

## تحلیل تاثیر تغییرات دوره‌های خطوط ساحلی در گسترش نمکزارهای حاشیه دریاچه ارومیه با استفاده از

### تصاویر ماهواره‌های لندست

سامان نادى زاده شورابه\* - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

عطاله عبدالهی کاکرودی - استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

نجمه نیسانی سامانی - استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فاطمه مرادی پور - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - مدیریت محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۱

### چکیده

به دلیل ماهیت دینامیکی خطوط ساحلی تهیه نقشه این مناطق و میزان تغییرات آن جهت برنامه‌ریزی و دستیابی به توسعه پایدار امری بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهواره لندست بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ می‌باشد. از داده‌های ترازسنجی ماهواره‌ای از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹ برای بررسی نوسانات سطح تراز آب دریاچه استفاده شده است که بر اساس آن تراز آب دریاچه حدود ۸ متر افت داشته است. برای استخراج خطوط ساحلی از شاخص NDWI با دقت کلی ۰/۹۷ و برای استخراج نمکزار از شاخص SI2 با دقت کلی ۰/۹۸ استفاده شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد مساحت قابل توجهی از سطح آب دریاچه ارومیه در طول ۳۹ سال مورد مطالعه به ویژه در دهه‌ای اخیر کاهش یافته و بر مساحت نمکزار اطراف دریاچه افزوده شده است. به طوری که از مساحت ۵۲۱۶،۳۰ کیلومتر مربع آب و ۱۰۶/۱۸ کیلومتر مربع نمکزار در سال ۱۹۷۶ به ترتیب به ۱۵۱۹/۱۲ کیلومتر مربع و ۳۷۷۷/۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۵ رسیده است. همچنین بیشترین تغییرات مساحت مربوط به نمکزار و خط ساحل به ترتیب ۱۲۸۶/۴۵ و ۱۳۱۰/۹۷ کیلومتر مربع مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ می‌باشد. قسمت‌های جنوب شرقی و جنوب به دلیل عمق کم دارای بیشترین تغییرات می‌باشند اما در جهت‌های شمالی این تغییرات کمتر بوده است.

واژگان کلیدی: تغییرات خط ساحل، تغییرات نمکزار، سنجش از دور، GIS، دریاچه ارومیه.

## مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه‌ی دائمی ایران تا قبل از سپتامبر ۲۰۱۰ بود که آب آن شور می‌باشد. سطح آب دریاچه در طول سال حدود ۸۰-۱۰۰ سانتیمتر نوسان داشته و از این نظر قابل مقایسه با دریای خزر است (جداری عیوضی، ۱۳۸۶: ۸۱). دریاچه‌ی کنونی از بقایای حوضه‌ی رسوبی دریاچه‌ی نئوژن می‌باشد که سطح وسیعی از مناطق داخلی آذربایجان را می‌پوشانده است. آب دریاچه‌ی ارومیه شور است و میزان املاح آن بین ۲۲۰ (در فصل بهار) تا ۲۸۰ گرم در لیتر (در آخر تابستان) در نوسان می‌باشد. غلظت آب در نزدیک سواحل بیشتر و در مصب رودخانه‌ها کمتر است. به علت شوری زیاد، سطح آب در زمستان‌ها یخ نمی‌بندد. تحت همین شرایط نیز تنها حیات آبی آن را یک نوع سخت پوست به نام آرتمیا تشکیل می‌دهد (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۸۷). از ویژگی‌های ژئومورفولوژی مهم دریاچه‌ی ارومیه، ناپایداری خط ساحلی است؛ ناپایداری خط ساحلی ناشی از نوسان سطح آب در حال حاضر می‌باشد. نوسان کنونی سطح آب ارومیه فصلی است. میزان این نوسان به حدود ۲ متر در سال می‌رسد. علت نوسان، واردات زیاد آب در اثر بارش و ذوب ذخیره برف در بهار و برعکس واردات کم و تبخیر زیاد در آخر تابستان و اوایل پاییز است. مسلماً با افزایش واردات، خط ساحلی به طرف خشکی پیشروی و به هنگام کم‌آبی به طرف دریاچه عقب‌نشینی می‌کند. پدیده‌ی شوری و پیدایش پوسته‌ی نمک در سطح زمین‌های ساحلی از مظاهر این پیش‌روی و پس‌روی فصلی می‌باشد (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۸۹).

طی دهه‌ی گذشته بر اثر یک دوره‌ی خشکسالی و طرح‌های احداث سد که همزمان به وقوع پیوسته‌اند، زمینه‌ی تبخیر بیش‌از پیش آب دریاچه فراهم گردیده و تفاوت‌های قابل توجهی در سطح آب دریاچه به وجود آمده است (اصغری زمانی، ۱۳۹۲: ۷۷)؛ اگر روند کاهش آب دریاچه به همین ترتیب ادامه یابد؛ به مرور زمان بخش بیشتری از بستر دریاچه و نمک از آب خارج شده و این مهم تأثیرات زیست‌محیطی بسیار زیادی را سبب می‌شود که جبران آن‌ها مستلزم برنامه‌ریزی‌های دقیق خواهد بود و هزینه‌های عملیاتی، زیست‌محیطی و اجتماعی زیادی را بر جای خواهد گذاشت (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۳). از جمله این مخاطرات می‌توان به گسترش پهنه‌های نمکی اشاره کرد. برخی تحقیقات نیز نشان می‌دهد که شوری آب دریاچه از سال ۲۰۰۱ به بعد به بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم در هر لیتر رسیده است (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۶۸).

آشکارسازی تغییرات فرآیندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت‌ها و اختلافات سری زمانی پدیده‌ها، عارضه‌ها و الگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند (دینگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷: ۶). در طی چند دهه‌ی گذشته، استفاده از فناوری سنجش از دور برای تشخیص چنین تغییراتی در طی زمان توجه محققان مختلف را به خود معطوف کرده است (سینگ<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹: ۹۸۹-۱۰۰۳). به طوری که از تصاویر لندست به طور گسترده‌ای برای استخراج خطوط ساحلی و نمکزار استفاده شده است (مور<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰؛ آل‌شیخ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴؛ کاتوتین و کتراپتا<sup>۵</sup>، ۲۰۰۵؛ آل‌شیخ و همکاران، ۲۰۰۷؛ وان و بینه<sup>۶</sup>، ۲۰۰۸؛ الناگر و نولر<sup>۷</sup>، ۲۰۰۹؛ کریمی و مباشری، ۲۰۱۱؛ جعفری و همکاران، ۲۰۱۳؛ رکنی و همکاران، ۲۰۱۴؛ سی‌سای<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶). داده‌های سنجش از دور حجم زیادی از اطلاعات را فراهم می‌کند؛ این اطلاعات نه فقط در یک زمان بلکه در دوره‌ها و

<sup>۱</sup> Ding et al<sup>۲</sup> Singh<sup>۳</sup> Moore<sup>۴</sup> Aleshikh et al<sup>۵</sup> Katawatin and Kotrapat<sup>۶</sup> Van and Binh<sup>۷</sup> Elnaggar and Noller<sup>۸</sup> Sisay

زمان‌های مختلف، تولید و جمع‌آوری می‌شوند و می‌توان از آن‌ها برای کشف و مطالعه‌ی پدیده‌ها استفاده کرد. تلفیق RS و GIS پتانسیل استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور را به بهترین نحو افزایش می‌دهد (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۴). پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف، به مثابه پژوهشی بنیادی مورد توجه واقع شده است (روشن و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۳۵)؛ زیرا ماهیت خطوط ساحلی دینامیکی است و مدیریت چنین محیط‌های بوم‌شناختی حساسی، به کسب اطلاعات دقیق در فاصله‌های زمانی مختلف نیاز دارد (کاویان و همکاران، ۲۰۱۱: ۹۳۹). برای این منظور، فناوری سنجش‌ازدور کاربرد بی‌ظنیری در کسب اطلاعات از این پدیده‌ها دارد؛ چرا که تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی مزایا و امتیازهایی دارد که در دسترس بودن و تفسیر رقومی آن‌ها از مهمترین‌شان محسوب می‌شود (تاکر<sup>۱</sup>، ۱۹۷۹: ۱۲۷).

### پیشینه تحقیق

به کمک روش‌ها و فناوری‌ها سنجش‌از دور پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا به منظور ارزیابی تغییرات خطوط ساحلی، تحقیقاتی را انجام داده‌اند که به بعضی از آن‌ها اشاره می‌شود:

رسولی و همکاران (۱۳۷۸)، در تحقیقی نوسانات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه را بین سالهای ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست، مادیس و آی.آر.اس بررسی کرده‌اند. آن‌ها پی بردند که بیشترین تغییرات سطح آب دریاچه در جنوب شرق و ساحل شرقی دریاچه رخ داده است. دلاور (۱۳۸۷)، شبیه‌سازی، تحلیل حساسیت و عدم قطعیت تراز آب دریاچه ارومیه را نسبت به مولفه‌های آن، نسبت به تراز حداکثر حدود ۲۲۵۸ کیلومترمربع محاسبه کرده است. شایان و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی توسط تکنیک‌های RS و GIS به مطالعه‌ی تغییرات خطوط ساحلی خلیج گرگان پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که خلیج گرگان در سال ۱۹۵۵ به کمترین وسعت خود و در سال ۲۰۰۵ به بیشترین وسعت خود رسیده است. لرتسانی (۱۳۹۴)، در تحقیقی با استفاده از روش پلی‌گون و استفاده از سنجش‌ازدور، تغییرات قاعده‌ی دلتای سفیدرود را مورد بررسی قرار داده است؛ نتایج تحقیق وی نشان می‌دهد که نوسان تراز آب دریای خزر، شدت و ضعف آورد رسوب از رودخانه‌ی سفیدرود در مقاطع زمانی مختلف و انجام عملیات شاس طی سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۸۱ از عوامل اصلی ایجاد تغییر در قاعده‌ی دلتای سفیدرود می‌باشد.

کیوجه<sup>۲</sup> (۱۹۹۴)، از فناوری GIS و RS برای مرزبندی و ارزیابی بحرالमित در اردن و فلسطین اشغالی استفاده کرده است. از نتایج این تحقیق نشان دادن تغییرات بسیار شدید در سطح و خطوط ساحلی این دریاچه در طول دوره‌ی مطالعه است. زوانبو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۴)، برای شناسایی تغییرات محیطی مناطق ساحلی کشور رومانی در دریای سیاه از داده‌های سنجش از دور استفاده و تکنیک‌های پردازش تصویر را به عنوان ابزاری اساسی در مطالعات محیطی ارزیابی کردند. استفان<sup>۴</sup> (۲۰۰۲)، بیان سطح آب دریاچه‌های جکسون و فلوریدا را بر اساس عناصر اقلیمی و با استفاده از سنجش از دور و GIS مورد مطالعه قرار داد؛ نتیجه‌ی این مطالعه نشان داد که می‌توان نوسان‌های دوره‌ای سطح آب دریاچه‌ها را با فناوری سنجش‌ازدور به طور دقیق در طول زمان پایش و ارزیابی کرد. کای چانگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۴)، در دانشگاه اوهایوی ژاپن با استفاده از تصاویر پانکروماتیک ایکانوس اقدام به نقشه‌برداری ساحلی و شناسایی تغییرات نوار ساحلی کرده‌اند؛ نتیجه‌ی تحقیق آن‌ها استخراج دقیق خطوط ساحلی و تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات آن در طول دوره‌ی مورد بررسی است. آل شیخ

<sup>۱</sup> Tucker

<sup>۲</sup> Qudah

<sup>۳</sup> Zavoianu

<sup>۴</sup> Stephen

<sup>۵</sup> Kaichang

و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷)، در تحقیقی با عنوان آشکارسازی تغییرات خط ساحلی با استفاده از روش نسبت‌گیری طیفی باندها در محیط سنجش‌ازدور، به بررسی تغییرات خط ساحلی دریاچه‌ی ارومیه در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ پرداخته‌اند. تورین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۵)، با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای به نظارت سطح آب دریاچه‌ی ارومیه پرداخته‌اند؛ نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ به‌طور متوسط ۳۴ سانتی‌متر از سطح آب دریاچه کاهش یافته است.

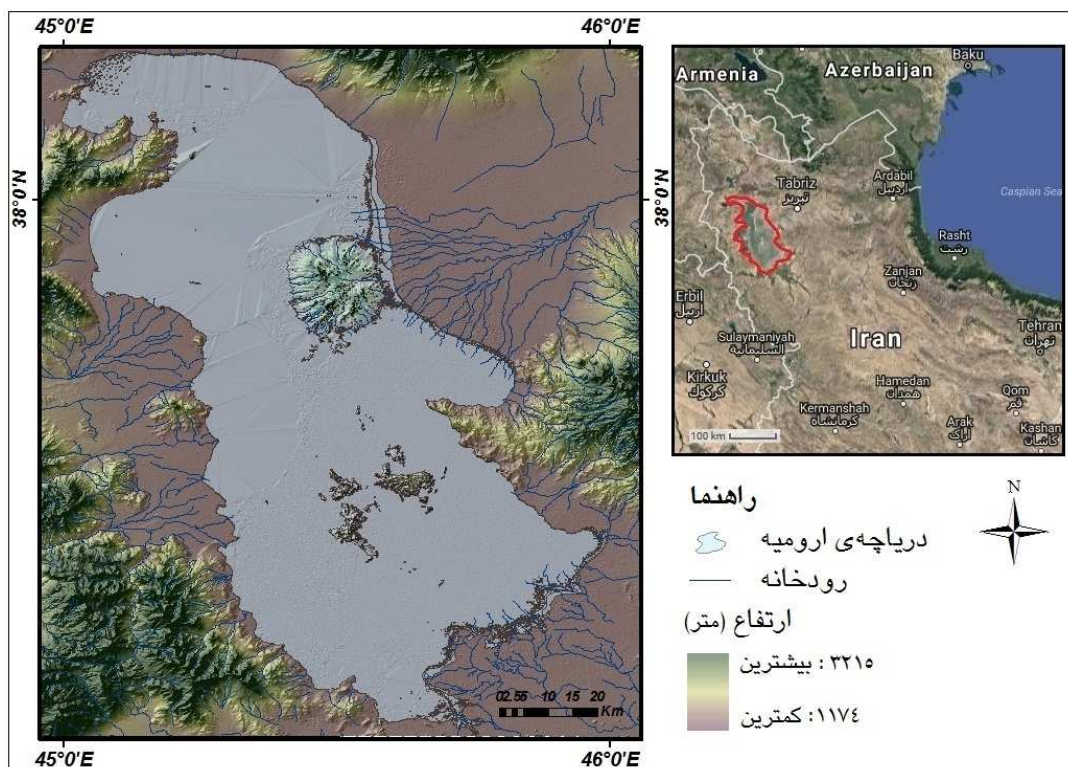
به طور کلی هدف از انجام این پژوهش، بررسی فرایندهای حاکم بر محیط خشکی و ارزیابی هیدرودینامیک دریاچه در تعیین تغییرات خطوط ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM5، MSS، ETM+7 و OLI در یک بازه زمانی ۳۹ ساله (۲۰۱۵-۱۹۷۶) و سپس ارزیابی اثر این تغییرات بر میزان رسوبات نمکی اطراف دریاچه می‌باشد.

#### محدوده مورد مطالعه

دریاچه‌ی ارومیه در بخش شمال غرب ایران واقع شده است. این دریاچه بین مدارهای ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و نصف‌النهارهای ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی قرار گرفته است (موحدانوش، ۱۳۸۷: ۱۶۷). طول آن از شمال تا جنوب حدود ۱۴۰ کیلومتر و عرض متوسط آن تقریباً ۴۰ کیلومتر می‌باشد. عمق متوسط دریاچه ارومیه ۶ متر و گودترین قسمت آن ۱۵ متر عمق دارد (تا قبل از سپتامبر ۲۰۱۰) (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۸۷). حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه به استثنای مرزهای غربی و قسمت بی‌نهایت کوچکی از مرز گوشه‌ی جنوب غربی، مرزهای مشترکی با حوضه‌ی دریای خزر دارد. وسعت دریاچه ارومیه معادل ۵۵۰۰ کیلومتر مربع تخمین زده شده است که در این صورت حجم آب آن معادل ۳۳ میلیارد مترمکعب خواهد بود. بیشترین ارتفاع حوضه، در نزدیکی قله‌ی سبلان و معادل ۳۸۵۰ متر است و بدین ترتیب اختلاف ارتفاع موجود در حوضه، معادل ۲۵۷۶ متر برآورد می‌شود. حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، از جهت منطقه‌بندی داخلی، به سه قسمت شرقی، جنوبی و غربی تقسیم می‌شود (موحدانوش، ۱۳۸۷: ۱۶۸). شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> Alesheikh

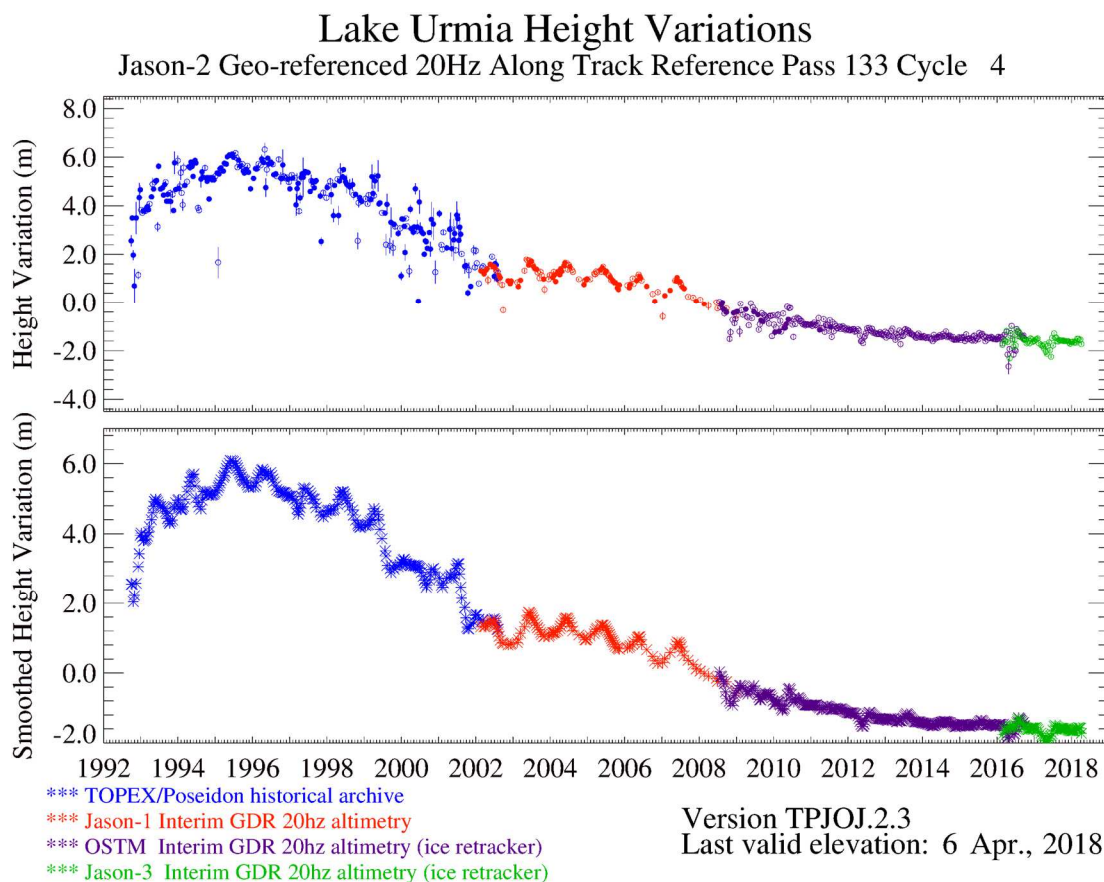
<sup>۲</sup> Tourian et al



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

### نوسانات تراز آب دریاچه

بررسی‌ها نشان می‌دهند که تراز دریاچه ارومیه در طی دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۶ از یک روند روبه کاهشی پیروی نموده است (هاشمی، ۱۳۸۷: ۱۵). پردازش داده‌های ترازسنجی ماهواره‌ای نیز نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ تراز دریاچه حدود ۸ متر افت داشته است (شکل ۲). همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود روند نزولی این دریاچه پس از دوران پرآبی آن در سال ۱۹۹۵ شروع گردیده و در طی ۲۳ سال حدود ۸ متر افت داشته است. در واقع با توجه به ارقام ثبت شده به طور متوسط دریاچه در این بیست سال اخیر سالیانه با افت ۴۰ سانتی متری مواجه بوده است. اما آنچه مسلم است، آن است که عمق دریاچه از آن چه که در اثر کاهش تراز آب حاصل گردیده به مراتب کمتر است و علت آن ته‌نشست نمک و سایر کانیهای تبخیری در بستر دریاچه با ستبرایی بین یک تا چند متر است که به شدت سبب کاهش ژرفای آب و تبدیل دریاچه به کفه نمکی شده است (لک و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۴۴). در حال حاضر در دریاچه ارومیه دو اتفاق در حال رخ دادن است: نخست اینکه میانگین ارتفاع سطح آب هر ماه نسبت به ماه مشابه در سال قبل در حال کاهش می‌باشد و دیگر آنکه نوسانات تراز آب در فصل تر و خشک نیز در حال افزایش است (درویشی‌خاتونی و محمدی، ۱۳۹۰: ۷۵).



شکل ۲. تغییرات نسبی سطح تراز آب دریاچه ارومیه بر پایه داده‌های ترازسنجی ماهواره‌ای TOPEX, Jason-1, OSTM and Jason-3.

#### داده‌ها و روش تحقیق

#### داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این تحقیق برای بررسی تغییرات خط ساحلی و نمکزار دریاچه ارومیه از تصاویر ماهواره‌ای لندست (TM5-MSS+ETM+OLI) که از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) دانلود شده‌اند، استفاده شده است. از جمله دلایل استفاده از این تصاویر دارا بودن باندهای در محدوده مرئی و مادون قرمز انعکاسی و نیز اندازه پیکسل سائز متری اشاره نمود که آن را جزو سنجنده‌های با قدرت تفکیک متوسط قرار داده است. جدول (۱) مشخصات تصاویر استفاده شده را نشان می‌دهد. برای تصحیح هندسی تصاویر از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه و برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تولید لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه از نرم‌افزارهای Arc GIS10.3، ENVI4.8 و ERDAS متناسب با قابلیت هر یک از آن‌ها در هر مرحله استفاده گردید.

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده برای سنجنده‌های MSS، TM5، ETM+ و OLI (منبع: USGS).

ماهواره	سنجنده	سال	قدرت تفکیک
لندست ۲	MSS	۱۹۷۶	۶۰ متر
لندست ۵	TM	۱۹۸۵-۱۹۹۰-۲۰۰۶-۲۰۱۱	۳۰ متر
لندست ۷	ETM+	۲۰۰۰	۳۰ متر
لندست ۸	OLI	۲۰۱۵	۳۰ متر

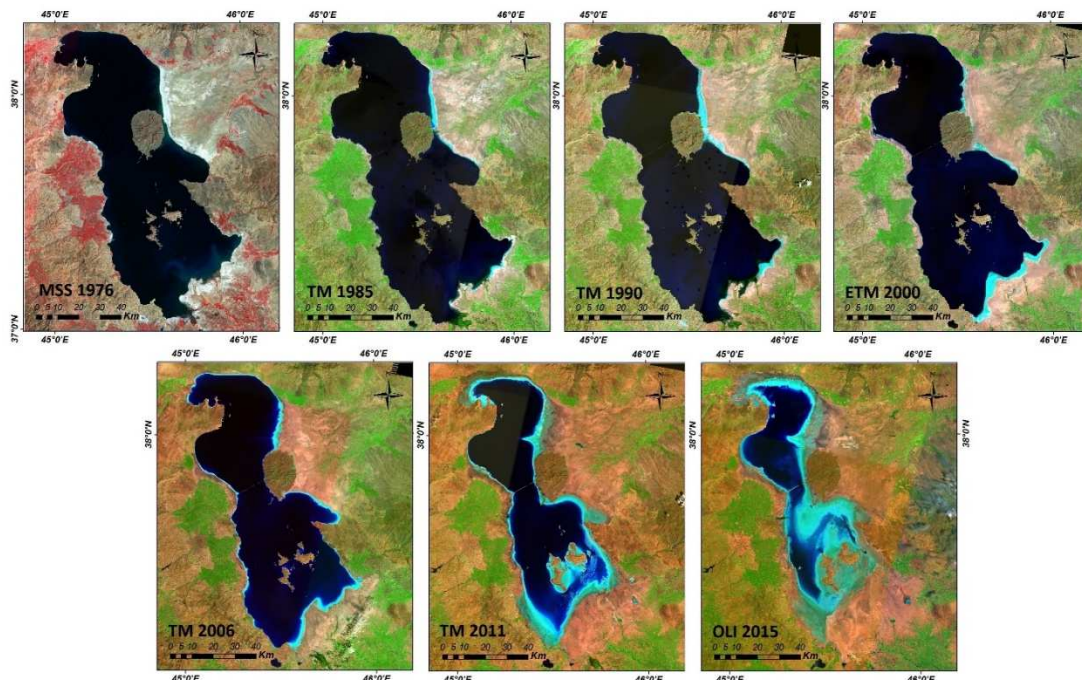
#### پیش‌پردازش تصاویر

برای آماده کردن تصاویر ماهواره‌ای در مرحله‌ی پردازش، مراحل پیش‌پردازش زیر انجام شده است: تصحیح هندسی، تصحیح اتمسفری، موزائیک و نمونه‌برداری مجدد. نظر به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی تغییرات به دلیل مقایسه پیکسل به پیکسل تصاویر ماهواره‌ای با یکدیگر، این تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. بنابراین تصاویر با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ با روش ثبت تصویر به نقشه در سیستم مختصات WGS84 و سیستم تصویر UTM زون ۳۸ با خطای RMSE کمتر از ۰/۵ تصحیح شدند (جدول ۲).

جدول ۲. میزان خطای RMSE تصحیح هندسی تصاویر مورد استفاده برای سال‌های مختلف (متر)

سال	۱۹۷۶	۱۹۸۵	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۰۶	۲۰۱۱	۲۰۱۵
در جهت X	۴۰	۱۵	۱۳	۸	۱۰	۱۱	۷
در جهت Y	۲۵	۱۳	۱۲	۹	۱۱	۹	۱۰
RMSE	۴۷/۱۶	۱۹/۸۴	۱۷/۶۹	۱۲/۰۴	۱۴/۸۶	۱۴/۲۱	۱۲/۲۰

تصحیح اتمسفری مطابق (اسکرودر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۱۸) انجام شد، ابتدا مقدار رقومی هر پیکسل (DN) به تابش طیفی در سنجنده (رادینس) تبدیل شد و سپس رادینس به دست آمده به انعکاس در سنجنده (بازتابندگی) تبدیل شد، برای انجام تصحیح اتمسفری از روش FLAASH استفاده شده است. بعد از انجام این مراحل، به دلیل اینکه منطقه‌ی مورد مطالعه در داخل یک تصویر لندست قرار نگرفته است، تصاویر مربوط به هر سال برای پوشش کامل منطقه‌ی مورد مطالعه موزائیک شدند (شکل ۳). در نهایت تمام تصاویر با روش نزدیک‌ترین همسایه نمونه‌برداری مجدد<sup>۲</sup> شدند.



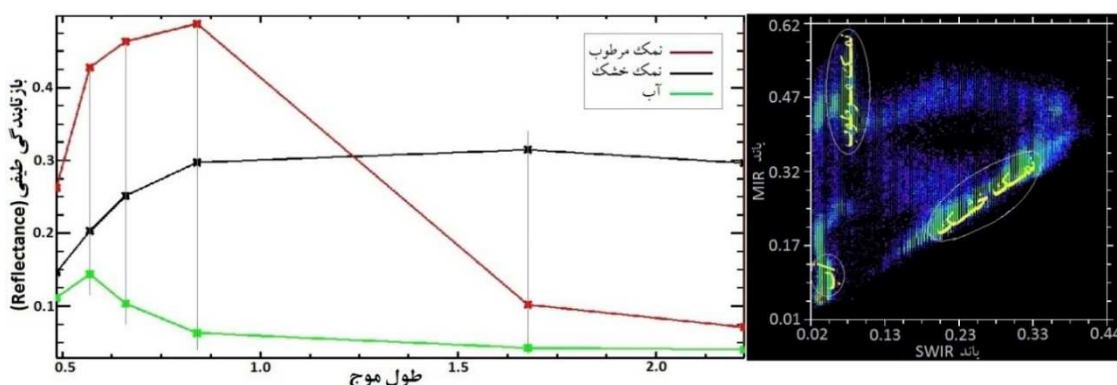
شکل ۳. تصاویر ماهواره‌ای موزائیک شده برای سال‌های مورد مطالعه ( RGB TM & ETM+: 7,4,1; RGB MSS: 4,2,1; (RGB OLI: 7,5,2

<sup>۱</sup> Schroeder

<sup>۲</sup> Resampling

## الگوریتم‌های جداسازی نمکزار و خط ساحل

تفکیک پذیری خاک شور و آب توسط داده‌های سنجش از دور به ویژگی‌های بازتاب طیفی آن‌ها برمی‌گردد. بهترین محدوده از امواج الکترومغناطیسی برای جداسازی خط ساحل و نمکزار بخش مرئی و مادون قرمز می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۷). جذب تابش امواج مادون قرمز توسط آب و بازتابش زیاد آن توسط نمکزار کنتراست خوبی بین آب و زمین ایجاد می‌کند (شکل ۴). تصاویر ماهواره‌ای لندست به دلیل دارا بودن باندهای مجزا در محدوده مرئی و مادون قرمز داده‌های مناسبی برای این منظور فراهم می‌کنند.



شکل ۴. نمودار بازتاب طیفی نمک مرطوب، نمک خشک و آب در طول موج‌های مختلف (منبع: نگارندگان)

شاخص‌های طیف شوری در مطالعات متعددی در ارتباط با آشکارسازی نمک و شوری خاک برای تصاویر لندست مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این مطالعه از شش شاخص شوری (NDSI, SI1, SI2, SI3, SI9, SI14) استفاده شده است (جدول ۳). در این شاخص‌ها به ترتیب R, NIR, B, G, MIR, SWIR عبارتند از باند قرمز، باند مادون قرمز نزدیک، آبی، سبز، مادون قرمز میانی و مادون قرمز کوتاه.

جدول ۳. مشخصات شاخص‌های پهنه‌بندی شوری مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

شاخص شوری	معادله	منبع
Normalized Differential Salinity Index	$NDSI = \frac{(R - NIR)}{(R + NIR)}$	خان و همکاران <sup>۱</sup> ، ۲۰۰۱: ۷
Salinity Index 1	$SI = \sqrt{B} \times R$	خان و همکاران، ۲۰۰۱: ۷
Salinity Index 2	$SI = (G^2 + R^2 + NIR^2)^{0.5}$	کاپا و همکاران <sup>۲</sup> ، ۲۰۰۵: ۳۵۶
Salinity Index 3	$SI3 = \frac{(G \times R)}{B}$	عباس و همکاران <sup>۳</sup> ، ۲۰۱۳: ۴۶

<sup>۱</sup> Khan et al

<sup>۲</sup> Kappa et al

<sup>۳</sup> Abbas et al



Salinity Index 9	$SI = \frac{(MIR \times SWIR - MIR \times SWIR)}{MIR}$	بانیری و همکاران <sup>۱</sup> ، ۲۰۰۸:۲۸۰۳
Salinity Index 14	$SI = \frac{(R \times NIR)}{G}$	خان و همکاران، ۲۰۰۱:۷

به منظور بررسی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ سطح آب دریاچه در هر تصویر به صورت جداگانه استخراج گردید. برای انجام این کار، شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص نرمال شده آب، شاخص نرمال شده رطوبت<sup>۲</sup>، شاخص نرمال شده آب تصحیح شده<sup>۳</sup>، شاخص نسبت آب<sup>۴</sup>، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۵</sup>، شاخص استخراج خودکار آب<sup>۶</sup> استفاده شده است (جدول ۴).

جدول ۴. مشخصات شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج آب از تصاویر لندست (اصلاح شده از: رکنی و همکاران، ۲۰۱۴:۴۱۷۸).

شاخص آب	معادله	توضیح
Normalized Difference Water Index	$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}}$	مقدار آب مثبت است
Normalized Difference Moisture Index	$NDMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$	مقدار آب مثبت است
Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$	مقدار آب مثبت است
Water Ratio Index	$WRI = \frac{Green + Red}{NIR + MIR}$	مقدار آب مثبت است
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	مقدار آب مثبت است
Automated Water Extraction Index	$AWEI = 4 \times (Green - MIR) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR)$	مقدار آب مثبت است

در سنجنده MSS دو باند در محدوده مادون قرمز نزدیک وجود دارد که در این مطالعه از باند ۷ (۸، ۰، ۱) استفاده شده است و برای سنجنده OLI به جای استفاده از بازتابندگی باند مادون قرمز نزدیک از باند ۷ (مادون قرمز کوتاه (SWIR))

<sup>۱</sup> Bannari et al

<sup>۲</sup> Normalized Difference Moisture Index

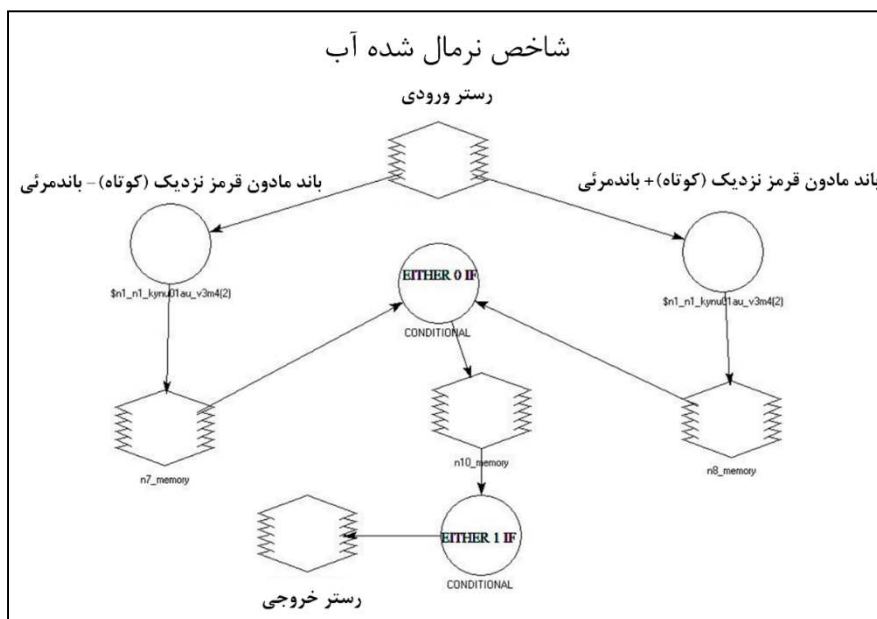
<sup>۳</sup> Modified Normalized Difference Water Index

<sup>۴</sup> Water Ratio Index

<sup>۵</sup> Normalized Difference Vegetation Index

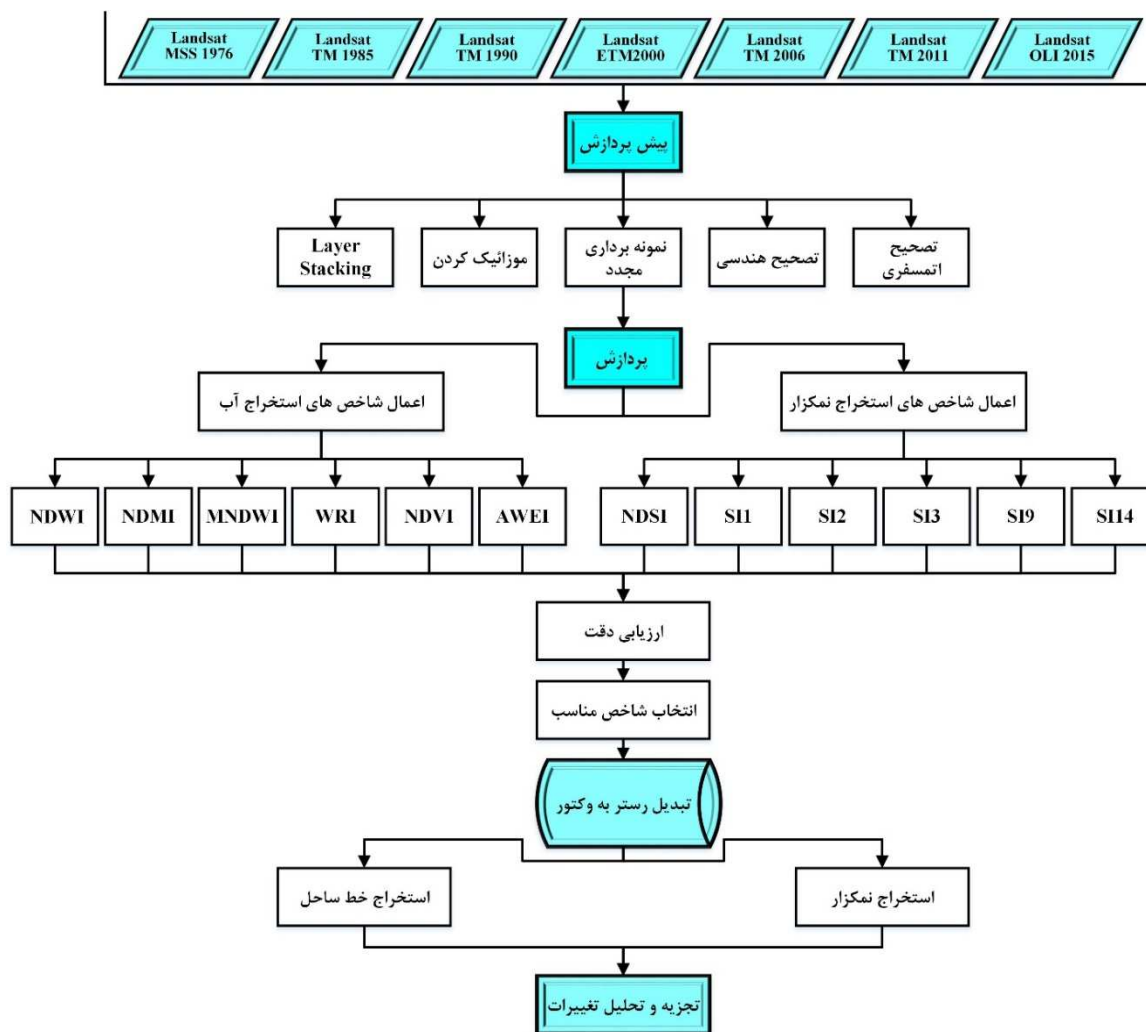
<sup>۶</sup> Automated Water Extraction Index

استفاده شده است. پس از اعمال شاخص‌ها بر روی تصاویر دقت نتایج شاخص‌ها با استفاده از نقاط نمونه که از روی گوگل ارث برداشته شده ارزیابی شد. در نهایت شاخص مناسب برای استخراج خط ساحل و نمکزار انتخاب شده است و به منظور جدا سازی خط ساحل و نمکزار تصاویر مورد نظر با استفاده از اکستنشن Model Maker در محیط نرم افزار ERDAS با در نظر گرفتن حدآستانه باینری شده است (شکل ۵). سپس با تبدیل نقشه‌های رستری به وکتور بررسی و تحلیل تغییرات مورد نظر در محیط نرم‌افزار Arc GIS10.3 انجام شده است.



شکل ۵. مراحل انجام محاسبه شاخص نرمال شده آب و باینری کردن آن در محیط ERDAS (منبع: نگارندگان)

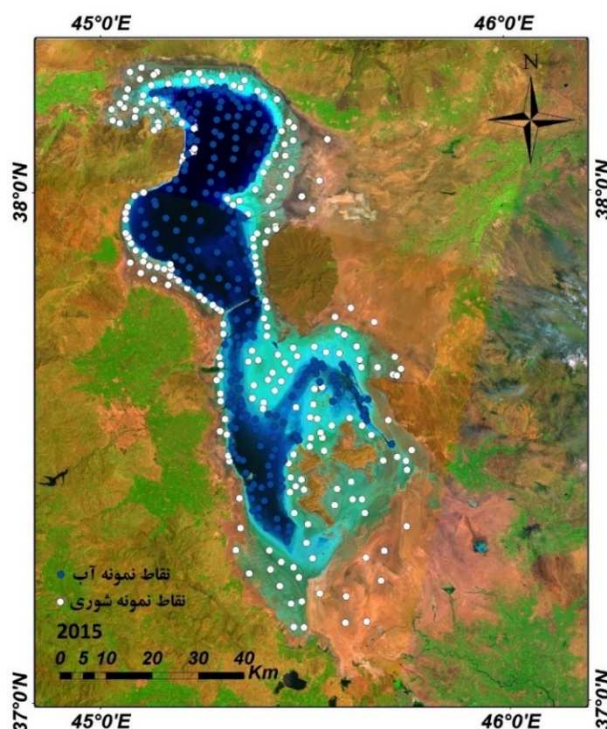
شکل (۶) روش کلی در این مطالعه برای رسیدن به اهداف تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۶. فلوچارت مراحل اصلی تحقیق

### بحث و نتایج

ارزیابی دقت نتایج یکی از مراحل مهم و اساسی بعد از اعمال شاخص‌ها می‌باشد. برای این منظور از ۱۹۵ نقطه نمونه برای آب و ۲۱۸ نقطه نمونه برای نمکزار استفاده شده است. نقاط مورد نظر با توجه به شناخت کامل از منطقه و گوگل ارث منطقه مورد مطالعه تهیه به صورت شکل (۷) نشان داده شده است. جدول (۵) و (۶) به ترتیب نتایج ارزیابی دقت شاخص‌های استخراج خط ساحل و نمکزار را برای سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد.



شکل ۷. پراکنش نقاط نمونه‌برداری برای سال ۲۰۱۵ جهت ارزیابی دقت استخراج خط ساحل و نم‌زار

جدول ۵. نتایج ارزیابی دقت شاخص‌های استخراج خط ساحل برای سال ۲۰۱۵

شاخص	AWEI	NDVI	NDWI	MNDWI	NDMI	WIR
نمونه‌های آب	۱۸۰	۱۸۵	۱۹۱	۱۷۸	۱۶۳	۱۷۴
نمونه‌های شوری	۳۶	۵۱	۷	۴۱	۲۴	۳۰
دقت کلی (%)	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۸۹

جدول ۶. نتایج ارزیابی دقت شاخص‌های استخراج نم‌زار برای سال ۲۰۱۵

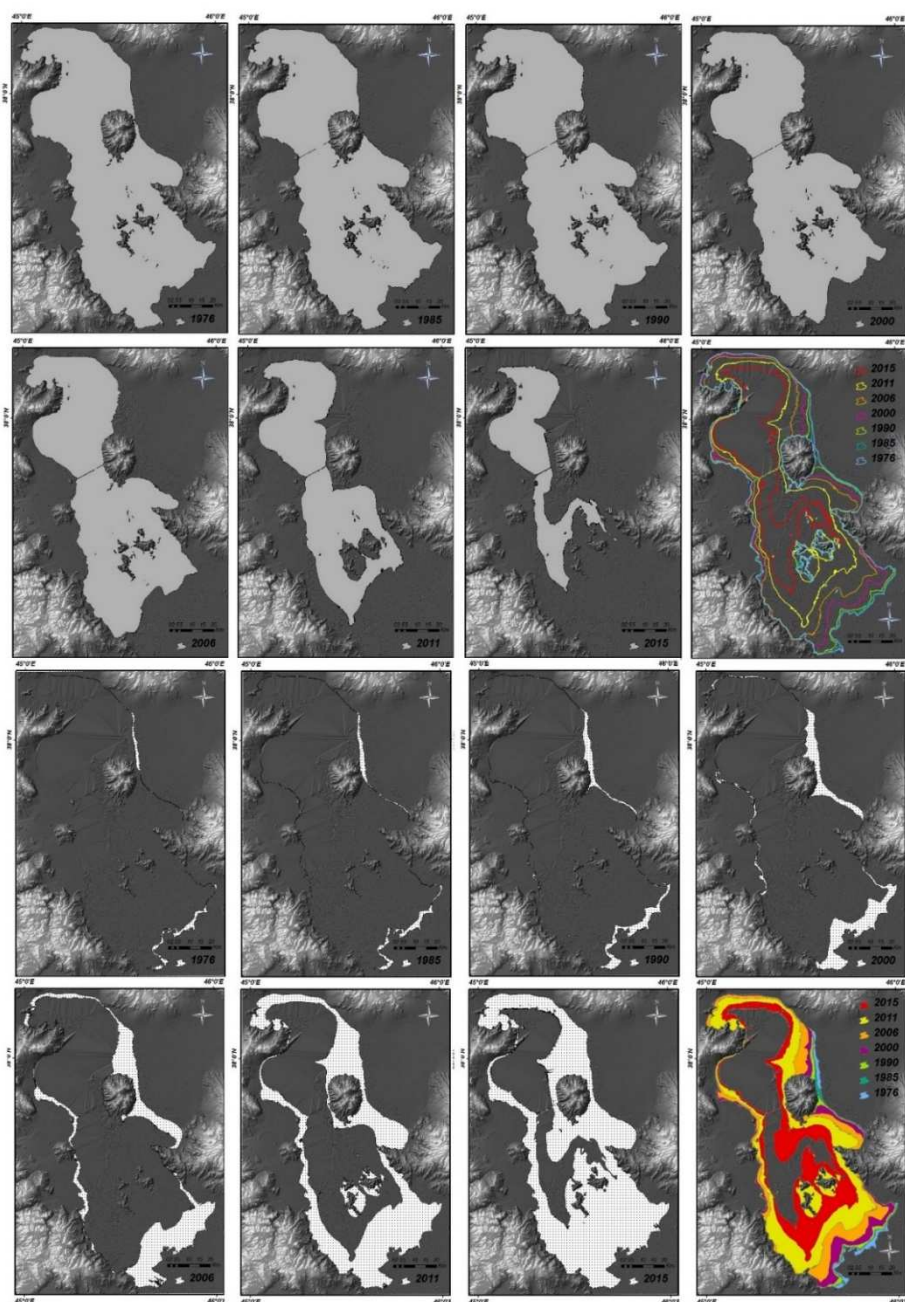
شاخص	NDSI	SI1	SI2	SI3	SI9	SI14
نمونه‌های شوری	۱۶۵	۲۰۰	۲۱۴	۲۰۵	۱۹۰	۱۹۷
نمونه‌های آب	۶۰	۳۶	۱۲	۲۴	۱۸	۲۸
دقت کلی (%)	۰/۷۶	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۹۰

طبق نتایج به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه شاخص NDWI قوی‌ترین شاخص برای استخراج آب می‌باشد به طوری که ۱۹۱ نقطه نمونه آب را به درستی استخراج کرده است و از ۲۱۸ نقطه نمونه شوری فقط ۷ نمونه را در کلاس آب قرار داده است. مقادیر این شاخص بین -۱ و +۱ می‌باشد. اگر  $NDWI > 0$  نوع پوشش آب اما اگر  $NDWI < 0$  باشد نوع پوشش غیر آب می‌باشد (مک‌فیتر و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶؛ ۱۴۲۸؛ جی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ۱۳۰۷). ضعیف‌ترین شاخص، شاخص NDMI می‌باشد. برای استخراج نم‌زار قوی‌ترین شاخص، شاخص SI2 می‌باشد به طوری که ۲۱۴ نقطه نمونه

<sup>۱</sup> McFeeters et al

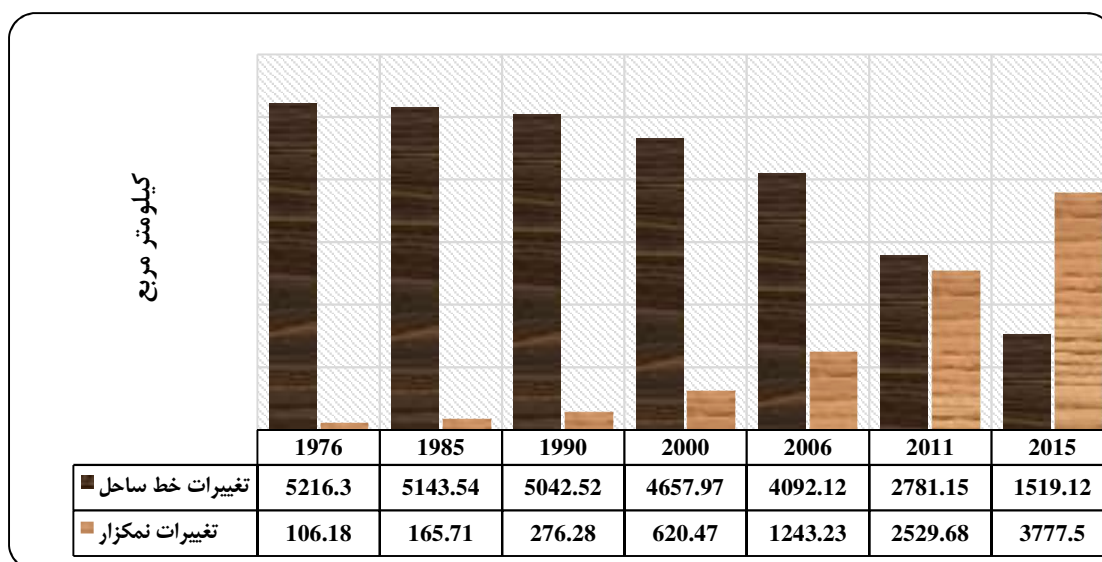
شوری را به درستی استخراج کرده است و از ۱۹۵ نقطه نمونه آب فقط ۱۲ نمونه را در کلاس شوری قرار داده است و ضعیف‌ترین شاخص، شاخص NDSI می‌باشد.

تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس سالیانه از سال (۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵) قابل توجه است. تغییرات دوره‌ای سطح آب دریاچه ارومیه و نمکزارهای اطراف آن در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۸) مساحت دریاچه ارومیه در حال کاهش و مساحت نمکزارها در حال افزایش می‌باشند. به طوری که مساحت سطح آب دریاچه و نمکزار به ترتیب از ۵۲۱۶,۳۰ و ۱۰۶,۱۸ کیلومترمربع در سال ۱۹۷۶ به ۱۵۱۹,۱۲ و ۳۷۷۷,۵۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۵ رسیده است. این نتایج کاهش ۷۰,۸۷ درصدی مساحت آب دریاچه و افزایش ۳۴۵۷,۶۳ درصدی اراضی نمکزار منطقه مورد مطالعه را در طی ۳۹ سال گذشته را نشان می‌دهد.

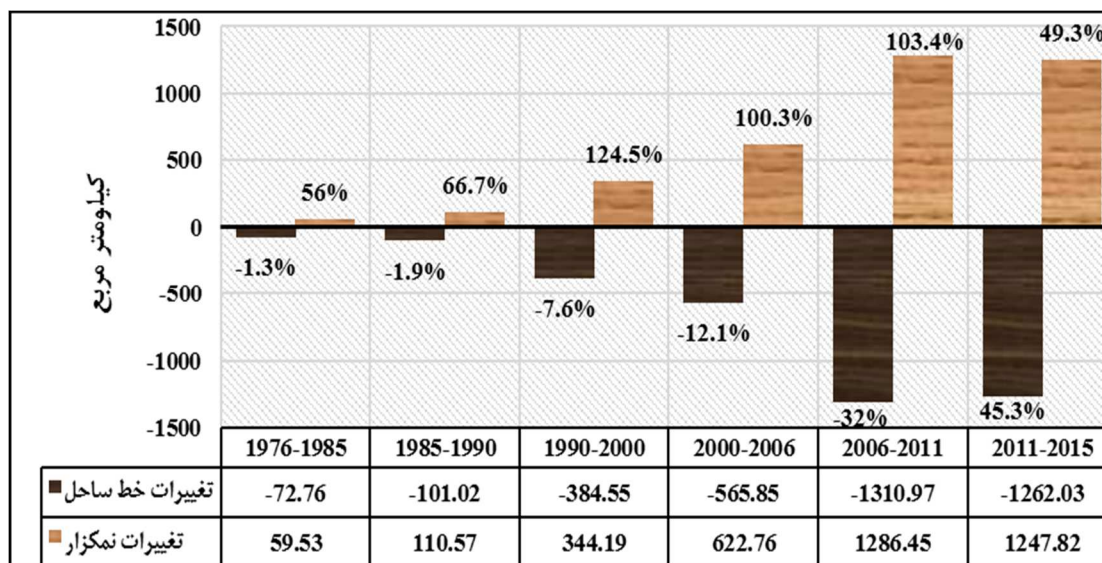


شکل ۸. نقشه تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار منطقه مورد مطالعه از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵

شکل (۹) مساحت سطح آب و نمکزار منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی مورد نظر نشان می‌دهد. شکل (۱۰) میزان تغییرات سطح آب و نمکزار منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج بررسی‌ها بیانگر این است که مساحت سطح آب روند کاهشی و نمکزار روند افزایشی دارد. به طوری که سطح آب ۷۲/۷۶ کیومترمربع بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۵، ۱۰۱/۰۲ کیومترمربع بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰، ۳۸۴،۵۵ کیومترمربع بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ و ۱۳۱۰/۹۷ کیومترمربع بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ کاهش یافته است. اما مساحت نمکزار در تمام سال‌های مورد مطالعه روند افزایشی را دارد به طوری که ۵۹/۵۳ کیومترمربع بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۵، ۱۱۰/۵۷ کیومترمربع بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰، ۳۴۴/۱۹ کیومترمربع بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، ۶۲۲/۷۶ کیومترمربع بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و ۱۲۴۷/۸۲ کیومترمربع بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ افزایش یافته است. بیشترین تغییرات مساحت مربوط به نمکزار و خط ساحل به ترتیب ۱۲۴۷/۸۲ و ۱۳۱۰/۹۷ کیومترمربع مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ می‌باشد.



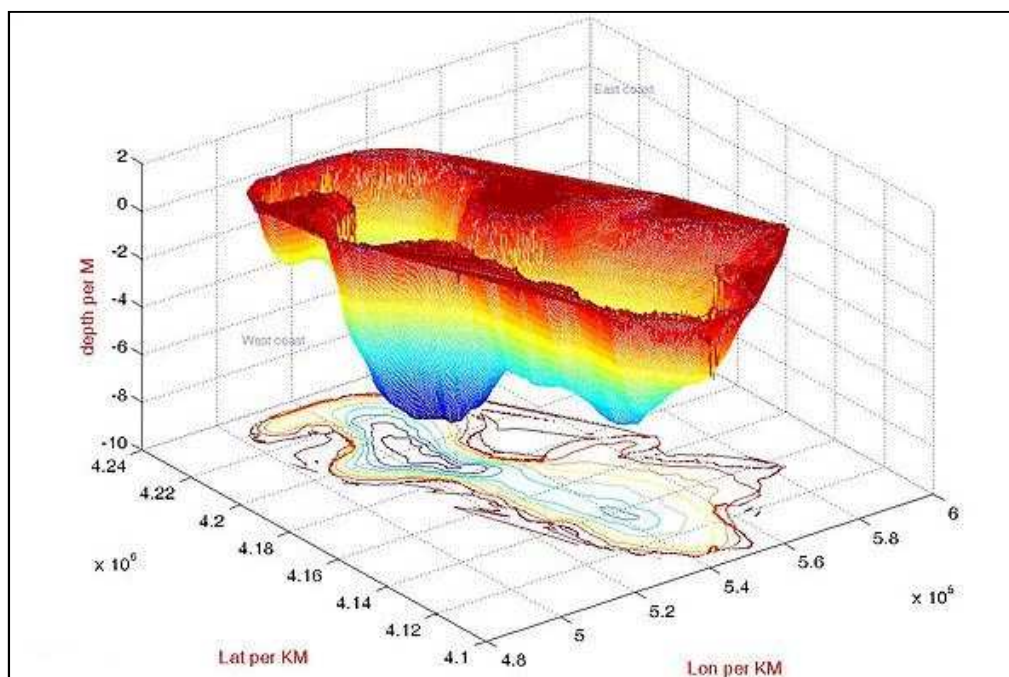
شکل ۹. مساحت سطح آب و نمکزار منطقه مورد مطالعه به کیومترمربع



شکل ۱۰. تغییرات مساحت سطح آب و مساحت نمکزار بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ به درصد و کیومترمربع

## ارتباط تغییرات خط ساحل با عمق دریاچه

پردازش داده‌های عمق سنجی و الگوسازی سه بعدی این داده‌ها نشان می‌دهد که بستر دریاچه دارای پستی و بلندی بوده و بر این اساس به دو بخش قابل تقسیم است. همانگونه که در شکل (۱۱) مشاهده می‌کنید بخش جنوبی-میانی دارای عمق کم (۱ تا ۳ متر) و به نسبت یکنواخت است و تنها در محدوده غربی جزایر "اسپیر" و "اشک" عمق افزایش یافته و به حدود ۶ متر می‌رسد. بخش میانی-شمالی در حقیقت یک فرورفتگی است که عمیق‌ترین بخش آن (در نزدیکی کوه زنبیل داغی) ۱۶ متر ژرفا دارد. عمق این بخش در نواحی شمالی کاهش یافته و به یک متر می‌رسد.



شکل ۱۱. الگوی سه بعدی بستر دریاچه ارومیه بر مبنای داده‌های عمق‌نگاری (شریفی، ۱۳۹۰)

با توجه به استخراج خط ساحل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بیشترین تغییرات در جهت شرق و جنوب شرقی (مصب رودخانه دائمی و پر آب زربینه رود) دریاچه اتفاق افتاده است. یکی از دلایل مهم آن با توجه به شکل (۱۱) کم‌تر بودن عمق بستر دریاچه در این جهت‌ها می‌باشد. تغییرات سطح آب در جهت‌های شمالی کمتر بوده است با این حال در قسمت‌های از این مناطق به دلیل کم بودن عمق بستر دریاچه تغییرات زیاد بوده است.

## نتیجه‌گیری

ماهیت خطوط ساحلی دینامیکی است و مدیریت چنین محیط‌های بوم‌شناختی حساسی، به کسب اطلاعات دقیق در فاصله‌های زمانی مختلف نیاز دارد. بنابراین داده‌های ماهواره‌ای، بهترین و کارآمدترین منبع اطلاعاتی برای آشکار سازی تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار به شمار می‌روند. در این تحقیق، برای آشکار سازی تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار از تصاویر ماهواره لندست سنجنده‌های TM5+, MSS, ETM+ و OLI از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است. هدف اصلی این تحقیق به علت اهمیت و جایگاه خاص دریاچه‌ها در بوم‌سازگان، آشکار سازی تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار دریاچه ارومیه در طی بازه زمانی ۳۹ سال می‌باشد. بررسی نوسانات تراز دریاچه با استفاده از داده‌های ترازسنجی ماهواره‌ای از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ نشان داد که سطح تراز دریاچه حدود ۸ متر افت داشته است. نتایج ارزیابی دقت شاخص‌ها مختلف برای استخراج خطوط ساحلی دریاچه ارومیه بیانگر این است که قوی‌ترین و ضعیف‌ترین شاخص به ترتیب، شاخص NDWI و NDMI و ضعیف‌ترین شاخص برای استخراج نمکزار شاخص SI2 و NDSI می‌باشد. تجزیه و

تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد مساحت سطح آب دریاچه و نمکزار به ترتیب از ۵۲۱۶/۳۰ و ۱۰۶/۱۸ کیلومتر مربع در سال ۱۹۷۶ به ۱۵۱۹/۱۲ و ۳۷۷۷/۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۵ رسیده است. این نتایج کاهش ۷۰/۸۷ درصدی مساحت آب دریاچه و افزایش ۳۴۵۷/۶۳ درصدی اراضی نمکزار منطقه مورد مطالعه را در طی ۳۹ سال گذشته را نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات مساحت مربوط به نمکزار و خط ساحل به ترتیب ۱۲۸۶/۴۵ و ۱۳۱۰/۹۷ کیلومتر مربع مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ می‌باشد. مقایسه تغییرات خط ساحل و عمق دریاچه نشان داد که بیشترین تغییرات در قسمت‌های جنوب شرقی و جنوب به دلیل عمق کم این مناطق اتفاق افتاده است. بر همین اساس سطح خشکی‌های شور در منطقه پیرامونی دریاچه افزایش یافته و با ادامه کاهش سطح دریاچه و بر اثر وزش بادهای تند و گرم فصول تابستان و تا حدودی پاییز به مرور اراضی زراعی و مرغوب منطقه عمومی آذربایجان بالاخص در استان آذربایجان شرقی خاصه دشت‌های حاصلخیز مراغه، بتاب و تبریز به سمت شور شدن و در نهایت کویری شدن پیش می‌روند. اگر این روند به هر عنوان مدیریت زیست - محیطی مناسبی را در سطح کلان ملی و منطقه‌ای متوجه و عامل به خود نسازد بی‌شک در بلند مدت بایستی در انتظار بحران‌های زیستی کلان در منطقه و جریانات جمعیتی غیرمتعارف در شمال غرب کشور و برهم خوردن توازن‌های نه چندان مناسب وضع موجود در توزیع جمعیتی این منطقه و کشور در ابعادی وسیع‌تر و پرهزینه‌تر بود.

## مراجع

- احمدی، محمود، رامشت، محمدحسین، درفشی، خبات، ۱۳۹۳، بررسی روند تغییرات خط ساحلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: ساحل شهرستان بندر دیر، خلیج فارس، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳، ۶۳-۷۴.
- اصغری زمانی، اکبر، ۱۳۹۲، ارزیابی تغییرات سطح دریاچه ارومیه به عنوان چالش عمیق زیست‌محیطی فراروی منطقه شمال غرب ایران، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۱، صص ۹۱-۷۷.
- جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۸۶، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ هشتم، ص ۱۰۶.
- خادمی، فاطمه، پیرخراطی، حسین، شاه‌کرمی، سجاده، ۱۳۹۳، مطالعه روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از GIS و RS، زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صص ۹۸-۹۳.
- درویشی خاتونی، جواد، محمدی، علی، ۱۳۹۰، گزارش لیمنولوژی و پالتو لیمنولوژی دریاچه ارومیه فاز I: اقلیم‌شناسی، زمین‌شناسی و هیدولوژی، سازمان زمین‌شناسی کشور، صص ۸۷-۱.
- دلاور، مجید، ۱۳۸۷، شبیه‌سازی، تحلیل حساسیت و عدم قطعیت تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه نسبت به مؤلفه‌های بیلان آبی آن، مجله هیدرولیک، سال سوم، شماره ۱، صص ۵۵-۴۵.
- رسولی، علی‌اکبر، عباسیان، شیرزاد، جهانبخش، سعید، ۱۳۸۷، پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه‌ی ارومیه با پردازش. فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۷۱-۵۳.
- شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، خلیلی، یاسر، ۱۳۹۱، آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی شمال کشور با استفاده از تکنیک‌های GIS,RS مطالعه موردی خلیج گرگان، اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن. جزیره کیش، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز، <http://www.civilica.com/Paper>.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۶، ژئومورفولوژی ایران، نشر قومس، چاپ چهارم، ص ۳۸۸.
- لرستانی، قاسم، ۱۳۹۴، بررسی تغییرات خط ساحلی با استفاده از روش پلی‌گون تغییرات محدوده مورد مطالعه: قاعده دلتای سفیدرود، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۳، صص ۱۸۰-۱۶۸.
- لک، راضیه، درویشی خاتونی، جواد، محمدی، علی، ۱۳۹۰، مطالعات پالتو لیمنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۴، ۳۴۳-۳۵۸.



- موحددانش، علی اصغر، ۱۳۸۷، هیدرولوژی آب‌های سطحی ایران، انتشارات سمت، چاپ پنجم، ص ۳۷۸.
- هاشمی، مختار، ۱۳۸۷، مروری بر وضعیت منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه، سازمان حفاظت محیط زیست.
- Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M. A., and Akbar, S., 2013, *Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 55, pp. 43-52.
- Alesheikh, A. A., Ghorbanali, A., and Nouri, N., 2007, *Coastline change detection using remote sensing*, International Journal of Environmental Science & Technology, 4(1), pp. 61-66.
- Alesheikh, A. A., Ghorbanali, A., and Talebzadeh, A., 2004, *Generation the coastline change map for Urmia Lake by TM and ETM+ imagery*. In Map Asia Conference, Beijing, China.
- Bannari, A., Guedon, A. M., El-Harti, A., Cherkaoui, F. Z., and El-Ghmari, A., 2008, *Characterization of Slightly and Moderately Saline and Sodic Soils in Irrigated Agricultural Land using Simulated Data of Advanced Land Imaging (EO-1) Sensor*, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(19-20), pp. 2795-2811.
- Ding, H., Wang R. C., Wu, J. P., Zhou, B., Shi, Z., and Ding L. X., 2007, *Quantifying land use change in Zhejiang coastal region, China using multi-temporal Landsat TM/ETM+ images*. Pedosphere, No. 17, pp. 712-720.
- Elnaggar, A. A., and Noller, J. S., 2009, *Application of remote-sensing data and decision-tree analysis to mapping salt-affected soils over large areas*, Remote Sensing, 2(1), pp. 151-165.
- Esmaili Dahesht, L., Negarestan, H., Eimanifar, A., Mohebbi, F., and Ahmadi, R., 2010, *The fluctuations of physicochemical factors and phytoplankton populations of Urmia Lake, Iran*, Iranian Journal of Fisheries Sciences, No. 9(3), pp. 368-381.
- Jaafari, S., Shabani, A. A., and Danehkar, A., 2013, *Investigation of coastline change of the Urmia Lake using remote sensing and GIS (1990-2012)*, International Journal of Aquatic Biology, 1(5), pp. 215-220.
- Ji, L., Zhang, L., and Wylie, B., 2009, *Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11), pp. 1307-1317.
- Kaichang, D., Ruijin, M., Jue, W. and Ron, L., 2004, *Coastal Mapping and Change Detection Using HighResolution IKONOS Satellite Imagery*. Japan: Ohio.
- Kappa, M. Shawan, A., and Erasmi, S., 2005, *Remote sensing based classification of salt affected soils as an indicator for landscape degradation in the south of Aleppo, Syria, in UN convention to combat desertification*, Trier, Germany.
- Karimi, N., and Mobasheri, M. R., 2011, *Shoreline change analysis of Urmia Lake using multi-temporal satellite images*. In Eighteenth National Conference on Geomatics, Iran, Tehran, pp. 88-96.
- Katawatin, R., and Kotrapat, W., 2005, *Use of LANDSAT-7 ETM+ with ancillary data for soil salinity mapping in Northeast Thailand*. In Microtechnologies for the New Millennium 2005, International Society for Optics and Photonics, pp. 708-716.
- Kaviani, A., Fathollah-Nejad, Y., Habib-nejad, M. and Soleimani, K., 2011, *Modeling Seasonal Rainfall Erosive on a Regional scale: A case Study from Northeastern Iran*, Int. J. Environ. Res.. Vol. 5. No. 4. pp. 939-950.
- Khan, N. M., Rastoskuev, V. V., Shalina, E. V., and Sato, Y., 2001, *Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators—a simple approach with the use of GIS IDRISI*. In 22nd Asian Conference on Remote Sensing (Vol. 5, p. 9).
- McFeeters, S. K., 1996, *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*, International journal of remote sensing, 17(7), pp. 1425-1432.
- Moore, L. J., 2000, *Shoreline mapping techniques*. Journal of Coastal Research, 111-124.
- Qudah, O., and Harahsheh, H., 1994, *Recession of Dead Sea Through the Satellite Images*, Royal Jordanian Geographic Centre Amman- Jordan.
- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., and Hazini, S., 2014, *Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery*, Remote Sensing, 6(5), pp. 4173-4189.

- Roshan, G.R., Mohammadi, H., Nasrabadi, T., Hoveidi, H. and Baghvand, A., 2007, *The Role of Climate Study in Analyzing Flood Forming Potential of Water Basins*. *International Journal of Environmental Research*, Vol.1. No. 3. pp. 231-236.
- Schofield, C. S., 1940, *Salt balance in irrigated areas*, *J. Agr. Res.* 61, pp. 17-39.
- Singh, A., 1989, *Digital change detection techniques using remotely sensed data*, *Int J. R. S.* Vol. 10, No 6.
- Schroeder, T. A., Cohen, W. B., Song, C., Canty, M. J., and Yang, Z., 2006, *Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon*. *Remote sensing of environment*, 103(1), pp. 16-26.
- Sisay, A., 2016, *Remote Sensing Based Water Surface Extraction and Change Detection in the Central Rift Valley Region of Ethiopia*. *American Journal of Geographic Information System*, 5(2), pp. 33-39.
- Stephen A. K., 2002, *A remote sensing and GIS Study of Long-Term water mass balance lake Jackson*, *College of Engineering Science Technology & Agriculture*. Florida, U.S.A.
- Tucker, C., 1979, *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*, *Remote Sensing of Environment*. Vol. 8. pp. 127-150.
- Tourian, M. J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, Sh., and Sneeuw, N., 2015, *A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran*, *Remote Sensing of Environment*, No. 156, pp. 349-360.
- US Geological Survey. Using the USGS Spectral Viewer. Available on <http://landsat.usgs.gov/instructions.php> [accesses date: August 4, 2015].
- Van, T. T., and Binh, T. T., 2008, *Shoreline change detection to serve sustainable management of coastal zone in Cuu Long Estuary*, In *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (Vol. 1)*.
- Zăvoianu, F., Caramizoiub, A., and Badeaa, D., 2004, *Study and Accuracy Assessment of Remote Sensing Data for Environmental Change Detection in Romanian Coastal Zone of the Black Sea*, In *Proceeding of ISPRS*, pp. 778-783.