بررسی روابط بین پارامترهای لیمنولوژیک و شاخص‌های کیفیت آب در سد آزاد سنندج به منظور فعالیت‌های شیلاتی

حسن نصراله‌زاده ساروی*[۱]، آسیه مخلوق[۱]، زهرا یعقوب زاده[۱]، رضا صفری[۱]، حمید حسین پور[۲]

*hnsaravi@gmail.com

۱- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، صندوق پستی ۹۶۱، مازندران، ساری،
۲- سازمان جهاد کشاورزی کردستان، مدیریت شیلات سنندج، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۸

چکیده

تعیین روابط بین عوامل زیستی و غیرزیستی و اثر آنها بر کیفیت آب و تغذیه‌گرایی، اهمیت زیادی در مدیریت و بهره‌وری بهینه از سدها دارد. لذا در مقاله حاضر، روابط فوق با تاکید بر نتایج آنالیز آماری یک و چند متغیره در سد آزاد سنندج مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری به صورت ماهانه و در ۵ ایستگاه طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۴، صورت گرفت. کلیه پارامترهای محیطی (دمای آب، شفافیت، کدورت،pH، DO، DO%، BOD5 ، COD، EC، نیترات، فسفات، کلروفیل-آ) و میکروبی (کل میکروب، کل کلیفرم، کلیفرم مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی) با روش استاندارد آنالیز گردید. در آزمون رگراسیون خطی گام به گام، ضریب تاثیرسطح تروفیک، شاخص کلروفیل-آ و شفافیت بر شاخص تروفیک کل بیش از شاخص تروفیک مواد مغذی بدست آمد. طبق نتایج آزمون مولفه اصلی (PCA)، شاخص سطح تروفیک و غلظت کلروفیل-آ با جای‌گیری در مولفه اول مهمترین عوامل تاثیرگذار بر کیفیت آب سد بودند. در حالیکه شاخص کیفیت آب و پارامترهای آن (غلظت فسفر معدنی، BOD5 و کلیفرم) با قرار گرفتن در مولفه دوم، در رتبه‌های بعدی اهمیت جای داشتند. از بین پارامترهای محیطی موثر بر کیفیت آب، درصد اشباعیت اکسیژن محلول و پس از آن BOD5 در اولویت‌های نخست قرار داشتند. در نتیجه، طبق مقادیر شاخص سطح تروفیک، این سد برای پرورش ماهیان مقاوم (کپورماهیان) مناسب است. به عبارتی، اگرچه بر اساس شاخص WQI، دریاچه سد آزاد برای پرورش آزاد ماهیان مناسب است، اما از دیدگاه شاخص تغذیه‌گرایی، شرایط چندان مطلوب نمی‌باشد.

واژگان کلیدی: کیفیت آب، شاخص تروفیک، فعالیت شیلاتی، سد آزاد سنندج، کردستان

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

مقدمه

در اقلیم گرم و خشک ایران، رشد سریع جمعیت و آلودگی بخش قابل توجهی از منابع آب، مهمترین عوامل کاهش سرانه آب تجدیدشونده در قرن گذشته بوده است. مخازن پشت سدها یکی از انواع دریاچه‌های انسان ساخت و از منابع مهم آبهای سطحی هستند. شمارش کلیفرم کل و استرپتوکوک‌های مدفوعی و کلستریدیوم پرفرنژنس و نیز حضور بالقوه باکتری‌های پاتوژن در آب به عنوان شاخص‌های آلودگی آب، مورد پذیرش قرار گرفتند (WHO, 1996). ورود بار اضافی مواد مغذی به خصوص فسفر و مواد ریز مغذی مانند برخی فلزات منجر به رشد افزایشی و شکوفایی جلبک (موجودات تولیدکننده) و افزایش زی توده آنها و به تبع آن افزایش سطح تغذیه گرایی آب در مخزن سد می‌شود. پر غذایی (یوتروفیکاسیون) و شکوفایی جلبکی بر خواص فیزیکوشیمیایی، شبکه غذایی و تولیدات ماهی تأثیرگذار است (Taherioun *et al*., 2010).

بررسی در سد گیلارلو نشان داد که مهم‌ترین منابع آلاینده تاثیر گذار بر کیفیت آب، فاضلاب‌های انسانی، کشاورزی و اثرات زمین شناسی بوده است (عالی شاملو و همکاران، ۱۳۸۳). بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی در مناطق مختلف دریاچه سد بوکان در سال ۱۳۹۳ نشان داد که ورود مواد مغذی به دریاچه سد بوکان و بروز پدیده تغذیه‌گرایی در آب آن بر حیات آبزیان در دریاچه تاثیر منفی گذاشته و ذخایر آن را کاهش داده است (محسن‌پور آذری، ۱۳۹۴). در بررسی پارامترهای موثر بر کیفیت آب رودخانه ارس با روش آزمون مولفه اصلی، پارامترهای DO و COD با دارا بودن بیشترین بار عاملی در مولفه اول، دارای مهمترین نقش بودند (نصراله‌زاده ساروی و همکاران، b ۱۳۹۶). آنالیز چند متغیره عوامل اکولوژیک در سد شهید رجایی نشان داد که پارامترهای فسفر معدنی، درجه حرارت آب و COD با جاگیری در اولین مولفه اصلی، مهمترین عوامل موثر بر کیفیت آب بودند (نصراله‌زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۴). تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و مقایسه با استانداردهای مختلف (برای بهره‌وری‌های مختلف) در سد آزاد توسط نصراله‌زاده ساروی و همکاران (a۱۳۹۶) انجام شد. مخلوق و همکاران (۱۳۹۶) کیفیت آب و نیز سطح تروفیک سد آزاد را به روش تک‌پارمتری و چندپارامتری تعیین نمودند. اما به منظور انجام فعالیت‌های پایدار و مختلف از جمله آبزی‌پروری، تعیین عوامل زیستی و غیرزیستی موثر بر تغییر کیفیت آب و روابط بین آنها ضروری می‌باشد. لذا، در این مقاله اهداف مذکور در سد آزاد سنندج با تکیه بر نتایج آنالیز آماری چندمتغیره، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

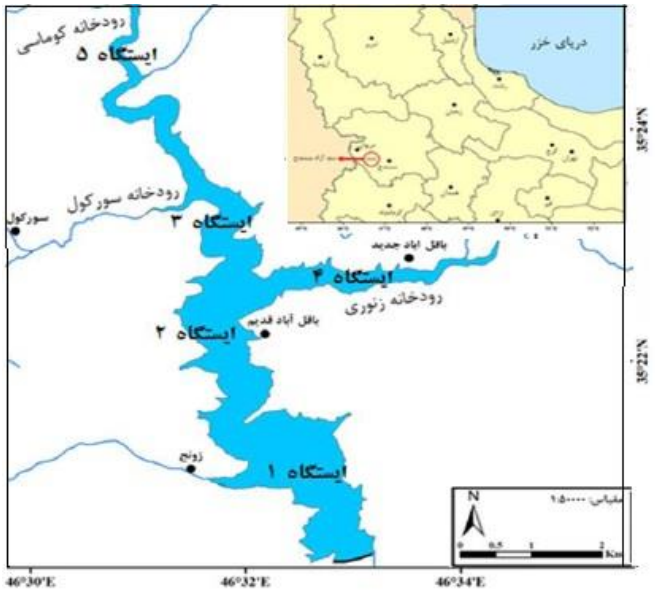
سد مخزنی آزاد در شمال‌غربی کشور ایران و محدوده شهرستان سنندج (استان کردستان) و در مختصات طول جغرافیایی ´۳۳°۴۶ و عرض شمالی ´۲۰°۵۵ قرار دارد. نمونه‌برداری با قایق موتوری ۴۸، در سال ۱۳۹۴ (ماه‌های تیر لغایت اسفند) و ۱۳۹۵ (اردیبهشت لغایت خرداد)، به صورت ماهانه، در ۵ ایستگاه و عموماً در ساعات ۹ صبح لغایت ۴ عصر صورت گرفت بطوریکه شامل سه ناحیه دریاچه‌ای (ایستگاه‌های ۱ و۲)، میانی (ایستگاه ۳) و رودخانه‌ای (ایستگاه‌های ۴ و ۵) گردید. بدین ترتیب، ایستگاه‌های ۱ الی ۳ در ناحیه باز[1] و ایستگاه‌های ۴ و ۵ در ناحیه کناری[2] دریاچه سد قرار داشتند (شکل ۱). بر اساس مقادیر بارش و آزمون خوشه‌ای، فصل بارندگی در منطقه مورد مطالعه از ماه آبان شروع شد و تا ماه اردیبهشت ادامه یافت (مخلوق و همکاران، ۱۳۹۶).

نمونه‌برداری از لایه سطحی آب در تمام ایستگاه‌ها (۱ الی ۵) انجام شد. تفاوت در موقعیت مکانی ایستگاه‌های باز و نیز تغییرات زمانی ارتفاع آب در سد، سبب تفاوت در عمق ستون آب بخصوص در ایستگاه‌های منطقه باز شد. لذا، نمونه‌برداری ستونی در ایستگاه‌های باز بر اساس ارتفاع آب در فواصل تقریباً مساوی از سطح تا نزدیک کف 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.

[1] Limnetic zone
[2] Littoral zone

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در سد آزاد سنندج (سال‌های ۹۵-۱۳۹۴)

Figure 1: Map of sampling stations in Sanandaj Azad dam (2015-2016)

تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی اکسیژن محلول (روش وینکلر)، اکسیژن خواهی بیولوژیک (روش وینکلر)، اکسیژن خواهی شیمیایی (رفلاکس بسته)، فسفر معدنی (روش آمونیم مولیبدات و اسیداسکوربیک)، ازت نیتراتی (روش ستون کاهشی کادمیوم)، کلروفیل-آ (روش استخراج با حلال استون)، کدورت (AQUALYTIC AL450T-IR) در آزمایشگاه، دمای آب (ترمومتر)، pH (WTW320)، EC (WTW 3110) و شفافیت (دستگاه شی سی دیسک) در محل نمونه‌برداری صورت پذیرفت. تعداد کل میکروب، کل کلیفرم، کلیفرم مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی در لایه سطحی آب، مورد ارزیابی قرارگرفت (استانداردهای ۱۰۱۱، ۳۷۵۹ و ۳۶۱۹ APHA, 2005;). کیفیت آب بر اساس مقادیر شاخص سطح تروفیک کارلسون (TSI)[1] و در ۴ گروه عالی (<۴۰)، خوب (۴۰-۵۰)، متوسط (۵۰-۷۰) و بسیار بد (>۷۰) طبقه‌بندی شد (Carlson, 1977). سطح تروفیک آب در هر یک از گروه‌های مذکور بترتیب اولیگوتروف، مزوتروف، یوتروف و هایپریوتروف بیان شد (Saghi *et al.*, 2015).

محاسبه شاخص کیفیت آب سطحی ایران (IRWQIs) در رابطه ۱ بر اساس پارامترهای نیترات، آمونیوم، فسفات، درصد اشباع اکسیژن، pH، EC، سختی کل، BOD5، COD و تعداد کلیفرم مدفوعی صورت می‌گیرد (سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۹۵)، https://www.doe.ir).

$$WQI=[i\ BOD5^{0.117} \times i\ Nitrate^{0.108} \times i\ \%\ saturated\ O2^{0.097} \times i\ EC^{0.096} \times i\ COD^{0.093} \times i\ Phosphate^{0.087} \times i\ pH^{0.059} \times i\ F.Coli.^{0.14}]$$

رابطه ۱)

داده‌ها بر اساس یکی از فرایندهای لگاریتم طبیعی رتبه بندی انتقال داده شد و سپس با رسم نمودار Q-Q و آزمون شاپیرو-ویلک نرمال بودن آن تایید گردید (Siapatis *et al.*, 2008). برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون‌های پارامتریک (ANOVA) بر داده‌های نرمال شده، استفاده گردید. آزمون همبستگی[2] و آزمون گام به

[1] Trophc State Index

[2] Pearson correlation

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

گام[1] برای تعیین ارتباط بین پارامترها و شاخص‌های مختلف استفاده گردید. علاوه بر آنالیز واریانس یک متغیره[2] از روش ریاضی برای تقلیل داده‌ها آنالیز چند متغیره)[3]، آزمون مولفه اصلی[4](PCA) انجام شد. همچنین آزمون‌های پیش نیاز PCA [آزمون کیزرمایر (KMO)] برای تعیین شایستگی داده‌ها و آزمون بارتلت[5] برای ارزشیابی وضعیت ماتریس همبستگی بین متغیرها صورت گرفت (غیاثوند، ۱۳۸۷).

نتایج

بررسی افقی در لایه سطحی از ایستگاه‌های ۱ الی ۵ و بررسی در ستون عمودی آب در ایستگاه‌های ۱ الی ۳ صورت گرفت. در جدول ۱ تغییرات پارامترهای مورد مطالعه را از نظر دوره‌های بارندگی و نیز مناطق (باز و کناری) در سد آزاد ارائه شده است. پارامترهای درجه حرارت، عمق شفافیت در فصل غیربارندگی حدود دو برابر فصل بارندگی بود. میزان کلروفیل-آ در فصل بارندگی تقریباً ۹ برابر فصل غیر بارندگی بدست آمد. بررسی آماری نشان داد که بجز پارامترهای pH، فسفر، نیترات و آمونیوم، سایر پارامترها دارای اختلاف معنی‌دار بین فصول بارندگی و غیر بارندگی بودند (T-test, p<۰/۰۵) اما عمده پارامترها (بجز شفافیت) اختلاف معنی‌دار نشان ندادند (T-test, p>۰/۰۵).

در بررسی افقی، TSI در منطقه کناری بیش از منطقه باز و در ماههای غیر بارندگی بیش از ماه‌های بارندگی بدست آمد (جدول ۲). الگوی تغییرات TSI کل بنحوی بود که در ماه‌های بارندگی و منطقه باز، معرف مزوتروف تا یوتروف و در ماه‌های غیربارندگی، معرف هایپرتروف بود. میانگین ماهانه TSI (۴۹) کل بیانگر وضعیت مزوتروف در مخزن سد بود.

در لایه‌های زیرین عمده نمونه‌ها در فصول بهار و پاییز (بیش از ۶۰ درصد) بیانگر وضعیت اولیگوتروف بودند (جدول ۳). در فصل بهار هیچیک از نمونه‌ها در گروه یوتروف طبقه‌بندی نشد. اما از تابستان بتدریج بر درصد نمونه‌های دارای وضعیت یوتروف افزوده شد تا آنکه در زمستان به حداکثر (۴۶ درصد) رسید. در این لایه‌ها، بیشترین درصد نمونه‌های شاخص اولیگوتروف (۵۳ درصد) در ایستگاه ۱ و یوتروف (۴۱درصد) در ایستگاه ۳ ثبت شد. تغییرات درصد هر یک از سطوح تروفیک در بین لایه‌ها به صورتی بود که تا لایه ۲۰ متر، درصد نمونه‌های اولیگوتروف (۳۵ درصد) از سایر سطوح تروفیک بیشتر بود. در لایه‌های ۸۰-۲۰ متر، بتدریج بر درصد نمونه‌های دارای وضعیت مزوتروف و یوتروف افزوده شد، اما در لایه‌های بیش از ۸۰ متر مجدداً نمونه‌های دارای وضعیت اولیگوتروف، بیشترین درصد را بدست آورد (شکل۲).

کیفیت آب بر اساس ماه‌های بارندگی و غیربارندگی و نیز مناطق باز و کناری بیانگر آن بود که بجز در ماه‌های بهمن، فروردین و اردیبهشت که دارای کیفیت خوب بود، در سایر موارد کیفیت آب بسیار خوب بدست آمد (شکل ۲). تقریباً ۵۹، ۴۰ و ۱ درصد از کل داده‌های مقادیر شاخص کیفیت آب ایران بترتیب در کلاس‌های ۱ (بسیارخوب)، ۲ (خوب) و ۳ (نسبتاً خوب) قرار داشتند. بیشترین تغییرات این شاخص در لایه‌های زیرین در آبان ماه ثبت شد (شکل ۲).

میانگین هندسی کل کلیفرم (۲۶ CFU/100ml) تقریباً شامل ۳ درصد از تعداد کل میکروب (CFU/100ml ۷۸۱) بود (جدول ۴). در ماه‌های غیر بارندگی، نسبت درصد تعداد کل میکروب به کل کلیفرم، ۳ برابر ماه‌های بارندگی بود (ANOVA، p<۰/۰۵) ولی از نظر مکانی، نسبت درصد کلیفرم به میکروب کل، در منطقه کناری و باز چندان اختلاف نداشتند (ANOVA، p>۰/۰۵). طی مطالعه تعداد استرپتوکوک مدفوعی و کلیفرم مدفوعی در محیط‌های کشت کمتر از ۰/۱ CFU/100ml بودند.

طبق آزمون رگراسیون گام به گام، غلظت اکسیژن محلول در مناطق کناری و باز بترتیب با ضریب بتای ۰/۶۷- و ۰/۶۴- به دمای آب وابسته بود ولی با دمای هوا ارتباط معنی‌داری نشان نداد.

[1] Stepwise regrassion
[2] Monovariate
[3] Multivariate
[4] Principal Component Analysis
[5] Bartlett's test

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

جدول ۱: تغییرات میانگین (±خطای معیار) پارامترهای مورد مطالعه در سد آزاد سنندج (سال‌های ۹۵-۱۳۹۴)

Table 1: The mean (±SE) of parameters in Sanandaj Azad dam (2015-2016).

پارامترهای مورد مطالعه	دوره		منطقه	
	بارندگی	غیر بارندگی	باز	کناری
دمای آب (ºC)	۱۰/۳۲±۰/۸۱	۲۱/۷۹±۰/۸۰	۱۵/۸۸±۱/۲۴	۱۶/۳۲±۱/۴۵
کدورت (NTU)	۶/۷۴±۰/۸۳	۴/۰۱±۰/۲۹	۴/۵۶±۰/۴۷	۶/۵۹±۰/۹۰
pH (unit)	۷/۹۰±۰/۰۷	۷/۸۹±۰/۰۶	۷/۸۷±۰/۰۶	۷/۹۴±۰/۰۸
DO%	۱۱۷±۴	۱۱۱±۲	۱۱۰±۳	۱۲۰±۵
BOD5 (mg/l)	۲/۴۷±۱/۷۱	۱/۲۵±۰/۷۰	۱/۹۶±۰/۲۵	۲/۵۰±۰/۲۹
DO (mg/l)	۱۲/۰۷±۲/۲۲	۹/۶۶±۱/۱۷	۱۱/۰۶±۰/۳۷	۱۲/۰۴±۰/۶۰
COD (mg/l)	۶/۵۷±۰/۹۷	۱۰/۲۰±۱/۵۹	۷/۲۴±۱/۱۵	۹/۶۸±۱/۵۰
NO^{3-}/N (mg/l)	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۲۰±۰/۰۲	۰/۲۱±۰/۰۱	۰/۲۲±۰/۰۲
$PO4^{3-}$/P (mg/l)	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰	۰/۰۲±۰/۰۰
EC (µs/cm)	۳۱۵±۷	۲۶۵±۴	۳۱۵±۷	۲۶۵±۴
شفافیت (m)	۱/۵۳±۰/۱۷	۲/۴۰±۰/۱۸	۱/۵۳±۰/۱۷	۲/۴۰±۰/۱۸
Chl-a (mg/m^3)	۸/۵۶±۱/۰۸	۱/۰۰±۰/۱۳	۸/۵۶±۱/۰۸	۱/۰۰±۰/۱۳

جدول ۲: مقادیر اجزاء شاخص تروفیک (کارلسون) در دوره‌ها و مناطق مختلف دریاچه سد آزاد سنندج (سال‌های ۹۵-۱۳۹۴)

Table 2: The variation of TSI fractions and total TSI in different stations periods and zons in Sanandaj Azad dam (2015-2016)

اجزاء	ماه		منطقه	
	بارندگی	غیر بارندگی	باز	کناری
شاخص سطح تروفیک مواد مغذی	۶۲	۱۴۱	۶۸	۹۱
شاخص سطح تروفیک کلروفیل-آ	۴۸	۱۷	۴۲	۳۷
شاخص سطح تروفیک شفافیت	۴۲	۳۶	۵۱	۳۴
شاخص سطح تروفیک کل	**۵۱**	**۶۴**	**۵۴**	**۵۴**

نتایج این آزمون نیز نشان داد که از میان سه پارامتر محیطی (SDD, TSS, Turbidity)، شفافیت آب با کلروفیل-آ همبستگی معنی‌دار منفی داشت و ضریب بتا برابر ۰/۳۶- با مجذور ضریب همبستگی ۰/۱۳ بدست آمد. در آزمون رگراسیون گام به گام، ضریب تاثیر سطح تروفیک شاخص کلروفیل و عمق شفافیت بر شاخص تروفیک کل بیش از شاخص تروفیک مواد مغذی بود (رابطه ۲):

TSI (total) = (-0.014+ 0.24 TSI (nutrients))+(0.69 TSI (Chl-a))+(0.62TSI (SDD)) رابطه ۲)

نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین کلروفیل-آ و BOD معنی‌دار و مثبت بود (r=۰/۴۳) ولی بین شمارش میکروبی و BOD همبستگی معنی‌دار نبود. در جدول ۵ نتایج آنالیز مولفه اصلی (PCA) پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب ارائه شده است. بر اساس نتایج این آنالیز، تغییرات شاخص KMO برابر ۰/۵۱ بود و آزمون بارتلت (Barttlet) اختلاف معنی‌دار نشان داد (P<۰/۰۵). در PCA بر اساس منحنی سنگریزه‌ای[1] و مقدار ویژه[2] بیشتر از واحد، ۴ مولفه اصلی با مجموع واریانس ۷۵/۰ درصد از کل واریانس قرار گرفتند.

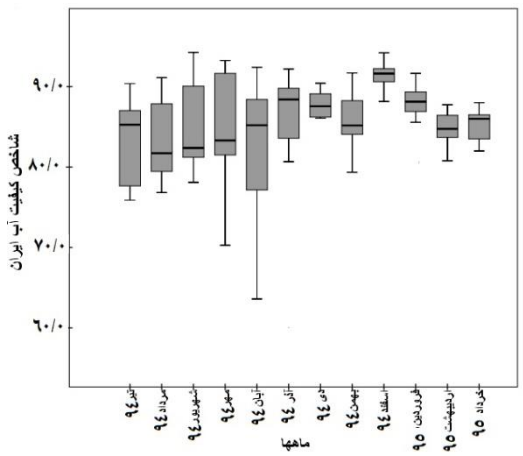
[1] Scree plot
[2] Eigenvalue

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

جدول ۳: تغییرات درصد پراکندگی مقادیر شاخص سطح تروفیک در لایه زیر سطحی در دریاچه سد آزاد سنندج (سال‌های ۹۵-۱۳۹۴)

Table 3: The variation of TSI in subsurface layers in Sanandaj Azad dam (2015-2016).

	شاخص سطح تروفیک آب (درصد)		
	اولیگوتروف	مزوتروف	یوتروف
ایستگاه			
۱	۵۱	۳۷	۱۲
۲	۴۵	۳۳	۲۲
۳	۲۴	۳۵	۴۱
فصل			
بهار	۷۱	۲۹	-
تابستان	۴۳	۵۰	۷
پاییز	۶۲	۱۷	۲۱
زمستان	۴	۵۰	۴۶
لایه (متر)			
۲۰-۲	۵۳	۳۹	۸
۴۰-۲۰	۳۲	۳۶	۳۲
۸۰-۴۰	۳۷	۲۶	۳۷
بیش از ۸۰	۴۲	۲۹	۲۹



شکل۲: نمودار جعبه‌ای تغییرات ماهانه شاخص کیفیت آب ایران در دریاچه سد آزاد سنندج (سال‌های ۹۵-۱۳۹۴)

Figure 2: The Box Plot of monthly variation of IRWQI in Sanandaj Azad dam (2015-2016).

جدول ۴: تغییرات زمانی میانگین هندسی پارامترهای میکروبی در سد آزاد سنندج (سال‌های ۹۵-۱۳۹۴)

Table 4: The temporal variations of geometric mean of microbial parameters in Sanandaj Azad dam (2015-2016)

پارامترهای میکروبی	مقطع زمانی (ماه)		مقطع مکانی (منطقه)	
	بارندگی	غیر بارندگی	باز	کناری
کل میکروب	۱۴۸۴	۳۱۸	۹۲۲	۶۰۹
کل کلیفرم	۳۳	۱۹	۲۷	۲۵
نسبت درصدکل کلیفرم به کل میکروب	۲	۶	۳	۴

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

جدول۵: آنالیز آماری چند متغیره مولفه اصلی برای پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب در منطقه باز سد آزاد سنندج (۹۵-۱۳۹۴)

Table 5: The Principal Component Analysis on water quality parameters and indices at limnotic zone in Sanandaj Azad dam (2015-2016).

شاخص‌های کیفیت آب	مولفه ها			
	PC1 (۲۴/۳٪)	PC2 (۱۸/۵٪)	PC3 (۱۷/۶٪)	PC4 (۱۴/۶٪)
مقدار ویژه	۲/۶۷	۲/۰۴	۱/۹۳	۱/۶۱
واریانس تجمعی	۲۴/۳	۴۲/۸	۶۰/۴	۷۵/۰
کلروفیل-آ	۰/۸۷	-	-	-
درصد اشباعیت اکسیژن	۰/۷۳	-	-	-
اکسیژن خواهی بیولوژیک	۰/۴۸	۰/۴۵	-	۰/۴۸
اکسیژن خواهی شیمیایی	-۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۶۲	-
pH	۰/۳۰	-	۰/۸۲	-
هدایت الکتریکی	-	-	-۰/۸۶	-
فسفر معدنی	-	۰/۷۷	-	-۰/۴۲
ازت نیتراتی	-	-	-	۰/۹۳
شاخص کیفیت آب ایران	-	-۰/۸۸	-	-
شاخص سطح تروفیک	۰/۸۵		-	-
کلیفرم کل	۰/۳۷	-۰/۴۷	-	-

مولفه یک (PC1) ۲۴/۳ درصد از کل واریانس را شامل گردید. در این مولفه کلروفیل-آ، درصد اشباعیت، اکسیژن خواهی بیولوژیک و شاخص تروفیک مشارکت داشتند. مولفه دو (PC2) با ۱۸/۵ درصد از کل واریانس، پارامترهای فسفر معدنی، کلیفرم کل و شاخص کیفیت آب مشارکت داشتند. در مولفه‌های سه و چهار با واریانس ۱۷/۶ و ۱۴/۶ درصد بترتیب شامل (اکسیژن خواهی شیمیایی، pH ، هدایت الکتریکی) و (اکسیژن خواهی بیولوژیک، فسفر و نیترات معدنی) بودند (جدول ۵).

بحث

در دریاچه سد آزاد میانگین غلظت کلروفیل-آ در ماه‌های بارندگی چندین برابر ماه‌های غیربارندگی بدست آمد و بنظر
می‌رسد که در این دریاچه افزایش مواد مغذی هنگام شکست لایه‌بندی حرارتی و اختلاط آب در پاییز و زمستان نقش مهمی در افزایش غلظت کلروفیل-آ داشته است (Felip *et al.*, 2000). براساس آزمون رگراسیون گام به گام، نقش غلظت کلروفیل-آ در تغییرغلظت اکسیژن محلول (با ضریب بتای ۰/۶۱)، از سایر پارامترها بیشتر بوده بطوریکه طبق مجذور همبستگی (r^2)، ۳۷ درصد از غلظت اکسیژن محلول در سد آزاد متاثر از فرایند فتوسنتز بوده و مابقی (۶۳٪) آن از دمای آب، جریان هوا و تلاطم آب متاثر شده است. همچنین آزمون رگراسیون گام به گام نشان داد که ضریب همبستگی و مجذور بین دمای آب با غلظت اکسیژن بترتیب برابر ۰/۶۴ و ۰/۴۱ بوده بطوریکه نقش دمای آب در افزایش و کاهش غلظت اکسیژن برابر ۴۱ درصد بوده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در سد آزاد ۷۸ درصد غلظت اکسیژن محلول متاثر از فرآیند فتوسنتز و دمای آب بوده است. Sladecek (۱۹۷۳) محدوده تغییرات BOD و اکسیژن محلول را در طبقات مختلف کیفیت آب بر مبنای آلودگی با مواد آلی (ساپروبی) در اکوسیستم آبی ارائه نموده است (جدول ۶). مقایسه این پارامترها در سد آزاد با محدوده جدول ۶ نشان می‌دهد که آلودگی مواد آلی در سد آزاد در طبقه اولیگوساپروب قرار می‌گیرد.
مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیک (BOD) در منطقه باز دریاچه عمدتاً تحت تاثیر تجمعات میکروبی و تنفس (Resperation) جلبکی قرار دارد.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

جدول ۶: سطوح مختلف شاخص ساپروبی و مقادیر اکسیژن محلول و اکسیژن خواهی بیولوژیک (Sladecek, 1973)

Table 6: Classification of DO and BOD in different level of saproby index (Sladecek, 1973)

سطح	ساپروبی	DO (mg/l)	BOD5 (mg/l)
0	کاتاروبی (آب تمیز)	متغیر	۰
I	زنوساپروبی	>۸	۲<
II	اولیگوساپروبی	>۶	۵<
III	β-ساپروبی	>۴	۱۰<
IV	α-زنوساپروبی	>۲	۱۵<
V	پلی ساپروبی	>۰/۱	۱۰۰<
VI	ایزوساپروبی	۰	۶۰۰<

نتایج آزمون همبستگی بین کلروفیل-آ (شاخصی از زی‌توده جلبکی) و BOD معنی‌دار و مثبت بود (۰/۴۳ =r)، ولی بین شمارش میکروبی و BOD همبستگی معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که بخش عمده مواد آلی قابل تجزیه در منطقه باز این دریاچه بیش از اثرات ناشی از فاضلاب تصفیه نشده به جلبک‌ها (کلروفیل-آ) مربوط می‌باشد. لذا، علائم یوتریفیکاسیون در دریاچه بیش از علائم آلودگی با موادآلی (ساپروبی) مشهود می‌باشد (Klapwijk, 1988). این یافته با نتایج حاصل از آنالیز آماری چند متغیره مولفه اصلی (PCA) بر پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب (جدول ۵) نیز همسویی دارد. طبق نتایج ساپروبی، آلودگی با مواد آلی در سد آزاد بسیار اندک بود و همانطوریکه نتایج کشت میکروبی نیز نشان داد، رشد کلیفرم مدفوعی و آلودگی با ماده آلی (مدفوع تازه حیوانات خونگرم) کمتر از۰/۱CFU/100ml بود. طبق نتایج آزمون PCA، شاخص سطح تروفیک و غلظت کلروفیل-آ با جای‌گیری در مولفه اصلی اول مهمترین عوامل تاثیر گذار بر کیفیت آب سد بودند. در حالیکه شاخص کیفیت آب و پارامترهای آن (غلظت فسفر معدنی، BOD و کلیفرم) با قرار گرفتن در مولفه اصلی دوم، در رتبه های بعدی اهمیت جای داشتند. از بین پارامترهای محیطی موثر بر کیفیت آب، درصد اشباعیت اکسیژن محلول و پس از آن BOD در اولویت‌های نخست قرار دارند. شایان ذکر است که ارتباط معکوس بین کلیفرم و فسفر در آزمون PCA، احتمالاً از نوع غیر مستقیم می‌باشد. این بدان معناست که در این سد ممکن است که رقابت بین انواع گروه‌های میکربی، برای مثال بین کلیفرم‌ها با ازتو باکترها (باکتری‌های دارای توان تولید ازت معدنی از ازت آلی) و میکروارگانیسم‌های دارای توان معدنی کردن فسفر وجود داشته‌باشد. این امر سبب می‌گردد همراه با کاهش نقش کلیفرم در اکوسیستم (مولفه دوم و چهارم در PCA)، میکروارگانیسم‌های دارای توان تبدیل ازت و فسفر آلی به معدنی افزایش یابند که به صورت افزایش نیترات و فسفر معدنی (بترتیب در مولفه‌های سوم و چهارم در PCA) مشخص می‌گردد. این نتایج مشابه با یافته‌های Yotinov و همکاران (۲۰۱۳) است. آنها وجود ارتباط معنی‌دار و مثبت بین باکتری‌های هتروتروفیک و COD را هنگام کم اهمیت شدن سایر میکرب‌ها در اکوسیستم و جایگزینی آنها با میکروارگانیسم‌های دارای توان معدنی سازی (تبدیل فسفر و ازت آلی به معدنی) مربوط دانستند.

نتایج رگراسیون گام به گام در مطالعه حاضر نشان داد که در سد آزاد، ضریب تاثیرگذاری مقادیر TSI مبتنی بر کلروفیل-آ و عمق شفافیت بر TSI کل حدود ۳ برابر ضریب تاثیرگذاری TSI مواد مغذی است. طبق نتایج آزمون رگراسیون گام به گام، شاخص تروفیک بر اساس پارامترهای کلروفیل-آ و عمق شفافیت دارای ضرایب تقریباً مشابه و بالاتر از ضریب شاخص تروفیک بر اساس

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

فسفر کل بودند. این نتایج بیانگر اکوسیستم با محدودیت فسفری است (Rakocevis-Nedovic and Hollert, 2005). این سد در فصول پاییز، زمستان و بهار دارای سیستم محدودیت فسفری و در فصل تابستان عمدتاً به سمت محدودیت هر دو ماده مغذی (نیتروژن و فسفر) تمایل داشته است. بنابراین، تغییرات فسفر نقش مهمی در تعیین وضعیت تروفیک این اکوسیستم (بخصوص در آذر، ماه‌های فصل زمستان، فروردین و اردیبهشت) دارد. لذا، کنترل میزان یا ورود مواد مغذی (از قبیل غذادهی مصنوعی به ماهیان پرورشی یا فعالیت‌های آنتروپوژنیک) بخصوص از اواخر آبان لغایت خرداد ماه از نکات مهم در مدیریت آتی کیفیت دریاچه پشت سد به منظور آمادگی در برابر بروز یوتریفیکاسیون، شکوفایی جلبکی و کیفیت آب بشمار می‌آید بخصوص فقدان لایه‌بندی در ستون آب در ماه‌های آذر لغایت خرداد ماه، امکان دسترسی بیشتر به مواد مغذی برای گونه‌های مختلف جلبکی فراهم می‌باشد. تعداد کم (کمتر از۰/۱ CFU/100ml) استرپتوکوک و کلیفرم مدفوعی در تمامی نمونه‌ها نشانه خوبی برای کیفیت مناسب آب از جهت عدم آلودگی به میکروب‌های مدفوعی (مقاوم و قدیمی) و (تازه) محسوب می‌شود (WHO, 1996). طبق نتایج میانگین هندسی تعداد کل میکرب و کل کلیفرم در ماه‌های بارندگی بیش از غیربارندگی بود. Hong و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که هنگام افزایش شدت جریان آب، فرآیندهای مربوط به خودپالایی از جمله حذف شدن پاتوژن‌ها فرصت زمانی مناسب را در اختیار ندارند، ضمن آنکه در این موارد شتشوی خاک نیز افزایش می‌یابد. این شرایط می‌تواند زمینه را برای افزایش باکتری فراهم کند. بهرحال میزان ماند آب در سد آزاد بیش از ۲۰۰ روز بود و فرصت کافی برای خودپالایی سد و حذف میکربی وجود داشت (Yotinov *et al.*, 2013). در مورد pH بنظر می‌رسد که افزایش آن با افزایش میکروبی هنگامی که کلیفرم در اکوسیستم دارای نقش موثر است (مولفه اول PCA) و نیز در سایر موارد، رابطه مستقیم دارد.

نتایج کیفیت آب براساس شاخص‌های سطح تروفیک و شاخص کیفیت آب، الزاماً مشابه نمی‌شود. در واقع، مفهوم هر یک از تعاریف عالی، خوب و .. در دو شاخص بر اساس نوع کاربری آن متفاوت است. برای مثال، آب با کیفیت عالی بر اساس شاخص کارلسون (اولیگوتروف) معمولاً دارای میزان کلروفیل-آ کم است که از ترکیب و تنوع گونه‌ای کم فیتوپلانکتون برخوردار است. لذا، چنین منبع آبی پتانسیل کمی برای ماهیان دارای تغذیه پلانکتونی و گرمابی خواهد داشت. در وضعیت یوتروف (بخصوص در سطح بالای آن معادل شاخص سطح تروفیک ۶۰-۷۰)، احتمال هدایت اکوسیستم به سوی کاهش و فقدان اکسیژن، شکوفایی جلبکی (اعم از مضر و سمی) افزایش می‌یابد (Giovanardi *et al.*, 2002) بطوریکه در این سطح تروفی احتمالاً فقط قابلیت پرورش ماهیان بسیار مقاوم را دارد (Carlson and Simpson, 1996). درصد وقوع هر یک از سطوح [اولیگوتروف (۳۰ درصد)، مزوتروف (۲۵ درصد)، یوتروف (۳۰ درصد) و هایپرتروف (۱۵ درصد)] نشان می‌دهد که این دریاچه تنها در ۳۰ درصد از زمان طی سال برای پرورش ماهیان سالمونیده مناسب است که بخشی از آن نیز به دلیل مصادف بودن با دمای بالا حذف می‌شود. میانگین شاخص تروفیک در کل سال (۴۹) نیز بیانگر شرایط هشدار برای آزاد ماهیان هست. بنابراین، هرچند براساس شاخص WQI، دریاچه سد آزاد برای پرورش ماهیان سالمونیده مناسب است، اما از دیدگاه شاخص تغذیه‌گرایی شرایط چندان مطلوب نمی‌باشد. در ضمن، فرآیند آبزی‌پروری نیز عاملی بر افزایش سطح تروفیک خواهد بود (Ling *et al.*, 2018).

در مجموع، با توجه به تغییرات زمانی و مکانی شاخص کیفیت آب لازم است که عمق لایه در زمان بهره‌برداری مورد توجه قرار گیرد. این مطالعه ضرورت تعیین میزان عوامل موثر و ایجاد مدل‌های کمی برای پیش بینی تغییرات در سد را به منظور حفظ کیفیت آب نشان داد.

منابع

استاندارد ۱۰۱۱، ۱۳۸۶. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ویژگی‌های میکروبیولوژی آب.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

Zums.ac.ir/files/tarom-behdasht/pages/…/standard1011_ab.doc

استاندارد ۳۶۱۹، ۱۳۹۰. راهنمای پایش آلودگی میکروبی آبهای ساحلی، شناگاهی و مناطق تفریحی دریایی سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، معاونت محیط زیست دریایی، مرکز سلامت محیط و کار، ۱۵ صفحه.

استاندارد ۳۷۵۹، ۱۳۷۵. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. جستجو و شمارش کلیفرم ها در آب به روش چند لوله ای. ISIRI 3759.html.

سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۹۵. استاندارد کیفیت آب‌های ایران. معاونت محیط زیست انسانی دفتر آب وخاک. ۱۴ صفحه، WWW.doe.ir/portal/file/?878240/استاندارد - کیفیت-آبهای-ایران.pdf.

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.

غیاثوند، ا.، ۱۳۸۷. کاربرد آمارو نرم افزارSPSS در تحلیل داده‌ها. نشر لویه، تهران. ۳۲۵ صفحه.

محسن‌پور آذری، ع. ۱۳۹۴۰. بررسی لیمنولوژیکی دریاچه سد بوکان. مرکز تحقیقات آرتمیای کشور. ۸۵ صفحه.

مخلوق، آ.، نصراله‌زاده ساروی، ح.، پرافکنده، ف.، فضلی، ح.، میرزایی، ر.، حسین‌پور، ح.، کیهان‌ثانی، ع.ر. و دوستدار، م.، ۱۳۹۶. پایش کیفیت آب و پدیده تغذیه‌گرایی دریاچه سد آزاد سنندج با استفاده از شاخص کیفیت آب ایران و شاخص غنی شدگی کارلسون، مجله علمی شیلات ایران، ۲۶ (۲): ۶۹-۷۸.

نصراله‌زاده ساروی، ح.، مخلوق، آ.، واحدی، ف. و رضایی، م. ۱۳۹۴. بررسی روابط پارامترهای اکولوژیکی و تعیین شاخص‌های کیفیت آب سد مخزنی شهید رجایی (مازندران-ساری)، مجله علمی شیلات ایران. ۲۴(۴): ۱۷۹-۱۹۴.

نصراله‌زاده ساروی، ح.، پرافکنده، ف.، فضلی، ح.، میرزایی، ر.، حسین‌پور، ح.، افرایی،م.ع.، نصراله‌تبار، ع.، مخلوق، آ. و واحدی، ن. a۱۳۹۶. مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در دریاچه پشت سد آزاد سنندج به منظور فعالیت‌های شیلاتی. مجله علمی شیلات ایران، ۲۵ (۵): ۱۴۳-۱۵۷.

نصراله‌زاده ساروی، ح.، رامین، م.، واحدی ف.، مخلوق، آ. و دوستدار، م. b۱۳۹۶. تعیین پارامترهای موثر بر رودخانه ارس به روش آزمون مولفه اصلی. مجله آبزیان دریای خزر، ۲ (۳):۱-۱۰.

APHA (American Public Health Association), 2005. Standard method for examination of water and wastewater. American public health association publisher, 18thedition, Washington, USA.1113P.

Carlson, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2):361–369. DOI: jstor.org/stable/2834910.

Carlson, R.E. and Simpson, J., 1996. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96P.

Felip, M. and Catalan, J., 2000. The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima, Journal of Plankton Research, 22(1):91-105. DOI: org/10.1093/plankt/22.1.91.

Giovanardi, F., Cicero, A.M., Ferrari, C.R., Magaletti, E., Romano, E. and Rinaldi, A., 2002. Interrelationships between trophic index (TRIX) and productivity indicators in Italian marine–coastal waters: a tool for

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

water quality evaluation and management. In: Brebia, C.A. (Ed.), Environment Problems in Coastal Regions IV. Wit-Press, Southampton, Boston, Greece, pp. 380–389 (Final Proceedings of the International Conference, Rhodes Island).

Hong, H., Qiu, J. and Liang, Y. 2010. Environmental factors influencing the distribution of total and fecal coliform bacteria in six water storage reservoirs in the Pearl River Delta Region, China. *Journal of Environmental Sciences* (China), 22(5):663–668. PMID: 20608500.

Klapwijk, P.S., 1988. Eutrophication of surface waters in the Dutch Polder Landscape. Hoogheemraadschap Van Rijnland Leiden Publisher, Holland, 223P.

Ling, T.Y., Tan, A.C., Nyanti, L., Sim, S.F., Grinang, J, Lee, K.S.P. and Ganyai, T., 2018. Seasonal variations in water quality of a tropical reservoir: considerations for cage aquaculture expansion. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society*, 11(2):333-347. ISSN 1844-9166.

Rakocevis-Nedovic, J. and Hollert, H. 2005. Phytoplankton Community and Chlorophyll a as Trophic State Indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan). *Environmental Science & Pollution Research*, 12:146-152. DOI:org/10.1065/espr2005.04.

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:org/10.1007/s13201-014-0161-2.

Siapatis, A., Giannoulaki, M., Valavanis, V.D., Palialexis, A., Schismenou, E., Machias, A. and Somarakis, S., 2008. Modelling potential habitat of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Aegean Sea. *Hydrobiologia*, 612:281–295. DOI: 10.1007/s10750-008-9497-7.

Sladecek, V., 1979. The future of the saprobity system. *Hydrobiologia*, 25:518-537. DOI: 10.1007/BF00838511.

Taherioun, M., Karamous, M. and Baghvand, A., 2010. Development of an entropy- based fuzzy eutrophication index for reservoir water quality evaluation. *Iranian journal of environmental health science engineering*, 7(1):1-14.

WHO, 1996. Guidelines for Drinking-Water Quality, Health Criteria and Other Supporting Information. Geneva, 2nd ed., Italy. 42pp.

Yotinov, I., Lincheva, S., Kenderov, L., Schineider, I. and Topalova, Y., 2013. Evaluation of the self-purification in the waters of the micro-dams in the small hydro electric power plants (HEPPs) Lakatnik and Svrazhen: potential of the bioalgorithms. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (2):135–138.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]

Study on relationship between limnological parameters and water quality indices at Sanandaj Azad Dam due to fisheries activities

Nasrollahzadeh Saravi H.[1]*; Makhlough A.[1]; Yaghobzadeh Z.[1]; Safari R.[1]; Hosseinpour M.[2]

*hnsaravi@gmail.com

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

2- Expert of Aquaculture, Jihad-Agriculture of Kurdistan Organization, Fisheries Affair, Iran

Abstract

Determining the relationship between biotic and abiotic factors and their effects on water quality and eutrophication plays important roles in managing and optimizing the efficiency of dams. Therefore, in the present article, the above relations with emphasis on the results of one-way and multivariate statistical analysis were investigated in Sanandaj Azad dam. Monthly Sampling was carried out in 5 stations in 2015-2016. All environmental parameters (Water temp.,Secchi disk, Turbidity, pH, DO, DO%, BOD5, COD, EC, NO3-, PO43-, Chl-a) and microbs (Total counts, Total coliform, Fecal coliform and Fecal Streptococcus) were analyzed based on standard methods. (According to the results, low numbers (less than 0.1 CFU / 100 ml), of streptococcus and fecal coliform in all samples were a good sighn of fine water quality in terms of non-contamination with fecal (resistant and old) and (fresh) microbes. In the step wise linear regression test, the coefficient effect of trophic state, based on chlorophyll-a and transparency depth on the total trophic index was obtained more than the nutrients trophic index. According to the principal component analysis (PCA), the trophic state index and chlorophyll-a concentration (in the first component) were the most important factors on quality of the water. While the water quality index and its parameters (inorganic phosphorus, BOD5 and coliform) were included in the second component. Among the environmental parameters affecting the quality of water, the percentage of saturated dissolved oxygen and then BOD_5 were in the first priority. As a conclusion, according to the the trophic state index, this dam is suitable for the development of rough fish (cyprinidae). In other words, according to the WQI index, the Azad Dam is suitable for farming of salmonids fish, but based on trophic stae index, condition is not very favorable.

Keywords: Water quality, Trophic index, Fishery activity, Azad Dam- Sanandaj, Kurdistan

*Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.6.4]