

پایش نوسانهای سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند سنجنده‌ای و چند زمانه‌ای

علی اکبر رسولی^{۱*}، شیرزاد عباسیان^۲، سعید جهانبخش^۳

- ۱- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- استادیار رشته اقلیم شناسی، جغرافیای طبیعی، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران
۳- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

پذیرش: ۸۶/۱۱/۶

دریافت: ۸۵/۱۰/۲۳

چکیده

بررسی نوسانهای سطح آب دریاچه‌ها به منظور حفاظت آنها به لحاظ اهمیت، ماهیت و موقعیت این مجموعه‌های آبی و به‌عنوان یک میراث طبیعی در سالهای اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. دریاچه ارومیه با وسعتی بین ۴۵۰۰ - ۶۰۰۰ کیلومتر مربع به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی تحقیق جاری بررسی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد، برای رسیدن به این هدف تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی ماهواره لندست (شامل تصاویر سنجنده‌های MSS، TM، ETM+)، MODIS و IRS از سال ۱۹۷۶م. الی ۲۰۰۵ م. مورد استفاده و پردازش قرار گرفت و نوسانهای سطح آب دریاچه در دوره‌های زمانی مختلف استخراج شد. مدل‌های نهایی نشان‌دهنده نوسانهای گسترده دوره‌ای و تغییرات چشمگیر فصلی در پارامترهای هندسی دریاچه ارومیه، به‌ویژه در طول دهه گذشته می‌باشد. بیشترین تغییرات به دلیل کاهش ارتفاع آب دریاچه بویژه در جنوب شرق و سواحل شرقی دریاچه ارومیه شده است. ظهور چنین نوسانهای معناداری باعث کاهش ۲۳ درصدی از سطوح آب دریاچه در طی دوره مطالعه شده شده است که خود باعث تسریع روند تبدیل اراضی آبی به زمینهای لم یزرع و رسوب املاح نمکی در امتداد خطوط ساحلی شده است.



کلید واژه‌ها: دریاچه ارومیه، نوسانهای سطح آب، تغییرات خطوط ساحلی، تصاویر چند سنجنده‌ای و چندزمانه‌ای

۱- مقدمه

اشکال و پدیده‌های طبیعی سطح زمین خیلی سریع تغییر پیدا می‌کنند و این تغییرات در طول زندگی انسان بسیار چشمگیر است [۱، صص ۱۲۷-۱۵۰]. نکته‌ای که اهمیت زیادی دارد این است که بتوان چنین تغییراتی را به دقت بررسی کرده تا فرایندهای طبیعی و انسانی بوجو آورنده این تغییرات را بخوبی شناخت. در طی چند دهه گذشته، استفاده از فناوری سنجش از دور برای تشخیص چنین تغییراتی در طی زمان توجه محققان مختلف را به خود معطوف کرده است [۲، صص ۹۸۹-۱۰۰۳؛ ۳]. بنابراین، مناطق ساحلی، بویژه محیط دریاچه‌های داخلی، به عنوان محیطهای اکولوژیک مورد توجه قرار گرفته است [۴، ص ۳۱۶]. در این شرایط، پایش و ارزیابی چنین مناطقی می‌تواند، به عنوان یک امر مهم در توسعه ملی و مدیریت منابع طبیعی تلقی شود. در دهه‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف به عنوان یک پژوهش زیربنایی مورد توجه واقع شده است، زیرا خطوط ساحلی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت چنین محیطهای اکولوژیکی حساسی نیاز به کسب اطلاعات دقیق در فواصل زمانی مختلف دارد [۵ و ۶].

در این راستا، فناوری سنجش از دور نقش بینظیری را در کسب اطلاعات از این پدیده‌ها بر عهده گرفته است، چرا که تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی مزایا و امتیازهایی دارند که در دسترس بودن و تفسیر رقومی آنها از مهمترین امتیازهای مربوط به آن محسوب می‌شود [۷]. از مدتها پیش ثابت شده است که جذب اشعه مادون قرمز به وسیله آب و انعکاس شدید آن به وسیله پوشش گیاهی و خاک، ترکیب ایدئالی را برای نقشه‌برداری از سطوح آبی فراهم می‌کند [۸، صص ۱۲۷-۱۵۰]. به کمک این تکنیکها و فناوریها و به منظور مدیریت جامع منابع آب از یکطرف و اهمیت و ماهیت دریاچه‌ها به عنوان یک میراث طبیعی از طرف دیگر، پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا تحقیقاتی را انجام داده‌اند که به بعضی از آنها به عنوان پیشینه موضوع اشاره می‌شود: آر. کی. سینگ^۱ و همکاران (۱۹۹۱) در انجمن تحقیق و تکنولوژی بوپال درکشور هندوستان با استفاده از سنجش از دور به ارزیابی آبهای سطحی

1. R.K, Singh

و مدیریت دریاچه بوپال^۱ به‌عنوان یک روش ترکیبی پرداختند. نتیجه این تحقیق نشان داد که از داده‌های ماهواره می‌توان برای نقشه‌برداری و پایش مخازن بزرگ آب در طی دوره‌ای مختلف استفاده کرد [۹]. عمر قوجه^۲ (۱۹۹۴) از فناوری RS و GIS به عنوان ابزاری مناسب برای مرزبندی و ارزیابی بحرالमित در اردن و فلسطین اشغالی استفاده کرد. نتیجه این تحقیق نشان داد این دریاچه در طی دوره مطالعه شده تغییرات قابل توجهی در سطح و خطوط ساحلی آن صورت گرفته است که تنها با پردازش تصاویر ماهواره‌ای این امر قابل حصول بود [۱۰]. تینگ پینگ سینگ^۳ و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی و تعیین نوار ساحلی دریاچه تونل ساپ^۴ در تایلند پرداختند و از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای خطوط ساحلی را در مواقع ترسالی و خشکسالی، ترسیم کردند. آنها استفاده از فناوری سنجش از دور را در بررسی و استخراج خطوط ساحلی نشان دادند [۱۱]. اف ال زوانیو^۵ و همکاران (۲۰۰۱) برای کشف تغییرات محیطی مناطق ساحلی کشور رومانی در دریای سیاه از سیستم سنجش از دور استفاده و فرایند پردازش تصویر را به‌عنوان ابزاری اساسی در مطالعات محیطی ارزیابی کردند [۱۲].

در مطالعه دیگری، استفان کیش^۶ (۲۰۰۲) بیلان سطح آب دریاچه‌های چکسون و فلوریدا را بر اساس عناصر اقلیمی (بارش و تبخیر) و با استفاده از فناوریهای سنجش از دور و GIS مطالعه کرد. نتیجه این مطالعه نشان داد که می‌توان نوسانهای دوره‌ای سطح آب دریاچه‌های مذکور را با فناوریهای سنجش از دور به طور دقیق در طول زمان پایش و ارزیابی کرد [۱۳]. رابرت برایانت (۲۰۰۲) تغییرات کوتاه‌مدت رژیمهای سیلابی پلایاهای حساس به شرایط آب و هوایی جنوب کشور تونس را مطالعه کرد. این مطالعه نتیجه تحقیق تأیید تصاویر ماهواره‌ای در پایش پدیده‌های دینامیکی و محیطهای حساس به شرایط آب و هوایی را به دنبال داشت [۱۴]. پی. کاک سی تا^۱ و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از تحلیلهای سنجش از دور تغییرات حدود ۲۴ میلیون هکتار از جنگلهای دایمی استرالیا را مطالعه کردند. نتیجه این مطالعه امکان بررسی دوره‌ای تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره است.

-
1. Bhopal Lake
 2. Omar Qudah, Hussein Harahsheh
 3. Teng Peng Seang
 4. Tonel Sap
 5. Stephen A. Kish
 6. P. Caccetta



بی‌بیرام^۱ و همکاران (۲۰۰۲) در استانبول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نوار ساحلی بخش اروپایی شهر را مطالعه و تغییرات زمانی نوار ساحلی برای سالهای ۱۹۶۳ و ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ استخراج کردند و نقشه آن را در طی دوره مطالعه شده ترسیم کردند [۱۵]. کای چینگ دی^۲ و همکاران (۲۰۰۴) در دانشگاه اهایو ژاپن اقدام به نقشه برداری ساحلی و شناسایی تغییرات نوار ساحلی با یک روش نقشه‌برداری نیمه اتوماتیک در ساحل دریاچه اری^۳ با استفاده از تصاویر پانکروماتیک ایکانوس^۴ کردند که نتیجه این مطالعه استخراج دقیق خطوط ساحلی و تهیه نقشه تغییرات آن در طول دوره مطالعه شده می باشد [۱۶]. در نهایت، کاسکان^۵ (۲۰۰۲) مدل بندی رواناب - بارندگی حوضه آبریز دریاچه "وان" (واقع در شرق کشور ترکیه) را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS مطالعه کرد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سنجش از دور وسیله مطلوبی برای تحلیل میزان رواناب در داخل حوضه-های آبریز می‌باشد [۱۷]. نجفی در سال ۲۰۰۳ به بررسی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌بندی تکنولوژی GIS و RS پرداخت. او سنجش ازدور را بهترین فناوری در ارزیابی و تخمین مقادیر انباشت برف در حوضه‌ای آبریز بویژه نقاط کوهستانی و صعب العبور معرفی کرد [۱۸].

با توجه به آنچه که بیان شد و نظر به موقعیت و اهمیت دریاچه ارومیه به عنوان یک میراث طبیعی در این مطالعه، کلیه اطلاعات ماهواره‌ای قابل دسترس اخذ و در روند پایش نوسانهای سطح آب دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. این تکنیک امکان تجزیه و تحلیل کمی از تغییرات سطح آب دریاچه در منطقه مطالعه شده را فراهم کرد. بر این اساس، ابتدا سری-های تصاویر ماهواره‌ای مختلف از نقطه نظر ترکیب طیفی و تفکیک مکانی برای بررسی ویژگیهای آب دریاچه ارومیه پردازش شد. سپس، سعی شد تا: اول تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در طی ۳۰ سال گذشته شبیه‌سازی شود. دوم، نقشه تغییرات بلندمدت خطوط ساحلی، ارتفاع و مساحت دریاچه ارومیه در دوره‌های زمانی درازمدت و در مقیاس فصلی طراحی شود.

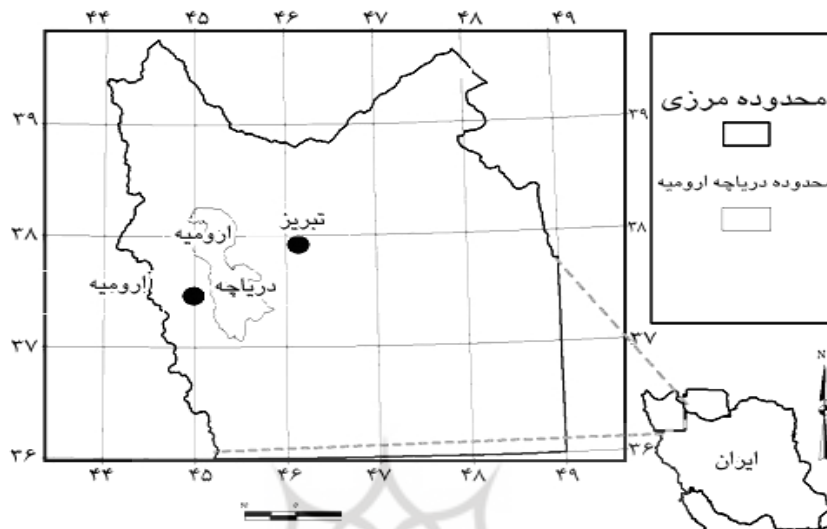
1. B. bayram
2. Kaichang Di
3. Erie
4. Ikonos
5. M. Coskun,

۲- موقعیت و ویژگیهای جغرافیایی

از نقطه 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 قرار گرفته است. همواره، این دریاچه به عنوان یکی از مهمترین زیستگاههای طبیعی در سطح منطقه مطرح بوده و به دلیل ویژگیهای منحصر به فرد خود به وسیله سازمان یونسکو به عنوان پارک ملی شناخته شده است. این دریاچه به عنوان مناسبترین محیط زیست برای میگوی "آرتیمیا" و بزرگترین پهنه آبی در فلات ایران محسوب می شود که بین دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی قرار گرفته است. دریاچه بین عرضهای جغرافیایی $37^{\circ} 4'$ و $38^{\circ} 17'$ عرض جغرافیایی و $45^{\circ} 13'$ و 46° طول جغرافیایی واقع شده است. مساحت دریاچه ارومیه در طول سالهای گذشته بین ۶۰۰۰ - ۴۰۰۰ کیلومترمربع در نوسان بوده است که میانگین مساحت آن حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع برآورد می شود. تقریباً حدود ۲۰ رودخانه دائمی و فصلی و همچنین تعدادی از جریانهای زیرسطحی و فصلی دریاچه ارومیه را تغذیه می کنند.

میانگین شوری آب دریاچه ارومیه بین ۲۲۰-۳۰۰ گرم در لیتر است که نسبت به شرایط زمانی و مکانی مختلف متغیر است. دریاچه ارومیه به دلیل داشتن محیط اکولوژی خاص از طرف سازمان ملل به عنوان یک محیط زیست حفاظت شده به ثبت رسیده است. این دریاچه، بیستمین دریاچه جهان و دومین دریاچه فوق اشباع نمک در دنیا محسوب می شود که حوضه آبریز مربوط به آن حدود ۳/۲۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص می دهد. حداکثر عمق دریاچه ارومیه حدود ۲۰ متر و با داشتن ۱۰۲ جزیره در قالب یک بیوسفر استثنایی، حفاظت شده از طرف سازمان یونسکو، به عنوان میراث طبیعی شناخته شده است و در سطح ملی نیز به صورت یک پارک ملی مدیریت می شود.

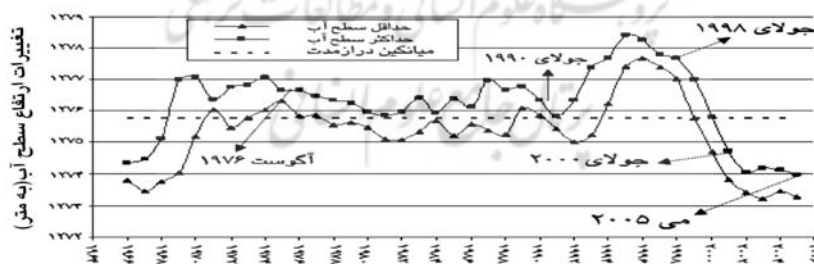
به طور کلی محدوده احاطه کننده دریاچه ارومیه از لحاظ توپوگرافی از تنوع زیادی برخوردار است. کوهستان سهند با ارتفاع ۳۷۸۰ متری بلافاصله در شرق جلگه ارومیه واقع شده است. رشته کوههای شمالی زاگرس در غرب دریاچه گسترش پیدا کرده است و مناطق پست و کم عارضه نیز به طور نامنظم در بین ناهمواریهای موجود در منطقه پراکنده شده اند. این محدوده از کشور اقلیمی نیمه خشک دارد، اما بشدت از ارتفاعات موجود متأثر می شود [۱۹]. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه و همچنین دریاچه ارومیه نشان می دهد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران

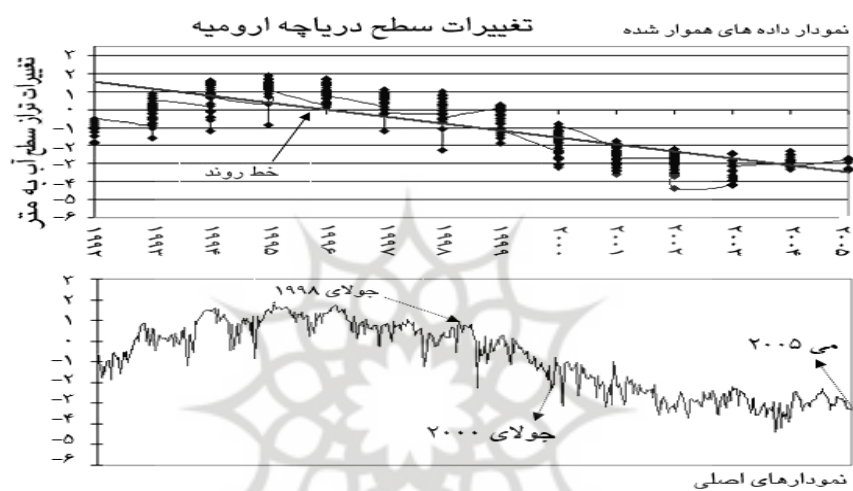
۳- داده‌ها و روشها

با توجه به اهداف تحقیق جاری، نخست کلیه مشاهدات ایستگاه سنجش سطح دریاچه از سال ۱۹۷۶م. - ۲۰۰۵ م. از سازمان آب تبریز اخذ شد، سپس برای تعیین تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در منطقه مطالعه شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شکل ۲ تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سطح آب دریاچه ارومیه در یک دوره زمانی بلندمدت را نشان می‌دهد.



شکل ۲ تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه ثبت شده به وسیله ایستگاه زمینی فلش‌ها نشان‌دهنده تصاویر ماهواره‌ای در دسترس می‌باشند.

به منظور مقایسه، اطلاعات اخذ شده به وسیله ماهواره‌های TOPEX/ Jason با مراجعه به سایت ناسا در طی سالهای ۱۹۹۲م. - ۲۰۰۵ م. مورد استفاده قرار گرفت [۲۰]. این نوع ماهواره‌ها می‌توانند اطلاعات مربوط به میانگین ارتفاع سطح منابع آبی را با دقت بسیار زیادی اندازه‌گیری کنند. شکل ۳ تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل ۳ تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه ثبت شده به وسیله ماهواره TOPEX/ Jason

با مقایسه مشاهدات زمینی و اطلاعات آلتی متری امکان انتخاب تصاویر ماهواره‌ای نمونه با توجه به اهداف مطالعه جاری فراهم شد. جدول ۱ منابع اطلاعاتی مورد نیاز برای استفاده در مطالعه جاری را نشان می‌دهد.



جدول ۱ منابع اطلاعات موجود از انواع تصاویر ماهواره ای

سال تصاویر اخذ شده	نام سنجنده	نوع اطلاعات
سال ۱۹۷۶-۲۰۰۵	-	مشاهدات زمینی
سال ۱۹۹۲-۲۰۰۵	TMR	Topex/Jason
آگوست سال ۱۹۷۶	MSS	تصاویر ماهواره ای
جولای ۱۹۸۹، ۱۹۹۰	TM	تصاویر ماهواره ای
جولای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲	ETM+	تصاویر ماهواره ای
می سال ۲۰۰۵	IRS-1C	تصاویر ماهواره ای
۲۴ می و ۲۳ نوامبر ۲۰۰۱	MODIS	تصاویر ماهواره ای
۲۸ می و ۲۱ نوامبر ۲۰۰۲	MODIS	تصاویر ماهواره ای
۱۸ می و ۲۱ نوامبر ۲۰۰۲	MODIS	تصاویر ماهواره ای
۲۱ می و ۲۱ نوامبر ۲۰۰۴	MODIS	تصاویر ماهواره ای
۲۱ می و ۲۱ نوامبر ۲۰۰۵	MODIS	تصاویر ماهواره ای

برای رسیدن به اهداف اصلی مطالعه، انواع متفاوت تصاویر ماهواره ای چند زمانه ای، منطقه دریاچه ارومیه که قابل دسترسی بودند، انتخاب شدند. یکی از قدیمی ترین و اولین مشاهدات مربوط به منطقه مطالعه شده تصاویر اخذ شده ماهواره لندست سنجنده MSS با توان تفکیک فضایی حدود ۸۰ متر بود که در سال ۱۹۷۶ م. از این منطقه تهیه شد. تصاویر به دست آمده از سنجنده های TM و ETM+ نیز در این مطالعه استفاده شدند که مربوط به ماه جولای سالهای ۱۹۸۹، ۱۹۹۰، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ می باشد. این تصاویر بترتیب توان تفکیکی فضایی حدود ۳۰ متر و ۱۵ دارند. بعلاوه، تصویر ماهواره ای IRS-1C هند که در ماه می سال ۲۰۰۵ از این منطقه تهیه شده بود، پردازش شد. به دلیل اینکه، بعد از سال ۲۰۰۲ تصاویر لندست در دسترس نبود، تصاویر ماهواره Terra سنجنده MODIS مربوط به ماههای می و نوامبر سالهای ۲۰۰۱ م. - ۲۰۰۵ م. برای ارزیابی میزان تغییرات در سالهای اخیر مربوط به دریاچه ارومیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. اصلاحات

ژئومتریک و رادیومتریک لازم برای کلیه تصاویر در محیط نرم افزار ۸٫۶ ERDAS انجام شد [۲۱]. بر اساس کنترل داده‌های اصلاح شده تصاویر ETM+ سال ۲۰۰۲، اصلاحات ژئومتریک روی تصاویر ماهواره MSS و TM به روش تصویر به تصویر اعمال شد [۲۲]. شایان ذکر است که از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به عنوان مبنای ارزیابی تغییرات سطح آب و تهیه مدل رقومی زمین استفاده شد.

در مرحله پردازش، سری‌های زمانی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای دریاچه ارومیه به روش ایجاد موزاییک با شماره گذر و ردیف ۳۴-۱۶۹، ۳۳-۱۶۹ و ۳۴-۱۶۸ تلفیق شدند. همچنین سیستم تصویر UTM برای ناحیه ۳۸ تطبیق و کلیه 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 مورد نظر بودند:

در مرحله پیش‌پردازش روی کلیه تصاویر ماهواره‌ای اصلاحات رادیومتریک، ژئومتریک و تکنیک‌های نرمال‌سازی اعمال شد. هدف اصلی این مرحله رفع خطاهای سیستماتیک و غیرسیستماتیک موجود در تصاویر خام و افزایش صحت و قابلیت دسته‌بندی اطلاعات رقومی مختلف بود. در مرحله پردازش، ابتدا تکنیک‌های نسبت‌گیری باندها و طبقه بندی در محیط نرم افزار ERDAS به‌کار گرفته شد. در جدول ۲ نحوه اعمال روش‌های پردازش مختلف برای استخراج تغییرات سطح آب دریاچه درج شده است.

جدول ۲ روش‌های طبقه بندی برای استخراج و پردازش تصاویر تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه

نوع سنجنده	ارزش باندها	نوع طبقه بندی	الگوریتم اعمال شده
MSS-لندست	۳/۲ و ۳/۱	----	نسبت گیری باندها
TM-لندست	۵/۲	----	نسبت گیری باندها
ETM+ -لندست	۴/۵ و ۲/۵	----	نسبت گیری باندها
IRS-1C	----	غیرکنترل شده	ISO-Data
MODIS	----	غیرکنترل شده	ISO-Data

سپس با استفاده از روش پیکسل به پیکسل و تفسیر بصری، مناطق دارای آب و بدون آب از یکدیگر تفکیک شدند [۲۳]. حاصل این مرحله از پردازش، تصاویری است که محدوده گسترش



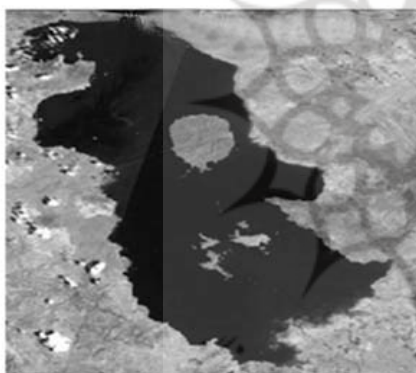
سطح آب دریاچه را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد (شکل ۴).



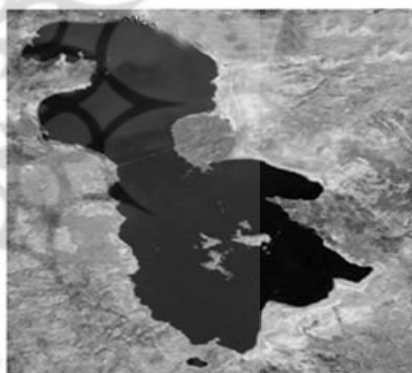
ب - تصویر MSS - آگوست سال ۱۹۷۶



الف - تصویر TM - جولای سال ۱۹۹۰



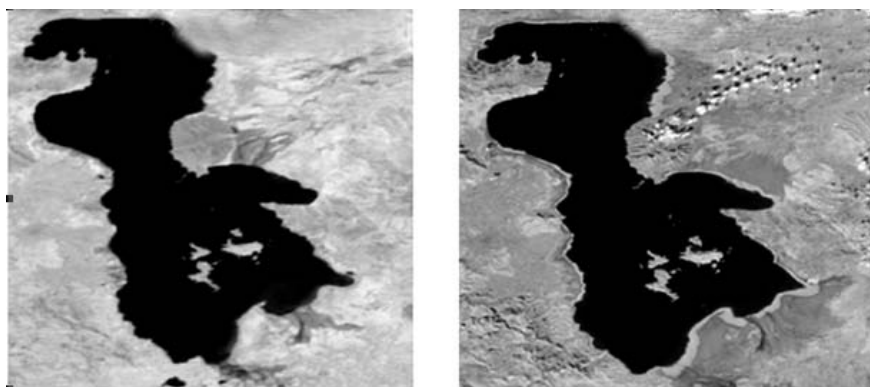
د - تصویر ETM+ - جولای سال ۱۹۹۸



ج - تصویر ETM+ جولای سال ۲۰۰۲

شکل ۴ تصاویر ترکیب رنگی RGB لندست (باند های ۱-۲-۴ برای سنجنده MSS، ۲-۴-۷ برای سنجنده های TM و ETM+)

برای استخراج سطوح آبی از تصاویر سنجنده MODIS تکنیکهای ترکیب رنگی تصاویر و طبقه‌بندی غیر هدایت شده استناد شد [۲۴]. شکل ۵ دو تصویر ترکیب رنگی RGB برای ماههای می و نوامبر در سال ۲۰۰۵ م. را نشان می‌دهد.



الف - تصویر MODIS نوامبر سال ۲۰۰۵ ب - تصویر MODIS می سال ۲۰۰۵

شکل ۵ تصاویر ترکیبی رنگی RGB (باند های ۱، ۷ و ۲) سنجنده MODIS

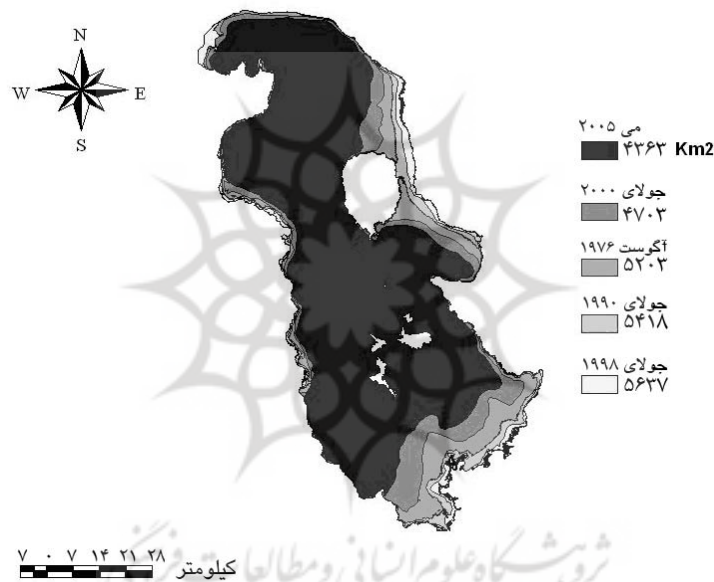
در مرحله بعدی برای استخراج خطوط ساحلی از تصاویر محدوده طیف مرئی استفاده شد. استخراج محل برخورد محدوده های آب و خشکی حتی با یک باند منفرد نیز امکانپذیر است، چرا که ویژگی انعکاسی آب در باند مادون قرمز انعکاسی تقریباً صفر است و انعکاس پوشش زمین در این محدوده خیلی بیشتر از آب می باشد [۲۵]. بررسی هستیوگرام آستانه انعکاس آب در باندهای مادون قرمز تصاویر TM و ETM+ نشان می دهند که از ۶ باند انعکاسی TM، باند ۵ مادون قرمز میانی برای استخراج خط برخورد خشکی و آب مناسبتر می باشد [۲۶]. با تفسیر بصری تصاویر مربوط به آن مشخص شد که مغایرت و اختلاف شدیدی بین محدوده آب دریاچه و اطراف آن وجود دارد. این عمل به دلیل میزان زیاد جذب انرژی مادون قرمز میانی به وسیله آب و انعکاس شدید مادون قرمز میانی به وسیله سایر پوششهای زمین (گیاه، نمک و مناطق غیر قابل کشت) در این محدوده است.

در مرحله پس پردازش ابتدا نقشه های طبقه بندی شده در محیط نرم افزار ArcGIS به مدل های برداری تبدیل و از این طریق مساحت سطح آب دریاچه استخراج شد. سپس با روشهای کارتوگرافی، میزان تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه و تغییرات نوار ساحلی در سالهای مختلف و فصول آبی متفاوت طراحی و نمایش داده شد. در نهایت با هدف ایجاد مدل شماتیکی، با انطباق تصویر ماهواره ای سال ۲۰۰۵ ماهواره MODIS روی یک مدل ناهمواری رقومی، آخرین وضعیت دریاچه ارومیه به همراه توپوگرافی مربوط به آن شبیه سازی شد.



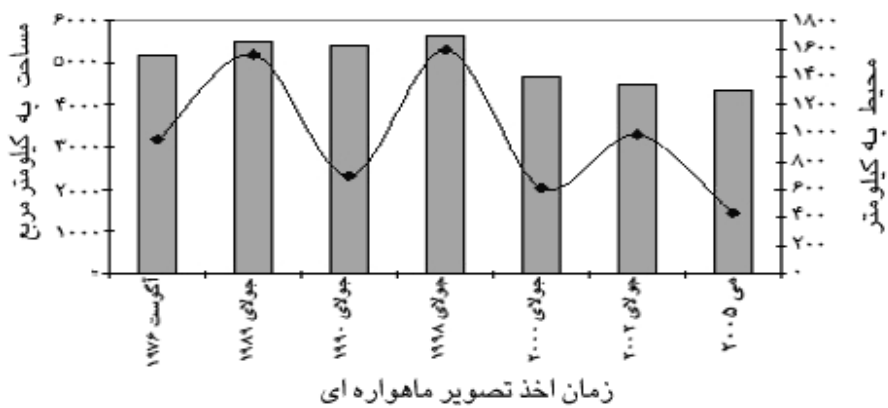
۴- یافته های تحقیق

تجزیه و تحلیل انواع تصاویر چند سنجنده ای و چند زمانه ای نشان می دهد که تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس سالیانه (از سال ۱۹۷۶ م. - ۲۰۰۵ م.) قابل توجه است. تغییرات دوره‌ای سطح آب دریاچه در شکل ۶ نشان داده شده است. از روی این تصاویر می توان تشخیص داد که در طی ۳۰ سال گذشته نوسانهای قابل ملاحظه‌ای در سطح آب دریاچه رخ داده است.



شکل ۶ تغییرات دوره‌ای سطح آب دریاچه ارومیه از سال ۱۹۷۶ - ۲۰۰۵

تغییرات مربوط به مساحت و محیط دریاچه ارومیه در شکل ۷ نیز نمایش داده شده است. با دقت به این مدل گرافیکی مشخص می شود که ضمن وجود نوعی نوسان در مقادیر مساحت و محیط دریاچه در دراز مدت، روند کلی کاهش در هر دو پارامتر هندسی وجود دارد.



شکل ۷ تغییرات مساحت و محیط دریاچه ارومیه

با ارزیابی نتایج به دست آمده مشخص می شود که خطوط ساحلی نیز در مقیاسهای سالیانه و فصلی دستخوش تغییرات معناداری است (شکل ۸).



شکل ۸ الف: نقشه های تغییرات دوره ای سالیانه و فصلی؛ ب: خطوط ساحلی دریاچه ارومیه



همچنین بررسی نقشه‌های تغییرات در مقیاس سالیانه نشان می‌دهد که خطوط ساحلی بویژه در شرق و جنوب شرقی منطقه مطالعه شده پسروی بسیار مشخصی داشته است. بعلاوه، بررسی سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس فصلی با استفاده از تصاویر MODIS (متوسط ۵ سال در ماههای می و نوامبر زمان بسته و باز شدن سدهای احداث شده در منطقه) نشان می‌دهد که در مقیاس فصلی نیز تغییرات قابل ملاحظه‌ای وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۳ تغییرات فصلی آب دریاچه ارومیه مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای MODIS (مساحت به کیلومتر مربع)

سال میلادی	مساحت سطح آب دریاچه در اواخر ماه نوامبر	مساحت سطح آب دریاچه در اواخر ماه می	تفاضل سطح آب در ماههای نوامبر و می
۲۰۰۱	۴۳۵۵	۳۸۲۵	۵۳۰
۲۰۰۲	۴۱۵۰	۳۴۷۰	۶۸۰
۲۰۰۳	۵۳۸۰	۴۷۳۵	۶۴۵
۲۰۰۴	۴۸۳۵	۴۳۱۷	۵۱۸
۲۰۰۵	۵۲۹۳	۴۴۲۶	۸۶۷
میانگین مساحت	۴۸۰۳	۴۱۵۵	۶۴۸

بررسی مقادیر مندرج در جدول فوق نشان می‌دهد که احتمالاً فرایند آبریزی بوسیله سدهای احداث شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در روند چنین تغییراتی بسیار تعیین کننده‌اند. بررسی دقیق مشاهدات نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در سالهای اخیر، در قسمت جنوب شرق منطقه مطالعه شده اتفاق افتاده است. در این محدوده جغرافیایی، سواحل دریاچه ارومیه حداقل عمق را داشته است و مصب رودخانه دائمی و پرآب "زرینه رود" می‌باشد. لازم به ذکر است که در سالهای اخیر بر روی این رودخانه سدی احداث شده است که از بند انحرافی "نوروزلو" در هر ثانیه به‌طور متوسط حدود ۵ مترمکعب برداشت آب به منظور مصارف گوناگون صورت می‌گیرد. شکل ۹ نحوه کاهش تدریجی سطح آب در محدوده دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل ۹ مراحل کاهش تدریجی آب دریاچه ارومیه در سواحل شمالی

در سالهای اخیر، پسروری سریع دریاچه باعث افزایش غلظت آب شده و در اغلب خطوط ساحلی مازاد املاح نمکی راسب شده است. این فرایند به نوبه خود مسائل اکولوژیکی عدیده‌ای را بوجود آورده است. عکسهای ارائه شده (شکل ۱۰ الف و ب) نحوه عقب نشینی خطوط ساحلی و روند راسب شدن املاح نمکی دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.



ب - نهشته های جدید املاح نمکی

الف - پسروری خطوط ساحلی

شکل ۱۰ الف: پسروری مرحله‌ای خطوط ساحلی ب: نهشته‌های نمکی در ساحل شرقی دریاچه ارومیه

با توجه به شکل ۱۱ مشخص می‌شود که در شرق و جنوب شرقی منطقه مطالعه شده به مقدار زیادی بر وسعت شوره‌زارها و زمینهای بدون کشت اضافه شده است که به همان نسبت از وسعت دریاچه کم شده است.



شکل ۱۱ آخرین وضعیت دریاچه ارومیه روی یک مدل رقومی ناهمواری زمین (DTM)

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق خطوط ساحلی دریاچه ارومیه از سالهای ۱۹۷۶م. - ۲۰۰۵ م. از تصاویر سنجنده‌های مختلف استخراج شد و مشخص شد که دریاچه ارومیه، بویژه در سالهای اخیر، در معرض تغییرات قابل ملاحظه‌ای بویژه در شرق و جنوب شرقی آن قرار گرفته است (که در مقیاسهای دراز مدت و فصلی قابل مشاهده است). ارتفاع سطح آب این دریاچه در این بازه زمانی بین ۳ الی ۴ متر پایین آمده است. به‌طور متوسط در حدود ۲۳ درصد (تقریباً ۱۲۰۰ کیلومترمربع) مساحت دریاچه کاهش یافته است؛ به‌طوری که در طول ده سال گذشته، به‌طور متوسط حدود ۶۰ کیلومتر از مجموع خطوط ساحلی دریاچه جابه‌جا شده است و جزیره اسلامی به عنوان بزرگترین جزیره این دریاچه به طور کامل از آب خارج شده است و مساحت خارج شده از زیر آب به صورت زمینهای بدون کشت، خشک و نمکی در معرض باد در تصاویر و طبیعت قابل مشاهده است که

تهدیدی جدی برای مزارع واقع در اطراف دریاچه محسوب می‌شود. در واقع باید اذعان کرد پتانسیل آب و خاک مناسب در حوضه دریاچه ارومیه شرایطی را فراهم آورده است که در جهت حفظ، بهبود و بهره‌برداری بهینه از این منابع با ارزش، پروژه‌های آبی متعددی روی رودخانه‌های جاری در سطح حوضه مطالعه شده قرار گیرد. بدیهی است طراحی و اجرای این پروژه‌ها بدون در نظر گرفتن آثار زیست‌محیطی آنها، مسایل و مشکلاتی را فراهم ساخته و بر شاخصهای کمی و کیفی آب دریاچه اثر گذاشته است. این به آن معناست که در صورت عدم مدیریت یکپارچه منابع آب در کل حوضه، شرایط زیست‌محیطی دریاچه ارومیه مورد تهدید قرار خواهد گرفت. اگرچه حساسیت کمی و کیفی دریاچه به این طرحها پس از گذشت سالها نمایان می‌شود، ولی عموماً فرایند برگشت آنها بسیار پیچیده بوده است و یا جبران آنها غیرممکن می‌شود. به‌طور یقین، با پردازش تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک بالا مانند: سنجنده‌های SPOT^۵ و P^۵ CartoSat و انتقال لایه‌های اطلاعاتی به محیط یک سیستم اطلاعات جغرافیایی هوشمند، پایش به‌هنگام و دقیق تغییرات پارامترهای محیطی-اقلیمی دریاچه ارومیه به‌منظور حفظ این مجموعه آبی به عنوان یک میراث طبیعی با ارزش ضرورتی اجتناب ناپذیر پژوهشی در سطح ملی تلقی خواهد شد [۲۶].

۶- منابع

- [1] Macleod, R. S & R. G. Congalton,; a quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelegrass from remotely sensed data. *Photogrammetric and Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, 1998.
- [2] Singh, A., "Digital change detection techniques using remotely sensed data", *Int J. R. S.* Vol.10, No 6, 1989.
- [3] Donnay, JP, M.J Barnsley Longley, *Remote sensing and urban analysis*; Taylor & Francis Inc. London, UK Duda, R.D. and Hart P.E. (1996) *Pattern Classification and Analysis*, John Wiley, New York, USA, 2001.
- [4] Jensen J.R.; *Introductory digital image processing: A remot sensing perspective*;e (Second Edition), Prentice-Hall, Upper Saddle River New Jersey, 316, 1996.
- [5] upp D. L. B., *Background and extensions to depth of penetration (DOP)*



Mapping in Shallow Coastal Waters. Proceeding of the Symposium on remote sensing of Coastal zone, Gold Coast, Queensland, September 1988, IV.2.1-IV.2.19, 1988.

- [6] Dasarathy V.; Nearest neighbor classification techniques; IEEE Computer Society, 1991
- [7] illesand T. M. ., Kiefer, P.W *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, Inc; USA 1994.
- [8] ucker, C. J.; “Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation“, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, 1979.
- [9] K. Singh, N. V. Deshpande, B. Sakalley, S. N. Rajak and J. Kelsy,. *Satellite remote sensing for surface water assessment and management of Bhopal Lake - An integrated approach*, *Remote Sensing Applications*, Centre M.P. Council of Science & Technology Bhopal, India, 1991.
- [10] ng. Omar Qudah, Eng. Hussein Harahsheh, *Recession of Dead Sea through the Satellite Images* Royal Jordanian Geographic Centre Amman-Jordan, 1994.
- [11] eng . P. S., Shunji M., Kiyoshi H., Robert L.G. S. Samarakoon. , *Detection of coast lines of tonle Sap lake in flood season using JERS-1 data for water volume estimation STAR program*, Asian Institute of Technology, 1998.
- [12] L.Zavoianu A, Caramizoiu D. B., *Study and accuracy assessment of remote sensing data for enviromental change detection in Romanina coastal zone of the Black sea*; Faculty of Geodesy, Technical University of Engineering Bucharest, Romania, 2001.
- [13] tephen A. K., *A remote sensing and GIS Study of Lont-Term water mass balance lake Jackson*, College of Enegineering Science Technology & Agriculture. Florda, U.S.A, 2002.
- [14] obert, BRYANT, *application of avhrr to monitoring A climatically censitive Playa*, Case Study: chott elderid southern tunisia;. Department of

Environmental Science university of Strirling, FK9-4LA, UK, 2003.

- [15] Bayram B., Bayraktar H., Helvaci C., Acar U; Coast line change detection using corona, SPOT and IRS ID Images, Turkey-Istanbul, 2004.
- [16] Kaichang Di, Ruijin Ma, Jue Wang, Ron Li, Coastal mapping and change detection using high-resolution IKONOS satellite imagery, Japan- Ohio, 2004.
- [17] M.Coskun, N. Musaoglu, Investigation of rainfall – runoff modeling of the Van Lake catchments by using remote sensing and GIS integration, ITU, Civil Engineering Faculty, Istanbul, Turkey.
- [18] Najafi A., Investigation of the snowmelt runoff orumiye – region using modeling GIS and RA- techniques, international – institute for geo-information science and observation enchede the Netherland, 2003.
- [۱۹] رسولی، ع. ا.، عزیززاده، م. ر.، «مدلسازی مکانی پدیده سرمایه‌های بادی شمال غرب کشور»؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ش ۸۰، ۱۳۸۵.
- [20] www.sealevel.jpl.nasa.gov/mission/jason_1.html, w.jason.oceanobs.com
- [۲۱] رسولی، ع. ا.، اصول سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه تبریز (زیرچاپ)، ۱۳۸۵.
- [22] ERDAS IMAGIANE, Erdas Field Guide™, Fifth Edition, Revised and Expanded, ERDAS®, Inc., Atlanta, Georgia, 2003.
- [23] Richards, J. A., Remote sensing digital image analysis; Springer-Verlag, Berlin, 240, 1999.
- [24] Alesheikh A. A.; Ghorbanali A., Talebzadeh A., “Generation the coastline changing map for Urmia Lake by Tm and ETM+ imagery”, <http://www.gisdevelopment.net>, 2005.
- [25] Xia Zhen hen, “Using multi-temporal remotely sensed data to study the coastline evolution in Dayanan area”, <http://www.gisdevelopment.net>, 1999.
- [۲۶] رسولی، ع. ا.، تحلیلی بر فناوری GIS؛ اداره چاپ و انتشارات دانشگاه تبریز، ۱۳۸۱.