

پایش کیفیت آب و پدیده تغذیه‌گرایی دریاچه سد آزاد سنتنده با استفاده از شاخص کیفیت آب ایران و شاخص غنی شدگی کارلسون

آسیه مخلوق^۱، حسن نصرالله زاده ساروی^{*}^۱، فرخ پرافکنده^۱، حسن فضلی^۱، رحمان میرزایی^۲، حمید
حسین پور^۲، علی رضا کیهان‌ثانی^۱، مسطوره دوستدار^۳

* hnsaravi@gmail.com

- ۱- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
- ۲- مدیریت شیلات، سازمان جهاد کشاورزی کردستان
- ۳- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۴

چکیده

مخازن آبی سهم مهمی را در تامین آب آشامیدنی و کشاورزی دارا هستند و حفظ کیفیت آنها ضروری است. مطالعه حاضر به بررسی وضعیت کیفیت آب سد آزاد سنتنده با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب ایران (IRWQI) و سطح غنی شدگی (شاخص سطح تروفیکی کارلسون، TSI) پرداخته است. نمونه‌برداری در پنج ایستگاه بصورت ماهانه در سال ۱۳۹۴-۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد که بر اساس کلروفیل-آ، سطح تروفیکی در مخزن سد و نیز ایستگاه‌های مختلف عموماً مزوتروف بود. در حالیکه، براساس سایر فاکتورها (سفر کل، شفافیت و درصد اشباع اکسیژن در لایه‌های زیرین) یوتروف تا هایپرتروف ارزیابی شد. میانگین شاخص کارلسون (سطح تروفیکی) بیانگر وضعیت مزوتروف (کیفیت خوب) در مخزن سد بود. براساس IRWQI، کیفیت آب در این مخزن در طبقه بسیار خوب قرار گرفت. اگرچه مقادیر میانگین از شاخص‌های فوق، بیانگر مناسب بودن این دریاچه برای تامین آب شرب و فعالیت‌های شیلاتی بود. ولی با توجه به کاهش کیفیت آب و نیز افزایش سطح تروفیکی در برخی از ماههای، لازم است که با اعمال راهکارهای مدیریتی کیفیت مناسب آب در مخزن سد حفظ گردد.

کلمات کلیدی: شاخص کیفیت آب ایران، سطح تغذیه‌گرایی، سد مخزنی آزاد، سنتنجه، استان کردستان

* نویسنده مسئول

4 مقدمه

(يوتروف) بود و بر اساس WQI، آب اين مخزن در همه ماهها در طبقه خوب قرار گرفت. سد اكباتان نيز براساس شاخص NSFWQI در گروه كيفيت متوسط طبقه‌بندي شد (Samarghandi *et al.*, 2013) عنوان كردند كه تغذيه‌گرایي در سد اكباتان در فصل زمستان اندکي به سمت شرياط نيمه مخذى بهبود يافت ولی در هر دو فصل تابستان (مرداد ماه) و زمستان (بهمن ماه) در سطح يوتروفيك بود. با توجه به اهميت تعين كيفيت آب در مخازن سد به منظور تعين گستره فعالите‌های مرتبط با آن و نهايتاً افزایش اشتغال زايی و رونق اقتصادي در منطقه، مطالعه حاضر برای نخستين بار در سد آزاد سندج (استان كرستان) با هدف بررسی وضعیت كيفيت آب درياچه پشت سد بر اساس شاخص‌های مختلف شامل شاخص كيفيت آب (WQI) و تغذيه‌گرایي (TSI) کارلسون صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

سد مخزنی آزاد سندج در مسیر رودخانه مهم کوماسي (آزاد) ايجاد و در سال ۱۳۹۲ مورد بهره برداری قرار گرفت. مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۴-۹۵، بصورت ماهانه و در ۵ ایستگاه در ناحيه رودخانه‌ای (ایستگاه‌های ۴ و ۵)، انتقالی (ایستگاه ۳) و درياچه‌ای (ایستگاه‌های ۱ و ۲) انجام شد (شکل ۱). ایستگاه‌ها در موقعیت جغرافیاگی ۴۶°۳۰' تا ۴۶°۰۲' طول شرقی و ۳۵°۰۲' تا ۳۵°۰۴' عرض شمالی قرار داشتند. فواصل ایستگاه‌ها از ۱ تا ۵ کيلومتر متغير بود. حداکثر عمق ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ در طی دوره نمونه‌برداری به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۵۰ (متر) بود. نمونه‌برداری در تمام ایستگاه‌ها از لایه سطحی انجام شد. اما در ایستگاه ۱ تا ۳ بر اساس ارتفاع آب در فواصل تقریباً مساوی تا نزدیک کف نيز نمونه‌برداری انجام شد. بطوری‌که عموماً لایه‌ها در ایستگاه ۱ شامل ۳۰، ۶۰، ۴۰ متر و نزدیک به کف) ایستگاه ۲ (۲۰، ۲۰ متر و نزدیک به کف) و ایستگاه ۳ (۱۵ متر و نزدیک به کف) بودند.

اهداف مختلف بهره‌برداری از مخازن سدها شامل کنترل سیلاب و تنظیم جريان آب در پایین دست، تغذيه آب‌های زيرزمیني، تولید انرژي برق-آبی، تامين آب شرب، تامين آب جهت مصارف کشاورزی و صنعتی، پرورش ماهی، ماهی‌گيري و تفریحات آبی می‌باشند (Wetzel, 1995). میزان و نوع فعالите‌های مختلف انسان در حوضه آبريز از جمله عواملی هستند که كيفيت آب را در مخازن سدها تحت تاثيرقرار می‌دهند. يکی از روش‌های کارا و مناسب برای تعين كيفيت آب، استفاده از شاخص‌های كيفيت آب است که به صورت مقیاس عددی ارائه می‌شوند. درک آسان وضعیت آب برای عموم مردم و نيز تبدیل نتایج چند پارامتر به يک پارامتر و جلوگيري از ايجاد چندگانگی در طبقه‌بندي كيفی آب از مزایای بكارگيري اين شاخص‌ها می‌باشد. اين شاخص‌ها يک ابزار مدیریتی قوي برای تصمیم‌گيري هستند (كريمياني و همکاران، ۱۳۸۵). ذر اين راستا كيفيت آب در سدهای گوناگون ايران مورد تحقيق قرار گرفته‌اند. شکوهی و همکاران (۱۳۹۰)، كيفيت آب درياچه سد آيدغموش را با استفاده از شاخص National Sanitation Foundation Water Quality (Index) برای مصارف مختلف مناسب گزارش کردند. در ارزیابی وضعیت کيفی درياچه سد دز با استفاده شاخص-Trophic (WQI) و (Water Quality Index) مشخص شد که آب مخزن برای انواع مصارف عمومی مطلوب بوده و فقط جهت آب شرب نياز به تصفیه پيشرتفته دارد (جاويد و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه عصار و همکاران (۱۳۹۲) نيز بر كيفيت آب درياچه سد دز (بر اساس پارامترهای شاخص NSFWQI) نشان داد که آب اين درياچه برای استفاده‌های مختلف مناسب است و در صورت تداوم ورود آلانيده‌ها و نيز مشکل تغذيه گرایي، كيفيت آب تهدید می‌شود. مطالعه Saghi و همکاران (۲۰۱۵) در درياچه پشت سد دز بيانگر ضرورت مدريت جدي آب سد طی ماههای گرم سال بدليل شرياط يوتروف بود. نصرالله زاده ساروي و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که در سد شهيد رجائي (ساری) حداقل سطح تروفيكی در ماه های شهريار و بهمن ماه (وليگوتروف) و حداکثر آن در ماههای تير و مرداد

داده های مربوط به فاکتورهای فیزیکوشیمیایی از مطالعه نصراللهزاده ساروی و همکاران (۱۳۹۶) استخراج شدند. تعیین سطح تروفیکی به روش تک پارامتری با استفاده از جدول ۱ (WHO, 1996) صورت گرفت. محاسبه وضعیت تروفیکی با استفاده از شاخص TSI کارلسون نیز انجام شد (Sigua *et al.*, 2006). سپس مقادیر بدست آمده از TSI در سطوح مختلف تروفیکی طبقه‌بندی شدند. بطوری که اعداد کمتر از ۴۰ و بیشتر از ۷۰ به ترتیب عنوان سطوح اولیگوتروف و هایپریوتروف و مقادیر ۴۰-۵۰ و ۵۰-۷۰ به ترتیب معادل مزوتروف و یوتروف در نظر گرفته شدند (Carlson, 1977). همچنین عبارات هایپریوتروف، یوتروف، مزوتروف و اولیگوتروف به ترتیب به عنوان آب های با کیفیت بسیار بد، متوسط، خوب و عالی تعبیر شدند (City of Lakeland, 2001).



شکل ۱: نقشه ماهواره‌ای ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دریاچه پشت سد آزاد سنندج (کردستان، سال ۱۳۹۴-۹۵)

Figure 1: Satellite map of sampling stations in Sanandaj Azad dam (Kurdistan, 2015-2016)

جدول ۱: طبقه‌بندی سطح تروفیکی مخازن سدها بر اساس پارامترهای مختلف

Table 1: Trophic state classification of reservoirs based on different parameters

| سطح تروفیکی میانگین فسفر کل (mg/L) | میانگین کلروفیل-آ (mg/m³) | میانگین شفافیت (متر) | میانگین سالانه شفافیت (متر) | حداقل شفافیت | اشبع اکسیژن در لایه زیرین آب | حداقل درصد |
|--|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|
| اولترا اولیگوتروف (UO) | ۰/۰۰۴ | ۱ | ۲/۵ | ۱۲ | ۶ | ۹۰-۱۰۰ |
| الیگوتروف (O) | ≤۰/۱۰ | ≤۲/۵ | ۸ | ۶≤ | ۳≤ | ۸۰-۹۰ |
| مزوتروف (M) | ۰/۰۱-۰/۰۳۵ | ۸-۲/۵ | ۸-۲۵ | ۳-۶ | ۱/۵-۳ | ۴۰-۸۰ |
| یوتروف (EU) | ۰/۰۳۵-۰/۱۰۰ | ۸-۲۵ | ۲۵-۷۵ | ۱/۵-۳ | ۰/۷-۱/۵ | ۱۰-۴۰ |
| هایپریوتروف (HEu) | ۰/۱۰۰≤ | ۲۵≤ | ۷۵≤ | ≤۱/۵ | ≤۰/۷ | <۱۰ |

UO =Ultra Oligotroph, O=Oligotroph, M=Mesotroph, Eu=Eutroph, HEu=Hypereutroph

(نسبتاً خوب)، ۷۰/۱-۸۵ (خوب) و بیشتر از ۸۵ (بسیار خوب). اعداد آورده شده در فرمول ۱، بیانگر شاخص وزنی هر یک از پارامترها است.

فرمول ۱:

$$WQI=[i \text{ BOD}_5^{0.117} \times i \text{ Nitrate}^{0.108} \times i\% \text{ saturated O}_2^{0.097} \times i\text{EC}^{0.096} \times i\text{COD}^{0.093} \times i\text{Ammonium}^{0.090} \times i\text{Phosphate}^{0.087} \times i\text{TH}^{0.059} \times i\text{pH}^{0.051}]$$

در مطالعه حاضر، مقادیر شاخص تروفیکی عنوان متغیر وابسته در ایستگاه‌ها و ماههای مختلف (متغیرهای ۷۱

از بین شاخص‌های مختلف در تعیین کیفیت آب، شاخص NSF به طور گسترده در سراسر جهان استفاده می‌شود (محبی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Ott, 1978). شاخص کیفیت آب پیشنهادی از سوی سازمان بهداشت محیط ایران (IRWQI) با مقداری تفاوت در ضرایب، شباهت زیادی با NSF دارد که در این مطالعه استفاده گردید (فرمول ۱). عدد بدست آمده از فرمول ۱ بین ۰ تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد و طبق آن منبع آبی در یکی از ۷ کلاس کیفی بدین شرح طبقه‌بندی می‌شود: کمتر از ۱۵ (خیلی بد)، ۱۵-۲۹/۹ (بد)، ۲۹/۹-۴۴/۹ (نسبتاً بد)، ۴۵-۵۵ (متوسط)، ۵۵/۱-۷۰ (عالی).

نتائج

وضعیت تغذیه‌گرایی (سطح تروفیکی) مخزن سد بر اساس طبقه‌بندی تک متغیره در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. سطح تروفیکی در مخزن سد و ایستگاه‌های مختلف بر اساس کلروفیل-آ، عموماً مزوتروف و بر اساس سایر فاکتورها (فسفر کل، شفافیت و درصد اشباع اکسیژن در لایه‌های زیرین) یوتروف تا هایپرتروف بودند (جدول ۲). در تعیین ماهانه سطح تروفیکی (جدول ۳)، بر اساس پارامترهای مختلف عموماً نتایج متفاوتی (از اولیگوتروف تا هایپرتروف) در هر ماه بدست آمد.

مستقل) مورد بررسی آماری قرار گرفت. پیش از انجام آزمون‌های آماری، نرمال سزی داده‌ها بر اساس یکی از فرایند‌های لگاریتم و رتبه‌بندی انجام شد و سپس با آزمون شاپیرو-ویلک نرمال بودن آن‌ها تایید شد (نصیری، ۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون‌های پارامتریک ANOVA، دانکن (Duncan) و خوش‌های Cluster Analysis) صورت پذیرفت. آزمون خوش‌های با کمک نرم افزار MVPS نسخه ۳/۱۳ و سایر آزمون‌ها در نسخه ۱۱/۵ SPSS انجام شدند.

*جدول ۲: سطح ترویجی، به روشنگری، در استگاه‌های مختلف، سد آزاد سنندج (سالهای ۹۵-۹۴)

***Table 2: The trophic state using single-parameter method in the different stations of Sanandaj Azad dam (2015-2016)**

| ایستگاه | میانگین فسفر میانگین سالانه کلروفیل-آ حداکثر کلروفیل - میانگین سالانه حداقل شفافیت حداقل درصد اشباع اکسیژن در لایه های زیرین | (متر) | شفافیت (متر) | (mg/m ³) آ | (mg/m ³) | (µg/L) | کل |
|---------|--|-------|--------------|------------------------|----------------------|--------|----|
| ۱ | ۵/۸۶ | ۰/۸ | ۲/۶۴ | ۹/۱۵ | ۲/۱۹ | ۵۱/۳ | |
| EU | EU | EU | M | O | EU | | |
| ۲ | ۵/۲۱ | ۰/۸۵ | ۲/۴۹ | ۱۱/۱۴ | ۳/۲۷ | ۴۷/۱ | |
| EU | EU | EU | M | M | EU | | |
| ۳ | ۷/۰۳ | ۰/۷۵ | ۱/۹۵ | ۱۹/۷۲ | ۳/۸۶ | ۵۰/۱ | |
| EU | EU | EU | M | M | EU | | |
| ۴ | - | ۰/۶ | ۱/۵۲ | ۱۶/۹۷ | ۵/۷۶ | ۴۷/۵ | |
| - | HEu | EU | M | M | EU | | |
| ۵ | - | ۰/۵ | ۱/۲۱ | ۲۳/۳۶ | ۵/۹۴ | ۵۳/۴ | |
| - | HEu | HEu | M | M | EU | | |
| کل | ۵/۲ | ۰/۵ | ۲/۰۶ | ۲۱/۸ | ۴/۳۰ | ۴۹/۵ | |
| EU | HEu | EU | M | M | EU | | |

*علائم اختصاری مشابه جدول ۱.

*Abbreviation letters same as Table 1

*جدول ۳: تغییرات ماهانه سطح تروفیکی به روش تک پارامتری در سد آزاد سنندج (۱۳۹۴-۹۵)

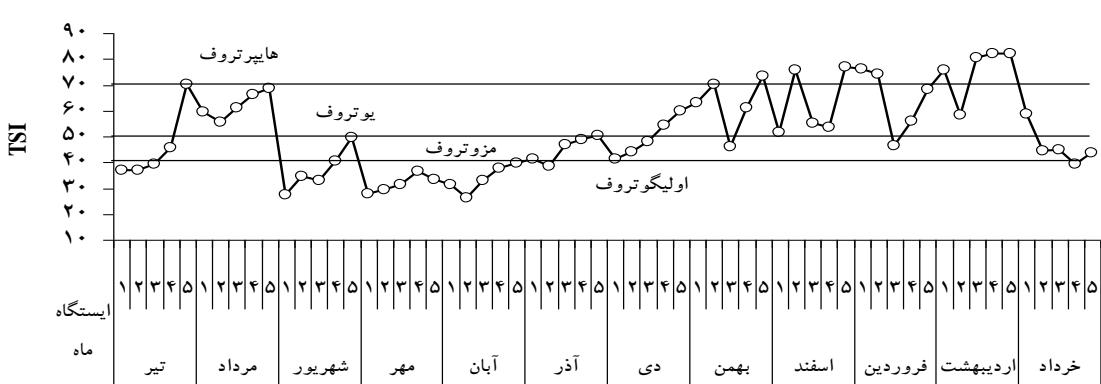
*Table 3: The monthly variations of trophic state using the single-parameter method in Sanandaj Azad dam (2015-2016)

| جدول درصد | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| میانگین سالانه | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین سالانه | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر | میانگین حداکثر |
| آبیاری در لایه های زیرین | آبیاری در لایه های متوسط | آبیاری در لایه های بالا | آبیاری در لایه های بالا | آبیاری در لایه های متوسط | آبیاری در لایه های زیرین | آبیاری در لایه های بالا | آبیاری در لایه های متوسط | آبیاری در لایه های بالا | آبیاری در لایه های متوسط | آبیاری در لایه های بالا | آبیاری در لایه های بالا |
| ۷۷/۲ | ۲/۶ | ۲/۹۷ | ۹/۶۹ | ۳۷/۳ | ۹۴ | ۲۲/۹ | ۱/۷ | ۱/۹۳ | ۰/۴ | ۵۵/۹ | ۹۴ |
| M | M | Eu | M | Eu | | Eu | M | Eu | UO | Eu | |
| ۷۱/۲ | ۲ | ۲/۵ | ۸/۳۴ | ۴۹/۴ | ۹۴ | ۶/۹ | ۲/۳ | ۲/۸ | ۰/۷۸ | ۱۴۳/۶ | مرداد ۹۴ |
| M | M | Eu | M | Eu | | HEu | M | Eu | UO | HEu | |
| ۸۰/۱ | ۰/۹ | ۱/۱۵ | ۱۰/۵۷ | ۳۲/۲ | ۹۴ | ۵/۲ | ۲/۷ | ۳/۶ | ۲/۱۱ | ۴۰/۸ | شهریور ۹۴ |
| O | Eu | HEu | M | M | اسفند ۹۴ | HEu | M | M | UO | Eu | |
| ۷۱/۲ | ۰/۸۰ | ۰/۸۰ | ۴/۹ | ۳۹/۳ | فروردین | ۶/۹۵ | ۳/۲ | ۳/۸ | ۰/۸۵ | ۲۸/۵ | مهر ۹۴ |
| M | Eu | HEu | O | Eu | ۹۵ | HEu | O | M | UO | M | |
| ۳۰/۷ | ۰/۹ | ۱/۰۱ | ۱۹/۷ | ۴۴/۸۵ | اردیبهشت | ۶/۹۵ | ۳/۱ | ۳/۵ | ۱/۴۳ | ۲۵/۴ | آبان ۹۴ |
| Eu | Eu | HEu | M | Eu | ۹۵ | HEu | O | M | UO | M | |
| ۴۸/۷ | ۱/۳۵ | ۱/۷۵ | ۲/۶ | ۴۲/۱ | خرداد ۹۵ | ۱۲/۵ | ۲/۳ | ۲/۹ | ۷/۵۰ | ۲۸/۷ | آذر ۹۴ |
| M | Eu | Eu | O | Eu | | Eu | M | Eu | O | M | |

*علام اختصاری مشابه جدول ۱.

مقادیر شاخص تروفیکی در ایستگاه ۴ یا ۵ بیشتر از سایر ایستگاهها بود (شکل ۲).

بررسی تغییرات TSI کل در ایستگاهها و ماههای مختلف نشان داد، اگرچه سطح تروفیکی در همه ایستگاهها تغییراتی را طی یک سال مطالعه نشان داد ولی عموماً

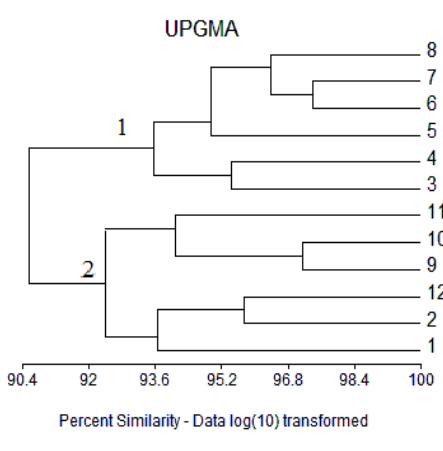


شکل ۲: تغییرات TSI کل در ایستگاهها و ماههای مختلف در دریاچه سد آزاد سنندج (سالهای ۹۴-۹۵)

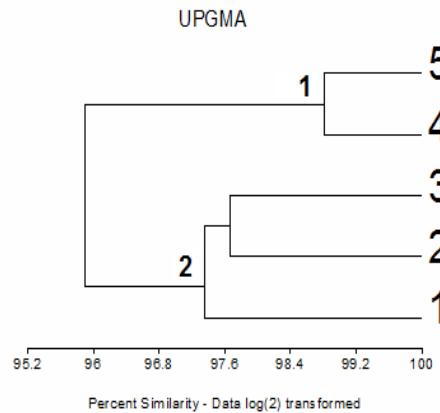
Figure 2: The variation of total TSI in different stations and months in Sanandaj Azad dam (2015-2016)

آنالیز خوشه ای برای تقسیم‌بندی مکانی و زمانی پارامترهای فیزیکو-شیمیایی آب نشان داد که از نظر مکانی، در سطح ۹۵ درصد دو خوشه اصلی و سه خوشه فرعی شامل ایستگاه‌های (۲ و ۳)، (۱)، (۴ و ۵) قرار داشتند. در این آنالیز ماههای مختلف در دو خوشه (۱ و ۲) با درصد مشابهت ۹۲ درصد قرار گرفتند که خوشه اول از ماه خرداد شروع و به ماه آبان پایان یافت و خوشه دوم شامل ماههای آذر تا اردیبهشت بود (شکل ۳).

بیشترین و کمترین مقدار TSI در مخزن سد، به ترتیب در ماههای بهمن (۶۱، یوتروف) و آبان (۲۶، اولیگوتروف) بدست آمد (شکل ۲). البته مقدار TSI در اردیبهشت در بیشتر ایستگاه‌ها، نزدیک به حداقل مقدار بود، لذا حداقل میانگین TSI در اردیبهشت (۵۷) بدست آمد. بطور کلی، حدود ۲۵ درصد داده‌های TSI در محدوده اولیگوتروف، ۲۵ درصد در محدوده یوتروف و ۵۰ درصد در محدوده مزوتروف قرار داشتند و میانگین کلی TSI (۴۴) طی ماه‌های مورد مطالعه بیانگر وضعیت مزوتروف در مخزن سد



ب



الف

بود.

شکل ۳: آنالیز خوشه‌ای پارامترهای فیزیکو-شیمیایی آب در ایستگاه‌ها (الف) و ماه‌های (ب) مختلف دریاچه سد آزاد سنندج (سال های ۱۳۹۴-۹۵)

Figure 3: The dendrogram of cluster analysis based on percent similarity of physico-chemical parameters in different stations (A) and months (B) in Sanandaj Azad dam (2015-2016)

(خوب) و ۳ (نسبتاً خوب) قرار داشتند. در طبقه‌بندی WQINSF نتایج بدست آمده در گروههای ۲ و ۳ (به ترتیب ۹۷ و ۳ درصد از داده‌ها) کیفیت آب جای گرفتند. آب‌های طبقه‌بندی شده در کلاس ۳ (در طبقه‌بندی‌های WQINSF و IRWQI) مربوط به ماههای فصل پاییز و در تعدادی از نمونه‌های لایه‌های پایینی در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ بود. میانگین بدست آمده از فاکتورهای موثر در محاسبه IRWQI بیانگر کیفیت بسیار خوب آب در لایه سطحی همه ایستگاه‌ها (۱ تا ۵) بود. بر اساس طبقه‌بندی-های IRWQI لایه‌های غیرسطحی آب در ماههای دی،

نتایج آزمون ANOVA براساس مقادیر TSI نیز بیانگر اختلاف معنی دار بین ایستگاه‌ها بود ($p < 0.05$). بطوری که بر اساس آزمون تکمیلی دانکن ایستگاه نزدیک به تاج (ایستگاه ۱) با ایستگاه‌های ۴ و ۵ در یک گروه قرار نگرفت. این آزمون اختلاف معنی دار بین مقادیر فصلی TSI را نیز نشان داد ($p < 0.05$) و در آزمون تکمیلی دانکن ماههای فصول زمستان و بهار در یک گروه و ماه‌های فصول تابستان و پاییز در گروه دیگری جای گرفتند. محاسبه شاخص کیفیت آب‌های نمونه‌برداری شده بر اساس (IRWQI) نشان داد که تقریباً ۵۹، ۴۰ و ۱ درصد از کل داده‌ها به ترتیب در کلاس‌های ۱ (بسیار خوب)، ۲

شاخص TSI هماهنگ باشد، منطقی تر می‌نماید. به این ترتیب در مطالعه حاضر، در ماههای خرداد تا آبان حداقل غلظت کلروفیل-آ و در سایر ماهها میانگین فسفر کل راهنمای مناسبی برای تعیین وضعیت تروفیکی، در روش تک پارامتری، بوده است. لذا کنترل میزان و یا ورود مواد مغذی (از قبیل غذادهی مصنوعی به ماهیان پرورشی) بخصوص از اواخر ماه آبان تا خرداد از نکات مهم در مدیریت کیفیت دریاچه پشت سد به منظور آمادگی در برابر بروز خطراتی از قبیل پرغذایی (Eutrophication)، شکوفایی جلبکی (Algal Bloom) و نهایتاً کاهش کیفیت آب محسوب می‌شود. بخصوص آنکه عدم استقرار لایه-بندی در ستون آب در ماههای آذر تا خرداد، امکان دسترسی به مواد مغذی را برای گونه‌های مختلف جلبکی بیشتر فراهم می‌نماید. بررسی مخزن سد گیلارلو نشان داد که از نظر تغذیه‌گرایی در ماه مرداد وضعیت مزو-یوتروف بود و در ماه مهر به وضعیت کاملاً یوتروف تبدیل شد و در طول ماههای بعدی در این وضعیت ثبت شد. در این سد، علت اصلی افت کیفیت آب دریاچه، اغتشاشات ناشی از به هم خوردن سیستم لایه‌بندی دمایی بوده که علاوه بر بالا آوردن محتویات بستر دریاچه و افزایش غلظت انواع آلانینده‌ها، شرایط برای تسريع پدیده تغذیه‌گرایی فراهم شد (عالی شاملو و همکاران، ۱۳۸۳). در مطالعه حاضر در مخزن سد آزاد نیز همزمان با اختلاط کامل لایه‌های آب در ماههای فصل زمستان سطح تروفیکی در همه ایستگاه‌ها افزایش نشان داد. افزایش سطح تروفیکی احتمال وقوع شکوفایی جلبکی و عوارض نامطلوب آن را بالا می‌برد که در نهایت ممکن است در کاربری آن اختلال ایجاد شود. شکوفایی جلبکی بسته به شدت و نوع جلبک شکوفا شده عوارض مختلف از بیماری تا مرگ را برای ماهیان به دنبال خواهد داشت. وجود شرایط اولیگوتروف و کاهش احتمال وقوع شکوفایی جلبکی در لایه‌های بالایی از ستون آب قابل تعمیم به کل ستون آب نیست (جداول ۲ و ۳). چنانکه از اواخر ماه خرداد تا آبان همراه با لایه‌بندی ستون آب و احتمالاً دسترسی نامناسب به مواد مغذی و نهایتاً کاهش غلظت کلروفیل-آ در لایه‌های بالایی آب شرایط اولیگوتروف حاکم بود، در حالیکه در لایه‌های پایینی میزان کم درصد اشباع اکسیژن (بخصوص در لایه‌های

بهمن، اسفند، فروردین و خرداد دارای کیفیت بسیار خوب و در سایر ماهها دارای کیفیت خوب بود.

بحث

تعیین وضعیت کیفیت منابع آب برای تعیین نوع بهره-برداری، اتخاذ راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از کاهش کیفیت آب و یا بهبود آن ضروری می‌باشد (شرکت Fernandez *et al.*, ۱۳۹۱؛ ۲۰۰۴). در این راستا در مطالعه حاضر، شاخص کیفیت آب ایران (IRWQI) و نیز شاخص سطح تروفیکی TSI در سد آزاد سنندج تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ماهانه و ایستگاهی وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه بر اساس روش تک پارامتری (جداول ۲ و ۳) تغییراتی از اولیگوتروف تا هایپرتروف را دارا بود. در روش تک پارامتری، سطح تروفیکی بر اساس پارامترهای متفاوتی بررسی می‌شود. لذا ممکن است که اکوسیستم بر اساس پارامتر شیمیایی دارای کیفیت مناسب باشد ولی بر اساس فاکتور بیولوژیکی کیفیت مطلوب آن تایید نشود (Hynes, 1996). در مطالعه حاضر، ماههایی که بر اساس شاخص TSI دارای وضعیت اولیگوتروف و اولیگو-مزوتروف بودند با نتایج حاصل از تعیین سطح تروفیکی بر اساس کلروفیل (در روش تک پارامتری) منطبق شدند. در حالی که سطح مزو-یوتروف و یوتروف تعیین شده بر اساس شاخص TSI با نتایج بدست‌آمده از سطح تروفیکی بر اساس میانگین فسفر کل (در روش تک پارامتری) مطابقت بیشتری نشان دادند. برای تصمیم‌گیری نهایی در تعیین سطح تروفیکی، دو پیشنهاد ارائه می‌شود. اول آنکه نتایج وضعیت تروفیکی با شاهد دیگری نیز تایید شود. چنانکه در مطالعه حاضر وضعیت مزوتروف و یوتروف مخزن با شواهدی همچون کاهش اکسیژن محلول (حتی کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر معادل ۵/۲ درصد اشباعیت اکسیژن) در لایه‌های پایینی آب مورد تایید قرار گرفت. دوم آنکه، اگر بپذیریم که تعیین وضعیت سطح تروفیکی بر اساس شاخص TSI بدليل مشارکت فاکتورهای مختلف فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی از اعتبار بیشتری برخوردار است، لذا در ماههای مختلف سطح تروفیکی تعیین شده بوسیله یکی از فاکتورهای موجود در روش تک پارامتری که با نتایج

از آن جهت تامین آب شرب نیاز به تصفیه ندارد و برای فعالیتهای شیلاتی و گونه‌های ماهیان حساس نیز مناسب است. همچنین تعریف کیفیت آب بر اساس IRWQI در لایه‌های زیرین در ماههای تیر تا آذر و نیز اردیبهشت بیانگر آن است که آب پشت سد جهت تامین آب شرب نیازمند تصفیه متداول است ولی همچنان برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی و نیز مقاصد گردشگری مناسب می‌باشد. اعداد بدست‌آمده از محاسبات WQI در تقسیم‌بندی ارائه شده توسط مهندسین مشاور یکم (۱۳۶۷) تماماً در گروه ۲ جای گرفتند. برای این گروه مشخصاتی شامل شروع تغییرات جدی در ویژگی آب تحت تاثیر تخریب محیط زیست، تماس با آلودگی‌های خانگی و کشاورزی، قابل استفاده با تهدیدات جزیی برای مصارف خانگی و صنعتی، مناسب برای حیات وحش و تاثیر پذیری تولیدمی‌شود. این گروه علاوه بر این تاثیرات اقتصادی و اجتماعی، میزان زیادی با استانداردهای ارائه‌شده توسط USEPA (۱۹۷۸) نیز مطابقت دارد.

از آنجایی که در فرآیند پیرشدن سدها، بطور طبیعی افزایش سطح تروفیکی صورت می‌گیرد، لذا وجود وضعیت یوتروف در مخازن سدهای دارای قدمت نسبتاً بیشتر از قبیل دز (Saghi *et al.*, 2015)، جاود و همکاران، (۱۳۹۳) و ارس (سبک آرا و مکارمی، ۱۳۹۲)، علیزاده اصالو و همکاران، (۱۳۹۴) دور از انتظار نیست. اما حتی در سدهای با قدمت کمتر از جمله سد شهید رجایی (نصرالله-زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۵)، آیدوغموش (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۰)، و سد آزاد (مطالعه حاضر)، نیز وضعیت مزوتروف تا یوتروف گزارش شده است. این امر احتمالاً بدلیل رشد جوامع انسانی و افزایش تخلیه انواع فاضلاب‌ها بخصوص کشاورزی و خانگی رخ داده است. لذا میزان رسوب‌گذاری و پیرشدن سدها و نهایتاً افزایش سطح تروفیکی در سدها با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد که در نهایت کارایی سد را برای اهداف خاص محدود می‌نماید. لذا اگرچه در مطالعه حاضر، آب مخزن این سد در صورت اعمال مدیریت صحیح، برای تامین آب شرب و فعالیتهای شیلاتی مناسب تعیین شد، اما به منظور حفاظت سد و تامین اهداف راهبردی دراز مدت، بر مدیریت جدی حوضه آبریز آن تاکید می‌شود.

(۱۰-۵۰ متر) بیانگر شرایط یوتروف تا هایپرتروف بود. نتایج آزمون خوشهای پارامترهای مربوط به محاسبه IRWQI و TSI نشان داد که ماههای سال در دو گروه اصلی (ماههای فصول بهار و زمستان) و (ماههای فصول پاییز و تابستان) جای داشتند. لذا در ماههایی که لایه‌بندی ستون آب صورت می‌گیرد، لازم است که با اعمال راهکارهای مناسب مدیریت سد و کاهش زمان استمرار کمبود اکسیژن، کیفیت مناسب دریاچه پشت سد حفظ شود. بخصوص آنکه در بخشی از مخزن سد که نزدیک به ورودی رودخانه‌ای است (ایستگاههای ۴ و ۵) حتی در تابستان نیز شرایط مزوتروف حاکم است و بنظر می‌رسد که پتانسیل افزایش سطح تروفیکی در ماههای این فصل نیز وجود دارد. در آزمون خوشهای پارامترهای دخیل در شاخص‌های IRWQI و TSI کمترین شباهت، بین ایستگاههای ۱ (نزدیک تاج سد) و ۵ بدست‌آمد و در آزمون دانکن نیز ایستگاههای ۱ و ۵ در یک گروه قرار نگرفتند. وضعیت تغییرات افقی و عمودی کیفیت آب در مخزن به میزان و نحوه اختلاط عمودی و افقی آب مخزن و نیز مدیریت انسانی آن بستگی دارد که عوامل مختلف مانند باد، کیفیت آب‌های ورودی، روابط متقابل بین عوامل مختلف فیزیکو-شیمیایی و بیولوژیکی درون مخزن، لایه‌بندی و چرخه مواد مغذی درون مخزن بر آن ها تاثیر می‌گذاردند. لذا در نظر گرفتن لایه‌بندی ستون آب و نهایتاً اختلاط آن از نکات مهم در برنامه‌ریزی حفظ کیفیت آب محسوب می‌شود.

در طبقه‌بندی آب عبارات هایپریوتروف، یوتروف، مزوتروف و اولیگوتروف معمولاً به ترتیب به عنوان آب‌های با کیفیت بسیار بد، متوسط، خوب و عالی تعبیر می‌شوند (City of Lakeland, 2001). لذا از این جهت مخزن سد در ماههای مرداد، شهریور، مهر و آبان دارای کیفیت عالی، در تیر، آذر، دی و خداد کیفیت خوب و در اسفند، فروردین و اردیبهشت دارای کیفیت متوسط بود.

هر چند که حدود ۱ درصد از کل داده‌ها (بر اساس IRWQI) بیانگر کیفیت نسبتاً خوب آب بودند (مناسب برای پرورش گونه‌های مقاوم ماهیان)، ولی میانگین داده‌ها نشان داد، که کیفیت آب در لایه بالایی از ایستگاه‌های مختلف بسیار خوب بود که در صورت استفاده

علیزاده اصالو، ز.، پورآذری، ع.م.، نکوبی فرد، ع.، صیدگر، م.، یحیی زاده، م.ی.، شیری، ص. و علیزاده کلشنانی، م.، بررسی مقطعی روند تغییرات کیفی آب دریاچه پشت سد ارس. فصلنامه اکولوژی تلا卜، ۱۴-۵ (۲۳): ۱۳۹۴.

کریمیان، آ.، جعفرزاده، ن.، نبیزاده، ر. و افخمی، م.، ۱۳۸۵. پنهنه بنده کیفی آب رودخانه بر اساس شاخص WQI مطالعه موردي: رودخانه زهره، ماهنامه تخصصی مهندسی آب، ۷-۸: ۱۸-۲۴.

محبی، م.ر.، اعظم واقفی، ک.، منتظری، ا.، ابطحی، م.، اکتایی، س.، غلام نیا، ر.، علی عسگری، ف. و سعیدی، ر.، ۱۳۹۲. توسعه یک شاخص نوین کیفیت آب آشامیدنی (MDWQI) و استفاده از آن در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ایران، مجله سلامت و محیط، انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۶(۲): ۱۸۰-۲۰۰.

مهندسين مشاور يكم. ۱۳۶۷. مطالعات گام اول طرح تلا卜 انزلی، جلد دهم (آلودگی)، ۳۶ صفحه.

نصرالله زاده ساروی، ح.، مخلوق آ.، یعقوب زاده، ز. و قیاسی، م.، ۱۳۹۵. بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های کیفیت آب سد شهید رجایی (استان مازندران-ساری). مجله آب و فاضلاب، ناشر مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، ۱۲ صفحه.

نصرالله زاده ساروی، ح.، پرافکنده، ف.، فضلی، ح.، میرزایی، ر.، حسین‌بور، ح.، افرایی، م.ع.، نصرالله تبار، ع.، مخلوق، ا. و واحدی، ن.، ۱۳۹۶. مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در دریاچه پشت سد آزاد سنتنچ بمنظور فعالیت‌های شیلاتی. مجله علمی شیلات ایران، ۲۵(۵): ۱۴۳-۱۵۷.

نصیری، ر.، ۱۳۸۸. آموزش گام به گام SPSS17 تهران: مرکز فرهنگی نشر گستر. ۳۴۴ صفحه.

وبیسی، ک.، سمرقندی، م.ر. و نورمرادی، ح.، ۱۳۹۳. پایش پدیده تغذیه‌گرایی در دریاچه سد مخزنی اکباتان با بهره‌گیری از شاخص غنی شدگی کارلسون. مجله علوم پزشکی ایلام، ۲۲ ضمیمه: ۴۲-۵۰.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور که زمینه علمی و آزمایشگاهی و نیز سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان (اداره کل شیلات) که پشتیبانی مالی این تحقیق را فراهم آورده‌اند کمال سپاسگزاری بعمل می‌آید. همچنین از آقایان مهندس دریانبرد و تقوی و کلیه همکاران در بخش اکولوژی، مدیران و کارشناسان شیلات کردستان و پرسنل سد آزاد سنتنچ قدردانی می‌گردد.

منابع

- جاوید، م.ح.، میرباقری، س.ا. و کریمیان، آ.، ۱۳۹۳. ارزیابی وضعیت کیفی دریاچه سد دز با استفاده از شاخص‌های WQI و TSI. مجله سلامت و محیط، ۷(۲): ۱۳۳-۱۴۲.
- سبک آرا، ج. و مکارمی، م.، ۱۳۹۲. پراکنش و فراوانی پلانکتونی و نقش آن‌ها در پرورش ماهی در دریاچه سد ارس. مجله توسعه آبزی پروری، ۴۱(۲): ۴۱-۵۹.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۱. تغذیه گرایی مخازن سدها و راهکارهای مقابله. بخش محیط زیست و کیفیت منابع آب، وزارت نیرو، تهران. ۵۹ صفحه.
- شکوهی، ر.، حسین زاده، ا.، روشنایی، ق.، علیپور، م.و. حسین زاده، س.، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب دریاچه پشت سد آیدگموش با استفاده از شاخص ملی کیفیت آب (NSFWQI) و تغییرات پارامترهای کیفی آب، مجله سلامت و محیط ایران، ۴(۳): ۴۳۹-۴۵۰.
- عالی شاملو، ا.ع.، ناصری، س. و ندافی، ک.، ۱۳۸۳. پایش کیفی آب مخزن سد گیلارلو، مجله آب و فاضلاب، ۱۵(۳:۵۱): ۲۲-۲۷.
- عصار، س.، رجب زاده، ق.ا. و محمدی، ر.م.، ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب دریاچه سد دز با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار. دانشگاه صنعت هواپی و قطب برنامه ریزی و توسعه پایدار دانشگاه تهران.

- Carlson, R.E., 1977.** A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2): 361–369.
DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
- City of Lakeland., 2001.** Water Quality Report, Florida 1988-2000. USA: 37p [Online]. [Accessed 20 February 2005]. Available from World Wide Web: http://www.polk.wateratlas.usf.edu/upload/documents/lakeland_lakereport.pdf
- Fernandez, N., Ramirez, N.F. and Solano F., 2004.** Physico-chemical water quality indices-A Comparative Review. *Revista BISTUA Journal*, 27: 437-441.
DOI: <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2004.9>
- Hynes, H.B.N., 1966.** The biology of polluted waters. Liverpool University Press, UK.
- Ott, W.R., 1978.** Water quality indices: a survey of indices used in the United States. Washington DC: US Environmental Protection Agency, USA.
- Saghi, H., Karimi, L. and Javid, A.H., 2015.** Investigation on trophic state index by artificial neural networks (Case Study: Dez Dam of Iran). *Applied Water Science*, 5(2): 127–136. DOI: 10.1007/s13201-014-0161-2.
- Samarghandi, M.R., Weysi, K., Aboee Mehrizi, E., Kaseb, P. and Danai, E., 2013.** Evaluation of Water Quality in Hamadan Akbatan Reservoir by NSFWQI Index. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 5(1): 63-69. ISSN : 2008-8701.
- Sigua, G.C., Williams, M.J., Coleman S.W. and Starks, R., 2006.** Nitrogen and Phosphorus Status of Soils and Trophic State of Lakes Associated with Forage-Based Beef Cattle Operations in Florida. *Journal of Environmental Quality*, 35: 240–252. DOI: 10.2134/jeq2005.0246.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency).** 1978. Water quality indices: A survey of indices used in the United states, Washington, D.C.20460, USA.
- Wetzel, R.G., 1995.** Limnological analyses. second edition, Spring-Verlag, New York.
- WHO,** 1996. Guidelines for drinking-water quality, health criteria and other supporting information. Geneva, 2nd ed., Italy.

Monitoring water quality and eutrophication phenomenon of Azad Dam using Iranian Water Quality Index and Carlson's Trophic State Index

Makhlough A.¹; Narollahzadeh Saravi H.^{1*}; Parafkandeh F.¹; Fazli H.¹; Mirzaei R.²; Hosseinpour H.²; Keyhan Sani A.R.¹; Doutdar M.³

* hnsaravi@gmail.com

1- Caspian Sea Ecology Research Center (CSERC), Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Mazandaran, Iran

2-Jihad-Agriculture of Kordestan Organization, Fisheries Affaire

3-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

Water reservoirs have an important role in providing water for drinking and agriculture. It is necessary to protect these resources. This study was conducted to determine water quality of Azad Reservoir (Kordestan-Sanandaj) based on Iranian Water Quality Index (IRWQI) and Carlson's Trophic State Index (TSI). Sampling was carried out at five stations during different months in 2015-2016. Results showed that trophic status of Azad dam was mesotrophic based on chlorophyll-*a* parameters and eutrophic to hypertrophic based on other variables (TP, SDD and DO % at bottom layers). Mean of Carlson's Trophic State Index represented mesotrophic state (high quality) at Azad dam. Based on IRWQI, water quality of dam was classified as excellent quality. Although, mean of indices indicated the suitability of this lake for drinking and agriculture activities but due to declining water quality and increasing trophic level in some months, it is necessary to apply appropriate management strategies for maintaining water quality in the reservoir.

Keywords: Iranian water quality index, Trophic state, Azad dam reservoir, Sanandaj, Kurdistan Province

*Corresponding author