

شناسایی جوامع فیتوپلانکتونی، وضعیت کیفیت آب و تغذیه‌گرایی در مخزن کارون ۴

نادر چراغپور احمد محمودی^۱، محسن سعادت^۲، رسول زمانی احمد محمودی^۳، آوید آوخ^۴ و^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

^۳ دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

^۴ استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

^۵ مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مشکلات عمده اکوسیستم‌های آبی، تغذیه‌گرایی یا غنی شدن آب از مواد مغذی است. در تحقیق حاضر که در سال ۱۳۹۸ در مخزن کارون ۴ در دو فصل بهار و تابستان انجام شد، جوامع فیتوپلانکتون بررسی شد. مواد و روش‌ها: مقدار کلروفیل آ و ۱۹ پارامتر فیزیکوشیمیایی آب در ۲۶ ایستگاه در سطح مخزن اندازه‌گیری و تحلیل شد. تحلیل‌های آماری داده‌ها در نرم‌افزار SPSS انجام شد. به منظور بررسی شاخص‌های زیستی از دو شاخص سیمپسون و شانون-وینر و برای تعیین وضعیت تروفی دریاچه از شاخص وضعیت تغذیه‌گرایی (TSI) استفاده گردید.

یافته‌ها: از بین ۳۵ جنس شناسایی‌شده، جمعیت‌های فیتوپلانکتونی اغلب به جنس‌های *Oonophris*, *Nephrocitium*, *Chlorella*, *Diatoma*, *Cyclotella*, *Dinobryon*, *Pyrophacus*, *Peridinium* تابستان بیشتر از بهار بود. شاخص‌های تنوع زیستی سیمپسون و شانون-وینر نیز به ترتیب برابر با 0.174 ± 0.010 و 0.31 ± 0.0835 و در بهار و تابستان به دست آمدند. وضعیت تغذیه‌گرایی در دریاچه مورد مطالعه با توجه به شاخص TSI در دامنه یوتروفیک (۵۰-۷۵) قرار داشت. تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در فصل بهار ۶ مؤلفه با $80/847$ درصد و در تابستان ۸ مؤلفه با $83/287$ درصد از تغییرات در تحلیل باقی‌مانده بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که وضعیت مخزن کارون ۴ به عنوان یک منبع آبی مهم در ایران در وضعیت یوتروف قرار دارد. این امر ممکن است به دلیل افزایش دما در فصل بهار و تابستان، رشد جمعیت‌های فیتوپلانکتونی و افزایش مقدار یون‌ها ناشی از ورود فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی باشد که به وضعیت یوتروف در مخزن منجر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مخزن کارون ۴، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، فیتوپلانکتون، شاخص وضعیت تغذیه‌گرایی (TSI)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA).

مقدمه

آمریکای شمالی، ۲۸ درصد در آفریقا و ۴۱ درصد در آمریکای جنوبی به عنوان یوتروفیک طبقه‌بندی می‌شوند.^{۱۰} در مجموع، پنج کلاس تغذیه‌ای اولیه در سطوح یوتروفیکاسیون وجود دارد.^{۱۱} دریاچه‌های یوتروفیک برخلاف دریاچه‌های اولیگوتروف با مواد مغذی و رشد گیاهی بالا مشخص می‌شوند. درحالی‌که دریاچه‌های مزوتروف در حالت بینابین دریاچه‌های یوتروفیک و اولیگوتروف قرار می‌گیرند. اگرچه دریاچه‌ها ممکن است به چند کلاس تغذیه‌ای تقسیم شوند، اما هر دریاچه دارای یک شکل منحصر به فرد از ویژگی‌هایی است که به وضعیت تغذیه‌ای آن کمک می‌کند.^{۱۲}

در حال حاضر، مطالعه کیفیت آب و فرآیندهای یوتروفیکاسیون در رودخانه‌ها، مخازن و دریاچه‌ها اغلب موضوع مورد توجه بسیاری از محققان است.^{۱۳} از دهه ۱۹۶۰، یوتروفیکاسیون با استفاده از پارامترهای شیمیایی و بیولوژیکی (زیستی و غیرزنده) ارزیابی شده است. به عنوان مثال، معیارهای مورد استفاده توسط محققان مختلف به طور خلاصه شامل موارد زیر است: عمق سشی دیسک^{۱۴}، کلروفیل آ^{۱۵}، فسفر کل^{۱۶}، نیتروژن کل^{۱۴}، شاخص وضعیت دریاچه^{۱۷}، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، نترات، آمونیاک و کربن^{۱۸} و زیست توده فیتوپلانکتون^{۱۳} است. اما به طور کلی عوامل اصلی که وضعیت تغذیه‌ای دریاچه را تعیین می‌کنند شامل شفافیت، غلظت یون-های فسفر، غلظت ترکیبات نیتروژن و غلظت کلروفیل آ می-باشند.^{۱۲} بنابراین می‌توان بیان داشت که تعیین وضعیت تغذیه-گرایی ابزار مفیدی برای طبقه‌بندی دریاچه‌ها و توصیف کیفیت منابع آبی است.

مطالعه حاضر در جنوب غرب ایران بر روی مخزن کارون ۴ در دو فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۸ انجام شد. دریاچه سد کارون ۴، از جمله بزرگ‌ترین منابع آبی در کشور است که با حجم آبی معادل با ۲۱۹۰ میلیون مترمکعب، قابلیت خوبی برای تأمین آب مصارف مختلف دارد. از سویی با افزایش جمعیت و توسعه یافتن فعالیت‌ها در زمینه کشاورزی و صنعتی، تغییرات

نیاز روزافزون به آب شیرین و محدودیت در توسعه منابع آب، بیش از هر زمان دیگری، اهمیت حفظ منابع آب موجود را آشکار می‌کند.^۱ در سال‌های اخیر، بسته به رشد شدید جمعیت، شهرنشینی بی‌برنامه، صنعتی شدن ناخودآگاه و گرم-شدن زمین، منابع آبی موجود به سرعت مصرف می‌شوند. به همین دلیل لازم است تحقیقات بیشتری در زمینه کیفیت و آلودگی آب انجام شود.^۲ بنابراین اجرای مدیریت یکپارچه منابع آب تا سال ۲۰۳۰ به عنوان یک هدف در چارچوب اهداف آب و توسعه پایدار (SDGs) در مخازن آبی در نظر گرفته شده است.^۳ در این راستا، بررسی نه تنها خواص فیزیکوشیمیایی، بلکه بیولوژیکی آب‌ها و ارزیابی هم‌زمان این پارامترها برای تعیین سطح تغذیه‌ای مخازن آبی ضروری است.^۴ ورود بیش از حد مواد مغذی (ترکیبات نیتروژن و فسفر) به پیکره آبی منجر به افزایش رشد زیست‌توده تولیدکنندگان اولیه شده^۵ و در نتیجه باعث بروز مسائل زیادی مانند کاهش اکسیژن محلول در آب، کاهش شفافیت آب، ایجاد بو و ورود سموم سیانوباکتری‌ها (جلبک سبز آبی) به پیکره آبی می‌شود. این موارد منجر به کاهش کیفیت آب و در ادامه اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و حیوانات می‌شود.^۳ با توجه به اینکه فیتوپلانکتون‌ها شاخص زیستی پیشرو هستند، در اکوسیستم‌های آبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، زیرا به تغییراتی که در محیط‌های آبی رخ می‌دهد واکنش سریع نشان می‌دهند و در واقع ترکیب فیتوپلانکتون‌ها اطلاعاتی در مورد تولید اولیه، سطح مواد مغذی و آلودگی آب سیستم‌های آبی نشان می‌دهد.^{۶-۸}

به‌طور کلی دریاچه‌ها از اوایل قرن بیستم بر اساس وضعیت تغذیه‌ای خود طبقه‌بندی شده‌اند.^۹ یوتروفیکاسیون دریاچه‌ها و مخازن به عنوان یک مشکل آلودگی در اروپا و آمریکای شمالی در اواسط قرن بیستم شناخته شد و بعداً گسترش بیشتری یافت^{۱۰}. مطالعات نشان می‌دهد که ۵۴ درصد از دریاچه‌ها در آسیا، ۵۳ درصد در اروپا، ۴۸ درصد در

انحراف گتوند وارد دشت خوزستان شده و در نهایت به خلیج فارس می‌رسد. حوضه آبریز رودخانه کارون در محدوده سد کارون ۴ در قسمت جنوب غربی ایران قرار گرفته است. حوضه آبریز مذکور تقریباً کوهستانی بوده، ارتفاع متوسط آن ۲۳۵۴ متر و ارتفاع بلندترین نقطه آن ۴۲۰۰ متر می‌باشد. مساحت حوضه آبریز رودخانه کارون در محدوده سد کارون ۴/۱۲۸۱۳ کیلومتر مربع می‌باشد و ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه حدود ۶۸۰ میلی‌متر برآورد شده است. دمای حداقل اقلیم محل سد برابر ۸ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر در محل سد برابر ۳۲/۴ درجه سانتی‌گراد برآورد می‌شود.^{۲۱}

بسیار زیادی در ساختار و کیفیت آب دریاچه‌ها ایجاد شده - است. براین اساس امروزه شناخت و استفاده بهینه و پایدار از اکوسیستم‌های آبی بیش از هر زمان دیگر اهمیت دارد.^{۱۹} همچنین بررسی شاخص‌های کمی و کیفی این دریاچه اهمیت زیادی دارد. در مطالعه حاضر، وضعیت تغذیه‌ای مخزن کارون ۴ و تغییرات زیستی و غیر زیستی آن از طریق تحلیل فیزیکوشیمیایی آب همراه با محاسبه شاخص‌ها تعیین شده است. هدف از مطالعه حاضر تعیین مهم‌ترین پارامترهای فیزیکوشیمیایی تأثیرگذار بر پراکنش جوامع فیتوپلانکتونی در فصول بهار و تابستان با استفاده از آمار چندمتغیره و همچنین بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن کارون ۴ است.

روش کار

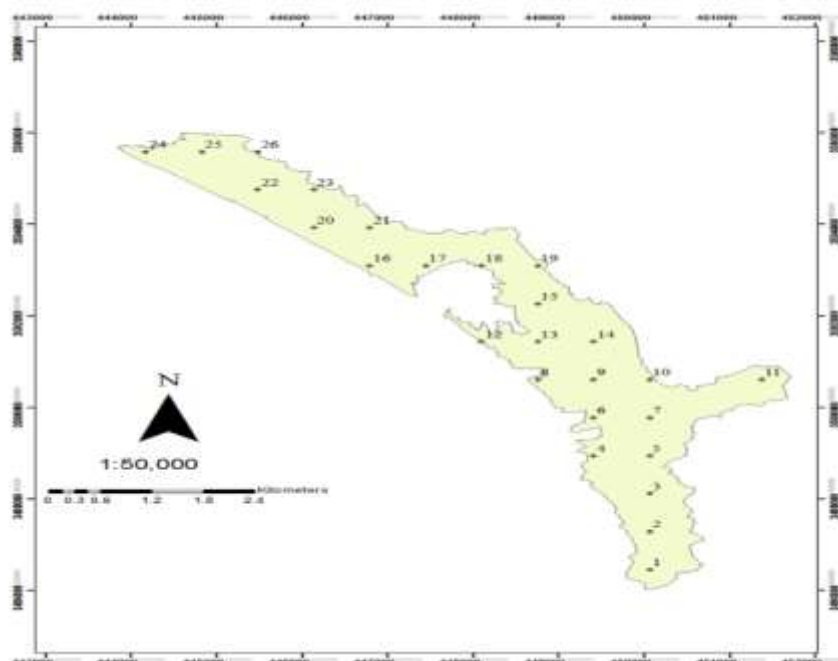
نمونه‌برداری میدانی و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی

برای نمونه‌برداری و سنجش پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی، ابتدا ایستگاه‌های نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک انتخاب گردید. با توجه به دقت و امکانات موجود، موقعیت ایستگاه‌ها طوری در نظر گرفته شد که تمام دریاچه پوشش داده شود. در این پژوهش، ۲۶ محل نمونه‌برداری مشخص و تعیین گردید. محدوده مورد مطالعه و نقاط مورد نظر جهت نمونه‌برداری در تصویر شماره ۱ قابل مشاهده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد کارون ۴، در شهرستان لردگان از توابع استان چهارمحال و بختیاری واقع است. این سد بر روی سرشاخه‌های اصلی رودخانه کارون از جمله رودخانه‌های ارمند و بازفت احداث شده و در حال حاضر بزرگ‌ترین سد دو قوسی خاورمیانه است.^{۲۰} این سد مخزنی در فاصله ۱۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهرکرد و چهار کیلومتری پایین‌دست محل تلاقی رودخانه‌های ارمند و بازفت واقع شده است. این رودخانه از سلسله جبال زاگرس سرچشمه گرفته و در پایین‌دست بند



شکل ۱: نقاط نمونه برداری انتخاب شده در محدوده مخزن کارون ۴

سنجش این پارامترها با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر مدل HQ40D ساخت HACK آمریکا در محل صورت گرفت. علاوه بر این، ۱۵ پارامتر فیزیکوشیمیایی دیگر طبق جدول شماره ۱ در آزمایشگاه اندازه گیری شد.

نمونه‌ها طی دو فصل بهار و تابستان در سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری شدند. نمونه‌برداری از آب مطابق با روش‌های آیین‌نامه استاندارد متد ویرایش (۲۰۱۷) انجام شد. چهار پارامتر دمای آب (T)، pH، هدایت الکتریکی (EC) و اکسیژن محلول تعیین شد و برای اندازه‌گیری شفافیت از دیسک سشی استفاده شد.

جدول ۱: پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد سنجش در مطالعه

نماد شیمیایی	پارامتر	ردیف	نماد شیمیایی	پارامتر	ردیف
F ⁻	فلوئور	۱۱	T	دما	۱
Ca ²⁺	کلسیم	۱۲	O ₂	اکسیژن	۲
Mg ²⁺	منیزیم	۱۳	pH	پی اچ	۳
NH ₄ ⁺	آمونیم	۱۴	TUR	کدورت	۴
Fe ²⁺	آهن	۱۵	ALK	قلیائیت	۵
Na ⁺	سدیم	۱۶	EC	هدایت الکتریکی	۶
Mn ²⁺	منگنز	۱۷	Cl ⁻	کلر / کلرور	۷
SiO ₂	سیلیسیم دی‌اکسید	۱۸	SO ₄ ²⁻	سولفات	۸
K ⁺	پتاسیم	۱۹	NO ₃ ⁻	نترات	۹
Chlorophyll-a	کلروفیل آ	۲۰	PO ₄ ³⁻	فسفات	۱۰

زیر میکروسکوپ اینورت بررسی و شناسایی شد. نمونه‌ها پس از مطالعه در زیر میکروسکوپ عکس‌برداری شد. سپس جهت محاسبه فراوانی آن‌ها در یک لیتر آب منبع موردنظر از رابطه شماره ۲ استفاده شد.^{۲۳}

$$D = (N \times v) / V \quad (2)$$

که در آن D تعداد گونه در لیتر، N تعداد ارگانسیم‌های شمارش شده در نمونه میکروسکوپی (۵ سی‌سی)، v حجم آب تغلیظ شده از یک لیتر نمونه (سانتی‌متر مکعب) و V حجم نمونه مورد مشاهده میکروسکوپی (سانتی‌متر مکعب) هستند.

تحلیل‌های آماری

به‌منظور ثبت اطلاعات و طبقه‌بندی آن‌ها از نرم‌افزار Excel 2016 و برای تحلیل‌های آماری داده‌ها از SPSS 23 استفاده گردید. همچنین به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. سپس به‌منظور طبقه‌بندی داده‌های اکولوژیک بین متغیرهای مختلف از روش چند متغیری براساس چند کمیت تصادفی غیرقابل مشاهده (عامل یا فاکتور) استفاده گردید.^{۲۴} در ابتدا آزمون شایستگی داده‌ها تحت آزمون KMO و احتمال وجود همبستگی تحت آزمون $Bartlett$ انجام شد.^{۲۵} پس از آن برای تحلیل از روش مؤلفه‌های اصلی (PCA) با تعیین همبستگی بین متغیرها از طریق ماتریس مؤلفه‌های چرخش یافته، جداول تبدیل ماتریس مؤلفه‌ها استخراج گردید.^{۲۶}

در ادامه به منظور بررسی شاخص‌های زیستی از دو شاخص سیمپسون و شانون-وینر استفاده گردید که محاسبات از طریق نرم‌افزار $past$ انجام شد.

همچنین برای تعیین وضعیت تروپی دریاچه از شاخص تروپی TSI استفاده شد. به‌طورکلی تئوری شرایط تغذیه‌گرایی بر این

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل آ، ابتدا نمونه آب به‌خوبی تکان داده شده، سپس حجم مشخصی از آب (با توجه به رنگ آب) با استفاده از کاغذهای فیلتر واتمن فیلتر گردید. سپس جهت استخراج عصاره کلروفیل آ، کاغذ صافی به همراه جلبک-های روی آن همراه با استون ۹۰ درصد در هاون ساییده شده و در ادامه سانتریفیوژ گردید. در آخر نمونه حاوی عصاره کلروفیل آ در کوط شیشه‌ای ریخته شده و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر جذب آن در طول موج‌های ۶۳۰، ۶۴۷، ۶۶۴ و ۷۵۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت کلروفیل آ از رابطه شماره ۱ استفاده شد.^{۲۲}

$$\text{Chlorophyll a} = (11.85 \times (E664 - E750) - 1.54 \times (E647 - E750) - 0.08 \times (E630 - E750)) \times V_e / L \times V_f \quad (1)$$

که در آن L خط سیرکوت بر حسب سانتی‌متر، V_f حجم آب فیلتر شده بر حسب لیتر و V_e حجم عصاره بر حسب میلی‌لیتر هستند.

برای نمونه‌برداری فیتوپلانکتون‌ها در هر ایستگاه ۲۵۰ میلی‌لیتر آب توسط بطری نمونه‌بردار از عمق پنجاه سانتی‌متری بالای آب در ظروف پلاستیکی جمع‌آوری و توسط محلول لوگول تثبیت شد. روش‌های متفاوتی جهت مشاهده و بررسی فیتوپلانکتون‌ها به‌کار برده می‌شود. در این مطالعه از روش ته‌نشینی جهت تغلیظ نمونه‌ها استفاده شده است. آماده‌سازی نمونه در چند مرحله به‌وسیله انتقال کمی مواد ته‌نشین شده از ظروف اولیه به ظروف کوچکتر پی‌در پی انجام می‌گیرد. در این روش از ظروف حفره‌دار استوانه‌ای با کف شیشه‌ای تمیز و نازک استفاده می‌شود. محفظه ته‌نشین‌کننده بدون تشکیل حباب پر می‌گردد. نمونه باید به‌دقت منتقل گردد تا از انتشار مواد ته‌نشین‌شده اجتناب شود و سپس مایع رویی با دقت و آهسته خالی می‌گردد. پس از تکان‌دادن و همگن کردن نمونه، هر بار ۵ سی‌سی از نمونه در سه تکرار به‌وسیله لام حفره‌دار در

فسفر کل بر حسب $\mu\text{g/L}$ و TSI (Total) شاخص تروفی نهایی هستند.

یافته‌ها

بررسی جوامع فیتوپلانکتونی

به طور کلی در فصل بهار شش رده فیتوپلانکتونی شامل ۳۲ جنس شناسایی گردید و بالاترین تراکم بر حسب سلول در لیتر مربوط به جنس های سیکلوتالا^۱ با تراکم ۳۵۰۲۳، کلرولا^۲ با تراکم ۲۰۱۲۵، نفروسیتیم^۳ با تراکم ۹۶۵۸، اونفریس^۴ با تراکم ۱۱۵۳۷، پریدینیم^۵ با تراکم ۱۶۴۳۲، پیروفاکوس^۶ با تراکم ۱۹۸۱۷ و داینوبریون^۷ با تراکم ۲۶۳۳۴ بود. همچنین جوامع فیتوپلانکتونی مربوط به فصل تابستان در ۹ رده که شامل ۲۸ جنس می باشد، شناسایی و طبقه بندی گردید. در این بین، تراکم غالب بر حسب سلول در لیتر مربوط به جنس های کوکونیز^۸ با تراکم ۴۱۲۱۸، سیکلوتالا با تراکم ۱۵۵۵۸، دیاتوما^۹ با تراکم ۱۲۹۰۰، کلرلا با تراکم ۴۶۶۲۳، اونفریس با تراکم ۵۸۵۳۴، پریدینیم^{۱۰} با تراکم ۲۱۳۵۴ و پیروفاکوس با تراکمی معادل ۱۴۱۳۵ بود.

شکل ۲، مربوط به مقایسه میانگین تراکم جوامع فیتوپلانکتونی به تفکیک ایستگاه های مورد مطالعه در دو فصل بهار و تابستان است. نتایج نشان دهنده بالاتر بودن میانگین تراکم فیتوپلانکتون های مربوط به فصل تابستان در مقایسه با بهار است.

اصل پایدار است که تغییر در سطح مواد مغذی سبب تغییر در بیومس جلبکی شده که این خود سبب کاهش شفافیت و افزایش کدورت آب می‌گردد. شاخص وضعیت تغذیه‌گرایی یک روش آسان برای کمی کردن این روابط است که براساس معادله مربوط به هریک از پارامترها در یک مقیاس عددی بین ۰ تا ۱۰۰ سنجیده می‌شود. پارامترهای به کار رفته در این شاخص فسفر کل (TP)، کلروفیل آ (Chl-a) و عمق دیسک سشی (SD) بودند که براساس شاخص کارلسون با استفاده از روابط زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند. براساس این شاخص، وضعیت مخزن در چهار وضعیت الیگوتروفیک، مزوتروفیک، یوتروفیک، هایپروتروفیک قرار می‌گیرد.^{۲۷}

$$\text{TSI (SD)} = 60 - 14.41 \text{ Ln (SD)} \quad (۳)$$

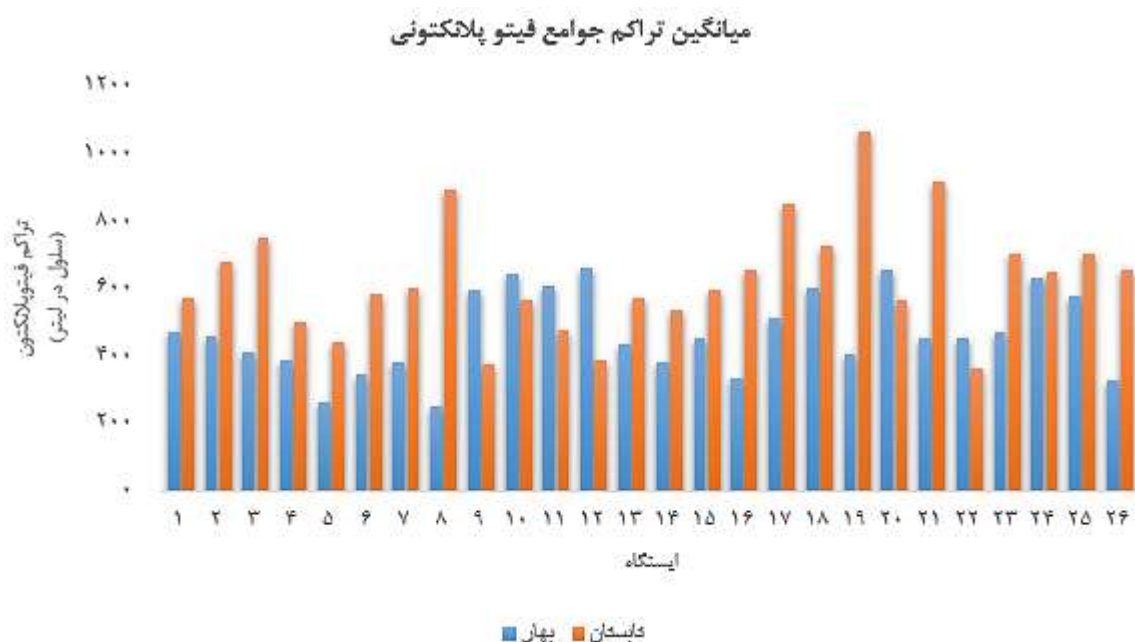
$$\text{TSI (CHL)} = 9.81 \text{ Ln (Chl.a)} + 30.6 \quad (۴)$$

$$\text{TSI (TP)} = 14.42 \text{ Ln (TP)} + 4.15 \quad (۵)$$

$$\text{TSI (TOTAL)} = \text{TSI (SD)} + \text{TSI (CHL)} + \text{TSI (TP)} / 3 \quad (۶)$$

که در روابط فوق، TSI (SD) شاخص وضعیت تروفی بر حسب دیسک سشی، SD شفافیت دیسک سشی (m)، TSI (CHL) شاخص وضعیت تروفی بر حسب غلظت کلروفیل آ، CHL غلظت کلروفیل بر حسب $\mu\text{g/L}$ ، TSI (TP) شاخص وضعیت تروفی بر حسب غلظت فسفر کل، TP غلظت

^۱Cyclotella
^۲Chlorella
^۳Nephrocitium
^۴Oonophris
^۵Peridinium
^۶Pyrophacus
^۷Dinobryon
^۸Coconeis
^۹Diatoma
^{۱۰}Peridinium



شکل ۲: مقایسه تراکم جوامع فیتوپلانکتونی شناسایی شده در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه

روند تغییرات شاخص‌های پلانکتونی در

بهار و تابستان

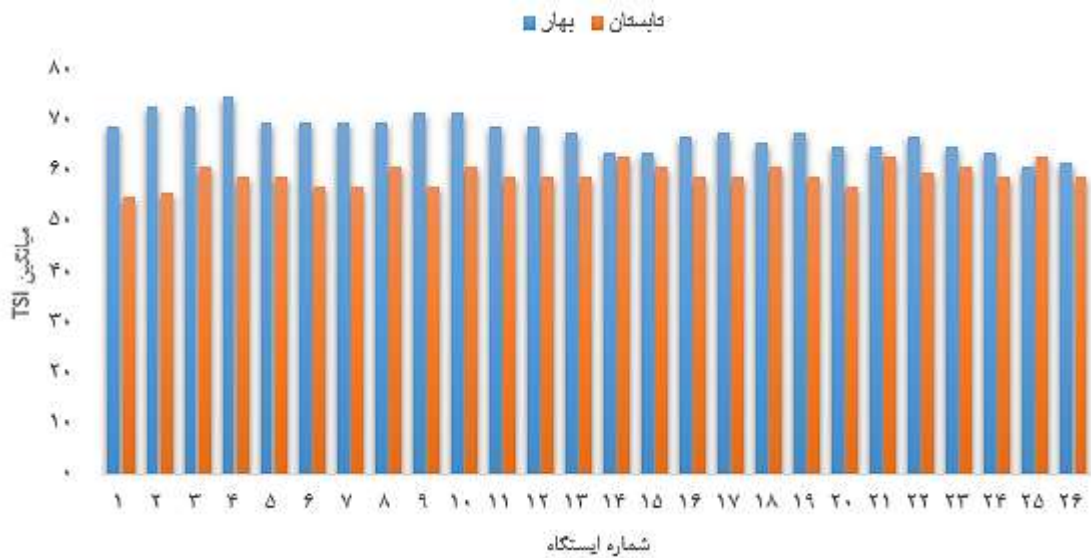
الیگوتروفیک (۰-۲۵)، مزوتروفیک (۲۵-۵۰)، یوتروفیک (۷۵-۷۵) (۵۰) و هایپروتروفیک (۷۵-۱۰۰) قرار گیرد^{۲۸} (کارلسون، ۲۰۰۲). شکل شماره ۳، نشان‌دهنده میانگین TSI به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طی فصول بهار و تابستان است.

که نشان می‌دهد مقیاس TSI برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در هر دو فصل در دامنه یوتروفیک (۷۵-۵۰)، قرار می‌گیرد و بر این اساس سطح تغذیه‌گرایی مخزن کارون ۴ در بهار و تابستان، یوتروف می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه در تابستان در مقایسه با بهار دامنه تغییرات بالاتری دارد.

در بررسی روند تغییرات شاخص‌های پلانکتونی، دو شاخص سیمپسون و شانون-وینر مورد ارزیابی قرار گرفت. در رابطه با شاخص سیمپسون، میانگین شاخص مذکور برای ایستگاه‌های ۲۶ گانه مورد مطالعه در فصل بهار برابر با $0/031$ و $0/835 \pm 0/174$ بود؛ همچنین میانگین شانون-وینر $2/010 \pm 0/174$ محاسبه گردید. در فصل تابستان نیز میانگین شاخص‌های سیمپسون و شانون-وینر برای ایستگاه‌های ۲۶ گانه مورد مطالعه به ترتیب برابر با $0/041 \pm 0/819$ و $2/028 \pm 0/212$ به دست آمد.

بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی (TSI)

مقیاس TSI از صفر تا ۱۰۰ تقسیم شده و براساس پارامترهای فسفرکل (TP)، کلروفیل آ (Chl-a)، عمق دیسک سشی (SD) و نیتروژن کل (TN) محاسبه می‌شود. براساس این شاخص وضعیت هر دریاچه می‌تواند در چهار وضعیت



شکل ۳: شاخص TSI به تفکیک ایستگاه‌های نمونه برداری در طی فصول بهار و تابستان

مؤلفه با ۸۰/۸۴۷٪ از تغییرات و در فصل تابستان هشت مؤلفه با ۸۳/۲۸۷٪ از تغییرات در تحلیل باقی مانده‌اند. در بهار مؤلفه اول با ۳۹/۹۳۶٪ از تغییرات، بیشترین واریانس را دارا بود. همچنین در تابستان مؤلفه اول، با ۲۰/۳۱۵٪ از تغییرات، بیشترین واریانس را نشان داد و مابقی مؤلفه‌ها تقریباً از واریانس مشابهی برخوردار بودند.

بررسی همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

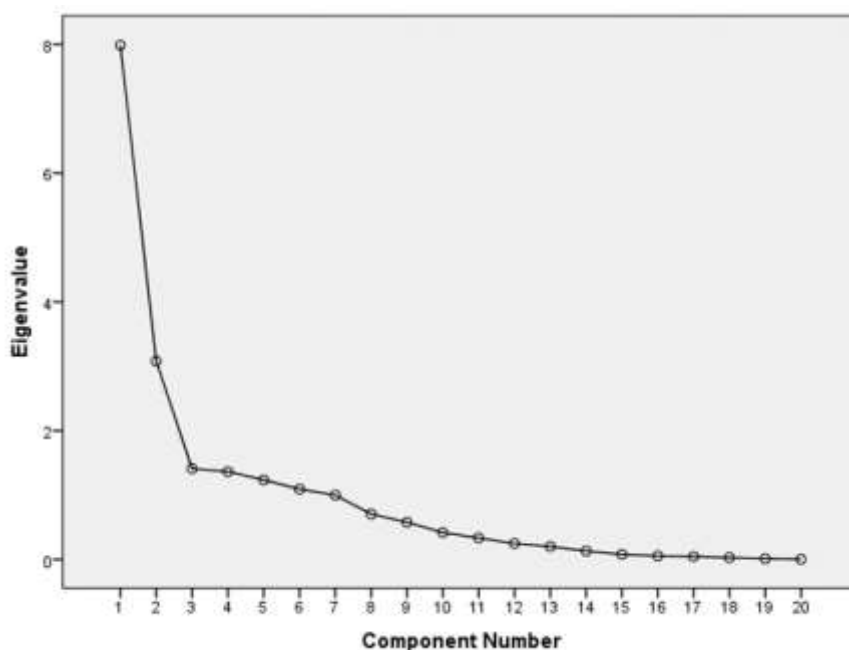
در مطالعه حاضر، بررسی عوامل فیزیکوشیمیایی بین متغیرهای مختلف در روش آماری چند متغیره صورت گرفت. در این بررسی مطابق با جدول شماره ۲ در فصل بهار شش

جدول ۲: آمارهای توصیفی مؤلفه‌های اصلی

تابستان				بهار			
مؤلفه	مقادیر ویژه	واریانس نسبی٪	واریانس جمعی٪	مؤلفه	مقادیر ویژه	واریانس نسبی٪	واریانس جمعی٪
۱	۴/۰۶۳	۲۰/۳۱۵	۲۰/۳۱۵	۱	۷/۹۸۷	۳۹/۹۳۶	۳۹/۹۳۶
۲	۲/۸۷۴	۱۴/۳۷۰	۳۴/۶۸۴	۲	۳/۰۸۱	۱۵/۴۰۳	۵۵/۳۴۰
۳	۲/۱۵۱	۱۰/۷۵۳	۴۵/۴۳۷	۳	۱/۴۱۱	۷/۰۵۳	۶۲/۳۹۳
۴	۱/۹۳۷	۹/۶۸۷	۵۵/۱۲۴	۴	۱/۳۶۴	۶/۸۲۰	۶۹/۲۱۲
۵	۱/۷۹۳	۸/۹۶۵	۶۴/۰۹۰	۵	۱/۲۳۵	۶/۱۷۶	۷۵/۳۸۸
۶	۱/۵۲۲	۷/۶۰۹	۷۱/۶۹۸	۶	۱/۰۹۲	۵/۴۶۰	۸۰/۸۴۷
۷	۱/۳۰۸	۶/۵۴۲	۷۸/۲۴۰				
۸	۱/۰۰۹	۵/۰۴۷	۸۳/۲۸۷				

شش مؤلفه به‌عنوان فاکتورهای اصلی در مطالعه دارای اثر بوده و به‌عنوان فاکتورهای مهم تلقی می‌شوند و بر این اساس در فصل بهار، ۲۰ متغیر مورد مطالعه، احتمالاً شش فاکتور را اندازه‌گیری می‌کنند.

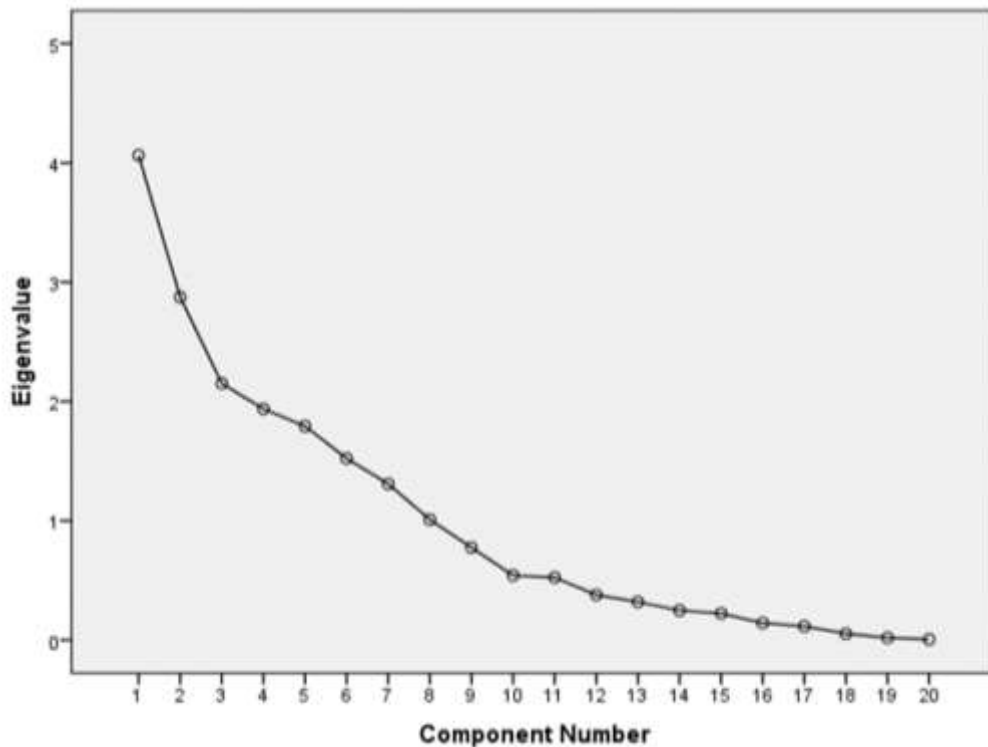
شکل شماره ۴، مربوط به توصیف مؤلفه‌های اصلی در فصل بهار بوده که به صورت اسکری (بازویی)، نشان داده شده است. در این شکل Eigenvalue مقادیر ویژه و Component Number تعداد مؤلفه‌ها را نشان می‌دهند. همچنین در نمودار مشخص است که از بین ۲۰ مؤلفه سنجش شده در مطالعه،



شکل ۴: نمودار بازویی مربوط به مؤلفه‌های مورد سنجش در مطالعه در فصل بهار

این نمودار نیز مشخص گردید که از بین ۲۰ مؤلفه موجود در مطالعه، هشت مؤلفه دارای مقادیر ویژه بوده که به‌عنوان فاکتورهای مهم تلقی می‌شوند و بر این اساس در تابستان، ۲۰ متغیر مورد مطالعه ۸ عامل اساسی را اندازه‌گیری می‌کنند.

شکل شماره ۵ نیز مربوط به توصیف مؤلفه‌های اصلی در فصل تابستان بوده که به صورت اسکری (بازویی)، نشان داده شده است. در این شکل Eigenvalue مقادیر ویژه و Component Number تعداد مؤلفه‌ها را نشان می‌دهند. در



شکل ۵: نمودار بازویی مربوط به مؤلفه‌های مورد سنجش در مطالعه در فصل تابستان

توسط NH_4^+ ، Fe^{2+} ، NO_3^- ، T (دما) و K^+ و از طریق همبستگی منفی توسط فاکتور O_2 اندازه‌گیری می‌شود. در رابطه با مؤلفه اصلی چهارم نیز این عامل به واسطه همبستگی مثبت از طریق فاکتورهای SiO_2 ، Mn^{2+} و SO_4^{2-} و از طریق همبستگی منفی توسط فاکتور K^+ سنجیده می‌شود. هم‌چنین مؤلفه اصلی پنجم به واسطه همبستگی مثبت از طریق فاکتورهای EC ، NO_3^- ، T، K^+ و TUR و به واسطه همبستگی منفی از طریق فاکتور F^- اندازه‌گیری می‌شود. مؤلفه اصلی ششم نیز از طریق همبستگی مثبت توسط ALK و از طریق همبستگی منفی توسط F^- اندازه‌گیری می‌شود.

نتایج ماتریس مؤلفه‌های چرخش‌یافته در تحلیل، در منطقه مورد مطالعه در فصل بهار در جدول شماره ۳ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که هر مؤلفه یا عامل دقیقاً چه ویژگی‌هایی را اندازه‌گیری می‌نماید. بر اساس نتایج جدول مذکور مشخص می‌گردد که مؤلفه اول از طریق همبستگی مثبت توسط pH، Na^+ ، Mg^{2+} ، EC، Cl^- و F^- و T (دما) و از طریق همبستگی منفی توسط PO_4^{3-} ، SiO_2 و Ca^{2+} و SO_4^{2-} اندازه‌گیری می‌شود. در رابطه با مؤلفه دوم نیز مشخص است که این فاکتور از طریق همبستگی مثبت توسط Na^+ ، Mg^{2+} ، EC ، Chlorophyll-a، Cl^- و به واسطه همبستگی منفی از طریق فاکتورهای PO_4^{3-} ، Ca^{2+} ، NH_4^+ و SO_4^{2-} اندازه‌گیری می‌شود. مؤلفه اصلی سوم نیز از طریق همبستگی مثبت

جدول ۳: ماتریس مؤلفه‌های چرخش یافته در تحلیل برای فصل بهار

بهار						پارامتر
مؤلفه ۶	مؤلفه ۵	مؤلفه ۴	مؤلفه ۳	مؤلفه ۲	مؤلفه ۱	
					۰/۸۴۴	pH
				-۰/۳۲۹	- ۰/۸۳۶	PO ₄ ³⁻
		۰/۵۲۹			- ۰/۶۶۶	SiO ₂
				۰/۶۰۳	۰/۶۵۷	Na ⁺
				۰/۶۰۶	۰/۶۵۲	Mg ²⁺
	۰/۳۰۳			۰/۶۱۳	۰/۶۴۷	EC
				۰/۵۶۸	۰/۶۳۰	Cl ⁻
				۰/۷۸۷		Chlorophyll-a
				-۰/۷۵۳	- ۰/۳۶۹	Ca ²⁺
			۰/۴۰۶	-۰/۷۰۳		NH ₄ ⁺
			-۰/۸۴۶			O ₂
			۰/۸۱۷			Fe ²⁺
	۰/۳۶۷		۰/۸۰۲			NO ₃ ⁻
	۰/۳۸۹		۰/۵۸۴		۰/۵۷۴	T
		۰/۷۹۱				Mn ²⁺
	۰/۳۵۱	-۰/۷۱۰	۰/۳۲۷			K ⁺
		۰/۵۸۱		-۰/۳۱۲	- ۰/۵۶۸	SO ₄ ²⁻
	۰/۸۸۵					TUR
۰/۸۸۰						ALK
-۰/۵۰۰	-۰/۳۴۹			۰/۴۴۳	۰/۳۴۰	F ⁻

طریق همبستگی منفی توسط pH، NO₃⁻، Na⁺ و PO₄³⁻ اندازه‌گیری می‌شود. در رابطه با مؤلفه دوم نیز مشخص است که این فاکتور از طریق همبستگی مثبت توسط Fe²⁺ و O₂ و به‌واسطه همبستگی منفی از طریق فاکتورهای F⁻، TUR و T

ماتریس مؤلفه‌های چرخش‌یافته در تحلیل، در منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان در جدول شماره ۴ ارائه شده است. براساس نتایج جدول مذکور مشخص می‌گردد که مؤلفه اول از طریق همبستگی مثبت توسط Mg²⁺، SiO₂ و F⁻ و از

اندازه‌گیری می‌شود. مؤلفه اصلی ششم نیز از طریق همبستگی مثبت توسط SiO_2 ، TUR، Mn^{2+} و SO_4^{2-} اندازه‌گیری می‌شود. در رابطه با مؤلفه اصلی هفتم نیز این پارامتر از طریق همبستگی مثبت به واسطه Chlorophyll-a و از طریق همبستگی منفی توسط دو عامل Cl^- و PO_4^{3-} سنجش می‌شود. در نهایت مؤلفه اصلی هشتم نیز به واسطه همبستگی مثبت از Cl^- و EC و هم‌چنین با همبستگی منفی از طریق فاکتورهای Fe^{2+} و SO_4^{2-} اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه‌گیری می‌شود. مؤلفه اصلی سوم نیز از طریق همبستگی مثبت توسط ALK، T و Chlorophyll-a و از طریق همبستگی منفی توسط فاکتور pH، NO_3^- ، O_2 و SO_4^{2-} اندازه‌گیری می‌شود. در رابطه با مؤلفه اصلی چهارم نیز این عامل به واسطه همبستگی مثبت از طریق فاکتورهای NO_3^- ، Fe^{2+} ، F^- و NH_4^+ و از طریق همبستگی منفی توسط فاکتور SO_4^{2-} سنجیده می‌شود. هم‌چنین مؤلفه اصلی پنجم به واسطه همبستگی مثبت از طریق فاکتورهای Cl^- و Ca^{2+} و به واسطه همبستگی منفی از طریق فاکتور O_2 و K^+

جدول ۴: ماتریس مؤلفه‌های چرخش یافته در تحلیل برای فصل تابستان

تابستان								
پارامتر	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه ۴	مؤلفه ۵	مؤلفه ۶	مؤلفه ۷	مؤلفه ۸
Mg^{2+}	۰/۸۷۵							
SiO_2	۰/۷۰۳					۰/۴۵۸		
pH	-۰/۶۹۱		-۰/۴۳۸					
NO_3^-	-۰/۶۸۴		-۰/۵۱۹	۰/۳۳۲				
Fe^{2+}		۰/۷۸۵		۰/۳۹۰				-۰/۳۱۲
O_2		۰/۶۲۱	-۰/۳۲۶		-۰/۴۲۸			
F ⁻		۰/۳۶۴	-۰/۶۰۶	۰/۳۵۹				
TUR		-۰/۶۰۳				۰/۵۸۹		
ALK			۰/۸۹۹					
T		-۰/۶۱۰	۰/۷۰۳					
NH_4^+				۰/۸۵۵				
Na^+		-۰/۳۶۷		۰/۷۹۰				
K^+					-۰/۸۱۰			
Cl^-					۰/۶۹۵			۰/۴۴۳
Ca^{2+}					۰/۶۴۶			-۰/۳۱۰
Mn^{2+}						۰/۸۸۹		
SO_4^{2-}			-۰/۳۴۷	-۰/۴۱۴		۰/۴۷۸		-۰/۴۶۷
PO_4^{3-}	-۰/۳۸۵						-۰/۸۲۸	
Chlorophyll-a			۰/۳۱۵				۰/۷۸۹	
EC								۰/۸۹۷

بحث

دسترسی به کیفیت مناسب آب یک هدف توسعه پایدار برنامه محیط زیست سازمان ملل است.^{۲۹} به‌طور کلی نیروهای غالبی هستند که عملکرد اکوسیستم‌های دریاچه‌ای را با اثرات مستقیم و غیرمستقیم کنترل می‌کنند. این اثرات شامل عوامل زیستی و غیرزیستی مانند اجزای بیولوژیکی^{۳۰} و متغیرهای فیزیکیوشیمیایی هستند.^{۳۱} فیتوپلانکتون‌ها در واقع شاخص زیستی پیشرو هستند که در اکوسیستم‌های آبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، زیرا به تغییراتی که در محیط‌های آبی رخ می‌دهد واکنش سریع نشان می‌دهند به طوری که ترکیب فیتوپلانکتون‌ها اطلاعاتی در مورد تولید اولیه، سطح مواد مغذی و آلودگی سیستم‌های آبی می‌دهد.^۶ براساس نتایج به‌دست آمده جنس‌های فیتوپلانکتونی سیکلوتلا، کلرلا، پریدینیوم، و پیروفاکوس در هر دو فصل بهار و تابستان غالب جمعیت را تشکیل می‌دهند. به‌طور کلی جلبک‌های گونه‌های سیکلوتلا توسط بسیاری از محققین به‌عنوان یکی از اجزای معمولی دریاچه‌ها و مخازن اولیگوטרروف پذیرفته شدند. هم‌چنین جنس سیکلوتلا و جلبک‌های دیاتومه در دریاچه‌های مزوتروف با تحمل کمبود نور یافت می‌شود.^۲ براساس نتایج مطالعه مشخص شد که در فصول بهار و تابستان جمعیت سیکلوتلا شکوفایی بالایی داشته و مجموع تعداد آن در واحد لیتر از ۳۵۰۲۳ در بهار به ۱۵۵۵۸ سلول در واحد لیتر در فصل تابستان کاهش پیدا کرده که خود نشان‌دهنده این است که وضعیت تروفیک دریاچه به سمت تغذیه‌گرایی بیشتر رفته و شاخص تروفی بالاتری پیدا می‌کند. از سویی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که جلبک‌های جنس دیاتومه با تراکم ۱۲۹۰۰ سلول در لیتر در تابستان به شکوفایی رسیده‌اند. نتایج مطالعات پیشین بیان می‌دارد که دیاتوم‌ها در فصل بهار و تابستان با افزایش دما، گسترش بیشتری می‌یابند.

بنابراین، با توجه به شکوفایی این جلبک در فصل تابستان می‌تواند، نشان‌دهنده خطر یوتروفیکاسیون در منطقه مورد مطالعه باشد.^۲ گونه غالب جلبک‌های شاخه کلروفیتا در حوضه مورد مطالعه مطالعه جنس کلرلا است که نتایج بیانگر افزایش تعداد این جنس با افزایش دما و رسیدن از ۲۰۱۲۵ سلول در لیتر در فصل بهار به تعداد ۴۶۶۲۳ سلول در لیتر در فصل تابستان است. این موضوع بیانگر این است که افزایش دمای آب برای رشد جلبک‌های شاخه کلروفیتا مناسب است. هم‌چنین در رابطه با جنس پریدینیوم نیز نتایج حاکی از آن بود که تراکم این جلبک ۱۶۴۳۲ در فصل بهار و هم‌چنین ۲۱۳۵۴ سلول در لیتر در فصل تابستان بوده است. این درحالی است که رینولدز و همکاران^{۳۲} نیز گزارش داده‌اند که این فیتوپلانکتون در طبقه‌بندی تابستانی دریاچه‌های مزوتروف قرار دارد.^{۳۲} بنابراین حضور و تراکم این جنس فیتوپلانکتونی در فصول گرم قابل توجه است. داینوبریون مربوط به شاخه کریزوفیتا^۱ بوده که در فصل بهار شناسایی شد، جنس داینوبریون از رده کریزوفیتا در دریاچه‌های جوان و در مناطقی که میزان غلظت مواد مغذی کم بوده و کمتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند، بیشتر مشاهده می‌گردد.^۶ براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که آلودگی آب در فصل بهار نسبت به تابستان در دریاچه مورد مطالعه بسیار کمتر است که عدم وجود جنس داینوبریون یوتروف بودن دریاچه را در بهار نقض کرده است. این درحالی است که عدم حضور این جنس در تابستان می‌تواند بیانگر وجود شرایط یوتروفیک در تابستان باشد.

شاخص تنوع، شاخصی اکولوژیک است که در آن تنوع گونه‌های موجود در یک جامعه زیستی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. معروف‌ترین شاخصی که تاکنون برای تنوع ابداع شده است شاخص تنوع شانون-وینر به سال ۱۹۴۸ می‌باشد.^{۳۳} شاخص تنوع سیمپسون به‌عنوان نخستین شاخص تنوع در

^۱ Chrysophyta

بررسی‌های اکولوژیک در سال ۱۹۴۹ توسط سیمپسون ارائه گردید. این شاخص این احتمال را محاسبه می‌کند که دو نمونه-ای که به صورت تصادفی از نمونه‌ها انتخاب می‌شوند، متعلق به گونه‌های مختلف باشند^{۳۴} و به گونه‌های کمیاب وزن کمتری می‌دهد و بیشترین وزن را به گونه‌های معمول اختصاص می‌دهد. در مطالعه حاضر این شاخص در فصل بهار برابر با $0/031 \pm 0/835$ و در فصل تابستان برابر با $0/041 \pm 0/819$ به دست آمد. همچنین شاخص شانون-وینر نشان‌دهنده تنوع جامعه-پلانکتونی می‌باشد به طوری که هرچه شاخص تنوع بالاتر باشد نشان‌دهنده آب با آلودگی کمتر است. به طوری که براساس داده‌های ارائه شده، دریاچه‌های با شاخص ۳ تا ۶ در رده آب‌های الیگوتروف قرار می‌گیرند^{۳۵}. نتایج مطالعه حاضر این شاخص را در بهار و تابستان به ترتیب برابر با $0/174 \pm 0/102$ و $0/212 \pm 0/28$ مشخص کرد. در این رابطه می‌توان بیان داشت که شاخص شانون-وینر آب دریاچه معمولاً در تابستان کم می‌باشد^{۳۶} و بنابراین وضعیت تروفیک در درجات بالاتر از الیگوتروفی قرار می‌گیرد که این مسئله وضعیت مزوتروفی و یوتروفی دریاچه را توجیه می‌نماید و وضعیت آلودگی آب را در حد متوسط نشان می‌دهد.

امروزه لزوم مطالعات کیفی منابع آب با وجود ورود آلاینده‌های مختلف یک امر غیرقابل اجتناب است و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر طی سالیان اخیر در سراسر دنیا بوده است^{۳۷}. به‌منظور بررسی وضعیت تروفی منابع آبی شاخص‌های مختلفی از جمله میزان کلروفیل، فسفر و نیتروژن کل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد^{۳۸}. علاوه بر این پارمترهای دیگر از قبیل pH، DO، کدورت و تغییرات دما نیز می‌تواند بر فاکتورهای کیفی منابع آبی اثرگذار باشد. از سویی مدل‌سازی فرآیند یوتروفیکاسیون^{۳۷} و مکانیسم شیوع آن در دریاچه‌ها و مخازن به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است^{۳۹} و^{۴۰} هیچ ماهیت چند بعدی پدیده یوتروفیکاسیون نشان می‌دهد که هیچ متغیری نمی‌تواند نماینده وضعیت تغذیه باشد. بنابراین،

شاخص‌های یوتروفیکاسیون بیشتری با استفاده از تحلیل چند متغیره محاسبه می‌شود. شاخص حالت تغذیه‌ای (TSI) که توسط کارلسون^{۴۰} در سال ۱۹۷۷ معرفی شد، در سال‌های اخیر به‌عنوان یک روش معقول پذیرفته شده است^{۴۰}. در مطالعه حاضر نیز بررسی شاخص TSI نشان می‌دهد که این مقیاس برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در هر دو فصل در دامنه یوتروفیک (۷۵-۵۰) قرار می‌گیرد و بر این اساس سطح تغذیه-گرایی مخزن کارون ۴ در بهار و تابستان، یوتروف می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه در تابستان در مقایسه با بهار دامنه بالاتری را داراست. در این رابطه می‌توان اظهار داشت که به‌طور کلی غلظت کلروفیل آ موجود در جلبک‌های کلروفیت با نزدیک شدن به فصل تابستان و افزایش دمای هوا و آب دریاچه و با ازدیاد مواد مغذی مورد نیاز فیتوپلانکتون‌ها افزایش پیدا می‌کند. بر این اساس با افزایش دمای آب و افزایش جلبک‌های رده کلروفیت سطح تغذیه‌گرایی مزوتروف و یوتروف محدوده مورد مطالعه قابل توجیه می‌گردد. در این رابطه در مطالعه‌ای که توسط شاملو و همکاران^{۳۷} بر روی سد مخزنی گیلارلو انجام گرفت، محققین علت افت کیفیت آب را در فصول گرم‌تر سال را به دلیل اغتشاشات ناشی از برهم خوردن سیستم‌های لایه‌بندی دمایی عنوان کردند که علاوه بر بالا آوردن محتویات دریاچه و افزایش غلظت انواع آلاینده‌ها، شرایط را برای رشد جلبک‌ها و تسریع پدیده یوتروفیکاسیون فراهم نموده است^{۴۱}.

به‌منظور شناسایی مؤلفه‌های اصلی و به‌منظور بررسی ویژگی‌هایی که دارای ارزش بیشتری در بین تمامی مؤلفه‌های مورد سنجش می‌باشند، می‌توان از PCA استفاده کرد. PCA، یکی از روش‌های تحلیل چند متغیره است که برای به‌دست آوردن چندین متغیر مستقل استفاده می‌شود و می‌تواند بیشتر واریانس‌ها را از متغیرهای اصلی توضیح دهد. به‌طور کلی PCA می‌تواند مؤلفه‌های اصلی را شناسایی کند و این امکان را ایجاد می‌کند تا به جای این که تمامی ویژگی‌ها را

مورد بررسی قرار گیرد، یک سری ویژگی‌هایی را که ارزش بیشتری دارند، تحلیل نماید. در واقع PCA آن ویژگی‌هایی را که ارزش بیشتری فراهم می‌کند مورد استخراج قرار می‌دهد.^{۴۲} این روش هم‌چنین برای تعیین تغییرات مکانی و زمانی در شرایط فیزیکوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.^{۴۳} سد دریاچه کارون ۴ به‌عنوان یک منبع آب شیرین بسیار حیاتی و مهم در کشور، در چندین سال اخیر با کاهش چشم‌گیر کیفیت آب مواجه گردیده است. این درحالی است که پژوهشگران، ورود فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی به این روخانه را به‌عنوان اصلی‌ترین منبع آلودگی می‌دانند.^{۴۴} براساس نتایج به‌دست آمده از این آزمون مشخص گردید که در فصل بهار فاکتورهای SO_4^{2-} ، NO_3^- ، Na^+ ، T، EC، Mg^{2+} و در فصل تابستان فاکتورهای T، Fe^{2+} ، NO_3^- ، Mg^{2+} ، PO_4^{3-} ، ALK، Mn^{2+} و Cl^- مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر شاخص‌های کیفی آب دریاچه کارون ۴ می‌باشند.

به‌طور کلی سیستم‌های آبی گرمسیری به‌دلیل حلالیت کمتر اکسیژن و تجزیه سریع‌تر مواد آلی در دماهای بالاتر، مستعد کاهش اکسیژن هستند و اکسیژن محلول اهمیت تعیین‌کننده‌ای در رشد و تولیدمثل موجودات مختلف آبی دارد.^{۴۵} این در حالی است که سطح پایین اکسیژن محلول در آب نشانه آلودگی احتمالی است و یک عامل مهم در تعیین کیفیت آب و کنترل آلودگی می‌باشد. بنابراین همبستگی منفی دما و اکسیژن در فصل بهار برای مطالعه حاضر قابل توجهی می‌گردد. از سویی مشخص گردید که با افزایش دما، میزان و تراکم فیتوپلانکتون‌ها نیز افزایش می‌یابند. بنابراین می‌توان بیان داشت که از آنجا که شفافیت عمده‌تاً توسط مقدار کل جامدات معلق کنترل می‌شود، جلبک‌ها و ذرات ریز آلی حاصل از پوسیدگی شکوفه‌های جلبکی همراه با باکتری‌های هم‌زمان می‌توانند باعث افزایش بیشتر کدورت آب شوند.^{۴۶} براساس نتایج مطالعه، فسفات و نترات جزو مؤلفه‌های اصلی در هر دو فصل بهار و تابستان می‌باشند، در این رابطه می‌توان بیان داشت که افزایش یافتن

فسفات و نترات می‌تواند به‌دلیل اضافه‌کردن کودهای نیترا ته و فسفات‌ها باشد که در فعالیت کشاورزی به‌عنوان مواد افزودنی رشد گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و موجب کاهش کیفیت آب می‌گردد.^{۴۷} از طرف دیگر با توجه به این‌که موقعیت جغرافیایی کارون ۴ به صورتی است که دارای آب و هوای گرم و خشک به همراه سازندهای تبخیری و شورکننده می‌باشد^{۴۸}، بنابراین می‌توان گفت که این امر با افزایش دما در بهار و تابستان موجب افزایش سدیم و کلر در آب دریاچه می‌گردد. هم‌چنین ترکیبات منیزیم، آهن و منگنز به‌واسطه ورود آلودگی‌های شهری و صنعتی و فاضلاب‌ها به دریاچه می‌باشد و از آنجایی که رودخانه‌های شور در این منطقه به همراه زه‌کش‌های آب کشاورزی که فاصله در آن‌ها رعایت نشده و هم‌چنین فاضلاب مربوط به صنایع مختلف به دریاچه موردنظر وصل الحاق می‌گردند^{۴۹}، بنابراین وجود ترکیبات مذکور به‌عنوان فاکتورهای اصلی کیفی آب در این منطقه مورد تأیید قرار می‌گیرد. در رابطه با قلیائیت به‌عنوان پارامتر مؤثر دیگر در کیفیت آب دریاچه نیز می‌توان چنین برداشت نمود که میزان قلیائیت آب، وابسته به آنیون‌هایی مثل هیدروکسیدها، فسفات‌ها، کربنات و بی‌کربنات-ها و سیلیکات‌ها می‌شود و نوع موادی که موجب قلیائیت آب می‌شود، وابسته به pH، ترکیبات معدنی قدرت یونی و دما می‌باشد. قلیائیت وابسته به هیدروکسیدها زمانی که یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} به آب ورود پیدا کنند، حاصل می‌شود، لذا این نوع قلیائیت تنها در آب‌های آلوده با فاضلاب‌ها دیده می‌شود. از سویی هدایت الکتریکی در آب در واقع نشان‌دهنده یون‌هایی است که در آن آب وجود دارد زیرا یون‌ها موجب هدایت جریان الکتریسته می‌گردند. هم‌چنین یک سری از عوامل موجب بروز هدایت الکتریکی در آب می‌گردند که شامل یون-های هیدروکسید در آب‌های قلیایی و افزایش دما می‌گردد. بر این اساس در مطالعه حاضر هم با توجه به گرم شدن هوا در فصل بهار و تابستان و هم ورود آلودگی‌های صنعتی و کشاورزی به آب موجب می‌گردد که هدایت الکتریکی آب

کشاورزی و آبیاری در بهار و تابستان، زمین‌های کشاورزی که در زمستان کوددهی در آنها صورت گرفته است در معرض شستشوی مستقیم قرار گرفته و مواد مغذی داخل خاک همراه با زهاب حاصله، اثر مستقیم بر کیفیت آب مخزن کارون ۴ دارد.

افزایش یافته و به‌عنوان یک فاکتور اساسی در تعیین کیفیت آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.^{۵۰}

نتیجه‌گیری

براساس نتایج ارزیابی شده و بررسی آنها می‌توان بیان داشت که برخلاف عوامل مختلفی که می‌توانند بر وضعیت کیفی آب مخزن کارون ۴ مؤثر باشند، دمای آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها در فصول گرم می‌تواند با اثرگذاری بر اکسیژن محلول آب، برهم‌زدن لایه‌بندی آب و تغییر در سطوح مواد مغذی موجود در دریاچه موجب افزایش تراکم فیتوپلانکتون‌ها، کاهش اکسیژن آب، تغییر در pH مناسب آب و افزایش کدورت آب گردد. تمام این موارد می‌توانند وضعیت تروپی دریاچه موردنظر را در فصول گرم سال به وضعیت یوتروف نزدیک نمایند. از سویی ورود منابع آلوده کشاورزی، صنعتی و غیره به دریاچه همراه با افزایش دما در فصول بهار و تابستان، موجب افزایش قلیائیت و درنهایت هدایت الکتریکی آب می‌گردد. هم‌چنین می‌توان ذکر نمود که با شروع فصل

References

- McIntosh A, Pontius J. Global water resources. Case Studies for Integrating Science and the Global Environment (Amsterdam: Elsevier). Elsevier, Amsterdam, Netherlands 2017:113-254.
- Yilmaz N. Assessment of seasonal variation of phytoplankton and related water quality parameters of Sazlidere Dam Lake (Istanbul, Turkey). Desalination and Water Treatment 2018;131:107-113.
- Wilkinson GM. Eutrophication of freshwater and coastal ecosystems. Encyclopedia of Sustainable Technologies 2017;4:145-152.
- Reynolds C. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? Hydrobiologia 1998;369:11-26.
- Kane DD, Conroy JD, Richards RP, Baker DB, Culver DA. Re-eutrophication of Lake Erie: Correlations between tributary nutrient loads and phytoplankton biomass. Journal of Great Lakes Research 2014;40(3):496-501.
- Bellinger EG, Sigee DC. Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators: John Wiley & Sons, 2015.
- Yilmaz N, Ozyigit II, Demir G, Yalcin IE. Determination of phytoplankton density, and study of the variation of nutrients and heavy metals in the surface water of Riva Stream; one of the water sources of Istanbul, Turkey. Desalination and Water Treatment 2015;55(3):810-20.
- Katsiapi M, Moustaka-Gouni M, Sommer U. Assessing ecological water quality of freshwaters: PhyCoI—a new phytoplankton community Index. Ecological Informatics 2016;31:22-9.
- Arab S, Hamil S, Rezzaz MA, Chaffai A, Arab A. Seasonal variation of water quality and phytoplankton dynamics and diversity in the surface water of Boukourdane Lake, Algeria. Arabian Journal of Geosciences 2019;12(2):1-11.
- Vollenweider R, Kerekes J. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), Paris. 1982;156.
- McGarrigle M, Lucey J, Cinnéide MÓ, Castle J. Water quality in Ireland 2007-2009. Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland, 2009.
- Axler R, Hagley C, Host G, Schomberg J. LakeSuperiorStreams.org: Making stormwater and stream data come alive for citizens, students, teachers, contractors, resource agencies, decision-makers and scientists. In Proceedings US Department of the Interior, US Geological Survey 5th National Water Quality Monitoring Conference, San Jose, CA May. 2006; 5p.
- Hu Z, Guo L, Liu T, Chuai X, Chen Q, Shi F, et al. Uniformisation of phytoplankton chlorophyll a and macrophyte biomass to characterise the potential trophic state of shallow lakes. Ecological indicators 2014;37:1-9.
- Wang L, Liu L, Zheng B. Eutrophication development and its key regulating factors in a water-supply reservoir in North China. Journal of Environmental Sciences 2013;25(5):962-70.
- Christia C, Giordani G, Papastergiadou E. Assessment of ecological quality of coastal lagoons with a combination of phytobenthic and water quality indices. Marine pollution bulletin 2014;86(1-2):411-23.
- Cabecinha E, Cortes R, Pardal MÂ, Cabral JA. A Stochastic Dynamic Methodology (StDM) for reservoir's water quality management: Validation of a multi-scale approach in a south European basin (Douro, Portugal). ecological indicators 2009;9(2):329-45.
- Uttormark PD, Wall JP. Lake classification, a trophic characterization of Wisconsin lakes. National Environmental Research Center, Wisconsin, 1975.
- Samaei M, Afshar A, Ahmadi Bargani A, Asadi R, editors. Eutrophication modeling in reservoirs with System Dynamic s approach. 12th National Conference on Environmenta l Health, Shahid Beheshti University of Medical Science, Faculty of Health, 2009.
- Ahmadov E. Water resources management to achieve sustainable development in Azerbaijan. Sustainable Futures 2020;2:100030.
- Ashjari J, Soltani F, Rezai M. Prediction of groundwater seepage caused by unclogging of fractures and grout curtain dimensions changes via numerical double-porosity model in the Karun IV River Basin (Iran). Environmental earth sciences 2019;78:1-17.
- Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS. Standard methods for the examination of water and wastewater: American public health association Washington, DC; 2012.
- Ghadiri A, Hashemi SH, Nasrabadi T. The efficiency of Iran's water resources quality index in comparison with three indices for assessment of Heavy Metal pollution in surface water (Case study: north and east of Tehran's runoff). Publications of Tarbiat Modares University 2021;21(2):177-188.
- Jeffrey St, Humphrey G. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochemie und physiologie der pflanzen 1975;167(2):191-194.
- Astel A, Głosińska G, Sobczyński T, Boszke L, Simeonov V, Siepak J. Chemometrics in the assessment of the sustainable development rule implementation. Open Chemistry 2006;4(3):543-564.
- Raftery AE. Bayesian model selection in structural equation models. Sage Focus Editions 1993;154:1-20.
- Nist/Sematceh e-Handbook of statistical methods. 2013. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.

27. Abolghasem MH, Rajab-Zadeh E, Khasheei Varnamkhasti M. Studying the annual changes in water quality of the Karun River based on the IRWQI index. The second national and specialized conference on environmental research in Iran. 2014
28. Rolim HDO, Nunes ABDA, Nascimento FJDSC, Chaves JR. Proposal of a trophic state index in semiarid reservoirs using data of the Banabuiú Basin, state of Ceará, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 2019;31:1-10.
29. UNEP A. A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. Nairobi, United Nations Environment Programme. 2016.
30. Yang J, Lv H, Liu L, Yu X, Chen H. Decline in water level boosts cyanobacteria dominance in subtropical reservoirs. *Science of the Total Environment* 2016;557:445-52.
31. Leira M, Cantonati M. Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography. *Ecological effects of water-level fluctuations in lakes*: Springer 2008;613:171-184.
32. Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research* 2002;24(5):417-428.
33. Bennett CH, Brassard G. An update on quantum cryptography. In *Workshop on the theory and application of cryptographic techniques 1984 Aug 19* (pp. 475-480). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
34. Noori R, Karbassi A, Farokhnia A, Dehghani M. Predicting the longitudinal dispersion coefficient using support vector machine and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Environmental Engineering Science* 2009;26(10):1503-10.
35. Brooks LJ. The effects of prey size selection by lake planktivores. *Systematic Biology* 1968;17(3):273-291.
36. Rybak J, SADŁEK W. Ecological impact of a dam on benthic macroinvertebrates in montane rivers of Lower Silesia. *Environment Protection Engineering* 2010;36(2):143-151.
37. Pauer JJ, Taunt KW, Melendez W, Kreis Jr RG, Anstead AM. Resurrection of the Lake Michigan eutrophication model, MICH1. *Journal of Great Lakes Research* 2007;33(3):554-565.
38. Shamlou A, Naseri S, Nadafi K. Water quality monitoring of the Gilarlo reservoir. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater* 2004;15(3):51-58.
39. Zhang W, Rao YR. Application of a eutrophication model for assessing water quality in Lake Winnipeg. *Journal of Great Lakes Research* 2012;38:158-173.
40. Carlson RE. A trophic state index for lakes I. *Limnology and oceanography* 1977;22(2):361-369.
41. Ownegh M, Barani H, Sargazi H. Forecasting the availability of water to meet environmental needs in Sistan region. The 4th international conference on environmental planning and management. 2017.
42. Liu J, Wei C-F, Xie Q, Zhang W-H. Capacities of soil water reservoirs and their better regression models by combining "merged groups PCA" in Chongqing, China. *Acta Ecologica Sinica* 2014;34(1):53-65.
43. Becker V, Huszar VLM, Crossetti LO. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia* 2009;628(1):137-51.
44. Pirali Zefrehei AR, Kolahi M, Fisher J. Ecological-environmental challenges and restoration of aquatic ecosystems of the Middle-Eastern. *Scientific Reports* 2022;12(1):17229.
45. Lewis Jr WM. A revised classification of lakes based on mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1983;40(10):1779-1787.
46. Cai Q, Gao X, Chen Y, Ma S, Martin D. Dynamic variations of water quality in Taihu Lake and multivariate analysis of its influential factors. *Chinese Geographical Science* 1996;6(4):364-74.
47. Mustaffa AR, Ku Hamid KH, Musa M, Idris J, Ramli R. High nitrate and phosphate ions reduction in modified low salinity fresh water through microalgae cultivation. *Processes* 2019;7(3):129.
48. Jahangiry Fard M, Amanipoor H, Battaleb-Looie S, Ghanemi K. Evaluation of effect factors on water quality of Karun River in downstream and lake of the Gotvand-e-Olya Dam (SW Iran). *Applied Water Science* 2019;9:1-14.
49. Madadi-Nia M, Monavari SM, Karbasi A, Bagher Nabavi SM, Rajab-Zadeh E. Water quality survey of Karun river in Ahvaz basin using water quality index. *Environmental Science and Technology Quarterly*. 2014;16(1):49-60.
50. Company KRRWJS. Reducing the electrical conductivity of water with the help of ultrasound waves. 2007

Identification of phytoplankton communities, water quality and eutrophication status in the reservoir of Karun 4

Nader CheraghpourAhmadmahmoodi¹, Mohsen Saadat², Rasool ZamaniAhmadmahmoodi³, Avid Avokh^{4,5}

1.PhD student, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2.Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

3.Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Natural Resources and Geosciences Faculty, Shahrekord University

4.Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

5.Digital Processing and Machine Vision Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Email: mohsen.saadat@pci.iaun.ac.ir

Received: 20 September 2023 , Accepted: 17 October 2023

ABSTRACT

Background: One of the major problems of aquatic ecosystems is eutrophication or enrichment of water with nutrients. In this study, the phytoplankton communities in the Karun 4 reservoir were investigated in spring and summer in 2018.

Methods: Chlorophyll A and 19 water physicochemical parameters were measured and analyzed at the reservoir in 26 stations. Statistical analysis of data was done in SPSS software. In order to investigate the biological indicators, Simpson and Shannon-Wiener indices were used, and Trophic State Index (TSI) was used to determine the eutrophication status of the lake.

Results: Among the 35 identified genera, the phytoplankton populations mostly belonged to the Nephrocitium, Oonephris, Peridinium, Pyrophacus, Dinobryon, Cyclotella, Diatoma, and Chlorella genera. Also, the population of phytoplankton was more in summer than in spring. The Simpson and Shannon-Wiener biodiversity indices were calculated as 0.835 ± 0.031 and 2.01 ± 0.174 in spring and 0.819 ± 0.041 and 2.02 ± 0.21 in summer, respectively. According to the TSI index, the trophic status of the studied reservoir was in the eutrophic range (50-75). The analysis of the main components of principal component analysis showed that in spring, six components explained 80.847% of the total variance, while in summer, eight components explained 83.287% of the total variance.

Conclusion: The results showed that the Karun 4 reservoir, which is an important water source in Iran, is in a eutrophic state. This may be due to the increase in temperature in spring and summer, the growth of phytoplankton populations, and the increase in the amount of released ions of industrial and agricultural wastewater, which leads to the eutrophic condition in the reservoir.

Keywords: Karun 4 reservoir, Physicochemical parameters, Phytoplankton, Trophic Status Index (TSI), Principal Component Analysis (PCA)