excerpt of basic statistics of 1400. Hamedan. Ba'ath Square, Meshki Alley, corner of Imran St., 4th floor, Tel: 38215550-6 farsighted: 38234110. Agricultural Jihad Organization of Hamedan Province - Vice President of Planning and Economic Affairs - Department of Statistics, Information Technology and Network Equipment. Doi: www.hm.agri-jahad.ir. (In Persian with English abstract)
7. Gouveia, C., Trigo, R.M., & Dacamra, C. (2009). Drought and vegetation stress monitoring in Portugal sing satellite data. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences*, 9(1), 185.195. <https://doi.org/10.5194/nhess>
8. Gidey, E., Dikinya, O., Sebego, R., Segosebe, E., & Zenebe, A. (2018). Using drought indices to model the statistical relationships between meteorological and agricultural drought in raya and its environs, Northern

- Ethiopia. *Journal of Earth Systems and Environment*, 2(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s41748-018-0055-9>
9. Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chater Abgun, A., & Gholamnia, M. (2017). Temporal and spatial monitoring using remote sensing data in the Central province of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4(3), 53-70. (In Persian with English abstract). <https://doi:jsaeh.khu.ac.ir> on 2023-10-29
 10. He, Y., Chen, F., Jia, H., Wang, L., & Bondur, V.G. (2020). Different drought legacies of rain-fed and irrigated croplands in a typical Russian agricultural Region. *Remote Sensing*, 12(11), 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs12111700>
 11. Hashemi, A., Yazdan Panah, H., & Momeni, M. (2021). Estimating the main stages of orange tree phenology using remote sensing of a sample of gardens in the southeast of Fars province. *Geography and Environmental Planning*, 32(2), 119-134. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/GEP.2021.125910.1373>
 12. Jinha, J., Murillo, M., Anjin, C., Mahendra, B., Akash, A., & Juan, L.B. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 70(1), 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003>
 13. Kogan, F.N., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C., & Tsooj, S. (2005). Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(14), 2889-2896. <https://doi.org/10.1080/01431160410001697619>
 - Karimi, M., & Shahidi, K. (2017). Survey of meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indicators in Qarasu watershed. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 9(2), 1-16. (In Persian with English abstract). doi:girs.iaubushehr.ac.ir
 14. Karimi, M., & Shahidi, K. (2018). Survey of meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indicators in Qarasu watershed. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 10(2), 1-19. (In Persian with English abstract). doi:girs.iaubushehr.ac.ir
 15. Lucas, V., Oldoni, I., Del Arco, S., Michelle Cristina, A., Picoli, R., & José, G.F. (2020). LEM + dataset: For agricultural remote sensing applications. *Earth Observation and Geoinformatics Division, National Institute for Space Research, São José dos Campos, Brazil*, 33(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106553>
 16. Mather, P.M., & Koch, M. (2010). Computer processing of remotely-sensed images an introduction. *John Wiley and Sons*, 12(1), 29-66. <https://doi.org/10.1002/9780470666517.ch2>
 17. Mirmousavi, H., & Karimi, M. (2013). Studying the effect of drought on vegetation using MODIS sensor images in Kurdistan province. *Geography and Development*, 31(11), 57-76. (In Persian with English abstract). doi:sid.ir/paper/77245/fa
 18. Ministry of Communications and Information Technology, Iran Space Agency, Remote Sensing. (2019). (In Persian with English abstract). <https://doi:rs.isa.ir>
 19. Masoumeh, T. (2021). Time series evaluation of the health index of agricultural products using remote sensing data in Cheram city, master's thesis in the field of natural resources science and engineering - land evaluation and preparation. Khatam Al Anbia Behbahan University of Technology. 45. (In Persian With English abstract)
 20. Rahimzadeh, P., Darvishsefat, A., Khalili, A., & Makhdom, M. (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(1), 1086-1096. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.12.004>
 21. Soleimani, K., Darvishi, S., & Shokrian, F. (2019). Analysis of agricultural drought using remote sensing indicators in Marivan city. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 10(2), 1-19. (In Persian with English abstract). doi:girs.iaubushehr.ac.ir
 22. Schwarz, M., Landmann, T., Cornish, N., Wetzels, K. F., Siebert, S., & Franke, J. (2020). A spatially transferable drought hazard and drought risk modeling approach based on remote sensing data. *Remote Sensing*, 12(2), 237-245. <https://doi.org/10.3390/rs12020237>
 23. Sandeep, P., Obi Reddy, G.P., Jegankumar, R., & Arun Kumar, K.C. (2021). Monitoring of agricultural drought in semi-arid ecosystem of Peninsular India through indices derived from time-series CHIRPS and MODIS datasets. *Ecological Indicators*, 121(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107033>
 24. Thenkabail, P. S., Gamage, M.S.D.N., & Smakhtin, V.U. (2004). The use of note sensing data for rough assessment and monitoring in southwest Asia. *IWMI Research Report* 85, 25, 1-35. <https://doi.org/10.3910/2009.086>
 25. Thomás, F.R., Frederico, T.D., & Jéssica, R.G. (2015). Preliminary analysis of drought in 2012 in semi-arid of

- alagoas using indices of vegetation through sensor modis. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*,5(1), 1-12. [doi:10.29150/jhrs.v5.1.p001-012](https://doi.org/10.29150/jhrs.v5.1.p001-012)
26. Veisi, V., Qavam, M., & Bazarafshan, M. (2018). The effects of drought on changes in pasture cover with an emphasis on telemetry indicators in the Salfchagan Nizar watershed. *Scientific Journal of Pasture and Desert Research in Iran*,62(3), 1-12. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.120018>
27. Vijith, H., & Dodge-Wan, D. (2020). Applicability of MODIS land cover and Enhanced Vegetation Index (EVI) for the assessment of spatial and temporal changes in strength of vegetation in tropical rainforest region of Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*,(35), 100311. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100311>.
28. West, H., Quinn, N., & Horswell, M. (2019). Remote sensing for drought monitoring and impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*,(232), 111291. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019>
29. Yuhas, A.N., & Schuderer, L.A. (2009). MODIS derived NDVI characterization of drought induced evergreen die off in western north America. *Journal of Geographical Research*,47(1), 1-94 . <https://doi.org/10.1111/j.1745-871.2008.0055>