University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

Print ISSN: 1735 - 0735 Online ISSN: 2676-7791

Homepage: https://gdij.usb.ac.ir

Assessment of Drought Severity in the Rezi-Chai Watershed using VCI, TCI, and VHI Indices

Mousa Abedini[1]✉, Zahra Sharifi[2], Mahrokh Sardashti[3]

1. Professor of Physical Geography, Faculty of Social Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
   ✉ E-mail: abedini@uma.ac.ir
2. Ph. D Student of Physical Geography, Faculty of Social Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
   Email: Zahra_sharifi1364@yahoo.com
3. Ph. D Student of Physical Geography, Faculty of Social Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
   Email: Geo.sardashti@gmail.com

How to Cite: Abedini, M; Sharifi, Z; & Sardashti, M. (2025). Assessment of Drought Severity in the Rezi-Chai Watershed using VCI, TCI, and VHI Indices. *Geography and Development*, 23 (80), 75-98.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.49000.3656

Received:
9 June 2024
Received in revised form:
5 October 2024
Accepted:
30 December 2024
Published online:
24 September 2025

Keywords:
Drought indices, Rezi-Chai watershed, MODIS satellite images, GEE system.

ABSTRACT

Drought, as one of the most significant environmental challenges, poses a severe threat to food security and water resources. Identifying and monitoring drought-prone areas using modern methods, particularly in the Rezi-Chai watershed, is of great importance. This study aimed to investigate environmental indices, including Land Surface Temperature (LST), soil moisture, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), from 2016 to 2022 using MODIS satellite data in Google Earth Engine. In this study, the drought indices TCI, VCI, and VHI were calculated and analyzed. The results indicated that the highest land surface temperature was recorded in the southwest of the watershed at 303 Kelvin, while the lowest temperature was in the northeast at 293 Kelvin. Additionally, soil moisture reached its minimum in the southwest (6.73 mm) and its maximum in the northeast (16 mm). The NDVI showed the highest vegetation cover density in the southwest and northeast of the watershed, with a value of 0.15. The analysis of drought indices revealed that in the central areas of the watershed, the TCI index increased thermal stress to a value of 0.42. Furthermore, the decrease in VCI and VHI indices, with values of 0.16 and -0.03 respectively, indicated a significant decline in vegetation health in these areas. Correlation analysis between drought indices and environmental factors showed that the VHI index had the highest significant correlation with NDVI at approximately 0.34. Ultimately, these results demonstrate that with increasing land surface temperature and decreasing soil moisture, drought is intensified, causing serious harm to vegetation health.

 Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

Climate change has altered the hydrological cycle, affecting key components such as precipitation, runoff, and evapotranspiration. These disruptions have led to an increased frequency and intensity of natural disasters such as droughts and floods. Droughts -especially long-term ones- have destructive impacts on agriculture, food security, and the environment and are considered among the most complex natural hazards. Due to the complexity of drought and the difficulty in directly measuring its severity, various indices such as SPI, SPEI,

and remotely sensed indices like the Vegetation Health Index (VHI) have become widely used. These indices combine vegetation and temperature data to provide a more accurate representation of drought conditions. Despite their development, challenges remain in accurately reflecting spatial variability. To address these limitations, research has moved toward integrated models that combine multiple factors, including precipitation, the Vegetation Condition Index (VCI), and the Temperature Condition Index (TCI). The growth of satellite data repositories and advances in computational tools have paved the way for more accurate monitoring of water balance components. Projects like the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) aim to support this effort by providing broad and precise data to facilitate global-scale estimates, such as soil moisture content.

2. Materials and Methods

The Razi-Chay watershed, covering an area of approximately 180.15 km², is located in Ardabil Province in the east of Meshginshahr County, between the geographical coordinates of 48°10′ to 48°16′ E longitude and 38°29′ to 38°46′30″ N latitude, falling within UTM zone 39N. The highest point in the watershed lies in the northern section at 2,480 meters above sea level, while the lowest point is at 1,133 meters, where the Razi-Chay River merges with the Qarasu River in the southwestern part of the watershed. In this study, drought monitoring for the Razi-Chay watershed from 2016 to 2022 was conducted using MODIS satellite imagery (Path 167, Row 33). The dataset included Land Surface Temperature (LST), the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Soil Surface Moisture (SSM). After preprocessing, drought indices were calculated. The Temperature Condition Index (TCI) was derived from LST data, and the Vegetation Condition Index (VCI) from NDVI data. The Vegetation Health Index (VHI) was then calculated by combining TCI and VCI. Spatial zoning maps for the indices (LST, NDVI, TCI, VCI, and VHI) were generated to illustrate the drought distribution more accurately. Finally, the correlation between drought indices (TCI, VCI, and VHI) and influential parameters (LST and NDVI) was analyzed to better understand the relationships between surface temperature, vegetation status, and drought conditions in the study area.

3. Results and Discussion

This study analyzed the temporal variations of drought indices (TCI, VCI, and VHI) in the Razi-Chay watershed between 2016 and 2022. The main parameters-LST, NDVI, and soil moisture-were used to monitor drought across the region. LST maps revealed that the southeastern parts of the watershed experienced the highest temperatures, while the northeastern areas were cooler. However, the temporal trend of temperature was not statistically significant (R^2=0.009).

The NDVI indicated that the southwestern and northeastern areas had the highest vegetation density, while the central regions had the lowest values, reflecting poor vegetation coverage. Although NDVI showed a downward trend over time, this trend was not significant (R^2 = 0.013).

Soil moisture was highest in the northeast and lowest in the southwest. While the overall trend was declining, an increase was observed starting in 2021. The coefficient of determination for soil moisture regression was 0.156, indicating a weak relationship between time and soil moisture.

The TCI, derived from LST, showed that central areas experienced higher thermal stress and had lower TCI values. However, this change was also not statistically significant (R^2 = 0.026). On the other hand, the VCI, based on vegetation health, displayed a pattern similar to NDVI, with lower values in the central regions. The overall trend of VCI was downward and relatively significant (R^2 = 0.21). The VHI, a combination of TCI and VCI, produced results similar to VCI and identified the central parts of the watershed as being more severely affected by drought. The most severe drought across the entire region occurred in 2020. Correlation analysis

showed a strong and significant positive relationship between NDVI and the drought indices, particularly VHI, at the 99% confidence level. These results highlight the critical role of vegetation health in evaluating and predicting drought. Based on this, it is recommended that management efforts such as agricultural and water resource development be focused on the southwestern and northeastern areas of the watershed, which are in relatively better condition.

4. Conclusion

This study identified drought-prone areas in the Razi-Chay watershed and, by analyzing various drought indices and related parameters, found that increased temperatures and decreased soil moisture in the southwestern parts of the watershed significantly impacted vegetation cover and drought severity. NDVI values declined, especially in central areas, indicating high vegetation stress. Results showed that as TCI increased and VCI and VHI decreased, drought severity worsened. Correlation analysis confirmed a strong direct relationship between VHI and NDVI at the 99% confidence level, and between VCI and NDVI at the 95% level, while TCI showed an inverse correlation with NDVI. Ultimately, the findings revealed that 2020 was a particularly severe drought year. Given the rising temperatures and decreasing soil moisture, the region's vegetation is facing serious challenges. These results align with findings from other researchers, such as Davoudabad Farahani et al. (2021), who reported a direct relationship between VHI and NDVI in drought monitoring of Iran's Markazi Province, and Davvandi et al. (2020), who confirmed the high accuracy of VHI in drought assessment.

Keywords: Drought indices, Razi-Chay watershed, MODIS satellite imagery, GEE platform.

5. References

Abedini, M., Bahraminia, F., Mostafazadeh, R., Pasban, A. H (2023). Investigating the impact of land use changes in a period of twenty years on the rate of erosion and sedimentation in the Razi Chai Basin, Geography and Environmental Studies, Vol 12, N 45, 114-133.
20.1001.1.20087845.1402.12.45.7.9

Abedini, M.; Mohammadzadeh Shishagaran, M. Qala, E[2] (2022). Monitoring and estimating the extent of fire-affected areas of Zagros mountains using Landsat satellite images. Journal of Geography and Environmental Planning. 33(4), 62-49.
10.22108/GEP.2022.131560.1470.

Abedini, M.; Qala, A; Aghazadeh, N.; Mohammadzadeh Shihgaran, AD[1] (2022). Monitoring the surface temperature of the earth and investigating the relationship between land use and surface temperature using OLI and TM sensor images. Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 22(67), 393-375.
20.1001.1.22287736.1401.22.67.18.5.

Ahmadi, M., Nasrati, K., Selki, H (2013). Drought and its relationship with soil moisture, a case study: Kabutrabad, Isfahan, Geografia, Vol 11, N 38, 77-91.

Ahmadi, R., Ghasemieh, H., Ghazavi, R (2024). Assessment of Meteorological and Hydrological Drought Situation (Case Study: Sub-Basins in the Central Plateau Basin), Hydrogeomorphology,
10.22034/hyd.2024.62269.1746

Arekhi, S., Barzegar Savasari, M., Emadaddian, S (2022). Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces), Journal of Geography and Environmental Hazards, Vol 11, N 43, 189-224.
10.22067/geoeh.2021.72253.1102

Balti, H., Ben Abbes, A., Mellouli, N., Farah, I.R., Sang, Y., Lamolle, M (2020). A review of drought monitoring with big data: Issues, methods, challenges and research directions, Ecological Informatics 60. https:// doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101136 101136.

Bento, V.A., Gouveia, C.M., DaCamara, C.C., Trigo, I. F (2018). A climatological assessment of drought impact on vegetation health index, Agricultural and Forest Meteorology, vol 259, 286-295. DOI:10.1016/j.agrformet.2018.05.014

Damavandi, A. A., Rahimi, M., Yazdani, M. R., Noroozi, A. A (2016). Spatial Monitoring of Agricultural Drought through Time Series of NDVI and LST indices of MODIS data (Case study: Markazi Province). Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), Vol 25, N 99, 115-126. doi: 10.22131/sepehr.2016.23200

Das, P. K., Chandra, S., Das, D. K., Midya, S. K., Paul, A., Bandyopadhyay, S., Dadhwal, V. K (2020). Understanding the interactions between meteorological and soil moisture drought over Indian region, Journal of Earth System Science, Vol 129, N 1, 1-17. https://doi.org/10.1007/s12040-020-01460-7

DavoodAbadi Farahani M H, Sharifi A R, Arabi M (2022). Monitoring of Agricultural Drought in Markazi Province using VHI and PDSI Indices. JGST, Vol 11, N 3, 83-100. 20.1001.1.2322102.1400.11.3.7.9

Eskandari Damaneh H, Eskandari Damaneh H, Khosravi H, Gilevari A, Adeli Sardooei M. (2021). A survey on the effect of drought on environmental indices derived from the MODIS data over the 2001-2019 period (Case study: Rangelands of Isfahan province), Journal of Rangeland, Vol 15, N 3, 460-47 6. 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7

Faramarzi M, Nouri H (2015). Evaluation of vegetation and thermal indices efficiency and feasibility of Landsat images to agricultural drought analysis (case study: Malayer). GeoRes, Vol 30, N 3, 139-152. URL: http://georesearch.ir/article-1-138-fa.html

Feyzolahpour, M (2024). Moisture stress and drought monitoring based on correlation analysis between spectral indices based on humidity, vegetation cover and temperature in Shadgan Wetland, Hydrogeomorphology. https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60376.1727

Javed, T., Yao, N., Chen, X., Suon, S., Li, Y (2020). Drought evolution indicated by meteorological and remote-sensing drought indices under different land cover types in China, Environmental Science and Pollution Research, Vol 27, N 4, 4258-4274. DOI: 10.1007/s11356-019-06629-2

Jehanzaib, M., Sattar, M.N., Lee, J.H., Kim, T. W (2020). Investigating effect of climate change on drought propagation from meteorological to hydrological drought using multi-model ensemble projections, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol 34, N 1, 7-21. https://doi.org/10.1038/nclimate1633

Ji, T., Li, G., Yang, H., Liu, R., He, T (2018). Comprehensive drought index as an indicator for use in drought monitoring integrating multisource remote sensing data: a case study covering the Sichuan-Chongqing region, International Journal of Remote Sensing, Vol39, N 3, 786-809. DOI:10.1080/01431161.2017.1392635

Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K.A., Wang, L (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring, Agricultural and Forest Meteorology, Vol 268, 74-85. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.008

Konapala, G., Mishra, A.K., Wada, Y., Mann, M. E (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation, Nature Communications, Vol 11, N 1, 3044.
DOI:10.1038/s41467-020-16757-w

Li, X., Li, Y., Chen, A., Gao, M., Slette, I. J., Piao, S (2019). The impact of the 2009/2010 drought on vegetation growth and terrestrial carbon balance in Southwest China, Agricultural and Forest Meteorology, Vol 269, 239-248.
DOI:10.1016/j.agrformet.2019.01.036

Masroor, M.D., Haroon, S., Sufia, R., Roshani, S., Hibjur Rahaman, M.D., Mehbub, S., Raihan, A., Ram, A (2022). Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari middle sub-basin, India, Geoscience Frontiers, Vol 13, V 2, 1-13.
DOI:10.1016/j.gsf.2021.101312

Mbatha, N., Xulu, S (2018). Time series analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of recent intense drought. Climate, Vol 6, N 4, 95.
https://doi.org/10.3390/cli6040095

Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J (2018). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In Proceedings of the AMS 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17-22 January, 179-184.
DOI: 10.4236/jwarp.2016.87058

Nouro Pourdargazi, M., Bazrafshan, O., & Esmaelpour, Y (2022). Agricultural Drought Monitoring Using Climatic, Vegetation and Soil Moisture Data in Hormozgan Province. Nivar, Vol 46, N 116, 163-178.
doi: 10.30467/nivar.2022.352541.1224

Rahi, G. R., Bahraini, F., KhosroShahi, M., Biabani, L (2022). The Effect of Drought on Dust Storm Frequency (Case study: Bushehr Province). Journal of Water and Soil Conservation, Vol 29, N 1, 31-51.
doi: 10.22069/jwsc.2022.19677.3511

Safdari Molan, A., & Mardaneh, A (2023). Investigating the Trend of Drought Changes with Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) and Its Relationship with Atmospheric Factors (Case Study: Siah Kooh Watershed). Journal of Water and Sustainable Development, Vol 10, N 3, 99-108.
doi: 10.22067/jwsd.V10I3.2305-1243

Santos, C., Augusto, G., Brasil, N., Reginaldo, M., Nascimento, Thiago V., Silva, R., Mishra, M., Frade, T. G (2021). Geospatial drought severity analysis based on Persiann-CDR-estimated rainfall data for Odisha state in India (1983-2018), Science of The Total Environment, Vol 750, 141-258.
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141258

Serrano, S.M., Beguerıa, S., Lopez-Moreno, J. I (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Journal of Climate, Vol 23, N 7, 1696-1718.
DOI: https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Shao, W., Kam, J (2020). Retrospective and prospective evaluations of drought and flood, Science of The Total Environment, 748.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141155

Siasar, H., Mohammadrezapour, O., & Khodamorad Pour, M (2024). Drought Monitoring using MODIS Sensor Data and Comparison with SPI Meteorological Index in Short-term Periods (Case study: Golestan province). Geography and Development, Vol 22, N 74,166-186.
doi: 10.22111/gdij.2024.8175

Singh, S., Bhardwaj, A., Verma, V (2020). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India, Journal of Environmental Management, Vol 262, 11035.
DOI:10.1016/j.jenvman.2020.110355

Walker, J. P. Houser, P. R (2004). Requirements of a global near-surface soil moisture mission: accuracy, repeat time, and spatial resolution, Advances in Water Resources, Vol 27, 785-801.
DOI:10.1016/j.advwatres.2004.05.006

Yao, J., Zhao, Y., Chen, Y., Yu, X., Zhang, R (2018). Multi-scale assessments of droughts: A case study in Xinjiang China, Science of the Total Environment, Vol 630, 444-452.
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.200

Yu, Y., Wang, J., Cheng, F., Deng, H., Chen, S (2020). Drought monitoring in Yunnan Province based on a TRMM precipitation product, Natural Hazards, Vol 104, N 3, 2369-2387.
DOI:10.1007/s11069-020-04276-2

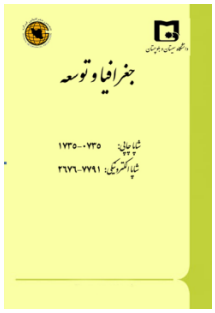
جغرافیا و توسعه
شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۰۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۷۷۹۱
https://gdij.usb.ac.ir
دانشگاه سیستان و بلوچستان

ارزیابی شدّت خشکسالی حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» با استفاده از شاخص‌های VCI، TCI، VHI

مقاله پژوهشی

دکتر موسی عابدینی[1*]، زهرا شریفی[2]، ماهرخ سردشتی[3]

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۸۰، پاییز ۱۴۰۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰
صفحات: ۹۸-۷۵



واژه‌های کلیدی:
شاخص‌های خشکسالی، حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای»، تصاویر ماهواره‌ای «MODIS»، سامانه «GEE».

چکیده

خشکسالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی، امنیت غذایی و منابع آبی را به‌شدت تهدید می‌کند. شناسایی و پایش مناطق مستعد خشکسالی با استفاده از روش‌های نوین، به‌ویژه در حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای»، از اهمیت زیادی برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی شاخص‌های محیطی شامل: دمای سطح زمین (LST)، رطوبت خاک و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در دورهٔ ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ و با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای«MODIS» در سامانهٔ گوگل ارث انجین انجام شد. در این مطالعه، شاخص‌های خشکسالی TCI، VCIو VHI محاسبه و تحلیل شدند. نتایج نشان‌داد که بیشترین دمای سطح زمین در جنوب غرب حوضه با ۳۰۳ کلوین و کمترین دما در شمال‌شرق با ۲۹۳ کلوین ثبت شده است. همچنین، رطوبت خاک در جنوب غرب به کمینه مقدار خود (۶/۷۳ میلی‌متر) و در شمال شرق به بیشینه مقدار (۱۶ میلی‌متر) رسیده است. شاخص«NDVI» نیز بیشترین تراکم پوشش گیاهی را در جنوب غرب و شمال شرق حوضه با مقدار ۰/۱۵ نشان‌داد. بررسی شاخص‌های خشکسالی نشان‌داد که در بخش‌های مرکزی حوضه، شاخص «TCI» با مقدار ۰/۴۲ تنش گرمایی را افزایش داده است. همچنین، کاهش شاخص‌های VCI و VHI به‌ترتیب با مقادیر ۰/۱۶ و ۰/۰۳-، نشان‌دهندهٔ افت قابل توجه سلامت پوشش گیاهی در این مناطق بوده است. تحلیل همبستگی میان شاخص‌های خشکسالی و عوامل محیطی نشان‌داد که شاخص «VHI» بیشترین همبستگی معنی‌دار را با« NDVI» در حدود ۰/۳۴ داشته است. در نهایت، این نتایج نشان‌می‌دهد که با افزایش دمای سطح زمین و کاهش رطوبت خاک، خشکسالی تشدید شده و به سلامت پوشش گیاهی آسیب جدی وارد شده است.

مقدمه

تغییرات اقلیمی، چرخهٔ هیدرولوژیکی را تغییر داده و منجر به تغییر در مؤلفه‌های بارش، رواناب و تبخیر و تعرّق می‌شود. در نتیجه، رویدادهای آب‌وهوایی مانند خشکسالی و سیل در حال تکرار و تشدید هستند (*Konapala et al, 2020: 33; Shao and Kam, 2020: 67*). خشکسالی معمولا به کمبود پیوستهٔ آب در خاک اشاره دارد و خشکسالی طولانی‌مدت می‌تواند منجر به از بین رفتن محصول، کمبود مواد غذایی، قحطی، تخریب زمین و سایر مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی شود (*Jiao et al, 2019: 77*). خشکسالی به‌عنوان پیچیده‌ترین و مخرّب‌ترین مقولهٔ بلایای طبیعی در سطح جهانی در نظر گرفته می‌شود (*Javed et al, 2020: 4260*). فراوانی و شدّت خشکسالی در دهه‌های اخیر در سطح جهان افزایش یافته است. این روند با افزایش تقاضای آب و تغییرات پیچیده در عوامل هیدرولوژیکی و اقلیمی مرتبط است (*Balti et al, 2020: 35; Jehanzaib et al, 2020: 9*). با توجه به عدم امکان اندازه‌گیری مستقیم شدت خشکسالی کمّی‌کردن شدت خشکسالی همچنان یک چالش جدی است. در نتیجه، خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های سنجش‌ازدور به پرکاربردترین روش‌های پایش خشکسالی تبدیل

۱. استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) Abedini@uma.ac.ir
۲. دانشجوی دکترا گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران Zahra_sharifi1364@yahoo.com
۳. دانشجوی دکترا گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران Geo.sardashti@gmail.com

شده‌اند. از طرفی به‌دلیل جامعیّت و دقت بالا، به‌طور گسترده برای تجزیه‌وتحلیل خشکسالی در مقیاس‌های زمانی متعدد استفاده می‌شوند *(Santos et al, 2021: 145; Yao et al, 2018: 447)*. شاخص‌های خشکسالی شامل شاخص بارندگی استانداردشده[1] (SPI) *(McKee et al, 2018: 181)* و شاخص استانداردشدهٔ تبخیر و تعرق بارش[2] (SPEI) *(Serrano et al, 2010: 1699)* است. با این حال، تجزیه‌وتحلیل خشکسالی از طریق روش‌های درون‌یابی به‌طور کلّی تغییرات مکانی را منعکس نمی‌کند *(Yu et al, 2020: 2372)*. در بسیاری از مطالعات، عوامل مختلفی را برای ساخت یک مدل جامع خشکسالی در نظر گرفته‌اند *(Ji et al, 2018: 789)*. به‌عنوان مثال، شاخص سلامت پوشش‌گیاهی[3] (VHI) که از طریق ترکیب شاخص‌های وضعیت پوشش‌گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت دما (TCI) توسعه داده شده است، نتایج پایش خشکسالی را به‌دست آورد که به وضعیت واقعی خشکسالی در مقایسه با نتایج استفاده از یک شاخص منفرد نزدیک‌تر بود *(Bento et al, 2018: 289)*. بارش، یکی از عوامل مؤثر بر خشکسالی منطقه‌ای است که در شاخص جامع خشکسالی مورد توجه قرار نگرفته است و تلفیق عواملی مانند بارش، VCI، TCI و سایر عوامل در تهیهٔ مدل جامع خشکسالی می‌تواند پایش فرآیند تکامل خشکسالی را بهبود بخشد *(Ji et al, 2018: 789)*. در سال‌های اخیر، با رشد فزآیندهٔ پایگاه دادهٔ جهانی مبتنی بر برآوردهای ماهواره‌ای و همچنین افزایش توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در مدل‌سازی فرآیندهای پیچیدهٔ حاکم بر بیلان آب در سطح زمین، کوشش‌های زیادی به‌منظور استفادهٔ مناسب از این ابزارهای نوین در مقایسه با اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای به‌دلیل دقت مکانی و زمانی و استفادهٔ عملیاتی آسان با هدف کاهش مشکلات موجود در این زمینه به‌عمل آمده است *(Walker and Houser, 2004: 788)*. سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS, Global Land Data Assimilation System)، نمونه‌ای از پروژه‌های شاخصی است که مطالعه در خصوص امکان استفاده از نتایج آن‌ها جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب، به‌ویژه رطوبت خاک در مناطق مختلف کرهٔ زمین طی چند سال گذشته، مورد توجه قرار داشته است. تاکنون مطالعاتی زیادی در خصوص خشکسالی و شاخص‌های پوشش گیاهی در داخل و خارج کشور انجام شده است. برای مثال، خولو و امباتا[4] (۲۰۱۸) در پژوهشی به مطالعهٔ ارتباط بین NDVI با داده‌های رطوبت خاک در جنوب آفریقا پرداختند. و به این نتیجه رسیدند که همبستگی بین این دو شاخص در بازه زمانی ۸ تا ۱۶ ماهه قابل توجه است. لیو[5] و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر خشکسالی بر روی رشد گیاهان با استفاده از SPEI و NDVI در شمال چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌داد که تغییرات پوشش گیاهی، ارتباط نزدیکی با نوسانات اقلیمی مانند خشکسالی داشته به‌طوری که کاهش شدید بارش طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ سبب کاهش چشمگیر پوشش گیاهی شده است. داس[6] و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی ارتباط خشکسالی و رطوبت خاک پرداختند. نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که SSMI تغییرات خفیف‌تری از خشکسالی را نسبت به SPEI در هند نمایش داده است و به همان نسبت شدت‌های برآوردشده توسط SPEI بالاتر و زمان تدام پایین ارائه شده است. مسرور[7] و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور بررسی و تحلیل رابطه بین خشکسالی و فرسایش خاک با استفاده از شاخص سلامت پوشش‌گیاهی در زیرحوضهٔ میانی گوداوری هند پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از شاخص‌های دما (TCI) وضعیت

1. Standardized Precipitation Index (SPI)
2. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
3. Vegetation Health Index (VHI)
4. Xulu and Mbata
5. Liu
6. Das
7. Masroor

پوشش‌گیاهی (VCI) دمای سطح زمین (LST) و VCI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که اکثر حوضه‌های شمالی و جنوبی در طول سال ۲۰۱۹-۲۰۰۰ شرایط خشکسالی شدید را در زیرحوضه تجربه کرده‌اند. میانگین فراوانی وقوع خشکسالی ۷/۹۵ ماه و فرسایش خاک در زیرحوضه ۹/۸۸ تن در هکتار در سال برآورد شد. در ایران نیز احمدی و همکاران (۱۳۹۲)، ارتباط خشکسالی با رطوبت خاک را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شدیدترین خشکسالی‌ها در ایستگاه کبوترآباد اصفهان در سال ۲۰۰۰ در بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ رخ داده است. همچنین کارایی شاخص بارش تبخیر و تعرق استانداردشده و لحاظ‌نمودن بیلان آب این شاخص، دارای همبستگی قابل قبولی با میزان رطوبت خاک است. فرامرزی و نوری (۱۳۹۴)، با هدف بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهوارهٔ لندست در تحلیل خشکسالی کشاورزی، شهرستان ملایر را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که از بین چهار شاخص مورد بررسی، شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ پوشش گیاهی و تأمین آب پوشش گیاهی، دارای دقت بیش‌تری در آشکارسازی شرایط خشکسالی در منطقه هستند. اسکندردامنه و همکاران (۱۴۰۰)، اثرات خشکسالی بر شاخص‌های محیطی در استان اصفهان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که بین شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و پوشش گیاهی همبستگی وجود دارد و اثر شاخص خشکسالی بر رطوبت خاک و پوشش گیاهی به‌ترتیب در ۸۷/۲۳ مثبت و در ۵۶/۵۶ درصد از استان اصفهان منفی می‌باشد که بیانگر کاهش کمیّت و کیفیّت پوشش گیاهی و رطوبت خاک است. راهی و همکاران (۱۴۰۰)، تأثیر خشکسالی بر فراوانی وقوع پدیدهٔ گردوغبار در استان بوشهر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که شاخص DS طی دورهٔ مطالعاتی با افزایش شدت خشکسالی کاهش داشته و همبستگی آن با خشکسالی طی دورهٔ ۳۰ ساله معنی‌دار نبوده است. همچنین عوامل انسانی یا منبع فرامحلی ریزگرد می‌تواند نقش مهم‌تری در ایجاد الگوی ناهمگون پراکندگی خشکسالی در بوشهر داشته باشد.

عابدینی و همکاران[1] (۱۴۰۱) در تحقیقی به مطالعهٔ پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پرداختند. نتایج نشان‌داد که شاخص‌های NBR و dNBR اطلاعات مناسبی را درخصوص آتش‌سوزی و روند تغییرات در اختیار قرار می‌دهند؛ همچنین ۱۳۶۸۵ هکتار از جنگل‌های زاگرس در این آتش‌سوزی دچار حریق شده‌اند. عابدینی و همکاران[2] (۱۴۰۱) به بررسی رابطهٔ کاربری اراضی با دمای سطح زمین در مشگین‌شهر پرداختند. نتایج نشان‌داد که مناطق با پوشش گیاهی بالا و مناطق آبی، دارای درجه حرارت پایین بودند. همچنین کاربری کشاورزی دیم دارای بیشترین درجه حرارت بود. آرخی و همکاران (۱۴۰۱)، به‌منظور ارزیابی خشکسالی در مناطق مرکزی ایران، از تصاویر ماهواره‌ای «مودیس» و شاخص‌های VHI، TCI و VCI استفاده کردند. نتایج پایش خشکسالی نشان‌داد که در طی دورهٔ ده ساله، در برخی از سال‌هایی خشکسالی شدید وجود داشته که در همان سال نیز بارش به میزان کم‌تری رخ داده است. برای مثال در سال ۲۰۲۰ این خشکسالی بسیار شدید بوده است و در سال ۲۰۱۱ ترسالی بسیار شدیدی را نشان‌داده است. نوری‌پوردرگزی و همکاران (۱۴۰۱)، پایش خشکسالی کشاورزی را با تأکید بر داده‌های اقلیم، پوشش گیاهی و رطوبت خاک در استان هرمزگان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌داد که شاخص پوشش گیاهی استانداردشده در اکثر زیرحوضه‌ها از سال ۲۰۱۲ به بعد روند کاهشی داشته است. از طرفی برآورد خشکسالی‌های تاریخی بین سه شاخص نشان‌داد SPEI همیشه وضعیت خیلی‌شدید را در مقایسه با تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی دارد. صفدر مولان و مردانه (۱۴۰۲)، بررسی روند تغییرات خشکسالی با شاخص خشکی دمایی-

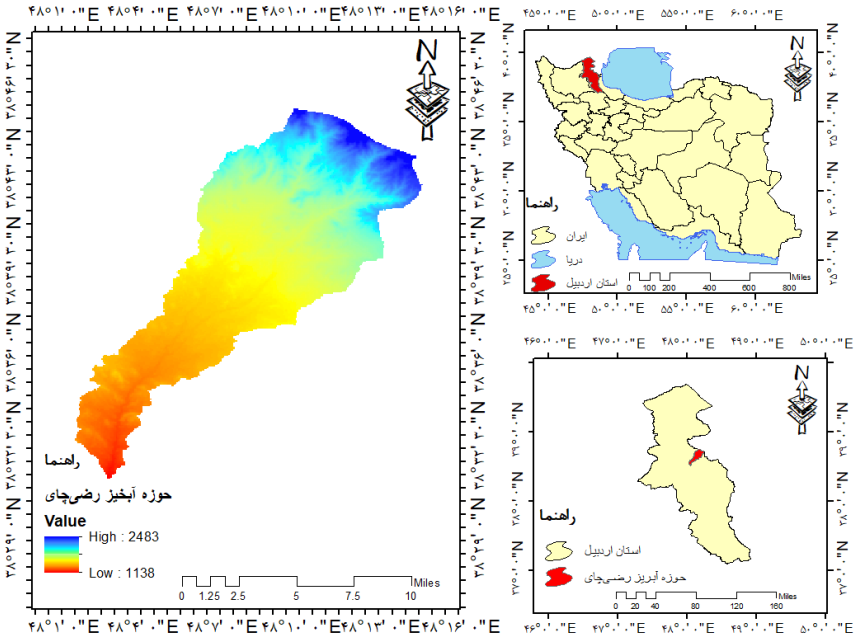
پوشش گیاهی و ارتباط آن با عوامل جوی در حوضهٔ آبریز «سیاه کوه» را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که شاخص TVDI به‌علت استفاده از باندهای حرارتی و انعکاسی رطوبت خاک، دقت مناسب‌تری از شاخص NDVI که تنها میزان پوشش گیاهی منطقه را در نظر می‌گیرد، دارد. از طرفی روابط همبستگی نشان‌داد که ارتباط بین پوشش گیاهی و دما به‌صورت معکوس و منفی و پوشش گیاهی با بارش به‌صورت مثبت و مستقیم می‌باشد. سیاسر و همکاران (۱۴۰۳)، به‌منظور پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجندهٔ «مودیس» و مقایسه با شاخص هواشناسی SPI در استان گلستان مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان‌داد که شاخص هواشناسی SPI بیشترین ضریب همبستگی را با شاخص TCI و کم‌ترین ضریب همبستگی را با شاخص VHI دارد. فیض‌اله‌پور (۱۴۰۳)، با هدف پایش تنش رطوبتی و خشکسالی بر پایهٔ تحلیل همبستگی بین شاخص‌های طیفی مبتنی بر رطوبت، پوشش گیاهی و دما در محدودهٔ تالاب شادگان پژوهشی انجام داد. نتایج نشان‌داد که به‌علت حاکمیت شرایط نیمه‌خشک در منطقه، شاخص‌های مبتنی بر پوشش گیاهی، از قابلیت بسیار ضعیفی در برآورد خشکسالی برخوردار بوده و همبستگی بین NDVI و NDWI نیز در حدود ۰/۰۵ بوده است. احمدی و همکاران (۱۴۰۳) به ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضهٔ آبریز فلات مرکزی پرداختند. نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که بیش از ۹۵ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی، تمامی وضعیت‌های ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند. شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱ ماهه در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی و شاخص SPEI در مقیاس زمانی ۶ ماهه در ۳/۸۳ درصد ایستگاه‌ها و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ۷/۶۷ درصد ایستگاه‌ها، خشکسالی را با شدت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی نشان داده است. با توجه به افزایش شدت خشکسالی و اثرات منفی آن بر منابع آبی و کشاورزی، نیاز به توسعهٔ روش‌های جامع و کارآمد برای پایش خشکسالی به‌وضوح احساس می‌شود. هدف از این پژوهش، بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای MODIS و استفاده از سامانهٔ پیشرفتهٔ گوگل ارث انجین و تحلیل شاخص‌های کلیدی نظیر دمای سطح زمین، رطوبت خاک و پوشش گیاهی بوده است. همچنین با تلفیق شاخص‌های VCI و TCI، شاخص ترکیبی VHI برای ارزیابی دقیق‌تر خشکسالی ارائه شده است. نوآوری این تحقیق در استفاده از GEE به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای پردازش داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های مکانی و زمانی وسیع نهفته است. این سامانه امکان تحلیل سریع و جامع داده‌ها را فراهم می‌آورد و برای مناطقی همچون حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» که مطالعات گستردهٔ خشکسالی در آن‌ها کمتر انجام شده، بسیار کاربردی است. مدل خشکسالی پیشنهادی، با ترکیب شاخص‌های مختلف محیطی و اقلیمی، می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان کمک کند تا مناطق حساس به خشکسالی را شناسایی کرده و اقدامات پیشگیرانه‌ای برای مدیریت منابع آبی و جلوگیری از بحران‌های زیست‌محیطی انجام دهند.

داده‌ها و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» با مساحتی بالغ بر ۱۸۰/۱۵ کیلومتر مربع در استان اردبیل و در شرق شهرستان مشگین‌شهر، بین مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی واقع شده و در زون ۳۹ شمالی قرار گرفته است. مرتفع‌ترین نقطهٔ حوضه دارای ارتفاع ۲۴۸۰ متر بوده که در قسمت شمالی حوضه و پست‌ترین نقطهٔ حوضه دارای ارتفاع ۱۱۳۳

متر از سطح دریا است که قسمت خروجی حوضه در محل به هم پیوستن رودخانهٔ «رضی‌چای» به قره‌سو در جنوب غربی حوضه واقع شده است. این حوضه از کاربری اراضی نسبتاً متنوع همچون؛ مرتع، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، اراضی بایر و مناطق مسکونی روستایی برخوردار است *(عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۱۷)*. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سطح کشور و استان اردبیل ارائه شده است.

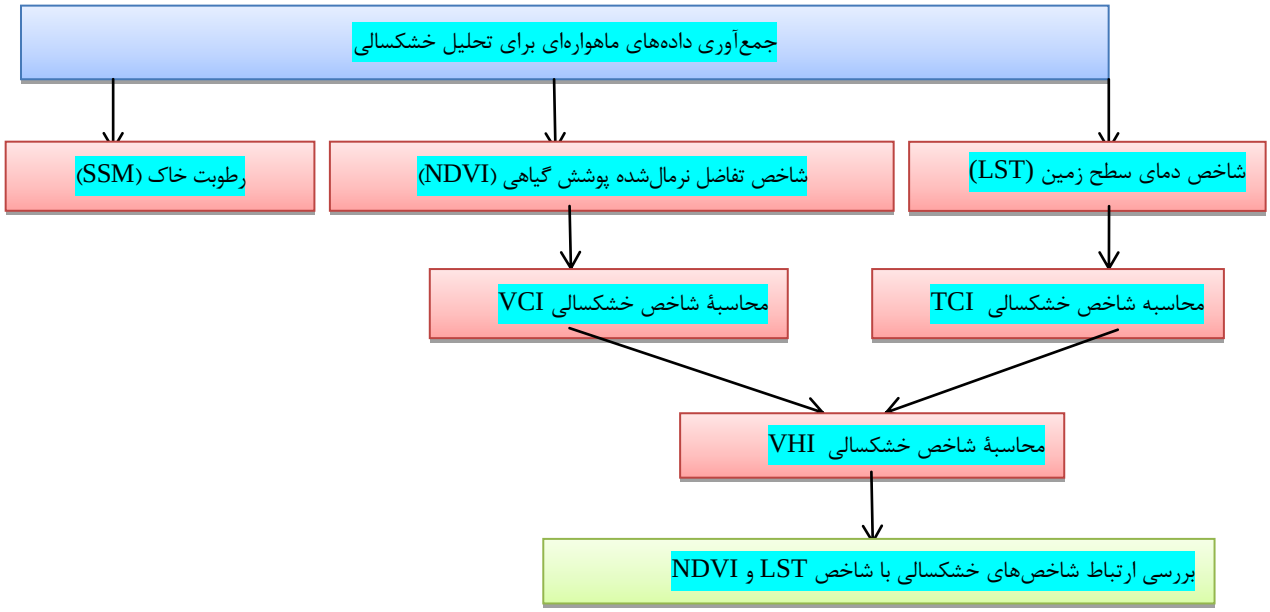


شکل ۱: نقشهٔ موقعیت جغرافیایی حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سطح استان اردبیل و ایران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

روش مطالعه

در این پژوهش، برای پایش خشکسالی در حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ ابتدا داده‌های ماهواره‌ای مورد نیاز برای تحلیل خشکسالی از تصاویر ماهواره‌ای MODIS با گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳ جمع‌آوری شد. این داده‌ها شامل: شاخص‌های دمای سطح زمین (LST)، شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ پوشش گیاهی (NDVI) و رطوبت خاک (SSM) بودند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، شاخص‌های خشکسالی محاسبه شد. شاخص تنش حرارتی (TCI) بر اساس داده‌های LST و شاخص وضعیت پوشش گیاهی(VCI) بر اساس داده‌های NDVI محاسبه گردید. سپس، شاخص وضعیت خشکسالی (VHI) از ترکیب شاخص‌های TCI و VCI محاسبه شد. در مرحلهٔ بعد، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی شاخص‌های LST، NDVI، TCI، VCIو VHI ترسیم شدند تا توزیع خشکسالی در منطقه به‌طور دقیق‌تری مشخص شود. در نهایت، همبستگی میان شاخص‌های خشکسالی (TCI، VCI و VHI) با پارامترهای تأثیرگذار شامل LST و NDVI بررسی شد. این مرحله به تحلیل روابط میان دمای سطح زمین و وضعیت پوشش گیاهی در منطقهٔ مطالعاتی کمک کرد و نتایج مرتبط با خشکسالی و تنش‌های محیطی ارائه‌گردید. در شکل ۲، نمودار جریانی روش تحقیق نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمودار جریانی روش تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

دمای سطح زمین

دمای سطح زمین (LST) یکی از پارامترهای کلیدی در سنجش‌ازدور است که اطلاعات مهمی در خصوص تغییرات دمای سطح زمین فراهم می‌کند. داده‌های مربوط به LST از باند LST-DAY-1KM (محصول MOD11A2.061) ماهوارهٔ «ترا» از طریق سامانهٔ گوگل ارث انجین (GEE) فراخوانی شد. برای بررسی‌های دقیق‌تر، داده‌های مربوط به این شاخص برای حوضهٔ آبخیز رضی‌چای برای دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ مورد استفاده قرار گرفت و نقشه‌های دمای سطح زمین و روند تغییرات آن ترسیم گردید. این داده‌ها برای محاسبهٔ شاخص TCI مورد استفاده قرار گرفتند.

شاخص NDVI

فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه توسط ظرفیت و پروفیل گیاهی آن تعیین می‌شود. برای تخمین و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی، از شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ پوشش گیاهی (NDVI) استفاده می‌گردد. این شاخص از طریق اندازه‌گیری میزان بازتاب در ناحیه‌های طیفی قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) محاسبه می‌شود و طبق رابطهٔ (۱) به‌دست‌می‌آید:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ فوق R_{NIR} بازتابی از تابش مادون قرمز نزدیک و R_{RED} بازتابی از تابش قرمز مرئی است. مقادیر این شاخص بین +۱ و ۱- متغیر است به‌طوری‌که عدد صفر نشان‌دهندهٔ عدم وجود پوشش گیاهی است. مقادیر منفی

برای نشان‌دادن سطوحی غیر از پوشش گیاهی، مانند برف و آب، به‌کار می‌رود *(نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۳)*. با فراخوانی دادهٔ باند NDVI ماهوارهٔ «ترا» با کد (MOD13A2.061) در محیط گوگل ارث انجین وضعیت پوشش گیاهی منطقهٔ مورد مطالعه مشخص‌گردید و از نتایج آن در تخمین شاخص VCI استفاده شد.

رطوبت خاک

برای برآورد رطوبت خاک منطقه، داده‌های جهانی رطوبت خاک (SMAP) که توسط ناسا گردآوری شده است، از طریق سامانهٔ گوگل ارث انجین فراخوانی شدند. این مجموعه‌داده‌ها شامل اطلاعات دقیق در خصوص رطوبت سطحی و زیرسطحی خاک با وضوح مکانی ۱۰ کیلومتر است که در این پژوهش برای منطقهٔ مورد مطالعه استفاده شد.

شاخص VCI

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) از مقایسهٔ تغییرات پوشش گیاهی با مقادیر تاریخی NDVI به‌دست می‌آید و به ارزیابی شدت و مدت خشکسالی کمک می‌کند. شاخص وضعیت پوشش گیاهی به‌صورت رابطهٔ (۲) است.

$$VCI = (ndvi-min) / (max-min) \quad (۲)$$

شاخص TCI

دمای سطح زمین (LST) اندازه‌گیری‌شده از دمای روشنایی برای ارزیابی TCI مورد استفاده قرار خواهد گرفت. این شاخص، تنش پوشش گیاهی مرتبط با دما و رطوبت شدید را اندازه‌گیری می‌کند *(Singh et al, 2020: 11035)*. کوگان *(۱۹۹۰: ۱۴۱۱)* همچنین شاخص TCI را بر اساس دمای روشنایی تعیین کرده است. این شاخص با استفاده از LST ماهانه MOD11C3 به‌صورت رابطهٔ (۳) استخراج خواهد شد:

$$TCI = (max - lst) / (max - min) \quad (۳)$$

شاخص VHI

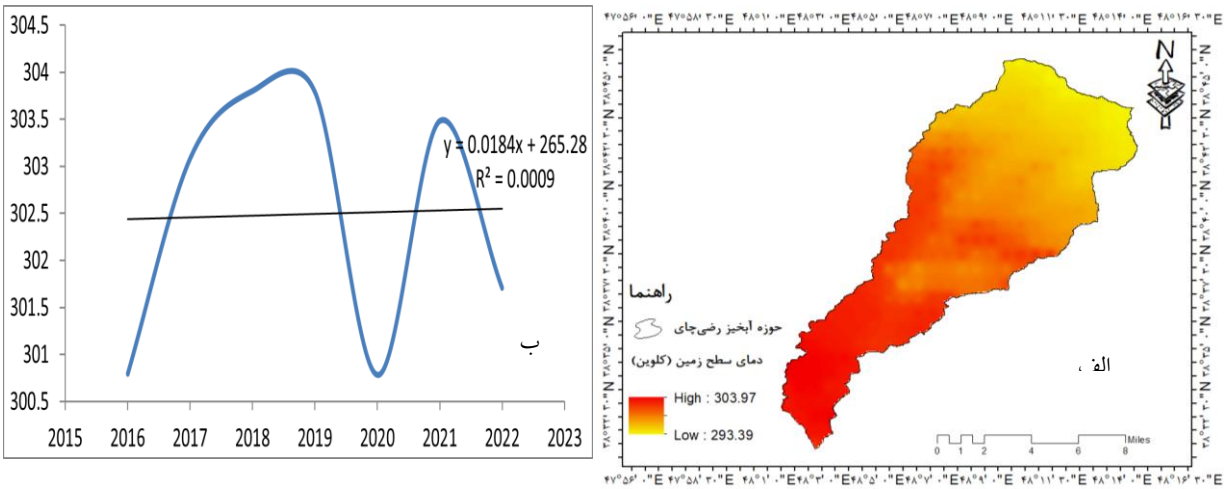
این شاخص با ترکیب VCI و TCI به‌دست می‌آید. VCI شرایط رطوبت را در نوارهای مادون قرمز مرئی و نزدیک و TCI شرایط دما را بر اساس باندهای مادون قرمز حرارتی مشخص‌می‌کند. ادغام VCI و TCI ارزیابی بهتری از شرایط خشکسالی را نسبت به یک شاخص خشکسالی منفرد فراهم می‌کند. VHI را می‌توان به‌صورت رابطهٔ (۴) بیان کرد:

$$VHI = (0.5 * vci) + ((0.5-1) * tci) \quad (۴)$$

پس از این‌که نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به هر شاخص ترسیم گردید و از آن‌جایی که شاخص‌های خشکسالی VCI، TCI و VHI از دو پارامتر NDVI و LST بهره می‌گیرد، به بررسی همبستگی این مؤلفه‌ها با یکدیگر پرداخته شد.

نتایج و بحث

دمای سطح زمین، یکی از شاخص‌های مهم در بررسی خشکسالی است زیرا نشان‌دهندهٔ میزان گرمای ساطع‌شده از سطح زمین است. این شاخص با تغییرات رطوبت خاک و پوشش گیاهی ارتباط مستقیم دارد. در شرایط خشکسالی، کاهش رطوبت خاک و گیاهان منجر به کاهش تبخیر و تعرق شده که به نوبهٔ خود باعث افزایش دمای سطح زمین می‌شود؛ ازاین‌رو بررسی LST در پایش خشکسالی، به‌ویژه در محاسبهٔ شاخص TCI اهمیت دارد. در شکل (۳، الف) میانگین دمای سطح زمین در حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ برحسب کلوین نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نواحی جنوب شرقی حوضه، بالاترین دما را تجربه کرده‌اند. دما در این بخش به بیش از ۳۰۳ کلوین (معادل تقریباً ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد) رسیده است. در مقابل، نواحی شمال شرقی حوضه دمای کمتری داشته و به حدود ۲۹۳ کلوین (حدود ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) کاهش یافته است. این اختلاف دما بین بخش‌های مختلف منطقه می‌تواند به تفاوت‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی و نوع خاک مرتبط باشد. شکل (۳، ب) نشان‌دهندهٔ روند تغییرات دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ است. همان‌طور که مشخص است، دمای سطح زمین در این بازه یک روند صعودی ضعیف را تجربه کرده است. افزایش دما از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ با یک شیب صعودی نسبتاً تند همراه بوده که احتمالاً ناشی از کاهش رطوبت خاک و تشدید خشکسالی در آن دوره است. با این‌حال، در سال ۲۰۲۲ یک کاهش شدید در دمای سطح زمین مشاهده می‌شود که می‌تواند به شرایط خاص آب‌وهوایی یا کاهش موقت شدت خشکسالی مربوط باشد. پس از آن، دما نوساناتی در حدود ۳ تا ۴ درجهٔ سانتی‌گراد داشته است اما با وجود این تغییرات، ضریب تعیین (R^2) محاسبه‌شده برای روند تغییرات دمای سطح زمین بسیار کم و برابر با ۰/۰۰۹ است که نشان‌می‌دهد این تغییرات در طول زمان معنادار نیستند.

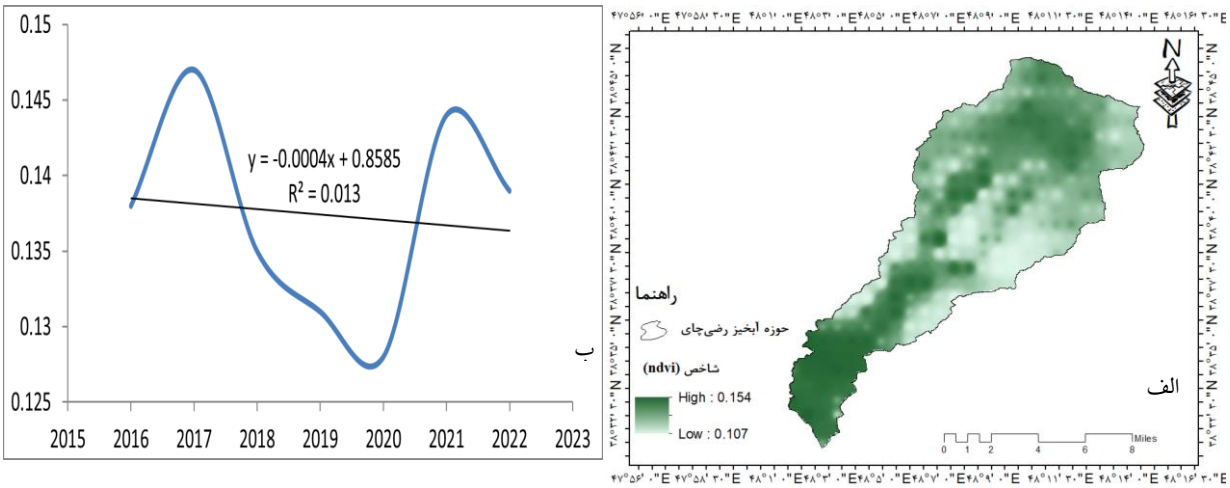


شکل ۳: الف) نقشهٔ دمای سطح زمین، ب) روند دمای سطح زمین حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان یک معیار کلیدی در ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی شناخته می‌شود. این شاخص با محاسبهٔ تفاوت بین بازتاب نور قرمز و مادون قرمز از سطح زمین به‌دست می‌آید. مقادیر بالای NDVI نشان‌دهندهٔ تراکم و سلامت بیشتر پوشش گیاهی هستند در حالی که کاهش آن معمولاً

به وضعیت نامناسب پوشش گیاهی و رطوبت خاک اشاره دارد. در شرایط خشکسالی، با کاهش رطوبت خاک و از بین رفتن رطوبت گیاهان، سلامت پوشش گیاهی به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و این امر منجر به کاهش NDVI می‌شود. شکل (۴، الف) نقشهٔ NDVI را برای حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه نشان‌می‌دهد. بیشینه مقدار NDVI در قسمت جنوب غربی حوضه با مقدار ۰/۱۵ مشاهده می‌شود که نشان‌دهندهٔ سبزینگی بالا و سلامت مناسب پوشش گیاهی در این ناحیه است. مشابه این وضعیت در شمال شرق نیز دیده می‌شود، هرچند که به‌طور کلی کمی ضعیف‌تر است. در مقابل، قسمت‌های مرکزی حوضه با کاهش چشمگیری در تراکم سبزینگی مواجه شده و NDVI به مقدار ۰/۱۰ کاهش یافته است. شکل (۴، ب) روند تغییرات NDVI را در این بازه زمانی ترسیم کرده است. به‌وضوح مشخص است که در طول این دوره، NDVI یک شیب نزولی را تجربه کرده، هرچند که نوساناتی نیز در آن وجود دارد. بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰، تراکم پوشش گیاهی به کم‌ترین میزان خود رسید و پس از آن، روند نوسانی ادامه پیدا کرده است. این نوسانات ممکن است ناشی از تغییرات آب‌وهوایی، بارش‌ها و یا سایر عوامل مؤثر در وضعیت رطوبت خاک و پوشش گیاهی باشد. با وجود این روند نزولی، ضریب تعیین (R^2) محاسبه‌شده برای NDVI برابر با ۰/۰۱۳ است. این مقدار بسیار پایین نشان‌دهندهٔ عدم وجود یک رابطهٔ معنادار بین تغییرات NDVI در طول این دوره می‌باشد. به عبارت دیگر، تغییرات مشاهده‌شده در NDVI به‌طور واضح تحت تأثیر عوامل خاصی قرار ندارد و نمی‌توان آن‌را به‌عنوان یک روند پایدار و معنادار در نظر گرفت.

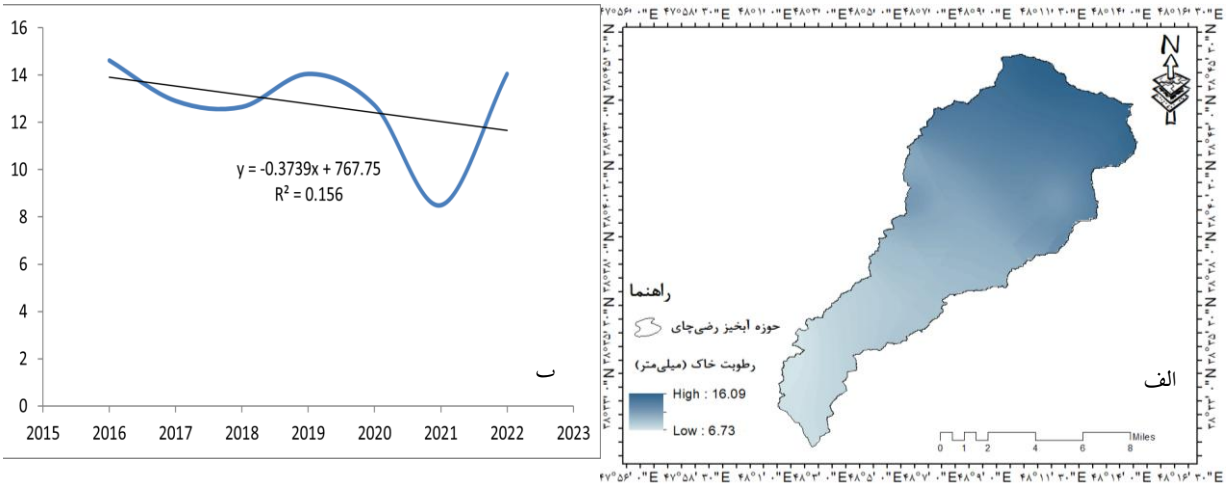


شکل ۴: الف) نقشهٔ شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ گیاهی NDVI،ب) روند شاخص NDVI حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

در شرایط خشکسالی، کمبود آب در خاک به تنش‌های متعددی برای گیاهان منجر می‌شود. این تنش‌ها شامل: کاهش جذب آب و مواد مغذی، کاهش میزان فتوسنتز و افزایش تنش اسمزی هستند که در نهایت می‌تواند منجر به مرگ گیاهان شود. حفظ رطوبت خاک نقش حیاتی در سلامت گیاهان ایفا می‌کند زیرا خاک مرطوب مقاومت بالایی در برابر فرسایش ناشی از باد و آب دارد؛ بنابراین پایش رطوبت خاک به‌ویژه در مطالعات مرتبط با خشکسالی، از اهمیت بالایی برخوردار است. شکل ۵ (الف) نقشهٔ میانگین رطوبت خاک در حوضهٔ آبخیز رضی‌چای را در طول سال‌های مورد مطالعه نشان‌می‌دهد. بر اساس این نقشه، بیشترین رطوبت خاک در شمال شرق حوضه متمرکز بوده

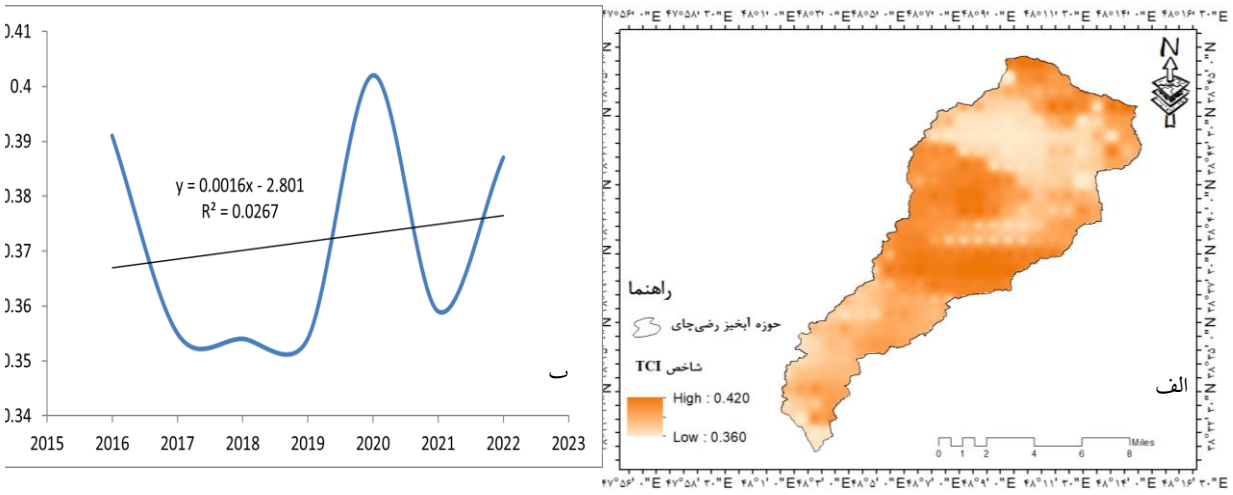
و به میزان ۱۶ میلی‌متر می‌رسد. این ناحیه همزمان با کمترین دمای سطح زمین در بررسی‌های قبلی، نشان‌دهندهٔ رابطه‌ای معکوس بین دما و رطوبت خاک است. به‌عکس، در قسمت جنوب غرب حوضه، رطوبت خاک کاهش یافته و به ۶/۷۳ میلی‌متر رسیده است. شکل ۵ (ب) روند تغییرات رطوبت خاک را در بازه زمانی مورد مطالعه ترسیم می‌کند. این روند حاکی از یک شیب نزولی است که مقدار رطوبت خاک از ۱۴ میلی‌متر در سال ۲۰۱۶ به ۸ میلی‌متر در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته و سپس در سال ۲۰۲۲ مجدداً به ۱۴ میلی‌متر افزایش یافته است. به‌علاوه، رابطهٔ رگرسیون خطی این شیب نزولی برای رطوبت خاک با ضریب تعیین R^2 برابر با ۰/۱۵۶ به‌دست آمد و مشخص می‌شود تغییرات رطوبت خاک در این دوره معنادار نبوده است.



شکل ۵: الف) نقشهٔ میانگین رطوبت خاک، ب) روند میانگین رطوبت خاک حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

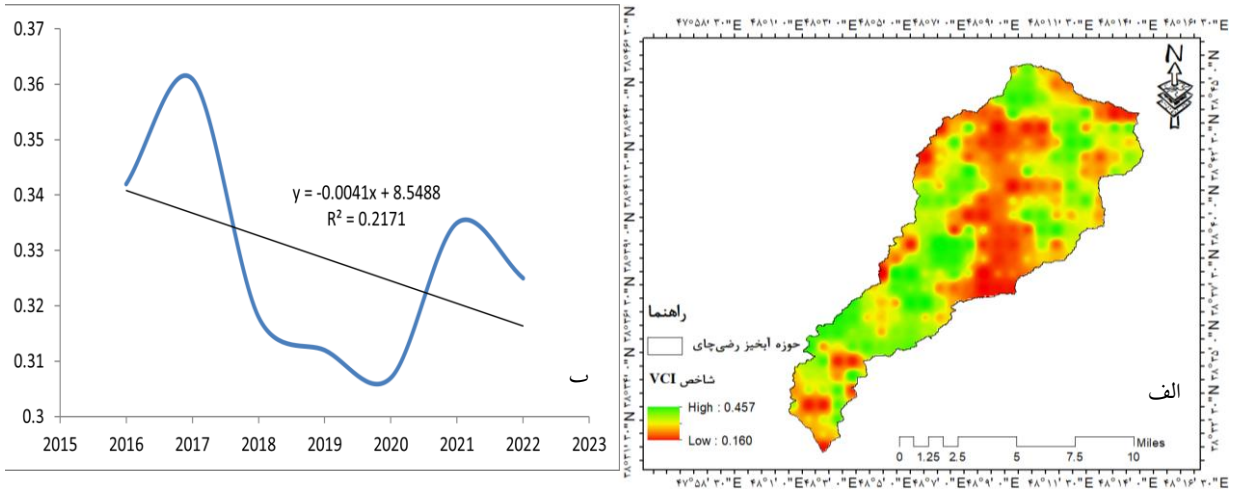
شاخص TCI برای پایش خشکسالی و ارزیابی تنش گرمایی سطح زمین به‌کار می‌رود و میزان انحراف دمای سطح زمین از وضعیت طبیعی را نشان‌می‌دهد. شکل ۶ (الف) نقشهٔ پهنه‌بندی این شاخص را در حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» برای سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶ ارائه‌می‌کند. بر اساس این نقشه، در مناطق مرکزی حوضه، مقدار TCI به بیشینه خود (۰/۴۲) رسیده است که نشان‌دهندهٔ تنش گرمایی بالا و خشکسالی شدیدتر در این نواحی است. به‌عکس، در مناطق شمال شرقی حوضه، مقدار TCI کاهش یافته و وضعیت نسبتاً مطلوب‌تری را نشان‌می‌دهد که بیانگر کاهش شدت خشکسالی در این بخش است. شکل ۶ (ب) روند تغییرات شاخص TCI را در طول دورهٔ آماری مورد بررسی ترسیم کرده است. به‌طور کلی، این شاخص در این دوره روند صعودی ضعیفی را تجربه کرده است. تا سال ۲۰۱۹ شاهد افت محسوسی در مقدار TCI بوده‌ایم اما در سال ۲۰۲۰ این شاخص به اوج خود رسیده و نشان‌دهندهٔ شدت بالای خشکسالی و وضعیت حادّ در کل منطقه است. پس از آن، تغییرات این شاخص با نوساناتی همراه بوده است. رگرسیون خطی برای تحلیل روند این تغییرات در طول زمان با ضریب تعیین R^2 برابر با ۰/۰۲۶ محاسبه شده است. این مقدار پایین R^2 نشان‌می‌دهد که تغییرات شاخص TCI در طول زمان معنادار نبوده است.



شکل ۶: الف) نقشهٔ شاخص خشکسالی TCI، ب) روند شاخص خشکسالی TCI حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

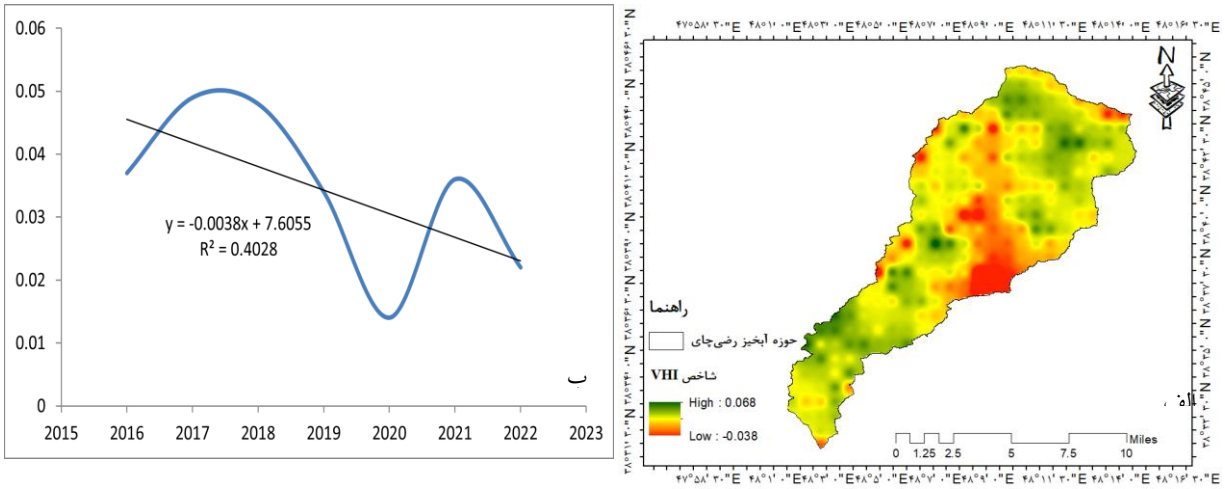
شاخص VCI که انحراف شاخص NDVI از حد طبیعی را در یک منطقه و طی یک دورهٔ زمانی خاص نشان می‌دهد، ابزاری مؤثر برای پایش وضعیت پوشش گیاهی و ارزیابی خشکسالی به‌شمار می‌آید. شکل ۷ (الف) نقشهٔ پهنه‌بندی این شاخص را برای حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶ به‌تصویر می‌کشد. نتایج این نقشه به‌وضوح نشان می‌دهد که در مناطق مرکزی حوضه، مقدار VCI به پایین‌ترین حد خود (۰/۱۶) رسیده است. این مقدار پایین، بیانگر خشکسالی شدید در این نواحی و وضعیت ناسالم گیاهان است. به‌عکس، در نیمهٔ غربی و برخی بخش‌های شمال شرقی حوضه، مقدار VCI به بیشینهٔ خود (۰/۴۵) رسیده که نشان‌دهندهٔ وضعیت بهتر پوشش گیاهی و سلامت بیشتر گیاهان در این مناطق است. شکل ۷ (ب) روند تغییرات شاخص VCI را به‌صورت میانگین در کل پهنهٔ حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» نشان‌می‌دهد. این روند نزولی بیانگر کاهش سلامت پوشش گیاهی و افزایش خشکسالی در طول دورهٔ مورد مطالعه است. شیب نزولی تند این شاخص، که ضریب تبیین R^2 آن برابر با ۰/۲۱ است، نشان‌می‌دهد که پوشش گیاهی در حال تجربهٔ کاهش کیفیت و سلامت است و این وضعیت می‌تواند در آینده به نگرانی‌های بیشتر در خصوص خشکسالی دامن بزند.



شکل ۷: الف) نقشهٔ شاخص خشکسالی VCI، ب) روند شاخص خشکسالی VCI حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

شاخص VHI با ترکیب شاخص‌های VCI و TCI، تصویری جامع از وضعیت پوشش گیاهی و میزان تنش آن ارائه می‌دهد. در شکل ۸ (الف)، نقشهٔ شاخص VHI برای حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در طول سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، در مناطق جنوب غربی و شمال شرقی حوضه، مقادیر بالای VHI(۰/۰۶۸) نشان‌دهندهٔ وضعیت سالم پوشش گیاهی در این نواحی است اما در قسمت‌های مرکزی حوضه، مقادیر منفی VHI (۰/۰۳۸-) وضعیت حاد خشکسالی و آسیب‌دیدگی شدید پوشش گیاهی را نشان‌می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده در این شاخص، تقریباً مشابه با نتایج شاخص VCI بوده است. شکل ۸ (ب) روند تغییرات شاخص VHI را نشان‌می‌دهد که در سال‌های اخیر روندی نزولی داشته است. این روند نزولی به افزایش خشکسالی و کاهش سلامت پوشش گیاهی اشاره دارد. بررسی سه شاخص TCI، VCI و VHI نشان‌می‌دهد که در سال ۲۰۲۰، حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» به‌طور خاص با شرایط حادّ خشکسالی مواجه بوده و خشکسالی کل منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. با این حال، مناطق مرکزی و بخش‌هایی از شمال شرق بیشترین آسیب را متحمل شده‌اند. با توجه به این نتایج، می‌توان گفت که فعالیت‌های کشاورزی بهتر است به مناطق جنوب غرب و شمال شرق حوضه منتقل شوند، جایی که وضعیت پوشش گیاهی سالم‌تر و تنش خشکسالی کمتر است.



شکل ۸: الف) نقشهٔ شاخص خشکسالی VHI، ب) روند شاخص خشکسالی VHI حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

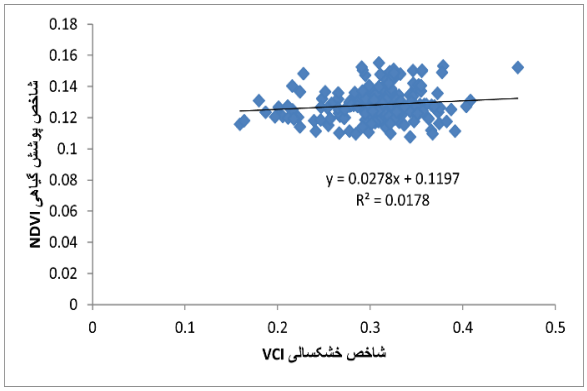
در این بخش از مطالعه، نتایج همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی (VCI, TCI, VHI) و دو پارامتر مهم تأثیرگذار بر آن‌ها LST و NDVI بررسی شده است. جدول ۱ نشان‌می‌دهد که شاخص VHI با شاخص NDVI در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطهٔ مستقیمی داشته، به این معنی که با افزایشNDVI ، مقدار VHI نیز افزایش یافته و وضعیت پوشش گیاهی بهتر شده است. به همین ترتیب، شاخص VCI نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد همبستگی مستقیمی با NDVI دارد. این‌امر نشان‌دهندهٔ این است که تغییرات مثبت در سلامت پوشش گیاهی افزایش(NDVI) تأثیر مثبتی بر VCI و VHI دارد. در مقابل، شاخص TCI با NDVI در سطح ۹۹ درصد همبستگی معکوس نشان داده است. این موضوع به این معناست که با افزایش دمای سطح زمین و تنش گرمایی(TCI) ، مقدار NDVI کاهش یافته و به‌دنبال آن، سلامت پوشش‌گیاهی ضعیف‌تر شده است. در رابطه با شاخص دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های خشکسالی، نتایج نشان داده است که بدون سطح اطمینان مشخص، نتایج مشابهی با همبستگی NDVI به‌دست

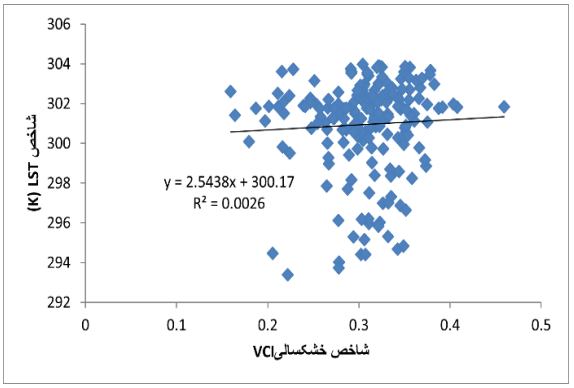
آمده است. به‌طور کلی، می‌توان استنباط کرد که با کاهش مقادیر VHI و VCI و افزایش TCI که نشان‌دهندهٔ وقوع خشکسالی است، سلامت پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. شکل ۹ نشان‌دهندهٔ روابط رگرسیونی و ضریب تعیین R^2 بین شاخص‌های خشکسالی و پارامترهای LST و NDVI است. این نتایج نیز با همبستگی‌هایی که در جدول ۱ مشاهده شد، همخوانی دارند. به‌طور خاص، شاخص NDVI نقش مهمی در افزایش یا کاهش شاخص VHI داشته است که نشان‌می‌دهد وضعیت پوشش گیاهی به‌شدت به تغییرات NDVI وابسته است. وضعیت سایر پارامترهای مورد بررسی در جدول ۱ به تفصیل ارائه شده است.

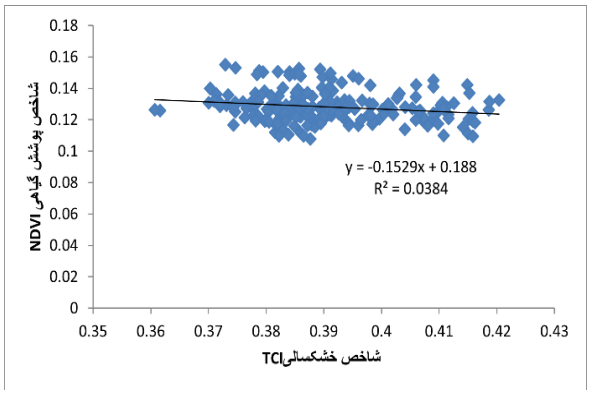
جدول ۱: نتایج همبستگی و ضریب تعیین شاخص‌های خشکسالی با NDVI و LST

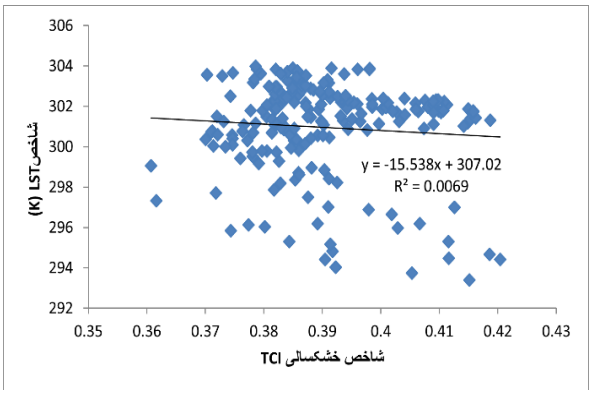
شاخص‌ها		VHI	VCI	TCI
NDVI	همبستگی پیرسون (R)	۰/۳۴۴**	۰/۱۳۳*	-۰/۱۹۶**
	R^2	۰/۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳۸
LST	همبستگی پیرسون(R)	۰/۰۱۳	۰/۰۵۱	-۰/۰۸۳
	R^2	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۶۹

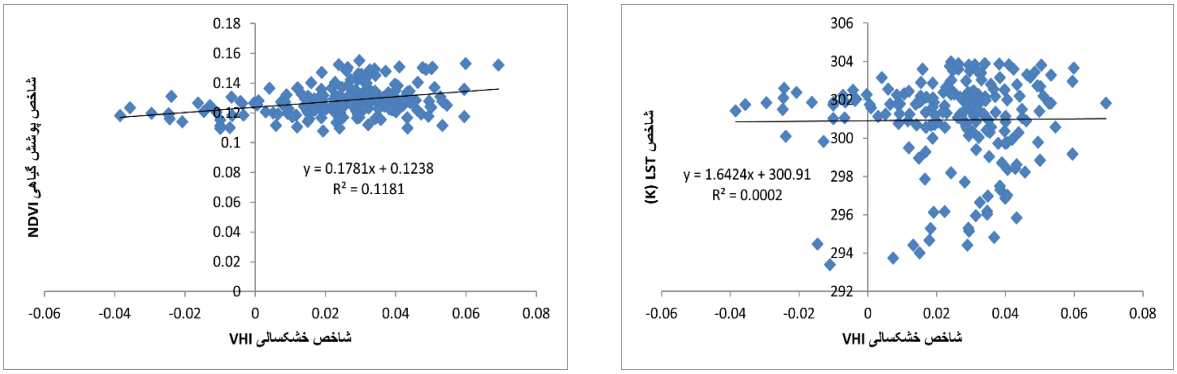
مأخذ: *نگارندگان*، ۱۴۰۳ *همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد











شکل ۹: روابط رگرسیونی و ضریب تعیین شاخص‌های خشکسالی با پارامترهای LST و NDVI

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، مناطقی که شرایط وقوع خشکسالی در حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای» را داشته‌اند، مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی شاخص‌های مختلف خشکسالی و پارامترهای مرتبط، مشخص‌شد که افزایش دما و کاهش رطوبت خاک در منطقهٔ جنوب غرب حوضهٔ آبخیز «رضی‌چای»، تأثیرات قابل توجهی بر پوشش گیاهی و وضعیت خشکسالی منطقه داشته است. شاخص «NDVI» به‌خصوص در مناطق مرکزی که نشان‌دهندهٔ تنش شدید گیاهی می‌باشد، کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان‌داد که با افزایش شاخص «TCI» و کاهش شاخص‌های «VCI» و «VHI» منطقه با خشکسالی شدیدتری مواجه شده است. همبستگی شاخص‌های خشکسالی با پارامترهای «NDVI» و «LST» نیز تأییدکرد که شاخص «VHI» رابطهٔ مستقیمی با «NDVI» در سطح اطمینان ۹۹ درصد و شاخص «VCI» در سطح ۹۵ درصد دارد در حالی‌که شاخص «TCI» همبستگی معکوس با «NDVI» داشته است. در نهایت، یافته‌ها نشان‌دادند که در سال ۲۰۲۰ خشکسالی به‌شدت حادّ بوده و با توجه به روند افزایشی دما و کاهش رطوبت خاک، وضعیت پوشش گیاهی منطقه با مشکلات جدی مواجه شده است. این نتایج به‌دست‌آمده با نتایج دیگر محققین هم‌سو بوده است همان‌طور که داوودآباد فراهانی و همکاران (۱۴۰۰) در پایش خشکسالی استان مرکزی بیان‌داشتند؛ شاخص «VHI» با شاخص «NDVI» رابطهٔ مستقیمی داشته است. دماوندی و همکاران (۱۳۹۵) نیز اذعان‌نمودند نتایج شاخص «VHI» دقت بسیار مناسبی در پایش خشکسالی داشته است.

منابع

احمدی، رویا؛ هدی قاسمیه؛ رضا قضاوی (۱۴۰۳). ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: زیرحوضه‌هایی از حوضه آبریز فلات مرکزی)، هیدروژئومورفولوژی.

10.22034/hyd.2024.62269.1746

احمدی، محمود؛ کاظم نصرتی؛ هیوا سلکی (۱۳۹۲). خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک مطالعه موردی: کبوترآباد اصفهان، جغرافیا. دوره ۱۱. شماره ۳۸، صفحات ۹۱-۷۷.

آرخی، صالح؛ مرضیه برزگرسواسری؛ سمیه عمادالدین (۱۴۰۱). بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی با تصاویر مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران)، جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۱۱. شماره ۳. صفحات ۲۲۴-۱۸۹.

10.22067/geoeh.2021.72253.1102

اسکندری‌دامنه، هادی؛ حامد اسکندری‌دامنه؛ حسن خسروی؛ احمد گیلوری؛ محسن عادلی ساردوئی (۱۴۰۰). پایش اثرات خشکسالی بر شاخص‌های محیطی حاصل از سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ (مطالعه موردی: مراتع استان اصفهان)، مرتع. دوره ۱۵. شماره ۳. صفحات ۴۷۶-۴۶۰.

20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7

داودآبادی‌فراهانی، محمدحسین؛ علیرضا شریفی؛ مهدی عربی (۱۴۰۰). پایش خشکسالی کشاورزی استان مرکزی با استفاده از شاخص‌های VHI و PDSI، علوم و فنون نقشه برداری. دوره ۱۱. شماره ۳. صفحات ۱۰۰-۸۳.

20.1001.1.2322102.1400.11.3.7.9

دماوندی، علی‌اکبر؛ محمد رحیمی؛ محمدرضا یزدانی؛ علی‌اکبر نوروزی (۱۳۹۵). پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی شاخص‌های NDVI و LST داده‌های MODIS (مطالعه موردی: استان مرکزی)، اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۵. شماره ۹۹. صفحات ۱۲۶-۱۱۵.

https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.23200

راهی، غلامرضا؛ فاطمه بحرینی؛ محمد خسروشاهی؛ لیلا بیابانی (۱۴۰۰). تاثیر خشکسالی بر فراوانی وقوع پدیده گردوغبار (مطالعه موردی: استان بوشهر)، حفاظت آب و خاک. دوره ۲۹. شماره ۱. صفحات ۵۱-۳۱.

10.22069/JWSC.2022.19677.3511

سیاسر، هادی؛ امالنبی محمدرضاپور؛ مهرانه خدامرادپور (۱۴۰۳). پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجندهٔ MODIS و مقایسه با شاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت مطالعهٔ موردی: استان گلستان، جغرافیا و توسعه. دوره ۲۲. شماره ۷۴. صفحات ۱۸۶-۱۶۶.

DOI: 10.22111/GDIJ.2024.8175

صفدری مولان، امین؛ عادل مردانه (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات خشکسالی با شاخص خشکی دمایی- پوشش گیاهی (TVDI) و ارتباط آن با عوامل جوی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیاه‌کوه)، آب و توسعه پایدار.دوره۱۰. شماره۳. صفحات ۱۰۸-۹۹.

10.22067/JWSD.V10I3.2305-1243

عابدینی، موسی؛ فریده بهرامی‌نیا؛ رئوف مصطفی‌زاده؛ امیرحسام پاسبان (۱۴۰۲). بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای، جغرافیا و مطالعات محیطی. دوره ۱۲. شماره ۴۵. صفحات ۱۳۳-۱۱۴.

20.1001.1.20087845.1402.12.45.7.9

عابدینی، موسی؛ احسان قلعه؛ نازفر آقازاده؛ مریم محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۱). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۲۲. شماره ۶۷. صفحات ۳۹۳-۳۷۵.

20.1001.1.22287736.1401.22.67.18.5

عابدینی، موسی؛ مریم محمدزاده‌شیشه‌گران؛ احسان قلعه (۱۴۰۱). پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۳۳. شماره ۴. صفحات ۶۲ -۴۹.

10.22108/GEP.2022.131560.1470

فرامرزی، محمد؛ حمید نوری (۱۳۹۴). بررسی و امکان‌سنجی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره لندست در تحلیل خشکسالی کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان ملایر)، تحقیقات جغرافیایی. دوره ۳۰. شماره ۳. صفحات ۱۵۲-۱۳۹.

http://georesearch.ir/article-1-138-fa.html

فیض‌اله‌پور، مهدی (۱۴۰۳). پایش تنش رطوبتی و خشکسالی بر پایه تحلیل همبستگی بین شاخص‌های طیفی مبتنی بر رطوبت، پوشش گیاهی و دما در محدوده تالاب شادگان. هیدروژئومورفولوژی.

https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60376.1727

نوری‌پوردرگزی، محسن؛ ام‌البنین بذرافشان؛ یحیی اسماعیل‌پور (۱۴۰۱). پایش خشکسالی کشاورزی با تاکید بر داده‌های اقلیم، پوشش گیاهی و رطوبت خاک در استان هرمزگان، نیوار. دوره ۴۶. شماره ۱۱۶. صفحات ۱۷۸-۱۶۳.

10.30467/NIVAR.2022.352541.1224

نیک‌پور، نورالله؛ حسین نگارش؛ صمد فتوحی؛ سیدزین‌العابدین حسینی؛ شهرام بهرامی (۱۳۹۷). پایش روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، یکی از مهمترین شاخص‌های تخریب سرزمین (در استان ایلام)، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. دوره ۵. شماره ۴. صفحات ۴۸-۲۱.

http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.5.4.21

References

Balti, H., Ben Abbes, A., Mellouli, N., Farah, I.R., Sang, Y., Lamolle, M (2020). A review of drought monitoring with big data: Issues, methods, challenges and research directions, Ecological Informatics 60.

https:// doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101136 101136.

Bento, V.A., Gouveia, C.M., DaCamara, C.C., Trigo, I. F (2018). A climatological assessment of drought impact on vegetation health index, Agricultural and Forest Meteorology, Vol 259, 286-295.

DOI:10.1016/j.agrformet.2018.05.014

Das, P. K., Chandra, S., Das, D. K., Midya, S. K., Paul, A., Bandyopadhyay, S., Dadhwal, V. K (2020). Understanding the interactions between meteorological and soil moisture drought over Indian region, Journal of Earth System Science, Vol 129, N 1, 1-17.

https://doi.org/10.1007/s12040-020-01460-7

Javed, T., Yao, N., Chen, X., Suon, S., Li, Y (2020). Drought evolution indicated by meteorological and remote-sensing drought indices under different land cover types in China, Environmental Science and Pollution Research, Vol 27, N 4, 4258–4274.
DOI: 10.1007/s11356-019-06629-2

Jehanzaib, M., Sattar, M.N., Lee, J.H., Kim, T. W (2020). Investigating effect of climate change on drought propagation from meteorological to hydrological drought using multi-model ensemble projections, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol 34, N 1, 7-21.
https://doi.org/10.1038/nclimate1633

Ji, T., Li, G., Yang, H., Liu, R., He, T (2018). Comprehensive drought index as an indicator for use in drought monitoring integrating multisource remote sensing data: a case study covering the Sichuan-Chongqing region, International Journal of Remote Sensing, Vol39, N 3, 786-809.
DOI:10.1080/01431161.2017.1392635

Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K.A., Wang, L (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring, Agricultural and Forest Meteorology, Vol 268, 74-85.
https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.008

Kogan, F.N **(**1990**).** Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas, International Journal of Remote Sensing, Vol 11, N 8, 1405-1419.
https://doi.org/10.1080/01431169008955102

Konapala, G., Mishra, A.K., Wada, Y., Mann, M. E (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation, Nature Communications,Vol.11,N 1,3044.
DOI:10.1038/s41467-020-16757-w

Li, X., Li, Y., Chen, A., Gao, M., Slette, I. J., Piao, S (2019). The impact of the 2009/2010 drought on vegetation growth and terrestrial carbon balance in Southwest China, Agricultural and Forest Meteorology, Vol 269, 239-248.
DOI:10.1016/j.agrformet.2019.01.036

Masroor, M.D., Haroon, S., Sufia, R., Roshani, S., Hibjur Rahaman, M.D., Mehbub, S., Raihan, A., Ram, A (2022). Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari middle sub-basin, India, Geoscience Frontiers, Vol 13, V 2, 1-13.
DOI:10.1016/j.gsf.2021.101312

Mbatha, N., Xulu, S (2018). Time series analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of recent intense drought. Climate, Vol 6, N 4, 95.
https://doi.org/10.3390/cli6040095

Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J (2018). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In Proceedings of the AMS 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17-22 January, 179-184.
DOI: 10.4236/jwarp.2016.87058

Santos, C., Augusto, G., Brasil, N., Reginaldo, M., Nascimento, Thiago V., Silva, R., Mishra, M., Frade, T. G (2021). Geospatial drought severity analysis based on Persiann-Cdr-estimated rainfall data for Odisha state in India (1983–2018), Science of The Total Environment, Vol 750, 141-258.
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141258

Serrano, S.M., Beguerıa, S., Lopez-Moreno, J. I (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Journal of Climate,Vol.23, N.7,1696-1718.
DOI: https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Shao, W., Kam, J (2020). Retrospective and prospective evaluations of drought and flood, Science of The Total Environment, pp. 748.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141155

Singh, S., Bhardwaj, A., Verma, V (2020). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India, Journal of Environmental Management, Vol 262, 11035.
DOI:10.1016/j.jenvman.2020.110355

Walker, J. P. Houser, P. R (2004). Requirements of a global near-surface soil moisture mission: accuracy, repeat time, and spatial resolution, Advances in Water Resources, Vol 27, 785-801.
DOI:10.1016/j.advwatres.2004.05.006

Yao, J., Zhao, Y., Chen, Y., Yu, X., Zhang, R (2018). Multi-scale assessments of droughts: A case study in Xinjiang China, Science of the Total Environment, Vol 630, 444-452.
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.200

Yu, Y., Wang, J., Cheng, F., Deng, H., Chen, S (2020). Drought monitoring in Yunnan Province based on a TRMM precipitation product, Natural Hazards, Vol 104, N 3, 2369-2387.
DOI:10.1007/s11069-020-04276-2