

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵/ ص ۲۶۹-۲۸۴

شناسایی پهنه‌های مستعد توفان‌های نمکی دریاچه ارومیه با استفاده از پردازش فازی - شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای

بختیار فیضی‌زاده*

استادیار و عضو هیأت علمی سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

هژار شهبابی (hejarshahabi@gmail.com)

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

هوشنگ سیفی (seifihoshang@gmail.com)

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۲/۲۳ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۳/۳)

چکیده

دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین سطح آبی کشور، بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی قرار دارد. این دریاچه در خطر خشک شدن کامل قرار داشته و طی ۱۳ سال گذشته تحولات بسیاری را پشت سر گذاشته است. اختصاص ۹۰ درصد منابع آبی منطقه به بخش کشاورزی، تأخیر زیاد در پی گرم شدن هوا، احداث سدهای متعدد و برداشت غیرمجاز از آب‌های زیرزمینی در پی حفر چاه، از دلایل خشک شدن این دریاچه است و شهرها و روستاهای پیرامون خود را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات و تهدیدهای ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر سنجش از دور است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مساحت آبی دریاچه ارومیه از ۳۱۲۰/۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۰ به کمترین حد خود، یعنی ۸۸۷/۴۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۴ کاهش یافت و بعد از آن با روند افزایشی چشمگیر، به ۲۴۷۵/۸ کیلومتر مربع رسید که یکی از دلایل این افزایش، بارش باران در اواخر زمستان ۱۳۹۴ و بهار ۱۳۹۵ بود. در طی این دوره هفت‌ساله همزمان با کاهش مساحت آب دریاچه، مساحت سایر پهنه نیز دچار افزایش شد که در این میان پهنه‌های کم‌خطر (۱۳۱۲/۱۹ کیلومتر مربع) سال ۲۰۱۵، خطرناک (۸۵۶/۳۴ کیلومتر مربع) سال ۲۰۱۴، پرخطر (۱۱۴۸/۹۸ کیلومتر مربع) سال ۲۰۱۴ و بالقوه (۴۴۵/۸۵ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۱۵ دارای بیشترین مقدار خود در دوره زمانی هفت‌ساله بوده است. با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی، با کاهش آب دریاچه به‌خصوص در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵، پهنه‌های نمکی پرخطر مساحت زیادی از نیمه جنوبی دریاچه را به خود اختصاص داده‌اند که با توجه به جهت غالب بادهای منطقه که غربی-شرقی است، خطر بزرگی از نظر زیست‌محیطی برای ساکنان و اکوسیستم شرق حوضه آبریز دریاچه محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر، طبقه‌بندی شیء‌گرا به‌خوبی توانسته بر مشکلات در روش پیکسل‌پایه فائق آید و نتایج به‌مراتب بهتری ارائه دهد. دقت نهایی نقشه طبقه‌بندی را می‌توان با انتخاب معیارهای دقیق سگمنت‌سازی، الگوریتم‌های مناسب کلاس‌بندی و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد بهبود بخشید و ابهامات نقشه را رفع کرد.

واژه‌های کلیدی: پردازش فازی، دریاچه ارومیه، سنجش از دور، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، لندست.

Email: Feizizadeh@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۰۵۸۶۳۰

مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲]. این دریاچه به عنوان یک زیستگاه طبیعی در چند سال اخیر دستخوش تحولات ناگواری شده و در معرض نابودی قرار گرفته است. عواملی نظیر خشکسالی، احداث سدهای متعدد، استفاده بی‌رویه از منابع آبی و کشاورزی سنتی در حوضه آبریز دریاچه، سبب وخیم‌تر شدن این وضع شده است. بنابراین پایش و مدیریت دریاچه‌هایی با ویژگی‌های دریاچه ارومیه از موضوعات مهم در مدیریت منابع آبی است. این دریاچه در فهرست یونسکو به ثبت رسیده و از اهمیت ویژه‌ای برای اکوسیستم منطقه برخوردار است. علاوه بر این، دریاچه جزو تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر بوده و از نظر تنوع زیستی در فهرست مناطق مهم بین‌المللی پرندگان به ثبت رسیده است [۶]. به دلایل متعددی آب دریاچه در سال‌های اخیر در معرض خشکی قرار گرفته که شهرها و روستاهای پیرامون را به شدت تحت تأثیر قرار داده است [۵]. یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در زمینه خشک شدن دریاچه ارومیه، تشکیل کانون‌های ریزگرد نمکی است که خطری بالقوه برای محیط زیست منطقه شمرده می‌شود. با توجه به وجود سکونتگاه‌های انسانی متعدد و استقرار کلانشهرهایی مانند تبریز، ارومیه و مراغه در اطراف دریاچه ارومیه و تهدیدهای ناشی از ریزگردها، توجه به مدیریت مخاطرات در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر کشاورزی همچنان اصلی‌ترین فعالیت اقتصادی در منطقه محسوب می‌شود که به شدت تحت تأثیر خشکی دریاچه ارومیه قرار دارد، چراکه گسترش اراضی شور و کاهش حاصلخیزی اراضی کشاورزی بر اثر افزایش نمک، از مهم‌ترین نتایج پسروری دریاچه ارومیه و تشکیل برونزدهای نمکی است. با توجه به موارد اشاره شده، مدیریت مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی برای کاهش آثار آن در منطقه ضروری می‌نماید که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است.

فناوری سنجش از دور با ارائه امکانات مربوط به پایش تغییرات محیطی و مقایسه چندزمانه تصاویر برای کشف تغییرات و همچنین ارزیابی کمی آنها، نوعی فناوری کارآمد در مدیریت مخاطرات محیطی شناخته می‌شود که توسط محققان مختلف استفاده و تأیید شده است [۲۸، ۲۷، ۱۹، ۱۰، ۹، ۸]. با توجه به کارایی تصاویر ماهواره‌ای در پایش میزان تغییرات، استفاده از تصاویر سنجش از دور مهم‌ترین روش در شناسایی تغییرات خط ساحلی است و در مطالعات مربوط به آشکارسازی تغییرات خط ساحل و شکل‌گیری کانون‌های نمکی برای مدیریت مخاطرات محیطی کاربرد دارد [۳۳]. در این زمینه تحقیقات متعددی انجام گرفته که چند نمونه از مهم‌ترین آنها بیان می‌شود:

رسولی و همکاران [۲] طی تحقیقی به پایش نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و چندسنجنده‌ای بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ پرداختند. نتایج نشان‌دهنده نوسانات گسترده دوره‌ای و تغییرات چشمگیر فصلی در پارامترهای هندسی دریاچه ارومیه است. بیشترین تغییرات به دلیل کاهش ارتفاع آب دریاچه به ویژه در جنوب شرق و سواحل شرقی دریاچه ارومیه رخ داده است. اکبری مهین و کرمی [۱] در مقاله‌ای به بررسی تغییرات سطح دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند، آنها روند تغییرات محیطی دریاچه ارومیه شامل تغییرات عوارض آب، نمک، پوشش گیاهی و خاک را بررسی کردند. در تحقیق آنان، از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ استفاده شده است، نتایج نشان‌دهنده کاهش آب به خصوص در نواحی شرقی و جنوب شرقی دریاچه است. طی پژوهشی دیگر کریمی و همکاران [۲۵] با استفاده از تصاویر چندزمانه ۲۰۱۰-۱۹۷۳ مجموعه ماهواره‌ای Landsat و سنجنده MODIS سطح آب دریاچه ارومیه را با طبقه‌بندی نظارت‌شده استخراج کردند. نتایج نشان داد مساحت دریاچه در سال ۱۹۷۳ برابر با ۵۲۸۹/۷ کیلومتر مربع بود که به ۲۸۱۶/۱۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۰ کاهش یافت. در طی این دوره، سطح آبی ۵۳/۲۳ درصد از کل آب موجود کاهش یافت و همچنین سطح تراز آب در سال‌های اخیر به کمترین حد خود، یعنی ۱۲۷۳/۵ رسید. در تحقیقی مشابه، رکنی و همکاران [۳۰] برای استخراج تغییرات زمانی- مکانی دریاچه ارومیه در دامنه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۰ با استفاده از شاخص NDWI به مطالعه پرداختند و دریافتند که دریاچه دارای روند شدید کاهش در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ بود و مساحت سطح آب آن به ۱۴۲۵ کیلومتر مربع رسید که یک سوم مساحت آن در سال ۲۰۰۰ بوده است. کل تغییرات در این دامنه زمانی ۱۳ ساله، ۲۸۰۵ کیلومتر مربع بوده است. بوهوم و همکاران [۱۵] با استفاده از تصاویر سنجنده‌های MSS, TM, ETM+, Aster در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۴) با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی به بررسی اکولوژی دریاچه پرداختند و بر جنبه‌های کاربردی این تصاویر نیز تأکید کردند. جمع‌بندی حاصل از پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که محققان مختلف، از تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه استفاده کرده‌اند. در کنار استفاده از تصاویر سنجش از دور برای بررسی تغییرات خط ساحلی، بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات از روش‌های پیکسل‌پایه پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرده‌اند و کارایی روش‌های شیء‌گرا برای این مطالعات استفاده نشده است. تحقیق حاضر با بهره‌گیری از نتایج تحقیقات مرتبط، استفاده از روش‌های پردازش شیء‌گرا را در تلفیق با روش‌های فازی با هدف آشکارسازی

تغییرات پهنه‌های مستعد توفان‌های نمکی دریاچه ارومیه با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرای فازی را مدنظر قرار داده است.

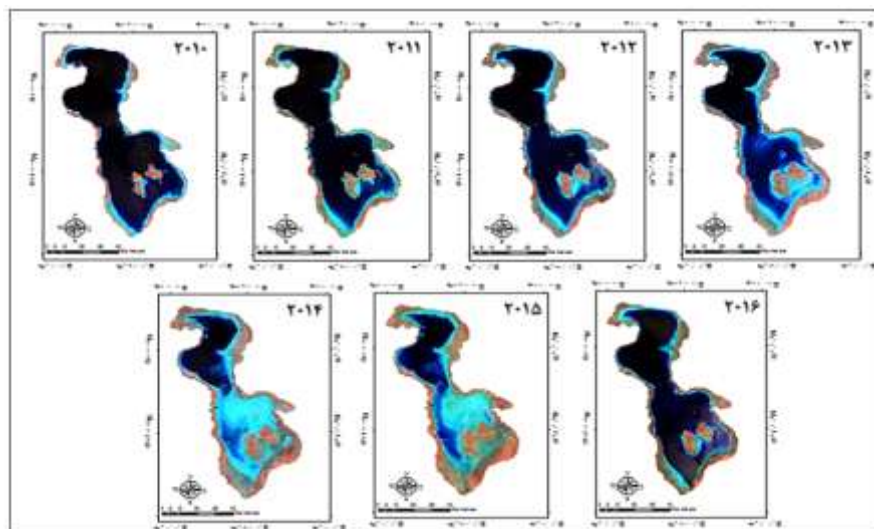
روش تحقیق و تحلیل

منطقه تحقیق و داده‌های مورد استفاده

محدوده این تحقیق دریاچه ارومیه است که بزرگ‌ترین دریاچه داخلی کشور است و در شمال غرب کشور در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی واقع شده است. از منظر جغرافیایی، دریاچه ارومیه در حد گسترش نهایی خود حدود ۱۴۰ کیلومتر طول و ۵۵ کیلومتر عرض دارد و در شمال غرب ایران در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۴۵ تا ۴۶ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ تا ۳۸/۵ درجه شمالی واقع است. این دریاچه دومین دریاچه فوق‌اشباع نمک جهان محسوب می‌شود. میانگین شوری آب دریاچه بین ۳۰۰-۲۲۰ گرم در لیتر است که در شرایط زمانی و مکانی مختلف متغیر است. نوسانات بارش در طی دهه گذشته به‌همراه استفاده بی‌رویه از منابع آبی در حوزه‌های کشاورزی، صنعت و شرب و سدسازی‌های گسترده روی رودخانه‌های اصلی از عوامل اصلی کاهش سطح دریاچه ارومیه و افزایش پهنه‌های نمکی در این منطقه محسوب می‌شود. در راستای پایش تغییرات خط ساحل و شناسایی کانون‌های ریزگردهای نمکی، در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهواره لندست استفاده شده است. این تصاویر مربوط به سه مقطع زمانی (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶) است. این تصاویر در دامنه زمانی ۲۶ تیر تا ۶ مرداد سال‌های یادشده اخذ شده که مشخصات آنها به شرح جدول ۱ است. در شکل ۱ نیز موقعیت دریاچه به‌همراه تغییرات سطح آن در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر اخذشده

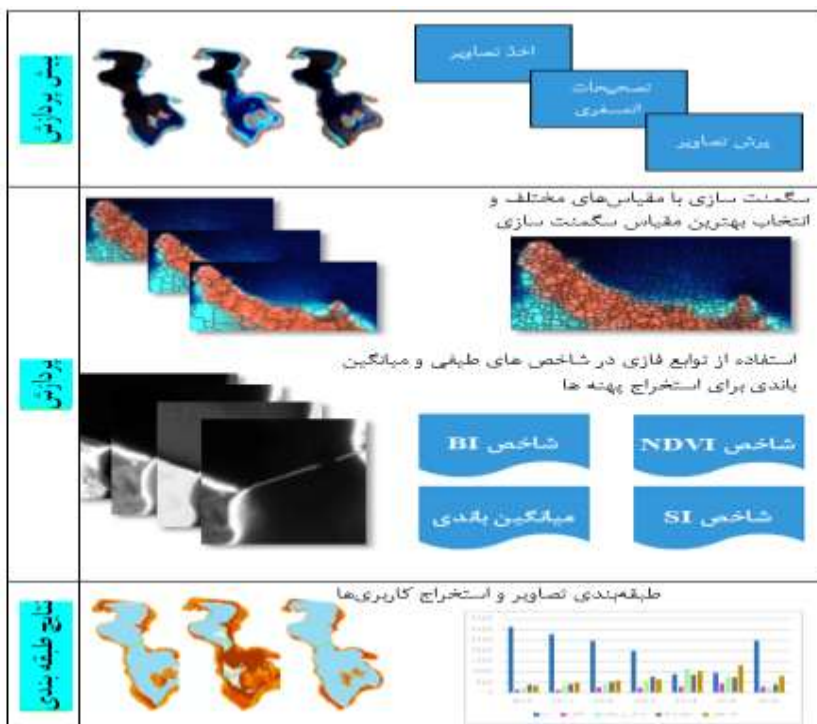
ردیف	تاریخ	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی
۱	۲۰۱۰.۷.۱۷	لندست ۷	ETM+	۳۰ متر
۲	۲۰۱۱.۷.۲۷	لندست ۵	TM	۳۰ متر
۳	۲۰۱۲.۷.۲۲	لندست ۷	ETM+	۳۰ متر
۴	۲۰۱۳.۷.۲۵	لندست ۷	ETM+	۳۰ متر
۵	۲۰۱۴.۷.۲۸	لندست ۷	ETM+	۳۰ متر
۶	۲۰۱۵.۷.۲۳	لندست ۸	OLI	۳۰ متر
۷	۲۰۱۶.۷.۱۷	لندست ۸	OLI	۳۰ متر



شکل ۱. تصاویر دریاچه ارومیه در دوره‌های زمانی مختلف با ترکیب باندی ۳، ۴، ۵

آماده‌سازی تصاویر و اعمال تصحیحات اتمسفری

اتمسفرف همواره از عوامل تأثیرگذار در سنجش از دور بوده و به دلیل عملکرد آن ارزش عددی هر پیکسل در تصاویر حاصل از سنجش از دور ثبت واقعی تابندگی پدیده‌های سطح زمین نیست، زیرا بر اثر جذب، علامت‌ها تضعیف می‌شوند یا بر اثر پراکنش مسیر آنها تغییر می‌کند. بر این اساس در این مرحله اقدام به تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر شده و با توجه به اینکه تصحیحات اتمسفری متناسب با زمان و موقعیت جغرافیایی اعمال می‌شود، تکنیک استفاده‌شده برای تصحیح اتمسفری روش کاهش عددی ارزش پیکسل‌های تیره (روش چاوز) است. در این روش، کمترین مقدار ارزش عددی یک پیکسل برای ناحیه‌های آبی، در هر نوار باید صفر باشد، در غیر این صورت، این ارزش ایجادشده براساس خطای اتمسفری است [۲۰، ۱۷]. پس از اعمال اصلاحات اتمسفری از روش‌های گوناگون آشکارسازی تصویر استفاده شده و مشخصات طیفی اراضی حاصل از پسروری دریاچه ارومیه استخراج شد. این مشخصات در مرحله بعد مبنایی برای انتخاب روش‌های پردازش قرار گرفت. شکل ۲ مراحل اصلی اجرای تحقیق و اقدامات صورت‌گرفته در هر مرحله را نشان می‌دهد.



شکل ۲. فلوچارت مراحل پایش تغییرات

پردازش تصویر شیء‌گرا

پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، رویکردی نوین در سنجش از دور شناخته می‌شود که استفاده تلفیقی از اطلاعات طیفی و مکانی را در پردازش تصاویر ماهواره‌ای مدنظر قرار می‌دهد. در فرایند پردازش شیء‌گرا، اطلاعات فیزیکی، محیطی، شکل و الگو استفاده می‌شود تا خطاهای ناشی از شباهت طیفی در پردازش پیکسل پایه به حداقل برسد و موجب افزایش دقت شود [۲۶]. بسیاری از روش‌های طبقه‌بندی، اعلانات طیفی موجود در باندهای تصویر را استفاده می‌کنند. در این روش‌ها انتظار آن است که پیکسل با درجه روشنایی بیشتر یا کمتر در فضای چندطیفی در خوشه‌هایی متناسب با انواع پوشش زمینی گروه‌بندی شود [۱۶]. براساس تحقیقات انجام‌گرفته، این روش‌ها توانایی محدودی در جدا کردن کلاس‌هایی که اطلاعات طیفی مشابهی دارند و در هم ادغام می‌شوند، دارد [۳۲، ۲۱، ۱۸]. در مقایسه با پردازش پیکسل پایه، روش شیء‌گرا، تصاویر را به صورت شیء‌هایی معنی‌دار که مطابق با ماهیت زمینی

آنهاست در نظر می‌گیرد [۱۳، ۱۱]. در پردازش تصاویر پیکسل‌پایه، مبنای پردازش براساس ارزش عددی پیکسل در باندهای مختلف است، درحالی که پردازش شیء‌گرا تنها متکی بر ارزش پیکسل‌ها نیست و مواردی چون بافت، رنگ، شکل و سایر عوامل کمک‌کننده در جداسازی عوارض را در طبقه‌بندی دخالت می‌دهد؛ چراکه در این روش تصویر براساس پارامترهای طیفی، فیزیکی و هندسی پدیده‌های زمینی ثبت‌شده بر روی تصویر سگمنت‌سازی شده و واحد پردازش تصاویر از پیکسل به پدیده‌های تصویری یا سگمنت تغییر می‌یابد و در نتیجه آن با پردازش جامع‌تر این اطلاعات، اشیا و پدیده‌های دنیای واقعی با دقت زیادی استخراج می‌شود [۴]. توانایی زیاد روش‌های پردازش شیء‌گرا، استخراج دقیق‌تر پدیده را امکان‌پذیر می‌کند و مبنای مناسبی را برای پایش تغییرات به‌ویژه مدیریت مخاطرات محیطی نظیر آشکارسازی تغییرات تالاب‌ها، آب‌گرفتگی، سیلاب‌ها و ... را فراهم می‌آورد [۲۲].

سگمنت‌سازی تصاویر

سگمنت‌سازی اولین و مهم‌ترین مرحله در تبدیل تصویر به واحدهای تصویری مجزاست [۲۴]. سگمنت به‌معنای گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آنهاست [۱۴]. شیء (سگمنت) های تصویری حاصل از فرایند سگمنت‌سازی، مبنای طبقه‌بندی شیء‌گرا هستند؛ آنها دارای حجم زیادی از مشخصات و خصیصه‌های پدیده‌های زمینی و متناظرشان در سطح تصویرند و هرچه این فرایند با دقت بیشتری انجام گیرد، به‌طور مستقیم در کیفیت طبقه‌بندی شیء‌گرا تأثیر خواهد داشت [۲۳]. در طول فرایند سگمنت‌سازی، تمام تصویر سگمنت‌سازی‌شده و شیء‌های تصویری براساس معیار همگنی در رنگ و شکل تولید می‌شوند [۳۲]. در جدول ۲ پارامترهای سگمنت‌سازی و آستانه‌های استفاده‌شده برای هر تصویر به تفکیک ارائه شده است. با بررسی منحنی انعکاس طیفی و همچنین ارزیابی هیستوگرام همبستگی نوارها، ترکیب باندی ۳، ۴، ۵ برای طبقه‌بندی و تعیین نمونه‌های آموزشی انتخاب شد. وزن برای باندهای مختلف با تحلیل رفتار عوارض در باند مختلف به‌خصوص عوارض موجود در خط ساحلی نظیر آب، نمک تاز و نمک ته‌نشین‌شده وزن‌های باندی مطابق جدول ۲ انتخاب شد. با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق، بررسی پسرفت آب و تغییرات پهنه‌های نمکی مستعد توفان نمک است، براساس این موارد وزن ۲ برای باند آبی، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تعیین شد که علت این انتخاب، عملکرد این باندها در شناسایی آب و نمک است.

جدول ۲. معیارهای سگمنت‌سازی تصاویر

image 2016 (OLI)	image 2015 (OLI)	image 2014 (ETM+)	image 2013 (ETM+)	image 2012 (ETM+)	image 2011 (TM)	image 2010 (ETM+)	معیار
8	10	5	5	5	5	5	مقیاس
0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	ضریب تراکم
0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	ضریب شکل
b2=2, b3=1 b4=2 b5=2 b6=1, b7=1	b2=2, b3=1 b4=2 b5=2 b6=1, b7=1	b1=2, b2=1 b3=2, b4=2 b5=1, b7=1	b1=2, b2=1 b3=2, b4=2 b5=1, b7=1	b1=2, b2=1 b3=2, b4=2 b5=1, b7=1	b1=2, b2=1 b3=2, b4=2 b5=1, b7=1	b1=2, b2=1 b3=2, b4=2 b5=1, b7=1	وزن باندی

شیء‌های نمونه آموزشی

طبقه‌بندی شیء‌گرا نیز همانند طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده در روش پیکسل‌پایه، نیازمند نمونه‌های تمرینی یا آموزشی است. برخلاف طبقه‌بندی پیکسل‌پایه، طبقه‌بندی با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در روش شیء‌گرا، نیازمند نمونه‌های آموزشی کمتری است؛ زیرا هنگامی که یک شیء تصویری به‌عنوان نمونه آموزشی انتخاب می‌شود، آن شیء خود پیکسل‌های متعددی را پوشش می‌دهد [۳]. در تحقیق حاضر، نمونه‌های آموزشی با بازدید میدانی و نیز از تصاویر Google Earth جمع‌آوری شده و شیء‌های متناظر روی تصاویر مربوط به‌عنوان نمونه آموزشی به نرم‌افزار معرفی شد. براساس این نمونه تمامی شیء‌های موجود به کلاس‌های مربوط اختصاص داده شد.

طبقه‌بندی فازی

طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای امکان استفاده از قابلیت‌های فازی را فراهم می‌آورد. به‌طور خلاصه نظریه مجموعه فازی فرضیه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌های نادقیق و مبهم را در صورت معادلات ریاضی مطرح کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۲۹]. در این زمینه، برای طبقه‌بندی فازی، با استفاده از انواع روش فازی برای محاسبه درجه عضویت (از جمله سیگموئید، دوزنقه‌ای، مثلثی، خطی) امکان محاسبه درجه عضویت برای هر عارضه و همچنین شناسایی تأثیرگذارترین معیارها برای طبقه‌بندی حاصل می‌شود [۱۲]. طبقه‌بندی فازی تکنیکی است که ارزش عددی عوارض را به

ارزش فازی بین صفر و یک با درجه عضویت مشخص برای هر طبقه تبدیل می‌کند. تبدیل ارزش عددی عوارض به ارزش فازی اجازه همگون‌سازی و ترکیب عوارض در دامنه‌های متفاوت را فراهم می‌آورد [۳]. طبقه‌بندی فازی در eCognition با توجه به معیارهایی است که مفسر برای هر طبقه مشخص می‌کند، این معیارها می‌تواند شامل ارزش عددی سگمنت‌ها یا ویژگی‌های بصری نظیر بافت، تن، رنگ و... باشد و اختصاص درجه عضویت به هر یک از عوارض با توجه با تابع فازی است. در تحقیق حاضر علاوه بر مقادیر باندهای مختلف از سه شاخص دیگر به نام NDVI, SI و BI برای افزایش دقت و کیفیت طبقه‌بندی و نیز از الگوریتم‌های فازی AND (عملگر بازگشتی به‌عنوان حاصل ضربی از ارزش فازی) و OR (عملگری با حداکثر لرزش بازگشتی از ارزش فازی) استفاده شده است.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

$$SI = \sqrt{(Blue * Red)} \quad (2)$$

$$BI = \frac{SWIR_1 - SWIR_2}{SWIR_1 + SWIR_2} \quad (3)$$

برای استفاده از قابلیت‌های فازی در این تحقیق از اپراتورهای فازی استفاده شده و درجه عضویت برای هر یک از الگوریتم‌های مورد نظر استخراج شد. جدول ۳ درجه‌های عضویت محاسبه شده برای هر الگوریتم را نشان می‌دهد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن ارزیابی نشده است تکمیل نیست و برای کسب اطمینان از نسبت صحت تصویر طبقه‌بندی شده، دقت آن باید ارزیابی شود [۲۶]. دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده است [۷]. مدل‌های ارزیابی دقت در طبقه‌بندی شیء‌گرا بیشتر از روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه است؛ این مدل‌ها شامل ضریب دقت کلی، ضریب کاپا، ماتریس خطا، پایداری طبقه‌بندی و نتیجه بهترین طبقه‌بندی است [۳۲]. در این پژوهش، نمونه‌هایی که از قبل برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی مشخص شده بود بر روی تصاویر انتخاب و برای ارزیابی به نرم‌افزار معرفی شد. نتیجه حاصل از ارزیابی خطای طبقه‌بندی به شرح جدول ۴ است. دقت ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که طبقه‌بندی با دقت زیادی انجام گرفته است. دقت زیاد در طبقه‌بندی با روش شیء‌گرا در تحقیق هانگ و نیی [۲۴] نیز به اثبات رسیده است. علت این

دقت زیاد، استفاده از معیارهایی نظیر شکل، بافت، رنگ، بافت و الگوی عوارض در طبقه‌بندی است که ابهام در مورد ماهیت عوارض را کاهش می‌دهد.

جدول ۳. الگوریتم‌های انتخاب‌شده و درجه‌های عضویت محاسبه‌شده برای هر الگوریتم با استفاده از اپراتورهای فازی

B7	B5	SI	SI	BI	NDVI	NDVI	شاخص‌های طیفی و میانگین بانندی
0.11 <T> 0.177	T> 0.24	0.29 <T> 0.38	T> 0.42	0.09 <T> 0.18	-0.11 >T> -0.38	T <- 0.4	2010
0.11 <T> 0.176	T> 0.22	0.29 <T> 0.37	T> 0.42	0.08 <T> 0.19	-0.13 >T> -0.38	T <- 0.38	2011
0.11 <T> 0.175	T> 0.22	0.28 <T> 0.38	T> 0.41	0.10 <T> 0.16	-0.12 >T> -0.35	T <- 0.39	2012
0.11 <T> 0.174	T> 0.21	0.29 <T> 0.31	T> 0.38	0.10 <T> 0.15	-0.13 >T> -0.35	T <- 0.39	2013 (آستانه T)
0.11 <T> 0.173	T> 0.23	0.30 <T> 0.40	T> 0.43	0.09 <T> 0.11	-0.09 >T> -0.31	T <- 0.36	2014
0.11 <T> 0.172	T> 0.22	0.29 <T> 0.39	T> 0.44	0.10 <T> 0.11	-0.07 >T> -0.30	T <- 0.37	2015
0.11 <T> 0.171	T> 0.23	0.28 <T> 0.36	T> 0.39	0.12 <T> 0.19	-0.14 >T> -0.39	T <- 0.42	2016
and (min)	OR (max)	and (min)	OR (max)	and (min)	and (min)	and (min)	تلف فازی
بالتوجه	کم‌خطر	خطرناک	پرخطر	کم‌خطر	بالتوجه	آب	طبقه هدف

جدول ۴. ضرایب خطای کلی و کاپا طبقه‌بندی

سال	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
دقت کلی	۹۲/۳	۹۲/۲۲	۹۱/۱۴	۹۱/۱۹	۹۳/۷	۴۹/۹	۹۵/۵۶
ضریب کاپا	۰/۹۱	۰/۹	۰/۸۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹۴

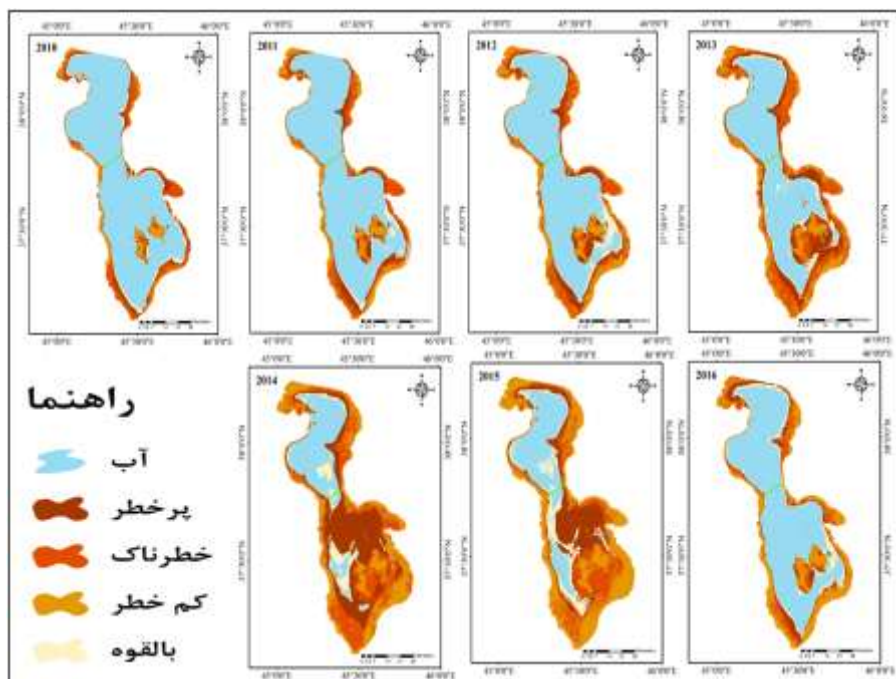
بحث و یافته‌ها

نتایج حاصل از پسروری دریاچه و کانون‌های ریزگرد شکل‌گرفته در محدوده‌های اطراف دریاچه در شکل ۳ نشان داده شده است. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که مساحت آبی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰ از ۳۱۲۰/۶ کیلومتر مربع به کمترین حد خود یعنی ۸۸۷/۴۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۴ کاهش یافت و بعد از آن با روند افزایشی چشمگیر، به ۲۴۷۵/۸ رسید که یکی از دلایل این افزایش،

بارش باران در اواخر زمستان ۱۳۹۴ و بهار ۱۳۹۵ بوده است. در طی این دوره هفت‌ساله همزمان با کاهش مساحت آب دریاچه، مساحت سایر پهنه نیز دچار افزایش شده است که در این میان پهنه‌های کم‌خطر (۱۳۱۲/۱۹ کیلومتر مربع) سال ۲۰۱۵، خطرناک (۸۵۶/۲۴ کیلومتر مربع) سال ۲۰۱۴، پرخطر (۱۱۴۸/۹۸ کیلومتر مربع) سال ۲۰۱۴ و بالقوه (۴۴۵/۸۵ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۱۵ دارای بیشترین مقدار خود در دوره زمانی هفت‌ساله بوده است. با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی با کاهش آب دریاچه به‌خصوص در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ پهنه‌های نمکی پرخطر مساحت زیادی از نیمه جنوبی دریاچه را به خود اختصاص داده است.

با در نظر گرفتن سیستم بادهای غالب منطقه که اغلب جهت غربی شرقی دارند، کانون‌های ریزگرد تشکیل شده خطر بزرگی از نظر زیست‌محیطی برای ساکنان و اکوسیستم شرق حوضه آبریز دریاچه محسوب می‌شود. گردوغبار حاصل از توفان‌های این منطقه با گذر زمان با پهنه‌های نمکی موجود در ساحل ترکیب می‌شوند و با وزش باد، این ریزگردها به توده‌های نمکی برخورد می‌کنند و سبب پراکنش ریزگرد های نمکی در جو می‌شوند؛ فرونشست تدریجی ریزگردهای نمکی در اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی، نتایج ناگواری بر جای می‌گذارد و سبب کاهش حاصلخیزی، افزایش شوری، آلودگی و امراض ناشی از آن می‌شود. در ادامه روند کاهش آب دریاچه، کرانه‌های نمکی نیز به‌صورت گسترده در حاشیه‌های ساحلی کم‌عمق ته‌نشین می‌شوند که این رسوبات نمکی نیز خود با خشک شدن دریاچه تهدیدی بالقوه محسوب می‌شود. بررسی نقشه‌های استخراج‌شده و مناطق خطر شناسایی شده نشان می‌دهد که این رسوبات ساحلی بیشتر در مناطق کم‌عمق جنوبی و حاشیه ساحل تمرکز دارد. مناطقی که اغلب به‌صورت زمین‌های بایر در تصاویر و نتایج نمایان است، با کاهش حجم آب دریاچه به‌سمت دریاچه گسترش داشته‌اند و این سبب شده است که زمین‌های نمکی موجود را پوشش دهند و به تدریج هر سال مساحت آن نیز زیادتر شده است که با از بین رفتن پوشش خاکی در آینده، توفان‌های نمکی در مناطق پرخطر به‌وقوع خواهند پیوست. با بررسی نتایج مشخص می‌شود که نیمه شمالی به‌خصوص قسمت غربی و شمال غربی دریاچه دارای کمترین تغییرات در این دوره هفت‌ساله بوده است.

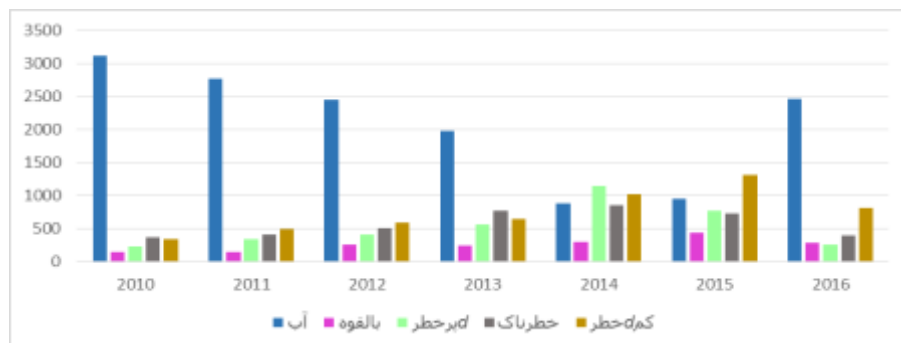
شکل ۳ درک بهتری از تغییرات دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ را به تصویر می‌کشد. این نقشه‌ها و نمودار حاصل از تغییرات سطح آب نشان می‌دهد که سطح آب ۲۰۱۰ با پسرقت تدریجی خود به چه پهنه‌هایی تا سال ۲۰۱۶ تبدیل شده است.



شکل ۳. طبقه‌بندی فازی شیء‌گرا در پنج کلاس (آب، پرخطر، خطرناک، کم‌خطر، بالقوه)

جدول ۵. مساحت کلاس‌های خطر شناسایی شده به کیلومتر مربع و دقت استخراج شده برای هر کلاس

سال	سنجنده	کلاس					ضریب کاپا
		آب	بالقوه	پرخطر	خطرناک	کم‌خطر	
۲۰۱۰	ETM+	۳۱۲۰۶۲	۱۵۳۰۷۶	۲۳۳۰۷۲	۳۷۹۸۷	۳۳۸۶۶	۰.۹۱
۲۰۱۱	TM	۲۷۷۳۰۳۵	۱۵۶۵۹	۳۴۸۰۴۹	۴۱۴۶۹	۴۹۶۹۹	۰.۹
۲۰۱۲	ETM+	۲۴۵۵۰۷۹	۲۵۵۰۳۹۳	۴۱۲۰۶۲	۵۰۹۰۴۹	۵۴۹۰۰۱	۰.۸۹
۲۰۱۳	ETM+	۱۹۸۰۰۳۷	۲۵۳۰۱۹	۵۷۲۰۸۳	۷۷۳۰۹۲	۶۴۶۰۹۵	۰.۹
۲۰۱۴	ETM+	۸۸۷۰۴۲	۳۰۴۰۲۸	۱۱۴۸۰۹	۸۵۶۰۲۴	۱۰۳۰۰۲۱	۰.۹۱
۲۰۱۵	OLI	۹۵۵۰۰۷	۴۵۵۰۸۵	۷۹۹۰۲	۷۳۵۰۷۵	۱۳۱۲۰۱۹	۰.۹
۲۰۱۶	OLI	۲۴۷۵۰۸۲	۲۳۸۰۹۴	۲۵۷۰۲	۳۹۹۰۷۵	۸۱۱۰۲۶	۰.۹۴



شکل ۴. نمودار تغییرات مساحت (کیلومتر مربع) کلاس‌ها در دوره زمانی (۲۰۱۰-۲۰۱۶)

نتیجه‌گیری

پایش سواحل یکی از عوامل مهم در توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست است. برای پایش تغییرات ساحلی، استخراج محدوده‌های سواحل در سری زمانی‌های مختلف از موارد مهم و اساسی است. پهنه‌های ساحلی یکی از مهم‌ترین عارضه‌های بر روی سطح زمین است که دارای ماهیتی پویاست [۳۱]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مساحت آبی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۴ به کمترین مقدار خود در چند دهه اخیر رسیده است، اما در سال ۲۰۱۶ یا افزایش بارندگی مساحت آب دریاچه از ۸۸۷/۴۶ کیلومتر مربع به ۲۴۷۵/۸۲ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرد که نشان از تأثیر بارندگی بر وضعیت آب دریاچه دارد. بیشترین تغییرات در این دوره هفت‌ساله متوجه نیمه جنوبی دریاچه بوده است که علت آن، جهت شیب به سمت قسمت شمالی دریاچه و عمق کم آب در نیمه جنوبی است. عمده‌ترین تغییرات دوره زمانی هفت‌ساله مربوط به پهنه‌های کم‌خطر بوده است که مساحت آن از ۳۳۸/۳۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۰ به ۱۳۱۲/۱۹ کیلومتر مربع در ۲۰۱۵ افزایش یافت؛ مناطق پرخطر نیز دچار این تغییرات چشمگیر شده است، به طوری که مساحت آن از ۲۳۳/۷۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۰ به ۱۱۴۸/۹۸ کیلومتر مربع در ۲۰۱۴ افزایش پیدا کرد. در تحقیق حاضر طبقه‌بندی شیء‌گرا به خوبی توانست بر مشکلات روش پیکسل‌پایه فائق آید و نتایج بهتری ارائه دهد. دقت نهایی نقشه طبقه‌بندی را می‌توان با انتخاب معیارهای دقیق سگمنت‌سازی، الگوریتم‌های مناسب کلاس‌بندی و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد بهبود بخشید و ابهامات نقشه را رفع کرد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک طیفی و مکانی زیاد و همچنین از روش‌های نظیر پردازش شیء‌گرا استفاده شود. نتایج کاربردی

تحقیق نیز نشان می‌دهد که با خشک شدن تدریجی دریاچه، خطرهای بسیار زیادی از جمله توفان‌های نمکی، خشکسالی، بیماری‌ها، مهاجرت اجباری و ... ساکنان حوضه شمال غرب کشور را تهدید می‌کند که با گذر زمان نتایج نامطلوبی بر اکوسیستم و حیات منطقه خواهد گذاشت؛ ولی مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل مؤثر بر دریاچه، افزایش بی‌رویه مصارف آبی در سطح حوضه، سدسازی‌های بی‌رویه و احداث میانگذر و تقسیم دریاچه به دو بخش شمالی و جنوبی است که مانع چرخه آب در سطح دریاچه شده و به دلیل عمق کمتر بخش جنوبی، این بخش به تدریج در معرض خشکی قرار گرفته است.

منابع

- [۱]. اکبری مهین، مهدی؛ کرمی، جلال (۱۳۹۲). بررسی تغییرات سطح دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران.
- [۲]. رسولی، علی‌اکبر؛ عباسیان، شیرزاد؛ جهانبخش، سعید (۱۳۸۷). «پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندسنجنده‌ای و چندزمانی». *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ش ۲، ۱۴-۵.
- [۳]. فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۶). «مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرکز GIS دانشگاه تبریز: ۹۳-۷۴
- [۴]. فیضی‌زاده، بختیار؛ هلالی، حسین (۱۳۸۸). «مقایسه روش‌های پیکسل پایه، شیء‌گرا و پارامترهای تأثیرگذار در طبقه‌بندی پوشش/ کاربری اراضی استان آذربایجان غربی». *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۷۱: ۷۳-۸۴.
- [۵]. سلیمی ترکمانی، حجت (۱۳۸۹). بررسی مشکل زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از منظر حقوق بین‌الملل محیط زیست. *فصلنامه مطالعات راهبردی*، ۲۱ (۵۸): ۱۷۷-۱۷۸.
- [6]. Al sheikh, A. Ali Mohamadi, A. Ghorbanali, A. (2005). "Urmia Lake shoreline monitoring using remote sensing". *Journal of Geographical Sciences*, 4 (5): 9-24. (In Persian)
- [7]. Anderson, J. R (1976). "A land use and land cover classification system for use with remote sensor data" (964). US Government Printing Office.
- [8]. Anedron, J.R (1977), "Land use and land cover changes – a framework for monitoring". *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 5, pp.143-153.
- [9]. Anuta, P. ; Bauer, M. (1973), "An Analysis of Temporal Data for Crop Species Classification and Urban Change Detection". LARS Information Note 110873 (West Lafayette, IN:Laboratory for Applications of Remote Sensing).

- [10]. Aplin, P (2004), *Remote sensing: land cover. Progress in Physical Geography*, 28: 283-293.
- [11]. Benz, U. C; Hofmann, P; Willhauck, G; Lingenfelder, I; Heynen, M (2004). "Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58: 239-258
- [12]. Blaschke, T. (2010). "Object based image analysis for remote sensing". *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1) : 2-16.
- [13]. Blaschke, T; Lang, S; Lorup, E; Strobl, J.; Zeil, P. (2000). "Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications". In A. Cremers, & K. Greve (Eds.), *Environmental information for planning, politics and the public*, 2 : 555-570.
- [14]. Blaschke, T, Lang, S (2006). "Bridging remote sensing and GIS-what are the main supportive pillars?". International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006), university of Salzburg, Austria, pp.20
- [15]. Bohme, Beate (2006). "Geomorphology, hydrology, and ecology of Lake Urema, central Mozambique, with focus on lake extent changes". *Physics and Chemistry of the Earth*. 31 (2006):745-752
- [16]. Borri, D; M. Caprioli, E. Tarantino (2005). *Spatial Information Extraction from VHR Satellite Data to Detect Land Cover Transformations*. Polytechnic University of Bari, Italy. pp.105
- [17]. Chavez, P. S. (1988). "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data". *Remote sensing of environment*, 24(3): 459-479.
- [18]. Chen, M. ; Su, W.; Li, L.; Zhang, C.; Yue, A.; Li, H (2009). "Comparison of pixel-based and object-oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery". *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 6(3): 477-489.
- [19]. Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Lambin, E (2004). "Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review". *International Journal of Remote Sensing*, 25: 1565-1596.
- [20]. *Erdas imaging 14*, (2016), User guide.
- [21]. Gao, Y.; Mas, J.F.; Navarrete, A (2009). "The improvement of an object-oriented classification using multi-temporal MODIS EVI satellite data", *International Journal of Digital Earth*, Volume 2, Issue 3 September 2009 : 219 - 236.
- [22]. Gilmore, M. S; Wilson, E. H; Barrett, N; Civco, D. L; Prisløe, S; Hurd, J. D; et al. (2008). "Integrating multi-temporal spectral and structural information to map wetland vegetation in a lower Connecticut River tidal marsh". *Remote Sensing of Environment*, 112: 4048-4060.
- [23]. Hofmann, T.; Puzicha, J.; Buhmann, J (1998). "Unsupervised texture segmentation in a deterministic annealing framework". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, NO20: 803-818.

- [24]. Huang, L.; Ni, L (2008). "Object-oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy". In Proceedings of the 3rd International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, China: 211-218.
- [25]. Karimi, N.; Mobasheri, M. R (2011). "Shoreline change analysis of Urmia Lake using multi-temporal satellite images". In Eighteenth National Conference on Geomatics, Iran, Tehran: 88-96.
- [26]. Lillesand, T.; Kiefer, R.W.; Chipman, J (2001). *Remote sensing and image interpretation*, 6th Edition, Wiley Publication, Washington.
- [27]. Lu, D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E (2004). "Change detection techniques". *International Journal of Remote Sensing*, 25: 2365-2407.
- [28]. Nelson, R.F. (1983). "Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49: 1303-1314.
- [29]. Ranjbar, H.; Honarmand, M (2004). "Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt using fuzzy classification". *International Journal of Remote Sensing*, 25(21): 4729-4741
- [30]. Rokni, K.; Ahmad, A.; Selamat, A.; Hazini, S (2014). "Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery". *Remote Sensing*, 6(5): 4173-4189.
- [31]. Winarso, G.; Budhiman, S (2001). "The potential application of remote sensing data for coastal study, proc". 22 Asian conference on remote sensing, Singapore.
- [32]. Yan, G (2003). *Pixel based and object oriented image analysis for coal fire research*. Enschede, Holanda: 1-93
- [33]- Zuzek, P.J; Nairn, R.B; Thieme, S.J; (2003). "Spatial and temporal consideration for calculating shoreline change rates in the Great Lakes Basin." *J. Coast. Res.* 38: 125-146.