

دوفصلنامه هیدروفیزیک

دوره پنجم، شماره اول (بهار و تابستان ۱۳۹۸)

مقاله پژوهشی

امکان‌سنجی استفاده از پارامترهای طیفی چهارگانه در استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی دریاچه سد لار)

قاسم لرستانی^{۱*}، رضا اسماعیلی^۲

gh.lorestani@umz.ac.ir

^{۱*} نویسنده مسئول، استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر

r.esmaili@umz.ac.ir

^۲ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲

چکیده

امروزه علائم و نشانه‌های بحران آب در کشور به شکل افت سطح آب زیرزمینی، فرونشست زمین، فرسایش خاک، طوفان‌های گردوغبار و خشک شدن تالاب‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بیش از گذشته جلوه می‌نماید. در این وضعیت شناسایی دقیق منابع آبی و حراست از آن برای کاهش اثرات سوء کم‌آبی ضروری و پراهمیت است. این پژوهش به منظور شناسایی بهتر پهنه‌های آبی، ارزیابی دقت و صحت محدوده‌های آبی تمیز داده شده از محیط‌های غیرآبی، با استفاده از شاخص‌های طیفی سنجنش‌ازدور در محدوده دریاچه سد لار واقع در جنوب غرب قله دماوند انجام شده است. چهار شاخص طیفی نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، نرمال شده تفاوت آب ژائو، نرمال شده تفاوت آب مک فیترز و اصلاحی نرمال شده تفاوت آب برای شناسایی توده آب و تمایز آن از سایر عوارض طبیعی و مصنوعی روی تصویر لندست ۸ و سنیتل ۲ اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد؛ بالاترین دقت کلی مربوط به شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب با ضریب کاپای ۰/۹۲۴۷ و کمترین میزان دقت کلی متعلق به شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو با ضریب کاپای ۰/۹۱۶۵ است. تمایل بیشتر ضریب کاپا به سمت +۱، هم نمایانگر تمیز دادن بهتر پهنه‌های آبی نسبت به خشکی در شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب است. پیشنهاد می‌شود تحقیقات مشابهی در چند پهنه آبی متعلق به سایر مناطق کشور به‌طور هم‌زمان برای شناسایی پهنه‌های آبی صورت گیرد تا به واسطه تغییر شرایط محیطی، شاخص‌های طیفی گفته شده مورد بررسی و ارزیابی دقیق‌تری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های طیفی، دقت کلی، ضریب کاپا، سد لار

۱. مقدمه

لندفرم‌های سطح زمین به واسطه تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تکنونیک‌های همواره متحمل تغییرات زیادی می‌شود. شناسایی این تغییرات در راستای مدیریت بهینه سطوح

مختلف کاربری زمین لازم و حیاتی به نظر می‌رسد. در حال حاضر فناوری سنجنش‌ازدور بهترین وسیله برای پایش تغییرات محیطی و استخراج پوشش و کاربری اراضی بوده که بیشترین سرعت و دقت را دارد. با استفاده از داده‌های چند

محیط‌های آبی استفاده می‌شود. روش اول استفاده از منحنی رفتار طیفی است که در این روش مقدار انرژی منعکس شده از هر جسم را نسبت به کل انرژی رسیده به جسم در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری و به صورت نمودار ترسیم می‌کنند [۷-۸]. روش دوم استفاده از رویکرد نسبت بانندی بین باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک است [۹].

مطالعات بی‌شماری در زمینه استفاده از الگوریتم‌ها و شاخص‌ها برای شناسایی سطوح آبی از خشکی در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است. این الگوریتم‌ها و شاخص‌ها در نرم‌افزارهای مختلفی مورد بحث و آزمون قرار گرفته‌اند که در این میان، نرم‌افزارهای سنجنش‌ازدور، جایگاه ویژه‌ای در برآورد و ارزیابی پهنه‌های آبی به خود اختصاص داده است. مطالعه تغییرات پوشش گیاهی، مدل‌سازی‌های آب و هوایی، تغییرات بیابان و خشک‌سالی‌ها، کلاسه‌بندی پوشش گیاهی، تحقیقات محیط‌زیست و بررسی قلمروهای آب و خشکی از جمله کاربردهای شاخص‌ها و الگوریتم‌های سنجنش‌ازدور در مطالعه موارد بالاست.

علوی‌پناه و همکاران در بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجنش‌ازدور به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های متعددی برای شناسایی پوشش گیاهی و به دنبال آن محیط‌های آبی با بهره‌گیری از باندهای ۲، ۳، ۵، ۶ و ۷ سنجنده TM قابل انجام است [۱۰]. ابوالفتحی و همکاران در تیپ‌بندی و ارزیابی مراتع با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و شاخص پوشش گیاهی در زیرحوزه آبخیز حبله رود به این نتیجه رسیدند که تیپ‌های گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، قابلیت تفکیک و تمایز گونه‌های مختلف گیاهی را دارند [۱۱]. لازم به یادآوری است که استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها در شناسایی مناطق پوشش گیاهی رایج است که می‌توان با اعمال ضرایبی از همین شاخص برای شناسایی پهنه‌های آبی کمک گرفت. گمشادزایی و رحیم‌زادگان در دو پژوهش جداگانه به بررسی و ارزیابی شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در مناطق مختلف ایران

زمانه سنجنش‌ازدور با کمترین زمان و هزینه می‌توان نسبت به استخراج کاربری‌های اراضی اقدام نموده و با مقایسه آن در دوره‌های زمانی مختلف، میزان تغییرات را ارزیابی نمود [۱]. آشکارسازی تغییر، فرایند شناسایی اختلاف در ویژگی‌های یک عارضه یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است که می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای داشته باشد. با استفاده از روش‌های آشکارسازی تغییر در سنجنش‌ازدور می‌توان نقشه کاربری و پوشش زمین منطقه را تهیه و میزان تغییرات را بررسی کرد. کارایی سنجنش‌ازدور در مقایسه با داده‌های چند زمانه ماهواره‌ای، این فناوری را به بهترین ابزار کشف تغییرات تبدیل کرده است. تصاویر ماهواره‌ای با پوشش وسیع این امکان را فراهم می‌کنند که سطح زمین در مناطق مختلف به‌طور پیاپی مطالعه شود [۲].

از اساسی‌ترین پارامترها در مطالعات ریخت‌شناسی، تعیین مرزهای آبی و خشکی در بازه‌های زمانی مختلف است. یکی از متداول‌ترین روش‌ها در این خصوص، جداسازی پیکسل‌های آب از سایر پیکسل‌ها با استفاده از شاخص‌های آب در تصاویر چند طیفی است [۳]. اساس توسعه این شاخص‌ها به رفتار طیفی آب در جذب طول موج مادون‌قرمز مربوط می‌شود. جذب بیشتر و متعاقب آن بازتاب کمتر در طول موج‌های مرئی و جذب کامل انرژی در محدوده مادون‌قرمز نزدیک و میانی از بارزترین خصوصیت آب زلال و عمیق است [۴]. تصاویر حاصل از سنجنده‌ها می‌تواند در شناسایی و مدیریت منابع آبی کمک شایانی به کاربران نماید. اطلاعات موضوعی در بطن تصاویر حاصله را می‌توان با فنون سنجنش‌ازدور استخراج نمود. روش‌های متعددی برای استخراج اطلاعات آب از تصاویر سنجنش‌ازدور وجود دارد که بر اساس تعداد باندهای مورد استفاده، به دو روش تک و چندباندی تقسیم می‌شوند [۵]. در روش تک‌باندی اغلب استخراج اطلاعات مربوط به پدیده‌ای خاص از تصویری چندباندی صورت می‌گیرد [۶]. نکته قابل توجه، انتخاب آستانه‌ای برای تمایز سطوح آب از غیر آب است. اگر این آستانه به‌خوبی تخمین زده نشود؛ محاسبات می‌تواند به بیراهه برود. در روش چندباندی از دو روش برای بیرون کشیدن

شکل‌سنجی و ژئومتری مخازن آبی بدون استخراج دقیق مرزهای آبی نسبت به محیط‌های پیرامونی امکان‌پذیر نیست. از طرف دیگر حضور فیزیکی در تمامی بخش‌های پیرامونی محیط‌های آبی به دلیل شرایط طبیعی و مسائل حفاظتی و امنیتی مقدور نخواهد بود. برای انجام این مهم، می‌توان از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌برداری زمینی به منظور جمع‌آوری داده‌های مکانی بهره‌جست. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش سراسری، دید کلی، هزینه کمتر، عدم نیاز به حضور فیزیکی، چند زمانه بودن تصاویر به همراه میسر بودن تحلیل‌های مکانی و طیفی، برتری محسوسی نسبت به سایر ابزارها در راستای جمع‌آوری اطلاعات دارد و در صورتی که در استخراج پهنه‌ها دقت بالا و خطای اندکی داشته باشد، می‌تواند نقش مهمی در برآورد دقیق پهنه‌های آبی برای برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آبی ایفا کند. سهولت دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های لندست نسبت به سنجنده‌های سایر ماهواره‌ها و قابلیت دانلود رایگان آن‌ها، مشوقی برای امکان‌سنجی استفاده بهینه از این تصاویر در ارزیابی و استخراج پهنه‌های آبی شده است. تحقیق حاضر نیز در راستای تحقق بخشیدن به این هدف، از چهار شاخص طیفی در شناسایی و جداسازی پهنه آبی دریاچه سد لار بهره‌جسته است تا ضمن استفاده از تکنیک‌های سنجنش‌ازدور، به ارزیابی شاخص‌ها و انتخاب شاخصی مطلوب جهت استخراج محیط‌های آبی پردازد.

۲. منطقه مورد مطالعه

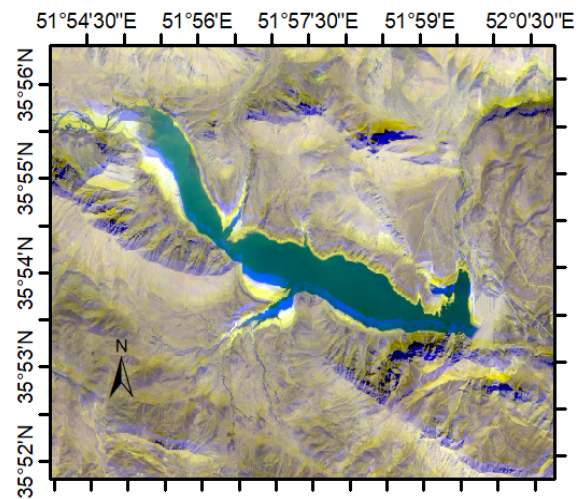
محدوده مورد مطالعه در مختصات طول جغرافیایی $51^{\circ}55'$ تا $51^{\circ}59'$ شرقی و عرض $35^{\circ}53'$ تا $35^{\circ}55'$ شمالی در قسمت جنوب غرب قلعه دماوند با فاصله ۱۲ کیلومتری از روستای کوهستانی و بیلاقی پلور قرار دارد. سد لار در سال ۱۳۶۱ به‌عنوان بزرگ‌ترین سد خاکی خاورمیانه روی رود هراز به بهره‌برداری رسید. دریاچه سد لار به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده زیر نظارت سازمان محیط‌زیست است و پتانسیل زیادی برای جذب گردشگر دارد. از جاذبه‌های گردشگری این منطقه می‌توان به قله‌ها و ارتفاعات مختلف اطراف دریاچه، چشمه‌ها، گیاهان دارویی، حیوانات وحشی، ماهی

پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های آب خاک^۲ و نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی توانایی بالاتری در تمیز دادن پهنه‌های آبی دارند [۱۲-۱۳]. رضازاد گوهری و امامی در بررسی میزان آب دریاچه ارومیه از شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و نرمال شده تفاوت آب^۳ استفاده کردند و میزان تغییرات سطح دریاچه را مورد ارزیابی قرار دادند [۱۴]. راهداری و همکاران در بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی، از شاخص‌های نرمال شده تفاوت رطوبت^۴، نسبت آب^۵، استخراج خودکار آب^۶، نرمال شده تفاوت آب و اصلاحی نرمال شده تفاوت آب^۷ برای تهیه نقشه عمق آب و اراضی مجاور ذخیره‌گاه‌های آبی در چاه نیمه‌های سیستان استفاده کرده و نتیجه گرفتند شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب بهترین ضریب تعیین را با داده‌های عمق نشان می‌دهد [۱۵]. طاهریان و همکاران با مقایسه عملکرد خرد پیکسلی دو شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب و استخراج خودکار آب در مناطق با سایه^۸ در تفکیک رودخانه‌های کم‌عرض و کم‌عمق در رودخانه ارمند استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از آماره‌های مختلف صحت‌سنجی همچون منحنی ROC، صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولیدکننده، خطای ارتکاب و حذف به این نتیجه رسیدند که هر دو شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب و استخراج خودکار آب در مناطق با سایه قابلیت مناسبی در تفکیک پیکسل‌های خالص آب دارند؛ اما شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب نسبت به شاخص استخراج خودکار آب در مناطق با سایه بیشتری را در نشان دادن پیکسل‌های مخلوط به خود اختصاص داده است [۱۶]. همچنین در پژوهشی خسروی و همکاران در پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان از شاخص‌های طیفی متعددی همچون شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌کننده خاک^۹، نرمال شده تفاوت آب، نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، اصلاحی نرمال شده تفاوت آب، نرمال شده تفاوت رطوبت و استخراج خودکار آب استفاده نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص‌های نرمال شده تفاوت آب و نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی بالاترین دقت را در استخراج پهنه‌های آبی دارند [۱۷].

۳. مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، از چهار شاخص طیفی نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، نرمال شده تفاوت آب ژائو، نرمال شده تفاوت آب مک فیترز و شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب برای شناسایی توده آب و تمایز آن از سایر عوارض طبیعی و مصنوعی استفاده شده است. تصاویر مورد استفاده برای انجام تحقیق حاضر، از سنجنده OLI ماهواره لندست و ماهواره سنتینل 2b سازمان فضایی اروپاست. برای انجام آن ابتدا تصاویر متعددی به عنوان گزینه برای دانلود انتخاب شدند. سپس با توجه به قبول شرط هم‌زمانی تاریخ برداشت دو تصویر لندست و سنتینل؛ همچنین ابری نبودن تصاویر برگرفته، دو تصویر بدون ابر با فاصله زمانی ۲ روز نسبت به هم از فصل تابستان انتخاب شدند تا با توجه به خشکی هوا و ابرناکی نبودن آسمان، بتوان مرزهای دریاچه را به خوبی با شاخص‌ها بررسی نمود (جدول ۱). لازم به بیان است که در مرحله پیش‌پردازش، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری تصویر لندست ۸ با استفاده از اطلاعات همراه تصویر، شامل مشخصات سنجنده و ویژگی‌های منطقه تصویربرداری با ماژول FLAASH در محیط نرم‌افزاری ENVI 503 انجام شد و تصحیحات هندسی تصویر سنتینل نیز در نرم‌افزار Snap صورت پذیرفته است.

فزل آلا و قارچ‌های خوراکی اشاره کرد. دلیل احداث سد لار، تأمین آب کشاورزی اراضی پایین دست و تأمین آب آشامیدنی شهر تهران و انتقال آب این سد به نیروگاه کلان و سد لتیان، برای استفاده در نیروگاه‌های منطقه در تولید متوسط سالانه ۱۵۰ هزار مگاوات ساعت انرژی برق-آبی بوده است. سطح حوضه آبریز این سد بالغ بر ۶۷۵ کیلومترمربع و به طور متوسط ۴۸۱ میلیون مترمکعب جریان آب سالانه دارد.



شکل ۱. تصویر رنگی حقیقی دریاچه سد لار (منبع: تصویر سنتینل 2b سال ۲۰۱۷)

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

منبع	نوع داده‌ها	تاریخ برداشت تصویر
پورتال سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (https://earthexplorer.usgs.gov)	تصویر ماهواره لندست 8 سنجنده OLI	۲۰۱۷/۰۹/۲۷
سایت سازمان فضایی اروپا (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home)	تصویر ماهواره سنتینل-2b	۲۰۱۷/۰۹/۲۵

شاخص‌های طیفی زیادی از سوی پژوهشگران و محققان علاقه‌مند به حیطه سنجش‌ازدور برای شناسایی و تمایز سطوح آب از خشکی، ابداع و استفاده شده است. شیوه محاسبه

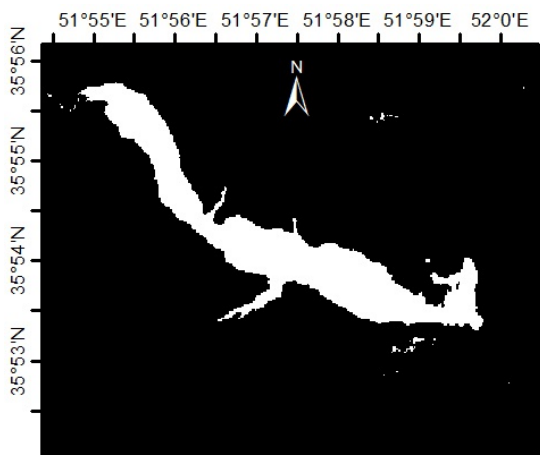
شاخص‌های طیفی زیادی از سوی پژوهشگران و محققان علاقه‌مند به حیطه سنجش‌ازدور برای شناسایی و تمایز سطوح آب از خشکی، ابداع و استفاده شده است. شیوه محاسبه

جدول ۲. شاخص‌های مورد استفاده با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲

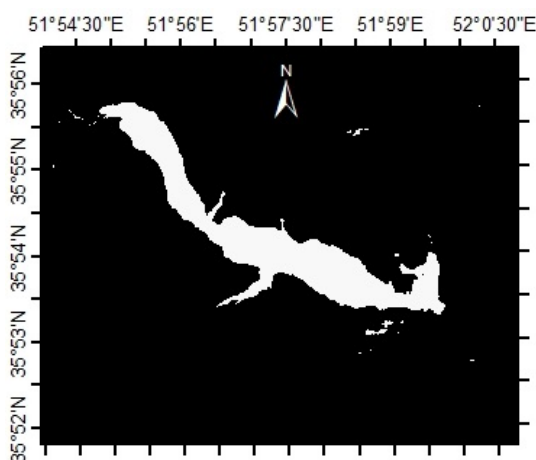
مقدار عددی آب ^۱	فرمول	شاخص
منفی	$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$	نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی
مثبت	$MNDWI=(GREEN-MIR)/(GREEN+MIR)$	شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب
مثبت	$NDWI\ Gao=(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$	نرمال شده تفاوت آب ژائو
مثبت	$NDWI\ McFeeters=(GREEN-NIR)/(GREEN+NIR)$	نرمال شده تفاوت آب مک فیترز

۴. نتایج و بحث

شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، نرمال شده تفاوت آب ژائو، نرمال شده تفاوت آب مک فیترزو شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب روی تصویر لندست ۸ در محدوده دریاچه سد لار اعمال شد و نتایج حاصل از آن با تصویر سنتینل ۲ مقایسه شد. محاسبه شاخص‌ها به صورت نقشه طبقه‌بندی شده به تفکیک در شکل ۲ آمده است. پس از محاسبه شاخص‌های چهارگانه گفته شده، رقومی سازی لایه‌های استخراج شده از پهنه آبی در سیستم اطلاعات جغرافیایی و در نرم‌افزار آرک مپ صورت گرفته است (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مساحت استخراج شده از پهنه آبی با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی به میزان ۶/۸ کیلومتر مربع است و کمترین مساحت به میزان ۶/۴۴ با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو محاسبه شده است.



شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی



شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب

شکل ۲. شاخص‌های اعمال شده روی تصویر

پس از اعمال شاخص‌های طیفی روی تصویر لندست و سنتینل به ترتیب با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ و ۱۰ متر به ارزیابی دقت شاخص‌های طیفی با استفاده از آماره ضریب کاپا، دقت کلی و دقت کاربر در نرم‌افزار ENVI پرداخته شد.

ضریب کاپا: ارزیابی اندازه توافق بین دو فرد، پدیده یا منبع تصمیم‌گیری است که هر یک به صورت جداگانه دو کمیت اصلی را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهند.

$$kappa = \frac{P_i - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (1)$$

P_i درستی مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار است. حالت ایده‌آل برای مقدار ضریب کاپا عدد یک بوده و چنانچه این مقدار برابر صفر باشد، طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و اگر مقدار منفی به دست بیاید نشان‌دهنده خطا در طبقه‌بندی است.

دقت کلی: دقت کلی که به عنوان یک معیار ارزش‌گذاری دقت طبقه‌بندی با تقسیم مجموعه پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده تمامی طبقات به مجموع پیکسل‌های مرجع است:

$$OA = \frac{\sum_i^c E_{ii}}{N} \quad (2)$$

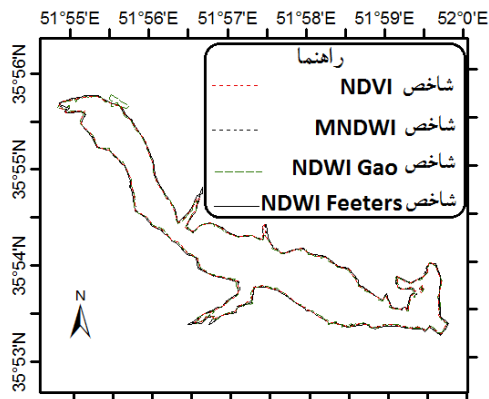
که در آن C تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا و $O.A$ دقت کلی است.

دقت کاربر: بیانگر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص، مطابق همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

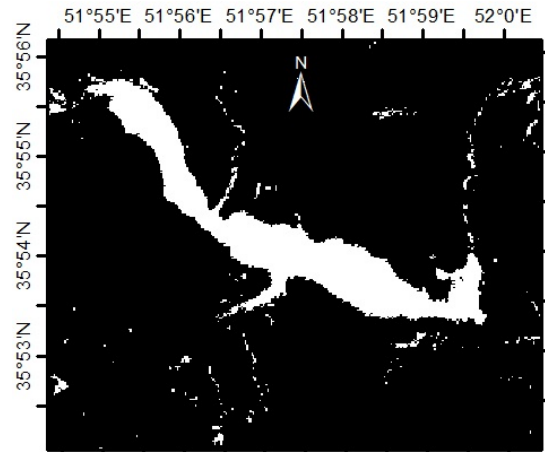
$$U.A = \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^r ij} \quad (3)$$

که در آن X_{ii} عنصر قطری یک کلاس، $\sum_{j=1}^r ij$ مجموع پیکسل‌های سطر همان کلاس و $U.A$ دقت کاربر است.

در نهایت با انجام بازدید میدانی تعداد معدودی نقاط اطراف سد (به دلیل سختی دسترسی و مسائل حفاظتی، امنیتی مرتبط با سد) برای ارزیابی بهتر از کیفیت شاخص‌ها در تمیز دادن پهنه آبی از گیاه و خاک، در دستگاه GPS ثبت و به محیط آرک مپ منتقل شدند و با نتایج به دست آمده از محاسبات آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

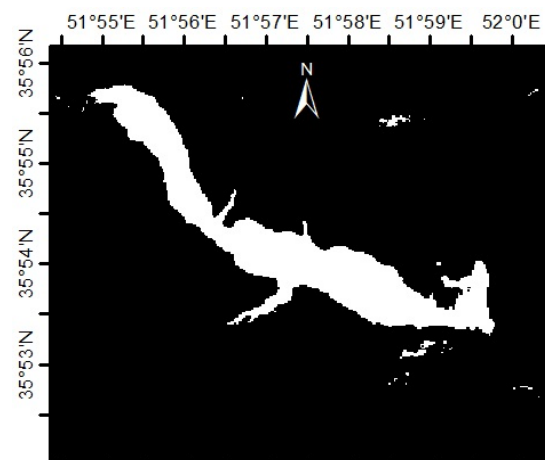


شکل ۳. رقومی سازی تغییرات دریاچه سد لار با اعمال شاخص های چهارگانه بر تصویر لندست ۸



شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو

برای ارزیابی دقت و صحت نقشه های طبقه بندی شده به روش های مختلف، با روی هم گذاری و قطع دادن نقشه های طبقه بندی از محاسبه شاخص ها با نقشه واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس ابهام در نرم افزار Envi، دقت کلی، ضریب کاپا و دقت کاربر محاسبه شد. قدرت تفکیک مکانی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در باندهای مرئی و مادون قرمز ۳۰ متر است و برای ارزیابی میزان دقت شاخص های مورد استفاده در تصاویر لندست، وجود تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالاتر ضروری است. با توجه به در دسترس بودن تصاویر سنتینل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر و هم زمانی زمان تصویربرداری از این منطقه در دو سنجنده گفته شده، از تصاویر حاصل از سنجنده یاد شده برای دقت سنجی محاسبه شاخص ها در تصویر لندست ۸ بهره گرفته شد و نتایج آن در جدول ۳ آمده است. با توجه به جدول مورد اشاره، بالاترین دقت کلی مربوط به شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب است و کمترین میزان دقت کلی به شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو تعلق دارد. ضریب کاپا هم نمایانگر تمیز دادن بهتر پهنه های آبی نسبت به خشکی در شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب است.



شاخص نرمال شده تفاوت آب مک فیترز

شکل ۲. (ادامه) شاخص های اعمال شده روی تصویر

مساحت پهنه آبی دریاچه پشت سد لار در تصویر طبقه بندی شده سنتینل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر نشان می دهد که پهنه آبی مورد مطالعه در مجموع نزدیک به ۶/۲ کیلومتر مربع مساحت دارد. اختلاف مساحت محاسبه شده در شناسایی پهنه آبی بین شاخص های طیفی و تصویر سنتینل به دلیل نحوه عملکرد شاخص ها در شناسایی و تشخیص پهنه های آبی است.

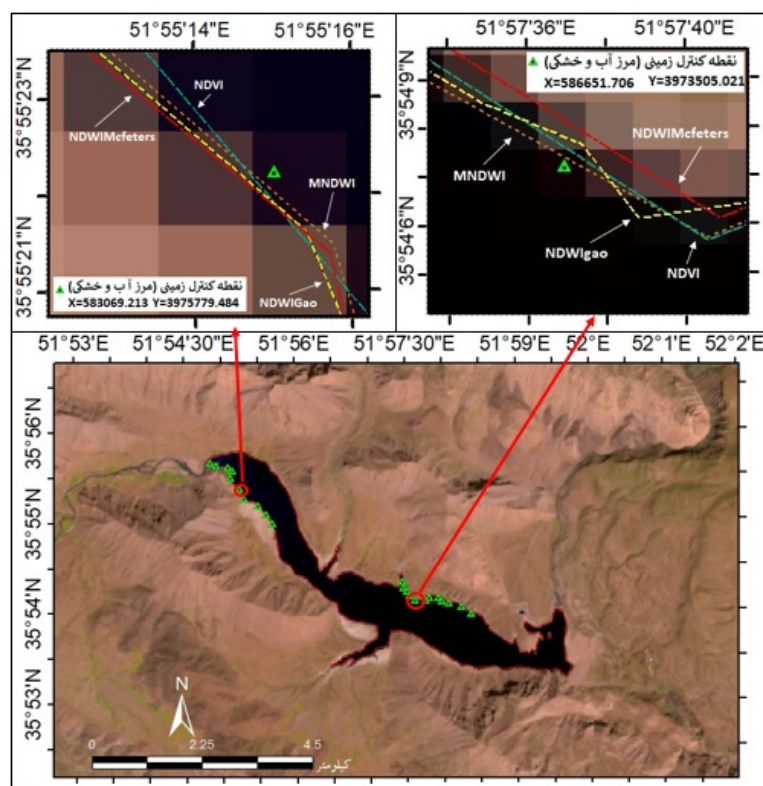
جدول ۳. خطاهای محاسبه شده شاخص های طیفی در دریاچه سد لار

شاخص	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت کاربر
نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی	۹۷/۳۵۲۴	۰/۹۱۷۸	۹۰/۳۴
شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب	۹۷/۶۶۳	۰/۹۲۴۷	۹۲/۳۲
نرمال شده تفاوت آب ژائو	۹۷/۲۹۳۱	۰/۹۱۶۵	۹۱/۱۳
نرمال شده تفاوت آب مک فیترز	۹۷/۴۴۱۶	۰/۹۲۰۰	۹۱/۲۴

صورت گرفته در فروردین ۱۳۸۹ با استفاده از یک دستگاه GPS، موقعیت مکانی ۲۲ نقطه در مرز خشکی و آب با ویژگی‌های متفاوتی همچون (مرطوب بودن، شفافیت آب، کم عمق یا عمیق بودن، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و ...) در محدوده اطراف دریاچه سد ثبت و با لایه‌های استخراج شده با شاخص‌ها، همپوشانی شد. البته به دلیل محدودیت دسترسی به مناطق پیرامونی سد، تنها قسمت شمالی و جنوب غربی دریاچه با GPS ثبت موقعیت شدند (شکل ۴).

ارزیابی هم‌زمان دقت کلی و ضریب کاپا نیز بر قدرت تمایز محیط‌های آبی نسبت به محیط‌های مجاور با استفاده از شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب حکایت دارد. مساحت پهنه آبی برآورد شده با شاخص یادشده به میزان ۶/۴ کیلومتر مربع بسیار نزدیک به مساحت به دست آمده با تصویر سنتینل ۲ است و این امر خود نیز می‌تواند دلیلی بر مناسب‌تر بودن شاخص مورد اشاره نسبت به سایر شاخص‌ها باشد.

در این پژوهش، برای اطمینان بیشتر از کیفیت شاخص‌ها در استخراج پهنه آبی دریاچه سد لار، طی بازدید میدانی



شکل ۴. مقایسه پهنه آبی استخراج شده با شاخص‌های چهارگانه نسبت به نقاط ثبت زمینی

آبی و تمایز آن از سایر عوارض به کار آید. بررسی میدانی نشان می‌دهد که شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب به دلیل اختصاص مقادیر درجه خاکستری بالا به پیکسل‌های آب، قابلیت بهتری در تمایز پهنه آبی نسبت به گیاه و خاک دارد.

نتایج نشان می‌دهد که شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو، مناطق با پوشش گیاهی انبوه را نیز به عنوان پهنه آبی قلمداد نموده است. در مقابل شاخص نرمال شده تفاوت آب مک فیترز، خاک‌های مرطوب را معادل آب قلمداد نموده است. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی که اغلب برای شناسایی مناطق با پوشش گیاهی استفاده می‌شود، نیز در صورت آستانه گذاری می‌تواند در شناسایی پهنه‌های

۴. نتیجه گیری

در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی، پهنه‌های آبی به‌عنوان یکی از زیربنایی‌ترین سرمایه‌های کشورها، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. برای شناسایی سطوح آبی روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از کاربردی‌ترین این روش‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور برای تشخیص و آشکارسازی آن‌هاست. البته هزینه پایین و دسترسی دوره‌ای به تصاویر ماهواره‌ای موجب استفاده بیشتر از این داده‌ها شده است. در این تحقیق چهار شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، نرمال شده تفاوت آب ژائو، نرمال شده تفاوت آب مک فیترز و شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب استفاده شد تا توانایی شاخص‌ها در شناسایی سطوح آبی سنجیده شود.

در بین شاخص‌های چهارگانه استفاده شده برای شناسایی سطح آب دریاچه پشت سد لار، بهره‌گیری از شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب، با دقت کلی ۹۷/۶۴ و ضریب کاپای ۰/۹۲۴۷ شرایط مساعدتری را در شناسایی و تشخیص پهنه‌های آبی به خود اختصاص داده است. استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت آب برای شناسایی پهنه‌های آبی در مطالعات زیادی دیده می‌شود. با الگو قرار دادن شاخص نرمال شده تفاوت آب، روش‌های مختلفی همچون روش ژائو و مک فیترز ابداع شد که در مناطق با پوشش گیاهی کم، قابلیت بالایی از خود نشان می‌دهد [۱۸]. دقت کلی و ضریب کاپای به دست آمده از دو شاخص یاد شده بیانگر بالا بودن دقت روش نرمال شده تفاوت آب مک فیترز نسبت به نرمال شده تفاوت آب ژائو است. شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب نسبت به شاخص‌های نرمال شده تفاوت آب مک فیترز و نرمال شده تفاوت آب ژائو بالاتر نشان دادن مقادیر درجه‌های خاکستری پیکسل‌های مرتبط با آب، قدرت تفکیک بالاتری در نشان دادن پیکسل‌های محتوی آب دارد. دقت کلی و ضریب کاپای محاسبه شده در این شاخص به ترتیب با مقادیر ۹۷/۶۵ و ۰/۹۲۵، گویای این برتری نسبت به سایر شاخص‌های تحت بررسی است. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از

عمومی‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌ها در شناسایی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت کلی و ضریب کاپای محاسبه شده برای این شاخص به ترتیب ۹۷/۳۵ و ۰/۹۱۸ است.

باعنایت به نتایج حاصل از اعمال شاخص‌ها و بازدید میدانی از اطراف دریاچه سد لار، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو به دلیل استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک و میانی، حساسیت زیادی به مناطق دارای پوشش گیاهی دارد، پس مناطق دارای پوشش گیاهی را هم جزء دریاچه سد محسوب نموده است. همین مسئله باعث شده تا این شاخص مناطقی با فاصله زیاد از دریاچه سد را هم جزء این پهنه آبی به حساب آورد که از بی‌دقتی این روش حکایت می‌کند. شاخص نرمال شده تفاوت آب مک فیترز در مقایسه با شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو، نسبت به پوشش گیاهی حساسیت کمتری دارد؛ اما خاک‌های مرطوب را هم جزء پهنه آبی محاسبه می‌نماید که از معایب این شاخص به‌شمار می‌آید. این نکته بیانگر احتیاط در استفاده از دو شاخص مورد اشاره در استخراج پهنه‌های آبی محیط‌های مرطوب و نیمه مرطوب است. استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی حساسیت بالایی به مناطق دارای پوشش گیاهی انبوه دارد که البته با فرض مقادیر تقریبی کمتر از صفر، قادر به حذف پوشش گیاهی و استخراج منابع آبی خواهیم بود. البته مشکل استفاده از این شاخص به قرار دادن حد آستانه مرتبط با حذف یا آشکارسازی پوشش گیاهی و آب برمی‌گردد که رعایت این آستانه می‌تواند در مناطق مختلف با توجه به بازتاب طیفی عوارض سطح زمین، نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد؛ اما در مجموع، استفاده از این شاخص، شرایط واقعی تری از سطح زمین را در نشان دادن محیط‌های آبی نسبت به دو شاخص یاد شده به خود اختصاص داده است. شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب خطای کمتری نسبت به شاخص‌های سه‌گانه مورد اشاره به ثبت رسانده است و بازدید میدانی نیز بر صحت بیشتر شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب دلالت دارد. این شاخص معایب مرتبط با

- International journal of remote sensing. 2006 Jul 20;27(14):3025-33.
- [6] Rundquist D, Lawson M, Queen L, Cervený R. The Relationship between the Timing of Summer-Season Rainfall Events and Lake-Surface Area. *Water Resources Bulletin*. 1987; 23: 493-508.
- [7] Yu J, Huang Y, Feng X. Study on water bodies extraction and classification from SPOT image. *Journal of Remote Sensing*. 2001;5:214-19.
- [8] Han-qiu X. Spatial expansion of urban/town in Fuqing and its driving force analysis. *Remote Sensing Technology and Application*. 2011 Nov 21;17(2):86-92.
- [9] Mcfeeters SK. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*. 1996; 17: 1425-32.

[۱۰] علوی‌پناه سید کاظم، رفیعی امام عمار، حسینی زین‌العابدین، جعفری‌گلگو منصور. بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجش‌ازدور. پژوهش‌های جغرافیایی. ۱۳۸۵؛ ۵۸: ۸۱-۹۷.

[۱۱] ابوالفتحی خدیجه، علی‌خواه اصل مرضیه، رضوانی محمد. تیپ‌بندی و ارزیابی مراتع با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (مطالعه موردی: تحت واحد شهرآباد زیرحوزه آبخیز جله‌رود). فصلنامه انسان و محیط‌زیست. ۱۳۹۴؛ ۳۳: ۴۵-۵۸.

[۱۲] گمشادزایی محمدحسن، رحیم‌زادگان مجید. تعیین سطح پهنه‌های آبی با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و اعمال شاخص‌های طیفی. دومین همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه؛ ۲ دی‌ماه ۱۳۹۴؛ شیراز، ایران.

[۱۳] گمشادزایی محمدحسن، رحیم‌زادگان مجید. بررسی و ارزیابی شاخص‌های طیفی استخراج نقشه سطح آب از تصاویر ماهواره‌ای Landsat. ششمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران با رویکرد پیوند اکولوژیکی با چرخه آب برای پایداری زمین؛ ۱-۳ اردیبهشت ۱۳۹۵؛ سندج، ایران.

شاخص‌های نرمال شده تفاوت آب ژائو و مک فیتزر را ندارد و تفکیک و طبقه‌بندی پهنه‌های آبی با این روش بهتر انجام می‌پذیرد.

لازم به یادآوری است که استناد صرف به خطای محاسبه‌شده با ضریب کاپا، دقت کلی و دقت کاربر برای نشان دادن برتری یک شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها نمی‌تواند به‌تنهایی ملاک قرار گیرد و لازم است در کنار آن با بازدید میدانی، خطوط مرزی و مناطقی که با هر شاخص به‌عنوان پهنه آبی قلمداد شده است، مورد ارزیابی قرار گیرد تا صحت و سقم شاخص‌های مورد استفاده با دقت بیشتری بررسی شوند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی به‌منظور ارزیابی بهتر شاخص‌های گفته شده هم‌زمان از چند پهنه آبی با شرایط ژئومورفولوژیکی، محیطی و اقلیمی متنوع استفاده شود تا از میزان دقت شاخص‌ها، ارزیابی مناسب‌تری صورت گیرد.

مراجع

- [۱] آرخی صالح. آشکارسازی تغییرات پوشش-کاربری اراضی با پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Idrisi selvi (مطالعه موردی: منطقه آبدانان). فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۱۳۹۴؛ ۲۴(۶۲): ۵۱-۹۲.
- [۲] هاشمی تنگستانی مجید، بیرانوند سمیه، طیبی محمدحسن. آشکارسازی تغییرات دریاچه بختگان فارس در بازه زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶. محیط‌شناسی. ۱۳۹۲؛ ۳۹(۳): ۱۸۹-۱۹۹.
- [3] Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2014;140:23-35.
- [4] Malinowski R, Groom G, Schwanghart W, Heckrath G. Detection, Delineation of Localized Flooding from WorldView-2 Multispectral Data. *Remote Sensing*. 2015; 7: 14853-75.
- [5] Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.

پی‌نوشت

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. The Soil Water Index
3. Normalized Difference Water Index
4. Normalized Difference Moisture Index
5. Water Ratio Index
6. Automated Water Extraction Index
7. Modified Normalized Difference Water Index
8. Automated Water Extraction Index in shadow areas
9. Soil-adjusted Vegetation Index
10. Water Value
11. Kappa coefficient
12. Overall accuracy
13. User accuracy

[۱۴] رضازاد گوهری فرشته، امامی حسن. بررسی میزان آب دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص‌های NDVI و NDWI. چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری؛ دی‌ماه ۱۳۹۵؛ تهران، ایران.

[۱۵] صادقی سیدحمیدرضا، کاظمی کیا سمیه، خیرفام حسین، حزباوی زینب. تجارب و پیامدهای انتقال آب بین‌حوضه‌ای در جهان. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳۹۵؛ ۱۲(۲): ۱۲۰-۱۴۰.

[۱۶] راهداری وحید، ملکی سعیده، راهداری میثم، محمودی سعید، پورملایی نیره، علیمزادی محمد رضا و همکاران. بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی در تهیه نقشه عمق آب و اراضی مجاور ذخیره‌گاه‌های آبی (مطالعه موردی: ذخیره‌گاه‌های آبی چاه نیمه‌های سیستان). تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳۹۵؛ ۱۲(۳): ۱۳۰-۱۴۱.

[۱۷] طاهریان الهام، خواستار بروجنی میلاد، صمدی حسین. مقایسه عملکرد خرد پیکسلی دو شاخص MNDWI و AWEI shadow در تفکیک رودخانه‌های کم‌عرض و کم‌عمق. نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. تابستان ۱۳۹۶؛ ۵(۲): ۹۹-۱۲۲.

[۱۸] خسرویان مریم، انتظاری علیرضا، رحمانی ابوالفضل، باعقیده محمد. پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور. هیدروژئومورفولوژی. ۱۳۹۶؛ ۱۳(۱): ۹۹-۱۲۰.

[19] Zhang ZH, Prinnet V, Songde MA. Water body extraction from multisource satellite image. IEEE. 2003: 7803-7929-2/03.