

## ارزیابی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و افزایش پهنه‌های نمکی در منطقه شمال غرب ایران

محمدحسین فتیحی\* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

عقیل مددی- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

ابراهیم بهشتی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

نادر سرمستی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۷/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۹/۱۳

### چکیده

تغییرات شدید آب‌وهوایی، کاهش مقدار بارندگی، استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف انسانی و صنعتی، سبب نوسان‌ها و تغییرات خطوط ساحلی و از همه مهم‌تر، موجب افزایش پهنه‌های نمکی در منطقه شمال غرب ایران شده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه و پهنه‌های نمکی اطراف آن است؛ برای نیل به این هدف، تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی ماهواره لندست (۱۹۸۹-۲۰۱۱)، سنجنده‌های TM و ETM+ همگام با یافته‌ها و برداشت‌های میدانی، پردازش شد. به منظور شناسایی و ارزیابی وضعیت تغییرات محیطی رخ داده در منطقه پژوهش، ابتدا در مرحله پیش‌پردازش، تصحیح‌های هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر اعمال شد. برای شناسایی و استخراج تغییرات خطوط ساحلی از روش آشکارسازی تغییرات تفریق باندهی و برای بررسی مقدار تغییرات کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، با الگوریتم بیشترین احتمال استفاده شد. از مزایای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های دورسنجی، افزایش دقت نتایج و صرفه‌جویی در هزینه و زمان است. نتایج، نشان‌دهنده کاهش ارتفاع سطح آب دریاچه بین ۶ تا ۷/۴۰ متر است؛ به‌طور تقریبی حدود ۳۱/۶۴ درصد از مساحت آبی و نیز حدود ۲/۰۶ درصد از مساحت پوشش گیاهی منطقه کاسته و به همان اندازه، بر مقدار ماسه‌های نمکی و نمکزارها افزوده شده است.

کلیدواژه‌ها: پهنه نمکی، تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات خطوط ساحلی، دریاچه ارومیه، نوسان‌های سطح آب.

### مقدمه

تغییرات شدید آب‌وهوایی، کاهش نزولات آسمانی و مقدار محدود آب‌های قابل استفاده، از دیرباز بشر را بر آن داشته است تا برای ادامه حیات و بقای خود در پی مدیریت منابع آبی با احداث انواع سدها و به‌خدمت گرفتن عناصر آب‌وهوایی با دانش و فناوری روز باشد. در این بین، بررسی نوسان‌های سطح آب دریاچه‌ها به‌منظور حفاظت آنها به‌لحاظ اهمیت، ماهیت و موقعیت این مجموعه‌های آبی و به‌منزله عاملی برای ادامه حیات و میراثی طبیعی، در سال‌های اخیر در بین

کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است (رسولی و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۳). بنابراین، به مناطق ساحلی به‌ویژه محیط دریاچه‌های داخلی به‌مثابه محیط‌های بوم‌شناختی توجه ویژه‌ای شده است (جنسن، ۱۹۹۶: ۳۱۶). شکل‌ها و پدیده‌های طبیعی سطح زمین بسیار سریع تغییر پیدا می‌کنند (مک‌لاود و کانگلتون، ۱۹۹۸: ۱۲۷) و دریاچه‌ها نیز به‌منزله یکی از همین شکل‌ها و پدیده‌های طبیعی، از این قاعده مستثنی نبوده (ساداتی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲: ۶۴۵)، همواره دستخوش تغییر و تحول‌اند (میرباقری و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۶۳). تغییرات آب‌وهوایی در نتیجه کاهش بارندگی، افزایش دما، استفاده بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی در مناطق و حوضه‌های آبریز به روشنی قابل مشاهده است (مرتضوی و شریفیان، ۲۰۱۱: ۷۵۷؛ آریاس و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۲). این تغییرات خود موجب دگرگونی در کیفیت منابع آبی که اساس توسعه پایدار است، می‌شود (باغوند و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۶۴). امروزه تنزل کیفیت و کمیت منابع آبی یکی از مهم‌ترین چالش‌های فراروی توسعه پایدار است (بینگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۶۱). در این شرایط، پایش و ارزیابی مناطق ساحلی امری مهم در توسعه ملی و مدیریت منابع طبیعی تلقی می‌شود.

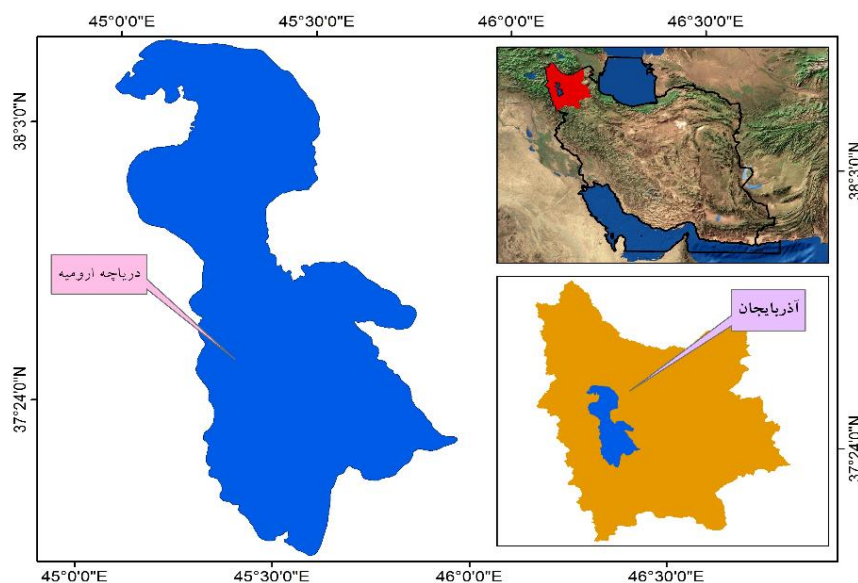
در دهه‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف، به‌مثابه پژوهشی زیربنایی مورد توجه واقع شده است (روشن و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۳۵؛ هوداک، ۲۰۱۱: ۵۹۵)؛ زیرا ماهیت خطوط ساحلی دینامیکی است و مدیریت چنین محیط‌های بوم‌شناختی حساسی، به کسب اطلاعات دقیق در فاصله‌های زمانی مختلف نیاز دارد (کاویان و همکاران، ۲۰۱۱: ۹۳۹). برای این منظور، فناوری سنجش از دور کاربرد بی‌نظیری 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. از مدت‌ها پیش، ثابت شده است که جذب اشعه مادون قرمز توسط آب و انعکاس شدید آن توسط پوشش گیاهی و خاک، ترکیب مناسبی را برای نقشه‌برداری از سطوح آبی فراهم می‌کند (تاگر، ۱۹۷۹: ۱۲۷). به کمک این روش‌ها و فناوری‌ها و به‌منظور مدیریت جامع منابع آب از یک طرف و اهمیت و ماهیت دریاچه‌ها به مثابه میراثی طبیعی از طرف دیگر، پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا تحقیقاتی را انجام داده‌اند که به بعضی از آنها اشاره می‌شود: نجفی در سال ۲۰۰۳ به بررسی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از الگوبندی فناوری RS و GIS پرداخت. او سنجش از دور را بهترین فناوری در ارزیابی و تخمین مقادیر انباشت برف در حوضه‌های آبریز به‌ویژه نقاط کوهستانی و صعب‌العبور معرفی کرد. بایرام و همکاران (۲۰۰۴) در استانبول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نوار ساحلی بخش اروپایی شهر را بررسی و تغییرات زمانی نوار ساحلی برای سال‌های ۱۹۶۳، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ را استخراج کرده و نقشه آن را طی دوره بررسی شده ترسیم کردند. کای‌چانگ و همکاران (۲۰۰۴)، در دانشگاه اوهایو ژاپن اقدام به نقشه‌برداری ساحلی و شناسایی تغییرات نوار ساحلی با روش نقشه‌برداری نیمه‌خودکار در ساحل دریاچه آری، با استفاده از تصاویر پانکروماتیک ایکانوس کردند. نتیجه این پژوهش، استخراج دقیق خطوط ساحلی و تهیه نقشه تغییرات آن در طول دوره بررسی شده است. آل‌شیخ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تصاویر سنجنده لندست بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ به بررسی خطوط ساحلی دریاچه ارومیه پرداخته، دریافتند ۱۰۴۰ کیلومتر مربع از سطح دریاچه در طول دوره بررسی شده کاهش یافته است. رسولی و همکاران (۱۳۷۸) تحقیقی تحت عنوان «پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندسنجنده‌ای و چندزمانی» انجام دادند. در این پژوهش، سطح دریاچه بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، مودیس و آی.آر.اس بررسی و نوسان‌های سطح آب در

دوره‌های زمانی مختلف ارزیابی شد. آنها پی بردند که بیشترین تغییرات سطح آب دریاچه در جنوب شرق و ساحل شرقی دریاچه رخ داده است که این کاهش سطح، ۳۳ درصد از سطح دریاچه در طول دوره بررسی شده کاسته است. بربراولو و اکین (۲۰۰۹) از روش‌های متفاوت سنجش از دور برای شناسایی وضعیت کاربری اراضی در شرق مدیترانه استفاده کردند. رسولی و محمودزاده (۲۰۱۰)، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و روش پردازش تصویر دانش پایه بین سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۲، خطوط ساحلی دریاچه خزر را بررسی و چندین دوره پیش‌روی و پس‌روی را در طول ساحل استخراج کردند. نظم‌فر و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی به پایش تغییرات دلتای سفیدرود با پردازش داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی و چندزمانی در فاصله زمانی شانزده‌ساله بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۵ پرداختند. نتایج این پژوهش بیان‌کننده روند تکاملی پیش‌رونده دلتای سفیدرود به سمت شرقی با توجه به پس‌روی خط ساحلی دریای خزر در این ناحیه از منطقه بررسی شده بوده است. این تغییر نشان‌دهنده تغییرات محیطی در منطقه است. تکامل دلتای سفیدرود به صورت پیش‌روی دلتا بر اثر عملکرد غالب سفیدرود، پس‌روی دریا، کاهش سطح و تغییر خط ساحلی بوده است.

با توجه به موارد ذکر شده و اهمیت دریاچه ارومیه به مثابه میراث طبیعی ملی و همچنین تحقیقات انجام‌گرفته تا سال ۲۰۱۳، در این پژوهش تغییرات خطوط ساحل و مساحت سطح دریاچه ارومیه و نمکزارهای اطراف آن بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۱ با استفاده از تصاویر سنجنده TM و ETM از نظرگاه ترکیب طیفی و تفکیک مکانی و روش‌های طبقه‌بندی و بررسی تغییرات مطالعه می‌شود. با توجه اینکه در بیشتر پژوهش‌های صورت‌گرفته فقط به بررسی قسمت کوچکی از سواحل و تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه اکتفا شده است، در این پژوهش سعی شد همه عواملی که در محدوده دریاچه ارومیه وجود دارد، به رده‌هایی طبقه‌بندی و تغییرات آنها نیز جداگانه بررسی شود. برای رسیدن به نتایج بهینه، سعی شد در زمان پژوهش از به‌روزترین تصاویر ماهواره‌ای قابل دسترس استفاده شود.

## موقعیت و ویژگی‌های جغرافیایی

از نظر جغرافیایی، دریاچه ارومیه در حد گسترش نهایی خود حدود ۱۴۰ کیلومتر طول، ۵۵ کیلومتر عرض و با حداکثر ۱۸ متر عمق، در شمال غرب ایران و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۴۵ تا ۴۶ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ تا ۳۸/۵ درجه شمالی واقع شده است (رسولی و همکاران، ۱۳۷۸: ۵۷). مساحت دریاچه ارومیه در طول سال‌های گذشته بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع در نوسان بوده است که میانگین مساحت آن حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع برآورد می‌شود. به‌طور تقریبی حدود ۲۰ رودخانه دائمی و فصلی و همچنین تعدادی از جریان‌های زیرسطحی و فصلی، دریاچه ارومیه را تغذیه می‌کند. میانگین شوری آب دریاچه ارومیه بین ۲۲۰ تا ۳۰۰ گرم در لیتر است که نسبت به شرایط زمانی و مکانی مختلف متغیر است. سازمان ملل دریاچه ارومیه را به دلیل داشتن محیط بوم‌شناختی خاص تحت عنوان محیط‌زیست حفاظت‌شده به ثبت رسانده است (یونسکو، ۲۰۱۲). این دریاچه بیستمین دریاچه جهان و دومین دریاچه فوق‌اشباع نمک در دنیا و اولین دریاچه نمک در خاورمیانه محسوب می‌شود و حوضه آبریز آن حدود ۳/۲ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است (کرباسی و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۱۹؛ ضرغامی، ۲۰۱۱: ۸۸). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه و همچنین دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. منطقه پژوهش شده

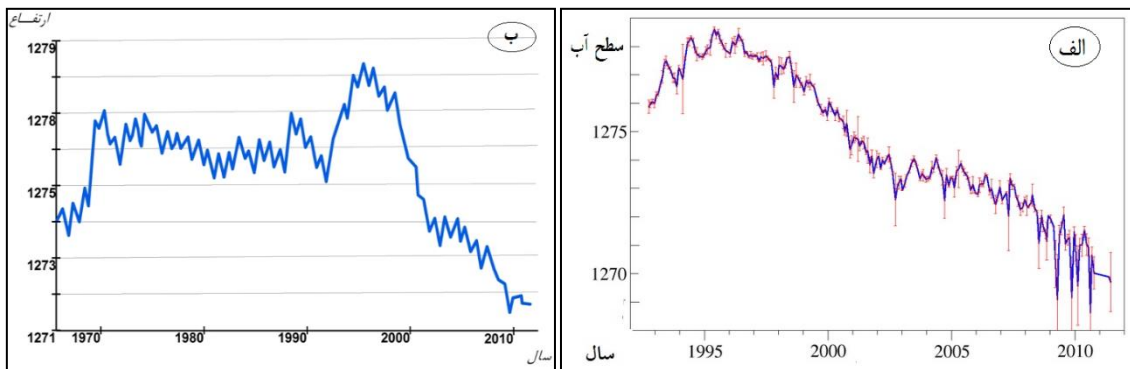
## داده‌ها و روش‌ها

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنجنده TM مورخ ۱۹۸۹/۰۶/۳۰ و سنجنده ETM مربوط به ۲۰۰۵/۰۸/۱۵، ۲۰۱۰/۰۵/۰۱ و ۲۰۱۱/۰۸/۱۸، داده‌های ارزیابی سطح آب TOPEX/ Jaso مربوط به بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱، نقشه‌های توپوگرافی رقوم‌شده ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کل کشور و برداشت‌های میدانی GPS است. علل استفاده از تصاویر این سنجنده‌ها، دارا بودن شش باند در محدوده مرئی و مادون قرمز انعکاسی و دقت متوسط اندازه پیکسل ۳۰ متر است که آن را جزء سنجنده‌های با قدرت تفکیک متوسط قرار داده است. چنین سنجنده‌هایی، همان‌گونه که در جدول ۱ اشاره شده است، همچون پلی میان سنجنده‌های با قدرت تفکیک زیاد (مانند اسپات ۵) و سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک کم (مانند WIFS) عمل می‌کنند.

جدول ۱. ساختار طیفی و مکانی داده‌های استفاده‌شده

| شماره باند | قدرت تفکیک مکانی به متر | قدرت تفکیک طیفی به میکرومتر | شماره باند | قدرت تفکیک مکانی به متر | قدرت تفکیک طیفی به میکرومتر |
|------------|-------------------------|-----------------------------|------------|-------------------------|-----------------------------|
| ۱          | ۳۰                      | ۵۲-۴۵؛ ۵۱/۲-۴۵              | ۵          | ۳۰                      | ۱/۷۵-۱/۵۵؛ ۱/۷۵-۱/۵۵        |
| ۲          | ۳۰                      | ۶۰-۵۲/۵                     | ۶ (L/H)    | ۱۲۰؛ ۶۰                 | ۱۲/۵-۱۰/۴؛ ۱۲/۴-۱۰/۵        |
| ۳          | ۳۰                      | ۶۹-۶۳؛ ۶۹-۶۳                | ۷          | ۳۰                      | ۲/۳۵-۲/۰۹؛ ۲/۳۵-۲/۰۸        |
| ۴          | ۳۰                      | ۹۰-۷۶؛ ۹۰-۷۵                | ---        | ---                     | ---                         |

با توجه به هدف پژوهش که ارزیابی تغییرات محدوده تحقیق از روی تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۲۳ ساله بود، در ابتدا اقدام به اعمال تصحیح‌های مورد نیاز در مرحله پیش‌پردازش (تصحیح‌های هندسی و اتمسفری) شد. به این منظور، تصاویر ماهواره‌ای از لحاظ هندسی و رادیومتریک بررسی شد و در صورت نیاز عملیات تصحیح روی آنها صورت گرفت. برای انجام دادن این کار، از نرم‌افزار ERDAS 9.2 استفاده شد. سپس برای تعیین تغییرات، سطح آب دریاچه ارومیه بررسی شد. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، یافته‌های ایستگاه‌های سنجش سطح دریاچه مربوط به بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۱، از سازمان آب استان آذربایجان شرقی اخذ شد و سپس برای تعیین تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در منطقه پژوهش تجزیه و تحلیل شد. به منظور مقایسه، اطلاعات اخذشده از داده‌های ماهواره‌ای TOPEX/ Jason با مراجعه به تارنمای ناسا استفاده شد. این نوع ماهواره‌ها اطلاعات مربوط به میانگین ارتفاع سطح منابع آبی را با دقت بسیار زیادی اندازه‌گیری می‌کنند. شکل ۲ تغییرات چشمگیری در سطح آب دریاچه ارومیه در دوره زمانی بلندمدتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. الف) نمودار تغییرات سطح آب ثبت‌شده به وسیله ماهواره TOPEX/ Jason؛  
ب) تغییرات به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای موجود

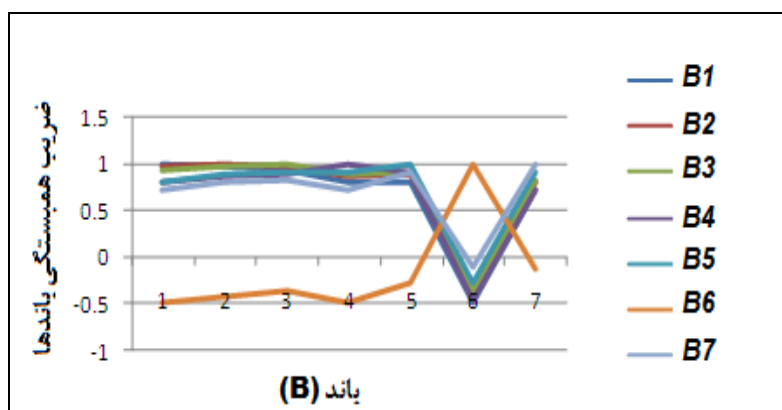
بر این اساس، ابتدا دسته‌های تصاویر ماهواره‌ای مختلف از نظر ترکیب طیفی و تفکیک مکانی برای بررسی ویژگی‌های آب دریاچه ارومیه پردازش شد. سپس، سعی شد تا نخست، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و سطح آب دریاچه ارومیه طی دو دهه گذشته بررسی شود؛ دوم، نقشه تغییرات بلندمدت خطوط ساحلی، ارتفاع و مساحت دریاچه ارومیه در دوره‌های زمانی درازمدت و در مقیاس سالیانه ترسیم شود. برای رسیدن به اهداف اصلی پژوهش، انواع متفاوت تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای سنجنده‌های TM و ETM+ منطقه دریاچه ارومیه که قابل دسترسی بودند، بر اساس جدول ۲ انتخاب شدند.

جدول ۲. منابع اطلاعات موجود از انواع تصاویر ماهواره‌ای

| سال اخذ تصویر | ماهواره      | نوع سنجنده | قدرت تفکیک مکانی به متر |
|---------------|--------------|------------|-------------------------|
| ۱۹۸۹/۰۶/۳۰    |              | TM         |                         |
| ۲۰۰۵/۰۸/۱۵    | لندست        |            | ۳۰                      |
| ۲۰۱۰/۰۵/۰۱    |              | ETM        |                         |
| ۲۰۱۱/۰۸/۱۸    |              |            |                         |
| ۲۰۱۱-۱۹۹۲     | TOPEX/ Jason | TMR        | ---                     |

این تصاویر، به ترتیب توان تفکیکی فضایی حدود ۳۰ متر و ۱۵ دارند. اصلاحات ژئومتریک و رادیومتریک لازم برای همه تصاویر در محیط نرم‌افزار ERDAS انجام گرفت. بر اساس کنترل داده‌های اصلاح‌شده تصاویر ETM+ سال ۲۰۱۱، اصلاحات ژئومتریک روی تصاویر ماهواره TM و ETM به روش تصویر به تصویر اعمال شد. شایان ذکر است که از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به مثابه مبنا برای ارزیابی تغییرات سطح آب و تهیه الگوی رقومی زمین استفاده شد. همچنین، سامانه تصویر UTM برای ناحیه ۳۸ تطبیق و تمام تصاویر زمین مرجع و اصلاحات هندسی تصویر به تصویر اعمال شد. به طور کلی، در روند پردازش رقومی تصاویر، به منظور تشخیص تغییرات ساحل دریاچه ارومیه، سه مرحله اصلی مد نظر بود: در مرحله پیش‌پردازش روی تمام تصاویر ماهواره‌ای، اصلاحات رادیومتریک، ژئومتریک و روش‌های نرمال‌سازی اعمال شد. هدف اصلی این مرحله رفع خطاهای نظام‌مند و غیرنظام‌مند موجود در تصاویر خام و افزایش صحت و قابلیت دسته‌بندی اطلاعات رقومی مختلف بود. در مرحله پردازش، ابتدا روش‌های نسبت‌گیری باندها و طبقه‌بندی در محیط نرم‌افزار ERDAS به کار گرفته شد. مراحل اصلی پردازش تصاویر استفاده‌شده در این تحقیق عبارت‌اند از:

مرحله نخست بررسی همبستگی بین باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای (محتوای اطلاعاتی باندها) از روی ماتریس همبستگی و هیستوگرام تصاویر هر یک از باندهای سنجنده ETM و TM است. همبستگی بین باندها بیان‌کننده وجود اطلاعات مشترک یا به عبارتی تکرار اطلاعات است؛ یعنی هر قدر همبستگی بین باندها بیشتر باشد، اطلاعات بیشتری به صورت مشترک وجود دارد. پس از محاسبه ضرایب همبستگی باندها و بررسی روند همبستگی بین باندهای تصاویر سنجنده‌ها ملاحظه شد که باندهای ۱، ۲ و ۳ مشابه و روند همبستگی باندهای ۳، ۴ و ۵ نیز به طور تقریبی مشابه و دارای همبستگی زیادی با یکدیگرند؛ باند حرارتی با باندهای مرئی و مادون قرمز میانی همبستگی منفی دارد و با باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک، مقدار همبستگی معکوس چشمگیر است؛ بنابراین باند مادون قرمز حرارتی دارای اطلاعاتی متمایز از دیگر باندهاست. از این رو، همبستگی اندک باند حرارتی با دیگر باندها، دلالت بر وجود اطلاعات به نسبت مفیدی در این باندها و لزوم به کارگیری آنها برای پایش خط ساحلی دارد. شکل ۳ نمودار همبستگی باندهای انعکاسی و حرارتی سنجنده TM را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار مقدار همبستگی باندهای انعکاسی و حرارتی سنجنده TM

مرحله دوم بارزسازی طیفی تصاویر است. در این تحقیق، به منظور بررسی بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها از هیستوگرام تصاویر استفاده شد. بسط دادن دامنه تصویر به دامنه وسیع‌تری از مقادیر درجه روشنایی را بارزسازی طیفی یا بهبود کنتراست تصاویر گویند. بر اثر این بسط، به دلیل وضوح بیشتر تصویر امکان متمایز شدن پدیده‌های بیشتری فراهم می‌شود. به منظور بارزسازی و بهبود کنتراست تصاویر، از روش تعدیل خطی هیستوگرام استفاده شد که موجب متمایز شدن پدیده‌ها می‌شود و شناخت آنها راحت‌تر صورت می‌گیرد.

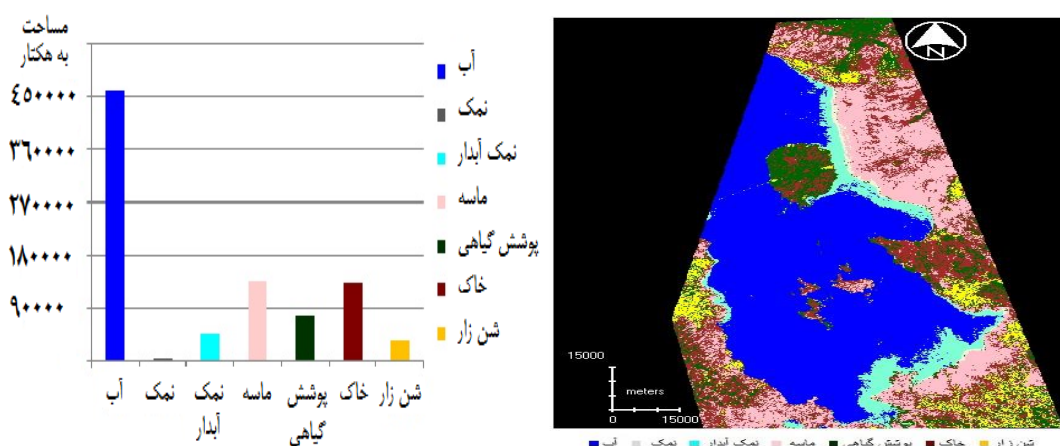
مرحله سوم تولید ترکیب رنگی کاذب FCC است. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به کمینه رسانیدن داده‌های کم‌ارزش و استفاده بیشینه از اطلاعات مفید است. با ترکیب باندهای مختلف سنجنده ETM و TM، تعداد زیادی تصویر رنگی کاذب حاصل می‌شود که بهترین ترکیب رنگی برای تفکیک خط ساحلی، ترکیب رنگی باندهای (۳، ۴، ۵ RGB) است که ضمن آنکه مرز میان آب و خشکی را بهتر ظاهر می‌کند، به ترکیب واقعی سطح زمین نیز بسیار نزدیک است. به علاوه، این باندهای طیفی بر اساس هیستوگرام آنها همبستگی کمی دارند و از این‌رو، حاوی اطلاعات بیشتری‌اند.

مرحله چهارم تفکیک نمونه‌های آموزشی با تفسیر بصری تصویر رنگی کاذب است. بررسی پراکنش نمونه‌ها در نمودار دوبعدی و تعریف کلاس‌ها برای طبقه‌بندی نظارت‌شده است. در این مرحله، ابتدا با استفاده از تصویر رنگی کاذب در محیط نرم‌افزار ERDAS و بررسی هیستوگرام باندهای طیفی و بر اساس تفاوت خصوصیات نظیر رنگ، تن، بافت، شکل و اندازه در تصویر کلاس‌های مورد نظر مشخص و تعریف شد. سپس با شناخت کلی تصویر نمونه‌های آموزشی از طریق تفسیر بصری، ترکیب رنگی کاذب از هر کلاس انتخاب و تفکیک‌پذیری طیفی کلاس‌ها از روی نمودار دوبعدی پراکنش پیکسل‌ها با استفاده از باندهای مختلف بررسی شد.

مرحله نهایی، طبقه‌بندی تصاویر به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال و ارزیابی صحت طبقه‌بندی است. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش بیشینه احتمال توانایی بیشتری در کسب نتایج دقیق‌تر داشته، یکی از پرستفاده‌ترین روش‌ها ذکر شده است (سرمستی، ۱۳۸۸: ۵۹). این روش، واریانس و کوواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند. برای این کار، فرض می‌شود همه مناطق آموزشی از پراکنش طبیعی برخوردارند. در حقیقت، نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند؛ بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره طیفی قرار گیرد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲). در ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی‌شده، همان‌گونه که در شکل ۴ اشاره شده است، چون نقشه واقعیت زمینی مناسبی برای اندازه‌گیری دقت نقشه‌های ترسیم‌شده وجود نداشت، با تولید یک تصویر واقعیت زمینی، دقت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده برآورد شد. برای ارزیابی دقت شاخص‌های آماری، ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی برای هر یک از نقشه‌های حاصل از تصاویر استخراج شد که در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. شاخص‌های آماری ارزیابی دقت طبقه‌بندی

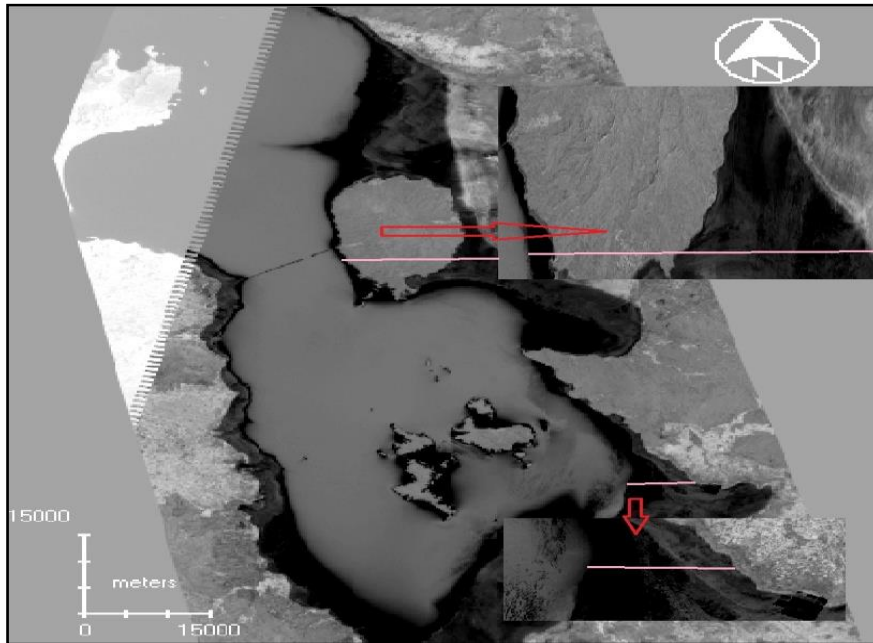
| شاخص آماری        | الگوریتم طبقه‌بندی | تصویر لندست | تصویر لندست |
|-------------------|--------------------|-------------|-------------|
| ضریب کاپا         | روش بیشینه احتمال  | ۰/۸۳        | ۰/۸۵        |
| دقت کلی طبقه‌بندی | روش بیشینه احتمال  | %۸۴/۵۶      | %۸۶/۷       |



شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی شده تصاویر سال ۱۹۸۹ (سمت راست) همراه با هیستوگرام آن (سمت چپ)

به منظور تولید تصویر واقعیت زمینی، باند پانکروماتیک تصویر TM با باندهای چندطیفی این سنجنده با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) تلفیق شد. در مرحله بعدی، برای استخراج خطوط ساحلی، از تصاویر محدوده طیف مرئی استفاده شد. استخراج محل برخورد محدوده‌های آب و خشکی حتی با یک باند منفرد نیز امکان‌پذیر است؛ چرا که ویژگی انعکاسی آب در باند مادون قرمز انعکاسی تقریباً صفر است و انعکاس پوشش زمین در این محدوده بسیار بیشتر از آب است (ژبازن‌هن، ۱۹۹۹). بررسی هیستوگرام آستانه انعکاس آب در باندهای مادون قرمز تصاویر ETM+ و TM نشان می‌دهد که از باند ۶ انعکاسی TM و باند ۵ مادون قرمز میانی برای استخراج خط برخورد خشکی و آب مناسب‌تر است (رسولی، ۱۳۸۱). با استفاده از این ویژگی‌های طیفی، اقدام به آشکارسازی تغییرات به روش تفریق تک‌بندی در محدوده پژوهش کردیم (شکل ۵). در ادامه، با تفسیر بصری نتایج مشخص شد که مغایرت و اختلاف شدیدی بین محدوده آب دریاچه و اطراف آن وجود دارد. این عمل به دلیل مقدار زیاد جذب انرژی مادون قرمز میانی توسط آب و انعکاس شدید مادون قرمز میانی توسط دیگر پوشش‌های زمین (گیاه، نمک و مناطق کشت نشدنی) در این محدوده است. شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات خطوط ساحلی را به وضوح نشان می‌دهند. با استخراج و بررسی سالانه اندازه تغییرات خطوط ساحلی از روی تصاویر ماهواره‌ای و تطبیق آن با داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TOPEX / Jason می‌توان به بررسی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه پرداخت.



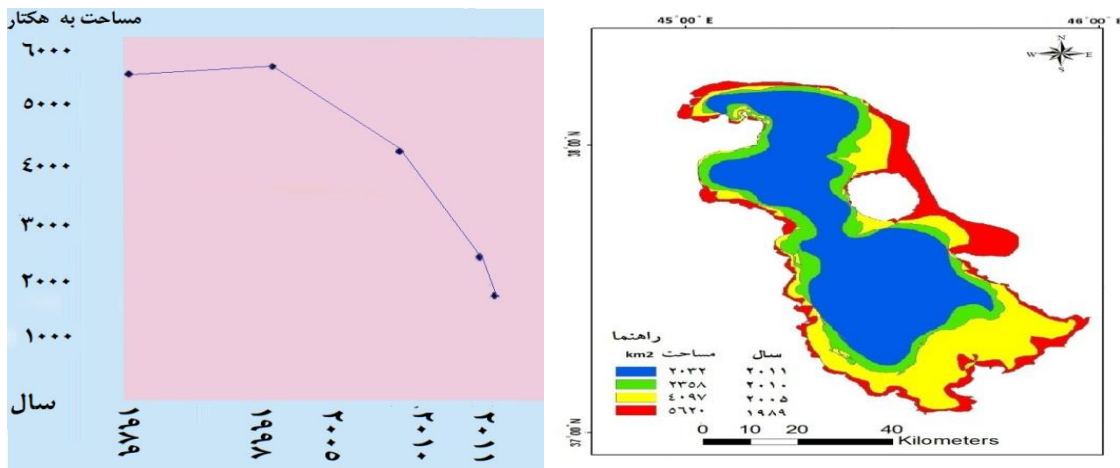


شکل ۵. آشکارسازی تغییرات به روش تفریق تک‌باندی

در مرحله پس‌پردازش، ابتدا نقشه‌های طبقه‌بندی شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS به الگوهای برداری تبدیل و از این طریق مساحت سطح آب دریاچه محاسبه شد. سپس با روش‌های کارتوگرافی، مقدار تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه و تغییرات نوار ساحلی در سال‌های مختلف و فصول آبی متفاوت طراحی و نمایش داده شد.

### یافته‌های تحقیق

تجزیه و تحلیل انواع تصاویر چندسنجنده‌ای و چندزمانه‌ای نشان می‌دهد که تغییرات سطح آب دریاچه در مقیاس سالیانه (از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۱) شایان توجه است. تغییرات دوره‌ای سطح آب دریاچه در شکل ۶ نشان داده شده است. از روی این تصاویر می‌توان تشخیص داد که طی ۲۳ سال گذشته، نوسان‌های چشمگیری در سطح آب دریاچه رخ داده است.

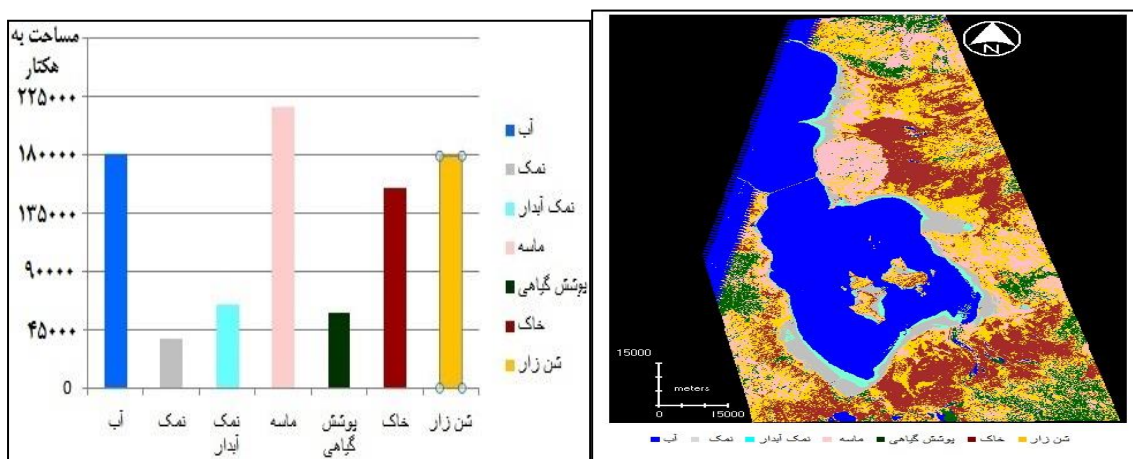


شکل ۶. نقشه تغییرات مساحت دریاچه ارومیه و نمودار برآورد شده با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

بنابراین، یافته‌های این پژوهش در دو بخش زیر مطرح می‌شود.

۱. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی: در این مرحله و پس از طبقه‌بندی تصاویر، اقدام به استخراج نقشه تغییرات

کاربری اراضی و نقشه تغییرات محدوده پژوهش طی دوره بیست‌ساله شد که در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. نقشه طبقه‌بندی شده تصاویر سال ۲۰۱۱ (سمت راست) همراه با هیستوگرام آن (سمت چپ)

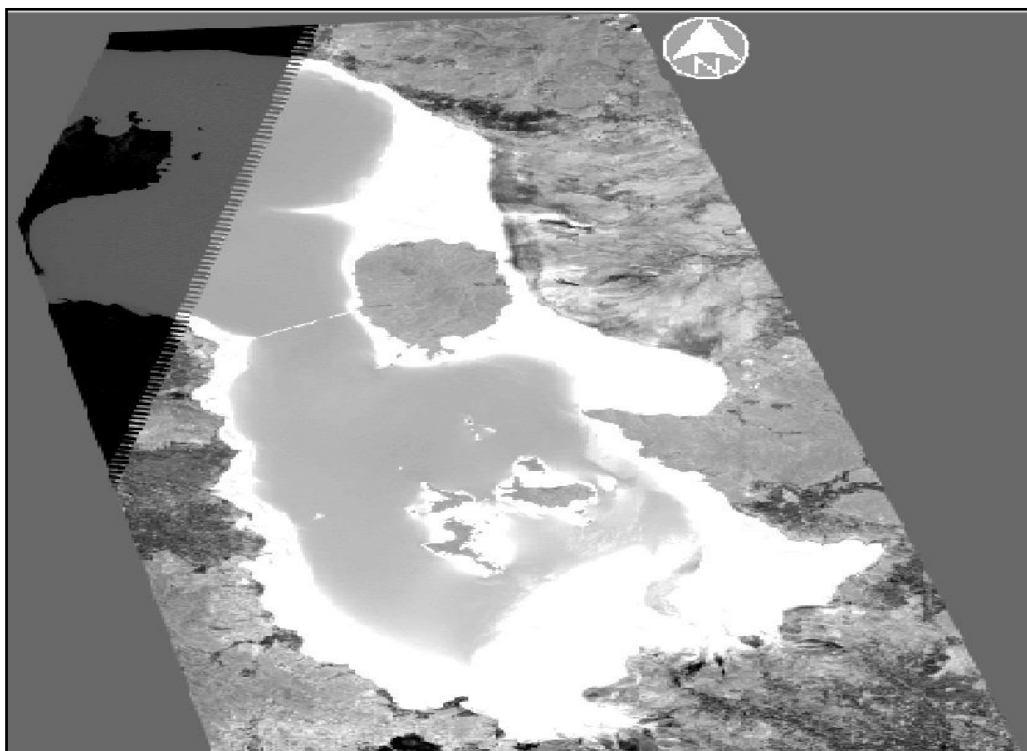
از مقایسه شکل‌های ۴ و ۷ و با استفاده از شکل ۶، به‌وضوح پس‌روی دریاچه ارومیه به‌ویژه در ساحل شرقی و اطراف جزیره اسلامی و گسترش سطح نمکزارهای اطراف ملاحظه می‌شود. همچنین، در فاصله این بیست‌وسه سال، قسمت آب کم‌عمق به‌شدت گسترش یافته است و قسمت عمیقی وجود ندارد که نشان‌دهنده کم‌عمق شدن کل دریاچه در سال ۲۰۱۱ است. در جدول ۴ مساحت کلاس‌های به‌دست‌آمده برای هر سال و همچنین مقایسه آنها آورده شده است.

جدول ۴. سطح برآورد کلاس‌ها و درصد تغییرات آنها از تصاویر ماهواره‌لندست

| نام کلاس  | مساحت هر کلاس در سال ۱۹۸۹ به هکتار | مساحت هر کلاس در سال ۲۰۱۱ به هکتار | مقدار تغییرات به هکتار | نام کلاس   | مساحت هر کلاس در سال ۱۹۸۹ به هکتار | مساحت هر کلاس در سال ۲۰۱۱ به هکتار | مقدار تغییرات به هکتار |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| آب        | ۵۱۳۸۰۴                             | ۲۰۰۳۰۲                             | -۳۱۳۵۰۲                | پوشش گیاهی | ۸۳۶۶۷                              | ۶۴۶۰۶                              | -۱۹۰۶۱                 |
| نمک       | ۷۳۳۶                               | ۴۲۸۲۸                              | +۳۵۴۹۲                 | خاک        | ۱۴۵۵۹۹                             | ۱۷۲۱۲۱                             | +۲۶۵۲۲                 |
| نمک آبدار | ۵۱۹۱۶                              | ۸۹۵۷۰                              | +۱۸۹۷۹                 | شنزار      | ۳۸۹۵۷                              | ۱۹۹۲۹۰                             | +۱۶۰۳۳۳                |
| ماسه      | ۱۴۹۳۹۷                             | ۲۴۰۶۳۴                             | +۹۱۲۳۷                 | مجموع      | ۹۹۰۶۷۶                             | ۹۹۰۶۷۶                             | -----                  |

همان‌طور که در جدول ۴ مشهود است، در بین کلاس‌ها، کلاس‌های آب و پوشش گیاهی بیشترین کاهش و کلاس‌های نمک، ماسه نمکی و نمک آبدار بیشترین افزایش را طی دو دهه اخیر داشته‌اند.

۲. تغییرات خطوط ساحلی: تغییرات مربوط به مساحت و محیط دریاچه ارومیه در شکل ۸ نمایش داده شده است. با دقت به این الگوی گرافیکی مشخص می‌شود که مجموع لایه دریاچه و لایه آب کم‌عمق، محدوده دارای آب را تشکیل می‌دهد. مرز لایه نمک آبدار، خط ساحلی دریاچه را در هر سال نشان می‌دهد که ضمن وجود نوعی نوسان در مقادیر مساحت و محیط دریاچه در دراز مدت، روند کلی کاهش در هر دو شاخص هندسی وجود دارد. در این صورت، اندازه‌گیری فاصله بین لایه‌های نمک آبدار در طول دو بازه زمانی، مقدار پس‌روی دریاچه را نشان خواهد داد.



شکل ۸. نقشه تغییرات دوره‌ای خطوط ساحلی و مراحل کاهش تدریجی آب سواحل دریاچه ارومیه (۱۹۸۹-۲۰۱۱)

این پژوهش در مقایسه با دیگر پژوهش‌های صورت گرفته که بیشتر به پهنه کوچکی از سواحل پهناور دریاچه ارومیه اکتفا می‌کردند، تمام سواحل پیرامونی درگیر و مرتبط با این دریاچه را ارزیابی کرده و با بررسی نتایج ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای توانسته است تغییرات پهنه‌های نمکی و آبی محیط پیرامونی محدوده پژوهش را استخراج کند. با ارزیابی نتایج مشخص می‌شود که خطوط ساحلی در مقیاس‌های سالانه و فصلی، دستخوش تغییرات معناداری شده است (شکل ۹). همچنین، بررسی نقشه‌های تغییرات در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که خطوط ساحلی به‌ویژه در شرق و جنوب شرقی منطقه پژوهش، پس‌روی بسیار مشخصی داشته است؛ این پس‌روی در بعضی مناطق تا هشت کیلومتر نیز اندازه‌گیری شده است. با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، دلایل مختلفی در کاهش مقدار آب دریاچه ارومیه سهیم بوده است که از این مقدار ۶۵ درصد به‌علت تغییرات آب‌وهوایی، ۲۵ درصد مربوط به احداث سد در حوضه آبریز دریاچه و ۱۰ درصد نیز

مربوط به کاهش بارندگی در این ناحیه است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۳). در سال‌های اخیر، پس‌روی سریع دریاچه موجب افزایش غلظت آب شده و در اغلب خطوط ساحلی، مازاد املاح نمکی را سبب شده است. این فرایند مسائل بوم‌شناختی عدیده‌ای را به‌وجود آورده است.

## نتیجه‌گیری

امروزه داده‌های ماهواره‌ای، بهترین و کارآمدترین منبع اطلاعاتی برای پایش خطوط ساحلی و آشکارسازی تغییرات به‌شمار می‌رود. با توجه به پیشرفت‌های سریع سنسور از دور در بخش‌های مختلف آن، از جمله روش‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای، بررسی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات برای اهداف خاص و آگاهی از نقاط ضعف و قوت هر یک از این روش‌ها، از ضروریات است. این پژوهش به‌علت اهمیت و جایگاه خاص دریاچه‌ها در بوم‌سازگان، با هدف آشکارسازی و ارزیابی تغییرات سواحل دریاچه ارومیه و پهنه‌های نمکی و ماسه‌زارهای اطراف آن بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۱ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست صورت پذیرفت. برای پایش تغییرات خط ساحلی، با توجه به بررسی هیستوگرام آستانه انعکاس آب در باندهای مادون قرمز تصاویر ETM+ و TM برای استخراج خط برخورد خشکی و آب، با استفاده از این ویژگی‌های طیفی، اقدام به آشکارسازی تغییرات به روش تفریق تک‌باندی در محدوده پژوهش شد و مشخص شد که سواحل دریاچه ارومیه، به‌ویژه در سال‌های اخیر، در معرض تغییرات چشمگیری به‌ویژه در شرق و جنوب شرقی آن قرار گرفته است که در مقیاس‌های درازمدت و فصلی قابل مشاهده است. در این بازه زمانی، ارتفاع سطح آب این دریاچه بین ۶ تا ۷/۴ متر پایین آمده است. در ادامه، برای ارزیابی تغییرات نواحی پیرامونی و به‌منظور طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف از تصاویر موجود، از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم بیشینه احتمال استفاده شد که از لحاظ ارزیابی دقت طبقه‌بندی، با دقت کلی بیش از ۸۳ درصد و ضریب کاپای بیش از ۰/۸۴ نتایج قابل قبولی را در مقایسه با برداشت‌های میدانی از منطقه پژوهش به‌دست داد. پس از آن، مساحت کاربری‌ها در سال‌های مختلف و مقدار تغییرات آنها استخراج و مشخص شد که به‌طور تقریبی حدود ۳۱۳ هزار و ۵۰۲ هکتار برابر ۳۱/۶۴ درصد مساحت آبی دریاچه ارومیه و نیز ۱۹ هزار هکتار برابر ۲/۰۶ درصد مساحت پوشش گیاهی منطقه کاسته شده و به همان اندازه بر مقدار ماسه‌های نمکی و نمکزارها افزوده شده است. تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان می‌دهد بخش خارج‌شده از زیر آب به‌صورت زمین‌های بدون کشت، خشک و نمکی در معرض باد، مساحت زیادی را به‌خود اختصاص داده است که تهدیدی جدی برای مزارع واقع در اطراف دریاچه محسوب می‌شود.

توصیه می‌شود که در تحقیقات آتی، برای به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تر در پایش خطوط ساحلی و طبقه‌بندی و استخراج تغییرات مناطق پیرامونی از تصاویری استفاده شود که دارای قدرت تفکیک مکانی بسیار زیادی باشد؛ زیرا این امر علاوه بر اینکه موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان می‌شود، سبب درک واقعی از وضعیت موجود فرایندهای در حال تحول و اتخاذ تصمیم‌های به‌موقع و کارآمد به‌منظور مدیریت صحیح آن خواهد شد.

در پایان، با توجه به روش این پژوهش و پژوهش‌های مشابهی که در پیشینه ذکر شد، می‌توان به موارد ذیل اشاره

۱. در بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته، فقط به بررسی قسمت کوچکی از سواحل و تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه اکتفا شده است؛ در این پژوهش سعی شد تا همه عواملی که در محدوده دریاچه ارومیه وجود دارد، به کلاس‌هایی طبقه‌بندی و تغییرات آنها نیز به‌طور جداگانه بررسی شود. برای رسیدن به نتایج بهینه سعی شد از به‌روزترین تصاویر ماهواره‌ای دسترس‌پذیر در زمان پژوهش استفاده شود.
۲. فناوری سنجنش از دور کاربرد بی‌نظیری در کسب اطلاعات از پدیده‌ها دارد؛ چرا که تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی مزایا و امتیازهایی دارد که در دسترس بودن و تفسیر رقومی آنها از مهم‌ترین این امتیازها محسوب می‌شود. داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چندطیفی برای بارزسازی و کشف تغییرات به ویژه در زمینه پایش خطوط ساحلی دارای قابلیت وسیعی است. در این زمینه، داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست برای پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه و استخراج نقشه‌های موضوعی مناسب‌تر و کاربردی‌تر است

## منابع

- رسولی ع، عباسیان، ش. و جهانبخش، س. (۱۳۸۷). «پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندسنجنده‌ای و چندزمانی». فصلنامه مدرس علوم انسانی، ش ۲. ص ۵.
- رسولی ع.ا. و محمودزاده، ح. (۱۳۸۹). مبانی سنجنش از دور دانش پایه. تبریز: علمیران. ص ۱۹۱.
- سرمستی، ن. (۱۳۸۸). بررسی قابلیت سنجنده‌های LISSIII و ASTER برای ارزیابی نمکزارهای ایران و امکان کالیبراسیون آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر سیدکاظم علوی‌پناه، تهران: دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا. ص ۵۹.
- شایان، س. و جنتی، م. (۱۳۸۶). «شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (سنجنده‌های TM، LISS III و ETM+)». مجله پژوهش‌های جغرافیایی. زمستان ۸۶ ش ۶۲ ص ۲۵-۳۹.
- علوی‌پناه، س.ک. (۱۳۸۲). کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین (علوم خاک). تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. ص ۴۷۸.
- Alavi Panah, S.K. (2002). the application of remote sensing of Earth Sciences (Soil Science). Tehran: University of Tehran Press. p. 478.
- Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A. and Nouri, N. (2007). "Coastline change detection using remote sensing". International journal of Environmental Science and Technology. Vol.4. No.1. pp. 61-66.
- Arias, A.H., Piccolo, M.C., Spetter, C.V., Freije, R.H. and Marcovecchio, J.E. (2012). "Lessons From Multi-decadal Oceanographic Monitoring at an Estuarine Ecosystem in Argentina". Int. J. Environ. Res. Vol. 6. No. 1. PP. 219-234.
- Baghvand, A., Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi G.R., Vosoogh, A., Karbassi, A.R., and Mehrdadi N. (2010). "Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. Desalination". Vol. 1. No. 3. PP. 264-275.
- Bayram B., Bayraktar H., Helvacı, C. and Acar, U. (2004). Coast line change detection using corona, SPOT and IRS ID Images .Turkey: Istanbul.
- Berberoglu, S. Akin. A. (2009). "Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean". International Journal of Applied Earth Observation and Geo information. Vol. 11. PP. 46-53.
- Golabian, H. (2010). "Urumia Lake: Hydro-Ecological Stabilization and Permanence Macro-engineering Seawater in Unique Environments". pp. 365-397. Berlin: Springer-Verlag. Doi: 10.1007/978-3-642-14779-1\_18.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M. and Hassanzadeh, Y. (2012). "Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling. Water Resources Management". 26 (1). 129-145. doi: 10.1007/s11269-011-9909-8.

- Hudak, P.F.(2011). "Spatial Distribution of Solutes in Aquifer Outcrop Zones along the Brazos River. East-Central Texas". *Int. J. Environ. Res.*. Vol. 5. No. 3. PP. 595-602.
- Jensen, J.R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Second Edition. Prentice-Hall. Upper Saddle River New Jersey. pp. 316.
- Kaichang, D., Ruijin, M., Jue, W. and Ron, L. (2004). *Coastal Mapping and Change Detection Using High-Resolution IKONOS Satellite Imagery*. Japan: Ohio.
- Karbassi, A.R., Mir-Mohammad Hosseini, F., Baghvand, A. and Nazariha, M. (2011). "Development of Water Quality Index, WQI, for Gorganrood River". *Int. J. Environ. Res.* Vol. 5. No. 4. PP. 1041-1046.
- Kavian, 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.
- Macleod, R.S and Congalton, R.G. (1998). "a quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data". *Photogrammetric and Remote Sensing of Environment*. Vol. 8. PP. 127-150.
- Mir-bagheri, S.A., Sadr-nejad, S.A. and Hashemi-Monfared, S.A., (2012). "Phytoplankton and Zooplankton Modeling of Pishin Reservoir by Means of an Advection-Diffusion Drought Model". *Int. J. Environ. Res.* Vol. 6. No. 1. PP. 163-172.
- Mortazavi, M.S. and Sharifian, S. (2011). "Mercury Bioaccumulation in Some Commercially Valuable Marine Organisms from Mosa Bay, Persian Gulf". *Int. J. Environ. Res.* Vol. 5. No. 3. PP. 757-762.
- Najafi, A. (2003). "Investigation of the Snowmelt Runoff Orumiyeh – Region Using Modeling GIS and RS-Techniques". International– Institute for Geo- Information Science and Observation Enchede The Netherland.
- Nasrabadi T., Nabi-Bidhendi, G.R., Karbassi, A.R. and Mehrdadi, N. (2010). "Evaluating the efficiency of sediment I pollution indices in interpreting the pollution of Haraz River sediments, southern Caspian Sea basin". *Environmental monitoring and assessment*. Vol. 1. No. 4. PP. 395-410.
- Nazm-far, H., Fathi, M.H., Sarmasty, N. and KHALiji, M.A. (2013). "Monitoring changes in multi-spectral and multi-temporal satellite data processing Sefidrud Delta". *SMPR. 2nd ISPRS International Conference*. Tehran. Iran.
- Rasouli, A.A. (2008). *Fundamentals of Applied Remote Sensing With emphasis on satellite image processing*. vol. 1. (In Persian).
- Rasouli, A.A., Abbasi, S.H., and Jahanbakhsh, S. (2008). "Monitoring of lake water level fluctuations Snjdhay processing multi-satellite and multi-time, humanities instructor Quarterly". No. 2. pp. 53. (In Persian).
- Rasouli, A.A. and Mahmoud-Zadeh, H. (2011). *Principles of remote sensing knowledge base*. Tabriz: Elmiran. p 191.
- Rasouly, A.A., Naghdifar, R. and Rasoli, M. (2010). "Monitoring of Caspian Sea Coastline Changes Using Object-Oriented Techniques". *Procedia Environmental Sciences*. No. 2. pp. 416–426.
- 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.
- Sadati-pour, S.M.T., Kiamehr, R. and Sharifi, A.R. (2012). "The Evaluation of Sea Surface Topography Models based on the Combination of the Satellite altimetry and the Global Geoid Models in the Persian Gulf". *Int. J. Environ. Res.*. Vol. 6. No. 3. PP. 645-652.
- Sarmasty, N. (2008). *investigate the ability of LISSIII and ASTER sensors to measure Saltdom of Iran and the possibility of their calibration*. Thesis. Supervisor: doctor Sayed Kazem Alavi shelter. Faculty of Geography. Tehran University. p. 59.
- Shayan, S. and Jannati, M. (1386). "Identifying the volatility perimeter borders and map the distribution of suspended material Urmia Lake using satellite imagery (Landsat and TM, LISS III and ETM +)". *Journal of Geography*. Winter 86. No. 62. pp. 39-25. (in Persian).
- Tucker, C. (1979). "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 8. pp. 127-150.
- UNEP and GEAS (2012). "the drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences". *Environmental Development* 2(1): 128-137
- UNESCO (no date). "UNESCO-MAB Biosphere Reserves Directory. 24 January 24, 2012".at: <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=gen&code=IRA+07>.

Xia Zhen hen. (1999). "Using multi-temporal remotely sensed data to study the coastline Evolution in Dayanan area".  
<http://www.gisdevelopment.net>. 1999.

Ying, J. F., Xin, Ch. and Cheng, L.A. (2011)." A Comparative Study on the Growth and Nutrient Uptake Characteristics of Fifteen Wetland Species in Taihu Lake Region of China". Int. J. Environ. Res.. Vol. 5. No. 2. PP. 361-370.

Zarghami, M. (2011). "Effective watershed management; Case study of Urmia Lake, Iran, Lake and Reservoir Management". Vol. 27. No. 1. PP. 87-94.

[www.sealevel.jpl.nasa.gov/mission/jason\\_1.html](http://www.sealevel.jpl.nasa.gov/mission/jason_1.html),[w.jason.oceanobs.com](http://w.jason.oceanobs.com)

[Http://www.sealevel.jpl.nasa.gov/mission/jason\\_1.html](http://www.sealevel.jpl.nasa.gov/mission/jason_1.html),[w.jason.oceanobs.com](http://w.jason.oceanobs.com)