

Research Paper



Investigating the effect of changes in the water zone of Teham Dam on land use type and land surface temperature using spectral indices and SVM support vector machine in the period from 2007 to 2023



Mehdi Feyzolahpour

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

Keywords

Spectral index, SVM, AWEI, MNDWI, Teham dam, Zanjan, Iran.

Receive: 2024/02/11

Accepted: 2024/07/06

Available: 2026/06/22

ABSTRACT

Introduction

Surface water resources play an important role in economic development and maintaining the stability of water areas. Against climate change, ecosystems, agriculture and natural environments face different challenges. The temporal and spatial difference of water resources is clearly visible. Identification and protection of water resources are vital for arid and semi-arid environments. Economic development and agricultural productivity are of great importance. Due to the intensification of human activities and climate changes during the last century, the earth's surface has changed dramatically. Water resources have faced issues such as rapid reduction of water volume, deterioration of water quality and shrinking of water areas. These issues have led to significant damages to agricultural products and the local economy. Problems such as the shrinking of water bodies and the destruction of the environment have raised significant concerns. Dynamic monitoring of surface water is considered the main topic in research related to environmental changes.

Methodology

In this research, MNDWI, AWEI and NDWI indices were used to investigate the changes in the water area of Teham Dam in the period from 2007 to 2023. Also, in order to identify emerging patterns, the variability of the water area of Teham Dam was investigated during the last 21 years. Compared to old indices, MNDWI index and AWEI index have more acceptable accuracy. The methods proposed in this research can be generalized and have the potential to extract more fine features. These indicators are widely used to monitor surface water changes due to frequent coverage. In this research, techniques, methods, algorithms and satellite sensors were developed and analyzed to detect water areas and separate them from the surrounding environment. Over the years, various automatic and semi-automatic techniques have been developed to identify and image surface water in remote sensing images. Various algorithms such as support vector machine, random forest and maximum similarity are used in surveying land use and land cover, but in this research, SVM support vector machine model was used. For this purpose, band images are combined with each other to create a false color image.

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

How to cite this article: Feyzolahpour, Mehdi. (2026). Investigating the effect of changes in the water zone of Teham Dam on land use type and land surface temperature using spectral indices and SVM support vector machine in the period from 2007 to 2023. *Hydrogeomorphology*, 13(47):

1 – 21. DOI: [10.22034/hyd.2024.60530.1729](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60530.1729)



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

Results and Discussion

The results of the AWEI index also showed a downward trend in the area of Teham Dam between 2007 and 2023. The area of the dam area was about 2.4 square kilometers in 2007, which has decreased to 1.15 square kilometers in 2023. Therefore, it can be seen that the volume of water has increased from 38.03% to 18.22%.

Based on the map produced by the SVM model, it can be seen that the area of Teham dam in 2013 it reached 2.56 square kilometers. Finally, the extent of the water surface in 2023 has reached 1.66 square kilometers. The area of vegetation in has reached 0.03 and 0.07 square kilometers in 2013 and 2023, respectively. Based on the kappa coefficient, the accuracy values of the model estimates were checked and it was observed that it was equal to 0.89 and 0.85 for the years 2013 and 2023, respectively.

Conclusions

This research showed that the AWEI index compared to the other two indices can be used to identify shadows caused by natural phenomena and separate them from water areas. In this research, SVM support vector machine algorithm model was used to investigate the process of land use change. The results of the support vector machine model showed that the area of the dam has increased to 1.66 square kilometers in 2023.



بررسی تاثیر تغییرات پهنه آبی سد تهم در نوع کاربری اراضی و دمای سطح زمین با بهره گیری از شاخص های طیفی NDWI، MNDWI و AWEI و ماشین بردار پشتیبانی SVM در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳



مهدی فیض اله پور

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

چکیده

کلیدواژه‌ها

تغییرات مکانی و زمانی آبهای سطحی بر ساختار و عملکرد اکوسیستم های منطقه سد تهم و همچنین توسعه کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی در این منطقه تاثیر می گذارد. در این تحقیق به منظور تشخیص تغییرات طولانی مدت سد تهم در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ از شاخص های AWEI، MNDWI و NDWI و مدل ماشین بردار پشتیبانی SVM استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص AWEI نشان داد که مساحت پهنه سد در سال ۲۰۰۷ حدود ۲/۴ کیلومتر مربع بوده که در طول سال ۲۰۲۳ به ۱/۱۵ کیلومتر مربع کاهش یافته است. در شاخص MNDWI نیز در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ حجم آب به ترتیب معادل ۲/۶ و ۱/۱۷ کیلومتر مربع بوده است. نقشه NDWI کاهش ۴۶/۳۸ درصدی سطح پهنه آبی را از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ نشان می دهد. لیکن در شاخص AWEI این میزان کاهش معادل ۴۷/۹ بوده است. شاخص AWEI با مقادیر کاپای معادل ۰/۹۴ حدود پهنه های آبی را به درستی تشخیص داده است. بر اساس مدل SVM در این بازه زمانی میزان پوشش گیاهی با کاهش مواجه گردیده و به ۰/۰۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافت. میزان های بایر تقریباً در این بازه زمانی کاهش یافته و معادل ۴/۵۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ بوده است. میزان حداکثر دمای سطح زمین در ماه جولای سال ۲۰۲۳ به ۲۸/۴ درجه سانتیگراد رسیده است.

شاخص طیفی، SVM، AWEI، MNDWI، سد تهم، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

ارجاع به این مقاله: فیض اله پور، مهدی (۱۴۰۵). بررسی تاثیر تغییرات پهنه آبی سد تهم در نوع کاربری اراضی و دمای از سطح زمین با بهره گیری از شاخص های طیفی AWEI، MNDWI و NDWI و ماشین بردار پشتیبانی SVM در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳، هیدروژئومورفولوژی، (13) 47: 21-1.

*نویسنده مسئول: مهدی فیض اله پور
رایانامه: feyzolahpour@znu.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2024.60530.1729



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

منابع آبهای سطحی نقش مهمی در توسعه اقتصادی و حفظ ثبات پهنه های آبی ایفا می کنند (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۷: ۵۴۷). در هر اکوسیستمی، کشاورزی و محیط های طبیعی با چالش های متفاوتی مواجه می گردند (تولبار^۲ و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۶، آهن^۳ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۸۸). با توجه به تشدید فعالیت های انسانی و تغییرات آب و هوایی در طول قرن گذشته، سطح زمین به طور چشمگیری تغییر کرده است. در این بین، منابع آبی با مسایلی مانند کاهش سریع حجم آب، بدتر شدن کیفیت آب و کوچک شدن پهنه های آبی مواجه بوده اند (هال^۴ و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۴). برای حفاظت و توسعه پایدار منابع آب، داده های تغییر آب های سطحی باید به موقع و صحیح جمع آوری شود. پوشش گسترده، دوره های تکرار فراوان، اطلاعات غنی و هزینه کم، ویژگی های اصلی داده های تصاویر سنجنش از دور بوده و باعث شده که در نقشه برداری کاربری و پوشش زمین در دوره های زمانی و مکانی طولانی مورد توجه قرار گیرند (زورگانی^۵ و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۸۰).

تکنیک های یادگیری و الگوریتم های کلاسیک، دو نوع فرایند شناسایی پهنه های آبی بر اساس داده های سنجنش از دور به شمار می روند (یانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۱: ۳۷، فیض اله پور، ۲۰۲۵: ۷، فیض اله پور، ۲۰۲۶: ۹). ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، جنگل تصادفی (RF)، درخت تصمیم (DT)، یادگیری عمیق (DL) و سایر الگوریتم های یادگیری ماشین نمونه هایی از این تکنیک ها هستند (فو^۷ و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۱۲، کا^۸ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۳۷۶۸، آچارپا^۹ و همکاران، ۲۰۱۶: ۶، کالی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۷۲، فیض اله پور، ۲۰۲۴: ۲۵، عبدالعلی زاده و همکاران، ۲۰۲۳: ۴۴). روش های یادگیری ماشین نیازمند دانش تخصصی انتخاب نمونه و آموزش الگوریتم بوده و نقشه برداری سریع در مقیاس کشوری و جهانی امری دشوار می باشد (لی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۵۳۵). در شرایط فعلی برای شناسایی پهنه های آبی بر پایه داده های چند طیفی، شاخص های طیفی متنوعی در دسترس هستند. هر روش مزایا و معایب خاص خود را دارد. تحقیقات مختلفی در زمینه شاخص های طیفی و کاربرد آنها در بررسی پهنه های آبی انجام شده است. گائو^{۱۲} (۱۹۹۶) مدلی از NDWI را برای بررسی آب مایع پوشش گیاهی معرفی نمود. راجرز^{۱۳} و کرنی (۲۰۰۴) با استفاده از باند قرمز و مادون قرمز موج کوتاه در سنجنده TM ماهواره لندست مدلی از NDWI را معرفی کردند. زیائو^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از باند NIR و SWIR در ماهواره MODIS، شاخص آب سطحی (LSWI) را معرفی کردند. اوما^{۱۵} و تاتیشی (۲۰۰۶) برای استخراج لبه خط ساحلی و با استفاده از شاخص رطوبت (TCW) و NDWI در سنجنده TM و ETM+، شاخص جدید آب (WI) را پیشنهاد کردند. وو^{۱۶} و همکاران (۲۰۰۸) برای استخراج اطلاعات پهنه آبی، روش ترکیبی جدیدی را معرفی کردند. این روش مبتنی بر ترکیب رابطه طیفی بین باندهای مختلف با شاخص TCW و حذف سایر پدیده ها با استفاده از روش طبقه بندی حداکثر احتمال می باشد. لی^{۱۷} و زو (۲۰۰۹) روشی را برای شناسایی پهنه های آبی نواحی کوهستانی (MEWI) از طریق شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و باند قرمز ماهواره ای MODIS ارائه کردند. سیتون^{۱۸} و همکاران (۲۰۲۰) برای نقشه برداری تغییرات آب های سطحی رودخانه تانکاوای افریقای جنوبی در بازه زمانی ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ از داده های لندست ۸ و سنتینل ۲ استفاده کردند. به این منظور از شاخص های NDWI، MNDWI و NDVI بهره گرفته شد. دقت این شاخص ها بین ۶ تا ۸۶ درصد متغیر بوده و این امر نشان دهنده امکان استفاده از این مجموعه داده ها در نظارت بر تغییرات آب های سطحی می باشد. گین^{۱۹} و همکاران (۲۰۲۱) نمایی از شاخص های نوری و حرارتی ارائه کرده و نحوه ترکیب آنها را با داده های سایر منابع نشان می دهند. آلاهاکان^{۲۰} و ادیسینگ (۲۰۲۲) یک نمای کلی از شاخص ها را با تاکید بر شرایط مختلف

¹ Liu
² Tulbure
³ Aherne
⁴ Hall
⁵ Zurqani

⁶ Yang
⁷ Fu
⁸ Ko
⁹ Acharya
¹⁰ Kali

¹¹ Li
¹² Gao
¹³ Rogers
¹⁴ Xiao
¹⁵ Ouma

¹⁶ Wu
¹⁷ Li
¹⁸ Seaton
¹⁹ Qin
²⁰ Alahacoon

منطقه ای و جهانی ارائه می دهند. وروگ دنهیل^۱ و همکاران (۲۰۲۲) شاخص های سنجش از دور را با تاکید بر امواج میکروویو بررسی کرده و نحوه ادغام آنها را شرح می دهند. وانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۲) اصل یکپارچه سازی شاخص های سنجش از دور و داده های هواشناسی را ارائه می دهند. دو^۳ 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. هدف اصلی این تحقیق، مقایسه شاخص های MNDWI، NDWI و AWEI و همچنین بررسی تغییرات پهنه سد تههم در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ بوده است.

مواد و روش

سد تههم در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی در شمال شهر زنجان قرار گرفته است. این سد آب بخش قابل توجهی از شهر زنجان را تامین می کند. در سال های گذشته حجم آب این سد به شکل قابل توجهی کاهش یافته است. این امر در دراز مدت بر فعالیت های اقتصادی و کشاورزی شهر زنجان و محیط پیرامون آن تاثیر منفی بر جای خواهد گذاشت. در اولین مرحله از این مطالعه برای ماهواره لندست ۵ و ۸ در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ از تصاویر بازتابی بالای اتمسفر (TOA) استفاده شد. این تصاویر دارای وضوح مکانی ۳۰ متر بوده اند. به علت کیفیت بالای تصاویر لندست در سطح ۱، این لایه برای تحلیل و پردازش سری های زمانی مناسب می باشد. داده های سطح ۱ شامل داده های پردازش شده ای هستند که به وسیله حسگرهای متعدد لندست کالیبره شده اند. تصاویر تهیه شده مربوط به ۲۹ اگوست ۲۰۰۷، ۲۸ جولای ۲۰۱۳، ۱ جولای ۲۰۱۸ و ۱۶ جولای ۲۰۲۳ می باشند.

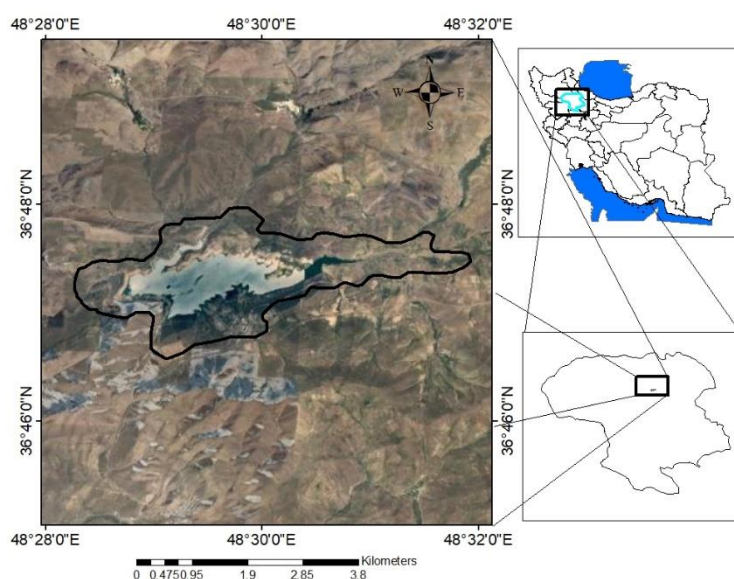


Figure (1): The studied area in Teham Dam

در دومین مرحله از این مطالعه برای بررسی تغییرات پهنه آبی سد تههم در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ از شاخص های اصلاح شده تفاوت نرمال آب (MNDWI)، شاخص استخراج خودکار آب (AWEI) و شاخص تفاوت نرمال آب (NDWI) استفاده شد. توضیحات مربوط به

¹ Vreugdenhil

² Wang

³ Du

این شاخص ها در ادامه ارائه شده است. همچنین برای شناسایی الگوهای نوظهور، تغییرپذیری پهنه آبی سد تهم در طی ۱۶ سال گذشته مورد بررسی قرار گرفت. در طول سال ها برای شناسایی و تصویربرداری از آب های سطحی در تصاویر سنجش از دور، تکنیک های مختلف خودکار و نیمه خودکار توسعه یافته اند. باندهای متعددی که هر کدام مربوط به طیف متفاوتی از طول موج ها هستند توسط سنجنده های ماهواره ها تصویربرداری شدند (اومش^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

در بررسی کاربری و پوشش زمین از الگوریتم های مختلفی مانند ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و حداکثر احتمال استفاده می شود لیکن در این تحقیق از مدل ماشین بردار پشتیبان SVM استفاده شد. به این منظور تصاویر باندها با یکدیگر ترکیب شدند تا تصویر رنگی کاذب ایجاد گردد.

فرایند تعلیم بر اساس این تصاویر انجام شده و منطقه به ۳ کاربری پهنه آبی، پوشش گیاهی و زمین بایر تقسیم گردید. در نهایت فرایند تولید نقشه کاربری در نرم افزار Arc GIS انجام شد. برای صحت سنجی نتایج حاصله از ضریب کاپا استفاده گردید. این ضریب بین صفر تا یک قرار دارد. این فرایند برای هر یک از سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ انجام شد. در بخش جدول توصیفی با ایجاد یک ستون، مقادیر مساحت هر پهنه بر حسب کیلومتر مربع برآورد گردیده و میزان تغییرات مشخص شد. در آخرین بخش از تحقیق، مقادیر دمای سطح زمین با استفاده از نقشه NDVI و باند ۱۰ لندست ۸ ترسیم شد. تغییرات مقادیر حداقل و حداکثر می تواند تاثیر روند کاربری زمین را بر دمای سطح زمین نمایش دهد. برای برآورد دمای سطح زمین در لندست ۸ ابتدا دمای سطوح بالای اتمسفر یا TOA بر اساس معادله زیر محاسبه گردید.

$$TOA = 0.0003342 * BAND\ 10 + 0.1 - 0.29 \quad (1)$$

از مقادیر به دست آمده برای دمای روشنایی BT بهره گرفته شده و به شکل زیر برآورد شد:

$$BT = \left(\frac{1321.0789}{\ln\left(\frac{774.8853}{TOA} + 1\right)} \right) - 273.15 \quad (2)$$

برای محاسبه دمای سطح زمین نیاز به برآورد NDVI و نسبت پوشش گیاهی PV بوده و از طریق معادلات زیر برآورد شد.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (3)$$

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{MAX} - NDVI_{min}))^2 \quad (4)$$

در آخرین بخش از محاسبات نیاز به محاسبه تابش شعشی می باشد که از طریق معادله زیر به دست آمد.

$$E = 0.004 * PV + 0.986 \quad (5)$$

در نهایت، مقادیر دمای سطح زمین از معادله زیر برآورد گردید.

¹ Umesh

$$LST = BT / (1 + (10.8 * \frac{BT}{14388}) * \ln(E)) \quad (6)$$

شاخص NDWI یکی از شاخصهای طیفی است که در این تحقیق به کار گرفته شده است. شاخص NDWI در سال ۱۹۹۶ توسط مک فیتر^۱ ارائه گردید (McFeeters, 1996). مقادیر این شاخص بین +۱ و -۱ قرار می گیرد. در این شاخص از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک استفاده شد.

$$NDWI = \frac{green-NIR}{green+NIR} \quad (7)$$

ویژگی های متمایز آن باید به منظور از بین بردن تصاویر عوارض ساخته شده در زمین به کار گرفته شود. زمین های ساخته شده، در باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک دارای الگوی بازتابی مشابه با آب بوده و نور سبز را بیشتر از باند مادون قرمز نزدیک منعکس می کند (لیو^۲ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۳۰۷). در نتیجه در مولفه زمین های ساخته شده به مانند پهنه های آبی یک عدد مثبت برای شاخص NDWI به دست می آید (کاندولف^۳ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۵۷، بادولوتا^۴ و همکاران، ۲۰۲۱: ۳۰۳، شتی و همکاران، ۲۰۲۲). به همین دلیل است که اغلب در تصاویر NDWI، زمین های ساخته شده با پهنه های آبی ترکیب می شوند. نگاهی دقیق به تصاویر حاصل از این شاخص نشان می دهد که میانگین تعداد پیکسل های تابشی MIR به طور قابل توجهی بیشتر از باند سبز است. بنابراین اگر در شاخص NDWI باند MIR به جای باند NIR استفاده شود زمین های ساخته شده باید دارای مقادیر منفی باشند (سکیانزی^۵ و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۸). بر اساس این فرض در این شاخص، باند NIR جایگزین می شود. به این منظور شاخص MNDWI ارائه شده است. 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^۶ و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد گردید. در این شاخص به جای باند مادون قرمز نزدیک از باند مادون قرمز موج کوتاه SWIR1 بهره گرفته شد. شاخص های MNDWI به شکل زیر برآورد می گردد:

$$MNDWI = \frac{Green-MIR}{Green+MIR} \quad (8)$$

شاخص استخراج خودکار آب (AWEI) برای افزایش صحت تشخیص در نواحی که در آن تکنیک های طبقه بندی مرسوم اغلب با مشکل مواجه می شوند ایجاد شده است (بلیدولیا^۷ و همکاران، ۲۰۲۲). شاخص AWEI در مکان های کوهستانی که سایه عوارض کوهستانی عامل مهم اشتباهات در تشخیص است می تواند برای شناسایی دقیق آب مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص از طریق معادله زیر محاسبه گردید:

$$AWEI = 4. (Green - SWIR2) - (0.25.NIR + 2.75.SWIR1) \quad (9)$$

در این معادله SWIR1، SWIR2، NIR و Green اشاره به مادون قرمز موج کوتاه ۱، مادون قرمز موج کوتاه ۲، مادون قرمز نزدیک و باند سبز دارد. در این تحقیق برای تشخیص آب و تغییرات پهنه آبی از شاخص های MNDWI، NDWI و AWEI استفاده شد.

¹ McFeeters³ Kondolf⁵ Ssekyanzi⁷ Bellido² Liao⁴ Badaluta⁶ Xu

در این بخش دقت و صحت طبقه بندی آبهای سطحی و پهنه های غیر آبی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ ارزیابی شد. به این منظور ۷۵۰ نقطه به شکل تصادفی تولید گردید که در این بین ۴۵۰ نقطه برای آب های سطحی و ۳۰۰ نقطه برای پهنه های غیر آبی در نظر گرفته شد. برای ارزیابی دقت ها 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. برای محاسبه هر ماتریس از معادلات زیر استفاده شده است:

$$user\ accuracy = \frac{ni_i}{ni+1} \quad (10)$$

$$producer\ accuracy = \frac{nii}{n+1} \quad (11)$$

$$overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^m nii}{n} \cdot 100 \quad (12)$$

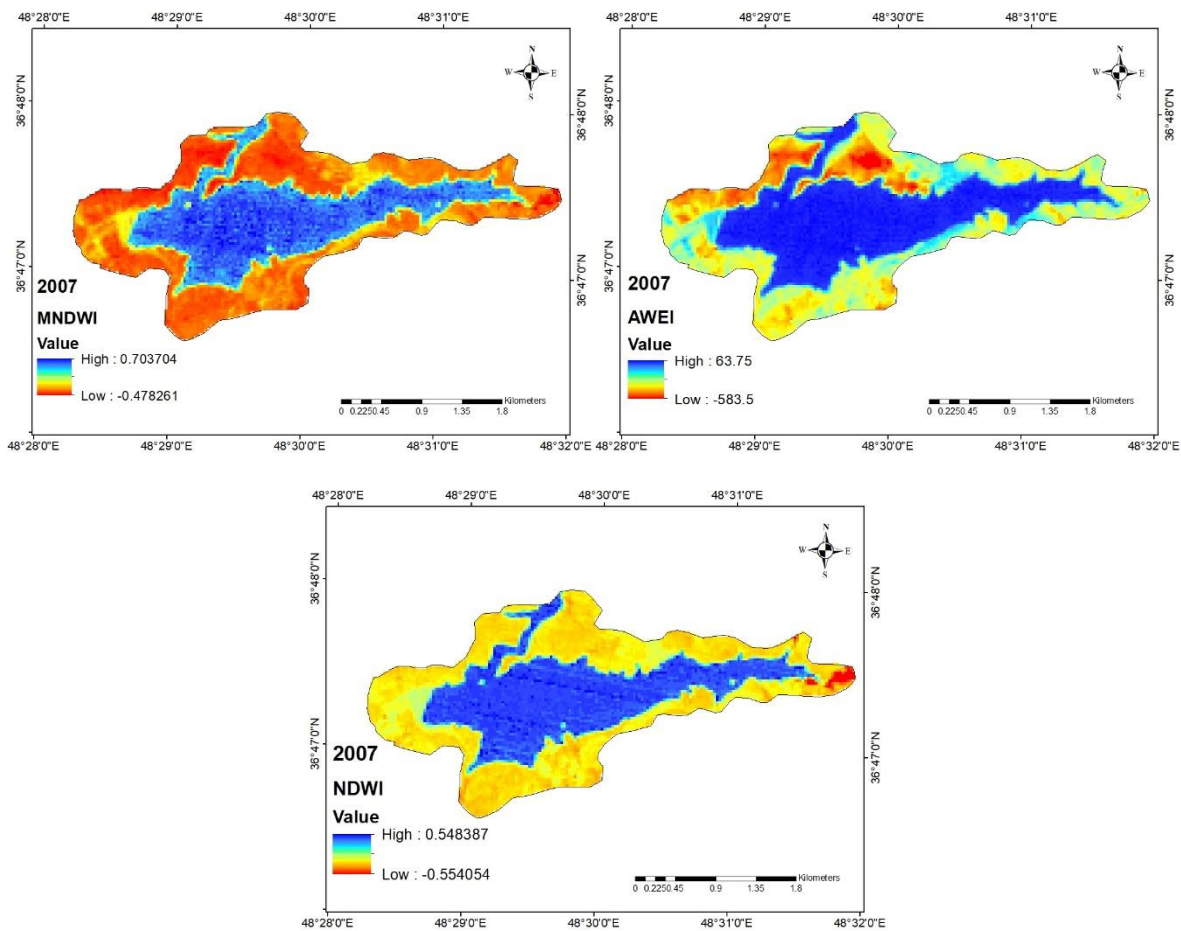
در نهایت برای صحت سنجی هر یک از شاخص ها، ضریب کاپا به کار گرفته شد. این شاخص، پیکسل های طبقه بندی شده را با پیکسل های تصادفی مقایسه می کند. مقدار این شاخص بین -۱ و +۱ قرار می گیرد. با افزایش دقت شاخص، میزان کاپا افزایش می یابد. برای برآورد این شاخص از رابطه زیر استفاده شد:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n (x_i + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (x_i + x_{+i})} \quad (13)$$

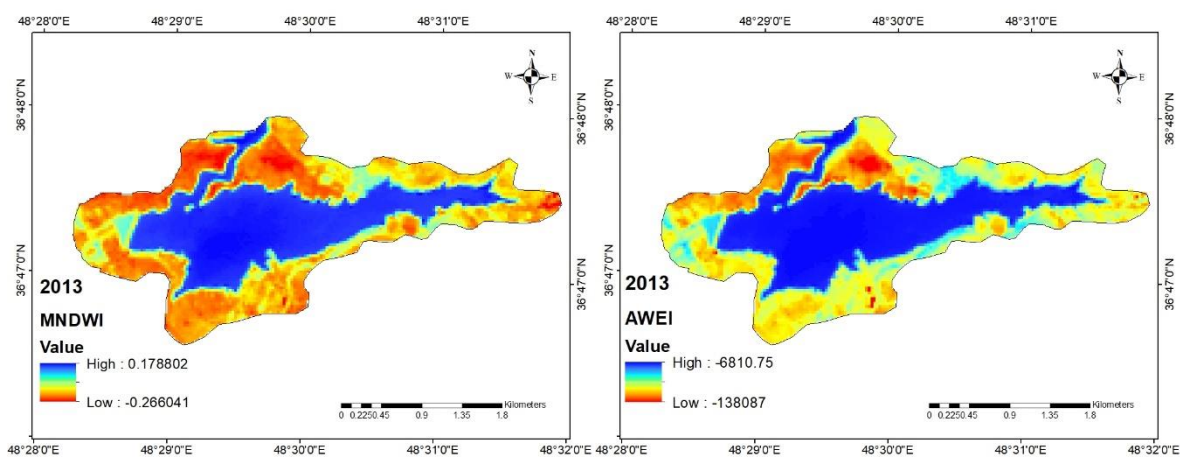
در این رابطه، x_{ii} مجموع تعداد تمامی پیکسل ها در ردیف i ، x_{+i} تعداد کل پیکسل ها در ردیف i و N تعداد پیکسل کل در ماتریس پراکنده می باشد.

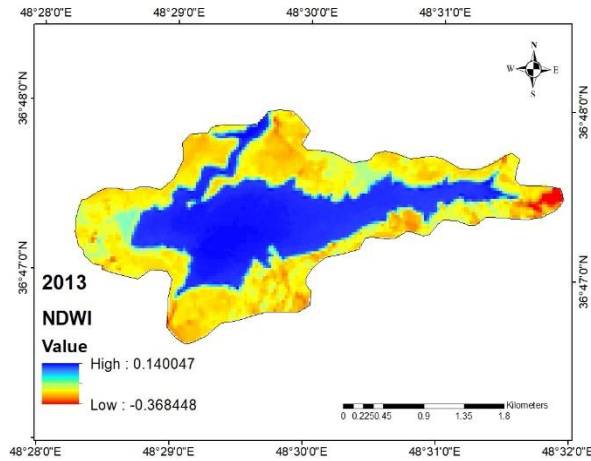
یافته ها و بحث

در این تحقیق، برای بررسی تغییرات پهنه آبی سد تهم در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ از شاخص های AWEI، NDWI و MNDWI استفاده شده است. تصاویر مربوط به این محدوده نیز از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا دانلود گردید. تصاویر سال ۲۰۰۷ مربوط به ماهواره لندست ۵ بوده و تصاویر سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۳ نیز متعلق به ماهواره لندست ۸ می باشد. بر اساس معادلات مربوط به شاخص های فوق، از باندهای سبز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه ۱ و مادون قرمز موج کوتاه ۲ استفاده شد. تصاویر مربوط به این بازه ها و شاخص ها در شکل ۲ تا ۵ نشان داده شد.

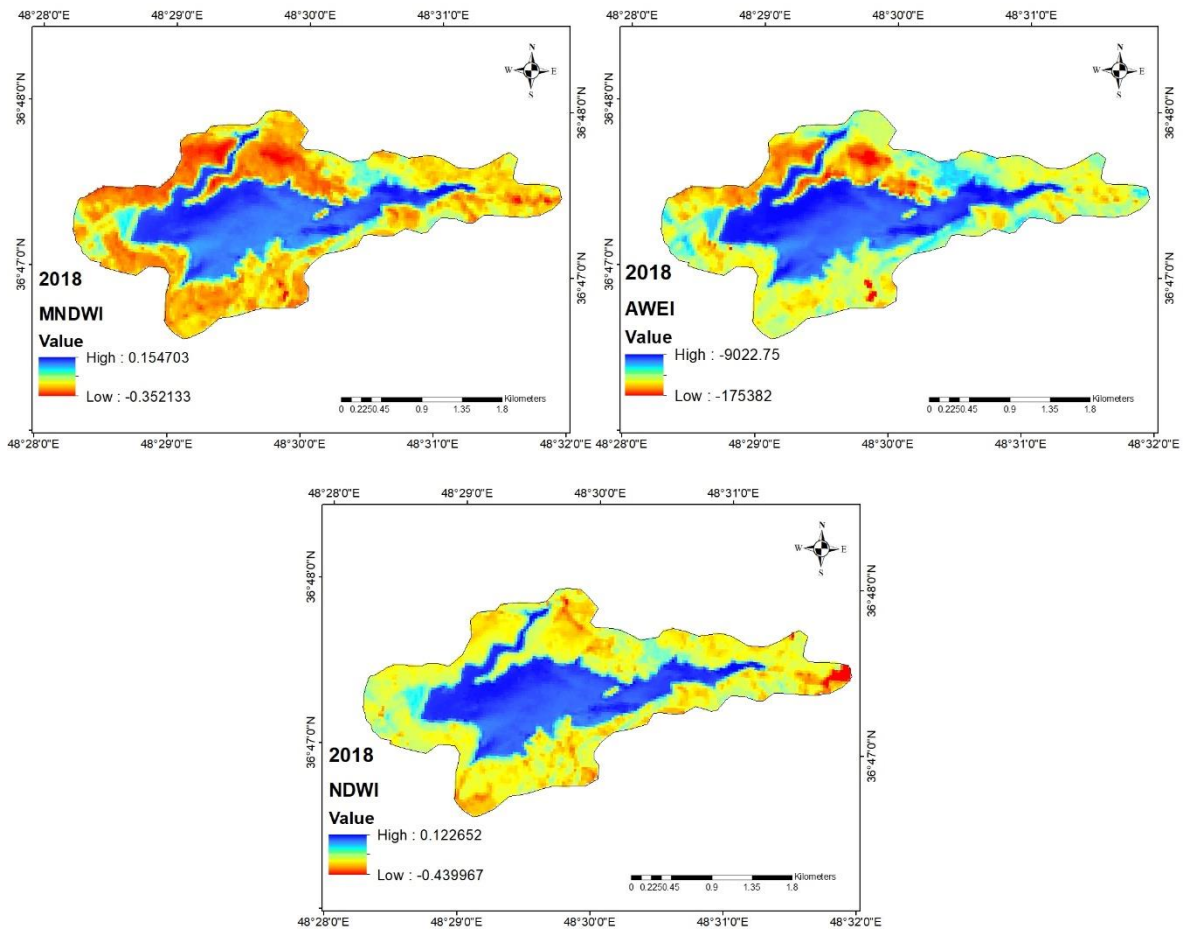


شکل (۲): وضعیت پهنه سد تهیم با استفاده از شاخص های طیفی در سال ۲۰۰۷
 Figure (2): The condition of the Teham Dam area using spectral indicators in 2007



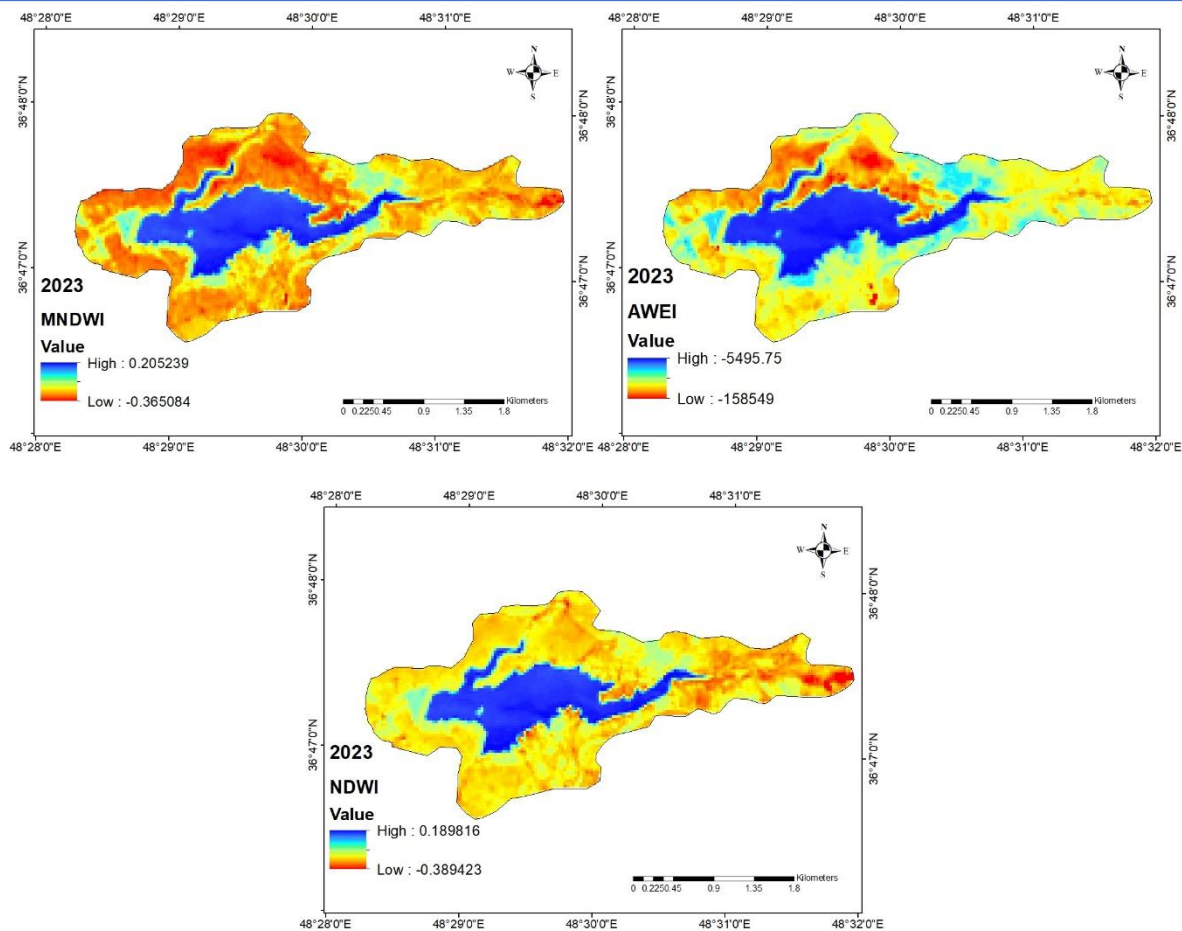


شکل (۳): وضعیت پهنه سد تهم با استفاده از شاخص های طیفی در سال ۲۰۱۳
Figure (3): The condition of the Teham Dam area using spectral indicators in 2013



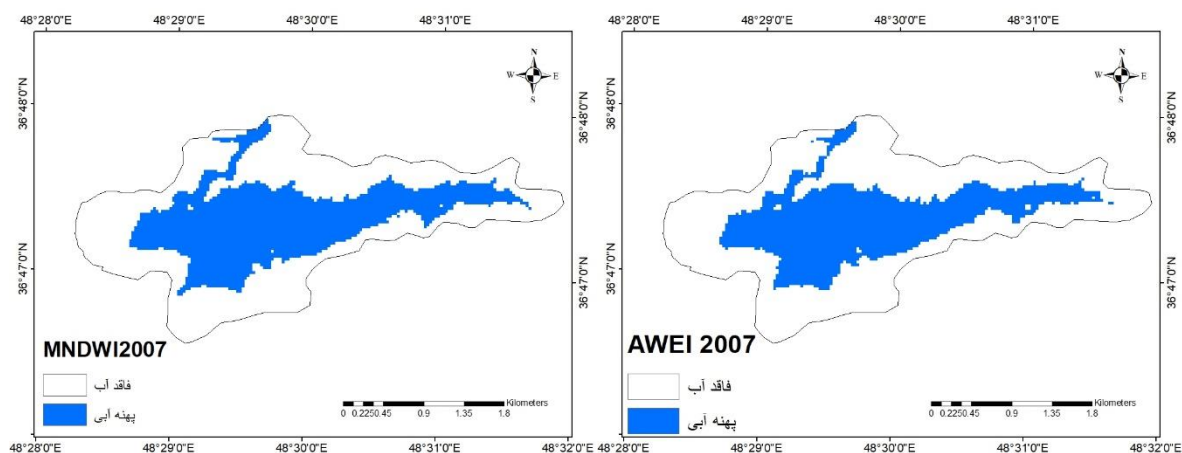
شکل (۴): وضعیت پهنه سد تهم با استفاده از شاخص های طیفی در سال ۲۰۱۸
Figure (4): The state of the Teham dam area using spectral indicators in 2018

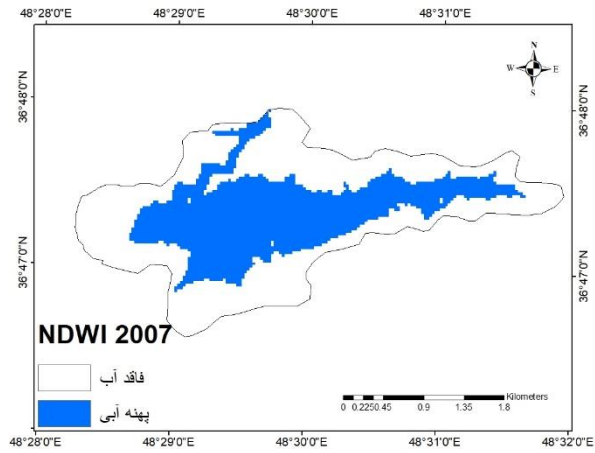
هیدروژئومورفولوژی، دوره ۱۳، شماره ۴۷، تابستان ۱۴۰۵



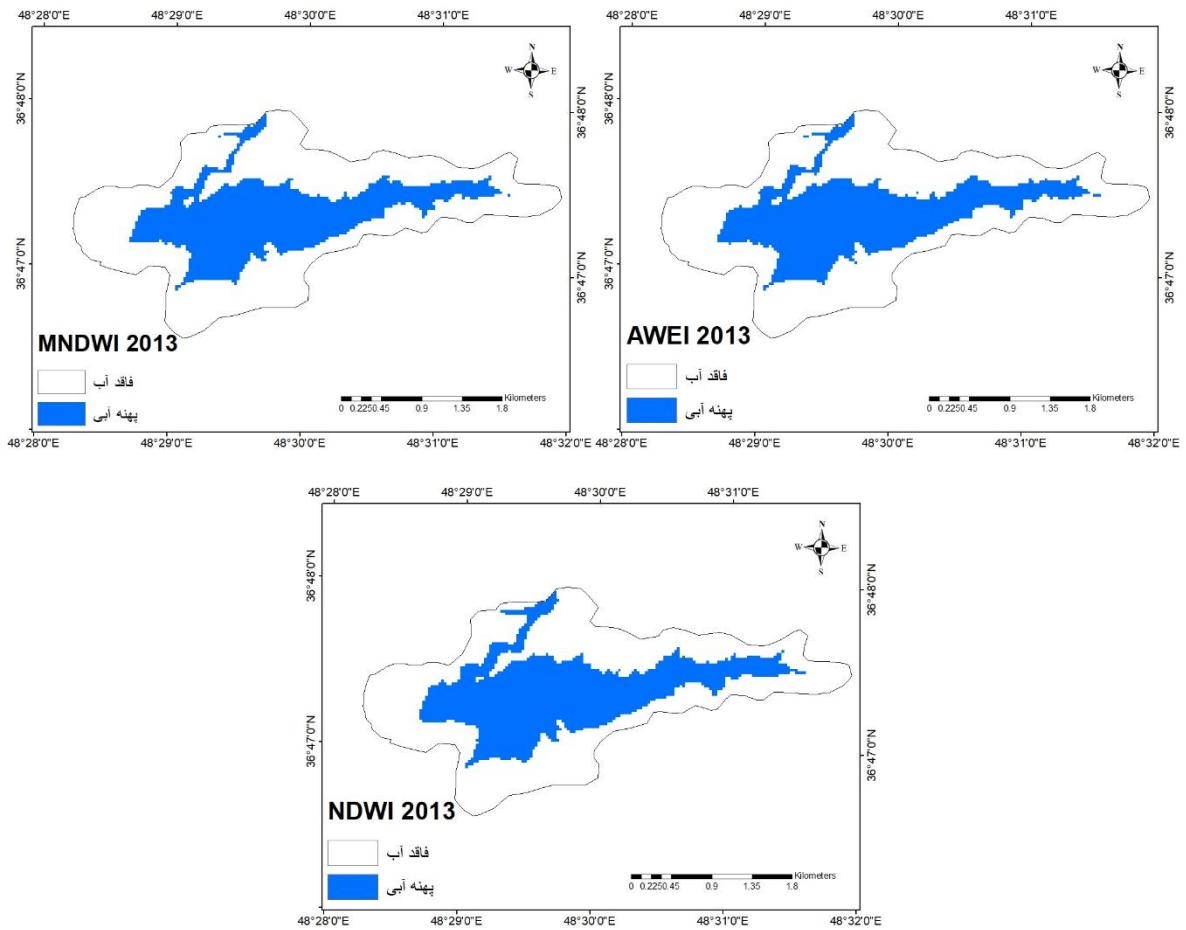
شکل (۵): وضعیت پهنه سد تهم با استفاده از شاخص های طیفی در سال ۲۰۲۳
Figure (5): The state of the Taham Dam area using spectral indicators in 2023

به منظور برآورد مساحت پهنه آبی در محدوده سد تهم اقدام به طبقه بندی بازتاب های طیفی شده و آستانه ای تعیین گردید. بر اساس تصاویر حاصله تغییرات پهنه آبی و درصد این تغییرات محاسبه شد. تصاویر مربوط به طبقه بندی های فوق در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ در شکل های ۶ تا ۹ نشان داده شده است.



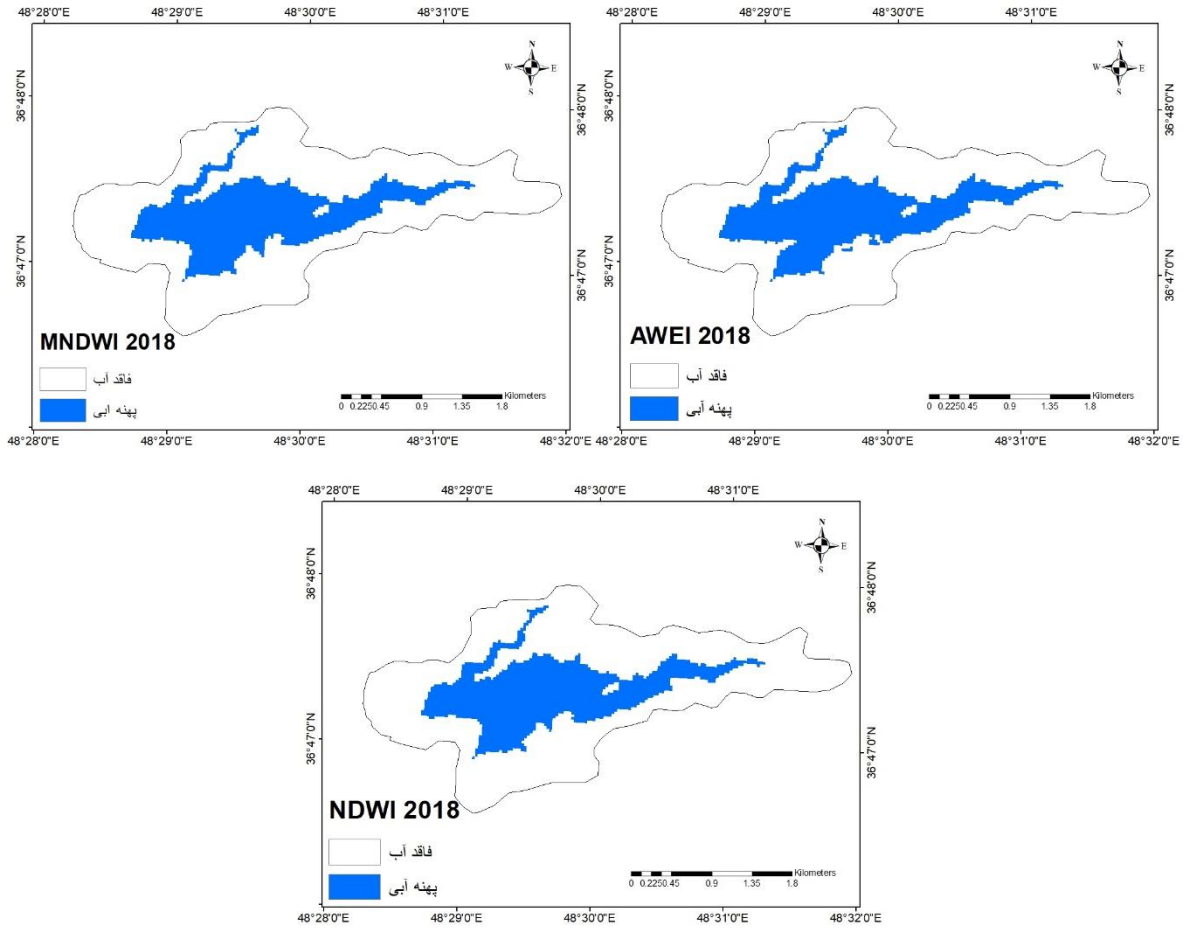


شکل (۶): پهنه آبی سد تهم بر اساس شاخص های طیفی در سال ۲۰۰۷
Figure (6): Water area of Teham Dam based on spectral indicators in 2007

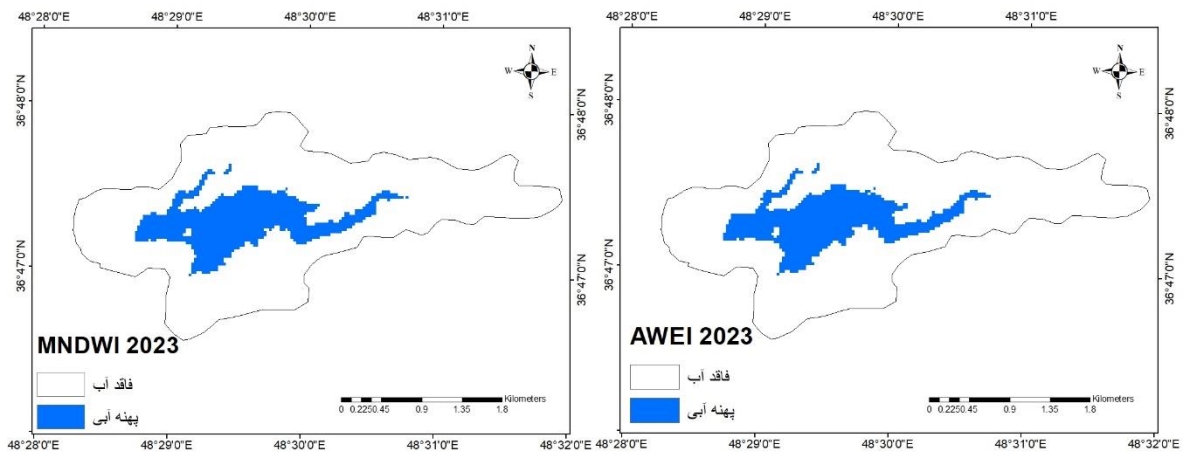


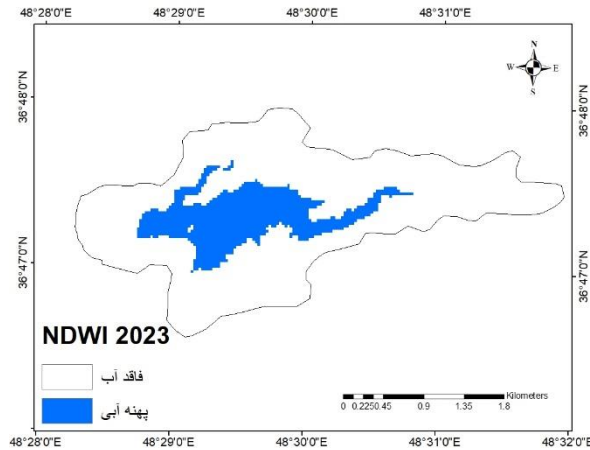
شکل (۷): پهنه آبی سد تهم بر اساس شاخص های طیفی در سال ۲۰۱۳
Figure (7): Water area of Teham Dam based on spectral indicators in 2013

هیدروژئومورفولوژی، دوره ۱۳، شماره ۴۷، تابستان ۱۴۰۵



شکل (۸): پهنه آبی سد تهم بر اساس شاخص های طیفی در سال ۲۰۱۸
 Figure (8): Water area of Teham Dam based on spectral indicators in 2018





شکل (۹): پهنه آبی سد تههم بر اساس شاخص های طیفی در سال ۲۰۲۳

Figure (9): Water area of Teham Dam based on spectral indicators in 2023

بر اساس نتایج، شاخص NDWI در طی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ روند نزولی را نشان می دهد. پهنه آبی سد تههم در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب معادل ۲/۶۳ و ۱/۲۲ کیلومتر مربع بوده است. بر اساس این شاخص میزان کاهش آب قابل توجه بوده به صورتی که از ۴۱/۶۷ درصد از مساحت سطح منطقه مورد مطالعه به ۱۹/۳۳ درصد کاهش یافته است (جدول ۱).

جدول (۱): میزان تغییرات پهنه آبی سد تههم بر اساس شاخص NDWI در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳

Table (1): The amount of changes in the Tehm Dam area based on the NDWI index in the period from 2002 to 2023

سال	آستانه	مساحت کیلومتر مربع		درصد
		پهنه آبی	فقد آب	
۲۰۰۷	۰/۱۲	۲/۶۳	۳/۶۶	۴۱/۶۷
۲۰۱۳	۰/۰۱	۲/۴۵	۳/۸۵	۳۸/۸۲
۲۰۱۸	۰/۰۱	۱/۸۱	۴/۵۱	۲۸/۶۸
۲۰۲۳	۰/۰۱	۱/۲۲	۵/۰۸	۱۹/۳۳

شاخص MNDWI نیز در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ روند نزولی را نشان می دهد. در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ سطح آب به ترتیب معادل ۲/۶ و ۱/۱۷ کیلومتر مربع بوده است. بر این اساس مشاهده می شود که اختلاف کمی بین برآورد های این شاخص با شاخص NDWI وجود داشته است. کاهش آب نیز در این بازه قابل توجه بوده و از ۴۱/۲۱ درصد از سطح دریاچه سد در سال ۲۰۰۷ به ۱۸/۵۴ درصد در سال ۲۰۲۳ رسیده است.

جدول (۲): میزان تغییرات پهنه سد تههم بر اساس شاخص MNDWI در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳

Table (1): The amount of changes in the Tehm Dam area based on the MNDWI index in the period from 2002 to 2023

سال	آستانه	مساحت کیلومتر مربع		درصد
		پهنه آبی	فاقد آب	
۲۰۰۷	۰/۰۴	۲/۶	۳/۷	۴۱/۲۱
۲۰۱۳	۰/۱۲	۲/۲	۴/۰۸	۳۴/۸۶
۲۰۱۸	۰/۰۴	۱/۸۵	۴/۴۷	۲۹/۳۱
۲۰۲۳	۰/۱۱	۱/۱۷	۵/۱۳	۱۸/۵۴

نتایج حاصل از شاخص AWEI نیز در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ روند نزولی را در پهنه سد تههم نشان داد. مساحت پهنه سد در سال ۲۰۰۷ حدود ۲/۴ کیلومتر مربع بوده که در طول سال ۲۰۲۳ به ۱/۱۵ کیلومتر مربع کاهش یافته است. لذا مشاهده می شود که حجم آب از ۳۸/۰۳ درصد به ۱۸/۲۲ درصد رسیده است.

جدول (۳): میزان تغییرات پهنه سد تههم بر اساس شاخص AWEI در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳

Table (3): The amount of changes in the Tehm Dam area based on the AWEI index in the period from 2002 to 2023

سال	آستانه	مساحت کیلومتر مربع		درصد
		پهنه آبی	فاقد آب	
۲۰۰۷	۱۵/۱۳	۲/۴	۳/۹	۳۸/۰۳
۲۰۱۳	-۱۲۸۴۷	۲/۲۶	۴/۰۳	۳۵/۸۱
۲۰۱۸	-۲۲۲۳۰	۱/۸۲	۴/۵۰	۲۸/۸۴
۲۰۲۳	۱۲۰۱۷	۱/۱۵	۵/۱۵	۱۸/۲۲

نقشه NDWI کاهش ۴۶/۳۸ درصدی سطح پهنه آبی را از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ نشان می دهد. نقشه MNDWI کاهش ۴۵ درصدی سطح پهنه آبی را در این بازه زمانی نشان می دهد. لیکن در شاخص AWEI این میزان کاهش معادل ۴۷/۹ بوده است. لذا مشاهده می شود که هر سه شاخص به نتایج نزدیک به هم دست یافته اند.

به منظور ارزیابی صحت هر شاخص از فاکتورهای دقت کاربر (UA)، دقت تولیدکننده (PA)، دقت کلی (OA) و ضریب کاپا استفاده شد. بر این اساس نتایج زیر حاصل شد.

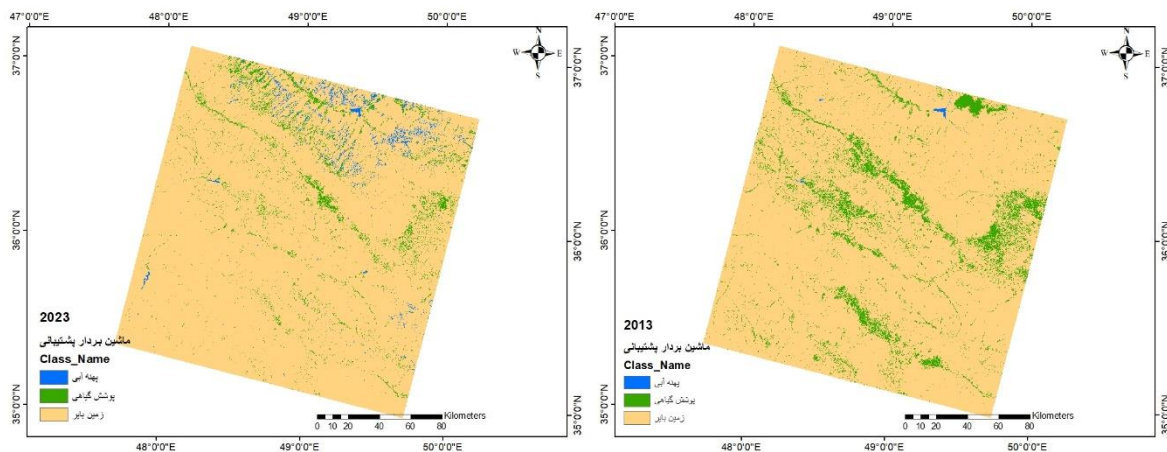
جدول (۴): ارزیابی دقت فاکتورهای PA، UA، OA و کاپا در برآورد قابلیت شاخص های طیفی برای سال ۲۰۲۳

Table (4): Evaluation of the accuracy of PA, UA, OA and Kappa factors in estimating the ability of spectral indicators for 2023

نوع برآورد	NDWI	MNDWI	AWEI
OA	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۹۳
UA	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۹۱
PA	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۷
کاپا	۰/۷۸	۰/۹۱	۰/۹۴

شاخص AWEI با مقادیر کاپای معادل ۰/۹۴ در مقایسه با دو شاخص دیگر NDWI و MNDWI که از ضریب کاپای ۰/۷۸ و ۰/۹۱ برخوردار هستند حدود پهنه های آبی را به درستی تشخیص داده است. از انجایی که شاخص NDWI به سختی مرز پهنه های آبی را شناسایی کرده است لذا کمترین قابلیت را داشته است. در ترسیم پهنه آب های سطحی، شاخص MNDWI از حالت بینابینی برخوردار می باشد. شاخص AWEI به عنوان معیاری برای مقایسه عملکرد روش های مختلف تشخیص آب استفاده شد (باگا و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس تجزیه و تحلیل های صورت گرفته، بسیاری از پهنه های آبی از قبیل برکه ها، دریاچه های کوچک و رودخانه ها با استفاده از روش های مختلف اندازه گیری می شوند (فورتیر، ۲۰۲۰). روش NDWI می تواند بین پهنه های ریز آبی و آب رودخانه تمایز قائل شود لیکن ممکن است سایه های حاصل از نواحی کوهستانی را نیز به عنوان پهنه آبی در نظر بگیرد.

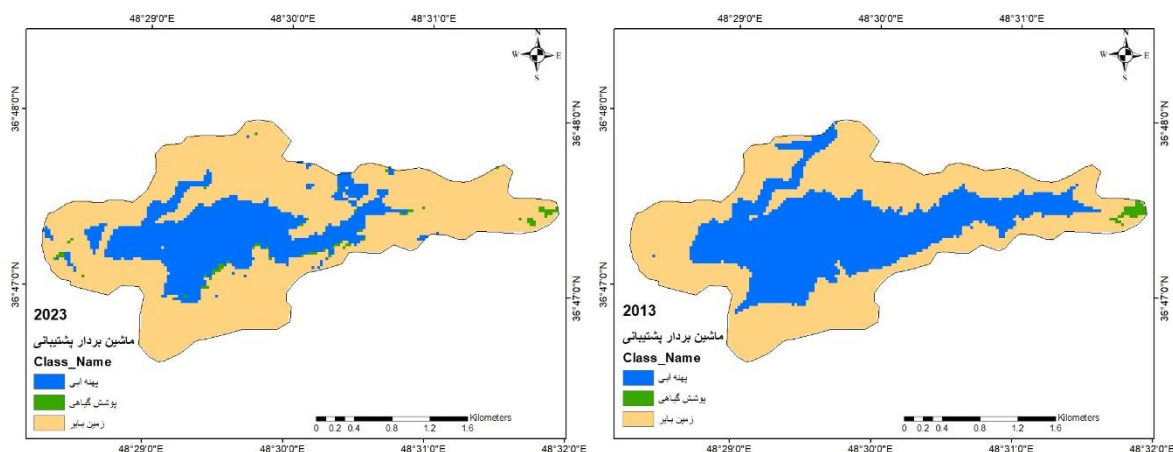
برای بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین در سد تهم نیاز به ادغام باندهای ۷ گانه بوده تا بدین وسیله تصویر رنگی کاذب تولید گردد. مقادیر فوق برای تمامی تصاویر تولید شده تعلیم داده شده و برای تعلیم از الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی SVM استفاده شد. منطقه به ۳ کاربری پهنه آبی، پوشش گیاهی و زمین بایر تقسیم شد. نقشه حاصل شده از فرایند ترسیم در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل (۱۰): نقشه کلی حاصل از مدل ماشین بردار پشتیبانی در بازه زمانی مورد مطالعه

Figure (10): A general result of the support vector machine model in the studied time period

در بین این بلوک از تصویر ماهواره ای که منطقه وسیعی را در بخش مرکزی شامل می شود محدوده سد تهم و محیط پیرامونی آن انتخاب شده و برشی از آن تهیه گردید. این بلوک مساحتی معادل ۶/۳۱ کیلومتر مربع را در بر می گیرد.



شکل (۱۱): نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین به دست آمده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی

Figure (11): Land use and land cover map obtained from support vector machine algorithm

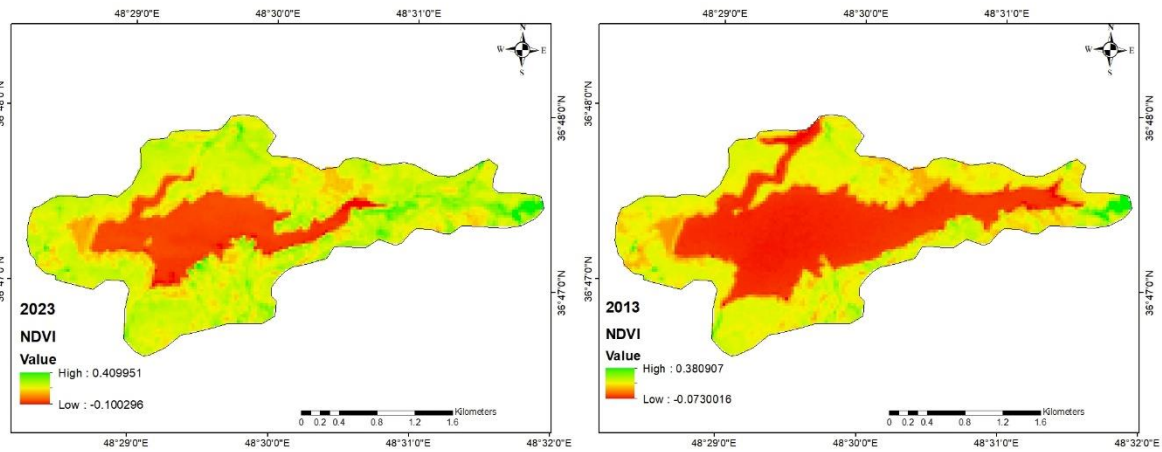
بر اساس نقشه تولید شده مشاهده می شود که مساحت سد تهم در سال ۲۰۱۳ حدود ۲/۵۶ کیلومتر مربع بوده در نهایت وسعت سد در سال ۲۰۲۳ به ۱/۶۶ کیلومتر مربع رسیده است. این امر نشان از کاهش قابل توجه آب سد تهم داشته است. مساحت پوشش گیاهی در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ به ۰/۰۳ و ۰/۰۷ کیلومتر مربع رسیده است. زمین بایر به ۴/۵۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ رسیده و تنها ۰/۹ کیلومتر مربع کاهش یافته است. بر اساس ضریب کاپا مقادیر دقت برآوردهای مدل بررسی شده و مشاهده شد که برای سالهای ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ به ترتیب معادل ۰/۸۹ و ۰/۸۵ بوده است.

جدول (۵): مساحت نوع کاربری و پوشش زمین بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبانی (بر حسب کیلومتر مربع)

Table (5): Area of land use type and land cover based on support vector machine model (in square kilometers)

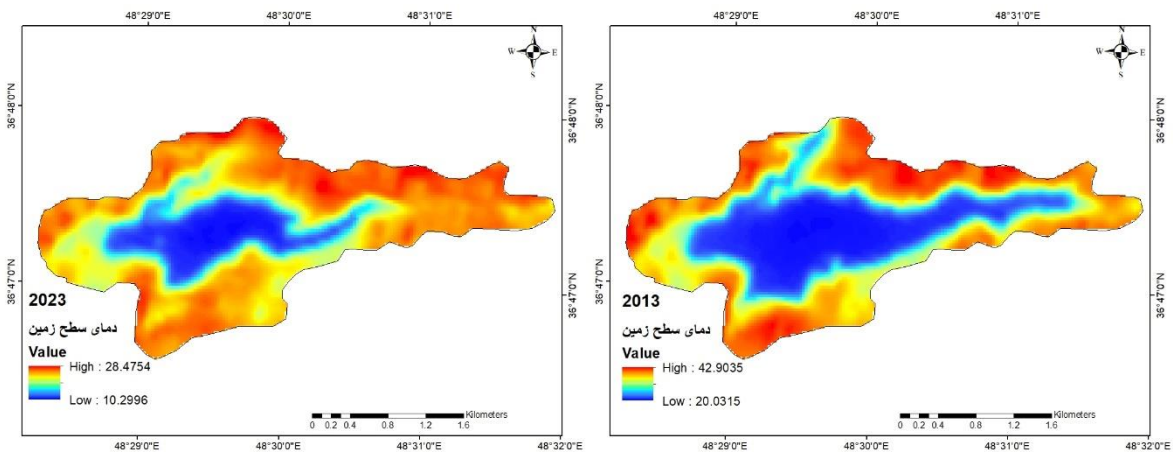
نوع کاربری	۲۰۱۳	۲۰۲۳
پهنه آبی	۲/۵۶	۱/۶۶
پوشش گیاهی	۰/۰۳	۰/۰۷
زمین بایر	۳/۷۱	۴/۵۷

تغییر در هر یک از کاربری ها می تواند باعث تغییراتی در دمای سطح زمین گردد. پهنه های آبی و پوشش گیاهی باعث کاهش دمای زمین شده و زمین های بایر باعث افزایش آن می گردد. در تهیه نقشه دمای سطح زمین از شاخص NDVI بهره گرفته می شود. مقادیر فوق برای هر یک از سالها در زیر محاسبه گردیده است.



شکل (۱۲): نقشه تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی در محدوده سد تههم
Figure (12): Normalized difference map of vegetation in the area of Teham Dam

در نهایت با استفاده از معادلات مربوط به دمای سطح بالای اتمسفر، تابش شعشی، دمای تابشی نسبت پوشش گیاهی مقادیر دمای سطح زمین LST برآورد گردید.



شکل (۱۳): مقادیر دمای سطح زمین LST در بازه زمانی ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ بر حسب درجه سلسیوس
Figure (13): Land surface temperature values of LST in the time period of 2002, 2013 and 2023

نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از سنجنده های ماهواره ای با تفکیک پذیری های مکانی، زمانی و طیفی مختلف، تغییرات پهنه آبی سد تههم استخراج و تحلیل شده اند. به این منظور از شاخص های طیفی NDWI، AWEI و MNDWI استفاده شد. تصویربرداری MODIS معمولاً برای پوشش مناطق وسیع تر استفاده می شود لیکن در این تحقیق از تصاویر لندست ۵ و ۸ استفاده شده و سنجنده های TM و OLI به کار گرفته شد. شاخص NDWI کاهش ۴۶/۳۸ درصدی سطح پهنه آبی سد را از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ نشان می دهد. شاخص MNDWI نیز کاهش ۴۵ درصدی را در این بازه زمانی نشان داد. این میزان برای شاخص AWEI معادل ۴۷/۹ درصد بوده است. این تحقیق نشان داد که شاخص AWEI در مقایسه با دو شاخص دیگر می تواند برای شناسایی سایه های ایجاد شده توسط عوارض طبیعی و تفکیک آنها از پهنه های آبی به کار گرفته شود. برنامه ریزی الگوی کشت، ارزیابی طرح های احیای آب و بررسی رویدادهای سیل

همگی با استفاده از نقشه برداری آب های سطحی قابل اجرا هستند. با توجه به مزایای بلندمدت شاخص های طیفی که شامل هزینه های کم و سهولت یادگیری هستند این رویکردها در حال حاضر بهترین روش به شمار می روند. در طول ۱۶ سال گذشته پهنه آبی سد تهم کاهش یافته است و این امر نشان دهنده تشدید شرایط کم آبی در منطقه بوده است. سد تهم با وجود قرار گیری در بخش شمالی استان زنجان و در جوار جلگه شمال و دریای خزر از فرایندهای تغییرات اقلیمی در امان نبوده و کاربری های زمین نیز آن را تشدید کرده است. تغییر کاربری می تواند باعث تغییر دمای سطح زمین شده و پهنه های آبی و پوشش گیاهی در فرایند کاهش آن نقش داشته اند. سیستم سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای از توانایی بررسی روند تغییرات برخوردار می باشد. در این تحقیق برای بررسی روند تغییر کاربری زمین از مدل الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی SVM استفاده شد. نتایج حاصل از مدل ماشین بردار پشتیبانی نشان داد که مساحت سد به ۱/۶۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ رسیده است.

References

- Abdolalizadeh, F., Khorshiddoust, A & Jahanbakhsh., (2023). Projection and Evaluation of the Trend of Temperature, Precipitation and Drought in Urmia Lake Catchment. *Hydrogeomorphology*. 10(36), 39-57.
- Acharya, T.D., Lee, D.H., Yang, I.T., Lee, J.K. (2016). Identification of water bodies in a landsat 8 OLI image using a J48 decision tree, *Sensors (Switzerland)* 16 (7): 1–16.
- Aherne, J., Larssen, T., Cosby, B.J., Dillon, P.J. (2006). Climate variability and forecasting surface water recovery from acidification: Modelling drought-induced sulphate release from wetlands, *Sci. Total Environ*. 365 (1–3): 186– 199.
- Alahacoon, N & Edirisinghe, C. M., (2022). Novel index for hydrological drought monitoring using remote sensing approach: Standardized water surface index (SWSI). *Remote Sensing*. 14(21), 5324-5330.
- Badaluta-Minda, C., Herbei, M.V. (2021). Assesment of water resources using landsat satellite imagery, *Environ. Eng. Manag. J.* 20 (2): 301–308.
- Bellido-Leiva, F.J., Lusardi, R.A., Lund, J.R. (2022). Quantification of Off-Channel Inundated Habitat for Pacific Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) along the Sacramento River, California, Using Remote Sensing Imagery, *Remote Sens*. 14 (6): 32-48.
- Bhaga, T.D., Dube, T., Shekede, M.D., Shoko, C. (2020). Impacts of climate variability and drought on surface water resources in sub-saharan africa using remote sensing: a review, *Remote Sens*. 12 (24): 1–34
- 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.
- Feyzolahpour, M. (2024). Measuring the spring and autumn fluctuations of land use indices (LULC) using support vector machine (SVM) method and analyzing the correlation relationships of LST with NDBI, MNDWI and NDVI indices (in the Heyran Pass area), *Hydrogeomorphology*, 11(38), 19-39.
- Feyzolahpour, M., (2026). 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.

- Feyzolahpour, M., (2025). Changes in the area of dams in western Afghanistan and its impact on the water resources of the Zabul Chahnime in a period of 30 years using the TM sensor of the Landsat 5 satellite and the OLI and TIRS sensors of the Landsat 8 satellite. *Hydrogeomorphology*. 12(42), 1-19.
- Fortier, R. (2020). Development of a three-dimensional geological model, based on Quaternary chronology, geological mapping, and geophysical investigation, of a watershed in the discontinuous permafrost zone near Umiujaq (Nunavik, Canada), *Hydrogeol. J.* 28 (3): 813–832.
- Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *J. Environ. Manage.* 92 (3): 407–418.
- Gao, B.C. (1996). NDWI—normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 58 (3), 257–266.
- Hall, J.W. (2014). Coping with the curse of freshwater variability, *Science* 80(-), 346: 429–430
- Kali, Y., Linn, M. (2010). *Science, Int. Encycl. Educ.* 313: 468–474.
- Ko, B.C., Kim, H.H., Nam, J.Y. (2015). Classification of potential water bodies using landsat 8 OLI and a combination of two boosted random forest classifiers, *Sensors (Switzerland)* 15 (6): 13763–13777
- Kondolf, G.M. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents, *Earth's Futur.* 2 (5): 256–280.
- Liao, A.P. (2014). High-resolution remote sensing mapping of global land water, *Sci. China Earth Sci.* 57 (10): 2305–2316.
- Li, W. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI, *Remote Sens.* 5 (11): 5530–5549.
- Li, B & Zhou, X.Z. (2009). Research on extraction method of river water-body in mountain area of Western Sichuan based on MODIS data. *Geogr. Geoinf. Sci.* 2, 017.
- Liu, J. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future, *Earth's Futur.* 5 (6): 545–559
- 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.
- Ouma, Y.O & Tateishi, R. (2006). A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. *Int. J. Remote Sens.* 27 (15), 3153–3181.
- Qin, Q., Wu, Z., Zhang, T., Sagan, V., Zhang, Z., Zhang, Y., Zhang, C., Ren, H., Sun, Y., Xu, W & Zhao, C., (2021). Optical and thermal remote sensing for monitoring agricultural drought. *Remote Sensing.* 13, 5092-5125.
- Rogers, A.S & Kearney, M.S. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh thematic mapper scenes using spectral indices. *Int. J. Remote Sens.* 25 (12), 2317–2335.

- 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.
- Ssekyanzi, A., Nevejan, Van der Zande, N., Brown, D., Van Stappen, M.E. (2021). Identification of potential surface water resources for inland aquaculture from sentinel-2 images of the Rwenzori region of Uganda, *Water (Switzerland)* 13 (19): 16-35.
- Tulbure, M.G., Broich, M. (2013). Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 79: 44–52.
- Umesh, P. (2014). Bridge Scour and its Monitoring Using GSM Enabled Sensors – a Laboratory Study, no. 1977: 487–493.
- Vreugdenhil, M., Greimeister-Pfeil, I., Preimesberger, W., Camici, S., Dorigo, W., Enenkel, M., van der Schalie, R., Steele-Dunne, S & Wagner, W. (2022). Microwave remote sensing for agricultural drought monitoring: Recent developments and challenges. *Frontiers in Water.* 4, 1045451.
- 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.
- Wu, W.Y., Shen, X.H., Zou, L.J., Lu, S.L & Zhang, G.F. (2008). An integrated method for water body detection and delineation using Landsat ETM+ data. *Bull. Sci. Technol.* 24, 252–259.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Frolking, S., Li, C & Moore III, B. (2005). Mapping paddy rice agriculture in Southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sens. Environ.* 95 (4), 480–492.
- 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.
- Yang, H., Wang, J., Li, J., Zhou, H., Liu, Z. (2021). Modelling impacts of water diversion on water quality in an urban artificial lake, *Environ. Pollut.* 276 (May 2021).
- Zurqani, H.A., Post, C.J., Mikhailova, E.A., Schlautman, M.A., Sharp, J.L. (2018). Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 69: 175–185.