



ارزیابی شاخص‌های آب با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و سنتینل (مطالعه موردی: دریاچه‌ی زیربار)

صیاد اصغری سراسکانرود*، سینا خون‌خام، عذرا عبدی

استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

در این مطالعه از تصاویر لندست ۸ و سنتینل 2A برای تجزیه و تحلیل و شناسایی مناطق آبی دریاچه‌ی زیربار استفاده شد. در سال‌های اخیر، داده‌های سنجش از دور برای مطالعات مدیریت منابع طبیعی، به‌ویژه در تحقیقات منابع آب، حیاتی بوده‌اند. در میان مطالعات مربوط به منابع آب، استفاده از شاخص‌های آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است و با پیشرفت تکنولوژی و تولید تصاویر ماهواره‌ای، این شاخص‌ها رشد و توسعه بیشتری یافته و دقت آنها افزایش چشمگیری داشته است. شاخص AWEIshadow با میانگین ضریب کاپا ۰/۹۹۰۱ در سنتینل 2A و ۰/۹۶۹۲ در لندست ۸، بهترین شاخص برای شناسایی آب بود، در حالی که شاخص AWEINoShadow با میانگین ضریب کاپا ۰/۴۹۹۷ در سنتینل 2A و ۰/۶۱۸ در لندست ۸ ضعیف‌ترین شاخص بود. به طور کلی، تصاویر سنتینل 2A دقت بسیار بالاتری نسبت به لندست ۸ داشتند که به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای سنتینل است. بر اساس یافته‌های این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا و شاخص‌های استخراج آب می‌توانند ابزارهای مفیدی برای مدیریت و پایش پایدار منابع آب باشند. یافته‌ها می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان در تصمیم‌گیری بهتر در مورد حفظ و استفاده از منابع آبی کمک کند.

کلمات کلیدی: شاخص‌های آب، تصاویر ماهواره‌ای، دریاچه زیربار

۱- مقدمه

آب یکی از عناصر حیاتی برای زندگی انسان و موجودات زنده بر روی کره زمین است و عدم دسترسی به آن به معنی نابودی حیات و بروز مشکلات جدی در اکوسیستم‌ها می‌شود (Gong et al., 2020). آب‌ها نقش کلیدی در فرآیند زیست محیطی، کشاورزی و صنعتی نیز دارد و مدیریت و شناسایی این منابع برای سلامتی انسان‌ها و

موجودات زنده الزامی است (Pi et al., 2022). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش گسترده، هزینه پایین و سرعت بالای تجزیه و تحلیل، به ویژه در پایش منابع طبیعی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این ویژگی‌ها به محققان و برنامه‌ریزان در مدیریت و نظارت بر منابع آبی کمک می‌کند (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۸). شناسایی و استخراج آب‌ها از تصاویر چندطیفی شامل ترکیب باندهای مختلف طیفی است که منجر به ایجاد شاخص‌هایی می‌شود. این شاخص‌ها با تعیین آستانه‌های مناسب، قادر به تفکیک سطوح غیرآبی و آبی از یکدیگر هستند (Vos et al., 2019). برای جدا کردن پیکسل‌های آب از غیر آب از شاخص‌های زیادی استفاده می‌شود که این شاخص‌ها شامل NDWI (شاخص تفاضلی نرمال شده آب)، NDVI (شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی)، MNDWI (شاخص تفاضلی نرمال شده آب تعدیل شده) و شاخص‌های زیاد دیگری می‌توان اشاره کرد (Dominici et al., 2019). استفاده از این شاخص‌ها باعث بهبود دقت در شناسایی مناطق آبی شده و امکان پایش دقیق و کارآمد این مناطق را فراهم می‌کند (Xu., 2006). در این راستا، مطالعات متعددی درباره شناسایی مناطق آبی انجام گرفته است که چندین مورد از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است:

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی و مقایسه کارایی شاخص‌های AWEI_nsh، AWEI_sh، NDWI و MNDWI در استخراج مناطق آبی از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که تصاویر سنتینل در شناسایی و استخراج مناطق آبی عملکرد بهتری نسبت به تصاویر لندست دارند. با این حال، یکی از محدودیت‌های این تحقیق استفاده از طبقه‌بندی غیرنظارت‌شده برای محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا بود، در حالی که معمولاً برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از روش‌های نظارت‌شده بهره‌برداری می‌شود (Kwang et al., 2017). دو و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی کارایی سه مدل NDWI، NDWI5,3، NDWI6,3 و NDWI7,3، بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در حوضه رودخانه‌های یانگ تسه و هواها پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص NDWI6,3، که همان MNDWI است و از باندهای سبز و مادون قرمز میانی استفاده می‌کند، در مقایسه با دو مدل دیگر عملکرد بهتری داشته و دقت کلی بالاتری را ارائه می‌دهد (Du et al., 2014). گوتام و همکاران در سال ۲۰۱۵ در تحقیق خود درباره استخراج ویژگی‌های منابع آب در مناطق قطب جنوب با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای با وضوح بالا، به کارایی شاخص NDWI اصلاح‌شده اشاره کردند که به طور قابل توجهی در استخراج ویژگی‌ها و درک تغییرات اقلیمی بهبود ایجاد کرد (Gautam et al., 2015). لی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به ارزیابی عملکرد شاخص‌های مختلف پرداختند و نتایج نشان داد که شاخص AWEI با دقت بالایی در شناسایی منابع آبی کار می‌کند. این تحقیقات به وضوح اهمیت سنجش از دور و شاخص‌های استخراج آب را در مدیریت منابع آبی و پایش تغییرات محیطی تأیید

می‌کنند (Li et al., 2013). کاپلن و افدن در سال ۲۰۱۷ برای شناسایی مناطق آبی در نواحی شهری و کوهستانی، از شاخص NDWI و روش طبقه‌بندی شیء‌گرا بر روی تصاویر سنتینل ۲ با تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده کردند. یافته‌های آنها نشان داد که ضریب کاپا به ۰.۵ افزایش یافته است، که این بهبود در مقایسه با زمانی که تنها از شاخص NDWI استفاده شده بود، قابل توجه است (Kaplan & Avdan., 2017). سارپا و اوزچلیک در سال ۲۰۱۷ با استفاده از شاخص‌های AWEI، MNDWI و NDWI و روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبانی (SVM) به استخراج آب از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و ETM پرداختند. آنها عملکرد هر یک از این شاخص‌ها را با بهره‌گیری از روش‌های مختلفی مانند همبستگی پیرسون، اندازه‌گیری شاخص شبیه ساز ساختاری (SSIM) و ریشه میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) ارزیابی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص MNDWI و روش طبقه‌بندی SVM در مقایسه با سایر روش‌ها عملکرد بهتری داشته‌اند (Sarp & Ozcelik., 2017). ژئی و همکاران در سال ۲۰۱۶ تحقیقی در مورد آب‌های زلال، گل‌آلود و آلوده انجام دادند و نتایج نشان داد که شاخص AWEI_sh با دقت کلی ۹۸.۵۵ درصد بهترین عملکرد را در شناسایی آب‌های زلال دارد. همچنین، شاخص NDWI_{4,7} با دقت ۹۵.۵۰ درصد و شاخص NDWI_{3,7} با دقت ۹۶.۶۱ درصد به ترتیب بهترین نتایج را برای شناسایی آب‌های گل‌آلود و آلوده ارائه کردند. پس از محاسبه این شاخص‌ها، محققان از الگوریتم آتس برای تعیین آستانه‌های استخراج آب استفاده کردند و نتیجه‌گیری کردند که این الگوریتم در مقایسه با روش‌های دستی، قابلیت بهتری در تعیین آستانه‌های استخراج آب دارد (Xie et al., 2016). ستوده‌پور در سال ۲۰۲۴ با استفاده از شاخص‌های AWEI، MNDWI، NMWI و WRI و تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و ETM به ارزیابی شاخص‌های استخراج آب رودخانه گاماسیاب پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که تصاویر لندست ۸ و شاخص AWEI در این زمینه بهترین عملکرد را داشته‌اند (ستوده پور و همکاران، ۲۰۲۴). اصغری سراسکانرود و همکاران در سال ۱۳۹۹ در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، نشان دادند که شاخص MNDWI در مقایسه با NDWI عملکرد بهتری دارد و این به دلیل استفاده از باند مادون قرمز میانی به جای باند مادون قرمز نزدیک است. در این تحقیق، توانایی تصاویر ماهواره‌ای در زمینه استخراج آب ارزیابی خواهد شد و شاخص‌های استخراج آب بر روی تصاویر سری ماهواره‌ای لندست و سنتینل 2A در منطقه کوهستانی مریوان، به منظور شناسایی پهنه‌های آبی بر اساس سنجش از دور، اعمال خواهد شد. همچنین با استفاده از دقت کلی و ضریب کاپا، عملکرد شاخص‌ها ارزیابی خواهند شد (اصغری و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعه دریاچه زریبار به دلایل متعددی از اهمیت ویژه‌ای

² Structural Similarity Index Measure (SSIM)

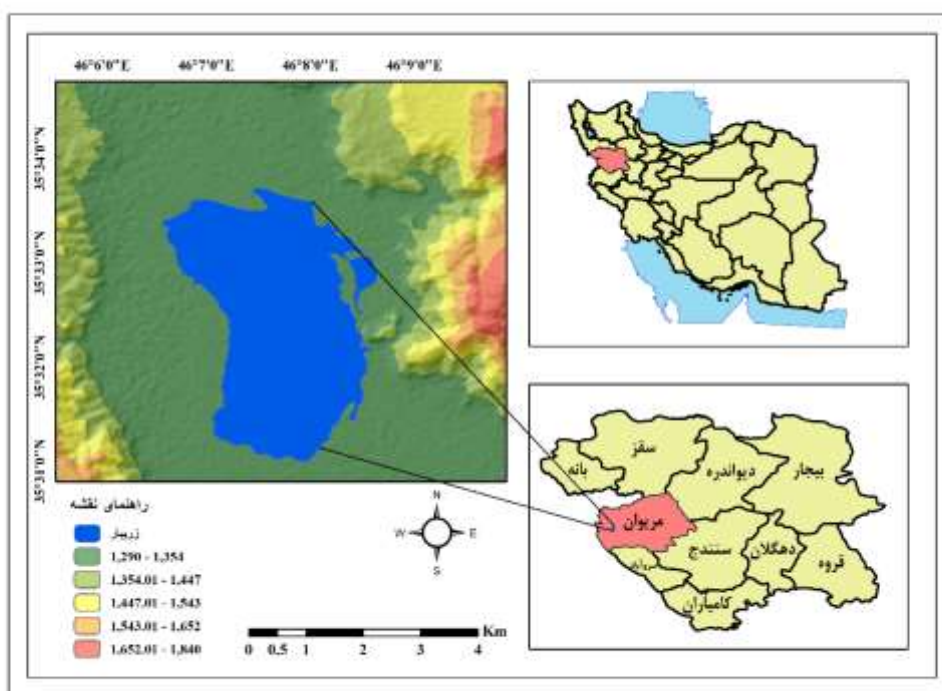
³ Root Mean Square Error (RMSE)

برخوردار است. این دریاچه، به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین ایران، نه تنها یک منبع طبیعی ارزشمند بلکه یک اکوسیستم منحصر به فرد است که به تنوع زیستی و حیات وحش منطقه کمک می‌کند. زریبار محل زندگی گونه‌های مختلف پرندگان، ماهی‌ها و گیاهان است و به عنوان یک پناهگاه حیات وحش تحت نظر سازمان محیط زیست قرار دارد. علاوه بر اهمیت زیست‌محیطی، زریبار به عنوان یک جاذبه گردشگری شناخته می‌شود که فعالیت‌هایی مانند پرندنگری و قایقرانی را فراهم می‌آورد و به رونق اقتصادی منطقه کمک می‌کند. همچنین، این دریاچه در فهرست میراث طبیعی ایران ثبت شده است و مطالعه آن می‌تواند به حفاظت و مدیریت بهتر منابع آبی و اکوسیستم‌های محلی کمک کند. بررسی وضعیت آبی این دریاچه در شرایط تغییرات اقلیمی و تأثیرات انسانی، نظیر ورود فاضلاب‌ها و کاهش بارندگی‌ها، اطلاعات مهمی برای برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی و توسعه پایدار فراهم می‌آورد. بنابراین، مطالعه زریبار نه تنها از نظر علمی بلکه از جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی نیز حائز اهمیت است.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

دریاچه زریبار، که به زبان کردی زریوار نامیده می‌شود، در استان کردستان و ۳ کیلومتری غرب شهر مریوان واقع شده و در عرض جغرافیایی $32^{\circ}35'34''$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ}07'38''$ شرقی قرار دارد. این دریاچه با کوه‌های پوشیده از جنگل احاطه شده و به دلیل زیبایی‌های طبیعی و اکوسیستم غنی‌اش، یکی از مقاصد گردشگری محبوب به شمار می‌آید. همچنین، زریبار بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین ایران است و به عنوان یکی از حوضه‌های آبخیز مهم استان کردستان، شامل رودخانه‌های پرآب نیز می‌شود. ویژگی‌های جغرافیایی و اکولوژیکی این منطقه آن را به محلی با اهمیت برای مطالعات مدیریت منابع آب و هیدرولوژی تبدیل کرده است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر لندست ۸ برای سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۲۴ با قدرت تفکیک ۳۰ متر و همچنین از تصاویر سنتینیل 2A برای سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۲۴ با قدرت تفکیک ۱۰ متر به صورت هر ساله استفاده شده علاوه بر این از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ و DEM^۱ ماهواره ALOS PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده است. در جدول (۱) اطلاعات کامل تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد.

¹ Digital Elevation Model

جدول (۱): اطلاعات ماهواره‌های مورد استفاده

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده	تفکیک مکانی	تفکیک زمانی	تعداد باند	پوشش ابری
۱	2016-09-04	1395/06/14	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰/۱۶
۲	2017-08-22	1396/05/31	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰
۳	2018-08-25	1397/06/03	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰
۴	2019-08-28	1398/06/06	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰/۹۷
۵	2020-08-30	1399/06/09	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰/۰۲
۶	2021-08-17	1400/05/26	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰
۷	2022-09-05	1401/06/14	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰
۸	2023-09-08	1402/06/17	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰/۰۱
۹	2024-09-10	1403/06/20	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۰	۱۶	۱۱	۰/۱
۱۰	2016-08-12	1395/05/22	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۰۰۰۶۳
۱۱	2017-09-06	1396/06/15	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۱/۳۵۸۲۹۷
۱۲	2018-09-01	1397/06/10	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۰۰۰۹۳
۱۳	2019-09-06	1398/06/15	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۵۸۴۴۷
۱۴	2020-08-21	1399/05/31	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۰۰۱۶۶
۱۵	2021-09-05	1400/06/14	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۲۰۳۴۲
۱۶	2022-08-31	1401/06/09	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۰۰۶۳۷
۱۷	2023-09-05	1402/06/14	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۰۰۰۵۶
۱۸	2024-08-30	1403/06/09	کوپرنیکوس	سنتینل ۲	۱۰	۵	۱۳	۰/۰۰۰۱۴۳

۲-۳ روش پژوهش

در فرآیند تصحیحات اتمسفری گام اول محاسبه‌ی مقدار رادیانس می‌باشد و از مقدار رادیانس به فرآیند تصحیحات اتمسفری مورد نظر خواهیم رسید. بدین خاطر تصحیحات اتمسفری انجام می‌شود، تا اثر پخش و جذب امواج الکترومغناطیس در محدوده‌ی امواج مرئی و مادون قرمز، از بین برده شود. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ENVI، تصحیح اتمسفری با روش FLAASH بر روی تصاویر انجام شد. به این معنی که تصویر به رادیانس رابطه (۱) و بازتاب رابطه (۲) تبدیل شد. بعد از نرمال کردن، تصویر برای اعمال شاخصها آماده می‌باشد.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\rho_{\lambda} = (\pi L_{\lambda} d^2) / (E_{sun} \cos \theta) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۱ و ۲) L_{λ} رادیانس طیفی در بالای اتمسفر، بر حسب $W/(m^2 \times sr \times \mu m)$ (وات بر متر مربع در استرادیان در میکرومتر)، M_L و A_L رادیانس، Q_{cal} باند خام و ρ_{λ} معرف بازتاب، E_{sun} میانگین بازتابش خورشید بر فراز جو بر حسب $W/(m^2 \times \mu m)$ (وات بر متر مربع در میکرومتر)، θ زاویه‌ی اوج خورشیدی بر حسب درجه، d فاصله زمین تا خورشید و π نیز 3.141592 می‌باشد. در واقع برای تفکیک آبهای سطحی از پدیده‌های دیگر، سه روش اصلی وجود دارد: الف) استفاده از اطلاعات باندهای طیفی (Rundquist, 1987)، ب) طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده (Lu & Weng, 2007)، ج) استفاده از شاخص‌های آب. آسان‌ترین و دقیق‌ترین روش، استفاده از شاخص‌های آب است (Jiang et al., 2014). بخاطر همین در بیشتر مقالات از این روش برای استخراج آب‌های سطحی استفاده می‌شود. در این پژوهش برای استخراج و شناسایی مناطق آبی از سری تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینیل 2A در فاصله‌ی زمانی ۹ ساله (۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴) استفاده شد. شاخص‌های مورد بررسی شامل NDWI، NDWIplus، MNDWI، WRI، AWEI_No Shadow و AWEI_Shadow بودند، که به بررسی اجمالی هر یک از شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱ شاخص^۳ NDWI

¹ Reflectance

² Solar Zenith Angle

³ Normalized Difference Water Index

شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) برای استخراج آب از تصاویر ماهواره‌ای معرفی شد. برای محاسبه این شاخص، از باندهای سبز (GREEN) و مادون قرمز نزدیک (NIR) استفاده گردید. این شاخص با کاهش تأثیر پدیده‌های غیرآبی مانند خاک و پوشش گیاهی، موجب افزایش بازتاب پهنه‌های آبی و در نتیجه تفکیک بهتر آنها می‌شود. این به دلیل بازتاب بیشتر آب در طول موج سبز نسبت به طول موج قرمز است. مقادیر مثبت در این شاخص نشان‌دهنده آب و مقادیر منفی نشان‌دهنده غیرآب هستند (McFeeters, 1996).

۲-۲-۳ شاخص^۱ NDWIPlus

این شاخص، نسخه‌ای بهبود یافته است که به منظور شناسایی دقیق‌تر مناطق آبی در تصاویر ماهواره‌ای، به ویژه در نواحی با پوشش گیاهی متراکم و سطوح آب گل‌آلود طراحی شده است. عملکرد این شاخص بر پایه ترکیب باندهای مختلف طیفی استوار است و حساسیت آن نسبت به تغییرات در ویژگی‌های طیفی آب را افزایش می‌دهد (Xie et al., 2017).

۲-۳-۳ شاخص^۲ MNDWI

ژو برای دستیابی به شاخص MNDWI، باند مادون نزدیک (NIR) را در فرمول NDWI با باند مادون قرمز میانی (MIR) تعویض کرد تا میزان نویز را کاهش دهد. این شاخص نسبت به NDWI مزیت دارد زیرا توانایی تفکیک مناطق ساخته‌شده از پوشش گیاهی و خاک را به خوبی دارد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده پهنه‌های آبی هستند، زیرا آب در باند MIR نسبت به NIR جذب بیشتری دارد. مقادیر منفی نیز نمایانگر عوارض غیرآبی هستند (Xu, 2006).

۲-۳-۲ شاخص^۳ WRI

شاخص نسبت آب (WRI) یکی دیگر از شاخص‌های آب که توسط شین و لی در سال ۲۰۱۰ تعریف شد که می‌تواند در شناسایی و ارزیابی تغییرات منابع آبی به ویژه در نواحی با پوشش گیاهی متنوع و شرایط جوی مختلف مؤثر باشد (Shen & Li., 2010).

۲-۳-۵ شاخص^۴ AWEI

¹ Normalized Difference Water Index Plus

² Modified Normalized Difference Water Index

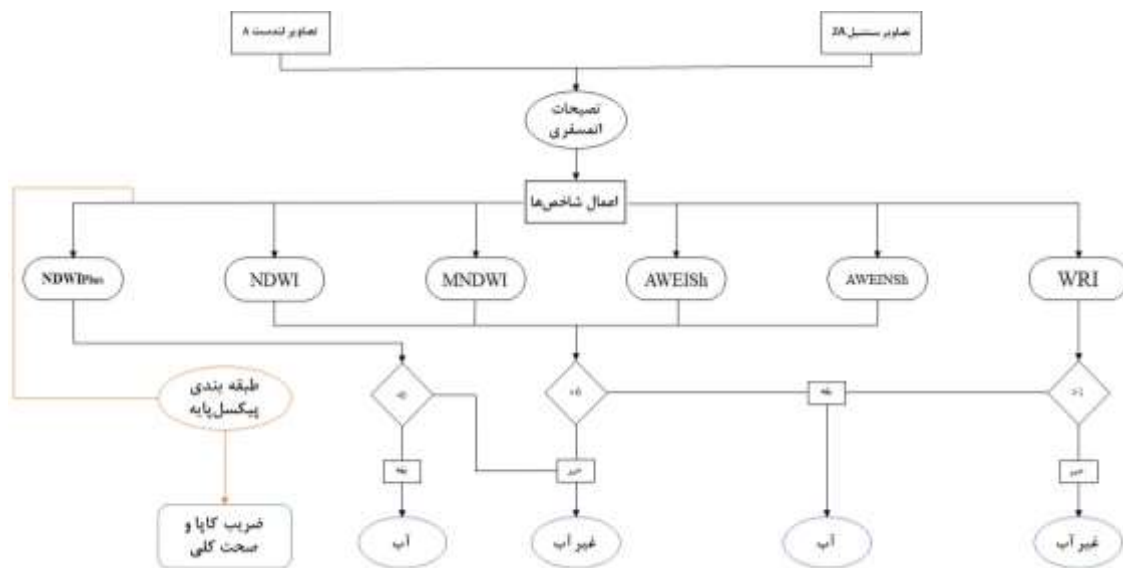
³ Water Ratio Index

⁴ Automated Water Extraction Index

شاخص استخراج خودکار آب (AWEI) برای کاهش خطاهای ناشی از مناطق سایه و تاریک ایجاد شده است. هدف این شاخص، تفکیک آب از سایر پدیده‌های سطح زمین با استفاده از ضرایب مختلف است. AWEI در دو نسخه توسعه یافته است: نسخه اول، AWEIsh، برای حذف تأثیر سایه‌ها طراحی شده و نسخه دوم، AWEInsh، برای حذف پیکسل‌های غیرآبی تیره، از جمله پدیده‌های انسانی در مناطق شهری، به کار می‌رود. این شاخص با استفاده از باندهای سبز، مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) به طور مؤثری می‌تواند آب را از سایر پوشش‌ها متمایز کرده و دقت استخراج آب را افزایش دهد. AWEIsh برای تفکیک آب از دیگر پدیده‌ها مانند سایه، برف، یخ و سطوح با آلبیدوی بالا کاربرد دارد. AWEIsh در شرایط وجود سایه و آلبیدوی بالا، AWEInsh در صورت کم بودن سایه، و هر دو شاخص در حضور سطوح با آلبیدوی بالا و سایه مؤثر هستند (Feyisa, 2014). در غیاب سایه و آلبیدوی بالا، تفاوتی بین این دو شاخص وجود ندارد همچنین فرمول‌های شاخص‌های ذکر شده در جدول (۲) آورده شده‌اند.

جدول (۱): فرمول و منابع شاخص‌های استخراج آب

ردیف	شاخص	فرمول	مقدار پیکسل‌های آب	منبع
۱	NDWI	$(\text{Green}-\text{NIR})/(\text{Green}+\text{NIR})$	بزرگتر از صفر	McFeeters (1996)
۲	NDWIplus	$2.5 \times (\text{Nir}-\text{Red})/(\text{Nir}+6 \times \text{Red}-7.5 \times \text{Blue}+1)$	کوچکتر از صفر	Zhou et al (2017)
۳	MNDWI	$(\text{Green}-\text{MIR})/(\text{Green}+\text{MIR})$	بزرگتر از صفر	Xu (2006)
۴	WRI	$(\text{Green}+\text{Red})/(\text{NIR}+\text{SWIR1})$	بزرگتر از یک	Shen & Li (2010)
۵	AWEInsh	$4 \times (\text{Green}-\text{SWIR1}) - (0.25 \times \text{NIR} + 2.75 \times \text{SWIR2})$	بزرگتر از صفر	Feyisa et al (2014)
۶	AWEIsh	$\text{Blue} + 2.5 \times \text{Green} - 1.5 \times (\text{NIR} + \text{SWIR1}) - 0.25 \times \text{SWIR2}$	بزرگتر از صفر	Feyisa et al (2014)

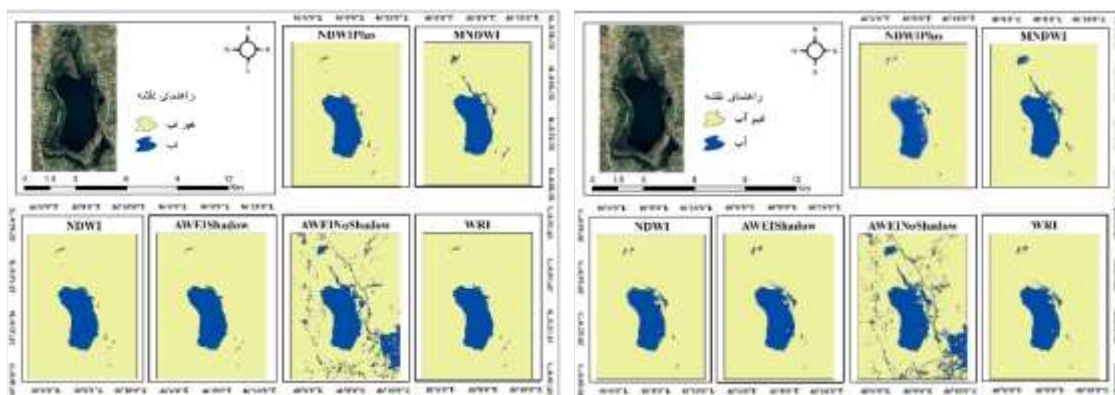


شکل (۲): فلوجارت روش کار

۳- نتایج و بحث

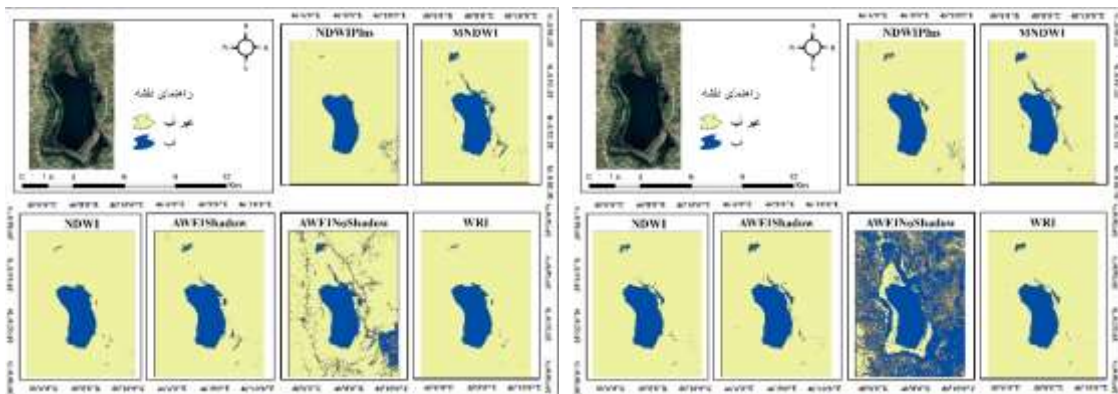
این مطالعه با استفاده از تصاویر لندست ۸ (با وضوح مکانی ۳۰ متر) و تصاویر سنیتینل 2A (با وضوح مکانی ۱۰ متر)، شاخص‌های NDWI، MNDWI، NDWIplus، AWEI و WRI را در دو نسخه سایه‌دار و بدون سایه‌دار اعمال کرد. تصاویر با استفاده از آستانه‌ها به دو کلاس آبی و غیرآبی طبقه‌بندی شدند و همانطور که در اشکال (۶ تا ۳) نشان داده شده است، دریاچه زریبار با استفاده از شاخص‌های فوق‌الذکر استخراج شد که به صورت بصری برای همه بینندگان قابل مشاهده است. شاخص MNDWI بهترین نتایج را در مناطقی با پوشش ساختمان، زمین بایر (بدون پوشش گیاهی) یا مناطق شهری دارد، شاخص NDWI برای مناطق دارای پوشش گیاهی مناسب است، با این تفاوت که برخی از شاخص‌های اعمال شده ظرفیت بیشتری برای نمایش جزئیات داشتند. در واقعیت، می‌توان استخراج مناطق آبی را در مناطقی با پوشش زمین با آلبدو کم (مانند ساختمان‌ها، آسفالت، سایه‌ها و ابرها) به حداقل رساند. تکنیک‌های مختلفی برای شناسایی مکان‌های آب در سنجش از دور وجود دارد و هر کدام درجات مختلفی از کارایی دارند. با توجه به یافته‌های تحقیقات کاربردی، هیچ شاخص آبی نمی‌تواند بطور قابل اعتماد و کاملاً خودکار سطوح آب را از کلان‌شهرها، مناطق سایه‌دار یا مکان‌های ابری تشخیص دهد. همه شاخص‌ها قادر به تشخیص دریاچه در تصاویر بودند، حتی اگر عملکرد آنها بسته به مقادیر شاخص‌ها متفاوت باشد. بهترین شاخص‌ها برای تصاویر لندست ۸ به ترتیب AWEI_Sh (۰/۹۶۹)، NDWIplus (۰/۹۶۲)، NDWI (۰/۹۵۹)، MNDWI (۰/۹۴۹) و WRI (۰/۹۳۶) بودند. با میانگین ضریب

کاپا ۰/۶۱۸، شاخص AWEI_NSh ضعیف‌ترین شاخص بود. نتایج ضریب کاپا نشان داد که وجود ابر و سایه در تصاویر لندست ۸ مانع از تولید نتایج قابل اعتماد توسط شاخص‌های استخراج خودکار آب (AWEI_NSh) می‌شود. شاخص AWEI_NSh با میانگین ضریب کاپا ۰/۴۹۹ بدترین نتیجه را ایجاد کرد، در حالی که قوی‌ترین شاخص‌ها برای تصاویر سنتینل 2A AWEI_Sh (۰/۹۹)، NDWI (۰/۹۸۸)، WRI (۰/۹۸۷)، MNDWI (۰/۹۸۱) و NDWIPlus (۰/۹۸۱) بودند. به کارگیری شاخص‌ها برای استخراج نواحی آبی از تصاویر لندست ۸ و سنتینل 2A به طور کلی نتایج موفقیت‌آمیزی را به همراه داشت. با این حال، در مناطق کوهستانی به دلیل ویژگی‌های توپوگرافی و عناصری مانند سایه ابر و سایه در این زمینه می‌تواند در دسرساز باشد. تصاویر Sentinel 2A قدرت تفکیک مکانی بهتری دارند. هنگام مقایسه تصاویر سنتینل 2A با تصاویر لندست ۸، دقت کلی شاخص‌های اعمال شده نتایج بهتری را به همراه دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که شناسایی مناطق آبی در تصاویر ماهواره‌ای برای شاخص‌های فوق‌الذکر چقدر ساده است. با استفاده از یک آستانه طیفی مناسب، شاخص AWEI_Sh اغلب بهترین نتایج را برای بازیابی مناطق آبی در هر دو نوع تصویر به همراه داشت. در نهایت، یافته‌های تحقیق نشان داد که علاوه بر شاخص‌های به کار گرفته شده، تعدادی معیار با دقت کلی مطالعه مرتبط است، از جمله تجربه کاربر، دانش و دقت در روش‌های پیش پردازش، آشنایی با ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکی منطقه و ویژگی‌های زمین که دائماً در حال تغییر است در افزایش صحت کار ما بی‌تاثیر نیست. فعالیت‌های انسانی و نیروهای محیطی ممکن است مقصر تغییرات باشند. تجزیه و تحلیل یافته‌ها نشان داد که رسوب‌گذاری در اکثر مناطق تحقیقاتی در طول دوره نه ساله (۲۰۱۶-۲۰۲۴) رخ داده است. ما فقط گزیده‌ای از نقشه‌ها را به دلیل حجم زیاد آنها در زیر آورده‌ایم. با این وجود، جداول (۴ و ۳) دقت کلی همه شاخص‌ها و همچنین مقدار ضریب کاپا را نمایش می‌دهد.



شکل (۳): نقشه‌ی ماهواره‌ی لندست ۸

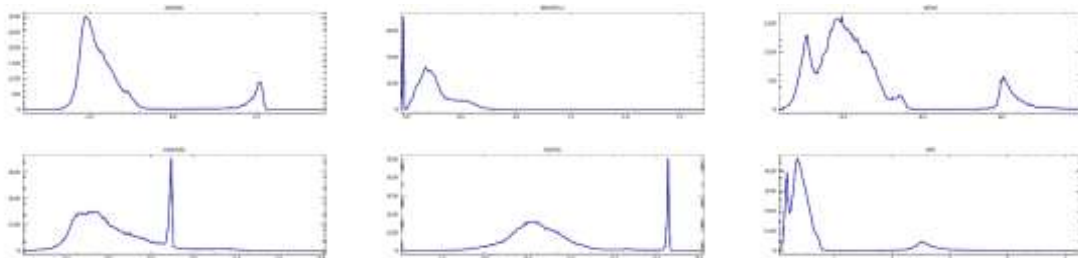
شکل (۴): نقشه‌ی ماهواره‌ی لندست ۸



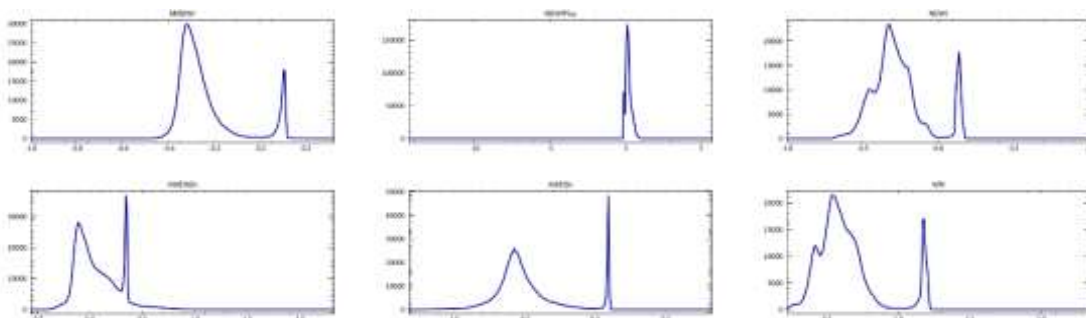
شکل (۶): نقشه‌ی ماهواره‌ی سنتینل ۲

شکل (۵): نقشه‌ی ماهواره‌ی سنتینل ۲

هیستوگرام تصاویر محدوده سطوح خاکستری را برای شاخص مربوطه نشان می‌دهد و قله‌ها نشان دهنده مناطق آبی هستند. شاخص‌های طیفی آب در این هیستوگرام‌ها نمایش داده می‌شود که در واقع پارامتری برگرفته از عملیات ریاضی روی دو یا چند باند و آستانه کافی برای تمایز بین دو کلاس (آبی و غیرآبی) بر اساس ویژگی‌های طیفی است. هیستوگرام شاخص‌های پیشنهادی برای دو ماهواره در این مطالعه، لندست ۸ و سنتینل 2A، در اشکال (۷ و ۸) ارائه شده است. توجه داشته باشید که آستانه بر پایه هر قله تعیین می‌شود.



شکل (۷): هیستوگرام لندست ۸



شکل (۸): هیستوگرام سنتینیل 2A

در واقع، با استفاده از تمام شاخص‌های اعمال شده، می‌توان مناطق آبی منطقه تحقیقاتی را به طور موثر استخراج کرد. با این حال، استفاده ساده از شاخص برای تعیین شاخص مناسب برای استخراج مناطق آبی کافی نیست زیرا بازرسی بصری نمی‌تواند تغییرات ظریف را تشخیص دهد. بدین ترتیب دقت کل هر شاخص و ضریب کاپا به منظور انتخاب بهترین شاخص تعیین شد (جدول ۳ و ۴).

جدول شماره (۳): ضریب کاپا و صحت کلی لندست ۸

MNDWI		NDWIPlus		NDWI		سال
صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	
۹۹/۵۹	۰/۹۸۱	۹۸/۱۱	۰/۹۱۰	۹۹/۱۱	۰/۹۵۹	۲۰۱۶
۹۸/۸۵	۰/۹۴۰	۹۸/۵۷	۰/۹۲۴	۹۸/۴۵	۰/۹۱۸	۲۰۱۷
۹۸/۰۸	۰/۸۵۰	۹۹/۵۹	۰/۹۷۱	۹۸/۵۴	۰/۸۹۰	۲۰۱۸
۹۹/۷۳	۰/۹۹۰	۹۹/۱۰	۰/۹۶۷	۹۹/۳۰	۰/۹۷۱	۲۰۱۹
۹۸/۶۰	۰/۹۳۸	۹۹/۳۳	۰/۹۷۰	۹۹/۲۷	۰/۹۶۸	۲۰۲۰
۹۹/۹۰	۰/۹۹۵	۹۹/۸۴	۰/۹۹۲	۹۹/۸۹	۰/۹۹۵	۲۰۲۱
۹۹/۱۵	۰/۹۵۹	۹۹/۷۹	۰/۹۸۹	۹۹/۸۵	۰/۹۹۳	۲۰۲۲
۹۹/۶۲	۰/۹۷۱	۹۹/۷۲	۰/۹۷۹	۹۹/۷۵	۰/۹۸۱	۲۰۲۳
۹۸/۴۳	۰/۹۲۰	۹۹/۰۷	۰/۹۵۳	۹۹/۱۸	۰/۹۵۹	۲۰۲۴

WRI		AWEI_NSh		AWEI_Sh		سال
صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	
۹۹/۲۸	۰/۹۶۷	۸۹/۸۶	۰/۶۵۹	۹۹/۳۰	۰/۹۶۸	۲۰۱۶
۹۸/۵۷	۰/۹۲۴	۸۹/۰۰	۰/۵۹۸	۹۸/۵۰	۰/۹۲۰	۲۰۱۷

۹۶/۸۰	۰/۷۲۸	۹۰/۶۶	۰/۵۷۵	۹۹/۶۰	۰/۹۷۲	۲۰۱۸
۹۹/۴۱	۰/۹۷۹	۹۲/۵۳	۰/۷۷۴	۹۹/۳۹	۰/۹۷۳	۲۰۱۹
۹۹/۲۲	۰/۹۶۵	۸۸/۵۰	۰/۶۳۰	۹۹/۱۱	۰/۹۶۰	۲۰۲۰
۹۹/۸۹	۰/۹۹۵	۸۴/۹۰	۰/۵۳۵	۹۹/۸۹	۰/۹۹۵	۲۰۲۱
۹۹/۸۷	۰/۹۹۳	۸۶/۳۸	۰/۵۵۴	۹۹/۸۷	۰/۹۹۳	۲۰۲۲
۹۹/۷۷	۰/۹۸۲	۹۱/۳۳	۰/۵۷۸	۹۹/۸۰	۰/۹۸۵	۲۰۲۳
۹۹/۰۱	۰/۹۵۰	۹۰/۳۹	۰/۶۵۶	۹۸/۹۱	۰/۹۴۵	۲۰۲۴

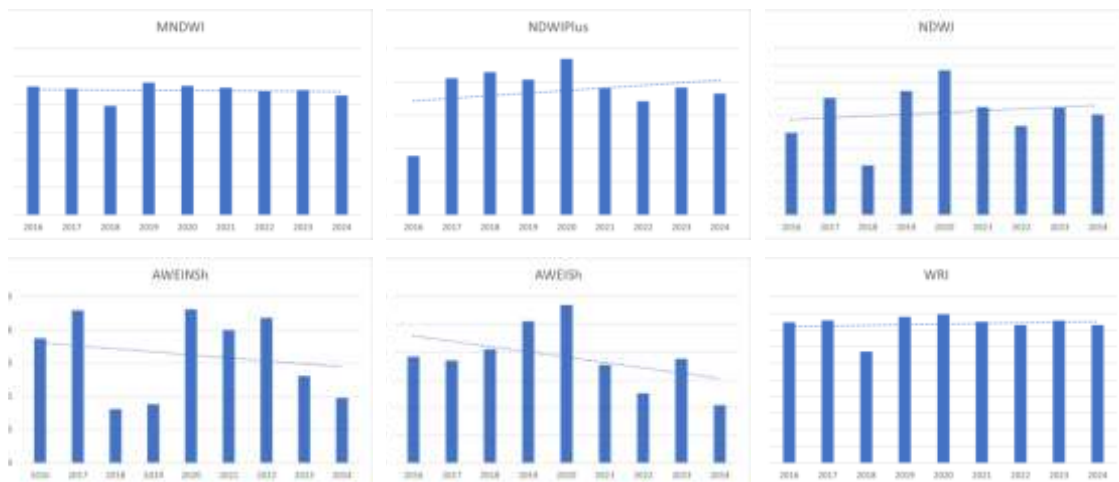
جدول شماره (۴): ضریب کاپا و صحت کلی سنتنیل 2A

MNDWI		NDWIPlus		NDWI		سال
صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	
۹۹/۸۹	۰/۹۹۳	۹۹/۴۳	۰/۹۶۵	۹۹/۸۹	۰/۹۹۳	۲۰۱۶
۹۹/۶۷	۰/۹۷۸	۹۹/۰۹	۰/۹۴۲	۹۹/۷۸	۰/۹۸۵	۲۰۱۷
۹۹/۰۹	۰/۹۴۱	۹۹/۳۴	۰/۹۶۰	۹۹/۷۶	۰/۹۸۵	۲۰۱۸
۹۹/۸۷	۰/۹۹۴	۹۹/۴۲	۰/۹۷۴	۹۹/۶۵	۰/۹۸۴	۲۰۱۹
۹۹/۹۵	۰/۹۹۷	۹۹/۶۸	۰/۹۸۲	۹۹/۹۱	۰/۹۹۵	۲۰۲۰
۹۹/۸۳	۰/۹۸۹	۹۹/۶۰	۰/۹۷۴	۹۹/۹۲	۰/۹۹۵	۲۰۲۱
۹۹/۹۳	۰/۹۹۴	۹۹/۷۷	۰/۹۸۱	۹۹/۹۱	۰/۹۹۳	۲۰۲۲
۹۹/۹۰	۰/۹۹۳	۹۹/۷۷	۰/۹۸۳	۹۹/۹۱	۰/۹۹۴	۲۰۲۳
۹۹/۶۳	۰/۹۶۶	۹۸/۴۳	۰/۸۳۶	۹۹/۶۸	۰/۹۶۹	۲۰۲۴

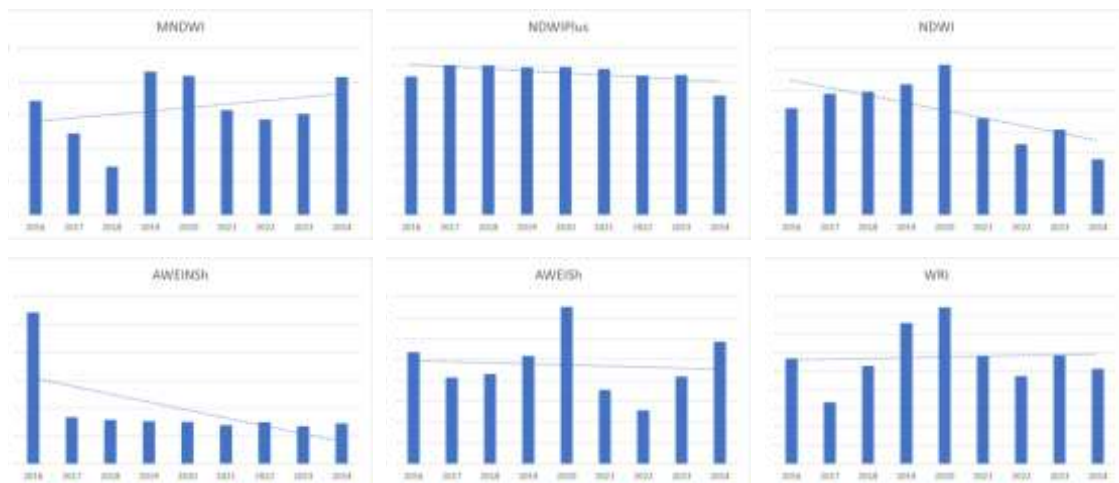
WRI		AWEI_NSh		AWEI_Sh		سال
صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	
۹۹/۷۷	۰/۹۸۶	۴۴/۰۹	۰/۱۰۲	۹۹/۹۴	۰/۹۹۶	۲۰۱۶

۹۹/۷۷	۰/۹۸۵	۸۲/۳۱	۰/۴۰۴	۹۹/۷۸	۰/۹۸۶	۲۰۱۷
۹۹/۶۱	۰/۹۷۶	۸۸/۰۳	۰/۵۳۳	۹۹/۷۵	۰/۹۸۵	۲۰۱۸
۹۹/۶۸	۰/۹۸۵	۹۲/۱۲	۰/۷۲۰	۹۹/۷۴	۰/۹۸۸	۲۰۱۹
۹۹/۹۱	۰/۹۹۴	۸۷/۶۳	۰/۵۴۷	۹۹/۹۴	۰/۹۹۶	۲۰۲۰
۹۹/۹۰	۰/۹۹۳	۹۰/۴۲	۰/۵۸۴	۹۹/۸۹	۰/۹۹۳	۲۰۲۱
۹۹/۹۵	۰/۹۹۶	۸۸/۴۷	۰/۴۷۸	۹۹/۹۳	۰/۹۹۴	۲۰۲۲
۹۹/۹۳	۰/۹۹۵	۹۲/۹۷	۰/۶۴۷	۹۹/۹۰	۰/۹۹۳	۲۰۲۳
۹۹/۷۲	۰/۹۷۴	۸۹/۶۷	۰/۴۷۷	۹۹/۷۴	۰/۹۷۷	۲۰۲۴

با توجه به آنچه محققان قبلی گفته اند، تجربه کاربر تأثیر مستقیمی بر میزان دقیق بودن نقشه‌های تولید شده دارد. تجزیه و تحلیل و ارزیابی شاخص‌های آب به منظور استخراج منطقه مورد نظر از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و سنتینل 2A هدف اولیه این مطالعه بود. اگرچه ممکن است این نتایج در سایر زمینه‌ها صدق نکند. روند ۹ ساله دریاچه زریبار نیز در این تحقیق محاسبه شده و در اشکال (۹ و ۱۰) نمایش داده شده است.



شکل (۹): روند ۹ ساله دریاچه زریبار با استفاده از تصاویر لندست ۸



شکل (۱۰): روند ۹ ساله دریاچه زریبار با استفاده از تصاویر سنتینل 2A

نمودارهای (۹ و ۱۰) نشان می‌دهند که برخی از شاخص‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند که حاکی از کاهش سطح آبی دریاچه زریبار است. همانطور که قبلاً گفته شد ضریب کاپا و دقت کلی شاخص‌ها به عنوان معیار تأیید ما عمل می‌کنند و شاخص AWEI_Shadow بالاترین دقت را در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارد. به همین دلیل، اگر به آن روندها توجه کنید، شاخص فوق یک گرایش کاهشی نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین سیستم‌های محیطی که تحت تأثیر متغیرهای متعددی قرار می‌گیرد، دریاچه‌ها هستند. در نتیجه مطالعه و تحلیل آنها بسیار مهم است. نتیجه‌گیری این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه تعدادی از شاخص‌ها می‌توانند مناطق آبی را در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی کنند، به ویژه زمانی که بازتاب آب طیف مادون قرمز نزدیک به خوبی از هم جدا شده باشد. این مطالعه شش شاخص مختلف شامل MNDWI، NDWI، NDWIPlus، WRI و AWEI در دو نسخه‌ی سایه‌دار و بدون سایه را بررسی شد. برای ارزیابی عملکرد هر شاخص از روش‌های آماری و تحلیل دیداری استفاده شد. اگرچه همه شاخص‌ها دریاچه زریبار را استخراج می‌کنند، اما تمایز سطح آب از سایر پدیده‌ها، به‌ویژه در مناطق با آلودگی و سایه می‌تواند چالش برانگیز باشد. با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده، همه شاخص‌ها به استثنای شاخص AWEI_NSh، دقت خوبی در تشخیص آب نشان می‌دهند. اما از بین همه شاخص‌ها، شاخص AWEI_Sh بهترین دقت را دارد. شاخص NDWIPlus در تشخیص مناطق آبی و غیرآبی در تصاویر لندست ۸ موفق‌تر از شاخص NDWI است. شاخص AWEI_NSh کمترین ضریب صحت سنجی را در هر دو نوع تصویر لندست ۸ و سنتینل 2A به دلیل انعکاس قابل توجه

پدیده‌های غیرآبی داشت. به طور کلی، می‌توان ادعا کرد که دقت کلی به دست آمده در اکثر شاخص‌های مورد بحث، مقادیر قابل اعتمادی را نشان می‌دهد که انتخاب آستانه مناسب را در این شاخص‌ها نشان می‌دهد. با این حال، عواملی از جمله نوع پوشش زمین، ویژگی‌های توپوگرافی و متغیرهای محیطی بر عملکرد شاخص‌ها تأثیر می‌گذارند. بنابراین برای حصول نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر باید از آستانه‌های مناسب استفاده کرد. بررسی دقیق مراحل پیش پردازش، تجربه کاربر، و درک عمیق زمینه مورد مطالعه نیز می‌تواند دقت نتایج را بهبود بخشد. این مطالعه اهمیت استفاده از رویکردهای چند باندی و شاخص‌های طیفی را در سنجش از دور نشان می‌دهد و همچنین چگونگی توسعه روش و انتخاب آستانه محتاطانه می‌تواند دقت شناسایی و استخراج مناطق آبی را افزایش دهد. علاوه بر این، وضوح فضایی عالی تصاویر سنتینیل به آن‌ها اجازه می‌دهد تا شاخص‌ها را به طور موثرتری نسبت به لندست اعمال کنند. این مطالعه همراه با شاخص‌ها، روند ۹ ساله دریاچه زریبار را نیز مورد بررسی قرار داده است که نشان دهنده کاهش سطح آب بر اساس شاخص AWEI_Shadow که دقیق‌ترین روش استخراج مناطق آبی است که کاهش آب در دریاچه زریبار را نیز نشان می‌دهد. به طور کلی، چند دلیل اصلی در کاهش سطح آب دریاچه زریبار وجود دارد. اولاً به دلیل خشکسالی و بارندگی کمتر، سطح آب حوضه آبریز این دریاچه به شدت کاهش یافته است. دوم، چاه‌های متعدد دریاچه که آب کشاورزی و آشامیدنی را تامین می‌کند، تقاضا برای منابع آب را افزایش داده و اثرات خشکسالی را تشدید کرده است. علاوه بر این، عمق دریاچه و اکسیژن محلول به دلیل آلودگی و رسوب ناشی از فاضلاب شهرداری‌های مجاور که به آن می‌ریزد، کاهش یافته است. تغییرات آب و هوایی و کاهش حجم آب جاری از چشمه‌های دریاچه دو دلیل قابل توجهی است که ممکن است بدانیم. از این رو برای حفظ پایداری و سلامت این زیستگاه گرانبها مدیریت و حفظ مناسبی لازم است.

۵-منابع

- Asghari Sarskanrood, Sayyad, and Mahdi Poorahmed. 2016. 'Detection and Extraction of Changes in Zarineh Rud River's Variation between 1989 and 2014 via Remote Sensing Data', *Hydrogeomorphology*, 2: 1-16. (In Persian)
- Dominici, Donatella, Sara Zollini, Maria Alicandro, Francesca Della Torre, Paolo Massimo Buscema, and Valerio Baiocchi. 2019. 'High resolution satellite images for instantaneous shoreline extraction using new enhancement algorithms', *Geosciences*, 9: 123.
- Du, Zhiqiang, Wenbo Li, Dongbo Zhou, Liqiao Tian, Feng Ling, Hailei Wang, Yuanmiao Gui, and Bingyu Sun. 2014. 'Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping', *Remote sensing letters*, 5: 672-81.
- Feyisa, Gudina L, Henrik Meilby, Rasmus Fensholt, and Simon R Proud. 2014. 'Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery', *Remote sensing of environment*, 140: 23-35.
- Gautam, Vivek Kumar, Piyush Kumar Gaurav, P Murugan, and MJAP Annadurai. 2015. 'Assessment of surface water Dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and KT transformation', *Aquatic Procedia*, 4: 739-46.
- Gong, Wenfeng, Tiedong Liu, Yan Jiang, and Philip Stott. 2020. 'Applicability of the Surface Water Extraction Methods Based on China's GF-2 HD Satellite in Ussuri River, Tonghe County of Northeast China', *Nature Environment & Pollution Technology*, 19.
- Hashemi, Seyedeh Nastaran, Mohammad Akbarinasab, and Taher Safarrad. 2018. 'The Detection of the Plume of the Arvand River Using Satellite Images', *Hydrogeomorphology*, 4: 147-64. (In Persian)
- Jiang, Hao, Min Feng, Yunqiang Zhu, Ning Lu, Jianxi Huang, and Tong Xiao. 2014. 'An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery', *Remote Sensing*, 6: 5067-89.
- Kaplan, Gordana, and Ugur Avdan. 2017. 'Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery', *European Journal of Remote Sensing*, 50: 137-43.
- Kwang, Clement, Edward Matthew Osei Jnr, and Adwoa Sarpong Amoah. 2017. 'Comparing of landsat 8 and sentinel 2A using water extraction indexes over Volta River', *Journal of Geography and Geology*, 10: 1-7.
- Lacaux, JP, YM Tourre, Cecile Vignolles, JA Ndione, and M Lafaye. 2007. 'Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal', *Remote sensing of environment*, 106: 66-74.

- Li, Wenbo, Zhiqiang Du, Feng Ling, Dongbo Zhou, Hailei Wang, Yuanmiao Gui, Bingyu Sun, and Xiaoming Zhang. 2013. 'A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI', *Remote Sensing*, 5: 5530-49.
- Lu, Dengsheng, and Qihao Weng. 2007. 'A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance', *International Journal of Remote Sensing*, 28: 823-70.
- McFeeters, Stuart K. 1996. 'The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features', *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1425-32.
- Pi, Xuehui, Qiuqi Luo, Lian Feng, Yang Xu, Jing Tang, Xiuyu Liang, Enze Ma, Ran Cheng, Rasmus Fensholt, and Martin Brandt. 2022. 'Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes', *Nature communications*, 13: 5777.
- Rundquist, Donald C, Merlin P Lawson, Lloyd P Queen, and Randall S Cerveney. 1987. 'THE RELATIONSHIP BETWEEN SUMMER-SEASON RAINFALL EVENTS AND LAKE-SURFACE AREA 1', *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23: 493-508.
- Sarp, Gulcan, and Mehmet Ozcelik. 2017. 'Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey', *Journal of Taibah University for Science*, 11: 381-91.
- Shen, Li, and Changchun Li. 2010. "Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm." In *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, 1-4. IEEE.
- Sotoudehpour, Afshin, Aghil Madadi, and Sayyad Asghari. 2024. 'Comparing water extraction indexes using landsat8 and sentinel2A images. Case study: Bushehr shoreline', *Journal of Marine Science and Technology*, 23: 59-83. (In Persian)
- Vos, Kilian, Kristen D Splinter, Mitchell D Harley, Joshua A Simmons, and Ian L Turner. 2019. 'CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery', *Environmental Modelling & Software*, 122: 104528.

Xie, Huan, Xin Luo, Xiong Xu, Haiyan Pan, and Xiaohua Tong. 2016. 'Evaluation of Landsat 8 OLI imagery for unsupervised inland water extraction', *International Journal of Remote Sensing*, 37: 1826-44.

Xu, Hanqiu. 2006. 'Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery', *International Journal of Remote Sensing*, 27: 3025-33.

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.



Evaluation of water indicators using Landsat and Sentinel satellite images (case study: Zaribar Lake)

Abstract

In this study, Landsat 8 and Sentinel 2A images were used to analyze and identify the water areas of Zaribar Lake. In recent years, remote sensing data have become vital for natural resource management studies, especially in water resources research. Among the studies related to water resources, the use of water indicators has received much attention, and with the advancement of technology and the production of satellite images, these indicators have grown and developed and their accuracy has increased significantly. The AWEIshadow index with an average kappa coefficient of 0.9901 in Sentinel 2A and 0.9692 in Landsat 8 was the best index for water identification, while the AWEINoShadow index was the weakest with an average kappa coefficient of 0.4997 in Sentinel 2A and 0.618 in Landsat 8. It was an indicator. In general, Sentinel 2A images had a much higher accuracy than Landsat 8, which is due to Sentinel's high spatial resolution. Based on the findings of this study, high-precision satellite images and water extraction indicators can be useful tools for sustainable management and monitoring of water resources. The findings can help managers and planners to make better decisions about the conservation and use of water resources

Keywords: Remote sensing, water indicators, satellite images