



## Monitoring the Lut Desert Lake Using of Landsat and Sentinel 2 Satellite Images

Mahsa Sheikhasadi<sup>1</sup> , Mahdiah Hosseinjanizadeh<sup>2\*</sup> , Mehdi Honarmand<sup>3</sup> , Reza Hassanzadeh<sup>4</sup> 

1. Student, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: [mahsasheikhasadi@gmail.com](mailto:mahsasheikhasadi@gmail.com)
2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: [m.hosseinjanizadeh@kgut.ac.ir](mailto:m.hosseinjanizadeh@kgut.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: [r.hassanzadeh@kgut.ac.ir](mailto:r.hassanzadeh@kgut.ac.ir)
4. Associate Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: [m.honarmand@kgut.ac.ir](mailto:m.honarmand@kgut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 24 March 2025

Revised: 11 May 2025

Accepted: 12 December 2025

Published: 16 December 2025

#### Keywords:

Lake monitoring,  
Lut Desert,  
Remote Sensing,  
Water index,  
Vegetation index.

### ABSTRACT

**Objective:** Accurate assessment and monitoring of temporal variations in the surface area of temporary lakes and wetlands, particularly through the application of satellite imagery and remote sensing data, are critical for sustainable water resource management and the conservation of vulnerable desert ecosystems. This study aims to conduct a comprehensive spatiotemporal analysis of Lut Lake over a 47-year period (1972–2019) utilizing multi-sensor satellite datasets.

**Methods:** This research employed a spatiotemporal analysis of satellite images acquired between 1972 and 2019. Due to the extended temporal coverage, images from multiple sensors of the Landsat series (MSS, TM, OLI) and Sentinel-2 MSI were selected. Upon acquisition, image quality was assessed and necessary preprocessing steps were applied, including atmospheric correction using the Dark Object Subtraction (DOS) algorithm for MSS images and the Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) algorithm for other datasets. Subsequently, spectral indices related to water and vegetation cover-including the Normalized Difference Water Index (NDWI), Modified NDWI (MNDWI), Automated Water Extraction Index for non-shadowed (AWEInsh) and shadowed urban areas (AWEIsh), and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)-were applied to accurately extract water bodies. The extracted water extents were converted to shapefile format and analyzed within a Geographic Information System (GIS) environment to determine changes in lake surface area. Additionally, the Lake basin was delineated using Digital Elevation Model (DEM) data and the ArcHydro extension in ArcGIS, revealing two main drainage channels within the lake's catchment area.

**Results:** Analysis of Landsat and Sentinel-2 satellite imagery over the 47-year period revealed multiple occurrences of temporary lakes in the Lut Desert with varying extents. The maximum lake surface area was approximately 209 hectares in 2019, primarily resulting from intense flooding and overflow of the Shur River. Two main drainage pathways were identified in the region, with the northern branch, originating from the Shur River, playing a key role in the formation of the lake. The NDWI and NDVI indices demonstrated superior performance in accurately delineating water bodies compared to other indices. A decrease in lake surface area from 209 hectares in May 2019 to 191 hectares in June 2019 was also observed.

**Conclusions:** The study demonstrates that the application of remote sensing technology combined with selected spectral indices constitutes an effective and cost-efficient approach for monitoring and managing water resources in arid and semi-arid regions. The findings can contribute significantly to natural resource management, flood risk reduction, and infrastructure protection. Moreover, continuous monitoring of water bodies using satellite data integrated with GIS facilitates timely and informed decision-making by resource managers.

**Cite this article:** Sheikhasadi, M., Hosseinjanizadeh, M., Honarmand, M. & Hassanzadeh, R. (2026). Monitoring the Lut Desert Lake Using of Landsat and Sentinel 2 Satellite Images. *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 5 (17), 64-76. <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.66297.1127>



© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.

DOI: <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.66297.1127>



**Journal of Remote Sensing and GIS  
Applications  
in Environmental Sciences**  
[rsgi.tabrizu.ac.ir](http://rsgi.tabrizu.ac.ir)





## Extended Abstract

### Introduction

Monitoring changes in water bodies and vegetation cover using traditional ground-based methods is often expensive and time-consuming. Satellite remote sensing enables the detection and analysis of environmental changes over extended periods with high spatial and temporal resolution. Various digital methods, particularly water and vegetation indices, have been developed to enhance the detection of hydrological changes. Previous studies have employed remote sensing techniques to assess lake formation and flood dynamics using different indices (Deus & Gloaguen, 2013; Gao, 1996; Leblanc et al., 2011; Lin et al., 2021; Onyango & Opiyo, 2022; Wang et al., 2012). Given the importance of remote sensing in identifying water bodies and flood-prone areas, this research aims to monitor the formation of the Lut Desert lake using Landsat and Sentinel-2 satellite imagery from 1972 to 2019. Specific objectives include analyzing the watershed, determining areas affected by flooding, and assessing the extent of the lake in different years.

### Materials and Methods

To investigate lake formation, historical records, previous studies, and satellite imagery from 1972 to 2019 were reviewed. The United States Geological Survey (USGS) database was used to acquire imagery from different satellite sensors, including Landsat MSS, TM, OLI, and Sentinel-2 MSI. The selection of images focused on years with visible water bodies, ensuring high image quality and necessary pre-processing.

Various water and vegetation indices were applied to the satellite datasets to extract water bodies. These indices included:

- Normalized Difference Water Index (NDWI)
- Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)
- Automated Water Extraction Index for Urban Areas (AWEInsh)
- Automated Water Extraction Index for Shadow Areas (AWEIsh)
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

The extracted water areas were converted into shapefiles and analyzed within a Geographic Information System (GIS) environment to determine the lake's area. Due to the limitations of the MSS sensor (1972–1984), only NDVI and NDWI indices were applied to these earlier images. In contrast, all five indices were used for TM, OLI, and Sentinel-2 imagery to enhance accuracy.

### Results

Analysis of satellite images over the 47-year period revealed evidence of a lake in the years 1977, 1986, 1987, and 2019. The largest extent of the lake was observed in 2019. Historical records, particularly those from Dr. Mostofi in 1971, indicate that flooding from the Shur River may have contributed to the formation of a lake at that time, although no satellite imagery from 1971 is available. The 1972 image showed no visible water body, but sediment patterns suggested the presence of a dried-up lake, likely a remnant of the 1971 flood event.

The processed images confirmed the presence of water bodies in 1977, 1986, 1987, and 2019, with calculated lake areas. Sentinel-2 imagery from April 2019 indicated a lake area of approximately 209 hectares, which decreased to 191 hectares in later images from May. The results showed that NDWI and NDVI were the most effective indices for accurately detecting and delineating the lake's extent.

Water indices provide valuable insights into the dynamics of lake formation and fluctuations in water levels. The information derived from these indices can support policymakers and environmental planners in managing natural resources and mitigating flood risks.

### Conclusion

The analysis of satellite imagery from 1972 to 2019 confirmed the intermittent formation of a lake in the Lut Desert during specific years, with the largest extent recorded in 2019 at approximately 209 hectares. In previous



years, the lake's size was significantly smaller, around one-fourth of its 2019 extent. Factors such as evaporation, insufficient rainfall, and the absence of consistent water sources contributed to the periodic disappearance of the lake.

Among the various indices applied, NDWI and NDVI proved to be the most effective for detecting water bodies. The analysis of digital elevation data and watershed characteristics identified two main waterways, with one branching from the Shur River and significantly influencing the lake's formation. However, the contribution of the second waterway from the western basin remains uncertain.

Historical records and satellite observations indicate that the lake is formed in response to significant precipitation events. Given the climatic variability of the region, future occurrences of high rainfall could lead to the reformation of the lake. If intense precipitation events continue, a larger lake could potentially form in the heart of the Lut Desert. This study highlights the importance of satellite remote sensing in monitoring hydrological changes and provides a valuable dataset for future research on desert hydrology and flood management.

## References

- Deus, D., & Gloaguen, R. (2013). Remote sensing analysis of lake dynamics in semi-arid regions: Implication for water resource management. Lake Manyara, East African Rift, Northern Tanzania. *Water*, 5(2), 698-727. <https://doi.org/10.3390/w5020698>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Leblanc, M., Lemoalle, J., Bader, J. C., Tweed, S., & Mofor, L. (2011). Thermal remote sensing of water under flooded vegetation: New observations of inundation patterns for the 'Small' Lake Chad. *Journal of Hydrology*, 404(1-2), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.04.023>
- Onyango, D. O., & Opiyo, S. B. (2022). Detection of historical landscape changes in Lake Victoria Basin, Kenya, using remote sensing multi-spectral indices. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2021.12.001>
- Lin, H., Shu, G., Xiping, Y., Yan, L., Guokun, C., & Sha, G. (2021). Spatial Differentiation Analysis of Water Quality in Dianchi Lake Based on GF-5 NDVI Characteristic Optimization. *Journal of Spectroscopy*, 2021(1), 5542126. <https://doi.org/10.1155/2021/5542126>
- Wang, L., Dronova, I., Gong, P., Yang, W., Li, Y., & Liu, Q. (2012). A new time series vegetation–water index of phenological–hydrological trait across species and functional types for Poyang Lake wetland ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 125, 49-63. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.07.003>



## پایش دریاچه لوت در بازه زمانی ۴۷ ساله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل ۲

مهسا شیخ اسدی<sup>۱</sup>، مهدیه حسینجانی‌زاده<sup>۲\*</sup>، مهدی هنرمند<sup>۳</sup>، رضا حسن‌زاده<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: [asamaha4@gmail.com](mailto:asamaha4@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: [mh.hosseinjani@gmail.com](mailto:mh.hosseinjani@gmail.com)
۳. دانشیار، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: [mehonarmand167@gmail.com](mailto:mehonarmand167@gmail.com)
۴. دانشیار، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: [hassanzadeh22@yahoo.com](mailto:hassanzadeh22@yahoo.com)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله:

**هدف:** بررسی دقیق تغییرات و پایش نوسانات مساحت دریاچه‌ها و تالاب‌های موقتی، به‌ویژه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور، برای مدیریت پایدار منابع آب و حفاظت از اکوسیستم‌های حساس بیابانی ضروری است. هدف از انجام پژوهش حاضر، پایش دریاچه لوت در بازه زمانی ۴۷ ساله از ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۴

**روش پژوهش:** روش تحقیق در این مطالعه به‌صورت تحلیل زمانی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹ انجام شد. به دلیل طولانی بودن بازه زمانی، تصاویر از سنجنده‌های مختلف سری لندست (MSS, TM, OLI) و سنجنده MSI سنتینل-۲ انتخاب شدند. پس از دریافت تصاویر، کیفیت آن‌ها بررسی و پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیح اتمسفری با استفاده از الگوریتم تفریق جسم سیاه برای تصاویر MSS و الگوریتم تحلیل سریع جو در مکعب‌های ابرطیفی (FLAASH) برای سایر تصاویر انجام شد. سپس شاخص‌های طیفی مرتبط با پوشش آبی و گیاهی شامل شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDWI)، تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده (MNDWI)، استخراج خودکار آب در مناطق شهری (AWEInsh) و مناطق سایه دار (AWEIsh) و تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) بر روی تصاویر اعمال شدند تا پهنه‌های آبی به‌صورت دقیق استخراج شوند. داده‌های پهنه‌های آبی به فرمت شیپ‌فایل تبدیل و در محیط GIS برای تعیین تغییرات مساحت دریاچه تحلیل شدند. همچنین، حوضه آبریز دریاچه با استفاده از داده‌های رقومی ارتفاعی (DEM) و افزونه ArcHydro در نرم‌افزار ArcGIS استخراج و دو آبراهه اصلی در محدوده‌ی دریاچه بارز شدند.

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

کلیدواژه‌ها:

پایش دریاچه،  
بیابان لوت،  
سنجش از دور،  
شاخص آبی،  
شاخص پوشش گیاهی.

**نتایج:** تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل-۲ طی بازه زمانی ۴۷ ساله نشان داد که بیابان لوت چندین بار شاهد تشکیل دریاچه‌های موقتی با وسعت‌های متغیر بوده است. بیشترین وسعت دریاچه در سال ۲۰۱۹ به حدود ۲۰۹ هکتار رسید که ناشی از سیلاب‌های شدید و طغیان رودخانه شور بود. دو مسیر اصلی زهکشی در منطقه شناسایی شد که شاخه شمالی آن، منشعب از رودخانه شور، نقش کلیدی در تشکیل دریاچه دارد. شاخص‌های NDVI و NDWI در استخراج دقیق‌تر پهنه‌های آبی نسبت به سایر شاخص‌ها عملکرد بهتری داشتند. همچنین کاهش مساحت دریاچه از ۲۰۹ هکتار در اردیبهشت ۱۳۹۸ به ۱۹۱ هکتار در خرداد همان سال مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد که بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور و شاخص‌های طیفی منتخب، ابزاری موثر و مقرون‌به‌صرفه برای پایش و مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند در مدیریت منابع طبیعی، کاهش خطرات سیل و حفاظت از زیرساخت‌ها نقش مهمی ایفا کند. همچنین پایش مستمر پهنه‌های آبی با داده‌های ماهواره‌ای و GIS امکان تصمیم‌گیری به موقع و مؤثر را برای مدیران فراهم می‌سازد.

**استناد:** شیخ اسدی، مهسا؛ حسینجانی‌زاده، مهدیه؛ هنرمند، مهدی و حسن‌زاده، رضا (۱۴۰۴). پایش دریاچه لوت در بازه زمانی ۴۷ ساله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

لندست و سنتینل ۲. کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی، ۵ (۱۷)، ۶۴-۷۶.  
<http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.66297.1127>



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه تبریز.

## مقدمه

بیابان لوت در استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی و بین دو گسل بزرگ نایند و نهبندان در شرق ایران واقع شده است. این بیابان به‌عنوان یکی از مناطق بیابانی مهم و با ارزش طبیعی کشور، در چهلمین اجلاس میراث جهانی یونسکو در سال ۱۳۹۵ به ثبت جهانی رسیده است. مطالعات نشان می‌دهد که فرآیندهای فرسایش بادی و آبی عامل اصلی شکل‌گیری کلوت‌ها در بیابان لوت هستند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۴). به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، رگبارهای شدید، وجود کوهستان‌هایی با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، این منطقه مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی است. در سال ۱۳۹۸، سیلابی گسترده در استان کرمان رخ داد که منجر به تشکیل دریاچه‌ای موقتی در دل بیابان شد. این پدیده تغییرات قابل توجهی در ساختار هیدرولوژیکی و محیط زیستی منطقه از جمله تخریب زیرساخت‌ها شامل جاده شهردان نهبندان و زیر آب رفتن تاسیساتی مانند تیر برق ایجاد کرد. با این وجود تشکیل این دریاچه باعث افزایش زیبایی و جلب گردشگر بیشتر به این بیابان شد. مشاهدات نشان داد با گذشت بیش از یکسال از زمان تشکیل این دریاچه و کمتر شدن آب آن، شوری دریاچه افزایش و بلورهای نمک زیبایی در آن تشکیل شدند و در نهایت متاسفانه دو سال بعد، بدلیل کاهش بارندگی دریاچه تبخیر و آب آن خشک شد. این تغییرات هیدرولوژیکی و شیمیایی تأثیرات زیست‌محیطی قابل توجهی بر منطقه داشتند؛ به‌طوری که پرندگان مهاجر بسیاری به این دریاچه جذب شدند، اما تعدادی از آن‌ها به دلیل شرایط آب شور و احتمالاً سمیت املاحی مانند پتاسیم در آب دچار تلفات شدند که نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر است. کلوت‌های بیرون‌زده از آب در این دوره به‌صورت جزیره‌هایی در میان دریاچه ظاهر شدند که نشان‌دهنده تغییرات چشمگیر در ساختار زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی منطقه بود. در صورت تداوم و پایداری این دریاچه، می‌توانست به شکل‌گیری اکوسیستمی جدید در این بخش از بیابان منجر شود که اهمیت بررسی آن از منظر تغییرات محیطی و مدیریت منابع طبیعی بسیار بالاست. پدید آمدن این دریاچه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیابان لوت، نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی مهمی است که می‌تواند بر چرخه‌های آب، پوشش گیاهی و جانوری منطقه تأثیرگذار باشد. بیابان لوت به گونه‌ای است که در زمین‌های دارای تشکیلات ریزدانه، فرسایش آبی و بادی باهم عمل می‌کند، بدین نحو که در فصول مرطوب پس از بارندگی‌های موقتی در بیابان، آب در داخل حفره‌ها و چاله‌های کوچک انباشته می‌شود و ماده خمیری شکل به وجود می‌آورد که پس از خشک شدن سست می‌شود و در فصول خشک و در نتیجه عوامل فرسایشی اشکالی شبیه کلوت‌ها ایجاد می‌کند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به حساسیت بالای زیست‌محیطی این منطقه و اهمیت تغییرات هیدرولوژیکی، پایش دقیق نوسانات مساحت دریاچه‌ها و تالاب‌های موقتی و ارزیابی تأثیرات آن‌ها بر محیط پیرامونی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور می‌تواند ابزار مؤثری برای مطالعه این تغییرات و مدیریت منابع طبیعی در مناطق بیابانی باشد. بررسی منابع مختلف و تصاویر ماهواره‌ای بیانگر تشکیل این دریاچه در سال‌های قبل نیز بوده است که لازم است تشکیل این دریاچه مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد و دریاچه‌های تشکیل شده در بازه زمانی مختلف بررسی شوند.

گردآوری اطلاعات در مورد تغییرات پیوسته سطوح آبی و همچنین پوشش گیاهی توسط روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است. در این حالت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده سطوح آبی و پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. ویژگی تکراری بودن داده‌های دورسنجی امکان شناسایی و بررسی پدیده‌های متغیر و پویا در زمان‌های مختلف و سال‌های گذشته را نیز فراهم می‌کنند. بر این اساس روش‌های رقومی مختلفی جهت آشکارسازی و کشف تغییرات و تحولات پدیده‌های سطح زمین در سنجش از دور توسعه داده شده است. یکی از روش‌های تشخیص تغییرات سطوح آبی استفاده از شاخص‌های گیاهی و آبی است که طی سالیان اخیر، تحقیقات متنوعی در زمینه دریاچه‌ها و بررسی سیلاب با استفاده از سنجش از دور و اجرای شاخص‌های مختلف صورت پذیرفته است (Deus & Gloaguen, 2013; Gao, 1996; Leblanc et al., 2011; Lin et al., 2021; Onyango & Opiyo, 2022; Wang et al., 2012, Rasti et al., 2022). چن و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی از شاخص NDVI، برای پایش منطقه‌ی تالابی دریاچه‌ی پویانگ چین در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲، استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که سطح دریاچه حدود ۳۳/۲۵ کیلومتر مربع کاهش داشته است (Chen et al., 2014). پروپاستین (۲۰۰۸) برای پایش تراز

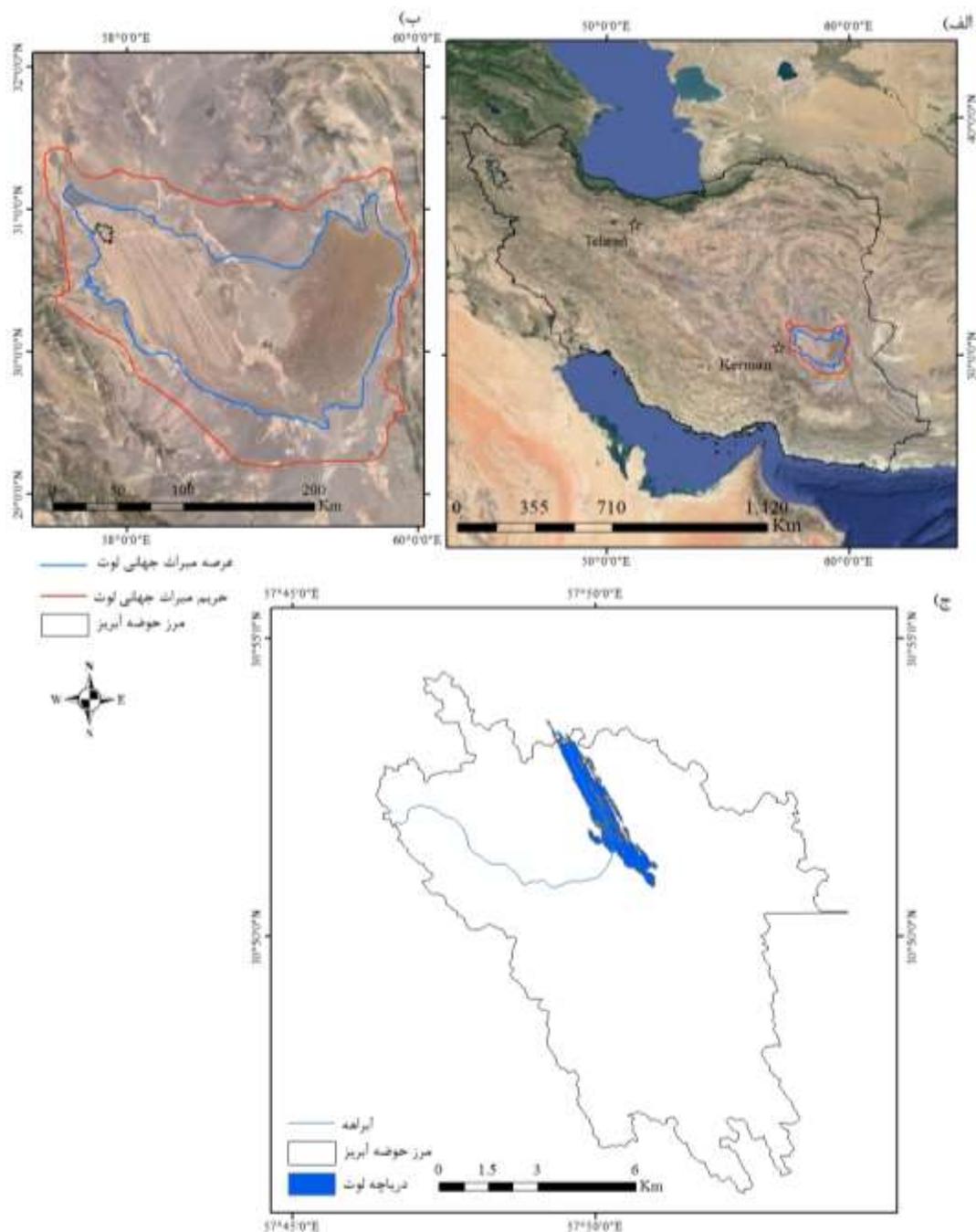
آب از شاخص NDVI، در بازه زمانی چند ساله (۱۹۸۲-۲۰۰۳) داده‌های بارندگی و رواناب استفاده کرد که این شاخص با دقت بالای ۷۰٪ قادر به پیش بینی تراز آب دریاچه مورد نظر شد (Propastin, 2008). ژو و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی برای بارزسازی آب‌های سطحی از شاخص‌های مختلفی استفاده کردند و نتایج نشان داد شاخص NDWI در تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ عملکرد بهتری دارد (Zhou et al, 2017). سیما و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از پردازش داده‌های سنجش از دور و مدل‌های تحلیلی، تغییرات حجم و مساحت دریاچه ارومیه را بین سال‌های ۱۹۶۵ و ۲۰۱۱ تعیین کردند. نتایج نشان داد مساحت و حجم دریاچه در ۵ دهه گذشته به طور چشمگیری کاهش یافته است (Sima & Tajrishy, 2013). دوان و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات حجم آب در دریاچه‌های مید آمریکا، تانا اتیوپی و ایجسل هلند را با استفاده از روشی جدید با چهار پایگاه داده ارتفاع سنجی و تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری کردند. یافته‌ها نشان داد که روش پیشنهادی به خوبی می‌تواند تخمین دقیقی از دبی و خروجی دریاچه‌ها ارائه دهد و با داده‌های واقعی هماهنگی بالایی داشت. این بدان معناست که می‌توان از این فناوری برای نظارت بر نوسانات حجم آب دریاچه‌ها و مخازن به عنوان ابزاری موثر بهره‌برداری کرد. در ایران نیز تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. خسرویان و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات سطح آب دریاچه پریشان را با استفاده از شش شاخص بررسی کردند که نتایج نشان داد شاخص‌های NDWI و NDVI بالاترین دقت را داشتند (Khosravi., 2017). جهان تیغ و جهان تیغ (۱۴۰۲) با استفاده از تصاویر لندست و مودیس و اجرای شاخص‌های مختلف به پایش پوشش گیاهی در شهرستان نیمروز طی سال‌های کم‌آبی، نرمال و پربابی پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پربابی به ترتیب ۳۱ و ۸۲ درصد کاهش یافته است (Moien Jahanthigh, 2-23). با توجه به کاربرد سنجش از دور در شناسایی پهنه‌های آبی و مناطق مستعد سیل با استفاده از شاخص‌های مختلف، هدف از انجام پژوهش حاضر، پایش تشکیل دریاچه لوت در بازه زمانی ۴۷ ساله (از ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹) با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل ۲- و استفاده از شاخص‌های آبی و پوشش گیاهی است. اهداف فرعی این پژوهش شامل بررسی حوضه آبخیز منطقه، شناسایی مناطق متأثر از سیلاب و تعیین وسعت دریاچه تشکیل شده در سال‌های مختلف می‌باشد.

## روش پژوهش

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز بیابان لوت، به عنوان یکی از وسیع‌ترین حوضه‌های آبریز داخلی ایران، در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی کشور واقع شده است و بخش عمده‌ای از ساختار زمین‌شناسی بلوک لوت را در بر می‌گیرد. این حوضه با ویژگی‌های اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و ترکیبی از ناهمواری‌های زمین‌شناسی پیچیده، نقش مهمی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی منطقه ایفا می‌کند. حوضه آبریز لوت از شرق به گسل نهبندان غربی و از جنوب غرب به حوضه آبریز یزد محدود شده و توسط ارتفاعات کوتاهی از کویر مرکزی ایران جدا می‌شود (شکل ۱). پست‌ترین و خشک‌ترین فرورفتگی‌های داخلی ایران در این حوضه قرار دارند؛ میزان بارندگی سالانه در آن کمتر از ۵۰ میلی‌متر است و احتمال دارد برای چند سال متوالی بارندگی رخ ندهد. رودخانه شور، تنها رودخانه دائمی و مهم این حوضه، از ارتفاعات نزدیک بیرجند سرچشمه می‌گیرد و با جریان به سمت جنوب، در بیابان لوت جریان می‌یابد. سرشاخه اصلی این رودخانه از کوه‌های غرب و جنوب غرب بیرجند (خوسف) منشعب می‌شود و نهایتاً به دریاچه نمک شهادت می‌رسد. این رودخانه در طول مسیر خود در غرب و بخش‌های جنوبی پهنه بازالتی، پایین‌تر از سطح جریان‌های گدازه‌ای گندم بریان قرار دارد و اختلاف ارتفاع تخت بازالتی با سطح رودخانه حدود ۳۰۰ متر است. بیابان لوت از نظر شکل ناهمواری و پراکندگی عوارض جغرافیایی به سه بخش لوت شمالی، لوت مرکزی و لوت جنوبی تقسیم شده است. لوت مرکزی، وسیع‌ترین و شگفت‌انگیزترین بخش بیابان لوت به شمار می‌رود و بخش عمده عرصه و حریم میراث جهانی لوت در این بخش واقع شده است. دریاچه لوت نیز در لوت مرکزی و در محدوده میراث جهانی شکل گرفته است (شکل الف ۱). چشم‌انداز بیابانی لوت از لحاظ زمین‌شناختی بسیار شگفت‌انگیز و جالب توجه است. بسیاری از لندفرم‌های بیابان لوت در جهان بی‌نظیر و یا کم‌نظیر هستند. فرایندهای زمین‌ساختی، آتشفشانی، اقلیمی، رودخانه‌ای، بادی و غیره از گذشته در این منطقه فعالیت نموده و هم‌اکنون نیز عمدتاً در حال تغییر و تحول ژئومورفولوژی بیابان لوت هستند. مهم‌ترین عناصر ژئودایورستی این منطقه شامل ریگ یلان (اشکال

مختلف تراکمی ماسه)، کلوت‌ها، کلوتک‌ها، کلوت‌های تخم‌مرغی شکل، هامادا، رودخانه شور، کوه‌های مریخی یا بدلندها، کفه‌ها و پلیگون‌های نمکی، دهانه‌های آتشفشانی و پدیده‌های ناشی از آن مانند دشت بازالتی گندم بریان، شهر خیالی لوت و سایر اشکال کاوشی و تراکمی ماسه هستند. کلوت‌ها در غرب و ریگ یلان در شرق چشم‌انداز منحصر به فردی به بیابان لوت بخشیده‌اند.



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، ب) عرصه و حریم میراث جهانی لوت و حوضه آبریز ج) حوضه آبریز و دریاچه لوت

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، ابتدا احتمال تشکیل دریاچه در ادوار گذشته با جستجو در مستندات و مطالعات پیشین در منطقه مطالعاتی

و همچنین تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹ در سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۱</sup> بررسی و مشخص شد. در انتخاب تصاویر به دلیل بازه زمانی طولانی، امکان استفاده از یک سنجنده وجود نداشت و تصاویر از سنجنده‌های مختلف سری‌های لندست شامل سنجنده‌های TM، MSS، OLI و سنجنده MSI سنتینل ۲ انتخاب شدند. اطلاعات و محدوده‌های باندی این سنجنده‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. پس از بررسی تصاویر مربوط به سال‌های که پهنه آبی در آن‌ها مشخص بود انتخاب و پردازش شدند تا وسعت دریاچه در سال‌های مورد نظر تعیین شود. در مرحله بعد کیفیت تصاویر بررسی و پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم شاخص‌های آبی و پوشش گیاهی شامل شاخص‌های تفاضل نرمال شده آب (NDWI)<sup>۲</sup>، تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده<sup>۳</sup> (MNDWI)، استخراج خودکار آب در مناطق شهری (AWEI<sub>nsh</sub>)<sup>۴</sup>، استخراج خودکار آب در مناطق سایه‌دار (AWEI<sub>sh</sub>)<sup>۵</sup> و تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)<sup>۶</sup> روی داده‌ها اجرا و پهنه‌های آبی استخراج شدند. پهنه‌های آبی استخراج شده به فرمت شیپ فایل تبدیل و وارد محیط GIS شدند و مساحت دریاچه تعیین گردید. تصاویر اخذ شده از سال ۱۹۷۲ تا سال ۱۹۸۴ مربوط به سنجنده MSS بوده و با توجه به محدوده طول موج و تعداد باندهای کم این سنجنده تنها شاخص‌های NDVI و NDWI اعمال شدند. بر روی تصاویر اخذ شده از سنجنده‌های TM، OLI و سنتینل ۲ هر پنج شاخص اعمال شدند و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. برای تصحیحات اتمسفری، در داده‌های لندست MSS از الگوریتم تفریق جسم سیاه استفاده شده و برای سایر تصاویر، الگوریتم تحلیل سریع جو در مکعب‌های ابرطیفی (FLAASH) به کار گرفته شده است. داده‌ها توسط نرم‌افزارهای ENVI 5.3، ArcGIS و SNAP 7 مورد پردازش و تحلیل قرار گرفته‌اند. در الگوریتم کسر جسم سیاه مقدار درجه روشنایی در پدیده‌هایی از تصویر مانند دریاچه‌های زلال و ژرف یا یک جسم سیاه که بازتاب آنها باید صفر باشد، شناسایی می‌شود. سپس مقدار بالاتر از صفر در این مناطق که بیانگر یک افزایش همگانی در سراسر پیکسل‌های تصویر است، از تمام پیکسل‌های تصویر کسر می‌شود (Chavez, 1989; Chavez, 1996). الگوریتم FLAASH برای حذف تاثیرات جوی طراحی شده که از طریق استخراج خصوصیات جوی مانند سپیدایی سطحی، ارتفاع، ستون بخار آب و هوادویزها تصحیح را انجام می‌دهد (ENVI Tutorial, 2003). حوضه آبریز دریاچه با استفاده از داده‌های رقومی ارتفاعی (DEM) سنجنده استر و توسط نرم‌افزار ArcGIS 10.7 و افزونه ArcHydro استخراج شد. با بررسی و استخراج حوضه آبریز دریاچه لوت مشخص شد که بارندگی در مناطق بالا دست باعث طغیان رود شور و تغییر مسیر آن شده است که این تغییر مسیر باعث شده است آب با دبی زیاد از شمال حوضه وارد دریاچه شود و این دریاچه زیبا را در دل بیابان لوت بوجود آورد. آبراهه دیگری نیز از غرب حوضه آبریز دریاچه، به دریاچه می‌ریزد که به نظر نقش چندانی در تشکیل دریاچه لوت نداشته است (شکل ۱ ب). فلوچارت روش کار در شکل ۲ نشان داده شده که در ادامه اشاره مختصری به شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق شده است.

جدول ۱. محدوده طیفی باندهای سنجنده‌های OLI، MSI، TM و MSS

مشخصات سنجنده MSI سنتینل ۲			مشخصات سنجنده TM لندست			مشخصات سنجنده OLI لندست ۸			مشخصات سنجنده MSS لندست		
شماره باند	مرکز باند (μm)	توان تفکیک مکانی (m)	شماره باند	مرکز باند (μm)	توان تفکیک مکانی (m)	شماره باند	مرکز باند (μm)	توان تفکیک مکانی (m)	شماره باند	مرکز باند (μm)	توان تفکیک مکانی (m)
۱	۰/۴۴۳	۶۰	-	-	-	۱	۰/۴۷۵	۳۰	-	-	-
۲	۰/۴۹۰	۱۰	۲	۰/۴۸۲	۳۰	۲	۰/۵۶۲	۳۰	۳	۰/۵۶۰	۳۰
۳	۰/۵۶۰	۱۰	۳	۰/۶۶۵	۳۰	۳	۰/۶۶۵	۳۰	۴	۰/۶۶۵	۳۰
۴	۰/۶۶۵	۱۰	۴	-	-	۴	-	-	۵	۰/۶۶۵	۳۰
۵	۰/۷۰۵	۲۰	۵	-	-	۵	-	-	۶	۰/۷۵	۳۰

<sup>۱</sup> <https://glovis.usgs.gov/app>

<sup>۲</sup> Normalized Difference Water Index

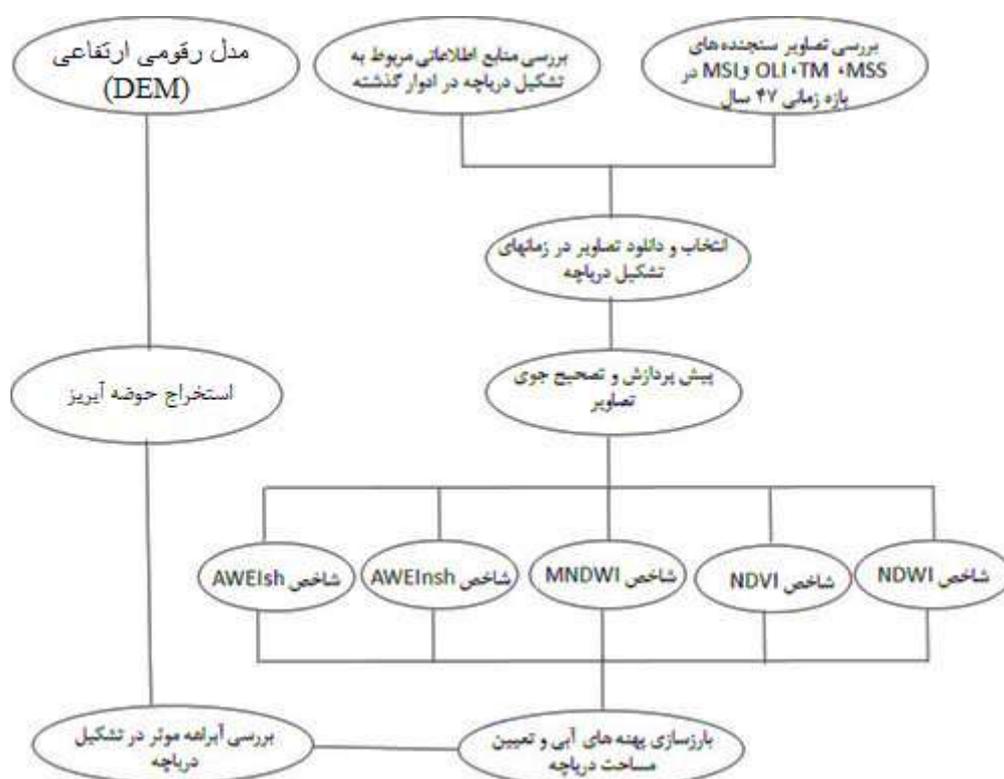
<sup>۳</sup> Modified NDWI

<sup>۴</sup> Automatic Water Extraction Index in Urban Areas (AWEI<sub>nsh</sub>)

<sup>۵</sup> Automatic Water Extraction Index in Shaded Areas (AWEI<sub>sh</sub>),

<sup>۶</sup> Normalized Difference Vegetation Index

-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	۰/۷۴۰	۶
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	۰/۷۸۳	۷
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰	۰/۸۴۲	۸
-	-	-	۳۰	۰/۸۳	۴	۳۰	۰/۸۶۵	۵	۲۰	۰/۸۶۵	۸۸
۶۰	۰/۹۵	۷	-	-	-	۳۰	۱/۳۷۵	۹	۶۰	۰/۹۴۵	۹
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۰	۱/۳۸۰	۱۰
-	-	-	۳۰	۱/۶۵	۵	۳۰	۱/۶۱	۶	۲۰	۱/۶۱۰	۱۱
-	-	-	۳۰	۲/۲۱۵	۷	۳۰	۲/۲۰	۷	۲۰	۲/۱۹۰	۱۲
-	-	-	-	-	-	۱۵	۰/۵۹	۸	-	-	-
-	-	-	۱۲۰	۱۱/۴۵	۶	-	-	-	-	-	-



شکل ۲. فلوجارت روش کار

### شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDWI)

شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDWI) برای پایش مقدار آب در پهنه‌های آبی استفاده می‌شود که در رابطه ۱ نشان داده شده است (McFeeters). با توجه به ویژگی جذبی و بازتابی آب این شاخص برای به حداکثر رساندن بازتاب آب در طول موج سبز و به حداقل رساندن بازتاب کم آب و بازتاب زیاد پوشش گیاهی و خاک در NIR طراحی شده است. مقادیر NDWI بین -۱ تا +۱ متغیر است که مقادیر منفی یا نزدیک به صفر به معنای پهنه‌های بدون آب و مقادیر نزدیک به +۱ نشان دهنده رطوبت بسیار زیاد است. در این تحقیق از باندهای ۳ و ۵ لندست و ۳ و ۸a سنتینل که به ترتیب باندهای سبز و فرورسرخ نزدیک (NIR) این ماهواره‌ها می‌باشند، استفاده شده است (جدول ۲).

$$NDWI = (B_{green} - B_{NIR}) / (B_{green} + B_{NIR}) \quad \text{رابطه ۱}$$

### شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده (MNDWI)

شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده به منظور بارز کردن ویژگی‌های آب در تصاویر طراحی شده است که می‌تواند به خوبی مناطق آبی مختلط با پوشش گیاهی و مناطق شهری را بارزسازی کند (رابطه ۲). از باندهای ۳ و ۶ لندست و ۳ و ۱۱ سنتینل که به ترتیب باندهای سبز و فروسرخ موج کوتاه (SWIR<sub>1</sub>) این ماهواره‌ها می‌باشند، استفاده شده است (Xu, 2006). (جدول ۱).

$$\text{MNDWI} = (\text{BGREEN} - \text{BSWIR1}) / (\text{BGREEN} + \text{BSWIR1}) \quad \text{رابطه ۲}$$

### شاخص استخراج خودکار آب در مناطق شهری (AWEI<sub>nsh</sub>) و مناطق سایه‌دار (AWEI<sub>sh</sub>)

شاخص استخراج خودکار آب به طور موثر برای شناسایی پهنه‌های آبی و بهبود صحت طبقه‌بندی آب در مناطقی که دارای سطوح سایه و تاریک هستند، ارائه شد. هدف از این شاخص آشکارسازی و بارزسازی آب از سایر پدیده‌ها با اعمال ضرایب مختلف می‌باشد که در دو بعد شامل شاخص استخراج آب در مناطق شهری (AWEI<sub>nsh</sub>) برای تفکیک پیکسل‌های آبی از سطوح ساخته شده شهری (رابطه ۳) و دیگری شاخص استخراج آب در مناطق سایه‌دار (AWEI<sub>sh</sub>) (رابطه ۴) به منظور حذف پیکسل‌های سایه و بارزسازی پهنه‌های آبی توسعه یافته است (Feyisa et al., 2014). در سنجنده لندست ۸ برای طول موج‌های آبی، سبز، NIR، SWIR<sub>1</sub> و SWIR<sub>2</sub> به ترتیب از باندهای ۲، ۳، ۵، ۶ و ۷ و برای سنتینل از باندهای ۲، ۳، ۸a، ۱۱ و ۱۲ استفاده شده است (جدول ۱).

$$\text{AWEInsh} = 4 * (\text{Bgreen} - \text{BSWIR1}) - (0.25 * \text{BNIR} + 2.75 * \text{BSWIR1}) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{AWEIsh} = (\text{Bblue} + 2.5 * \text{Bgreen} - 1.5 * (\text{BNIR} + \text{BSWIR1}) - (0.25 * \text{BSWIR2})) \quad \text{رابطه ۴}$$

### شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص NDVI یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات توسط محققان مختلف گزارش شده است و اساس آن به دلیل خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در گیاه در محدوده قرمز و بازتاب بالا در مادون قرمز نزدیک است (Chen et al., 2014; Gao, 1996; Lin et al., 2021; Onyango & Opiyo, 2022; Propastin, 2008; Wang et al., 2012). ارزش عددی این شاخص بین +۱ و -۱ در نوسان است و ثابت شده که هر چه به عدد +۱ نزدیک شود بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌گردد. در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف و پهنه‌های خاکی این اندیس به سمت صفر تمایل پیدا می‌کند و بخش‌های منفی عمدتاً مناطق مرطوب و آبی را نشان می‌دهند. از باندهای ۴ و ۵ لندست و ۴ و ۸a سنتینل که به ترتیب باندهای قرمز و NIR این ماهواره‌ها می‌باشند، استفاده شده است (جدول ۲). مقادیر کمتر از صفر و منفی به عنوان پهنه‌های آبی در نظر گرفته شدند. به دلیل اینکه منطقه خشک و فاقد پوشش گیاهی است عملاً امکان دارد شاخص خوب جواب دهد.

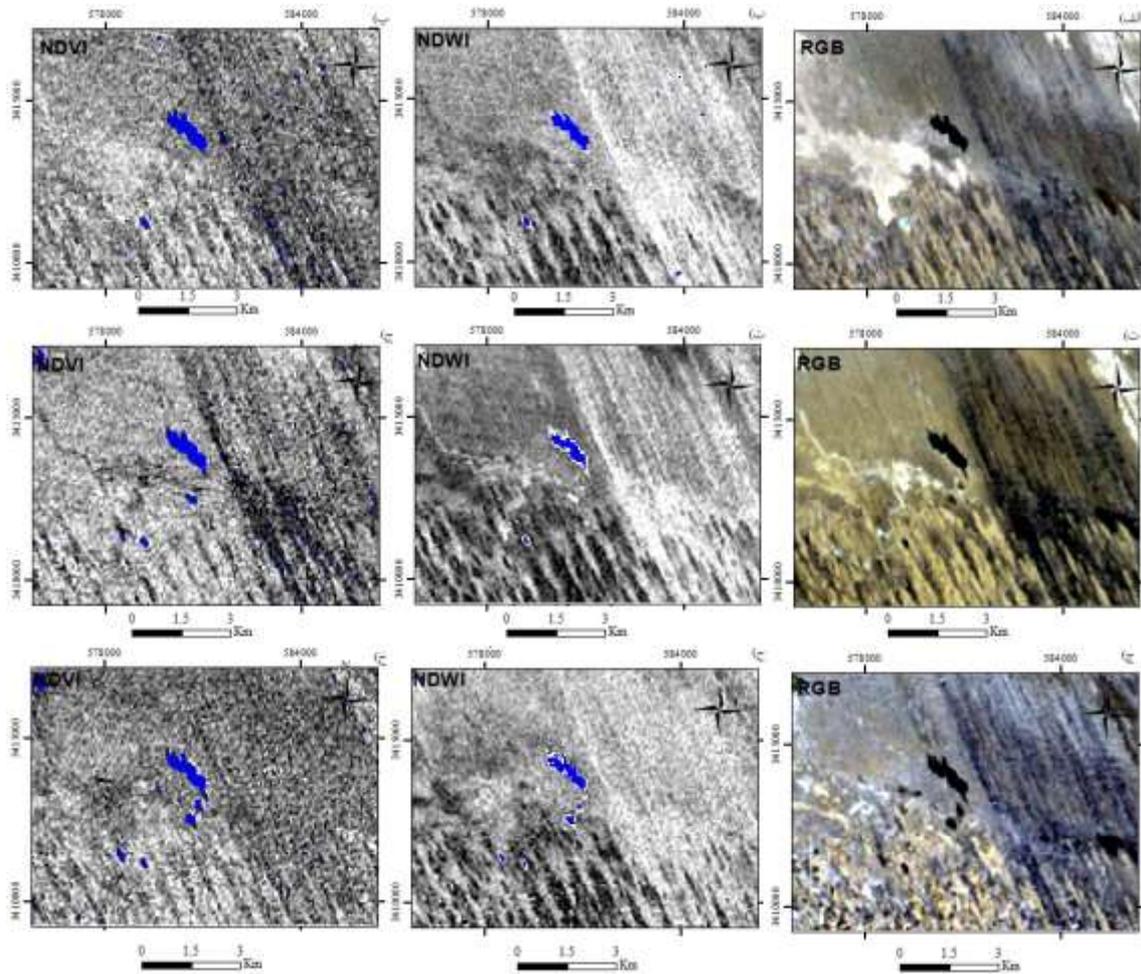
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad \text{رابطه ۵}$$

### نتایج و بحث

با بررسی تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۴۷ ساله از ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹ مشخص شد که علاوه بر سال ۲۰۱۹ در سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ نیز شواهد دریاچه‌ای کوچکتر در تصاویر وجود دارد. همچنین طبق یادداشت‌های دکتر مستوفی در سال ۱۳۵۰ (۱۹۷۱) رودشور طغیان نموده و شاخه‌هایی از آن در غرب گدار باروت رو به جنوب رفته و چاله‌های شمالی کلوت را آب گرفته و در مصب رود شور دریاچه پر آب بزرگی پدید آمده بود. متأسفانه تصویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۵۰ در دسترس نیست و در تصویر سال ۱۹۷۲ نیز هیچ پهنه آبی در منطقه دریاچه لوت بارز نشد ولی در محدوده‌ی دریاچه رسوبات به جای مانده شواهدی از وجود دریاچه‌ای خشک شده را نشان می‌دهند که ممکن است ناشی از بارندگی سال ۱۳۵۰ باشد. با پردازش تصاویر در سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ پهنه آبی بارز و مساحت آنها محاسبه شد (شکل‌های ۳ تا ۶).

تصاویر اخذ شده از سال ۱۹۷۷ و ۱۹۸۶ مربوط به سنجنده MSS بوده و با توجه به محدوده طول موج و تعداد باندهای کم

این سنجنده تنها شاخص‌های NDVI و NDWI اعمال شدند (شکل ۳). نتایج بیانگر وجود دریاچه‌ای بسیار کوچک در این زمان‌ها در منطقه است. نتایج حاصل از شاخص‌های NDVI و NDWI تقریباً مشابه بوده و نشان می‌دهد که در سال ۱۹۷۷ پهنه آبی با وسعت حدود ۵۱ هکتار تشکیل شده که در ادامه خشک گردید و در سال‌های بعد اثری از آن مشاهده نشد. در آوریل ۱۹۸۶ نیز مجدداً پهنه آبی با وسعت ۵۴ هکتار قابل مشاهده است (جدول ۲، شکل ۳).

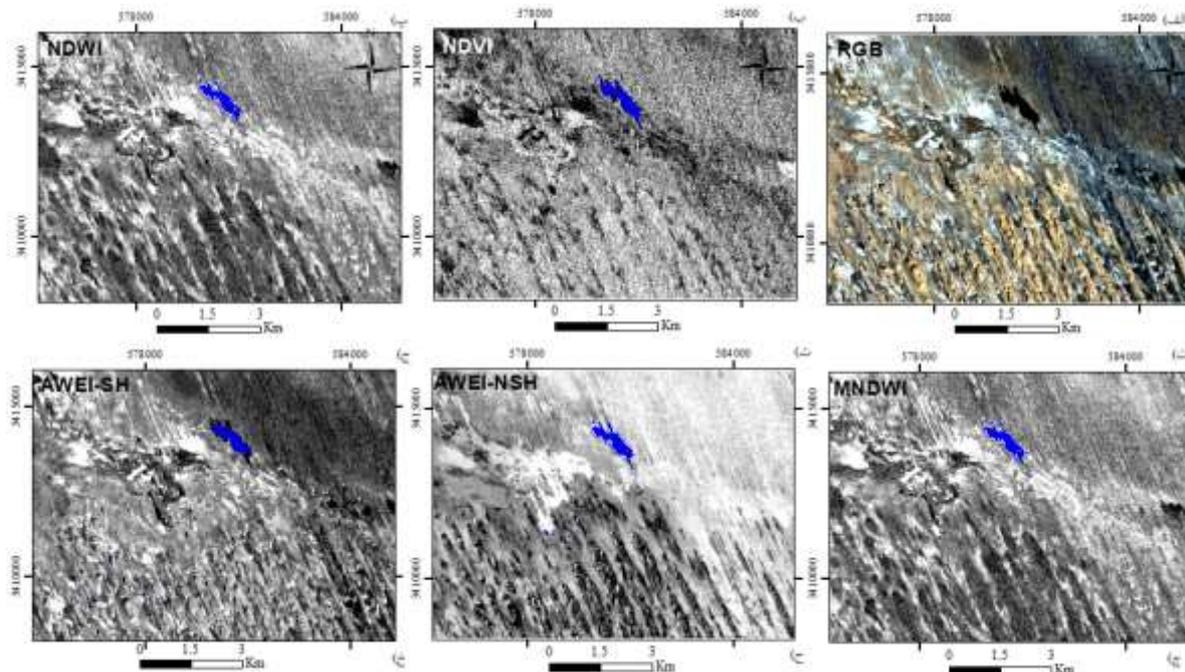


شکل ۳. مناطق بارز شده تصویر لندست (MSS) الف، ب، پ) به ترتیب ترکیب رنگی RGB:6,5,4، شاخص NDVI و NDWI تاریخ ۱۳۶۵/۰۴/۱۷ (ت، ث، چ) به ترتیب ترکیب رنگی RGB:6,5,4، شاخص NDVI و NDWI تاریخ ۱۳۶۵/۰۲/۰۸ (پ، ح، خ) به ترتیب ترکیب رنگی RGB:6,5,4، شاخص NDVI و NDWI تاریخ ۱۳۶۵/۱۰/۰۳ (ب، ح، خ) به ترتیب ترکیب رنگی RGB:6,5,4، شاخص NDVI و NDWI تاریخ ۱۳۶۵/۱۲/۲۴ (ا، ب، پ).

جدول ۲. مساحت بدست آمده از دریاچه توسط شاخص‌های مختلف بر حسب هکتار در سال‌های مختلف

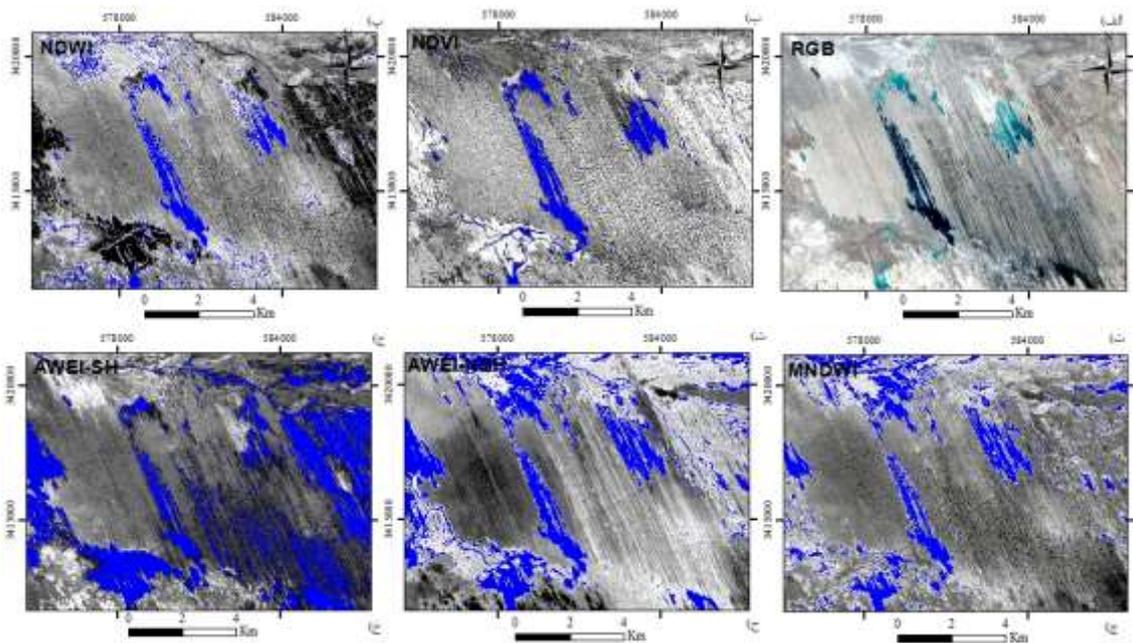
شاخص‌ها	لندست(MSS) ۱۹۷۷/۰۷/۰۸ م. ۱۳۵۶/۰۴/۱۷ ش.	لندست(MSS) ۱۹۸۶/۰۴/۲۸ م. ۱۳۶۵/۰۲/۰۸ ش.	لندست(MSS) ۱۹۸۶/۱۲/۲۴ م. ۱۳۶۵/۱۰/۰۳ ش.	لندست(TM) ۱۹۸۷/۰۲/۲۶ م. ۱۳۶۵/۱۲/۰۷ ش.	سنتینل ۲ ۲۰۱۹/۴/۱۹ م. ۱۳۹۸/۰۱/۳۰ ش.	لندست(OLI) ۲۰۱۹/۰۵/۲۵ م. ۱۳۹۸/۰۳/۰۴ ش.
NDVI	۵۱/۸۴	۵۴/۷۲	۴۸/۲۴	۴۲/۶۶	۲۰۹/۹	۱۹۱/۰۷
NDWI	۵۰/۷۶	۵۴/۳۶	۴۲/۴۸	۴۴/۰۱	۱۸۹/۵۶	۱۹۷/۱۹
MNDWI	-	-	-	۴۴/۲۸	۱۷۴/۷۶	۱۳۲/۸۴
AWEI-sh	-	-	-	۳۲/۵۸	۲۱۱/۷	۱۸۹/۶۳
AWEI-nsh	-	-	-	۴۶/۴۱۶	۲۴۰/۸۱	۱۷۲/۴۴

تصاویر سال ۱۹۸۷ مربوطه به سنجنده TM می‌باشد در این سال نیز دریاچه وجود داشته ولی وسعت آن کمتر از سال قبل بوده و به کمتر از ۵۰ هکتار رسیده است. به نظر می‌رسید این دریاچه باقیمانده همان سال ۱۹۸۶ است که با گذشت زمان تبخیر سبب کم شدن حجم دریاچه و کاهش وسعت آن به ۴۲ هکتار رسیده و در نهایت در سال‌های بعد از بین رفته است (جدول ۲ و شکل ۴). در این تصویر شاخص‌های NDVI، NDWI، MNDWI مساحتی حدود ۴۴ هکتار را نشان دادند ولی شاخص‌های AWEI-sh و AWEI-nsh مقدار متفاوت و به ترتیب ۳۲ و ۴۶ هکتار را نشان داد.



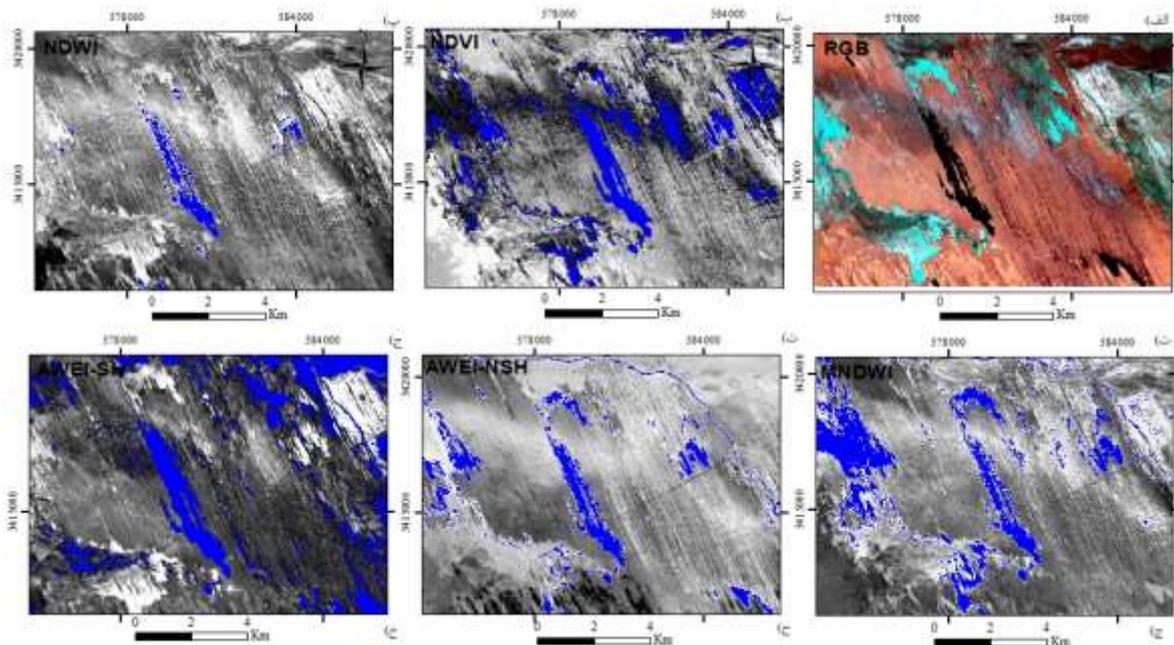
شکل ۴- مناطق بارز شده تصویر لندست (TM) تاریخ ۱۳۶۵/۱۲/۰۷ (۱۹۸۷/۰۲/۲۶)، الف) ترکیب رنگی RGB:6,5,4، ب) شاخص NDVI، پ) شاخص NDWI، ت) شاخص MNDWI، ث) شاخص AWEI-nsh، ج) شاخص AWEI-sh.

تصاویر سنجنده MSI سنتینل ۲ و OLI لندست ۸ به ترتیب مربوط به مربوط به ۱۹ آوریل و ۲۵ می ۲۰۱۹ می‌باشند. هر پنج شاخص روی این داده‌ها اعمال شد (شکل‌های ۵ و ۶). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر و شاخص‌های مختلف، در سال مورد بررسی نیز با گذشت زمان، وسعت دریاچه کاهش یافته است؛ به طوری که از آوریل تا می، در تمامی شاخص‌ها به جز NDWI، کاهش مساحت دریاچه مشاهده می‌شود. تنها شاخص NDWI نسبت به سایر شاخص‌ها در برخی موارد وسعت دریاچه را کمی بیشتر نمایش داده است. وسعت مناطق آبی شناسایی شده در تصویر سنتینل ۲- با استفاده از شاخص‌های AWEI-sh، MNDWI، NDVI و NDWI کمی متفاوت است. به طور مشخص، شاخص AWEI-nsh وسعتی حدود ۲۴۰ هکتار، AWEI-sh حدود ۲۱۱، MNDWI حدود ۱۷۴ و NDWI حدود ۱۸۹ و NDVI حدود ۲۰۹ هکتار پهنا آبی را نشان می‌دهند. با این وجود، پهنا‌های آبی شناسایی شده توسط شاخص‌های AWEI-sh و MNDWI نسبت به واقعیت میدانی بیشتر و کمتر بوده و برخی از این مناطق با شرایط واقعی مطابقت ندارند. در مقابل، نتایج حاصل از شاخص‌های NDWI و به ویژه NDVI با دقت بیشتری با مشاهدات میدانی همخوانی دارند (شکل ۵).



شکل ۵- مناطق بارز شده تصویر سنتینل ۲ (۱۳۹۸/۰۱/۳۰) در محدوده دریاچه، الف) ترکیب رنگی 8A, 5, 4, RGB، ب) شاخص NDVI، پ) شاخص NDWI، ت) شاخص MNDWI، ث) شاخص AWEI-nsh، ج) شاخص AWEI-sh.

در تصویر لندست ۸ (OLI) مربوط به تاریخ ۲۵ می ۲۰۱۹ نیز شاخص‌های NDWI و بویژه NDVI، پهنه‌های آبی را بهتر بارز نمودند و برای تشخیص پهنه آبی مناسب‌تر بودند (شکل ۶ و جدول ۲). وسعت مناطق آبی استخراج شده با استفاده از شاخص NDVI حدود ۱۹۱، NDWI حدود ۱۹۷، MNDWI حدود ۱۳۲، AWEI-sh حدود ۱۸۹ و AWEI-nsh حدود ۱۷۲ هکتار می‌باشد. مشابه نتایج سنتینل-۲، شاخص MNDWI وسعت کمتری از پهنه‌های آبی را نسبت به واقعیت میدانی نشان می‌دهد و شاخص‌های AWEI-sh و AWEI-nsh نیز نسبت به NDVI و NDWI با واقعیت میدانی سازگاری کمتری دارند.



شکل ۶- مناطق بارز شده تصویر لندست ۸ تاریخ (۲۰۱۹/۰۵/۲۵) (۱۳۹۸/۰۳/۰۴)، الف) ترکیب رنگی 7, 5, 4, RGB، ب) شاخص NDVI، پ) شاخص NDWI، ت) شاخص MNDWI، ث) شاخص AWEI-nsh، ج) شاخص AWEI-sh.

## نتیجه‌گیری

بررسی تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل-۲ در بازه زمانی ۴۷ ساله (۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹) نشان داد که بیابان لوت طی چند دهه گذشته، چندین بار شاهد تشکیل دریاچه‌های موقتی با وسعت‌های متفاوت بوده است. بیشترین وسعت این دریاچه‌ها در سال ۲۰۱۹ و به میزان حدود ۲۰۹ هکتار ثبت شد که نسبت به سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ (با وسعتی معادل یک‌چهارم سال ۲۰۱۹) افزایش چشمگیری داشته است. این پدیده عمدتاً در پی سیلاب‌های شدید و طغیان رودخانه شور رخ داده و پس از مدت کوتاهی، به دلیل تبخیر بالا و کاهش بارندگی، دریاچه‌ها به سرعت خشک شده‌اند. مطالعه حاضر نشان داد که شاخص‌های آبی و گیاهی، به‌ویژه NDWI و NDVI، نسبت به شاخص‌های MNDWI و AWEI، در استخراج و پایش دقیق‌تر پهنه‌های آبی منطقه لوت عملکرد بهتری دارند و با واقعیت‌های میدانی مطابقت بیشتری نشان می‌دهند. این یافته با نتایج پژوهش‌های مشابه در ایران و جهان (مانند خسرویان و همکاران، ۱۳۹۶؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۷؛ سیما و همکاران، ۲۰۱۳) همسو است و بر اهمیت داده‌های سنجش از دور و شاخص‌های منتخب در پایش تغییرات سطح آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأکید دارد. دریاچه نوپدید شه‌داد، واقع در مسیر شه‌داد-نهبندان و در میانه بیابان لوت، نمونه بارزی از این رخداد‌های هیدرولوژیکی است که در پی طغیان رودخانه شور و ورود حجم قابل توجهی از آب‌های فصلی شکل گرفت. این رخداد علاوه بر تغییرات ساختاری در سطح زمین و تأثیر بر زیرساخت‌هایی مانند جاده و خطوط انتقال برق، پیامدهای اکولوژیکی و زیست‌محیطی قابل توجهی از جمله افزایش شوری خاک و تأثیر بر زیستگاه پرندگان مهاجر به همراه داشته است. از منظر اجتماعی و اقتصادی تشکیل این دریاچه موجب افزایش جذابیت‌های بصری و طبیعی بیابان لوت و جلب گردشگران بیشتری به این منطقه شد؛ به‌ویژه در سال‌های اخیر که ثبت جهانی لوت و پدیده‌های کم‌نظیر آن توجه علاقه‌مندان به طبیعت و ژئوتوریسم را افزایش داده است. از منظر کاربردی و اجرایی، نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای مدیریت ریسک سیلاب، حفاظت از زیرساخت‌های منطقه و برنامه‌ریزی منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. پایش مستمر پهنه‌های آبی با داده‌های ماهواره‌ای و GIS، امکان شناسایی به‌موقع تغییرات و تصمیم‌گیری مؤثر را برای مدیران و برنامه‌ریزان فراهم می‌کند. در مجموع، بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور و شاخص‌های منتخب، ابزاری کارآمد و مقرون‌به‌صرفه برای پایش و مدیریت منابع آب و اکوسیستم‌های بیابانی فراهم می‌کند و می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، حفاظت محیط‌زیست و توسعه ژئوتوریسم در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا نماید.

## تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

## References

- Chavez, J. P. S. (1989). Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55, 1285-1294.
- Chavez, J. P. S. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections-Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.
- Chen, L., Jin, Z., Michishita, R., Cai, J., Yue, T., Chen, B., & Xu, B. (2014). Dynamic monitoring of wetland cover changes using time-series remote sensing imagery. *Ecological Informatics*, 24, 17-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.06.007>
- Duan, Z., & Bastiaanssen, W. G. M. (2013). Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. *Remote Sensing of Environment*, 134, 403-416. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.010>.
- ENVI Tutorial, (2003). *ENVI Software Package Version 4.0*.
- 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 Sensing of Environment*, 140, 23-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- 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. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Khosravi, M., Entezari, A., Rahmani, A., Baaghdeh, M., (2017) Monitoring the Disturbance of Lake District Water Level Changes Using Remote Sensing Indices. *Hydrogeomorphology* 4 (13): 99-120. (In Persian)
- Leblanc, M., Lemoalle, J., Bader, J. C., Tweed, S., & Mofor, L. (2011). Thermal remote sensing of water under flooded vegetation: New observations of inundation patterns for the ‘Small’ Lake Chad. *Journal of Hydrology*, 404(1), 87-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.04.023>
- Lin, H., Shu, G., Xiping, Y., Yan, L., Guokun, C., & Sha, G. (2021). Spatial Differentiation Analysis of Water Quality in Dianchi Lake Based on GF-5 NDVI Characteristic Optimization. *Journal of Spectroscopy*, 2021, 5542126. <https://doi.org/10.1155/2021/5542126>
- Maghsoudi, M., Khanbabaei, Z., Mohammadi, A., Mahboobi, S., & Baharvand, M. (2016). Environmental Conditions of Iran Pluvial Lakes using Sedimentary Evidence (Case study: Lut Desert Kalut). *Physical Geography Research*, 48(1), 125-142. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.57031>. (In Persian)
- Maghsoudi, M., Moradi, A., Moradipour, F., & Nezammahalleh, M. A. (2019). Geotourism development in world heritage of the Lut Desert. *Geoheritage*, 11, 501-516. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0303-2>. (In Persian)
- McFeeters, S. K., & <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>. (1996). The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1425-1432.
- Moien Jahanthigh, M. J. (2-23). Monitoring of vegetation changes using daily Landsat-Modis simulated images at in three years of wet, normal and drought in arid region (Case study: Nimroze city) *RS & GIS for Natural Resources* 14(3), 101-130. (In Persian)
- Onyango, D. O., & Opiyo, S. B. (2022). Detection of historical landscape changes in Lake Victoria Basin, Kenya, using remote sensing multi-spectral indices. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wsee.2021.12.001>
- Propastin, P. A. (2008). Simple model for monitoring Balkhash Lake water levels and Ili River discharges: Application of remote sensing. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 13(1), 77-81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2007.00354.x>
- Rasti, S., Mahdavi fardn, M., Shaykh ghaderi, H., Nasiri, A., Taktaz, N.Z., (2022). Improving Classification accuracy by combining multi-season images of Sentinel 1 and 2 in order to prepare a land use map in the cloud space of Google Earth Engine (Case study: Guilan province), *Geography and Human Relationships Journal*, V. 5, N. 3 357-373 (In Persian).
- Sima, S., & Tajrishy, M. (2013). Using satellite data to extract volume-area-elevation relationships for Urmia Lake, Iran. *Journal of Great Lakes Research*, 39, 90-99. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.12.013>. (In Persian).
- Wang, L., Dronova, I., Gong, P., Yang, W., Li, Y., & Liu, Q. (2012). A new time series vegetation–water index of phenological–hydrological trait across species and functional types for Poyang Lake wetland ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 125, 49-63. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.07.003>
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water

features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., & Qin, Y. (2017). Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water*, 9(4), 256. <https://doi.org/10.3390/w9040256>.