

پایش و پیش‌بینی کیفیت آب به روش دورکاوی آماری بر پایه داده‌های محدود (بررسی موردی: سد مخزنی گلابر)

نسرین دوستی^۱، عباس مالیان^{۲*}، مهدی عربی^۳

nasrindousty@gmail.com

^۱ کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

a.malian@sru.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

arabi350@yahoo.com

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱

چکیده

هدف کلی این مطالعه استخراج الگوریتمی ساده برای بازیابی پارامترهای کیفیت آب سدهای مخزنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ است. پارامتر کیفیت آب مورد مطالعه هدایت الکتریکی است که از پارامترهای اصلی کیفیت آب بوده و می‌توان بر اساس مقادیر آن سطح کیفیت آب را بررسی نمود. تجزیه و تحلیل رگرسیون بین مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی در سه ایستگاه نمونه‌برداری و مقادیر بازتاب از سطح آب، به دست آمده از باندهای طیفی لندست ۸ انجام گرفت و مدل‌های رگرسیون برای به دست آوردن مقادیر هدایت الکتریکی در کل سطح سد توسعه داده شد. در نهایت با اعمال مدل رگرسیون روی تصویر ماهواره‌ای منطقه، نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی سد گلابر زنجان برای ماه‌های مرداد و شهریور سال ۹۴ به دست آمد. سپس با داشتن اطلاعات ده ماه گذشته از سه ایستگاه، مقادیر هدایت الکتریکی هر سه ایستگاه با تحلیل روند سری زمانی پیش‌بینی شد و نقشه‌های توزیع پارامتر هدایت الکتریکی مرداد و شهریور ۹۴ این بار با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده به دست آمد و نتایج مقایسه شد. نتایج نشان داد که بیشتر پیکسل‌های نقشه، از نظر هدایت الکتریکی اختلافی کمتر از ۵۰ واحد دارند و استفاده از پیش‌بینی با سری‌های زمانی در مواقعی که کمبود مشاهدات میدانی مطرح است، می‌تواند مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، کیفیت آب، هدایت الکتریکی، تحلیل رگرسیون، داده‌های محدود، سد گلابر

۱. مقدمه

۱-۱. تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق

آب از جمله ارزشمندترین میراث طبیعی است که برای زنده ماندن بشر و سلامت اکوسیستم زمین ضرورت دارد. امروزه،

با پیشرفت علم و فناوری، افزایش جمعیت، صنعتی شدن، فعالیت‌های کشاورزی و تحولات شهری، آسیب‌های جدی به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد شده است. فاضلاب خانگی، پساب کارخانه‌ها و ضایعات شیمیایی کشاورزی می‌تواند به افت کیفیت آب منجر شود [۱].

دور ابزار مفیدی برای مطالعه آلاینده‌ها و کیفیت آب برای مدیران منابع آب است.

۱-۳. مروری بر مطالعات پیشین

ریچی و همکاران، سنجش از دور را به‌عنوان یک روش برای ارزیابی کیفیت منابع آب معرفی کردند. آن‌ها معتقدند که یکپارچگی داده‌های سنجش از دور، سامانه اطلاعات مکانی^۱ و سامانه تعیین موقعیت جهانی یک ابزار ارزشمند برای نظارت و ارزیابی آب‌ها فراهم می‌کند. این محققان، اصول کاربرد دورکاوی در کیفیت‌سنجی آب‌ها مانند غلظت کلروفیل و رسوبات معلق را با جزئیات مفیدی برای ارزیابی آن‌ها ارائه کرده‌اند [۲]. ملسه و همکاران توسعه سنجنده‌های مختلف برای نقشه‌برداری محیط‌زیست، منابع طبیعی و روش‌های اخذ داده‌ها را بررسی و گزارش کرده‌اند. همچنین خلاصه‌ای از برخی کاربردهای مهم در مطالعات و مدل‌سازی زیست‌محیطی را در تحقیق خود آورده‌اند. مزایای سامانه‌های سنجش از دور شامل پوشش مکرر، تنوع توان تفکیک‌های طیفی، پرتوی، مکانی سنجنده‌ها و روابط بین آن‌هاست [۳].

چن و همکاران طی تحقیقی در چین، کیفیت آب رودخانه را با استفاده از نمونه‌های محلی پارامترهای کیفیت آب شامل اکسیژن‌خواهی شیمیایی^۲، غلظت نترات و فسفات و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای به دست آوردند. اکسیژن‌خواهی به‌عنوان شاخص آلودگی آلی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص آلودگی مرکب^۳ به‌عنوان مقیاس آلودگی استفاده شده و با استفاده از نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌ها و در مکان نمونه‌ها محاسبه شد. پس از تبدیل مقادیر عددی تصاویر به مقادیر بازتاب آب در باندهای ۱ تا ۶، ۲۴۰ ترکیب باندی نامزد از آن به دست آمد تا تحلیل رگرسیون بین این ترکیبات باندی و مقادیر شاخص ایستگاه‌ها انجام گیرد [۴].

همکاران مطالعه‌ای مربوط به اثرات فعالیت‌های اکتشاف نفت در محیط‌زیست ساحلی ارائه دادند. برای انجام این پژوهش از دو تصویر تصحیح شده ماهواره لندست^۴ مربوط به سال ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ برای تشخیص تغییرات ۱۶ ساله در پوشش زمین و کاربری زمین از جمله تغییر در آب، پوشش گیاهی و مناطق نشن نفت خام به‌عنوان یک منبع آلودگی، استفاده

نظارت و ارزیابی کیفیت آب‌ها، برای مدیریت و بهبود کیفیت آن‌ها حیاتی است. هم‌اکنون، اندازه‌گیری‌های در محل و نمونه‌برداری از آب، تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی برای ارزیابی کیفیت آب استفاده می‌شود. در حالی که این اندازه‌گیری‌ها تنها در یک نقطه از زمان و مکان دارای دقت مناسب‌اند و نمی‌توانند دید مکانی و زمانی مورد نیاز در پهنه‌های بزرگ آبی را برای مدیریت کیفیت آب فراهم کنند؛ بنابراین، استفاده از فناوری‌هایی مانند سنجش از دور به‌عنوان یک ابزار در ارزیابی و نظارت بر کیفیت آب در کنار مشاهده‌های میدانی می‌تواند بسیار مفید باشد. در واقع بررسی کیفیت آب با روش دورکاوی، به دلیل وجود ارتباط معنادار بین پارامترهای کیفیت آب اندازه‌گیری شده در محل و اعداد ذخیره‌شده در پیکسل‌های تصویر از راه دور امکان‌پذیر است. هدف از این مطالعه، ارزیابی کارایی سنجش از دور در زمینه کیفیت‌سنجی آب در شرایط محدودیت شدید داده‌های زمینی است.

۱-۲. سهم دورکاوی در سنجش کیفیت آب

در سنجش از دور بر پایه این اصل که رفتار طیفی آب متناسب با کیفیت (میزان و نوع ناخالصی) تغییر می‌کند با استفاده از بخش‌های خاصی از طیف الکترومغناطیسی از جمله باندهای مرئی (تقریباً ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر)، مادون قرمز (تقریباً ۷۰۰ نانومتر تا ۱۵ میکرومتر) و کهموج (۱ تا ۳۰ سانتی‌متر) می‌توان اقدام به آشکارسازی کیفیت‌های مختلف آب نمود. به‌طور کلی بخش اعظمی از تابش رسیده به آب، توسط آن جذب می‌شود و بازتاب ناچیزی از آب به سنجنده می‌رسد که با افزایش طول موج میزان این بازتاب نیز کاهش می‌یابد. آب خالص و پاک همانند جسم سیاه عمل می‌کند و در تصاویر سنجش از دور تیره‌ترین رنگ را به خود اختصاص می‌دهند. با افزایش ناخالصی‌ها و آلاینده‌ها از تیرگی رنگ آب در تصویر کاسته می‌شود و بازتاب تابش از آب افزایش می‌یابد. با مقایسه رفتار طیفی پهنه آبی مورد نظر با منحنی‌های مرجع موجود در کتابخانه‌های طیفی، می‌توان به چگونگی تأثیر حضور آلاینده‌ها در بازتاب رسیده به سنجنده پی برد. امروزه تحلیل تصاویر سنجش از

شوری، جامدات معلق، مواد جامد محلول و شاخص‌های شیمیایی شامل pH، اکسیژن محلول، اکسیژن موردنیاز بیولوژیکی، مواد مغذی (نیتروژن و فسفر)، ترکیبات آلی و معدنی (از جمله سموم). مشخص شد سنجش از دور می‌تواند برای برآورد و نقشه‌برداری غلظت مواد معلق در آب‌های داخلی و ارائه اطلاعات مکانی و زمانی مفید باشد و طول موج بین ۷۰۰ و ۸۰۰ نانومتر مفیدترین محدوده برای تعیین مواد معلق در آب‌های سطحی هستند. از آنجا که کدورت آب نیز به‌طور عمده با حضور مواد معلق ایجاد می‌شود، اندازه‌گیری کدورت اغلب برای محاسبه غلظت رسوبات معلق رودخانه استفاده شده است. بهترین رابطه کدورت با بازتاب، بازتاب قرمز است که با نتایج سازگار بود. همچنین آن‌ها سنجش از دور را برای اندازه‌گیری غلظت و الگوی کلروفیل کارا دانسته‌اند [۷]. آلپرسلان و همکاران کیفیت آب سد دارلیک را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرده‌اند. آن‌ها اساس ارزیابی کیفیت آب با سنجش از دور را امضای طیفی ناشی از حضور مواد آلی و غیرآلی در آب‌ها می‌دانند که جذب، پراکنش و ویژگی‌های شکست رو به پایین انرژی خورشیدی بر سطح آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعه این محققان به بررسی امکان وجود هرگونه تغییر در کیفیت آب سد دارلیک در مدت زمان سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ با استفاده از سنجش از دور، سامانه اطلاعات مکانی، تشخیص الگو و روش‌های تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه پرداخته‌اند. در مرحله تشخیص تغییر چندزمانه پوشش زمین انجام شده و اعتبارسنجی با اطلاعات زمینی صورت گرفته است. برای به‌دست آوردن رابطه، تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه برای هر پارامتر کیفیت آب انجام شد و پارامترها در هفت ایستگاه در تاریخ تهیه تصویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری شدند؛ بنابراین باندهای تصاویر ماهواره لندست به‌خوبی قادر به استفاده در مطالعات اندازه‌گیری پارامتر کیفیت آب است. درنهایت، مرحله تشخیص چند زمانه کیفیت آب، با روش‌های تشخیص الگو انجام گرفت و تصاویر دریاچه مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ با استفاده از روش رده‌بندی کمینه فاصله انجام شد [۸]. زیون و همکاران غلظت کلروفیل مخزنی در چین را با استفاده از مشاهدات میدانی و تصاویر

شد. همچنین داده‌های شاتل فضایی برای تولید مدل رقومی ارتفاعی^۵ به‌کار گرفته شد که از آن برای مطالعات زمین‌شناسی منطقه، تولید نقشه شیب و شبکه زهکشی استفاده شده است. بر اساس یافته‌های بررسی ژئوالکتریکی در منطقه، زمین‌شناسی زیرسطحی و تعیین ضخامت لایه‌های سنگی انجام شد. تحقیقات میدانی نیز انجام شده و آلاینده‌های آب سطحی و زیرزمینی نظارت و اندازه‌گیری شد. سامانه اطلاعات مکانی شامل تمام این لایه داده‌ها به همراه لایه‌های اطلاعاتی دیگر مانند بارندگی، رطوبت، دما و غیره استفاده شد. پارامترهای مختلف زیست‌محیطی که ممکن است توسط آلودگی ناشی از فعالیت‌های مربوط به صنعت نفت باشد، مشخص شد و نقاط حساس که ممکن است به تخریب زیست‌محیطی منجر شود، علامت‌گذاری شد تا برای اقدامات فوری در حفاظت از محیط‌زیست آماده شود [۵]. سانگ و همکاران در مطالعه‌ای شایع‌ترین مشکل زیست‌محیطی آب‌های داخلی، یعنی مداخلات نسنجیده انسانی که بیشتر به‌عنوان یک نتیجه از توسعه اقتصادی و تخلیه بی‌رویه فاضلاب است را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه ۲۲۵ نمونه از یک مخزن آب آشامیدنی در چین در طول ۱۲ بار کار میدانی از آوریل ۲۰۰۶ تا سپتامبر ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار دادند که در آن کار میدانی انجام شده در ۱۷ ژوئیه ۲۰۰۷ و ۱۳ سپتامبر ۲۰۰۸ هم‌زمان با گذر ماهواره IRS-P6 بود. برای این تحقیق غلظت کل مواد معلق^۶ از پارامترهای اصلی کیفیت آب است که می‌تواند با استفاده از داده‌های سنجش از دور ارزیابی شود. مدل‌های رگرسیون تجربی برای تجزیه و تحلیل رابطه بین غلظت کل مواد معلق و تابش‌های دریافتی ماهواره گسترش داده شد. محققان دریافتند که مدل رگرسیون با باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک ماهواره IRS-P6 به‌عنوان ورودی، به‌خوبی و با دقت بالا ($R^2=0.94$) برای تخمین غلظت کل مواد معلق برازش می‌یابد [۶]. آسالی و همکاران در مطالعه‌ای کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی را در نظارت بر کیفیت آب بررسی کرده‌اند. آن‌ها شاخص‌های کیفیت آب را به‌صورت زیر رده‌بندی کرده‌اند: شاخص‌های زیستی شامل باکتری‌ها و جلبک‌ها. شاخص‌های فیزیکی شامل دما، کدورت و وضوح، رنگ،

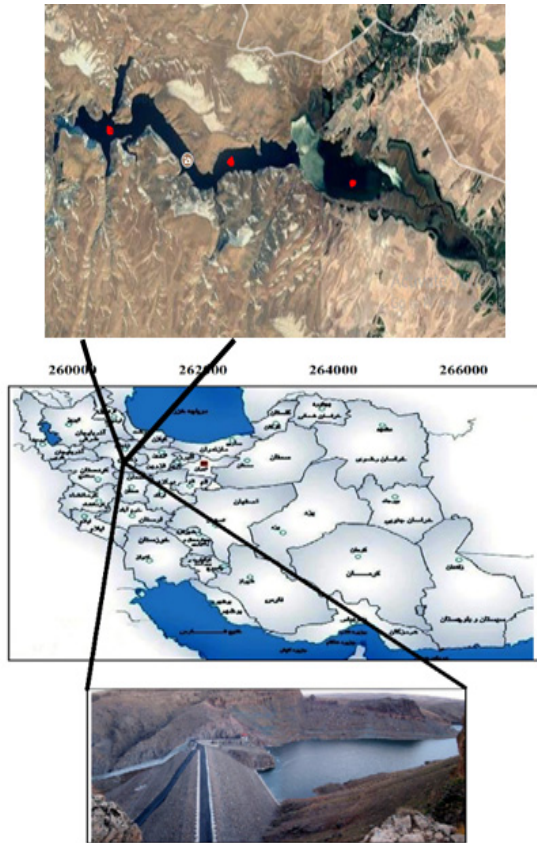
سنجش از دور به دست آوردند. اندازه گیری های میدانی شامل اندازه گیری های در محل (pH و اکسیژن محلول) بوده است. دو نقطه نمونه برداری وجود داشته و فاصله نمونه برداری ها دو هفته بود. برای پیدا کردن بهترین الگوریتم بازیابی کلروفیل، چندین الگوریتم رگرسیون ساده خطی مانند تفاوت باندی و نسبت باندی آزمایش شدند و سرانجام مناسب ترین الگوریتم انتخاب شد. در نهایت با استفاده از الگوریتم، نقشه غلظت کلروفیل به دست آمد. غلظت کلروفیل مدل شده در نوامبر ۲۰۰۵، وقتی که با مشاهدات میدانی اندازه گیری شده؛ مقایسه شد، با خطای میانگین مطلق ۰/۰۰۲ میلی گرم بر لیتر، دقت قابل قبولی دارد [۹]. اوباده و همکاران نقش سنجش از دور را در کیفیت آب و خاک سامانه های کشاورزی بررسی کرده اند. طبق یافته های این محققان، انتخاب طول موج بهینه برای اندازه گیری کیفیت آب دشوار است؛ زیرا بسته به غلظت مواد خواسته و ناخواسته، مواد شیمیایی در آب و قابلیت های سنجنده متفاوت خواهد بود. مطالعات نشان می دهد که باندهای طول موج مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی را می توان برای شناسایی تنوع در منابع طبیعی مورد استفاده قرار داد [۱۰]. شریف و همکاران روش جدیدی برای یافتن آلاینده ها و تعیین پارامترهای کیفیت آب بر اساس نظریه های تجزیه و تحلیل بافت مطرح کردند. در این مطالعه از اندازه گیری pH، فسفات و نیترات در ۸ ایستگاه موجود در رود دجله و تصویر آیکونوس منطقه، برای نظارت بر کیفیت آب استفاده شده است. تصویر آیکونوس بخش بندی^۷ شد و به طبقات زمین، آب و گیاه رده بندی شد تا مناطق آبی آن جدا و تصویر فقط آب تولید شود. ماتریس هم رویدادی درجه های خاکستری^۸ یک رویکرد آماری برای بررسی بافت است که رابطه مکانی پیکسل ها را در نظر می گیرد و بافت تصویر را با محاسبه چگونگی ارتباط پیکسل های با ارزش خاص و در ارتباط مکانی مشخص شده در تصویر مشخص می کند. به این ترتیب شش پارامتر بافت شامل تباین، همبستگی، انرژی، همگنی، آنتروپی و واریانس، در محل نمونه ها از تصویر آب استخراج می شوند که به عنوان پارامترهای مستقل در تحلیل رگرسیون استفاده می شوند تا با داشتن یک معادله تجربی، سه پارامتر

کیفیت آب در کل تصویر آب به دست آید. پارامترهای بافت در ۴ ایستگاه برای آموزش مدل و در ۴ ایستگاه دیگر برای آزمایش مدل به کار گرفته شده اند. در نهایت برای محاسبه هر پارامتر کیفیت آب در تصویر، معادلاتی برحسب پارامترهای بافتی که بیشترین همبستگی را با آن دارند به دست آمد و کیفیت آب منطقه با خوشه بندی فازی مشخص شد [۱۱]. تائو و همکاران داده های فاقد ابر لندست ۸ را برش داده، تصحیح جوی و هندسی نموده و داده های بازتاب تصاویر را به دست آوردند تا به همراه ۶ ایستگاه اندازه گیری اکسیژن خواهی شیمیایی، کیفیت آب دریاچه تای را ارزیابی کنند. با مقایسه رابطه مطلوب بین ترکیبات باند و داده های میدانی، بهترین باندهای مربوط به این سه شاخص برای ایجاد مدل پیش بینی پیشرفته اکسیژن خواهی شیمیایی^۹ انتخاب شد. پس از به دست آمدن این سه شاخص، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی در آب دریاچه محاسبه شد [۱۲]. هانسن و همکاران با استفاده از مدل های سنجش از دور، غلظت کلروفیل در مخازن را از طریق همبستگی بازتاب طیفی و کلروفیل مخازن برآورد کردند. در این مطالعه محققان با استفاده از داده های دو مخزن یوتا که مجموعه داده های میدانی جامع و بلندمدت برای توسعه مدل دارند، مدل های فصلی ایجاد و مدل های برآورد کلروفیل را به ۵ مخزن در شمال مرکزی یوتا اعمال کردند و غلظت کلروفیل را برای هر مخزن در طی یک دوره نزدیک به ۴۰ سال با استفاده از آرشیو تصاویر لندست به دست آوردند. در این مطالعه محققان دریافتند که مدل های فصل خاص برای تصاویر ماهواره ای از همان فصل به خوبی انجام می شوند، اما در برابر تصاویر فصل های دیگر خوب عمل نمی کنند [۱۳]. مشتاق و همکاران از یک تصویر لندست ۸ برای تعیین پارامترهای کیفیت آب یک دریاچه آب شیرین استفاده کردند. پارامترهای کیفیت آب دریاچه نیز در ۱۱ ایستگاه نمونه برداری شد. پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه، همبستگی خوبی برای برازش خطی و نمایی با مدل رگرسیون تک متغیره تولید کرده اند. در میان مدل های رگرسیون مختلف، مدلهایی که بالاترین مقدار R^2 دارند، برای برآورد از راه دور پارامترهای کیفی آب و پیش بینی توزیع مکانی آن ها انتخاب شدند [۱۴]. حاجی قلی زاده و

فاسفر، کل نیتروژن و اکسیژن خواهی بیوشیمیایی که بیشتر با استفاده از تصویر لندست ۵ وجود داشت در این مطالعه استفاده شد. پس از به دست آمدن نقشه توزیع مکانی هر یک از پارامترها، عملیات برهم‌نهی وزن‌دار در محیط سامانه اطلاعات مکانی انجام شد و نقشه پهنه‌بندی آلودگی آب به دست آمد [۱۸]. مالیان و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی شاخص هدایت الکتریکی آب سد دز پرداختند. در این مطالعه تصویر استر هم‌زمان با ۶ نمونه میدانی موجود به صورت هندسی، پرتوی و جوی تصحیح شد و با شاخص‌های طیفی آب از تصویر جدا شد و ابرها از آن حذف شدند. پس از یافتن ترکیب طیفی بهینه، با یک معادله خطی چندمتغیره حاصل از تحلیل رگرسیون، نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی به دست آمد و با مقادیر حاصل از ایستگاه‌های زمینی مقایسه شد که نتایج تحقیق نشان‌دهنده انطباق قابل قبول داده‌های هدایت الکتریکی حاصل از تصاویر سنجنده استر و تحلیل‌های رگرسیون مکانی با داده‌های کنترلی بود [۱۹].

ساکیزاده و همکاران از تبدیل مؤلفه اصلی^{۱۶} برای مدل‌سازی کیفیت آب با مجموعه داده کوچک استفاده کردند. ایشان برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی و یک شاخص طیفی برای تشخیص آب پیاده‌سازی نمودند. تبدیل مؤلفه اصلی امکان کاهش ۱۷ پارامتر کیفیت‌سنجی آب به ۶ پارامتر مهم‌تر را فراهم ساخت. با توجه به دستیابی به ضریب R^2 معادل ۰/۸۰ و ضریب همبستگی معادل ۰/۹۱ کارایی این شیوه پیشنهادی برای پیش‌بینی کیفیت آب در شرایط مشابه تأیید شد [۲۰]. مالیان و همکاران با پیاده‌سازی تحلیل رگرسیون خطی چندگانه^{۱۷} بر روی تصاویر سنجنده استر به کمک روش‌های زمین آماری اقدام به مدل‌سازی دمای سدهای مخزنی نمودند و شاخص R^2 بین کمیت اندازه‌گیری شده و محاسبه شده معادل ۰/۸۷ به دست آوردند. آن‌ها پس از اعتبارسنجی مدل دما، صحت داده‌های درونیابی شده در دور دست‌های سد را نیز مورد ارزیابی قرار دادند. شاخص خودهمبستگی مکانی^{۱۸} و تحلیل خوشه و ناخوشه^{۱۹} و لکه داغ^{۲۰} بر نتایج حاصل از پردازش تصویر ماهواره‌ای صورت گرفت. درونیابی با فواصل بلند برای مدل‌سازی حرارتی آب در مناطق داخلی سد نتایج قابل قبولی نشان داد [۲۱].

همکاران در مطالعه‌ای به بررسی کاربرد سنجنده‌های هوابرد و فضابرد در ارزیابی کیفیت آب پرداخته‌اند. در این مطالعه، اهمیت کیفیت آب و محدودیت روش‌های سنتی ارزیابی کیفیت آب به‌طور کامل بحث شده است، سپس از سنجش از دور به‌عنوان مهم‌ترین روش نظارت بر آب‌ها یاد شده و مزایای آن بیان شده است [۱۵]. عبدالملک در مطالعه‌ای نقش سنجش از دور آماری برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب را بررسی کرد. در این مطالعه از ۱۸ نمونه از آب دریاچه قارون از پارامترهای دما، کدوری، غلظت یون هیدروژن (pH)، شوری، کل جامدات محلول^۱، هدایت الکتریکی^{۱۱}، درجه کلیایی، کل کربن آلی^{۱۲} و کل فسفر^{۱۳} موجود در آب برداشت شد و با تصویر ماهواره‌ای استر^{۱۴} برای مدل‌سازی استفاده شد. ۱۵ نمونه برای ساخت مدل ریاضی بین مقادیر نمونه‌ها و بازتاب تصویر و ۳ نمونه برای آزمایش مدل استفاده شده است. با داشتن نمونه‌ها و مقادیر بازتاب از تصویر، تجزیه و تحلیل رگرسیون بین این دو دسته اطلاعات انجام شد و بهترین الگوریتم‌ها از نظر دقت انتخاب شد. با انتخاب بهترین رابطه از نظر همبستگی، مقادیر پارامترهای کیفیت آب محاسبه شده و در نهایت نقشه توزیع مکانی هر یک از پارامترها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به دست آمده است. در بیشتر موارد همبستگی قابل توجهی بین مقادیر مشاهده شده و داده‌های تصویری وجود داشته و نقشه‌های توزیع مکانی پارامترها با دقت بالایی به دست آمده‌اند [۱۶]. دینگ و همکاران نیتروژن آمونیاک و اکسیژن خواهی شیمیایی، دو نوع آلاینده‌های عمده رودخانه هون را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها برای این مطالعه از ۱۰ نمونه جمع‌آوری شده از رودخانه و تصاویر لندست استفاده کرده‌اند. تجزیه و تحلیل همبستگی بین هر باند و ترکیب باندی با محتوای نیتروژن آمونیاک و مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی اندازه‌گیری شده انجام گرفت. سپس باند یا ترکیب باندی با بالاترین همبستگی مناسب به‌عنوان عامل ساخت مدل انتخاب شد [۱۷]. الزینی و همکاران در مطالعه خود از تصاویر لندست ۸ برای ارزیابی آلودگی دریاچه برولوس^{۱۵} استفاده کردند. با رده‌بندی تصویر به روش بیشینه احتمال نقشه مربوط به پوشش و کاربری زمین به دست آمد. سه مدل تجربی برای محاسبه سه پارامتر کل



شکل ۱. تصویر موقعیت سد گلابر در استان زنجان و موقعیت نقاط نمونه برداری کیفیت آب در آن

۲-۲. داده‌ها

دو نوع داده برای انجام این نوع از تحقیقات مورد نیاز است که عبارت‌اند از مشاهدات میدانی و تصاویر سنجش از دور. مشاهدات میدانی شامل اندازه‌گیری‌های پارامتر $EC^{۲۲}$ در سه ایستگاه نمونه برداری در سراسر سد است که اطلاعات یک‌ساله (مهر ۹۳ تا شهریور ۹۴) در اختیار قرار گرفت. هشتمین ماهواره از خانواده لندست که از سال ۲۰۱۳، به جمع‌آوری اطلاعات چندطیفی با توان تفکیک مکانی ۳۰ متری می‌پردازد، برای استفاده در این مطالعه انتخاب شد چرا که با داشتن ۱۱ باند طیفی در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه موج و مادون قرمز حرارتی، توان تفکیک طیفی مطلوبی برای تحلیل پارامترهای کیفی آب دارد و دسترسی به تصاویر آن آسان و به صرفه است. همچنین اطلاعات منابع موجود نشان داده که سنجنده‌های لندست، برای اندازه‌گیری بسیاری از پارامترهای مهم کیفیت آب، مانند میزان کلروفیل، کل مواد معلق، کدورت، اکسیژن

اورلاندی و همکاران در مطالعه‌ای از تصاویر چندطیفی ماهواره سنتینل ۲ برای محاسبه پارامترهای کلروفیل در آب، مواد معلق در آب و کدورت آب رودخانه‌ای در ایتالیا استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که با وجود تعداد کم مشاهدات زمینی، باندهای مرئی و مادون قرمز این ماهواره، توانایی قابل توجهی در تخمین پارامترها داشته است؛ بنابراین تصاویر چندطیفی سنتینل ۲ را ابزار مهمی در پایش کیفیت آب معرفی کردند [۲۲].

همان طور که مرور شد، محققان پارامترهای مختلف کیفیت آب را با اعمال روش‌های رگرسیون بین تعدادی نمونه و بازتاب موجود در تصویر ماهواره‌ای به دست آورده‌اند. از آن جا که منطقه مطالعاتی، زمان و شرایط آب و هوایی هر مطالعه، تعداد نمونه‌های میدانی و تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده آن‌ها متفاوت است، روابط آماری به خصوصی برای هر پارامتر کیفیت آب در هر منطقه به دست می‌آید؛ بنابراین هر تحقیق با شرایط موجود، نیازمند تحلیل ویژه خود است. در ادامه به حل مسئله مطرح در این مطالعه پرداخته می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی گلابر در استان زنجان در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان و ۳ کیلومتری روستای گلابر و بر رودخانه سجاس شهرستان ایجرود واقع شده است مشخصات جغرافیایی این سد به طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۶۵۰ متر است (شکل ۱). این سد بزرگ‌ترین سد استان زنجان است و از نظر اقتصادی و کشاورزی اهمیت زیادی برای این منطقه دارد، با بهره‌برداری از این سد در پایان خرداد ماه سال ۱۳۹۰، هشت هزار هکتار اراضی دیم شهرستان ایجرود به آبی تبدیل می‌شود و علاوه بر آن، آب صنایع از جمله پتروشیمی را تأمین می‌کند. این سد با اهداف تأمین آب کشاورزی، صنایع و خدمات، افزایش تولیدات محصولات کشاورزی، صنایع جانبی و ایجاد شغل احداث شده است.

شده‌اند و برای ورود به مرحله پردازش مناسب نیستند. آنچه در این خصوص از تصویر موردنیاز است کمیت مرتبط با بازتاب از سطح آب است. از طرفی دیگر، تصاویر مربوط به دو ماه مختلف از سال است و شرایط تصویربرداری ماهواره کاملاً متفاوت بوده است. در نتیجه انجام واسنجش پرتوی و تصحیح جوی برای تک‌تک این تصاویر الزامی است. واسنجش پرتوی مجموعه‌ای از شیوه‌هاست که در طول پردازش داده‌های دور‌کاوی انجام می‌شود و شامل اصلاحات مربوط به حساسیت سنجنده، اثر توپوگرافی، نوسان فصلی، تغییر زاویه خورشید و پراکندگی و جذب پرتو الکترومغناطیس در جو می‌شود. برای انجام تصحیح رادیومتری در اولین گام مقادیر رقومی به تابش طیفی تبدیل می‌شود که این عمل با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده و رابطه زیر انجام می‌شود:

$$L = Gain \times DN + Offset \quad (1)$$

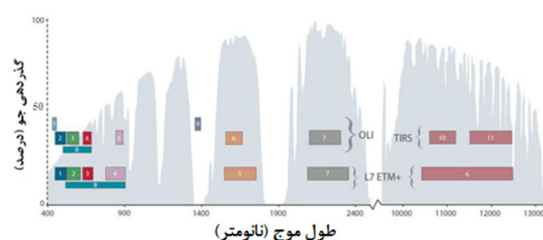
که در آن L تابش طیفی ($W m^{-2} Ster^{-1} \mu m^{-1}$)، DN ارزش رقومی پیکسل (۰ تا ۲۵۵) و $Gain$ و $Offset$ ضرایب کالیبراسیون سنجنده (بهره و فاصله از مبدأ) هستند. در مرحله بعد، طبق رابطه ۲ مقدار تابش طیفی به بازتاب طیفی تبدیل می‌شود.

$$\rho = \frac{\pi L d^2}{ESUN \cos(SZ)} \quad (2)$$

که در آن ρ بازتاب طیفی در جو، d فاصله زمین و خورشید بر اساس واحدهای سماوی، $ESUN$ ارتفاع خورشید و SZ زاویه تابش در زمان تصویربرداری ماهواره‌ای است. با تبدیل مقادیر تابش طیفی به بازتاب طیفی، آثار مربوط به تغییر شرایط نوردهی، فصل، عرض جغرافیایی، شرایط آب‌وهوایی روی تصویر حذف می‌شود و نتیجه حاصل نسبتاً استاندارد شده است که مستقیماً برای مقایسه بازتاب پدیده‌ها بین تصاویر مختلف و یک تصویر در زمان‌های مختلف کاربرد دارد.

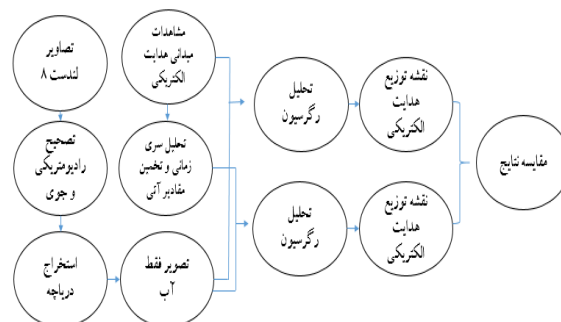
تصحیح اثر جو نیز یک گام ضروری از زنجیره پردازش تصویر است که برای به دست آوردن داده‌های صحیح و دقیق با استفاده از سنجنش از دور، لازم است که این تصحیح انجام شود. در این مطالعه، تصحیح جوی سریع^{۲۴} با نرم‌افزار ENVI انجام گرفت و درجات روشنایی تصویر به مقادیر بازتاب از

محلول، هدایت الکتریکی، pH و غیره با موفقیت استفاده شده است. دو سنجنده لندست ۸ باندهای جدیدی نسبت به نسل قبل از خود یعنی ETM+ دارند. این دو باند طیفی جدید به ویژه باند باریک شماره ۱ (بنفش)، امکان می‌دهد تا کیفیت آب به نحو مؤثرتری اندازه‌گیری شود که این قابلیت در نسل‌های قبلی ماهواره لندست وجود نداشت. شکل ۲ مقایسه‌ای از توان تفکیک طیفی سنجنده‌های دو ماهواره لندست ۷ و ۸ را ارائه می‌نماید.



شکل ۲. مقایسه توان تفکیک طیفی سنجنده‌های OLI و TIRS در لندست ۸ و سنجنده ETM+ در لندست ۷

داده سطح T1 در قالب GeoTIFF در سیستم تصویر UTM و دستگاه مختصات WGS84 است. از آنجا که دو نوع داده میدانی و ماهواره‌ای در این گونه مطالعات استفاده می‌شود، برای تضمین صحت نتایج، هم‌زمانی بین دو گروه از داده‌ها، مهم است چراکه در غیر این صورت، تغییر شرایط آب و هوایی بین دو زمان از اطلاعات، مانع از نتیجه‌گیری مفید تحقیق خواهد شد. شکل ۳ نمودار چرخه کار پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.



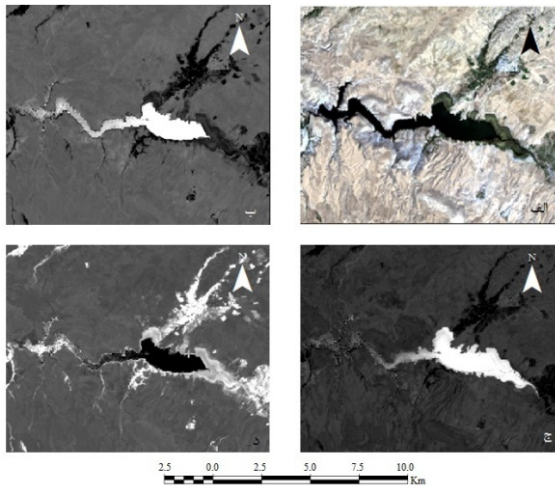
شکل ۳. نمودار چرخه کار مراحل تحقیق

۲-۳. آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای

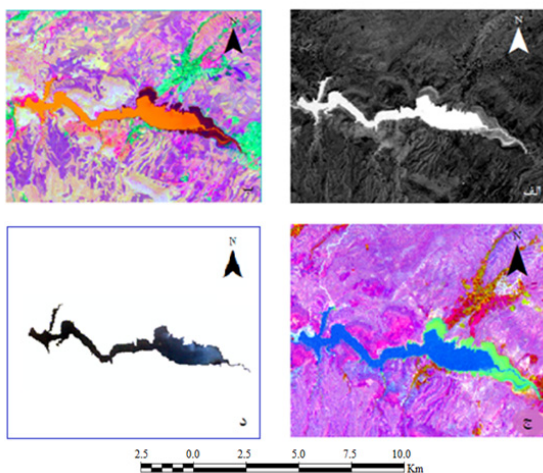
ارقام ذخیره‌شده در هر پیکسل از یک تصویر رقومی ماهواره‌ای، درجه‌های روشنی فاقد معنا و واحد فیزیکی هستند که بر پایه درجه چندی سازی^{۲۳} سامانه تصویرگر تولید

داد و با سعی و خطا حد آستانه مناسب را انتخاب و پیکسل‌های آب را از تصویر جدا کرد. با توجه به اینکه هر سه تصویر نتایج نزدیک به هم ارائه کردند، با آستانه‌گذاری بر تصویر PC در همه زمان‌ها، مناطق آبی استخراج شدند. شکل ۵ (د) پهنه فقط آب به دست آمده را نشان می‌دهد که با استفاده از بردار به دست آمده از تصویر PC و برش تصویر اصلی که با نرم‌افزار ArcGIS 10.2 انجام گرفت، تولید شد و دارای ۷ باند طیفی است.

شکل‌های ۴ و ۵ نتایج مربوط به تصویر ماه مهر ۹۳ را نشان می‌دهد. در نهایت از این پیکسل‌ها برداری استخراج شد تا به کمک آن تصویر اصلی برش داده شود. برای سایر ماه‌ها نیز همین روش در پیش گرفته شد و تصاویر فقط آب هر یک با توجه به حد آستانه مناسب ایجاد شد.



شکل ۴. (الف) تصویر RGB سد گلابر اخذ شده در مهرماه ۱۳۹۳. (ب) تصویر NDWI. (ج) تصویر MNDWI. (د) تصویر NDVI



شکل ۵. (الف) تصویر MF. (ب) تصویر رنگی کاذب PC. (ج) تصویر رنگی کاذب IC. (د) تصویر فقط آب. (سد گلابر مهر ۹۳)

سطح تبدیل شدند. در مرحله بعدی با داشتن تصاویر با مقادیر بازتاب از سطح، جداسازی آب از تصویر انجام شد تا تنها منطقه مورد مطالعه مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. این کار با استفاده از دو شاخص طیفی برای آشکارسازی آب انجام شد. به عنوان نمونه در شکل‌های ۴ (ب) و ۴ (ج) دیده می‌شود که دو شاخص NDWI و MNDWI نتایجی با تفاوت جزئی از استخراج آب در تصویر مهرماه ۱۳۹۳ ارائه کرده‌اند.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (3)$$

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (4)$$

شکل ۴ (الف) که تصویر ترکیب رنگی حقیقی مهر ۹۳ را نشان می‌دهد، رنگ سبز می‌تواند نشانگر وجود پوشش گیاهی در مناطق مجاور سد باشد، برای اثبات این موضوع از شاخص NDVI استفاده شد. نتیجه نشان می‌دهد که طبق شکل ۴ (د) پوشش گیاهی اطراف سد وجود دارد؛ تفاوت دو شاخص طیفی برای تشخیص آب ناشی از همین مسئله است. به عبارت دیگر، شاخص MNDWI پوشش‌های گیاهی اطراف سد را به اشتباه به عنوان آب شناسایی کرده است. همچنین شاخص NDWI نیز مقدار کمی از آب‌های اطراف پوشش گیاهی را تشخیص نداده و آن‌ها را از رده آب خارج نموده است.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (5)$$

بنابراین با وجود اهمیت شاخص‌های طیفی برای شناسایی عوارض در تصویر، در برخی موارد مانند این مطالعه، برای داشتن تصویر دقیق‌تری از منطقه آبی مورد تحقیق، امتحان کردن روش‌های دیگر و انتخاب دقیق‌ترین آن‌ها پیشنهاد می‌شود. در این زمینه می‌توان از تبدیل‌های طیفی نیز استفاده کرده و تصاویر فیلتر سازگار^{۲۵}، مؤلفه‌های اصلی^{۲۶} و مستقل^{۲۷} تولید کرد. تمامی تصاویر مربوط به شاخص‌ها و تبدیل‌های طیفی را می‌توان با دسترسی آسان‌تر، با ابزار Spear LOC-Water در نرم‌افزار ENVI به دست آورد. شکل ۵ (الف تا ج) تصاویر فیلتر سازگار، مؤلفه‌های اصلی و مستقل را که آب را به خوبی آشکارسازی کرده‌اند، نشان می‌دهد.

با توجه به مقدار این تصاویر، آستانه می‌توان گذاری انجام

۲-۴. تجزیه و تحلیل رگرسیون

جدول ۱. معادلات نهایی به دست آمده از تحلیل رگرسیون برای بازیابی پارامتر EC در ۱۲ ماه

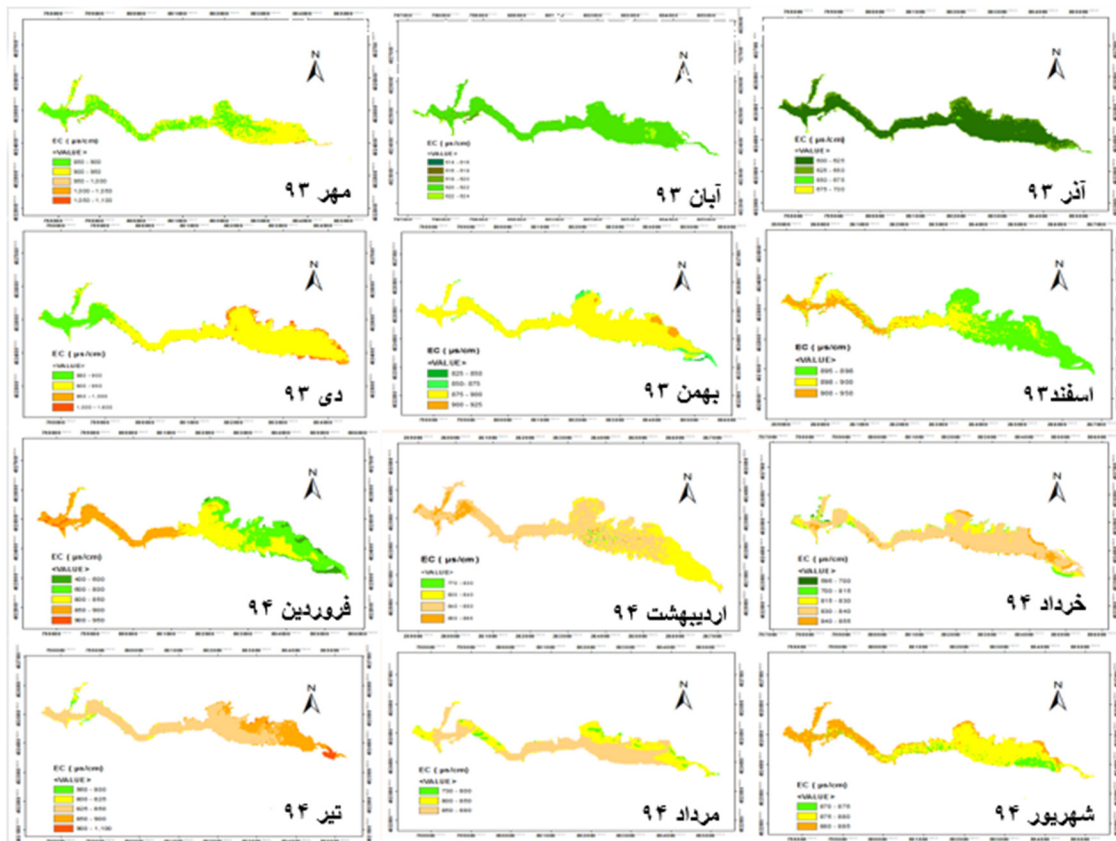
زمان	EC ($\mu\text{S/cm}$)
مهر ۹۳	$854.375 \times \exp\left(0.1217 \times \frac{b4}{b1 + b2}\right)$
آبان ۹۳	$628.930 \times (b2)^{0.002516}$
آذر ۹۳	$2352.941 \times (b1 + b4) + 599.647$
دی ۹۳	$1968.049 \times (b2 + b4) + 880.3$
بهمن ۹۳	$759.407 \times (b2 - b4) + 877.174$
اسفند ۹۳	$895.012 \times \exp\left(-0.003614 \times \frac{b2}{b3}\right)$
فروردین ۹۴	$6166.977 \times (b1 - b3) + 876.335$
اردیبهشت ۹۴	$19.108 \times \left(\frac{b1 - b2}{b1 + b2}\right) - 4.06 \times \left(\frac{b2}{b1}\right) + 846.06$
خرداد ۹۴	$-494.625 \times (b3 + b7) - 434.492 \times (b3 \times b4) + 852.762$
تیر ۹۴	$-87.079 \times \left(\frac{b6 - b4}{b1 - b3}\right) + 815.497$
مرداد ۹۴	$-621.457 \times (b3) - 247.743 \times (b1 + b2) + 880.876$
شهریور ۹۴	$-4.097 \times \left(\frac{b3}{b1}\right) + 886.025$

بنابراین مدل‌ها و روابط به دست آمده از این همبستگی‌ها، مربوط به همان زمان و شرایط است و استفاده از آن‌ها برای تحقیقات دیگر نیازمند بررسی دقیق شرایط فصلی و زمانی است. با استفاده از تحلیل رگرسیون در نرم‌افزار SPSS معادله‌های بهترین خطوط برازش شده روی نمودار دویبعدی مقادیر بازتاب و پارامتر کیفیت، به عنوان مدل ریاضی برای تخمین مقادیر پارامتر هدایت الکتریکی به دست آمدند.

۳. پیاده‌سازی روش پیشنهادی

با اعمال الگوریتم بالا بر تصاویر فقط آب، نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در سراسر سد به دست آمد که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. شکل ۷ نشان داده است که هدایت الکتریکی در مرداد ماه در بیش‌تر قسمت سد به صورت یکنواخت توزیع شده است و سکون بیشتر آب در فصل تابستان از تغییرات بیشتر مقادیر پارامترهای کیفیت جلوگیری می‌کند.

شیوه‌های همبستگی و تجزیه و تحلیل رگرسیون به‌طور گسترده‌ای برای مطالعه و بررسی توان رابطه بین متغیرهای کمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل همبستگی میزان توان و استحکام رابطه بین متغیرها را تعیین می‌کند در حالی که تحلیل رگرسیون معادلات ریاضی را بیان می‌کند که چنین رابطه‌ای وجود دارد. در مطالعه حاضر، بسته نرم‌افزاری SPSS برای اجرای هر دو تحلیل همبستگی و رگرسیون در بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته استفاده شده است. مطالعات نشان داده است که بین یک تصویر ماهواره‌ای و پارامترهای کیفیت محیط زیست ارتباطی وجود دارد؛ چراکه بازتاب ثبت شده در سنجنده از یک شیء، حاوی ماهیت و خصوصیات آن است. در این صورت مقادیر بازتاب موجود در تصویر، متغیر مستقل و مقدار پارامتر مورد نظر کیفیت آب، متغیر وابسته خواهد بود که در فرایند تحلیل رگرسیون و تشکیل مدل، مقادیر آن پیش‌بینی خواهد شد؛ بنابراین مقادیر بازتاب باندهای تصویری به صورت تک باند، نسبت بانندی یا ترکیب بانندی می‌توانند با مشاهدات میدانی وارد تحلیل رگرسیون شوند و مقادیر پارامترهای کیفیت آب در تمام نقاط تصویر را محاسبه نمایند. در تحلیل رگرسیون سعی بر یافتن همبسته‌ترین باندها با مشاهدات میدانی است تا بتوان تحلیل بهتری داشت و نتایج دقیق‌تری ارائه کرد. همبستگی مشاهدات میدانی پارامترهای کیفیت آب با مقادیر بازتاب باندها به صورت تک‌بانندی، ترکیب و نسبت بانندی در موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری تعیین شد. ضریب همبستگی میزان ارتباط متغیرها را مشخص خواهد کرد. این عدد هر چه به ۱ یا -۱ نزدیک‌تر باشد، ارتباط متغیرها با هم بیشتر خواهد بود [۲۳]. به عنوان نمونه، نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که پارامتر هدایت الکتریکی در مرداد با باندهای $b1 + b2$ ($R = 0.998$) و در شهریور با $b3/b1$ ($R = -1$) بهترین همبستگی را دارند. پس ارتباط یک پارامتر کیفیت آب با مقادیر بازتاب از سطح آب، در زمان‌ها و شرایط مختلف، متفاوت است.

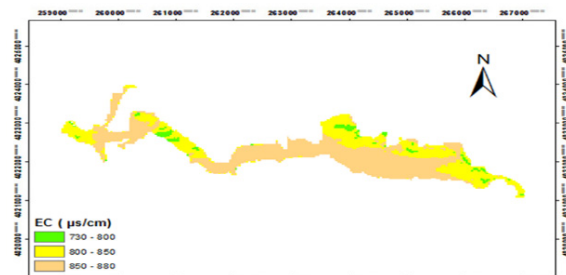


شکل ۶. نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی دریاچه سد گلابر در بازه زمانی مورد مطالعه

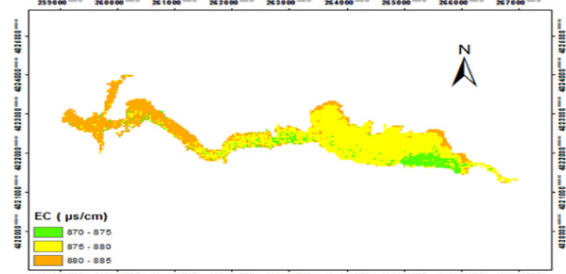
ماه قبل بود ولی در قسمت‌های نزدیک به دیوار سد، با افزایش مواجه شده است که نشانه حرکت آب به سمت دیواره و خارج شدن آب از حالت سکون است.

۴. پیش‌بینی با سری زمانی

با داشتن یک سری زمانی یک‌ساله از داده‌های سنجش از دور و پارامترهای کیفیت آب، می‌توان در واحد زمان پیش‌رفت و مقادیر را برای آینده پیش‌بینی نمود. بدین منظور با استفاده از اطلاعات ده ماه (مهر ۹۳ تا تیر ۹۴) یک سری زمانی ایجاد و مقادیر هدایت الکتریکی دو ماه بعد (مرداد و شهریور ۹۴) پیش‌بینی می‌شود. سپس با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده، نقشه‌های جدید توزیع هدایت الکتریکی به دست می‌آید و با نقشه‌های قبلی، مقایسه می‌شود که می‌تواند یک نوآوری در مطالعات کیفیت آب از طریق دورکاوی باشد. نمودار شکل ۹ پیش‌بینی مقادیر دو ماه آخر را در ایستگاه ۱ در نرم‌افزار Minitab و با استفاده از تحلیل روند درجه ۲ نشان می‌دهد. در ایستگاه ۲ و ۳ نیز این تحلیل انجام شده و مقادیر پیش‌بینی شده در جدول ۲ آورده شده است.

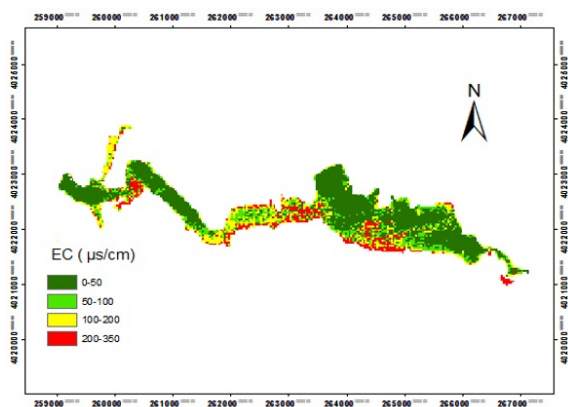


شکل ۷. جزئیات پهنه‌بندی EC دریاچه سد گلابر در مرداد ۱۳۹۴



شکل ۸. جزئیات پهنه‌بندی EC دریاچه سد گلابر در شهریور ۱۳۹۴

شکل ۸ نقشه توزیع هدایت الکتریکی شهریور ماه را نشان می‌دهد. بر اساس آنچه در این نقشه دیده می‌شود، مقادیر هدایت الکتریکی در قسمت‌های میانی و ورودی سد، مشابه



شکل ۱۰. اختلاف دو نقشه توزیع EC به دست آمده با مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده مرداد ۱۳۹۴

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که اختلاف مقادیر به دست آمده در دو نقشه توزیع چند واحد با هم اختلاف دارند. برای نمونه پیکسل‌هایی که به رنگ سبز پررنگ هستند، تفاوت مقدارشان در نقشه تولید شده با مقادیر پیش‌بینی و نقشه تولید شده با مقادیر مشاهداتی بین صفر تا ۵۰ واحد است که برای پارامتر هدایت الکتریکی این مقدار تفاوت قابل قبول است و خطای بزرگی در تصمیم‌گیری‌ها راجع به کیفیت آب به دنبال ندارد [۲۴]. هر چه این مقدار تفاوت بیشتر شود، امکان اشتباه در تشخیص کیفیت آب بیشتر می‌شود. تعداد پیکسل‌های مربوط به هر بازه اختلاف در جدول ۴ آمده است. در اینجا حدود یک سوم پیکسل‌ها با اختلاف زیادی از مقدار نقشه اصلی به دست آمده‌اند.

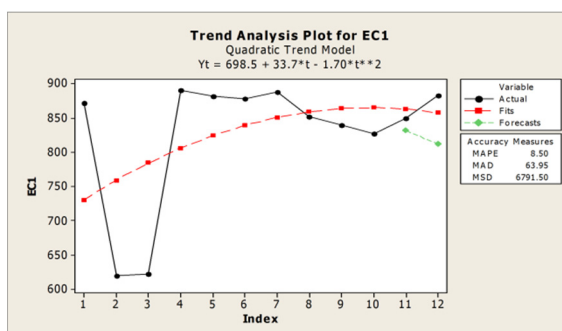
جدول ۴. اطلاعات آماری اختلاف دو نقشه توزیع EC در مرداد ۱۳۹۴

تعداد پیکسل‌ها	تفاوت پیکسل‌های متناظر
۲۴۴۲	۵۰-۰
۷۷۱	۱۰۰-۵۰
۸۳۲	۲۰۰-۱۰۰
۵۵۸	۳۰۰-۲۰۰

شکل ۱۱ نیز اختلاف دو نقشه به دست آمده از مشاهدات میدانی و مقادیر پیش‌بینی مربوط به شهریورماه را نشان داده است. جدول ۴ نیز نشان داده است که تعداد بالایی از پیکسل‌های تصویر در نقشه پیش‌بینی نزدیک به نقشه قبلی به دست آمده با تحلیل رگرسیون بوده است.

جدول ۲. مقادیر مشاهدات میدانی و پیش‌بینی شده شاخص EC با مدل روند درجه دوم

ایستگاه	زمان	مقادیر مشاهدات میدانی	مقادیر پیش‌بینی شده
شماره ۱	مرداد ۹۴	۸۴۹	۸۳۱
	شهریور ۹۴	۸۸۳	۸۱۱
شماره ۲	مرداد ۹۴	۸۷۱	۸۴۲
	شهریور ۹۴	۸۷۸	۸۳۰
شماره ۳	مرداد ۹۴	۸۶۹	۸۷۸
	شهریور ۹۴	۸۷۷	۸۸۹



شکل ۹. پیش‌بینی مقادیر EC دومه آخر با تحلیل روند برای ایستگاه ۱

پس از تحلیل همبستگی و رگرسیون با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده و بازتاب‌های تصویر، معادلات پیش‌بینی مقادیر هدایت الکتریکی در دومه مورد نظر به صورت جدول ۲ به دست آمدند و با اعمال آن‌ها روی تصویر نقشه‌های توزیع هدایت الکتریکی با مقادیر پیش‌بینی شده برآورد شد. برای مقایسه این نقشه‌ها با نقشه‌های قبلی، اختلاف آن‌ها به دست آمد که در شکل ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۳. معادلات نهایی به دست آمده از تحلیل رگرسیون با استفاده از پارامترهای پیش‌بینی شده برای بازیابی EC در مرداد و شهریور ۹۴

زمان	EC (µs/cm)
مرداد ۹۴	$531.494 \times \exp\left(0.255 \times \frac{b1}{b4}\right)$
شهریور ۹۴	$-17063.492 \times (b1 - b2) + 841.627$

در محدوده مجاز برای مصارف شیلات، کشاورزی و صنعت قرار دارد. همچنین با مقایسه نتایج نقشه‌های مرداد و شهریور که با مقادیر پیش‌بینی شده به دست آمدند با نقشه‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها، ملاحظه می‌شود که در تعداد زیادی از پیکسل‌ها، تفاوت‌ها بسیار جزئی است و این نکته می‌تواند تأییدی بر استفاده از پیش‌بینی با سری زمانی برای به دست آوردن نقشه‌های کیفیت‌سنجی آب باشد.

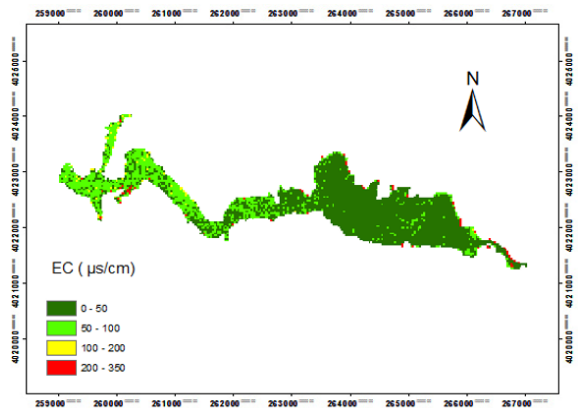
پیشنهاد می‌شود که برای انجام این نوع از مطالعات، تعداد بیشتری مشاهدات میدانی مورد استفاده قرار گیرد تا مدل‌سازی بهتر و اعتبارسنجی اطمینان‌بخش‌تری انجام شود. همچنین داشتن اطلاعات دقیق از تاریخ مشاهدات میدانی و تهیه تصاویر با نزدیک‌ترین تاریخ به مشاهدات میدانی، دقت نتایج را افزایش خواهد داد. همچنین، پیشنهاد می‌شود تعداد پارامترهای کیفیت آب نیز مورد توجه قرار گیرد. با تحلیل تعداد بیشتری از پارامترهای کیفی و تهیه نقشه حاصل از آن‌ها، با انجام تحلیل برهم‌نهی وزن‌دار^{۲۷} می‌توان نقشه‌ای نقشه جامع در خصوص کیفیت آب منطقه مورد نظر رسید.

مراجع

- [1] Usali N, Ismail M. Use of Remote Sensing and GIS in Monitoring Water Quality. *Journal of Sustainable Development*. 2010;3(3):228-238.
- [2] Ritchie JC, Zimba PV, Everitt JH. Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2003;69(6):695-704.
- [3] Melesse M, Weng Q, Thenkabail P, Gabriel S. Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modeling. *Sensors*. 2007;7(12):3209-3241.
- [4] Chen C, Tang S, Pan Z, Zhan H, Larson M, Jonsson L. Remotely sensed assessment of water quality levels in the Pearl River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*. 2007;54(8):1267-72.
- [5] Hegazy M, Effat H. Monitoring some environmental impacts of oil industry on coastal zone using different remotely sensed data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 2010;13(1):63-74.
- [6] Song K, Dongmei L, Liu D, Wang Z, Li L, Zhang B, Wang Y. Retrieval of total suspended matter (TSM) using remotely sensed images in Shitoukoumen reservoir, northeast China.

جدول ۵. اطلاعات آماری اختلاف دو نقشه توزیع EC در شهریور ۱۳۹۴

تعداد پیکسل‌ها	تفاوت پیکسل‌های متناظر
۳۲۵۱	۵۰-۰
۱۲۸۲	۱۰۰-۵۰
۷۰	۲۰۰-۱۰۰
۷۴	۳۰۰-۲۰۰



شکل ۱۱. اختلاف دو نقشه توزیع EC به دست آمده با مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده شهریور ۱۳۹۴

به منظور ارزیابی کیفیت آب یک سد، لازم است کاربری و نوع مصرف مورد انتظار (آشامیدنی، کشاورزی، صنعتی، شیلات) را مورد توجه قرار داد و با بررسی نتایج، راجع به کیفیت آب سد اظهار نظر کرد. استانداردهای کنونی برای سنجش کیفیت آب برحسب پارامتر هدایت الکتریکی برای کاربردهای گوناگون در جدول ۶ آورده شده است [۲۴].

جدول ۶. استاندارد کیفیت آب برحسب هدایت الکتریکی

پارامتر کیفی آب	مصرف شیلات	مصرف کشاورزی	مصرف صنعتی	مصرف آشامیدنی
EC (µs/cm)	کمتر از ۸۰۰۰	کمتر از ۳۰۰۰	کمتر از ۲۰۰۰	کمتر از ۱۰۰۰

۵. بحث و نتیجه‌گیری

طبق نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر در خصوص چگونگی توزیع پارامترها در سد گلابر، در طول دو ماه مطالعه شده و با در نظر گرفتن استانداردهای کیفیت آب، مشخص می‌شود که مقدار هدایت الکتریکی سد در مرداد و شهریور ۹۴ در محدوده غیرمجاز برای مصارف آشامیدنی و

- [18] El-Zeiny A, El-Kafrawy S. Assessment of Water Pollution induced by Human Activities in Burullus Lake using Landsat 8 Operational Land Imager and GIS. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2017;20(1):49-56.
- [۱۹] مالیان عباس، رضائیان هانی، ساکی‌زاده محمد، فرهنگ زینت‌السادات. مدل‌سازی و آشکارسازی پارامترهای کیفیت آب با تلفیق دورکاوی و سامانه اطلاعات مکانی (بررسی موردی سد مخزنی دز). ارائه شده در: بیست‌ویکمین همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور؛ ۱۳۹۳.
- [20] Sakizadeh M, Malian A, Ahmadpour E. Groundwater Quality Modeling with a Small Data Set. Groundwater. 2016;54(1):115-20.
- [21] Malian A, Rezayan H, Sakkizadeh H, Farhang Z. Reservoir Water Temperature Modeling by Geo-Statistical Analysis of ASTER Images (Case Study: Dez Dam, Iran). International Journal of Energy and Water Resources (IJEWR). 2017;1:27-36.
- [22] Orlandi M, Marzano F, Cimini D. Remote sensing of water quality indexes from Sentinel-2 imagery: development and validation around Italian river estuaries. The European Geosciences Union (EGU); 2018.
- [۲۳] نصیری پرویز، احمدی سیدعلی‌اکبر، صالحی علی. تحلیل آماری. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور؛ ۱۳۹۳. ص. ۲۸۸.
- [۲۴] سازمان حفاظت محیط‌زیست، معاونت محیط‌زیست انسانی، دفتر آب‌وخاک. استاندارد کیفیت آب‌های ایران، دسترسی: ۹۷/۶/۱۴.
- IGARSS Symposium; 2010 Jul 25-30; Honolulu, HI, USA. IEEE Xplore ;2010 Dec 3.
- [7] Usali N, Hasmadi M. Use of remote sensing and GIS in monitoring water quality. Journal of Sustainable Development. 2010;3(3):228-38.
- [8] Alparslan E, Coskun H, Alganci U. An investigation on water quality of Darlik dam drinking water using satellite images. The Scientific World Journal. 2010;10:1293-306.
- [9] Xiong, Y, Chen X, Qiu G, Tan S. Mapping of Chlorophyll-a concentration of reservoir Dajingshan, Zhuhai, China, from Landsat thematic mapper. IGARSS Symposium; 2011 Jul 24-29; Vancouver, BC, Canada . IEEE Xplore; 2011 Oct 20.
- [10] Obade P, Lal R, Chen J. Remote sensing of soil and water quality in agroecosystems. Water Air Soil Pollution. 2013;224(1658):1-27.
- [11] Shareef M, Toumi A, Khenchaf A. Estimation of water quality parameters using the regression model with fuzzy k-means clustering. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2014;5(6):151-57.
- [12] Tao Y, Xu M, Ma J. Estimation of CODMN in Tai lake basin using Landsat8 satellite. IGARSS. 2014.
- [13] Hansen H, Williams G, Adjei Z, Barlow A, Nelson E, James M, Woodruff A. Reservoir water quality monitoring using remote sensing with seasonal models: case study of five central-Utah reservoirs. Lake and Reservoir Management. 2015;31:240-55.
- [14] Mushtaq F, Nee Lala MG. Remote estimation of water quality parameters of Himalayan lake (Kashmir) using Landsat 8 OLI imagery. Geocarto international. 2017 Mar 4;32(3):274-85.
- [15] HajiGholizadeh M, Melesse A, Reddi L. Spaceborne and airborne sensors in water quality assessment. International Journal of Remote Sensing. 2016;37(14):3143-80.
- [16] Abdelmalik KW. Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2018 Sep 1;21(2):193-200.
- [17] Ding H, Li R, Lin H, Wang X. Monitoring and evaluation on water quality of Hun river based on Landsat satellite data. Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS); 2016 Aug 8-11;China. IEEE Xplore; 2016 Nov 10.

پی‌نوشت

1. Geospatial Information System (GIS)
2. Chemical Oxygen Demand (COD)
3. Composite Pollution Index (CPI)
4. Landsat
5. Digital Elevation Model (DEM)
6. Total Suspended Matter (TSM)
7. Segmentation
8. Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)
9. Advanced COD Forecast Index (ACFI)

10. Total Dissolved Solids (TDS)
11. Electrical Conductivity (EC)
12. Total Organic Carbon (TOC)
13. Total Phosphorus (TP)
14. Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)
15. Burullus
16. Principal Component Analysis (PCA)
17. Multiple Linear Regression (MLR)
18. Moran Auto-Correlation Index
19. Cluster Analysis
20. Hot Spot
21. Sentinel-2
- 22- Electrical Conductivity
23. Quantization
24. QUick Atmospheric Correction (QUAC)
25. Match Filtering (MF)
26. Principal Component (PC)
27. Weighted Overlay