

## ارزیابی شاخص SDI، NDWI، NDMI و AWEI در استخراج خطوط ساحلی و مساحت پیکره آبی تالاب شادگان

### چکیده

تنوع زیستی، اهمیت زیست‌محیطی تالاب‌ها و نقش آن‌ها در تولید محصولات کشاورزی و صنعتی و تأثیرپذیری این اکوسیستم‌ها از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی، بررسی و ارزیابی تغییرات سطح آب تالاب‌ها حائز اهمیت است. در مطالعات اخیر، اثرات تغییر اقلیم و توسعه شتاب‌زده صنعتی و تغییر کاربری تالاب عوامل اصلی کاهش سطح آب تالاب‌ها شناخته شده‌اند. در این مطالعه تغییرات تالاب شادگان در طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های چند طیفی آب مورد ارزیابی قرار گرفته است. شاخص تفاضلی نرمال آب (NDWI)، شاخص تفاضلی بهبودیافته آب (MNDWI)، شاخص تفاضلی نرمال رطوبت (NDMI)، شاخص استخراج اتوماتیک آب (AWEI) و تصاویر دو سنجنده با دقت متوسط سنجنده TM لندست ۷ و سنجنده OLI لندست ۸ در طی یک دهه بررسی شده است. این مطالعه بر روی تالاب شادگان، یکی از تالاب‌های بین‌المللی ایران انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که دقت کلی تمام روش‌ها بین ۶۴ تا ۸۹ درصد و همچنین با روش خطای کمترین مربعات (RMSE) دقت این روش‌ها بررسی شده است. شاخص NDMI با دقت کلی ۸۹ درصد و خطای کمترین مربعات ۹۴/۵۲ حدود تالاب را به خوبی مشخص کرده است و شاخص NDWI با دقت کلی ۶۴ درصد و خطای کمترین مربعات ۱۶۵/۹۸ متر عملکرد خوبی در استخراج خطوط ساحلی نداشته است. به‌کارگیری سنجنده‌های متفاوت نشان می‌دهد که سنجنده OLI لندست ۸ نسبت به سنجنده TM لندست ۷ دقت کلی بالاتری دارد. افزایش شاخص پیشروی خط ساحلی SDI در طی یک دهه حاکی از کاهش مساحت تالاب شادگان و افزایش طول خط ساحلی می‌باشد.

واژگان کلیدی: شاخص‌های چند بانده، شادگان، تالاب، پیکره آبی.

مریم آقامیری<sup>۱</sup>

زهرا عزیزی<sup>۲\*</sup>

جلیل ایمانی هرسینی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و GIS، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. استادیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. استادیار گروه علوم محیط‌زیست و جنگل، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\*مسئول مکاتبات:

zazizi@srbiau.ac.ir

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۲۰۹۹۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

### مقدمه

پیکره‌های آبی یکی از حیاتی‌ترین منابع زمین محسوب می‌شوند. تغییر اقلیم جهانی و افزایش فعالیت‌های انسانی باعث ایجاد تغییرات بزرگی در پیکره‌های آبی سطح زمین شده است (Tao et al., 2015; Zhou et al., 2017). این تغییرات در پیکره‌های آبی به میزان قابل توجهی بر تولید محصولات کشاورزی و صنعتی (Anderson et al., 2012; Sharma et al., 2015) و همچنین امنیت محیطی و اکولوژیکی (Palmer et al., 2015; Zhou et al., 2017) تأثیر دارد. به‌علاوه، استخراج پیکره آبی از مهم‌ترین امور در مدیریت منطقه‌ای دریاچه‌های ساحلی، پایش فرسایش و تغییرات ساحلی، پیش‌بینی سیل و ارزیابی منابع آبی می‌باشد همچنین پایش زمانی سطوح آبی و بدست آوردن داده‌های دینامیک و پویای سطح آب به‌منظور پردازش‌های مدیریتی و راهبردی امری ضروری می‌باشد (Sarp and Ozcelik, 2017).



با توسعه سریع فناوری سنجش از دور در سال‌های اخیر، تهیه نقشه‌های آبی و بررسی تغییرات بر اساس تصاویر سنجش از دور ماهواره‌ای به یک رویه اصلی و مهم تبدیل شده است (Tao et al., 2015؛ Zhou et al., 2017). داده‌های سنجش از دور به یک منبع مهم برای تجزیه و تحلیل و بررسی تغییرات منابع مختلف زمینی خصوصاً منابع آبی تبدیل شده است (Bretreger et al., 2021؛ Feyisa et al., 2014). روش‌های سنجش از دوری به دلیل سطح پوشش وسیع، کم هزینه بودن و دسترسی در زمان کم و آسان مناسب‌تر از روش‌های سنتی دیگر می‌باشند (Ozturk and Sesli, 2015؛ Li et al., 2021)؛ بنابراین بکارگیری داده‌های ماهواره‌ای به صرفه و سریع می‌باشند و امکان استفاده از داده‌های موجود و آرشیوی را فراهم می‌کنند (El-Asmar, 2013). گیرنده‌های ماهواره‌ای با دقت مکانی و زمانی و طیفی مختلفی به منظور استخراج و آنالیز داده‌های مرتبط با آب‌های سطحی بکار گرفته شده است. ماهواره‌های لندست از پرکاربردترین گیرنده‌های اپتیکی در تحقیقات زیست محیطی و آب‌های سطحی می‌باشند (Feyisa et al., 2014؛ Ji et al., 2009). علاوه بر این، داده‌های ماهواره‌ای پایگاه داده خوبی برای جمع‌آوری اطلاعات مکانی خطوط ساحلی فراهم می‌کنند (Moussaid et al., 2015). تصاویر ماهواره‌ای لندست دارای آرشیوی با قدمتی بیش از سه دهه می‌باشد (Wulder et al., 2016؛ Song et al., 2022).

به طور کلی، فن‌آوری‌های طبقه‌بندی نظارت شده بر اساس تجزیه و تحلیل امضای طیفی به طور موثری می‌توانند پیکره‌های بزرگ آبی را شناسایی و تشخیص دهند ولی این روش‌ها به هنگام تهیه نقشه سریع و مجدد از پیکره‌های بزرگ آبی محدود می‌شوند (Gisha et al., 2022). همچنین در مناطقی که پیش‌زمینه پوشش زمینی آلودی پایینی دارند مانند آسفالت، ساختمان‌ها، سایه‌ها و ابرها و همچنین در تصاویر سایه‌دار به دلیل الگوی بازتاب طیفی مشابه پیکره‌های آبی باعث طبقه‌بندی نادرست می‌شود، بعلاوه این شباهت دقت استخراج سطوح آبی را کاهش می‌دهد (Sarp and Ozelik, 2017). از این رو، الگوریتم شاخص طیفی آب روشی مهم برای استخراج سریع پیکره‌های آبی بزرگ مقیاس می‌باشند و به دلیل ویژگی‌های منحصر بفرد پیکره‌های آبی در باندهای مرئی و مادون قرمز، روش شاخص طیفی آب و حد آستانه گذاری کاربرد زیادی دارد (Zhou et al., 2017؛ Serban et al., 2022). به‌طوری‌که Gautama و همکاران (۲۰۱۵) با به‌کارگیری تصاویر ETM+ لندست ۷ تغییرات پیکره آبی Bangalore در طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ با به‌کارگیری شاخص نسبی آب WRI و شاخص تفاضلی نرمال آب NDWI و شاخص تفاضلی بهبودیافته آب MNDWI و طبقه‌بندی نظارت‌شده و روش تبدیل K-T را بررسی کردند. برای هر روش یک حد آستانه مناسب برای مناطق شهری انتخاب‌شده و نتایج هر روش با داده‌های زمینی مقایسه شده‌اند. نتایج مطالعه تغییر قابل توجهی را در سطح آب در طی ۱۲ سال نشان داد. نتایج اجرای طبقه‌بندی نظارت‌شده و شاخص WRI و شاخص MNDWI تقریباً باهم تطابق دارند. Nandi و همکاران (2018) تغییرات سطحی آب دریاچه Chilika را در طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۴ را با به‌کارگیری تصاویر چند زمانه و روش شاخص‌های طیفی آب بررسی کردند. در این مطالعه شاخص‌های طیفی استخراج خودکار آب AWEI، NDWI، MNDWI بکار گرفته شده است. نتایج حاکی است که شاخص NDWI برای تفسیر گستردگی نواحی آبی همه تصاویر لندست مناسب می‌باشد، ولی شاخص‌های AWEI، MNDWI فقط برای تصاویری که دارای باند MIR هستند بکار گرفته می‌شود و شاخص MNDWI میزان سطح آب دریاچه Chilika را به‌طور کامل تخمین می‌زند. Zhou و همکاران (۲۰۱۷) شش شاخص بسیار پرکاربرد آب شامل تسلد کپ TCW، شاخص تفاضلی نرمال آب NDWI، شاخص تفاضلی بهبودیافته نرمال آب MNDWI، جمع مادون قرمز نزدیک و دو موج کوتاه مادون قرمز Sum47، شاخص استخراج خودکار آب AWEI، شاخص آب سطح زمین LSWI و همچنین سه گیرنده با وضوح متوسط Landsat 7 ETM+، Landsat 8 OLI، and Sentinel-2 MSI را برای استخراج آب‌های سطحی در حوزه دریاچه پایونگ در چین، بررسی و مقایسه کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تمام الگوریتم‌ها دارای دقت بالای ۰٫۷۷ تا ۰٫۹۲ با ضریب کاپا هستند. الگوریتم شاخص NDWI کمی بهتر از الگوریتم سایر شاخص‌های آب در منطقه مورد مطالعه عمل می‌کند که می‌تواند مربوط به خلوص آب پیکره آبی باشد، درحالی‌که حساسیت شاخص‌های آب می‌تواند برای شرایط مختلف پیکره آبی عملکرد متفاوت داشته باشد. نقشه‌های حاصل از داده‌های Landsat 8 و Sentinel-2 دارای دقت کلی بالاتری نسبت به

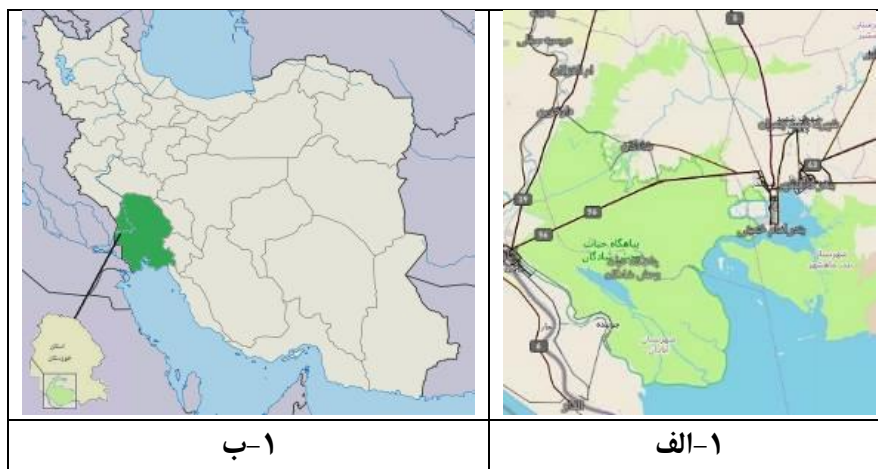
داده‌های Landsat 7 می‌باشند. به‌طور خاص، هر سه سنسور دارای دقت تولیدکننده مشابه درحالی‌که Landsat 7 نتایج دقت کاربر کمتری داشتند. در بررسی‌های انجام‌شده فقط شاخص‌های چند بانندی آب در استخراج خطوط ساحلی دریاچه‌ها بکار گرفته شده است و این شاخص‌های چند بانندی با شاخص رطوبت مقایسه نشده است و همچنین برای تشخیص حدود تالاب نیز ارزیابی نشده‌اند که در این مطالعه به بررسی و مقایسه این شاخص‌ها پرداخته شده است.

تالاب شادگان بزرگ‌ترین تالاب بین‌المللی ایران و یکی از مهم‌ترین و ارزشمندترین تالاب‌های کشور و حتی جهان می‌باشد. وسعت تالاب، طبیعی بودن آن و ورود سیلاب‌های ناشی از طغیان رودخانه جراحی به این تالاب و تأثیر جزر و مد خلیج فارس بر این تالاب، برای مطالعه در نظر گرفته شده است. همان‌طور که ذکر شد علاوه بر وسعت تالاب، متغیر بودن عمق تالاب و وجود آب‌های سطحی در تمام فصول و مهار سیلاب‌های ناشی از رودخانه‌ها و نقش مهمی که این تالاب در تنظیم ریز اقلیم منطقه (حرارت و رطوبت) ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر این تالاب ارزشمند تحت تأثیر عوامل طبیعی و عوامل غیرطبیعی و انسانی نظیر تغییر کاربری اراضی، ورود پساب‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی به درون آن، سدسازی غیر کارشناسی در بالادست رودخانه‌ی جراحی و اقداماتی از این قبیل در معرض خشک شدن و نابودی قرار گرفته است، لذا پایش و نظارت بر روند تغییرات تالاب شادگان امری ضروری به شمار می‌آید.

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی تغییرات تالاب شادگان با روش شاخص‌های چند بانندی می‌باشد؛ بنابراین، در این مطالعه از تصاویر لندست TM و OLI و روش شاخص‌های طیفی آب به‌منظور استخراج پیکره آبی استفاده شده است. همچنین الگوریتم شاخص تفاضلی نرمال شده آب NDWI و شاخص بهبودیافته تفاضلی نرمال آب MNDWI و شاخص استخراج اتوماتیک آب AWEI و شاخص تفاضلی نرمال شده رطوبت NDMI بکار گرفته شده است. روش‌های پیشنهادی بالا، در ابتدا در گیرنده خاصی آزمایش شده و دقت نتایج استخراج پیکره آبی زمانی که از گیرنده دیگری استفاده می‌شود، ممکن متفاوت باشد. تصاویر لندست TM دارای دقت طیفی و مکانی متوسطی می‌باشد و تصاویر لندست OLI به دلیل پیشرفت‌های فنی تکاملی، از باندهای بیشتر و طراحی پهنای باند بهبودیافته‌ای برخوردار است (Zhou et al., 2017).

## مواد و روش‌ها

تالاب شادگان در جنوب غرب ایران در استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). تالاب شادگان در پایین‌دست حوضه رودخانه جراحی حدفاصل شهرهای شادگان، آبادان و ماهشهر در استان خوزستان قرار دارد و از سه زیر حوضه اصلی به نام‌های مارون، الله و جراحی تشکیل شده است و در پایین‌دست، به خلیج فارس می‌پیوندد. موقعیت مکانی این تالاب  $48^{\circ}49'20''$  E و  $31^{\circ}00'30''$  N می‌باشد. مساحت این تالاب بر اساس کنوانسیون رامسر ۴۰۰۰ کیلومترمربع یا ۴۰۰ هزار هکتار می‌باشد و ارتفاع تالاب ۰ تا ۵ متر از سطح تراز دریا می‌باشد. منابع تأمین‌کننده آب تالاب شادگان رودخانه جراحی و نهر بحر می‌باشند و همچنین مسیل مالح از شمال تالاب و گاه‌گاه سرریز رودخانه کارون و جزر و مد خلیج فارس و نزولات جوی منابع دیگر تأمین‌کننده آب تالاب می‌باشند. بخش شمالی تالاب دارای آب شیرین بخش میانی آب لب‌شور و بخش جنوبی که تحت تأثیر خلیج فارس می‌باشد دارای آب شور است.



شکل ۱: موقعیت تالاب شادگان (الف) استان خوزستان، (ب) ایران.

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر، تصاویر فوریه سال ۲۰۰۸ سنجنده TM لندست ۷ و تصاویر ژانویه سال ۲۰۱۸ سنجنده OLI لندست ۸ استفاده شده است. به دلیل دقت طیفی مناسب تصاویر لندست و آرسیو این تصاویر و دسترسی آسان، تصاویر لندست از سایت USGS دانلود شد و برای بررسی دقت آنالیزها، تصویر با دقت مکانی بالای گوگل ارث نیز به عنوان مرجع بکار گرفته شده است. جدول ۱، مقایسه باندهای مورد مطالعه بین سنجنده TM لندست ۷ و سنجنده OLI لندست ۸ را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مقایسه باندهای لندست ۷ (ETM) و لندست ۸ (OLI) سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸.

Bands	Landsat 7(TM)		Landsat 8(OLI)	
	Wavelength( $\mu\text{m}$ )	Resolution	Wavelength( $\mu\text{m}$ )	Resolution
Blue	۰/۴۵ – ۰/۵۲	۳۰	۰/۴۵ – ۰/۵۱	۳۰
Green	۰/۵۲ – ۰/۶۰	۳۰	۰/۵۳ – ۰/۵۹	۳۰
Red	۰/۶۳ – ۰/۶۹	۳۰	۰/۶۴ – ۰/۶۷	۳۰
NIR	۰/۷۶ – ۰/۹۰	۳۰	۰/۸۵ – ۰/۸۸	۳۰
SWIR1	۱/۵۵ – ۱/۷۵	۳۰	۱/۵۷ – ۱/۶۵	۳۰
SWIR2	۲/۰۸ – ۲/۳۵	۳۰	۲/۱۰ – ۲/۲۸	۳۰

برای ورود داده‌ها در محیط GIS نیاز به پیش پردازش و پردازش‌هایی می‌باشد تا داده‌ها تبدیل به داده‌های Geo-Proccenig شده و آماده ورود به سیستم شود. پیش پردازش‌ها در نرم‌افزار VI 5.1 EN انجام شده است.

DN یا ارزش‌های رقومی تصاویر لندست ۷ و ۸ به ارزش‌های رفلکتانس Top of Atmospher تبدیل شدند که کالیبراسیون رادیومتریک می‌باشد که این پردازش متغیرهای فاصله زمین تا خورشید و زاویه زینتی خورشید در سنسورهای مختلف را از بین می‌برد (Ozturk and Sesli, 2015). مدل کلی Dark Object Subtraction به منظور تصحیح رادیومتریکی بکار گرفته شد و عدم نیاز به مشاهدات زمینی این روش یکی از بهترین روش‌ها برای مطالعات بررسی تغییرات می‌باشد (Ozturk and Sesli, 2015). جداسازی خطوط ساحلی به منظور نمایش مناطق اشباع شده آبی در محدوده آب-خشکی بسیار پیچیده می‌باشد. شاخص‌های نرمال سازی باندهای بازتابی مختلف را برای شناسایی و استخراج سطوح آبی ترکیب می‌نمایند. این دسته از روش‌ها، روش‌هایی هستند که از ترکیب دو یا چند باند و آستانه گذاری برای شناسایی سطوح آبی استفاده

می‌نمایند. بدین منظور (تغییرات سطوح آبی) باید در هر دوره زمانی ابتدا سطوح آبی را شناسایی نمود و سپس تغییرات آن‌ها را بررسی نمود. شاخص‌های طیفی آب مختلفی به منظور استخراج پیکره‌های آبی از تصاویر سنجش‌ازدور گسترش‌یافته‌اند که این توسعه با محاسبه اختلاف نرمال بین دو باند تصویر و به‌کارگیری حد آستانه مناسب به منظور طبقه‌بندی نتایج در دو طبقه (عوارض آبی و غیرآبی) انجام شده است. در این مطالعه شاخص‌های NDWI، MNDWI، DMI، AWEI به منظور استخراج تالاب شادگان از تصاویر OLI و TM بکار گرفته شده است. شاخص تفاضلی نرمال آب (NDWI)، اولین بار توسط McFeeters (۱۹۹۶) برای تشخیص سطح آب در محیط تالاب‌ها و اندازه‌گیری ابعاد سطح آب پیشنهاد شد. NDWI به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

رابطه ۱:	$NDWI = (band\ green - band\ nir) / (band\ green + band\ nir)$
----------	--

به‌عنوان نتیجه، عوارض آبی بارزش رقومی مثبت بارزمی‌شوند و گیاهان و خاک بارزش رقومی صفر و منفی سرکوب می‌شوند. شاخص تفاضلی بهبودیافته نرمال آب (MNDWI) نیز توسط (Xu, 2006) پیشنهاد شد و امروزه متداول می‌باشد و به‌عنوان یک شاخص قدرتمند برای جداسازی پیکره‌های آبی می‌باشد (Lu et al., 2011; Sarp and Ozcelik, 2017). این شاخص به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود:

رابطه ۲:	$MNDWI = (band\ green - band\ mir) / (band\ green + band\ mir)$
----------	---

نتایج نشان می‌دهد که عوارض آبی مقادیر رقومی مثبت دارند زیرا در باند ۳ سنسور OLI و باند ۲ سایر سنسورها عوارض آبی بازتاب بالاتری نسبت به باند ۶ سنسور OLI و باند ۵ سایر سنسورها دارند و عوارض غیرآبی ارزش رقومی منفی دارند (Xu, 2006). حد آستانه برای این روش صفر می‌باشد و نتایج به دو کلاس آب و غیر آب طبقه‌بندی می‌شوند.

شاخص تفاضلی نرمال رطوبت (NDMI) توسط (Jin and Sader, 2005) گزارش شده است که وابستگی بسیار بالایی با آب گیاهان دارد و به‌خوبی تغییرات در زی‌توده گیاهان و فشارهای آب را به‌خوبی مشخص می‌کند. رابطه ۳ بدین صورت می‌باشد:

رابطه ۳:	$NDMI = (band\ nir - band\ mir) / (band\ nir + band\ mir)$
----------	--

شاخص استخراج اتوماتیک آب (WEI)، شاخص دیگری است که هدف اصلی این روش جداسازی بهتر و بیشتر پیکسل‌های آب و غیر آب با استفاده از باندها و اضافه کردن و اعمال ضرایب مختلف می‌باشد که بدین منظور دو رابطه ۴ و ۵ بر ای سنسور OLI تعریف شده است:

رابطه ۴:	$AWEInsh = 4(band\ green - band\ mir) - (0.25\ band\ red + 2.75\ band\ swir2)$
رابطه ۵:	$AWEIsh = band\ blue + 2.5\ band\ green - 1.5\ (band\ nir + band\ mir) - 0.25\ band\ swir2$

AWEIsh برای تشخیص مؤثر پیکسل‌های غیرآبی مانند سطوح تیره و مناطق ساخته شده یا مناطق شهری بکار گرفته می‌شود. AWEIsh با از بین بردن پیکسل‌های سایه دقت را بهبود می‌بخشد (Feyisa et al., 2014).

شاخص پیشروی خط ساحلی (SDI)، بر اساس محیط و اندازه‌گیری مساحت تالاب می‌باشد. این شاخص از نسبت طول خط ساحلی به مساحت محاسبه می‌شود و با علامت اختصاری  $Ds$  بیان می‌شود. مساحت و طول تالاب برای شاخص‌های مختلف محاسبه شده است. شاخص پیشروی خط ساحلی (Ozturk and Sesli, 2015) با رابطه ۶ تعریف می‌شود:

رابطه ۶:	$Ds = l(4\pi A)^{-0.5}$
----------	-------------------------

$l$  محیط تالاب و  $A$  مساحت تالاب و  $Ds$  اندازه تغییرات خط ساحلی تالاب می‌باشد.

پیشروی خط ساحلی (Ds)، معیاری برای بی‌نظمی خط ساحلی تالاب می‌باشد (Ozturk and Sesli, 2015). برای تعیین و تشخیص تغییرات در طول خط ساحلی و مساحت و ویژگی‌های شکلی تالاب، شاخص پیشروی خط ساحلی (Ds) محاسبه شده است. این شاخص برای مقایسه شکل دریاچه و تالاب و ارزیابی تأثیر عوامل مرتبط با ساحل بکار گرفته شده است (Osgood, 2005).

نتایج به دست آمده از شاخص‌های طیفی مختلف و همچنین گیرنده‌های متفاوت با نقشه‌های حاصل از گوگل ارث مقایسه و ارزیابی شده است. بعد از اعمال شاخص‌های تفاضلی نرمال‌سازی آب تصاویر حاصل با در نظر گرفتن حد آستانه برای هر روش به تصاویر باینری تبدیل شده و سپس تبدیل به وکتور شده‌اند و وارد محیط ARCGIS شده و با مقایسه با نقشه‌های دقیق گوگل ارث اعتبار سنجی شده‌اند. بدین منظور تعدادی نقطه بر روی نقشه زمینی مشخص شده و آب و غیر آب بودن نقاط با تصاویر گوگل ارث مقایسه شده است. همچنین مقادیر SDI حاصل از (۶) با مساحت زمینی حاصل از گوگل ارث مقایسه شده است.

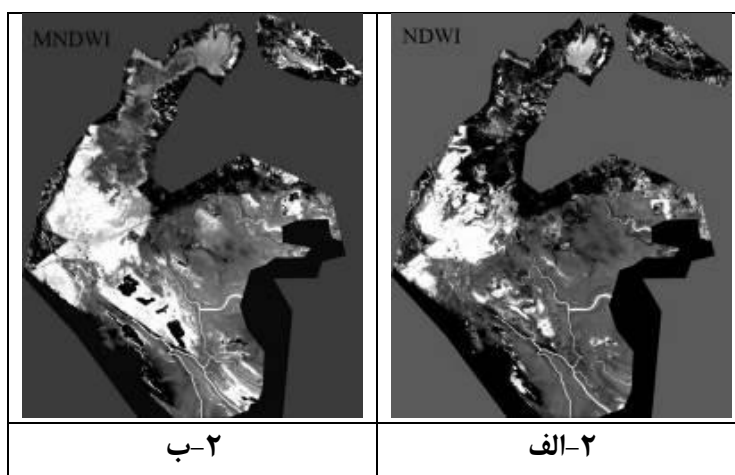
خطای کمترین مربعات به منظور اندازه‌گیری اختلاف بین اندازه پیش‌بینی شده از مدل با اندازه واقعی بکار گرفته می‌شود. این اختلافات جزئی باقیمانده نیز نامیده می‌شود. خطای کمترین مربعات این اختلافات جزئی را به عنوان توان پیش‌بینی بیان می‌کند. معادله RMSE به صورت رابطه ۷ می‌باشد.

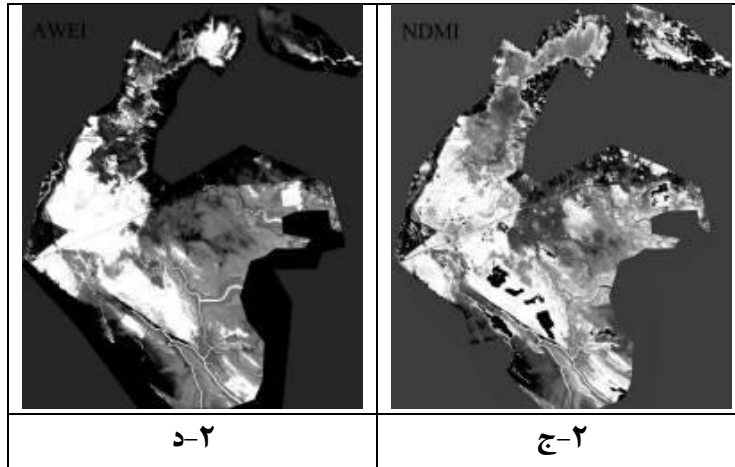
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$	رابطه ۷:
--	----------

$X_{obs,i}$  مقدار اندازه‌گیری شده مشاهده I ام و  $X_{model,i}$  مقدار پیش‌بینی شده موقعیت I ام می‌باشد.

## نتایج

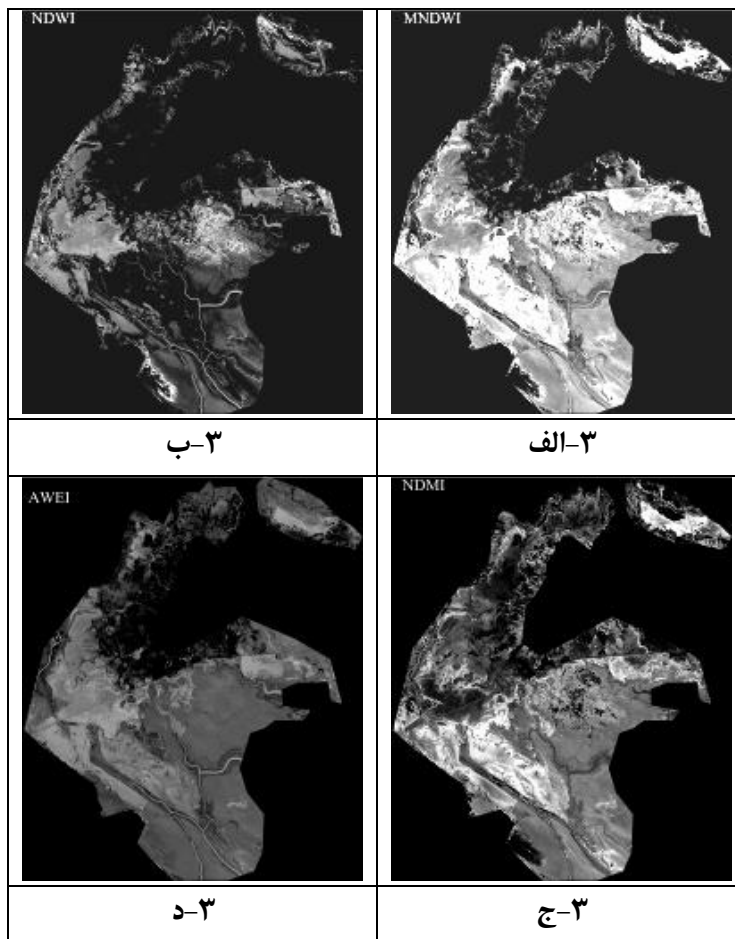
چهار شاخص طیفی آب NDWI، MNDWI، NDMI و AWEI به منظور تعیین حدود تالاب بکار گرفته شده است. حد آستانه ۰/۰۱ برای شاخص‌های NDWI، MNDWI و همچنین دو شاخص دیگر NDMI و AWEI در نظر گرفته شده است. شکل ۲ نتایج استخراج تالاب از ۴ الگوریتم شاخص طیفی و سنجنده OLI سال ۲۰۱۸ را نمایش می‌دهد. شکل ۳ نشان‌دهنده نتایج تعیین حدود تالاب از ۴ الگوریتم شاخص طیفی و سنجنده TM سال ۲۰۰۸ می‌باشد.





شکل ۲: حدود تالاب شناسایی شده از طریق شاخص‌های نرمال‌سازی آب لندست ۸ سال ۲۰۱۸.

(الف) NDWI، (ب) MNDWI، (ج) NDMI، (د) AWEI



شکل ۳: حدود تالاب شناسایی شده از طریق شاخص‌های نرمال‌سازی آب لندست ۷ سال ۲۰۰۸.

(الف) NDWI، (ب) MNDWI، (ج) NDMI، (د) AWEI

جدول ۲ دقت کلی شاخص‌های طیفی آب برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ را نمایش می‌دهند. جدول ۳ ضریب کاپا شاخص‌های طیفی آب برای دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. بررسی شکل‌های ۲ و ۳ و جدول ۲ و ۳ نشان می‌دهد، با اجرای شاخص‌های طیفی آب، شاخص‌های طیفی MNDWI و NDMI در مقایسه با سایر شاخص‌ها دقت کلی بالاتری برای سنجنده TM و سنجنده OLI داشته است. شاخص طیفی NDMI با دقت کلی ۸۹ درصد برای سنجنده OLI و شاخص MNDWI با دقت کلی ۸۸ درصد برای سنجنده TM عملکرد بهتری داشته است. به علاوه، الگوریتم این دو شاخص MNDWI با ۸۵ درصد و NDMI با ۸۷ درصد میانگین دقت کلی بالاتری برای هر دو سنجنده را در برداشته‌اند. شاخص AWEI با دقت میانگین کلی ۶۸ درصد نتایج بهتری داشته است و شاخص NDWI با کمترین دقت میانگین کلی ۶۴/۰٪ نتیجه مطلوبی در استخراج محدوده تالاب نداشته است. شاخص طیفی MNDWI ضریب کاپا بالاتری حدود ۸۶ درصد برای هر دو سنجنده داشته است. ضریب کاپا MNDWI ۹۱ درصد برای سنجنده OLI دقت بالاتری از ضریب کاپا MNDWI ۸۱ درصد برای سنجنده TM داشته است. سپس شاخص NDMI با ضریب کاپا ۸۲ درصد نتیجه بهتری برای هر دو سنجنده داشته است.

جدول ۲: دقت کلی شاخص‌های طیفی آب برای سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸.

	NDWI	MNDWI	NDMI	AWEI	Average
Landsat 8 (2018)	٪۶۴	٪۸۲	۸۹٪	٪۸۲	٪۷۹
Landsat 7 (2008)	٪۶۴	٪۸۸	٪۸۵	٪۵۳	٪۷۳
Average	٪۶۴	٪۸۵	٪۸۷	٪۶۸	٪۷۶

جدول ۳: ضریب کاپا شاخص‌های طیفی آب برای سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸.

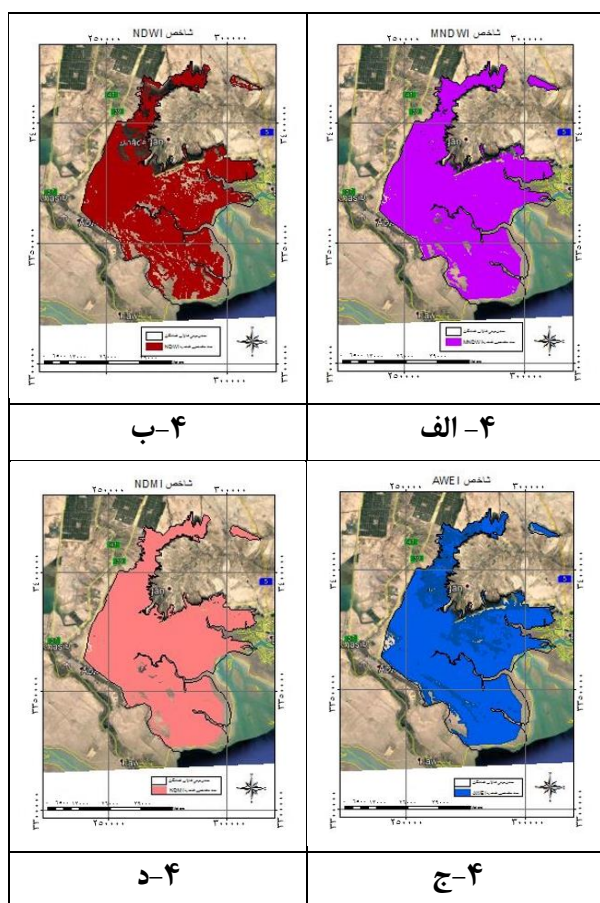
	NDWI	MNDWI	NDMI	AWEI	Average
Landsat 8 (2018)	٪۵۴	٪۹۱	٪۹۰	٪۸۵	٪۸۰
Landsat 7 (2008)	٪۶۳	٪۸۱	٪۷۴	٪۷۲	٪۷۳
Average	٪۵۹	٪۸۶	٪۸۲	٪۷۹	٪۷۷

در فرآیند شاخص طیفی آب، حد آستانه‌ای با توجه به دو یا چند باند طیفی و با استفاده از عملیات ریاضی مشتق شده است. این حد آستانه متناسب با خصوصیات طیفی باندها انتخاب شده است و دو کلاس آب و غیر آب را از هم جدا می‌شوند، سپس این کلاس‌ها به وکتور تبدیل شده و وارد محیط Arc Gis شده‌اند و مساحت و محیط تالاب برای تمامی شاخص‌ها محاسبه شده است.

شکل ۴ نقشه وکتوری استخراج شده از شاخص‌های طیفی با سنجنده OLI لندست ۸ می‌باشد. شکل ۴-الف- شاخص NDWI و ۴-ب- شاخص MNDWI و ۴-پ- شاخص NDMI و ۴-د- شاخص AWEI را نمایش می‌دهند. شکل ۵ نقشه وکتوری حدود تالاب با استفاده از روش شاخص‌های طیفی با به‌کارگیری سنجنده TM لندست ۷ می‌باشد که شکل ۵-الف- شاخص NDWI و ۵-ب- شاخص MNDWI و ۵-پ- شاخص NDMI و ۵-د- شاخص AWEI را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از محاسبه مساحت و محیط و شاخص پیشروی خط ساحلی در جدول ۴ برای سنجنده OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۸ و جدول ۵ برای سنجنده TM لندست ۷ سال ۲۰۰۸ نمایش داده می‌شود.

برای مقایسه مساحت به‌دست‌آمده از شاخص‌های طیفی تصاویر لندست ۸ و ۷ با مساحت واقعی تالاب، از تصاویر با دقت مکانی بالا گوگل ارث استفاده شده است. تصاویر گوگل ارث ابتدا از طریق Image to Image ژئو رفرنس شدند و سپس محدوده تالاب به‌صورت دستی راقومی شده است و مساحت و محیط برای هر دو تصویر لندست ۸ و ۷ و تصویر گوگل ارث محاسبه شده است.

با توجه به شکل (۴-پ) و جدول ۴ شاخص NDMI با  $۶۶۲/۷$  کیلومترمربع کمترین اختلاف با مساحت واقعی تالاب و شاخص NDWI با اختلاف  $۲۰۷۵/۵$  کیلومترمربع، بیشترین اختلاف با مساحت واقعی تالاب را دارند. مساحت حاصل از این شاخص NDMI به مقدار زمینی تالاب نزدیکتر است و این شاخص بهتر از سایر شاخص‌ها، مقدار واقعی را تقریب زده است. شاخص AWEI پس از شاخص NDMI با اختلاف  $۶۹۲/۹۰$  کیلومترمربع مساحت تالاب را به خوبی برآورد کرده است. شاخص MNDWI با مساحت واقعی زمین  $۸۵۱/۸$  کیلومترمربع تفاوت دارد.



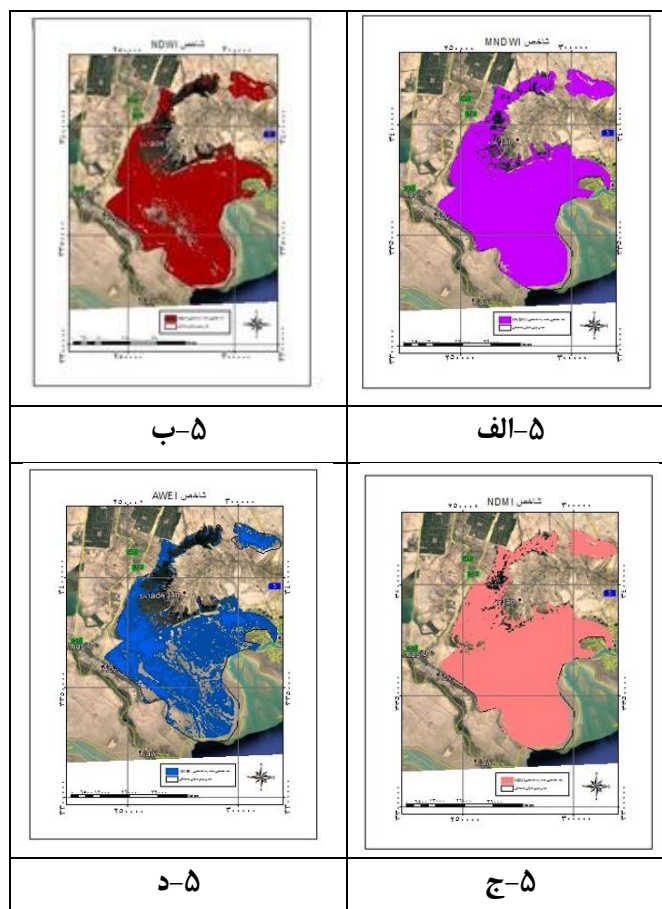
شکل ۴: مساحت استخراج شده با استفاده از روش شاخص‌های طیفی آب لندست ۸ سال ۲۰۱۸.

NDWI(الف)، MNDWI(ب)، NDMI(ج)، AWEI(د)

با توجه به شکل ۵-ب و جدول ۵، مساحت حاصل از شاخص‌های چند باندهی با مساحت واقعی تالاب در سال ۲۰۰۸ مقایسه شده و نتایج حاکی است که شاخص MNDWI با  $۹۲۸$  کیلومترمربع کمترین اختلاف مساحت با مساحت واقعی تالاب را دارد و سپس شاخص NDMI با اختلاف  $۱۰۳۷/۳$  کیلومترمربع حدود تالاب را تعیین کرده است. شاخص NDWI با اختلاف مساحت  $۲۱۰۳/۴۶$  کیلومترمربع و شاخص AWEI با اختلاف  $۲۳۵۶/۹$  کیلومترمربع، حدود تالاب را تقریب زده‌اند.

با توجه به جدول ۴ بیشترین تغییرات طول خط ساحلی و مساحت در سال ۲۰۱۸ با لندست ۸ مربوط به شاخص NDWI می‌باشد و شاخص  $Ds$  با  $۱۸۲,۳۴$  نشان‌دهنده این تغییر می‌باشد و کمترین تغییرات را شاخص AWEI با  $Ds = ۴۰/۹۱$  رقم زده است. شاخص NDMI با  $Ds = ۴۷/۱۸$  و شاخص MNDWI با  $Ds = ۶۲/۶۲$  تغییرات تالاب از نظر طول و مساحت را بریان کرده‌اند. با توجه به جدول ۵ و بررسی تغییرات

طول خط ساحلی و مساحت تالاب در سال ۲۰۰۸ با لندست ۷ نتایج نشان داده است که بیشترین تغییرات در طول و مساحت نسبت به مساحت واقعی تالاب را شاخص NDMI با  $Ds=366/77$  و سپس شاخص AWEI با  $Ds=172/34$  داشته‌اند. شاخص NDWI تغییرات را با  $Ds=146/38$  نمایش می‌دهد و شاخص MNDWI با  $Ds=100/69$  کمترین تغییرات و اختلاف طول و مساحت را نسبت به طول واقعی تالاب داشته است.



شکل ۵: مساحت استخراج شده با استفاده از روش شاخص‌های طیفی آب لندست ۷ سال ۲۰۰۸.

(الف) NDWI، (ب) MNDWI، (ج) NDMI، (د) AWEI

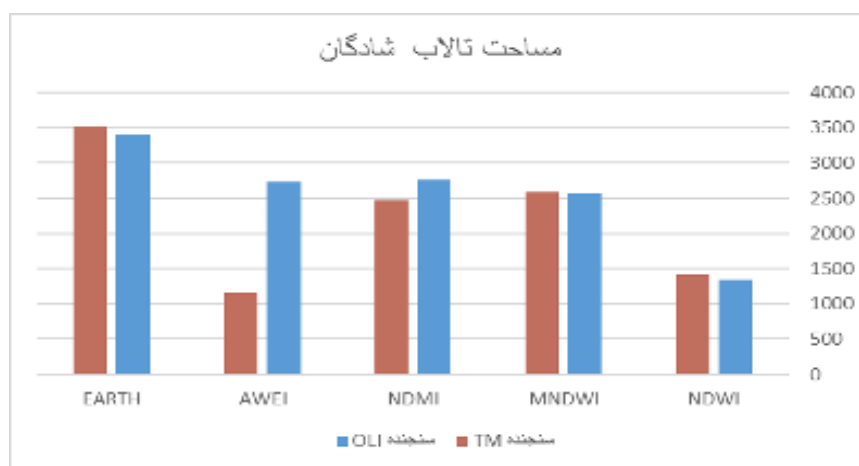
جدول ۴: مساحت و محیط حدود استخراج شده از روش شاخص‌های طیفی آب لندست ۸ سال ۲۰۱۸.

Landsat 8 (OLI)	NDWI	MNDWI	NDMI	AWEI	EARTH
AREA (km <sup>2</sup> )	۱۳۴۲/۴۰	۲۵۶۶/۱۰	۲۷۵۵/۲۰	۲۷۲۵/۰۰	۳۴۱۷/۹۰
PERIMETER (km)	۲۳۶۸۲/۷۰	۱۱۲۴۵/۵۰	۸۷۷۹/۸۰	۷۵۷۰/۴۰	۷۷۹۰/۴۰
Ds	۱۸۲/۳۴	۶۲/۶۲	۴۷/۱۸	۴۰/۹۱	۳۸/۶۶

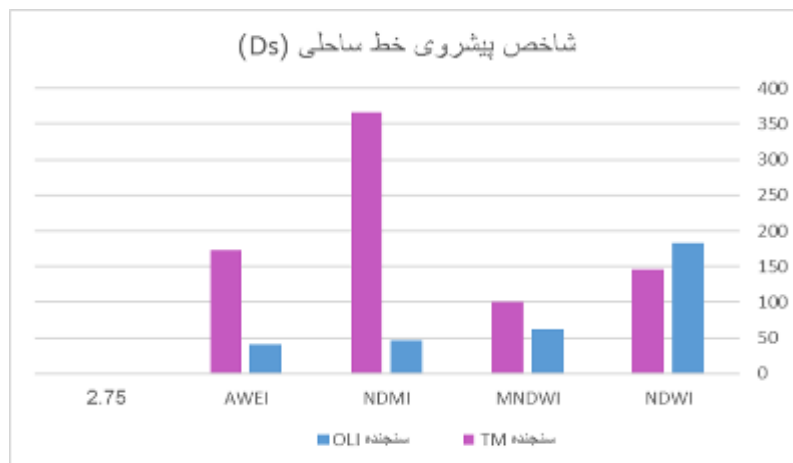
## جدول ۵: مساحت و محیط حدود استخراج شده از روش شاخص های طیفی آب لندست ۷ سال ۲۰۰۸.

Landsat 7 (TM)	NDWI	MNDWI	NDMI	AWEI	EARTH
AREA (km <sup>2</sup> )	۱۴۰۹/۷۴	۲۵۸۵/۲۰	۲۴۷۵/۹۰	۱۱۵۶/۳	۳۵۱۳/۲۰
PERIMETER (km)	۱۹۴۸۳/۸۰	۱۸۱۴۸/۲	۶۴۶۹۳/۰۰	۲۰۷۷۴/۳۳	۵۵۷/۲۰
Ds	۱۴۶/۳۸	۱۰۰/۶۹	۳۶۶/۷۷	۱۷۲/۳۴	۲/۷۵

شکل ۶ مساحت استخراج شده تالاب از روش شاخص های چند طیفی آب با دو سنجنده TM لندست ۷ سال ۲۰۰۸ و سنجنده OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۸ را مقایسه می کند و شکل ۷ مقایسه شاخص پیشروی خط ساحلی (Ds) دو سنجنده TM لندست ۷ سال ۲۰۰۸ و سنجنده OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۸ را نمایش می دهد. با توجه به شکل ۶ و ۷ مساحت زمینی تالاب در طی سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸، ۹۵/۳ کیلومتر مربع کاهش داشته است و طول خط ساحلی ۷۴۱۳/۲ کیلومتر افزایش داشته است و شاخص پیشروی خط ساحلی افزایش پیدا کرده است. شاخص NDWI در طی ۲۰۰۸-۲۰۱۸ بیانگر کاهش مساحت و افزایش طول خط ساحلی می باشد و همچنین مقدار شاخص پیشروی خط ساحلی نیز افزایش داشته است. در طی ۱۰ سال مساحت محاسبه شده با شاخص MNDWI کاهش و طول خط ساحلی نیز کاهش یافته است و Ds نیز کاهش یافته است. مساحت شاخص NDMI افزایش و طول خط ساحلی کاهش یافته است و نسبت طول به مساحت ۲۰۰۸-۲۰۱۸ کاهش یافته است و شاخص AWEI در طی یک دهه با افزایش مساحت و کاهش طول خط ساحلی و کاهش شاخص پیشروی خط ساحلی روبرو بوده است.



شکل ۶: مقایسه مساحت استخراج شده تالاب از روش شاخص های چند طیفی آب با دو سنجنده TM لندست ۷ سال ۲۰۰۸ و سنجنده OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۸.



شکل ۷: مقایسه شاخص پیشروی خط ساحلی دو سنجنده TM لندست ۷ سال ۲۰۰۸ و سنجنده OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۸.

RMSE نیز از مقایسه داده‌های مرجع (گوگل ارث) با تصاویر مشتق شده از شاخص‌ها برای تالاب به دست آمده است. جدول ۶ خطای کمترین مربعات برای شاخص‌های طیفی آب را نمایش می‌دهد. با توجه به جدول ۶ خطای کمترین مربعات شاخص NDWI سنجنده OLI بالاتر از بقیه شاخص‌ها می‌باشد و شاخص NDMI دارای کمترین خطای کمترین مربعات ۹۴/۵۲ می‌باشد. شاخص MNDWI سنجنده TM کمترین RMSE=۱۰۲/۳۴ را دارا می‌باشد و RMSE این شاخص‌های طیفی حدود سه و نیم پیکسل می‌باشد.

جدول ۶: RMSE شاخص‌های طیفی سنجنده OLI و سنجنده TM (سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸).

	NDWI	MNDWI	NDMI	AWEI
RMSE(m) OLI	۱۶۵/۹۸	۱۵۲/۰۶	۹۴/۵۲	۱۰۷/۰۹
RMSE(m) TM	۱۰۶/۱۸	۱۰۲/۳۴	۱۱۳/۲۳	۲۴۶/۵۴

### بحث و نتیجه‌گیری

طبق بررسی‌های انجام شده سنجنده OLI لندست ۸ با ۷۹ درصد میانگین دقت کلی بالاتری از گیرنده TM لندست ۷ با ۷۳ درصد داشته است. همچنین میانگین ضریب کاپا گیرنده OLI لندست ۸ با دقت میانگین ۸۰ درصد دقت بالاتری از ضریب کاپا گیرنده TM لندست ۷ با دقت ۷۳ درصد داشته است. بالاتر بودن دقت کلی سنسور OLI لندست ۸ نسبت به TM لندست ۷ به دلیل پیشرفت‌هایی است که در ساخت سنسور OLI لندست ۸ به وجود آمده است. نسبت سیگنال به نویز (Sheng *et al.*, 2016) و افزایش قدرت تفکیک رادیومتریکی از ۸ بیت به ۱۲ بیت (Roy *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2017) از جمله پیشرفت‌های گیرنده OLI لندست ۸ نسبت به TM لندست ۷ بوده است. با توجه به بهبود طراحی باندهای گیرنده OLI لندست ۸، باندهای طیفی OLI باریک‌تر هستند و دامنه‌های طیفی مختلفی را در مقایسه با Landsat 7 TM پوشش می‌دهند بدین سبب لبه‌های باند برای جلوگیری از خصوصیات جذب جوی بهبود یافته‌اند که می‌تواند ابهامات اضافه‌ای را به موج بازتابی از پیکره آبی بیفزاید.

تغییر عمده در باندهای NIR و ۱-SWIR باندهای گیرنده OLI لندست ۸ می‌باشد که به‌طور قابل توجهی باریک‌تر از باندهای گیرنده TM لندست ۷ می‌باشند که به‌طور مشخص از ویژگی جذب آب که در باندهای NIR و ۱-SWIR گیرنده Landsat 7 TM رخ می‌دهد، جلوگیری می‌کند. به‌طور کلی، SNR در باند باریک‌تری کوچک‌تر است، اما Landsat 8 OLI با اجرای یک تصویرگر خطی pushbroom، این محدودیت را برطرف می‌کند که مدت‌زمان توقف طولانی‌تر و محدوده پیش‌تر سیگنال‌های سنجیده شده را اجازه می‌دهد؛ بنابراین نسبت سیگنال به نویز Landsat 8 OLI تا ۱۰ برابر بهتر از باندهای طیفی مختلف Landsat 7 TM است که پهنای باند طیفی محدودتر و باریک‌تر، از جذب اتمسفری موج بازتابیده از پیکره آبی جلوگیری می‌کند (Zhou et al., 2017; Mishra et al., 2016).

در سال ۲۰۱۸ و با به‌کارگیری سنجنده Landsat 8 OLI و با توجه به کاهش سطح آب در طی یک دهه، شاخص NDMI که مبتنی بر باندهای NIR و ۱-SWIR می‌باشد، با  $RMSE = 94/52$  حدود تالاب را استخراج کرده است. این شاخص در مطالعات پیشین برای تشخیص اختلالات جنگل و ارزیابی شدت آتش‌گرفتگی جنگل (Veraverbeke et al., 2010) به‌عنوان شاخص طیفی پوشش گیاهی بکار گرفته شده بود ولی در این مطالعه برای تعیین و استخراج حدود تالاب شادگان به‌عنوان شاخص طیفی آب با دقت کلی ۸۹ درصد و ضریب کاپا ۹۰ درصد نتایج خوبی داشته است.

شاخص MNDWI، سنجنده Landsat 7 TM در سال ۲۰۰۸ با  $RMSE = 102/34$  حدود تالاب را به‌خوبی تعیین کرده است. این شاخص نیز مبتنی بر باند ۱-SWIR می‌باشد و در مقایسه با NDWI برای مناطق ساخته‌شده کارایی بیشتری دارد و با در نظر گرفتن حد آستانه مناسب (۰/۰۱ در این مطالعه) سطوح آبی را بهتر از سایر شاخص‌ها استخراج کرده است. در بین دو سنجنده Landsat 8 OLI و Landsat 7 TM دقت کلی و ضریب کاپا گیرنده OLI بهتر از گیرنده TM می‌باشد و با توجه به بهبود طیفی و رادیومتریکی گیرنده OLI نسبت به گیرنده TM بخصوص در باندهای NIR و ۱-SWIR به‌کارگیری سنجنده OLI برای تعیین حدود پیکره‌های آبی مناسب‌تر می‌باشد.

شاخص NDWI برای پیکره‌های آبی مانند دریاچه‌ها و دریاها (نواحی که فقط دارای آب می‌باشند) مناسب‌تر می‌باشد (Alibakhshi et al., 2020) و در تعیین حدود این تالاب مؤثر نبود. شاخص AWEI که ترکیبی از باندها به‌منظور تعیین حدود دقیق‌تر پیکره‌های آبی مناطق دارای سایه یا مناطق ساخته‌شده و دارای آلودگی پایین می‌باشد، با در نظر گرفتن حد آستانه مناسب برای منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸ و سنجنده Landsat 8 OLI مناسب می‌باشد و با دقت قابل قبولی حدود تالاب را مشخص کرده است. در این مطالعه به نظر می‌رسد که به‌کارگیری باندهای طیفی NIR و ۱-SWIR و ترکیب این باندها نتایج قابل قبولی به همراه داشته است. در دهه اخیر و پیرو رشد روزافزون تکنولوژی تصویربرداری ماهواره‌ای محققان زیادی با استفاده از شاخص‌های طیفی آشکارسازی آب در سطح تالاب‌ها و پیکره‌های آبی مشابه را انجام داده‌اند و نتایج اغلب این تحقیقات گویای کارآمدی این روش‌ها در پایش تالاب‌ها می‌باشد (Wang et al., 2022; Ji et al., 2022; Hou et al., 2022; Sarp et al., 2017; Nandi et al., 2018). تحقیقاتی که بر پایه استخراج اطلاعات خطوط ساحلی پیکره‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند امکان پایش اطلاعات در بازه‌های زمانی و فصول مختلف را فراهم می‌نمایند (Terekhov et al., 2020) و نسبت به برداشت‌های میدانی مقرون‌به‌صرفه‌تر و بروزتر می‌باشند.

در این مطالعه، تغییرات خط ساحلی نسبت به مساحت با شاخص پیشروی خط ساحلی (Ds) در طول یک دهه (۲۰۰۸-۲۰۱۸) مورد بررسی قرار گرفت. مساحت تالاب در طی یک دهه، ۹۵٫۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است و  $Ds = 38,55$  افزایش یافته است. شاخص NDMI با  $36/77$   $Ds =$  بیشترین تغییرات در سال ۲۰۰۸ و شاخص AWEI کمترین تغییرات  $Ds = 40/91$  را در سال ۲۰۱۸ داشته‌اند.

در این تحقیق بررسی تغییرات سطحی تالاب شادگان در طی یک دهه کاهش ۹۵٫۳ کیلومتر مربع در سطح تالاب را نشان می‌دهد و با توجه به تأثیر تالاب در تعدیل اقلیمی و تنوع زیستی و خدمات توریسم و اکو توریسم بررسی روند و دلایل کاهش سطحی تالاب امری ضروری می‌باشد و همچنین بررسی روند تغییرات تالاب در فصول خشک‌سالی و همچنین به‌کارگیری سنجنده‌های دیگر به‌منظور تعیین حدود تالاب شادگان در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

دقت تعیین حدود پیکره‌های آبی در مناطقی که دارای پیش‌زمینه تیره هستند (مانند آسفالت، ساختمان‌ها، سایه و ابرو...) کاری دشوار می‌باشد. در چنین مناطقی که سطوح غیرآبی بازتاب پایینی دارند به‌کارگیری روش‌های طبقه‌بندی ساده مناسب نمی‌باشد و به‌طور مطلوب و دقیقی جداسازی سطوح آبی از غیرآبی صورت نمی‌گیرد (Verpoorter *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2022). در این تحقیق، در منطقه تالاب شادگان، در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸، از تصاویر سنجنده‌های OLI لندست ۸ و TM لندست ۷ برای ارزیابی تغییرات تالاب استفاده شده است. در این راستا، از شاخص‌های چند باندهی NDWI، MNDWI، NDMI، AWEI بهره گرفته شد. نزدیکی به خلیج فارس (جزرو مد دریا) و برخورداری از آب‌های شیرین و شور و لب‌شور و تنوع پوشش گیاهی، اقلیم پیچیده‌ای برای تالاب شادگان رقم‌زده است و به همین ترتیب شاخص‌های طیفی آب و باندهای بکار گرفته شده هم متفاوت می‌باشد.

## منابع

- Alibakhshi T., Azizi Z., Vafaeinezhad A. and Aghamohammadi H., 2020.** Survey of Area Changes in Water Basins of Shahid Abbaspour Dam Caused by 2019 Floods Using Google Earth Engine. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(2): 345-357. (In Persian).
- Anderson, M. C., Allen, R. G., Morse, A. and Kustas, W. P., 2012.** Use of Landsat thermal imagery in monitoring. *Evapotranspiration and managing water resources. Remote Sensing of Environment*, 122: 50–65.
- Bretreger, D., Li, W., Yeo, I. Y., Kuczera, G. and Hancock, G., 2021.** Remote sensing's role in improving transboundary water regulation and compliance: The Murray-Darling Basin. *Journal of Hydrology*, 13:1–10.
- Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., Wang, H., Gui, Y. and Sun, B., 2014.** Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sensing Letters*, 5: 672–681.
- El-Asmar, H. M., Hereher, M. E. and El Kafrawy, S. B., 2013.** Surface area change detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, using water indices: a remote sensing approach. *Egyptian Journal of RemoteSensing and Space Science*. 2013, 16, 119e123. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.ejrs. 04.004](http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.04.004).
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R. and Proud, S. R., 2014.** Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water map-ping using Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*. 140:23–35
- Gish kuma, H., Feyessa, F. F. and Demissie, T. A., 2022.** Land-use/land-cover changes and implications in Southern Ethiopia: evidence from remote sensing and informants. *Heliyon*. 8:3.
- Hou, Y., Zhao, G., Chen, X. and Yu, X., 2022.** Improving Satellite Retrieval of Coastal Aquaculture Pond by Adding Water Quality Parameters. *Remote Sensing*, 14: 3306. [https:// doi.org/10.3390/rs14143306](https://doi.org/10.3390/rs14143306)
- Huang, C., Chen, Y. and Wu, J., 2014.** Mapping spatio-temporal flood inundation dynamics at large river basin scale using time-series flow data and MODIS imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 26: 350–362.
- Ji, L., Zhang, L. and Wylie, B., 2009.** Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75: 1307–1317.
- Jin, S. and Sader, S., 2005.** Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94: 364–372.
- Ji, L., Geng, X., Sun, K., Zhao, Y. and Gong, P., 2015.** Target Detection Method for Water Mapping Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery. *Water* 7: 794–817.
- Ji, Z., Zhu, Y., Pan, Y., Zhu, X. and Zheng, X., 2022.** Large-Scale Extraction and Mapping of Small Surface Water Bodies Based on Very High-Spatial-Resolution Satellite Images: A Case Study in Beijing, China. *Water*, 14: 2889. [https:// doi.org/10.3390/w14182889](https://doi.org/10.3390/w14182889)
- Lu, S., Wu, B., Yan, N. and Wang, H., 2011.** Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 13: 428–434.

Li, M., Wu, P., Wang, B., Hui Yang, H. P. and Wu, Y., 2021. **A Deep Learning Method of Water Body Extraction from High Resolution Remote Sensing Images with Multisensors. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14: 3120-3132.**

**McFeeters, S.K., 1996.** The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1425-1432.

**Moussaid, J., Ait For, A., Zourarah, B., Maanan, M. and Maanan, M., 2015.** Using automatic computation to analyze the rate of shoreline change on the Kenitra coast, Morocco. *Ocean Engineering*, 102:71-77.

**Mishra, N., Helder, D., Barsi, J. and Markham, B., 2016.** Continuous calibration improvement in solar reflective bands: Landsat 5 through Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 185: 7-15.

**Ozturk, D. and Sesli, F. A., 2015.** Shoreline change analysis of the Kizilirmak Lagoon Series. *Ocean and Coastal Management*, xxx. pp.1-19.

**Osgood, R., 2005.** Shoreline Density. *Lake and Reservoir Management*. 21 (1): 125-126.

**Palmer, S. C. J., Kutser, T. and Hunter, P. D., 2015.** Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. *Remote Sensing of Environment*. 157: 1-8.

**Roy, D. P., Kovalsky, V., Zhang, H. K., Vermote, E. F., Yan, L., Kumar, S. S. and Egorov, A., 2016.** Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sensing of Environment*. 185: 57-70.

**Sharma, R., Tateishi, R., Hara, K. and Nguyen, L., 2015.** Developing Superfine Water Index (SWI) for Global Water Cover Mapping Using MODIS Data. *Remote Sensing*, 7: 13807-13841.

**Sarp, G. and 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: 381-391.

**Serban, C., Maftai, C. and Dobrica, G., 2022.** Surface Water Change Detection via Water Indices and Predictive Modeling Using Remote Sensing Imagery: A Case Study of Nuntasi-Tuzla Lake, Romania. *Water*, 14(4):556.

**Sheng, Y., Song, C., Wang, J., Lyons, E. A., Knox, B. R., Cox, J. S. and Gao, F., 2016.** Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat-8 imagery. *Remote Sensing of Environment*. 185.

**Song, S., Cao, Zh., Wu, Zh. and Chuai, X. I., 2022,** Spatial and Temporal Dynamics of Surface Water in China from the 1980s to 2015 Based on Remote Sensing Monitoring. *Chinese Geographical Science*, 32:174-188.

**Tao, S., Fang, J., Zhao, X., Zhao, S., Shen, H., Hu, H., Tang, Z., Wang, Z. and Guo, Q., 2015.** Rapid loss of lakes on the Mongolian Plateau. *PNAS*, 112: 2281-2286.

**Terekhov, A., Makarenko, N., Pak, A. and Abayev, N., 2020.** Using the digital elevation model (DEM) and coastlines for satellite monitoring of small reservoir filling, *Cogent Engineering*, <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1853305>

**Torres-Rua, A., Tlacuilca, A., Bachour, R. and McKee, M., 2016.** Estimation of Surface Soil Moisture in Irrigated Lands by Assimilation of Landsat Vegetation Indices, Surface Energy Balance Products, and Relevance Vector Machines. *Water*, 8:167.

**Tulbure, M. G., Broich, M., Stehman, S. V. and Kommareddy, A., 2016.** Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment*. 178: 142-157.

**Verpoorter, C., Kutser, T. and Tranvik, L., 2012.** Automated mapping of waterbodies using Landsat multispectral data. *Limnology and Oceanography-Methods* 10:1037-1050.

**Veraverbeke, S., Verstraeten, W., Lhermitte, S. and Goossens, R., 2010.** Evaluating Landsat Thematic Mapper spectral indices for estimating burn severity of the 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *International Journal of Wildland Fire*, 19(5): 558-569.

**Wang, L., Li, Y., Zhang, D. and Liu, Z., 2022.** Extraction of Aquaculture Pond Region in Coastal Waters of Southeast China Based on Spectral Features and Spatial Convolution. *Water*, 14: 2089. <https://doi.org/10.3390/w14132089>

**Wang, Z., Zhang, M., Li, H., Li, Z., Zhu, V., Liu, X. and Tian, K., 2022.** Monitoring the Wetland of the Yellow River Delta by Combining GF-3 Polarimetric Synthetic Aperture Radar and Sentinel-2A Multispectral Data. *Environmental Informatics and Remote Sensing*, <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.806978>

**Wulder, M. A., White, J. C., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Belward, A. S., Cohen, W. B., Fosnight, E. A., Shaw, J., Masek, J. G. and Roy, D. P., 2016.** The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*. 185: 271–283.

**Xu, H., 2006.** Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 3025–3033.

**Yang, Y., Liu, Y., Zhou, M., Zhang, S., Zhan, W., Sun, C. and Duan, Y., 2015.** Landsat 8 OLI image based Terrestrial water extraction from heterogeneous backgrounds using a reflectance homogenization approach. *Remote Sensing of Environment*. 171: 14–32.

**Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, ZH., Zhao, G. U., Zou, Z. H. and Qin, Y. U., 2017.** Open Surface Water Mapping Algorithms: A Comparison of Water-Related Spectral Indices and Sensors. *Water*, 9: 256.