دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک
دورهٔ پنجم، شمارهٔ اول (بهار و تابستان ۱۳۹۸)
مقالهٔ پژوهشی

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

قاسم لرستانی[1*]، رضا اسماعیلی[2]

[1*] نویسندهٔ مسئول، استادیار، گروه جغرافیا، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر gh.lorestani@umz.ac.ir

[2] دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر r.esmaili@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

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 به‌منظور شناسایی بهتر پهنه‌های آبی، ارزیابی دقت و صحت محدوده‌های آبی تمیزداده شده از محیط‌های غیرآبی، با استفاده از شاخص‌های طیفی سنجش‌ازدور در محدودهٔ 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 واصلاحی نرمال شده تفاوت آب برای شناسایی تودهٔ 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 پهنهٔ آبی متعلق به سایر مناطق کشور به‌طورهم‌زمان برای شناسایی پهنه‌های آبی صورت گیرد تا به‌واسطه تغییر شرایط محیطی، شاخص‌های طیفی گفته شده موردبررسی و ارزیابی دقیق‌تری قرار گیرد.

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

۱. مقدمه

لندفرم‌های سطح زمین به‌واسطه تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تکتونیکی 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 فنّاوری سنجش‌ازدور 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

زمانه سنجش‌ازدور 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 سنجش‌ازدور می‌توان نقشه کاربری و پوشش زمین منطقه را تهیه و میزان تغییرات را بررسی کرد. کارایی سنجش‌ازدور در مقایسه با داده‌های چند زمانهٔ ماهواره‌ای، این فنّاوری 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 طول‌موج‌های مرئی و جذب کامل انرژی در محدودهٔ مادون‌قرمز نزدیک و میانی از بارزترین خصوصیت آب زلال و عمیق است [۴]. تصاویر حاصل از سنجنده‌ها می‌توانند در شناسایی و مدیریت منابع آبی کمک شایانی به کاربران نماید. اطلاعات موضوعی در بطن تصاویر حاصله را می‌توان با فنون سنجش‌ازدور استخراج نمود. روش‌های متعددی برای استخراج اطلاعات آب از تصاویر سنجش‌ازدور وجود دارد که بر اساس تعداد باندهای مورداستفاده، 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 قابل‌توجه، 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 محیط‌های آبی استفاده می‌شود. روش اول استفاده از منحنی رفتار طیفی است که در این روش مقدار انرژی منعکس‌شده از هر جسم را نسبت به کل انرژی رسیده به جسم در طول‌موج‌های مختلف اندازه‌گیری و به‌صورت نمودار ترسیم می‌کنند [۷ –۸]. روش دوم استفاده از رویکرد نسبت باندی بین باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک است[۹].

مطالعات بی‌شماری در زمینهٔ 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 سنجش‌ازدور، جایگاه ویژه‌ای در برآورد و ارزیابی پهنه‌های آبی به خود اختصاص داده است. مطالعهٔ تغییرات پوشش گیاهی، مدل‌سازی‌های آب و هوایی، تغییرات بیابان و خشک‌سالی‌ها، کلاسه‌بندی پوشش گیاهی، تحقیقات محیط‌زیست و بررسی قلمروهای آب و خشکی ازجمله کاربردهای شاخص‌ها و الگوریتم‌های سنجش‌ازدور در مطالعه موارد بالاست.

علوی‌پناه و همکاران در بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجش‌ازدور 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 سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و شاخص پوشش گیاهی در زیرحوزهٔ آبخیز حبله رود به این نتیجه رسیدند که تیپ‌های گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی[۱]، 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

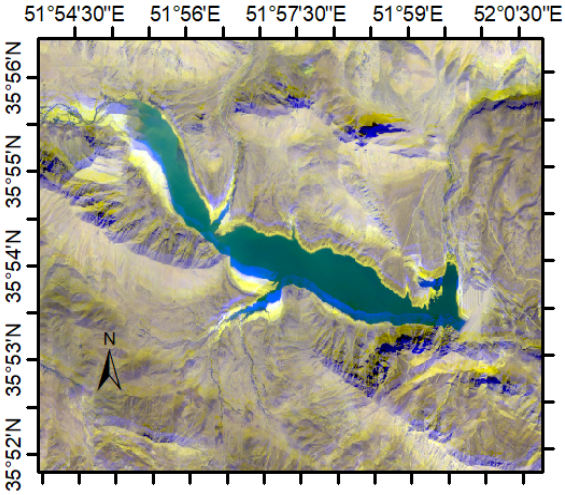
پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های آب خاک[۲] و نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی توانایی بالاتری در تمیز دادن پهنه‌های آبی دارند [۱۲-۱۳]. رضازاد گوهری و امامی در بررسی میزان آب دریاچه ارومیه از شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و نرمال شده تفاوت آب[۳] استفاده کردند و میزان تغییرات سطح دریاچه را مورد 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 نقشهٔ عمق آب و اراضی مجاور ذخیره‌گاه‌های آبی در چاه نیمه‌های سیستان استفاده کرده ونتیجه 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 واستخراج 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 صحت بیشتری را در نشان دادن پیکسل‌های مخلوط به خود اختصاص داده است [۱۶]. همچنین در پژوهشی خسرویان 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].

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 به‌منظور جمع‌آوری داده‌های مکانی بهره جست. 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 درصورتی‌که 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 پهنهٔ آبی دریاچه سد لار بهره جسته است تا ضمن استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور، به ارزیابی شاخص‌ها و انتخاب شاخصی مطلوب جهت استخراج محیط‌های آبی بپردازد.

۲. منطقهٔ موردمطالعه

محدودهٔ موردمطالعه در مختصات طول جغرافیایی ´۵۵ °۵۱ تا ´۵۹ °۵۱ شرقی و عرض ´۵۳ °۳۵ تا ´۵۵ °۳۵ شمالی در قسمت جنوب غرب قلهٔ دماوند با فاصله ۱۲ کیلومتری از روستای کوهستانی و ییلاقی پلور قرار دارد. سد لار در سال ۱۳۶۱ به‌عنوان بزرگ‌ترین سد خاکی خاورمیانه روی رود هراز به بهره‌برداری رسید. دریاچهٔ 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

قزل‌آلا و قارچ‌های خوراکی اشاره کرد. دلیل احداث سد لار، تأمین آب کشاورزی اراضی پایین‌دست 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 حوضهٔ آبریز این سد بالغ بر ۶۷۵ کیلومترمربع و به‌طور متوسط ۴۸۱ میلیون مترمکعب جریان آب سالانه دارد.



شکل ۱.تصویر رنگی حقیقی دریاچهٔ سد لار (منبع: تصویر سنتینل2b سال ۲۰۱۷)

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 تودهٔ آب و تمایز آن از سایر عوارض طبیعی و مصنوعی استفاده شده است. تصاویر مورداستفاده برای انجام تحقیق حاضر، از سنجنده OLI ماهواره لندست و ماهواره سنتینل 2b سازمان فضایی اروپاست. برای انجام آن ابتدا تصاویر متعددی به‌عنوان 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 به‌خوبی 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 سنتیل نیز در نرم‌افزار Snap صورت پذیرفته است.

جدول ۱.تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده

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

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. شیوهٔ محاسبهٔ شاخص‌های طیفی روی تصاویر لندست و سنتینل در جدول ۲ آمده است.

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

شاخص	فرمول	مقدار عددی آب[1]
نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی	NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)	منفی
شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب	MNDWI=(GREEN-MIR)/(GREEN+MIR)	مثبت
نرمال شده تفاوت آب ژائو	NDWI Gao=(NIR-SWIR)/(NIR+ SWIR)	مثبت
نرمال شده تفاوت آب مک فیترز	NDWI McFeeters =(GREEN -NIR)/(GREEN+ NIR)	مثبت

پس از اعمال شاخص‌های طیفی روی تصویر لندست و سنتیل به‌ترتیب 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[۲]: ارزیابی اندازه توافق بین دو فرد، پدیده یا منبع تصمیم‌گیری است که هر یک به‌صورت جداگانه دو کمیت اصلی را موردانداز‌ه‌گیری قرار می‌دهند.

$$kappa = \frac{P_i - P_c}{1 - P_c} \times 100 \qquad (۱)$$

Pi درستی مشاهده شده و Pc 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 نشان‌دهندهٔ خطا در طبقه‌بندی است.

دقت کلی[۳]: دقت کلی که به‌عنوان یک معیار ارزش‌گذاری دقت طبقه‌بندی با تقسیم مجموعه پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده تمامی طبقات به مجموع پیکسل‌های مرجع است:

$$OA = \frac{\sum_i^c E_{ii}}{\mathrm{N}} \qquad (۲)$$

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[۴]: بیانگر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص، مطابق همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

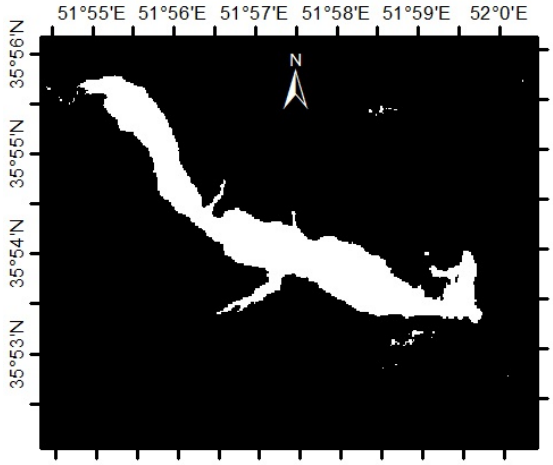
$$U.A = \frac{X_{ii}}{\sum_{\mathrm{j=1}}^{\mathrm{r}} \mathrm{ij}} \qquad (۳)$$

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

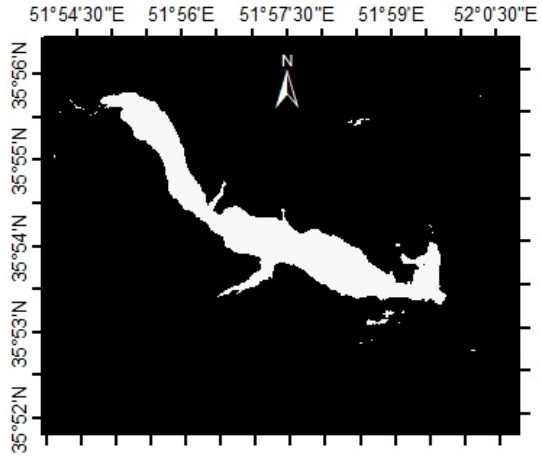
درنهایت با انجام بازدید میدانی تعداد معدودی نقاط اطراف سد (به دلیل سختی دسترسی و مسائل حفاظتی، امنیتی مرتبط با سد) برای ارزیابی بهتر از کیفیت شاخص‌ها در تمیز دادن پهنهٔ آبی از گیاه و خاک، در دستگاه GPS ثبت و به محیط آرک مَپ منتقل شدند و با نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات آماری مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند.

٤. 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 محدودهٔ دریاچه سد لار اعمال شد و نتایج حاصل از آن با تصویر سنتینل ۲ مقایسه شد. محاسبه شاخص‌ها به‌صورت نقشهٔ طبقه‌بندی‌شده به تفکیک در شکل ۲ آمده است. پس از محاسبه شاخص‌های چهارگانهٔ گفته شده، رقومی سازی لایه‌های استخراج‌شده از پهنهٔ آبی در سیستم اطلاعات جغرافیایی و در نرم‌افزار آرک مَپ صورت گرفته است (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مساحت استخراج‌شده از پهنهٔ آبی با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی به میزان ۶/۸ کیلومترمربع است و کمترین مساحت به میزان ۶/۴۴ با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو محاسبه شده است.

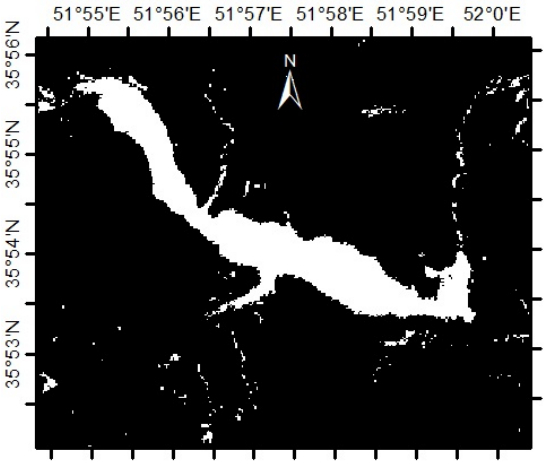


شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی

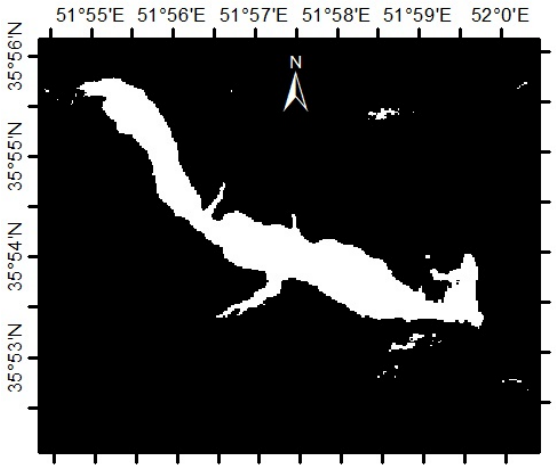


شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب

شکل ۲. شاخص‌های اعمال‌شده روی تصویر



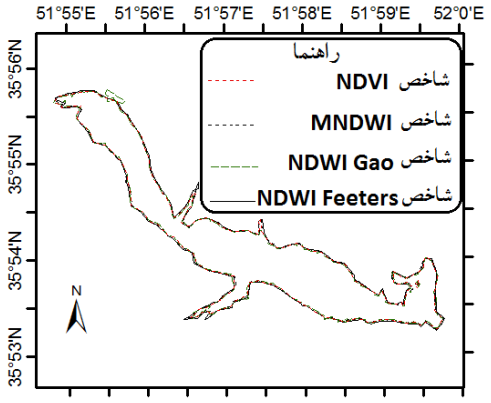
شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو



شاخص نرمال شده تفاوت آب مک فیترز

شکل ۲. (ادامه) شاخص‌های اعمال‌شده روی تصویر

مساحت پهنهٔ آبی دریاچهٔ پشت سد لار در تصویر طبقه‌بندی‌شده سنتیل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر نشان می‌دهد که پهنهٔ آبی موردمطالعه درمجموع نزدیک به ۶/۲ کیلومترمربع مساحت دارد. اختلاف مساحت محاسبه‌شده در شناسایی پهنه آبی بین شاخص‌های طیفی و تصویر سنتینل به دلیل نحوه عملکرد شاخص‌ها در شناسایی و تشخیص پهنه‌های آبی است.



شکل ۳. رقومی‌سازی تغییرات دریاچهٔ سد لار با اعمال شاخص‌های چهارگانه بر تصویر لندست ۸

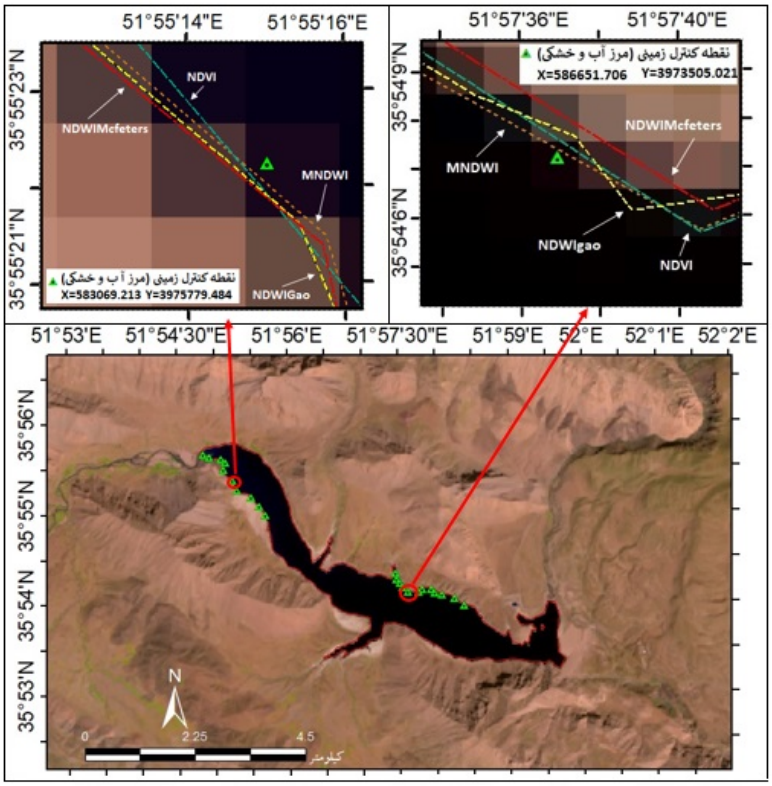
برای ارزیابی دقت وصحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده به روش‌های مختلف، با روی هم‌گذاری و قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی از محاسبهٔ شاخص‌ها با نقشهٔ واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس ابهام در نرم‌افزار Envi، دقت کلی، ضریب کاپا و دقت کاربر محاسبه شد. قدرت تفکیک مکانی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در باندهای مرئی و مادون‌قرمز ۳۰ متر است و برای ارزیابی میزان دقت شاخص‌های مورداستفاده در تصاویر لندست، وجود تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالاتر ضروری است. با توجه به در دسترس بودن تصاویر سنتیل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر و هم‌زمانی زمان تصویربرداری از این منطقه در دو سنجنده گفته شده، از تصاویر حاصل از سنجنده یادشده برای دقت‌سنجی محاسبهٔ شاخص‌ها درتصویر 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 ژائوتعلق دارد. ضریب کاپا هم نمایانگر تمیز دادن بهتر پهنه‌های آبی نسبت به خشکی در شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب است.

جدول ۳. خطاهای محاسبه‌شده شاخص‌های طیفی در دریاچهٔ سد لار

شاخص	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت کاربر
نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی	۹۷/۳۵۲٤	۰/۹۱۷۸	۹۰/۳٤
شاخص اصلاحی نرمال شده تفاوت آب	۹۷/٦٤٦۳	۰/۹۲٤۷	۹۲/۳۲
نرمال شده تفاوت آب ژائو	۹۷/۲۹۳۱	۰/۹۱٦٥	۹۱/۱۳
نرمال شده تفاوت آب مک فیترز	۹۷/٤٤۱٦	۰/۹۲۰۰	۹۱/۲٤

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 پهنهٔ آبی برآورد شده با شاخص یادشده به میزان ۶/۴ کیلومترمربع بسیار نزدیک به مساحت به‌دست‌آمده 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 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، کم‌عمق یا عمیق بودن، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و ...) در محدوده اطراف دریاچه سد ثبت و با لایه‌های استخراج‌شده 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).



شکل ۴. مقایسهٔ پهنه آبی استخراج‌شده با شاخص‌های چهارگانه نسبت به نقاط ثبت زمینی

نتایج نشان می‌دهد که شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو، مناطق با پوشش گیاهی انبوه را نیز به‌عنوان 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 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 پهنهٔ آبی نسبت به گیاه و خاک دارد.

٤. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی، پهنه‌های آبی به‌عنوان یکی از زیربنایی‌ترین سرمایه کشورها، موردتوجه 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 شدهٔ تفاوت پوشش گیاهی، نرمال شدهٔ تفاوت آب ژائو، نرمال شدهٔ تفاوت آب مک فیترز و شاخص اصلاحی نرمال شدهٔ تفاوت آب استفاده شد تا توانایی شاخص‌ها در شناسایی سطوح آبی سنجیده شود.

در بین شاخص‌های چهارگانه استفاده شده برای شناسایی سطح آب دریاچهٔ 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 به‌دست‌آمده 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 با 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 محاسبه‌شده 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 محاسبه‌شده برای این شاخص به ترتیب ۹۷/۳۵ و ۰/۹۱۸ است.

باعنایت به نتایج حاصل از اعمال شاخص‌ها و بازدید میدانی از اطراف دریاچهٔ سد لار، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاخص نرمال شده تفاوت آب ژائو به دلیل استفاده از باندهای مادون‌قرمز نزدیک و میانی، حساسیت زیادی به مناطق دارای پوشش گیاهی دارد، پس مناطق دارای پوشش گیاهی را هم جزء دریاچهٔ سد محسوب نموده است. همین مسئله باعث شده تا این شاخص مناطقی با فاصله زیاد از دریاچهٔ سد را هم جزء این پهنه آبی به‌حساب 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 درمجموع، استفاده از این شاخص، شرایط واقعی‌تری 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

شاخص‌های نرمال شده تفاوت آب ژائو و مک فیترز 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 صحت‌وسقم شاخص‌های مورداستفاده با دقت بیشتری بررسی شوند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی به‌منظور ارزیابی بهتر شاخص‌های گفته شده هم‌زمان از چند پهنهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: منطقه آبدانان). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۱۳۹۴؛۲۴(۶۲):۵۱-۹۲.

[۲] هاشمی تنگستانی مجید، بیرانوند سمیه، طیبی محمدحسن. آشکارسازی تغییرات دریاچهٔ بختگان فارس در بازهٔ 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-2Multispectral Datal. 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. International journal of remote sensing. 2006 Jul 20;27(14):3025-33.

[6] Rundquist D, Lawson M, Queen L, Cerveny 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، جعفربیگلو 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 سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (مطالعهٔ موردی: تحت واحد شهرآباد زیرحوزه آبخیز حبله‌رود). فصلنامهٔ انسان و محیط‌زیست. ۱۳۹۴؛ ۳۳: ۴۵-۵۸.

[۱۲] گمشادزایی محمدحسن، رحیم زادگان 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 چرخهٔ آب برای پایداری زمین؛ ۱-۳ اردیبهشت ۱۳۹۵؛ سنندج، ایران.

[۱۴] رضازادگوهری فرشته، امامی حسن. بررسی میزان آب دریاچهٔ ارومیه با استفاده از شاخص‌های NDVI وNDWI. 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، علیمرادی محمد رضا و همکاران. بررسی قابلیت داده های ماهواره ای چند طیفی در تهیه نقشه عمق آب و اراضی مجاور ذخیره گاههای آبی (مطالعه موردی: ذخیره گاههای آبی چاه نیمه های سیستان). تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳۹۵؛۱۲(۳): ۱۳۰-۱۴۱.

[۱۷] طاهریان الهام، خواستار بروجنی میلاد، صمدی حسین. مقایسهٔ عملکرد خرد پیکسلی دو شاخص MNDWI و AWEI shadow در تفکیک رودخانه‌های کم‌عرض و کم‌عمق. نشریهٔ 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 دریاچهٔ پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور. هیدروژئومورفولوژی. ۱۳۹۶؛(۱۳): ۹۹-۱۲۰.

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

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