Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Online ISSN: 2345-427X
Print ISSN: 2345-4288

Determining the trophic state of the reservoir behind Boostan dam in Golestan province based on TSI index

Taher Poursoufi[*1], Fatemeh Abbasi[2], Hossein Piri[3], Abdol-Azim Fazel[4], Behrooz Mansouri[5]

1. Corresponding Author, Researcher Expert, Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: puorsuofi@yahoo.com
2. Ph.D. Graduate of Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: f.abbasi59@yahoo.com
3. Researcher Expert, Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: piri_hosein@yahoo.com
4. Assistant Prof., Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: a.fazel58@gmail.com
5. Researcher Expert, Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: mansouri_b2000@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.04.2022
Revised: 12.17.2022
Accepted: 12.27.2022

Keywords:
Boostan dam,
Trophic state,
TSI Index

ABSTRACT

The lake's trophic state can well represent human disturbances on these ecosystems. The present study was conducted seasonally to investigate the trophy status of Bostan Dam Lake (Golestan Province) from spring 2019 to summer 2020 in five study stations. A number of physicochemical parameters were determined such as pH, electrical conductivity, temperature, dissolved oxygen concentration, Secchi disk depth, salinity, dissolved solids, total hardness and turbidity. While nitrate, phosphate, total nitrogen, total phosphorus, ammonia, total alkalinity and chlorophyll evaluated using standard method. Carlson's index, the amount of nutrition in different parts of the lake estimated based on total phosphuros, chlorophyll and transparency. The result of Carlson's index showed different values between 52.44 to 60.46 and eutrophic condition in lake. The present research can provide a decision support system in the future to achieve optimal monitoring and exploitation and water quality management of the reservoir behind the Bostan Dam.

Cite this article: Poursoufi, Taher, Abbasi, Fatemeh, Piri, Hossein, Fazel, Abdol-Azim, Mansouri, Behrooz. 2023. Determining the trophic state of the reservoir behind Boostan dam in Golestan province based on TSI index. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (3), 135-146.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2022.20846.1730
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

تعیین وضعیت تروفی مخزن پشت سد بوستان استان گلستان با تکیه بر شاخص تروفی TSI

طاهر پورصوفی*[۱]، فاطمه عباسی[۲]، حسین پیری[۳]، عبدالعظیم فاضل[٤]، بهروز منصوری[٥]

۱. نویسنده مسئول، کارشناس تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: puorsuofi@yahoo.com
۲. دانش‌آموخته دکتری تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: f.abbasi59@yahoo.com
۳. کارشناس تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: piri_hosein@yahoo.com
٤. استادیار، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: a.fazel58@gmail.com
٥. کارشناس تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: mansouri_b2000@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۹/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۹/۲٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۰٦

واژه‌های کلیدی:
سد بوستان،
شاخص TSI،
وضعیت تروفی

چکیده

وضعیت تروفیک دریاچه از ویژگی‌های نمایانگر تأثیرات انسانی بر این اکوسیستم‌های آبی می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی وضعیت تروفی دریاچه سد بوستان (استان گلستان) به‌صورت فصلی از بهار ۱۳۹۸ تا تابستان ۱۳۹۹ در ٥ ایستگاه مطالعاتی انجام شد. در این مطالعه پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند pH، هدایت الکتریکی، دما، غلظت اکسیژن محلول، عمق صفحه سشی، شوری، مواد جامد محلول و سختی کل تعیین شد. هم‌چنین، نیترات، فسفات، نیتروژن کل، فسفر کل، آمونیاک، قلیائیت کل و کلروفیل a با استفاده از روش استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص کارلسون میزان تغذیه‌گرایی در نقاط مختلف دریاچه بر اساس فسفر کل، کلروفیل a و عمق صفحه سشی محاسبه گردید. نتایج شاخص کارلسون بین ٥۲/٤٤ تا ٦۰/٤٦ متغیر بود و شرایط یوتروف در دریاچه را نشان داد. پژوهش حاضر می‌تواند در آینده به‌صورت سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای نیل به نظارت و بهره‌برداری بهینه و مدیریت کیفیت آب مخزن پشت سد بوستان ارائه دهد.

استناد: پورصوفی، طاهر، عباسی، فاطمه، پیری، حسین، فاضل، عبدالعظیم، منصوری، بهروز (۱۴۰۲). تعیین وضعیت تروفی مخزن پشت سد بوستان استان گلستان با تکیه بر شاخص تروفی TSI. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۲ (۳)، ۱۴۶-۱۳۵.
DOI: 10.22069/japu.2022.20846.1730

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

محیط زیست طبیعی جهان توان اکولوژیکی محدودی برای استفاده انسان از آن دارد. در برخی از محیط‌ها، طبیعت با کم‌ترین خسران مهیای بالاترین توسعه است و در برخی دیگر کم‌ترین توسعه در آن منجر به خرابی محیط زیست می‌شود. این مطلب بیان‌کننده آن است که برای انجام توسعه در محیط زیست، پیش از برنامه‌ریزی برای استفاده از آن، باید به ارزیابی توان اکولوژیکی آن در چارچوب یک برنامه‌ریزی منطقه‌ای پرداخت (۱). استفاده از استعدادهای آب‌های داخلی جهت آبزی‌پروری یکی از ضرورت‌های برنامه توسعه اقتصادی در کشور می‌باشد. در گذشته به‌خاطر وجود منابع غنی از ماهیان دریایی توجه چندانی به ذخایر شیلاتی آب‌هایی داخلی شامل دریاچه‌های طبیعی، رودخانه‌ها و دریاچه‌های مخزنی سدها نشده و اهمیت آن‌ها از نظر شیلاتی ناشناخته بود. این حقیقت واضح است که برای تولید غذا باید تلاشی سخت نمود و از منابع آب‌های داخلی به‌خصوص دریاچه‌های مخزنی سدها برای تولید ماهی استفاده کرد. سدهای مخزنی علاوه بر اهمیت اقتصادی- اجتماعی از نظر اکولوژیکی نیز به‌عنوان منابع باارزشی در تولید ماهی به‌شمار می‌آیند (۲). رشد و تولید ماهی در مخازن سدها از سرعت خوبی برخوردار بوده و محیط‌های نسبتاً مناسبی برای پرورش ماهیان هستند. منابع آب‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی داخلی در صورت برنامه‌ریزی مناسب می‌توانند در راستای تولید آبزیان به‌خصوص ماهی مورد استفاده قرار گیرند و لازم است ابتدا براساس عوامل اکولوژیک و توان تولید ارزیابی شوند (۳). بررسی وضعیت تغذیه‌ای دریاچه به ابزاری ارزشمند برای مدیران و پژوهش‌گران تبدیل شده است (٤). مواد در بدنه‌های آبی به‌طور مستقل وجود ندارند و همگی به‌هم مرتبط و در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی ثابت هستند (۵). شاخص حالت تغذیه‌ای کارلسون (٦) با ترکیب ویژگی‌های مختلف شاخص‌های چندپارامتری در یک شاخص تک‌پارامتری، با هم‌بستگی متداول معیارهای تغذیه‌ای از طریق مجموعه‌ای از معادلات پیش‌بینی، شناخت کلی در مورد وضعیت آبرسانی دریاچه ارائه می‌دهد. به‌طور کلی، سه پارامتر آب که شاخص حالت تغذیه‌ای (TSI) را تعیین می‌کنند؛ عبارتند از: شفافیت آب، غلظت فسفر کل و کلروفیل a، پارامترهای مهم کیفیت آب هستند و رابطه متقابل بین آن‌ها وجود داشته در شکوفایی جلبکی نیز تأثیرگذار می‌باشند (٦ و ۷). افزایش زی‌توده فیتوپلانکتون، که با غلظت کلروفیل a مشخص می‌شود، با غلظت بالای فسفات ارتباط مستقیم دارد (۸ و ۹). فسفر کل رابطه معکوس با شفافیت دارد. دو برابر شدن زی‌توده جلبکی منجر به نصف شدن شفافیت می‌شود (۱۰). علاوه بر این، مواد محلول شفافیت آب را کاهش می‌دهد و از نفوذ نور خورشید و تأثیر بر سایر فرآیندهای آب جلوگیری می‌کند (۱۱).

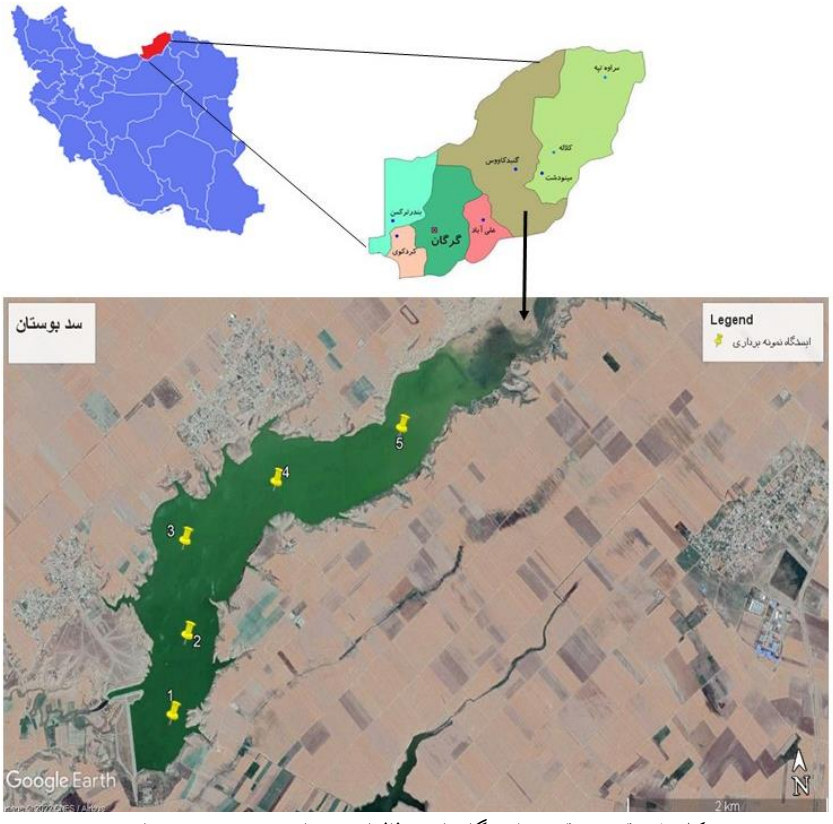
به‌طورکلی، بنیان اصلی روش‌های بهینه‌سازی بهره‌برداری از طرح‌های آبی، بر این نظریه استوار است که بهبود عملکرد هر پروژه آبی، زمانی امکان‌پذیر است که وضعیت فعلی آن، مشکلات و فرصت‌ها به‌طور کامل و جامع شناسایی شوند. بررسی شرایط تروفی یک دریاچه ارزش و اهمیت علمی بسیار بالایی دارد؛ به‌طوری‌که، باید قبل از هر گونه اقدامات اصلاحی، ازطریق ارزیابی‌های مبنی بر بهره‌برداری‌های مورد نظر و مطلوب، روند یوتروفی آن شناخته شود (۱۲). شاخص‌ها و مدل‌های مختلفی جهت تعیین وضعیت تروفی دریاچه‌ها، از سوی پژوهش‌گران بسیاری در جهان طراحی گردیده است که از معتبرترین آن‌ها شاخص تعیین وضعیت تروفی کارلسون (TSI)[1] می‌باشد (۱۳).

1- Trophic State Index

سد بوستان در سال ۱۳۸۳ در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گنبد کاووس و ۲۳ کیلومتری بالادست سد گلستان بر روی رودخانه گرگانرود به‌منظور توسعه کشت آبی حدود ٤٢٠٠ هکتار اراضی ساحل راست گرگانرود، کنترل طغیان و جلوگیری از خسارات ناشی از سیل و افزایش عمر مفید سدهای گلستان و وشمگیر احداث شده است (١٤). با توجه به اهمیت شیلاتی دریاچه پشت سد بوستان و نیاز به تعیین تروفی جهت استفاده بهینه این اکوسیستم، لازم گردید تا اطلاعاتی از ویژگی‌های تروفی دریاچه به‌دست آید. مطالعه حاضر به‌منظور تهیه اطلاعات پایه و تعیین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی و زیستی انجام شد. با استفاده از نتایج این مطالعه تعیین سطح تروفی لازم به‌نظر می‌رسید.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز گرگانرود، که سدهای وشمگیر، گلستان و بوستان بر روی آن احداث شده‌اند با پتانسیل ۸۰۰ میلیون مترمکعب به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب‌های سطحی در استان گلستان به‌حساب می‌آیند. حوضه آبخیز سد بوستان با مساحت ۱۵۷۸/۷۷ کیلومترمربع بین عرض‌های "۰۵ '۲۵ °۳۷ تا "۳۳ '٤٧ °۳۷ شمالی و طول‌های "۳۰ '۲٦ °۵۵ تا "۳۵ '۰٤ °۵٦ شرقی واقع شده است (جدول ۱). به‌منظور ارزیابی شرایط تروفی، 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 ۲). نمونه‌برداری به مدت یک و نیم سال از فروردین سال ۱۳۹۸ تا آخر تابستان ۱۳۹۹ به‌صورت فصلی در قالب طرح پژوهشی انجام گرفت.



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی دریاچه پشت سد بوستان.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری دریاچه سد بوستان.

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مشخصات
S_1	۳۶°۲۵´۳۳"	۵۵°۲٤´۵۸"	خروجی سد
S_2	۳۷°۲۵´٤۷"	۵۵°۲۵´۲۸"	در محدوده خروجی سد
S_3	۳۷°۲٦´۳۳"	۵۵°۲۵´۱٤"	حاشیه غربی
S_4	۳۷°۲٦´۲۸"	۵۵°۲۵´۵٤"	حاشیه شرقی
S_5	۳۷°۲٦´۵۰"	۵۵°۲٦´۲٦"	ورودی سد

مخزن سد بوستان در استان گلستان با میانگین عمق ۱/۷±۳/۵ متر (در سال‌های قبل از مطالعه حدود ٦ متر بوده است) و میانگین وسعت۵۰۰ هکتار به‌عنوان دریاچه کم‌عمق و متوسط به‌حساب می‌آید که انتظار می‌رود توان تولید و سطح تروفی بالایی داشته باشد. برخی از خصوصیات مهم فیزیوگرافیک مخزن سد بوستان در جدول ۲ ارائه شده است (۱۵).

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیوگرافیک آبخیز سد بوستان.

پارامتر	کل حوضه
نوع سد	خاکی همگن
مساحت (Km^2)	۱۵۷۹
محیط (Km)	۲۱٦/٤۱
ارتفاع حداکثر حوضه (m)	۲۱۰۰
ارتفاع حداقل حوضه (m)	۱۰۰
ارتفاع متوسط حوضه (m)	۷۳۷/۱۷
شیب متوسط وزنی حوضه (%)	۱۱/۵۵
شیب متوسط وزنی آبراهه (%)	۲/۳۰
طول آبراهه اصلی (Km)	۸۸
طول تاج سد (m)	٦٤۲
عرض تاج سد (m)	۲٦۵
حداکثر ارتفاع از پی (m)	۳۵
شیب رویه بالادست سد	٦ افقی به ۱ قائم
شیب رویه پایین‌دست سد	۵ افقی به ۱ قائم ٤ افقی به ۱ قائم
حجم مخزن (million m^3)	۳۷
نوع مصرف	کشاورزی، صنعت، پرورش ماهی، کنترل سیل

فراسنجه‌های مورد نظر شامل pH، دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و شفافیت در محل به‌وسیله دستگاه مولتی‌پارامتر پرتابل مدل HQCOD اندازه‌گیری شد. میزان نیترات، نیتریت، آمونیاک، فسفات و سختی با استفاده از دستگاه فتومتر پالین تست و کیت‌های اختصاصی آن شرکت با پیروی از دستورالعمل و به روش بوید و توکر (۱۹۹۸) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، در هر ایستگاه نمونه آب به میزان یک لیتر با استفاده از بطری نمونه‌بردار روتنر از عمق ۵۰ سانتی‌متری آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه برداشته و با استفاده از کاغذ صافی واتمن (به قطر ٤٥ میکرون) در محل فیلتر گردید. نمونه‌های فیلتر شده به آزمایشگاه انتقال و در ویال‌های پلاستیکی حاوی استون ۹۰ درصد، که با فویل آلومینیومی پوشانده شده بودند؛ قرار داده شد. محلول به‌مدت ٢٤ ساعت در یخچال و در تاریکی نگهداری گردید. سپس جهت جداسازی عصاره، محلول به مدت ۵ دقیقه با ٤٠٠٠ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و در نهایت میزان جذب نوری آن در طول موج‌های ٦٣٠، ٦٤٧ و ٦٦٤ نانومتر توسط روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cecil 3021 اندازه‌گیری شد. سپس میزان کلروفیل a بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$Chla=11.85(OD664)-1.54(OD647)-0.08\,(OD630)$$

$$Mgchlorophyll\ a=(C\times v)/(V\times L)$$

که در آن، C میزان جذب قرائت شده، v حجم استون ۹۰ درصد افزوده شده بر حسب میلی‌لیتر، V حجم آب فیلتر شده دریاچه توسط فیلترهای میلی‌پور بر حسب لیتر، L قطر کووتاسپکتروفتومتر بر حسب سانتی‌متر.

شاخص وضعیت تروفی بر اساس فسفر کل و ازت کل، مقدار کلروفیل a (بر حسب میکروگرم در لیتر) و عمق رؤیت صفحه سشی و طبق فرمول‌های زیر محاسبه گردید (١٦).

$$TSI\ (SD) = 10\ (6- \frac{Ln\ (SD)}{Ln2})$$

SD: عمق رؤیت صفحه سشی بر حسب متر

$$TSI\ (TP) = 10\ (6- Ln \frac{48/TP}{Ln2})$$

TP: فسفر کل بر حسب میکروگرم بر لیتر

$$TSI\ (TN) = 10\ (6- Ln \frac{1.47/TN}{Ln2})$$

TN: نیتروژن کل بر حسب میکروگرم بر لیتر

$$TSI\ (Chla) = 10\ (6- \frac{2.04-0.681\ ln(Chla))}{Ln2})$$

Chla: کلروفیل a بر حسب میکروگرم بر لیتر

$$TSI\ (mean) = (\frac{TSI\ (SD)+TSI\ (Chla)+TSI\ (TP)}{3})$$

فسفات کل و نیترات کل به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر Cecil اندازه‌گیری شده که منطبق بر روش‌های استاندارد متد می‌باشد (١٧). جهت برآورد کمی شرایط تروفی دریاچه پشت سد بوستان، از شاخص TSI طبق جدول ۳ مورد استفاده قرار گرفت (٦).

جدول ۳- شاخص تروفی TSI برای تشخیص وضعیت تروفی دریاچه‌ها (٦).

ویژگی	وضعیت تروفی	Chl-a (µg/L)	SD (m)	TP (mg/L)	TSI
آب شفاف، اکسیژن در سرتاسر سال تا بستر، خیلی عمیق با آب سرد	الیگوتروف	۰/۰۹۵	> ۷/۹	< ۰/۰۰٦	< ۳۰
بستر دریاچه‌های کم‌عمق ممکن است فاقد اکسیژن باشد		۰/۰۹۵–۲/٦	۳/۹–۷/۹	۰/۰۰٦–۰/۰۱۲	۳۰ – ٤۰
آب در اغلب تابستان تا حدی شفاف، در اواخر تابستان ممکن است سبزتر باشد	مزوتروف	۲/٦–۷/۳	۲/۰۱–۳/۹	۰/۰۱۲–۰/۰۲٤	٤۰ – ۵۰
مشکلات گیاهان آبزی و جلبک‌ها، آب به رنگ سبز در اغلب اوقات سال	یوتروف	۷/۳–۲۰	۱–۲/۰۱	۰/۰۲٤–۰/۰٤۸	۵۰ – ٦۰
جلبک‌های سبز–آبی غالب بوده، مشکل کف‌آب جلبکی و گیاهان آبزی		۲۰–۵٦	۰/٤۹–۱	۰/۰٤۸–۰/۰۹٦	٦۰ – ۷۰
محدودیت حاصلخیزی ناشی از نور، تراکم بالای جلبکی و گیاهان آبزی در تابستان	هایپریوتروف	۵٦–۱۵۵	۰/۲٤–۰/٤۹	۰/۰۹٦–۰/۱۹۲	۷۰ – ۸۰
کفاب جلبکی و مقدار بسیار اندک گیاهان آبزی		> ۱۵۵	< ۰/۲٤	۰/۱۹۲ –۰/۳۸٤	> ۸۰

جهت تجزیه و تحلیل آماری، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک و همگن بودن واریانس، به‌منظور بررسی تفاوت‌های آماری در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده، داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هم‌چنین، جهت تعیین اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ استفاده شد. تمامی آنالیزها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲٤ انجام گرفت. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱٦ استفاده گردید.

نتایج

پژوهش حاضر مدت زمان نمونه‌برداری یک و نیم سال بوده و در 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 آنالیزها با هم ادغام گردید. در بررسی فاکتورهای فیزیکوشیمیایی، میانگین درجه حرارت از ۱۱/٦۷ (فصل زمستان) تا ۳۲/۲۷ درجه سانتی‌گراد (فصل تابستان) متغیر بود. میانگین اکسیژن محلول با مقدار در فصل تابستان (۸/۱۵) به‌طور معنی‌دار از بقیه فصول کم‌تر بود و بیش‌ترین میزان آن (۸/۵۷) در فصل زمستان اندازه‌گیری شد. محدوده تغییرات pH در فصول مختلف از ۷/۷۸ تا ۷/۷۰ در نوسان بود؛ به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار pH در فصل بهار مشاهده شد. در مورد مواد جامد محلول، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان به‌ترتیب مربوط به فصل تابستان با ۱۱۸٦ میلی‌گرم در لیتر و زمستان با ۵۰۱ میلی‌گرم در لیتر ثبت گردید. تغییرات هدایت الکتریکی در فصول مختلف، قابل مشاهده بود که مقدار آن از ۱۳۸۳/۳۳ (فصل بهار) تا ۱٤۳۳ (فصل پائیز) تغییر کرد. بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول اندازه‌گیری شده نیز به فصل تابستان (۱۱۸٦) تعلق داشت. بیش‌ترین و

کم‌ترین میزان نیتروژن کل، که از مجموع ترکیبات نیتروژن به‌دست می‌آید، به‌ترتیب در فصل تابستان (۲/۹۱) و در فصل زمستان با (۱/۳٦) مشاهده گردید. روند تغییرات فسفر کل و نیترات مشابه بود. میزان فسفر کل در فصل تابستان (۰/٤) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از فصول دیگر بود. میزان نیترات در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۳۱ (فصل زمستان) و ۰/۵۲ (فصل تابستان) در فصول مختلف متغیر بود. در پژوهش حاضر، میانگین کلروفیل a در فصل تابستان با مقدار ۳۲/٦ میکروگرم بر مترمکعب سال به‌طور معنی‌داری از فصول دیگر بیش‌تر بود ($P<۰/۰۵$). کم‌ترین میانگین قلیائیت کل آب مخزن سد بوستان در فصل پائیز (۸۰) مشاهده شد. محدوده تغییرات عمق سشی‌دیسک نیز بین ۰/۲۷ (کم‌ترین، فصل تابستان) و در ۰/٤٦ (بیش‌ترین، فصل زمستان) مشاهده شد (جدول ٤).

جدول ٤- نتایج عوامل فیزیکوشیمیایی آب مخزن سد بوستان در فصول مختلف سال.

فاکتورهای محیطی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
دمای آب (درجه سانتی‌گراد)	$۲٦ \pm ۱/۲٦^{a}$	$۳۲/۲۷ \pm ۱/۱٦^{a}$	$۱۷/٦۷ \pm ٤/۱۸^{b}$	$۱۱/٦۷ \pm ۰/۳۳^{b}$
اکسیژن محلول (mg/l)	$۸/۳۳ \pm ۰/۳^{c}$	$۸/۱۵ \pm ۰/۸^{d}$	$۸/٤۵ \pm ۰/۳^{b}$	$۸/۵۷ \pm ۰/۲^{a}$
شوری (ppt)	$۰/۷٤ \pm ۰/۱^{c}$	$۱/۱ \pm ۰/۳^{a}$	$۰/۸۵ \pm ۰/۰۸^{b}$	$۰/۷ \pm ۰/۰۵^{c}$
pH	$۷/۷ \pm ۰/۵^{c}$	$۷/۸۲ \pm ۰/٦^{b}$	$۷/۷۵ \pm ۰/۳^{c}$	$۷/۸۷ \pm ۰/۲^{a}$
هدایت الکتریکی (µS/cm)	$۱۳۸۳/۳۳ \pm ۲۱^{c}$	۱۳۸۸ ± ۳۹^{b}	۱٤۳۳ ± ٤۱^{a}	$۱۳۲۸/٦۷ \pm ۲٦^{d}$
مواد جامدمحلول (mg/l)	$۷٤٤/۷ \pm ۱۲^{b}$	۱۱۸٦ ± ۲۸^{a}	$۷۲۷/۷ \pm ۱٦^{b}$	۵۰۱ ± ۳۳^{c}
سختی کل (mg/l)	۲۷۰ ± ۲۱	$۲۸٦/۷ \pm ۳۳$	$۲۷٦/۷ \pm ۲۸$	$۲۵٦/۷ \pm ۳۸$
نیتروژن کل (mg/l)	$۱/۸٦ \pm ۰/٤^{c}$	$۲/۹۱ \pm ۰/٦^{a}$	$۲/٤۸ \pm ۰/۸^{b}$	$۱/۳٦ \pm ۰/۵^{d}$
فسفر کل (mg/l)	$۰/۰۷ \pm ۰/۰۱^{b}$	$۰/٤ \pm ۰/۰۸^{a}$	$۰/۰۳ \pm ۰/۰۱^{c}$	$۰/۰۲ \pm ۰/۰۰۵^{c}$
نیترات (mg/l)	$۰/٤۸ \pm ۰/۰٤^{b}$	$۰/۵۲ \pm ۰/۰٦^{a}$	$۰/۳۳ \pm ۰/۰۳^{c}$	$۰/۳۱ \pm ۰/۰۲^{c}$
آمونیاک (mg/l)	$۰/۱۲ \pm ۰/۰۷^{a}$	$۰/۱ \pm ۰/۰۷^{a}$	$۰/۰۲ \pm ۰/۰۰٤^{b}$	$۰/۰۲ \pm ۰/۰۰۳^{b}$
فسفات (mg/l)	$۰/۰۵۳ \pm ۰/۰۲^{b}$	$۰/۰۵۷ \pm ۰/۰۱^{a}$	$۰/۰٤۳ \pm ۰/۰۰٤^{c}$	$۰/۰۳۷ \pm ۰/۰۰۷^{d}$
قلیائیت کل (mg/l)	$۹۳/۳۳ \pm ۹/٤^{b}$	$۱۰۳/٦۷ \pm ۱۲/٦^{a}$	$۸۰ \pm ۱۱/۳^{d}$	$۸۳/۳۳ \pm ۱٤/۲^{c}$
کلروفیل a ($\mu g/m^3$)	$۱۹/۲ \pm ۲/٤^{c}$	$۳۲/٦ \pm ٦/۸^{a}$	$۲٤/۹ \pm ٤/٦^{b}$	$۱۸/۳ \pm ۵/۵^{d}$
عمق سشی (cm)	$۳٦ \pm ۰/۰۸^{b}$	$۲۷ \pm ۰/۰٦^{c}$	$۳۷ \pm ۰/۰۵^{b}$	$٤٦ \pm ۰/۰۵^{a}$

* حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد

در این بررسی، شاخص کارلسون بر مبنای کلروفیل a محاسبه گردید. از لحاظ شرایط تروفی براساس میزان غلظت کلروفیل a با استفاده از شاخص کارلسون، سد بوستان در چهار فصل سال در طبقه یوتروف قرار داشت (جدول ۵).

جدول ۵- طبقه‌بندی نهایی شاخص کارلسون برای سد بوستان در فصول مختلف.

فصل	TSI (Chla)	طبقه‌بندی	TSI (SD)	طبقه‌بندی	TSI (TP)	طبقه‌بندی	Carlson's TSI	طبقه‌بندی
بهار	۵۹/۵۸	یوتروف	۷٤/۷۲	هایپرتروف	۵۲/٤۹	یوتروف	۵٦/۸۱	یوتروف
تابستان	٦٤/۷۸	یوتروف	۷۸/۳٤	هایپرتروف	٦۰/۵٦	یوتروف	٦۰/٤٦	یوتروف
پاییز	٦۲/۱٤	یوتروف	۷۲/۳۳	هایپرتروف	۵۲/۳٦	یوتروف	۵٤/۵۹	یوتروف
زمستان	۵۹/۱۱	یوتروف	۷۰/۱۹	هایپرتروف	۵۱/۵	یوتروف	۵۲/٤٤	یوتروف

بحث و نتیجه‌گیری

تعیین وضعیت تروفی یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی و مطالعه علمی دریاچه می‌باشد؛ زیرا بر این اساس می‌توان پیش‌بینی قوی و مطمئنی از ارتباطات بخش زیستی و غیرزیستی و در کل روابط درون اکوسیستم دریاچه انجام داد (۱۸). در پژوهش حاضر، تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده به‌جز سختی آب، در فصول مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۳). TSI دارای ارزش مدیریتی واضح بوده و اهمیت راهنما برای دریاچه‌های با داده‌های کم‌تر یا محدوده داده‌های محدود است (۱۹ و ۲۰). بر اساس پژوهش‌های شارما و همکاران (۲۰۱۰) (۲۱) و لواندوسکی و همکاران (۲۰۱۸) (۲۲)، در دسترس بودن و شدت نور، غلظت فسفر کل و کلروفیل a بر افزایش و گسترش زی‌توده جلبک به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، شناخت در مورد فراوانی تولیدات بیولوژیکی بدنه آبی را ارائه می‌دهد. به‌طورکلی، سه پارامتر آب که شاخص حالت تغذیه‌ای (TSI) را تعیین می‌کنند، یعنی شفافیت آب، غلظت کل فسفر و کلروفیل a، در تولید شکوفایی جلبکی با هم مرتبط هستند. (٦). افزایش زی‌توده فیتوپلانکتون، که با غلظت کلروفیل a مشخص می‌گردد، با غلظت بالای فسفات ایجاد می‌شود (۸ و ۹). فسفر کل رابطه متقابل با شفافیت دارد؛ زیرا فسفات عامل محدودکننده رشد جلبک است. دو برابر شدن زی‌توده جلبکی منجر به نصف شدن شفافیت می‌شود (۱۰). علاوه بر این، مواد محلول شفافیت آب را کاهش می‌دهد و از نفوذ نور خورشید و تأثیر آن بر سایر فرآیندهای آب جلوگیری می‌کند (۱۱). سا و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مقادیر کلروفیل آ و فراوانی گروه‌های فیتوپلانکتونی به‌منظور بررسی وضعیت تروفی دریاچه پشت سد پرداختند و نشان دادند که میزان کلروفیل می تواند شاخصی مناسب از وضعیت تروفی منطقه باشد (۲۳). از این‌رو با توجه به مطالعه حاضر و بررسی وضعیت یوتروفی در دریاچه پشت سد هشدارهای اولیه در مورد وقوع شکوفایی جلبکی و اقدامات متقابل سریع در حفاظت از دریاچه پشت سد بوستان بسیار مهم است. بنابراین، مخزن پشت سد بوستان باید به‌طور منظم نظارت شود تا در سطح سالم قابل‌قبولی حفظ شود و از شکوفایی جلبکی و یوتریفیکاسیون جلوگیری گردد. اختلاف واضح و مقدار زیاد شاخص کلروفیل a نسبت به شاخص‌های دیگر تروفی دریاچه را می‌توان به تراکم بالا فیتوپلانکتون دریاچه نسبت داد. میزان کلروفیل a و تراکم فیتوپلانکتونی دریاچه مخزن سد بوستان نسبت به دریاچه‌های یوتروف بالاتر می‌باشد و علی‌رغم این‌که سطح وضعیت تروفی دریاچه بر اساس غلظت مواد مغذی در سطح یوتروف می‌باشد؛ توان تولید ماهی نیز مطابق دریاچه‌های فوق یوتروف می‌باشد. بیش‌ترین غلظت فسفر کل مخزن سد بوستان در فصل

تابستان با ۰/٤ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با دریاچه‌های واتکام[1] واشنگتن آمریکا (۱۸) و میرزاخانلو زنجان (۲٤) با غلظت فسفر کل به‌ترتیب حدود ۰/۰۰٦٦ و ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر اختلاف زیادی داشت، اما در مقایسه با غلظت فسفر کل دریاچه‌های شویر (۲٤) و دریاچه سد ارس (۲۵) به‌ترتیب با ۰/۱۷٦ و ۰/۲٦ میلی‌گرم در لیتر و دریاچه سد خندق‌لو زنجان (۲٦) با ۰/۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر نزدیک‌تر بود. بنابراین غلظت فسفر کل دریاچه پشت سد بوستان بیش‌تر از مقادیر آب‌های طبیعی (۰/۰۲–۰/۰۰۵ میلی‌گرم در لیتر) و دریاچه‌های اولیگوتروف است. متیوز و همکاران (۲۰۰۲) رابطه تروفی دریاچه با مواد مغذی و محدود کننده‌های تولید در دریاچه واتکام واشنگتن آمریکا را مورد بررسی قرار دادند (۱۸). نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کلروفیل a همبستگی بالایی با نیتروژن محلول معدنی و فسفر کل دریاچه داشته و با بررسی رابطه نیتروژن به فسفر متوجه شدند که فسفر عامل محدودکننده رشد در این دریاچه می‌باشد در پژوهش حاضر نیز مقادیر نیتروژن کل در فصول مختلف نزدیک هم بوده و فقط مقادیر فسفر در فصل تابستان اختلاف فاحشی در بین فصول داشته که با توجه به کودهی و دمای مناسب برای رشد فیتوپلانکتونی مقادیر کلروفیل a در آن بالاتر بوده و از عوامل محدودکننده می توان به مقادیر فسفر و دما اشاره کرد. هم‌چنین، بوید و توکر (۱۹۹۸) عنوان کردند که مهم‌ترین ماده مغذی برای تولیدات اولیه در اکوسیستم‌های آبی فسفر است و نسبت بسیار کمی از ترکیبات را در آب تشکیل می‌دهد و به‌عنوان یک عامل محدودکننده شناخته می‌شود (۲۷). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، میزان فسفر کل (۰/۱۳ میلی‌گرم در لیتر) و نیتروژن کل (۲/۱۵ میلی‌گرم در لیتر) دریاچه بیش از مقدار آب‌های طبیعی می‌باشد؛ در نتیجه، در محدوده یوتروف قرار می‌گیرد. مقدار میانگین نیتروژن کل دریاچه شویر و دریاچه میرزاخانلو (۲۱) ۱/۰۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است و به‌عنوان دریاچه‌های یوتروف معرفی شده‌اند.

در اکوسیستم‌های آبی غلظت‌های مطلوب مواد مغذی در رشد موجودات آبزی مانند باکتری‌ها، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، ماهی‌ها و سایر آبزیان و هم‌چنین سلامت اکوسیستم‌های آبی فوق‌العاده مهم و ضروری می‌باشند (۲٤). پورصوفی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی شرایط زیستی مخزن سد گلستان بر اساس تولیدات اولیه نشان داد که براساس غلظت فسفرکل (TP=۰/۱٦ میلی‌گرم در لیتر)، ازت کل (TN=۲/۰۹ میلی‌گرم در لیتر)، عمق قابل مشاهده صفحه سشی (۱۰ سانتی‌متر) و کلروفیل a، ۲۳/٤ µg/L سد گلستان در محدوده دریاچه‌های فوق یوتروف قرار داشت. میزان کلروفیل a و تراکم فیتوپلانکتونی دریاچه مخزن سد بوستان نسبت به دریاچه‌های یوتروف بالاتر می‌باشد (۲۸).

با توجه به ارزش اقتصادی و خدمات اکوسیستمی دریاچه پشت سد بوستان، سلامت زیست محیطی آن باید به‌طور مداوم مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد تا هر گونه تأثیر منفی زیست‌محیطی ناشی از فعالیت آبزی‌پروری در مخزن پشت سد شناخته شده و متعاقباً برطرف گردد. اگر اکوسیستم به اندازه کافی حفاظت نشود، تخریب محیط زیست می‌تواند بدتر شده تا زمانی که به نقطه بی‌بازگشت برسد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بررسی دقیق زیست‌شناسی دریاچه‌ها و مخازن، و هم‌چنین، ویژگی‌های جوامع آبی و ویژگی‌های مناطق زهکشی آن‌ها، ممکن است بینش مهمی را در مورد پاسخ‌های تغذیه‌ای مورد انتظار به مواد مغذی و چگونگی تغییر فضایی آن‌ها در آن‌ها ارائه دهد.

1- Whatcom

منابع

1. Makhdoum, M. F. (1992). Environmental unit: an arbitrary ecosystem for land evaluation. *Agriculture, ecosystems and environment*. 41 (2), 209-214.
2. Sabkara, J., & Makaremi, M. (2003). The Density and distribution of the planktons, in Maco reservoir dam. *Iranian Scentific Fisheries Journal*. 12 (2), 29-46.
3. FAO. (2010). FISHSTAT plus. Food and Agricluture Organization of United Nations, Rome, Italy. 180p.
4. Chen, Q., Zhao, J., Gao, Q., Liu, H., & Han, X. (2021). Trophic state footprint index model and its application to Dianchi Lake, China. *Ecological Indicators*. (132): p.108317.
5. Schaffer, J. (2010). The internal relatedness of all things. *Mind*. 119 (474), 341-376.
6. Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22 (2), 361-396.
7. Frost, J. R., Phlips, E. J., Fulton Iii, R. S., Schelske, C. L., Kenney, W., & Cichra, M. (2008). Temporal trends of trophic state variables in a shallow hypereutrophic subtropical lake, Lake Griffin, Florida, USA. Fundamental and applied limnology. 172 (4), p. 263.
8. Neto, R. M., & Ostrensky, A. (2015). Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. *Aquaculture Research*. 46 (6), 1309-1322.
9. Saluja, R., & Garg, J. K. (2017). Trophic state assessment of Bhindawas Lake, Haryana, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 189 (1), 1-15.
10. Mahmudi, M., Lusiana, E. D., Arsad, S., Buwono, N. R., Darmawan, A., Nisya, T. W., & Gurinda, G. A. (2019). A study on phosphorus-based carrying capacity and trophic status index of floating net cages area in Ranu Grati, Indonesia. Aquaculture, Aquarium, *Conservation and Legislation*. 12 (5), 1902-1908.
11. Sawestri, S., Suryati, N. K., & Muthmainnah, D. (2021). Determination of potential fisheries areas based on trophic status (case study in situ Gede, Tasikmalaya). *Depik*. 10 (2), 91-97.
12. Chen, S. Z., Wang, X. J., & Zhao, X. J. (2008). An attribute recognition model based on entropy weight for evaluating the quality of groundwater sources. *Journal of China University of mining and technology*. 18 (1), 72-75.
13. Carlson, R. E., & Havens, K. E. (2005). Simple Graphical Methods for the Interpretation of Relationships between Trophic State Variables. *Lake Reserv. Manage*. 21 (1), 107-118.
14. Bahrami, S. A. (2009). Investigating the effects of land use change on the hydrological characteristics of Boostan dam watershed, Golestan province using hec-hms model. MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 161p.
15. Bahrami, S., Onagh, M., & Farazhoo, 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(1-1), 10-26.
16. Putrandy, C. S., Zahidah, H. H., & Herawati, H. (2021). Determination of the trophic status of Jatigede reservoir using the trophic state index method. 9 (4), 249-254.
17. Miner, G. (2006). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Water Works Association. *Journal*. 98 (1), p.130.
18. Matthews, R., Hilles, M., & Pelletier, G. (2002). Determining trophic state in Lake Whatcom, Washington (USA), a soft water lake exhibiting seasonal nitrogen limitation. *Hydrobiologia*. 468, 107-121.
19. Lin, S. S., Shen, S. L., Zhou, A., & Lyu, H. M. (2021). Assessment and management of lake eutrophication: a case study in Lake Erhai, China. *Sci. Total Environ.* 751, 141618.
20. Bomfim, E. D. O, Kraus, C. N., & Lobo, M. T. (2019). Trophic state index validation based on the phytoplankton functional group approach in Amazon floodplain lakes. *Inland Waters*. 9, 309-319.

21. Sharma, M. P., Kumar, A., & Rajvanshi, S. (2010). Assessment of trophic state of lakes: a case of Mansi Ganga Lake in India. Hydro Nepal: *Journal of Water, Energy and Environment*. 6, 65-72.
22. Lewandowski, V., Bridi, V. R. C., Bittencourt, F., Signor, A., Boscolo, W. R., & Feiden, A. (2018). Spatial and temporal limnological changes of an aquaculture area in a neotropical reservoir. In Annales de Limnologie-International Journal of Limnology. *EDP Sciences*. (54), p 27.
23. Sá, A. K. D. D. S., Cutrim, M. V. J., Costa, D. S., Cavalcanti, L. F., Ferreira, F. S., Oliveira, A. L. L., & Serejo, J. H. F. (2021). Algal blooms and trophic state in a tropical estuary blocked by a dam (northeastern Brazil). *Ocean and Coastal Research*. 69, 1-16.
24. Mirzajani, A. (2008). Evaluation of the reservoir behind Shuvir and Mirzakhanlu dams in Zanjan province for the possibility of aquaculture. Organization of Agriculture- Jahad-Zanjan Province. 90 p.
25. Sabkara, J., & Makaremi, M. (2013). The density and distribution of the plankton, and their role in fish culture in Aras reservoir dam. *Journal of Aquaculture Development*. 7 (2), 41-59.
26. Abdolmaleki, Sh., Mirzajani, A., Khodaparast, H., Saberi, H., Babaye, H., Sabkara, J., Makaremi, M., Nowrouzi, H., Behmanesh, Sh., Khedmati, K., Nehrour, M., Ghane, A., Mehdizadeh, Gh., Mahisefat, F., Nikpour, M., Rastin, R., Mohsenpour, H., Sayad-Rahim., M., Shoundast,. J., Maddadi, F., Sedaghatkish, A., Khoshhal., J., Iranpour, M., & Rouhbani., Sh. (2014). The study of Khandaqlou dam in Mahneshan city, Zanjan province. Agricultural Research, Education and Extension Organization. 202 p.
27. Boyd, C. E., & Tuker, C. S. (1998). Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publisher, London. 700 p.
28. Poursoufi, T., Mansouri, B., & Gharanjik, B. 2020. Biological conditions of Golestan dam reservoir based on primary production. New Technologies in Aquaculture Development. 14 (3), 44-55.