

Estimation of Lake Urmia water area using Landsat 8 satellite imagery using MNDWI Index

Mohammadreza Yousefiroshan^{1*}

1- Assistant Professor, Department of Geography, Farhangian University, Tehran, Iran.

Received: 08 March 2022

Accepted: 26 November 2022

Extended Abstract

Introduction

Remote sensing is the science and art of obtaining information about the earth's surface without physical contact with it. This is done by measuring and recording the energy reflected or emitted from the ground and processing, analyzing and using this information. One of the effective tools in the field of environmental studies and earth sciences is the use of remote sensing technology and the use of satellite data. Today's measurement technology has made it possible for geoscientists to use satellite imagery and the processing that takes place on these images to provide the information needed to better understand and detect changes in the human environment. Identify the planet Earth. Monitoring and extraction of changes in the water level of Lake Urmia in recent years has been considered. One of the effective tools in the field of shoreline changes and its area is the use of remote sensing technology and the use of satellite data. The use of satellite imagery due to its large spatial coverage, high resolution, low cost, time archive, free access to satellite imagery and the existence of applications and applied spectral indicators, became very important in studies of estimating the area of water areas.

Methodology

In this paper, the water area of Lake Urmia was calculated by remote sensing and processing of satellite images. Images of the Landsat 8 satellite with pass number 169 and row number 34, which corresponded to 20/05/2021 at 7:38:14, were downloaded from the website of the United States Geological Survey <https://earthexplorer.usgs.gov>. The Landsat satellite has two imaging sensors. One is the OLI sensor and the other is the TIRS sensor. The OLI sensor has 9 spectral bands in the visible and infrared reflectance range. The TIRS sensor also has two thermal bands. After downloading the Landsat 8 satellite images, it was cut in ENVI software version 3.5 of the Urmia Lake area. The error of the satellite images was eliminated radiometrically and geometrically. In order to improve the spatial resolution of the study area, the 30-meter pixel image was converted to a 15-meter pixel size to improve the resolution of the study area, then atmospheric correction was applied to the satellite image. There are different spectral indices for water zones, the index that was used for the water zones of Lake Urmia is the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). To investigate the area of Lake Urmia, the output of Shipe File was done in ENVI. The output file of the file slope was called in Arc Map and the area of Lake Urmia was calculated in terms of square kilometers.

*. Corresponding Author (Email: mr.yousefiroshan@cfu.ac.ir)

Copyright © 2022 Journal of Geography. This is an **Open Access** article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution- noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages provided the original work is properly cited.

Results and Discussion

One of the methods used in remote sensing to identify phenomena is the use of spectral index. Many studies and researches have been done in the past that the water zone has been separated from other phenomena. The NDWI Index, also known as the Water Index, was first introduced by Gao in 1995. Another indicator was later used in 2005 by Denison et al. To measure plant moisture. A year later, McFithers (1996) introduced NDWI, a combination of green and near-infrared bands, in another study on the separation and detection of blue zones. In 2003, Chen et al. In a study of plant moisture content presented a new indicator that combines near-infrared and short-wavelength infrared bands. In 2006, with a slight change from previous algorithms, Zhou replaced the mid-infrared band with the near-infrared band and introduced a new indicator. The corrected NDWI index presented by Zhou has been used in various studies only in the field of identification and extraction of water areas. Index (MNDWI) separates the Urmia Lake area from other coverings. In this index, there is water in some places. Its NDWI value is different from the places where it is white and wet salt marshes. In the water zone, the index reaches 0.99, but in wet salt marshes it reaches 0.6. Is higher. In this index, the positive numbers are between (0.6-1) water areas, the numbers are 0 and negative are other vegetation. The spectral behavior of water is different from other indicators, it has the highest amount of reflection in the blue band, from the blue band to longer wavelengths, ie infrared, it increases the absorption rate, and consequently the reflection decreases.

Conclusion

To investigate the area of Lake Urmia, the output of Shipe File was done in ENVI. The output file of the file slope was called in Arc Map and the area of Lake Urmia was calculated in terms of square kilometers. According to Landsat satellite images with ROI values between 1 to 0.2 percent, the area of Lake Urmia on the date of the images, which were downloaded on 20/05/2021, has been calculated to be 3,107,844 square kilometers.

Keywords: Blue Zone, Lake Urmia Satellite Images, Landsat 8, MNDWI Index

برآورد پهنه آبی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ با استفاده از شاخص MNDWI

محمد رضا یوسفی روشن^۱ - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵

چکیده

پایش و استخراج تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در طول سال های اخیر مورد توجه واقع شده است. یکی از ابزارهای موثر در زمینه تغییرات خط ساحلی و مساحت آن، استفاده از فناوری سنجش از دور و بهره گیری از داده های ماهواره ای است. استفاده از تصاویر ماهواره ای به دلیل پوشش وسیع مکانی، قدرت تفکیک بالا، هزینه کم، آرشو زمانی، دسترسی رایگان به تصاویر ماهواره ای و وجود نرم افزارهای کاربردی و شاخص های طیفی کاربردی، اهمیت فراوانی در مطالعات برآورد مساحت پهنه های آبی پیدا کرد. حداکثر سطح دریاچه ارومیه در دوران پرآبی در حدود ۶۱۰۰ کیلومترمربع ارزیابی شده است؛ با این حال، وسعت دریاچه ارومیه در طول سال های اخیر کاهش محسوسی داشته است. تبدیل دریاچه به پالایا؛ زمین های کشاورزی، باغات و شهرهای اطراف دریاچه را تهدید نموده است؛ و بزرگترین زیست گاه آرتمیا از بین رفته و معطلات اقلیمی، اقتصادی و اکولوژیک در منطقه ایجاد گردید. در این مقاله از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ برای برآورد نسبی مساحت دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص های طیفی مختلفی برای پهنه های آبی وجود دارد، شاخصی که برای پهنه های آبی دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت، شاخص MNDWI می باشد. جهت بررسی مساحت دریاچه ارومیه، خروجی Shipe File در ENVI انجام شد. فایل خروجی شیب فایل در Arc Map فراخوانی شد و مساحت دریاچه ارومیه برحسب کیلومترمربع محاسبه شد. با توجه به تصاویر ماهواره ای لندست ۸ با مقادیر ROI بین ۰/۲ تا ۰/۳ درصد، مساحت دریاچه ارومیه در تاریخ اخذ تصاویر که مربوط به ۲۰۲۱/۰۵/۲۰ دانلود گردید، ۳۱۰۷/۸۴۴ کیلومترمربع برآورد شده است.

واژگان کلیدی: پهنه آبی، دریاچه ارومیه تصاویر ماهواره ای، لندست ۸، شاخص MNDWI

مقدمه

رخداد خشکسالی های متوالی، احداث سدهای متعدد بر روی رودخانه های ورودی به دریاچه ها و تالاب ها، بهره برداری فزاینده آب در نواحی پیرامونی دریاچه ها به همراه تغییرات آب و هوایی عمده مشکلاتی است که دریاچه ها و تالاب های ایران را تهدید می نماید (خدمت زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۴). کاهش سطح تراز آب دریاچه ارومیه، تغییرات خط ساحلی و خشک شدن مناطقی که قبلاً تحت پوشش آب دریاچه ارومیه بود، مشکلات زیست محیطی و نگران هایی برای مردم، جامعه ی علمی و دانشگاهی داشته است و تبعات آن به یک مساله ملی تبدیل شد. از علم سنجش از دور و نرم افزارهای مرتبط با آن پردازش هایی کاربردی و بنیادی زیادی صورت گرفته است. سنجش از دور، علم و هنر به دست آوردن اطلاعات در مورد سطح زمین بدون تماس فیزیکی با آن است. این کار با سنجش و ثبت انرژی بازتاب شده یا منتشر شده از سطح زمین و پردازش، تجزیه و تحلیل و استفاده از این اطلاعات انجام می شود (ولیزاده کامران و مهدوی فرد، ۱۳۹۸: ۱). یکی از ابزارهای موثر در زمینه مطالعات محیط زیست و علوم زمین، استفاده از فناوری سنجش از دور و بهره گیری از داده های ماهواره ای است (علوی پناه، ۱۳۸۹: ۲۰). توانایی جمع آوری تصاویر از یک منطقه از سطح زمین در دوره های مختلف، یکی از مهم ترین عناصر برای استفاده از داده های سنجش از دور است. ویژگی طیفی ممکن است در طول زمان تغییر کنند و این تغییرات را می توان با جمع آوری و مقایسه تصاویر چند زمانه شناسایی کرد. با تصویر برداری به طور مداوم در زمان های مختلف، ما قادر به نظارت بر تغییراتی که در سطح زمین به صورت طبیعی یا انسانی رخ می دهد؛ هستیم (ولیزاده کامران و مهدوی فرد، ۱۳۹۸: ۴۵). اشکال و پدیده های طبیعی سطح زمین خیلی سریع تغییر پیدا می کنند و این تغییرات در طول زندگی انسان بسیار چشمگیر است (Macleod & Congalton, 1998: 208). نکته ای که اهمیت زیادی دارد این است که بتوان چنین تغییراتی را به دقت بررسی کرده تا فرایند های طبیعی و انسانی بوجود آورنده این تغییرات را بخوبی شناخت. در طی چند دهه گذشته، استفاده از فناوری سنجش از دور برای تشخیص چنین تغییراتی در طی زمان توجه محققان مختلف را به خود معطوف کرده است (Singh, 1989: 990). در دهه های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله های زمانی مختلف به عنوان یک پژوهش زیربنایی مورد توجه واقع شده است، زیرا خطوط ساحلی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت چنین محیط های اکولوژیکی حساسی نیاز به کسب اطلاعات دقیق در فواصل زمانی مختلف دارد (Dasarathy, 1991). در این شرایط، پایش و ارزیابی چنین مناطقی می تواند، به عنوان یک امر مهم در توسعه ملی و مدیریت منابع طبیعی تلقی شود (خدمت زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۴). در طی چند دهه گذشته، استفاده از فناوری سنجش از دور برای تشخیص چنین تغییراتی در طی زمان توجه محققان مختلف را به خود معطوف کرده است (Singh, 1989: 997). از مدت ها پیش ثابت شده است که جذب اشعه مادون قرمز به وسیله آب و انعکاس شدید آن به وسیله پوشش گیاهی و خاک، ترکیب ایدئال را برای نقشه برداری از سطوح آبی فراهم می کند (Ucker, 1979: 130). فناوری سنجش از دور به عنوان بهترین وسیله برای آشکارسازی و ارزیابی تغییرات شناخته شده است چرا که با پیشرفت های انجام گرفته در این فناوری و تولید تصاویر ماهواره های با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا و همچنین انواع فنون پردازش تصویر می توان تغییرات کاربری را برآورد نموده و نسبت به مدیریت آن ها اقدام نمود (فیضی زاده و حاجی میررحیمی، ۱۳۸۷: ۲). دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران، یکی از بزرگ ترین دریاچه های دائمی فوق شور در جهان و بزرگ ترین دریاچه از این نوع در خاورمیانه است. حداکثر سطح دریاچه در دوران پرآبی در حدود ۶۱۰۰ کیلومترمربع ارزیابی شده است؛ با این حال، از سال ۱۹۹۵ میلادی وسعت دریاچه ارومیه کاهش داشته و مطابق اطلاعات به دست آمده از تحلیل داده های ماهواره ی لندست، در اوت سال ۲۰۱۱ میلادی به ۲۳۶۶ کیلومترمربع رسیده

است (Pengra, 2012: 130). بدنه ی آبی دریاچه نسبتاً کم عمق بوده (عمق متوسط ۵/۴ متر) و طول دریاچه از ۱۳۰ تا ۱۴۵ کیلومتر در راستای شمالی-جنوبی متغیر است؛ حداکثر عرض گزارش شده برای دریاچه ارومیه معادل ۵۸ کیلومتری باشد. میزان نوسانات سطح آب در سال های کم آب و پرآب در حدود ۶ متر است (برنامه ی مدیریت جامع دریاچه ارومیه، ۱۳۸۹: ۱۳).

تعیین سطح پیکره های آبی به روش های گوناگون نظیر روش نقشه برداری زمینی، برآورد از طریق بررسی روابط بسیمتری، استفاده از فن های سنجش از دور و.... صورت می پذیرد؛ در بین فن های فوق روش استفاده از تصاویر ماهواره ای به دلیل پوشش وسیع مکانی، قدرت تفکیک بالا، هزینه کم، آرشو زمانی غنی از تصاویر ماهواره ای و سهولت روش های تعیین مساحت فراوانی در مطالعات آبخیزداری داشته است. فناوری سنجش از دور امروزه این امکان را برای محققین علوم زمین فراهم آورده تا بتوانند با استفاده از تصاویر ماهواره ای و پردازش هایی که بر روی این تصاویر صورت می گیرد، اطلاعات لازم را در ارتباط با شناخت بیشتر و آشکار سازی تغییرات در محیط پیرامون انسان ها در سیاره زمین را شناسایی نمایند. مطالعات مربوط به آب های سطحی با استفاده از سنجش از دور اپتیکال از ابعاد گوناگونی می تواند مورد توجه قرار بگیرد (احراری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲). آل شیخ و همکاران (۱۳۸۴) پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه را در فاصله زمانی سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۱ و با استفاده از تصاویر سنجنده های TM و ETM+ انجام دادند. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، مساحت دریاچه ارومیه ۱۰۴۰ کیلومترمربع در بازه زمانی کاهش یافته است. رسولی، عباسیان و جهانبخش (۱۳۸۶)، در مقاله خود با موضوع پایش نوسان های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره ای چند سنجنده ای و چند زمانه ای پرداختند، و نشان دادن که خطوط ساحلی دریاچه ارومیه از سال های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ میلادی، تغییرات قابل ملاحظه ای در شرق و جنوب شرقی داشته و ارتفاع سطح آب این دریاچه در این بازه زمانی بین ۳ الی ۴ متر پایین آمده است. به طور متوسط در حدود ۲۳ درصد (تقریباً ۱۲۰۰ کیلومترمربع) مساحت دریاچه کاهش یافته است، به طوری که در طول ده سال گذشته، به طور متوسط حدود ۶۰ کیلومتر از مجموع خطوط ساحلی دریاچه جابه جا شده است. مدل های نهایی، نشان دهنده نوسانات گسترده دوره ای و تغییرات چشمگیر فصلی در پارامترهای هندسی دریاچه، به ویژه در دهه گذشته است و بیشترین تغییرات به دلیل کاهش ارتفاع آب دریاچه، به ویژه در شرق و جنوب شرق آن روی داده است. احراری و همکاران (۱۳۹۵)، در پروژه ی به برآورد مساحت سطحی پهنه آبی دریاچه ارومیه طی سال های ۱۳۹۵-۱۳۹۲ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، به صورت ماهانه و الگوریتم های پردازش تصاویر ماهواره ای تخمین زدند. الگوریتم مرکب از باندقرمز با مادون قرمز نزدیک در شناسایی و محاسبه مساحت محدوده آبی دریاچه ارومیه به عنوان بهینه ترین روش در میان روش های مورد استفاده شناخته شد. با این حال استفاده از باند قرمز در مقایسه با باند سبز، از لحاظ میزان دقت و جداسازی آب، میزان کانتراست بصری و همچنین قابلیت جداسازی آب از نواحی مرطوب، خصوصاً شوره زار های مرطوب اطراف دریاچه ارومیه، به عنوان روش بهینه برای تخمین مساحت سطحی دریاچه ارومیه شناسایی گردید. خدمت زاده و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله ی با موضوع پایش تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای، با استفاده از داده های چند زمانه ماهواره ای لندست ۷ و ۸ (شامل سنجنده های ETM+ و OLI) تغییرات مساحت دریاچه ارومیه در بازه زمانی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ مورد استفاده و پردازش قرار گرفت و نوسان های سطح آب دریاچه در دوره های زمانی مختلف استخراج کرد. نتایج حاکی از آن است که مساحت دریاچه ارومیه از ۴۳۴۶/۷۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۱ به ۲۲۸۵/۷۶ کیلومترمربع سیر نزولی داشته و با افزایش در سال ۲۰۱۹ به ۳۷۰۵/۸۸ کیلومتر مربع رسیده است. نوسانات آب دریاچه نیز از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ ۴۷/۳۹ درصد کاهش و تا سال ۲۰۱۹ به میزان ۳۸/۳۲ درصد نسبت به

سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. یوسفی روشن و همکار (۱۴۰۰)، در مقاله‌ی با موضوع برآورد پهنه آبی سد لار با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ با استفاده از شاخص MNDWI با مقادیر ROI بین ۱ تا ۰/۱ درصد، مساحت سد لار در تاریخ اخذ تصاویر که مربوط به ۲۰۲۱/۰۶/۰۲ دانلود شده بود، ۷/۶۶ کیلومتر مربع برآورد نموده است؛ اهمیت و موارد کاربردی که در مقاله ذکر شده؛ دسترسی به تصاویر ماهواره ای، جهت برآورد پهنه های آبی سدها میزان آب ذخیره شده برای مصرف شرب شهر تهران و آبیاری زمین های کشاورزی بخصوص شالیزارهای چندین شهرستان های استان مازندران حیاتی و اساسی است، علاوه براین در فصل زمستان و بهار با استفاده از تصاویر ماهواره ای و شاخص NDSI سطح پوشش برف حوضه آبریز سد لار را برآورد کرد، تا مشخص گردد که در سال آبی چه مقدار حجم آب بر اثر ذوب برف، وارد سد لار می شود، لذا از این طریق می توان آب مصرفی شهر های مختلف و زمین های کشاورزی را برنامه ریزی کرد.

لذا با توجه به مزایای روش سنجش از دور از نظر دقت مکانی، طیفی، رادیومتریک؛ توان تفکیک زمانی و اهمیت تعیین مساحت دریاچه، هدف از این تحقیق برآورد پهنه آبی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ با استفاده از شاخص MNDWI است تا در نهایت با تهیه نقشه پهنه آبی و مساحت آن در هر بازه زمانی بتوان مساحت دریاچه ارومیه را برآورد کرد و اطلاعات کاهش یا افزایش مساحت دریاچه ارومیه را در اختیار مدیران و برنامه ریزان کشور قرار گیرد.

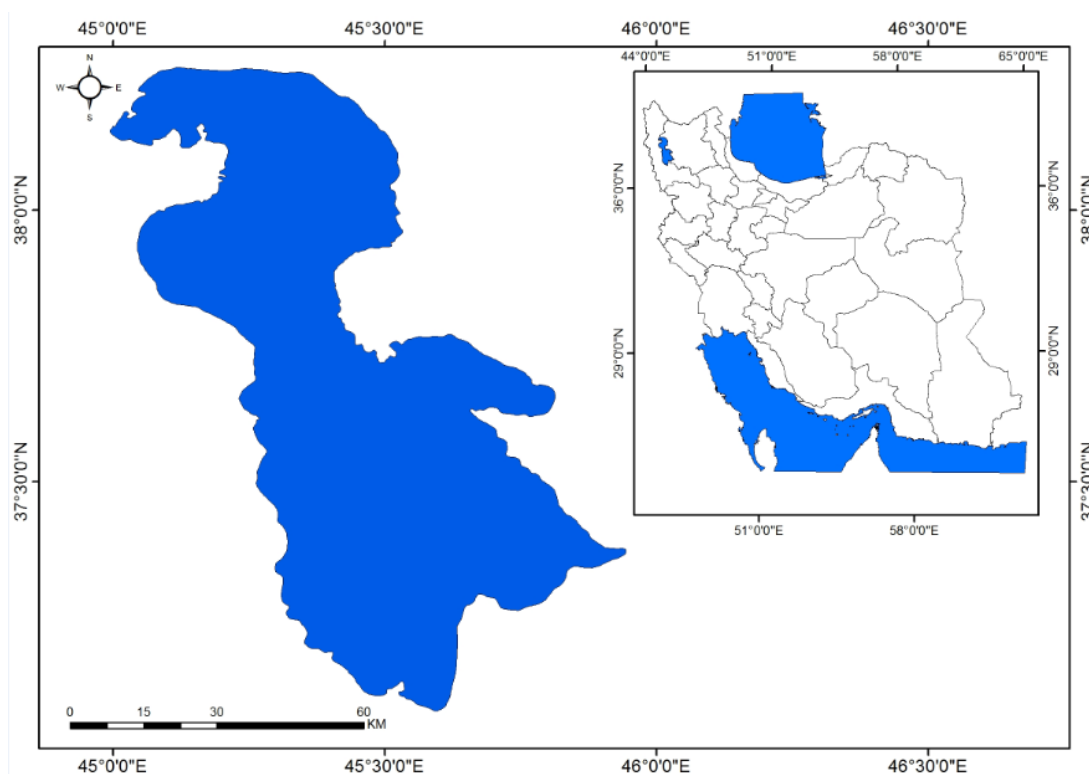
روش پژوهش

در این مقاله از طریق سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای، پهنه آبی دریاچه ارومیه محاسبه گردید. تصاویر ماهواره لندست ۸ با شماره گذر ۱۶۹ و شماره ردیف ۳۴ که مربوط به تاریخ ۲۰۲۱/۰۵/۲۰ ساعت ۷:۳۸:۱۴ بود، از وب سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا <https://earthexplorer.usgs.gov> دانلود گردید. ماهواره لندست از دو سنجنده تصویر بردار برخوردار است. یکی سنجنده OLI و دیگری سنجنده TIRS، سنجنده OLI از ۹ باند طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز بازتابی برخوردار است. همچنین سنجنده TIRS نیز از دو باند حرارتی برخوردار است. بعد از دانلود تصاویر ماهواره ای لندست ۸، در نرم افزار ENVI ورژن ۵/۳ محدوده دریاچه ارومیه، برش زده شد، خطای تصاویر ماهواره ای از لحاظ رادیومتریکی و هندسی برطرف شد. جهت ارتقای توان تفکیک مکانی منطقه مورد مطالعه تصویر پیکسل سایز ۳۰ متری را به پیکسل سایز ۱۵ متری تبدیل شد، تا توان تفکیکی منطقه مورد مطالعه ارتقا پیدا کند، سپس تصحیح اتمسفری بر روی تصویر ماهواره ای اعمال شد. شاخص های طیفی مختلفی برای پهنه های آبی وجود دارد، شاخصی که برای پهنه های آبی دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت، شاخص Modified (MNDWI) Normalized Difference Water Index می باشد. در این شاخص مناطقی که پوشش آب وجود دارد مقدار NDWI آن با جاهایی که سفید رنگ و شورزاره های مرطوب هست متفاوت است، در پهنه آبی شاخص به ۰/۹۹ ولی در شورزاره های مرطوب به ۰/۶ می رسد. در این شاخص اعداد مثبت بین (۰/۱-۶) پهنه های آبی را نشان می دهد، اعداد ۰ و منفی سایر پوشش گیاهی منطقه را جدا می کند. شاخص دستی دیگری که از طریق Band Math براساس فرمول $(b3-b4)/(b3+b4)$ محاسبه گردید، در این شاخص، B3 را معادل باند Red و B4 را باند Near Infrared داده شد که نواحی مرطوب (شورزار) را با پهنه آبی جدا می کند. فرایند تحلیل در نرم افزار ENVI تصویر باند Near Infrared و SWIR را با یکدیگر مقایسه گردید که باند مادون قرمز نزدیک Near Infrared پهنه آبی را جدا نموده و به صورت ملموس زمین هایی که تحت پوشش آب قرار گرفته را نشان می دهد. در محدوده طول موج کوتاه SWIR تمام دریاچه ارومیه در نرم افزار ENVI سیاه نمایش داده شد، و پهنه آبی در نظر گرفته شد، با توجه به ارزیابی صورت

گرفته باند مادون قرمز نزدیک بهتر می تواند پهنه آبی را نسبت به پهنه های دیگر بهتر نمایش دهد. در این شاخص مقادیری که بالاتر از عدد ۰ هست، پهنه آبی محسوب می شود. با توجه به رفتارطیفی آب، باندسبز، آبی و قرمز نسبت به باند مادون قرمز نزدیک تفاوت خیلی زیادی مشاهده گردید. باند مادون قرمز نزدیک جذب خیلی زیادی دارد، اما محدوده باندهای سبز، آبی و قرمز بازتاب خیلی زیادی دارند. دو باند که در پهنه آبی بازتاب زیاد و در باند دیگر جذب خیلی زیادی دارد، از نظر نمایش متفاوت هستند در نرم افزار ENVI فرمول هایی که از عملگرهای تفریق و تقسیم استفاده شد، تفاوت دو پدیده در تصویر بارزتر نمایش داده شد. در نرم افزار ENVI از دستور Band Threshold ROI بدست آمد، سپس در Data Manager مقادیر ROI در موقعیت ۰/۲ تا ۱ نمایش داده شد. سپس جهت بررسی مساحت دریاچه ارومیه، خروجی Shipe File در ENVI انجام شد. فایل خروجی شیب فایل در Arc Map فراخوانی و مساحت پهنه آبی دریاچه ارومیه برحسب کیلومترمربع در تاریخ اخذ تصاویر ماهواره محاسبه شد. با نرم افزارهای SPSS V.23 (آزمون اسپیرمن) و Smart PLS V.3 تحلیل گردید (Norusis, 1991).

محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق پهنه آبی دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. مشاهده تصاویر ماهواره ای و داده های به دست آمده از آن نشان دهنده تغییرات سطح و تراز آب دریاچه در طول دهه اخیر است. مختصات مرکز تصویر منطقه مورد مطالعه (دریاچه ارومیه) که در نرم افزار ENVI به صورت اتوماتیک ثبت شده، عرض جغرافیایی مرکز تصویر ۳۷ درجه و ۳۹ دقیقه و ۵۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۴ ثانیه می باشد. دریاچه ارومیه در پست ترین نقطه آذربایجان در ارتفاع ۱۲۷۵ متری از سطح دریا واقع شده است، فاصله شمال به جنوب ۱۳۵ کیلومتر و فاصله شرق به غرب ۵۰ کیلومتر می باشد.



شکل ۱: موقعیت دریاچه ارومیه در کشور

منبع: (ترسیم نگارنده)

تغییرات بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۹۰۰ تا ۲۲۰ میلی متر و متوسط بارش ۲۶۳ میلی متر می باشد و از مناطق مرکزی حوضه به سوی مناطق مرتفع پیرامونی بر مقدار بارندگی افزوده می شود (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۴۶). در گزارش های قدیمی (گوتتر، ۱۸۹۹ و بوبک، ۱۹۳۴)، دریاچه ارومیه را باقیمانده دریای مدیترانه (تتیس) دانسته اند ولی از نگاه زمین شناسی، این حوضه حاصل عملکرد سامانه های گسل های فشاری مانند تبریز و زربینه رود است که در سیستم آبرگیری آن نقش اساسی داشته اند. از نگاه زمین ساختی صفحه ای، به باور مکنزی (۱۹۷۲ و ۱۹۷۶) دریاچه ارومیه، در قسمتی از پهنه خرد شده بین صفحه های عربستان و ایران و زیر صفحه های ایران و ترکیه قرار گرفته و می توان آن را نوعی دریاچه زمین ساختی دانست که کوه های بلندی آن را در برگرفته است (آقانباتی، ۱۳۸۹: ۵۶۱). چاله ارومیه معرف بزرگترین چاله ساختمانی در آذربایجان است. دریاچه کنونی آن از بقایای حوضه رسوبی نتوژن می باشد که سطح وسیعی از مناطق داخلی آذربایجان را می پوشانده است. از ویژگیهای ژئومورفولوژی مهم دریاچه ارومیه، ناپایداری خط ساحلی و وجود چند پادگانه دریاچه ای در اطراف آن است. ناپایداری خط ساحلی ناشی از نوسان سطح آب در حال حاضر و پادگانه های دریاچه ای حاصل این نوسانات در طول کواترنر می باشد (علایی طالقانی، ۱۳۸۱: ۸۹).

بحث و یافته ها

در سنجش از دور شناسایی اهداف از طریق انرژی های رسیده به سنجنده از طریق بازتاب و گسیل امواج الکترومغناطیسی ایجاد شده میسر می باشد. تفسیر و تحلیل تصاویر سنجش از دور شامل شناسایی و یا اندازه گیری اهداف مختلف در یک تصویر برای استخراج اطلاعات مفید در آنها می باشد. اهداف در تصاویر سنجش از دور ممکن است هر ویژگی یا شیئی باشد که در یک تصویر دیده می شود (ولیزاده کامران و مهدوی فرد، ۱۳۹۸: ۱۴۸). پردازش تصویر رقومی ممکن است شامل روش های متعددی از جمله قالب بندی و تصحیح داده ها، افزایش رقومی (بالا بردن کیفیت تصویر) برای تسهیل تفسیر بصری بهتر یا طبقه بندی خودکار با کامپیوتر باشد (ولیزاده کامران و مهدوی فرد، ۱۳۹۸: ۱۵۵).

یکی از روش های مورد استفاده در سنجش از دور برای شناسایی پدیده ها استفاده از شاخص طیفی است. مطالعات و تحقیقات بسیاری در گذشته صورت گرفته که پهنه آبی از سایر پدیده ها تفکیک و جداسازی گردیده است (احرای و همکاران، ۱۳۹۵: ۳).

شاخص NDWI که از آن به عنوان شاخص آب نیز یاد می شود، برای اولین بار توسط گائو در سال ۱۹۹۵ میلادی ارائه شد. این شاخص از ساختار ریاضیاتی نرمال سازی شده و ترکیب دو باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی شکل گرفته است.

$$NDWI_{0.86\&1.24} = \frac{P_{0.86} - P_{1.24}}{P_{0.86} + P_{1.24}}$$

بعدها شاخص دیگری در سال ۲۰۰۵ توسط دنیسون و همکاران برای بررسی میزان رطوبت گیاه نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Dennison et al. 2005: 1037). یک سال بعد مک فیتز (۱۹۹۶) در مطالعه دیگری در ارتباط با تفکیک و تشخیص پهنه های آبی، NDWI را ارائه نمود که ترکیبی از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک می باشد (McFeeters, S.K., 1996: 1428). تا کنون از این شاخص توسط محققین مختلف در زمینه های بررسی مقدار رطوبت گیاه، شناسایی تالاب ها، شناسایی تغییرات زیست محیطی، جداسازی پدیده های مختلف از یکدیگر در تصاویر ماهواره ای، استخراج پهنه های آبی و مطالعات ارزیابی ماندآبی استفاده شده است (Chen et al. 2003: 2854).

Haibo et al. 2011; Li et al, McFeeters 1996: 1428, Ouma & Tateishi 2006: 3166, Xu 2006: 3028, Zhao et al. 2009)

$$NDWI = \frac{P_{Green} - PNIR}{P_{Green} + PNIR}$$

در سال ۲۰۰۳ میلادی چن و همکاران در مطالعه ای مربوط به بررسی محتوای رطوبت گیاه، شاخص جدیدی را ارائه نمودند که ترکیبی از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه است (Chen, et al. 2003: 2854). از این شاخص تا کنون در مطالعات مربوط به بررسی محتوای رطوبت گیاه در مناطق خشک، پایش چرخه فنولوژیکی گیاه، تهیه نقشه کاربری اراضی، مدلسازی اقلیمی و استخراج پهنه های آبی استفاده شده است (Delbart et al, 2005: 31, Estallo et al. 2012: 4259, Huttich et al. 2006: 339, Liu, 2012: 4377)

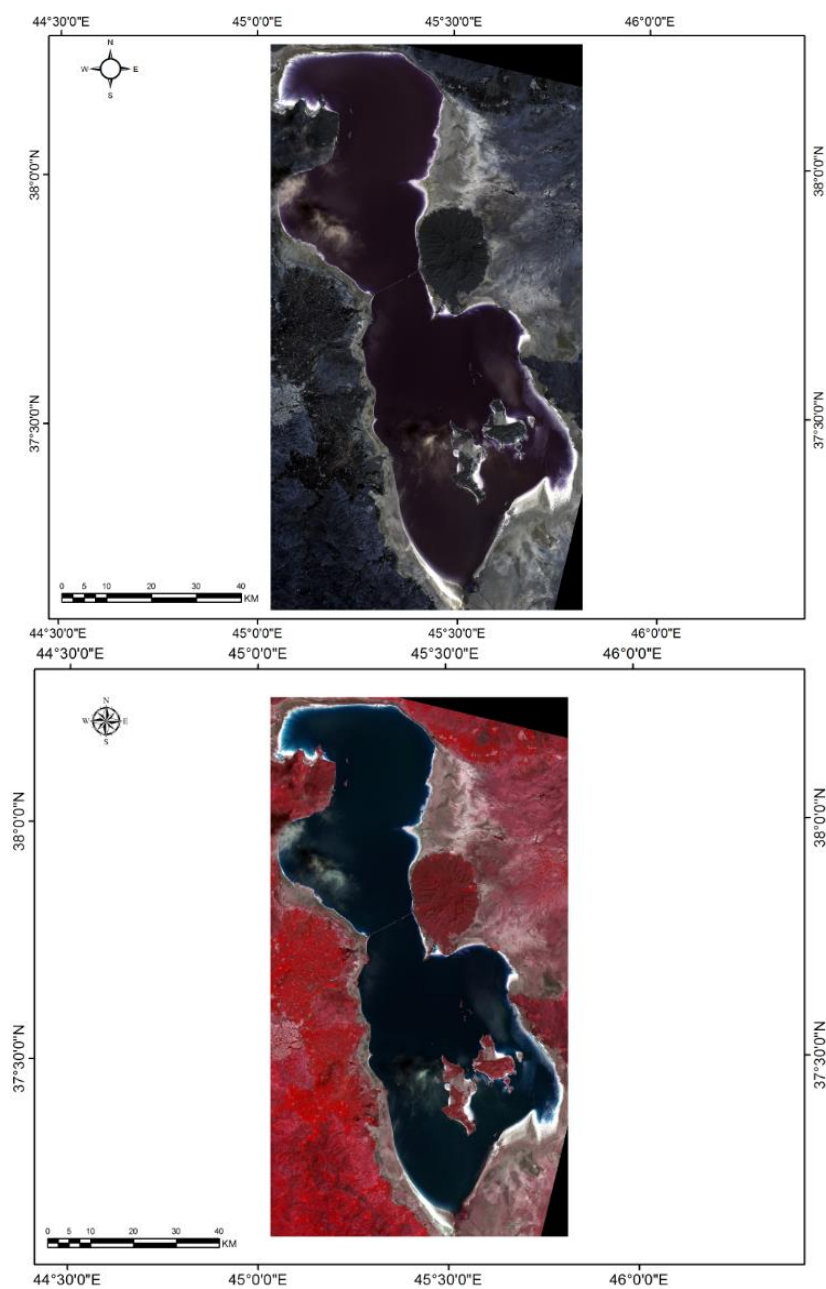
$$NDWI_{NIR,SWIR} = \frac{P_{NIR} - PSWIR}{P_{NIR} + PSWIR}$$

در سال ۲۰۰۶ نیز ژو با کمی تغییر نسبت به الگوریتم های پیشین باند مادون قرمز میانی را جایگزین باند مادون قرمز نزدیک نموده و شاخص جدیدی را ارائه داد (Xu, H., 2006: 3029). شاخص تصحیح شده NDWI که توسط ژو ارائه شد در مطالعات گوناگون تنها در زمینه شناسایی و استخراج پهنه های آبی استفاده شده است (Singh et al. 2015: 655, Subramaniam et al. 2011: 208).

$$MNDWI_{Green, MIR} = \frac{P_{Green} - PMIR}{P_{Green} + PMIR}$$

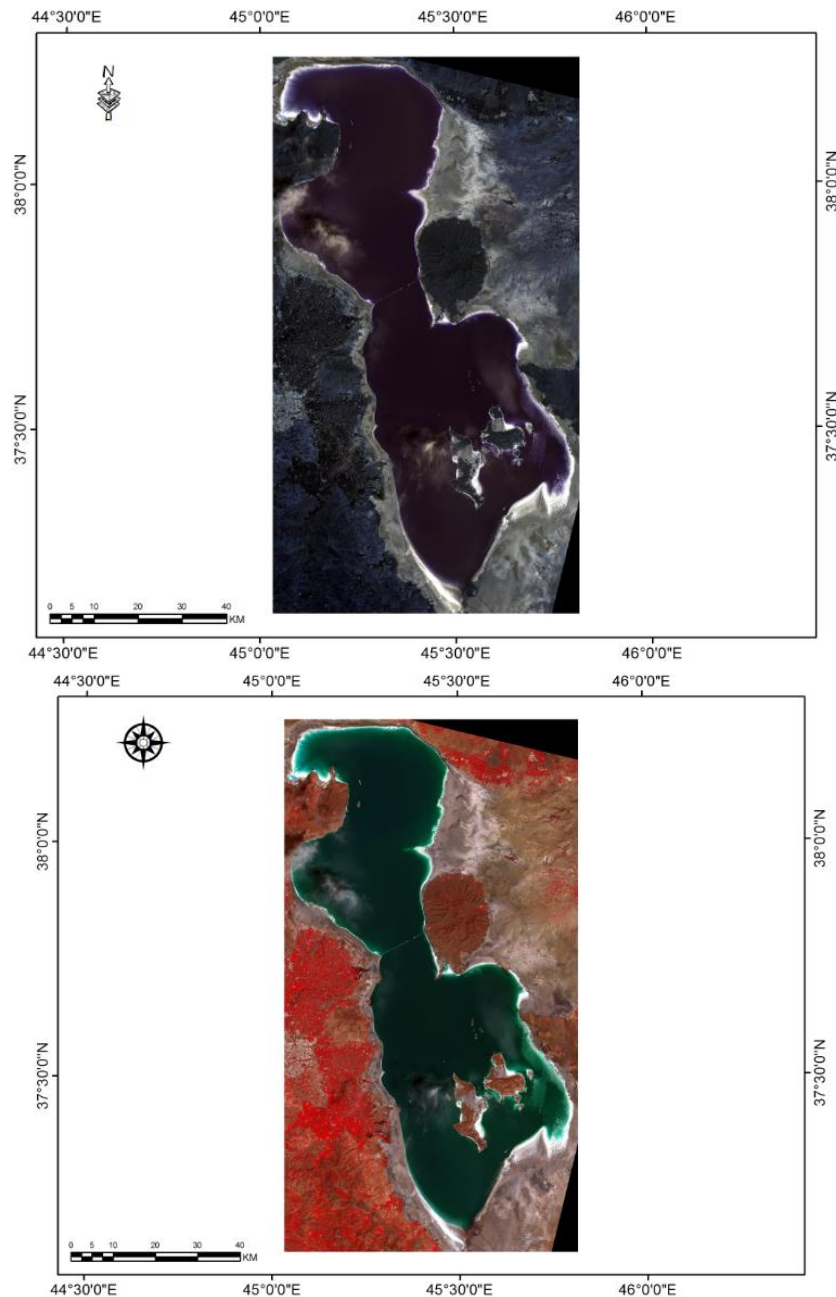
عموم الگوریتم هایی که در این بخش به آن ها اشاره شد، از ساختار نرمال سازی برخوردار بوده و همچنین ترکیبی از باندهای مرئی و مادون قرمز بازتابی هستند. با توجه به مطالعات و تحقیقات صورت گرفته، ترکیب باندهای مرئی و مادون قرمز بازتابی می تواند در شناسایی آب، رطوبت و استخراج پهنه های آبی موثر باشد.

نرم افزار ENVI یک سیستم تحلیل تصاویر هست که قابلیت تحلیل تصاویر را می تواند برای ما فراهم کنند. در سنجش از دور تغییرات نسبی پدیده ها مساحت پهنه آبی را که کم یا زیاد شده است را به ما نشان می دهد، اما مقادیر مطلق را نمی تواند برآورد کند، لذا در سنجش از دور یک برآورد نسبی پدیده ها وجود دارد. در نرم افزار ENVI از طریق Radiometric Calibration و Spatial subset محدوده دریاچه ارومیه برش زده شد (شکل ۲).



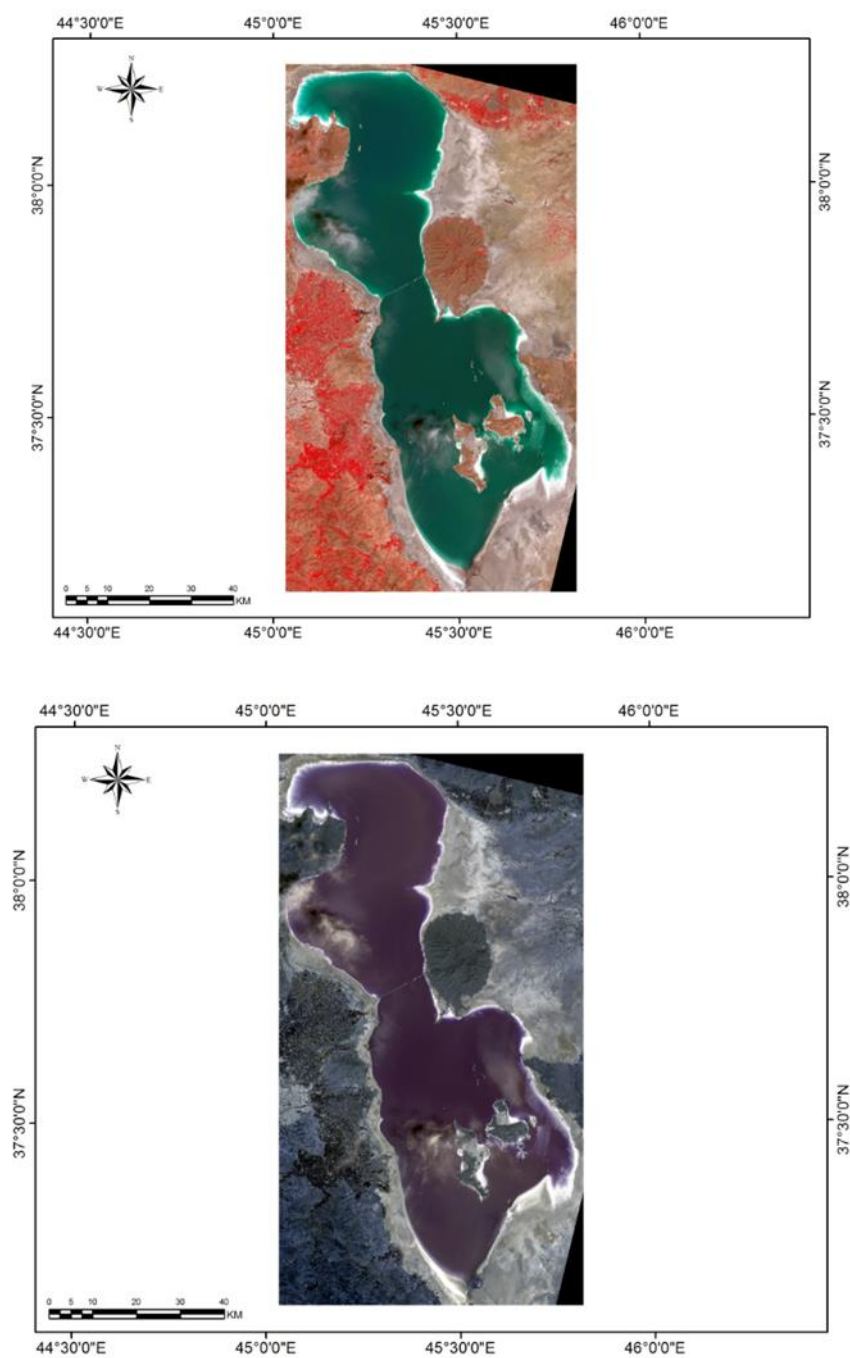
شکل ۲. برش تصویر منطقه دریاچه ارومیه از طریق Spatial subset به صورت ترکیب واقعی و کاذب
منبع: (ترسیم نگارندگان)

جهت ارتقای توان تفکیک مکانی منطقه مورد مطالعه تصویر پیکسل سائز ۳۰ متری را به پیکسل سائز ۱۵ متری تبدیل شد، تا توان تفکیکی منطقه مورد مطالعه ارتقا پیدا کند. توان تفکیک ۱۵ متری اطلاعات دقیق تری نسبت به برآورد مساحت سطحی تقریبی دریاچه ارومیه را در اختیار ما قرار می دهد (شکل ۳).



شکل ۳. تلفیق تصاویر توان تفکیک ۱۵ متری دریاچه ارومیه و ترکیب رنگی کاذب
منبع: (ترسیم نگارندگان)

جهت دستور تصحیح اتمسفریک از طریق دستور Quick Atmospheric Correction (quac) در نرم افزار ENVI فراخوانی شد، تصویر لندست برش زده شده منطقه مورد مطالعه را انتخاب و Sensor Type را Landsat Tm/Etm/OLI معرفی شد (شکل ۴).



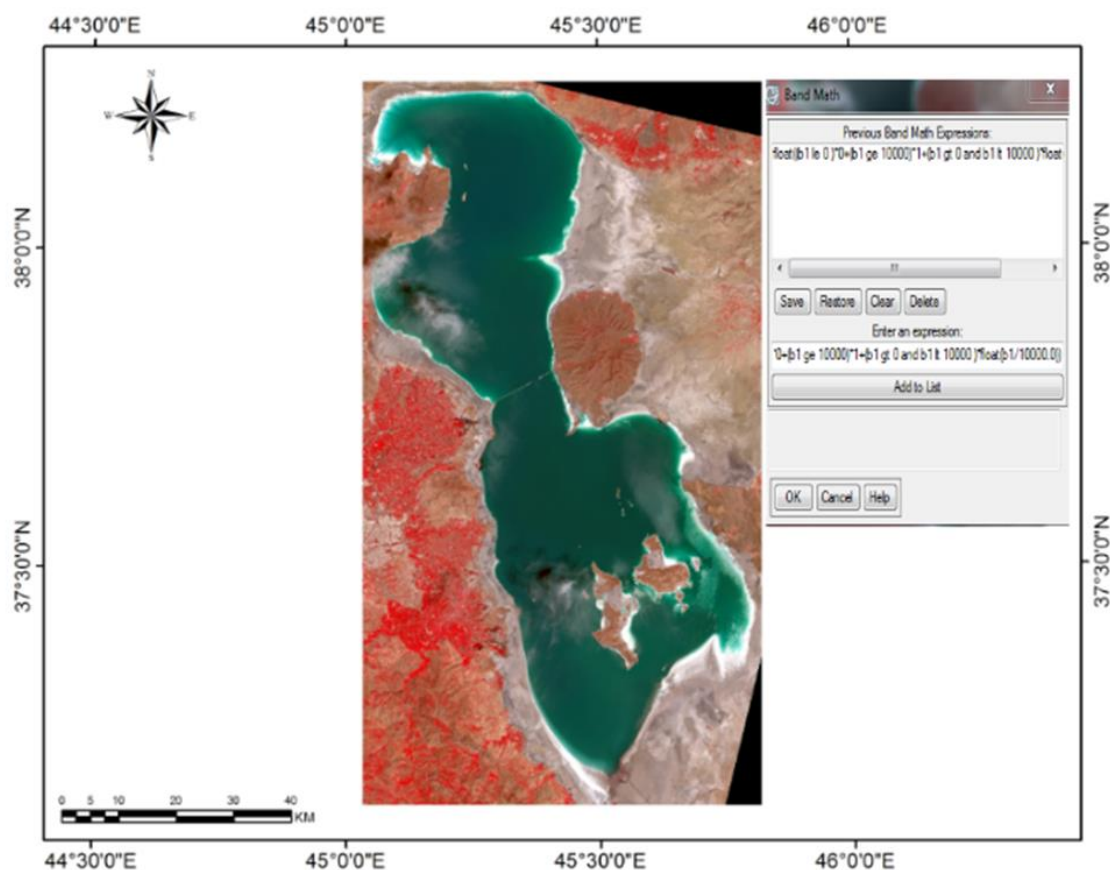
شکل ۴ تصویر (quac) و Linear5 دریاچه ارومیه با رزولوشن ۱۵ متری
منبع: (ترسیم نگارنده)

تقسیم تصویر یا نسبت طیفی یکی از رایج ترین تبدیلات اعمال شده به داده های تصویر است. نسبت دادن تصویر به منظور برجسته کردن تغییرات ظریف در پاسخ طیفی پوشش های سطحی مختلف به کار می رود. با مقایسه داده ها از دو باند طیفی مختلف، تصویر حاصل تغییرات در دامنه منحنی های بازتاب طیف بین دو محدوده طیف مختلف را افزایش می دهد (ولیزاده کامران، مهدوی فرد، ۱۳۹۸: ۱۶۹).

برای انجام محاسبات ریاضیاتی با استفاده از عملگرها نیاز به دو یا تعداد بیشتری از تصاویر ماهواره ای است. همچنین تصاویر مورد استفاده باید نسبت به یکدیگر از لحاظ هندسی و مختصاتی مشابه باشند، در غیر این صورت نمی توان از آنها به صورت ترکیبی در محاسبات بین تصاویر استفاده نمود. به علاوه تصاویری که مورد استفاده قرار می گیرند می توانند ترکیبی از باندهای جداگانه و یا باندهای موجود در یک مجموعه داده باشند. الگوریتم پیشنهاد شده در این مطالعه بر اساس ساختار محاسبه نرمال سازی تصاویر است که در آن مقادیر بین -1 تا $+1$ محدوده بندی شده است. در چنین ساختار محاسباتی بصورت ترکیبی از عبارت های جمع، تفریق و همچنین تقسیم در تصاویر ماهواره ای استفاده می شود. با استفاده از فرایند تفریق تصاویر می توان اختلاف بین دو تصویر به دست آمده از دو تاریخ و یا دو باند طیفی مختلف را آشکار سازی نمود. با این حال تقسیم یا نسبت گیری طیفی به شکل بسیار گسترده ای در ارتباط با تصاویر ماهواره ای در طیف وسیعی از کاربردها از جمله در حوضه های زمین شناسی، محیط زیست و کاربردهای کشاورزی سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین، با استفاده از آن می توان نسبت به شناسایی شدت اختلاف و تغییر نیز پی برد. به عنوان مثال زمانی که در ارتباط با پوشش گیاهی نسبت دو باند مادون قرمز نزدیک و قرمز گرفته می شود، به نوعی اختلاف بین این دو باند می تواند در شناسایی یک پدیده (پوشش گیاهی مؤثر واقع شده و مورد استفاده قرار بگیرد) (احرای و همکاران، ۱۳۹۵: ۶). برای فرمول نویسی بر روی تصاویر ماهواره ای و محاسبات بین باندی در نرم افزار ENVI براساس اصول و قواعد زبان برنامه نویسی IDL بدین صورت نوشته شد:

$$\text{float}(b1/10000.0) * (b1 \text{ gt } 0 \text{ and } b1 \text{ lt } 10000) + (b1 \text{ ge } 10000) * 1 + (b1 \text{ le } 0) * 0$$

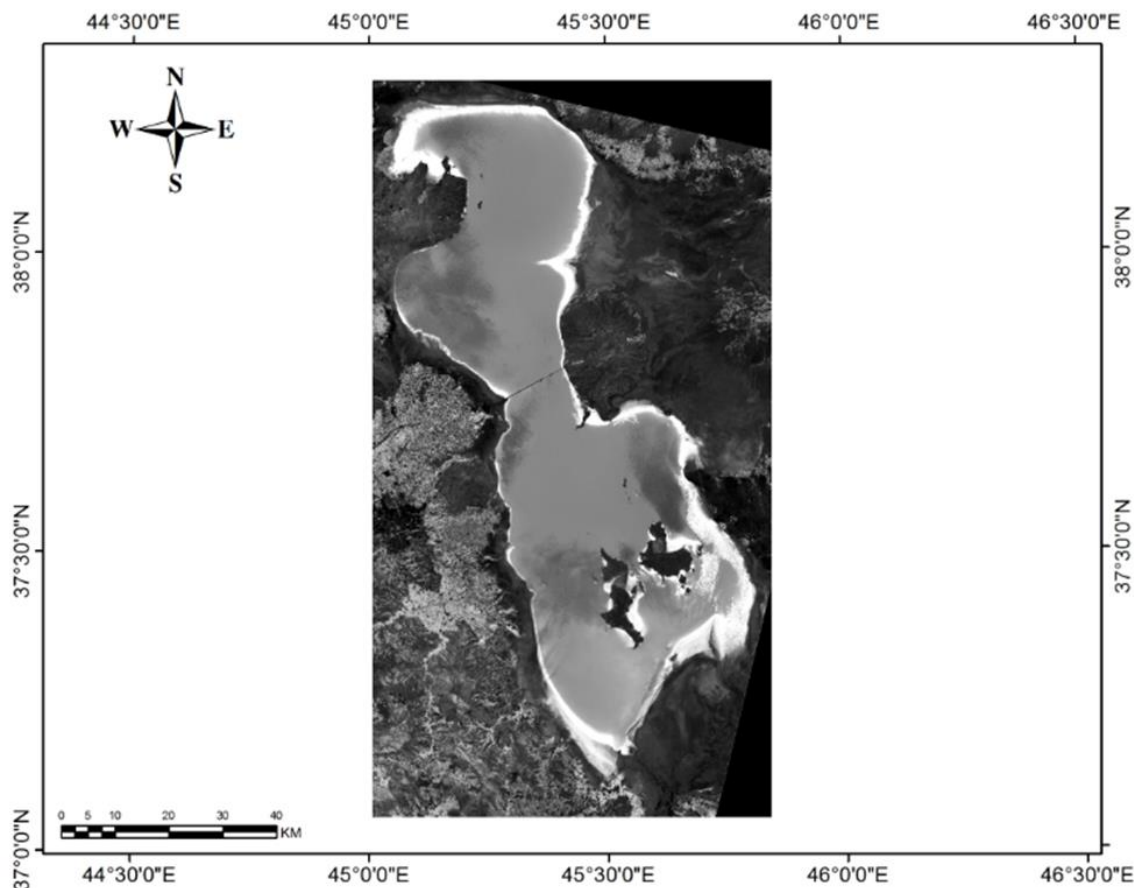


شکل ۵. مراحل فرمول نویسی در دستور Band Math و تصویر Rescale شده منطقه دریاچه ارومیه
منبع: (ترسیم نگارنده)

شاخص های طیفی مختلفی برای پهنه های آبی وجود دارد، یکی از این شاخص ها که به صورت دستی محاسبه صورت می گیرد، شاخص $NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR2}$ می باشد که باند مادون قرمز (باند ۵) - باند مادون قرمز نزدیک (باند ۷)، تقسیم بر مجموع باند مادون قرمز (باند ۵) و باند مادون قرمز نزدیک (باند ۷) می باشد، که در نرم افزار ENVI فرمول بدین صورت نوشته می شود:

$$Float = ((b5 - b7) / (b5 + b7))$$

این شاخص پهنه های آبی و پهنه هایی که دارای رطوبت هستند را نشان می دهند و بیشتر از این شاخص برای شناسایی رطوبت در سطح زمین استفاده می گردد، لذا این شاخص برای پهنه های آبی مناسب نیست (شکل ۶).

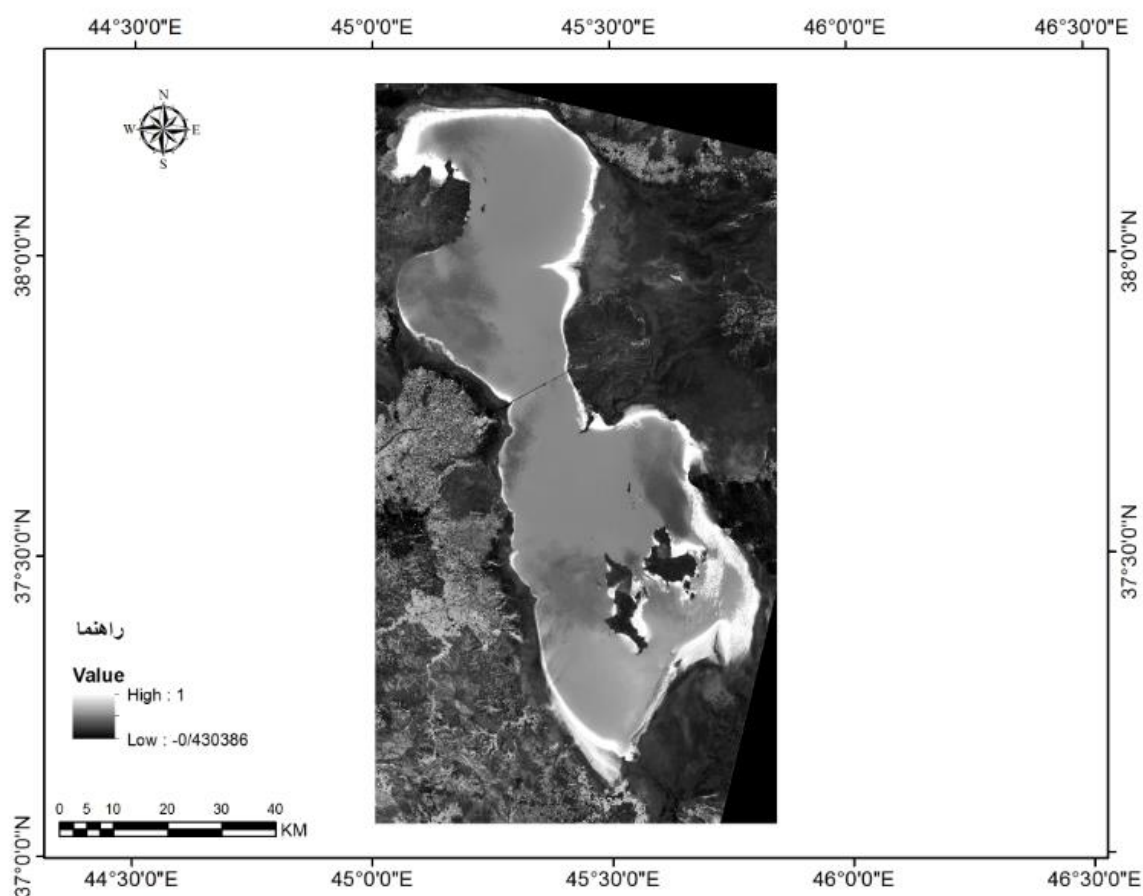


شکل ۶. شاخص NDMI دریاچه ارومیه
منبع: (ترسیم نگارنده)

شاخص دوم، شاخص $NDWI = \frac{Blue - NIR}{Blue + NIR}$ می باشد، آب در باند آبی بیشترین بازتاب را دارد، در این شاخص از باند آبی کمک می گیریم. که میزان بازتاب آب در باند آبی زیاد (باند ۲) و میزان جذب آب در باند مادون قرمز نزدیک زیاد (باند ۵) است و در این شاخص دو باند آبی و مادون قرمز نزدیک بیشترین اختلاف را در جذب و بازتاب آب دارند، که فرمول آن به صورت بدین صورت نوشته شد:

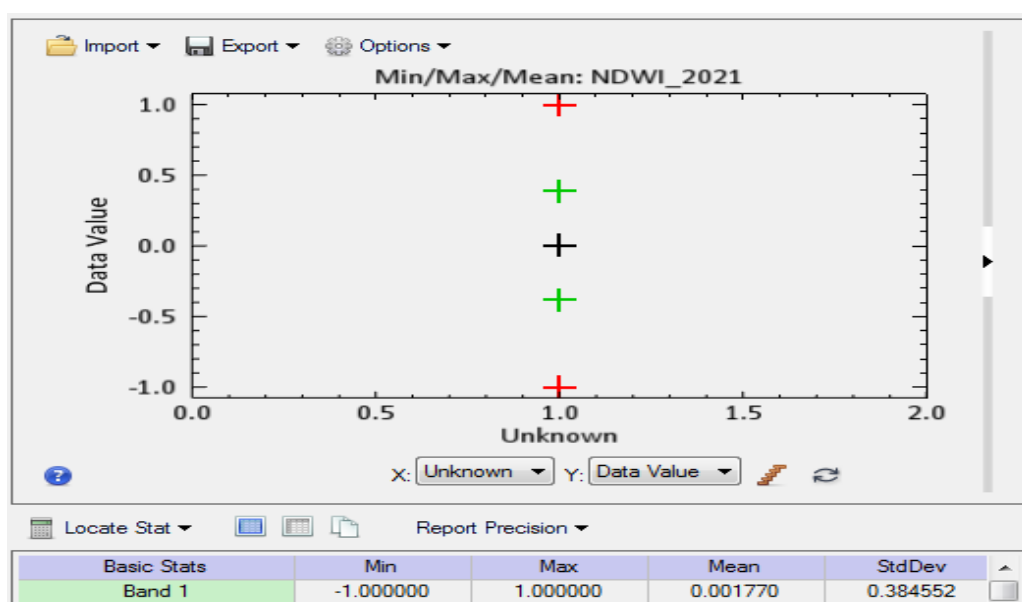
$$Float((b2-b5)/(b2+b5))$$

البته اگر از تصاویر لندست ۵ استفاده می شود، باند آبی، باند ۱ و باند مادون قرمز نزدیک باند ۴ می باشد که در فرمول شاخص طیفی باید اعمال گردد. در این شاخص رطوبت هایی که در زمین های منطقه وجود دارد را نشان نمی دهد و پهنه های آبی را با رنگ روشن بخوبی آشکار می کند. این دو شاخص به صورت دستی در نرم افزار ENVI انجام گرفت (شکل ۷).



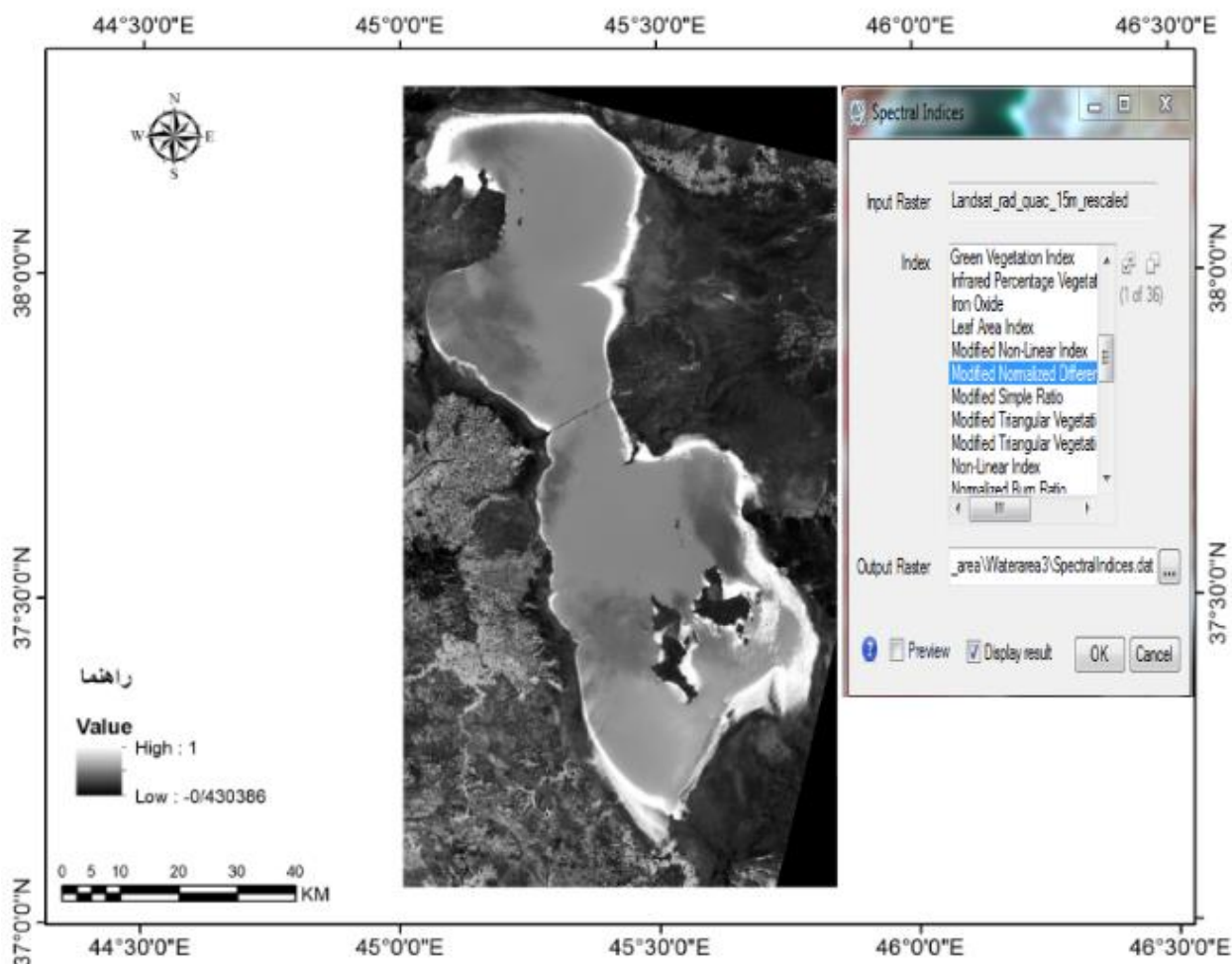
شکل ۷. شاخص NDWI دریاچه ارومیه
منبع: (ترسیم نگارنده)

بعد از اعمال شاخص طیفی مقادیری که در Quick Stats به دست آمد بین +۱ تا -۱ می باشد (شکل ۸).



شکل ۸. مقادیر Quick Stats بین +۱ تا -۱

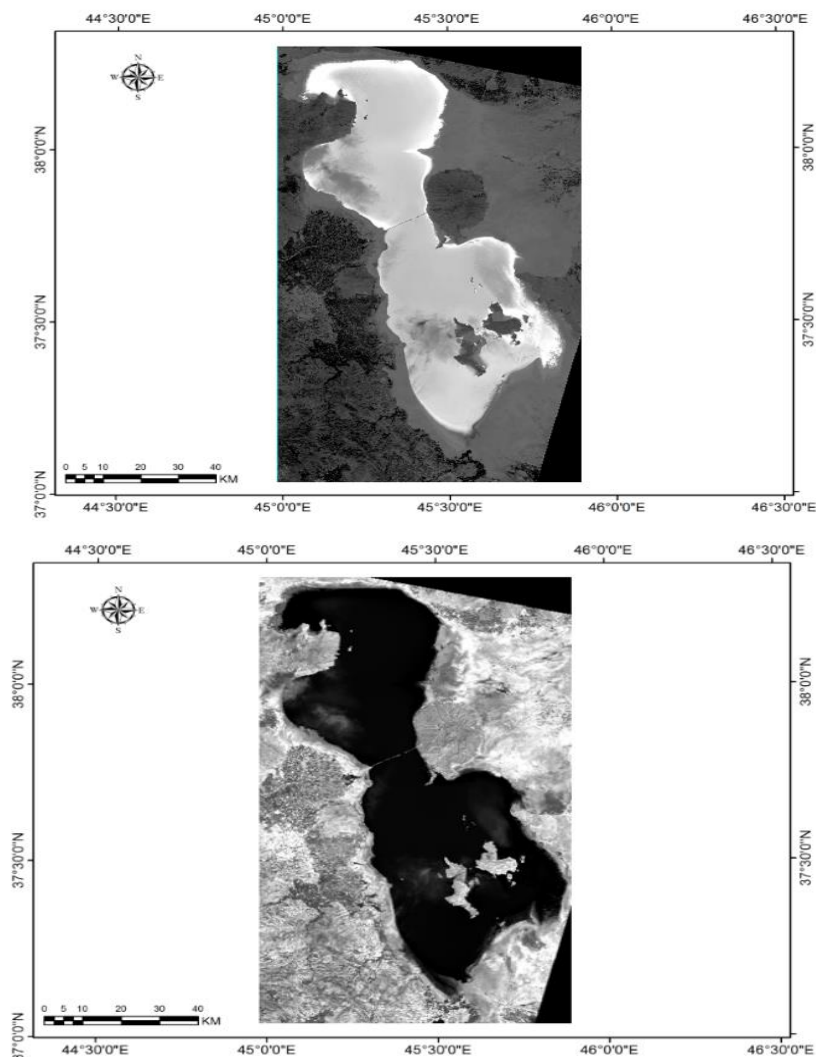
سومین شاخصی که برای پهنه های آبی مورد استفاده قرار می گیرد، شاخص (MNDWI) Modified Normalized Difference Water Index می باشد، که همان شاخص دوم هست که اصلاح شده هست. سپس در نرم افزار ENVI دستور Rescale Spectral Indices شده دریاچه ارومیه را انتخاب و شاخص (MNDWI) Modified Normalized Difference Water Index طیفی آب اصلاح شده به صورت خودکار را انتخاب نموده (شکل ۹).



شکل ۹. تصویر خروجی بر اساس شاخص (MNDWI) دریاچه ارومیه
منبع: (ترسیم نگارنده)

شاخص (MNDWI) پهنه دریاچه ارومیه را از سایر پوشش ها جدا کرده است. در این شاخص جاهایی آب وجود دارد مقدار NDWI آن با جاهایی که سفیدرنگ و شورزاره های مرطوب هست متفاوت است، در پهنه آبی شاخص به ۰/۹۹ ولی در شورزه ارهای مرطوب به ۰/۶ می رسد، جایی که آب دارد، مقدار Value آن بالاتر است. در این شاخص اعداد مثبت بین (۰/۱-۶) پهنه های آب می باشد، اعداد ۰ و منفی سایر پوشش گیاهی هستند. رفتار طیفی آب نسبت به شاخص های دیگر متفاوت است، بیشترین میزان بازتاب را در باند آبی دارد، از باند آبی به سمت طول موج های بلندتر یعنی مادون قرمز باعث می شود که میزان جذب افزایش پیدا کند، و به دنبال آن بازتاب کاهش می یابد. شاخص دستی دیگر که از طریق Band Math براساس فرمول $(b3-b4)/(b3+b4)$ در این شاخص، B3 را معادل باند Red و B4 را باند Near Infrared داده شد که نواحی مرطوب (شورزه زار) را با پهنه آبی جدا می کند. و کاملاً فقط پهنه آبی را نشان می

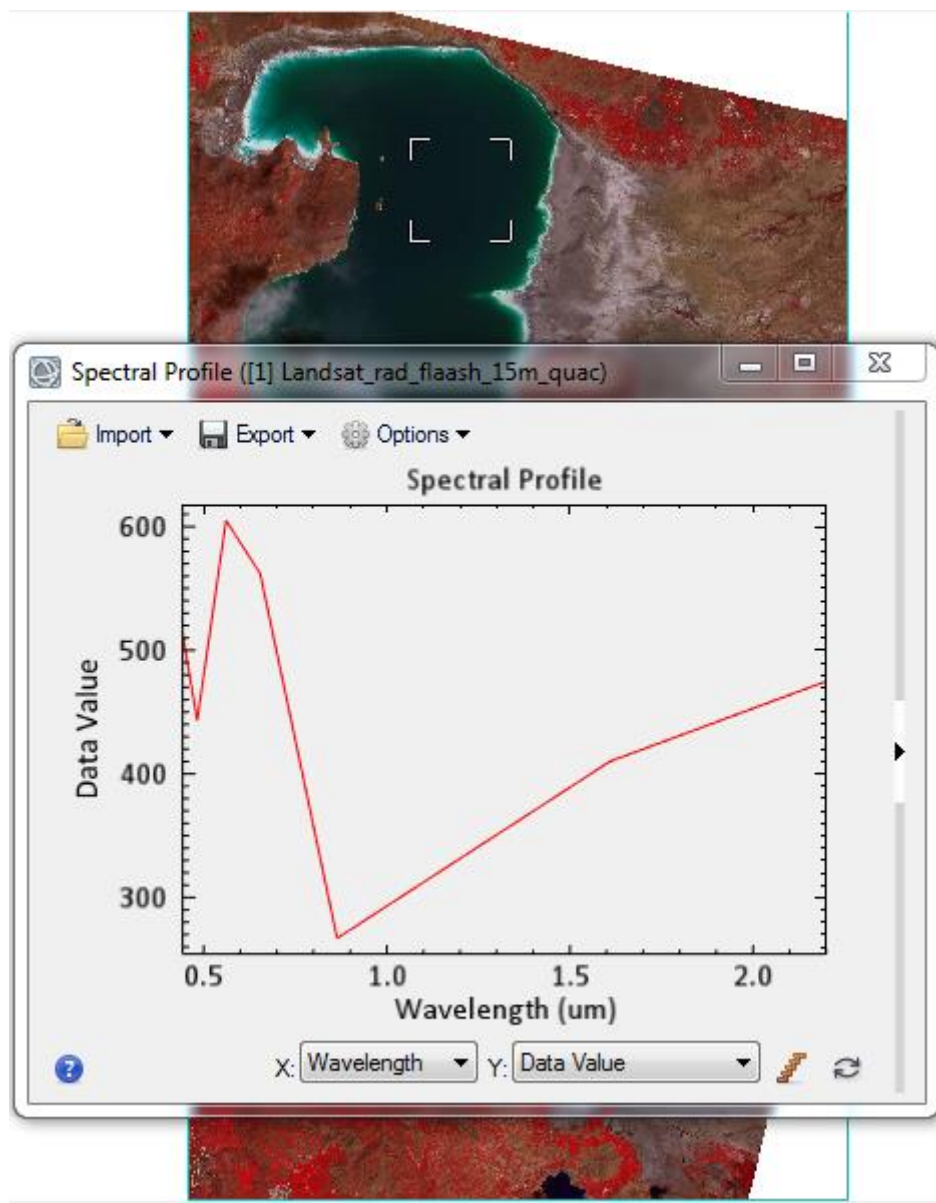
دهد. در تصویر شکل ۱۰ باند Near Infrdred و SWIR را با یکدیگر مقایسه شده که باند مادون قرمز نزدیک Near Infrdred کاملاً پهنه آبی را جدا کرده و به صورت ملموس منطقه ی دارای آب هست را نشان می دهد. اما در محدوده طول موج کوتاه SWIR تمام دریاچه ارومیه را سیاه نمایش می دهد، و پهنه آبی در نظر می گیرد. یعنی همه جا آب هست. لذا باند مادون قرمز نزدیک بهتر می تواند پهنه آبی را نسبت به پهنه های دیگر بهتر نشان می دهد. جایی که یک مقدار رطوبت دارد را نمایش نمی دهد. در این شاخص هر مقداری که بالاتر از عدد ۰ هست، پهنه آبی را نشان می دهد.



شکل ۱۰. تصویر مناطق پهنه آبی دریاچه ارومیه با باند Near Infrdred و SWIR
منبع: (ترسیم نگارنده)

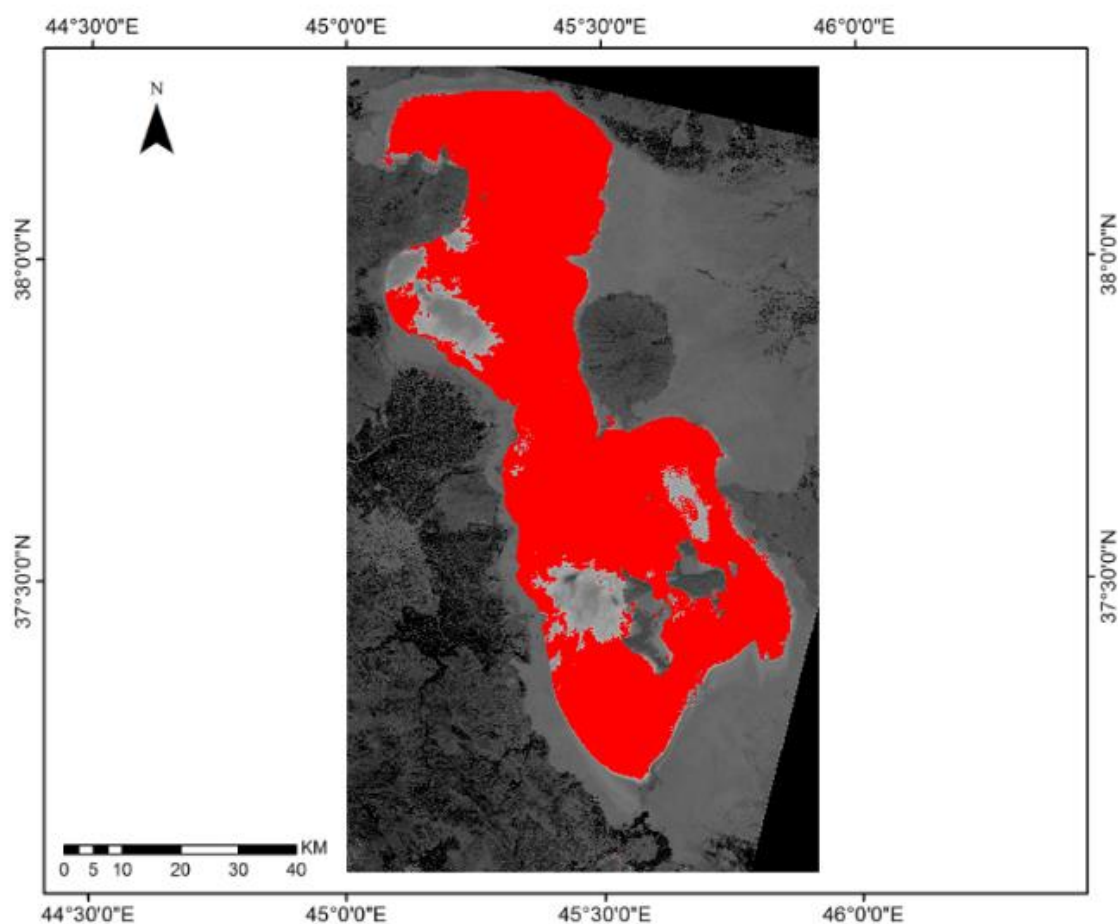
با توجه به رفتار طیفی آب در شکل نشان می دهد که باندهای وارد شاخص پهنه آبی می شوند که تفاوت اساسی نسبت به یکدیگر دارند، باند سبز، آبی و قرمز نسبت به باند مادون قرمز نزدیک تفاوت خیلی زیادی دارند. مادون قرمز نزدیک جذب خیلی زیادی دارد، اما محدوده باندهای سبز، آبی و قرمز بازتاب خیلی زیادی دارند. پس دو باند که در پهنه آبی تفاوت زیادی دارند، در یک باند بازتاب زیاد و در باند دیگر جذب خیلی زیادی دارد، از نظر نمایش متفاوت باشند وقتی وارد فرمول می شوند، از عمل گرایهای مثل تفریق و تقسیم استفاده شد، خود به خود آن پدیده متفاوت نشان داده می شود. علت آن به

واسطه استفاده از عمل گرای تقسیم و تفریق که می توانند تفاوت دو پدیده را بهتر نمایش دهند و آن پدیده در تصویر بارزتر نمایش داده می شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. شاخص طیفی آب
منبع: (ترسیم نگارنده)

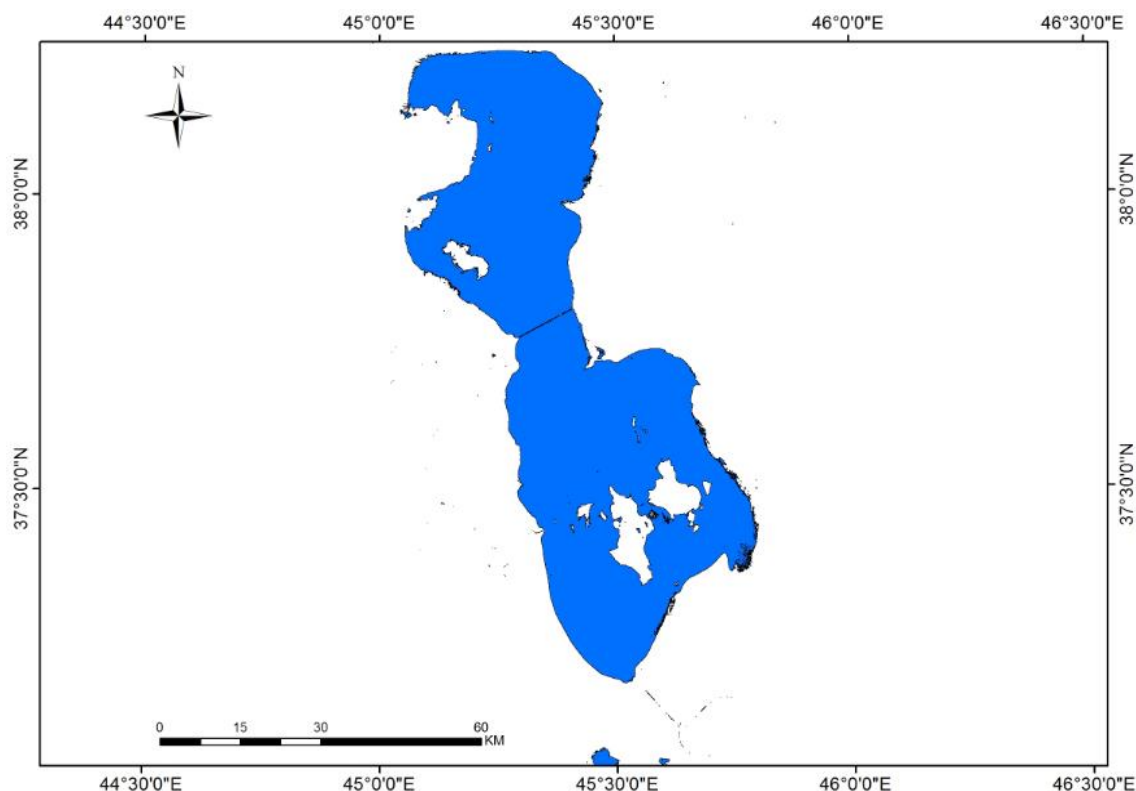
در نرم افزار ENVI از دستور Band Threshold ROI که یکی از کاربردی ترین دستورات تکنیکی می باشد ROI بدست آوردم، سپس در Data Manager روی ROI راست کلیک کردم، روی گزینه Load ROI زدم که موقعیت ۰/۲ تا ۱ را یا موقعیت پیکسل های را نشان می دهد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. مقادیر ROI بین ۱ تا ۲/۰

منبع: (ترسیم نگارنده)

جهت بررسی مساحت دریاچه ارومیه، خروجی Shipe File در ENVI انجام شد. فایل خروجی شیب فایل در Arc Map فراخوانی شد و مساحت دریاچه ارومیه برحسب کیلومترمربع محاسبه شد (شکل ۱۳). با توجه به تصاویر ماهواره ای لندست با مقادیر ROI بین ۱ تا ۲/۰ درصد، مساحت دریاچه ارومیه در تاریخ اخذ تصاویر که مربوط به ۲۰۲۱/۰۵/۲۰ دانلود گردید، ۳۱۰۷/۸۴۴ کیلومترمربع محاسبه شده است.



شکل ۱۳. دریاچه ارومیه با مقادیر ROI بین ۰/۲ تا ۱ درصد
منبع: (ترسیم نگارنده)

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش برآورد مساحت سطحی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ صورت گرفته و نتایج حاکی از آن است که استفاده از شاخص‌های مبتنی بر آب و رطوبت در تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت نسبتاً بالایی در ارتباط با جداسازی و استخراج پهنه آبی دریاچه برخوردار است. بر اساس فرضیاتی که در ارتباط با رفتارهای طیفی آب و شوره زار و همچنین کنش محدوده‌های امواج الکترومغناطیسی در نظر گرفته شد، استفاده از ترکیب باندی قرمز و مادون قرمز نزدیک به عنوان ترکیب باندی مناسب برای جداسازی پهنه آبی دریاچه و شوره زار تشخیص داده شده است. در سنجش از دور شناسایی اهداف از طریق انرژی‌های رسیده به سنجنده از طریق بازتاب و گسیل امواج الکترومغناطیسی ایجاد شده میسر می‌باشد. شاخص‌های طیفی فرمول‌های بین باندی هستند که یک یا چند هدف و پدیده را از سایر پدیده‌ها جدا می‌کند، یکی از این شاخص‌ها، شاخص MNDWI که براساس رابطه بین باندها، در برآورد پهنه آبی کاربرد دارد. شاخص تصحیح شده NDWI که توسط ژو ارائه شد در مطالعات گوناگون تنها در زمینه شناسایی و استخراج پهنه‌های آبی استفاده شده است. براساس شاخص فوق مکان‌هایی که آب وجود دارد مقدار NDWI آن با جاهایی که مرطوب هست متفاوت است. رفتار طیفی آب نسبت به شاخص‌های دیگر متفاوت است. در نرم افزار ENVI از دستور Band Threshold ROI که یکی از کاربردی‌ترین دستورات تکنیکی می‌باشد ROI محاسبه شد، در Data Manager روی ROI راست کلیک سپس روی گزینه Load ROI انتخاب و حداقل بین ۰/۲ تا حداکثر ۱ قرار گرفت که محدوده‌ای که دارای پوشش آب هست به رنگ قرمز مشخص گردید، جهت برآورد پهنه آبی، خروجی Shipe File در ENVI انجام شد. فایل خروجی شیب فایل در Arc Map فراخوانی شد. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای لندست با مقادیر ROI

بین ۱ تا ۰/۲ درصد، مساحت دریاچه ارومیه در تاریخ اخذ تصاویر که مربوط به ۲۰/۵/۲۰۲۱ داندود گردید، ۳۱۰۷/۸۴۴ کیلومترمربع محاسبه شده است. با توجه به مزایای روش سنجش از دور از نظر دقت مکانی، طیفی، رادیومتریک و توان تفکیک زمانی، دسترسی رایگان به تصاویر ماهواره ای و نرم افزارهای کاربردی که تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای را آسان و کاربردی نموده است، برآورد پهنه آبی دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص های مختلف و تهیه نقشه پهنه آبی و مساحت آن در هر بازه زمانی اطلاعات با ارزشی را در اختیار مدیران و برنامه ریزان کشور قرار خواهد داد، لذا با این شاخص علاوه بر مساحت دریاچه ها، پهنه های آبی سدها را می توان در فصول مختلف سال برآورد کرد، با توجه به اینکه بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه به صورت برف حادث می شود و سطح زمین را پوشش می دهد از طریق شاخص NDSI می توان مساحت پوشش برف، میزان ذوب و حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه را محاسبه کرد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- (۱) آقائباتی، سیدعلی (۱۳۸۹). زمین شناسی ایران، چاپ سوم، تهران: ناشر سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- (۲) آل شیخ، علی اصغر، علی محمدی، عباس، قربانعلی، علی (۱۳۸۴). پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه با استفاده از سنجش از دور، نشریه علوم جغرافیایی، شماره ۴، صص. ۲۴-۹.
- (۳) احراری، امیرحسین، مهدی پور، احسان و عمادزاده، مریم (۱۳۹۵). برآورد مساحت سطحی دریاچه ارومیه طی سال های ۱۳۹۲-۱۳۹۵ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، سند یادداشت فنی، دانشگاه صنعتی شریف، مرکز تحقیقات سنجش از دور.
- (۴) برنامه ی مدیریت جامع دریاچه ارومیه «حفظ تالاب ها، برای مردم، برای طبیعت (۱۳۸۹). تهیه شده با همکاری سازمان های دولتی، تشکل های زیست محیطی و جوامع محلی حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه، صص. ۷۵-۱.
- (۵) خدمت زاده، علی، نجف زاده، آیلار و عظیمی، فرناز (۱۳۹۹). پایش تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای، مجله نخبگان علوم و مهندسی، دوره ۵، شماره ۱، صص. ۵۰-۴۳.
- (۶) داندود تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و سنتینل ۲ از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov>
- (۷) رسولی، علی اکبر، عباسیان، شیرزاد، جهانبخش اصل، سعید (۱۳۸۶). نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش ماهواره ای چند سنجنده ای و چندزمانه ای، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص. ۶۷-۵۴.
- (۸) فیضی زاده، بختیار، حاجی میررحیمی، سید محمود (۱۳۸۷). آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه بندی شیء گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه) همایش ژئوماتیک، صص. ۱۰-۱.
- (۹) علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی ایران، چاپ اول، نشر: قومس.
- (۱۰) علوی پناه، کاظم (۱۳۸۹). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات: دانشگاه تهران، چاپ سوم.
- (۱۱) مرکز سنجش از دور کانادا (۱۳۹۸). مبانی سنجش از دور کاربردی، ترجمه ولیزاده کامران، خلیل و مهدوی فرد، مصطفی، تهران: انتشارات ماهواره.
- (۱۲) ناظری تهرودی، محمد، احمدی، فرشاد و خلیلی، کیوان (۱۳۹۶). بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه ارومیه، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) دوره ۳۱، شماره ۲، صص. ۶۵۹-۶۴۴.
- (۱۳) یوسفی روشن، محمدرضا و یوسفی روشن، علی (۱۴۰۰). برآورد پهنه آبی سد لار با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ با استفاده از شاخص MNDWI، دومین کنفرانس بین المللی علم اطلاعات جغرافیایی بنیادها و کاربردهای بین رشته ای، مشهد، صص. ۸۱۸-۸۰۹.

- 15) Alavipanah, K. (2009). Application of Remote Sensing in Earth Sciences, Publications: University of Tehran, 3rd edition. [Persian].
- 16) Aganbati, Seyyed, A. (2009). Geology of Iran, third edition, Tehran: Publisher of Geology and Mineral Exploration Organization of the country. [Persian].
- 17) Al-Shakh, A, & Ali Mohammadi, A. & Gurban Ali, A. (1995). Monitoring the shorelines of Lake Urmia using remote sensing, Journal of Geographical Sciences, No. 4, pp. 24-9. [Persian].
- 18) Ahrari, A. & Mehdipour, E. & Emadzadeh, M. (2016). Estimating the surface area of Lake Urmia during the years 2015-2016 using Landsat 8 satellite images, technical note document, Sharif University of Technology, Remote Sensing Research Center. [Persian].
- 19) Canadian Remote Sensing Center (2018). Fundamentals of Applied Remote Sensing, translated by Valizadeh Kamran, K, & Mahdavi Fard, Mostafa, Tehran: Satellite Publications. [Persian].
- 20) Chen, D., Jackson Li, F., Cosh, M., Walthall, C. & Anderson, M. (2003). Estimation of vegetation water content, T.t for corn and soybeans with a normalized difference water index (NDWI) using Landsat Thematic Mapper data. In, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, pp. 2853-2856: IEEE.
- 21) Delbart, N., Kergoat, L., Le Toan, T., Lhermitte, J. & Picard, G. (2005). Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index, Remote Sensing of Environment, Vol. 24, No.97, pp.26-38.
- 22) Dennison, P. E., Roberts, D., Peterson, S. & Rechel, J. (2005). Use of normalized difference water Index for monitoring live fuel moisture. International Journal of Remote Sensing. Vol.7, No.26, pp. 1035-1042.
- 23) Dasarathy V. Nearest neighbor classification techniques; IEEE Computer Society, 1991.
- 24) Download Landsat 8 and Sentinel 2 satellite images from <https://earthexplorer.usgs.gov>. [Persian].
- 25) Estallo, E.L., Ludueña-Almeida, F.F., Visintin, A.M., Scavuzzo, C.M., Lamfri, M.A., Introini, M.V., Zaidenberg, M. & Almirón, W.R. (2012). Effectiveness of normalized difference water index in modelling Aedes aegypti house index. International Journal of Remote Sensing, Vol.8, No.33, PP.4254-4265.
- 26) Faizizadeh, B. & Haji Mirrahimi, M. (2007). Revealing land use changes using the object-oriented classification method (case study: Andisheh settlement) Geomatic Conference, pp. 1-10. [Persian].
- 27) Hüttich, C., Herold, M., Schmullius, C., Egorov, V. & Bartalev, S. (2006). SPOT-VGT NDVI and NDWI trends 1998-2005 as indicators of recent land cover change processes in northern Eurasia. In, 2nd workshop of the EARSEL SIG on land use and land cover, Bonn (pp. 336-344).
- 28) Pengra, B. (2012). The Drying of Iran Lake Urmia and its Environmental Consequences. Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS), Environmental Development 2, 128-137.
- 29) Haibo, Y., Zongmin, W., Hongling, Z., & Yu, G. (2011). Water body extraction methods study based on RS and GIS. Procedia Environmental Sciences, 10, 2619-2624.
- 30) Li, M., Xu, L., & Tang, M. (2011). An extraction method for water body of remote sensing image based on oscillatory network. Journal of Multimedia, 6, 252-260.
- 31) Liu, Y. (2012). Why NDWI threshold varies in delineating water body from multitemporal images? In, 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 4375-4378): IEEE.
- 32) Lu, S., Wu, B., Yan, N., & Wang, H. (2011). Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13, 428-434.
- 33) McFeeters, S.K. (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.
- 34) Macleod, R. S & R. G. Congalton,; a quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. Photogrammetri and Remote Sensing of Environment, Vol. 8, 1998, 207-216.

- 35) 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. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3153-3181.
- 36) Singh, A., (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 999-1003.
- 37) Singh, K.V., Setia, R., Sahoo, S., Prasad, A., & Pateriya, B. (2015). Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. *Geocarto International*, 30, 650-661.
- 38) Subramaniam, S., Babu, A.S. & Roy, P.S. (2011). Automated water spread mapping using ResourceSat-1 AWiFS data for water bodies information system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4, 205-215.
- 39) Singh, A., (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data, *Int J. R. S.* Vol.10, No. 6.
- 40) 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, 3025-3033.
- 41) Zhao, L., Yu, H. & Zhang, L. (2009). Water body extraction in urban region from high resolution satellite imagery with Near-Infrared Spectral Analysis. In, *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009*, pp.738331-73836, International Society for Optics and Photonics.
- 42) Ucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, Vol.8, No.2, pp.150-127.
- 43) Urmia Lake Comprehensive Management Program "Protection of wetlands, for people, for nature" (2009). Prepared in collaboration with government organizations, environmental organizations and local communities of the Urmia Lake catchment, pp. 75-1. [Persian].
- 44) Khemtizadeh, A. & Najafzadeh, A. & Azimi, F. (2019). Monitoring the water level changes of Lake Urmia using satellite images, *Elite Journal of Science and Engineering*, Vol.5, No. 1, pp. 50-43. [Persian].
- 45) Nazeri Tehrodi, M., Ahmadi, F. & Khalili, K. (2016). Investigating the trend and time of change in the precipitation trend of Lake Urmia basin, *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, Vol.31, No. 2, Khordad-Tir 2016, pp. 659-644. [Persian].
- 46) R Soli, A. & Abbasian, S. , & Jahanbakhsh Assal, S. (2006). Fluctuations in the water level of Lake Urmia with multi-sensor and multi-temporal satellite processing, *Modares Humanities Quarterly*, Vol.12, No. 2, pp. 54-67. [Persian].
- 47) Yousefiroshan, M. & Yousefi Roshan, A. (2021). Estimation of water area of Lar Dam using Landsat8 satellite images using MNDWI index, *Second International Conference on Geographical Information Science Foundations and Interdisciplinary Applications*, Mashhad, pp. 818-809. [Persian].