



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**

[iawwsrj@srbiau.ac.ir](mailto:iawwsrj@srbiau.ac.ir)  
[iawwsrj@gmail.com](mailto:iawwsrj@gmail.com)

**Vol. 14  
No. 3 (55)**

**Received:**  
2023-12-14

**Accepted:**  
2024-09-27

**Pages: 1-14**

## Investigating the Effectiveness of Satellite Data Landsat 5 And 8 In Monitoring the Effects of Drought on the Surface Water Resources of Miankale Wetland

Mehdi Feyzolahpour<sup>1\*</sup>

1) Assistance Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran  
\*Corresponding author emails: feyzolahpour@znu.ac.ir

**Abstract:**

**Background and Aim:** The frequency and severity of droughts are increasing due to climate changes and human activities, and they create significant risks for surface water, especially in arid and semi-arid regions. In this research, the capability of satellite data of TM sensor of Landsat 5 satellite and OLI and TIRS sensors of Landsat 8 satellite in drought monitoring of water resources of Miankale wetland was evaluated.

**Method:** In this study, images from the TM sensor of Landsat 5 and the OLI and TIRS sensors of Landsat 8 were prepared for the period 1990 to 2023. Images were taken for both the wet and dry seasons to depict the variability of surface water during the seasons. May was taken for the wet season and July data was used for the dry month. The above images should be free of cloud cover. These images were downloaded from the US Geological Survey. To investigate the drought trend, multi-spectral indices of Normalized Difference of Vegetation (NDVI), Normalized Difference of Water index (NDWI), Modified Normalized Difference of Water Index (MNDWI) and Land Surface Water Index (LSWI) were calculated and the most appropriate method. It was identified for surface water detection and drought monitoring. For this purpose, the correlation relations between each of the indices with the earth surface temperature index were estimated and based on this, the regression equation was calculated and the values of drought in five categories very severe, severe, moderate, low and very low were calculated and the corresponding map was drawn.

**Results:** According to the research findings, wider areas have been exposed to higher temperatures. From 1990 to 2023, areas with temperatures below 19 degrees Celsius have decreased from 645 square kilometers in 1990 to 296 square kilometers in 2023, while areas with temperatures above 29 degrees Celsius have increased from 2 square kilometers in 1990 to 320 square kilometers in 2023, mostly in the western part of the wetland and in areas that have been observed to have dried up. The reason for this is the drying of a large part of the western part of the wetland during this period. The above process has affected the vegetation of the region, and due to the drying of the western part, the widest area in this region has faced severe drought. In 1990, about 243.3 square kilometers of the region faced severe drought, which increased to 280.7 square kilometers in 2023. Of course, a slight increase was observed in this area. Significant changes have been seen in the average area, with the average aridity increasing from 52.2 km<sup>2</sup> in 1990 to 254.1 km<sup>2</sup>, a fourfold increase.

**Conclusion:** The results showed that the MNDWI index had the highest correlation with the LST index in the years 1990 and 2023, so that the correlation values for these years are -0.83 and -0.88, respectively. This index was used to estimate drought. Based on this, it was observed that the amount of average drought has expanded the most and reached from 52.2 square kilometers to 254.1 square kilometers, which indicates the slow movement of the region towards severe drought. This incident caused the wetland area to decrease from 511 square kilometers in 1990 to 351 square kilometers in 2023.

**Keywords:** NDWI, MNDWI, NDVI, drought, miankale



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰  
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

[iauwsrj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrj@gmail.com](mailto:iauwsrj@gmail.com)

سال چهاردهم

شماره ۳ (۵۵)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۶

صفحات: ۱-۱۵

## بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ در پایش اثرات خشکسالی بر منابع آب سطحی تالاب میانکاله

مهدی فیض‌اله پور<sup>۱\*</sup>

(۱) استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: feyzolahpour@znu.ac.ir

چکیده:

**زمینه و هدف:** فراوانی و شدت خشکسالی به علت تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در حال افزایش بوده و خطرات قابل توجهی را برای آبهای سطحی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد می‌کند. در این تحقیق میزان قابلیت داده‌های ماهواره ای سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در پایش خشکسالی بر منابع آبی تالاب میانکاله ارزیابی گردید.

**روش پژوهش:** در این تحقیق برای دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳، تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ تهیه گردید. تصاویر هم برای فصل مرطوب و هم برای فصل خشک در نظر گرفته شدند تا تنوع آب‌های سطحی را در طول فصول به تصویر بکشند. برای فصل مرطوب ماه می در نظر گرفته شده و برای ماه خشک نیز از داده‌های ماه جولای بهره گرفته شد. تصاویر فوق بایستی بدون پوشش ابر باشند. این تصاویر از سازمان زمین شناسی آمریکا دانلود گردید. برای بررسی روند خشکسالی، شاخص‌های چند طیفی تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، تفاوت نرمال شده آب (NDWI)، شاخص اصلاح شده تفاوت نرمال شده آب (MNDWI) و شاخص آب سطح زمین (LSWI) محاسبه شده و مناسب ترین روش برای تشخیص آب‌های سطحی و پایش خشکسالی شناسایی گردید. به این منظور روابط همبستگی بین هر یک از شاخص‌ها با شاخص دمای سطح زمین برآورد شده و بر این اساس معادله رگرسیونی محاسبه شده و مقادیر خشکسالی در پنج رده خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم محاسبه شده و نقشه مربوطه ترسیم شد.

**یافته‌ها:** بر اساس یافته‌های تحقیق، پهنه‌های وسیع تری با دماهای بالاتر مواجه گردیده‌اند. از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ مناطقی که دارای دمای کمتر از ۱۹ درجه سانتیگراد بودند از ۶۴۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۲۹۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته و در مقابل مناطقی که دمای بالای ۲۹ درجه سانتیگراد را تجربه کرده بودند از ۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۳۲۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته که اکثراً در بخش غربی تالاب و در نواحی مشاهده شده که خشک شده است. علت این امر خشک شدن بخش وسیعی از غرب تالاب در این بازه زمانی می‌باشد. فرایند فوق بر پوشش گیاهی منطقه تاثیر گذاشته و به علت خشک شدن بخش غربی، پهنه وسیع ترین در این منطقه با خشکی شدید مواجه شد. در سال ۱۹۹۰ حدود ۲۴۳/۳ کیلومتر مربع از منطقه با خشکی شدید مواجه بوده که این میزان در سال ۲۰۲۳ به ۲۸۰/۷ کیلومتر مربع افزایش یافته است. البته افزایش جزئی در این محدوده مشاهده شد. تغییرات قابل توجه در محدوده متوسط دیده شده به طوری که میزان خشکی متوسط از ۵۲/۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۲۵۴/۱ کیلومتر مربع رسیده که افزایش ۴ برابری را نشان می‌دهد.

**نتایج:** نتایج نشان داد که شاخص MNDWI از بیشترین همبستگی با شاخص LST در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ برخوردار بوده بطوری که مقادیر همبستگی برای این سال‌ها به ترتیب معادل ۰/۸۳- و ۰/۸۸- می‌باشد. لذا از این شاخص برای برآورد خشکسالی بهره گرفته شد. براین اساس مشاهده شد که میزان خشکسالی متوسط بیشترین گسترش را داشته و از ۵۲/۲ کیلومتر مربع به ۲۵۴/۱ کیلومتر مربع رسیده که این امر نشان دهنده حرکت آرام منطقه به سمت خشکسالی شدید دارد. این رخداد باعث گردید تا سطح تالاب از ۵۱۱ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۳۵۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یابد.

کلید واژه‌ها: NDVI, MNDWI, NDWI, خشکسالی، میانکاله

## مقدمه

خشکسالی به عنوان یک خطر طبیعی فراگیر، پیامدهای قابل توجهی را بر روی کشاورزی، تولید برق آبی، صنعت، تامین آب و محیط زیست بر جای می‌گذارد (Sheffield et al, 2018; Jang, 2012). انتظار می‌رود در آینده به دلیل تغییرات اقلیمی و الگوهای بارندگی نامنظم، وقوع و شدت خشکسالی افزایش یافته و منجر به کاهش بارندگی و افزایش نرخ تبخیر و تعرق شود (Panu et al, 2002; Hagenlocher et al, 2019). شایان ذکر است که خشکسالی به ویژه در مناطق نیمه خشک افزایش یافته است (Liu et al, 2010). به عنوان مثال، ناحیه نیمه گرمسیری شرق استرالیا از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ خشکسالی را تجربه کرده و این امر به کشاورزی و تامین آب تاثیر گذاشته است (Nguyen et al, 2021).

در سنگال ۲۴۵۰۰۰ نفر به دلیل خشکسالی در سال ۲۰۱۸ با ناامنی غذایی مواجه شدند. زیمباوه در نتیجه خشکسالی در سال ۲۰۱۹ شاهد کاهش ۷۰ درصدی تولید ذرت بوده است (Ndlovu et al, 2021). در سراسر جهان، خشکسالی از نظر تاریخی باعث ویرانی گسترده شده است به طوری که افریقای جنوب صحرا به تنهایی ۵۳ مورد خشکسالی شدید را تجربه کرده است (Mishra et al, 2010). علاوه بر این، وقوع خشکسالی بر اهداف توسعه پایدار از قبیل کاهش گرسنگی، آب پاکیزه، بهداشت و تولید و مصرف مسئولانه تاثیر منفی بر جای گذاشته است (Nilsson et al, 2016; Zhang et al, 2019). آب‌های سطحی برای تامین آب مورد استفاده انسانها، حیوانات و پوشش گیاهی حیاتی بوده و در حال حاضر بر اثر تغییرات اقلیمی و خشکسالی با چالش مواجه شده است (Masocha et al, 2017; Zhou et al, 2018). مدیریت ناصحیح آب‌های سطحی و میزان بارندگی کم می‌تواند منجر به کمبود شدید آب، تشدید آسیب پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی و خشکسالی شود (Feyisa et al, 2014). در نتیجه، نظارت مستمر پهناهای آبی برای تشخیص شروع خشکسالی و ارزیابی در دسترس بودن آب ضروری می‌باشد.

رویکردهای پیشین برای پایش خشکسالی مبتنی بر استفاده از داده‌های اقلیمی از قبیل بارندگی، دبی، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق بوده است (d'Andrimont et al, 2018). از داده‌های اقلیمی برای درک آب و هوای گذشته و پیش بینی شرایط آینده استفاده می‌شود. روش‌های سنتی برای پایش آب‌های سطحی به اندازه گیری با استفاده از شناورها، حسگرها، سیستم‌های شناور، تجهیزات مبتنی بر فشار و تکنیک‌های اولتراسونیک و راداری متکی هستند (Janke et al, 2006). با این حال این روش‌ها در مناطق صعب العبور و کوهستانی مستعد آسیب بوده و پر هزینه هستند (Li et al, 2013).

بنابراین استفاده از مجموعه داده‌های سنجنش از دور فرصت‌هایی را برای پایش خشکسالی و آب‌های سطحی فراهم می‌کند (Li et al, 2013). در حالی که مطالعات متعددی استفاده از داده‌های سنجنش از دور را برای پایش آب‌های سطحی مورد بررسی قرار داده اند لیکن اکثر آنها بر روی نقشه برداری از پهناهای آب‌ها متمرکز شده اند (Sarp et al, 2017). تنها در چندین تحقیق اقدام به نقشه برداری و پایش آب‌های سطحی در محیط‌های نیمه خشک شده است. این امر را می‌توان به شبکه محدود نظارت در محل یا فقدان داده‌های مکانی با وضوح بالا نسبت داد. علاوه بر این، انتخاب مجموعه داده‌های ماهواره ای به ویژگی‌های مکانی، طیفی و زمانی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. سنجنده‌های ماهواره ای با وضوح پایین مانند طیف سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) و رادیومتر با وضوح بالا (AVHRR) داده‌ها را با وضوح مکانی ۱ کیلومتر ارائه داده و به این دلیل در نظارت بر پهناهای کوچک آب‌های سطحی مناسب نمی‌باشند. از سوی دیگر، ماهواره‌های با وضوح متوسط و دسترسی رایگان مانند لندست و سنتینل ۲ به دلیل وضوح زمانی ۵ تا ۱۶ روز از پتانسیل نظارت بر آب‌های سطحی برخوردارند (Dube et al, 2015; Seaton et al, 2020). روش‌های مختلف طبقه بندی آب‌های سطحی و شاخص‌های چند طیفی آب به دلیل دقت تشخیص بالا، مقرون به صرفه بودن و سهولت استفاده مورد توجه محققان قرار گرفته اند (Seaton et al, 2020).

شاخص‌های مختلفی برای بررسی پهناهای آبی و خشکسالی ایجاد شده و در این تحقیق بر اساس عملکرد آنها، از ۶ شاخص استفاده شد (Benefoh et al, 2018; Jiao et al, 2016). شاخص‌های فوق شامل شاخص‌های تفاوت نرمال شده آب (NDWI)، شاخص اصلاح شده تفاوت نرمال شده آب (MNDWI)، شاخص آب‌های سطح زمین (LSWI)، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص وضعیت گیاهی (VCI) و شاخص دمای سطح زمین (LST) می‌باشند. برای مثال سیتون و همکاران (۲۰۲۰) برای نقشه برداری تغییرات آب‌های سطحی رودخانه تانگاواای افریقای جنوبی در بازه زمانی ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ از داده‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ استفاده کردند. به این منظور از شاخص‌های NDWI، MNDWI و NDVI بهره گرفته شد. دقت این شاخص‌ها بین ۶ تا ۸۶ درصد متغیر بوده و این امر نشان دهنده امکان استفاده از این مجموعه داده‌ها در نظارت بر تغییرات آب‌های سطحی می‌باشد (Seaton et al, 2020). بنفو و همکاران (۲۰۱۸) برای تحلیل چشم انداز غنا در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ از شاخص‌های LSWI و NDVI استفاده کرده و به دقت کلی ۸۲/۶ درصد دست یافتند (Benefoh et al, 2018). در تحقیق

و مازندران واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۱۵۸/۷ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه در شمال شرق ایران و در بخش جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است.

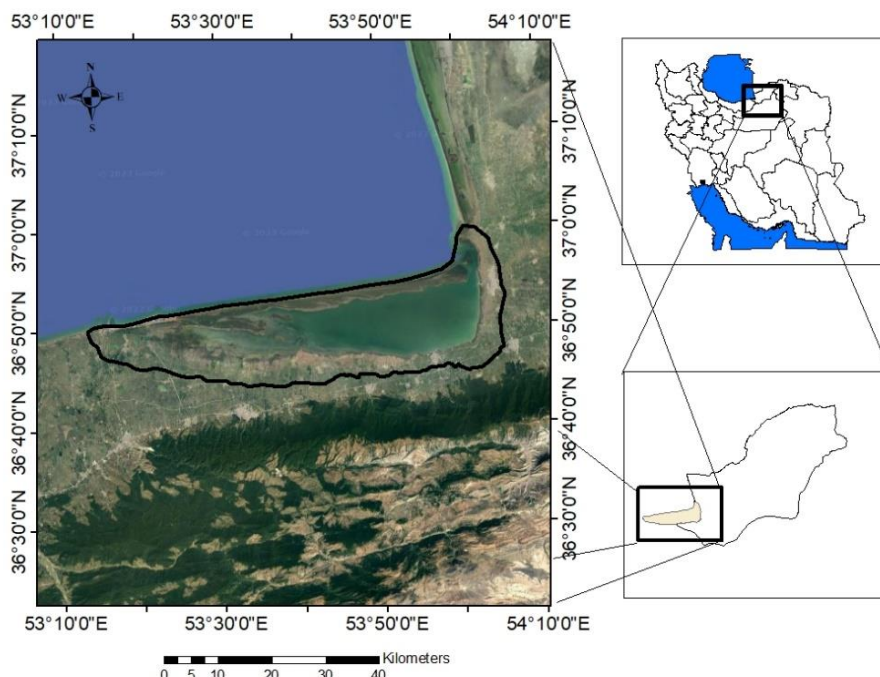
در این تحقیق برای دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳، تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ تهیه گردید. تصاویر هم برای فصل مرطوب و هم برای فصل خشک در نظر گرفته شدند تا تنوع آب‌های سطحی را در طول فصول به تصویر بکشند. برای فصل مرطوب ماه می در نظر گرفته شده و برای ماه خشک نیز از داده‌های ماه جولای بهره گرفته شد. تصاویر فوق بایستی بدون پوشش ابر باشند. این تصاویر از سازمان زمین شناسی آمریکا دانلود گردید. تصاویر لندست ۸ به شکل تصاویر GEOTIFF ارائه شده و در سیستم جهانی مرکاتور و سیستم WGS84 نمایش داده شدند. برای ارزیابی دقت نقشه برداری آب‌های سطحی از تصاویر google earth بهره گرفته شد. اطلاعات طیفی و مکانی این تصاویر ماهواره ای در جدول ۱ ارائه شده است.

طیف وسیعی از شاخص‌ها برای بررسی وقوع خشکسالی و آب‌های سطحی ایجاد شده است (Mishra et al, 2011; Huang et al, 2018; Masocha et al, 2018; Seaton et al, 2020). این شاخص‌ها با تکیه بر ویژگی‌های جذب بالا یا بازتاب کم آنها در نواحی نوری طیف الکترومغناطیس برای متمایز کردن اجسام آب از سایر مواد استفاده می‌شوند. محاسبه این شاخص‌ها بر اساس استفاده از دو یا چند باند بوده که امکان تمایز بین پهنه‌های آبی و غیر آبی را فراهم می‌کند. برای تشخیص و نقشه برداری وقوع خشکسالی از روش چند بانندی

دیگری، جیائو و همکاران (۲۰۱۶) از شاخص‌های NDVI و SPI برای پایش خشکسالی ایالات متحده استفاده کرده و دریافتند که این شاخص‌ها پتانسیل پایش خشکسالی را دارا می‌باشند (Jiao et al, 2016). لگس و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از شاخص WRSI الگوی خشکسالی را در ایتالیایی بررسی کرده و دریافتند که این شاخص از قابلیت خوبی در ارزیابی خشکسالی برخوردار است (Legesse et al, 2014). مولتسی و همکاران (۲۰۱۲) برای تعیین کمیت خشکسالی‌ها در افریقای جنوبی از شاخص WRSI استفاده کردند. نتایج تنوع بالایی را بین فصول نشان دادند. با تعیین مناسب ترین مجموعه داده‌ها و استفاده ترکیبی از شاخص‌های خشکسالی، شاخص‌های آب سطحی و داده‌های اقلیمی، محققان می‌توانند نظارت بر آب‌های سطحی را افزایش داده و تشخیص خشکسالی را بهبود بخشند (Moeletsi et al, 2012). با این وجود، علیرغم پیشرفت‌های داده‌های سنجش از دور ماهواره ای، قابلیت آن‌ها در تشخیص خشکسالی و پایش آب‌های سطحی نامشخص است. بنابراین نیاز به بررسی بیشتر پتانسیل سنجش از دور در تشخیص و پایش خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. هدف تحقیق حاضر ارزیابی کاربرد داده‌های ماهواره ای لندست ۵ و ۸ در پایش منابع آب از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در منطقه تالاب میانکاله می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

منطقه تالاب میانکاله در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی در محدوده استان‌های گلستان



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در محدوده تالاب میانکاله

شاخص MNDWI شکل اصلاح شده شاخص NDWI بوده و در آن سعی شده تا عوارض غیر مرتبط با منابع آبی حذف گردند. این شاخص توسط زو و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد گردید (Xu et al, 2006). در این شاخص به جای باند مادون قرمز نزدیک از باند مادون قرمز موج کوتاه SWIR1 بهره گرفته شد. شاخص‌های MNDWI به شکل زیر برآورد می‌گردد:

$$MNDWI = \frac{green-SWIR1}{green+SWIR1} \quad (۳)$$

شاخص LSWI آخرین شاخصی بود که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته و توسط منارگوئز در سال ۲۰۱۵ مطرح گردید (Menarguez, 2015). این شاخص از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه بهره می‌گیرد. برای برآورد این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$LSWI = \frac{NIR-SWIR1}{NIR+SWIR1} \quad (۴)$$

در بخش دوم تحقیق نیاز به برآورد شاخص LST می‌باشد. این شاخص، دمای سطح زمین را نشان می‌دهد. بررسی دمای سطح زمین برای درک چرخه انرژی و تبادل آب با محیط امری حیاتی می‌باشد. تجزیه و تحلیل LST با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره ای مستلزم روش‌های مختلفی از جمله تراز رادیومتری سنجنده و تصحیح بازتاب سطح و هوا می‌باشد. برای محاسبه LST از باند ۶ ماهواره لندست ۵ و باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده می‌شود. مراحل محاسبه LST بر اساس روش تاکور و همکاران (۲۰۲۰) و کافی و همکاران (۲۰۲۱) در زیر شرح داده شده است (Thakur et al, 2020; Kafy et al, 2021). به این منظور در ابتدا مقادیر تابش طیفی در بالای اتمسفر محاسبه می‌گردد. رابطه زیر برای این منظور در نظر گرفته شده است.

$$L\lambda = AL + ML * Qcal \quad (۵)$$

در این رابطه  $L\lambda$  تابش طیفی در بالای اتمسفر، ML فاکتور درجه بندی شده ترکیبی تابشی برای باند ۱۰ و Qcal تعداد دیجیتالی باند ۱۰ می‌باشد. سپس مقادیر تابش طیفی  $L\lambda$  به مقادیر درجه روشنایی ماهواره (TB) تبدیل می‌گردد.

$$TB = \frac{\sum(K2)}{\left(\ln\left(\frac{K1}{L\lambda+1}\right)\right)} \quad (۶)$$

در این رابطه TB درجه روشنایی بوده و K1 و K2 ضریب حرارتی ثابت برای باند ۱۰ می‌باشد.

NDVI استفاده شد. برای شناسایی و نقشه برداری آب‌های سطحی نیز از سه روش NDVI، MNDWI و LSWI بهره گرفته شد. این شاخص‌ها با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ اقدام به شناسایی خشکسالی و آب‌های سطحی نمودند. در این روش‌ها از باند مادون قرمز نزدیک، قرمز، سبز، مادون قرمز موج کوتاه و مقادیر حداقل و حداکثر NDVI استفاده شد. با وجود اینکه شاخص NDVI در درجه اول یک شاخص پوشش گیاهی است لیکن از آن برای تشخیص آب، سیل و خشکسالی با ارزش زیست توده بالای زمین نیز استفاده می‌شود (Seaton et al, 2020). این شاخص با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز محاسبه می‌شود. از سوی دیگر، شاخص VCI خشکسالی را ردیابی و شناسایی کرده و مباحثی را در مورد شروع، شدت، مدت و تاثیر آن بر پوشش گیاهی ارائه می‌دهد (Frischen et al, 2020). شاخص VCI از مقادیر حداقل و حداکثر NDVI در طول دوره مورد مطالعه استفاده می‌کند. شاخص NDVI که توسط مک فیتز در سال ۱۹۹۶ معرفی شد آب‌های سطحی را از طریق استفاده از باندهای سبز و NIR ترسیم می‌کند. این شاخص ممکن است که مناطق ساخت و ساز شده را به اشتباه با عنوان پهنه‌های آبی در نظر بگیرد. این امر باعث ایجاد شاخص MNDWI گردید. این شاخص با استفاده از باندهای مادون قرمز موج کوتاه SWIR به جای باند NIR، مناطق ساخت و ساز شده را حذف کرده است (Feyisa et al, 2014). شاخص آب سطح زمین (LSWI) که توسط منارگوئز در سال ۲۰۱۵ پیشنهاد شد شاخص‌های گیاهی تقویت شده EVI و NDVI را ترکیب می‌کند (Menarguez, 2015). این روش‌های چند باندی به طور گسترده برای تجزیه و تحلیل تغییر پوشش زمین، مطالعات تغییرپذیری آب و هوا، مدیریت منابع آب، تشخیص خشکسالی و نقشه برداری از آب‌های سطحی به کار گرفته شده اند. شاخص NDVI در سال ۱۹۷۳ توسط راس و همکاران ارائه گردید (Rouse et al, 1973). این شاخص در بین مقادیر +۱ و -۱ قرار گرفته و از دو باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز استفاده می‌کند. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR-red}{NIR+red} \quad (۱)$$

شاخص NDVI در سال ۱۹۹۶ توسط مک فیتز ارائه گردید (McFeeters, 1996). مقادیر این شاخص بین +۱ و -۱ قرار می‌گیرد. در این شاخص از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌شود.

$$NDWI = \frac{green-NIR}{green+NIR} \quad (۲)$$

شاخص بین -۱ و +۱ قرار می‌گیرد. با افزایش دقت شاخص، میزان کاپا افزایش می‌یابد. برای برآورد این شاخص از رابطه زیر استفاده شد:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+})} \quad (14)$$

در این رابطه،  $x_{ii}$  مجموع تعداد تمامی پیکسل‌ها در ردیف  $i$ ،  $x_{i+}$  تعداد کل پیکسل‌ها در ردیف  $i$  و  $N$  تعداد پیکسل کل در ماتریس پراکنده می‌باشد.

### نتایج و بحث

تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از منابع آب‌های سطحی و تالاب‌ها تأثیر منفی شده و باعث تغییر سطح آنها گردیده است. در این تحقیق برای ارزیابی تأثیر شرایط خشکی و خشکسالی بر منابع آب تالاب میانکاله و پوشش گیاهی مجاور آن از شاخص‌های NDVI، MNDWI، NDWI و LSWI استفاده شد. یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر منابع آب سطحی، دمای سطح زمین می‌باشد لذا برای برآورد این شاخص نیز از شاخص LST بهره گرفته شد. تغییرات سطح تالاب در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر هر یک از شاخص‌ها در سال ۱۹۹۰ که مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد در زیر نشان داده شده است. علت انتخاب سال ۱۹۹۰ به عنوان دوره خشک در این بوده که کمترین حد گسترش این تالاب نشان داده شود و مقادیر فوق با بیشترین گسترش آن در دوره مرطوب سال ۲۰۲۳ مقایسه گردد تا بدین وسیله بتوان بیشترین میزان تغییرات را مشاهده نمود.

بررسی‌ها تنوع قابل توجهی را در پهنه‌های آب‌های سطحی در طول دوره مطالعه نشان داده و پتانسیل داده‌های ماهواره ای در پایش خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی را به نمایش می‌گذارد. به منظور پایش اثرات خشکسالی بر روی نوسانات آب تالاب میانکاله مقادیر LST نیز برای این دوره‌های زمانی برآورد شدند. هدف از محاسبه این شاخص بررسی روابط بین آن با شاخص‌های بررسی منابع آب و پوشش گیاهی بوده تا بدین وسیله شاخصی که بیشترین همبستگی را با LST داشته انتخاب شده و به واسطه برآورد معادله رگرسیونی، نقشه خشکی منطقه ترسیم گردد. در شکل زیر نقشه‌های LST نمایش داده شده است.

نسبت پوشش گیاهی (PV) و انتشار سطحی (E) نیز بر اساس معادلات زیر محاسبه می‌شود.

$$PV = \left[ \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \right]^2 \quad (7)$$

$$E = (0.004 \cdot PV) + 0.986 \quad (8)$$

در نهایت، مقادیر درجه روشنایی به مقادیر LST تبدیل می‌گردد:

$$LST = \left[ \frac{TB}{1 + \left( \frac{\lambda \cdot TB}{a} \right) \ln E} \right] \quad (9)$$

در این رابطه  $\lambda$  طول موج تابش ساطع شده،  $a$  ضریب ثابت برای ماهواره لندست ۸،  $h$  ضریب ثابت پلانک،  $c$  سرعت نور و  $k$  ضریب بولتزمن می‌باشد. برای صحت سنجی دما نیز از داده‌های ایستگاه هواشناسی میانکاله استفاده شد.

برای بررسی روابط بین شاخص‌ها نیز از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. به این منظور از نرم افزار Origin 8 بهره گرفته شد. برای برآورد این ضریب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Pr = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

در این بخش دقت و صحت طبقه بندی آب‌های سطحی و پهنه‌های غیر آبی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ ارزیابی شد. به این منظور ۸۰۰ نقطه به شکل تصادفی تولید گردید که در این بین ۴۰۰ نقطه برای آب‌های سطحی و ۴۰۰ نقطه برای پهنه‌های غیر آبی در نظر گرفته شد. برای ارزیابی دقت‌ها از پارامترهای دقت کاربر، دقت سازنده، دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. این معیارها به دلیل توانایی آنها در نمایش سطح دقت تصاویر انتخاب شدند (Dzurume et al, 2022). برای محاسبه هر ماتریس از معادلات زیر استفاده شده است:

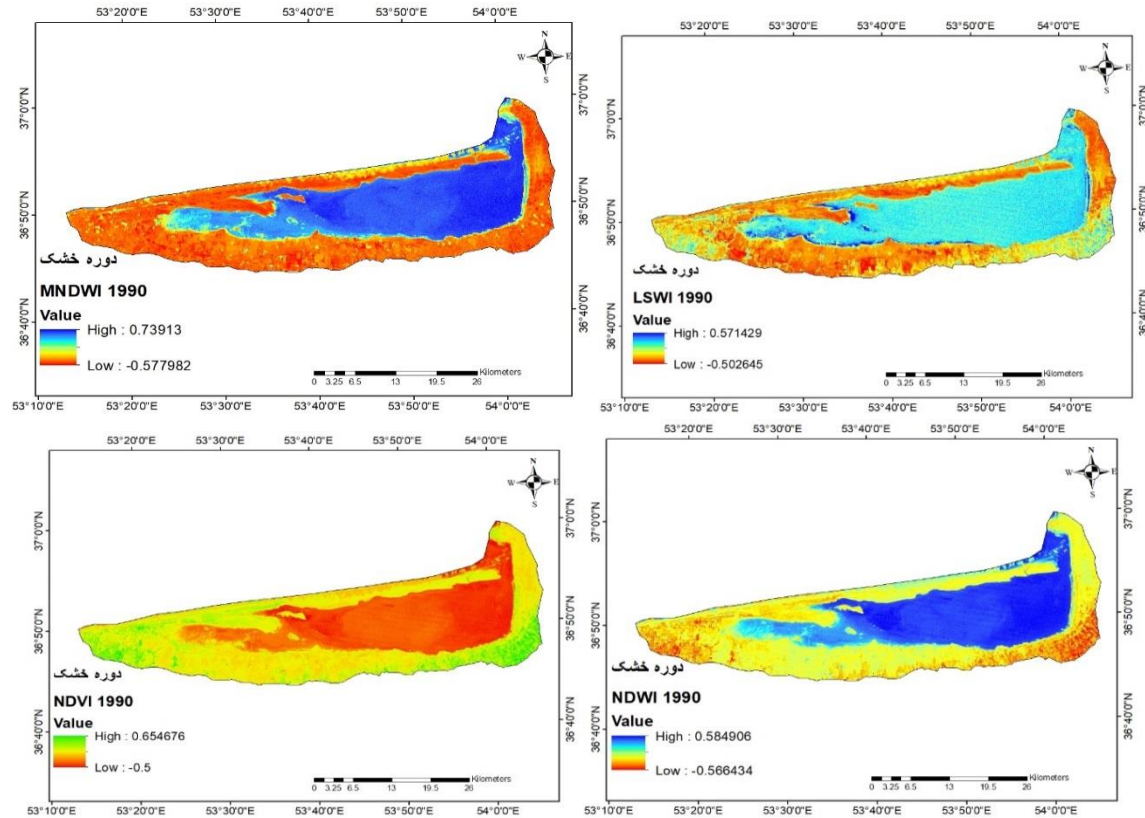
$$user\ accuracy = \frac{nii}{ni+1} \quad (11)$$

$$producer\ accuracy = \frac{nii}{n+1} \quad (12)$$

$$overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^m nii}{n} \cdot 100 \quad (13)$$

در نهایت برای صحت سنجی هر یک از شاخص‌ها، ضریب کاپا به کار گرفته شد. این شاخص، پیکسل‌های طبقه بندی شده را با پیکسل‌های تصادفی مقایسه می‌کند. مقدار این

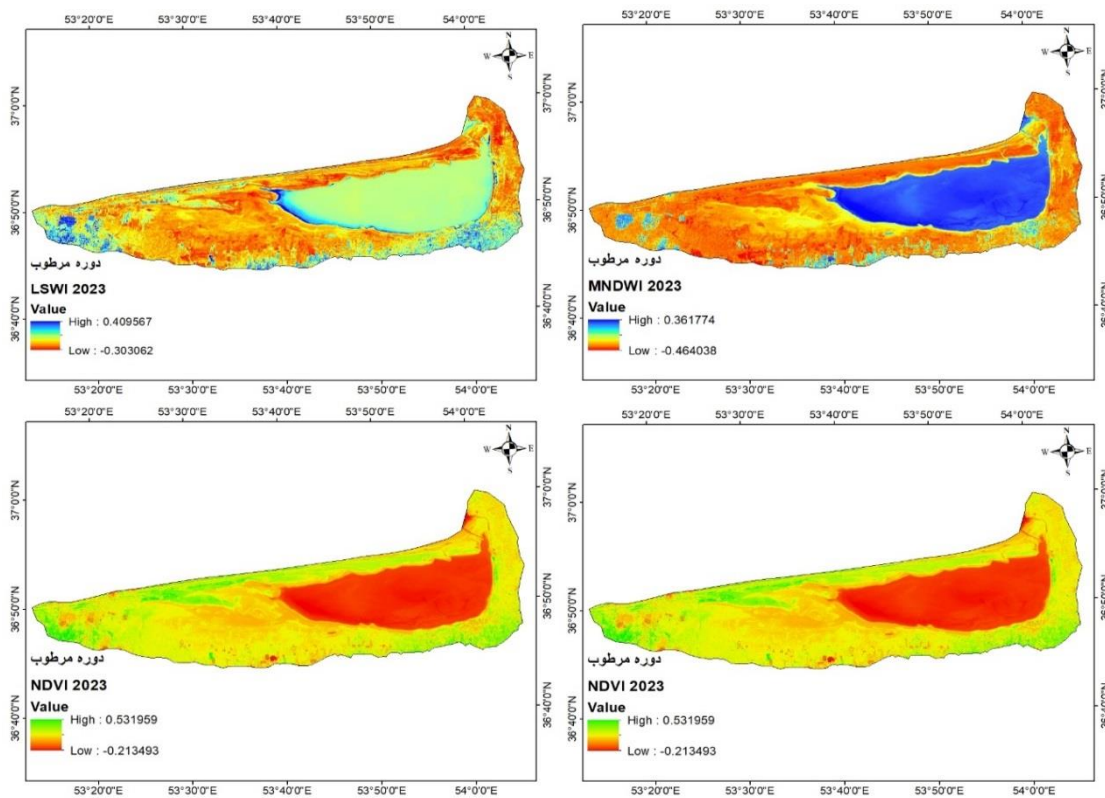




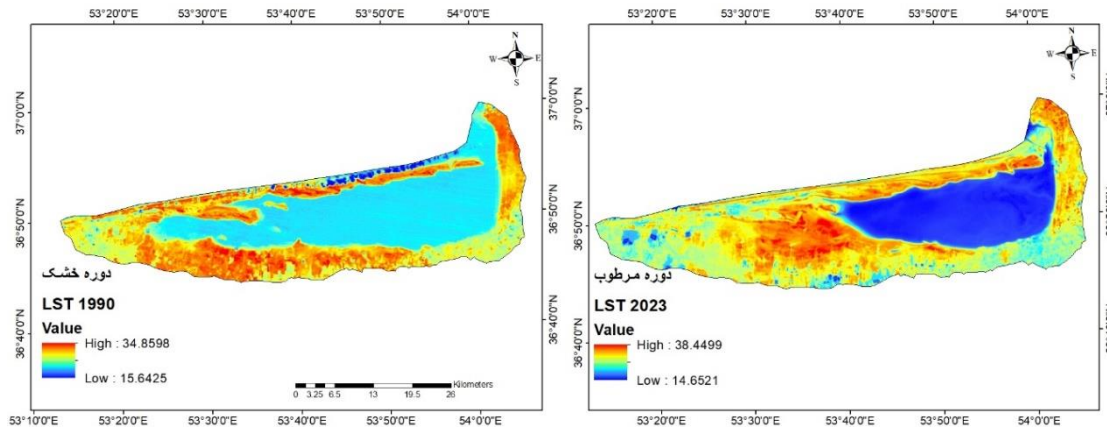
شکل ۲. مقادیر حاصل از شاخص‌های MNDWI، LSWI، NDVI و NDWI در سال ۱۹۹۰

شاخص‌ها برای ماه می ۲۰۲۳ نیز محاسبه شد. مقادیر به دست آمده در نقشه‌های زیر نمایش داده شده است.

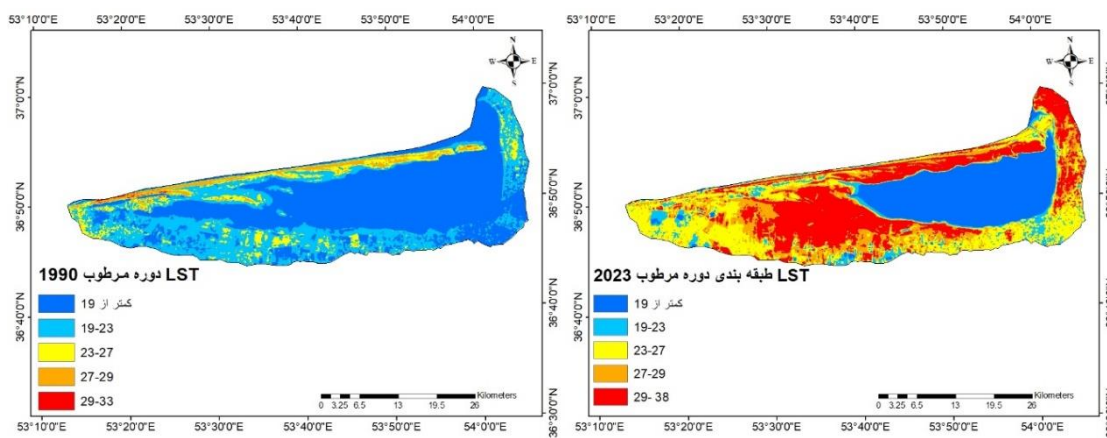
همه نتایج الگوهای مشابهی از پهنه‌های آبی را نشان دادند. به منظور بررسی تغییرات در بازه زمانی مورد مطالعه، مقادیر این



شکل ۳. مقادیر حاصل از شاخص‌های MNDWI، LSWI، NDVI و NDWI در سال ۲۰۲۳



شکل ۴. نقشه دمای سطح زمین برای دوره زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳



شکل ۵. طبقه بندی تغییرات دمایی در ماه می سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

جدول ۲. مساحت هر یک از سطوح دمایی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

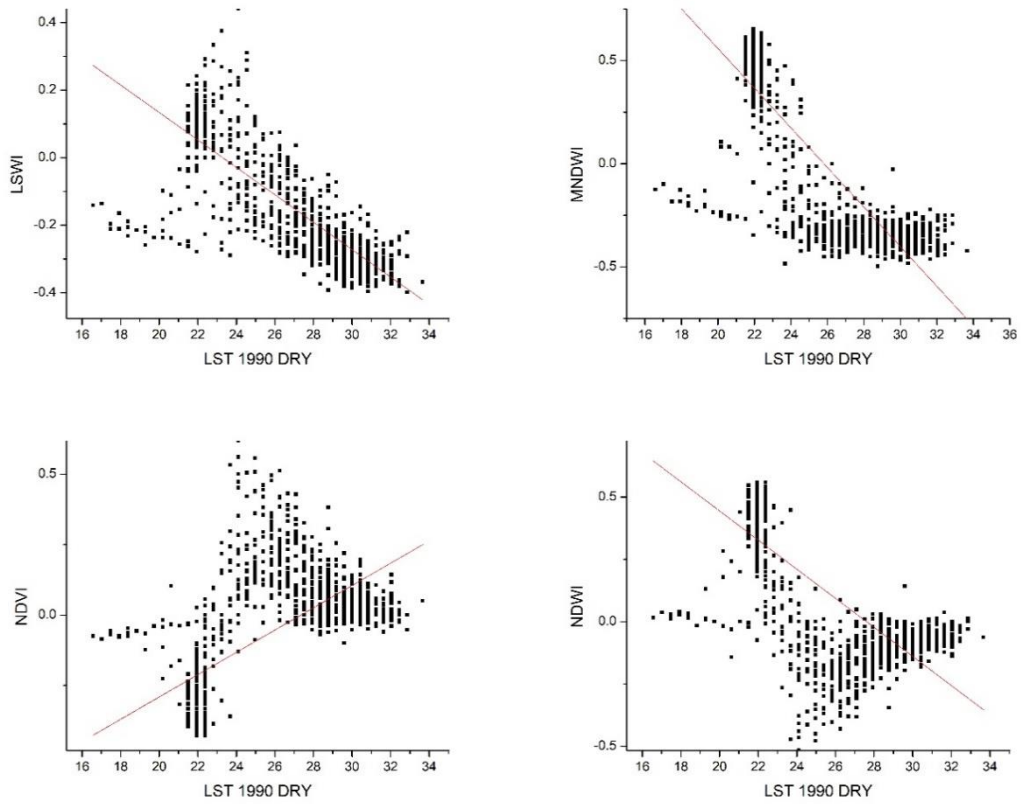
LST (سانتیگراد)	۱۹۹۰ (کیلومتر مربع)	درصد	۲۰۲۳ (کیلومتر مربع)	درصد	میزان تغییر	درصد تغییر
کمتر از ۱۹	۶۴۵	۵۵/۷	۲۹۶	۲۵/۵	-۳۴۹	-۳۰
۱۹-۲۳	۳۷۱	۳۲	۷۵	۶/۵	-۲۹۶	-۲۵/۵
۲۳-۲۷	۹۸	۸/۵	۲۷۰	۲۳/۳	+۱۷۲	+۱۴/۸
۲۷-۲۹	۴۲	۳/۶۲	۱۹۶	۱۷	+۱۵۴	+۱۳/۳
بالای ۲۹	۲	۰/۱۷	۳۲۰	۲۷/۶	+۲۷/۴	+۲/۴

شکل شماره ۴ نشان می‌دهند که به علت کاهش سطح تالاب میانکاله، پهنه وسیع تری از منطقه دماهای بالاتری را نشان داده است. لیکن به علت تفاوت زمانی در زمینه تهیه نقشه LST که مربوط به دوره‌های زمانی متفاوت ماه سپتامبر ۱۹۹۰ و ماه می ۲۰۲۳ بود و این امر می‌توانست مقایسه را به درستی انجام ندهد لذا دوره زمانی مشابهی در ماه می ۱۹۹۰ انتخاب شد تا بدین وسیله بتوان تغییرات پهنه دمایی در ماه‌های می سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ را برآورد و مقایسه نمود. نتایج حاصله در زیر نمایش داده شده است.

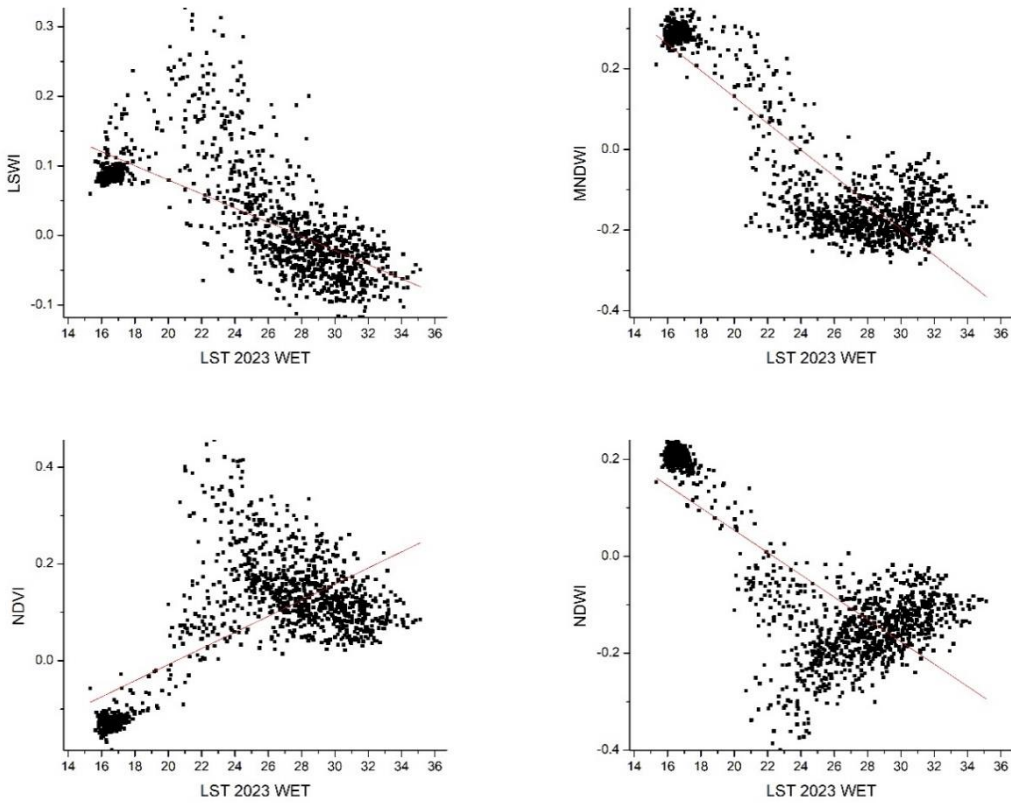
بررسی‌ها نشان داد که به علت کاهش سطح تالاب، پهنه‌های بیشتری دماهای بالاتر را تجربه کرده اند. از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ مناطقی که دارای دمای کمتر از ۱۹ درجه سانتیگراد بودند از ۶۴۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۲۹۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته و در مقابل مناطقی که دمای بالای ۲۹ درجه سانتیگراد را تجربه کرده بودند از ۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۳۲۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته که اکثراً در بخش غربی تالاب و در نواحی مشاهده شده که خشک شده است.

به منظور شناسایی بهترین شاخص در زمینه تشخیص پهنه‌های آبی و بررسی روند خشکسالی بر این پهنه‌ها، روابط همبستگی پیرسون بین هر شاخص با دمای سطح زمین برقرار گردیده و برای هر یک از سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ نتایج زیر حاصل شد.





شکل ۶ شاخص‌های پراکنش بین LST با شاخص‌های مورد مطالعه در سال ۱۹۹۰



شکل ۷ شاخص‌های پراکنش بین LST با شاخص‌های مورد مطالعه در سال ۲۰۲۳

با توجه به اینکه شاخص MNDWI در هر دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ بیشترین میزان همبستگی را نشان دادند لذا تغییرات پهنه تالاب و برآورد میزان خشکسالی بر اساس این شاخص صورت می‌پذیرد. مقادیر تغییر پهنه تالاب بر اساس این شاخص در شکل زیر نشان داده شده است.

بر این اساس مشاهده می‌شود که در سال ۱۹۹۰ پهنه تالاب معادل ۵۱۱ کیلومتر مربع بوده که این میزان در سال ۲۰۲۳ به ۳۵۱ کیلومتر مربع کاهش یافته است. به عبارتی ۱۶۰ کیلومتر از سطح تالاب کاسته شده که این میزان معادل ۱۳/۵ درصد بوده است.

جدول ۴. تغییرات سطح تالاب بر اساس شاخص MNDWI در

سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

وضعیت آب	۱۹۹۰	۲۰۲۳
مساحت (کیلومتر مربع) درصد مساحت (کیلومتر مربع) درصد	۵۵۱/۸	۶۹/۶
۵۱۱	۳۵۱	۳۰/۴

به منظور ترسیم نقشه شدت خشکسالی، بین شاخص‌ها و شاخص LST روابط رگرسیونی برقرار گردید تا بدین وسیله از طریق معادله رگرسیونی استفاده از ضرایب A و B نقشه نهایی ترسیم شود. مقادیر معادلات رگرسیونی برای هر یک از شاخص‌ها در زیر نمایش داده شده است.

جدول ۵. معادلات رگرسیونی بین شاخص‌ها و شاخص LST در بازه

زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

شاخص	معادله رگرسیونی ۱۹۹۰	معادله رگرسیونی ۲۰۲۳
LST, LSWI	$Y = -0.0406x + 0.9452$	$Y = -0.0101x + 0.2829$
LST, MNDWI	$Y = -0.096x + 2.4789$	$Y = -0.0327x + 0.7854$
LST, NDVI	$Y = 0.0396x - 1.0826$	$Y = 0.0167x - 0.3414$
LST, NDWI	$Y = -0.0584x + 1.6131$	$Y = -0.023x + 0.5148$

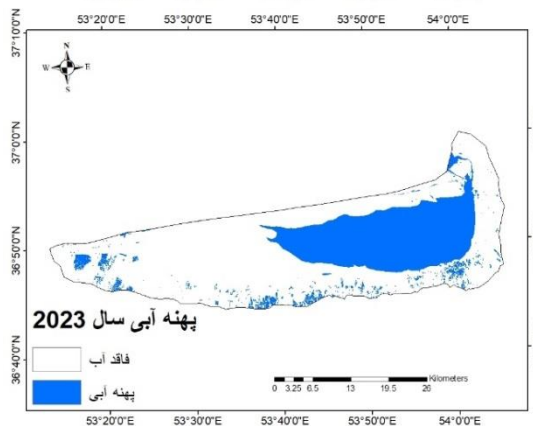
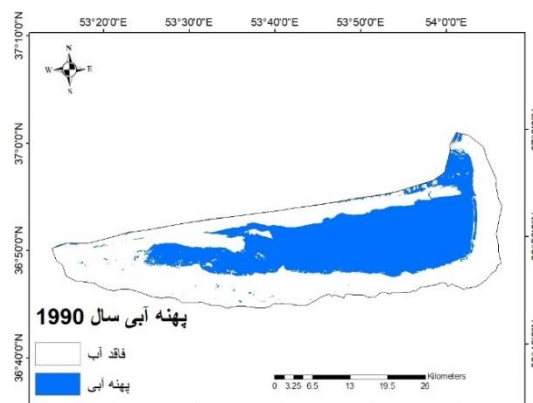
با توجه به روابط رگرسیونی بالا بین شاخص LST و MNDWI از روابط رگرسیونی این دو برای برآورد مقادیر شدت خشکسالی در تالاب میانکاله بهره گرفته شده و مقادیر شدت خشکسالی محاسبه گردیده و در شکل زیر نمایش داده شد. بر این اساس مشاهده می‌شود که بخش اعظم غرب تالاب خشک شده و با خشکی شدیدی مواجه گردیده است. در سال ۱۹۹۰ حدود ۲۴۳/۳ کیلومتر مربع از منطقه با خشکی شدید مواجه بوده که این میزان در سال ۲۰۲۳ به ۲۸۰/۷ کیلومتر مربع افزایش یافته است. البته افزایش جزئی در این محدوده مشاهده شد. تغییرات قابل توجه در محدوده متوسط دیده شده به طوری که میزان خشکی متوسط از ۵۲/۲ کیلومتر مربع در

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۰ بیشترین همبستگی به میزان  $-0/۸۳$  بین دو شاخص LST و MNDWI برقرار بوده و شاخص LSWI با میزان همبستگی معادل  $-0/۸۱$  در جایگاه دوم قرار گرفته است. بین تمامی شاخص‌های برآورد سطوح آبی با دمای سطح زمین همبستگی منفی برقرار بوده است. در سال ۲۰۲۳ نیز شاخص MNDWI با مقادیر  $-0/۸۸$  در جایگاه اول قرار گرفته است. شواهد نشان می‌دهد که تمامی شاخص‌های برآورد سطوح آبی همبستگی مناسبی را با شاخص LST نشان می‌دهند. از شاخصی که دارای بیشترین همبستگی با شاخص LST باشد برای محاسبات رگرسیونی و ترسیم نقشه خشکسالی در محدوده تالاب میانکاله استفاده شده است.

جدول ۳. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین بین

شاخص‌ها در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

شاخص	۱۹۹۰	۲۰۲۳
ضریب پیرسون	$-0/۸۱$	$-0/۵۰$
ضریب تعیین	$0/۶۷$	$0/۲۵$
ضریب پیرسون	$-0/۸۳$	$-0/۷۹$
ضریب تعیین	$0/۷$	$0/۶۴$
ضریب پیرسون	$-0/۷۳$	$-0/۴۶$
ضریب تعیین	$0/۵۳$	$0/۲۱$

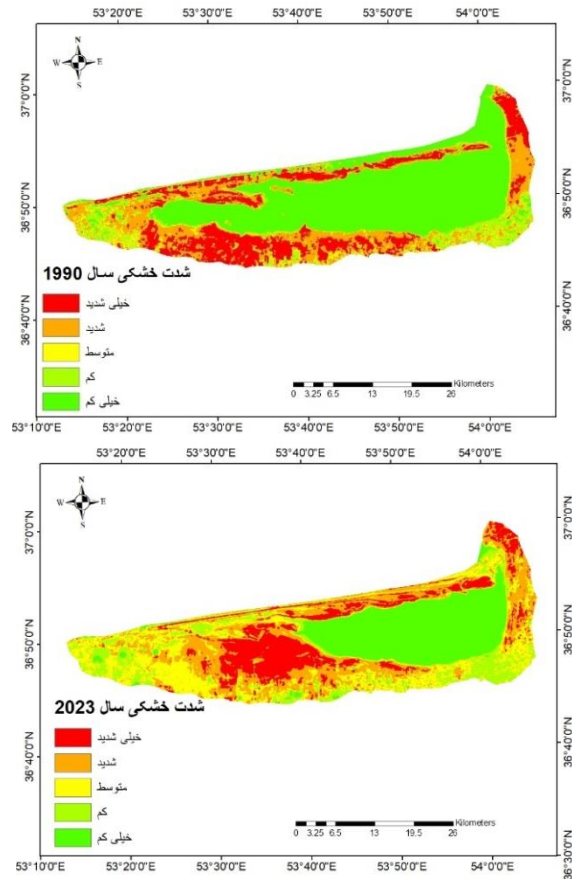


شکل ۸. تغییرات پهنه تالاب بر اساس شاخص MNDWI

در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

بصری مشابهی را از پهنه‌های آبی در تصاویر لندست ۵ و ۸ به دست آوردند. بیشترین دقت در بین این شاخص‌ها متعلق به شاخص MNDWI می‌باشد. در این بین شاخص LSWI بعد از شاخص MNDWI بیشترین دقت را نشان داده است. شاخص LSWI بر اساس رابطه بین سبزی پوشش گیاهی و شاخص گیاهی تقویت شده EVI ایجاد شده و به طور بالقوه بخشی از پوشش گیاهی و مناطق کوهستانی را به عنوان پهنه‌های آبی طبقه بندی می‌کند (چاندراسکر و همکاران، ۲۰۱۰). علاوه بر این، شاخص LSWI به علت محتوای آب برگ گیاه و محتوای آب خاک که منجر به تخمین بیش از حد آب‌های سطحی می‌شود عملکرد ضعیفی را در طول فصل مرطوب نشان می‌دهد (Jin et al, 2013). بنابراین در محیط‌های با پوشش گیاهی بالا این شاخص ممکن است به علت سردرگمی ناشی از حساسیت آن به محتوای آب برگ برای نقشه برداری دقیق آب‌های سطحی مناسب نباشد. با این حال به علت زمان تصویر برداری و موقعیت جغرافیایی آن از دقت قابل قبولی برخوردار است. شاخص‌های NDWI، MNDWI و NDVI عملکردهای مشابهی را نشان دادند. شاخص NDWI به طور موثری پوشش گیاهی را با به حداکثر رساندن بازتاب آب و به حداقل رساندن بازتاب مادون قرمز نزدیک از پهنه‌های آبی متمایز ساخته و در عین حال از بازتاب NIR برای شناسایی پوشش گیاهی و خاک استفاده می‌کند. این رویکرد باعث افزایش مشاهده آب‌های سطحی شده و پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک را حذف می‌کند. در این فرایند ممکن است پهنه‌های کوچک آب شناسایی نشوند (Li et al, 2013). شاخص MNDWI برای تشخیص پهنه‌های آبی در مناطق ساخته شده طراحی شده و برای ثبت بهتر پهنه‌های آبی و کاهش حساسیت به غلظت رسوب در آب‌های سطحی از باند سبز و مادون قرمز موج کوتاه بهره می‌گیرد (Huang et al, 2018). در نتیجه، این شاخص در طول فصل خشک از دقت بالاتری برخوردار است (Li et al, 2013). در برخی مواقع، مناطق کوهستانی به دلیل ارتفاع کم و وجود سایه به اشتباه به عنوان پهنه‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند (Sarp et al, 2017). چالش‌هایی که در نقشه برداری دقیق آب‌های سطحی با آن مواجه می‌شوند عمدتاً به پیکسل‌های مختلط، اثرات لبه‌های نزدیک پهنه‌های آبی و سایه‌های ناشی از توپوگرافی نسبت داده می‌شود (Jiang et al, 2014). وسعت آب‌های سطحی در سال ۲۰۲۳ دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است. نتایج تحقیق قابلیت داده‌های ماهواره ای به ویژه شاخص MNDWI را در پایش اثرات خشکسالی بر منابع آب سطحی نشان می‌دهد.

سال ۱۹۹۰ به ۲۵۴/۱ کیلومتر مربع رسیده که افزایش ۴ برابری را نشان می‌دهد. این امر نشان از حرکت منطقه به خشکی شدید داشته است. مقادیر مربوط به شدت خشکی در جدول زیر نمایش داده شده است.



شکل ۹. شدت خشکی بر اساس روابط رگرسیونی LST-MNDWI در بازه زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

جدول ۶ میزان خشکی بر اساس روابط رگرسیونی LST-MNDWI در بازه زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

شدت	۱۹۹۰		۲۰۲۳	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
خیلی شدید	۲۰۱/۶	۱۷/۴	۱۸۳/۸	۱۵/۸
شدید	۲۴۳/۳	۲۱	۲۸۰/۷	۲۴/۲
متوسط	۵۲/۲	۴/۵	۲۵۴/۱	۲۱/۹
کم	۹۶/۸	۸/۳	۱۳۷	۱۱/۸
خیلی کم	۵۶۴/۶	۴۸/۷	۳۰۲/۹	۲۶/۱

در نهایت به منظور صحت سنجی دقت شاخص‌ها از دقت کلی، دقت کاربر، دقت تولید کننده و ضریب کاپا استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص‌های اعمال شده، الگوهای

جدول ۷. نتایج ارزیابی شاخص‌های طیفی در بازه زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳

شاخص	دقت تولیدکننده		دقت کاربر		دقت کلی		ضریب کاپا	
	۱۹۹۰	۲۰۲۳	۱۹۹۰	۲۰۲۳	۱۹۹۰	۲۰۲۳	۱۹۹۰	۲۰۲۳
LSWI	۷۱	۶۰	۷۲	۶۲	۷۴	۶۴	۰/۷۶	۰/۶۶
MNDWI	۷۲	۷۷	۷۴	۷۹	۷۶	۸۱	۰/۷۸	۰/۸۳
NDVI	۵۳	۵۷	۵۵	۵۹	۵۷	۶۱	۰/۵۹	۰/۶۳
NDWI	۶۲	۶۶	۶۴	۶۸	۶۶	۷۰	۰/۶۸	۰/۷۲

### نتیجه‌گیری

شاخص LST و شاخص‌های برآورد آب‌های سطحی از نوع همبستگی منفی بوده است. بر اساس رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های LST و MNDWI که بیشترین همبستگی را داشته اند مشاهده شد که میزان خشکسالی متوسط بیشترین گسترش را داشته و از ۵۲/۲ کیلومتر مربع به ۲۵۴/۱ کیلومتر مربع رسیده که این امر نشان دهنده حرکت آرام منطقه به سمت خشکسالی شدید دارد. این بررسی‌ها ارزش داده‌های ماهواره ای رایگان را در مدیریت منابع آبی نشان داده است. در تحقیقات آینده می‌توان فناوری محاسبات ابری و الگوریتم‌های یادگیری ماشین را برای افزایش نظارت و پیش بینی خشکسالی به کار گرفت. با در نظر گرفتن چالش‌هایی مانند اختلاط پیکسل‌ها، پوشش ابر و مناطق کوهستانی به تحقیقات بیشتری در زمینه اصلاح شاخص‌ها و الگوریتم‌ها نیاز می‌باشد. پیش منظم خشکسالی و منابع آب سطحی برای مدیریت و سیاست گذاری موثر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک امری ضروری بوده است. این تحقیق بر اهمیت نظارت بر روند خشکسالی و اثرات آن بر منابع آب تاکید دارد. سنجش از دور امکان تشخیص سریع و نظارت دقیق را فراهم کرده و آن را برای مدیریت منابع آب در مناطق مستعد خشکسالی ارزشمند می‌سازد.

این تحقیق به استفاده از تصاویر ماهواره ای برای نظارت بر اثرات خشکسالی در منطقه تالاب میانکاله پرداخته است. به این منظور شاخص‌های تشخیص چند طیفی خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند. یافته‌ها رابطه بین دما و پهنه‌های آب‌های سطحی را نشان داده است. شاخص MNDWI با بهره‌گیری از تصاویر لندست ۵ و ۸ در شناسایی شرایط خشکسالی موفق عمل کرده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که سطح تالاب از ۵۱۱ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۳۵۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. بر این اساس پهنه‌های سويع تری با دماهای بالاتر مواجه گردیده اند. به طوری که در سال ۱۹۹۰ تنها ۲ کیلومتر مربع از منطقه دمای بالای ۲۹ درجه سانتیگراد را تجربه می‌کرده در حالی که در سال ۲۰۲۳ حدود ۳۲۰ کیلومتر مربع با این حد از دما روبرو شده اند. علت این امر خشک شدن بخش وسیعی از غرب تالاب در این بازه زمانی می‌باشد. در بین شاخص‌ها، شاخص MNDWI بیشترین همبستگی را با شاخص LST در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۳ شاهد بوده است بطوری که مقادیر همبستگی برای این سال‌ها به ترتیب معادل ۰/۸۳- و ۰/۸۸- می‌باشد. رابطه همبستگی بین

### Reference:

- Benefoh, D.T., Villamor, G.B., van Noordwijk, M., Borgemeister, C., Asante, W.A., & Asubonteng, K.O. (2018). Assessing land-use typologies and change intensities in a structurally complex Ghanaian cocoa landscape. *Appl. Geogr* 99: 109–119.
- Chandrasekar, K., Sessa Sai, M., Roy, P., & Dwevedi, R. (2010). Land surface water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *Int. J. Rem. Sens* 31 (15): 3987–4005.
- d'Andrimont, R., & Defourny, P. (2018). Monitoring African water bodies from twice-daily MODIS observation. *GIScience Remote Sens* 55 (1): 130–153.
- Dube, T., & Mutanga, O. (2015). Evaluating the utility of the medium-spatial resolution Landsat 8 multispectral sensor in quantifying aboveground biomass in uMgeni catchment, South Africa. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens* 101: 36–46.
- Dzurume, T., Dube, T., Thamaga, K.H., Shoko, C., & Mazvimavi, D. (2022). Use of multispectral satellite data to assess impacts of land management practices on wetlands in the Limpopo Transfrontier River Basin, South Africa. *S. Afr. Geogr. J* 104 (2): 193–212.
- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ* 140: 23–35.
- Frischen, J., Meza, I., Rupp, D., Wietler, K., & Hagenlocher, M. (2020). Drought risk to agricultural systems in Zimbabwe: a spatial analysis of hazard, exposure, and vulnerability. *Sustainability* 12 (3): 752-768
- Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C.C., Min, A., Renaud, F.G., Walz, Y., Siebert, S., & Sebesvari, Z. (2019). Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environ. Res. Lett* 14 (8): 083002
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: a review. *Rev. Geophys* 56 (2): 333–360.

- Jang, D. (2018). Assessment of meteorological drought indices in Korea using RCP 8.5 scenario. *Water* 10 (3): 283-302
- Janke, R., Murray, R., Uber, J., & Taxon, T. (2006). Comparison of physical sampling and real-time monitoring strategies for designing a contamination warning system in a drinking water distribution system. *J. Water Resour. Plann. Manag* 132 (4): 310-313.
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J., & Xiao, T. (2014). An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Rem. Sens* 6 (6): 5067-5089.
- Jiao, W., Zhang, L., Chang, Q., Fu, D., Cen, Y., & Tong, Q. (2016). Evaluating an enhanced vegetation condition index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. *Rem. Sens* 8 (3): 224-241
- Jin, C., Xiao, X., Merbold, L., Arneith, A., Veenendaal, E., & Kutsch, W.L. (2013). Phenology and gross primary production of two dominant savanna woodland ecosystems in Southern Africa. *Remote Sens. Environ* 135: 189-201.
- Kafy, A.A. (2021). Impact of Vegetation Cover Loss on Surface Temperature and Carbon Emission in a Fastest-Growing City, Cumilla, Bangladesh, 207. *Building and Environment*.
- Legesse, G., & Suryabhagawan, V.K. (2014). Remote sensing and GIS based agricultural drought assessment in East Shewa Zone, Ethiopia. *Trop. Ecol* 55 (3): 349-363.
- Li, W., Du, Z., Ling, F., Zhou, D., Wang, H., Gui, Y., Sun, B., & Zhang, X. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Rem. Sens* 5 (11): 5530-5549.
- Liu, Q., Zhang, S., Zhang, H., Bai, Y., & Zhang, J. (2020). Monitoring drought using composite drought indices based on remote sensing. *Sci. Total Environ* 711: 134585
- Masocha, M., Dube, T., Makore, M., Shekede, M.D., & Funani, J. (2018). Surface water bodies mapping in Zimbabwe using landsat 8 OLI multispectral imagery: a comparison of multiple water indices. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C* 106: 63-67.
- McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Rem. Sens* 17 (7): 1425-1432.
- Menarguez, M.A. (2015). *Global Water Body Mapping from 1984 to 2014 Using High Resolution Multispectral Satellite Imagery*. University of Oklahoma
- Mishra, A.K., & Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *J. Hydrol* 391 (1-2): 202-216.
- Moeletsi, M.E., & Walker, S. (2012). Assessment of agricultural drought using a simple water balance model in the Free State Province of South Africa. *Theor. Appl. Climatol* 108: 425-450.
- Ndlovu, T., & Mjimba, V. (2021). Drought risk-reduction and gender dynamics in communal cattle farming in southern Zimbabwe. *Int. J. Disaster Risk Reduc* 58: 102203
- Nguyen, H., Wheeler, M.C., Hendon, H.H., Lim, E.-P., Otkin, J.A. (2021). The 2019 flash droughts in subtropical eastern Australia and their association with large-scale climate drivers. *Weather Clim. Extrem* 32: 100321
- Nilsson, M., Griggs, D., & Visbeck, M. (2016). Policy: map the interactions between sustainable development goals. *Nature* 534 (7607): 320-322.
- Panu, U., & Sharma, T. (2002). Challenges in drought research: some perspectives and future directions. *Hydrol. Sci. J* 47 (S1): S19-S30.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symp* 1: 309-317.
- Sarp, G., & Ozcelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: a case study of Lake Burdur, Turkey. *J. Taibah Univ. Sci* 11 (3): 381-391.
- Seaton, D., Dube, T., & Mazvimavi, D. (2020). Use of multi-temporal satellite data for monitoring pool surface areas occurring in non-perennial rivers in semi-arid environments of the Western Cape, South Africa. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens* 167: 375-384.
- Sheffield, J., Wood, E.F., & Roderick, M.L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature* 491 (7424): 435-438.
- Thakur, S., Mondal, I., Bar, S., Nandi, S., Das, P., Ghosh, P.B., & De, T.K. (2020). Shoreline changes and its impact on the mangrove ecosystems of some Islands of Indian Sundarbans, North- East coast of India, *J Clean Prod* 284: 124764. Elsevier.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Rem. Sens* 27 (14): 3025-3033.
- Zhang, X., Chen, N., Sheng, H., Ip, C., Yang, L., Chen, Y., Sang, Z., Tadesse, T., Lim, T.P.Y., & Rajabifard, A. (2019). Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals. *Sci. Total Environ.* 693: 133536
- Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., Zou, Z., & Qin, Y. (2017). Open surface water mapping algorithms: a comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water* 9 (4): 256.