

# Optimum Method for Water Body Extraction from Multispectral Satellite Images

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Ebadi L.\*<sup>1</sup> PhD

### How to cite this article

Ebadi L. Optimum Method for Water Body Extraction from Multispectral Satellite Images. Geographical Researches. 2022;37(3):351-360.

## ABSTRACT

**Aims** This research aimed to introduce an optimal method for water body extraction from multispectral satellite images.

**Methodology** The applied research method is practical and based on the case study. In order to the extraction of water from Landsat 8 satellite images, the modified normalized difference water index along with three thresholding methods including the average method, Otsu's algorithm, and zero-limit thresholding were applied. For evaluation of the results, the Sentinel 2 image was classified using the support vector machine method then the class of water was used as the reference to calculate the confusion matrix and correlation coefficients.

**Findings** The results showed that applying the zero-limit thresholding on modified normalized difference water index for water extraction from Landsat 8 satellite images is not suitable as it cannot identify shallow areas near the coastline. In contrast, Otsu's thresholding method was able to accurately identify water and had good spatial matching with the reference data.

**Conclusion** Modified normalized difference water index method can successfully identify water areas on multispectral images but choosing the right threshold to separate water from land has a great impact on output accuracy. Most of the past research, use zero-limit thresholding, while the low efficiency of this thresholding method was proven in the current research. Otsu's thresholding method, in addition to increasing the accuracy, does not require user intervention and uses image statistical information, so it is ideal for the automation of the process of water body extraction from satellite images.

**Keywords** Modified Normalized Difference Water Index; Water Extraction; Satellite Image

<sup>1</sup>"Environmental Hazard Institute" and "Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering", Golestan University, Aliabad Kattoul, Iran

### \*Correspondence

Address: Environmental Hazard Institute, Shahid Beheshti Street, Golestan University, Gorgan, Iran.  
Postal Code: 15759-49138  
Phone: +98 (17) 34266235  
Fax: -  
lebadl@gu.ac.ir

### Article History

Received: June 15, 2022  
Accepted: August 21, 2022  
ePublished: August 27, 2022

## CITATION LINKS

[Ahmadnejad M, et al; 2021] Coastlines detection with ...; [Asghari S, et al; 2020] Evaluation of water extraction ...; [Attarchi S, et al; 2020] Comparison of spectral indices ...; [Du Z, et al; 2014] Analysis of landsat-8 OLI ...; [Faramarzi M, Nouri H; 2015] Evaluation of vegetation and thermal ...; [Feyisa G, et al; 2014] Automated water extraction ...; [Kaplan G, Avdan U; 2017] Object-based water body ...; [Khoshnavar H; 2020] Spatial and temporal variations ...; [Kwang C, et al; 2018] Comparing of landsat 8 and sentinel 2a using ...; [Maleki A, et al; 2022] Evaluation of quantitative changes in ...; [McFeeters S K; 1996] The use of the normalized difference ...; [Otsu N; 1979] A threshold selection method from gray-level ...; [Saif A, Najmi N; 2013] Changes detection of the Karun's meanders ...; [Samiei M, et al; 2017] The effect of climate change on Maharlo ...; [Sarp G, Ozcelik M; 2017] Water body extraction and change ...; [Sekertekin A A; 2021] Survey on Global Thresholding methods ...; [Sharbaty S; 2019] Modeling the effects of water level ...; [Sharbaty S, Ghanghermeh A; 2016] Forecasting the effect of decreasing ...; [Shen L, Li C; 2010] Water body extraction from ...; [Solimani Sardo M, et al; 2021] Extraction of surface water zones ...; [Sotoudehpour A, et al; 2020] Geomorphological monitoring of ...; [Xie H, et al; 2016] Evaluation of landsat OLI 8 imagery ...; [Xu H; 2006] Modification of normalised difference ...

## روش بهینه برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی

لادن عبادی\* PhD

"پژوهشکده مخاطرات محیطی" و "گروه نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی"، دانشگاه گلستان، علی‌آباد کتول، ایران

### چکیده

**اهداف:** هدف از انجام این پژوهش معرفی روشی بهینه برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی بود.

**روش‌شناسی:** روش تحقیق به کار رفته از نوع کاربردی و بر پایه پژوهش موردی است. به منظور استخراج آبی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از شاخص اصلاح‌شده اختلاف آبی نرمال‌شده به همراه سه روش آستانه‌گذاری که عبارتند از روش میانگین، روش اتسو و حد آستانه صفر استفاده شد. به منظور ارزیابی دقت نتایج، از نقشه طبقه‌بندی تولیدشده از تصویر سنتینل ۲ به روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و سپس محاسبه ماتریس خطا و ضرایب همبستگی استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد اعمال حد آستانه صفر روی شاخص اصلاح‌شده اختلاف آبی نرمال‌شده برای جداسازی آبی در تصاویر ماهواره لندست ۸ مناسب نیست زیرا مناطق کم‌عمق نزدیک خط ساحلی را نمی‌تواند به خوبی شناسایی کند. در مقابل، روش آستانه‌گذاری اتسو با دقت بالا قادر به شناسایی آبی بود و تطابق مکانی خوبی با داده‌های مرجع داشت.

**نتیجه‌گیری:** روش شاخص اصلاح‌شده اختلاف آبی نرمال‌شده به خوبی می‌تواند مناطق آبی را روی تصاویر چندطیفی شناسایی کند ولی انتخاب حد آستانه مناسب برای جداسازی آبی از خشکی در دقت خروجی تأثیر بالایی دارد. اکثر تحقیقات گذشته به خصوص پژوهش‌های داخلی، حد آستانه صفر را به کار می‌گیرند در حالی که کارایی پایین این روش آستانه‌گذاری در پژوهش حاضر ثابت شد. روش آستانه‌گذاری اتسو، علاوه بر افزایش دقت، نیازی به دخالت کاربر نداشته و از اطلاعات آماری تصویر استفاده می‌کند؛ بنابراین گزینه مناسبی برای خودکارسازی فرآیند استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای است.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص اصلاح‌شده اختلاف آبی نرمال‌شده، استخراج آبی، لندست ۸، تصویر ماهواره‌ای

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰

\*نویسنده مسئول: L.ebadi@gu.ac.ir

### مقدمه

منابع آبی از حیاتی‌ترین مولفه‌های زیستی و توسعه پایدار هستند. پایش پهنه‌های آبی وسیع مانند اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها و خلیج‌ها برای مدیریت و بهره‌برداری اصولی از منابع آب اهمیت بالایی دارد. بسیاری از مطالعات و پروژه‌های مرتبط با منابع طبیعی، محیط زیست، کشاورزی، شیلات و گردشگری به اطلاعات مربوط به منابع آبی نیاز دارند. به دلیل مساحت بالا و دور از دسترس بودن این پهنه‌های آبی، روش‌های اندازه‌گیری زمینی بسیار زمان‌بر، پرهزینه و گاه غیرممکن هستند. تصاویر ماهواره‌ای با داشتن پوشش مکانی وسیع و تناوب زمانی بالا، گزینه مناسبی برای تهیه نقشه پهنه‌های آبی هستند. سری ماهواره‌های لندست جزو قدیمی‌ترین ماموریت‌های سنجش از دور بوده که از سال ۱۹۷۲ تاکنون به طور پیوسته از سطح زمین تصویربرداری کرده‌اند. علاوه بر رایگان بودن تصاویر، ویژگی‌هایی از قبیل قدرت تفکیک مکانی متوسط (۳۰ متر)،

باند‌های طیفی مناسب (محدوده‌های مرئی و مادون قرمز)، تناوب در تصویربرداری (هر ۱۶ روز) و قدمت بالا (از ۵۰ سال پیش تا کنون) تصاویر ماهواره‌های لندست را گزینه ایده‌آلی برای پایش بلندمدت پدیده‌های سطح زمین از جمله پهنه‌های آبی می‌سازند [Saif & Najmi, 2013].

سنجنده‌های نوری ماهواره‌ای، عوارض سطح زمین را در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس از جمله مرئی و مادون قرمز برداشت کرده و در باند‌های مختلف ذخیره می‌کنند. از آنجا که عوارض سطح زمین از قبیل آب، خاک و گیاه رفتار طیفی متفاوتی در باند‌های مختلف دارند می‌توان با استفاده از روش‌های طیفی، پوشش‌های مختلف سطح زمین را از یکدیگر مجزا کرد [Attarchi et al., 2020]. تا کنون روش‌های طیفی متعددی برای جداسازی آبی از خشکی در تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده‌اند که می‌توان آنها را به دو دسته بزرگ تقسیم بندی کرد: روش‌های طبقه‌بندی تصویر و استفاده از شاخص‌های طیفی. روش‌های طبقه‌بندی خود به دو دسته نظارت‌شده و نظارت‌نشده تقسیم می‌شوند. از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده به دلیل دقت و صحت پایین، بیشتر برای شناسایی اولیه و بررسی‌های کلی استفاده می‌شود. در روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به داده‌های آموزشی نیاز است که این امر خودکار بودن این روش را غیرممکن می‌سازد. علاوه بر آن، جمع‌آوری داده‌های آموزشی بسیار زمان‌بر بوده و با خطای انسانی همراه است. در تحقیقات گذشته، از روش‌های طبقه‌بندی برای تهیه نقشه محدوده‌های آبی به وفور استفاده شده است [Sotoudehpour et al., 2020].

شاخص‌های طیفی معادلات ریاضی هستند که روی باند‌های طیفی مختلف تصویر، پیکسل به پیکسل اعمال می‌شوند. هدف آنها بارسازی پدیده خاصی از سطح زمین مانند گیاه، آب، یا خاک بوده و در منابع گذشته فراوان به کار گرفته شده‌اند [Faramarzi & Nouri, 2015]. جدول ۱ پرکاربردترین شاخص‌های طیفی را که برای شناسایی آبی در تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند، نشان می‌دهد. در ادامه، به تعدادی از تحقیقات گذشته که از این شاخص‌ها استفاده کرده‌اند اشاره می‌شود.

دو و همکاران [Du et al., 2014]، NDWI را با سه ترکیب مختلف از باند‌های طیفی ماهواره لندست ۸ روی حوضه رودخانه یانگ تسه و هوها به کار گرفتند. آنها نتیجه گرفتند که استفاده از باند‌های سبز و مادون قرمز میانی در NDWI که در واقع همان شاخص MNDWI است بهترین نتیجه را می‌دهد. ژری و همکاران [Xie et al., 2016] برای تهیه نقشه چند پهنه آبی با ویژگی‌های آب زلال، گل‌آلود و آتروفیک از شاخص‌های طیفی NDWI (با ترکیب‌های مختلف باندی) و AWEI روی تصاویر لندست ۸ استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که آب زلال را ساده‌تر و دقیق‌تر از دیگر انواع آب می‌توان شناسایی کرد و شاخص‌های AWEI، NDWI<sub>47</sub> و NDWI<sub>37</sub> به ترتیب با صحت کلی ۹۸/۵۵٪، ۹۵/۵۰٪ و ۹۶/۶۱٪ بیشترین صحت را به ترتیب برای آب‌های زلال، گل‌آلود و آتروفیک

برای آشکارسازی خطوط ساحلی بخشی از خلیج مکزیک از تصاویر سنجنده Aster و ماهواره‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ و روش NDWI با آستانه‌گذاری صفر استفاده کردند. اصغری و همکاران [Asghari et al., 2020] برای شناسایی رودخانه گاماسیاب در استان کرمانشاه در تصاویر لندست، از چند شاخص طیفی استفاده کردند. استخراج آب از تصاویر سنجنش از دوری مربوط به رودخانه‌های کم‌عرض و کم‌عمق، پیچیدگی بیشتری دارد. آنها از شاخص‌های NDWI، MNDWI، AWEI و WRI استفاده کرده و آستانه‌های هر شاخص را از هیستوگرام آنها به روش آزمون و خطا و مقایسه با نقشه‌های مرجع و همچنین تفسیر بصری استخراج کردند. آنها AWEI را به عنوان بهترین شاخص شناسایی کردند. سلیمانی و همکاران [Solimani Sardo et al., 2021] برای بررسی تغییرات مساحت پهنه‌های آبی پلایای جازموریان، از سری زمانی تصاویر ماهواره لندست ۸ و روش‌های NDWI، MNDWI و AWEI استفاده کردند. آنها علاوه بر محاسبه مساحت، همبستگی بالایی میان بارندگی سالانه حوضه و افزایش وسعت پهنه‌های آبی حاصل از شاخص MNDWI مشاهده کردند. ملکی و همکاران [Maleki et al., 2022] برای ارزیابی میزان تغییرات کمی منابع آب سطحی متأثر از زلزله سرپل ذهاب از داده‌های اپتیکی لندست ۸ و اعمال شاخص‌های تشخیص تغییرات منابع آب از جمله MNDWI استفاده کردند.

مرور پیشینه تحقیق نشان داد که روش MNDWI توانایی بالایی برای شناسایی آب در تصاویر ماهواره‌ای دارد. علاوه بر آن، نسبت به دیگر شاخص‌ها ساده بوده و تنها از دو باند طیفی استفاده می‌کند. بزرگ‌ترین مزیت استفاده از شاخص‌های طیفی، عدم نیاز آنها به داده‌های آموزشی و در نتیجه عدم دخالت کاربر و جلوگیری از ورود خطای انسانی به نتایج است. تنها مساله‌ای که صحت و دقت خروجی‌های شاخص‌های طیفی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، انتخاب حد آستانه مناسب برای جداسازی آب از دیگر عوارض سطح زمین است. بسیاری از محققان، به سادگی حد آستانه صفر را در نظر گرفته، برخی حد آستانه را به روش آزمون و خطا و به صورت دستی تعیین کرده و فقط تعداد کمی از پژوهشگران از روش‌های فرموله آستانه‌گذاری استفاده کرده‌اند. هدف از انجام این پژوهش معرفی روشی بهینه برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی بود.

دارند. آنها برای تعیین حد آستانه جداسازی آب در باندهای تولیدشده از شاخص‌ها، از روش دستی و از روش آستانه‌گذاری اتسو استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که روش اتسو می‌تواند جایگزین روش آستانه‌گذاری دستی شده و بنابراین انتخاب حد آستانه به صورت خودکار انجام گیرد. کاپلان و اودان [Kaplan & Avdan, 2017] برای استخراج پهنه‌های آبی در مناطق شهری و کوهستانی از ترکیب روش NDWI با روش طبقه‌بندی شی‌گرا روی تصاویر سنتینل ۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده کردند. آنها ادعا داشتند از آنجا که NDWI برای ماهواره لندست طراحی شده، حد آستانه صفر برای تصاویر سنتینل ۲ مناسب نیست و از حد آستانه ۰/۸ برای جداسازی آب استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که روش تلفیقی طبقه‌بندی و شاخص‌های طیفی برای شناسایی آب در مناطق شهری و کوهستانی که ممکن است سایه‌ها با آب اشتباه گرفته شوند، بسیار مناسب است. سارپ و ازچلیک [Sarp & Ozcelik, 2017] از شاخص‌های NDWI، MNDWI و AWEI و روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine; SVM) برای استخراج آب روی تصاویر لندست (سنجنده‌های TM و ETM) استفاده کردند. آنها برای آستانه‌گذاری روی شاخص‌ها، از روش آزمون و خطا استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که روش‌های طبقه‌بندی SVM و MNDWI بالاترین دقت را در استخراج آب دارند. سمیعی و همکاران [Samiei et al., 2017] به منظور پایش تغییرات ۱۸ ساله دریاچه مهارلو، از تصاویر ماهواره لندست و دو روش NDWI و آستانه‌گذاری روی باند مادون قرمز طول موج کوتاه (به روش آزمون و خطا) استفاده کردند. آنها برای جداسازی آب در باند NDWI حد آستانه صفر را در نظر گرفتند. کوانگ و همکاران [Kwang et al., 2018] برای استخراج بخشی از رودخانه ولتا از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ و روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده و شاخص‌های طیفی AWEI، MNDWI و NDWI استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که روش MNDWI برای هر دو نوع تصویر ماهواره‌ای به خوبی عمل می‌کند. ستوده‌پور و همکاران [Sotoudehpour et al., 2019] برای تهیه نقشه سواحل بندر بوشهر، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ و روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده و چند شاخص طیفی استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که برای هر دو نوع تصویر، MNDWI دارای بهترین نتیجه بود. احمدنژاد و همکاران [Ahmadnejad et al., 2021]

جدول ۱) شاخص‌های طیفی پرکاربرد برای جداسازی آب

نام شاخص	معادل انگلیسی	مخفف	باند‌های مورد استفاده	منبع
اختلاف آب نرمال شده	Normalized Difference Water	NDWI	سبز و مادون قرمز نزدیک	[McFeeters, 1996]
اصلاح شده اختلاف آب نرمال شده	Modified Normalized Difference Water	MNDWI	سبز و مادون قرمز میانی	[Xu, 2006]
نسبت آب	Water Ratio	WRI	سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه	[Shen & Li, 2010]
استخراج اتوماتیک آب	Automated Water Extraction	AWEI	آبی، سبز، مادون قرمز نزدیک و دو باند مادون قرمز طول موج کوتاه	[Feyisa et al., 2014]

## روش‌شناسی

InfraRed Sensor; TIRS) را حمل می‌کند. جدول ۲ اطلاعات مربوط به باندهای این سنجنده‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۲) مشخصات باندهای سنجنده‌های لندست ۸

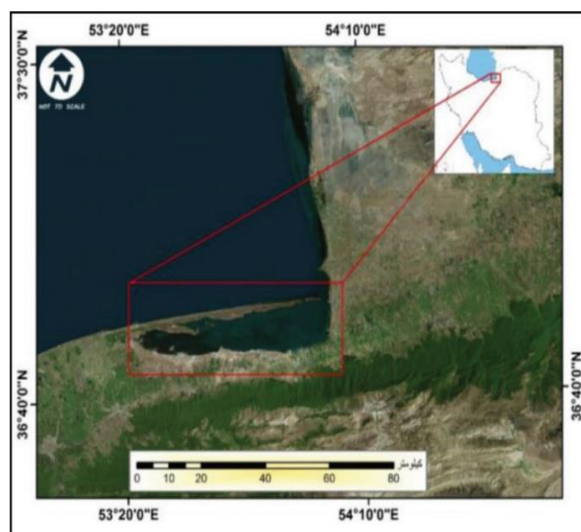
باند نام	محدوده طیفی (نانومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱ گرد و غبار ساحلی	۴۳۰-۴۵۰	۳۰
۲ آبی	۴۵۰-۵۱۰	۳۰
۳ سبز	۵۳۰-۵۹۰	۳۰
۴ قرمز	۶۴۰-۶۷۰	۳۰
۵ مادون قرمز نزدیک	۸۵۰-۸۸۰	۳۰
۶ مادون قرمز طول موج کوتاه ۱	۱۵۷۰-۱۶۵۰	۳۰
۷ مادون قرمز طول موج کوتاه ۲	۲۱۱۰-۲۲۹۰	۳۰
۸ پانکروماتیک	۵۰۰-۶۸۰	۱۵
۹ ابرهای سیروسی	۱۳۴۰-۱۳۸۰	۳۰
۱۰ مادون قرمز حرارتی	۱۰۶۰۰-۱۱۱۹۰	۱۰۰
۱۱ مادون قرمز حرارتی	۱۱۵۰۰-۱۲۵۱۰	۱۰۰

ماهواره‌های سنتینل ۲ که توسط سازمان فضایی اروپا به فضا ارسال شده‌اند، از جمله ماهواره‌هایی هستند که تصاویر خود را به رایگان در اختیار کاربران قرار می‌دهند. سری ماهواره‌های سنتینل ۲ شامل دو ماهواره دو قلو است (Sentinel-2A و Sentinel-2B) که در یک مدار و به فاصله زاویه‌ای ۱۸۰ درجه از هم قرار دارند. سنجنده هر دو ماهواره به نام MSI (Multispectral Instrument) دارای مشخصات فنی یکسان و ۱۳ باند طیفی با قدرت تفکیک‌های مکانی متفاوت شامل باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک (۱۰متر)، باندهای لبه قرمز و مادون قرمز طول موج کوتاه (۲۰متر) و باندهای اتمسفری (۶۰متر) هستند (جدول ۳). تصاویر ماهواره سنتینل ۲ از نظر قدرت تفکیک مکانی (۱۰متر) از تصاویر لندست ۸ (۳۰متر) بهتر بوده و تعداد باندهای طیفی بیشتری دارد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ برای صحت‌سنجی خروجی تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد.

برای تعیین مساحت خلیج گرگان از تصویر لندست ۸ و روش MNDWI با آستانه‌گذاری‌های مختلف استفاده شد. سپس منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصویر ماهواره سنتینل ۲ و روش SVM طبقه‌بندی شده و از نقشه طبقه‌بندی برای ارزیابی نتایج به دست آمده از تصویر لندست ۸ و تعیین حد آستانه بهینه استفاده شد. شکل ۲ رفتار طیفی آب، خاک و گیاه را نشان می‌دهد. آب، محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک را به شدت جذب کرده و در این باند تقریباً سیاه دیده می‌شود. در مقابل آن، خاک خشک و گیاه بازتاب بالایی در باند مادون قرمز نزدیک داشته و روشن ظاهر می‌شوند. همچنین آب در محدوده سبز بازتاب بالایی دارد.

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و بر پایه پژوهش موردی است. چهارچوب کلی این پژوهش استفاده از روش‌های کمی و تحلیل‌های مکانی و بصری بوده و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ را به کار گرفت.

خلیج گرگان حوزه آبخیز نیمه‌بسته واقع در جنوب شرقی دریای خزر است که از دریای آزاد توسط شبه جزیره میانکاله جدا می‌شود. خلیج گرگان و تالاب میانکاله از ذخایر زیست کره جهانی و مهم‌ترین مناطق حفاظت شده در امتداد سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شوند [Khoshrovan, 2020]. موقعیت جغرافیایی آن بین طول‌های جغرافیایی شرقی ۲۵' ۵۳° و ۰۶' ۵۴° و عرض‌های جغرافیایی شمالی ۴۶' ۳۶° و ۰۰' ۳۷° قرار گرفته است [Sharbaty, 2019] (شکل ۱). خلیج گرگان به دلیل شرایط زیستی مناسب برای جانوران دریایی، اهمیت اقتصادی و زیست‌محیطی بالایی از نظر ماهیگیری و تفریحی دارد و در سال ۱۳۵۴ به عنوان نخستین مجموعه تالاب بین‌المللی جهان در فهرست تالاب‌های کنوانسیون رامسر به ثبت رسید. مساحت خلیج گرگان به دلیل نواسانات تراز آب دریای خزر و رسوب‌گذاری، در سال‌های متمادی دستخوش تغییرات فراوانی بوده [Sharbaty & Ghanghermeh, 2016] و پایش تغییرات آن برای مدیریت و تصمیم‌گیری‌های کلان اهمیت بالایی دارد.



شکل ۱) منطقه مورد مطالعه [Khoshrovan, 2020]

به منظور عدم مواجهه با مشکل پوشش ابر، از تصاویر ماهواره‌ای در فصل تابستان و در تاریخ‌های ۶ و ۷ تیر سال ۱۴۰۰ معادل 2021/6/27 استفاده شد. از تصاویر ماهواره لندست ۸ نیز برای تشخیص محدوده‌های آبی استفاده شد. لندست ۸ دو سنجنده به نام‌های تصویربردار عملیاتی زمین (Operational Land Imager; OLI) و سنجنده فروسرخ حرارتی (Thermal

نشان‌دهنده آب و مقادیر منفی نشان‌دهنده پدیده‌های غیرآبی مانند خاک و پوشش گیاهی است.

در سال ۲۰۰۶ فرمولی بهبودیافته برای NDWI توسط ژو ارایه شد [Xu, 2006]. ژو عنوان داشت که NDWI شامل نویزهای ایجادشده توسط عوارض زمینی غیر از آب است و در نتیجه مساحت بدنه‌های آبی را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند. وی با جایگذاری باند مادون قرمز طول موج کوتاه با باند مادون قرمز نزدیک، نویز را کاهش داده و فرمول بهبود یافته شاخص اختلاف نرمال شده آب یا MNDWI را به صورت زیر معرفی کرد. این شاخص در ابتدا برای باندهای ۲ و ۵ سنجنده TM در ماهواره‌های لندست معرفی شد ولی برای هر سنجنده‌ای که باند سبز (۵۰۰/۵۰۰/۶ میکرومتر) و باند مادون قرمز طول موج کوتاه (۷۵۰-۱/۷۵ میکرومتر) داشته باشد نیز کار می‌کند.

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

SWIR= Shortwave Infrared

ژو در تحقیق خود مقادیر مثبت این شاخص را آب در نظر گرفت. وی با تنظیم دستی حد آستانه به مقدار ۰/۲۴۳ دقت بالاتری به دست آورد ولی معیاری برای تعیین مقدار بهینه حد آستانه معرفی نکرد [Xu, 2006].

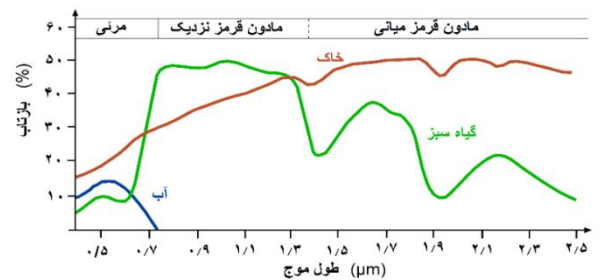
شاخص‌های طیفی باید روی تصاویری اعمال شوند که تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری روی آنها انجام شده و به فرمت بازتاب سطح درآمده باشند. مجموعه ۲ سطح ۲ تصاویر ماهواره لندست ۸ (Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 Level-2) در فرمت بازتاب سطح است. تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ به گونه‌ای انتخاب شدند که کمترین فاصله زمانی را با یکدیگر داشته باشند. تصویر لندست ۸ در تاریخ 2021/6/27 و ردیف ۳۴ و عبور ۱۶۳ تصویبررداری

LC08\_L2SP\_163034\_20210627\_20210707\_02\_T1) و تصویر سنتینل ۲ در تاریخ 2021/6/28 و شماره مدار نسبی ۱۰۶ و شماره T39SYA تاییل و شماره (S2A\_MSIL1C\_20210628T070621\_N0300\_R106\_T3 9SYA\_20210628T082426) اخذ شده است.

برای پردازش تصاویر ماهواره لندست از نرم‌افزار ENVI 5.3 و به منظور پردازش تصویر ماهواره سنتینل ۲ از نرم‌افزار SNAP 9 استفاده شد. برای اینکه مقادیر بازتاب سطح در تصویر لندست بین ۰ و ۱ قرار داشته باشند، تصویر ابتدا نرمال‌سازی شده و سپس منطقه مورد مطالعه برش داده شد (شکل ۳-الف). در ادامه، با استفاده از باندهای ۳ و ۶ تصویر لندست ۸ و فرمول MNDWI، باند جدیدی ایجاد شد (شکل ۳-ب). طبق نظر ژو [Xu, 2006]، مقادیر مثبت MNDWI نشان‌دهنده پوشش آبی هستند؛ بنابراین با در نظر گرفتن حد آستانه صفر، مناطق آبی جداسازی شدند (شکل ۳-ج). برای ارزیابی نتایج، از تصویر سنتینل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر و انجام طبقه‌بندی روی آن استفاده شد. به دلیل قدرت بالا و نتایج خوبی

جدول ۳) باندهای سنجنده MSI ماهواره سنتینل 2A

باند نام	محدوده طیفی (نانومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱ گرد و غبار ساحلی	۴۴۲/۷	۶۰
۲ آبی	۴۹۲/۷	۱۰
۳ سبز	۵۵۹/۸	۱۰
۴ قرمز	۶۶۴/۶	۱۰
۵ لبه قرمز گیاه	۷۰۴/۱	۲۰
۶ لبه قرمز گیاه	۷۴۰/۵	۲۰
۷ لبه قرمز گیاه	۷۸۲/۸	۲۰
۸ مادون قرمز نزدیک	۸۳۲/۸	۱۰
a8 مادون قرمز نزدیک (باریک)	۸۶۴/۷	۲۰
۹ بخار آب	۹۴۵/۱	۶۰
۱۰ مادون قرمز طول موج کوتاه ابرهای سیروسی	۱۳۷۳/۵	۶۰
۱۱ مادون قرمز طول موج کوتاه	۱۶۱۳/۷	۲۰
۱۲ مادون قرمز طول موج کوتاه	۲۲۰۲/۴	۲۰



شکل ۲) رفتار بازتاب طیفی آب، خاک و گیاه

معمول‌ترین فرمول مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های طیفی، شاخص اختلاف نرمال شده است که عبارت است از تفاضل بین دو باند تقسیم بر مجموع آن دو باند و خروجی آن یک باند جدید است که پدیده مورد نظر را (گیاه، آب و غیره) به صورت آشکارتری نمایش می‌دهد. با توجه به رفتار متفاوت آب در محدوده‌های طیفی سبز و مادون قرمز نزدیک، مک فیترز در سال ۱۹۹۶ شاخص اختلاف نرمال شده آب را با استفاده از این باندها معرفی کرد [McFeeters, 1996].

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

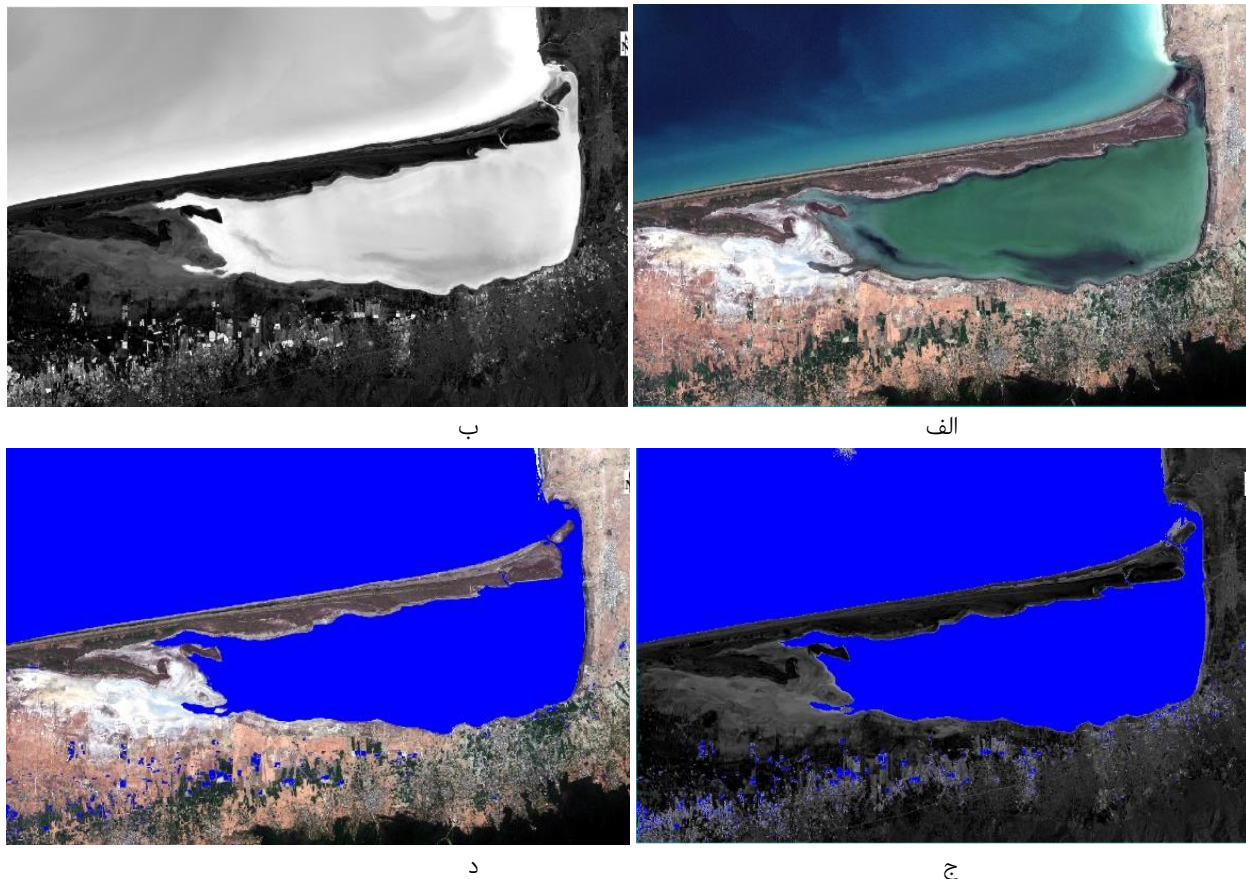
NIR= Near Infrared

مقادیر NDWI بین ۱ و -۱ قرار دارند. مک فیترز برای جداسازی آب حد آستانه صفر را پیشنهاد کرد؛ بدین صورت که مقادیر مثبت

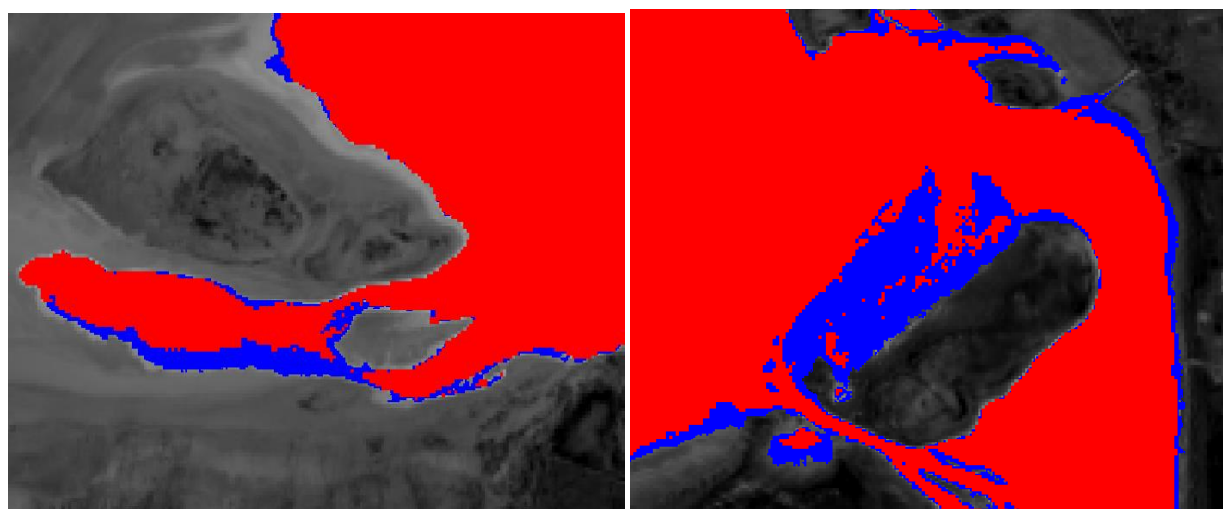


نگرفته است. در شکل ۴ بخشی از خط ساحلی بزرگ‌نمایی شده است. در این شکل نواحی آبی رنگ خروجی روش طبقه‌بندی و نواحی قرمز رنگ خروجی آستانه‌گذاری روی باند MNDWI با حد آستانه صفر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حد آستانه صفر نتوانسته مناطق کم‌عمق را به خوبی شناسایی کند.

که روش طبقه‌بندی SVM در تحقیقات گذشته داشته است [Sarp & Ozcelik, 2017]. از این روش برای طبقه‌بندی تصویر سنتینل ۲ و جداسازی کلاس آب استفاده شد (شکل ۳-د). با بررسی دقیق‌تر خط ساحلی به خصوص در نواحی کم‌عمق و گل‌آلود، مشخص شد که حد آستانه صفر، این نواحی را آب در نظر



شکل ۳) تصویر لندست از خلیج گرگان (الف)، MNDWI (ب)، جداسازی آب روی باند MNDWI با آستانه‌گذاری صفر (ج)، کلاس آب حاصل از طبقه‌بندی تصویر سنتینل ۲ (د)



شکل ۴) بزرگ‌نمایی بخش‌هایی از خط ساحلی، تصویر طبقه‌بندی‌شده به رنگ آبی و آستانه‌گذاری با حد آستانه صفر روی MNDWI به رنگ قرمز

دارد. این روش، متوسط درجات خاکستری تصویر را محاسبه کرده و این مقدار را به عنوان حد آستانه بهینه اختصاص می‌دهد. برای این منظور، مقدار میانگین درجات خاکستری پیکسل‌های تصویر MNDWI (شکل ۵-الف) با استفاده از گزارشات آماری تصویر به دست آمد. سپس با اعمال این مقدار میانگین به عنوان حد آستانه، محدوده آب استخراج شد (شکل ۵-ج).

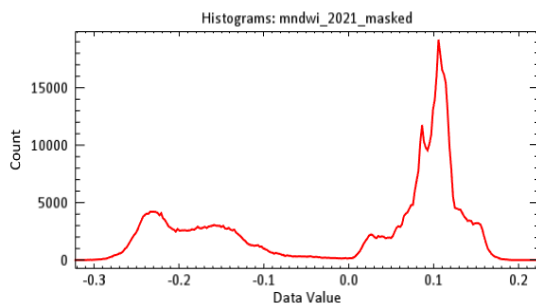
یکی از معروف‌ترین روش‌های آستانه‌گذاری سراسری روش اتسو است که با استفاده از اطلاعات آماری هیستوگرام تصویر حد آستانه‌ای انتخاب می‌کند که بتواند دو قله هیستوگرام را به طور کامل از هم تفکیک کند. در این روش، حد آستانه‌ای بهینه است که واریانس بین کلاسی را حداکثر یا واریانس درون کلاسی را حداقل کند. در روش اتسو به ازای هر گزینه از حد آستانه، هیستوگرام تصویر به دو گروه تقسیم شده سپس طبق رابطه زیر واریانس بین کلاسی بین دو گروه محاسبه می‌شود [Otsu, 1979].

$$\sigma_{\omega}^2 = \omega_0(t)\sigma_0^2(t) + \omega_1(t)\sigma_1^2(t)$$

وزن‌های  $\omega_0$  و  $\omega_1$  احتمالات دو کلاس هستند که با یک آستانه  $t$  از هم جدا شده‌اند و  $\sigma_0$  و  $\sigma_1$  واریانس‌های این دو کلاس هستند. شکل ۵-ج محدوده آب استخراج‌شده از تصویر MNDWI به روش آستانه‌گذاری اتسو را نمایش می‌دهد.

هدف در آستانه‌گذاری تصویر، تقسیم پیکسل‌های تصویر از نظر شدت روشنایی به دو گروه و به دست آوردن تصویر باینری با مقادیر ۰ و ۱ است. هیستوگرام یک تصویر، توزیع سطوح شدت روشنایی در بین پیکسل‌های تصویر را نمایش می‌دهد و می‌توان از روی آن حد آستانه بهینه برای جداسازی عوارض انتخاب کرد. شکل ۵ خلیج گرگان روی باند MNDWI (الف) و هیستوگرام آن (ب) را نمایش می‌دهد. روش‌های مختلفی برای آستانه‌گذاری وجود دارند. برخی از محققین از روش آستانه‌گذاری دستی استفاده کرده‌اند [Xie et al., 2016] که روشی زمان‌بر و حامل خطای انسانی بوده و خودکارسازی مراحل را غیرممکن می‌سازد در حالی که روش‌های فرموله و شناخته‌شده آستانه‌گذاری این معایب را ندارند. از آنجا که پیکسل‌های تصویر مورد مطالعه به طور کلی از دو گروه شدت روشنایی تشکیل شده‌اند، به عبارتی هیستوگرام تصویر شامل دو قله است (شکل ۵-ب)، استفاده از روش‌های آستانه‌گذاری سراسری مناسب است. در این پژوهش از دو روش آستانه‌گذاری سراسری استفاده شد: روش آستانه‌گذاری میانگین و روش آستانه‌گذاری اتسو.

روش آستانه‌گذاری میانگین یکی از ساده‌ترین روش‌های آستانه‌گذاری سراسری است که در مقایسه با دیگر روش‌ها، پیچیدگی محاسباتی کمتر و زمان اجرای برنامه بسیار کوتاه‌تری



ب



الف



د



ج

شکل ۵) تصویر MNDWI خلیج گرگان (الف) و هیستوگرام آن (ب)، محدوده آب استخراج‌شده از تصویر MNDWI به روش آستانه‌گذاری میانگین (ج) و روش اتسو (د)

## یافته‌ها

است ولی روش آستانه‌گذاری حد صفر، مساحت خلیج را بسیار کمتر از میزان واقعی تخمین زده است.

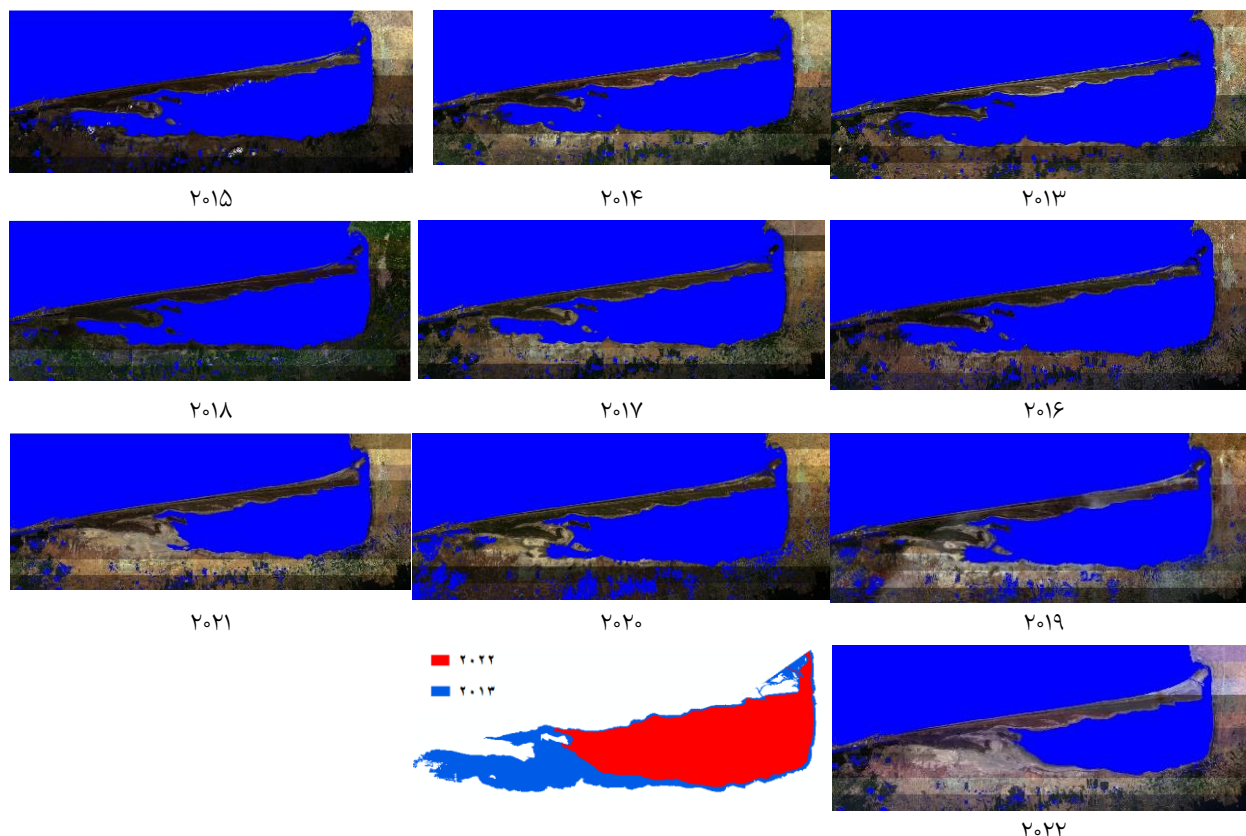
در ادامه، از سه روش آستانه‌گذاری برای استخراج مساحت خلیج گرگان از تصاویر لندست ۸ برای سال ۱۰ سال (۲۰۱۳-۲۰۲۲) استفاده شد (شکل ۶). ارقام مساحت استخراج‌شده از روش‌های آستانه‌گذاری میانگین و اتسو با یکدیگر همبستگی بالایی داشتند ولی هر دو روش آستانه‌گذاری میانگین و اتسو، همبستگی پایین‌تری با روش آستانه‌گذاری حد صفر داشتند.

جدول ۴) مساحت خلیج گرگان و دقت به دست آمده از روش‌های آستانه‌گذاری

روش جداسازی آب	مساحت (کیلومتر مربع)	دقت (%)
طبقه‌بندی SVM	۳۶۰/۷۱۹	۹۹/۵
MNDWI با حد آستانه صفر	۳۴۷/۰۲۰	۹۶/۲
MNDWI با حد آستانه میانگین	۳۵۹/۶۳۴	۹۷/۰
MNDWI با حد آستانه اتسو	۳۶۰/۷۵۵	۹۹/۲

به منظور محاسبه مساحت خلیج گرگان، نقشه‌های تولیدشده توسط طبقه‌بندی SVM و روش‌های آستانه‌گذاری روی MNDWI وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS شده و پس از تولید پلیگون‌های محدوده خلیج گرگان، مساحت‌ها به دست آمدند (جدول ۴). برای تعیین دقت طبقه‌بندی SVM داده‌های مرجع از تصویر جمع‌آوری شد و با استفاده از ماتریس خطا دقت کلاس آب معادل با ۹۹/۵٪ شد. برای برآورد دقت سه روش آستانه‌گذاری، خروجی روش SVM به عنوان مرجع در نظر گرفته شده و با استفاده از ماتریس خطا دقت‌ها محاسبه شدند.

نتایج نشان داد که روش آستانه‌گذاری اتسو روی MNDWI بالاترین دقت (۹۹/۲٪) را در جداسازی آب تولید می‌کند. همچنین بررسی دیداری نشان داد که از نظر مکانی خروجی روش اتسو با خروجی روش طبقه‌بندی SVM تقریباً تطابق دارد. خروجی روش آستانه‌گذاری میانگین نیز از نظر دقت و تطابق مکانی قابل قبول



شکل ۶) تغییرات ۱۰ ساله مساحت خلیج گرگان با استفاده از تصاویر لندست ۸، روش MNDWI و آستانه‌گذاری اتسو

داده‌های آموزشی، وقتگیر بودن، نیاز به دخالت کاربر و در نتیجه عدم امکان خودکارسازی مراحل، کارایی لازم ندارند. در مقابل، شاخص‌های طیفی به دلیل عدم نیاز به جمع‌آوری داده‌های آموزشی توسط کاربر، خطای انسانی در آنها دخیل نبوده و قابلیت خودکارسازی فرآیند را دارند. منابع فراوانی گزارش کرده‌اند که MNDWI به خوبی می‌تواند آب را در تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای

## بحث

هدف این پژوهش معرفی روشی بهینه برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای بود. آب به دلیل بازتاب طیفی منحصر به فردی که دارد روی تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی با استفاده از روش‌های تفکیک طیفی از جمله طبقه‌بندی و شاخص‌های طیفی قابل شناسایی است. روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، به دلیل نیاز به



## منابع

- Ahmadnejad M, Akbarzade Shirsavar M, Farhadipoor S, Mohammadi H (2021). Coastlines detection with satellite images processing technique in part of the gulf of Mexico. *Hydrophysics*. 6(2):113-126.
- Asghari S, Jalilyan R, Pirozineghad N, Madadi A, Yadeghari M (2020). Evaluation of water extraction indices using landsat satellite images (Case study: Gamasiab river of Kermanshah). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 20(58):53-70. [Persian]
- Attarchi S, Poorrahimi M, Isazade V (2020). Comparison of spectral indices and object-based classification for built-up area extraction in different urban areas. *Geographical Urban Planning Research*. 8(1):23-43. [Persian]
- Du Z, Li W, Zhou D, Tian L, Ling F, Wang H, et al (2014). Analysis of landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sensing Letters*. 5(7):672-681.
- Faramarzi M, Nouri H (2015). Evaluation of vegetation and thermal indices efficiency and feasibility of Landsat images to agricultural drought analysis (Case study: Malayer). *Geographical Researches*. 30(3):139-152. [Persian]
- 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.
- Kaplan G, Avdan U (2017). Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*. 50(1):137-143.
- Khoshrahan H (2020). Spatial and temporal variations of coastal habitats in Gorgan bay resulting from fluctuations in the Caspian sea. *Geographical Data*. 29(115):127-138. [Persian]
- Kwang C, Osei Jnr E M, Amoah A S (2018). Comparing of landsat 8 and sentinel 2a using water extraction indexes over Volta river. *Journal of Geography and Geology*. 10(1):1-7.
- Maleki A, Khazai A, Abdolmaleki A (2022). Evaluation of quantitative changes in surface water resources affected by the earthquake of Sarpol-e-Zahab using satellite data. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 13(1):39-61. [Persian]
- 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(7):1425-1432.
- Otsu N (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*. 9(1):62-66.
- Saif A, Najmi N (2013). Changes detection of the Karun's meanders by IRS and landsat images satellite. *Geographical Researches*. 28(3):213-228. [Persian]
- Samiei M, Ghazavi R, Pakparvar M, Vali A A (2017). The effect of climate change on Maharlo lake level change using satellite image processing. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 8(1):1-18.
- Sarp G, Ozcelik M (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*. 11(3):381-391.
- Sekertekin A A (2021). Survey on Global Thresholding methods for mapping openwater body using sentinel-2

شناسایی کند [Du et al., 2014; Sarp & Ozcelik, 2017; Kwang et al., 2018; Asghari et al., 2020; Solimani Sardo et al., 2021; Maleki et al., 2022;] تنها چالش پیش رو هنگام استفاده از MNDWI، تشخیص حد آستانه صحیح برای جداسازی آب از خشکی است. بسیاری از محققان، به سادگی از حد آستانه صفر برای جداسازی آب استفاده کرده و در باند MNDWI مقادیر مثبت را محدوده‌های آبی در نظر گرفته‌اند در حالی که برخی از محققین مبدع شاخص MNDWI با تغییر دستی حد آستانه نتایج بهتری به دست آوردند [Xu, 2006; Sarp & Ozcelik, 2017; Asghari et al., 2020] روشی زمان‌بر بوده و به مهارت و تشخیص کاربر بستگی دارد. چنانچه نیاز به پایش بلندمدت پهنه آبی باشد، تصاویر فراوانی باید پردازش شوند و شناسایی دستی حد آستانه، زمان‌بر و ناکارآمد بوده و امکان خودکارسازی فرآیند ممکن نیست. در مقابل، روش‌های آستانه‌گذاری سراسری تصویر، با استفاده از مشخصات آماری تصویر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در پژوهشی ۱۵ روش آستانه‌گذاری سراسری برای جداسازی آب روی شاخص طیفی توسط محقق آزمایش شد و همگی نتایج خوب و بالای ۹۲٪ تولید کردند [Xie et al., 2016]. همچنین در تحقیقی [Sekertekin, 2021] برای تهیه نقشه چند پهنه آبی از شاخص‌های طیفی و تعیین حد آستانه به روش دستی و روش آستانه‌گذاری اتسو استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که آب زلال را ساده‌تر و دقیق‌تر از دیگر انواع آب می‌توان شناسایی کرد و همچنین روش اتسو جایگزین مناسبی برای روش آستانه‌گذاری دستی است.

یافته‌های پژوهش حاضر برای پهنه‌های آبی وسیع کارایی دارد و برای محدوده‌های آبی کوچک و به خصوص رودخانه‌ها که تحت تاثیر سایه‌ها هستند نیاز است تحقیقی جداگانه صورت گیرد. با توجه به اینکه ترکیب روش MNDWI و روش آستانه‌گذاری اتسو نیاز به دخالت دستی کاربر نداشته و قابلیت خودکارسازی فرآیند وجود دارد، برای پژوهش‌های بعدی تهیه برنامه استخراج خودکار پهنه‌های آبی از تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای پیشنهاد می‌شود.

## نتیجه‌گیری

دقت استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی با استفاده از شاخص‌های طیفی، به انتخاب حد آستانه مناسب وابسته است. روش آستانه‌گذاری اتسو علاوه بر افزایش دقت، از آنجا که از اطلاعات آماری تصویر استفاده کرده و نیازی به دخالت کاربر ندارد، می‌تواند در خودکارسازی فرآیند شناسایی آب به کار گرفته شود.

**تشکر و قدردانی:** موردی برای توضیح وجود ندارد.

**تأییدیه اخلاقی:** موردی برای توضیح وجود ندارد.

**تعارض منافع:** موردی برای توضیح وجود ندارد.

**سهام نویسندگان:** لادن عبادی نویسنده کل مقاله است (۱۰۰٪).

**منابع مالی:** موردی برای توضیح وجود ندارد.

- Solimani Sardo M, Ebrahimi Z, Zarei M (2021). Extraction of surface water zones of seasonal lake Jazmourian using remote sensing indicators. *Physical Geography Quarterly*. 14(53):119-134. [Persian]
- Sotoudehpour A, Madadi A, Asghari Saraskanrood S (2020). Geomorphological monitoring of Bushehr port coastline. *Geographical Researches*. 35(2):177-187. [Persian]
- Xie H, Luo X, Xu X, Pan H, Tong X (2016). Evaluation of landsat OLI 8 imagery for unsupervised inland water extraction. *International Journal of Remote Sensing*. 37(8):1826-1844.
- 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.
- satellite imagery and normalized difference water index. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 28:1335--1347.
- Sharbaty S (2019). Modeling the effects of water level decreases on the optimum distance of fish pens in Gorgan bay. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 28(1) 49-58. [Persian]
- Sharbaty S, Ghanghermeh A (2016). Forecasting the effect of decreasing long time trend of Caspian sea water level on the life of Gorgan bay. *Journal of Environmental Science and Technology*. 17(4):45-59. [Persian]
- Shen L, Li C. 18<sup>th</sup> international conference on geoinformatics (2010). Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. Beijing, China. 18-20 June 2010. Canada: IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics.