

پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منظور پرورش آبزیان

رضا ساسان آقابابا^۱، بایرامعلی محمدنژاد^{۲*}، حمید کاردان مقدم^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات تهران،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، ایران

۳. استادیار پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۵/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۹/۳۰)

چکیده

به منظور استفاده از پتانسیل آب‌های سطحی برای پرورش آبزیان، انتخاب بازه‌های مناسب یک رودخانه از نظر کیفیت آب و غلظت آلاینده‌ها، که کمترین آثار منفی زیست‌محیطی را در پی داشته باشد، بسیار مهم است. مطالعه حاضر، برای انتخاب بازه‌هایی از رودخانه که غلظت کمتری از پارامترهای آلاینده رودخانه داشته باشد، انجام گرفته است. تصاویر ماهواره‌ای لندست، برای تطبیق وضعیت کیفی آب رودخانه، استفاده شد و با نتایج نمونه‌برداری کیفی آب در ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری واقع در طول رودخانه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد، در ۴ دوره زمانی، تحلیل شد. تحلیل همبستگی بین نتایج بازتابش تصاویر ماهواره‌ای و غلظت آلاینده‌ها به دو روش انجام شد. در روش نخست، همبستگی بین غلظت پارامتر کیفی درون‌یابی شده در طول رودخانه و بازتابش باندهای تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی شد. در روش دوم، همبستگی غلظت پارامترهای کیفی در ایستگاه نمونه‌برداری و بازتابش در همان ایستگاه بررسی شد. نتایج نشان داد برای ارزیابی هریک از پارامترهای کیفی، باندهای متفاوتی از تصاویر ماهواره‌ای مناسب است. برای دمای آب باند حرارتی، برای pH و نیترات در فصل گرم به ترتیب باندهای ۵ و ۴ و در فصل سرد باندهای ۴ و ۲، برای TDS باند ۳ و برای کدورت باند ۳ یا ۵ مناسب است. رابطه رگرسیونی با روش‌های رگرسیون تک‌متغیره و چندمتغیره خطی تعیین شده و براساس آن پارامترهای کیفی آب در طول رودخانه برآورد شد. براساس نتایج، محدوده‌هایی از رودخانه که کیفیت آب بهتری نسبت به سایر بازه‌ها دارند، به عنوان مناطق مستعد پرورش ماهی انتخاب شدند.

کلیدواژگان: آبی‌پروری، پارامترهای کیفی آب، سنجش از دور، رودخانه بشار، همبستگی.

مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی مطرح هستند. با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و به تبع آن، افزایش بهره‌برداری از منابع آبی، دخل و تصرف غیرطبیعی در این منابع موجب شده است که شرایط کیفی آب رودخانه‌ها دستخوش تغییرات زیادی شود [۱]. افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی و گسترش آلودگی منابع آب بر اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی، سبب ایجاد وضع نامساعد زیست‌محیطی و تشدید آلودگی این منابع شده و مدیریت آن را بسیار دشوار و پیچیده کرده است [۲]. منبع اصلی آلودگی رودخانه‌ها مربوط به تخلیه فاضلاب مناطق مسکونی، کشاورزی و صنعتی به داخل رودخانه است، به طوری که این اتفاق موجب پیدایش باتلاق‌هایی با کیفیت نامناسب در بازه‌های رودخانه‌ها شده است. همچنین، نبود سیستم فاضلاب در بیشتر مناطق، محیط زیست و آب رودخانه را تهدید کرده و گونه‌های گیاهان دارویی و جانداران را در معرض نابودی قرار داده است [۱].

از مناسب‌ترین و کارآمدترین ابزارها برای بررسی و مطالعه پهنه‌های آبی، استفاده از فناوری سنجش از دور است. این علم متکی بر انرژی بازتابی و تابشی از پدیده‌هاست. خصوصیات بازتابشده انرژی از رودخانه تابع آب و مواد موجود در آن (مواد آلی و معدنی) است. وجود مواد معلق، خزه‌ها و جلبک‌ها در آب، تلاطم آب و تغییرات حرارتی طی روز بر میزان بازتاب انرژی از آب مؤثر است. بنابراین، استفاده از این فناوری در پایش کیفی پهنه‌های آبی می‌تواند کمک شایانی به برآورد وضعیت منابع آب کشور و مدیریت صحیح آنها با سهولت بیشتر و هزینه کمتر کند. مطالعات متعددی در استفاده از تکنولوژی‌های نوین در پایش کیفی منابع آب انجام گرفته است، اما با توجه به دینامیک بودن فرایند آلودگی و انتقال آن، همواره میزان خطا در اندازه‌گیری و پایش افزایش داشته است [۳ و ۴]. شناخت پهنه‌های مناسب برای پرورش آبیان، به تحلیل پارامترهای کیفی آب در رودخانه نیاز دارد. انجام این کار از طریق نمونه‌برداری آب رودخانه و انجام آزمایش‌های کیفی آب، علاوه بر زمان‌بر بودن، هزینه‌های سنگینی نیز دارد.

چراغی و همکاران (۱۳۹۴) مکان‌یابی، تحلیل‌های منطقه‌ای با تأکید بر نیازهای زیستی ماهیان سردآبی و

عوامل اقتصادی-اجتماعی به منظور دستیابی به آبی‌پروری پایدار را با استفاده از اطلاعات و پارامترهایی همچون زیرساخت‌ها، دبی آب، دمای آب، pH آب، مناطق حفاظت‌شده و آثار باستانی براساس یک مدل آبی‌پروری و GIS انجام دادند. نتایج این مدل تقسیم‌بندی سطوح برای پرورش آبیان را در سطح یک منطقه برآورد کرد. با مکان‌یابی عرصه‌های مستعد آبی‌پروری و تفکیک کاربری اراضی می‌توان گامی مهم برای رفع نیازهای فزاینده غذایی جامعه به منظور نیل به توسعه پایدار برداشت [۵]. نوایان و همکاران (۱۳۹۷) دقت پایش کیفی تالاب انزلی را با استفاده از سنجش از دور ارزیابی کردند. آنها پارامترهای کیفی تالاب انزلی شامل شوری، رسوبات معلق، نترات، فسفر، نیتروژن، آمونیوم، مواد محلول، کدورت و pH با استفاده از داده‌های نمونه‌برداری شده و همچنین تحلیل طیفی تصاویر Landsat و استخراج معادلات رگرسیونی برای پهنه‌بندی کیفی تالاب استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد شوری، فسفر، نیتروژن، آمونیوم، نترات و کدورت در لایه سطحی آب همبستگی زیادی با مقادیر استخراج‌شده از تصاویر Land sat دارند [۶]. دل‌امینی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS پایش کیفی منابع آب سطحی در بالادست حوضه منیامی در زیمباوه را بررسی کردند. در مطالعه یادشده سنجش کلروفیل a با استفاده از نتایج نمونه‌برداری مکانی در سطح اطمینان ۵٪ سنجیده شد. نتایج آماری نشان داد همبستگی بین داده‌های برآوردشده با روش سنجش از دور و نمونه‌برداری شده ۷۸ درصد است [۷]. چو و همکاران (۲۰۱۸) میزان کدورت آب را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی کردند. آنها از روش رگرسیون زمانی و مکانی استفاده کردند که سبب بهبود نتایج از نظر دقت در میانگین و واریانس خطا برای تخمین میزان کدورت شد [۸]. موسو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از شاخص‌های بیوفیزیکی مختلف شامل شاخص دمای سطح زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی تفاوت عادی (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی تنظیم خاک (SAVI)، شاخص محتوای رطوبت برگ (LWCI)، شاخص رطوبت نرمال (NHI)، اختلاف عادی شاخص داخلی (NDBI) و شاخص نرمال سطح غیر عادی تفاوت (NDISI) و تلفیق شرایط اقتصادی، وضعیت کیفی منابع آب سطحی را بررسی

مواد و روش‌ها

روش انجام کار

در تحقیق حاضر، مناطق مستعد پرورش ماهی در طول رودخانه بشار با توجه به پنج پارامتر کیفی آب رودخانه شامل غلظت کل املاح محلول، نیترات، PH، کدورت و دما ارزیابی شده است. برای این منظور، از دو روش استخراج داده‌های کیفی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و داده‌های کیفی آب موجود در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه بشار استفاده شده است. مراحل مختلف روش انجام کار در شکل ۱ ارائه شده است.

سری ماهواره‌های Landsat

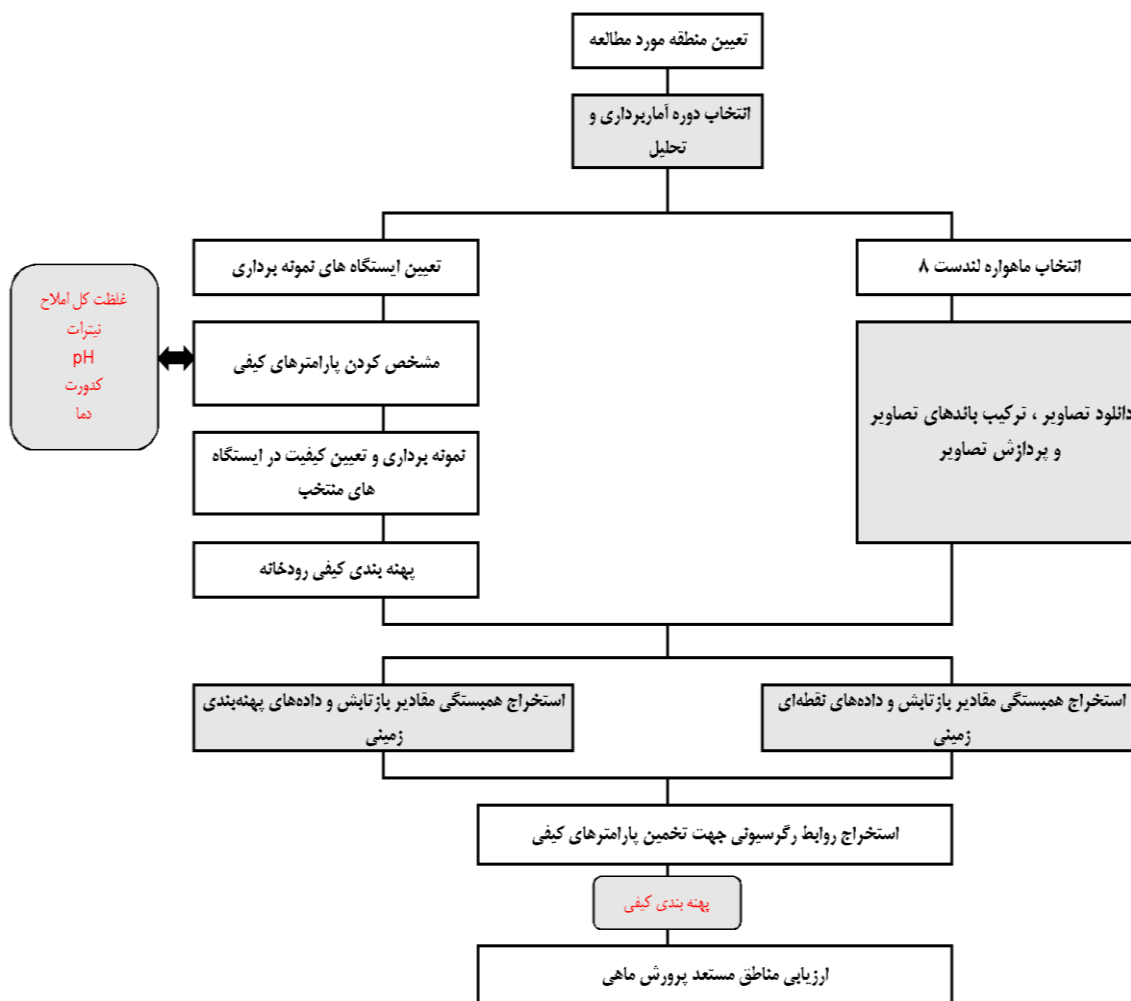
ماهواره‌های Landsat توسط سازمان ملی هوانوردی و فضانوردی آمریکا^۱، طراحی شده و در مدار زمین قرار گرفته است. نخستین ماهواره از این نوع ماهواره‌ها، در سال ۱۹۷۲ شروع به کار کرد و هم‌اکنون نیز به کار خود ادامه می‌دهد. آخرین ماهواره از این سری ماهواره ۸ Landsat است که در ۳۰ می ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد و در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری در مدار زمین قرار گرفت. این ماهواره هر ۱۶ روز یک بار از منطقه مشخصی عبور می‌کند. با توجه به اینکه Landsat 7 نیز ۸ روز بعد از عبور این ماهواره، از همان منطقه عبور می‌کند، می‌توان گفت که قدرت تفکیک زمانی سری ماهواره‌های Landsat به ۸ روز کاهش یافته است.

یکی از سنجنده‌های ماهواره Landsat، OLI^۲ است. ابعاد تصاویر این سنجنده ۱۷۰×۱۸۳ کیلومتر است. سیستم OLI شامل باندهای اپتیکی سنجنده‌های TM^۳ و ETM+ و سه باند جدید است. تصویربرداری بعدی این سنجنده در دو طول موج در محدوده مادون قرمز حرارتی و با قدرت تفکیک رادیومتری ۱۲ بیتی انجام می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های این دو باند، افزایش نسبت سیگنال به نویز^۴ در مقایسه با سنجنده‌های پیشین است. مشخصات فنی این سنجنده در جدول ۱ نمایش داده شده است.

کردند. براساس نتایج تحقیق یادشده، طبقه‌بندی پنج‌گانه‌ای از نظر کیفیت محیط زیست برای بهبود ساختار مدیریتی ارائه شد [۹].

در دهه اخیر استفاده از فناوری سنجش از دور رشد درخور توجهی در پایش کیفی منابع آب به‌خصوص تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های عریض داشته است. اگرچه به دلیل فرایند دینامیکی جریان آب رودخانه و انتقال آلودگی در آن و همچنین تغییرات زمانی آلاینده‌ها ممکن است از دقت نتایج برآوردشده با این روش کاسته شود، اما استفاده از این روش ضمن ارائه یک دورنمای کلی برای پارامترهای کیفی آب رودخانه (که بسیار مهم است)، می‌تواند در شرایط وجود منابع آلاینده ثابت در طول رودخانه نتایج قابل قبولی ارائه دهد. در مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش سنجش از دور، غلظت پارامترهای کیفی آب رودخانه بشار استخراج و با تلفیق نتایج داده‌های نمونه‌برداری شده موجود در دو فصل تر و خشک، پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه انجام شده است. در مطالعه حاضر، کاربرد روش سنجش از دور در مطالعات کیفی آب رودخانه‌های عریض و مکان‌یابی ایستگاه‌های مستعد پرورش ماهی در طول آنها، به‌عنوان مهم‌ترین هدف مطالعه حاضر، بررسی شده است. برای این منظور، رودخانه بشار، که پرورش ماهی در بازه‌هایی از آن در حال انجام است، برای مطالعه موردی انتخاب شده است. این رودخانه با عبور از مناطق شهری، روستایی و صنعتی و به دلیل افزایش تخلیه آلاینده‌ها به آن در سالیان اخیر دچار مشکلات زیست‌محیطی و بحران کیفی آب شده است. یکی از مناطق مستعد پرورش آبزیان در رودخانه بشار بالادست شهر یاسوج بوده که امروزه با توجه به نقش آلاینده‌های آب سبب بحران‌های زیستی و افزایش مرگ‌ومیر این آبزیان شده است. با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن نمونه‌برداری‌های کیفی آب رودخانه، مشکلات و محدودیت‌های نمونه‌برداری و همچنین، آنالیز کیفی نمونه‌ها در آزمایشگاه، فناوری سنجش از دور، که صحت‌سنجی شده باشد، می‌تواند برای پایش کیفی آب رودخانه‌ها برای اهداف خاص به کار گرفته شود.

1. NASA
2. Operational Land Imager
3. Thematic Mapper
4. Signal-to-noise (SNR)



شکل ۱. مراحل مختلف روش انجام کار

جدول ۱. مشخصات فنی سنجنده OLI

شماره باند	قدرت تفکیک رادیومتری (bits)	قدرت تفکیک مکانی (متر×متر)	محدوده طیفی (میکرومتر)
۱	۱۲	۳۰×۳۰	(سواحل. گردوغبار) ۰/۴۳ - ۰/۴۵
۲	۱۲	۳۰×۳۰	(آبی) ۰/۴۵ - ۰/۵۱
۳	۱۲	۳۰×۳۰	(سبز) ۰/۵۳ - ۰/۵۹
۴	۱۲	۳۰×۳۰	(قرمز) ۰/۶۴ - ۰/۶۷
۵	۱۲	۳۰×۳۰	(مادون قرمز نزدیک) ۰/۸۵ - ۰/۸۸
۶	۱۲	۳۰×۳۰	(مادون قرمز کوتاه) ۱/۵۷ - ۱/۶۵
۷	۱۲	۳۰×۳۰	(مادون قرمز کوتاه) ۲/۱۱ - ۲/۲۹
۸	۱۲	۱۵×۱۵	(پانکروماتیک) ۰/۵۰ - ۰/۶۸
۹	۱۲	۳۰×۳۰	(ابره های سیروس) ۱/۳۶ - ۱/۳۸
۱۰	۱۲	۱۰۰×۱۰۰	(مادون قرمز حرارتی) ۱۰/۶ - ۱۱/۱۹
۱۱	۱۲	۱۰۰×۱۰۰	(مادون قرمز حرارتی) ۱۱/۵ - ۱۲/۵۱

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به انحراف‌های تصاویر خام ماهواره‌ای، مجموعه عملیاتی روی این تصاویر به عنوان پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود [۱۰]. یکی از پردازش‌های مهمی که روی تصاویر ماهواره‌ای صورت می‌گیرد، حذف اعوجاج‌های هندسی روی تصاویر است. در واقع، همواره لازم است که پیکسل‌ها در موقعیت مسطحاتی دقیق خود قرار گیرند تا امکان استخراج کلیه اطلاعات هندسی مانند اندازه‌گیری‌های طول و مساحت فراهم شده و از تصویر نهایی به عنوان یک لایه اطلاعاتی در سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده شود. تصحیحات هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام می‌شوند. همچنین، به دلیل تفاوت در ویژگی سنجنده‌ها، شرایط جوی، زاویه خورشید و زاویه مشاهده سنسور، دستیابی به سازگاری رادیومتری در میان مجموعه داده‌های سنجش از دور مشکل است [۱۱]. این عوامل سبب بروز خطای رادیومتریکی می‌شود. تصحیحات رادیومتریکی سبب بهبود کیفیت رادیومتری تصاویر، افزایش وضوح و در نتیجه، افزایش اطلاعات قابل استخراج از تصاویر می‌شوند. سایر تصحیحات معمول در تحلیل روش‌های سنجش از دور شامل تصحیحات توپوگرافی [۱۲] و ریزمقیاس‌سازی تصاویر است که در مطالعه حاضر به دلیل استفاده از یک سین تصاویر، از آن استفاده نشده است.

پس از انجام تصحیحات اولیه، جداسازی محدوده مطالعاتی از تصاویر و تبدیل مقادیر عددی تصاویر به مقادیر بازتابندگی انجام می‌گیرد. تبدیل مقدار عددی تصاویر ماهواره‌ای به درجه بازتابندگی، یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریکی تصاویر است که طی این مرحله، مقادیر عددی تصاویر ماهواره‌ای به عددهای بین صفر تا یک تبدیل می‌شوند. در صورتی که پارامترهای ضریب جابه‌جایی^۱ و افزایش مقدار تابش خورشید^۲، ارتفاع خورشید و زمان اخذ تصویر در متا دیتا موجود باشد، دسترسی به این مقدار عددی بازتابندگی امکان‌پذیر است. مقدار بازتابندگی برای ماهواره‌های Landsat با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d_2}{ESUN_{\lambda} \sin \theta} \quad (1)$$

1. Offset
2. Gain

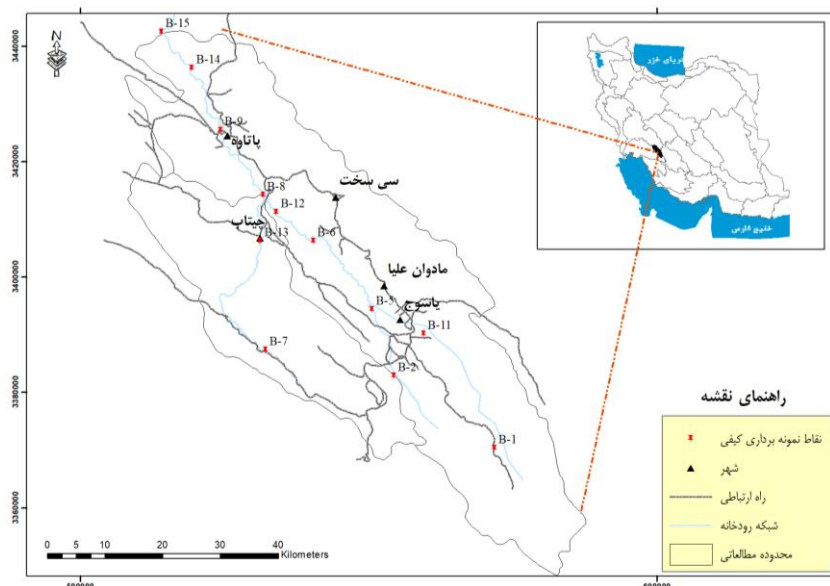
در رابطه یادشده، L_{λ} مقدار تابندگی طیفی (رادینانس) در واحد $W/(m^2 * sr * \mu m)$ ، d فاصله زمین تا خورشید در واحد $ESUN_{\lambda}$ تابش خورشید در واحد $W/(m^2 * \mu m)$ و θ زاویه خورشید به درجه است.

منطقه مطالعه‌شده و جمع‌آوری داده‌های کیفی

محدوده طرح در مطالعه حاضر، رودخانه بشار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد است. سرشاخه‌های آن از استان فارس شروع می‌شود و رودخانه بشار در محدوده مطالعاتی یاسوج از تلاقی سرشاخه‌ها تشکیل می‌شود. متوسط آبدی رودخانه بشار ۱۸/۲۱ متر مکعب بر ثانیه یا معادل ۵۷۴/۶ میلیون مترمکعب در سال است که بیشترین مقدار متوسط آورد ماهانه آن در اسفندماه و کمترین آن در مهرماه است.

برای تحلیل و ارزیابی وضعیت کیفیت آب رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به داده‌های کیفی نمونه‌برداری‌شده در رودخانه نیاز است. ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس معیارهای مختلف از جمله موقعیت آلاینده‌ها در اطراف رودخانه، داشتن بستر و مقطع ثابت رودخانه، عدم قرارگیری در مماندر رودخانه، راه دسترسی و همچنین موقعیت ایستگاه‌های موجود پایش کیفی آب انتخاب شدند. بر این اساس و با توجه به وضعیت رودخانه بشار، از ۱۲ محل برای نمونه‌برداری کیفی آب و آنالیز آزمایش‌های کیفیت آب استفاده شد. نمونه‌برداری کیفی آب در ایستگاه‌های انتخابی، طی دو سال و در دو فصل تر و خشک انجام شد. نمونه‌برداری فصل تر در اسفند ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و نمونه‌برداری فصل خشک در خرداد ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام گرفت. روش نمونه‌برداری در مطالعه حاضر مطابق دستورالعمل نمونه‌برداری کیفی آب در ایستگاه‌های هیدرومتری شرکت‌های آب منطقه‌ای انجام گرفته است. در شکل ۲ موقعیت منطقه طرح و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشخص شده است.

تعیین پتانسیل‌های رودخانه و محل‌های مستعد پرورش ماهی پرورش ماهی در رودخانه‌ها یکی از منابع درآمد پایدار در بخش کشاورزی بوده و با توجه به رونق بازار اقتصادی آن، روزبه‌روز در حال گسترش است. پارامترهای مختلف کیفیت آب رودخانه برای پرورش ماهی مهم‌اند. در جدول ۲ استاندارد تخلیه پساب مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا به رودخانه مطابق دستورالعمل سازمان شیلات ارائه شده است.



شکل ۲. موقعیت منطقه طرح و محل ایستگاه‌های نمونه برداری کیفی آب رودخانه

جدول ۲. استاندارد مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب برای پرورش ماهی قزل‌آلا [۱۳]

پارامتر	واحد	مقدار مجاز	پارامتر	واحد	مقدار مجاز
دمای آب	سانتی‌گراد	۸-۱۸	pH	-	۶/۸ - ۸/۵
حداقل اکسیژن محلول در آب	mg/L	۶	مس (Cu^{2+})	mg/L	۰/۰۰۶
اسید کربنیک (CO_3^{2-})	mg/L	۰ - ۱۰	روی (Zn^{2+})	mg/L	< ۰/۰۰۵
قلیائیت ^۱	mgCaCO ₃ /L	۱۰ - ۴۰۰	سرب (Pb^{2+})	mg/L	< ۰/۰۲
سختی کل کربناتی (موقت)	mg/L	۱۰ - ۴۰۰	نیتрат (NO_3^-)	mg/L	< ۴۰۰
آهن سه‌ظرفیتی (Fe^{3+})	mg/L	< ۰/۰۱	نیتريت (NO_2^-)	mg/L	< ۰,۱
کلر	mg/L	< ۰/۰۰۳	آمونیاک (NH_4)	mg/L	۰/۰۳
سولفات (SO_4^{2-})	mg/L	< ۵۰	BOD	mg/L	۵
کلسیم (Ca^{2+})	mg/L	۴-۱۶	COD	mg/L	۱۰
منیزیم (Mg^{2+})	mg/L	< ۱۵	(TDS)	mg/L	۱۵۰۰۰
پتاسیم (K^+)	mg/L	< ۵	سولفور (سولفید)	mg/L	< ۱
سدیم (Na^+)	mg/L	۷۵			

کارشناسان (۳۰ کارشناس) این حوزه نشان می‌دهد یکی از موضوعات مهم برای تعیین مناطق مناسب رودخانه به منظور پرورش ماهی، بحث آلاینده‌هاست. بر این اساس، دو پارامتر BOD و نیترات در اولویت نخست قرار دارد. پارامترها با توجه به ورود فاضلاب و نقش حیاتی آن برای آبزیان، باید به‌عنوان یک پارامتر اصلی در نظر گرفته شود. پارامترهای کدورت و TDS نیز به‌عنوان پارامترهای با اولویت ثانویه هستند که در مطالعه حاضر تحلیل شده‌اند.

پارامترهای کیفی مهم و مؤثر رودخانه برای پرورش ماهی انتخاب شدند. به این منظور، از یک پرسشنامه به‌صورت رتبه‌ای استفاده شد. در این پرسشنامه کارشناسان که شامل اساتید دانشگاهی، کارشناسان شیلات، پرورش‌دهندگان آبزی‌پروری هستند، اهمیت پارامترهای مختلف کمی و کیفی منابع آب را مشخص کردند. بررسی ایستگاه‌های پرورش ماهی و صحبت با

1. Alkalinity

نتایج و بحث

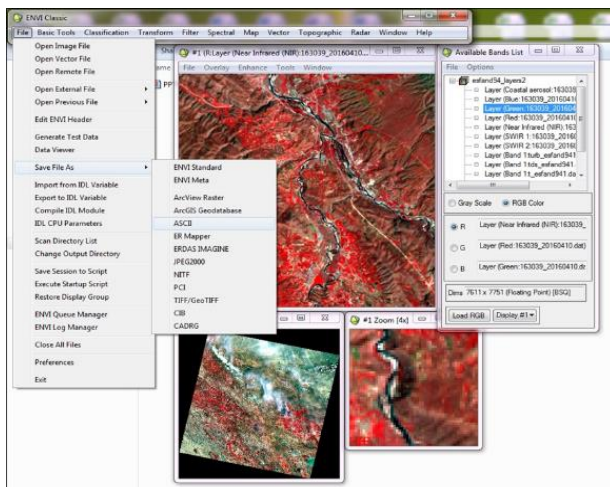
انتخاب و پیش‌پردازش تصاویر

با توجه به هدف مطالعه حاضر و پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه، با در نظر گرفتن عرض مقطع رودخانه، ناچار به استفاده از تصاویری خواهیم بود که قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسبی داشته باشد. بر این اساس، پهنه‌بندی کیفی با استفاده از روش کریجینگ انجام شد. به منظور تدقیق داده‌های کیفی با تصاویر ماهواره‌ای، هم‌زمانی تقریبی تاریخ برداشت اطلاعات کیفی آب رودخانه و تصاویر برداشت‌شده از مقاطع رودخانه انتخاب شد. از شماره سین ماهواره لندست با توجه به همپوشانی کامل منطقه مطالعه شده برای تحلیل اطلاعات در طول رودخانه استفاده شد. پس از پردازش تصاویر، روابط رگرسیونی حاکم میان مقادیر گرفته‌شده بازتابش از باندهای تصاویر ماهواره‌ای برای هر پیکسل و داده‌های زمینی متناسب به هر پیکسل، که از روی نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های نمونه‌برداری استخراج شده است، تعیین شد. به این منظور، مقادیر داده‌های زمینی برای هر پیکسل ۳۰ متری با استفاده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ استخراج شد. مقادیر بازتابش معادل برای هر پیکسل ۳۰ متری محدوده رودخانه نیز با استفاده از نرم‌افزار ENVI برای ۶ باند اپتیکی تصاویر لندست و ۲ باند حرارتی این تصاویر تعیین شد. برای یکسان‌سازی پیکسل‌های تصویر و لایه

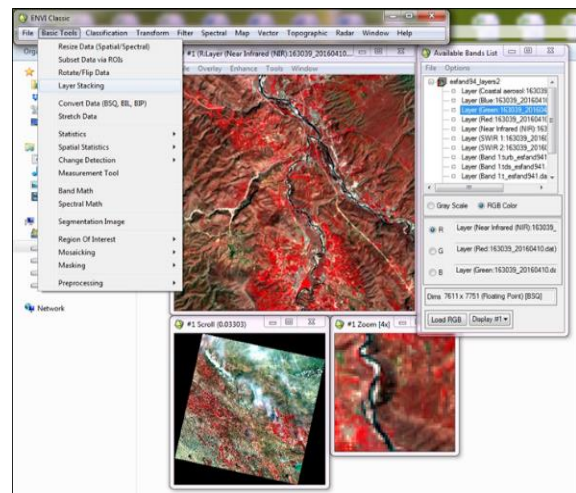
درون‌یابی شده اطلاعات زمینی ابتدا لایه‌ها Layer Stack شدند. در این مرحله پیکسل‌های تمام لایه‌ها هم‌سایز و منطبق بر یکدیگر می‌شوند. در گام بعدی، از هر لایه به‌طور جداگانه خروجی ASCII تهیه و اطلاعات حاصل تحلیل شده است. این مراحل روی تمام تصاویر اخذشده اعمال شده است. در شکل‌های ۳ و ۴ نمای دو مرحله تشریح‌شده، نمایش داده شده است.

تعیین ضرایب همبستگی مقادیر بازتابش تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های کیفی اخذشده از پهنه‌بندی کیفی زمینی

پس از کنترل داده‌های کیفی آب به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی کیفی رودخانه و مقادیر بازتابش تصاویر ماهواره‌ای، همبستگی بین این مقادیر بررسی شد. روابط همبستگی بین مقادیر مشاهداتی زمینی و بازتابش تصاویر ماهواره‌ای برای تمام پارامترهای کیفی با روش‌های پیرسون و اسپیرمن تعیین شده و بررسی شد. برای تعیین روابط همبستگی از نرم‌افزار XLSTAT استفاده شده است. نتایج همبستگی بین داده‌های کیفی مشاهداتی و نتایج استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای برای ۶ باند اپتیکی و ۲ باند حرارتی آن بر اساس تمام پارامترهای کیفی آب مطالعه‌شده در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد در تمام حالت‌ها بین مقادیر پهنه‌بندی شده پارامترهای کیفی و ضریب بازتابش همبستگی وجود دارد. اما ضریب همبستگی به‌ازای هر باند برای پارامترهای مختلف متفاوت است.



شکل ۴. مراحل استخراج مقادیر بازتابش و داده‌های زمینی



شکل ۳. مراحل Layer Stack کردن لایه‌ها

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین پارامترهای حاصل از پهنه‌بندی کیفی و باندهای تصاویر ماهواره‌ای در اسفند ۱۳۹۴ و خرداد ۱۳۹۵

اسفند ۱۳۹۴					خرداد ۱۳۹۵					پارامتر باند تصاویر
دمای	pH	TDS	کدورت	نیترات	دمای	pH	TDS	کدورت	نیترات	
۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۴	۰/۳۸	باند-۱
۰/۴	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۴۳	۰/۴	۰/۴	۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۴۳	باند-۲
۰/۴۶	۰/۳۹	۰/۳۱	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۵	۰/۵۱	۰/۴۲	باند-۳
۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۵۹	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۶	۰/۵۱	۰/۳۹	باند-۴
۰/۴۲	۰/۴	۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۵۹	۰/۳۲	باند-۵
۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۲۵	باند-۶
۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۴	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۳۷	۰/۲۶	باند-۷
۰/۵۸	--	--	--	--	۰/۵۸	--	--	--	--	باند-۱ حرارتی
۰/۵۸	--	--	--	--	۰/۵۸	--	--	--	--	باند-۲ حرارتی

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین پارامترهای حاصل از پهنه‌بندی کیفی و باندهای تصاویر ماهواره‌ای در اسفند ۱۳۹۵ و خرداد ۱۳۹۶

اسفند ۱۳۹۵					خرداد ۱۳۹۶					پارامتر باند تصاویر
دمای	pH	TDS	کدورت	نیترات	دمای	pH	TDS	کدورت	نیترات	
۰/۵۲	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۸	باند-۱
۰/۲۵	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۲۸	باند-۲
۰/۴۹	۰/۲۸	۰/۵	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۴۹	باند-۳
۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۵۲	باند-۴
۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۴	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۳۸	باند-۵
۰/۲۶	۰/۴۹	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۳۶	۰/۲۸	باند-۶
۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۴۸	۰/۳	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۴	۰/۴۵	باند-۷
۰/۵۳	--	--	--	--	۰/۵۲	--	--	--	--	باند-۱ حرارتی
۰/۵۴	--	--	--	--	۰/۵۲	--	--	--	--	باند-۲ حرارتی

دارد. اگرچه مقادیر ضریب همبستگی به دست آمده نسبتاً کم هستند، اما روند کلی تغییرات آلاینده‌ها در طول رودخانه را مشخص می‌کنند. بنابراین، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای مکان‌یابی و تعیین اولیه محل‌های مستعد پرورش ماهی در طول یک رودخانه با دقت متوسط وجود دارد. اما برای مکان‌یابی دقیق‌تر و استفاده کاربردی از نتایج نیاز به آنالیز داده‌های نمونه‌برداری در محل‌های تعیین‌شده نیز است. همچنین، با افزایش تعداد نقاط نمونه‌برداری و کوتاه شدن فاصله دوره‌های نمونه‌برداری می‌توان دقت نتایج را بهتر ارزیابی کرد.

تعیین ضرایب همبستگی مقادیر بازتابش تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های نقطه‌ای زمینی

همبستگی بین غلظت پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده (غلظت نقطه‌ای) و مقدار

تحلیل نتایج همبستگی نشان داد پارامتر دمای همبستگی بیشتری با باندهای حرارتی (T1 و T2) در هر چهار تاریخ تصویربرداری دارد. دو پارامتر TDS و کدورت نیز بیان‌کننده بیشترین همبستگی با باند ۴ تصویر ماهواره‌ای لندست در تمام زمان‌های تصویربرداری است. این باند به عنوان یکی از ۳ باند مرئی بوده و با توجه به خاصیت فیزیکی این دو پارامتر کیفی، نتایج نیز مبین این موضوع است. تحلیل پارامترهای کیفی pH و نیترات نیز نشان داد داده‌های کیفی حاصل از پهنه‌بندی برای این دو پارامتر در اسفندماه بیشترین همبستگی را با باند ۲ تصویر لندست دارد که متعلق به رنگ آبی است. در خردادماه نیز بیشترین همبستگی با باند ۴ تصویر لندست مشاهده شد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، به صورت کلی یک روند مناسب همبستگی بین پارامترهای کیفی و باندهای تصاویر ماهواره‌ای لندست وجود

حالت درون‌یابی شده باند ۴ بیشترین همبستگی را نشان داد. تحلیل همبستگی پارامتر کدورت نیز نشان می‌دهد دو باند ۵ و ۳ در تاریخ‌های مختلف همبستگی زیادی دارند، ولی هیچ روند خاصی وجود ندارد. این در حالی است که این پارامتر در حالت درون‌یابی شده با باند ۴ مرئی، بیشترین ضریب همبستگی را داشت. برای پارامترهای pH و نیترات ضریب همبستگی تابع فصل نمونه‌برداری است. نیترات در اسفندماه بیشترین ضریب همبستگی را با باند ۴ و در خردادماه با باند ۲ تصویر لندست نشان داد. برای پارامتر pH بیشترین همبستگی در اسفندماه با باند ۴ و در خردادماه با باند ۵ تصویر لندست وجود داشته است.

بازتاب تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. به این منظور، ضرایب همبستگی بین مقادیر پارامترهای کیفی نقطه‌ای و مقادیر بازتابش استخراجی از ۶ باند اپتیک و ۲ باند حرارتی برای هر تصویر ماهواره‌ای تعیین شد. نتایج به‌دست‌آمده در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، پارامتر دما همبستگی بیشتری با باندهای حرارتی (T1 و T2) در هر چهار تاریخ تصویربرداری دارد که این موضوع در نتایج حالت قبل (درون‌یابی شده) نیز صادق است. مقادیر ضریب همبستگی برای پارامتر TDS نشان داد با باند ۳ مرئی بیشترین همبستگی را دارد. در حالی که برای این مورد در

جدول ۵. ضرایب همبستگی پارامترهای نقطه‌ای در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و تصاویر ماهواره‌ای در اسفند ۱۳۹۴ و خرداد ۱۳۹۵

باند تصاویر	پارامتر					اسفند ۱۳۹۴					خرداد ۱۳۹۵				
	نیترات	کدورت	TDS	pH	دما	نیترات	کدورت	TDS	pH	دما	نیترات	کدورت	TDS	pH	دما
باند-۱	-۰/۳۸	۰/۱۱	-۰/۵۴	-۰/۴۲	-۰/۴۱	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۵۴	-۰/۴۲	-۰/۴۱	-۰/۴۲	-۰/۵۴	-۰/۴۲	-۰/۴۱	-۰/۴۱
باند-۲	-۰/۴۴	۰/۱۴	-۰/۵۶	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۵۶	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۵۶	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۴۷
باند-۳	-۰/۵۸	۰/۲۴	-۰/۶۶	-۰/۶۱	-۰/۶۳	-۰/۶۱	-۰/۶۱	-۰/۶۶	-۰/۶۱	-۰/۶۳	-۰/۶۱	-۰/۶۶	-۰/۶۱	-۰/۶۳	-۰/۶۳
باند-۴	-۰/۶۱	۰/۳۵	-۰/۵۵	-۰/۶۴	-۰/۶۸	-۰/۶۴	-۰/۶۴	-۰/۵۵	-۰/۶۴	-۰/۶۸	-۰/۶۴	-۰/۵۵	-۰/۶۴	-۰/۶۸	-۰/۶۸
باند-۵	-۰/۶	۰/۶۳	-۰/۳۴	-۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۶۳	-۰/۶۳	-۰/۳۴	-۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۶۳	-۰/۳۴	-۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۶۴
باند-۶	-۰/۴۱	۰/۲۴	-۰/۴۱	-۰/۳۸	-۰/۵۱	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۴۱	-۰/۳۸	-۰/۵۱	-۰/۳۸	-۰/۴۱	-۰/۳۸	-۰/۵۱	-۰/۵۱
باند-۷	-۰/۳۶	۰/۲۸	-۰/۳۲	-۰/۴۵	-۰/۴۴	-۰/۴۵	-۰/۴۵	-۰/۳۲	-۰/۴۵	-۰/۴۴	-۰/۴۵	-۰/۳۲	-۰/۴۵	-۰/۴۴	-۰/۴۴
باند-۱ حرارتی	--	--	--	--	۰/۶۸	--	--	--	--	۰/۶۸	--	--	--	--	--
باند-۲ حرارتی	--	--	--	--	۰/۶۷	--	--	--	--	۰/۶۷	--	--	--	--	--

جدول ۶. ضرایب همبستگی پارامترهای نقطه‌ای در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و تصاویر ماهواره‌ای در اسفند ۱۳۹۵ و خرداد ۱۳۹۶

باند تصاویر	پارامتر					اسفند ۱۳۹۵					خرداد ۱۳۹۶				
	نیترات	کدورت	TDS	pH	دما	نیترات	کدورت	TDS	pH	دما	نیترات	کدورت	TDS	pH	دما
باند-۱	۰/۵۳	-۰/۸۱	-۰/۶۲	-۰/۲۹	-۰/۱۷	۰/۵۳	-۰/۸۱	-۰/۶۲	-۰/۲۹	-۰/۱۷	۰/۵۳	-۰/۸۱	-۰/۶۲	-۰/۲۹	-۰/۱۷
باند-۲	۰/۵۲	-۰/۸۱	-۰/۶۴	-۰/۳۱	-۰/۱۷	۰/۵۲	-۰/۸۱	-۰/۶۴	-۰/۳۱	-۰/۱۷	۰/۵۲	-۰/۸۱	-۰/۶۴	-۰/۳۱	-۰/۱۷
باند-۳	۰/۵۳	-۰/۸۲	-۰/۷	-۰/۳۴	-۰/۲۱	۰/۵۳	-۰/۸۲	-۰/۷	-۰/۳۴	-۰/۲۱	۰/۵۳	-۰/۸۲	-۰/۷	-۰/۳۴	-۰/۲۱
باند-۴	۰/۵۴	-۰/۷۸	-۰/۶۸	-۰/۳۹	-۰/۲۷	۰/۵۴	-۰/۷۸	-۰/۶۸	-۰/۳۹	-۰/۲۷	۰/۵۴	-۰/۷۸	-۰/۶۸	-۰/۳۹	-۰/۲۷
باند-۵	۰/۴۱	-۰/۶۶	-۰/۶۹	-۰/۳۷	-۰/۴۲	۰/۴۱	-۰/۶۶	-۰/۶۹	-۰/۳۷	-۰/۴۲	۰/۴۱	-۰/۶۶	-۰/۶۹	-۰/۳۷	-۰/۴۲
باند-۶	۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۳
باند-۷	۰/۱۶	-۰/۱۴	-۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۶	-۰/۱۴	-۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۶	-۰/۱۴	-۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۸
باند-۱ حرارتی	--	--	--	--	-۰/۵۹	--	--	--	--	-۰/۵۹	--	--	--	--	-۰/۵۹
باند-۲ حرارتی	--	--	--	--	-۰/۵۹	--	--	--	--	-۰/۵۹	--	--	--	--	-۰/۵۹

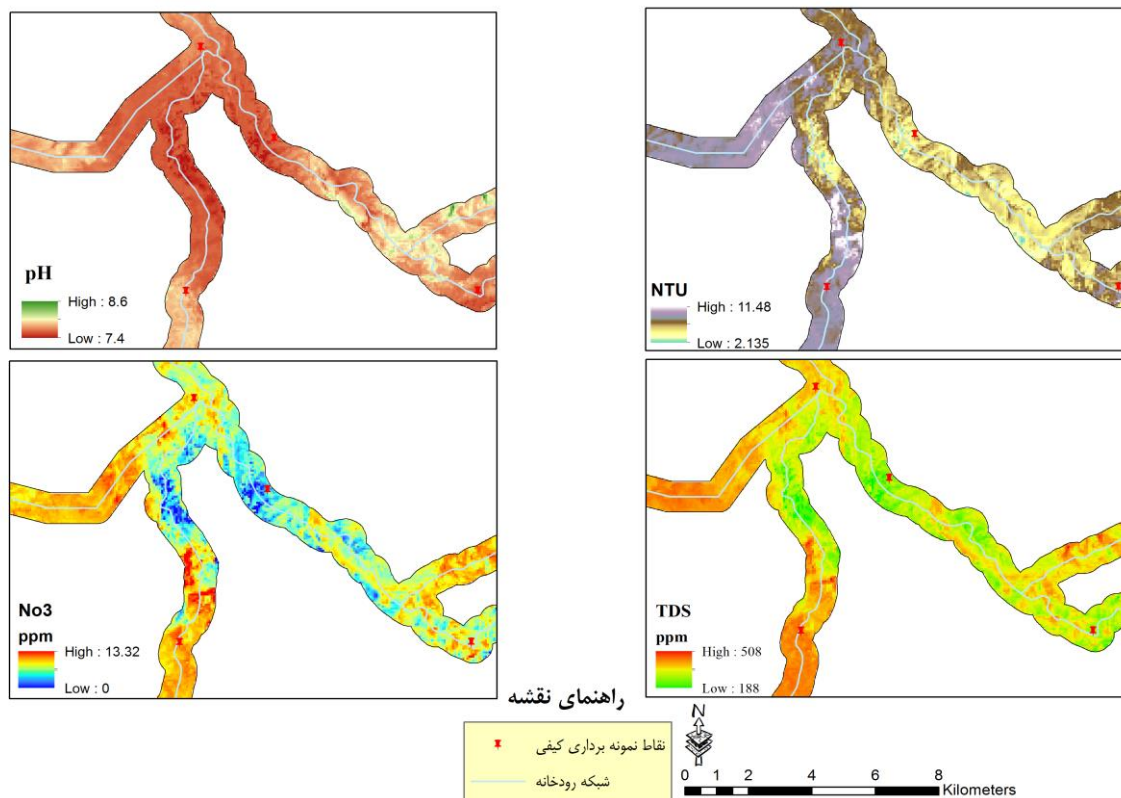
پارامترهای کیفی نقطه‌ای زمینی، پهنه‌بندی شده زمینی و روابط رگرسیونی با بازتابش تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مختلف وجود دارد. این موضوع می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله خطای تصاویر ماهواره‌ای لندست با فاصله زمانی ۱۶ روزه و تصویربرداری از یک طرف و کیفیت آنها، زیاد بودن سائز تصاویر، اثر پارامترهای مختلف روی هم، خطای نمونه‌برداری‌ها و تعداد کم نقاط نمونه‌برداری باشد.

براساس نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود برای استفاده از حالت پهنه‌بندی و استخراج روابط رگرسیونی، تعداد نقاط نمونه‌برداری بیشتر شود. همچنین، با توجه به هدف مطالعه حاضر و عدم انجام تحقیقی در داخل کشور در تحلیل و پایش کیفی منابع آب سطحی، این رویکرد می‌تواند برای پایش کیفی منابع آب با سطح کوچک‌تر و افزایش تعداد نمونه‌برداری انجام شود. با توجه به تعدد پارامترهای کیفی مؤثر، آثار تداخلی آنها و منابع خطا، مقادیر به‌دست‌آمده دقت متوسطی دارند. به‌طور کلی، نتایج مستخرج شده از روابط پهنه‌بندی نسبت به نتایج رگرسیونی (جدول ۷) کمتر است. یکی از دلایل مهم آن اضافه شدن خطای درون‌یابی است. اما به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان همبستگی مقادیر بازتابش و داده‌های نقطه‌ای زمینی را تأیید کرد.

استخراج روابط رگرسیونی برای تخمین پارامترهای کیفی به منظور تعیین یک مدل برای برآورد پارامترهای کیفی آب شامل TDS، pH، دما، نترات و کدورت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به تحلیل آماری به روش رگرسیونی نیاز است. با توجه به نتایج استخراجی از روش همبستگی در دو حالت بیان‌شده، نتایج نشان داد مقادیر ضریب همبستگی بین پارامترهای کیفی زمینی و مقادیر بازتابش شده نسبتاً کم است. البته، نتایج نشان داد برای پیکسلی که ایستگاه در آن واقع شده است، ضریب همبستگی بیشتری بین پارامترهای کیفی برقرار می‌شود. این امر نشان می‌دهد افزایش تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری کیفی آب برای تحلیل و ارزیابی رابطه همبستگی و رگرسیونی مناسب‌تر خواهد بود. با توجه به این موضوع، از دو روش رگرسیون تک‌پارامتره و چندپارامتره خطی استفاده شد. در جدول ۷ روابط رگرسیون خطی برای ۵ متغیر کیفی، که با استفاده از نرم‌افزار Excel برآورد شده، ارائه شده است. به منظور تدقیق روابط مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر غلظت و باندهای بازتابش نیز ارائه شده است. در شکل ۵ پهنه‌بندی کیفی بخشی از رودخانه براساس روابط رگرسیونی حاصل ارائه شده است. نتایج نشان داد ضریب همبستگی نسبتاً کمی بین

جدول ۷. روابط رگرسیونی برای برآورد پارامترهای کیفی

پارامتر کیفی	معادله رگرسیونی	مقدار ضریب همبستگی
TDS	$TDS = 2.12 - 0.55B_3$	۰/۴۴
	$TDS = 567.7 + 2945.4B_2 - 1259.3B_1 - 2414.1B_4$	۰/۵۷
NO ₃	$NO_3 = -0.3 - 1.22B_2$	۰/۳۸
	$NO_3 = 0.07 - 0.78B_4$	۰/۳۳
	$NO_3 = 10.3 - 55.1B_2 + 79.1B_3 - 37.8B_4 - 11.6B_5$	۰/۳۹
کدورت	$NTU = -1.22 - 1.85B_5$	۰/۵۳
	$NTU = 6.99 + 40.4B_3 - 25.7B_4 - 28.5B_5$	۰/۴۴
pH	عدم برقراری رابطه مناسب $pH = 7.66 - 0.17B_3 - 3.5B_4 + 2.9B_5$	-- ۰/۴۸
دما	$T = -3.52T_2 + 9.86$	۰/۴۶
	$T = 9.78 + 27T_1 - 30.6T_2$	۰/۵



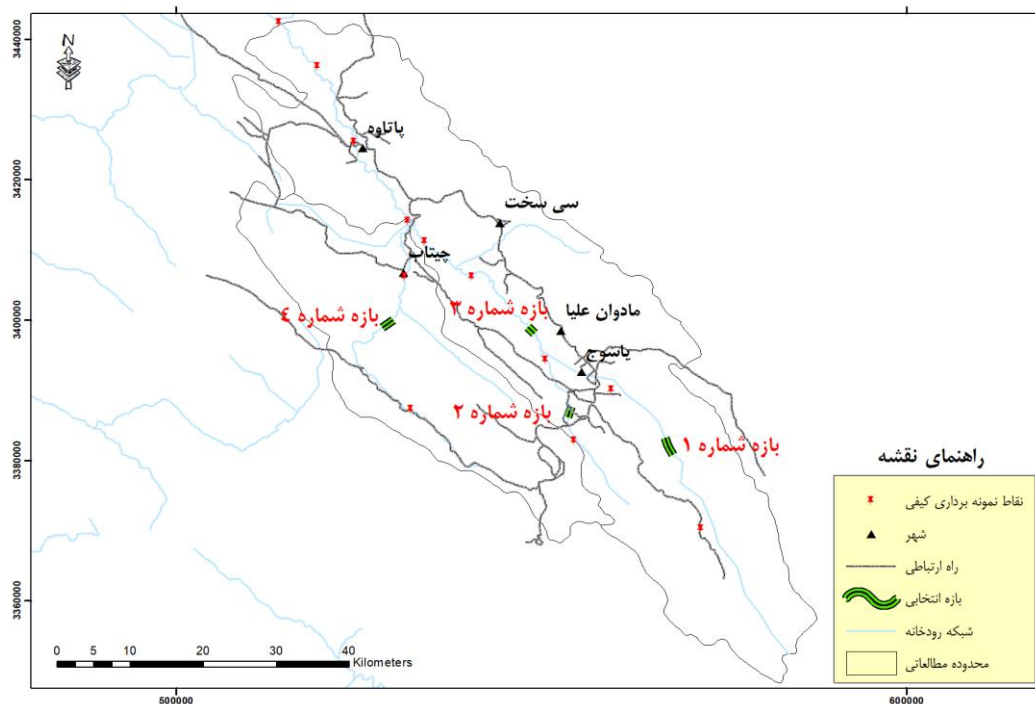
شکل ۵. پهنه‌بندی کیفی رودخانه بشار براساس روابط رگرسیون

ارزیابی مناطق مستعد پرورش ماهی

یکی از اهداف مهم کاربردی این تحقیق، مکان‌یابی و تعیین بازه‌های مستعد پرورش ماهی در طول رودخانه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد است. چندین بازه در طول رودخانه بشار مطابق شکل ۶ با تلفیق اطلاعات پهنه‌بندی شده در محیط GIS انتخاب شد. بر این اساس و با توجه به اهمیت پارامترهای پنج‌گانه بررسی شده کیفیت آب، پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه انجام شد. محدوده تغییرات برای پارامترهای کیفی آب مختلف شامل pH بین ۷/۵ تا ۸، TDS مقادیر کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نیترات کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر، دمای کمتر از ۱۲ درجه سانتی‌گراد و کدورت نیز کمتر از ۵ در نظر گرفته شد. اگرچه این مقادیر نسبت به استاندارد سازمان محیط زیست ایده‌آل‌تر است، با توجه به اهمیت و ضرورت حفاظت از رودخانه، مقادیر تعدیل شد. به منظور تلفیق نتایج و انتخاب بازه‌های کیفی از روش وزن‌دهی استفاده شد. در این حالت یک بار وزن ۰/۲ به هر ۵ پارامتر کیفی و در مرحله دوم وزن براساس اهمیت اعمال شد. نتایج پهنه‌بندی و انتخاب بازه‌های مد نظر بیان‌کننده همخوانی هر دو روش وزن‌دهی بود.

این بازه‌ها همچنین با توجه به نوع کاربری اراضی اطراف و وضعیت سکونت جوامع شهری و روستایی انتخاب شد. بر این اساس، چهار بازه برای احداث حوضچه‌های استخر پرورش ماهی در سطح شبکه اصلی رودخانه بشار انتخاب شد. این بازه‌ها از نظر غلظت پارامترهای کیفی آب برای ۵ پارامتر بررسی شده، در محدوده کیفی تعریف‌شده قرار داشتند. شرایط مماندگی رودخانه، پارامترهای کیفی آب در بالادست و پایین‌دست، موقعیت اراضی کشاورزی و موقعیت مناطق مسکونی و صنعتی می‌تواند در انتخاب محل پرورش ماهی مؤثر باشد. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، مکان‌هایی که پارامترهای کیفی آب کمترین غلظت را داشته و میزان آلودگی کمتری را در پایین‌دست رودخانه ایجاد می‌کنند، می‌تواند در بررسی‌های اولیه به عنوان مکان‌های مستعد پرورش ماهی در نظر گرفته شود.

همچنین، از نتایج تحقیق حاضر می‌توان برای مکان‌یابی اولیه احداث تصفیه‌خانه آب در طول رودخانه نیز استفاده کرد. بر این اساس، محل‌هایی که بیشترین بار آلودگی آب رودخانه را دارند، برای احداث تصفیه‌خانه آب مناسب‌اند.



شکل ۶. بازه‌های منتخب برای پرورش ماهی در رودخانه بشار

درون‌یابی‌شده در طول رودخانه و بازتابش استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای به صورت باندباند ارزیابی شد. در حالت دوم همبستگی بین غلظت پارامترهای کیفی در ایستگاه نمونه‌برداری و مقدار بازتابش در همان ایستگاه بررسی شد. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد حالت دوم با توجه به کم بودن تعداد داده‌ها، همبستگی مناسب‌تری دارد. نتایج نشان داد برای هر پارامتر کیفی استفاده از باند خاص تصویر ماهواره‌ای می‌تواند دقت نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. به‌طور کلی، مقادیر ضریب همبستگی خاص در هر دو حالت دقت متوسط دارد. افزایش تعداد نقاط نمونه‌برداری و تدقیق بین زمان نمونه‌برداری و زمان عبور ماهواره می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد. رابطه رگرسیونی بر اساس رگرسیون تک‌متغیره و چندمتغیره خطی تعیین و براساس آن مقدار هر پارامتر کیفی در طول رودخانه برآورد شد. با توجه به استاندارد سازمان محیط زیست و اعمال نظر کارشناسی در منطقه، محدوده تغییرات مجاز پارامترهای کیفیت آب برای پهنه‌بندی مناطق مستعد پرورش ماهی در نظر گرفته شد. با تلفیق پهنه‌های کیفی آب در محیط GIS، محدوده‌هایی از رودخانه که در بازه‌های یادشده قرار گرفتند، مشخص شده و به‌عنوان مناطق پرورش ماهی انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های بهره‌برداری از منابع آب سطحی، استفاده از استخراجی آب برای پرورش ماهی در حوضچه‌هایی در کنار رودخانه است. این حوضچه‌ها طی زمان سبب ورود حجم آلودگی به داخل رودخانه‌ها می‌شود که با افزایش غلظت آلاینده‌های ورودی به آب رودخانه، کاربری‌های پایین‌دست رودخانه با مشکلات زیست‌محیطی مواجه می‌شود. بر این اساس، انتخاب گزینه یا بازه‌هایی از رودخانه که با توجه به فرایند خودپالایی رودخانه بتواند کمترین آسیب را وارد رودخانه کند، بسیار مهم است. بنابراین، در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای تطبیق وضعیت کیفی رودخانه استفاده شد. با توجه به نتایج نمونه‌برداری کیفی در ۱۲ ایستگاه در سطح رودخانه بشار در ۴ زمان مختلف، تصاویر ماهواره‌ای لندست برای این زمان‌ها دانلود و پس از پردازش‌های اولیه، مقادیر بازتابش برای رودخانه استخراج شد. براساس داده‌های استخراجی، ضریب همبستگی بین داده‌های بازتابش و اندازه‌گیری‌شده برای غلظت پارامترهای کیفی آب به دو روش تعیین و ارزیابی شد. در روش نخست همبستگی بین غلظت پارامتر کیفی

integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2016; 93:2-11.

- [8]. Chu H-J, Kong S-J, Chang C-H. Spatio-temporal water quality mapping from satellite images using geographically and temporally weighted regression. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2018; 65:1-11.
- [9]. Musse MA, Barona DA, Rodriguez LMS. Urban environmental quality assessment using remote sensing and census data. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2018; 71:95-108.
- [10]. Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW. Concepts and foundations of remote sensing. *Remote Sensing and Image Interpretation*; Lillesand, T, Kiefer, R, Chipman, J, Eds. 1987:1-57.
- [11]. Du Y, Teillet PM, Cihlar J. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*. 2002; 82(1):123-34.
- [12]. Lenot X, Achard V, Poutier L. SIERRA: A new approach to atmospheric and topographic corrections for hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2009; 113(8):1664-77.
- [13]. Aquaculture Quality Standard. 2012. Fisheries Organization. [Persian].

نتایج مطالعه حاضر اگرچه مقادیر همبستگی متوسطی دارد، اما می‌تواند در تعیین بازه‌های حساس و غیرحساس رودخانه با توجه به دینامیک جریان رودخانه و ورود آلاینده‌ها به آن، بررسی روند تغییرات کلی آلاینده‌های آب، توان خودپالایی در زمان‌های مختلف و مطالعات اولیه کاربری‌های خاص مانند مکان‌یابی محل‌های احداث حوضچه‌های پرورش ماهی و احداث تصفیه‌خانه‌های آب کمک مؤثری کند. اما برای کاربردهایی که به دقت زیاد و نتایج دقیق‌تر نیاز دارد، استفاده از داده‌های میدانی مناسب توصیه می‌شود.

منابع

- [1]. Guideline manual for assimilative capacity studies in rivers. Islamic Republic of Iran Vice presidency for strategic planning and supervision: Bureau of Engineering Affairs and Technical Standards for Water and Wastewater; Ministry of Energy; 2009. [Persian]
- [2]. Noori R, Abdoli MA, Ghasrodashti AA, Ghazizade MJ. Prediction of municipal solid waste generation with combination of support vector machine and principal component analysis: a case study of Mashhad. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2009; 28(2): 249-58.
- [3]. El-Magd IA, El-Zeiny A. Quantitative hyperspectral analysis for characterization of the coastal water from Damietta to Port Said, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2014; 17(1): 61-76.
- [4]. Gohin F, Stanev E. Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters. *Ocean Science*. 2011; 7(5):705-32.
- [5]. Cheragi M, Sobhani ardakani S, Lorestani B, Jaffari nobakht F, Tayebi L. Site selection for rainbow trout culture farms in townships of Hamedan province using Makhdom aquaculture model and GIS. *Journal of Environmental Science and Technology (JEST)*. 2015; online publishing. [Persian].
- [6]. Navabian M, Vazifedoust M, Esmaili Varaki M. Feasibility Study of Anzali wetland quality monitoring using Remote Sensing. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2019; 50(7):1813-24. [Persian].
- [7]. Dlamini S, Nhapi I, Gumindoga W, Nhwatiwa T, Dube T. Assessing the feasibility of