

برآورد کیفیت آب رودخانه کارون محدوده اهواز توسط داده‌های زمینی، طیف‌سنج فیلداسپیک ۳ و داده‌های فراطیفی سنجنده هایپریون

کاظم رنگزن

عضو هیات علمی، دانشگاه شهید چمران اهواز

مهدی فتاحی مقدم

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید چمران اهواز

عظیم صابری

عضو هیات علمی، دانشگاه شهید چمران اهواز

نادر حسینی زارع، پریوش موبد

سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۹

kazemrangzan@scu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، از سنجش از دور فراطیفی به عنوان روش برآورد پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز استفاده شده است. روش‌های معمول برای کنترل و ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها گران قیمت و پرهزمت بوده و نمی‌توانند یک دید کلی مکانی و زمانی از کیفیت آب ارائه نمایند. در این بررسی از تصاویر هایپریون ماهواره EO-1، مربوط به تاریخ‌های ۲۴ خرداد، ۱۱ شهریور، ۱۳ آذر و ۱۶ اسفند سال ۱۳۸۹، بعد از پردازش و تصحیح اتمسفری (جوی)، به عنوان داده سنجش از دور استفاده شد. پارامترهای کدورت و عمق سچی دیسک (SDD) رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری آب از ۱۳ ایستگاه در فاصله مناسب از ساحل رودخانه کارون همراه با اندازه‌گیری در محل عمق سچی دیسک، با فاصله زمانی قابل قبول از تاریخ تصویر برداری انجام گردید. ضمن اندازه‌گیری میزان کدورت در شرایط آزمایشگاه، سه نوع شاخص فراطیفی شامل بازتاب تک باند، مشتق اول انعکاس (بازتاب) و نسبت باندهای طیفی حاصل از باندهای سنجنده هایپریون استخراج گردید. باندهای طیفی مناسب برای الگوریتم‌های فوق بر اساس تجزیه و تحلیل همبستگی بین داده‌های آزمایشگاه و داده‌های اندازه‌گیری شده در محل با داده‌های استخراجی از تصویر انتخاب شدند. نتایج ارزیابی نشان داد که دو روش مشتق اول بازتاب و نسبت بازتاب، همبستگی بالاتری با کدورت و عمق سچی دیسک اندازه‌گیری شده دارند. سپس نقشه گویای مکانی با استفاده از مدل‌های رگرسیون چندگانه برای این دو پارامتر بر اساس داده‌های فراطیفی و داده‌های نمونه‌برداری کیفیت آب تهیه شد. نتایج داده‌های زمینی و سنجش از دور فراطیفی ارتباط بالای ($R^2=0/84$ ، $RMSE=0/03$) و ($R^2=0/86$ ، $RMSE=1/03$) به ترتیب برای SDD و کدورت آب رودخانه را نشان داد. لذا استفاده از این روش و تصاویر فراطیفی می‌تواند به عنوان ابزاری مفید برای برآورد کیفیت آب رودخانه، مد نظر قرار گیرد.

کلمات کلیدی: رگرسیون چندگانه، سنجش از دور، کدورت، فراطیفی، عمق سچی دیسک

مقدمه

اطلاعات در مقیاس وسیع می‌باشد که یک روش جدید و موثر از نظارت کیفیت آب را ارائه می‌کند (Donghai, 2009). در حال حاضر، انواع متعددی از داده‌های سنجش از دور از جمله داده‌های فراطیفی و چند طیفی وجود دارند که می‌توانند برای نظارت کیفیت آب استفاده شوند. به عنوان مثال Semih Ekercin (2007)، با کمک تصویر چند طیفی Ikonos که دارای قدرت تفکیک مکانی بالا است، به ارزیابی کیفیت آب در منطقه Halic استانبول ترکیه پرداخت (Ekercin, 2007). Yang Dingtian و همکاران (2006)، با کمک سنجش از دور فراطیفی، برآورد غلظت کلروفیل-a و جامدات معلق در دریاچه

روش‌های برآورد سنتی کیفیت آب معمولاً پرهزینه و زمانبر هستند. این موضوع به خصوص برای توده‌های بزرگ آب^۱ شامل دریاچه‌ها، سدها و رودخانه-ها که نمونه‌گیری‌ها، همه توده آب را پوشش نمی‌دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سنجش از دور تکنولوژی توسعه یافته‌ی جدیدی در دهه‌های اخیر است، بویژه که در چند سال گذشته تکنولوژی سنجش از دور با کاربرد در محیط زیست، پیشرفت سریعی داشته است. ویژگی‌های سنجش از دور شامل دوره بازگشت مناسب، قدرت تفکیک مکانی بالا، نظارت بدون وقفه و گردآوری

قسمت‌های کوهستانی بین ۲۵ الی ۴۰ متر و در دشت بالادست اهواز ۲۵۰ الی ۴۰۰ متر می‌باشد و ژرفای آن در حوالی اهواز به ۵ الی ۷ متر می‌رسد. پتانسیل این رودخانه امکان ایجاد سدهای مخزنی بزرگ را به منظور تولید انرژی الکتریکی و بهره‌برداری از آن جهت مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب در فصول کم آبی را فراهم می‌کند. در طول مسیر رودخانه منابع آلوده کننده نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای شامل پساب‌های صنعتی، مناطق مسکونی زرگان، شبیان و منطقه شهری اهواز و صنایع متمرکز واقع در حومه اهواز و همچنین فاضلاب‌های شهری وجود دارد (حسینی زارع، ۱۳۸۱). منطقه مورد مطالعه، بخشی از رودخانه کارون در مقطع شهر اهواز به طول تقریباً ۳۰ کیلومتر می‌باشد که بین طول جغرافیایی ۴۸°۳۵' تا ۴۸°۴۰' و عرض جغرافیایی ۳۱°۱۵' تا ۳۱°۲۰' قرار دارد. رودخانه کارون در معرض مشکلاتی از قبیل کاهش سطح آب به دلیل سیاست‌های آبی غیر کارشناسی، شهرنشینی و آلودگی آبی قرار دارد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

روش کار

داده‌ها و نرم افزارهای مورد استفاده

الف- جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های لازم شامل تصویر فراطیفی سنجنده هایپریون ماهواره EO-1 و همزمان نمونه‌برداری میدانی و استفاده از دستگاه طیف سنج زمینی فیلد اسپک ۳ و همچنین استفاده از GPS برای تعیین مختصات زمینی نقاط نمونه برداری.

ب- تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های آب جمع آوری شده (تعیین کدورت آب، به روش نفولومتری با کمک دستگاه HATCH- Turbidimeter 2100AN صورت گرفت).

ج- نرم‌افزارهای ENVI4.7، SAMS و SPSS به منظور تصحیح هندسی و اتمسفری، حذف باندهای نویزدار (پارازیت‌دار) و توسعه شاخص‌های طیفی با کمک ترکیب، تفاضل، نسبت باندی و مشتق اول بازتاب و همچنین ایجاد ارتباط بین اطلاعات طیفی حاصل از تصاویر سنجنش از دور و پارامترهای کیفیت آب.

نحوه نمونه‌برداری آب و اندازه‌گیری میدانی

نمونه‌های آب به حجم ۲،۵ لیتر از عمق صفر الی ۴۰ سانتی‌متری در ۱۳ ایستگاه در تاریخ ۱۹ آذر ۱۳۸۹ جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها تا قبل از رسیدن به آزمایشگاه جهت تجزیه و تحلیل کدورت در محیط خنک و تاریک، در ظروف مخصوص (شیشه‌ای و پلی‌اتیلنی) با کمترین اثر منفی بر روی کیفیت آب نگهداری شدند. در آزمایشگاه، کدورت توسط دستگاه HATCH-2100AN اندازه‌گیری شد. Olmanson و همکاران (۲۰۰۸)، نتیجه گرفتند که اگر اندازه‌گیری‌های میدانی در بازه زمانی کمتر یا بیشتر از ۳ روز تا ۱۰ روز از تاریخ تصویربرداری باشد، همبستگی بالایی را با نتایج حاصل از تصاویر تهیه شده در این محدوده زمانی فراهم می‌کند. در فاصله ۶ روز اختلاف از زمان تصویربرداری تا نمونه‌برداری میدانی، باران و یا هر عامل دیگر که سبب نوسانات شدید در آب رودخانه کارون شود، رخ نداد. در طی کار میدانی، از سیستم دستی موقعیت یابی جهانی (GPS) مدل GPS map 60CSx با دقت ± 5 متر برای تعیین مختصات نقاط نمونه‌برداری استفاده شده است. مقادیر عمق سنجی دیسک توسط سنجی دیسک به قطر ۲۵ سانتی متر با تناوب کوادرنانت (ربع دایره) (Quadrant) سیاه و سفید اندازه‌گیری شد. شکل (۲) سنجی دیسک معلق در آب به منظور اندازه‌گیری شفافیت آب را نشان می‌دهد.

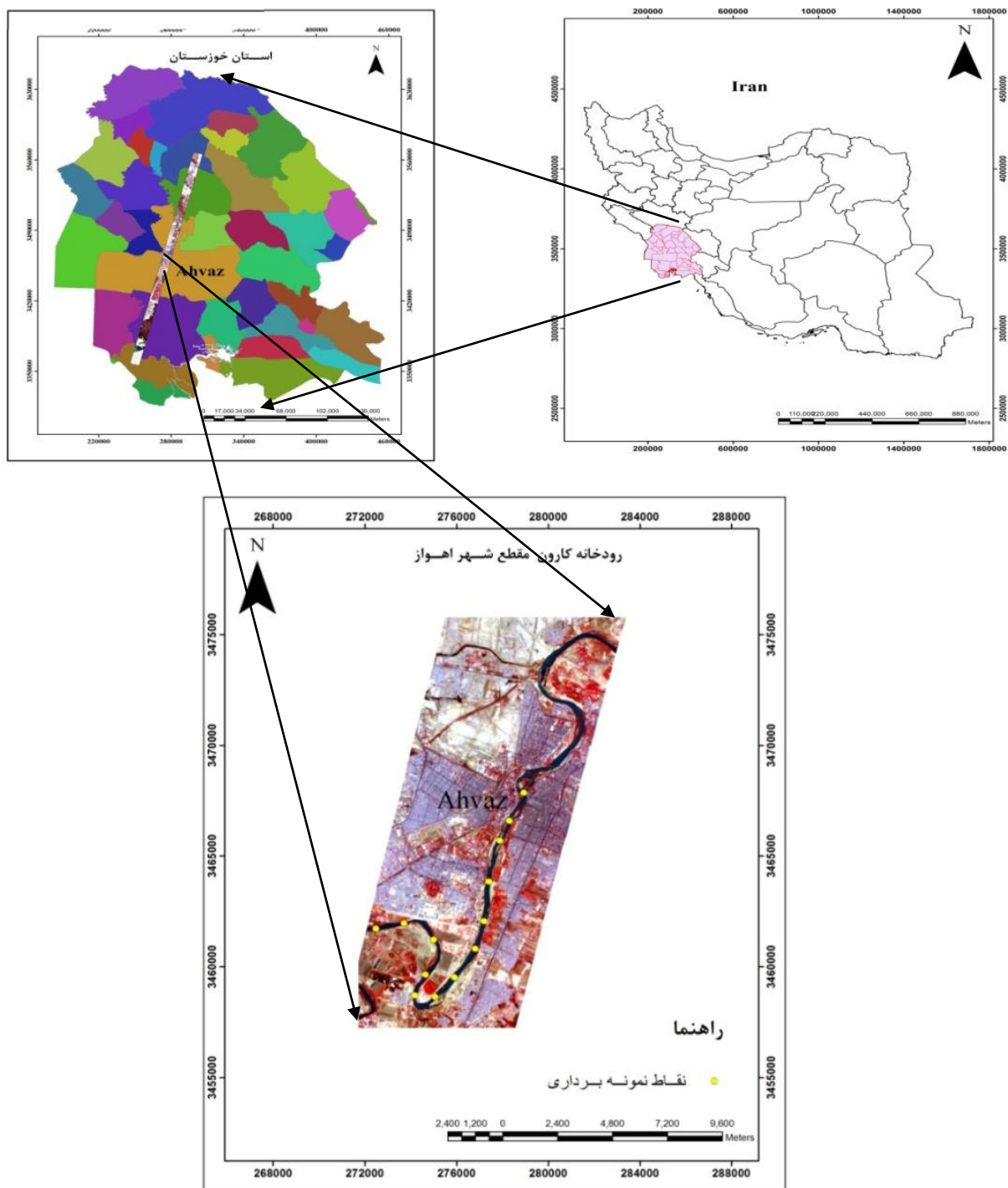
Taihu چین را بررسی کردند (Nas (Dingtian et al, 2006) و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از داده‌های تصویر Landsat-5TM و داده‌های زمینی، نقشه کیفیت آب در دریاچه Beysehir ترکیه را تهیه کردند (Nas et al, 2010). Huang و همکاران (۲۰۱۰)، به برآورد شاخص‌های فراطیفی برای تخمین غلظت کلروفیل-a در دریاچه Tangxun چین، با استفاده از داده‌های فراطیفی اسپکترورادیمتر SVC HR-1024 که دارای قدرت تفکیک طیفی کمتر از ۳/۵ نانومتر و دامنه طیفی ۳۵۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر بود پرداختند (Huang et al, 2010). بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای با چندین پارامتر کیفیت آب که بر خواص نوری آب اثر می‌گذارند در ارتباط است. این پارامترها شامل کدورت، عمق سنجی دیسک و کلروفیل-a می‌باشند (Kloiber, 2002a, b). سنجنده‌های نوری و حرارتی بر روی هواپیما و ماهواره‌ها اطلاعات مکانی و زمانی مورد نیاز را برای تشخیص تغییرات در پارامترهای کیفیت آب به منظور توسعه شیوه‌های بهتر مدیریت برای بهبود کیفیت آب ارائه می‌کنند (Jensen, 2000). هایپریون اولین سنجنده فراطیفی غیر نظامی و تصویری با قدرت تفکیک مکانی بالا در فضا است. چنین تصویری می‌تواند برای شناسایی و استخراج سیگنال‌های کوچک ترکیبات غوطه‌ور در آب استفاده شود (Wang and Tian, 2009). در این مطالعه توانایی بالقوه تصویر هایپریون برای تهیه نقشه کدورت و عمق سنجی دیسک آب رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز مورد مطالعه قرار گرفته است.

عمق سنجی دیسک (SDD^۲)، اندازه‌گیری شفافیت آب است. این اندازه‌گیری بسیار سریع و آسان انجام می‌گیرد و اغلب ارتباط مناسبی با سایر اندازه‌گیری‌های کیفیت آب دارد به عنوان مثال می‌توان به غلظت کلروفیل-a یا مواد معلق در آب نام برد (Lillesand et al, 2004). از آنجائیکه عمق سنجی دیسک به عنوان یک ابزار فراگیر قابل قبول برای اندازه‌گیری شفافیت آب است، لذا تلاش‌های بسیاری برای تهیه نقشه این پارامتر از داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌ای شده است (Zhang et al, 2003).

کدورت (Turbidity)، به عنوان تیرگی آب تعریف می‌شود که در اثر رسوبات معلق در آب ایجاد می‌شود. کدورت، اندازه‌گیری خواص پراکنندگی نور در ستونی از آب (به علت مواد آلی مثل جلبک، فیتوپلانکتون‌ها، اسیدهای آلی و ذرات غیر آلی معلق مانند رس و گل‌ولای در آب) می‌باشد و در ارتباط با عمق سنجی دیسک است. چون ذرات آلی موجود ممکن است منشاء میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا باشد، شرایط کدورت آب امکان مواجه شدن با بیماری‌های ناقل آبی را افزایش می‌دهد (Senay, 2001). استفاده از آب کدر در فرایندهای صنعتی به علت فراوانی جامدات معلق، ممکن است سبب مسدود کردن یا زنگ زدن لوله‌ها و ماشین آلات شود (Harvey, 1989). افزایش کدورت و اثرات ناشی از آن در توده آبی، سبب تغییر در ترکیبات جامعه آبی می‌شود. کدورت ناشی از حجم زیاد جامدات معلق می‌تواند میزان نور نفوذی در آب را کاهش دهد. بنابراین سبب توقف فعالیت فتوسنتز فیتوپلانکتون‌ها، جلبک‌ها و میکروفیت‌ها بویژه آنهایی که پایین‌تر از سطح آب هستند، می‌شود و در نتیجه موجوداتی که در این مناطق رشد می‌کنند، به خوبی تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Senay, 2001).

منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون به طول حدود ۸۹۰ کیلومتر به‌عنوان پرآب‌ترین رودخانه ایران، یکی از منابع مهم آبی کشور محسوب می‌شود. پهنای این رودخانه در



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری



شکل ۲. سچی دیسک معلق در آب به منظور اندازه‌گیری شفافیت آب- مقطع کارون در اهواز

اطلاعات تصویر هایپرین

داده‌های سنجنش از دور استفاده شده در این تحقیق، تصاویر سطح LIGst سنجنده هایپرین متعلق به ماهواره EO-1 است که در تاریخ‌های ۲۴ خرداد، ۱۱ شهریور، ۱۳ آذر و ۱۶ اسفند سال ۱۳۸۹ دریافت شدند. هایپرین یک سیستم طیف‌سنج تصویربردار فراطیفی پوشبرم^۳ است، که بخش مرئی- مادون قرمز نزدیک (VNIR^۴) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR^۵) را پوشش می‌دهد. تصویر هایپرین دارای سیستم مرجع WGS84 و سیستم تصویر UTM است. همچنین دارای ۲۴۲ باند طیفی، دامنه طیفی ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر، پهنای باند ۱۰ نانومتر، قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است و ناحیه‌ای به اندازه ۷٫۵ کیلومتر در ۱۸۵ کیلومتر را در بر می‌گیرد. با این حال، تنها از باندهای محدوده مرئی- مادون قرمز نزدیک (VNIR) برای توسعه معادلات رگرسیون چندگانه مرحله‌ای^۶ بین باندهای طیفی و پارامترهای کیفیت آب مذکور استفاده گردید. پردازش تصویر توسط نرم افزار ENVI4.7 و تجزیه و تحلیل طیفی داده‌های طیف‌سنج و تصویر توسط نرم‌افزار SAMS و تجزیه و تحلیل داده‌های استخراجی توسط نرم افزارهای SPSS و Excel صورت پذیرفت.

دستگاه طیف سنج ASD

دستگاه طیف سنج، دستگاهی است که در زمینه‌هایی که نیاز به اندازه‌گیری بازتاب، تابش و پخش انرژی الکترومغناطیسی از سطوح می‌باشد کاربرد دارد. این دستگاه به طور اختصاصی جهت استفاده در سنجنش از دور میدانی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد که منحنی طیفی را در ناحیه مرئی- مادون قرمز نزدیک (VNIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند. محدوده طیفی این دستگاه از ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است.

بحث

تبدیل ارزش های رقومی (DN^۷) به رادیانس

مقادیر رقومی سطح L1G مقادیر رادیانس مطلق را نشان می‌دهند و به صورت عدد صحیح علامت‌دار ۱۶ بیتی ذخیره می‌شوند. برای بدست آوردن رادیانس تصویر هایپرین، برای محدوده مرئی- مادون قرمز (VNIR) که باندهای ۱ تا ۵۷ را شامل می‌شود و محدوده مادون قرمز کوتاه (SWIR) که باندهای ۵۸-۲۴۲ را شامل می‌شود، فاکتورهای مجزایی توسط شرکت سازنده تعریف شده است. این فاکتورها برای محدوده مرئی- مادون قرمز نزدیک عدد ۴۰ و محدوده مادون قرمز کوتاه عدد ۸۰ است (Beck, 2003). رادیانس محدوده مرئی- مادون قرمز نزدیک از تقسیم DN بر عدد ۴۰ و در محدوده مادون قرمز کوتاه از تقسیم DN بر عدد ۸۰ بدست می‌آید. کانال‌ها یا باندهای کالیبره شده برای محدوده VNIR و SWIR باندهای ۸-۵۷ و ۲۲۴-۷۷ به ترتیب هستند و علت اصلی اینکه همه ۲۴۲ باند کالیبره نیستند حساسیت- پذیری کم آشکارسازها^۸ است. باندهای کالیبره نشده دارای مقدار صفر هستند. بنابراین باندهای ۱ تا ۷ و باندهای ۵۸ تا ۷۶ دارای مقدار صفر هستند که برای انجام پردازش‌های بعدی در ابتدا حذف می‌شوند (Beck, 2003).

تصحیحات هندسی و اتمسفری (جوی) و تبدیل DN تصویر به انعکاس^۹

با توجه به اینکه تصویر دریافتی دارای سطح LIGst (دارای تصحیح هندسی و سیستماتیک) بود، اما با توجه به نقاط کنترل زمینی برداشت شده توسط دستگاه GPS مدل GPS map 60CSx با دقت ± 5 متر، مشخص شد که تصویر دارای دقت کافی نمی‌باشد. به همین منظور تصحیح هندسی با استفاده از باند اول تصویر سنجنده ALI^{۱۰} (این سنجنده همراه با سنجنده هایپرین بر روی ماهواره EO-1 قرار دارد) که دارای قدرت تفکیک ۱۰ متر و فاقد خطای هندسی می‌باشد، به روش Image to Image با کمک نرم‌افزار ENVI4.7 با میزان خطای ۰/۳۴ متر صورت گرفت تا خطای هندسی موجود کاهش یابد. به دلیل اثرات بسیار زیاد اتمسفر بر روی میزان انرژی ثبت شده توسط سنسور، برای آنالیز داده‌های تصویر باید اثر اتمسفر در صورت امکان تعدیل شود. بنابراین روش Empirical line به‌عنوان یکی از روش‌های تصحیح اتمسفری که

۳ pushbrom
۴ Visible Near Infrared
۵ Short Wave Infrared
۶ Stepwise
۷ Digital Number

۸ Detectors
۹ Reflectance
۱۰ Advanced Land Imager

در این محدوده طیفی، برای بدست آوردن الگوریتم‌های برآورد، این محدوده از تصویر هایپریون مورد استفاده قرار گرفت.

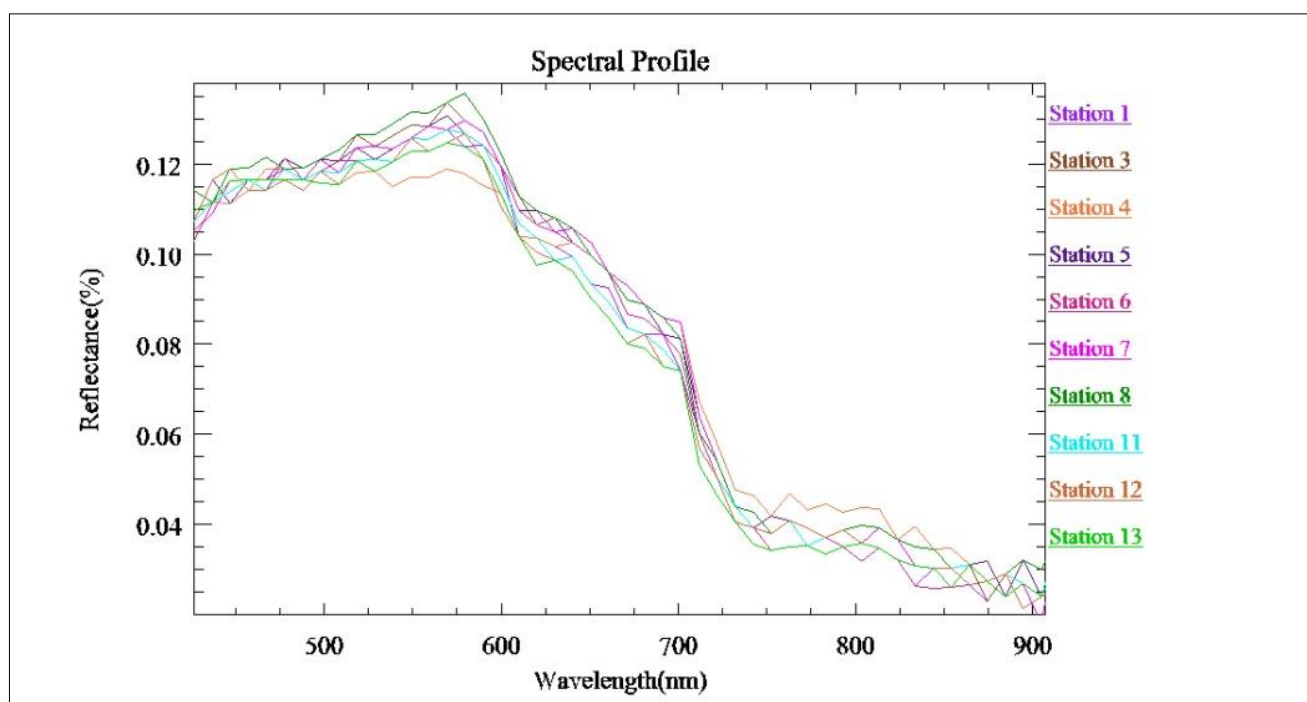
همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود، روند منحنی‌های طیفی به گونه‌ای است که پیک (نوک تیز) واضحی در طول موج حدود ۵۷۰ نانومتر دارند، که به تدریج با افزایش طول موج کاهش می‌یابد. از طول موج حدود ۷۵۰ نانومتر به بعد منحنی‌ها تنوع کمتری را نشان می‌دهند. با توجه به مطالعات و تحقیق‌های صورت گرفته در این زمینه، پیک (نوک تیز) بازتاب در ۵۷۰ نانومتر ممکن است به علت جذب کم رنگدانه جلبک یا پراکندگی مواد معلق غیرآلی و سلول‌های فیتوپلانکتونی باشد. گودی جذب در ۶۵۰ تا ۶۸۵ نانومتر ممکن است به سبب جذب بالای کلروفیل-a در باند قرمز باشد. پیک بازتاب در طول موج حدود ۷۰۰ نانومتر به علت فلئورسانس (تابش ماهتابی) کلروفیل می‌باشد (Ma, Bennet, 1973, 2005, Gitelson 1992).

در بسته نرم‌افزاری ENVI4.7 است، بر روی تصویر هایپریون اعمال گردید. روش Empirical line برای انجام تصحیح اتمسفری (جوی) از همبستگی بین طیف‌هایی که از طریق طیف سنجی میدانی یا آزمایشگاهی از هدف‌ها (عوارض) زمینی به دست می‌آید و میزان ارزش طیفی همان اهداف بر روی تصویر استفاده می‌کند.

در واقع تصویر را با مقادیر طیفی اهداف زمینی جمع‌آوری شده با طیف‌سنجی زمینی که تاثیرات اتمسفر در آن دخالت ندارد، تطبیق می‌دهد (Baugh, 2008). برای این منظور، ابتدا با استفاده از دستگاه طیف‌سنج فیلداسپک با نام FieldSpec@3 موجود در گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید چمران به تهیه طیف عوارض (خاک، گیاه ذرت و برنج و غیره) از سطح زمین پرداخته شد، سپس طیف‌های برداشته شده پس از تصحیحات لازم در نرم‌افزار SAMS به فرمت نرم‌افزار ENVI4.7 درآمد و روش Empirical Line جهت تصحیح اتمسفری به کار رفت.

تجزیه و تحلیل منحنی بازتاب

در این تحقیق با توجه به اینکه پارامترهای انتخاب شده (کدورت و SDD) جزء پارامترهای فعال نوری بوده و در محدوده VNIR تصویر هایپریون خود را بهتر نمایش می‌دهند و از طرفی دیگر به دلیل نسبت سیگنال به نویز مناسب



شکل ۳. منحنی طیف‌های استخراج شده از تصویر هایپریون رودخانه کارون مقطع شهر اهواز

بهترین مدل از ترکیب $R_1 = \frac{660.8477}{671.0228}$ و $R_2 = \frac{508.2185}{467.5172}$ با $R^2 = 0.75$

و ترکیب $R_3 = \frac{671.0228}{681.1983}$ و $R_4 = \frac{620.1464}{599.7959}$ با $R^2 = 0.84$ به ترتیب

برای کدورت و SDD به صورت زیر بدست آمد.

$$\text{Turbidity} = -126.417 * R_1 + 57.041 * R_2 + 90.771$$

$$\text{SDD} = -3.658 * R_3 - 1.597 * R_4 + 5.707$$

مشتق اول بازتاب

مشتق بازتاب، یک تئوری جایگزین است که روابط قوی تری بین پارامترهای کیفیت آب و طول موج‌های مجاور را بیان می‌کند. تجزیه و تحلیل مشتق پیشتر جهت برآورد کدورت استفاده شده است (Senay et al, 2001). مشتق اول بوسیله تقسیم تفاضل مقادیر بازتاب دو باند متوالی به طول موج بازه جداکننده آنها محاسبه می‌شود. یعنی:

معادله (۱)

$$R'(w_i) = \frac{R(w_{i+1}) - R(w_i)}{w_{i+1} - w_i}$$

در معادله (۱)، w_i باند یا طول موج i ام و $R(w_i)$ بازتاب باند i است. تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین مشتق اول بازتاب و کدورت و مشتق اول بازتاب و SDD در محدوده باندهای ۴۲۶ تا ۹۰۰ نانومتر تصویر هایپریون محاسبه و بررسی شد. بیشترین همبستگی در مشتق اول باند (۳۱) B'_{31} (۶۶۰/۸۴۷۷ نانومتر) و مشتق اول باند (۳۲) B'_{32} (۶۷۱/۰۲۲۸ نانومتر) به ترتیب برای کدورت و SDD وجود داشت که در سطح ۵ درصد معنی دار بود. هنگامیکه کدورت و SDD متغیر وابسته و مشتق اول باندهای محدوده VNIR تصویر هایپریون متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند، مدل‌های رگرسیون ارائه شده به ترتیب برای کدورت و SDD با $R^2 = 0.46$ و $R^2 = 0.70$ به صورت زیر بدست آمد.

$$\text{Turbidity} = 10195.115 * B'_{31} + 19.709$$

$$\text{SDD} = 446.572 * B'_{32} + 0.623$$

همچنین رگرسیون خطی چندگانه مرحله‌ای، برای جستجوی ارتباط بین مشتق اول باندهای محدوده VNIR تصویر هایپریون با کدورت و SDD مورد استفاده قرار گرفت. با فرض متغیرهای وابسته و مستقل فوق، بهترین مدل از ترکیب مشتق باندهای ۳۱ و ۳۴ (۶۶۰/۸۴۷۷ و ۶۹۱/۳۷۳۶ نانومتر) برای کدورت و مشتق باندهای ۳۲ و ۵۰ (۶۷۱/۰۲۲۸ و ۸۵۴/۱۷۸۳ نانومتر) برای SDD به ترتیب با $R^2 = 0.86$ و $R^2 = 0.82$ به صورت زیر بدست آمد.

$$\text{Turbidity} = 18946.485 * B'_{31} - 9497.787 * B'_{34} + 22.158$$

$$\text{SDD} = 451.581 * B'_{32} + 97.57 * B'_{50} + 0.624$$

همبستگی داده‌های سنجش از دور و پارامترهای کیفیت آب (کدورت و SDD)

بازتاب تک باند

تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون به طور جداگانه بین پارامترهای کدورت و SDD با باندهای محدوده ۴۲۶ تا ۹۰۰ نانومتر که شامل ۴۸ باند می‌باشد انجام گرفت. بر این اساس بیشترین همبستگی بین پارامترهای کدورت و SDD با ۴۸ باند، به ترتیب با باندهای ۱۸ (۵۲۸/۵۶۹۰ نانومتر) و ۳۲ (۶۷۱/۰۲۲۸ نانومتر) تصویر هایپریون مشاهده گردید، که در سطح ۵ درصد معنی دار بودند. هنگامیکه کدورت و SDD متغیر وابسته و باندهای محدوده VNIR تصویر هایپریون متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند، مدل‌های رگرسیون ارائه شده در این حالت برای کدورت و SDD به ترتیب با $R^2 = 0.49$ و $R^2 = 0.56$ به صورت زیر بدست آمد.

$$\text{Turbidity} = 685.672 * B_{18} - 69.854$$

$$\text{SDD} = -12.818 * B_{32} + 1.685$$

همچنین رگرسیون خطی چندگانه مرحله‌ای، برای جستجوی ارتباط بین

باندهای محدوده VNIR تصویر هایپریون با کدورت و SDD مورد استفاده قرار گرفت. با فرض متغیرهای وابسته و مستقل فوق، بهترین مدل از ترکیب باندهای ۱۶ و ۱۸ (۵۰۸/۲۱۸۵ و ۵۲۸/۵۶۹۰ نانومتر) با $R^2 = 0.76$ و ترکیب باندهای ۳۲ و ۳۳ (۶۷۱/۰۲۲۸ و ۶۸۱/۱۹۸۳ نانومتر) با $R^2 = 0.80$ به ترتیب برای کدورت و SDD به صورت زیر بدست آمد (رنگزن، ۱۳۸۹).

$$\text{Turbidity} = 1402.86 * B_{18} - 889.09 * B_{16} - 51.247$$

$$\text{SDD} = -38.009 * B_{32} + 31.598 * B_{33} + 1.165$$

نسبت بازتاب

در نسبت‌گیری طیفی، مقادیر درجه روشنایی یک باند طیفی به باند طیفی قابل انطباق دیگر تقسیم می‌شود، که با هدف متمایز ساختن تفاوت‌هایی که توسط تغییرات روشنایی در تک باندها ممکن نیست به کار می‌رود. نسبت-گیری، تغییرات شیب منحنی بازتاب‌های طیفی بین دو باند را به تصویر می‌کشد. این شیب منحنی بسته به وضعیت منطقه و باندهای مختلف متفاوت است (علوی پناه، ۱۳۸۸). در این مطالعه، ۴۰ و ۵۰ حالت متفاوت نسبت باندی از باندهای محدوده ۴۲۶ الی ۹۰۰ نانومتر به ترتیب برای SDD و کدورت محاسبه و به کار گرفته شد. تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین نسبت‌های باندی و کدورت، نسبت‌های باندی و SDD محاسبه و به ترتیب بیشترین همبستگی با $R_1 = \frac{660.8477}{671.0228}$ و $R_2 = \frac{671.0228}{681.1983}$ که در سطح ۵ درصد معنی دار بودند، مشاهده گردید. با فرض اینکه کدورت و SDD متغیر وابسته و نسبت‌های باندی استخراجی از محدوده VNIR تصویر هایپریون متغیرهای مستقل باشند، روابط رگرسیون زیر با $R^2 = 0.52$ و $R^2 = 0.66$ به ترتیب برای کدورت و SDD بدست آمد.

$$\text{Turbidity} = -87.174 * R_1 + 106.955$$

$$\text{SDD} = -3.676 * R_2 + 4.297$$

همچنین رگرسیون خطی چندگانه مرحله‌ای، برای جستجوی ارتباط بین

نسبت‌های باندی محاسبه شده از محدوده VNIR تصویر هایپریون با کدورت و SDD مورد استفاده قرار گرفت. با فرض متغیرهای وابسته و مستقل فوق،

دقت الگوریتم‌ها

در معادله (۲)، مقدار متغیر وابسته اندازه‌گیری شده در محل \hat{Y} : مقدار تخمینی متغیر وابسته بوسیله معادله و n تعداد نمونه‌ها است. مقادیر پایین تر RMSE صحت الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.

جذر متوسط مربع خطا ($RMSE^{12}$) برای دقت الگوریتم‌های بدست آمده به کار رفت. نتایج در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2} \quad \text{معادله (۲)}$$

جدول ۱. اطلاعات مربوط به مدل‌های بدست آمده برای کدورت

مدل	باند‌های بهینه	مدل الگوریتم	RMSE(NTU)	R ²
رگرسیون دو متغیره				
تک باند	۵۲۸,۵۶۹۰	Turbidity = 685.672*B ₁₈ - 69.854	۲/۰۲۸	۰/۴۹
مشق اول	۶۶۰,۸۴۷۷	Turbidity = 10195.115*B' ₃₁ + 19.709	۲/۰۷۵	۰/۴۶
نسبت بازتاب	$R_1 = \frac{660.8477}{671.0228}$	Turbidity = -87.174*R ₁ + 106.955	۱/۹۶	۰/۵۲
رگرسیون چندگانه مرحله ای				
تک باند	۵۲۸,۵۶۹۰ و ۵۰۸,۲۱۸۵	Turbidity = 1402.86*B ₁₈ - 889.09*B ₁₆ - 51.247	۱/۳۸	۰/۷۶
مشق اول	۶۹۱,۳۷۳۶ و ۶۶۰,۸۴۷۷	Turbidity = 18946.485*B' ₃₁ - 9497.787*B' ₃₄ + 22.158	۱/۰۳	۰/۸۶
نسبت بازتاب	$R_1 = \frac{660.8477}{671.0228}$ و $R_2 = \frac{508.2185}{467.5172}$	Turbidity = -126.417*R ₁ + 57.041*R ₂ + 90.771	۱/۳۸	۰/۷۵

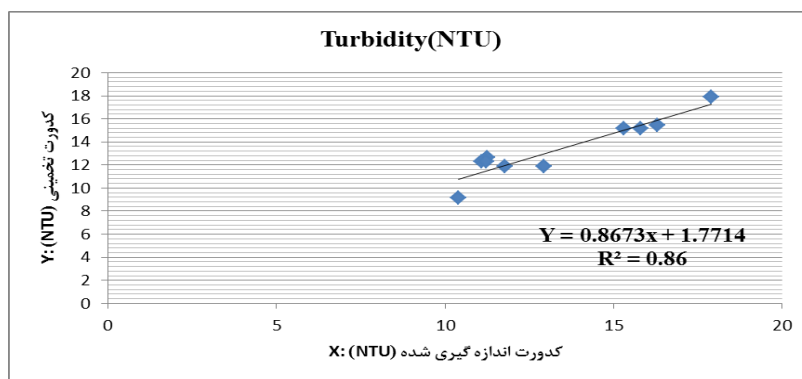
جدول ۲. اطلاعات مربوط به مدل‌های بدست آمده برای عمق سچی دیسک (SDD)

مدل	باند‌های بهینه	مدل الگوریتم	RMSE(m)	R ²
رگرسیون دو متغیره				
تک باند	۶۷۱,۰۲۲۸	SDD = -12.818*B ₃₂ + 1.685	۰/۰۵	۰/۵۶
مشق اول	۶۷۱,۰۲۲۸	SDD = 446.572*B' ₃₂ + 0.623	۰/۰۴۵	۰/۷۰
نسبت بازتاب	$R_2 = \frac{671.0228}{681.1983}$	SDD = -3.676R ₂ + 4.297	۰/۰۴۳	۰/۶۶
رگرسیون چندگانه مرحله ای				
تک باند	۶۸۱,۱۹۸۳ و ۶۷۱,۰۲۲۸	SDD = -38.009*B ₃₂ + 31.598*B ₃₃ + 1.165	۰/۰۳۴	۰/۸۰
مشق اول	۸۵۴,۱۷۸۳ و ۶۷۱,۰۲۲۸	SDD = 451.581*B' ₃₂ + 97.57*B' ₅₀ + 0.624	۰/۰۳	۰/۸۲
نسبت بازتاب	$R_3 = \frac{671.0228}{681.1983}$ و $R_4 = \frac{620.1464}{599.7959}$	SDD = -3.658R ₃ - 1.597R ₄ + 5.707	۰/۰۳	۰/۸۴

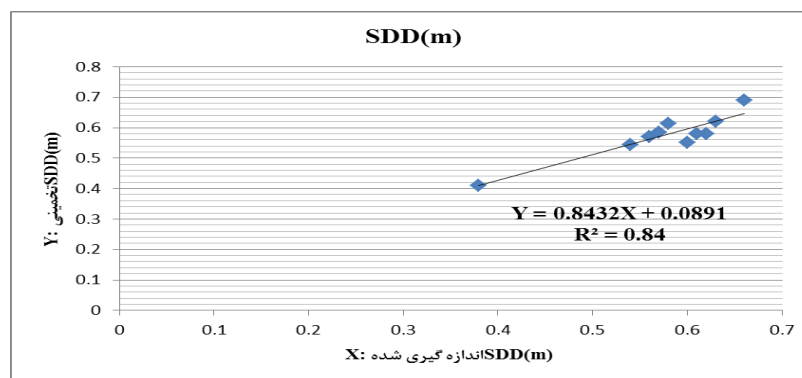
جدول ۳. داده‌های کدورت و SDD اندازه‌گیری شده و تخمین زده از تصویرهای پیروی بر اساس بهترین مدل بدست آمده

ایستگاه نمونه‌برداری	کدورت تخمینی (NTU)	کدورت اندازه‌گیری شده (NTU)	SDD تخمینی (m)	SDD اندازه‌گیری شده (m)
۱	۱۲/۶۵۶	۱۱/۲۴	۰/۶۱۴	۰/۵۸
۳	۱۵/۱۵۲	۱۵/۸	۰/۵۸۴	۰/۵۷
۴	۱۱/۸۹۹	۱۱/۷۸	۰/۵۵	۰/۶
۵	۱۱/۸۵۶	۱۲/۹۴	۰/۵۴۳	۰/۵۴
۶	۹/۱۷۶	۱۰/۴	۰/۵۷۹	۰/۶۲
۷	۱۷/۸۷	۱۷/۹	۰/۴۱۱	۰/۳۸
۸	۱۵/۱۹۵	۱۵/۳	۰/۵۷	۰/۵۶
۱۱	۱۵/۴۷۶	۱۶/۳	۰/۵۷۹	۰/۶۱
۱۲	۱۲/۳۲	۱۱/۰۹	۰/۶۸۹	۰/۶۶
۱۳	۱۲/۳۲	۱۱/۲۳	۰/۶۲۱	۰/۶۳

با توجه به داده‌های جدول (۳)، همبستگی منفی ۵۳ درصد بین کدورت و SDD تخمینی وجود دارد. این موضوع بیانگر این است که با افزایش مقدار کدورت، مقدار SDD کاهش می‌یابد. شکل‌های (۴ و ۵) نمودار رگرسیونی خطی بین کدورت و SDD اندازه‌گیری شده و تخمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. رابطه رگرسیونی بین داده‌های تخمین زده ماهواره و اندازه‌گیری در محل کدورت



شکل ۵. رابطه رگرسیونی بین داده‌های تخمین زده ماهواره و اندازه‌گیری در محل SDD

۱- نتیجه گیری نهایی

به منظور نمایش محدوده آبی، منطقه مورد مطالعه (رودخانه کارون) از تصویر هایپریون ماسک (Mask) شد. بهترین مدل‌های بدست آمده زیر برای رودخانه کارون، از بین مدل‌های موجود در جدول (۱ و ۲) برای برآورد ارزش پارامترهای کیفیت آب در سرتاسر رودخانه ماسک شده از تصویر موجود، به کار برده شد. برای نمایش بهتر پارامترهای کیفیت آب بررسی شده بر روی تصویر، آنها را به گروه‌های مختلفی بر اساس الگوریتم تصمیم‌گیری شاخه‌ای^{۱۱} طبقه‌بندی کرده و نقشه پراکندگی مکانی پارامترهای کدورت و SDD در رودخانه کارون ترسیم گردید.

مدل (۱)

$$\text{Turbidity} = 18946.485 * B'_{31} -$$

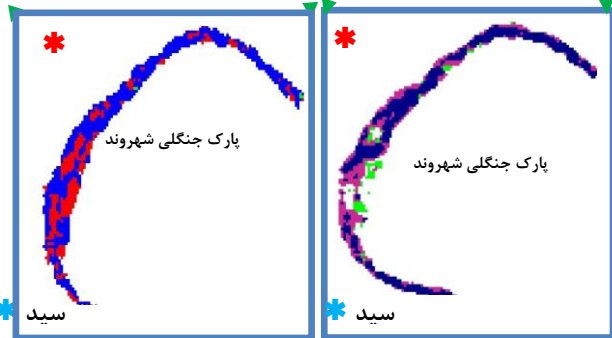
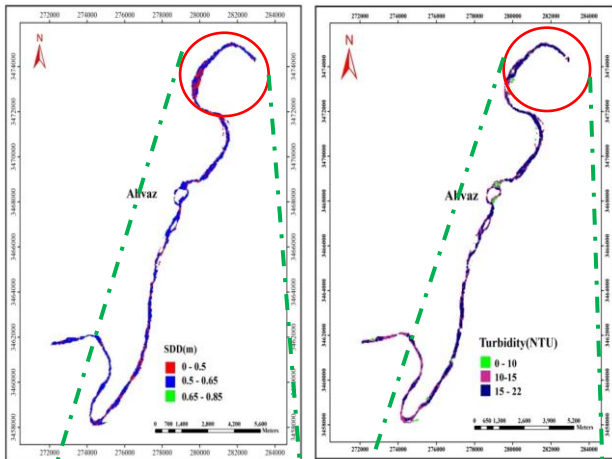
$$497.787 * B'_{34} + 22.158$$

$$\text{SDD} = -$$

$$3.658 * R_3 - 1.597 * R_4 + 5.707$$

مدل (۲)

شکل‌های (۶ و ۷) نقشه پراکندگی پارامترهای کدورت و SDD بعد از اعمال مدل‌های (۱ و ۲) فوق بر روی تصویر هایپریون مربوط به منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۱۳ آذر ۱۳۸۹ را نشان می‌دهند. در این مطالعه توانایی بالقوه تصویر هایپریون در تهیه نقشه کدورت و عمق سچی دیسک رودخانه کارون مورد بررسی قرار گرفت و از باندهای محدوده VNIR تصویر هایپریون استفاده شد. همانطور که در جدول‌های (۱ و ۲) مشاهده می‌شود، محاسبه نسبت بازتاب بین پیک‌های جذب و بازتاب و تجزیه و تحلیل مشتق طیف می‌تواند همبستگی با کدورت و عمق سچی دیسک را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. تجزیه و تحلیل همبستگی، طول موج‌ها یا نسبت‌های باندی مناسب را برای برآورد کدورت و عمق سچی دیسک آب معرفی می‌کند. الگوریتم‌های نسبت باندی برای تخمین پارامترهای کیفیت آب به علت اینکه می‌تواند ویژگی‌های طیفی جذب و بازتاب را برجسته کند و در نتیجه اثرات نویز را کاهش دهد، مناسب است. مشتق اول بازتاب، روابط قوی‌تری بین پارامترهای کیفیت آب و طول موج‌های مجاور را بیان می‌کند.



شکل ۷: نقشه عمق سچی دیسک رودخانه کارون، تاریخ ۱۳ آذر ۸۹

شکل ۶: نقشه غلظت کدورت رودخانه کارون، تاریخ ۱۳ آذر

منابع

- رنگزن، کاظم، فتاحی مقدم، مهدی، صابری، عظیم، حسینی زارع، نادر. و موبد، پرپوش. ۱۳۸۹. بررسی کیفیت آب رودخانه کارون محدوده اهواز توسط تصاویر بهنگام هایپریون. بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین. صفحه ۶۷
- حسینی زارع، نادر. (۱۳۸۱). بررسی تاثیر گسترش اراضی فاریاب و طرح توسعه در خوزستان بر کیفیت آب رودخانه‌های کارون و دز. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اهواز. صفحات ۳۲-۲۹
- علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۸، اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌های و عکس‌های هوایی، انتشارات دانشگاه تهران. صفحات ۳۲۳-۳۲۲
- Baugh, W.M., Groeneveld, D.P., 2008. Empirical proof of the empirical line. *International Journal of Remote Sensing* Vol.29, No.3, 665–672
- Beck, R. (2003). EO-1 User Guide. USGS Earth Resources Observation Systems Data Center (EDC) 47914 252Street Sioux Falls, S.D., 57198-0001 (605) 594-6511 <http://edcwww.cr.usgs.gov>
- Bennet, A.; Bogorad, L. 1973. Complimentary chromic adaption in a filamentous blue-green alga. *J. Cell Biol.*, 58, 410-435.
- Dingtian, Y., Delu, P., Xiaoyu, Z., Xiaofeng, Z., Xianquiang, H., and Shujing, L. 2006. Retrieval of chlorophyll a and suspended solid concentrations by hyperspectral remote sensing in Taihu Lake, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. Vol.24 No.4, p. 428-434
- Donghai, L., Yanling, Q., Hongyan, H., Jun, H., Shihui, W., Hongen, Z., and Zhiliang, Z., 2009. Hyper-spectrum models for monitoring water quality in Dianshan Lake, China. *Chinese journal of Oceanology and Limnology*. Vol.27 No. 1, P. 142-146
- Ekercin, S., 2007. Water Quality Retrievals from High Resolution Ikonos Multi spectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey. *Water Air Soil Pollut.* 183:239–251, DOI10.1007/s11270-007-9373-5
- Gitelson, A. A. The peak near 700 nm on reflectance spectra of algae and water: Relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. *Int. J. Rem. Sens.* 1992, 13, 3367-3373
- Harvey, G.W., 1989. Technical review of sediment criteria, for consideration for inclusion in Idaho Water Quality Standards. Idaho Dept. of Health and Welfare, Water Quality Bureau, Boise, ID
- Huang, Y. Jiang, D. Zhuang, D., and Fu, J. 2010. Evaluation of Hyperspectral Indices for Chlorophyll-a Concentration Estimation in Tangxun Lake (Wuhan, China). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7, 2437-2451.
- Jensen, J. R. (2000). Remote sensing of the environment. An earth resource perspective. Upper Saddle River. Prentice Hal
- Kloiber, S.M., Brezonik, P.L., and Bauer, M.E., 2002a. Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity. *Water Research*. 36, 4330–4340
- Kloiber, S.M., Brezonik, P.L., Olmanson, L.G., and Bauer, M.E., 2002b. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 82, 38–47.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., and Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and image interpretation. New York. Wiley.
- Ma, R.H., Dai, J.F. 2005. Chlorophyll-a Concentration Estimation with Field Spectra of Water-body near Meiliang Bayou in Taihu Lake. *J. Rem. Sens.* 2005, 9, 78-86.
- Nas, B., Ekercin, S., Karabork, H., Berkay, A., and Mulla, D.J., 2009. An Air Soil Application of Landsat-5TM image data for water quality mapping in lake Beysehir, Turkey. *Water Pollut*, DOI 10.1007/s11270-010-0331-2
- Nas, B., Ekercin, S., Karabork, H., Berkay, A., and Mulla, D.J., 2010. An Application of Landsat-5TM Image Data for Water Quality Mapping in Lake Beysehir, Turkey. *Water Air Soil Pollut.* DOI10.1007/s11270-010-0331-2
- Olmanson, L.G., Bauer, M.E., and Brezonik, P.L., 2008. A 20 – year Landsat water clarity census of Minnesota’s 10,000 Lakes. *Remote Sensing of Environment*. 122(11), 4086–4097.

- Reddy, M. A. (1997). A detailed statistical study on selection of optimum IRS LISS pixel configuration for development of Water quality models. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2559–2570.
- Senay, G.B., Shafique, N.A., Autrey, B.C., Fulk, F., and Cormier, S.M., 2001. The Selection of Narrow Wavebands for Optimizing Water Quality Monitoring on the Great Miami River, Ohio using Hyperspectral Remote Sensor Data. *J. Spatial Hydrology*, 1, 1-22
- Wang, J., and Tian, Q., 2009. Chlorophyll-a Concentration Estimated by Hyperspectral Remote Sensing in Liaodong Bay. *MIPPR. Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications*. pp. 749807-749807-8
- Zhang, Y., Pulliainen, J.T., Koponen, S.S., and Hallikainen, M.T. 2003. Water quality retrievals from combined Landsat TM Data and ERS-2 SAR Data in the Gulf of Finland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41, 622-629