

برآورد غلظت کلروفیل A با استفاده از سنجش از دور و اندازه‌گیری میدانی در تالاب چغاخور

- مهسا کنارکوهی: گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
- مژگان احمدی‌ندوشن*: گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
- محمدهادی ابوالحسنی: گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۸

چکیده

بهره‌برداری از منابع آب مستلزم شناخت کیفیت آب می‌باشد، زیرا منابع آب دریافت‌کنندگان نهایی آلودگی به‌دست آمده از فعالیت‌های انسانی هستند. هدف از این مطالعه، بررسی خصوصیات کیفی آب تالاب چغاخور واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از بررسی‌های میدانی و نیز اندازه‌گیری کلروفیل A با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی همبستگی بین مقادیر کلروفیل حاصل از تصویر ماهواره‌ای و اندازه‌گیری میدانی می‌باشد. بدین منظور کیفیت آب تالاب چغاخور با استفاده از روش آزمایشگاهی و میزان کلروفیل A با استفاده از شاخص NDCI و آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی در نمونه‌برداری آزمایشگاهی شامل DO، EC، pH، TDS، TSS، کلروفیل A، نیتрат، عمق آب، دمای محیط و دمای آب بود. نمونه‌برداری از ۴ ایستگاه در تالاب چغاخور انجام شد و کلیه آزمایش‌ها ۲۴ ساعت بعد از نمونه‌برداری در آزمایشگاه صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۵ درصد انجام شد. میزان همبستگی مقادیر کلروفیل A با مقادیر حاصل از نمونه‌برداری آب بررسی شد. به‌طور کلی، نتایج همبستگی معنی‌داری را بین مقادیر حاصل از نمونه‌برداری و مقادیر تخمین زده شده توسط NDCI، برای غلظت کلروفیل A نشان می‌دهد ($R^2 = 0.92$) و این بدین معناست که می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین میزان غلظت کلروفیل A استفاده کرد.

کلمات کلیدی: سنجش از دور، کلروفیل A، کیفیت آب، تالاب



مقدمه

افزایش جمعیت انسانی، از کارافتادن تاسیسات تصفیه‌خانه‌فاضلاب، تغییرات کاربری اراضی و هم‌چنین تخریب سیستم‌های طبیعی مانند تالاب‌ها منجر به افزایش بار آلودگی آب‌ها می‌شود (Masocha و همکاران، ۲۰۱۷). بیش از ۴۰٪ از جمعیت جهان در مناطق ساحلی و سواحل دریاچه‌ها یا رودخانه‌ها زندگی می‌کنند و این نسبت در حال افزایش است. مناطق ساحلی و سایر آب‌ها محیط‌های حساسی هستند که هرگونه تغییر در این اکوسیستم‌های شکننده به دلیل فعالیت‌های انسانی می‌تواند زیستگاه ماهی و سایر موجودات آبی را به خطر اندازد (Haji Gholizadeh و همکاران، ۲۰۱۶). به دلیل تغییرات محیط طبیعی ناشی از فعالیت‌های انسانی، محیط‌های آبی در معرض کم آبی هستند. فشار روی منابع آبی در آینده افزایش خواهد یافت و بسیاری از مطالعات، کاهش کیفیت آب را به عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدها برای جوامع پیش‌بینی کرده‌اند. برای غلبه بر این مشکل، انجام ارزیابی کیفیت و برنامه‌ریزی و مدیریت کیفیت آب برای هر کشوری برای دولت و سازمان‌های مربوطه بسیار ضروری است. پایش کیفیت آب با روش‌های سنتی و اندازه‌گیری‌های میدانی و آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌ها نتایج دقیقی ایجاد می‌کند ولی غالباً هزینه‌بر و زمان‌بر است (Mushtaq و Nee Lala، ۲۰۱۶). به طور کلی کیفیت آب از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و پارامترهای بیولوژیکی بررسی می‌شود (Mohamed، ۲۰۱۵؛ Mushtaq و Nee Lala، ۲۰۱۶). کلروفیل A به عنوان یک عامل زیستی نشان‌دهنده توان تولید اولیه اکوسیستم‌های آبی است و میزان آن واکنش جوامع فیتوپلانکتونی به غنی‌سازی مواد مغذی را نشان می‌دهد. هم‌چنین میزان کلروفیل A شرایط تروفیک یک اکوسیستم آبی را نیز مشخص می‌کند و از آن می‌توان برای آنالیز کیفیت آب استفاده کرد. غلظت کلروفیل A تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی تغییر می‌یابد (غلامی پور و همکاران، ۱۳۹۵). غلظت کلروفیل A یکی از پارامترهای اصلی کیفیت آب است که می‌تواند با استفاده از داده‌های سنجش از دور اندازه‌گیری شود (موسوی‌ده‌موردی و بنایی، ۱۳۹۷). سنجش از دور می‌تواند با ثبت و تحلیل ویژگی‌های طیفی آب، پارامترهای کیفی آب را مورد آنالیز قرار دهد. فن‌آوری سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طیفی از تجهیزات برای فراهم کردن داده‌هایی در مورد کیفیت آب فراهم می‌آورد (Subiyanto و همکاران، ۲۰۱۸). سنجش از دور به عنوان ابزاری برای نظارت بر کیفیت آب در سال ۱۹۷۸ به وجود آمد که سنسور اسکنر رنگی ساحلی (CZCS) راه‌اندازی شد (Chawira و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از تکنولوژی سنجش از دور به عنوان بهترین وسیله برای آشکارسازی و ارزیابی تغییرات شناخته شده است. زیرا با پیشرفت‌های انجام شده در این تکنولوژی و تولید تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا و هم‌چنین انواع

تکنیک‌های پردازش می‌توان تغییرات صورت گرفته را برآورد نمود و نسبت به مدیریت آن‌ها اقدام کرد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۰). فن سنجش از دور یک ابزار ضروری و با ارزش در ارزیابی تغییرات به دلیل پوشش مکرر و تکراری کره زمین می‌باشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۱). سنجش از دور علاوه بر این که مشکل دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن که لازمه روش‌های سنتی و زمینی است را مرتفع ساخته و آن را به حداقل رسانده است، با ایجاد پوشش خوبی از منطقه مورد مطالعه، امکان دید کلی و کامل‌تر از آن را فراهم می‌سازد. امروزه داده‌ها و کلیه پردازش‌ها و خروجی آن‌ها در سنجش از دور به صورت رقمی بوده و همین مسئله باعث می‌شود تا از فن‌آوری کامپیوتری موجود حداکثر استفاده برده شود. داده‌های سنجش از دور ابزار مهمی برای تعیین وضعیت تروفي در محیط‌های آبی است. کلروفیل A شاخصی از تراکم پلانکتون‌هاست و در فراهم کردن اطلاعات برای ارزیابی بیومس جلبکی و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها مفید است (Ayeni و Adesalu، ۲۰۱۸). ماهواره‌ها می‌توانند اطلاعاتی در چند مقیاس و چند طیف تهیه کنند. با استفاده از فناوری سنجش از دور می‌توان با هزینه و زمان کم‌تر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، ملی، منطقه‌ای، استانی و محلی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعه تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به خوبی فراهم کرده است. یکی دیگر از مزایای سنجش از دور، وجود انواع متنوعی از تصاویر ماهواره‌ای با خصوصیات طیفی و مکانی مختلف است که باعث گردیده تا برای یک مکان مشخص تصاویر متعددی موجود باشد و بتوان آنالیزهای چند زمانه را نیز انجام داد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵). موسوی‌ده‌موردی و بنایی (۱۳۹۷) غلظت کلروفیل A را با استفاده از تصاویر لندست ۸ و روش میدانی در آب‌های ساحلی بندر دیلم در سال ۱۳۹۵ مورد ارزیابی قرار دادند. ارتباط بین مقادیر انعکاس باندهای OLI و غلظت میدانی کلروفیل A مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین نسبت باندی در منطقه مورد مطالعه نسبت باندی باند ۵ به ۱ و باند ۵ به ۲ است. یافته‌ها هم‌چنین نشان داد که تصاویر لندست ۸ به خوبی می‌تواند به منظور تخمین کلروفیل A در آب‌های ساحلی مورد استفاده قرار گیرد. عباسی‌کسبی و همکاران (۱۳۹۶) از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به منظور مدل‌سازی پراکنش گونه‌های ماکروبنیتیک منطقه جزر و مدی رودخانه بهمنشیر استفاده کردند. نمونه‌برداری از منطقه به منظور شناسایی و شمارش گونه‌ها و هم‌چنین اندازه‌گیری میزان رسوبات انجام شد. پس از شناسایی و شمارش گونه‌های ماکروبنیتیک، نقشه فراوانی برای چند گونه غالب منطقه ساخته شد. نقشه‌های فاکتورهای محیطی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، درصد مواد



مطالعه نشان دهنده کارایی داده‌های سنجش از دور برای پایش کیفیت فیزیکی آب در مقیاس حوزه آبریز رودخانه است. Abdelmalik (۲۰۱۶) پژوهشی تحت عنوان نقش سنجش از دور آماری برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب ارائه داد. هدف از این پژوهش درک روابط آماری در میان فضای پیشرفته داده‌های انتشار حرارتی و بازتاب تابش (ASTER) و مشاهده پارامترهای کیفیت آب، به منظور توسعه یک رابطه ریاضی برای پیش‌بینی دقیق اطلاعات از دست‌رفته در یک منطقه مشخص است. این روش در دریاچه قارون (Qaroun) در فایوم دپرسیون (Fayoum depression) مصر استفاده شده است. پارامترهای کیفیت آب به‌دست آمده از داده‌های سنجنده ASTER مورد استفاده در پژوهش فوق عبارتند از: دما، کدورت، غلظت یون هیدروژن (pH)، شوری، کل مواد جامد (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، قلیابیت کل، کل کربن آلی (TOC) و ارتوفسفر. نرم‌افزار SPSS در پژوهش فوق برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. تصاویر ARDAS و نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه نقشه‌های توزیع مکانی دریاچه قارون مورد استفاده قرار گرفت. Mushtaq و Nee Lala (۲۰۱۶) با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ OLI به بررسی پارامترهای کیفیت آب دریاچه هیمالایان کشمیر پرداختند. هدف این مطالعه ایجاد الگوریتم‌های ساده و دقیق به منظور استخراج پارامترهای کیفیت آب برای دریاچه وولار با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ بود. پارامترهای کیفیت آب شامل pH، اکسیژن محلول، قلیابیت، سختی، کل مواد جامد معلق، کل مواد جامد محلول، کدورت، هدایت الکتریکی و فسفات بود. آنالیز رگرسیون برای بررسی رابطه بین مقادیر بازتابش باندهای تصویر OLI و مقادیر پارامترهای کیفیت آب در محل‌های نمونه‌برداری گوناگون انجام شد. بیش‌تر پارامترها با باندهای تصویر OLI همبستگی بالایی نشان داد. با توجه به قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در برآورد میزان کلروفیل و نیز لزوم بررسی پارامترهای گوناگون کیفیت آب این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای و اندازه‌گیری میدانی استفاده کرد. هدف این مطالعه برآورد میزان کلروفیل A در تالاب چغاخور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ OLI و بررسی همبستگی آن با مقادیر اندازه‌گیری شده، هم‌چنین بررسی برخی پارامترهای کیفیت آب از قبیل pH، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، کل جامدات معلق، کل جامدات محلول و نیترات بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه تالاب چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری، با مساحتی حدود ۱۵۰۰ هکتار است. این تالاب در دشت گندمان بلداجی واقع شده است. وسعت این حوزه ۷۶۸ کیلومتر مربع است که ۲۲۲ کیلومتر مربع آن دشت است. دشت

آلی، درصد رسوبات دانه‌ریز، فاصله از خط پایین جزر و مدی و اطلاعات دو باند ۱ و ۶ ماهواره لندست ۸ به‌عنوان ورودی‌های این مدل در محیط GIS وارد شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد این روش، روش مناسبی جهت مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه‌های ماکروبنیتیک است. عبادتی و هوشمندزاده (۱۳۹۳) کیفیت آب رودخانه دز در ایستگاه آب‌سنجی دزفول را بررسی کردند. هدف از این پژوهش، بررسی کیفیت آب رودخانه دز در ایستگاه آب‌سنجی دزفول برای شرب انسانی، صنعت و کشاورزی است. براساس نمونه‌برداری‌ها غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی تعیین شد. نتایج، با استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استانداردهای کشاورزی برای تعیین کیفیت آب شرب دام‌ها مقایسه شد. از مجموع تمام متغیرهای کیفی بررسی شده، مقادیر EC، TDS، pH، Ca، Mg، Na، SO₄ و CL در محدوده استاندارد و HCO₃ بیش‌تر از حد مجاز قرار گرفتند. نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه برای کشاورزی و شرب دام و طیور مطلوب است. شکوهی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کیفیت آب دریاچه‌ی سد آیدغوش با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و بیان مواد مغذی پرداختند در این مطالعه، پارامترهای کیفی خاص مطالعات میدانی، شامل اکسیژن محلول، دمای آب، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و شیمیایی، محتمل‌ترین تعداد کلی‌فرم، کلی‌فرم‌های مدفوعی، کدورت، کل مواد جامد محلول، pH، هدایت ویژه آب و دیگر پارامترهای کیفی در ۸ ایستگاه مختلف طی فصول بهار و تابستان اندازه‌گیری شدند. بر اساس طبقه‌بندی شاخص NSFWQI، بیش‌تر نمونه‌های اندازه‌گیری شده دارای کیفیت خوب بودند. شاخص محاسبه شده نشان داد کیفیت آب خوب و برای استفاده‌های مختلف مناسب است. Ayeni و Adesalu (۲۰۱۸) در مطالعه خود از روش‌های آزمایشگاهی و سنجش از دور برای ارزیابی غلظت کلروفیل A در تالاب لاگوس نیجریه استفاده کردند. سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مورد استفاده قرار گرفت و همبستگی بین مقادیر کلروفیل A حاصل از آنالیز آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره‌ای محاسبه و ارزیابی شد. Masocha و همکاران (۲۰۱۷) پروژه‌ای تحت عنوان سنجش از دور کیفیت آب‌های سطحی در حوضه آبریز در زیمبابوه انجام دادند. در این مطالعه با استفاده از سنجش از دور و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای به ارزیابی چگونگی تغییر شرایط در حوضه رودخانه زیمبابوه و حاشیه آن پرداختند. از رگرسیون غیرخطی به‌منظور بررسی رابطه بین NDVI با کل مواد جامد معلق (TSS) استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص NDVI به‌دست آمده از داده‌های سری لندست چندطیفی (لندست ۸) یک ابزار بالقوه ارزشمند برای ارزیابی سریع کیفیت فیزیکی آب در حوضه‌هایی است که داده‌های زیادی از آن‌ها موجود نیست. به‌طور کلی، نتایج این



ایستگاه یک لیتر آب جهت اندازه‌گیری دما، pH، EC، TDS و کلروفیل A و NO_3^- ، PO_4^{3-} و TSS و اکسیژن محلول در بطری‌های پلی‌اتیلن که با اسیدنیتریک ۱۰٪ و آب مقطر شستشوداده شده جمع‌آوری شد. بطری‌ها قبل از پرشدن با نمونه‌ها، دوبار با آب شستشوداده شدند. تمام آزمایشات طی ۲۴ ساعت پس از جمع‌آوری نمونه در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های استاندارد انجام شد (Mushtaq و Nee Lala، ۲۰۱۶).

آنالیز آماری: تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از بررسی میدانی و آنالیز آزمایشگاهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه و آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۵ درصد به منظور مقایسه داده‌های مربوط به ایستگاه‌های گوناگون، مقایسه فاکتورها در هر ماه و مقایسه فاکتورها در هر ایستگاه به وسیله نرم‌افزار SPSS 22 انجام گرفت. به منظور تعیین اثر تداخلی از تست تکمیلی دانکن استفاده شد و به منظور تعیین بهترین و اثرگذارترین فاکتورهای تاثیرگذار بر روی کلروفیل A از بین فاکتورهای اندازه‌گیری شده، روش رگرسیونی Stepwise استفاده شد.

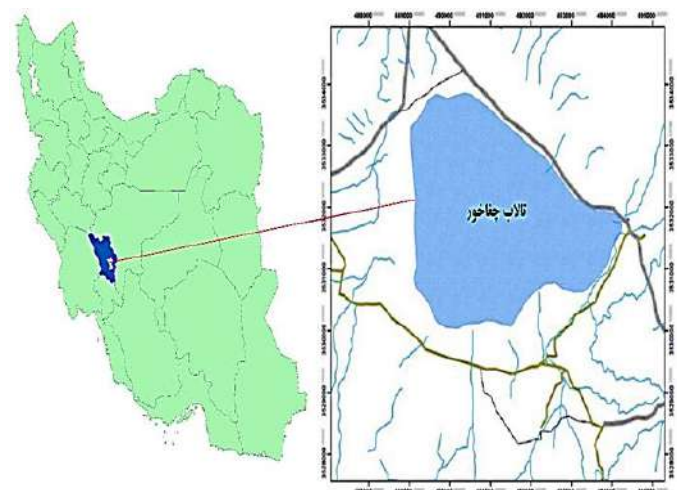
پردازش تصاویر ماهواره‌ای: تصاویر ماهواره‌ای از روز نمونه‌برداری از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده (The United States Geological Survey= USGS)، در دو فصل بهار و تابستان دانلود گردید. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ بود. پس از دانلود تصاویر، تصحیح هندسی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 اعمال شد. تصحیح هندسی تصویر مربوط به استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه انجام گرفت. برای این منظور ۳۰ نقطه با پراکنش مناسب بر روی تصویر و نقشه انتخاب و تصحیح هندسی با استفاده از معادله درجه اول و عمل نمونه‌گیری مجدد با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه انجام گرفت. سپس تصاویر زمین مرجع شده در محیط نرم‌افزار ENVI ۵.۳ تصحیح رادیومتریک شدند. شاخص NDVI (Normalized Difference Chlorophyll Index) توسط Mishra و Mishra (۲۰۱۲) ایجاد شد که برای بررسی کلروفیل در آب‌های ساحلی دریا و استوایی مورد استفاده قرار گرفت (معادله ۱).

$$NDVI = \frac{R_{rs}(\lambda_2) - R_{rs}(\lambda_1)}{R_{rs}(\lambda_2) + R_{rs}(\lambda_1)} \quad \text{معادله ۱}$$

R_{rs} بیان‌کننده بازتابش سنجش از دوری (remote sensing reflectance) است و در سنجنده OLI، باندهای سبز (۵۶۰ نانومتر) و قرمز (۶۶۵ نانومتر) به ترتیب به جای λ_1 و λ_2 قرار می‌گیرند (Mishra و Mishra، ۲۰۱۲؛ Watanabe و همکاران، ۲۰۱۷).

تمامی معادلات بالا در محیط نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro اعمال شد، بدین ترتیب که از دستور Image calculator به منظور نوشتن معادله استفاده شد و معادله بر روی باندها اعمال گردید، سپس نقشه‌های تهیه شده از شاخص NDVI طبقه‌بندی شده و در محیط ArcGIS 10.3 از نقشه‌های نهایی تهیه شده، نقشه‌های خروجی استخراج شد.

گندمان بلداجی در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی واقع شده است. متوسط میزان بارندگی این حوزه ۳۸۰ میلی‌متر است. با توجه به منابع آب آهکی موجود، این حوزه از پتانسیل آب زیرزمینی نسبتاً مطلوبی برخوردار است (فتحی و همکاران، ۱۳۹۲). تالاب چغاخور در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه و ۱۷ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۱ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۴ ثانیه شرقی و در ارتفاع ۲۲۷۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است. تالاب چغاخور یکی از ۱۰۵ تالاب مهم کشور برای پرندگان آبی و یکی از مناطق بین‌المللی برای پرندگان IBA در ایران محسوب می‌شود و در ارزیابی ۷۵ تالاب با اهمیت کشور براساس معیارهایی چون پرندگان، ماهی‌ها، عوامل تهدیدکننده، مولفه‌های اجتماعی، اقتصادی و موقعیت حفاظتی در ردیف هشت تالاب مهم کشور طبقه‌بندی شده است. مطابق طبقه‌بندی ارائه شده توسط کنوانسیون رامسر، تالاب چغاخور هم‌تراز طبقه ۵ و جزو پهنه‌های آب شیرین دائمی قابل دسته‌بندی است. میانگین دما در این منطقه از ۲۱ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین ماه سال (مرداد ماه) تا ۶- درجه سانتی‌گراد در سردترین ماه سال (دی ماه) متغیر است (دانه کار و همکاران، ۱۳۹۰). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری میدانی: نمونه‌های آب از تالاب چغاخور نمونه‌برداری شده و برای آنالیز آزمایشگاهی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری تنها از مناطق بدون پوشش گیاهی صورت گرفت. بخش‌هایی که تحت پوشش گیاهان آبی قرار گرفته‌اند، به دلیل وجود پوشش گیاهی بازتاب واقعی آب را نشان نمی‌دهد. به منظور به دست آوردن داده‌های مناسب از ۴ منطقه تالاب به طور ماهیانه در دو فصل بهار و تابستان، در اواسط هر ماه (پانزدهم هر ماه)، نمونه‌برداری صورت گرفت. در هر

نتایج

نتایج حاصل از آنالیز آماری: به منظور بررسی تفاوت میانگین‌های

بیش از دو جامعه و یا نمونه مستقل از یکدیگر از آنالیز واریانس (Analysis of Variance) دوطرفه یا به اختصار (ANNOVA) استفاده می‌شود. آنالیز واریانس دوطرفه اختلاف معنی‌دار در دو سطح ۱٪ و ۵٪ را برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری و زمان (ماه‌های اندازه‌گیری) نشان می‌دهد، همچنین این آنالیز تک‌تک متغیرها و تاثیر متغیرها بر

یکدیگر را نیز مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس دو طرفه تداخل زمان بهار و تابستان با ایستگاه‌های نمونه‌برداری که با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفته است در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۱، زمان بیانگر تاثیر ماه‌های اندازه‌گیری نمونه در دو فصل بهار و تابستان (فروردین تا شهریور) بر یکدیگر و ایستگاه نمایانگر اثرات چهار ایستگاه نمونه‌برداری بر یکدیگر می‌باشد. ستون زمان در ایستگاه بیانگر اثر متقابل این دو متغیر بر یکدیگر است.

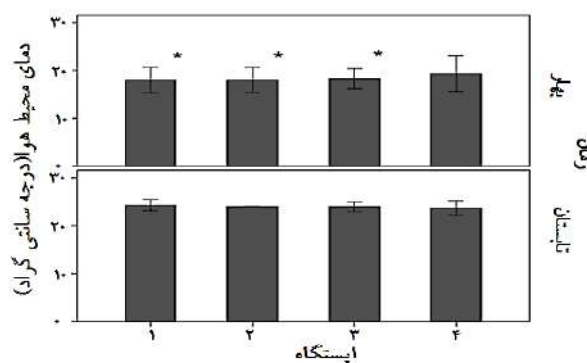
جدول ۱: آنالیز واریانس دوطرفه تداخل زمان بهار و تابستان با ایستگاه‌های نمونه‌برداری

پارامتر	زمان	ایستگاه	زمان×ایستگاه
دمای آب	۰/۰۰۲	۰/۹۳۶	۰/۸۲۳
دمای محیط	<۰/۰۰۱	۰/۹۸۲	۰/۸۶۲
pH	۰/۰۰۸	۰/۴۱۸	۰/۵۲۶
هدایت الکتریکی	۰/۰۰۶	۰/۶۹۶	۰/۸۱۳
اکسیژن محلول	<۰/۰۰۱	۰/۱۷۷	۰/۰۲۵
کل جامدات معلق	۰/۴۲۶	۰/۴۶۸	۰/۵۸۵
عمق رویت	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۴۹۴
کل جامدات محلول	۰/۲۲۴	۰/۰۰۴	۰/۱۷۶
نیترات	۰/۰۰۶	۰/۲۷۵	۰/۲۱۰
کلروفیل A (ppm)	۰/۵۴۰	۰/۰۲۷	۰/۹۲۲
کلروفیل A (میلی گرم بر متر مکعب)	۰/۴۷۲	۰/۰۲۸	۰/۹۳۶

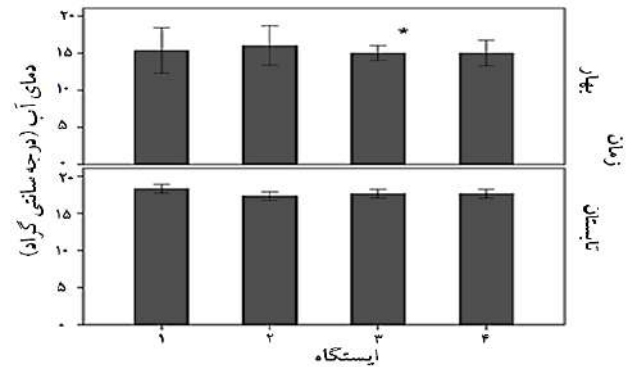
شکل‌های ۲ تا ۷ تغییرات پارامترهای کیفی آب در ۴ ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها ستاره‌های بالای هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در دو فصل بهار و تابستان در هر ایستگاه است. اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ با دو ستاره و در سطح ۵٪ با یک ستاره نشان داده شده است. همچنین حروف بالای هر ستون اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد، حروف مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در ایستگاه‌های مختلف است. با توجه به شکل ۲، درجه حرارت آب در فصل بهار و تابستان دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ در ایستگاه ۳ است. دمای محیط در فصل بهار و تابستان دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ است (شکل ۳). pH هیچ اختلاف معنی‌داری در فصل بهار و تابستان بین ایستگاه‌ها ندارد (شکل ۴). هدایت الکتریکی برحسب میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر نشان می‌دهد که در ایستگاه ۲ در فصل بهار در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار در فصل تابستان در همان ایستگاه است (شکل ۵). اکسیژن محلول برحسب میلی‌گرم بر لیتر در دو فصل بهار و تابستان در ایستگاه‌های ۱ و ۴ در سطح ۵٪ و در ایستگاه ۳ در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (شکل ۶). میزان کل جامدات معلق

برحسب میلی‌گرم بر لیتر در هر دو فصل و در هر ۴ ایستگاه دارای اختلاف معنی‌دار نیست (شکل ۷). عمق رویت و یا عمق ایستگاه نمونه‌برداری از سطح آب تا کف تالاب برحسب سانتی‌متر در دو فصل بهار و تابستان در ایستگاه ۱ و ۲ دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ است و همچنین ایستگاه‌ها در فصل بهار دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر است. در فصل تابستان دو ایستگاه ۱ و ۲ دارای اختلاف معنی‌دار نیست، ایستگاه ۳ و ۴ با یکدیگر و با ایستگاه‌های ۱ و ۲ دارای اختلاف معنی‌دار است (شکل ۸). کل جامدات محلول برحسب میلی‌گرم بر لیتر دارای اختلاف معنی‌دار در فصل بهار و تابستان نیست، در فصل بهار میزان کل جامدات محلول در ایستگاه‌های ۱ و ۴ دارای اختلاف معنی‌دار نیست و در ایستگاه‌های ۲ و ۳ دارای اختلاف معنی‌دار است. همچنین در فصل تابستان ایستگاه ۲ و ۴ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارد ولی دو ایستگاه ۱ و ۳ با یکدیگر و با ایستگاه‌های ۲ و ۴ دارای اختلاف معنی‌دار است (شکل ۹). اندازه‌گیری نیترات نشان می‌دهد که در دو فصل بهار و تابستان در ایستگاه ۳ میزان نیترات دارای اختلاف معنی‌دار ۱٪ است (شکل ۱۰). کلروفیل A در هر دو فصل و در هر چهار ایستگاه دارای اختلاف معنی‌دار نیست (شکل ۱۱).

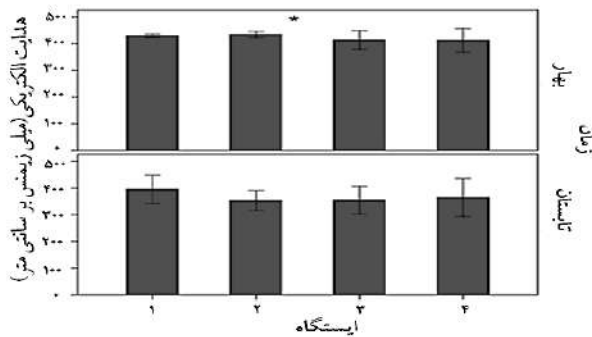




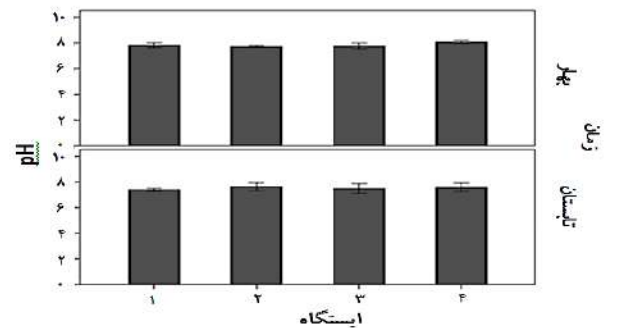
شکل ۳: نمودار دمای محیط هوا



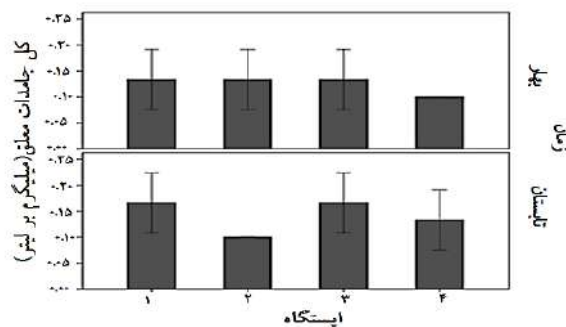
شکل ۴: نمودار درجه حرارت آب



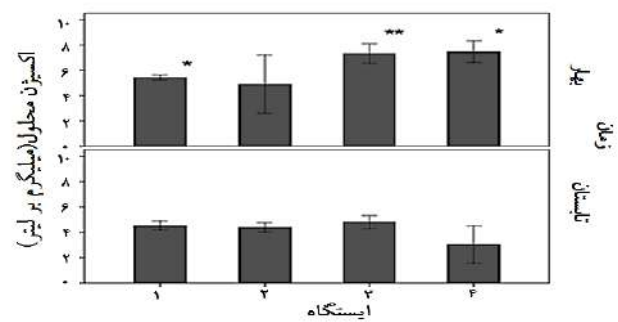
شکل ۵: نمودار هدایت الکتریکی



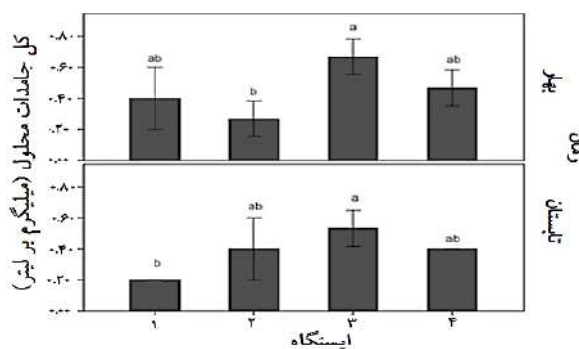
شکل ۶: نمودار pH



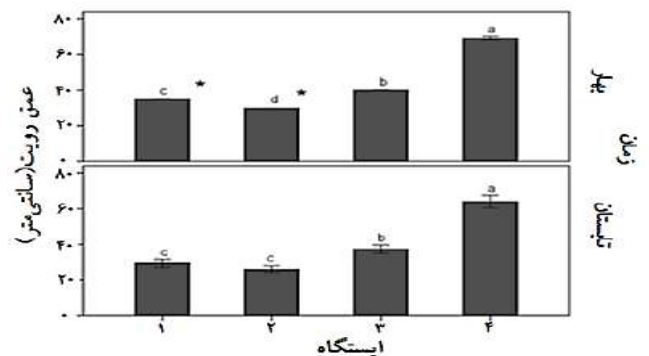
شکل ۷: نمودار میزان کل جامدات معلق



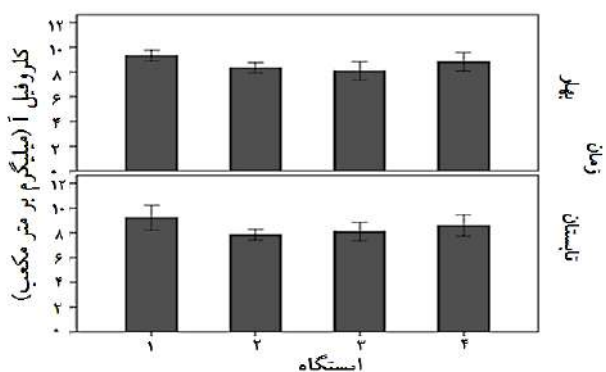
شکل ۸: نمودار اکسیژن محلول



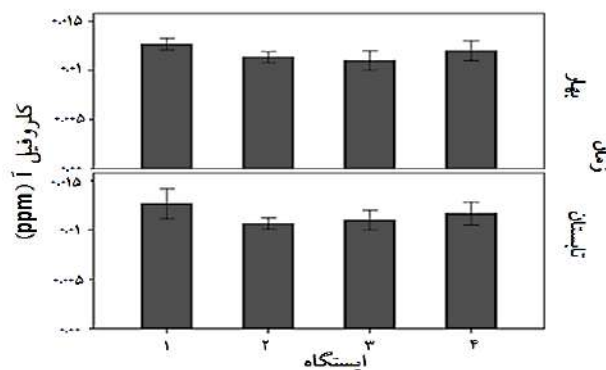
شکل ۹: نمودار کل جامدات محلول



شکل ۱۰: نمودار عمق رویت



شکل ۱۱: نمودار کلروفیل A (میلی گرم بر مترمکعب)

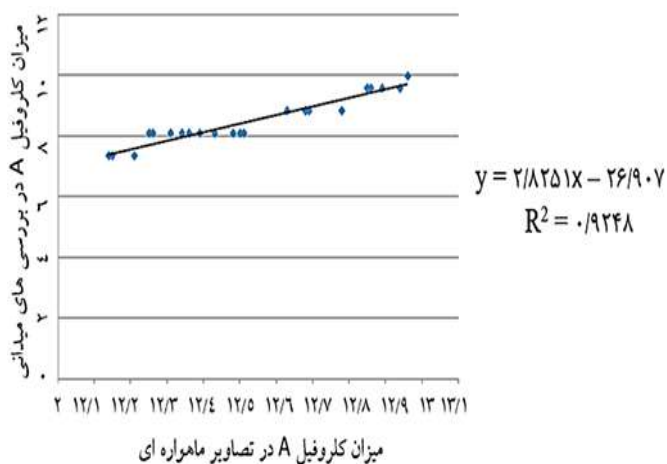


شکل ۱۰: نمودار کلروفیل A (ppm)

۷/۵ تا ۱۶ میلی گرم بر مترمکعب می باشد که در شکل با رنگ بنفش مشخص شده است. اشکال ۱۳ تا ۱۸، نقشه های خروجی از تصاویر ماهواره ای طبقه بندی شده را در ماه های فروردین تا شهریور نشان می دهند.

جدول ۲: مقایسه مقادیر NDCI و کلروفیل A (Mishra و Mishra، ۲۰۱۱)

محدوده عددی NDCI	محدوده کلروفیل A (میلی گرم بر مترمکعب)
< -۰/۱	< ۷/۵
-۰/۱ تا ۰	۷/۵ تا ۱۶
۰ تا ۰/۱	۱۶ تا ۲۵
۰/۱ تا ۰/۲	۲۵ تا ۳۳
۰/۲ تا ۰/۴	۳۳ تا ۵۰
۰/۴ تا ۰/۵	> ۵۰
۰/۵ تا ۱	شکوفایی شدید



شکل ۱۲: نمودار همبستگی کلروفیل A در مطالعات میدانی و سنجش از راه دور

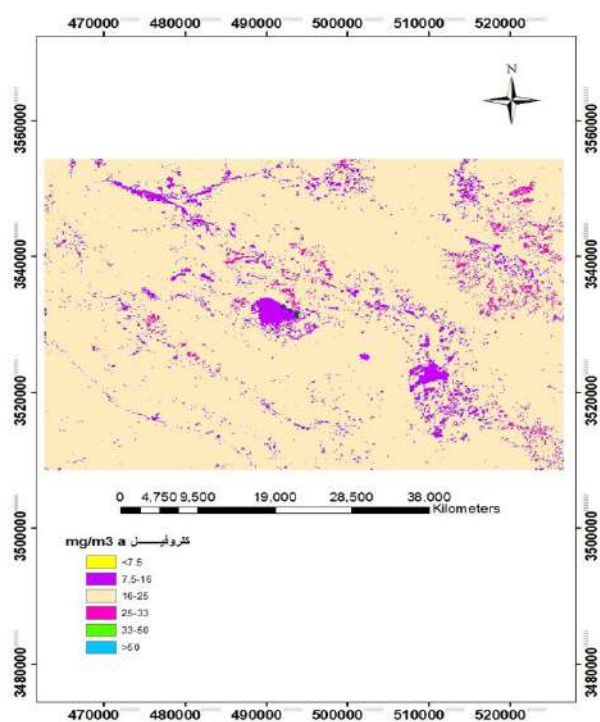
نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره ای: یک مزیت مهم

شاخص NDCI این است که محدوده ای بین -۱ تا +۱ دارد. براساس خواص جذب و ساختار باندهای طیفی تصاویر ماهواره ای، در آب های تمیز و شفاف انتظار می رود میزان NDCI نزدیک به -۱ باشد، هم چنین انتظار می رود که مقدار NDCI در آب هایی با زیست توده جلبکی متوسط تا زیاد در محدوده -۰/۳ تا نزدیک به ۱ متغیر باشد، در صورت شکوفایی جلبک ها با حضور تفراله و مواد زاید روی سطح آب، مقادیر NDCI در محدوده ۰/۵ تا ۱ قرار می گیرد (جدول ۲). براساس فرمول NDCI مشخص است که با افزایش اختلاف بین باند قرمز و سبز میزان کلروفیل A افزایش می یابد. هرگونه افزایش و یا کاهش نامناسب در بازتاب باندهای قرمز و سبز تخمین های نادرستی را در میزان کلروفیل A ایجاد می کند. برای مثال، پیکسل هایی با افزایش نامناسب در بازتاب باند سبز نسبت به باند قرمز، منجر به افزایش شدید مقادیر منفی می شود، هم چنین افزایش نامناسب در بازتاب باند قرمز منجر به افزایش مقادیر مثبت می شود. در OLI سنجنده، باندهای سبز (۵۶۰ نانومتر) و قرمز (۶۶۵ نانومتر) به ترتیب به جای λ_1 و λ_2 قرار می گیرند (Mishra و Mishra، ۲۰۱۲؛ Watanabe و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به داده های حاصل از بررسی های میدانی و داده های حاصل از تصاویر ماهواره ای از کلروفیل A بر حسب میلی گرم بر متر مکعب با استفاده از نرم افزار Excel میزان همبستگی داده های موجود مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۲). مقایسه کلروفیل A بر حسب میلی گرم بر مترمکعب حاصل از مطالعات میدانی و کلروفیل A حاصل از تصاویر ماهواره ای نشان می دهد که مقادیر محاسبه شده در تصاویر ماهواره ای نزدیک به مقادیر اندازه گیری شده در مطالعات میدانی می باشد و همبستگی خوبی بین داده های هر دو روش مشاهده می شود ($R^2 = 0.92$).

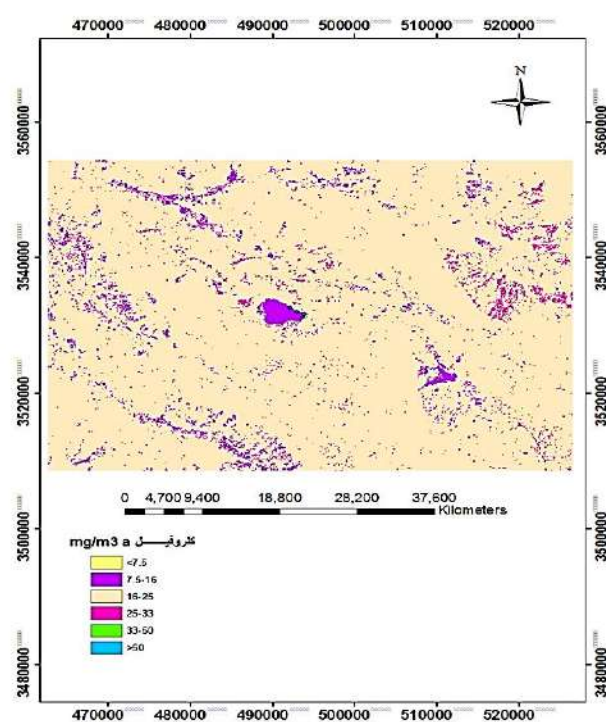
طبقه بندی شاخص NDCI: مقادیر NDCI در نقشه حاصل از

تصاویر ماهواره ای بین -۰/۱ تا صفر به دست آمده است (شکل ۱۳) که طبق جدول ۲ به طور کیفی نشان می دهد که غلظت کلروفیل A بین

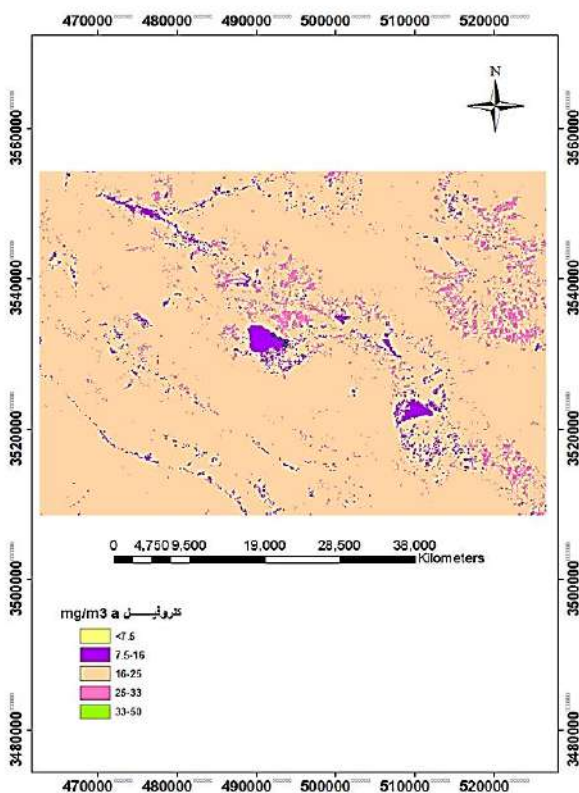




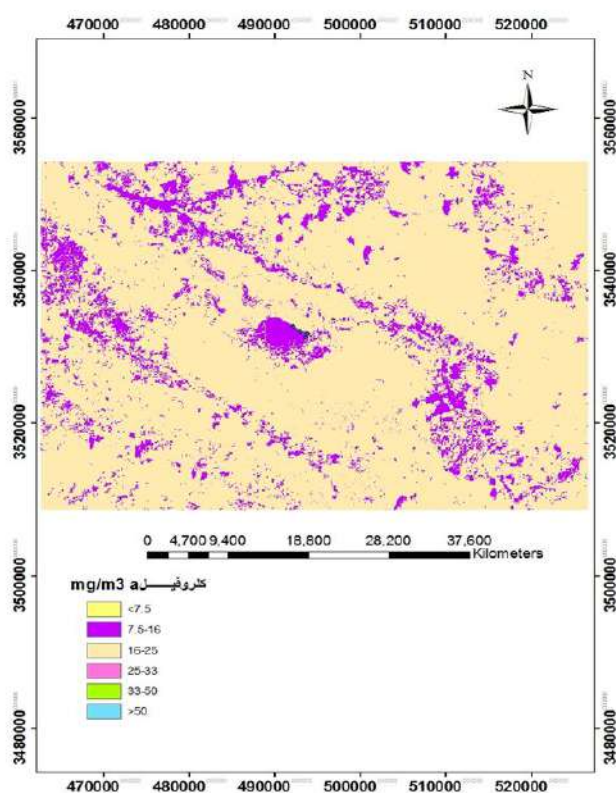
شکل ۱۵: شاخص NDCI در خرداد ماه ۱۳۹۷



شکل ۱۳: شاخص NDCI در فروردین ماه ۱۳۹۷



شکل ۱۶: شاخص NDCI در تیرماه ۱۳۹۷



شکل ۱۴: شاخص NDCI در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷

آنالیزهای آماری کلروفیل A: روش رگرسیونی Stepwise

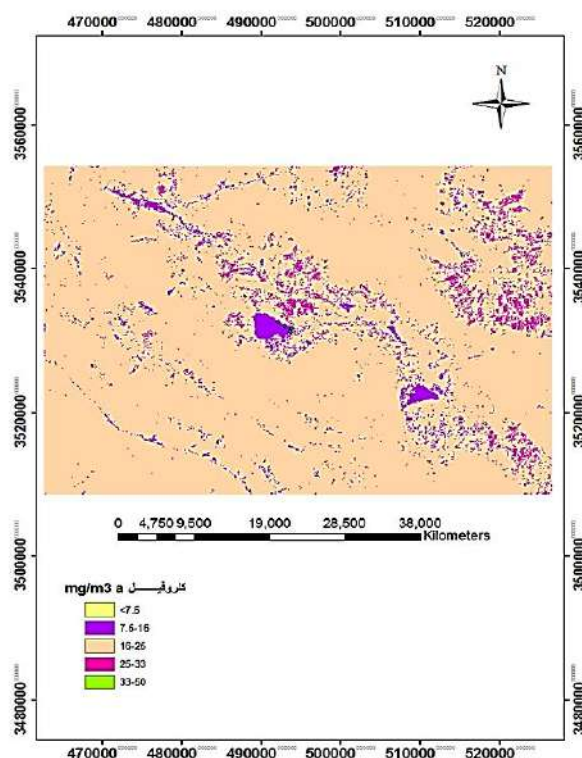
تعیین بهترین و اثرگذارترین فاکتورهای تاثیرگذار بر روی کلروفیل A استفاده می‌شود. با استفاده از آزمون Stepwise معادله ۲ به عنوان معادله کلی برای محاسبه کلروفیل A برحسب میلی گرم بر متر مکعب به دست آمد: (معادله ۲)

$$y = -0.13b + 0.07c + 0.15$$

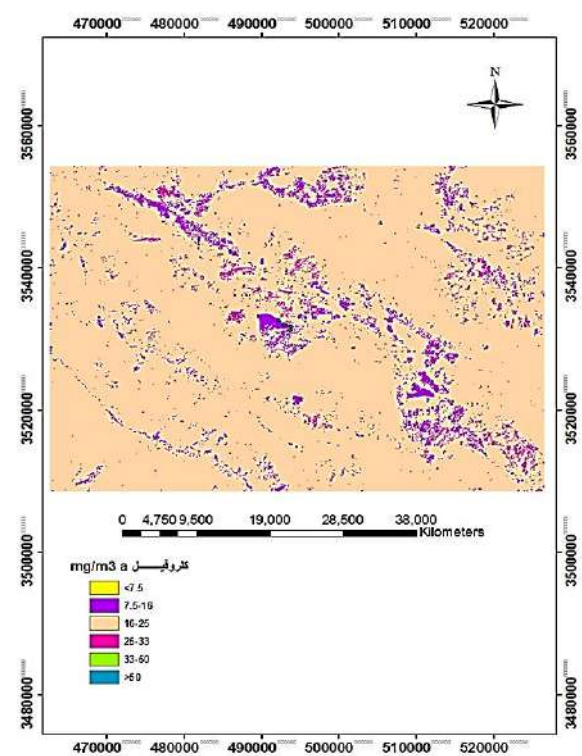
که در آن b دمای محیط و c فاکتور pH می‌باشد، که نشان دهنده آن است که کلروفیل A به دو فاکتور دمای محیط و pH بستگی دارد. R^2 در این معادله برابر ۰/۸۵ است، در نتیجه می‌توان به خوبی به آن اعتماد کرد.

بحث

بررسی کیفیت آب با استفاده از سنجش از دور نسبت به روش‌های آزمایشگاهی کم هزینه‌تر و سریع‌تر می‌باشد، همچنین در صورت عدم دسترسی به منطقه و عدم توانایی بررسی‌های میدانی، روش سنجش از دور برای بررسی کیفیت آب روش مناسبی است. میزان کلروفیل A به دست آمده در سنجش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی دارای تطابق و مشابهت بالایی می‌باشد. استفاده هم‌زمان از دو روش سنجش از دور و آزمایشگاهی میزان دقت کار را افزایش داده و میزان خطا را کم‌تر می‌کند. با توجه به نتایج حاصل از پارامترهای کیفیت آب، دمای آب و دمای محیط در مرداد ماه بیش‌ترین مقدار را داشته و در اردیبهشت ماه میزان دمای آب و دمای محیط به حداقل مقدار خود می‌رسد، به دنبال آن pH در اردیبهشت ماه بیش‌ترین مقدار را دارد که نشان می‌دهد کاهش دما باعث افزایش pH می‌شود. میزان TDS در فروردین ماه بیش‌ترین مقدار و در تیرماه کم‌ترین مقدار را دارد. عمق آب در فروردین ماه و اردیبهشت ماه بیش‌ترین مقدار را دارد و در مرداد ماه کم‌ترین مقدار را دارد که با توجه به بررسی‌های شکوهی و همکاران (۱۳۹۰) به دلیل تبخیر آب و کاهش بارندگی است. میزان هدایت الکتریکی آب تقریباً در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری و یا ماه‌های نمونه‌برداری دارای نوسان خاصی نبوده است. دامنه تغییرات pH از ۷/۲۳ تا ۸/۱۶ برآورد گردید که نشان می‌دهد آب تالاب ماهیت قلیایی دارد که با بررسی‌های فتی و همکاران (۱۳۹۴) در رابطه با بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب تالاب چغاخور با استفاده از شاخص کیفی آب (WQI) مطابقت دارد. میانگین غلظت اکسیژن محلول ۵/۲۳ میلی گرم بر لیتر است. مقادیر به دست آمده برای اکسیژن محلول در بیش‌تر زمان‌ها در دوره مطالعه هرگز به شرایط بحرانی نرسیده و کیفیت آب از نظر اکسیژن محلول خوب ارزیابی می‌شود. بر طبق مطالعات نعمتی و همکاران (۲۰۱۰) و فتی و همکاران (۱۳۹۴) یکی از دلایل بالا بودن اکسیژن محلول وجود گیاهان آبی و عمل فتوسنتز می‌باشد. میانگین نیترات در آب تالاب برابر با ۰/۴۳۲ میلی گرم بر لیتر می‌باشد، یکی از دلایل پایین بودن سطح نیترات در آب تالاب، پوشش



شکل ۱۷: شاخص NDCI در مرداد ماه ۱۳۹۷



شکل ۱۸: شاخص NDCI در شهریور ماه ۱۳۹۷



مشاهده شد که می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از شاخص NDCI می‌توان میزان غلظت کلروفیل A را در مناطق غیرقابل دسترس پیش‌بینی کرد. داده‌های حاصل از نمونه‌برداری و داده‌های تخمین زده شده توسط NDCI، برای غلظت کلروفیل A همبستگی معنی‌داری را نشان می‌دهند ($R^2 = 0.92$). براساس خواص جذب و ساختار باندهای طیفی NDCI، در آب‌های تمیز انتظار می‌رود NDCI نزدیک به ۱- باشد، هم‌چنین انتظار می‌رود که مقدار NDCI در آب‌هایی با زیست‌توده جلبیکی متوسط تا زیاد در محدوده ۰/۳- تا نزدیک به ۱ متغیر باشد، در صورت شکوفایی جلبک‌ها با ذرات سطحی در آب، مقادیر NDCI در محدوده ۰/۵ تا ۱ است که در مطالعه حاضر، این میزان بین ۰/۱- تا ۰ می‌باشد و نشان می‌دهد تالاب در معرض شکوفایی جلبیکی وجود ندارد. با توجه به استاندارد تعیین شده توسط Li و همکاران (۲۰۰۹)، میزان رنج pH برای آب‌های سطحی محدوده ۶/۵ تا ۷/۵ را شامل می‌شود و در این مطالعه با توجه به میانگین pH برابر با ۷/۶۸ است، pH در محدوده استاندارد قرار دارد. میانگین نیترات در آب تالاب چغاخور برابر با ۰/۴۳۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که میزان آن با استانداردهای جهانی و ایران و استانداردهای آبیان مطابقت دارد.

منابع

۱. جعفری، م.؛ زهتابیان، غ. و احسانی، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات اراضی بیابانی با استفاده از داده‌های سنجش از دور مطالعه موردی: کاشان. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. دوره ۲۰، شماره ۳، صفحات ۶۴۴ تا ۶۵۲.
۲. حاجی‌زاده ذاکر، ن.، ۱۳۸۶. خصوصیات کلروفیل a و تغییرات فصلی آن در فلات قاره جنوبی دریای خزر. مجله محیط‌شناسی. شماره ۴۵، صفحات ۴۵ تا ۵۲.
۳. رحیمی‌بلوچی، ل.؛ زرعی‌کار، آ. و ملک‌محمدی، ب.، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات زیست‌محیطی با استفاده از سنجش از دور و شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: تالاب بین‌المللی شادگان). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. شماره ۴، صفحات ۴۳ تا ۵۵.
۴. شاپوری، م. و جوانشیر، آ.، ۱۳۸۸. بررسی میزان توده زنده کلروفیل a در دهانه رودخانه تجن. مجله بیولوژی دریا. دوره ۱، شماره ۳، صفحات ۷۸ تا ۸۸.

گیاهی منطقه است، چرا که ترکیبات معدنی نیتروژن توسط گیاهان جذب می‌شوند. با توجه به مطالعات فتی و همکاران (۱۳۹۲) نتایج حاصله دارای تطابق با مقاله ذکر شده می‌باشد. میزان کلروفیل A در این تحقیق بین ۷/۵ تا ۱۶ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد که این میزان در مطالعه Chawira و همکاران (۲۰۱۳) در زمینه بررسی کیفیت آب براساس سنجش از دور در دریاچه‌های چپورو و مانیامه در زیمبابوه، در محدوده ۱۴ تا ۳۹ میلی‌گرم بر مترمکعب بود. دلیل کم بودن میزان کلروفیل A می‌تواند غالب بودن مصرف‌کنندگانی نظیر بی‌مهرگان کفزی باشد و یا می‌توان وجود شرایط محدود نیتروژنی را عنوان کرد. شاپوری و جوانشیر (۱۳۸۵) در بررسی میزان توده زنده کلروفیل A در دهانه رودخانه تجن، نیتروژن را به‌عنوان ماده غذایی محدودکننده در سیستم‌های آبی معرفی کردند. با توجه به تحقیقات صورت گرفته و کم بودن میزان نیتروژن می‌توان نتایج فوق را با نتیجه حاصل از بررسی‌های این مقاله مطابقت داد. میزان کلروفیل A در مرداد ماه بیش‌ترین مقدار را دارد که علت آن افزایش درجه حرارت در مرداد ماه می‌باشد (درجه حرارت در مرداد ماه بیش‌ترین مقدار را دارد). مطابق با معادله حاصل از آزمون Stepwise نیز کلروفیل A، تابعی از دمای محیط می‌باشد. حاجی‌زاده (۱۳۸۷) در مطالعه خصوصیات کلروفیل a و تغییرات فصلی آن در فلات قاره جنوبی دریای خزر، نیز به نتیجه مشابهی اشاره کرده است. Mishra و Mishra (۲۰۱۱)، یک مدل جدید با استفاده از سنجش از راه دور و شاخص NDCI به‌منظور برآورد غلظت کلروفیل A در آب‌های آلوده ایجاد کردند و میزان غلظت کلروفیل A را برآورد کردند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که NDCI می‌تواند با موفقیت در تصاویر ماهواره‌ای MERIS برای نمایش میزان کلروفیل A به‌صورت کمی در آب‌های ساحلی و استوایی داخلی مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق به‌جای استفاده از ماهواره MERIS از ماهواره لندست OLI8 استفاده شده است. Watanabe و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و لندست TM5 به برآورد غلظت کلروفیل A در برزیل پرداختند. برای اندازه‌گیری میزان غلظت کلروفیل A از شاخص NDCI استفاده کردند آن‌ها از دو سنجنده متفاوت برای تخمین کلروفیل A و افزایش دقت تخمین به جای بررسی‌های آزمایشگاهی بهره بردند. Mushtaq و Nee Lala (۲۰۱۶) با استفاده از بررسی‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای لندست OLI8 کیفیت پارامترهای آب را با استفاده از الگوریتم ساده بررسی کردند که نشان داد همبستگی خوبی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و پارامترهای تخمین زده شده توسط تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. در بررسی‌های صورت گرفته در تحقیق حاضر، همبستگی خوبی بین میزان غلظت کلروفیل A بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب، حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و اندازه‌گیری توسط تصاویر ماهواره‌ای



۱۴. **Chawira, M.; Dube, T. and Gumindoga, W., 2013.** Remote sensing based water quality monitoring in Chivero and Manyame lakes of Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 66, pp: 38-44.
۱۵. **Haji Gholizadeh, M.; Melesse, A.M. and Reddi, L., 2016.** A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*. Vol. 16, No. 8, pp: 1-43.
۱۶. **Howarth, R.W., 1988.** Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 19, pp: 89-110.
۱۷. **Li, X.; Manman, C. and Anderson, B.C., 2009.** Design and performance of a water quality treatment wetland in a public park in Shanghai, China. *Ecological Engineering*. Vol. 35, pp: 18-24.
۱۸. **Mohamed, M.F., 2015.** Satellite data and real time stations to improve water quality of Lake Manzalah. *Water Science*. Vol. 29, pp: 68-76.
۱۹. **Masocha, M.; Murwira, A.; Magadza, C.H.D.; Hirji, R. and Dube, T., 2017.** Remote sensing of surface water quality in relation to catchment condition in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 100, pp: 13-18.
۲۰. **Mishra, S. and Mishra, R., 2012.** Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 117, pp: 394-406.
۲۱. **Mushtaq, F. and Nee Lala, M.G., 2016.** Remote Estimation of Water Quality Parameters of Himalayan Lake (Kashmir) using Landsat 8 OLI Imagery. *Geocarto International*. Vol. 32, pp: 274-285.
۲۲. **Nemati varnosfaderany, M.; Mirghaffary, N.; Ebrahimi, E. and Saffianian, A., 2008.** Water quality assessment in an
۵. شکوهی، ر.؛ حسینزاده، ا.؛ روشنایی، ق.؛ علیپور، م. و حسینزاده، س.، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب دریاچه سد آیدغوش با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و بیلان مواد مغذی. *مجله سلامت و محیط*. شماره ۴۰، صفحات ۴۳۹ تا ۴۵۰.
۶. عبادتی، ن. و هوشمندزاده، م.، ۱۳۹۳. بررسی کیفیت آب رودخانه دز در ایستگاه آبسنجی دزفول. *اکوهیدرولوژی*. شماره ۲، صفحات ۶۹ تا ۸۱.
۷. عباسی کسبی، ع.؛ دادالهی، س.؛ محمدعسگری، ح.؛ نبوی، م.ب. و علمیزاده، ه.، ۱۳۹۶. مدلسازی پراکنش گونه های ماکروبنیتیک منطقه جزرومدی رودخانه بهمنشیر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور. *فصلنامه محیط زیست جانوری*. سال ۹، شماره ۲، صفحات ۲۴۳ تا ۲۵۰.
۸. فاطمی، س.ب. و رضایی، ی.، ۱۳۸۵. مبانی سنجش از دور. انتشارات آزاده. تهران. ۳۵۰ صفحه.
۹. فتحی، پ.؛ ابراهیمی، ع.؛ میرغفاری، ن.ا. و اسماعیلی، ع.ر.، ۱۳۹۲. ارزیابی کیفی آب تالاب چغاخور با استفاده از شاخص های BMWP و ASPT. *مجله منابع طبیعی*. دوره ۶۶، شماره ۱، صفحات ۸۱ تا ۹۳.
۱۰. فتحی، پ.؛ ابراهیمی، ع. و میرغفاری، ن.، ۱۳۹۵. ارزیابی زیستی تالاب چغاخور با استفاده از درشت بی مهرگان. *بوم شناسی کاربردی*. شماره ۱۵، صفحات ۷۷ تا ۸۹.
۱۱. موسوی ده موردی، ل. و بنایی، م.، ۱۳۹۷. تخمین و مدل سازی کلروفیل آ با استفاده از ماهواره لندست ۸ در آب های ساحلی دیلم. *مجله زیست شناسی دریا*. سال ۱۰، شماره ۳۸، صفحات ۲۱ تا ۲۹.
۱۲. **Ayeni, A.O. and Adesalu, T.A., 2018.** Validating chlorophyll-a concentrations in the Lagos Lagoon using remote sensing extraction and laboratory fluorometric methods. *MethodsX*. Vol. 5, pp: 1204-1212.
۱۳. **Abdelmalik, K.W., 2018.** Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. Vol. 21, No. 2, pp: 193-200.



arid region using a water quality index. Water Science and Technology. Vol. 60, No. 9, pp: 2319-2327.

۲۳. **Subiyanto, S.; Ramadhanis, Z. and Hafidh Baktiar, A., 2018.** Integration of remote sensing technology using Sentinel-2A Satellite images for fertilization and water pollution analysis in Estuaries Inlet of Semarang Eastern Flood Canal. E3S Web of Conferences. Vol. 31, pp: 1-6.
۲۴. **Watanabe, F.; Alcântara, E.; Rodrigues, T.; Rotta, L.; Bernardo, N. and Imai N., 2017.** Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil). Annals of the Brazilian Academy of Sciences. Vol. 31, pp: 1-14.



Estimation of Chlorophyll-A Concentration in Choghakhor wetland using remote sensing and in-situ measurements

- **Mahsa Kenarkoohi:** Department of environmental science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
- **Mozhgan Ahmadi Nadoushan*:** Department of environmental science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
- **Mohammadhadi Abolhassani:** Department of environmental science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: June 2019

Accepted: October 2020

Key words: Remote sensing, Chlorophyll A, Water quality, Wetland

Abstract

The usage of water resources requires an understanding of water quality, since water resources are the ultimate recipients of pollution from human activities. The main objectives of this study were to investigate the water quality in Choghakhor wetland located in Chaharmahal and Bakhtiari Province using field surveys and to measure the chlorophyll A, using satellite images and to calculate the correlation between the amount of chlorophyll A derived from satellite images and field measurements. For this purpose, water quality of wetland was evaluated using laboratory methods and chlorophyll A was measured using NDCI index and laboratory method. Parameters measured using laboratory methods were DO, EC, PH, TDS, TSS, chlorophyll A, nitrates, water depth, water temperature and the ambient temperature. Sampling was done in 4 stations in the wetland and all tests were carried out within 24 hours after sampling in the laboratory. Statistical analysis of data was done by two-way ANOVA and mean comparison was performed based on Duncan's multiple range test at significance level of 5 percent. Chlorophyll A concentration was measured using NDCI index in ArcGIS 10.3 software. The amount of chlorophyll A derived from satellite images were correlated against the amount of chlorophyll A derived from water sampling and results showed a good correlation ($R^2 = 0.92$) between the data obtained from remote sensing and data driven from field survey. This showed that satellite imagery could be used as a useful tool to estimate the amount of chlorophyll A.

* Corresponding Author's email: m.ahmadi@khuif.ac.ir

