

ارزیابی شاخص‌های کمی ماهواره‌ای در تعیین سطح پهنه‌های آبی با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای

(مطالعه موردی: تالاب زیربار استان کردستان)

نویسندگان:

فاطمه جوادی^۱، سحر رضایان^۲، سید علی جوزی^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی - ارزیابی و آمایش سرزمین، کارشناس موسسه تحقیقات آب، پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، تهران
- ۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
- ۳- استاد گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

چکیده

بررسی آب‌های سطحی و تعیین گسترش مکانی آن‌ها اهمیت زیادی برای درک چرخه هیدرولوژی و مدیریت منابع آب دارد. در حال حاضر سنجش از دور به رویکردی متداول در پایش منابع آب سطحی تبدیل شده است. هدف اصلی این تحقیق تعیین بهترین شاخص ماهواره‌ای برای استخراج مساحت تالاب زیربار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 5, 7, 8 است. مساحت تالاب با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ محاسبه و این روش به عنوان روش مبنا در تعیین بهترین شاخص در نظر گرفته شده است. شاخص‌های NDVI، NDWI، MNDWI، WRI و AWEI در عنوان متداول ترین شاخص‌ها در تعیین پهنه‌های آبی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که مقادیر هریک از شاخص‌ها در تصاویر اخذ شده محاسبه و مقادیر آستانه شاخص‌ها در هر تصویر تعیین و در نهایت با استفاده از روش مبنا صحت سنجی شده است. در این میان شاخص‌های MNDWI و AWEI و SWI در مقایسه با روش مبنا با مقادیر همبستگی به ترتیب معادل ۰/۷۶، ۰/۷۴ و ۰/۷۴ و RMSE به ترتیب برای هر شاخص معادل ۱۰۸/۸۰، ۱۱۱/۳۰ و ۱۱۳/۸۰ هکتار و همچنین مقادیر خطای MAE معادل ۸۴/۶۳، ۹۴/۲۸ و ۸۷/۳۰ هکتار، بهترین شاخص‌ها در تعیین مساحت تالاب می‌باشند. استفاده از شاخص‌های تعیین شده با توجه به سهولت و سرعت انجام محاسبات امکان ایجاد سری زمانی تغییرات مساحت تالاب به منظور مدیریت بهینه این پهنه آبی را فراهم می‌آورد.

کلمات کلیدی: پهنه آبی، روش طبقه‌بندی نظارت شده، ماهواره لندست، شاخص ماهواره‌ای، تالاب زیربار

¹ Email: F.javadi@wri.ac.ir

مقدمه

تالاب‌ها در میان اکوسیستم‌های طبیعی با توجه به تنوع زیستی بالایی که دارند از اهمیت خاصی برخوردارند. تالاب‌ها عملکرد و ارزش زیست محیطی زیادی داشته و زیستگاه مناسبی برای گونه‌های گیاهی و فون هستند همچنین دارای خاصیت شارژ زمین و آب، تنوع زیستی، کاهش سیل و تنظیم آلودگی و تامین آب را برای اکوسیستم دارد. در دهه‌های اخیر با گرمایش جهانی زمین و افزایش اثرات رو به رشد فعالیت‌های انسانی و تغییرات رودخانه‌ها، آب شدن یخچال‌ها و دیگر تغییرات مکانی و زمانی، کاهش سطح تالاب‌ها و دیگر منابع آب سطحی بیشتر نمایان شده است. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پهنه‌های آبی در مدیریت صحیح و حفاظت این اکوسیستم‌های ارزشمند، نقشی اساسی ایفا می‌نماید و حفاظت از این منابع ارزشمند مستلزم پایش و نظارت بر تغییرات گذشته، حال و آینده است. در میان روش‌های مرسوم، پایش پهنه‌های آبی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور^۱، به عنوان ابزاری معتبر برای نظارت بر تالاب‌ها در طول زمان شناخته شده است. سنجش از دور نسبت به روش‌های سنتی در پهنه‌بندی آب‌های سطحی کارایی بیشتری داشته و هزینه پایین، منابع اطلاعات قابل اعتماد و تولید اطلاعات با فرکانس و تکرارپذیری بالا، پوشش پهنای لحظه‌ای، سرعت و دقت از جمله مزایای استفاده از این روش است.

رویکردهای متفاوتی برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر چند باندی به عنوان یک بخش مهم از چرخه آب کره زمین، گسترش پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های تک باندی، طبقه‌بندی نظارت‌نشده، طبقه‌بندی نظارت‌شده و شاخص‌ها اشاره نمود. از میان تمام این روش‌ها، تکنیک‌های طبقه‌بندی استفاده شده برای استخراج پهنه‌های آبی در مقایسه با روش‌های تک باندی از دقت بیشتری برخوردار بوده (۱) و به‌طور گسترده‌ای در پهنه‌بندی گسترده‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای آب نیز یک روش قابل اعتماد است زیرا روشی کاربر دوست، موثر با هزینه کم محاسباتی است. از آنجایی که بسیاری از این روش‌ها در سنجش از دور برای شناسایی پهنه‌های آبی استفاده می‌شوند و طبقه‌بندی‌های متفاوتی از پهنه‌های آبی تولید می‌کند لذا ضروری است این روش‌ها، مورد سنجش قرار گیرند. در این راستا در این مطالعه کارایی شاخص‌های آبی جهت استخراج پهنه آبی تالاب زیربار ارزیابی و مورد تحلیل قرار گرفت. استفاده از شاخص از نظر سرعت محاسبات و دقت جهت تحلیل و پایش پهنه‌های آبی، روشی مناسب محسوب می‌شود. هدف اصلی این مطالعه تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های ماهواره‌ای در استخراج مساحت پهنه آبی تالاب زیربار است لذا سعی بر آن شده است تا مناسب‌ترین شاخص‌ها با کمترین میزان خطای محاسبات در پهنه آبی تالاب زیربار شناسایی و صحت سنجی شوند. جهت مقایسه شاخص‌ها روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال به عنوان روش مرجع در تعیین مساحت تالاب در نظر گرفته شده است و روند تغییرات پهنه آبی تالاب طی دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) استخراج و با روند تغییرات بارش منطقه مورد مقایسه قرار گرفته است.

شاخص‌های مختلف آب در چند دهه اخیر ارائه شده‌اند (۲). شاخص‌های NDVI، NDWI، MNDWI، AWEI، SWI و WRI تعدادی از شاخص‌های بکار گرفته شده در زمینه تحلیل پهنه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای هستند. هانکیو ژو در سال ۲۰۰۶ شاخص NDWI را اصلاح و شاخصی تحت عنوان MNDWI^۲ ارائه نمود (۳). مزیت این شاخص نسبت به شاخص NDWI این است تفکیک مناطق ساخت‌وساز شده را از پوشش گیاهی و خاک به خوبی انجام می‌دهد. در شاخص اصلاح شده به جای باند NIR از باند MIR^۳ استفاده می‌شود. فیسیا و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat5 در پنج کشور دانمارک، سوئیس، ایتالی، نیوزلند و آفریقای جنوبی به منظور ارزیابی شاخص AWEI^۴ استفاده کرد (۴). در محاسبه این شاخص از باندهای آبی، قرمز و مادون قرمز استفاده شد. شاخص AWEI sh برای حذف نقاطی است که جزو طبقه غیر آب هستند بکار گرفته می‌شود. همچنین در مناطق سایه و تاریک با پیش‌زمینه شهری نیز

1 - Remote sensing

2 -Modified Normalized Difference Water Index

3- Middle Inrfa Red

4 -Automated Water Extraction Index

بکار گرفته می‌شود. شاخص AWEI nsh نیز شاخصی برای بهبود AWEI sh ارائه شده است که نقاطی را که با استفاده از شاخص AWEIsh قادر به حذف نیست را با استفاده از این شاخص با دقت بیشتری جدا کنیم. YANG Haibo و همکاران در سال ۲۰۱۱ به مقایسه برخی روش‌های استخراج پهنه‌های آبی شامل شاخص‌ها و روش‌های طبقه‌بندی برای مخزن سد میون استفاده نمودند در این مطالعه این روش‌ها در مقایسه با نتایج روش طبقه‌بندی نظارت شده به عنوان مرجع مورد مقایسه قرار گرفتند که NDWI و MNDWI بهترین شاخص‌ها در استخراج اطلاعات پهنه‌های آبی می‌باشند (۵).

Vivek Kumar و همکاران در سال ۲۰۱۵ جهت استخراج تغییرات سطح آب بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ در منطقه بنگلور در کشور هند از شاخص‌های ماهواره‌ای و طبقه‌بندی نظارت شده استفاده نمودند که بر اساس نتایج این مطالعه روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شاخص‌های MNDWI و WRI از دقت بیشتری برخوردار بودند (۶).

Yan Zhou و همکاران در سال ۲۰۱۷ از تعدادی از شاخص‌هایی که بطور گسترده جهت استخراج پهنه‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند در تصاویر مختلف ماهواره‌ای، برای حوضه Poyang مورد مقایسه قرار دادند که بر اساس این مطالعه الگوریتم‌های مبتنی بر شاخص NDWI استخراج شده از تصاویر Landsat 8 و Sentinel-2 بهترین نتایج را داشتند (۷).

Avinash و همکاران در سال ۲۰۱۹ از شاخص NDWI و تصاویر لندست جهت استخراج پهنه‌های آبی حوضه کریشنا بین سال‌های ۱۳۹۹ تا ۲۰۱۶ استفاده نموده است که بر اساس این مطالعه شاخص NDWI جهت تعیین سطح پهنه‌های آبی حوضه مذکور مناسب بوده است (۸).

گمشادزایی در سال ۱۳۹۴ شاخص‌های SWI^۱، NDWI^۲، AWEI^۳ و ترکیبی را جهت شناسایی پهنه‌های آبی مورد بررسی و مقایسه قرار داده است. این شاخص‌ها برای دریاچه چیتگر، تالاب هامون و میانکاله محاسبه گردید که با توجه به میزان دقت کلی و میزان خطای کاپا محاسبه شده برای هر سه محدوده مطالعاتی، شاخص SWI دارای بهترین عملکرد از نظر دقت پردازش بوده است. در محاسبه این شاخص از ۶ باند مرئی و مادون قرمز تصاویر ۸ و ۵ Landsat استفاده شده است (۹).

خسرویان و همکاران در سال ۱۳۹۶ از ۶ شاخص ماهواره‌ای جهت ارزیابی تغییرات سطح دریاچه پریشان بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴ استفاده نمودند این شاخص‌ها شامل NDWI، AWEI، MNDWI، SAVI و NDVI بودند که با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعات شاخص‌های NDWI و NDVI بهترین نتایج را داشته‌اند (۱۰). بر اساس مجموعه مطالعات انجام شده جهت بکارگیری سنجش از دور به منظور تعیین مساحت پهنه‌های آبی برمی‌آید استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای می‌تواند به عنوان روشی دقیق با سرعت بالای محاسبات مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که مجموعه نتایج به دست آمده برمی‌آید شاخص‌های مختلف در مناطق مختلف و با توجه به وضعیت پهنه آبی مورد مطالعه کارایی متفاوتی از خود نشان می‌دهند لذا لازم است برای گستره‌های آبی مختلف و با توجه به شرایط آن‌ها مناسب‌ترین شاخص‌ها بطور خاص تعیین گردند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

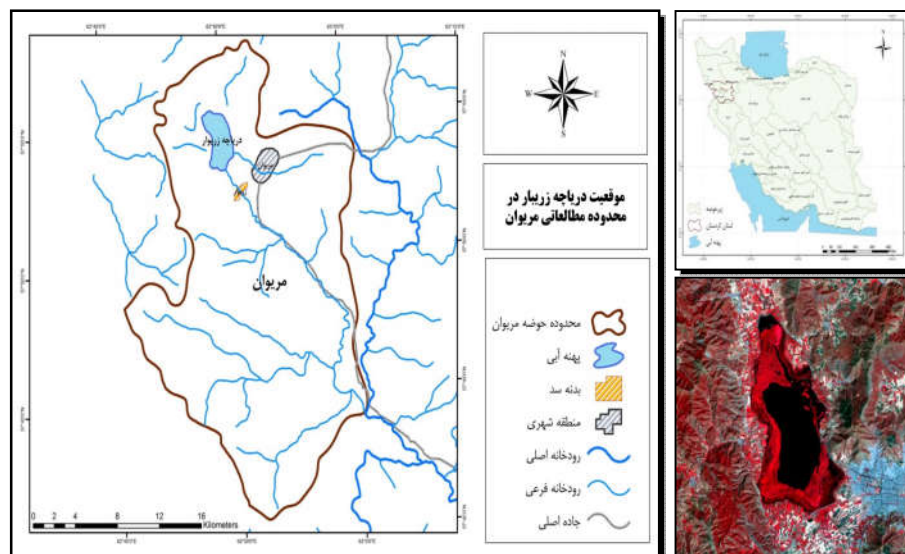
دریاچه زریبار با حدود ۲۰۰۰ هکتار مساحت و در فاصله ۳ کیلومتری غرب شهر مریوان، در استان کردستان واقع شده و از مکان‌های دیدنی و گردشگری این استان است. دریاچه زریبار در طول جغرافیایی ۴۶°۸' و عرض جغرافیایی ۳۵°۳۲' و ارتفاع ۱۲۸۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است. طول تالاب ۵ کیلومتر و عرض آن ۱/۶ کیلومتر می‌باشد. حجم تقریبی آب دریاچه حدود ۴۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است. این دریاچه در محدوده مطالعاتی مریوان واقع در حوضه اصلی مرزی غرب با کد ۲۱۰۹ قرار دارد. محدوده مطالعاتی مریوان با وسعت ۴۹۴/۷۰ کیلومترمربع که ۱۱۰/۵۰ کیلومترمربع آن دشت به همراه تالاب زریبار و نیزارهای اطراف آن بوده و ۳۸۴/۲۰ کیلومترمربع آن ارتفاعات منطقه را شامل می‌شود. محیط حوضه

1 Surface Wetness Index

2 Normalized Difference Water Index of McFeeters

3 Extraction Water Index

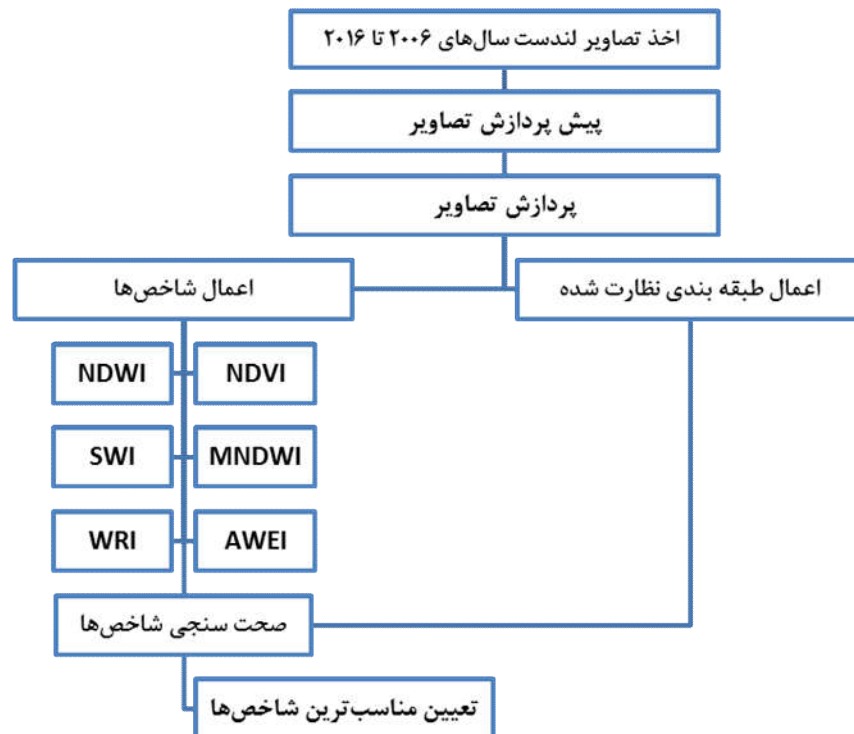
معادل ۱۱۲/۲ کیلومتر و شیب متوسط حوضه معادل ۲۴/۲ درصد است. حداکثر ارتفاع حوضه معادل ۲۶۳/۵ متر و حداقل ارتفاع معادل ۱۱۲/۵ متر می‌باشد. (۱۱).



شکل ۱: موقعیت تالاب زریبار

روش تحقیق

جهت تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های ماهواره‌ای در استخراج مساحت پهنه آبی تالاب زیربار مطابق شکل ۲ مراحل ذیل طی شده است. در گام نخست این مطالعه اقدام به انتخاب و اخذ تصاویر گردید بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ شمسی معادل با ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ میلادی تصاویر ماهواره لندست انتخاب گردید. پس از انجام پیش‌پردازش‌های معمول که در ادامه به تفصیل ذکر خواهد شد، پردازش بر روی تصاویر در دو بخش استخراج مساحت با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و اجرای شاخص‌ها بر روی تصاویر انجام شده است. به منظور نشان دادن میزان صحت و دقت شاخص‌ها از خطای جذر میانگین مربعات یا خطای جذر میانگین مربع‌ها (RMSE) که تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد و برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده مورد استفاده قرار می‌گیرد و میانگین خطای مطلق (MAE) که اندازه‌گیری تفاوت بین دو متغیر پیوسته است که برای مقایسه یک روش اندازه‌گیری با یک روش جایگزین اندازه‌گیری استفاده می‌شود و ضریب همبستگی که برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده شده است. لذا در ابتدا پیش‌پردازش تصاویر ماهواره لندست انجام گرفته و در مرحله بعدی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال بر روی تصاویر اعمال و در گام بعدی شاخص‌ها بر روی تصاویر Landsat 5, 7, 8 با تفکیک مکانی ۳۰ متر اعمال و مساحت استخراج شده توسط شاخص‌ها در تصاویر مختلف با روش مبنا مقایسه و صحت‌سنجی گردید و مناسب‌ترین آن‌ها شده است.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام تحقیق

تصاویر اخذ شده

تصاویر ماهواره Landsat 8 سنجنده OLI و ماهواره‌های Landsat 5,7 سنجنده TM, ETM از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ مورد استفاده قرار گرفته است. سعی بر آن شده است تصاویر مورد استفاده در دوره زمانی این مطالعه برای هر سال در فصول کم آبی و پربابی انتخاب گردند (تصاویر سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ این سنجنده قابل استفاده نیستند) تاریخ اخذ تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- تاریخ اخذ تصاویر مورد استفاده

Satelite	Sensor	تاریخ	Satelite	Sensor	تاریخ	Resoulotion
		۸۵/۴/۳۱				
		۸۵/۵/۱۶				
		۸۶/۰۲/۱۷				
		۸۶/۰۳/۰۲			۹۲/۰۵/۲۰	
		۸۶/۰۵/۰۴			۹۲/۱۰/۲۸	
		۸۶/۰۵/۲۰			۹۳/۰۵/۲۲	
		۸۶/۰۶/۰۵			۹۳/۱۱/۱۸	
		۸۸/۰۵/۰۹			۹۴/۰۳/۲۴	
Landsat 7,5	TM/E TM	۸۸/۰۵/۲۵	Landsat 8	OLI	۹۴/۰۴/۰۹	30m
		۸۸/۱۱/۰۳			۹۴/۰۵/۲۶	
		۸۸/۰۸/۱۶			۹۵/۰۲/۲۶	
		۸۹/۰۳/۱۳			۹۵/۰۴/۱۲	
		۸۹/۱۰/۰۳			۹۵/۰۴/۲۸	
		۹۰/۰۱/۲۷			۹۵/۰۶/۰۹	
		۹۰/۰۴/۳۰				
		۹۰/۰۵/۳۱				

شاخص‌های ماهواره‌ای

در مطالعه حاضر ۶ شاخص مرسوم در مطالعات انجام شده در استخراج پهنه‌های آبی، در محدوده دریاچه زربار مورد مقایسه قرار گرفته‌اند این شاخص‌ها به شرح ذیل هستند:

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی^۱ NDVI

شاخص پوشش گیاهی برای تشخیص سلامتی، شادابی و همچنین تراکم پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص پوشش گیاهی برای نمایش توده حیاتی (بیوماس) پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب بوده و همچنین در ارتباط با مسائل مرتبط با پوشش گیاهی از این شاخص استفاده می‌گردد و در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد. این شاخص همان‌طور که از نام آن پیداست دارای مقادیر نرمال می‌باشد یعنی دارای قدر مطلق مساوی و یا کمتر از یک می‌باشد و

1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

مقدار آن بین $[-1, +1]$ است (۱۲) این شاخص گیاهی از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی شناخته شده تا کنون می‌باشد فرمول این شاخص عبارت است از:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

شاخص آب تفاضلی نرمال شده NDWI^۱

شاخصی برای استخراج پهنه‌های آبی در تصاویر ماهواره‌ای که از دو باند GREEN و NIR^۲ برای محاسبه این شاخص استفاده می‌نماید. مقادیر محاسبه شده برای پهنه‌های آبی بزرگ‌تر از صفر می‌باشند و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد. (۱۳).

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \quad (2)$$

شاخص اصلاحی آب تفاضلی نرمال شده MNDWI^۳

شاخص NDWI اصلاح شده که مزیت این شاخص نسبت به شاخص NDWI این بود که مناطق ساخت‌وساز شده را به خوبی پوشش گیاهی و خاک تفکیک می‌نماید. در این شاخص اصلاح شده به جای باند NIR از باند MIR^۴ استفاده می‌شود. (۳)

$$MNDWI = (GREEN - MIR) / (GREEN + MIR) \quad (3)$$

شاخص اتوماتیک جداسازی آب^۵ (AWEI)

کاربرد اصلی این شاخص جداسازی پیکسل‌های آب و غیر آب از یکدیگر با استفاده از تفاضل باندها و استفاده از ضرایب مختلف است. از پنج باند برای جداسازی آب و سایر سطوح تیره استفاده شده است. این شاخص بر جداسازی پیکسل‌های آبی از سایر پیکسل‌های تاریک همانند سایه و مناطق ساخت و ساز شده می‌باشد. مقادیر بالای صفر آب بوده و مقادیر پایین‌تر غیر آب هستند. (۴).

$$AWEI = 4 * (GREEN - MIR) - (0.25 * NIR + 2.75 * SWIR) \quad (4)$$

شاخص رطوبت سطح SWI^۶

شاخص رطوبت سطح دارای بیشترین مقادیر برای پهنه‌های آبی و کمترین مقادیر برای زمین‌های خشک، صخره‌ای، بایر و شنی است. این شاخص مناطق را به دو کلاس آب و غیر آب تقسیم می‌کند (۱۴).

$$SWI = (0.2626 * BLUE) + (0.0926 * RED) + (-0.0656 * NIR) + (0.2141 * GREEN) + (-0.7629 * MIR) + (-0.5388 * SWIR) \quad (5)$$

1 Normalized Difference Water Index (NDWI)

2 Near Infra-Red

3 Modified Normalized Difference water Index (MNDWI)

4 Middle InfraRed

5 Automated Water Extraction Index

6 Surface wetness index

شاخص نسبی آب WRI^۱

این شاخص نسبت کل بازتابش باندهای قرمز و سبز به باندهای مادون قرمز میانی و نزدیک است. مقادیر بزرگتر از ۱ آب می باشند. (۱۵).

$$WRI = (GREEN + RED) / (NIR + MIR) \quad (۶)$$

در جدول شماره ۲ روش محاسبه هریک از شاخص‌ها و حد آستانه استاندارد هریک از شاخص‌ها در تعیین پهنه‌های آبی آمده است

جدول ۲- روش محاسبه و حد آستانه استاندارد شاخص‌ها

ردیف	عنوان شاخص	فرمول محاسبه شاخص	ملاحظات
۱	NDWI	$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$	مقادیر مثبت در پهنه های آبی
۲	SWI	$SWI = ((BLUE * 0.2626) + (GREEN * 0.2141) + (RED * 0.0926) + (NIR * -0.0656) + (MIR * -0.7629) + (SWIR * -0.5388))$	مقادیر مثبت در پهنه های آبی
۳	MNDWI	$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$	مقادیر مثبت در پهنه های آبی
۴	WRI	$WRI = (Green + Red) / (NIR + MIR)$	مقادیر بزرگتر از ۱ در پهنه های آبی
۵	NDVI	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	مقادیر منفی در پهنه های آبی
۶	AWEI	$AWEI = 4 * (Green - Mir) - (0.25 * NIR + 2.75 * SWIR)$	مقادیر مثبت در پهنه های آبی

پردازش تصاویر و ارزیابی شاخص

تصاویر خام ماهواره‌ای، معمولاً دارای انحرافات نسبت به پلت فرم، سنسور، جو و زمین هستند و این انحرافات و جابجایی‌ها باید قبل از پردازش و تهیه خروجی از تصاویر اصلاح شوند. به دلیل تفاوت در ویژگی سنجنده‌ها، شرایط جوی، زاویه خورشید و زاویه مشاهده سنسور، دستیابی به سازگاری رادیومتری در میان مجموعه داده‌های سنجش از دور مشکل است (۱۶). این عوامل باعث بروز خطای رادیومتریکی می‌شود. این خطاها به دو دسته تقسیم می‌شوند، یکی خطاهای دستگاهی که بر اثر نقص در سنجنده یا ایستگاه گیرنده به وجود می‌آیند و دیگری خطاهای اتمسفریک که بر اثر فعل و انفعالات فوتون‌ها و به توسط مولکول‌ها و ذرات معلق گرد و غبار در اتمسفر زمین ایجاد می‌شوند. برای اینکه مجموعه داده‌های مختلف، قابل مقایسه با هم باشند، نیاز به اعمال تصحیح رادیومتریکی بر روی آنان است (۱۷). تصحیحات رادیومتریکی باعث بهبود کیفیت رادیومتری تصاویر، افزایش وضوح و در نتیجه افزایش اطلاعات قابل استخراج از تصاویر می‌شوند.

به نسبت کل مقدار نوری که از یک سطح انعکاس یافته است به بخشی از مقدار نور تابیده شده بر روی آن سطح، بازتابندگی^۲ گفته می‌شود. به عبارت دیگر بخشی از کل انرژی تابش شده بر روی سطح است که منعکس شده است و مقدار آن با توجه به توزیع طول موج تابشی، متفاوت است. بازتابندگی از سطح یک جسم، درواقع بیانگر اثربخشی آن جسم، در انعکاس انرژی تابشی است. تبدیل مقدار عددی تصاویر ماهواره‌ای به درجه بازتابندگی، یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریکی تصاویر است که طی این مرحله، مقادیر عددی تصاویر ماهواره‌ای به عددهای مابین ۰ تا ۱ تبدیل می‌شوند. در صورتی که پارامترهای ضریب جابجایی^۳ و افزایش^۴ مقدار تابش خورشید، ارتفاع خورشید و زمان اخذ تصویر در متادیتا

1 Water Ratio Index

2 Reflectance

3 offset

4 Gain

موجود باشد، دسترسی به این مقدار عددی بازتابندگی امکان پذیر است. مقدار بازتابندگی برای ماهواره‌های Landsat 5 و Landsat 7 با استفاده از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d_2}{ESUN_{\lambda} \sin \theta} \quad (7)$$

در این رابطه، L_{λ} مقدار تابندگی طیفی (رادیانس) در واحد $d, W/(m^2 * sr * \mu m)$ فاصله زمین تا خورشید در واحد نجومی، $ESUN_{\lambda}$ تابش خورشید در واحد $W/(m^2 * \mu m)$ و θ ارتفاع خورشید به درجه است. در گام نخست تبدیل مقادیر عددی تصاویر به مقادیر بازتابندگی به عنوان تصحیح رادیومتریک تصاویر انجام و پس از انجام پیش پردازش در گام بعدی مقادیر مساحت تالاب زیربار با استفاده از تکنیک‌های متداول سنجش از دوری استخراج گردید.

جهت تعیین مساحت گستره‌های آبی روش‌های مختلفی وجود دارد که روش‌های طبقه‌بندی و استفاده از شاخص‌ها معمول‌ترین این روش‌ها می‌باشد. یکی از متداول‌ترین روش‌های استخراج گستره‌های آبی طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد. در این مطالعه الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای اندازه‌گیری تغییر در پهنه آبی مورد استفاده قرار گرفت. روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، یکی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده است که بهترین الگوی پیشنهادی می‌باشد (۶). دسته‌بندی پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای برای نمایش ویژگی‌های پوشش یا کاربری زمین را طبقه‌بندی می‌گویند که در طبقه‌بندی تصویر، از اطلاعات بازتابندگی تک‌تک پیکسل‌ها استفاده می‌شود (در روش‌های پیکسل‌مبنا). در واقع طبقه‌بندی تصاویر، به معنای برچسب‌گذاری پیکسل‌ها با استفاده از اطلاعات معنی‌دار در جهان واقعی است. روش‌های طبقه‌بندی به دو دسته کلی طبقه‌بندی نظارت نشده^۱ و نظارت شده^۲ تقسیم می‌شوند. در روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است از نمونه‌های آموزشی به‌عنوان کلیدی که نشان‌دهنده اثر طیفی مربوط به یک عارضه خاص و مورد نظر کاربر است، جهت طبقه‌بندی تصاویر استفاده می‌شود. این روش‌ها، با توجه به دانش اولیه کاربر از کلاس‌های پوشش سطح زمین و تحلیل‌های آماری این کلاس‌ها، بر روی تصاویر چند بانندی اجرا می‌شوند. روش‌های طبقه‌بندی فقط به اطلاعات طیفی تصاویر بستگی دارد و تنها بالارزش نوری هر پیکسل در ارتباط است. جهت انجام این نوع طبقه‌بندی در ابتدا به پیکسل‌های آموزشی یا همان پیکسل‌های معلوم وجود دارد. این پیکسل‌ها، برای هر کلاس می‌بایست بطور جداگانه تعریف گردند. در این روش طبقه‌بندی، نمونه‌های آموزشی باید بر اساس محدوده‌های مکانی همگن تعیین گردند. (محدوده همگن محدوده‌ای است که پیکسل‌های آن فقط نشان‌دهنده یکی از عوارض سطح زمین باشند (خاک، آب، پوشش گیاهی، نمک، ابر، سایه). بدین ترتیب که نمونه‌ها بر روی تصاویر فقط در محدوده همگن هر کاربری انتخاب می‌شوند. بردار میانگین و ماتریس کوواریانس کلاس‌ها با استفاده از الگوی آموزشی انتخاب شده از نمونه‌های شناخته شده از هر کلاس خاص، تخمین زده می‌شود. در این روش با فرض توزیع آماری نرمال هر کلاس در هر باند، احتمال تعلق یک پیکسل به یک کلاس، محاسبه می‌شود. تا زمانی که یک دامنه برای احتمالات در نظر گرفته نشود، تمام پیکسل‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. هر پیکسل به کلاسی تعلق می‌گیرد که بیشترین احتمال را داراست. اگر بزرگ‌ترین احتمال از دامنه‌ای که تعریف شده، کوچک‌تر باشد، آن پیکسل بدون طبقه‌بندی باقی می‌ماند.

در نرم‌افزار ENVI، برای اجرای این نوع طبقه‌بندی روی هر پیکسل در تصویر رابطه ۸ اعمال می‌شود.

$$g_i(X) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |\sum_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \sum_i^{-1} (x - m_i) \quad (8)$$

در این رابطه، i کلاس‌ها، x داده‌های n بعدی و n تعداد باندهاست. $p(w_i)$ احتمال وجود کلاس w_i در تصویر است که این احتمال برای تمام کلاس‌ها یکسان در نظر گرفته شده است،

1 Unsupervised

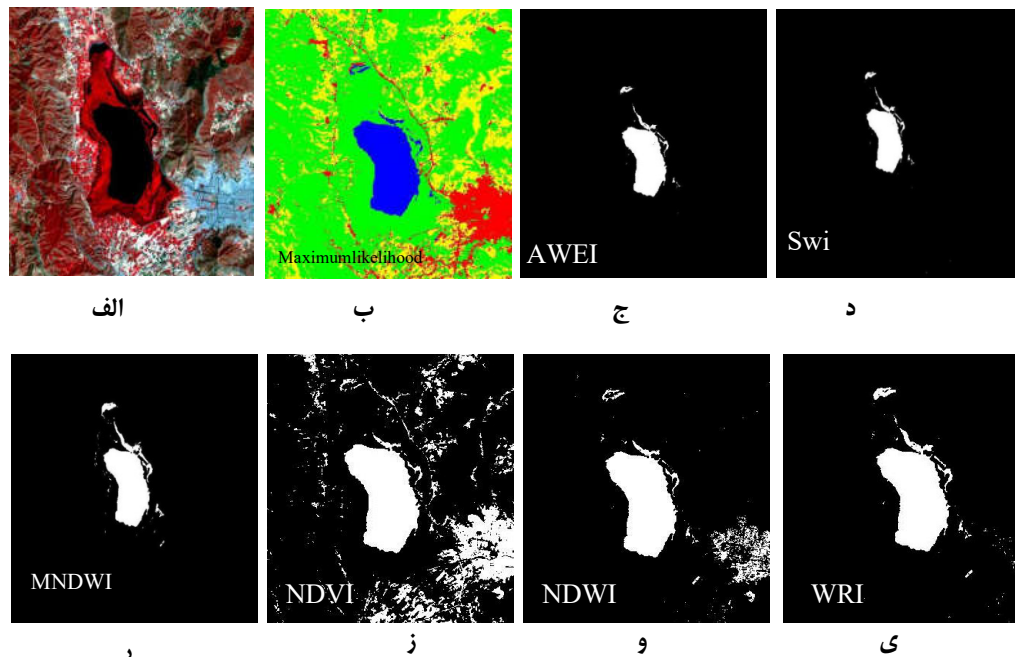
2 Supervised

$|\Sigma_i|$ حد ماتریس کوواریانس داده‌ها در کلاس ω_i ، Σ_i^{-1} معکوس ماتریس کوواریانس و m_i یک کلاس خاص است. طبقه‌بندی حداکثر احتمال بر روی تمامی تصاویر Landsat اعمال و مساحت دریاچه برای هریک از تصاویر استخراج گردید. بر اساس مطالعات پیشین و بررسی عملکرد این روش طبقه‌بندی در استخراج پهنه‌های آبی (۱۸، ۶ و ۵) این روش به عنوان روش مرجع جهت تعیین بهترین شاخص در مطالعات حاضر مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص‌های مورد بررسی شامل NDVI، NDWI، MNDWI، SWI، AWEI و WRI هستند که با روش مبنا مورد صحت سنجی قرار گرفته‌اند. این شاخص‌ها برای تصاویر ماهواره‌ای اعمال و جهت تعیین میزان صحت نتایج به دست آمده، مقادیر شاخص‌ها با مقادیر استخراج شده از روش طبقه‌بندی به عنوان روش مرجع در این مطالعات مقایسه شد. جهت تعیین میزان صحت و دقت هر یک از شاخص‌ها در گام نخست و تعیین بهترین شاخص جهت تعیین مساحت تالاب، مقادیر جذر میانگین مربعات^۱ (RMSE) میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) و مقادیر همبستگی میان شاخص‌ها و روش مرجع تعیین و در نهایت مناسب‌ترین شاخص تعیین گردید.

یافته‌ها

ارزیابی شاخص‌ها

همانطور که در روش تحقیق ذکر گردید در ابتدا با استفاده از روش طبقه‌بندی مقادیر مساحت پهنه آبی تالاب در هریک از تصاویر تعیین گردید. همانطور که در بخش انتخاب نمونه‌های آموزشی ذکر گردید با توجه به اینکه بخشی از تالاب به‌طور مستقیم تحت تاثیر جریان‌های فصلی ورودی از بالای تالاب می‌باشد لذا در انتخاب نمونه‌های آموزشی سعی بر آن شد تا نمونه‌های آموزشی از نقاط دارای عمق کمتر که تحت تاثیر جریان‌های فصلی هستند نیز تحت عنوان کلاس آب انتخاب شوند. در شکل شماره ۳ ب نمونه‌ای از نقشه طبقه‌بندی تالاب زیربار در آگوست ۲۰۱۶ نشان داده شده است. در شکل شماره ۳ ج تا ی نیز میزان مساحت برآورد شده توسط هریک از شاخص‌ها برای تصویر آگوست ۲۰۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۳- مقایسه مقادیر شاخص‌ها و طبقه‌بندی تصویر دریاچه زیربار در تاریخ ۳۰ آگوست ۲۰۱۶

^۱ - Root-mean-square error

^۲- Mean absolute error

جهت افزایش میزان دقت شاخص‌ها سعی بر آن شده است تا برای هر تصویر مقادیر حد آستانه شاخص‌ها با استفاده از روش هیستوگرام و بصری تعیین گردید تا مقادیر شاخص‌ها بهبود یابند. در گام بعدی این مطالعه سعی بر آن شده است تا بهترین و نزدیک‌ترین شاخص‌ها انتخاب و صحت سنجی گردند. در جدول شماره ۳ مقادیر مساحت به دست آمده از هریک از شاخص‌ها و مقادیر به دست آمده از روش طبقه‌بندی تصاویر ارائه شده است. از میان شاخص‌های ماهواره‌ای به کار رفته در این مطالعه تمامی شاخص‌ها به جز شاخص WRI نتایجی نزدیک به مقادیر طبقه‌بندی نشان داده‌اند. در خروجی‌های شاخص NDVI پهنه آبی تفکیک شده به وسیله این شاخص به علت پوشش گیاهی موجود بر روی سطح دریاچه تا حدودی با پوشش گیاهی اطراف دریاچه اختلاط داشته لذا در تفکیک پهنه آبی و پوشش گیاهی در انتخاب حد آستانه لازم است با دقت بیشتری عمل گردد تا از اختلاط این دو پوشش جلوگیری شود. لازم به ذکر است مقادیر آستانه‌های اعمال شده در فصول کم آبی و پرآبی تالاب از روند یکسانی پیروی می‌نمایند. همان‌طور که از نمودارهای شکل ۴ برمی‌آید مقادیر به دست آمده از تمامی شاخص‌ها به جز شاخص WRI از همبستگی مناسبی با مقادیر به دست آمده از روش مرجع دارند و با توجه به کوچک بودن مساحت تالاب می‌توان از این شاخص‌ها جهت پایش مستمر پهنه تالاب زیربار استفاده نمود.

جدول ۳- مقادیر مساحت تالاب زیربار با استفاده از روش طبقه‌بندی و شاخص‌های ماهواره‌ای (هکتار)

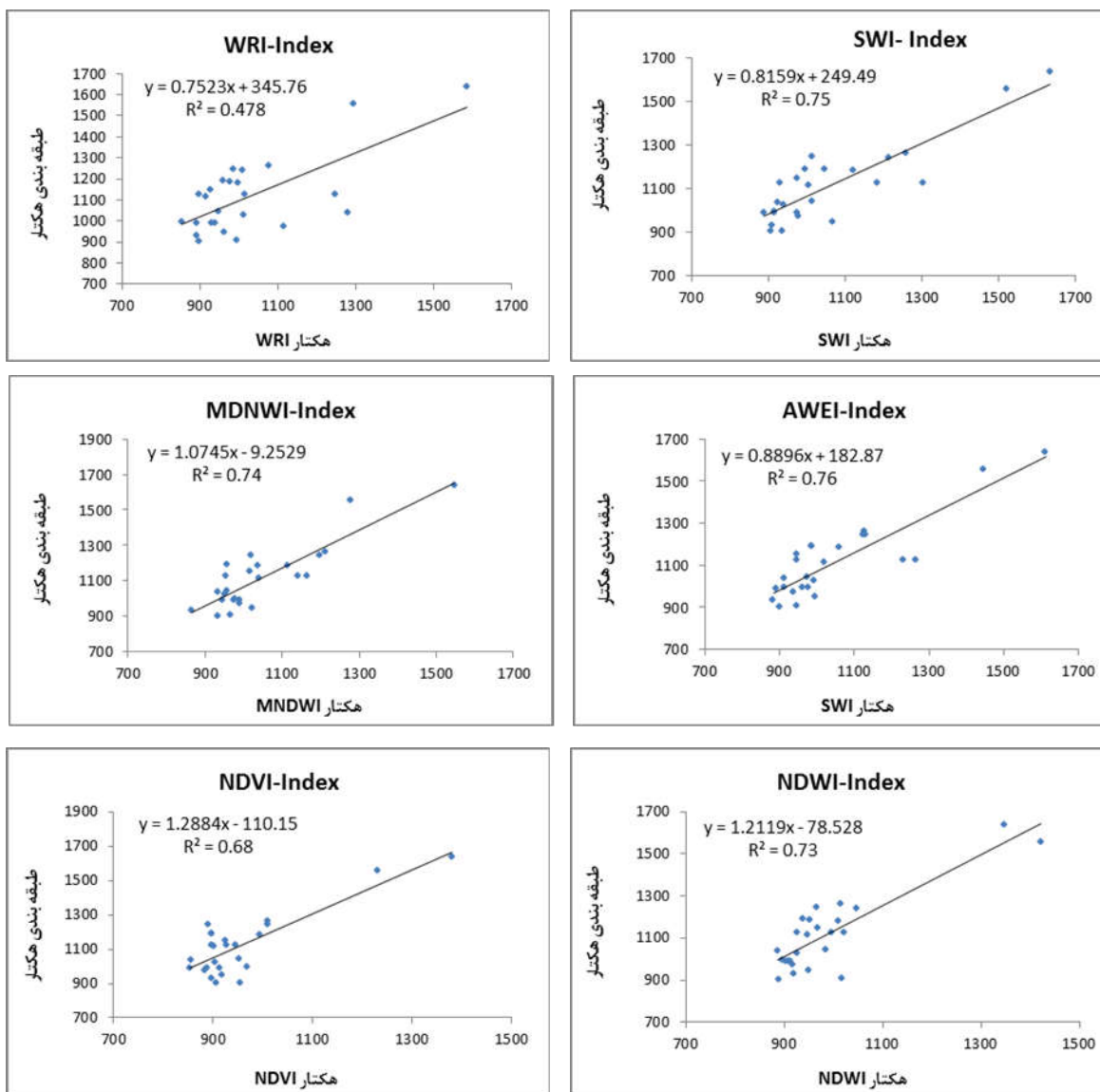
MNDWI	WRI	AWEI	SWI	NDWI	NDVI	طبقه بندی	تاریخ
۱۱۴۰	۱۲۴۷	۱۲۶۸	۱۳۰۲	۹۹۴	۹۴۶	۱۱۲۵/۴۵	۸۵/۵/۱۶
۱۲۷۶	۱۲۹۵	۱۴۴۸	۱۵۱۹	۱۴۲۰	۱۲۳۱	۱۵۵۷/۲۷	۸۶/۲/۱۷
۱۵۴۷	۱۵۸۵	۱۶۱۳	۱۶۳۳	۱۳۴۷	۱۳۷۹	۱۶۳۸/۹	۸۶/۳/۲
۱۱۹۷	۱۰۰۸	۱۱۲۶	۱۲۱۲	۱۰۴۸	۱۱۰	۱۲۴۲/۶۳	۸۶/۵/۴
۱۲۱۲	۱۰۷۷	۱۱۳۱	۱۲۵۹	۱۰۱۴	۱۰۰۹	۱۲۶۲/۶۱	۸۶/۵/۲۰
۱۱۱۶	۹۹۸	۱۰۶۳	۱۱۲۱	۱۰۰۹	۹۹۵	۱۱۸۳/۴۱	۸۶/۶/۵
۹۷۵	۸۹۱	۸۹۵	۸۸۹	۹۱۱	۸۵۴	۹۹۰/۰۹	۸۸/۵/۹
۹۳۲	۱۲۷۹	۹۱۴	۹۲۴	۸۸۶	۸۵۵	۱۰۳۸/۱۵	۸۸/۵/۲۵
۹۶۷	۹۹۵	۹۵۰	۹۳۴	۱۰۱۶	۹۵۵	۹۰۶/۶۶	۸۸/۱۱/۳
۱۰۳۹	۹۱۶	۱۰۲۲	۱۰۰۵	۹۴۶	۹۰۲	۱۱۱۴/۲	۸۹/۳/۱۰
۹۹۰	۱۱۱۶	۹۴۱	۹۷۷	۹۱۶	۸۸۴	۹۷۵/۱۵	۸۹/۵/۲۷
۹۳۴	۸۹۸	۹۰۳	۹۰۷	۸۸۹	۹۰۵	۹۰۳/۷۸	۸۹/۸/۱۶
۸۶۶	۸۹۲	۸۸۵	۹۱۰	۹۱۸	۸۹۷	۹۳۳/۱۲	۸۹/۱۰/۳
۱۰۲۲	۹۶۲	۹۹۶	۱۰۶۶	۹۴۸	۹۱۷	۹۴۸/۸۷	۹۰/۴/۳۰
۹۷۸	۸۵۳	۹۷۹	۹۱۵	۸۹۶	۹۶۷	۹۹۷/۰۲	۹۰/۵/۳۱
۹۵۷	۹۶۰	۹۹۰	۹۹۵	۹۳۷	۸۹۸	۱۱۹۲/۹۵	۹۲/۴/۱۹
۹۵۳	۸۹۸	۹۴۸	۹۳۰	۹۲۶	۸۹۷	۱۱۲۷/۰۷	۹۲/۵/۲۰
۱۰۳۸	۹۷۷	۹۹۰	۱۰۴۶	۹۵۱	۸۹۸	۱۱۸۸/۰۹	۹۲/۶/۵
۹۵۷	۹۴۸	۹۷۷	۱۰۱۴	۹۷۴	۹۵۳	۱۰۴۴/۹	۹۲/۱۰/۲۸
۹۵۲	۱۰۱۳	۹۹۵	۹۳۸	۹۲۵	۹۰۳	۱۰۲۶/۷۲	۹۳/۵/۲۲
۱۱۶۴	۱۰۱۵	۱۲۳۳	۱۱۸۳	۱۰۲۲	۹۲۷	۱۱۲۶/۱۷	۹۴/۳/۲۴
۱۰۱۹	۹۸۶	۱۱۳۳	۱۰۱۴	۹۶۶	۸۹۱	۱۲۴۵/۹۶	۹۴/۴/۹
۹۴۷	۹۳۸	۹۱۵	۹۱۴	۹۰۳	۸۸۷	۹۹۲/۷۹	۹۶/۵/۲۶
۱۰۱۷	۹۲۸	۹۴۸	۹۷۵	۹۶۷	۹۲۳	۱۱۵۰/۷۴	۹۵/۴/۲۸
۹۹۰	۹۲۹	۹۶۵	۹۷۳	۹۰۶	۹۱۳	۹۹۱/۸	۹۵/۶/۱۴

جهت صحت سنجی مقادیر شاخص‌های به دست آمده و تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها مقادیر RMSE و MAE و میزان همبستگی مقادیر آن‌ها در مقایسه با روش طبقه‌بندی به‌عنوان روش مرجع تعیین گردید. مقادیر RMSE و MAE و میزان همبستگی شاخص‌ها در جدول شماره ۴ ارائه شده است بر اساس نتایج به دست آمده سه شاخص AWEI، SWI و MNDWI با بیشترین مقدار همبستگی به ترتیب معادل ۰/۷۶، ۰/۷۶ و ۰/۷۴ و کمترین مقادیر خطای RMSE به ترتیب برای هر شاخص معادل ۱۰۸/۸۰، ۱۱۱/۳۰ و ۱۱۳۰/۸۰ هکتار و مقادیر خطای MAE معادل ۸۴/۶۳ و ۹۴/۲۸ و ۸۷/۳۰ هکتار مناسب‌ترین شاخص‌ها در استخراج مساحت پهنه آبی تالاب زیربار شناخته شده است. دو شاخص NDVI و NDWI با مقادیر همبستگی معادل ۰/۶۸ و ۰/۷۴ و میزان خطای RMSE معادل ۱۹۵/۳۱ و ۱۶۱/۲۸ هکتار و میزان خطای MAE به ترتیب معادل ۱۶۸/۳۰ و ۱۳۹/۱۰ هکتار بعد از سه شاخص ذکر شده قرار گرفته‌اند. شکل شماره ۳ نمونه‌ای از تصاویر استخراج شده از تالاب با استفاده از روش طبقه‌بندی و اعمال شاخص‌ها در تاریخ ۳۰ آگوست ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده است در مقایسه شاخص‌ها، SWI، AWEI و MNDWI شباهت بیشتری با تصویر ماهواره‌ای و تصویر طبقه‌بندی شده در آن تاریخ دارند. همچنین در شکل شماره ۴ نمودار همبستگی هریک از شاخص‌های مورد بررسی و روش مبنا نشان داده شده است.

بر اساس نمودارهای شکل شماره ۴ بیشترین میزان ضریب تبیین بین سطح به دست آمده از روش مبنا و شاخص‌های ماهواره‌ای مربوط به شاخص SWI می‌باشد که دارای ضریب تبیین ۰/۷۶ است. این شاخص از ترکیب باندهای آبی، قرمز، سبز، مادون قرمز نزدیک، میانه و دور استفاده می‌کند که این باندها طول موج ۰/۴۵ تا ۲/۱۶ میکرومتر بازتابش می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که کمترین ضریب تبیین مربوط به شاخص WRI است که به مقدار ۰/۴۸ می‌باشد.

جدول ۴- مقادیر RMSE و MAE و همبستگی شاخص‌ها

شاخص	RMSE(ha)	MAE(ha)	R ²
NDVI	۱۹۵/۳۱	۱۶۸/۳۰	۰/۶۸
NDWI	۱۶۱/۲۹	۱۳۹/۱۰	۰/۷۴
MNDWI	۱۱۳/۸۰	۸۷/۳۰	۰/۷۴
SWI	۱۰۸/۸۰	۸۴/۶۳	۰/۷۶
WRI	۱۶۳/۱۰	۱۴۰/۴۴	۰/۴۸
AWEI	۱۱/۳۰	۹۴/۲۸	۰/۷۶



شکل ۴- نمودار همبستگی شاخص‌های منتخب و روش طبقه‌بندی

اولویت‌بندی شاخص‌های گیاهی منتخب

همانطور که به تفصیل در بخش قبل توضیح داده شد بر اساس سه آماره RMSE، MAE و مقادیر ضریب همبستگی R^2 صحت سنجی شاخص‌ها انجام گرفته و شاخص‌های منتخب بر اساس این صحت سنجی انتخاب گردید بر اساس جدول شماره ۵ شاخص‌ها با استفاده از این آماره‌ها اولویت‌بندی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده شاخص‌های SWI و AWEI با توجه به حداکثر مقدار ضریب تبیین و کم بودن میزان خطا نسبت به سایر شاخص‌های ماهواره‌ای مناسب تشخیص داده شدند.

جدول ۵- اولویت‌بندی شاخص‌ها

شاخص	RMSE(ha)	MAE(ha)	R ²
SWI	۱۰۸/۸۰	۸۴/۶۳	۰/۷۶
AWEI	۱۱۱/۳۰	۹۴/۲۸	۰/۷۶
MNDWI	۱۱۳/۸۰	۸۷/۳۰	۰/۷۴
NDWI	۱۶۱/۲۹	۱۳۹/۱۰	۰/۷۴
NDVI	۱۹۵/۳۱	۱۶۸/۳۰	۰/۶۸
WRI	۱۶۳/۱۰	۱۴۰/۴۴	۰/۴۸

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه تعیین بهترین شاخص جهت استخراج مساحت گستره آبی تالاب زریبار و مقایسه عملکرد شاخص‌ها در تعیین مساحت دریاچه برای تصاویر ماهواره Landsat با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌باشد. تصاویر ماهواره Landsat با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دریافت و پیش‌پردازش بر روی تصاویر اعمال گردید. در گام بعدی این مطالعات جهت تعیین مقادیر مساحت تالاب با استفاده از یک روش به عنوان روش مرجع مقایسات در این مطالعات از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال استفاده شده است با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده مساحت تالاب برای هریک از تصاویر اخذ شده در دوره زمانی ۱۱ ساله (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶) تعیین شد. روش طبقه‌بندی با توجه به سوابق مطالعات به عنوان روش مرجع مقایسه شاخص‌ها در نظر گرفته شده است. ۶ شاخص NDVI، NDWI، MNDWI، SWI، AWEI و WRI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه سنجش و ارزیابی شد. مساحت استخراج‌شده از شاخص‌ها با مقادیر به دست آمده از روش طبقه‌بندی نظارت شده بیشترین احتمال به عنوان روش مرجع مقایسه شده و صحت سنجی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده سه شاخص SWI، AWEI و MNDWI با بیشترین مقدار همبستگی به ترتیب معادل 0/76، 0/74 و 0/74 و کمترین مقادیر خطای RMSE به ترتیب برای هر شاخص معادل 108/80، 111/30 و 113/80 هکتار و مقادیر خطای MAE معادل 84/63، 94/28 و 87/30 هکتار مناسب‌ترین شاخص‌ها در استخراج مساحت پهنه آبی تالاب زریبار شناخته شده است. دو شاخص NDVI و NDWI با مقادیر همبستگی معادل 0/68 و 0/74 و میزان خطای RMSE معادل 195/31 و 161/28 هکتار و میزان خطای MAE به ترتیب معادل 168/30 و 139/10 هکتار بعد از سه شاخص ذکر شده قرار گرفته‌اند. همان‌طور که از نتایج نشان می‌دهد به جز شاخص WRI تمامی شاخص‌ها دارای عملکرد نسبتاً مناسبی در تعیین مساحت پهنه آبی تالاب زریبار بودند. در تالاب زریبار با توجه به پوشش گیاهی موجود بر روی تالاب، تشخیص پهنه آبی موجود زیر پوشش گیاهی با روش‌های اپتیکی امکان پذیر نمی‌باشد ولی میزان پوشش آبی قابل تشخیص با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در فصول مختلف با توجه به وابستگی مقادیر پهنه آبی تالاب به بارش‌های فصلی و ورودی آب زیرزمینی به تالاب متغیر بوده لذا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و وجود آرشو غنی می‌توان تغییرات مساحت تالاب را پایش نمود، پایش این تغییرات با استفاده از شاخص‌ها با توجه به سهولت و سرعت بیشتر و عدم نیاز به نمونه‌های آموزشی نسبت روش‌های طبقه‌بندی می‌تواند مورد استفاده گسترده قرار گیرند. شایان ذکر است مقادیر به دست آمده از شاخص‌ها معمولاً کمتر از میزان به دست آمده از روش طبقه‌بندی بوده که نشان دهنده این امر است که دقت شاخص‌ها در نقاط دارای عمق کم آب کمتر از میزان دقت روش‌های طبقه‌بندی است زیرا در روش طبقه‌بندی، تالاب زریبار نقاط دارای عمق کم آب نیز به عنوان نمونه آموزشی در اختیار نرم‌افزار قرار گرفته است ولی در محاسبه شاخص‌ها با تغییر میزان حد آستانه شاخص تا حدودی می‌توان میزان دقت شاخص‌ها جهت تشخیص نقاط کم‌عمق را تا حدود زیادی بهبود بخشید ولی با وجود تعیین حدود آستانه‌ها برای هر شاخص در هر تصویر همچنان شاخص‌ها در تشخیص نقاط با عمق کمتر نسبت به روش طبقه‌بندی ضعیف‌تر عمل می‌نمایند.

همانطور که از نتایج این تحقیق برمی آید شاخص های مقایسه شده بطور کلی دارای عملکرد مناسبی در تعیین سطح پهنه آبی تالاب زریبار دارند که از این بین شاخص های AWEi، SWI و MNDWI عملکرد بهتری از خود نشان داده اند. این مطالعه و مجموعه مطالعات انجام شده پیشین نشان دهنده این است که استفاده از شاخص های ماهواره ای به عنوان روشی با سرعت، دقت و کیفیت مناسب محاسبات می تواند به عنوان روشی بهینه و کارآمد جهت تعیین میزان تغییرات سطح پهنه های آبی در طول دوره های مختلف از گذشته تا حال مورد استفاده قرار گیرد که تعیین میزان و روند این تغییرات کمک شایانی در مدیریت بهینه منابع آبی ایفا می نماید

منابع

1. Du Z, Li W, Zhou D, Tian L, Ling F, Wang H, Gui Y, Sun B. Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. Remote sensing letters. 2014 Jul 3;5(7):672-81.
2. Du Y, Zhang Y, Ling F, Wang Q, Li W, Li X. Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. Remote Sensing. 2016 Apr;8(4):354.
3. Xu H. Evaluation of two absolute radiometric normalization algorithms for pre-processing of Landsat imagery. Journal of China University of Geosciences. 2006 Jun 1;17(2):146-57.
4. Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. 2014 Jan 1;140:23-35.
5. Haibo Y, Zongmin W, Hongling Z, Yu G. Water body extraction methods study based on RS and GIS. Procedia Environmental Sciences. 2011 Jan 1;10:2619-24.
6. Gautam VK, Gaurav PK, Murugan P, Annadurai M. Assessment of surface water Dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and KT transformation. Aquatic Procedia. 2015 Jan 1;4:739-46.
7. Zhou Y, Dong J, Xiao X, Xiao T, Yang Z, Zhao G, Zou Z, Qin Y. Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. Water. 2017 Apr;9(4):256.
8. Ashtekar AS, Mohammed-Aslam MA, Moosvi AR. Utility of Normalized Difference Water Index and GIS for Mapping Surface Water Dynamics in Sub-Upper Krishna Basin. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2019 Aug 1;47(8):1431-42.
9. Gomshadzaee M. Determination of water bodies using satellite images and applying spectral indicators. 2nd national conference of water crisis in iran and middle east. 2015 [persian].
10. Khosravian m. Monitoring Parishan Lake's Water body Changes using Remote sensing indicators, journal of Hydrogeomorphology. 2016 (13): 99-120 [Persian].
11. Atlas of Water Resources, Iran Water Resources Management Company. 2011 [persian].
12. Tucker CJ. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.
13. McFeeters SK. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing. 1996 May 1;17(7):1425-32.
14. Bhagat VS, Sonawane KR. Use of Landsat ETM+ data for delineation of water bodies in hilly zones. Journal of Hydroinformatics. 2011 Oct;13(4):661-71.
15. Li W, Du Z, Ling F, Zhou D, Wang H, Gui Y, Sun B, Zhang X. A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. Remote Sensing. 2013 Nov;5(11):5530-49.

16. Du Y, Teillet PM, Cihlar J. Radiometric normalization of multi-temporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*. 2002 Sep 1;82(1):123-34.
17. Chander G, Markham BL, Helder DL. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*. 2009 May 15;113(5):893-903.
18. Nath RK, Deb SK. Water-body area extraction from high resolution satellite images-an introduction, review, and comparison. *International Journal of Image Processing (IJIP)*. 2010 Jan;3(6):265-384.

Evaluating Satellite Indicators in Determining the Level of Aquatic Areas Using Satellite Sensors (Case study: Zaribar Wetland , Kurdistan Province)

Fatemeh Javadi ¹, Dr. Sahar Rezayan², Dr. Seyed Ali Jozi ³

1-M.Sc. of Environmental Sciences, Research Fellow at Water Research Institute, Tehran

2-Associated professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Shahrood Branch

3-Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, North Tehran Branch

Abstract

Water body's survey and determination its spatial extension are contributing factors for understanding the hydrological cycle and water resources management. Recently, remote sensing technique has become a common approach for monitoring surface water resources. The main objective of this study is determination of the suitable satellite indices for extracting Zaribar wetland area using Landsat 5.7.8 satellite images. The area of the wetland is calculated by using the supervised classification method (maximum likelihood) between 2005 and 2016, and this method is considered as the basis for determining the best indices. NDVI, NDWI, MNDWI, SWI, AWEI, and WRI were compared with each other as the most common indices in determining water bodies. The values of each index in every image were extracted and the threshold values for each image were determined and finally verified by using the base method. Comparison with reference method (supervised classification) revealed that, MNDWI, AWEI, and SWI indices with correlation values of 0/76, 0/76, and 0/74, , and RMSE value of 108/80, 111/30, and 113/80 hectares, and MAE error values of 85/63, 94/28 and 87/30 hectares, respectively are the best indicators to determining water body area. Considering the easiness and rate of calculation, it is more likely that using these indicators would help us to create a time series of wetland area changes for efficient management of this water body.

Keywords: Water body, Supervised Classification Method, Landsat Satellite, Satellite Index, Zaribar Wetland

¹- E-mail: f.javadi@wri.ac.ir Tel: 09124804922