

بررسی تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه با استفاده از ادغام داده‌های ماهواره

لندست-۸ و سنتینل-۲

امیر غایبی^{۱*}، احمد احمدی^۲، بهناز بیگدلی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی ژئوتکنیک، راه و نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: amirghayebi75@gmail.com

زیرنویس شود: [15] Commented

چکیده

در بین تغییرات زیست محیطی، آب نقش بسیار حیاتی را در مسائل سیاسی، اجتماعی و اقتصادی کشورها ایفا می‌کند که می‌توان از آب‌های سطحی به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین منابع تأمین آب در دسترس انسان‌ها و حیوانات استفاده کرد. بررسی نوسانات سطح آب دریاچه‌ها به لحاظ اهمیت، موقعیت و ماهیت این مجموعه‌های آبی، در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. دریاچه ارومیه با وسعت ۵۱۲۰۰ کیلومتر مربع به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جهت بررسی و ارزیابی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن از داده‌های ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ استفاده شد. ابتدا بر روی تصاویر، تصحیحات رادیومتری و اتمسفری صورت گرفت و سپس ضمن استفاده از ادغام‌گرهای Gram Schmidt و LMVM جهت افزایش توان تفکیک مکانی، به استخراج شاخص‌های AWEI، NDWI و WI2015 و NDVI به‌منظور متمایز کردن سطح آب دریاچه از اراضی خشکی پرداخته شد. در نهایت با ترکیب شاخص‌ها با یکدیگر و با انجام نمونه‌برداری نمونه‌های آموزشی و آزمایشی، به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر، از طبقه‌بندی‌کننده‌های نظارت‌شده همچون حداکثر احتمال (Maximum Likelihood)، ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine)، شبکه عصبی (Neural Network) و حداقل فاصله از میانگین (Minimum Distance to Mean) استفاده شد. همچنین جهت بهبود نتایج، خروجی طبقه‌بندی‌کننده‌ها به روش رأی‌گیری اکثریت (Majority Voting) ادغام شد. نتایج تحقیق نشان داد که روش رأی‌گیری اکثریت با بیشترین میزان دقت به‌عنوان مناسب‌ترین روش طبقه‌بندی‌کننده انتخاب شد. میزان سطح آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن نیز طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ تغییرات چشم‌گیری داشته است، به‌طوری‌که در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۲۰ میزان سطح آب ۲۹/۸۹ درصد کاهش، پوشش گیاهی ۱۶/۰۸ درصد افزایش و خاک ۱۷/۵۰ درصد افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های سطحی، دریاچه ارومیه، سنجنش‌ازدور، طبقه‌بندی نظارت‌شده، ادغام داده، شناسایی تغییرات

Deleted: به عنوان

Deleted: به عنوان

Deleted: رادیومتری

Deleted: اتمسفریک

Commented [25]: کل متن صلاح انواع خطاهای نگارشی با نرم افزار ویراستیار انجام گیرد
<https://virastyar.ir/>

Deleted: افزایش

Deleted: به منظور

Deleted: غیر-آب

Deleted: در نهایت

Deleted: به منظور

Deleted: به طوری که

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در ارتباط با جامعه بشری در دهه‌های اخیر، تأثیر مستقیم تغییرات محیطی بر اکوسیستم طبیعت است که علاوه بر به خطر انداختن چرخه اکوسیستم، موجب کاهش منابع انسانی و حیوانی می‌شود (۳). به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تغییرات زیست‌محیطی در چند دهه‌ی اخیر، می‌توان به تغییرات آب‌های سطحی همچون دریاچه، رودخانه، باتلاق و اقیانوس و اهمیت آن بر جامعه بشری و اکوسیستم اشاره کرد. بررسی نوسانات سطح آب دریاچه‌ها به لحاظ اهمیت، موقعیت و ماهیت این مجموعه‌های آبی در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. اخیراً نظارت بر آب‌های سطحی برای فرآیندهای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در بسیاری از کشورها ضروری بوده است (۱۳). امروزه نیز به دلیل گستردگی موارد استفاده از آب در مسائل شرب، صنعت، کشاورزی، اقتصادی، اجتماعی، امنیتی و سیاسی بدیهی است که با حداقل صرفه‌جویی در هزینه و زمان و عدم دخیل بودن اشتباهات میدانی کارشناسان، به شناسایی خصوصیات پهنه‌های آبی با روش‌های مختلف پرداخت که از جمله این روش‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در فناوری سنجنش‌ازدور (Remote Sensing) است. به‌کارگیری سنجنش‌ازدور به دلیل ویژگی‌های خاص خود مانند دید وسیع، یکپارچگی، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، امکان به‌کارگیری سخت-افزارها و نرم‌افزارها و کم‌هزینه و سریع بودن تجزیه و تحلیل در جمع‌آوری اطلاعات، جهت شناسایی و پایش پدیده‌ها و عوارض سطح زمین از جمله آب‌های سطحی در زمان کوتاه و در محدوده‌های وسیع با قابلیت محاسبه شاخص‌های مرتبط با مطالعات آب‌شناسی راهکاری بسیار مناسب و مؤثر است (۱۴). از این‌رو شاخص‌ها از مقدار رادینانس و بازتابندگی عوارض زمین، برای شناسایی در باندهای طیفی مختلف امواج الکترومغناطیس استفاده می‌کنند. اخیراً سنجنده‌های متنوعی از سنجنش‌ازدور جهت شناسایی برخی مشخصه‌های آب‌های سطحی روی زمین همچون دریاچه و ارزیابی منابع آب که رابطه مستقیمی با جامعه بشری و اکوسیستم دارد، به کار گرفته شده است. سنجنده‌های غیرفعال (Passive) اشعه الکترومغناطیسی خورشید را که از پدیده‌های مختلف سطح زمین منعکس می‌شود را جمع‌آوری نموده و به شکلی مناسب، برای کسب اطلاعات از محیط اطراف ارائه می‌دهد.

از گذشته تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه‌ی استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور به‌منظور مطالعات منابع آب و بررسی تغییرات این منابع انجام شده است. در این راستا با توجه به اهمیت موضوع، بهره‌برداری از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه دلیل این تحقیق است. دریاچه ارومیه (Urmia Lake) با وسعت ۵۱۲۰۰ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و ششمین دریاچه بزرگ آب شور جهان است که از دیدگاه‌های مختلف به‌خصوص زیست‌محیطی حائز اهمیت است (۱۶). پژوهش‌های پیشین، نشان‌دهنده‌ی اهمیت دریاچه‌ها ارومیه به عنوان یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های طبیعی در سطح منطقه است که متأسفانه در

Commented [۲]: ۱. تکرار و استفاده بیش از حد از عبارات مشابه: در برخی جملات مقدمه، ایده‌ها و اطلاعاتی که از پژوهش‌های قبلی ارائه شده‌اند، به صورت تکراری و مشابه با یکدیگر مطرح شده است. این امر می‌تواند تنوع و جذابیت متن را کاهش دهد.

۲. نبود یک ساختار منظم: مقدمه باید یک ساختار مشخص و منظم داشته باشد که ایده‌ها و مطالب به ترتیب منطقی و مرتبط با یکدیگر ارائه شوند. در این مقدمه، بخش‌ها به نظر نمی‌آیند که به ترتیب منطقی و موضوعی باشند.

۳. عدم اشاره به هدف اصلی مقاله: در این مقدمه، هدف اصلی مقاله به وضوح معرفی نشده است. باید بیان شود که مقاله به دنبال چه مسئله‌هایی می‌گردد و چه سوالاتی را پاسخ می‌دهد.

۴. استفاده از اطلاعات غیرمرتبط: در برخی جاها، اطلاعاتی ارائه شده که به موضوع اصلی مقاله مرتبط نیستند و تناسب کافی با موضوع ندارند.

۵. نبود ارجاعات معتبر: در مقدمه، ارجاعات به منابع معتبر و علمی جدید برای پشتیبانی ادعاها و اطلاعات ارائه شده، به ندرت دیده می‌شود. استفاده از منابع معتبر و قابل اعتماد، معیاری اساسی برای قبولیت و اعتبار مقاله است.

۶. عدم جلب توجه و جذابیت: مقدمه باید توانایی جلب توجه خواننده و ایجاد انگیزه برای ادامه مطالعه را داشته باشد. اما در این مقدمه، عدم وجود جملات جذاب و توجیه‌کننده می‌تواند باعث کاهش توجه خواننده شود.

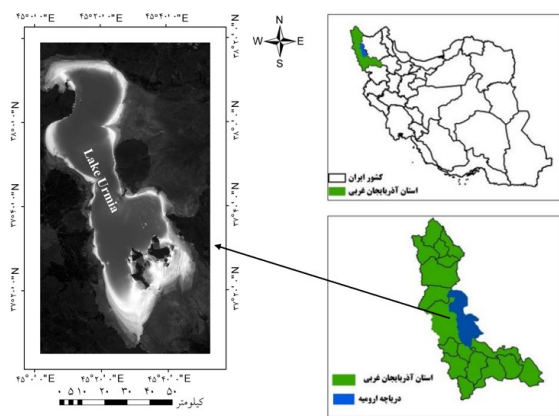
با توجه به موارد فوق، تلاش برای بهبود ساختار و ارتقاء محتوای مقدمه، می‌تواند به بهبود قابلیت فهم و جذابیت مقاله کمک کند.

سال‌های اخیر از سطح و وسعت آن کاسته شده است. جمعه و همکاران (۱۸) در سال ۲۰۲۲ با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به پایش و ارزیابی تغییرات خط ساحلی و سطح آب دریاچه الرزازه در کشور عراق از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ پرداختند. آن‌ها بر اساس شش تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۱ از منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۱۵، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ تغییرات را ارزیابی و با استفاده از الگوریتم نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای طبقه‌بندی و استخراج سطح آب استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که با تغییر چشم‌گیری که سطح دریاچه داشت، مساحت آب دریاچه با کاهش ۸۴/۱ درصدی از ۱۶۳۱/۷۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۹ به ۲۵۹/۶۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۹ روبه‌رو شده بود. کشتا و همکاران (۲۰) در سال ۲۰۲۲ دریاچه بورولوس، دومین دریاچه بزرگ در قسمت شمالی دلتای نیل در کشور مصر را در ۳۵ سال گذشته از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ مورد مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از تصاویر چندطیفی ماهواره‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ با وضوح متوسط مکانی ۱۰ متر برای طبقه‌بندی طبقه‌بندی منطقه دریاچه بورولوس به چهار کلاس اصلی، آب، مرداب، سطوح زمین بدون پوشش گیاهی (جاده‌ها، مسیرها، ورقه‌های شنی و تپه‌های شنی) و زمین‌های کشاورزی استفاده کردند. در این طبقه‌بندی، اندازه دقت کلی ۹۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۵ برآورد شد. نتایج نشان داد که این دریاچه بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ تلفات قابل‌توجهی داشته و تبدیل تالاب‌ها به زمین‌های کشاورزی عمدتاً در بخش غربی و جنوبی دریاچه متمرکز شده است که در آن مساحت زمین‌های کشاورزی دو برابر شده است. هملی و همکاران (۱۷) در سال ۲۰۲۲ با استفاده از داده‌های ماهواره‌های لندست-۸ و مودیس به بررسی تغییرات مساحت دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران طی ۲۰ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰) پرداختند. آن‌ها جهت شناسایی و آشکارسازی پهنه آب دریاچه ارومیه و ایجاد تمایز بین آب و غیر-آب از شاخص‌هایی همچون شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI)، شاخص گیاهی تقویت‌شده (EVI)، شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI) استفاده کردند. نتایج نشان داد که NDVI و NDWI شاخص‌های مناسب‌تری برای پایش تغییرات سطحی آب دریاچه بودند. همچنین بیشترین مساحت دریاچه ارومیه در سال ۲۰۰۰ و کمترین آن در سال ۲۰۱۴ بوده است. هراتی و همکاران (۱۲) در سال ۲۰۲۱ با هدف شناسایی تغییرات مساحت آب دریاچه ارومیه و پوشش گیاهی اطراف آن به دلیل تغییرپذیری سالانه و بلندمدت طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ به تحقیق پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود با ادغام تصاویر لندست-۷ و سنتینل-۲ توانستند شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI)، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص آب (WI₂₀₁₅) را استخراج کنند. در نتیجه با ادغام داده‌ها و افزایش توان تفکیک مکانی به ۱۵ متر و بهره‌مندی از الگوریتم‌های نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و حداکثر احتمال به طبقه‌بندی تصاویر پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که اولاً سطح دریاچه ارومیه به طور مستقیم و قابل توجهی کاهش یافته و از سوی دیگر، تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه منجر به روند کاهش کلی پوشش گیاهی در منطقه شده است. تغییرات پهنه آبی دریاچه ارومیه به عنوان یک محرک بسیار قوی منجر به افزایش شدت و فراوانی طوفان‌های گردوغبار در قسمت شرقی دریاچه و تشدید شرایط گردوغبار در منطقه می‌شود. آن‌ها توصیه کردند که در صورت تشدید روند کاهش دریاچه ارومیه در محدوده مورد مطالعه، خشک‌سالی جبران‌ناپذیر و طوفان‌های گردوغبار شدیدی در منطقه رخ خواهد داد. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده طی سال‌های اخیر، نتیجه گرفته شد که استفاده از داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ و همچنین ادغام داده‌ها جهت افزایش توان تفکیک مکانی و استفاده از شاخص‌ها مورد تأکید پژوهشگران بوده است و کمک بسزایی در ایجاد تمایز بین آب و غیر-آب می‌کنند. همچنین در صورت بی‌توجهی سیاست‌گذاران و سازمان‌های دولتی محیط‌زیست به پیامدهای هشداردهنده خشک‌سالی و بحران آبی دریاچه ارومیه و ادامه روند نزولی سطح آب، خطراتی همچون خشک‌سالی، کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، از بین رفتن منابع طبیعی و غیره، تهدیدی برای مردم منطقه خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران با وسعت ۵۱۲۰۰ کیلومترمربع معادل بیش از ۳٪ مساحت کل کشور ایران و مختصات عرض جغرافیایی "۳۷° ۴۲' ۵۹" شمالی و طول جغرافیایی "۴۵° ۱۹' ۱۷" شرقی بین استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی قرار دارد (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق سعی شده تا میزان تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study area

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، از تصاویر چندطیفی لندست-۸ و سنتینل-۲ به منظور استخراج نقشه پهنه آبی دریاچه ارومیه و عوارض اطراف آن برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ با داندلود رایگان از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (USGS) استفاده شده است. مشخصات داده‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. اطلاعات تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲

Table 1. Landsat-8 and Sentinel-2 satellite image information

ماهواره	سنجنده	باندهای مورد استفاده	ردیف	گذر	تاریخ اخذ تصویر
لندست-۸	OLI	۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸	۳۴-۳۵	۱۶۹	۲۰۱۳/۰۹/۰۳ ۲۰۱۴/۰۹/۰۶ ۲۰۱۵/۰۹/۰۹ ۲۰۱۶/۰۹/۱۱ ۲۰۱۷/۰۹/۱۴ ۲۰۱۷/۰۹/۱۴ ۲۰۱۸/۰۹/۰۱
سنتینل-۲	MSI	۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۱	۳۸SNH ۳۸SNG	۱۳۵	۲۰۱۹/۰۹/۰۲ ۲۰۲۰/۰۹/۰۶ ۲۰۲۱/۰۹/۰۹

Commented [د۴]: این مقاله متناسب با موضوع خود، یعنی بررسی تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه با استفاده از ادغام داده‌های ماهواره، ارائه شده است. اما در جزئیات موارد زیر به عنوان نقدهای فنی و علمی می‌توانند در نظر گرفته شوند:

1. عدم ارجاع به منابع: در برخی از بخش‌ها مانند "روش‌های طبقه‌بندی تصاویر" و "طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال" از مفاهیم و الگوریتم‌های خاصی استفاده شده است، اما ارجاعی به منابع مرجع برای توضیح بیشتر این مفاهیم ارائه نشده است که می‌تواند تبیین بیشتری را برای خواننده فراهم کند.

2. عدم شرح دقیق از پیش‌پردازش‌ها: در بخش "روش‌های پیشنهادی"، مراحل پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای مطرح شده است، اما جزئیات دقیق و گام به گام این پیش‌پردازش‌ها ارائه نشده است که برای تکرارپذیری و اعتبارپذیری نتایج، بسیار حیاتی است.

3. ارزیابی نتایج: در بخش نتایج، عملکرد الگوریتم‌های استفاده شده برای تحلیل تصاویر ماهواره‌ای باید به صورت کمی و کیفی ارزیابی شود. عدم ارائه این ارزیابی می‌تواند اعتبار کار را کاهش دهد.

4. عدم بررسی اثرات محیطی و متغیرهای موثر: در این مقاله، تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته است، اما بررسی اثرات محیطی مانند تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و سایر متغیرهای موثر در این تغییرات می‌تواند به تفسیر بهتر نتایج کمک کند.

5. استفاده از روش‌های معتبر: مطمئن شوید که الگوریتم‌ها و روش‌های مورد استفاده در تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌ها، معتبر و قابل اعتماد هستند و با توجه به موضوع مطالعه انتخاب شده‌اند.

6. انتخاب شاخص‌های معتبر: در بخش "روش‌های طبقه‌بندی تصاویر"، انتخاب شاخص‌هایی مانند NDVI و NDWI صورت گرفته است. اطمینان حاصل کنید که این شاخص‌ها مناسب برای مطالعه مورد نظر هستند و استفاده از آن‌ها توانایی تفسیر صحیح نتایج را دارد.

با توجه به این نکات، تصحیح و تکمیل مقاله می‌تواند به بهبود کیفیت آن و در نتیجه ارزش علمی و فنی آن کمک کند.

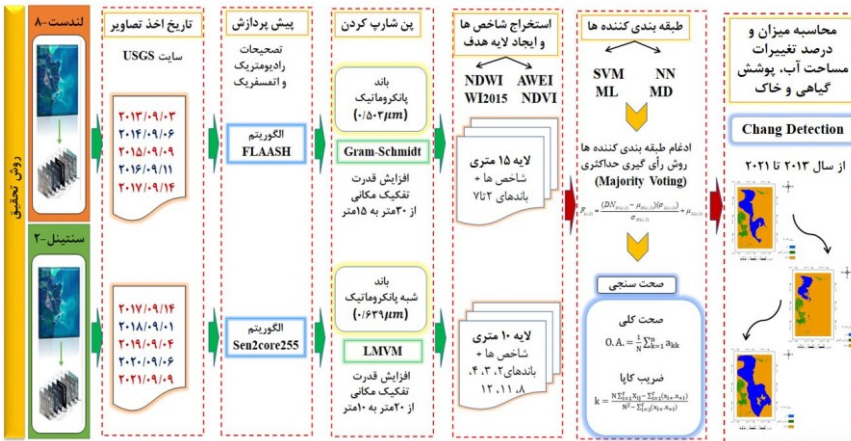
Deleted:

Commented [د۵]: شکل فاقد کیفیت است. نقشه‌ها خوانا بزرگ و با کیفیت (هر نقشه با حداقل اندازه ۱۰×۱۳ سانتی‌متر) با داشتن جهت شمال، اعداد گرید در حاشیه و اعداد مقیاس و راهنمای نقشه خوانا و با کیفیت و با نوشته‌ها فونت فارسی Blotus ارائه گردد.

در ضمن نام دریا در نقشه ایران نیست هر دو استان در نقشه آورده شود نقشه سمت چپ چیست؟ اصلاً گویا معلوم نیست چون اصول کار توگرافی در آن اصلاً اجرا نشده!

روش پیشنهادی

با توجه به شکل ۲ مراحل مختلف رویکرد پیشنهادی جهت استخراج تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. رویکرد کلی تحقیق برای منطقه دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲

Fig 2. The general research approach for Urmia Lake area using Landsat-8 and Sentinel-2 data

نخست تصاویر ماهواره لندست-۸ برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ و تصاویر سنتینل-۲ برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (USGS) به صورت رایگان دانلود شده است. سپس تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک بر روی تصاویر جهت دستیابی به بازتاب واقعی زمین در نرم‌افزار ENVI5.3 انجام می‌شود. سپس مقادیر رادینانس ثبت‌شده توسط سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ به ترتیب با استفاده از الگوریتم‌های FLAASH و Sen2cor255 به مقادیر انعکاس واقعی پدیده‌ها از سطح زمین تبدیل می‌شوند. در ادغام تصاویر ماهواره‌ای بر پایه‌ی پیکسل، جزئیات هندسی تصویر پانکروماتیک با وضوح بالا (PAN) و اطلاعات طیفی از یک تصویر چندطیفی (MS) با قدرت تفکیک مکانی کم با هم تلفیق شده و یک تصویر چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا را ایجاد می‌کنند (۲۴). از همین رو با شیوه پین شارپ کردن به روش‌های Gram-schmidt و LMVM، به ترتیب تصاویر لندست-۸ را از ۳۰ متر به ۱۵ متر و تصاویر سنتینل-۲ را از ۲۰ متر به ۱۰ متر ارتقا می‌دهیم. در نهایت جهت ایجاد تمایز بین آب و غیر-آب به آشکارسازی سطح آب دریاچه ارومیه و سایر عوارض با استخراج چهار شاخص مهم همچون شاخص اختلاف نرمال آب (NDWI)، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص استخراج خودکار آب (AWEI) و شاخص آب (WI2015) بر روی تصاویر ۱۵ متری لندست-۸ و ۱۰ متری سنتینل-۲ می‌پردازیم. شاخص‌های مذکور طبق جدول ۲ معرفی شده‌اند.

جدول ۲. لیست شاخص‌های مورد استفاده

Table 2. List of indicators used

نام شاخص	علامت اختصاری	گردآورنده	سال استفاده	باند‌های مورد استفاده	رابطه‌ها	منبع
شاخص اختلاف نرمال آب	NDWI	McFeeters	۱۹۹۶	۵ و ۳	$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	(۲۱)

(۱۱)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	۵ و ۴	۱۹۶۹	Kriegler	NDVI	شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی
(۶)	$AWEI_nsh = 4 \times (GREEN - SWIR1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2)$	۷ و ۶، ۵، ۳	۲۰۱۴	Feyisa	AWEI_nsh	شاخص استخراج خودکار آب
(۷)	$WI2015 = 1.7204 + 1.71 \times GREEN + 3 \times RED - 70 \times NIR - 45 \times SWIR1 - 71 \times SWIR2$	۷ و ۶، ۵، ۴، ۳	۲۰۱۶	Fisher	WI2015	شاخص آب

روش‌های طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال (Maximum Likelihood Classification)

الگوریتم حداکثر احتمال (ML) از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی اطلاعات در زمره روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است. این الگوریتم بر مبنای احتمالات استوار است و احتمال اینکه یک پیکسل به تمامی کلاس‌ها تعلق داشته باشد محاسبه شده و به کلاس با بیشترین احتمال تعلق می‌گیرد (۱۰). در این روش همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می‌شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی نیز استفاده می‌شود. در نتیجه، هر یک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه احتمال تعلق آن‌ها به گروه‌های طیفی نمونه، به گروه مربوطه تعلق می‌گیرد (۲).

طبقه‌بندی‌کننده شبکه عصبی (Neural Network Classification)

الگوریتم شبکه عصبی (NN)، اولین بار توسط روسن بلات در سال ۱۹۸۵ طراحی شد. این الگوریتم الگویی محاسباتی برای پردازش اطلاعات است که با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی همانند مغز انسان ساخته شده‌اند. این الگوریتم بر اساس مجموعه‌ای از گره‌های متصل به نام نورون تشکیل شده‌اند که این نورون‌ها به عنوان کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات، اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهند (۱۹). هر اتصال همانند سیناپس‌های مغز، می‌تواند سیگنالی را به سایر نورون‌ها منتقل کند. به عنوان مثال با اعمال ورودی p به نورون، از طریق ضرب در وزن w ، وزن‌دار می‌شود و با مقدار بایاس که یک پارامتر قابل تنظیم نورون‌ها است، جمع شده و حاصل آن به تابع انتقال f به عنوان ورودی اعمال شده و خروجی نهایی حاصل می‌گردد. خروجی نورون به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۲۵).

$$a = f(w * p + b) \quad [1]$$

طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine Classification)

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) اولیه در سال ۱۹۶۳ توسط وپنیک ابداع شد. این الگوریتم از جمله روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی نشان داده است (۴). در طبقه‌بندی خطی داده‌ها، خطی که از حاشیه اطمینان بالاتری برخوردار است، انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه SVM، طبقه‌بندی خطی است، می‌توان ضرب اسکالر را برای آن از رابطه $w^T X = \sum_i w_i x_i$ تعریف کرد. این رابطه را بر روی مجموعه داده $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$ که برداری با اجزای x_i (امین نمونه مجموعه داده) و y_i کلاس تعریف شده برای نمونه ورودی x_i باشد، می‌توان تعریف کرد. رابطه ۲ معادله کلی طبقه‌بندی‌کننده‌های خطی را نشان می‌دهد.

$$f(x) = w^T X + b \quad [2]$$

در این رابطه، w نشان‌دهنده بردار وزن و b بایاس است. در این روش هدف این است که w و b طوری انتخاب شوند که بیشترین فاصله بین ابر صفحه‌های موازی که داده‌ها را از هم جدا می‌کنند ایجاد شود (۸).

الگوریتم حداقل فاصله از میانگین (Minimum Distance to Mean)

این روش طبقه‌بندی مبتنی بر فاصله‌ای است که مرکز خوشه‌ها از یکدیگر در فضا دارند. در این الگوریتم فاصله هریک از پیکسل‌ها با مرکز خوشه‌ها محاسبه می‌شود و سپس آن پیکسل به کلاسی اختصاص می‌یابد که از کمترین فاصله تا مرکز آن برخوردار باشد. این نوع طبقه‌بندی‌کننده از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی کاراست ولی مبنای نظری آن به اندازه طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال قوی نیست. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که در این روش طبقه‌بندی وجود دارد آن است که برخی از پیکسل‌هایی که در فاصله بسیار دوری از مرکز خوشه قرار دارند نیز ممکن است به یک کلاس اختصاص پیدا کنند. البته این مشکل را می‌توان با تعریف حد آستانه برای فاصله پیکسل‌ها از مرکز خوشه‌ها جبران نمود. حد آستانه فاصله تا مرکز خوشه با استفاده از یک دایره نشان داده شده است (۹).

روش رأی‌گیری اکثریت (Majority Voting Method)

با ادغام نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده می‌توان نقاط ضعف روش‌های مختلف را حذف کرد و نقاط قوت هر دسته داده را در نقشه تغییرات نهایی مشاهده کرد. در این تحقیق برای ادغام نقشه‌های تغییرات به دست آمده از روش رأی‌گیری اکثریت استفاده شد. رأی‌گیری یک روش ادغام رایج تصمیم‌گیری است که برای ترکیب نتایج خروجی پردازنده‌های مختلف مانند نتایج طبقه‌بندی و یا نتایج نقشه‌های تغییرات طراحی شده است. ایده اصلی این روش این است که نتایج مشخص شده توسط برخی از قوانین خاص رأی‌دهی، نظیر رأی‌گیری اکثریت و قوانین رأی‌گیری وزنی، سازمان‌دهی می‌شود (۵). رابطه ۳ به تشریح الگوریتم به‌کار رفته در این رویکرد می‌پردازد.

$$F_{(c,l)} = \frac{(DN_{H(c,l)} - \mu_{H(c,l)}) (\sigma_{L(c,l)})}{\sigma_{H(c,l)}} + \mu_{L(c,l)} \quad [3]$$

مطابق رابطه ۳، $F_{(c,l)}$ تصویر تلفیق‌شده را در مختصات (c,l) نشان می‌دهد. همچنین $DN_{H(c,l)}$ مقدار تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا را در مختصات (c,l) نشان می‌دهد. $\mu_{H(c,l)}$ بیانگر مقدار متوسط محلی تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا در مرکز مختصات (c,l) است. $\mu_{L(c,l)}$ بیانگر مقدار متوسط محلی تصویر با دقت تفکیک مکانی پایین در مرکز مختصات (c,l) است. $\sigma_{H(c,l)}$ نشان‌دهنده میانگین محلی تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا متمرکز بر مختصات (c,l) است. $\sigma_{L(c,l)}$ مقدار انحراف معیار محلی استاندارد تصویر با دقت تفکیک مکانی پایین، متمرکز بر مختصات (c,l) را نشان می‌دهد (۱۵).

اعتبار سنجی و ارزیابی صحت

جهت ارزیابی دقت نتایج و نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با استفاده از ماتریس خطا (Error Matrix)، پارامترهای صحت کلی (Overall Accuracy) و ضریب کاپا (Kappa Coefficient) محاسبه گردید. صحت کلی از نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده به کل پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده در تمامی طبقات به دست می‌آید که معادله آن طبق به رابطه ۴ محاسبه گردید.

$$O.A. = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n a_{kk} \quad [4]$$

در این رابطه؛ OA نشان‌دهنده صحت کلی و N تعداد کل پیکسل‌های معلوم طبقه‌بندی‌شده و $\sum_{k=1}^n a_{kk}$ مجموع پیکسل‌های قطر اصلی ماتریس خطا (تعداد کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده) است. ضریب کاپا، دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (۲۳). این ضریب با استفاده از درایه‌های ماتریس خطا، طبق رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^I x_{ii} - \sum_{i=1}^I (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^I (x_{i+} x_{+i})} \quad [5]$$

که در آن r مجموع حاصل جمع سطرها یا ستون‌ها در ماتریس ابهام، X_{ij} قطر اصلی ماتریس ابهام، عناصر X_{i+} و X_{+j} به ترتیب مجموع کل سطر i و کل ستون j و N تعداد کل پیکسل‌ها است (۲۲).

نتایج

تصاویر طبقه‌بندی شده و ارزیابی صحت کلی و ضریب کاپا

در رویکرد پیشنهادی از داده‌های رایگان سنجنده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ و از شیوه ادغام داده‌ها به منظور افزایش دقت توان تفکیک مکانی استفاده گردید. علاوه بر آن با افزودن شاخص‌های آب و ترکیب آن‌ها با یکدیگر و قراردادن در یک لایه هدف، دقت در شناسایی و استخراج آب‌های سطحی تا حد بسیار مطلوبی بهبود یافت. با توجه به آغاز فعالیت ماهواره سنتینل-۲ از سال ۲۰۱۵ به بعد و برخورداری از داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، جهت کسب اطمینان بابت استفاده از ماهواره سنتینل-۲ به جای لندست-۸ از سال ۲۰۱۷ به بعد، با محاسبه صحت کلی و ضریب کاپا طبقه‌بندی‌کننده‌های موردنظر و همچنین روش ادغام رأی‌گیری اکثریت برای هر دو سنجنده در سال مشترک ۲۰۱۷، به مقایسه آن‌ها می‌پردازیم. مطابق جدول ۳ مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا برای تصاویر طبقه‌بندی شده ۱۵ متری لندست-۸ و ۱۰ متری سنتینل-۲ برای سال مورد بررسی ۲۰۱۷ را نشان داده شده است.

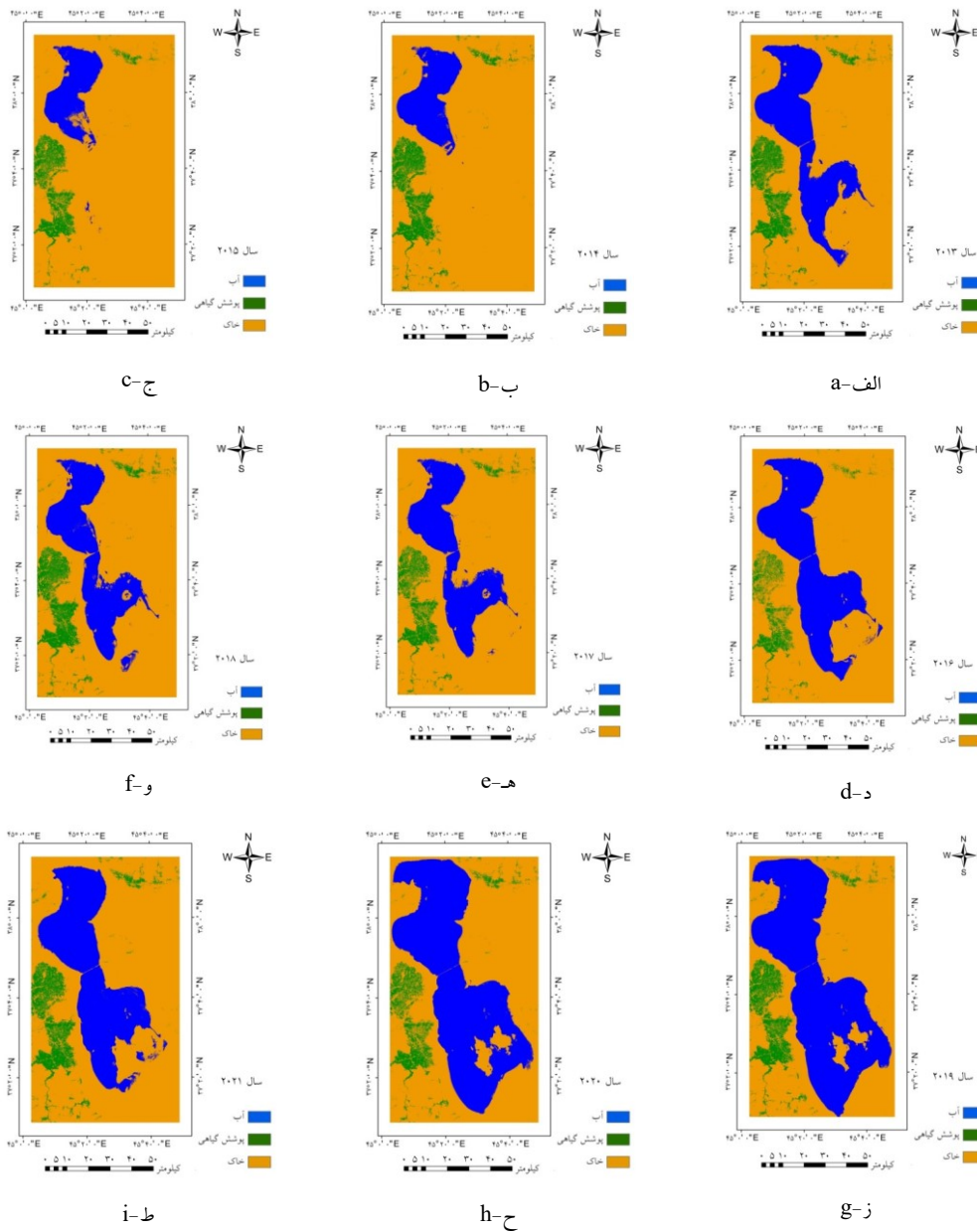
جدول ۳. مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا تصاویر سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ برای سال ۲۰۱۷

Table 3. Overall accuracy values and Kappa coefficient of Landsat-8 and Sentinel-2 sensor images for 2017

نام سنجنده	لندست-۸ (۱۵ متری)	سنتینل-۲ (۱۰ متری)
نام روش	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
حداقل فاصله از میانگین	۷۸/۹۴	۰/۷۶۲
حداکثر احتمال	۸۷/۱۸	۰/۸۹۹
شبکه عصبی	۹۴/۹۱	۰/۸۵۳
ماشین بردار پشتیبان	۹۵/۸۵	۰/۹۴۴
رأی‌گیری حداکثری	۹۶/۹۸	۰/۹۸۹
صحت کلی (درصد)		
ضریب کاپا		
۷۹/۸۵	۰/۷۹۹	
۹۱/۳۶	۰/۸۹۱	
۹۶/۴۰	۰/۹۳۷	
۹۷/۵۸	۰/۹۸۳	
۹۹/۱۵	۰/۹۹۵	

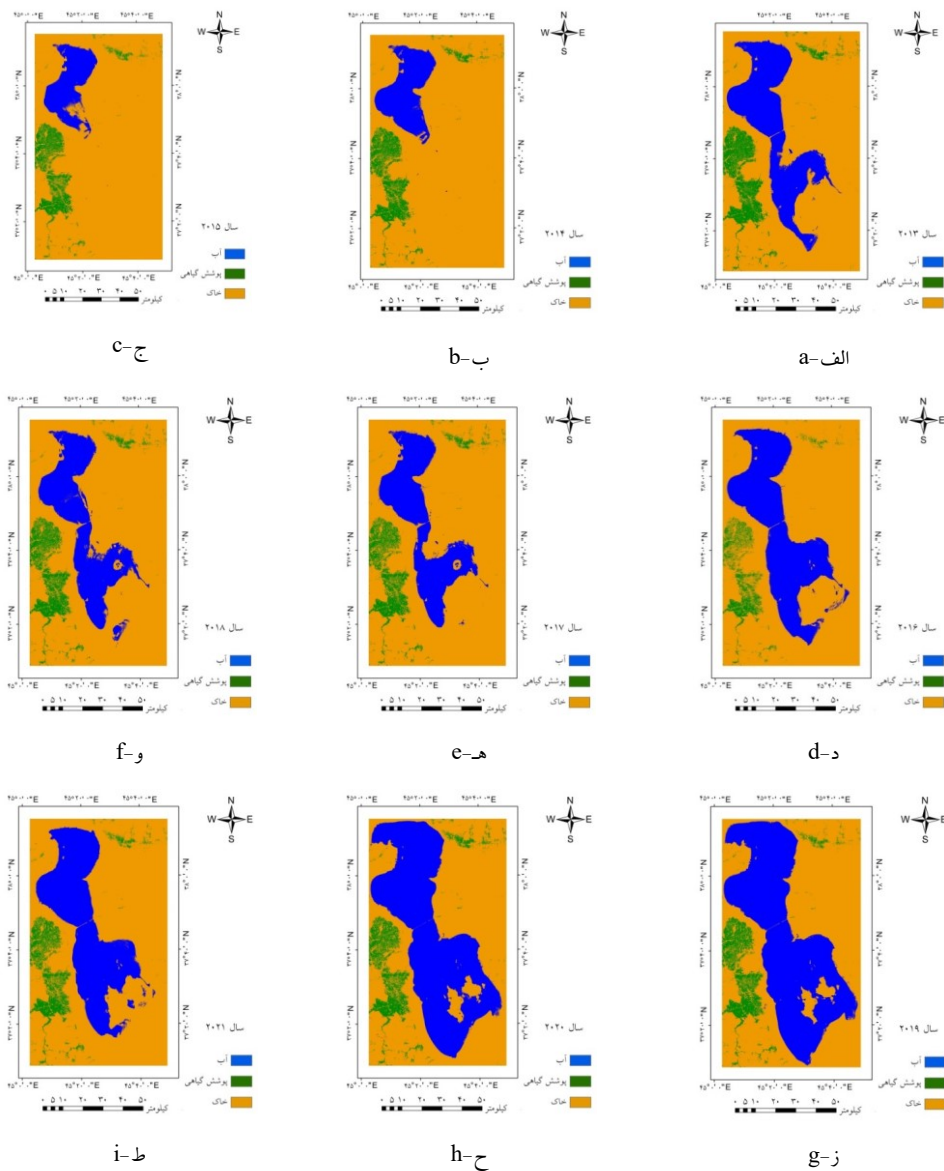
با توجه به جدول ۳ نتیجه می‌شود که با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ می‌توان عوارض سطح زمین را با دقت بالاتری شناسایی کرد و به دنبال آن میزان تغییرات سطحی آب دریاچه نیز با دقت بالاتری محاسبه و برآورد می‌شود. در ادامه شاخص‌های به دست آمده هر دو سنجنده به طور جداگانه، در یک لایه ادغام شده و در نهایت با انجام نمونه‌برداری نمونه‌های آموزشی (Train) و نمونه‌های آزمایشی (Test)، طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم‌های موردنظر انجام شد. نتایج تصاویر طبقه‌بندی شده الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و همچنین نتایج ادغام طبقه‌بندی‌کننده‌ها طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است.

Commented [15]: ۱. عدم ارائه توضیحات کافی درباره روش‌های استفاده شده برای طبقه‌بندی و ارزیابی دقت آن‌ها. مثلاً، نبود توضیحات کافی در مورد الگوریتم‌های استفاده شده برای ارزیابی دقت آن‌ها می‌تواند ابهاماتی را برای خواننده ایجاد کند.
 ۲. عدم ارجاع به منابع و مراجع معتبر جدید برای ادعاها و اطلاعات ارائه شده در مقاله. این امر می‌تواند موجب افزایش اعتبار و قابلیت پایداری مقاله شود.
 ۳. عدم ارائه نقدهای کامل و کارآمد درباره نتایج بدست آمده. برای مثال، علت تغییر در دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از سال به سال و ارتباط این تغییرات با شرایط محیطی و فنی باید به دقت بررسی شود.
 ۴. فقدان توضیحات کافی درباره انتخاب معیارها و شاخص‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری دقت طبقه‌بندی و محاسبه تغییرات سطحی آب دریاچه. این امر می‌تواند باعث کاهش قابلیت تکرار و استفاده از نتایج مقاله در تحقیقات آتی شود.
 ۵. عدم ارائه توضیحات کافی درباره انتخاب منطقه مورد مطالعه و توصیف مختصری از خصوصیات زمینه‌ای و اقلیمی آن. این اطلاعات می‌توانند به درک بهتر موضوع مطالعه کمک کنند.
 به‌طور کلی، برای بهبود مقاله، نیاز است که توضیحات بیشتری درباره روش‌ها، نتایج و نقدهای ارائه شده در مقاله ارائه شود و از منابع و مراجع معتبر جدید برای پشتوانه ادعاها استفاده شود.



شکل ۳. تصاویر طبقه‌بندی شده توسط الگوریتم ماشین بردار پشتیبان طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱. الف) سال ۲۰۱۳؛ ب) سال ۲۰۱۴؛ ج) سال ۲۰۱۵؛ د) سال ۲۰۱۶؛ هـ) سال ۲۰۱۷؛ و) سال ۲۰۱۸؛ ز) سال ۲۰۱۹؛ ح) سال ۲۰۲۰؛ ط) سال ۲۰۲۱

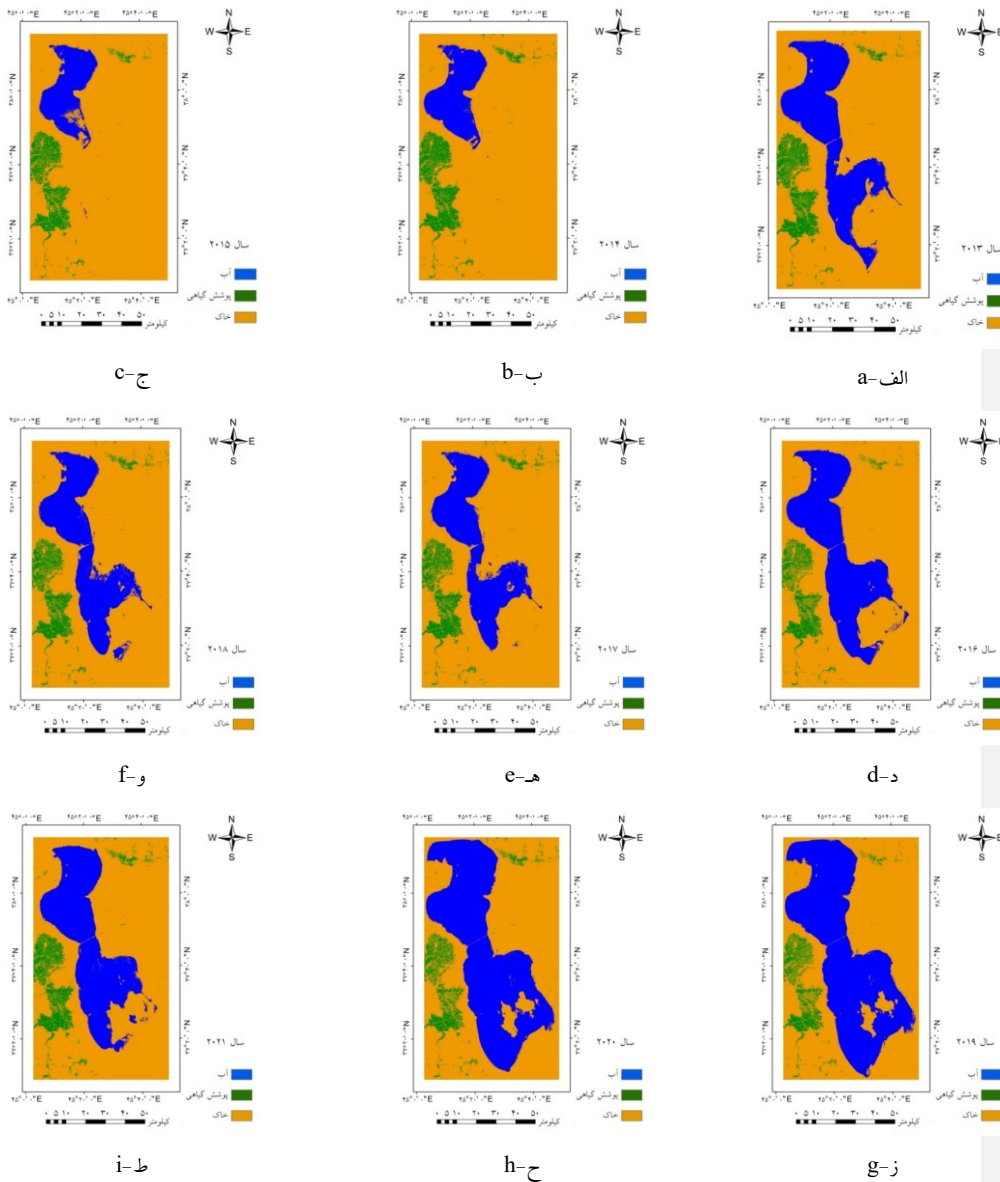
Fig 3. Images classified by Support Vector Machine algorithm during the years 2013 to 2021. a) Year 2013; b) Year 2014; c) Year 2015; d) Year 2016; e) Year 2017; f) Year 2018; g) Year 2019; h) Year 2020; i) Year 2021



شکل ۴. تصاویر طبقه‌بندی شده توسط الگوریتم شبکه عصبی طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱. الف) سال ۲۰۱۳؛ ب) سال ۲۰۱۴؛ ج) سال ۲۰۱۵؛

د) سال ۲۰۱۶؛ هـ) سال ۲۰۱۷؛ و) سال ۲۰۱۸؛ ز) سال ۲۰۱۹؛ ح) سال ۲۰۲۰؛ ط) سال ۲۰۲۱

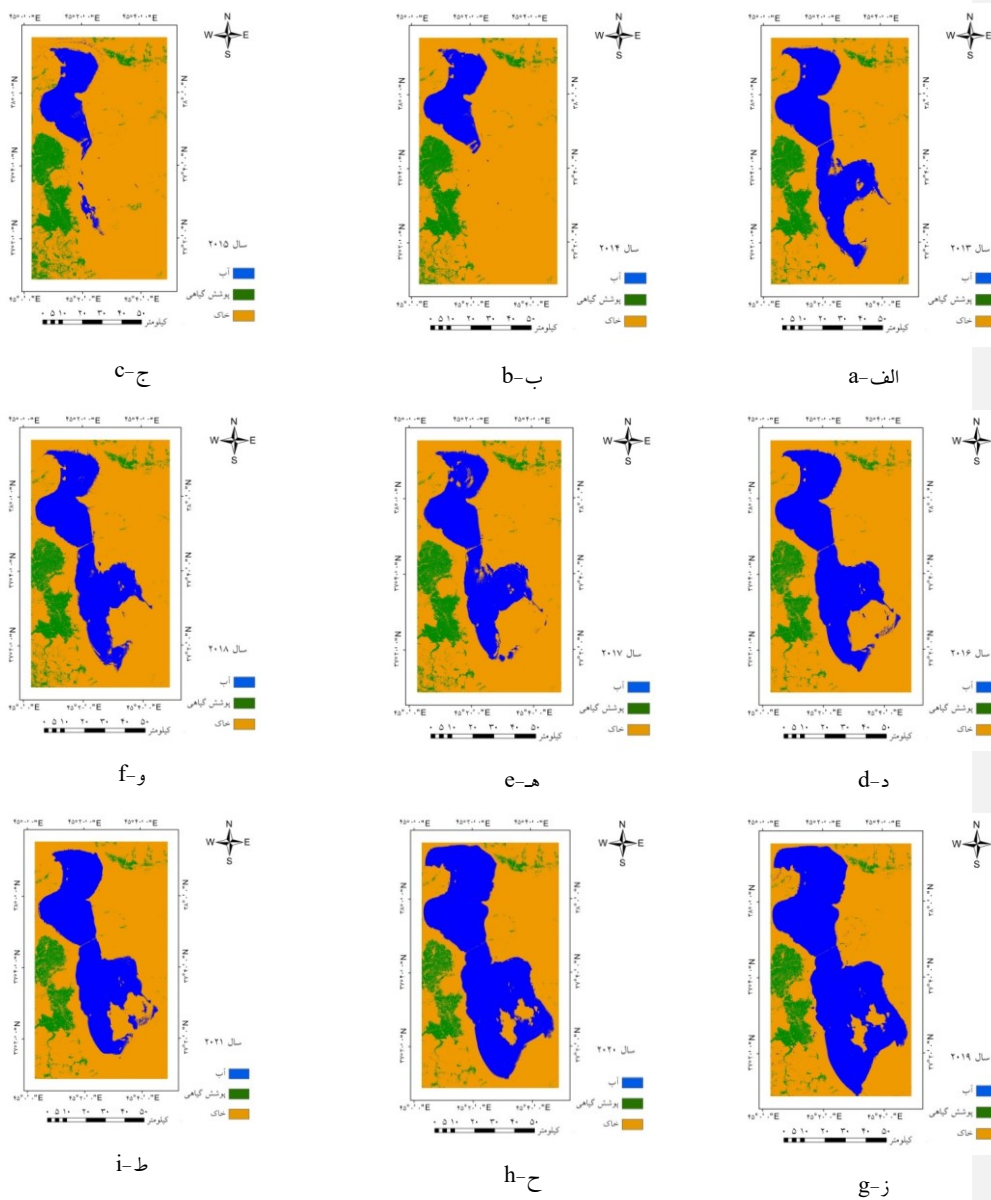
Fig 4. Images classified by Neural Network algorithm during the years 2013 to 2021. a) Year 2013; b) Year 2014; c) Year 2015; d) Year 2016; e) Year 2017; f) Year 2018; g) Year 2019; h) Year 2020; i) Year 2021



شکل ۵. تصاویر طبقه‌بندی شده توسط الگوریتم حداکثر احتمال طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱. الف) سال ۲۰۱۳؛ ب) سال ۲۰۱۴؛ ج) سال

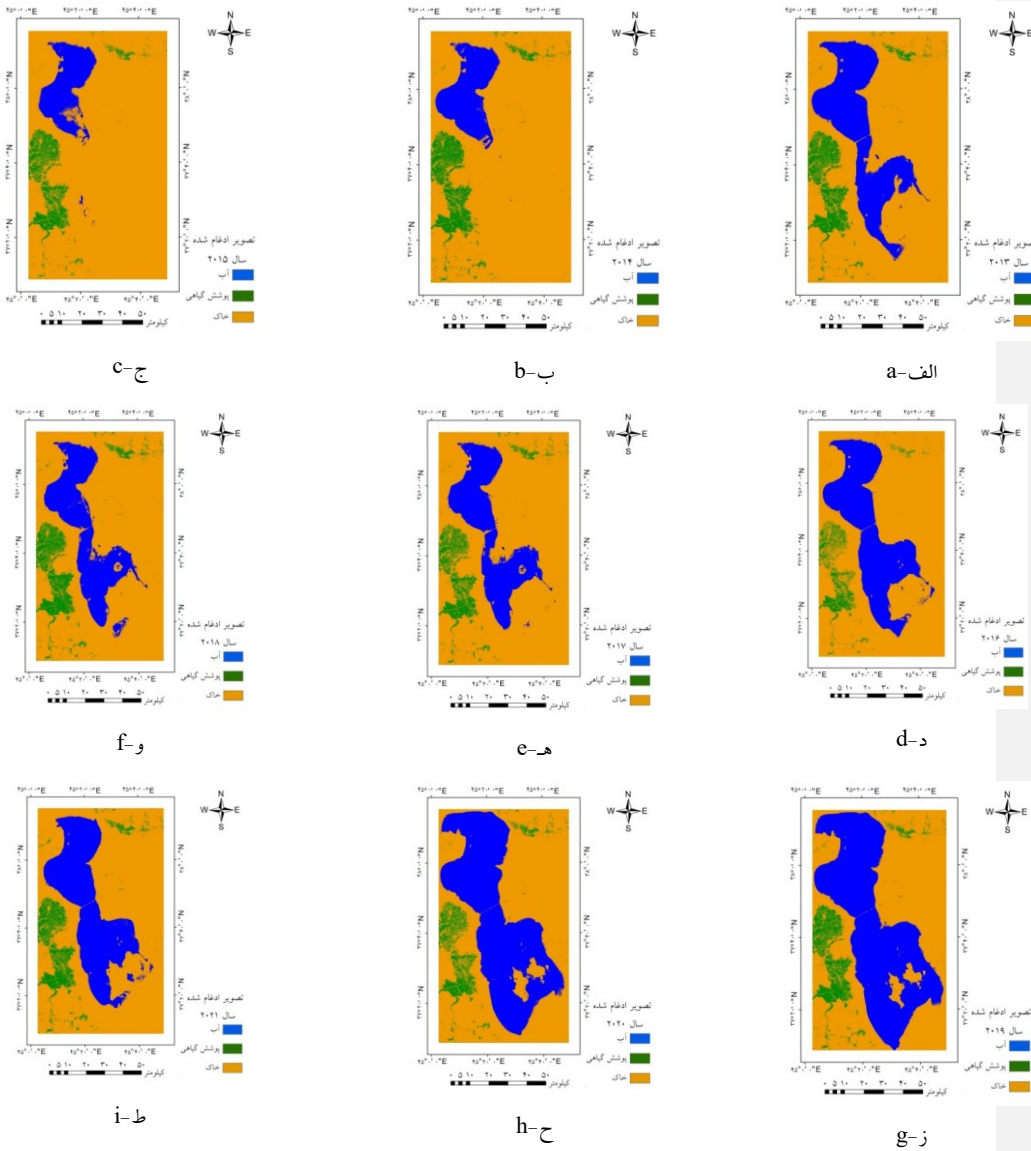
۲۰۱۵؛ د) سال ۲۰۱۶؛ ه) سال ۲۰۱۷؛ و) سال ۲۰۱۸؛ ز) سال ۲۰۱۹؛ ح) سال ۲۰۲۰؛ ط) سال ۲۰۲۱

Fig 5. Images classified by Maximum Likelihood algorithm during the years 2013 to 2021. a) Year 2013; b) Year 2014; c) Year 2015; d) Year 2016; e) Year 2017; f) Year 2018; g) Year 2019; h) Year 2020; i) Year 2021



شکل ۶. تصاویر طبقه‌بندی‌شده توسط الگوریتم حداقل فاصله از میانگین طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ (الف سال ۲۰۱۳؛ ب سال ۲۰۱۴؛ ج سال ۲۰۱۵؛ د سال ۲۰۱۶؛ ه سال ۲۰۱۷؛ و سال ۲۰۱۸؛ ز سال ۲۰۱۹؛ ح سال ۲۰۲۰؛ ط سال ۲۰۲۱)

Fig 6. Images classified by Minimum Distance to Mean algorithm during the years 2013 to 2021. a) Year 2013; b) Year 2014; c) Year 2015; d) Year 2016; e) Year 2017; f) Year 2018; g) Year 2019; h) Year 2020; i) Year 2021



شکل ۷. ادغام نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها به روش رأی‌گیری اکثریت. الف) سال ۲۰۱۳؛ ب) سال ۲۰۱۴؛ ج) سال ۲۰۱۵؛ د) سال ۲۰۱۶؛ هـ)

سال ۲۰۱۷؛ و) سال ۲۰۱۸؛ ز) سال ۲۰۱۹؛ ح) سال ۲۰۲۰؛ ط) سال ۲۰۲۱

Fig 7. Fusioning the results of classifiers by Majority Voting method. a) Year 2013; b) Year 2014; c) Year 2015; d) Year 2016; e) Year 2017; f) Year 2018; g) Year 2019; h) Year 2020; i) Year 2021

با توجه به جدول ۴ و ۵ به ترتیب نتایج مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا و میزان تغییرات مساحت برآورد شده تحت پوشش کلاس‌ها و درصد تغییرات آن برای روش‌های طبقه‌بندی‌کننده مورد استفاده نشان داده شده است.

جدول ۴. مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا برای سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱

Table 4. Total accuracy values and Kappa coefficient for 2013 to 2021

ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	نام روش	سال مورد مطالعه
۰/۷۶۲	۷۸/۶۵	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۵۳	۸۸/۱۲	حداکثر احتمال	
۰/۸۹۹	۹۲/۱۷	شبکه عصبی	۲۰۱۳
۰/۹۴۴	۹۶/۶۱	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۸۲	۹۷/۵۹	رای گیری اکثریت	
۰/۷۸۳	۷۷/۳۱	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۶۲	۸۹/۵۷	حداکثر احتمال	
۰/۹۲۷	۹۳/۰۳	شبکه عصبی	۲۰۱۴
۰/۹۸۵	۹۸/۶۳	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۹۷	۹۹/۲۵	رای گیری اکثریت	
۰/۷۰۵	۷۶/۵۹	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۲۷	۸۲/۶۵	حداکثر احتمال	
۰/۹۱۲	۹۱/۴۶	شبکه عصبی	۲۰۱۵
۰/۹۳۱	۹۵/۸۸	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۷۲	۹۷/۱۰	رای گیری اکثریت	
۰/۷۹۸	۷۸/۳۹	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۹۰	۸۸/۲۸	حداکثر احتمال	
۰/۹۲۹	۹۴/۶۸	شبکه عصبی	۲۰۱۶
۰/۹۶۱	۹۷/۰۷	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۸۷	۹۸/۹۴	رای گیری اکثریت	
۰/۷۷۴	۷۸/۹۴	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۶۹	۸۷/۱۸	حداکثر احتمال	۲۰۱۷
۰/۹۲۶	۹۴/۹۱	شبکه عصبی	
۰/۹۷۵	۹۵/۸۵	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۸۹	۹۶/۹۸	رای گیری اکثریت	
۰/۸۹۹	۷۹/۵۷	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۹۱	۹۲/۳۱	حداکثر احتمال	
۰/۹۳۴	۹۳/۶۶	شبکه عصبی	۲۰۱۸
۰/۹۸۳	۹۸/۳۱	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۵۶	۹۹/۳۰	رای گیری اکثریت	
۰/۸۲۰	۷۸/۲۳	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۹۰۳	۹۲/۷۵	حداکثر احتمال	
۰/۹۴۵	۹۴/۵۲	شبکه عصبی	۲۰۱۹
۰/۹۹۱	۹۹/۰۵	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۸۸	۹۹/۲۵	رای گیری اکثریت	

۰/۷۴۱	۷۷/۵۲	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۸۶۵	۸۹/۸۱	حداکثر احتمال	
۰/۹۵۰	۹۲/۹۵	شبکه عصبی	۲۰۲۰
۰/۹۸۴	۹۸/۲۵	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۷۲	۹۹/۳۴	رای گیری اکثریت	
۰/۸۲۵	۷۹/۳۰	حداقل فاصله از میانگین	
۰/۹۲۸	۹۱/۴۳	حداکثر احتمال	
۰/۹۶۷	۹۶/۱۸	شبکه عصبی	۲۰۲۱
۰/۹۸۹	۹۹/۱۴	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۹۹۱	۹۸/۹۹	رای گیری اکثریت	

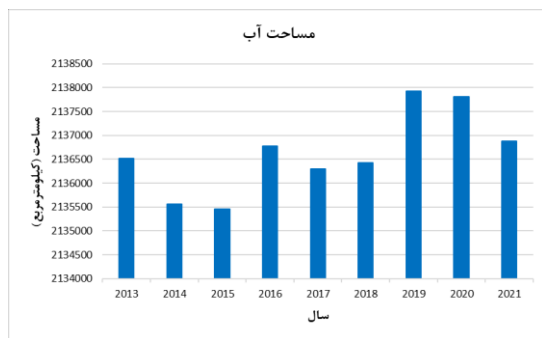
جدول ۵. میزان تغییرات مساحت و درصد تغییر کلاس‌ها

Table 5. The amount of area changes and the percentage of class changes

درصد تغییر	مساحت (کیلومتر مربع)	کلاس‌ها	سال‌های متوالی
-۵۲/۶۹۱	-۹۵۵/۷۵۰	آب	
۱۰/۰۵۵	۴۹/۴۰۰	پوشش گیاهی	۲۰۱۳-۲۰۱۴
۱۴/۸۳۰	۹۰۶/۳۵۰	خاک	
-۱۳/۰۹۱	-۱۰۹/۱۷۲	آب	
-۱۳/۴۲۳	-۷۸/۵۳۵	پوشش گیاهی	۲۰۱۴-۲۰۱۵
۲/۶۶۵	۱۸۷/۷۱	خاک	
۱۷۸/۴۰۹	۱۳۲۴/۳۴	آب	
-۲۴/۵۶	-۱۲۳/۹۱۵	پوشش گیاهی	۲۰۱۵-۲۰۱۶
-۱۶/۴۶۷	-۱۱۸۰/۴۲۰	خاک	
-۲۳/۰۹۴	-۴۷۹/۹۱۲	آب	
۳۳/۴۹۸	۱۲۷/۲۰۲	پوشش گیاهی	۲۰۱۶-۲۰۱۷
۴/۳۹۱	۳۵۲/۷۱۰	خاک	
۴/۵۹۴	۱۲۹/۱۵۰	آب	
-۶/۳۹۶	-۳۰/۵۹۰	پوشش گیاهی	۲۰۱۷-۲۰۱۸
-۱/۵۸۰	-۹۸/۵۵۷	خاک	
۹۰/۳۸۱	۱۴۹۲/۹۱۸	آب	
-۱۱/۸۵۳	-۶۹/۷۰۵	پوشش گیاهی	۲۰۱۸-۲۰۱۹
-۲۲/۸۰۶	-۱۴۲۳/۲۱۲	خاک	
-۳/۳۱۰	-۱۰۵/۰۲۷	آب	
-۸/۲۲۳	-۴۰/۷۷۲	پوشش گیاهی	۲۰۱۹-۲۰۲۰
۲/۷۶۲	۱۴۵/۸۰۰	خاک	
-۲۹/۳۹۸	-۹۳۱/۴۴۵	آب	
۱۶/۰۸۳	۶۸/۹۹۵	پوشش گیاهی	۲۰۲۰-۲۰۲۱
۱۷/۵۰۸	۸۶۲/۴۵	خاک	

همچنین با نقطه‌یابی بر روی تصاویر ادغام‌شده و تخمین مساحت در نرم‌افزار ENVI 5.3، نمودار مقدار مساحت کلاس‌های آب،

پوشش گیاهی و خاک به ترتیب در شکل‌های ۱۰، ۹ و ۱۱ از سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ نشان داده شده است.



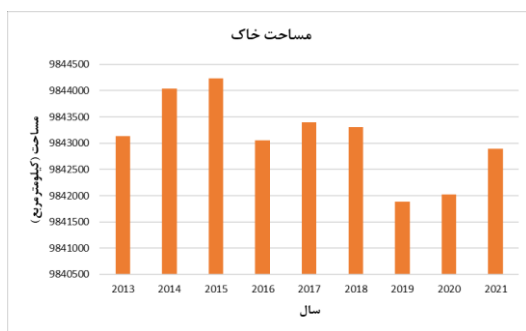
شکل ۸. مقدار مساحت آب برای منطقه دریاچه ارومیه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱

Fig 8. The amount of water area for Urmia Lake in the years 2013 to 2021



شکل ۹. مقدار مساحت پوشش گیاهی برای منطقه دریاچه ارومیه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱

Fig 9. The amount of vegetation area for Urmia Lake in the years 2013 to 2021



شکل ۱۰. مقدار مساحت خاک برای منطقه دریاچه ارومیه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱

Fig 10. The amount of soil area for Urmia Lake in the years 2013 to 2021

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، سطح آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ با پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ و با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده‌های نظارت‌شده و روش ادغام داده‌ها مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. با توجه به تنوع و پیچیدگی محیط، شیوه ادغام طبقه‌بندی‌کننده‌ها به روش رأی‌گیری اکثریت توانسته است نسبت به چهار روش دیگر، ضرایب صحت کلی و کاپای بالاتری داشته باشد و در مقابل نیز روش حداقل فاصله از میانگین کمترین میزان دقت را در طبقه‌بندی داده‌ها داشته است. این دریاچه در دهه اخیر شاهد تغییرات سطحی زیادی بوده است. نتایج حاکی از آن است که روند نزولی سطح آب دریاچه بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، کارشناسان و دوستداران محیط‌زیست را نگران کرده بود که با هشدار کارشناسان در رابطه با وضعیت نامطلوب آب دریاچه روبه‌رو شد. از سال ۲۰۱۵ خوشبختانه سطح آب دریاچه ارومیه رشد چشم‌گیری داشته است و مساحت دریاچه با توجه به بارش سالیانه و تمهیدات اندیشیده شده رو به رشد بوده که این مقدار در سال ۲۰۱۹ به اوج خود رسید. در حالی که از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ با روند نزولی دوباره، مشاهده می‌شود که تغییرات سطحی آب، پوشش گیاهی و خاک نیز در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۲۰ به ترتیب به میزان ۲۹/۸۹ درصد کاهش، ۱۶/۰۸ درصد افزایش و ۱۷/۵۰ درصد افزایش داشته است. نتایج این تحقیق برای برنامه ریزان و کارشناسان می‌تواند جهت کسب اطلاعات از وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک و همچنین ارتباط آن‌ها با یکدیگر، راه‌گشای تصمیم‌های مدیریتی برای حفظ بیشتر از منابع طبیعی کشورمان باشد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi A, Tatian M, Tamrtash R, Yeganeh H, Asri Y. 2016. Investigating vegetation of saline lands around Urmia Lake using satellite images. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 7 (1), 1-12. (In Persian).
- Ahmadpour A, Solaimani K, Shokri M, Ghorbani J. 2014. Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 5 (3), 77-89. (In Persian).
- Alderman K, Turner L, Tong S. 2012. Floods and human health: a systematic review. *Environment international*, 47, 37-47. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.003.
- C. Yves, D. B. Stanislas, B. Marc, M. Fabrice, and L. Gauthier, "RS Data Fusion by Local Mean and Variance Matching Algorithms : their Respective Efficiency in a Complex Urban Context," no. V, pp. 105-109, 2001.
- Du, P., Liu, S., Xia, J., & Zhao, Y. 2013. Information fusion techniques for change detection from multi-temporal remote sensing images. *Information Fusion*, 14(1), 19-27. doi:https://doi.org/10.1016/j.inffus.2012.05.003
- Feyisa G, Meilby H, Fensholt R, Proud S. 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029.
- Fisher A, Flood N, Danaher T. 2016. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 175, 167182. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.055.
- Foody G, Arora M. 1996. Incorporating mixed pixels in the training, allocation and testing stages of supervised classifications. *Pattern Recognition Letters*, 17(13), 1389-1398. doi: https://doi.org/10.1016/S0167-8655(96)00095-5.
- Ghasemi A, Fallah A, Shataee Joibari Sh. 2016. Evaluation of four algorithms for estimation of canopy cover of mangrove forests by using aerial imagery. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 7 (2), 1-16. (In Persian).
- Giardino C, Bresciani M, Villa P, Martinelli A. 2010. Application of remote sensing in water resource management: the case study of Lake Trasimeno, Italy. *Water resources management*, 24(14), 3885-3899. doi: 10.1007/s11269-010-9639-3.
- Gillespie, T. W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K. S., Okin, G. S., & MacDonald, G. M. (2018). Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485-494. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.031.

[Vd] Commented: ۱. عدم توضیحات کافی. باید به طور دقیق‌تر توضیح داده شود که چگونه داده‌های ماهواره‌ای با هم مقایسه شده‌اند و چگونه تفاوت طبقه‌بندی‌ها از لحاظ آماری بررسی شدند سطح معناداری؟

۲. عدم توجه به اهمیت و تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه. برای مثال، تأثیر این تغییرات بر کشاورزی، توریسم و اکوسیستم‌های محلی باید مورد بررسی و بحث قرار گیرد.

۳. عدم اشاره به محدودیت‌ها و احتمالات در نتایج مطالعه. باید به دقت به نواحی که داده‌های ماهواره‌ای در آن‌ها قابلیت استفاده ندارند یا دقت آنها پایین است، اشاره شود.

۴. بیان نقاط قوت و ضعف روش‌ها و رویکردهای استفاده شده برای انجام تحلیل. این امر می‌تواند به خواننده کمک کند تا از قابلیت و محدودیت‌های مطالعه آگاه شود.

۵. عدم اشاره به پیشنهادات برای تحقیقات آینده و اقدامات مدیریتی برای حفظ و مدیریت بهینه منابع آبی دریاچه ارومیه. این امر می‌تواند به ارتقاء ارزش کاربردی مقاله و ارتقاء سطح دانش در زمینه مدیریت منابع آبی کمک کند.

با توجه به این نکات، پیشنهاد می‌شود که بحث و نتیجه‌گیری مقاله بهبود یافته و توجه بیشتری به جزئیات فنی و علمی مطرح شده در بالا داشته باشد.

- Harati, H., Kiadaliri, M., Tavana, A. et al. Urmia Lake dust storms occurrences: investigating the relationships with changes in water zone and land cover in the eastern part using remote sensing and GIS. *Environ Monit Assess* 193, 70 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08851-3>. (In Persian).
- Hester, D. B. 2008. Land cover mapping and change detection in urban watersheds using Quickbird high spatial resolution satellite imagery. PhD. dissertation, North Carolina State University, Carolina.
- Huang C, Chen Y, Zhang S, Wu J. 2018. Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333-360. doi:<https://doi.org/10.1029/2018RG000598>.
- Jalil Helali, Shahab Asaadi, Teimour Jafarie, Maral Habibi, Saadoun Salimi, Seyed Erfan Momenpour, Salah Shahmoradi, Seyed Asaad Hosseini, Behzad Hessari, Vahideh Saeidi; Drought monitoring and its effects on vegetation and water extent changes using remote sensing data in Urmia Lake watershed, Iran. *Journal of Water and Climate Change* 1 May 2022; 13 (5): 2107–2128. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.460>.
- Jawak S, Kulkarni K, Luis A. 2015. A review on extraction of lakes from remotely sensed optical satellite data with a special focus on cryospheric lakes. *Advances in Remote Sensing*, 4(03), 196. doi:<https://doi.org/10.4236/ars.2015.43016>.
- Johnson B, Tateishi R, Kobayashi T. 2012. Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9), 2619-2634. doi:<https://doi.org/10.3390/rs4092619>.
- Jumaah, H. J., Ameen, M. H., Mohamed, G. H., & Ajaj, Q. M. (2022). Monitoring and evaluation Al-Razzaza lake changes in Iraq using GIS and remote sensing technology. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(1), 313-321.
- Karbassi A, Bidhendi G, Pejman A, Bidhendi E. 2010. Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. *Journal of Great Lakes Research*, 36(3), 419-424. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.06.004>.
- Keshta, A.E.; Riter, J.C.A.; Shaltout, K.H.; Baldwin, A.H.; Kearney, M.; Sharaf El-Din, A.; Eid, E.M. Loss of Coastal Wetlands in Lake Burullus, Egypt: A GIS and Remote-Sensing Study. *Sustainability* 2022, 14, 4980. <https://doi.org/10.3390/su14094980>.
- McFeeters S. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432. doi:<https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Morss R, Wilhelmi O, Downton M, Grunfest E. 2005. Flood risk, uncertainty, and scientific information for decision making: lessons from an interdisciplinary project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(11), 1593-1602. doi:<https://doi.org/10.1175/BAMS-86-11-1593>.
- Saghafi M, Ahmadi A, Bigdeli B. 2021. Sentinel-1 and Sentinel-2 data fusion system for surface water extraction. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15(1), 014521. doi:<https://doi.org/10.1117/1.JRS.15.014521>.
- Smits P, Dellepiane S, Schowengerdt R. 1999. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International journal of remote sensing*, 20(8), 1461-1486. doi:<https://doi.org/10.1080/014311699212560>.
- Srivastava S, Gupta R. 2003. Monitoring of changes in land use/land cover using multi-sensor satellite data. In *Map India Conference*.

Investigating the surface changes of Urmia Lake using the integration of Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data

A. Ghayebi^{1*}, A. Ahmadi², B. Bigdeli³

1. MSc. Student of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, University of Technology of Shahrood, Iran

2. Associate Professor, Department of Water and Environment, Faculty of Civil Engineering, University of Technology of Shahrood, Iran

3. Assistant Professor, Department of Geotechnic, Road and Surveying, Faculty of Civil Engineering, University of Technology of Shahrood, Iran

Abstract

Among environmental changes, water plays a very vital role in the political, social and economic issues of countries, which can be used as one of the most practical sources of water supply available to humans and animals. Investigating the fluctuations of the water level of the lakes in terms of the importance, location and nature of these water bodies has become especially important in recent years. Lake Urmia with an area of 51200 square kilometers is of special importance as the largest internal lake of Iran and the 20th lake in the world. Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data for the years 2013 to 2021 were used to investigate and evaluate changes in the water level of Lake Urmia, vegetation and soil around it. First, radiometric and atmospheric corrections were made on the images, and then, while using Gram Schmidt and LMVM integrators to increase spatial resolution, NDWI, AWEI, WI2015 and NDVI indices were extracted in order to differentiate the lake water level from non-water. Finally, by combining the indicators with each other and by sampling the training and test samples, in order to classify the images, supervised classifiers such as Maximum Likelihood, Support Vector Machine, Neural Network and Minimum Distance to Mean were used. Also, in order to improve the results, the output of the classifiers was merged using the majority voting method. The results of the research showed that the majority voting method was chosen as the most suitable classification method with the highest level of accuracy. The water level of Lake Urmia, the vegetation and soil around it have also undergone significant changes during the years 2013 to 2021, so that in 2021, compared to 2020, the water level decreased by 29.89%, and the vegetation increased by 16.08%. And the soil has increased by 17.50%.

Keywords: Surface Water, Urmia Lake, Remote Sensing, Supervised Classification, Data Fusion, Change Detection

بررسی تغییرات سطحی آب دریاچه ارومیه با استفاده از ادغام داده‌های ماهواره

لندست-۸ و سنتینل-۲

چکیده مبسوط

طرح مسئله: در دهه‌های اخیر به دنبال رشد بی‌رویه جمعیت دنیا، استفاده بشر از منابع طبیعی بر مبنای قابلیت و استعداد آنها نبوده است بلکه بر اساس نیازهای آبی و فناوری عصر خود پایه‌ریزی شده است. به عنوان یکی از مهم‌ترین تغییرات زیست‌محیطی در چند دهه‌ی اخیر می‌توان به تغییر آب‌های سطحی و اهمیت آن بر جامعه بشری و اکوسیستم اشاره کرد. بررسی نوسانات سطح آب دریاچه‌ها به لحاظ اهمیت، موقعیت و ماهیت این مجموعه‌های آبی در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. دریاچه ارومیه (Urmia Lake) با وسعت ۵۱۲۰۰ کیلومتر مربع از دیدگاه‌های مختلف به خصوص زیست‌محیطی حائز اهمیت است.

هدف: هدف از این تحقیق، استفاده از داده‌های ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ از منطقه دریاچه ارومیه برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ و استفاده از روش‌های طبقه‌بندی کننده نظارت‌شده همچون حداکثر احتمال، شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و حداقل فاصله از میانگین جهت طبقه‌بندی تصاویر و همچنین ادغام تصاویر طبقه‌بندی شده به روش رأی‌گیری اکثریت جهت بهبود نتایج طبقه‌بندی‌کننده‌ها است. در نهایت با مقایسه ضرایب صحت کلی و کاپای طبقه‌بندی‌کننده‌ها، مناسب‌ترین روش طبقه‌بندی انتخاب شد و بررسی تغییرات سطح آب دریاچه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن در سال‌های مورد مطالعه انجام گردید.

روش تحقیق: داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر رایگان سنجنده OLI لندست-۸ و سنجنده MSI سنتینل-۲ به منظور استخراج نقشه پهنه آبی دریاچه ارومیه برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله اول تصاویر ماهواره

لندست-۸ برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ و تصاویر ماهواره سنتینل-۲ برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (USGS) دانلود شد. سپس تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک تصاویر جهت دستیابی به بازتاب واقعی زمین در نرم‌افزار پیشرفته ENVI 5.3 انجام گردید و در نهایت مقادیر رادیانس ثبت‌شده سنجنده لندست-۸ و سنتینل-۲ به ترتیب با استفاده از الگوریتم‌های FLAASH و Sen2core255 به مقادیر انعکاس واقعی پدیده‌ها از سطح زمین تبدیل شد. در مرحله دوم با استفاده از باند پانکروماتیک و شبه پانکروماتیک و با شیوه پن شارپ‌کردن Gram Schmidt و LMVM به ترتیب تصاویر لندست-۸ از ۳۰ متر به ۱۵ متر و تصاویر سنتینل-۲ از ۲۰ متر به ۱۰ متر ارتقا داده شد. سپس جهت آشکارسازی و ارزیابی تغییرات زمایی-مکانی سطح آب از غیر-آب، چهار شاخص مهم، شامل شاخص اختلاف نرمال آب (NDWI)، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص خودکار استخراج آب (AWEL_nsh) و شاخص آب (WI₂₀₁₅) مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله سوم با انجام نمونه‌برداری نمونه‌های آموزشی و آزمایشی، از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده همچون حداکثر احتمال، ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی و حداقل فاصله از میانگین استفاده شد. در طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال، هر یک از پیکسل‌های تصویر بر مبنای احتمالات پس از آزمون آساری و محاسبه احتمال تعلق آن‌ها به گروه‌های طبقه‌بندی، به گروه مربوطه تعلق می‌گیرد. همچنین طبقه‌بندی‌کننده شبکه عصبی نیز الگویی محاسباتی برای پردازش اطلاعات است که با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی همانند مغز انسان ساخته شده است. این الگوریتم بر اساس مجموعه‌ای از گره‌های متصل به نام نورون به عنوان کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات و لایه‌ها تشکیل شده‌اند. هر لایه از تعدادی گره تشکیل شده و به وسیله چند ورودی، فرآیند الگوریتم آغاز شده و به یک خروجی منتهی می‌شود. در طبقه‌بندی‌کننده ماشین‌بردار پشتیبان، با دسته‌بندی و حل معادلات خطی، خطی که از حاشیه اطمینان بالاتری برخوردار است، انتخاب می‌شود. در طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین نیز فاصله هر یک از پیکسل‌ها با مرکز خوشه‌های کلاس‌ها محاسبه می‌شود و سپس پیکسل انتخابی به کلاسی اختصاص می‌یابد که از کمترین فاصله تا مرکز خوشه‌ها برخوردار باشد. در مرحله چهارم نیز جهت بهبود نتایج، ادغام نتایج طبقه‌بندی حاصل از این چهار روش به روش رأی‌گیری اکثریت انجام شد. به عبارتی دیگر با تلفیق نتایج طبقه‌بندی‌کننده‌ها، نقاط ضعف روش‌های مختلف حذف شده و نقاط قوت هر دسته داده در نقشه تغییرات نهایی نیز مشاهده شد.

نتایج و بحث: با به‌کارگیری فناوری سنجنش‌ازدور، چگونگی و درصد تغییرات آب سطحی دریاچه ارومیه، خاک و پوشش گیاهی اطراف آن مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن با استفاده از داده‌های رایگان ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ انجام گرفت. با توجه به شرایط و تنوع محیط، شیوه ادغام طبقه‌بندی‌کننده‌ها به روش رأی‌گیری اکثریت توانسته است نسبت به سه روش دیگر، ضرایب صحت کلی و کاپای بالاتری داشته باشد. در مقابل روش حداکثر احتمال نیز کمترین میزان دقت را در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای داشت. همچنین این دریاچه در دهه اخیر شاهد تغییرات سطحی زیادی بوده است. این دریاچه بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ روند کاهشی و بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ روند افزایشی داشته است و در نهایت بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ دوباره با روند کاهشی روبه‌رو شده است. برای سال ۲۰۲۱ میزان تغییرات سطح آب دریاچه و پوشش گیاهی و خاک اطراف آن به ترتیب ۲۹/۸۹ درصد کاهش، ۱۶/۰۸ درصد افزایش و ۱۷/۵۰ درصد افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با توجه به تنوع و پیچیدگی محیط، شیوه ادغام طبقه‌بندی‌کننده‌ها به روش رأی‌گیری اکثریت توانسته است نسبت به چهار روش دیگر، مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای بالاتری داشته باشد و در مقابل روش حداقل فاصله از میانگین نیز کمترین میزان دقت را در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای داشت. با وجود روند نزولی سطح آب دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، خوشبختانه سطح آب دریاچه از سال ۲۰۱۵ به بعد روند افزایشی داشته است و مساحت دریاچه ارومیه با توجه به داده‌های آماری میزان بارندگی، دما و تبخیر سالیانه و همچنین تمهیدات اندیشیده شده از سوی مسئولین رو به رشد بوده که این مقدار در سال ۲۰۱۹ به اوج خود رسیده است. در حالی که از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ با روند نزولی دوباره، مشاهده شد که میزان سطح آب ۲۹/۸۹ درصد (۹۳۱/۴۴ کیلومتر مربع) کاهش، سطح خاک ۱۷/۵۰ درصد (۸۶۲/۴۵ کیلومتر مربع) افزایش و سطح پوشش گیاهی ۱۶/۰۸ درصد (۶۸/۹۸ کیلومتر مربع) کاهش داشته است. نتایج این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزان و کارشناسان محیط‌زیست در تصمیمات مدیریتی کمک کند تا با آگاهی از تغییرات وضعیت سطح آب دریاچه، پوشش گیاهی و خاک اطراف آن به جلوگیری از خشک شدن دریاچه ارومیه و حفظ هر چه

بیشتر از دریاچه به عنوان یک منبع آبی ملی و بین‌المللی بردارند. در صورت بی‌توجهی سیاست‌گذاران و سازمان‌های دولتی به پیامدهای هشداردهنده زیست‌محیطی، با خطراتی از جمله خشک شدن کامل دریاچه و بروز اثرات نامطلوب و جبران ناپذیری در منطقه دریاچه ارومیه روبه‌رو خواهیم شد.

واژگان کلیدی: آب‌های سطحی، دریاچه ارومیه، سنجش‌ازدور، طبقه‌بندی نظارت‌شده، ادغام داده، شناسایی تغییرات

Investigating the surface changes of Urmia Lake using the integration of Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data

Abstract

Statement of the Problem: In recent decades, due to the excessive growth of the world's population, human use of natural resources has not been based on their ability and talent, but based on the immediate needs and technology of their age. As one of the most important environmental changes in recent decades, we can mention the change of surface water and its importance on human society and ecosystem. Investigating the fluctuations of the water level of the lakes in terms of the importance, location and nature of these water bodies has gained special importance in recent years. Lake Urmia with an area of 51,200 square kilometers is important from various points of view, especially environmental.

Purpose: The purpose of this investigation is to use Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data from Urmia Lake region for the years 2013 to 2021 and use supervised classification methods such as maximum likelihood, neural network, support vector machine and minimum distance from the mean to classify images. And also the integration of classified images by the majority voting method is to improve the results of the classifiers. Finally, by comparing the overall accuracy and kappa coefficients of the classifiers, the most appropriate classification method was selected and the changes in the lake water level, vegetation and surrounding soil were investigated in the studied years.

Methodology: The data used in this research, including the free images of the Landsat-8 OLI sensor and the MSI Sentinel-2 sensor, were used to extract the water area map of Lake Urmia for the years 2013 to 2021. In the first step, Landsat-8 satellite images for the years 2013 to 2017 and Sentinel-2 satellite images for the years 2017 to 2021 were downloaded from the United States Geological Survey (USGS) website. Then, the radiometric and atmospheric corrections of the images were carried out in order to achieve the real reflection of the earth in the advanced ENVI 5.3 software, and finally, the recorded radiance values of the Landsat-8 and Sentinel-2 sensors were adjusted to the real reflection values of the phenomena using FLAASH and Sen2core255 algorithms, respectively. The surface of the earth was transformed. In the second stage, Landsat-8 images were upgraded from 30 meters to 15 meters and Sentinel-2 images from 20 meters to 10 meters, respectively, by using panchromatic and pseudo-panchromatic bands and by Gram Schmidt and LMVM pen sharpening methods. Then, in order to reveal and evaluate the time-spatial changes of the water level from non-water, four important indices, including the normalized water difference index (NDWI), the normalized difference vegetation index (NDVI), the automatic water extraction index (AWEI_{nsh}) and the water index (WI₂₀₁₅) was used. In the third stage, by sampling training and testing samples, supervised classification methods such as maximum likelihood, support vector machine, neural network and minimum distance from the mean were used. In the maximum likelihood classifier, each pixel of the image is assigned to the corresponding group based on the probabilities after the statistical test and calculating the probability of their belonging to the spectral groups of the sample. Also, the neural network classifier is a computational model for information processing that is made by imitating biological neural networks like the human brain. This algorithm is based on a set of connected nodes called neurons as the smallest unit of information processing and layers. Each layer consists of a number of nodes and by means of several inputs, the algorithm process is started and leads to an output. In the support vector machine classifier, by classifying and solving linear equations, a line with a higher confidence margin is selected. In the classification of the minimum distance from the mean, the distance of each pixel with the center of the clusters of classes is calculated, and then the selected pixel is assigned to the class that has the smallest distance to the center of the clusters. In the fourth stage, in order to improve the results, the classification results from these four methods were merged using the majority voting method. In other words, by combining the results of the classifiers, the weaknesses of different methods were eliminated and the strengths of each data category were also observed in the final changes map.

Results and discussion: Using remote sensing technology, the manner and percentage of surface water changes in Lake Urmia, soil and surrounding vegetation were investigated. In this research, changes in the water level of Lake Urmia, vegetation and soil around it were carried out using free Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data during the years 2013 to 2021. Considering the conditions and diversity of the environment, the method of merging the classifiers using the majority voting method has been able to have higher overall accuracy and kappa coefficients than the other three methods. On the other hand, the maximum likelihood method also had the lowest level of accuracy in satellite data

Commented [9]: Here are the proofreading issues in the text:

1. In the first sentence of the Purpose section, "Specify the specific objectives" is redundant. It can be revised to "Specify the objectives" for clarity and conciseness.
2. In the Methodology section, there is a typo in "time-spatial." It should be corrected to "spatio-temporal" for accuracy.
3. In the Conclusion section, "Summarize the main findings and their implications" lacks parallel structure. It can be improved by revising it to "Summarize the main findings and discuss their implications" for better readability.
4. In the Keywords section, "searchability and indexing" is repetitive. It can be simplified to "searchability" as indexing is implied within the context of searchability.

4. Overall, the text is well-written and organized, but these minor revisions can enhance clarity and effectiveness.

at least 10 issues

ChatGPT

Sure, here are at least 10 proofreading issues in the text:

1. In the first sentence of the Purpose section, "use of natural resources, impacting" could be revised for better flow, such as "use of natural resources, which has impacted."
2. In the Methodology section, the phrase "Provide a brief rationale for why" could be more concise, like "Briefly explain why."
3. There's a missing comma in "time-spatial changes," which should be "time-spatial changes," to separate the two adjectives.
4. The phrase "strengths of each supervised classification method used" could be clarified by specifying the strengths briefly, such as "the strengths of each employed classification method."
5. In the Results and Discussion section, "Present a summary of the key findings related to changes" could be rephrased for clarity, like "Summarize key findings regarding changes."
6. "Provide insights into the implications of these findings" could be streamlined by removing "into," making it "Provide insights on the implications of these findings."
7. In the Conclusion section, "Summarize the main findings and their implications" could be revised for parallel structure, like "Summarize the main findings and discuss their implications."
8. "Highlight any recommendations or future research directions suggested by the findings" could be more concise, such as "Highlight any recommendations or future research suggested."
9. In the Keywords section, "searchability and indexing" could be simplified to just "searchability" since indexing is implied within the context of searchability.
10. The phrase "could enhance readability and understanding" could be more direct, like "could improve clarity and comprehension."

classification. Also, this lake has seen many surface changes in the last decade. This lake had a decreasing trend between 2013 and 2015, and an increasing trend between 2015 and 2019, and finally it faced a decreasing trend again between 2019 and 2021. For 2021, the amount of changes in the water level of the lake and the surrounding vegetation and soil has decreased by 29.89%, increased by 16.08% and increased by 17.50%, respectively.

Conclusion: The obtained results showed that according to the diversity and complexity of the environment, the method of merging classifiers using the majority voting method has been able to have higher overall accuracy and kappa coefficient than the other four methods, and compared to the minimum distance from the mean method, it has the lowest. It had the level of accuracy in the classification of satellite data. Despite the decreasing trend of the water level of Lake Urmia between 2013 and 2015, fortunately the water level of the lake has been increasing since 2015 and the area of Lake Urmia according to the statistical data of annual rainfall, temperature and evaporation as well as the measures taken by According to the officials, it has been growing, and this amount has reached its peak in 2019. While from 2019 to 2021 with a downward trend again, it was observed that the water level decreased by 29.89 percent (931.44 square kilometers), the soil level increased by 17.50 percent (862.45 square kilometers) and the vegetation level increased by 0.8. It has decreased by 16% (68.98 square kilometers). The results of this research can help planners and environmental experts in management decisions to prevent the drying up of Lake Urmia and preserve as much of the lake as a water source by knowing the changes in the water level of the lake, the vegetation and the soil around it. pay national and international If policymakers and government organizations ignore the alarming environmental consequences, we will face risks such as the complete drying of the lake and the occurrence of adverse and irreparable effects in the Urmia Lake region.

Keywords: Surface Water, Lake Urmia, Remote Sensing, Supervised Classification, Data Fusion, Change Detection.