

Research Paper



Moisture stress and drought monitoring based on correlation analysis between spectral indices based on humidity, vegetation cover and temperature in Shadgan Wetland



Mehdi Feyzolahpour

1. Associate Professor, Geomorphology, University of Zanjan. feyzolahpour@znu.ac.ir

Keywords

Spectral index, moisture stress, vegetation, drought, Shadgan wetland,

ABSTRACT

Introduction

Climate change is one of the most important challenges facing the world. It is predicted that climate change will cause changes in climate patterns and increase the frequency of extreme weather events. One of these climate aggravation phenomena is drought. It is estimated that 55 million people are affected by drought every year. Drought occurs slowly and develops gradually. This makes it difficult to determine when it starts and ends. The onset and development of the drought was subtle and slow, but the residual effects are devastating. Lack of water, destruction of the environment, loss of agricultural production, negative impact on human health, hunger and food crises are among the consequences of drought. Drought is a relative situation and should be interpreted separately in each region. Each drought is different in terms of intensity, duration and spatial extent. Drought is defined as a recurring and avoidable phenomenon that is characterized by a lack of rainfall and a lack of water needed by humans. Drought can also be defined as a period of unexpectedly dry weather in which a lack of rainfall causes a hydrological imbalance.

Methodology

Early diagnosis of drought and prediction of its occurrence will reduce costs and save lives of a large number of people. Various methods have been used in this research. The innovation of this research is that it combines the most common spectral indices and its purpose is to create correlation among these indices. After the calculations and analyses, it is possible to numerically compare the performance of 8 indexes MSI, NDII, NMI, NDVI, NDWI, SIWSI, SR and VCI. These conclusions help users to determine which spectral indices to use to identify and monitor drought in the central parts of Iran. The indicators can be estimated using any software that performs mathematical calculations. Arc map software was used in this research. After applying appropriate equations for each index, each pixel contains values of drought, vegetation health and water stress. This provides classification of areas into very dry, moderately dry, and no-drought classes. This research is focused on the use and correlation analysis of 8 different remote sensing indicators. Remote sensing data processing is an effective approach for

Received: 2024/02/01

Accepted: 2024/06/04

Published: 2026/01/12

*Correspondin Author: Mehdi Feyzolahpour, feyzolahpour@znu.ac.ir

How to cite this article: Feyzolahpour, Mehdi. (2025). Moisture stress and drought monitoring based on correlation analysis between spectral indices based on humidity, vegetation cover and temperature in Shadgan Wetland. *Hydrogeomorphology*, 12(45): 1 –19.

DOI: [10.22034/hyd.2024.60376.1727](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60376.1727)



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

monitoring environmental trends and is an essential source of information about the Earth's surface. This research is based on a set of Landsat satellite images with a resolution of 30 meters and was collected for the month of August from 2018 to 2023. After that, using the algebraic part, selected spectral indices that can be used for drought diagnosis and analysis were calculated.

Results and Discussion

Based on the distribution diagram and correlation matrix, it was observed that there was a very strong correlation between some indicators and weak correlation was observed between other indicators or that there was no correlation. For example, NDVI and SR indices show a very strong positive correlation, where the correlation coefficient was equal to 0.97. The very strong positive correlation is the result of the fact that both indices, due to their nature, indicate the health of the vegetation and use the same spectral channel. An example of a very strong negative correlation has been established between NDWI and NMI, where the values of -0.69 have been obtained, and MSI and VCI indices are examples where there is no correlation. There is a high negative correlation between the NDWI and NMI indices because NDWI indicates the lack of water and NMI indicates the amount of moisture. There is no relationship between the MSI and VCI indices because the VCI is calculated from several satellite images and the MSI index is estimated from only one image. In addition, these two indicators use different spectral bands.

Conclusions

Indicators that use the same or close spectral bands show high correlation. The amount of correlation coefficient directly depends on the nature of the index. For example, NDVI and SR indices had a very high positive correlation because both indicators show the health of vegetation, while NDWI and NMI indices had a very high negative correlation. Considering that the NDWI index indicates the lack of water and the NMI indicates the amount of moisture, therefore, these indices have an inverse relationship with each other. Placing the indices in the corresponding correlation groups based on the Chadwick scale showed that the LST, NMI, MSI and NDWI indices are the most appropriate and the NDVI and VCI indices are the weakest indices for drought monitoring. The years 2019 and 2023 were classified as the most serious drought years, and on this occasion, 392 and 381 square kilometers of the studied area were affected by moisture stress and drought. Considering that only the month of August has been observed, high temperature can be determined as a factor that causes the further expansion of the drought area, which can be recognized by spectral indices. This conclusion is associated with the fact that all indices except SR, VCI and NDVI indices had a higher correlation with the earth's surface temperature.

مقاله پژوهشی



پایش تنش رطوبتی و خشکسالی بر پایه تحلیل همبستگی بین شاخص های طیفی مبتنی بر رطوبت، پوشش گیاهی و دما در محدوده تالاب شادگان



مهدی فیض اله پور

دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، ایران. feyzolahpour@znu.ac.ir

کلیدواژه‌ها

شاخص طیفی، تنش رطوبتی، پوشش گیاهی، خشکسالی، تالاب شادگان

چکیده

خشکسالی پس از طوفان پر هزینه ترین رویداد آب و هوایی جهان به شمار می آید. تشخیص به موقع خشکسالی و پیش بینی وقوع آن باعث کاهش هزینه ها و نجات جان انسان ها می گردد. از طریق تصاویر ماهواره ای امکان پایش شاخص های خشکسالی در مناطق وسیع امکان پذیر می باشد. در این تحقیق به منظور ارزیابی بهترین شاخص در برآورد تنش رطوبتی و خشکسالی از ۸ شاخص VCI, NDWI, NDVI, VCI, NDWI, NDVI, MSI, SIWSI, NDII و NMI استفاده شده و تالاب شادگان در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تغییرات دمایی نیز از شاخص LST بهره گرفته شد. به منظور تعیین مناسب ترین شاخص، ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص ها برآورد شده و کارایی هر شاخص در مقیاس چادوک نشان داده شد. بر این اساس شاخص های NDWI, MSI, NDVI و LST بیشترین همبستگی را داشته و بر اساس مقیاس چادوک در ۵ مورد، شاخص های NDWI و MSI از همبستگی قوی و بسیار قوی برخوردار بوده و بین این دو شاخص همبستگی قوی در حدود ۰/۹۹- برقرار بوده است. همبستگی بین دو شاخص LST و NDWI نیز به صورت منفی بوده و حدود ۰/۷۳- برآورد گردید. به علت حاکمیت شرایط نیمه خشک در منطقه، شاخص های 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. لذا بر این اساس می توان چنین نتیجه گیری کرد که در تالاب شادگان شاخص های مبتنی بر تنش های رطوبتی و دمایی نسبت به شاخص های پوشش گیاهی از قابلیت بهتری در برآورد خشکسالی برخوردار بوده اند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲

ارجاع به این مقاله: فیض اله پور، مهدی (۱۴۰۳). عنوان مقاله پایش تنش رطوبتی و خشکسالی بر پایه تحلیل همبستگی بین شاخص های طیفی مبتنی بر رطوبت، پوشش گیاهی و دما در محدوده تالاب شادگان. هیدروژئومورفولوژی، ۱۲ (۴۵): ۱-۱۹.

*نویسنده

مسئول: مهدی فیض اله پور

رایانامه: feyzolahpour@znu.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2024.60376.1727



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش های پیش روی جهان می باشد. پیش بینی می شود که تغییرات آب و هوایی باعث تغییر در الگوهای اقلیمی و افزایش فراوانی رویدادهای شدید آب و هوایی گردد (گولاسی^۱ و کوواس، ۲۰۱۵: ۱۶). یکی از این پدیده های تشدید آب و هوایی، خشکسالی است. تخمین زده می شود که سالانه ۵۵ میلیون نفر تحت تاثیر خشکسالی قرار می گیرند (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۳: ۳۴). خشکسالی به آرامی رخ داده و به تدریج توسعه می یابد. این امر تعیین زمان آغاز و پایان آن را دشوار می سازد. شروع و توسعه خشکسالی نامحسوس و کند بوده لیکن اثرات باقی مانده ویرانگر هستند. کمبود آب، تخریب محیط زیست، از بین رفتن تولیدات کشاورزی، تاثیر منفی بر سلامت انسان، گرسنگی و بحران های غذایی از جمله پیامدهایی هستند که خشکسالی بر جای می گذارد. خشکسالی یک وضعیت نسبی بوده و بایستی در هر منطقه ای جداگانه تفسیر شود. هر خشکسالی از نظر شدت، مدت و وسعت مکانی با یکدیگر متفاوت هستند (دو^۲ و همکاران، ۲۰۱۸: ۶۶۱). خشکسالی به عنوان پدیده ای تکرار شونده و اجتناب پذیر تعریف می شود که با کمبود بارندگی و کمبود آب مورد نیاز انسان ها مشخص می شود. همچنین خشکسالی را می توان دوره ای از هوای خشک غیر منتظره تعریف کرد که در آن کمبود بارندگی باعث عدم تعادل هیدرولوژیک می شود (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۰۶: ۴۱).

بسته به عوامل محیطی، خشکسالی را می توان به چهار نوع اصلی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی طبقه بندی کرد. خشکسالی هواشناسی در نتیجه تغییرات متغیرهای هواشناسی مانند بارندگی رخ می دهد. همچنین با تبخیر مداوم آب و کاهش منابع آبی، خشکسالی کشاورزی به وقوع می پیوندد. این پدیده به طور مستقیم بر تولیدات کشاورزی تاثیر می گذارد. خشکسالی هیدرولوژیک در نتیجه کاهش جریان رودخانه ها که کمتر از میانگین بلند مدت است رخ می دهد. همه موارد فوق در تقاضا برای کالاهای تجاری نیز منعکس شده و تاثیر منفی بر جامعه، اقتصاد و محیط زیست می گذارد. اصطلاحاتی که چنین وضعیتی را توصیف می کند خشکسالی اجتماعی و اقتصادی می باشد. خشکسالی اصطلاحی است که کمبود آب ناشی از عدم تعادل بین سیستم بارش طبیعی، توزیع آب های سطحی و زیرزمینی، مصارف انسانی و زهکشی آب را به هم مرتبط می سازد (وارول^۳ و همکاران، ۲۰۲۳: ۱۶، وون^۴ و کیم، ۲۰۲۳: ۳۴۲). خشکسالی تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند بارندگی، دما و رطوبت خاک قرار دارد. خشکسالی مستقیماً معیشت مردم را تهدید کرده و با افزایش خطر ابتلا به بیماری و مرگ، باعث مهاجرت گسترده می شود. در بین فاکتورهای اقتصادی، کشاورزی بخشی از اقتصاد است که با بیشترین خطرات در ارتباط خشکسالی مواجه است (وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۲: ۴۹۸۳). بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی (۲۰۰۶) کمبود آب ۴۰ درصد از جمعیت جهان را تحت تاثیر قرار داده و تا سال ۲۰۳۰، حدود ۷۰۰ میلیون نفر در معرض خطر آواره شدن به دلیل خشکسالی هستند. افزایش دمای ناشی از تغییرات آب و هوایی، مناطق خشک را خشک تر و مناطق مرطوب را مرطوب تر می کند. این بدان معناست که در مناطق خشک با افزایش دما، آب سریع تر تبخیر شده و در نتیجه خطر خشکسالی یا طولانی شدن دوره خشکسالی افزایش می یابد.

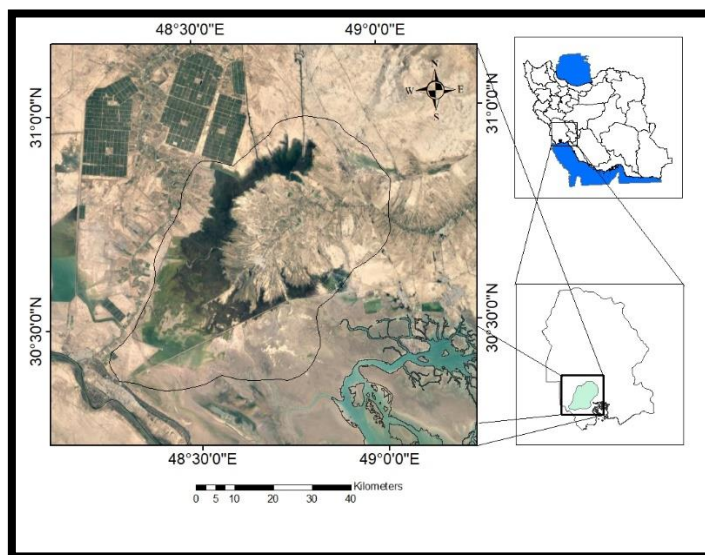
از جمله کاربردهای متعدد سنجش از دور، تشخیص و پایش خشکسالی است. دو و همکاران (۲۰۱۸) با بهره گیری از تصاویر مودیس در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ و شاخص های طیفی VCI، NDWI، LSWI، TCI، VHI و NDDI، تنش آبی را بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که تنش آبی با بارش و دما در ارتباط است. آمالو^۶ و همکاران (۲۰۱۷) با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای مودیس و شاخص های VCI، NDVI، TCI، VHI، خشکسالی را در منطقه جاده شرقی اندونزی مورد بررسی قرار دادند. شهفهاد^۷ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست و شاخص های TCI، VCI، خشکسالی را در دوره های پس از موسمی هند مورد مطالعه

¹ Gulácsi⁴ Won⁷ Shahfahad² Du⁵ Wang³ Varol⁶ Amalo

قرار دادند. سان^۱ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص های VCI، TCI، خشکسالی های شمال قزاقستان را مطالعه کردند. واسی^۲ و همکاران (۲۰۲۲) خشکسالی های کشاورزی را با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس در کشور اتوپی شناسایی و طبقه بندی کردند. مورالی^۳ و همکاران (۲۰۲۳) ویژگی های مکانی و زمانی خشکسالی در هند را بررسی کردند. در این تحقیق از شاخص بارش استاندارد و شاخص SWI استفاده شد. رنزا^۴ و همکاران (۲۰۱۰) شاخص های NDWI و NDDI را در قالب تصاویر لندست تولید کرده و بدین وسیله شرایط خشکسالی را در مادرید برآورد نمودند. آنها داده های عددی را با بارش و دما مقایسه کرده و بدین نتیجه رسیدند که شاخص سنجش از دور می تواند مکمل داده های آماری باشد. بیجاپر^۵ و روچری (۲۰۲۲) مدل پایش خشکسالی را بر اساس شاخص های NDVI و SPI توسعه دادند. سو^۶ و همکاران (۲۰۱۷) بر اساس ترکیب داده های آماری و شاخص های طیفی، مدل جدیدی را برای پیش بینی خشکسالی در کشور چین ایجاد کردند. اینوبلی^۷ و همکاران (۲۰۲۰) برای انجام پایش خشکسالی، روش های مختلفی مانند درخت تصمیم گیری، شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی را ادغام کردند. با توجه به مواردی که ذکر شد در این تحقیق برای بررسی خشکسالی در منطقه تالاب شادگان از شاخص های طیفی مختلفی استفاده شده و روابط همبستگی بین این شاخص ها با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه با وسعتی معادل ۳۲۳۳ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. تالاب شادگان در استان خوزستان واقع شده و در نزدیک خلیج فارس قرار گرفته است. این منطقه نیز مانند سایر نقاط ایران از پدیده خشکسالی تاثیر پذیرفته و در این زمینه نه تنها عوامل اقلیمی بلکه فعالیت های انسانی نیز تاثیر گذاشته اند. تالاب شادگان بر اساس تصاویر ماهواره ای شاهد کاهش حجم بوده و لذا در این تحقیق به بررسی میزان این تغییرات پرداخته شده است. این روند به زندگی ساکنان محلی که مبتنی بر کشاورزی می باشد تاثیرات نامطلوبی بر جای گذاشته است.



شکل (۱): موقعیت مورد مطالعه در محدوده تالاب شادگان
Figure (1): The studied location in Shadgan Wetland

¹ Sun

² Wassie

³ Murali

⁴ Renza

⁵ Bijaber

⁶ Su

⁷ Inoubli

تشخیص به موقع خشکسالی و پیش بینی وقوع آن باعث کاهش هزینه ها و نجات جان تعداد زیادی از انسان ها می گردد. در این تحقیق از روش های مختلفی بهره گرفته شده است. نوآوری این تحقیق در این است که متداول ترین شاخص های طیفی را ترکیب کرده و هدف آن ایجاد همبستگی در بین این شاخص ها می باشد. پس از محاسبات و تجزیه و تحلیلها، امکان مقایسه عددی عملکرد ۸ شاخص تنش رطوبتی (MSI)، شاخص تفاوت نرمال شده مادون قرمز (NDII)، شاخص نرمال شده رطوبت (NMI)، شاخص های تنش آبی NDVI، SIWSI، NDWI، نسبت ساده (SR) و VCI امکان پذیر می باشد. این نتیجه گیری ها به کاربران کمک می کند تا مشخص کنند که برای شناسایی و پایش خشکسالی در بخش های مرکزی ایران از کدام شاخص های طیفی استفاده کنند.

ماهواره های لندست، طولانی ترین سیستم فعال برای جمع آوری تصاویر از سطح زمین به شمار می آیند. در این تحقیق از داده های ماهواره ای لندست ۸ استفاده شده است. سنجنده OLI یکی از سنجنده های ماهواره لندست ۸ می باشد. این سنجنده یک اسکنر طولی است و داده ها را با وضوح فضایی رادیومتریکی ۱۲ بیتی جمع آوری کرده و ۴۰۹۶ سایه خاکستری را تشخیص می دهد. سنجنده OLI نسبت به سنجنده ETM، بهبود یافته و دارای دو باند اضافی است. یکی از این باندها مخصوص تحقیقات در مناطق ساحلی بوده و باند دیگر در محدوده طیفی مادون قرمز موج کوتاه برای تشخیص ابرهای سیروس به کار گرفته می شود. وضوح فضایی این باندها در سنجنده OLI حدود ۳۰ متر بوده و در باند پانکروماتیک ۱۵ متر می باشد.

تعیین تفاوت بین شاخص های خشکسالی بسیار حائز اهمیت است. شاخصها برای برآورد دما، جریان آب، سطح آب زیرزمینی، رطوبت خاک و برف به کار گرفته می شوند. هدف شاخص های استفاده شده در این تحقیق، اندازه گیری وضعیت کیفی خشکسالی برای یک دوره معین است.

شاخص ها را می توان با استفاده از هر نرم افزاری که محاسبات ریاضی انجام می دهد برآورد نمود. در این تحقیق از نرم افزار Arc map استفاده شد. پس از اعمال معادلات مناسب برای هر شاخص، هر پیکسل حاوی مقادیری از خشکسالی، سلامت پوشش گیاهی و تنش آبی بوده است. این امر طبقه بندی مناطق را به طبقات بسیار خشک، خشکی متوسط و فاقد خشکسالی فراهم می کند (موخاوانا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳: ۲۴۳). پردازش داده های سنجنش از دور یک رویکرد موثر برای نظارت بر روندهای زیست محیطی بوده و منبعی ضروری از اطلاعات در مورد سطح زمین می باشند (دیدلیجا^۲ و همکاران، ۲۰۲۲: ۳۳).

شاخص تنش رطوبت (MSI) با بهره گیری از دو باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه توسط هانت^۳ و راک (۱۹۸۹) مطرح شده است. برای محاسبه این شاخص از معادله ۱ استفاده شد.

$$MSI = \frac{SWIR}{NIR} \quad (1)$$

شاخص تفاوت نرمال شده مادون قرمز (NDII) توسط فنشولت^۴ و سندهولت (۲۰۰۳) ارائه شده است. برای محاسبه این شاخص از باندهای مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه بهره گرفته شده و از طریق معادله ۲ برآورد گردید.

$$NDII = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (2)$$

شاخص رطوبت نرمال شده (NMI) توسط هاردسکی^۵ و همکاران (۱۹۸۳) مطرح شده و در آن از تفاضل دو شاخص NDVI و NDWI بهره گرفته شد. برای برآورد این شاخص از معادله زیر استفاده شد.

$$NMI = NDVI - NDWI \quad (3)$$

¹ Mukhawana

³ Hunt

⁵ Hardisky

² Didelija

⁴ Fensholt

شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) توسط راس^۱ و همکاران (۱۹۷۴) مطرح شده و در آن از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده شده است. برای برآورد این شاخص از معادله ۴ استفاده می شود:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (۴)$$

شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI) توسط گائو^۲ (۱۹۹۶) مطرح شده و در آن از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه ۱ استفاده شده و در تحقیقات مختلفی به کار گرفته شد. برای محاسبه این شاخص از معادله ۵ استفاده شد.

$$NDWI = \frac{NIR-SWIR1}{NIR+SWIR1} \quad (۵)$$

شاخص تنش آب مادون قرمز موج کوتاه (SIWSI) توسط فنس هولت^۳ و سندهولت (۲۰۰۳) مطرح شده و در آن از باندهای مادون قرمز موج کوتاه ۱ و مادون قرمز نزدیک استفاده شده است. برای محاسبه این شاخص از معادله ۶ استفاده شد.

$$SIWSI = \frac{SWIR1-NIR}{SWIR1+NIR} \quad (۶)$$

شاخص نسبت ساده (SR) توسط سیمز^۴ و گامون (۲۰۰۲) مطرح شده و در آن از باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز استفاده شد. محاسبه این شاخص از معادله ۷ بهره گرفته شد.

$$SR = \frac{NIR}{RED} \quad (۷)$$

آخرین شاخصی که برای برآورد وضعیت خشکسالی به کار گرفته شده شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) بوده و توسط کوگان^۵ (۱۹۹۰) پیشنهاد گردید. این شاخص در واقع شکی از شاخص NDVI می باشد. برای برآورد این شاخص از مقادیر حداقل و حداکثر شاخص NDVI بهره گرفته شده و از طریق معادله ۸ محاسبه شد.

$$VCI = \frac{NDVI-NDVI \min}{NDVI \max-NDVI \min} \times 100 \quad (۸)$$

دما یکی از فاکتورهای موثر در برآورد خشکسالی می باشد. تغییرات اقلیمی باعث افزایش دما گردیده است. لذا در این تحقیق از شاخص LST یا دمای سطح زمین برای بررسی تغییرات دمایی استفاده شده و روابط بین این شاخص با شاخص های دیگر مورد بررسی قرار گرفته و ضریب همبستگی پیرسون بین آنها محاسبه گردید. برای محاسبه دمای سطح زمین (LST) در ابتدا اعداد دیجیتالی باند حرارتی ۱۰ به درخشندگی در بالای اتمسفر تبدیل شدند. با فرض اینکه تابش یکنواخت بوده و از دمای جسم سیاه برخوردار است، تابش طیفی به دمای روشنائی تبدیل شد.

$$L\lambda = ML.DN + AL \quad (۹)$$

¹ Rouse³ Fensholt⁵ Kogan² Gao⁴ Sims

در این معادله $L\lambda$ تابش طیفی بالای اتمسفر، ML ضریب مقیاس بندی شده تشعشعی برای باند ۱۰، DN عدد دیجیتالی و AL ضریب مقیاس بندی شده افزایش تشعشع برای باند می باشد. برای محاسبه دمای روشنایی از معادله ۱۰ استفاده می شود:

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (10)$$

در این معادله TB دمای روشنایی، $K1$ و $K2$ ثابت ویژه باند حرارتی هستند که از فایل متادیتای لندست ۸ دانلود شده اند و $L\lambda$ تابش طیفی بالای اتمسفر می باشد.

انتشار سطح زمین برای تبدیل TB به LST ضروری بوده و با استفاده از روش پیشنهادی سابرینو^۱ و راسونی (۲۰۰۰) محاسبه می گردد. به این منظور از شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی ($NDVI$) استفاده می شود. شاخص $NDVI$ یک شاخص طیفی است که به طور گسترده برای شناسایی وجود پوشش گیاهی سبز در تصاویر ماهواره ای به کار گرفته می شود. معادله مربوط به این شاخص بصورت ۱۱ می باشد:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + 1} \quad (11)$$

در این معادله، NIR مقادیر بازتابی از باند ۵ ماهواره لندست ۸ بوده و معرف طیف مادون قرمز حرارتی می باشد، فاکتور R نیز معرف باند ۴ ماهواره لندست ۸ بوده و مقادیر بازتابی از نور قرمز را نشان می دهد.

وارونگی تابع پلانک برای تخمین LST مورد استفاده قرار گرفت که از LSE برای تصحیح اختلاف انتشار بین جسم سیاه و اهداف زمینی استفاده می کند. ندوسی^۲ و آودان (۲۰۱۶) عنوان کرده اند که این روش کارآمدتر می باشد زیرا تخمین LST به پارامترهای اتمسفری وابسته نبوده و این امر ممکن است باعث ایجاد خطا گردد. دمای بدست آمده بر حسب کلون با تفریق ۲۷۳/۱۵ به مقادیر سانتیگراد تبدیل می شود.

$$LST = \frac{TB}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot TB}{P}\right) \cdot \ln E} \quad (12)$$

در این معادله، LST دمای سطح زمین، TB درجه روشنایی، λ طول موج تابش ساطع شده، P ضریب ثابت بدست آمده از ضریب پلانک، سرعت نور و ضریب بولتزمن بوده و E از الگوریتم تخمین $NDVI$ بدست می آید.

به این ترتیب هر پیکسل یک مقدار مربوط به تمام شاخص های استفاده شده را دریافت کرده است. پس از آن برای هر شاخص در دوره زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ میانگین ارزش تمام پیکسل ها محاسبه شده و مبنای تحلیل همبستگی قرار گرفت. نتایج به دست آمده صحت سنجی شده و پس از آن نتیجه گیری شد.

یافته ها و بحث

پس از جمع آوری تمامی تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ و پس از تکمیل پردازش، محاسبات مربوط به ۸ شاخص از طریق معادلات شاخص ها انجام شد. نتایج آن در قالب ماتریس همبستگی نشان داده شد. مقادیر حداکثر در این شاخص ها نشانه ای از وضعیت بحرانی دما، تنش رطوبتی و پوشش گیاهی را نشان می دهد. مقادیر حداکثر این شاخص ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

¹ Sobrino

² Ndossi

جدول (۱): حداکثر مقادیر شاخص های طیفی در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

Table (1): the maximum values of spectral indices in the period from 2018 to 2023

شاخص	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳
LST	۸۱/۷	۵۵/۴	۵۱/۷	۵۸/۸	۶۰/۱	۵۹
MSI	۴/۴	۳/۱	۲/۲	۲/۸	۵/۱	۳/۴
NDII	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۲
NDVI	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۱
NMI	۰/۸۸	۰/۶۴	۰/۵۱	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۷۰
NDWI	۰/۵۷	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷
SIWSI	۰/۶۳	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۶۲
SR	۳/۵	۲/۶	۳/۴	۳/۱	۳	۳/۱
VCI	۹۶	۹۶	۹۴	۹۳	۹۴	۹۶

همبستگی معیاری است که میزان رابطه بین دو متغیر را توصیف می کند. با مقایسه ضرایب همبستگی با نمودارهای توابع شاخص در دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ می توان به این نکته اشاره کرد که ماتریس همبستگی خود نشانه روشنی از روابط همبستگی واقعی را نشان می دهد. از طریق روابط همبستگی، شاخص هایی که دارای بیشترین همبستگی بودند برای برآورد تغییرات مساحت انتخاب شدند. برای برآورد همبستگی بین شاخص ها به علت تعداد بالای شاخص ها و سالهای مورد مطالعه تنها از سال ۲۰۲۳ استفاده شده و پس از شناخت روابط بین شاخص ها، تحلیل های بعدی بین شاخص هایی با بیشترین همبستگی انجام شد. در جدول ۲ ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص های LST، MSI، NDII، NDVI، NDWI، NMI، SIWSI و SR و VCI نمایش داده شده است.

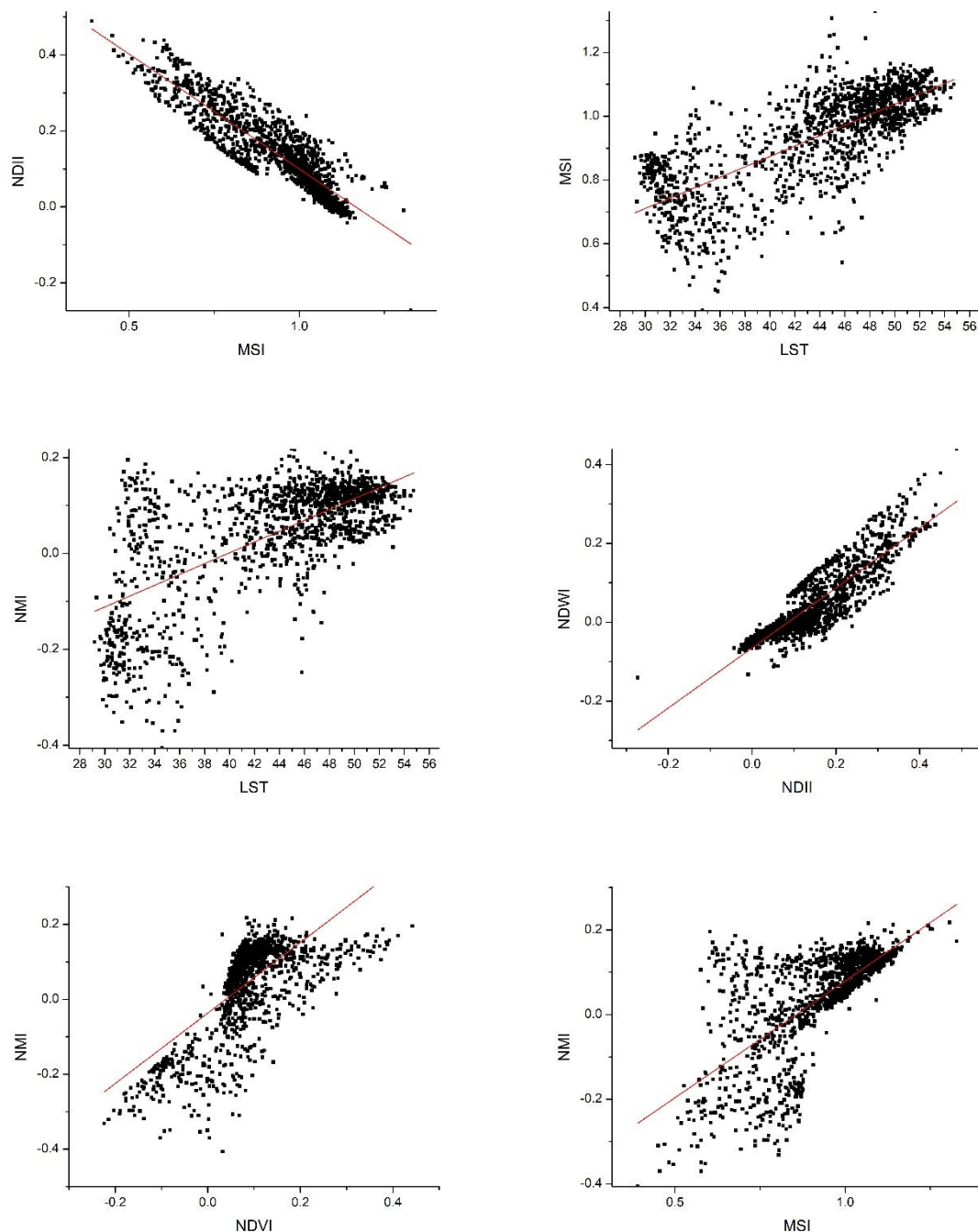
جدول (۲): ماتریس همبستگی بین ۸ شاخص طیفی در سال ۲۰۲۳

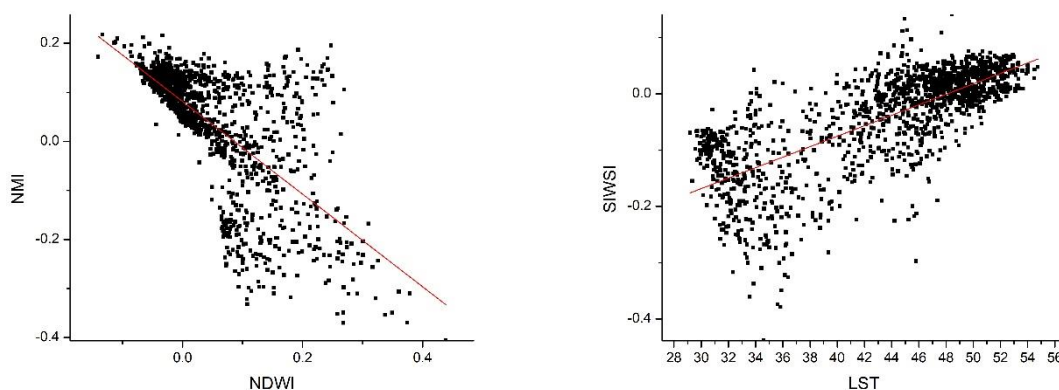
Table (2): Correlation matrix between 8 spectral indicators in 2023

VCI	SR	SIWSI	NMI	NDWI	NDVI	NDII	MSI	LST	
								۱	LST
							۱	۰/۷۵	MSI
						۱	-۰/۸۹	-۰/۵۸	NDII
					۱	۰/۲۸	-۰/۰۴	۰/۱۶	NDVI
				۱	۰/۰۵	۰/۸۸	-۰/۹۹	-۰/۷۳	NDWI
			۱	-۰/۶۹	۰/۶۷	-۰/۴۵	۰/۷۱	۰/۶۶	NMI
		۱	۰/۶۹	-۱	-۰/۰۵	-۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۷۵	SIWSI
	۱	-۰/۱۵	۰/۵۸	۰/۱۵	۰/۹۷	۰/۳۵	-۰/۱۵	۰/۰۳	SR
۱	۰/۹۷	۰/۰۵	۰/۶۷	۰/۰۵	۱	۰/۲۸	-۰/۰۴	۰/۱۶	VCI

بر اساس نمودار پراکنش و ماتریس همبستگی مشاهده شد که بین برخی شاخص ها همبستگی بسیار قوی برقرار بوده و بین شاخص های دیگر همبستگی ضعیف مشاهده شده و یا این که فاقد همبستگی بوده است. برای مثال از شاخص های NDVI و SR همبستگی مثبت بسیار قوی را نشان می دهند که در آن ضریب همبستگی معادل ۰/۹۷ بوده است. همبستگی مثبت بسیار قوی نتیجه این واقعیت است که هر دو شاخص به دلیل ماهیتشان سلامت پوشش گیاهی را نشان داده و از کانال طیفی یکسان استفاده می کنند. نمونه ای از یک همبستگی منفی بسیار قوی بین NDWI و NMI برقرار بوده که در آن مقادیر -۰/۶۹ حاصل شده است و شاخص های MSI و VCI

نمونه ای هستند که در آن هیچ ارتباطی وجود ندارد. بین شاخص های NDWI و NMI همبستگی منفی بالایی برقرار است زیرا NDWI نشان دهنده کمبود آب بوده و NMI مقدار رطوبت را نشان می دهد به عبارتی هر چه مقدار NDWI بالاتر باشد آب بیشتری از دست داده و این امر نشان دهنده مقدار کمتری از NMI بوده است. هیچ ارتباطی بین شاخص های MSI و VCI رخ نمی دهد زیرا VCI از چندین تصویر ماهواره ای محاسبه شده و شاخص MSI تنها از یک تصویر برآورد می گردد. علاوه بر این، این دو شاخص از باندهای طیفی متفاوتی استفاده می کنند. سان^۱ و همکاران (۲۰۲۰) مقادیر بالایی از ضریب همبستگی بین NDVI و SR را به دست آوردند.

¹ Sun



شکل (۲): نمودار پراکنش بین برخی از شاخص های دارای بیشترین ضریب همبستگی

Figure (2): Distribution chart between some indicators with the highest correlation coefficient

در رابطه با مقیاس چادوک مشخص شد که برخی از شاخص ها بدون همبستگی بوده و در برخی دیگر از گروه ها همبستگی قوی تری را به نمایش گذاشته اند. مقادیر فوق در جدول ۳ نشان داده شد.

جدول (۳): وضعیت شاخص های طیفی بر اساس مقیاس چادوک در سال ۲۰۲۳

Table (3): Status of spectral indicators based on the Chadwick scale in 2023

شاخص	۰/۳ - ۰/۰	۰/۵ - ۰/۳	۰/۷ - ۰/۵	۰/۹ - ۰/۷	۱ - ۰/۹
NDVI	۵	۰	۱	۰	۲
NDWI	۳	۰	۱	۲	۳
SR	۴	۱	۱	۰	۲
MSI	۳	۰	۰	۳	۲
SIWSI	۳	۰	۱	۲	۳
NDII	۲	۲	۱	۳	۰
NMI	۰	۱	۶	۱	۰
VCI	۵	۰	۱	۰	۲
LST	۳	۰	۲	۳	۰

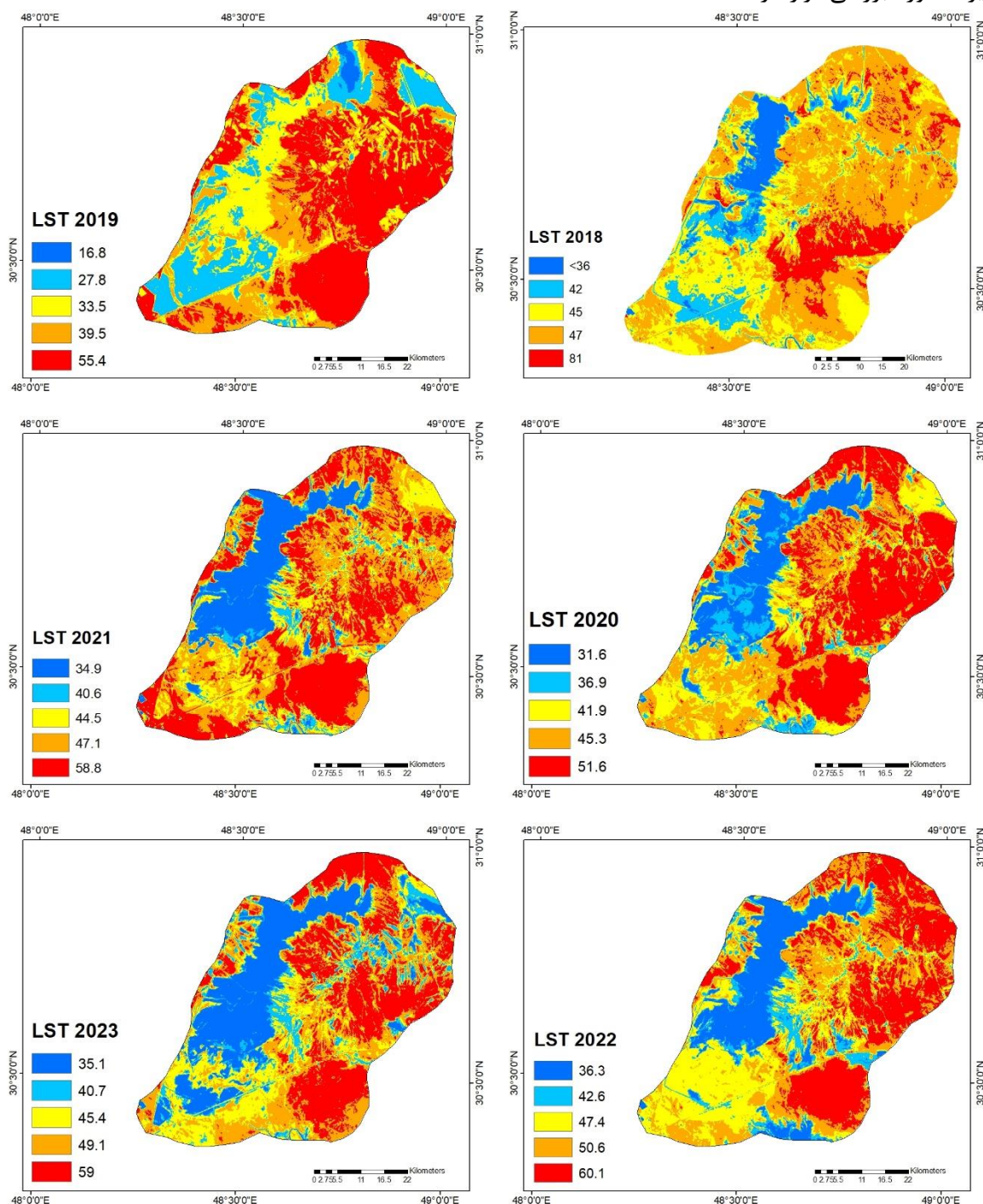
شاخص NDVI و VCI پنج بار در گروه بدون همبستگی ظاهر شده و ۲ بار در گروه با همبستگی بسیار قوی قرار گرفته است. در مقابل، شاخص های NDWI، MSI و SIWSI در مجموع ۵ بار در گروه های همبستگی قوی و بسیار قوی ظاهر شده اند. شاخص NMI در گروه همبستگی متوسط واقع شده است. در این راستا، NDVI و VCI را می توان به عنوان شاخصی توصیف کرد که در مناطق نیمه خشک به تنهایی نمی تواند برای پایش مستقیم خشکسالی ها مورد استفاده قرار گیرد در حالی که شاخص های گروه پنجم مانند NDWI و SIWSI برای هدف مذکور قابل اعتمادترین هستند (آنیامبا^۱ و توکر، ۲۰۱۲: ۲۸). کیفیت شاخص های مورد استفاده را می توان از طریق پوشش مناطق تحت خشکسالی به بهترین وجهی به صورت عددی اندازه گیری کرد. به عبارت دیگر، شاخص ها دارای مقادیر عددی متناظر با محدوده های مختلف بوده و با استفاده از محاسبات جبری و باندهای طیفی مناسب به دست می آیند. آستانه تشخیص عددی برای خشکسالی، یک واقعیت شناخته شده رایج بوده و در تحقیقات گاتهام^۲ و همکاران (۲۰۲۳) استفاده شده است. به عنوان مثال،

¹ Anyamba

² Getahun

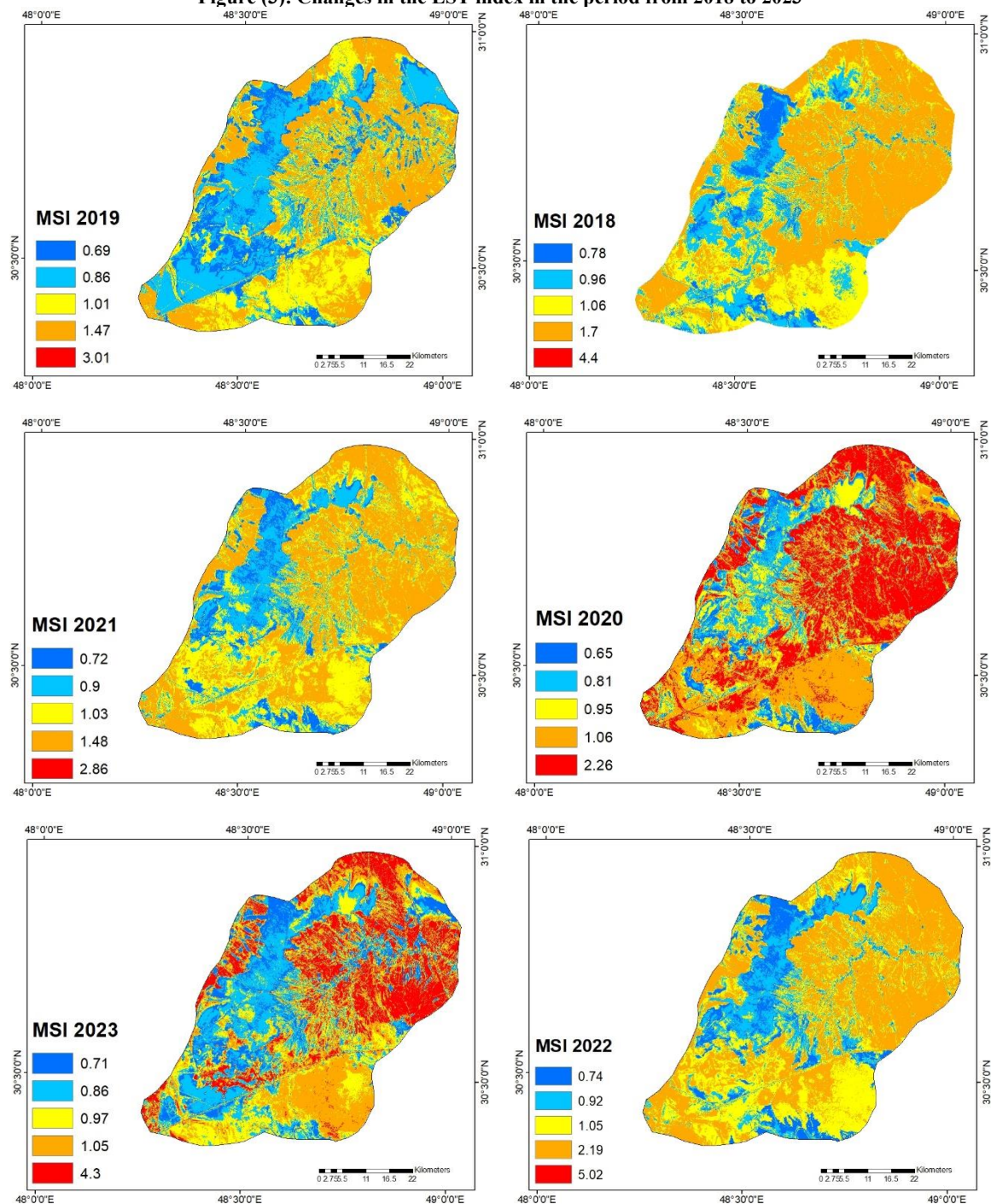
شاخص NDWI دارای محدوده ای بین -۱ و +۱ بوده که در آن هر پیکسل با مقادیر کمتر از ۰/۳۳ به عنوان خشکسالی طبقه بندی می شود.

شاخص های NDWI، MSI، NMI و LST به علت برخورداری از بیشترین مقادیر همبستگی و مقادیر مقیاس چادوک برای بررسی مساحت تغییرات مورد بررسی قرار گرفتند.



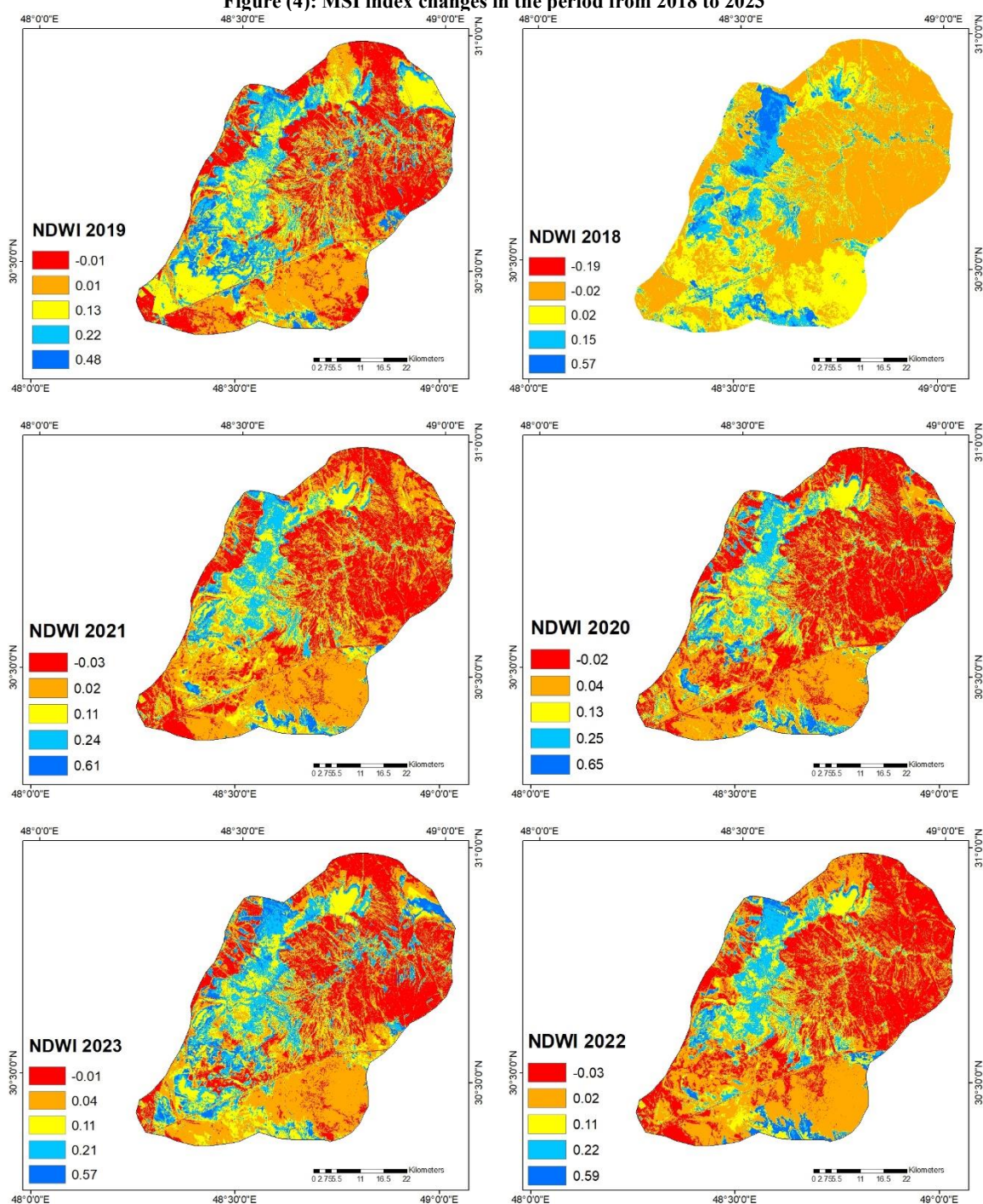
شکل (۳): تغییرات شاخص LST در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

Figure (3): Changes in the LST index in the period from 2018 to 2023



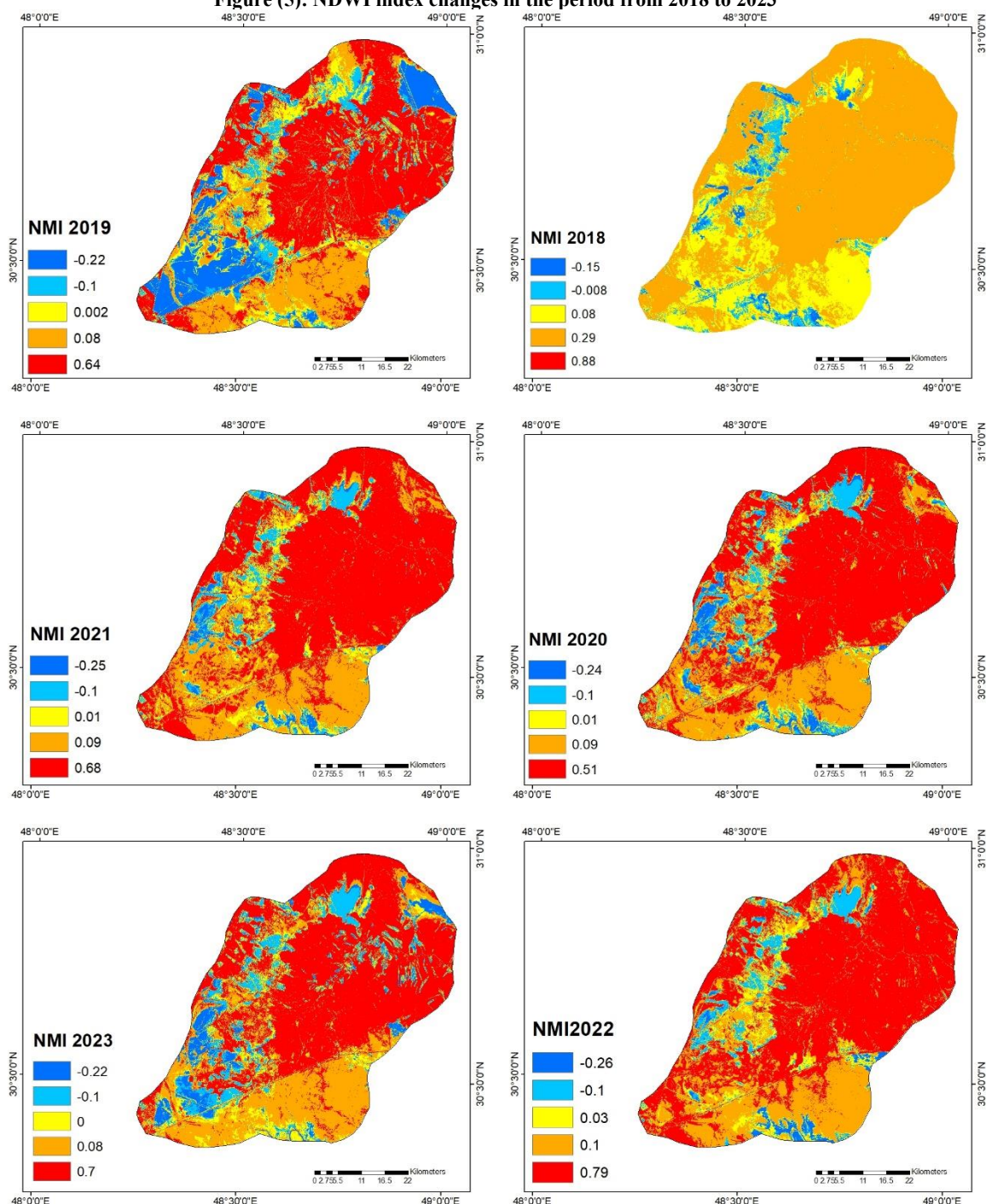
شکل (۴): تغییرات شاخص MSI در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

Figure (4): MSI index changes in the period from 2018 to 2023



شکل (۵): تغییرات شاخص NDWI در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

Figure (5): NDWI index changes in the period from 2018 to 2023



شکل (۶): تغییرات شاخص NMI در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

Figure (6): NMI index changes in the period from 2018 to 2023

شکل ۳ تا ۶ به ترتیب مقدار درصد سطح تحت پوشش شرایط خشکسالی را با توجه به معیارهای هر شاخص نشان می دهند. لازم به ذکر است که تقریباً همه شاخص ها از روند مورد انتظار پیروی می کنند. با این حال برخی از شاخص ها نسبت به سایرین نسبت به تغییرات تحمل کمتری دارند. به عنوان مثال، افزایش دما در سال های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ باعث افزایش تنش رطوبتی در قلمرو تحت خشکسالی در شاخص MSI شده که نشان دهنده تحمل کمتر آن شاخص در برابر تغییرات است. هدف این تحقیق تشخیص خشکسالی ها و تخمین مدت زمان آنها نبوده بلکه منحصرآ تحلیل همبستگی بین شاخص های طیفی بوده تا شاخص های کارآمد در پایش خشکسالی

شناسایی گردد. با توجه به اینکه خشکسالی پدیده ای است که به کندی رخ داده و به تدریج توسعه می یابد لذا لازم است که در مدت زمان طولانی تری بررسی گردد. بررسی ها نشان می دهد که بیشترین خشکسالی در سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳ رخ داده است. در این سال ها به ترتیب ۳۹۲ و ۳۸۱ کیلومتر مربع از منطقه درگیر تنش رطوبتی گردیده است. تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که شاخص های NDWI و NMI بهترین نتایج را ارائه می دهند. درجه همبستگی به ماهیت شاخص یعنی به باندهای طیفی مورد استفاده برای محاسبه ان بستگی دارد. خشکسالی اثرات بسیار منفی بر جمعیت و محیط زیست دارد (رضایی، ۲۰۲۳: ۷۸۰). حیدری و همکاران، ۲۰۲۳: ۶۲۳، ساورنتان^۱، ۲۰۲۳: ۶۱۷). از این رو شناسایی و پایش به موقع خشکسالی بسیار مهم است به این دلیل شناخت بهترین شاخص در شناسایی خشکسالی حائز اهمیت است.

جدول (۴): تغییرات مساحت شاخص *LST* در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ بر حسب کیلومتر مربع

Table (4): Changes in the area of the *LST* index in the period from 2018 to 2023 in terms of square kilometers

شاخص	۲۰۱۸		۲۰۱۹		۲۰۲۰		۲۰۲۱		۲۰۲۲		۲۰۲۳	
	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه
LST	۳۶	۲۰۳	۱۶/۸	۳۳	۳۱/۶	۴۲۳	۳۴/۹	۴۹۱	۳۶/۳	۵۰۰	۳۵/۱	۶۸۱
	۴۲	۳۱۳	۲۷/۸	۵۱۳	۳۶/۹	۲۷۲	۴۰/۶	۱۸۰	۴۲/۶	۲۶۷	۴۰/۷	۳۳۱
	۴۵	۹۱۹	۳۳/۵	۶۵۶	۴۱/۹	۵۴۲	۴۴/۵	۵۰۲	۴۷/۴	۷۶۰	۴۵/۴	۶۰۳
	۴۷	۱۴۳۸	۳۹/۵	۷۵۵	۴۵/۳	۹۴۰	۴۷/۱	۱۰۵۳	۵۰/۶	۸۲۹	۴۹/۱	۷۶۴
	۸۱	۳۵۴	۵۵/۴	۱۲۷۰	۵۱/۶	۱۰۵۱	۵۸/۸	۱۰۰۱	۶۰/۱	۸۷۲	۵۹	۸۴۸
NDWI	-۰/۱۹	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۹۱۳	-۰/۰۲	۱۲۲۱	-۰/۰۳	۱۰۴۹	-۰/۰۳	۱۱۳۰	-۰/۰۱	۹۰۶
	-۰/۰۲	۱۶۸۰	-۰/۰۵	۹۳۴	-۰/۰۴	۱۰۹۵	-۰/۰۲	۱۲۴۳	-۰/۰۲	۱۲۳۸	-۰/۰۴	۱۰۳۱
	-۰/۰۴	۱۰۱۸	-۰/۱۳	۷۳۳	-۰/۱۳	۴۹۳	-۰/۱۱	۵۴۰	-۰/۱۱	۴۲۷	-۰/۱۱	۶۲۰
	-۰/۱۵	۳۸۸	-۰/۲۲	۴۶۶	-۰/۲۵	۳۱۶	-۰/۲۴	۳۲۵	-۰/۲۲	۳۳۱	-۰/۲۱	۴۷۲
	-۰/۵۷	۱۴۲	-۰/۴۸	۱۸۱	-۰/۶۵	۱۰۲	-۰/۶۱	۷۲	-۰/۵۹	۱۰۱	-۰/۵۷	۱۹۷
MSI	-۰/۷۸	۲۰۰	-۰/۶۹	۳۹۲	-۰/۶۵	۱۹۶	-۰/۷۲	۲۳۶	-۰/۷۴	۳۰۹	-۰/۷۱	۳۸۱
	-۰/۹۶	۵۵۰	-۰/۸۶	۹۱۱	-۰/۸۱	۳۵۴	-۰/۹	۵۳۳	-۰/۹۲	۴۸۴	-۰/۸۶	۶۶۸
	۱/۰۶	۸۷۵	۱/۰۱	۸۳۲	۰/۹۵	۴۹۷	۱/۰۳	۹۸۷	۱/۰۵	۹۲۷	۰/۹۷	۶۳۸
	۱/۷	۱۶۰۲	۱/۷	۱۰۹۲	۱/۰۶	۱۰۵۹	۱/۴۸	۱۴۷۰	۲/۱۹	۱۵۰۷	۱/۰۵	۸۴۷
	۴/۴	-۰/۰۶	۳/۰۱	-۰/۰۲	۲/۲۶	۱۱۲۱	۲/۸۶	-۰/۰۲	۵/۰۲	۰/۰۰۷	۴/۳	۶۹۲
NMI	-۰/۱۵	۷۵	-۰/۲۲	۴۰۷	-۰/۲۴	۱۱۳	-۰/۲۵	۷۰	-۰/۲۶	۵۶	-۰/۲۲	۱۷۹
	-۰/۰۰۸	۱۷۵	-۰/۱	۲۰۹	-۰/۱	۲۲۱	-۰/۱	۱۸۴	-۰/۱	۱۹۶	-۰/۱۰	۲۹۷
	-۰/۰۸	۷۶۸	-۰/۰۲	۳۳۷	-۰/۰۱	۲۲۷	-۰/۰۱	۲۳۹	-۰/۰۳	۲۴۰	-۰/۰۱	۲۸۸
	-۰/۲۹	۲۲۰۷	-۰/۰۸	۷۸۹	-۰/۰۹	۸۵۲	-۰/۰۹	۸۶۳	-۰/۱	۸۵۰	-۰/۰۸	۸۳۳
	-۰/۸۸	-۰/۰۹	-۰/۶۴	۱۴۱۱	-۰/۵۱	۱۸۱۳	-۰/۶۸	۱۸۷۱	-۰/۷۹	۱۸۸۵	-۰/۷	۱۶۳۰

¹ Thavornntam

بحث مربوط به تفاوت در کرانه ها و آستانه ها بایستی عنوان کرد که ماهیت هر شاخص با دیگری متفاوت بوده و این امر اجتناب ناپذیر است. به طریق نرمال سازی داده ها می توان تمامی آنها را در بازه بین صفر تا ۱۰۰ قرار دارد لیکن در مبحث ضریب همبستگی، بدون توجه به این کرانه ها همبستگی بین پارامترها تعیین می شود و لذا کرانه ها در هر بازه ای که باشند نتایج یکسانی به دست خواهد آمد. البته لازم به ذکر است که در نهایت برای مقایسه از درصد هر شاخص استفاده شده که این امر سهم هر طبقه و تغییرات آن را نشان داده است. در هر شاخص نیز از روش ضریب شکست جنکز استفاده شده و بازه ها بر اساس مرز بین بازتاب ها تعیین شده است. دستکاری این مرزها حتی اگر به منظور یکسان سازی دامنه طبقات باشد نتایج بسیار نامطلوبی در میزان طبقات بر جای می گذارد.

نتیجه گیری

مناطق آسیب دیده از خشکسالی متحمل خسارات مالی سنگینی شده و مردم محلی مجبور به مقابله با عواقب آن هستند. تشخیص و تجزیه و تحلیل به موقع خشکسالی ها و پیش بینی آن می تواند برخی از پیامدهای منفی آن را بهبود بخشد. در این راستا سنجش از دور پتانسیل بالایی دارد زیرا از طریق تصاویر ماهواره ای امکان جمع آوری داده های مکانی مناطق وسیع را در زمان کوتاهی فراهم می کند. برآوردهای ریاضی بین باندها امکان محاسبه شاخص های مناسب را فراهم کرده و به محققان امکان می دهد تا نتیجه گیری های مربوطه را انجام دهند. در عمل تعداد زیادی از شاخص ها شناخته شده است اما تنها برخی از آنها می توانند برای تشخیص و پایش خشکسالی استفاده شوند. تاکنون اکثر تحقیقات به شناسایی و پایش خشکسالی با استفاده از یک یا دو شاخص پرداخته اند. در این تحقیق، ۸ شاخص طیفی SIWSI، NDWI، NDVI، NMI، NDII، MSI، SR و VCI در یک دوره ۶ ساله به کار گرفته شده و پس از آن عملکرد آنها با تحلیل همبستگی پیرسون و شاخص LST مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل همبستگی از قوانین خاصی تبعیت می کند. شاخص هایی که از باندهای طیفی یکسان یا نزدیک به هم استفاده می کنند، همبستگی بالایی را نشان می دهند. میزان ضریب همبستگی مستقیماً به ماهیت شاخص بستگی دارد. به عنوان مثال شاخص های NDVI و SR همبستگی مثبت بسیار بالایی داشتند زیرا هر دو شاخص سلامت پوشش گیاهی را نشان می دهند در حالیکه شاخص های NDWI و NMI همبستگی منفی بسیار بالایی داشتند. با توجه به اینکه شاخص NDWI نشان دهنده کمبود آب بوده و NMI مقدار رطوبت را نشان می دهد لذا این شاخص ها نسبت به هم رابطه معکوس داشته اند. قرارگیری شاخص ها در گروه های همبستگی متناظر بر اساس مقیاس چادوک نشان داد که شاخص های LST، NMI، MSI و NDWI مناسب ترین و شاخص NDVI و VCI ضعیف ترین شاخص برای پایش خشکسالی می باشد. سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳ به عنوان سالی با جدی ترین خشکسالی طبقه بندی شده و به همین مناسبت ۳۹۲ و ۳۸۱ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر تنش رطوبتی و خشکسالی قرار گرفت. با توجه به اینکه تنها ماه آگوست مشاهده شده است می توان دمای بالا را به عنوان عاملی که باعث گسترش بیشتر قلمروی خشکسالی می شود مشخص کرد که با شاخص های طیفی قابل تشخیص است. این نتیجه گیری با این واقعیت همراه است که همه شاخص ها به جز شاخص های SR، VCI و NDVI با دمای سطح زمین همبستگی بالاتری داشته اند. نتایج این تحقیق، یافته های بیات و همکاران (۲۰۱۵) و امیری و همکاران (۲۰۲۰) را تأیید نموده و مؤید یافته های آنها می باشد. بیات و همکاران (۲۰۱۵) با بهره گیری از داده های MODIS در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و شاخص طیفی NDVI به بررسی مساحت تالاب شادگان پرداخته و مشاهده کردند که تالاب در سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ از کمترین مساحت برخوردار بوده و در سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ مساحت تالاب مجدداً کاهش یافته است. بررسی تغییرات سطح تالاب در سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ نشان داد که به علت خشکسالی مساحت پوشش گیاهی کاسته شده و در سال ۲۰۱۳ به دلیل ورود زه آب های صنعتی و کشاورزی پوشش گیاهی در آن افزایش یافته است (پورخوباز و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی تغییرات دمایی در تالاب شادگان نشان داد که به ازای هر هزار هکتار از مساحت تالاب، میزان دما ۰/۴ درجه سانتیگراد تغییر یافته است (امیری و همکاران، ۲۰۲۰).

هدف از این تحقیق ارائه مبنایی برای پایش خشکسالی بر اساس تجزیه و تحلیل همبستگی بود که به موجب آن می توان شاخص طیفی مناسب را برای منطقه تالاب شادگان انتخاب کرد.

References

- Amalo, L. F., Hidayat, R & Haris., (2017). Comparison between remote-sensing-based drought indices in East Java. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 54, 012009.
- Amiri, K., Seyed Kaboli, H & Mahmoodi, K., (2020). Study and monitoring of wetland area changes and its impact on wetland surface temperature using NDWI, MNDWI, and AWEI indices, Irrigation Sciences and Engineering. 23(4), 17-29.
- Anyamba, A & Tucker, C. J., (2012). Historical perspectives on AVHRR NDVI and vegetation drought monitoring. In B. D. Wardlow, M. C. Anderson & J. P. Verdin (Eds.), Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches. 23-49.
- Bayat, R., & Jafari, S., (2015). Survey of Shadegan wetland changes using the NDWI index, First international dust conference, Ahwaz, Shahid Chamran University, Ahwaz.
- Bijaber, N & Rochdi, A., (2022). Development of a comprehensive remote sensing technique for drought monitoring in Morocco. In H. El-Askary, Z. A. Erguler, M. Karakus & H. I. Chaminé (Eds.), Research Developments in Geotechnics, Geo-Informatics and Remote Sensing. 311-323.
- Didelija, M., Kulo, N., Mulahusić, A., Tuno, N & Topoljak, J., (2022). Segmentation scale parameter influence on the accuracy of detecting illegal landfills on satellite imagery. A case study for Novo Sarajevo. Ecological Informatics. 70, 101755.
- Du, T. L. T., Bui, D. D., Nguyen, M. D & Lee, H. (2018). Satellite- based, multi-indices for evaluation of agricultural droughts in a highly dynamic tropical catchment, Central Vietnam. Water. 10, 659-673.
- Fensholt, R & Sandholt, I., (2003). Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. Remote Sensing of Environment. 87(1), 111–121.
- Gao, B. C., (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment. 58(3), 257–266.
- Getahun, Y. S., Li, M. H & Chen, Y. Y., (2023). Drought characterization and severity analysis using GRACE-TWS and MODIS datasets: A case study from the Awash River Basin (ARB), Ethiopia. Journal of Water and Climate Change. 14(1), 516–542.
- Gulácsi, A & Kovács, F., (2015). Drought monitoring with spectral indices calculated from modis satellite images in Hungary. Journal of Environmental Geography. 8(3–4), 11–20.
- Hardisky, M. A., Klemas, V & Smart, R. M., (1983). The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 49(1), 77–83.
- Heidari, S., Shamsipour, A., Kakroodi, A. A & Bazgeer, S., (2023). Monitoring land cover changes and droughts using statistical analysis and multi-sensor remote sensing data. Environmental Monitoring and Assessment. 195, 618-635.
- Hunt, E. R., Jr & Rock, B. N., (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. Remote Sensing of Environment. 30(1), 43–54.
- Inoubli, R., Abbes, A. B., Farah, I. R., Singh, V., Tadesse, T & Sattari, M. T., (2020). A review of drought monitoring using remote sensing and data mining methods. 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), September 2–5, 2020, Sousse, Tunisia. 1–6.
- Kogan, F. N., (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. International Journal of Remote Sensing. 11(8), 1405–1419.
- Mathivha, F & Mbatha, N., (2022). Comparison of long-term changes in non-linear aggregated drought index calibrated by MERRA–2 and NDII soil moisture proxies. Water. 14(1), 26-41.

- Mukhawana, M. B., Kanyerere, T & Kahler, D. (2023). Review of in-situ and remote sensing-based indices and their applicability for integrated drought monitoring in South Africa. *Water*, 15(2), 240-253.
- Murali, A. C. M., Chowdary, V. M., Kesarwani, M & Neeti, N., (2023). Integrated drought monitoring and assessment using multi-sensor and multi-temporal earth observation datasets: A case study of two agriculture dominated states of India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195, 1-17.
- Ndossi, M.I & Avdan, U., (2016). Application of open-source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat. A PyQGIS Plugin. *Remote Sens*. 8, 31 p.
- Pourkhobaz, H., Yousefi, S., & Salehipour, F. (2015). Investigating the trend of landuse changes and landcover in Shadegan wetland using remote sensing and GIS and providing management solutions, *Journal of Wetland Ecobiology*, 7(25): 55-66.
- Renza, D., Martinez, E., Arquero, A & Sanchez, J., (2010). 30th EARSeL Symposium Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage, Paris, France, May 31 – June 03, 2010. 775–782, 34984.
- Rezaei, A., (2023). Teleconnections between ocean–atmosphere circulations and historical integrated drought in the Middle East and North Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195, 775-792.
- Rouse, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W., (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *NASA Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp.*, Vol. 1, Sect. A, ID 19740022614. Retrieved December 25, 2022.
- Shahfahad, S. T., Ali, R., Nguyen, K. A., Naikoo, M. W., Liou, Y. A., Islam, A. R., Mallick, J & Rahman, A., (2022). Monitoring drought patterns for pre- and post-monsoon seasons in a semi-arid region of western part of India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194, 396-418.
- Sims, D. A & Gamon, J. A., (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*. 81(2–3), 337– 354.
- Sobrino, J.A & Raissouni, N., (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International. Journal. Remote Sensing* 21,353–366.
- Su, Z., He, Y., Dong, X & Wang, L., (2017). Drought monitoring and assessment using remote sensing. In V. Lakshmi (Eds.), *Remote Sensing of Hydrological Extremes* (1st ed., pp. 151–172).
- Sun, B., Qian, J., Chen, X & Zhou, Q., (2020). Comparison and evaluation of remote sensing indices for agricultural drought monitoring over Kazakhstan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLIII-B3-2020, 899- 903.
- Thavornatam, W., Saengavut, V., Armstrong, L. J & Cook, D., (2023). Association of farmers' wellbeing in a droughtprone area, Thailand: Applications of SPI and VCI indices. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195, 612-633.
- Varol, T., Atesoglu, A., Ozel, H. B & Çetin, M. (2023). Copula-based multivariate standardized drought index (MSDI) and length, severity, and frequency of hydrological drought in the Upper Sakarya Basin, Turkey. *Natural Hazards*, Published online January 26.
- Wang, Q., Zhao, L., Wang, M., Wu, J., Zhou, W., Zhang, Q & Deng, M. (2022). A random forest model for drought: Monitoring and validation for grassland drought based on multi-source remote sensing data. *Remote Sensing*. 14(19), 4981-5007.
- Wassie, S. B., Mengistu, D. A & Birie, A. B. (2022). Agricultural drought assessment and monitoring using MODISbased multiple indices: The case of North Wollo. Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194, 787-799.
- Won, J & Kim, S. (2023). Ecological drought condition index to monitor vegetation response to meteorological drought in Korean Peninsula. *Remote Sensing*. 15(2), 337- 358.
- World Health Organization. (2023). Health topics: Drought. Retrieved January 16, 2023, Du, T. L. T., Bui, D. D., Nguyen, M. D & Lee, H. (2018). Satellite- based, multi-indices for evaluation of agricultural droughts in a highly dynamic tropical catchment, Central Vietnam. *Water*. 10, 659-673.
- World Meteorological Organization. (2005) Drought monitoring and early warning: Concepts , progress and future challenges . Retrieved January 16, 2023.