



پایش کیفیت آب مخزن سد بوستان با استفاده از شاخص جلبکی پالم

فاطمه عباسی^{۱*}، طاهر پورصوفی^۲، عبدالعظیم فاضل^۳، بهروز منصوری^۲، حسین پیری^۲، بایرام محمد قرنجیک^۲

۱. دانش‌آموخته مقطع دکتری، گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲. کارشناس تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی-گرگان، ایران

۳. استادیار، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی-گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

چکیده

پژوهش حاضر، به منظور پایش کیفیت آب مخزن سد بوستان با استفاده از گروه‌های فیتوپلانکتونی و شاخص پالم انجام شد. نمونه‌برداری به مدت یک سال و نیم و به صورت فصلی از پنج ایستگاه مختلف از عمق ۰/۵ تا ۳ متر با استفاده از نمونه‌بردار یک لیتری روتنر صورت گرفت. در این مطالعه، پس از شناسایی گونه‌های فیتوپلانکتونی، شاخص تنوع شانون-وینر، شاخص غنای مارگالف، شاخص سیمپسون، شاخص یکنواختی گونه‌ای پیلو و شاخص آلودگی پالم تعیین گردید. به لحاظ فراوانی، ۵ شاخه Bacillariophyta (۵۶٪)، Chlorophyta (۲۳٪)، Cyanophyta (۱۳٪)، Euglenophyta (۴٪) و Pyrophyta (۴٪) گروه‌های غالب فیتوپلانکتونی را شامل شدند. میزان شاخص تنوع شانون-وینر نشان داد که تنوع زیستی فیتوپلانکتون‌ها در این منطقه در حد متوسط قرار دارد. بالاترین مقدار شاخص پیلو (۰/۸۸) و شاخص سیمپسون (۰/۹۵) در تابستان به دست آمد. کمترین میزان شاخص مارگالف در فصل تابستان با مقدار ۲/۸۲ محاسبه گردید. نتایج حاصل از شاخص پالم نشان داد که آب مخزن پشت سد بوستان در دسته آب‌های دارای آلودگی با مواد آلی بسیار زیاد قرار دارد.

واژگان کلیدی: فیتوپلانکتون، سد بوستان، آلودگی آلی، شاخص پالم، تنوع زیستی



Water monitoring of the reservoir behind the Boostan dam using the Palmer index

**Fatemeh Abbasi^{1*}, Taher Poursoufi², Abdol-Azim Fazel³, Behrooz Mansouri²,
Hossein Piri², Bairam Mohammad Gharanjik²**

1. Ph. D Graduate, Production and Exploitation of Aquatic Animals, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Researcher Expert, Inland Water Aquatics Resources Research Center, Gorgan, Iran

3. Assistant professor, Inland Water Aquatics Resources Research Center, Gorgan, Iran

Received: 04-Jan-2023

Accepted: 14-Sep-2023

Abstract

The present study was conducted in order to monitor the water of the reservoir behind the Boostan Dam using the phytoplankton population and Palmer index for one and half years. The sampling was done seasonally in five stations from depths of 0.5 to 3 meters using One-liter Ruttner sampler. After identifying phytoplankton species; the Shannon-Wiener diversity index, Margalf richness index, Simpson index, Pillo's species uniformity index, and also Palmer's pollution index were determined. According to abundance, 5 phyllums were the dominant phytoplankton groups; Bacillariophyta (56%), Chlorophyta (23%), Cyanophyta (13%), Euglenophyta (4%), and Pyrophyta (4%). In this area, the Shannon-Wiener diversity index showed an average level of biodiversity. The highest value of the Pielou (0.88) and Simpson (0.95) indices were obtained in the summer. The lowest value of the Margalef index was calculated in the summer with a numerical value of 2.82. The results of Palmer's index showed that the water of reservoir behind the Bostan Dam is categorized at the level of very high organic matter pollution.

Keywords: Phytoplankton, Boostan Dam, Organic Pollution, Palmer Index, Biodiversity

۱. مقدمه

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی اکوسیستم‌های آبی منعکس‌کننده و وضعیت کیفی و کمی این اکوسیستم‌ها هستند. تغییرات کمی و کیفی مواد غذایی طبیعی در یک بدنه آبی تحت تأثیر چندین عامل زیستی و غیرزیستی قرار دارد (Mishra et al., 2017). در بسیاری از موارد، آلودگی آلی پیکره‌های آبی یکی از مهم‌ترین موضوعات کیفیت آب و یک مشکل مهم زیست‌محیطی محسوب می‌شود (De la Rey et al., 2004; Walsh, 2009). جهت بررسی دقیق زیست‌شناسی دریاچه‌ها، دانش پویایی فیتوپلانکتون در رابطه با شرایط محیطی بسیار ضروری است (Nazeer et al., 2018). فیتوپلانکتون‌ها، به‌عنوان جامعه پلانکتونی، بخش کلیدی اقیانوس‌ها، دریاها و اکوسیستم‌های آب شیرین را تشکیل می‌دهند و به‌عنوان شاخص‌های زیستی مطلوب در پایش کیفیت آب نیز قلمداد می‌شوند. آن‌ها تولیدکننده اولیه‌اند و با تمام آبزبان دیگر از نظر زیستی در ارتباطند و انرژی را از طریق زنجیره غذایی به زیست‌مندان سطوح بالاتر منتقل می‌کنند (Saifullah et al., 2014; Tiwari and Chauhan, 2006). حضور آن‌ها اغلب رشد، ظرفیت تولید مثلی و ویژگی‌های جمعیتی دیگر موجودات آبی را کنترل می‌کند (Ariyadej et al., 2008).

خصوصیات کیفی آب نقش مهمی را در میزان فراوانی، توزیع، الگوی رشد و جان‌شیتی جوامع فیتوپلانکتونی دارد (Gharib et al., 2011). این گروه‌های زیستی نه‌تنها به‌عنوان تولیدکنندگان اولیه در چرخه‌های بیوشیمیایی نقش به‌سزایی دارند، بلکه به‌عنوان شاخصی برای تعیین میزان آلودگی آب‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Bellinger and Sigeo, 2015). با توجه به طول عمر کوتاه، واکنشی سریع به تغییرات محیطی دارند (Ho et al., 2015; Liu, 2008)، از این‌رو هشدار اولیه از تغییرات محیطی را نشان می‌دهند و وضعیت سلامت اکوسیستم‌های آبی را در برابر مداخلات انسانی به‌خوبی بازگو می‌کنند (O'Boyle et al., 2015). طی چند دهه

اخیر، فرآیندهای مؤثر بر توسعه جوامع پلانکتونی و ارتباط آن با کیفیت آب، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است؛ زیرا تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آب به‌تنهایی نمی‌تواند پاسخ‌گوی مسائل مدیریتی در حوضه آبی باشد (Maraşlıoğlu et al., Solak 2012; Martín et al., 2010; Atıcı and Udoh, 2016; 2020; Maraşlıoğlu and Soylu, 2018; Delgado et al., 2019).

هنگامی که حرف پایش زیست‌محیطی به میان می‌آید، شاخص‌های زیستی نسبت به ارزیابی‌های شیمیایی دارای مزایای بهتری هستند. کاهش هزینه نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل به‌طور منظم (Wu et al., 2014)، تجزیه و تحلیل نسبتاً ساده (Żbikowski et al., 2007)، احتمال بررسی تغییرات کوتاه مدت در کیفیت آب و تغییرات طولانی مدت در محیط، و در نهایت، حساسیت به انواع تأثیرات محیطی (Stein et al., 2003) مزایای شاخص‌های زیستی‌اند. در نتیجه، معیارهای زیستی به‌طور فزاینده‌ای در ارزیابی زیست‌محیطی و پایش آلودگی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wu et al., 2014). Palmer (۱۹۶۹)، برای نشان دادن آب تمیز و آلوده به‌ویژه آلودگی آلی یک رتبه‌بندی ترکیبی (۰ تا ۲۰) از گونه‌های جلبکی منتشر کرد. این شاخص یک آزمایش آسان، سریع و ارزان برای تشخیص آلودگی آلی و سطح یوتروفیک را نشان می‌دهد (Gökçe, 2016). Kumari و همکاران (۲۰۰۸) کیفیت آب دریاچه‌ها را با استفاده از شاخص آلودگی پالم ارز یابی کردند. Kshirsagar و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت آب رودخانه Mula را در شهر Pune در کشور هندوستان بررسی کردند و در مجموع ۱۶۲ گونه متعلق به ۷۵ جنس جلبک را ثبت و از شاخص آلودگی پالم سطح آلودگی را تعیین کردند. در این مطالعه، امتیاز هر ایستگاه براساس شاخص پالم بیشتر از ۲۰ بود که نشان‌دهنده آلودگی آب با مواد آلی بود. Hosmani (۲۰۱۳) بیست دریاچه آب شیرین ایالت Karnataka را در کشور هند با استفاده از شاخص پالم مورد مطالعه قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که تمامی ۲۰ دریاچه مورد مطالعه دارای آلودگی با مواد آلی بود. در این

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مشخصات منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های

نمونه برداری

حوضه آبریز گرگانرود، که سدهای وشمگیر، گلستان و بوستان روی آن احداث شده‌اند با پتانسیل ۸۰۰ میلیون متر مکعب به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب‌های سطحی در استان گلستان به شمار می‌آید. حوضه آبخیز سد بوستان با مساحت ۱۵۷۸/۷۷ کیلومترمربع بین عرض‌های $37^{\circ} 25' 05''$ تا $47^{\circ} 33' 37''$ شمالی و طول‌های $55^{\circ} 26' 30''$ تا $56^{\circ} 04' 35''$ شرقی واقع شده است (شکل ۱). به‌منظور ارزیابی شرایط تروفي، با توجه به شکل، وسعت، عمق و موقعیت دریاچه (منطقه ورودی، وسط و نزدیک تاج سد) و شرایط حاکم بر آن ۵ ایستگاه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد (شکل ۱، جدول ۱). نمونه‌برداری به مدت یک سال و نیم از بهار سال ۱۳۹۸ تا آخر تابستان ۱۳۹۹ به‌صورت فصلی در قالب طرح پژوهشی انجام گرفت. سال دوم به‌منظور بررسی صحت اطلاعات استخراجی در فصل بهار و تابستان تکرار صورت گرفت؛ و با توجه به اینکه بین بهار و تابستان سال اول و دوم، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، در تحلیل داده‌ها، داده‌های سال قبل نیز استفاده شد.

۲.۲. روش نمونه‌برداری و شاخص‌های مورد

بررسی

جهت تعیین تراکم فیتوپلانکتون، نمونه‌برداری با توجه به عمق متوسط پایین دریاچه از لایه سطحی و نورگیر دریاچه بین ۰/۵ تا ۳ متر توسط نمونه‌بردار روتنر، انجام گرفت. سه نمونه نیم لیتری از هر ایستگاه به ظرف نمونه منتقل و با فرمالین بافر ۲/۵ درصد در محل تثبیت و جهت مطالعه به آزمایشگاه منتقل شد. روش نمونه‌برداری و محاسبه تراکم جمعیتی فیتوپلانکتون دریاچه با استفاده از روش (Sourina, 1978; Berg, 1998) و شناسایی نمونه‌ها با استفاده از روش Sourina, ۱۹۷۸ و Marañoń (۲۰۱۵) انجام شد. در آزمایشگاه نمونه‌های

مطالعه کمترین آلودگی در دریاچه Bogadi و بیشترین آلودگی در دریاچه‌های Karanji و Dadadahalli و همکاران (۲۰۲۰) آلودگی آلی خلیج گرگان را با استفاده از شاخص جلبکی پالمر مورد ارزیابی اکولوژیک قرار دادند. در این پژوهش خلیج گرگان به سه بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم‌بندی شد و شاخص آلودگی پالمر به‌صورت فصلی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمام بخش‌های خلیج گرگان در هر چهار فصل در دسته آب‌های دارای آلودگی بسیار زیاد قرار دارند.

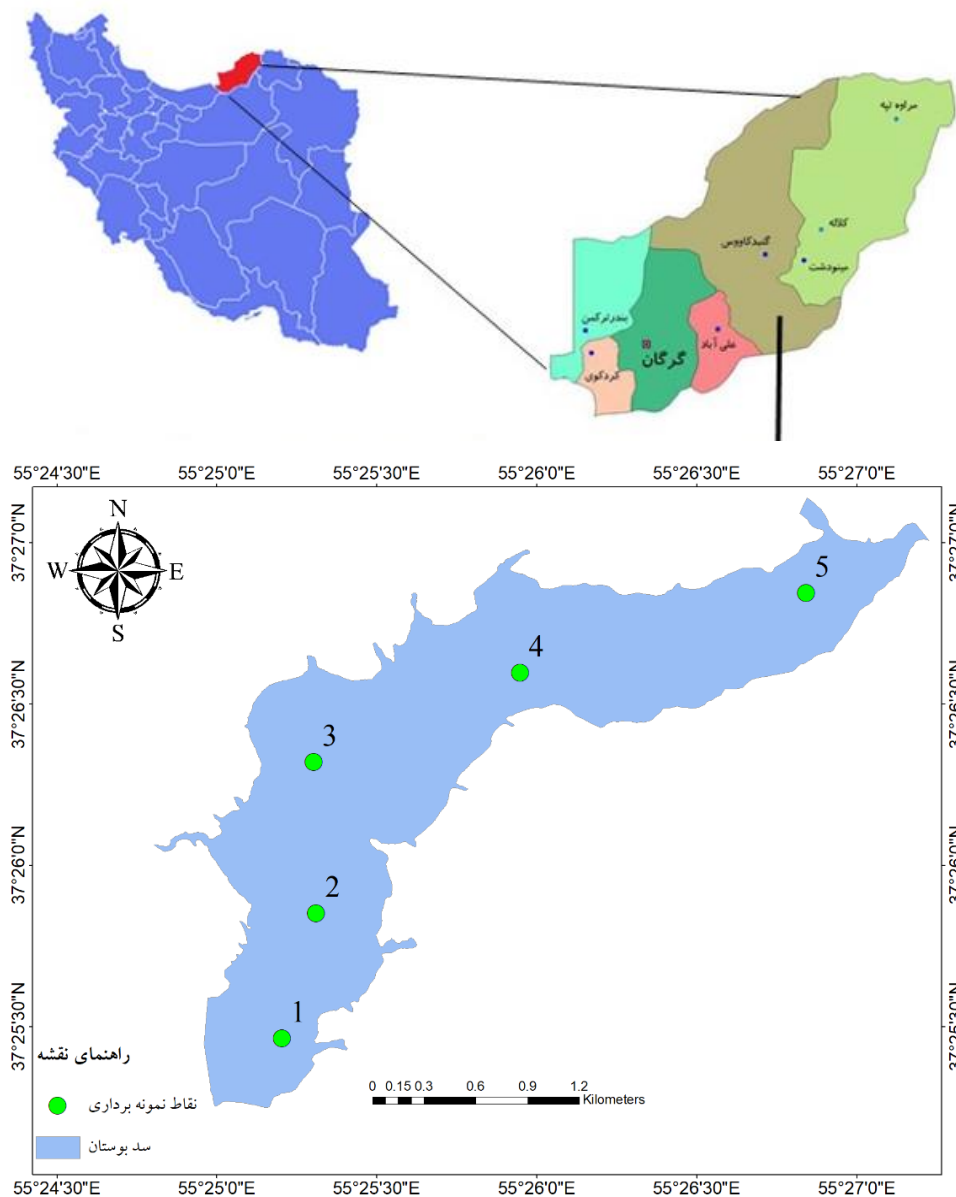
آلودگی اکوسیستم‌های آبی از جمله سدها ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و پساب روستایی، یکی از مهم‌ترین مشکلات دنیای امروز به‌ویژه کشورهای در حال توسعه است (Heydarzadeh and Gholizadeh, 2019). آلودگی آلی زمانی رخ می‌دهد که مواد آلی آلاینده‌ها را به محیط‌زیست منتقل کنند. این آلاینده‌ها معمولاً می‌توانند توسط میکروارگانیسم‌های طبیعی اکسید شوند. در سراسر جهان از جوامع جلبکی برای مطالعه آلودگی‌های آبی استفاده می‌شود. مهم‌ترین اثر آلودگی آلی در بدنه‌های آبی به‌دلیل غنی‌شدن مواد مغذی و تعداد کل گونه‌های جلبکی است (Winter and Duthie 2000). با توجه به اینکه شاخص جلبکی پالمر جهت بررسی آلودگی آلی آب، شاخصی ارزان، سریع و مطمئن می‌باشد؛ همچنین مطالعه در منابع موجود نشان داد که تاکنون هیچ‌گونه سوابق مطالعاتی در خصوص بررسی‌های لیمنولوژیک در دریاچه سد بوستان وجود ندارد، در پژوهش حاضر، میزان آلودگی آلی مخزن پشت سد بوستان با استفاده از شاخص پالمر و وضعیت سلامت آب مخزن براساس نمونه‌های فیتوپلانکتون و شاخص‌های فیزیکو-شیمیایی به‌صورت فصلی بررسی شد. فرض بر این بود که آلودگی آلی مخزن پشت سد بر فیتوپلانکتون‌ها تأثیر می‌گذارد و جنس‌هایی از جلبک‌ها غالب می‌شوند که به آلودگی آب به مواد آلی پاسخ می‌دهند.

میزان غنی و فقیر بودن اکوسیستم را از لحاظ تعداد گونه‌ها ارائه می‌دهد. هرچه مقدار عددی آن بیشتر باشد بیانگر آن است که بدنه آبی به لحاظ زیستی از سلامت بالاتری برخوردار است (Margalef, 1978).

$$D = \frac{S-1}{\ln N}$$

D: شاخص تنوع زیستی، S: تعداد گونه‌ها و N: تعداد افراد

فیتوپلانکتونی بعد از همگن کردن، توسط پیپت به لام ۱ میلی‌لیتری سدویک رافتز جهت شناسایی و شمارش منتقل و پس از گذشت ۳۰ دقیقه، جهت رسوب، به وسیله میکروسکوپ نوری (Nikon Eclipse 50i, NY 11747-) (3064)، به طور کمی و کیفی بررسی شدند. جهت تعیین تنوع زیستی فیتوپلانکتون‌های دریاچه به لحاظ مکانی و زمانی، شاخص‌های تنوع مارگالف و شانون-وینر، شاخص سیمپسون و شاخص یکنواختی گونه‌ای پیلو استفاده گردید (Zheng et al., 2023). شاخص غنای مارگالف



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی دریاچه پشت سد بوستان

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری دریاچه سد بوستان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مشخصات
۱	۳۷°۱۹'۱۷/۱۹"	۵۵°۱۷'۱۷/۹۷"	خروجی سد
۲	۳۷°۱۹'۴۱/۵۱"	۵۵°۱۷'۵۰/۸۸"	در محدوده خروجی سد
۳	۳۷°۲۰'۱۹/۷۷"	۵۵°۱۷'۴۰/۹۷"	حاشیه غربی
۴	۳۷°۲۰'۵۲/۲۳"	۵۵°۱۸'۳/۲۳"	حاشیه شرقی
۵	۳۷°۲۱'۱۵/۶۲"	۵۵°۱۸'۳۱/۸۲"	ورودی سد

تولید و سطح تروفی بالایی داشته باشد. برخی از خصوصیات مهم جغرافیای طبیعی مخزن سد بوستان در جدول ۲ ارائه شده است (Bahrami, 2011).

مخزن سد بوستان در استان گلستان با میانگین عمق $3/5 \pm 1/7$ متر (در سال‌های قبل از مطالعه حدود ۶ متر بوده است) و میانگین و سعت ۵۰۰ هکتار به عنوان دریاچه کم عمق و متوسط به شمار می‌آید که انتظار می‌رود توان

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیای طبیعی حوضه آبخیز سد بوستان (اقتباس از بهرامی، ۱۳۸۸)

پارامتر	کل حوضه
نوع سد	خاکی همگن
مساحت (km ²)	۱۵۷۹
محیط (km)	۲۱۶/۴۱
ارتفاع متوسط حوضه آبخیز (m)	۷۳۷/۱۷
حداکثر ارتفاع از پی (m)	۳۵
حجم مخزن (million m ³)	۳۷
نوع مصرف	کشاورزی، صنعت، پرورش ماهی، کنترل سیل

گونه i و $N =$ تعداد کل افراد

شاخص سیمپسون بیانگر غالبیت است، زیرا در مقایسه نسبت جنس یا گونه‌های نادر به جنس یا گونه‌های با تعداد زیاد حساس تر است. مقادیر بالای این شاخص نیز نشان‌دهنده تنوع پایین گونه است. مقدار این شاخص بین صفر تا یک متغیر است. مقدار شاخص سیمپسون هر چه به سمت یک میل کند و افزایش یابد تنوع گونه کاهش و یک سری گونه‌های خاص غالبیت پیدا می‌کنند (Simpson, 1949).

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

$D =$ شاخص غالبیت و $N =$ تعداد کل گونه‌ها یا همه

بر اساس شاخص تنوع زیستی شانون-وینر، فرض بر این است که افراد به صورت تصادفی از یک جامعه بسیار بزرگ نمونه برداری شوند، و تمامی گونه‌ها دارای نماینده‌ای در جامعه هستند. این شاخص می‌تواند مقادیر بین ۱-۵ را به خود اختصاص دهد و هر چقدر مقدار عددی شاخص پایین باشد، نشان‌دهنده آلودگی بالاتر می‌باشد. در این شاخص اطلاعات مربوط به تعداد گونه‌های متعلق به یک جمعیت و فراوانی نسبی آن‌ها با هم در محاسبه لحاظ می‌شود (Spatharis et al., 2011).

$$H' = - \sum p_i \log 2p_i \quad P_i = N_i/N$$

$P_i =$ نسبت تعداد افراد گونه i به کل افراد، $N_i =$ تعداد

است که به هر جنس شناسایی شده در نمونه ضریب مخصوص داده می‌شود (جدول ۳) و در نهایت این ضرایب جمع شده و عدد نهایی شاخص به دست می‌آید (Palmer, 1969). مقادیر محاسبه شده با مقادیر مرجع پیشنهادی (Palmer, 1969) مقایسه شد و عدد نهایی ۹-۱۰ نشان دهنده نبود آلودگی، ۱۴-۱۰ آلودگی متوسط، ۱۹-۱۵ آلودگی زیاد و ۲۰ یا بیشتر نشان دهنده آلودگی آلی بسیار زیاد است.

افراد جامعه، n_i فراوانی گونه نام

شاخص همگنی یا یکنواختی گونه‌های پیلو نیز از معادله $El = H'/\ln(S)$ محاسبه شد. در این معادله S: تعداد گونه و H' : شاخص تنوع گونه‌های شانون است. در یک اجتماع زیستی، تعداد گونه‌ها غالباً به عنوان غنای گونه‌ای تفسیر می‌شود. شاخص پیلو نشانگر توزیع و فراوانی افراد اجتماع بین گونه‌هاست (Ludwig et al., 1988). از شاخص پالمر جهت محاسبه آلودگی آلی آب استفاده گردید. نحوه محاسبه این شاخص بدین صورت

جدول ۳- فهرست جنس‌های جلبکی آلی مقاوم در برابر آلودگی در شاخص پالمر

جنس	ضریب	جنس	ضریب	جنس	ضریب	جنس	ضریب
Anacystis	۱	Micractinium	۱	Cyclotella	۱	Phacus	۲
Ankistrodesmus	۲	Navicula	۳	Euglena	۵	Phormidium	۱
Chyamydomonas	۴	Nitzschia	۳	Gomphonema	۱	Scenedesmus	۴
Chlorella	۳	Oscillatoria	۵	Lepocincils	۱	Stigoclonium	۲
Closterium	۱	Pandorina	۱	Melosira	۱	Synedra	۲

به شاخه Chlorophyta، ۱۳ جنس متعلق به شاخه Cyanophyta، ۲ جنس متعلق به Euglenaophyta، یک جنس متعلق به Crysophyta و ۴ جنس متعلق به شاخه Dynophyta بودند. از جنس‌های غالب که در طول سال در اکثر فصول مشاهده شدند، می‌توان به جنس‌های زیر اشاره کرد:

Anabeanaposis, Chroococcus, Cylandrospermopsis, Lyngbya, Oocystis, Scendesmus, Tetraederon, Chlorogonium, Chaetoceros, Nyzschia, Surirella, Trachelomonas.

میانگین تراکم سالیانه فیتوپلانکتونی ۲۷۵۵۴/۱۲ سلول در میلی لیتر به دست آمد. شاخه Chlorophyta و Cyanophyta به ترتیب با میانگین تراکم ۳۰۸۷۳/۹ و ۱۸۰۳۴/۴ سلول در میلی لیتر و فراوانی ۲۳ و ۱۳ درصد از کل جمعیت فراوانی را به خود اختصاص دادند و شاخه Euglenaophyta با میانگین تراکم ۵۹۱۱/۵ سلول در میلی لیتر و فراوانی حدود ۴ درصد جمعیت

۲.۳. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

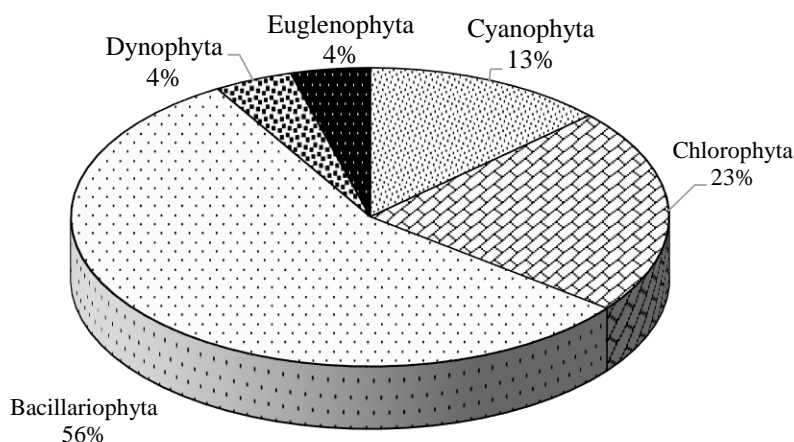
جهت تجزیه و تحلیل آماری، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و همگن بودن واریانس، به منظور بررسی تفاوت‌های آماری در مورد شاخص‌های اندازه‌گیری شده، داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین، جهت تعیین اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ انجام شد.

۳. نتایج

در این پژوهش ۴ شاخه، ۸ رده، ۳۸ خانواده و ۵۲ جنس فیتوپلانکتون شناسایی شد، که از این میان ۲۰ جنس متعلق به رده Bacillariophyta، ۱۲ جنس متعلق

سلول در میلی لیتر و فراوانی ۵۶ و ۴ در صد بیشترین و کمترین مقادیر را داشتند (شکل ۲).

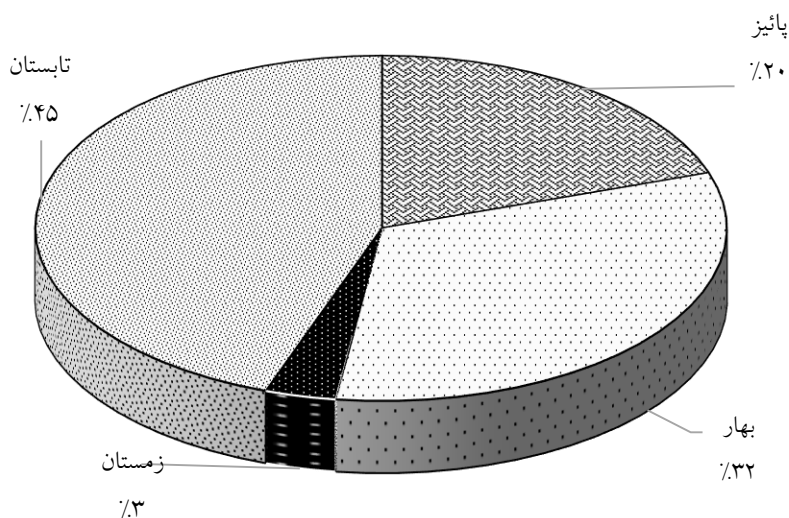
تراکم را نشان داد. هم چنین شاخه های Bacillariophyta و Dynophyta با تراکم های به ترتیب ۷۷۱۰۱/۶ و ۵۸۵۰



شکل ۲- نمودار میزان میانگین تراکم سالیانه شاخه های فیتوپلانکتون (سلول در میلی لیتر) مخزن سد بوستان

مقایسه شاخص های تنوع شانون-وینر و سیمپسون بین زمان های نمونه برداری اختلاف معنی داری را نشان نداد. شاخص شانون-وینر در زمستان با ۳/۰۶ دارای کمترین میزان و تابستان با ۳/۵ دارای بیشترین میزان بود. کمترین میزان شاخص مارگالف در فصل تابستان با ۲/۸۲ و بیشترین میزان در فصل زمستان با ۴/۵۲ مشاهده شد، که دارای اختلاف معنی داری بود (جدول ۵).

در مورد تغییرات سالانه تراکم فیتوپلانکتون، تابستان با میانگین تراکم ۳۴۵۷۴ سلول در میلی لیتر دارای بیشترین مقدار و زمستان با تراکم ۴۳۰۸/۸۶ سلول در میلی لیتر دارای کمترین تراکم بودند (شکل ۳). براساس نتایج، بیشترین تعداد جنس و بیشترین فراوانی در فصل تابستان و کمترین تعداد جنس و کمترین فراوانی در فصل زمستان مشاهده شد (جدول ۴).



شکل ۳- نمودار میانگین تراکم فیتوپلانکتون در فصول مختلف در مخزن سد بوستان ۱۳۹۹ (سلول در میلی لیتر)

جدول ۴- میانگین (میانگین \pm انحراف معیار) تراکم فیتوپلانکتون به تفکیک شاخه در مخزن سد بوستان در فصول مختلف

Euglenoidea	Dinophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyta	Cyanophyta	شاخه
					فصل
۸۰۰۰ \pm ۷۷۶	۷۲۰۰ \pm ۳۹۳	۱۱۹۲۹ \pm ۱۴۴۶۰۰	۴۳۹۷/۶۷ \pm ۶۲۵	۱۶۸۰۰ \pm ۳۸۲۲	بهار
۹۲۶۲ \pm ۵۸۷	۸۸۰۰ \pm ۵۸۱	۱۴۰۸۸ \pm ۱۰۶۸۰۰	۶۹۴۰۰ \pm ۹۱۱۵	۳۶۷۴۶ \pm ۳۶۵۲	تابستان
۴۲۰۰ \pm ۴۷۷	۵۶۰۰ \pm ۴۹۳	۹۹۹۳ \pm ۵۱۴۷۹	۴۸۹۸ \pm ۸۰۱	۱۴۸۰۰ \pm ۱۳۶۰	پاییز
۲۱۸۴ \pm ۴۶۶	۱۸۰۰ \pm ۳۱۳	۵۵۲۷/۴۳ \pm ۹۲۳	۳۹۳۳ \pm ۴۴۸۰۰	۳۷۹۱ \pm ۹۲۰	زمستان
۵۹۱۱/۵ \pm ۸۹۵	۵۸۵۰ \pm ۹۲۸	۷۷۱۰/۱/۶ \pm ۴۵۴	۳۰۸۷۳ \pm ۷۳۰۱	۱۸۰۳۴/۰۵ \pm ۹۵۷	میانگین سالانه

جدول ۵- میانگین شاخص‌های تنوع زیستی برای فیتوپلانکتون در سد بوستان در فصول مختلف

تنوع سیمپسون	تنوع شانون	یکنواختی پیلو	غنای مارگالف	فراوانی	گونه	فصل
۰/۹۴ \pm ۰/۲	۳/۱۷ \pm ۰/۷	۰/۸۹ \pm ۰/۴	۲/۸۵ \pm ۰/۵ ^a	۶۰۸۸۹/۲	۳۲	بهار
۰/۹۵ \pm ۰/۴	۳/۵ \pm ۰/۹	۰/۸۸ \pm ۰/۲	۲/۸۲ \pm ۰/۴ ^a	۴۹۰۸۰	۵۰	تابستان
۰/۹۳ \pm ۰/۴	۳/۰۸ \pm ۰/۵	۰/۸۹ \pm ۰/۳	۲/۹۳ \pm ۰/۶ ^a	۳۴۸۰۰	۳۱	پاییز
۰/۹۱ \pm ۰/۶	۳/۰۶ \pm ۰/۳	۰/۹۳ \pm ۰/۵	۴/۵۲ \pm ۰/۹ ^b	۲۴۶۰۰	۳۰	زمستان
۰/۹۳ \pm ۰/۵	۳/۲ \pm ۰/۹	۰/۹ \pm ۰/۴	۳/۲۸ \pm ۱/۱	۴۲۳۴۲/۳	۳۶	میانگین کل

*حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین فصول مختلف است.

نهایت براساس اعداد به‌دست آمده از شاخص پالمر، می‌توان آب مخزن پشت سد بوستان را در دسته آب‌های دارای آلودگی با مواد آلی بسیار زیاد قرار داد. جنس‌های پلانکتونی *Chlamydomonas*, *Ankistrodesmus*, *Oscillatoria*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Cyclotella*, *Scenedesmus* و *Phacus* در هر چهار فصل مشاهده شدند.

در مجموع ۵۲ جنس فیتوپلانکتونی مشاهده شد که تعداد ۱۳ جنس جزء جنس‌های شاخص آلودگی پالمر بودند. خلاصه اعداد شاخص پالمر در فصول مختلف در جدول ۶ ارائه شده است. براساس شاخص پالمر فصل تابستان با مقدار عددی ۳۳ بیشترین و فصل زمستان با مقدار عددی ۲۴ کمترین میزان آلودگی را نشان دادند. در

جدول ۶- جنس‌های شاخص پالمر مشاهده شده در مخزن پشت سد بوستان

ردیف	جنس	ضریب پالمر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱	<i>Oscillatoria</i>	۵	۵	۵	۵	۵
۲	<i>Ankistrodesmus</i>	۲	۲	۲	۲	۲
۳	<i>Chlamydomonas</i>	۴	۴	۴	۴	۴
۴	<i>Chlorella</i>	۳	۳	۳	۳	-
۵	<i>Closterium</i>	۱	۱	-	-	-
۶	<i>Pandorina</i>	۱	۱	-	-	-
۷	<i>Scenedesmus</i>	۴	۴	۴	۴	۴
۸	<i>Cyclotella</i>	۱	۱	۱	۱	۱
۹	<i>Melosira</i>	۱	۱	۱	۱	-
۱۰	<i>Navicula</i>	۳	۳	۳	۳	۳
۱۱	<i>Nitzschia</i>	۳	۳	۳	۳	۳
۱۲	<i>Synedra</i>	۲	۲	۳	۳	-
۱۳	<i>Phacus</i>	۲	۲	۲	۲	۲
		۳۲	۳۳	۳۱	۳۱	۲۴

۴. بحث و نتیجه گیری نهایی

جلبک‌ها تولیدکنندگان اصلی مواد آلی در محیط‌های آبی‌اند و بخش مهمی از زنجیره غذایی موجودات آبی و ماهیان را تشکیل می‌دهند؛ بنابراین، بخش عمده‌ای از تولیدات آبزیان مستقیماً وابسته به حضور آنهاست. همچنین، جلبک‌ها به‌واسطه فتوسنتز و تولید اکسیژن، محیط اطراف خود را برای حیات آبزیان مساعد می‌نمایند و به‌عنوان شاخص کیفیت آب برای مطالعه آلودگی آب‌ها استفاده می‌شوند (Sonneman *et al.*, 2001; Anneville *et al.*, 2004; Walsh and Wheeler, 2012). این موضوع توسط بسیاری از پژوهشگران بیان شده که از بررسی‌های مهم مطالعه جوامع مختلف جلبکی نسبت به جلبک‌های منفرد اولویت دارد؛ همچنین، تعداد گونه‌های مورد مشاهده در زمان‌های متفاوت در طول سال (Simon and Shanmugam, 2012)، نشانگرهای قابل اعتمادتری برای مطالعه آلودگی هستند (Palmer, 1969; Taylor *et al.*, 2004). بنابراین، جهت پایش آلودگی، تمایل به استفاده از جوامع جلبک‌ها به‌عنوان شاخص، نسبت به یک گونه جلبک واحد، بیشتر مشاهده می‌گردد، که در پژوهش حاضر نیز مجموعه‌ای از جلبک‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در مجموع بیشترین شاخه‌های موجود فیتوپلانکتون در مخزن پشت سد بوستان به‌ترتیب *Bacillariophyta*، *Chlorophyta*، *Cyanophyta*، *Euglenophyta* و *Dinophyta* شناسایی شدند که معمولاً در بیشتر محیط‌های آب شیرین یافت می‌شوند (Manickam *et al.*, 2020). ترکیب درصد بالاتر *Bacillariophyceae* با یافته‌های بسیاری از نویسندگان در رابطه با پراکنش فیتوپلانکتون (Singh and Sharma, 2018; Jonah *et al.*, 2020; George *et al.*, 2021) مطابقت دارد و با یافته‌های Anyanwu و همکاران (2021) که *Chlorophyceae* را به‌عنوان غالب‌ترین گروه ثبت کردند، در تضاد است.

Fallahi- Kapourchali و همکاران (2019) وضعیت فیتوپلانکتونی دریاچه نور را بعد از ورود ماهی کاراس در

۵ ایستگاه و به‌مدت ۸ ماه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخه‌های *Bacillariophyta* و *Cyanophyta* در تمامی ایستگاه‌ها غالب بودند. همچنین، میانگین تراکم فیتوپلانکتونی در پاییز بیش از سایر فصول و در زمستان کمترین مقدار بود. روند تغییرات فصلی در منطقه مورد مطالعه Fallahi و همکاران (2015) که میزان مواد مغذی را روی تراکم و تنوع فیتوپلانکتون در مصب بابلرود استان مازندران مورد بررسی قرار دادند، یکسان بود. بیشترین جمعیت فیتوپلانکتون در تابستان و سپس در بهار اندازه‌گیری شد. در پژوهش حاضر، میانگین تراکم سالانه فیتوپلانکتون در دریاچه سد بوستان ۲۷۵۵۴/۳ سلول در میلی‌لیتر به دست آمد. در مورد تغییرات سالانه و فصلی تراکم فیتوپلانکتون سد بوستان، در فصل تابستان بیشترین تراکم ۲۷۶۵۹/۲ سلول در میلی‌لیتر و در زمستان کمترین تراکم سلول در میلی‌لیتر ۳۴۴۷/۰۹ مشاهده شد. نتایج مطالعه حاضر در مقایسه با نتایج مطالعات دریاچه سد خندق‌لو توسط Abdol-Maleki و همکاران (2014) با متوسط تراکم سالانه ۸۴۰۰۰ سلول در میلی‌لیتر کمتر است. همچنین، در مقایسه با مطالعه Mohammadi و همکاران (2017) دریاچه سد گل‌بلاغ با میانگین تراکم سالانه ۱۶۶۲ سلول در میلی‌لیتر و نتایج مطالعات Sabkara و Makaremi (2004) در دریاچه سد ماکو با تراکم ۱۰۰۰ سلول در میلی‌لیتر بیشتر بود. واقع در فصل تابستان به‌علت افزایش دما و کاهش سطح آب غلظت مواد آلی در آب به شدت افزایش یافته و شرایط برای رشد و تکثیر گونه‌هایی که در برابر بار آلودگی حاصل از مواد آلی مقاوم‌تر هستند؛ فراهم می‌آید. تراکم نسبتاً بالای دریاچه پشت سد بوستان با مطالعات Gharib- Khani و همکاران (2010) در مورد تالاب استیل آستارا عمق (۱/۵ متر)، دمای آب، وسعت، غلظت مواد مغذی ورودی از رودخانه‌های ورودی و همچنین، مطالعات Abdol-Maleki و همکاران (2014) در مورد دریاچه خندق‌لو به‌دلیل یوتروف بودن و مواد مغذی فراوان، هم‌خوانی دارد.

Poursoufi و همکاران (2020) در دریاچه سد گلستان

می‌رسد شرایط محیطی مساعد برای تکثیر فیتوپلانکتون‌ها در تابستان با افزایش ساعات روز، گرم شدن تدریجی دما و افزایش غلظت مواد مغذی مهیا شده است که Nasrollahzadeh Saravi و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای که به منظور بررسی ویژگی‌های جامعه فیتوپلانکتونی یک دهه پس از ورود گونه مهاجم *Mnemiopsis leidyi* در سواحل جنوبی دریای خزر انجام شد، نیز بر این موضوع تأکید داشته‌اند. بالاترین مقدار شاخص پیلو در تابستان و کمترین آن از فصل زمستان به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان گفت در تابستان فراوانی جنس‌ها نسبت به فصل‌های دیگر یکنواخت‌تر بوده است؛ در صورتی که توزیع و فراوانی نسبی افراد مشابه‌تر باشد، مقدار عددی این شاخص به سمت صفر میل خواهد کرد؛ بنابراین، در فصل بهار این همگنی در جنس‌ها کمتر است. ورود غیر مداوم مواد مغذی، هم‌زیستی بین گونه‌ها را افزایش می‌دهد و منجر به ایجاد گونه‌های بیشتری در جامعه می‌شود (Harris and Baxter, 1996; Margalef, 1978). با این حال، با افزایش مواد مغذی، تعداد گونه‌ها و تنوع به سرعت کاهش می‌یابد (Mendes et al., 2008; Kumari et al., 2008) که با این فرضیه سازگار است که حداکثر تعداد گونه‌ها در مناطقی با سطح تروفی متوسط رخ می‌دهد (Seitz et al., 2009). Spatharis و همکاران (۲۰۰۷) در دریای اژه نتایج مشابهی را گزارش کردند.

پایش زیستی به‌عنوان فرآیند کلیدی در نظر گرفته می‌شود که از شاخص‌های زیستی برای بررسی سلامت اکولوژیک زیستگاه استفاده می‌کند. علاوه بر این، مطالعات روی تنوع زیستی و الگوی آن، فرصتی برای شناخت گونه‌های مختلف در زیستگاه طبیعی آن‌ها فراهم می‌کند (Perrings et al., 2011). براساس شاخص پالم که براساس وجود جنس فیتوپلانکتون با تحمل آلودگی آلی در بدنه‌های آبی است، مخزن پشت سد بوستان در تمام فصول آلودگی با مواد آلی بالا را نشان داد؛ زیرا مقادیر شاخص پالم در همه فصول بیش از ۲۰ بود. با در نظر گرفتن اعداد شاخص پالم، بیشترین بار آلی در فصل

نشان دادند که فصل تابستان با تراکم فیتوپلانکتونی ۸۰۵۳۰ سلول در میلی‌لیتر و فراوانی ۳۵/۸ درصد بیشترین میزان تراکم و فراوانی فیتوپلانکتونی را به خود اختصاص داد. فصل زمستان نیز با تراکم ۴۵۳۸۰ سلول در میلی‌لیتر و ۱۸/۳ درصد کمترین میزان تراکم و فراوانی فیتوپلانکتونی را در مقایسه با فصول بهار و تابستان به خود اختصاص داده بود. فراوانی Bacillariophyta در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری را می‌توان بدین دلیل نسبت داد که آن‌ها می‌توانند در برابر هر گونه تغییر در ویژگی‌های کیفی آب مقاومت کنند (Yusuf, 2020)، در حالی که فراوانی کم Euglenophyta ممکن است شرایط نامطلوب در زیستگاه را نشان دهد. Wetzel (۲۰۰۱) بیان کرد که غالبیت Bacillariophyta در بدنه‌های آبی نشانه‌ای از شرایط یوتروفیک است.

شاخص‌های تنوع زیستی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت، Wilhm و همکاران (۱۹۷۸) سه دسته کیفیت آب را برای شاخص تنوع شانون-وینر پیشنهاد کرد. مقدار H' بالا نشان‌دهنده یک اکوسیستم قوی‌تر است و در مقابل، مقدار H' پایین نشان‌دهنده تنوع پائین در ساختار یک جامعه و اکوسیستم کمتر سالم است. در پژوهش حاضر، مقدار شاخص شانون-وینر بین ۳/۵-۳/۰۶ بود، بیشترین میزان شاخص در تابستان و کمترین آن در زمستان به دست آمد. میزان شاخص تنوع شانون-وینر نشان می‌دهد که تنوع زیستی فیتوپلانکتون‌ها در این منطقه در حد متوسط قرار دارد. کاهش میزان شاخص شانون می‌تواند به دلیل سیلابی شدن آب در اثر بارندگی زیاد و طغیان رودخانه‌ها در فصول بارندگی نیز باشد که ذرات معلق در ستون آب افزایش یافته و عملاً مانع نفوذ نور شده و تراکم و تنوع پلانکتون‌ها را متأثر می‌کند. براساس مقیاس پیشنهاد شده توسط Welch و همکاران (۱۹۹۲) جهت تعیین میزان آلودگی منطقه با استفاده از شاخص شانون در محدوده منطقه با آلودگی متوسط و براساس طبقه‌بندی پیشنهادی Zheng و همکاران (۲۰۱۴) دارای وضعیت ضعیف است و نشان می‌دهد که در طول این سال‌ها میزان آلودگی زیاد است. به نظر

دارد. گزارش Walsh و Wheeler (۲۰۱۲) نیز بیانگر این شباهت‌ها در مشاهدات آن‌ها بود و ارتباط این جلبک‌ها با آلودگی آلی را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری نهایی

پایش زیستی و بررسی شاخص‌های آلودگی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تأثیرگذار بوده و ارزیابی‌های زیستی برای ایجاد سیاست‌های توسعه پایدار و دستیابی به ارتباطات بوم‌شناسانه بین گونه‌ها و عملکرد اکوسیستم بسیار ضروری است. در پژوهش حاضر، شاخص آلودگی پالم‌ر نشان داد که منطقه دارای بار آلودگی آلی بالا در طول فصول مختلف سال است. نتایج این مطالعه مزایای استفاده از شاخص‌های زیستی (جامعه فیتوپلانکتون و شاخص) را در مطالعات ارزیابی کیفیت آب تأیید کرد و نشان داد که تغییرات جزئی در شرایط محیطی ممکن است اثرات عمده‌ای در جوامع فیتوپلانکتون ایجاد کند. نتایج پژوهش حاضر، پایش شاخص‌های زیستی را برای بررسی‌های مقایسه‌ای آبی در منطقه بنا نهاد و نشان داده شد که شاخص‌های فیتوپلانکتونی مانند شاخص آلودگی پالم‌ر، ابزار مفیدی برای ارزیابی کیفیت محیط‌های آبی می‌تواند باشد. بنابراین، نشان داده شد که نوع و حد فعالیت انسانی در حوضه آبخیز باید توسط مسئولان مشخص و محدود شود. تدوین و تنظیم مقررات، برای تعیین حد مجاز فعالیت‌های انسانی، برای بهبود کیفیت آب و بازیابی کیفیت آب در منطقه به حالت طبیعی، با دیدگاه حمایت از حیات وحش و سلامت آبریان و نیز مناسب ساختن آن برای مصارف خانگی باید مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر، برون‌داد طرح پژوهشی به شماره ۹۷/۳۴۸/آپ در مرکز تحقیقات ذخایر آبریان آب‌های داخلی - گرگان بوده است. بدین‌وسیله از تمامی بزرگوارانی که ما را در اجرای طرح یاری نموده‌اند؛ سپاس‌گزاری می‌گردد.

تابستان مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعه Le و همکاران (۲۰۱۸) که کیفیت آب رودخانه Nhu Y river را در کشور ویتنام با استفاده از ترکیب و تراکم فیتوپلانکتون و اندازه‌گیری شاخص پالم‌ر مورد ارزیابی قرار دادند، هم‌خوانی دارد. در طول زمستان، عمق آب نسبت به فصل تابستان بیشتر است که ممکن است بار آلودگی آلی ورودی را تحت تأثیر قرار دهد. در تابستان که عمق آب کم است و سد آب کمی دریافت می‌کند، آلودگی آلی بیشتری نسبت به زمستان مشاهده شد. این یافته با نتایج Makaremi و Sabkara (۲۰۰۴) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند سد در تابستان در وضعیت آلوده قرار دارد. حضور جنس *Chlorella* از جلبک‌های سبز در فصل تابستان و بهار با ضریب پالم‌ر بالا، می‌تواند به دلیل حضور مواد مغذی زیاد و آلودگی باشد که با مطالعات Abdul Hameed M Jawad (۲۰۱۰) مطابقت دارد. همچنین Ratnasabapathy و TR (۱۹۷۷) در پژوهش خود گزارش کرده‌اند که جنس‌های *Chlorella*، *Oscillatoria*، *Euglena* و *Ankistrodesmus* شاخص‌های خوبی از بدنه‌های آبی آلوده باشند. بسیاری از تحقیقات نشان داده که جلبک *Chlorella* در جداسازی مواد مغذی از زه‌کش‌ها بسیار مؤثر است و امروزه از آن برای کاهش بار مواد مغذی در سیستم‌های آبی استفاده می‌شود. جنس *Phacus* نیز در این منطقه در فصل پاییز مشاهده شد که با مشاهدات Spatharis و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

جلبک‌های سبز-آبی جنس *Oscillatoria* و همچنین دیاتومه جنس *Melosira* در بیشتر مناطق مشاهده شد. Pearsall (۱۹۳۲) اولین محقق بود که ارتباط معنی‌داری بین آلودگی آلی و جلبک‌های سبز-آبی با دیاتومه‌های خاصی مانند *Melosira* را بیان کرد. حضور این جنس‌ها بیانگر وجود آلاینده‌هایی با منشأ زیستی و آلی است که مشابه مشاهدات Morin و همکاران (۲۰۰۷) است. علاوه بر این، دو جنس دیگر مقاوم به آلودگی شامل *Euglena* و *Navicula* در تمام مناطق ثبت شدند که این موضوع با یافته‌های قبلی Hosmani و Bharati (۱۹۸۰) مطابقت



References

- Abdol-Maleki, Sh., Mirzajani, A., Khodaparast, S.H., Saberi, H., Babaei, H., Sabkara, J., Makaremi, M., Khatib Haghghi, S., Ghaninezhad, D., Yousefzadeh, A., Nowrouzi, H., Nahvar, L., Khedmati, K., Nikpour, M. Rastin, R and Mohsenpour, H. 2014. The study of Khandaqlou Dam in Mahshan City, Zanjan province. Iranian Fisheries Science Research Institute. Report Number: 44923. 202 p. (in Persian)
- Abdul Hameed M Jawad, A., Haider S.A., Bahram K.M., 2010. Application of water quality index for assessment of Dokan lake ecosystem, Kurdistan region, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection* 2(9), 792-798. DOI: 10.4236/jwarp.2010.29093
- Anneville, O., Souissi, S., Gammeter, S., Straile, D., 2004. Seasonal and inter-annual scales of variability in phytoplankton assemblages: comparison of phytoplankton dynamics in three peri-alpine lakes over a period of 28 years. *Freshwater Biology* 49(1), 98-115. DOI: 10.1046/j.1365-2426.2003.01167.x
- Anyanwu, E.D., Orjikwe, C.J., Chinasa, P.O., 2022. Water quality and zooplankton assessment of Iyiaoku River, southeast Nigeria. *Ekológia (Bratislava)* 41(1), 9-16. DOI: 10.2478/eko-2022-0002
- Ariyadej, C., Tansakul, P., Tansakul, R., 2008. Variation of phytoplankton biomass as Chlorophyll a in Banglang Reservoir, Yala Province. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology* 30(2), 159-166.
- Atici, T., Udoh, A.B.E.L., 2016. Indicator Algae of Adrasan Stream (Antalya) Turkey. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 1(2), 140-154.
- Bahrami, S.A., Onagh, M., Farazjoo, H., 2011. The role of flood routing in determination and Prioritizing hydrologic units Bostan Dam Basin from flooding and showing management technique. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 1(1), 11-27. (in Persian). DOI: 20.1001.1.22517480.1390.1.1.2.0
- Bellinger, E.G., Sigeo, D.C., 2015. *Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators*. John Wiley and Sons Publication. 304 p.
- Berg, G.M., 1998. Physiological and population responses of marine phytoplankton to variations in the quality of nitrogen. Ph.D. Thesis. University of Maryland, College Park. 320 p.
- De la Rey, P.A., Taylor, J.C., Laas, A., Van Rensburg, L., Vosloo, A., 2004. Determining the possible application value of diatoms as indicators of general water quality: A comparison with SASS 5. *Water SA* 30(3), 325-332.
- Delgado, A.L., Guinder, V.A., Dogliotti, A.I., Zapperi, G., Pratolongo, P.D., 2019. Validation of MODIS-Aqua bio-optical algorithms for phytoplankton absorption coefficient measurement in optically complex waters of El Rincón (Argentina). *Continental Shelf Research* (173), 73-86. DOI: 10.1016/j.csr.2018.12.012
- Fallahi Kapourchali M, Khodaparast S.H, Makaremi M, Khatib S, Valipour A., 2019. Study on phytoplankton situation in Neor Lake after the arrival of the *Carassius gibelio*. *Journal of Aquaculture Development* 13(3), 77-90. (in Persian). DOR: 20.1001.1.23223545.1398.13.3.9.4
- Fallahi, M., Jamili, Sh., Hosseini, S. M., 2015. Investigating the nutrient rates on the density and diversity of phytoplankton in the Babolroud estuary in Mazandaran province. The 2d National Conference on Environment, Energy and Biodefense. Tehran. 9 p. (in Persian).
- George, U.U., Mbong, E.O., Ita R.E., 2021. Spatio-temporal variation in phytoplankton and abundance in a Tropical Freshwater body in Niger Delta, Nigeria. *Nature and Sciences* 19(4), 18-26. DOI: 10.7537/mars-nj190421.04

- Gharib- Khani, M., Tatina, M., ramezanpour, Z., Choubian, F., 2010. Studying the diversity and abundance of phytoplankton of Esteel lagoon in Astara. *New Technologies in Aquaculture Development (Journal of Fisheries)* 3(4), 41- 54. (in Persian)
- Gharib, S.M., El-Sherif, Z.M., Abdel-Halim, A.M., Radwan, A.A., 2011. Phytoplankton and environmental variables as a water quality indicator for the beaches at Matrouh, south-eastern Mediterranean Sea, Egypt: an assessment. *Oceanologia* 53(3), 819-836. DOI: 10.5697/oc.53-3.819
- Gholizadeh, M., Heydarzadeh, M., 2020. Functional feeding groups of macroinvertebrates and their relationship with environmental parameters, case study: in Zarin-Gol River. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 19(5), 2532-2543. DOI: 10.22092/IJFS.2019.118132.
- Gökçe, D., 2016. Algae as an indicator of water quality. *Algae-Organisms for Imminent Biotechnology* 81-101. DOI: 10.5772/62916.
- Harris, G.P., Baxter, G., 1996. Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in a subtropical reservoir. *Freshwater Biology* 35(3), 545-560. DOI: 10.1111/j.1365-2427.1996.tb01768.x
- Ho, T.Y., Pan, X., Yang, H.H., George, T. F., Shiah, F.K., 2015. Controls on temporal and spatial variations of phytoplankton pigment distribution in the Northern South China Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* (117), 65-85. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.05.015
- Hosmani, S.P., 2013. Fresh Water Algae as Indicators of Water Quality. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 3(4), 473- 482.
- Hosmani, S.P., Bharati, S.G., 1980. Algae as indicators of organic pollution. *Journal of the Phycological Society (India)* 19(1), 23-26.
- Jonah, U.E., Avoaja, D.A., Hanson, H.E., Nnana, G.P., 2020. Studies on plankton diversity and water quality of a tropical rainforest River, Niger Delta, Nigeria. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 8(3), 532-536.
- Kshirsagar, A. D., 2013. Use of Algae as a Bio indicator to Determine Water Quality of River Mula from Pune City, Maharashtra (India). *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 3(1), 79- 85.
- Kumari, P., Dhadse, S., Chaudhari, P. R., Wate, S.R., 2008. A biomonitoring of plankton to assess quality of water in the lakes of Nagpur city. In Proceeding of Taal. The 12th World Lake Conference. 160-164.
- Le, T.T., Luong, Q.D., Vo, T.T.H., 2018. A case study of phytoplankton used as a biological index for water quality assessment of Nhu Y River, Thua Thien-Hue. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering* 60(4), 45-51. DOI: 10.31276/VJSTE
- Liu, D., 2008. Phytoplankton diversity and ecology in estuaries of southeastern NSW, Australia. PhD thesis. Earth and Environment Sciences. University of Wollongong. 220 p.
- Ludwig, J.A., Reynolds, J.F., 1988. Statistical ecology: a primer in methods and computing. John Wiley and Sons Publication. 1, 337.
- Maleki, P., Patimar, R., Jafariyan, H., Salman- Mahini, A., Ghorbani, R., Gholizadeh, M., Harsij, M. 2020. Ecological Assessment of Organic Pollution in the Gorgan Bay, Using Palmer Algal Index. *Iranian Journal of Applied Ecology* 9(1), 45-59. (in Persian). DOI: 10.47176/ijae.9.1.12111
- Manickam, N., Bhavan, P.S., Santhanam, P., Muralisankar, T., Kumar, S.D., Balakrishnan, S., Ananth, S., Devi, A.S., 2020. Phytoplankton biodiversity in the two perennial lakes of Coimbatore, Tamil Nadu, India. *Acta Ecologica Sinica* 40(1), 81-89. DOI: 10.1016/j.chnaes.2019.05.014
- Marañón, E., 2015. Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure. *Annual Review of Marine Science* (7), 241-264. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015955
- Maraşlıoğlu, F., Soyly, E.N., 2018. New Diatom Records for Turkish Freshwater Algal Flora from Lakes Ladik (Samsun, Turkey) and Hazar (Elazığ, Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 18(3), 463-474. DOI: 10.4194/1303-2712-v18_3_12

- Maraslıoğlu, F., Bektaş, S., Özen, A., 2020. Comparative Performance of Physicochemical and Diatom-Based Metrics in Assessing the Water Quality of Mert Stream, Turkey. *Journal of Ecological Engineering* 21(8), 18- 31. DOI: 10.12911/22998993/127392
- Margalef, R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1(4), 493-509.
- Martín, G., Toja, J., Sala, S.E., Fernández, M.D.L.R., Reyes, I., Casco, M.A., 2010. Application of diatom biotic indices in the Guadalquivir River Basin, a Mediterranean basin. Which one is the most appropriated?. *Environmental monitoring and assessment* 170(1), 519-534. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.05469.x
- Mendes, R.S., Evangelista, L.R., Thomaz, S.M., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., 2008. A unified index to measure ecological diversity and species rarity. *Ecography* 31(4), 450-456.
- Mishra, V., Sharma, S.K., Sharma, B.K., Sharma, L.L., Archit, S., 2017. Seasonal phytoplankton diversity using Palmer's Pollution Index of Pichhola Lake Dist.-Udaipur (Rajasthan) India. *International Journal of Pure and Applied Bioscience* (5), 1857-61. DOI: 10.18782/2320-7051.5406
- Mohammadi, H., Paighambari, S.Y., Abdolmaleki, S., Fallahi, M., GHorbani, R., Hossaini, S.A., 2017. Trophic status and fish production potential of Golbolagh Lake (West of Kurdistan Province). *Journal of Aquatic Ecolog.* 7(1),126-139. (in Persian) DOI: 20.1001.1.23222751.1396.7.1.12.7
- Morin, S., Vivas-Nogues, M., Duong, T.T., Boudou, A., Coste, M., Delmas, F., 2007. Dynamics of benthic diatom colonization in a cadmium/zinc-polluted river (Riou-Mort, France). *Fundamental and Applied Limnology* 168(2), 179- 187. DOI: 10.1127/1863-9135/2007/0168-0179
- Nasrollahzadeh Saravi, H., Makhloogh, A., Eslami, F., Leroy Suzanne, A.G., 2014. Features of phytoplankton community in the southern Caspian Sea, a decade after the invasion of *Mnemiopsis leidyi*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 13(1), 145- 167. (In Persian). DOI: 20.1001.1.15622916.2014.13.1.13.3
- Nazeer, S., Khan, M.U., Malik, R.N., 2018. Phytoplankton Spatio-temporal dynamics and its relation to nutrients and water retention time in multi-trophic system of Soan River, Pakistan. *Environmental Technology and Innovation* (9), 38-50. DOI: 10.1016/j.eti.2017.10.005
- O'Boyle, S., Wilkes, R., McDermott, G., Longphuir, S.N., Murray, C., 2015. Factors affecting the accumulation of phytoplankton biomass in Irish estuaries and nearshore coastal waters: A conceptual model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (155), 75-88. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.01.007
- Palmer, C. M., 1969. A composite rating of algae tolerating organic pollution 2. *Journal of Phycology* 5(1), 78-82. DOI: 10.1111/j.1529-8817.1969.tb02581.x
- Pearsall, W.H., 1932. Phytoplankton in the English lakes: II. The composition of the phytoplankton in relation to dissolved substances. *The Journal of Ecology* 20 (2), 241-262. DOI: 10.2307/2256077
- Perrings, C., Naeem, S., Ahrestani, F. S., Bunker, D.E., Burkill, P., Canziani, G., Elmqvist, T., Fuhrman, J.A., Jaksic, F.M., Kawabata, Z.I., Kinzig, A., 2011. Ecosystem services, targets, and indicators for the conservation and sustainable use of biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(9), 512-520. DOI: 10.1890/100212
- Poursoufi, T., Mansouri, B., Gharanjik, B., 2020. Biological condition of the Golestan Dam Reservoir based on primary products. *New Technologies in Aquaculture Development* 14(3), 44- 55. (In Persian). DOI: 20.1001.1.20080026.1399.14.3.5.2
- Ratnasabapathy, M., TR, D., 1977. Phytoplankton of the Black Warrior River, *Alabama* 37 (1), 2.
- Sabkara, J., Makaremi, M., 2004. The Density and Distribution of the Planktons, in Maco Reservoir Dam. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 12(2), 29- 46. DOI: 10.22092/ISFJ.2003.113595
- Saifullah, A.S.M., Abu Hena, M.K., Idris, M.H., Halimah, A. R., Johan, I., 2014. Composition and diversity of phytoplankton from mangrove estuaries in Sarawak, Malaysia. *Journal of Biological Sciences* 14(5), 361-369. DOI: 10.3923/jbs.2014.361.369

- Seitz, R.D., Dauer, D.M., Llansó, R.J., Long, W.C., 2009. Broad-scale effects of hypoxia on benthic community structure in Chesapeake Bay, USA. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (381), S4-S12. DOI: 10.1016/j.jembe.2009.07.004
- Sharma, R.C., Singh, S., 2018. Water quality and phytoplankton diversity of high altitude wetland, Dodi Tal of Garhwal Himalaya, India. *Biodiversity International Journal* 2(6) 484-493. DOI: 10.15406/bij.2018.02.00103
- Simon, A., Shanmugam, P., 2012. An algorithm for classification of algal blooms using MODIS-Aqua data in oceanic waters around India. *Advances in Remote Sensing* 1(02), 35-43. DOI: 10.4236/ars.2012.12004.
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163(4148), 688-688. DOI: 10.1038/163688a0
- Solak, C.N., Ector, L., Wojtal, A.Z., Acs, E., Morales, E., 2012. A review of investigations on diatoms (Bacillariophyta) in Turkish inland waters. *Nova Hedwigia, Beiheft* (141), 431-462.
- Sonneman, J.A., Walsh, C.J., Breen, P.F., Sharpe, A.K., 2001. Effects of urbanization on streams of the Melbourne region, Victoria, Australia. II. Benthic diatom communities. *Freshwater Biology* 46(4), 553-565. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2001.00689.x
- Sourina, A. 1978. *Phytoplankton Manual Unesco*, Paris. 340 p.
- Spatharis, S., Roelke, D.L., Dimitrakopoulos, P.G., Kokkoris, G.D., 2011. Analyzing the (mis) behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and simulated phytoplankton assemblages. *Ecological indicators* 11(2), 697-703. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.09.009
- Spatharis, S., Tsirtsis, G., Danielidis, D.B., Do Chi, T., Mouillot, D., 2007. Effects of pulsed nutrient inputs on phytoplankton assemblage structure and blooms in an enclosed coastal area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73(3-4), 807-815. DOI: 10.1016/j.ecss.2007.03.016
- Stein, R., Fahl, K., Futterer, D.K., Galimov, E.M., Stepanets, O.V., 2003. Phytoplankton distribution in the inner Kara Sea: A comparison of three. Siberian river run-off in the Kara Sea: Characterization, quantification, variability and environmental significance. (6) 163 p.
- Taylor, S.L., Roberts, S.C., Walsh, C.J., Hatt, B.E., 2004. Catchment urbanisation and increased benthic algal biomass in streams: linking mechanisms to management. *Freshwater Biology* 49(6), 835-851. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2004.01225.x
- Tiwari, A., Chauhan, S.V.S., 2006. Seasonal phytoplanktonic diversity of Kitham lake, Agra. *Magnesium* 7(17.5), 8-5.
- Walsh, G.W., Wepener, V., 2009. The influence of land use on water quality and diatom community structures in urban and agriculturally stressed rivers. *Water Sea* 35(5), 579-594. DOI: 10.4314/wsa.v35i5.49184
- Walsh, P., Wheeler, W., 2012. Water quality index aggregation and cost benefit analysis (No. 2168-2018-8142). 27p. DOI: 10.22004/ag.econ.280908
- Welch, E.B., Barbiero, R. P., Bouchard, D., Jones, C.A., 1992. Lake trophic state change and constant algal composition following dilution and diversion. *Ecological Engineering* 1(3), 173-197. DOI: 10.1016/0925-8574(92)90001-I
- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf professional publishing. 1006p.
- Wilhm, J., Namminga, H. and Ferraris, C., 1978. Species composition and diversity of benthic macroinvertebrates in Greasy Creek, Red Rock Creek and the Arkansas River. *American Midland Naturalist*, pp.444-453. DOI:10.2307/2424819
- Winter, J. G. and Duthie, H. C. 2000. Stream epilithic, epipellic and epiphytic diatoms: habitat fidelity and use in biomonitoring. *Aquatic ecology* (34), 345-353. DOI: 10.1023/A: 1011461727835
- Wu, N., Schmalz, B., Fohrer, N., 2014. Study progress in riverine phytoplankton and its use as bio-indicator—a review. *Austin Journal of Hydrology* 1(1), 9-17.

- Yusuf, Z.H., 2020. Phytoplankton as bioindicators of water quality in Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32(4), 11-19. DOI: 10.1590/S2179-975X3319
- Żbikowski, R., Szefer, P., Latała, A., 2007. Comparison of green algae *Cladophora* sp. and *Enteromorpha* sp. as potential biomonitors of chemical elements in the southern Baltic. *Science of the Total Environment* 387(1-3), 320-332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.07.017
- Zheng, G.X., Li, Y.J., Qi, L.L., Liu, X.M., Wang, H., Yu, S.P., Wang, Y.H., 2014. Marine phytoplankton motility sensor integrated into a microfluidic chip for high-throughput pollutant toxicity assessment. *Marine pollution bulletin* 84(1-2), 147-154. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.05.019
- Zheng, W., Wu, Q., Rao, C., Chen, X., Wang, E., Liang, X., Yan, W., 2023. Characteristics and interactions of soil bacteria, phytocommunity and soil properties in rocky desertification ecosystems of Southwest China. *CATENA* (220), 106731. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106731

