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

آسیه مخلوق[۱]، حسن نصراله زاده ساروی[۱*]، فرخ پرافکنده[۱]، حسن فضلی[۱]، رحمان میرزایی[۲]، حمید حسین پور[۲]، علی‌رضا 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 دریافت: آذر ۱۳۹٤ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹٤

## 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 سنندج با استفاده از شاخص های کیفیت آب ایران (IRWQI)و سطح غنی شدگی(شاخص سطح تروفیکی کارلسون، TSI) پرداخته‌است. نمونه‌برداری در پنج ایستگاه بصورت ماهانه در سال ۹۵-۱۳۹۴ 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 (فسفر 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 بسیارخوب قرار گرفت. اگرچه مقادیر میانگین از شاخص‌های فوق، بیانگرمناسب 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 ماه‌ها، 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، سنندج، استان کردستان

*** نویسنده مسئول**



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

## مقدمه

اهداف مختلف بهره‌برداری از مخازن سدها شامل کنترل سیلاب و تنظیم جریان آب در پایین دست، تغذیه آب‌های زیرزمینی، تولید انرژی برق-آبی ، تامین آب شرب، تامین آب جهت مصارف کشاورزی و صنعتی، پرورش ماهی، ماهی‌گیری و تفریحات آبی می‌باشند (Wetzel, 1995). میزان و نوع فعالیت‌های مختلف انسان در حوضه آبریز از جمله عواملی هستند که کیفیت آب را در مخازن سدها تحت تاثیرقرار می‌دهند. یکی از روشهای کارا و مناسب برای تعیین کیفیت آب، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب است که به صورت مقیاس عددی ارائه می‌شوند. درک آسان وضعیت آب برای عموم مردم و نیز تبدیل نتایج چند پارامتر به یک پارامتر و جلوگیری از ایجاد چندگانگی در طبقه‌بندی کیفی آب از مزایای بکارگیری این شاخص‌ها می‌باشد. این شاخص‌ها یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری هستند (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۵). در این راستا کیفیت آب در سدهای گوناگون ایران مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. شکوهی و همکاران (۱۳۹۰)، کیفیت آب دریاچه سد آیدغموش را با استفاده از شاخص NSFWQI ( National Sanitation Foundation Water Quality Index) برای مصارف مختلف مناسب گزارش کردند. در ارزیابی وضعیت کیفی دریاچه سد دز با استفاده شاخص‌های WQI (Water Quality Index) و TSI ( Trophic State Index) مشخص شد که آب مخزن برای انواع مصارف عمومی مطلوب بوده و فقط جهت آب شرب نیاز به تصفیه پیشرفته دارد (جاوید و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه عصار و همکاران (۱۳۹۲) نیز بر کیفیت آب دریاچه سد دز (بر اساس پارامترهای شاخص NSFWQI) نشان داد که آب این دریاچه برای استفاده‌های مختلف مناسب است و در صورت تداوم ورود آلاینده‌ها و نیز مشکل تغذیه گرایی، کیفیت آب تهدید می‌شود. مطالعه Saghi و همکاران (۲۰۱۵) در دریاچه پشت سد دز بیانگر ضرورت مدیریت جدی آب سد طی ماه‌های گرم سال بدلیل شرایط یوتروف بود. نصراله زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که در سد شهید رجایی (ساری) حداقل سطح تروفیکی در ماه های شهریور و بهمن ماه (اولیگوتروف) و حداکثر آن در ماه‌های تیر و مرداد (یوتروف) بود و بر اساس WQI، آب این مخزن در همه ماه‌ها در طبقه خوب قرارگرفت. سد اکباتان نیز براساس شاخص NSFWQI در گروه کیفیت متوسط طبقه‌بندی شد (Samarghandi *et al.*, 2013). ویسی و همکاران (۱۳۹۳) عنوان کردند که تغذیه‌گرایی در سد اکباتان در فصل زمستان اندکی به سمت شرایط نیمه مغذی بهبود یافت ولی در هر دو فصل تابستان (مرداد ماه) و زمستان (بهمن ماه) در سطح یوتروفیک بود. با توجه به اهمیت تعیین کیفیت آب در مخازن سد به منظور تعیین گستره فعالیت‌های مرتبط با آن و نهایتاً افزایش اشتغال زایی و رونق اقتصادی در منطقه، مطالعه حاضر برای نخستین بار در سد آزاد سنندج (استان کردستان) با هدف بررسی وضعیت کیفیت آب دریاچه پشت سد بر اساس شاخص‌های مختلف شامل شاخص کیفیت آب (WQI) و تغذیه-گرایی (TSI) کارلسون صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

سد مخزنی آزاد سنندج در مسیر رودخانه مهم کوماسی (آزاد) ایجاد و در سال ۱۳۹۲ مورد بهره برداری قرارگرفت. مطالعه حاضر در سال ۹۵-۱۳۹۴، بصورت ماهانه و در ۵ ایستگاه در ناحیه رودخانه‌ای (ایستگاه‌های ۴ و ۵)، انتقالی (ایستگاه ۳) و دریاچه‌ای (ایستگاه‌های ۱ و۲) انجام شد (شکل۱). ایستگاه‌ها در موقعیت جغرافیایی ´۳۰ °۴۶ تا ´۳ °۴۶ طول شرقی و ´۲۰ °۳۵ تا ´۲۴ °۳۵ عرض شمالی قرار داشتند. فواصل ایستگاه‌ها از ۱ تا ۵ کیلومتر متغیر بود. حداکثر عمق ایستگاه‌های ا، ۲ و ۳ در طی دوره نمونه-برداری 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 نیز نمونه‌برداری انجام شد. بطوری‌که عموماً لایه‌ها در ایستگاه ۱ شامل (۳۰ ، ۶۰ متر و نزدیک به کف) ایستگاه ۲ (۲۰، ۴۰ متر و نزدیک به کف) و ایستگاه ۳ (۱۵ متر و نزدیک به کف) بودند.



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]




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

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

داده های مربوط به فاکتورهای فیزیکوشیمیایی از مطالعه نصراله‌زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۶) استخراج شدند. تعیین سطح تروفیکی به روش تک‌پارامتری 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 بدست‌آمده از TSI در سطوح مختلف تروفیکی طبقه‌بندی شدند. بطوری‌که اعداد کم‌تر از ۴۰ و بیشتر از ۷۰ به‌ترتیب بعنوان سطوح اولیگوتروف و هایپریوتروف و مقادیر ۵۰-۴۰ و ۷۰-۵۰ بترتیب معادل مزوتروف و یوتروف در نظرگرفته‌شدند (Carlson, 1977). همچنین عبارات هایپریوتروف، یوتروف، مزوتروف و اولیگوتروف به‌ترتیب به عنوان آب های با کیفیت بسیار بد، متوسط، خوب و عالی تعبیر شدند (City of Lakeland, 2001).

**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 فسفرکل (mg/L) | میانگین سالانه کلروفیل-آ ($mg/m^3$) | حداکثر کلروفیل ($mg/m^3$) | میانگین سالانه شفافیت (متر) | حداقل شفافیت (متر) | حداقل درصد اشباع اکسیژن در لایه زیرین آب |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اولترا الیگوتروف (UO) | ۰/۰۰۴ | ۱ | ۲/۵ | ۱۲ | ۶ | ۹۰-۱۰۰ |
| الیگوتروف (O) | ≤۰/۰۱۰ | ≤۲/۵ | ۸ | ۶≤ | ۳≤ | ۸۰-۹۰ |
| مزوتروف (M) | ۰/۰۱۰-۰/۰۳۵ | 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

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 استفاده‌گردید (فرمول ۱). عدد بدست‌آمده از فرمول ۱ بین ۰ تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد و طبق آن منبع آبی در یکی از ۷ کلاس کیفی بدین شرح طبقه‌بندی می شود: کمتر از ۱۵ (خیلی بد)، ۲۹/۹ -۱۵ (بد)، ۴۴/۹-۳۰ (نسبتاً بد)، ۵۵-۴۵ (متوسط)، ۷۰-۵۵/۱ (نسبتاً خوب)، ۸۵-۷۰/۱ (خوب) و بیشتر از ۸۵ (بسیار خوب). اعداد آورده‌شده در فرمول ۱، بیانگر شاخص وزنی هر یک از پارامترها است.

فرمول ۱:

$$WQI=[i\ BOD5^{0.117} \times i\ Nitrate^{0.108} \times i\%\ saturated\ O2^{0.097} \times iEC^{0.096} \times iCOD^{0.093} \times iAmmonium^{0.090} \times iPhosphate^{0.087} \times iTH^{0.059} \times ipH^{0.051}]$$

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



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

مستقل) مورد بررسی آماری قرارگرفت. پیش از انجام آزمون‌های آماری، نرمال سزی داده‌ها بر اساس یکی از فرایند های 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) صورت‌پذیرفت. آزمون خوشه‌ای با کمک نرم افزار MVPS نسخه ۳/۱۳ و سایر آزمون‌ها در SPSS نسخه ۱۱/۵ انجام شدند.

## نتایج

وضعیت تغذیه‌گرایی (سطح تروفیکی) مخزن سد بر اساس طبقه‌بندی تک متغیره در جداول ۲ و ۳ نشان داده‌شده-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 لایه های 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 بدست‌آمد.

***جدول ۲: سطح تروفیکی به روش تک پارامتری در ایستگاه های مختلف، سد آزاد سنندج (سالهای ۹۵-۱۳۹۴)**

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

| ایستگاه | میانگین فسفر کل(µg/L) | میانگین سالانه کلروفیل-آ ($mg/m^3$) | حداکثر کلروفیل-آ ($mg/m^3$) | میانگین سالانه شفافیت (متر) | حداقل شفافیت (متر) | حداقل درصد اشباع اکسیژن در لایه های زیرین |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵۱/۳ | ۲/۱۹ | ۹/۳۵ | ۲/۶۴ | ۰/۸ | ۶/۸۶ |
| | EU | O | M | EU | EU | HEu |
| ۲ | ۴۷/۱ | ۳/۲۷ | ۱۱/۱۴ | ۲/۴۹ | ۰/۸۵ | ۵/۲۱ |
| | EU | M | M | EU | EU | HEu |
| ۳ | ۵۰/۱ | ۳/۸۶ | ۱۹/۷۲ | ۱/۹۵ | ۰/۷۵ | ۷/۰۳ |
| | EU | M | M | EU | EU | HEu |
| ۴ | ۴۷/۵ | ۵/۷۶ | ۱۶/۹۷ | ۱/۵۲ | ۰/۶ | - |
| | EU | M | M | EU | HEu | - |
| ۵ | ۵۳/۴ | ۵/۹۴ | ۲۳/۳۶ | ۱/۲۱ | ۰/۵ | - |
| | EU | M | M | HEu | HEu | - |
| کل | ۴۹/۵ | ۴/۳۰ | ۲۱/۸ | ۲/۰۶ | ۰/۵ | ۵/۲ |
| | EU | M | M | EU | HEu | HEu |

*علائم اختصاری مشابه جدول ۱.

*Abbreviation letters same as Table1



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

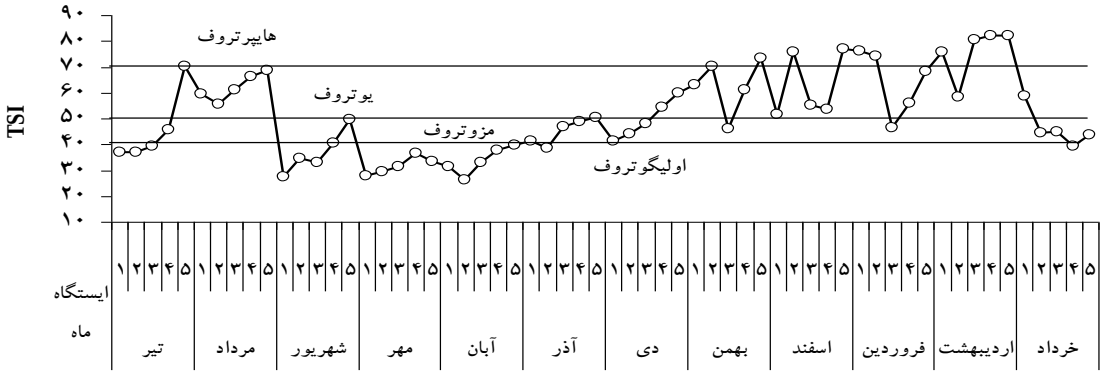
***جدول ۳: تغییرات ماهانه سطح تروفیکی به روش تک پارامتری در سد آزاد سنندج (۹۵-۱۳۹۴)**

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

| ماه | میانگین فسفر کل($mg/m^3$) | حداکثر کلروفیل-آ ($mg/m^3$) | میانگین سالانه شفافیت (متر) | حداقل شفافیت (متر) | حداقل درصد اشباع اکسیژن در لایه های زیرین | ماه | میانگین فسفر کل($mg/m^3$) | حداکثر کلروفیل-آ ($mg/m^3$) | میانگین سالانه شفافیت (متر) | حداقل شفافیت (متر) | حداقل درصد اشباع اکسیژن در لایه های زیرین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تیر ۹۴ | ۵۵/۹ | ۰/۴ | ۱/۹۳ | ۱/۷ | ۲۲/۹ | دی ۹۴ | ۳۷/۳ | ۹/۶۹ | ۲/۹۷ | ۲/۶ | ۷۷/۲ |
| | Eu | UO | Eu | M | Eu | | Eu | M | Eu | M | M |
| مرداد ۹۴ | ۱۴۳/۶ | ۰/۷۸ | ۲/۸ | ۲/۳ | ۶/۹ | بهمن ۹۴ | ۴۹/۴ | ۸/۳۴ | ۲/۵ | ۲ | ۷۱/۲ |
| | HEu | UO | Eu | M | HEu | | Eu | M | Eu | M | M |
| شهریور ۹۴ | ۴۰/۸ | ۲/۱۱ | ۳/۶ | ۲/۷ | ۵/۲ | اسفند۹۴ | ۳۲/۲ | ۱۰/۵۷ | ۱/۱۵ | ۰/۹ | ۸۰/۱ |
| | Eu | UO | M | M | HEu | | M | M | HEu | Eu | O |
| مهر ۹۴ | ۲۸/۵ | ۰/۸۵ | ۳/۸ | ۳/۲ | ۶/۹۵ | فروردین ۹۵ | ۳۹/۳ | ۴/۹ | ۰/۸۰ | ۰/۸۰ | ۷۱/۲ |
| | M | UO | M | O | HEu | | Eu | O | HEu | Eu | M |
| آبان ۹۴ | ۲۵/۴ | ۱/۴۳ | ۳/۵ | ۳/۱ | ۶/۹۵ | اردیبهشت ۹۵ | ۴۴/۸۵ | ۱۹/۷ | ۱/۰۱ | ۰/۹ | ۳۰/۷ |
| | M | UO | M | O | HEu | | Eu | M | HEu | Eu | Eu |
| آذر ۹۴ | ۲۸/۷ | ۷/۵۰ | ۲/۹ | ۲/۳ | ۱۲/۵ | خرداد ۹۵ | ۴۲/۱ | ۲/۶ | ۱/۷۵ | ۱/۳۵ | ۴۸/۷ |
| | M | O | Eu | M | Eu | | Eu | O | Eu | Eu | M |

*علائم اختصاری مشابه جدول ۱. *Abbreviation letters same as Table1

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




**شکل ۲: تغییرات TSI کل در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف در دریاچه سد آزاد سنندج (سالهای ۹۵-۱۳۹۴)**

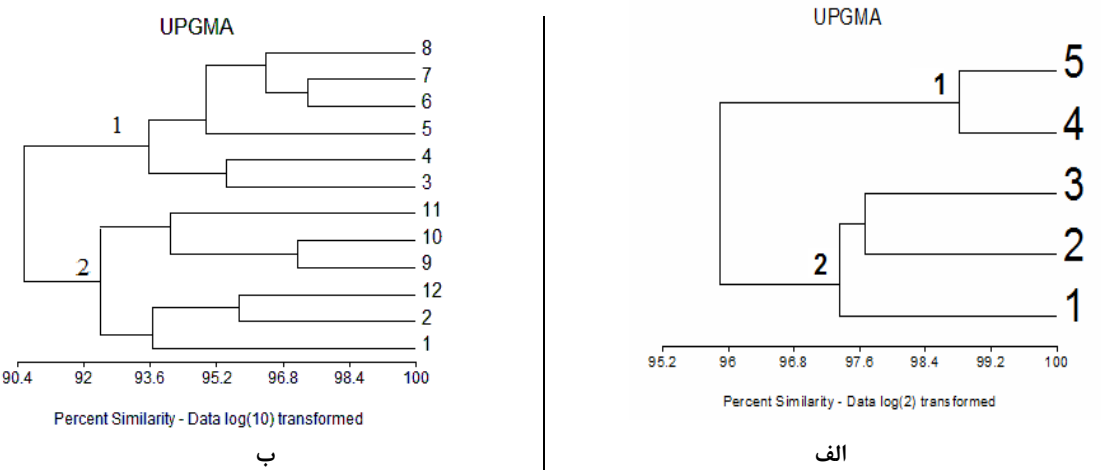
**Figure 2: The variation of total TSI in different stations and months in Sanandaj Azad dam (2015-2016)**



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

بیشترین و کمترین مقدار TSI در مخزن سد، به‌ترتیب در ماه‌های بهمن (۶۱، یوتروف) و آبان (۲۶، اولیگوتروف) بدست‌آمد (شکل ۲). البته مقدار TSI در اردیبهشت در بیشتر ایستگاه‌ها، نزدیک به حداکثر مقدار بود، لذا حداکثر 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 بود.

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 و۳)، (۱)، (۴و۵) 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).




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

**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)**

نتایج آزمون ANOVA براساس مقادیر TSI نیز بیانگر اختلاف معنی دار بین ایستگاه‌ها بود ($p<۰/۰۵$). بطوری که که بر اساس آزمون تکمیلی دانکن ایستگاه نزدیک به تاج (ایستگاه ۱) با ایستگاه‌های ۴ و۵ در یک گروه قرار نگرفت. این آزمون اختلاف معنی دار بین مقادیر فصلی TSI را نیز نشان داد ($p<۰/۰۵$) 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 به‌ترتیب در کلاس های ۱ (بسیارخوب)، ۲ (خوب) و ۳ (نسبتاً خوب) قرار داشتند. در طبقه‌بندی WQINSF نتایج بدست‌آمده در گروه‌های ۲ و ۳ (به ترتیب ۹۷ و ۳ درصد از داده‌ها) کیفیت آب جای گرفتند. آب‌های طبقه‌بندی شده در کلاس۳ (در طبقه‌بندی‌های IRWQI وWQINSF) مربوط به ماه‌های فصل پاییز و در تعدادی از نمونه‌های لایه‌های پایینی در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ بود. میانگین بدست‌آمده از فاکتورهای موثر در محاسبه IRWQI بیانگر کیفیت بسیار خوب آب در لایه سطحی همه ایستگاه‌ها (۱ تا ۵) بود. بر اساس طبقه‌بندی‌های IRWQI لایه های غیرسطحی آب در ماه‌های دی،



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

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 مدیریت منابع آب ایران؛ ۱۳۹۱؛ Fernandez *et al.*, 2004). 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 می شود. 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 بدلیل 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 شاخص TSI هماهنگ باشد، منطقی‌تر می‌نماید. به این ترتیب در مطالعه حاضر، در ماه‌های خرداد تا آبان حداکثر غلظت کلروفیل-آ و در سایر ماه‌ها میانگین فسفر کل راهنمای مناسبی برای تعیین وضعیت تروفیکی، در روش تک پارامتری، بوده‌است. 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 بیشترفراهم می‌نماید. بررسی مخزن سد گیلارلو نشان داد که از نظر تغذیه‌گرایی در ماه مرداد وضعیت مزو-یوتروف بود و درماه مهر به وضعیت کاملاً یوتروف تبدیل شد و در طول ماه‌های بعدی در این وضعیت تثبیت گردید. 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 آلاینده‌ها، شرایط برای تسریع پدیده تغذیه‌گرایی فراهم شد (عالی شاملو و همکاران، ۱۳۸۳). در مطالعه حاضر در مخزن سد آزاد نیز همزمان با اختلاط کامل لایه های آب در ماه‌های فصل زمستان سطح تروفیکی در همه ایستگاه-ها 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 خواهدداشت. 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 لایه های



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

۵۰-۱۰ 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 آب های ورودی، روابط متقابل بین عوامل مختلف فیزیکو-شیمیایی و بیولوژیکی درون مخزن، لایه‌بندی و چرخه مواد مغذی درون مخزن بر آن ها تاثیر می‌گذارند. 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 به‌ترتیب به عنوان آب های 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 خرداد 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 نشان‌داد، که کیفیت آب در لایه بالایی از ایستگاه‌های مختلف بسیار خوب بود که در صورت استفاده 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 آلودگی های خانگی و کشاورزی، قابل استفاده با تهدیدات جزیی برای مصارف خانگی و صنعتی، مناسب برای حیات وحش و تاثیر پذیری تولیدمثل ماهی های مهاجر، عنوان شدند. عموم تعابیر بیان شده به 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؛ جاوید 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 (نصراله-زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۵)، آیدوغموش (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۰)، و سد آزاد (مطالعه حاضر)، نیز وضعیت مزوتروف تا یوتروف گزارش شده‌است. 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 می-نماید. 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.



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

## 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 سنندج 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 آبزی‌پروری، ۷(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 آیدغموش با استفاده از شاخص ملی کیفیت آب (NSFWQI) و تغییرات پارامترهای کیفی آب، مجله سلامت و محیط ایران، ۴(۴): 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 هوایی و قطب برنامه ریزی و توسعه پایدار دانشگاه تهران.

**علیزاده اصالو، ژ.، پورآذری، ع.م.، نکویی فرد، ع.، صیدگر، م.، یحیی زاده، م.ی.، شیری، ص. و علیزاده کلشانی، م.، ۱۳۹۴.** بررسی مقطعی روند تغییرات کیفی آب دریاچه پشت سد ارس. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب، ۶(۲۳): ۵-۱۴.

**کریمیان، آ.، جعفرزاده، ن.، نبی‌زاده، ر. و افخمی، م.، ۱۳۸۵.** پهنه بندی کیفی آب رودخانه بر اساس شاخص WQI مطالعه موردی: 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): ۱۸۷-۲۰۰.

**مهندسین مشاور یکم. ۱۳۶۷ .** مطالعات گام اول طرح تالاب انزلی، جلد دهم (آلودگی)، ۳۶ صفحه.

**نصراله 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.

**نصراله زاده ساروی، ح.، پرافکنده، ف.، فضلی، ح.، میرزایی، ر.، حسین‌پور، ح.، افرایی، م.ع.، نصراله‌تبار، ع.، مخلوق، ا. و واحدی، ن.، ۱۳۹۶.** مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در دریاچه پشت سد آزاد سسندج 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.

**ویسی، 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.



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]

[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

**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.



[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]
[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]

# 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, Mazandararn, 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

[ Downloaded from isfj.ir on 2026-11-18 ]

[ DOR: 20.1001.1.10261354.1396.26.2.5.4 ]

[ DOI: 10.22092/ISFJ.2017.113485 ]