مقاله علمی – پژوهشی:

ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد مارون با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI)

فرحناز کیان‌ارثی*[۱]، محسن مزرعاوی[۱]، مینا آهنگرزاده[۱]، حسین هوشمند[۱]، سید عبدالصاحب مرتضوی‌زاده[۱]، فاطمه حکمت‌پور[۱]، سمیرا ناظم‌رعایا[۱]، جمیل بنی‌طرفی‌زادگان[۱]، خدیجه صانعی دهکردی[۲]، سمانه عبدویس[۲]

*farahnaz.kianersi@gmail.com

۱-پژوهشکده آبزی‌پروری جنوب کشور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، اهواز، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۲- مدیریت نوآوری، فناوری و پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

نظارت و ارزیابی مستمر کیفیت آبهای سطحی برای حفاظت از اکوسیستم جهانی و سلامت انسان ضروری است. یکی از حیاتی‌ترین راه‌ها برای تخمین کیفیت آب، روش سنجش شاخص کیفیت آب (WQI) است. به منظور بررسی کیفیت آب دریاچه سد مارون واقع در استان خوزستان (۱۵ کیلومتری شهر بهبهان)، تعداد پنج ایستگاه نمونه‌برداری در ورودی، خروجی و درون دریاچه انتخاب شد. نمونه‌برداری جهت سنجش شاخص دمای آب (با فواصل ۵ متر به ۵ متر از سطح تا کف دریاچه) و سایر شاخص‌ها (اکسیژن محلول، pH، اکسیژن خواهی بیوشیمایی، فسفر کل، نیتروژن کل) به صورت ماهانه و از سطح تا عمق ۶۰ متری (با فواصل ۲۰ متر به ۲۰ متر) از مهر ماه سال ۱۳۹۹ لغایت شهریور ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد و در نهایت شاخص WQI با استفاده از فراسنجه‌های کیفی محاسبه گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روند تغییرات شاخص WQI در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری در ایستگاه‌های مختلف در طبقه کیفی متوسط الی نسبتاً خوب بوده است و دامنه تغییرات این شاخص از ۴۹ در خرداد ماه لغایت ۶۶ در مهر ماه محاسبه شد. اندازه‌گیری عمقی دما نشان داد که در دریاچه پشت سد لایه‌بندی حرارتی در فصل بهار (۲۰-۰ متری)، تابستان و پاییز (۰-۴۰ متری) ایجاد شده است، ولی در زمستان این اختلاف بین سطح و عمق وجود ندارد. با توجه به ارزیابی مقادیر شاخص WQI آب مخزن جهت انواع مصارف شرب حیوانات اهلی، اهداف کشاورزی و پرورش گونه مقاوم ماهیان، مناسب است.

واژگان کلیدی: دریاچه پشت سد مارون، کلی‌فرم، شاخص WQI، لایه‌بندی حرارتی

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

کیفیت آبهای سطحی به دلیل فعالیت‌های طبیعی و انسانی مدت‌هاست که رو به وخامت نهاده است. چندین عامل انسانی و طبیعی بر کیفیت آبهای سطحی تأثیر می‌گذارند (Akhtar *et al.*, 2021). فعالیت‌های انسانی (تخلیه آلاینده‌ها به صورت آلودگی منابع نقطه‌ای، آلودگی منابع غیرنقطه‌ای یا تصفیه‌های فاضلاب)، می‌توانند بر کمیت و کیفیت آبهای سطحی تأثیر بگذارند (Kutlu *et al.*, 2020). از عوامل طبیعی که بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند می‌توان به عوامل هیدرولوژیک، جوی، اقلیمی، توپوگرافی و سنگ‌شناسی اشاره کرد (Shil *et al.*, 2019). از دیگر عواملی طبیعی که بر کیفیت آب اثر دارد، لایه‌بندی حرارتی مخازن هستند که در طول گردش بهاره و پاییزی باعث پراکنده شدن مواد مغذی از زیرلایه[1] به لایه سطحی[2] و ایجاد پدیده شکوفایی جلبک‌ها می‌شود (Firoozi *et al.*, 2017).

در سال‌های اخیر، کشورهای در حال توسعه و حتی کشورهای توسعه یافته با مشکلات قابل‌توجهی در حفاظت از کیفیت آب مواجه شده‌اند. شاخص‌های کیفی آب روش‌هایی هستند که در مدیریت کیفی آب، می‌توان از آنها با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات خام، علاوه بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان بررسی کرد و مناطقی که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید هستند، مشخص و مدیریت نمود (dos Santos Simoes *et al.*, 2008; Sadeghi *et al.*, 2015). مدیریت کیفیت آب مستلزم جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌های زیادی از کیفیت آب بوده و مدل شاخص کیفیت آب (WQI)[3] یکی از این ابزارهای مدیریت کیفیت آب است و جهت طبقه‌بندی، مدل‌سازی یا تفسیر منابع آبی به‌کار می‌رود. شاخص کیفیت آب یک روش عددی است و به طور گسترده استفاده می‌شود و می‌تواند وضعیت کیفیت آب را برای اهداف مختلف مشخص کند (Hernández *et al.*, 2012).

با توجه به اهمیت موضوع در سایر نقاط ایران و جهان، مطالعات متعددی با استفاده از این شاخص بر رودخانه‌ها و مخازن پشت‌سدها انجام شده است. در مطالعه Shokuhi و همکاران (۲۰۱۲) کیفیت آب دریاچه سد آیدغموش را با استفاده از شاخص کیفیت آب جهت مصارف مختلف، مناسب گزارش کردند. Nasrollahzadeh Saravi و همکاران (۲۰۱۹) بر اساس شاخص WQI دریاچه پشت سد سنندج را برای پرورش آزاد ماهیان مناسب دانستند. Merichpor و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت آب دریاچه سد کلان ملایر را در فصل زمستان به دلیل افزایش حجم دبی آب رودخانه و آب ذخیره شده در پشت سد، کاهش دما و کاهش فعالیت‌های کشاورزی، مطلوب‌تر ارزیابی کردند. Alobaidy و همکاران (۲۰۱۰) روند تغییرات کیفیت آب دریاچه دوکان در کردستان عراق را با استفاده از شاخص WQI محاسبه کردند. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داده است که طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۷۶، کیفیت آب این دریاچه از طبقه خوب به سمت فقیر، روندی نزولی داشته است. Amiri و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت آب دریاچه پشت سد چمگردلان در ایلام را مورد بررسی قرار دادند و کیفیت آب این دریاچه را برای کلیه مصارف عمومی از قبیل کشاورزی، آبیاری، آبزیان مناسب دانستند. Mansouri و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شاخص WQI وضعیت دریاچه سد گلستان را بررسی کردند و به رغم تغییرات زمانی و مکانی در برخی عوامل اندازه‌گیری شده، بر اساس شاخص WQI سد گلستان طی ماه‌های مختلف در طبقه نسبتاً متوسط تا خوب قرار داشت. Sang و همکاران (۲۰۲۴) به ارزیابی کیفیت آب طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۰۳ با استفاده از شاخص WQI پرداختند و نتایج مطالعه نشان داد که پس از آبگیری مخزن، روند این شاخص طی سال‌های مذکور بهبود تدریجی داشته و وضعیت کلی کیفیت آب خوب بوده است.

دریاچه پشت سد مارون با اهداف کنترل سیلاب و جریان رودخانه مارون، توسعه و تامین آب زمین‌های کشاورزی دشت‌های چهارگانه بهبهان، جایزان، خلف آباد و شادگان و تولید انرژی برق-آبی احداث شده است. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی کیفیت آب ورودی، خروجی و دریاچه پشت

[1] Hypolimniom
[2] Epilimniom
[3] Water quality index (WQI)

سد مارون با استفاده از شاخص WQI به عنوان یک روش مناسب جهت تعیین تغییرات کیفیت آب بوده است.

مواد و روش کار

سد مارون یک سد خاکی با ابعاد ۳۴۰ متر طول و ۱۷۵ متر ارتفاع بر رود مارون در ۱۵ کیلومتری شمال شهر بهبهان (استان خوزستان)، قرار دارد. این سد آب مورد نیاز کشاورزی و نیروی برق آبی را تأمین می‌کند. در تحقیق حاضر، به منظور بررسی کیفیت آب دریاچه پشت سد مارون تعداد پنج ایستگاه، در ورودی دریاچه (یک ایستگاه)، خروجی دریاچه (یک ایستگاه) و در مخزن (سه ایستگاه) انتخاب گردید (جدول ۱). عملیات نمونه‌برداری از مهر ۱۳۹۹ لغایت شهریور ۱۴۰۰ به صورت ماهانه و در لایه‌های مختلف (سطحی، ۲۰ متر، ۴۰ متر، ۶۰ متر) دریاچه به‌وسیله نمونه‌گیر نانسن انجام شد. دمای آب، شوری و pH در محل با دستگاه مولتی‌پارامتر WTW مدل multi-197i اندازه‌گیری شد. سنجش سایر شاخص‌ها از جمله اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD_5)، فسفر کل (TP)، نیتروژن کل (TN) و کلی‌فرم مدفوعی، بر اساس روش‌های استاندارد صورت گرفت (Clesceri *et al.*, 1989; Buller, 2004; Eaton *et al.*, 2005). اندازه‌گیری دمای آب به صورت ماهانه در دریاچه (سه ایستگاه) جهت بررسی لایه‌بندی حرارتی، به فاصله ۵ متر به ۵ متر از سطح آب و تا عمق خاص هر ایستگاه ثبت گردید. در برخی از ماه‌ها (بهمن، اردیبهشت و خرداد)، امکان ثبت تغییرات دمایی وجود نداشت. جهت بررسی اثر لایه‌بندی حرارتی دریاچه بر کیفیت آب، شاخص‌های اکسیژن محلول، شوری، نیتروژن کل و فسفر کل در نظر گرفته شد.

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دریاچه سد مارون

Table1: Geographical coordinates of stations studied in Maroon Dam Lake

stations	Longitude and latitude	
st=1	30° 56' 56.0" N	50° 25' 35.75" E
st=2	30° 44' 32.28" N	50° 23' 33.79" E
st=3	30° 43' 22.97" N	50° 23' 13.35" E
st=4	30° 42' 40.33" N	50° 22' 52.82" E
st=5	30° 42' 17.98" N	50° 20' 56.67" E

محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI) در دریاچه سد مارون

در مطالعه حاضر و به منظور ارزیابی کیفیت آب، از شاخص WQI در ایستگاه‌های مختلف استفاده شده است. جهت محاسبه WQI، شاخص‌هایی از قبیل pH، DO، BOD_5، کلی‌فرم، TP، TN و دما اندازه‌گیری شدند. یکی از روش‌های بررسی و ارزیابی میزان آلودگی در آب، استفاده از منحنی‌های استاندارد شاخص کیفیت است که بر اساس آن، تاثیر مرکب پارامترهای بیولوژیک و فیزیکی و شیمیایی نشان داده می‌شود و از الگوی ذیل تبعیت می‌کند:

$$WQI = \Sigma WiQi$$

W_i = وزن یا درجه اولویت عامل که از صفر الی ۱ تغییر می‌کند.، Q_i = عیار یا کیفیت پارامتر که تغییرات آن از صفر الی صد است.، WQI = شاخص کیفیت آب که تغییرات آن از صفر الی صد است.

طبق این الگو هفت شاخص مهم، درجه اولویت آنها و تاثیر مقادیر هر یک از آنها بر کیفیت آب مشخص شد. نظام طبقه‌بندی آبها بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از سیستم شاخص کیفیت آب در هفت طبقه کیفی تقسیم‌بندی می‌شوند: کمتر از ۱۵ (خیلی بد)، ۱۵-۲۹/۹ (بد)، ۳۰-۴۴/۹ (نسبتاً بد)، ۴۵-۵۵ (متوسط)، ۵۵/۱-۷۰ (نسبتاً خوب)، ۷۰/۱-۸۵ (خوب) و بالای ۸۵ (بسیار خوب) (Ott,1978; Mohabi *et al.*, 2013). پس از محاسبه شاخص کیفیت آب ماهانه و سالانه در هر ایستگاه، با استفاده از جدول ۲ کیفیت آب ایستگاه تعیین گردید.

جدول ۲: پارامترهای مهم و وزن‌های انتخاب شده در نظام شاخص کیفیت آب

Table 2: Important parameters and selected weights in the water quality index system

Parameter	unit	Weight
DO	mg/l	0.19
BOD_5	mg/l	0.15
Faecal Coliform	MPN/100ml	0.16
pH	-	0.15
TP	mg/l	0.13
Temperatures	ºC	0.14
TN	mg/l	0.12

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-wilk در سطح ۹۵٪ بررسی گردید. جهت تعیین معنی‌دار بودن اختلاف میانگین بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (One–way ANOVA) و پس آزمون توکی (Tukey) در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مورد بررسی استفاده شد. از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۰ جهت انجام آزمون‌های آماری و از برنامه Excel 2013 جهت رسم نمودار استفاده گردید. به منظور بررسی همبستگی بین شاخص‌های مورد بررسی و شاخص WQI، از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده شد. داده‌ها به صورت میانگین±انحراف معیار ارائه گردید.

نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب در ایستگاه‌های ورودی، خروجی و سه ایستگاه در دریاچه سد مارون به صورت میانگین سالانه در جدول ۳ ارائه شده است. دامنه تغییرات شاخص‌های مورد بررسی به‌ترتیب اکسیژن محلول از ۸/۲۱ میلی‌گرم در لیتر در دریاچه الی ۸/۸۳ میلی‌گرم در لیتر در ورودی دریاچه، BOD_5 از ۱/۰۴ میلی‌گرم در لیتر در دریاچه الی ۱/۷۵ میلی‌گرم در لیتر در خروجی دریاچه، TN از ۲/۵۷ میلی‌گرم در لیتر الی ۲/۸۹ میلی‌گرم در لیتر در دریاچه، pH از ۸/۰۵ در خروجی دریاچه الی ۸/۸۳ در ورودی دریاچه، دما از ۲۳/۵۰ درجه در دریاچه الی ۱۷/۶۸ در خروجی دریاچه و TP از ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر در خروجی دریاچه الی ۰/۱۱ میلی‌گرم در لیتر در ورودی دریاچه بوده است. تفاوت آماری معنی‌داری در شاخص‌های اندازه‌گیری شده بین ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری مشاهده نشد (p>۰/۰۵). فقط مقدار کلی‌فرم، اخلاف معنی‌داری در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری داشت (p< ۰/۰۵). میانگین سالانه شاخص‌های تعیین شده در دریاچه پشت سد مارون با استاندارد WHO در جدول ۴ مقایسه شد.

جدول ۳: مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب در ایستگاه‌های ورودی، خروجی و سه ایستگاه واقع در دریاچه پشت سد مارون (میانگین±انحراف معیار) (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 3: Values of the physicochemical parameters of water at the inlet, outlet and three stations located in the lake behind the Maroon Dam (mean ± standard deviation) (2020-2021)

Parameter	Input	Reservoir			Output
	Station				
	st=1	st=2	st=3	st=4	st=5
DO (mg/l)	8.83±0.15	8.74±0.23	8.64±0.28	8.21±0.23	8.79±0.21
BOD_5 (mg/l)	1.66±0.29	1.35±0.33	1.29±0.19	1.04±0.18	1.75±0.29
TN (mg/l)	2.64±0.16	2.89±0.12	2.61±0.09	2.57±0.09	2.69±0.16
pH	8.83±0.05	8.23±0.10	8.28±0.07	8.24±0.06	8.05±0.07
Temperatures	19.83±1.42	20.99±1.75	21.66±1.82	23.50±1.53	17.68±0.68
TP (mg/l)	0.11±0.03	0.10±0.03	0.09±0.02	0.09±0.02	0.08±0.02
Faecal coliform (MPN/100ml)	282.42^{b}±167.2	97.5^{c}±43.5	48.83^{c}±38.28	46.66^{c}±24.27	506.3^{a}± 396.46

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

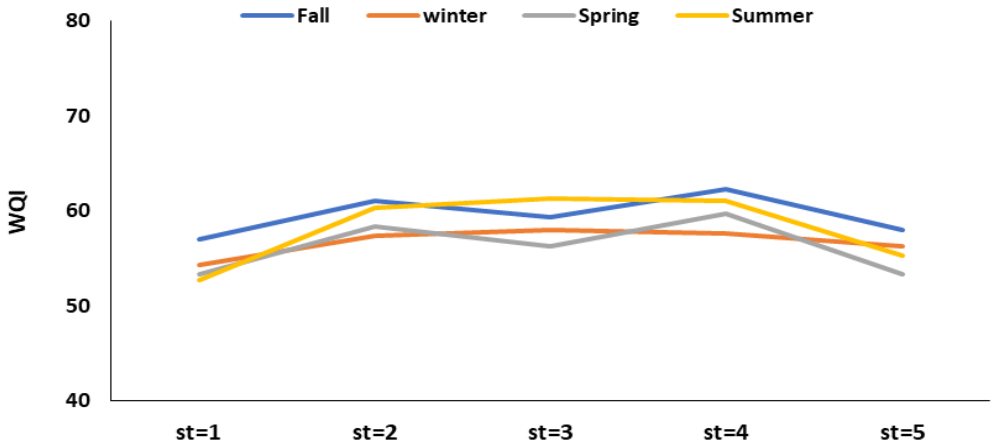
Bars with different letters are significantly different

دامنه تغییرات شاخص WQI در ایستگاه ورودی به دریاچه حدود ۵۹-۵۰ در ایستگاه‌های واقع در دریاچه (ایستگاه ۲، ۳ و ۴)، ۶۶-۵۰ و در ایستگاه خروجی ۶۲-۵۰ محاسبه گردید. کمترین مقدار این شاخص به ایستگاه ورودی در خرداد ماه با مقدار ۴۹ و بیشترین مقدار آن به ایستگاه چهارم در مهرماه با مقدار ۶۶ تعلق دارد. با توجه به نظام طبقه‌بندی آبها بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از سیستم شاخص کیفیت آب، کیفیت آب دریاچه پشت سد مارون در حد متوسط تا نسبتاً خوب قرار دارد. روند تغییرات شاخص در فصل پاییز در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشتر از سایر فصول بوده است (شکل ۱).

جدول ۴: محدوده تغییرات عوامل فیزیکوشیمیایی تعیین شده در دریاچه پشت سد مارون بر حسب استاندارد WHO

Table 4: The range of changes of physicochemical factors determined in the lake behind the Maroon Dam according to standard (WHO, 2008)

Parameter	Average	Result
DO (mg/l)	8.64±0.22	Optimal
BOD_5 (mg/l)	1.41±0.25	Optimal
TN)(mg/l)	2.68±0.12	
pH	8.05±0.07	Optimal
Temperatures	20.73±1.44	
TP (mg/l)	0.09±0.02	
Faecal coliform(MPN/100ml)	196.34±133.94	Undesirable



شکل ۱: مقدار شاخص WQI در ایستگاه‌های مورد مطالعه فصول مختلف در دریاچه پشت سد مارون (۱۳۹۹-۱۴۰۰)

Figure 1: WQI values at stations of different seasons in the lake behind the Maroon Dam (2020-2021)

همبستگی بین شاخص WQI و پارامترهای کیفی آب

بررسی همبستگی بین شاخص کیفیت آب و شاخص‌های کیفی آب نشان‌دهنده همبستگی منفی و معنی‌دار شاخص کیفیت آب با شاخص‌های کلیفرم و BOD_5 در نمونه‌های آب مخزن سد بود (جدول ۵).

لایه‌بندی حرارتی

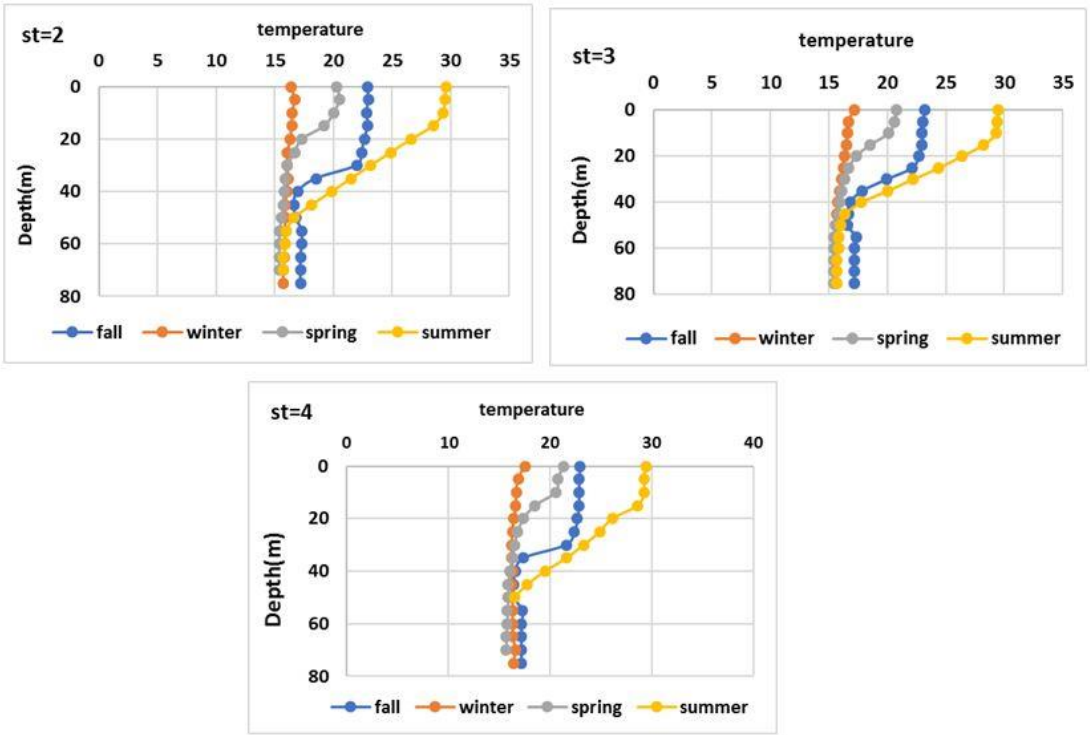
در شکل ۲ روند تغییرات دمایی ثبت شده در لایه‌های دریاچه (با فواصل پنج متر) نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی لایه‌های حرارتی در اعماق و ایستگاه‌های درون دریاچه سد مارون نشان می‌دهد که اختلاف دمایی بین لایه سطحی و عمقی در فصل بهار، تابستان و پاییز مشاهده شده است، اما در فصل زمستان این اختلاف بین سطح و عمق وجود ندارد. شروع لایه‌بندی دمایی طی دوره نمونه‌برداری در دریاچه سد مارون از فصل بهار با تفاوت دمای بین لایه‌های سطحی و عمق ۲۰ متری، ۴/۳ درجه بوده و در فصل تابستان با تفاوت دمای بین لایه‌های سطحی و عمق ۴۰ متر، ۱۱/۰۳ درجه به اوج خود رسیده است و تا فصل پاییز با تفاوت دمای بین لایه‌های سطحی و عمق ۴۰ متر، ۵/۵ درجه ادامه می‌یابد و در نهایت در فصل زمستان به تدریج این لایه‌بندی دمایی شکسته می‌شود. با توجه به شکل و مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده، اختلاف دما در لایه‌های مختلف دریاچه مانع از تبادل عمودی لایه‌ها آب در دریاچه پشت سد مارون نشده و مقادیر این شاخص‌ها به‌جز دما از سطح تا عمق اختلاف ناچیزی داشته است.

جدول ۵: همبستگی بین پارامترهای کیفی آب و شاخص WQI ورودی، خروجی و سه ایستگاه واقع در دریاچه پشت سد مارون (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 5: Correlation between water quality parameters and WQI index of inlet, outlet and three stations located in the lake behind Maroon Dam (2020-2021)

	DO	BOD_5	TN	TP	pH	Temperature	Coliform	WQI
DO	1							
BOD	0.019	1						
TN	0.432**	0.164	1					
TP	0.094	-0.166	-0.26	1				
pH	0.096	-0.017	0.355*	-0.237	1			
Temperature	0.705**	-0.173	-0.432**	0.028	0.005	1		
Coliform	-0.194	0.501**	-0.330*	0.021	-0.15	0.051	1	
WQI	0.042	-0.462**	-0.051	0.061	-0.24	0.166	-0.536**	1

** معنی‌داری در حد ۱٪ *معنی‌داری در حد ۵٪



شکل ۲: میانگین دمای آب در عمق‌های مختلف در ایستگاه‌های درون دریاچه سد مارون (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Figure 2: The average water temperature in the different depths in the stations of inside the Maroon Dam Lake (2020-2021)

بحث

کیفیت آب در هر اکوسیستمی اطلاعات قابل‌توجهی در مورد منابع موجود برای حمایت از زندگی در آن اکوسیستم ارائه می‌دهد. کیفیت خوب منابع آب به تعداد زیادی از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی بستگی دارد. ارزیابی و نظارت بر این شاخص‌ها برای شناسایی مقدار و منبع هر بار آلودگی ضروری است (Amiri *et al.*, 2021). دریاچه‌های پشت سد از منابع مهم آبهای سطحی به‌شمار می‌آیند که برای پرورش ماهی و تامین آب شرب استفاده می‌شوند (Hernández *et al.*, 2012; Amiri *et al.*, 2021).

نتایج حاصل از این مطالعه، تفاوت معنی‌داری را در میزان شاخص‌های سنجیده شده در ایستگاه‌های ورودی، خروجی و دریاچه پشت سد مارون نشان نمی‌دهد. فقط در مقدار کلی‌فرم اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p<۰/۰۵$). میزان شاخص‌ها (pH، DO و BOD_5) در این مطالعه، با سطح مجاز آنها در منابع آب مطابقت داشتند (WHO, 2008) که بیانگر کیفیت مناسب و جابه‌جایی و تلاطم بهتر آب این سد است. دامنه تغییرات DO در دریاچه سد مارون ۸/۸۳-۸/۲۱ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. از آن‌جایی‌که در اکوسیستم‌های آبی میزان اکسیژن برای ادامه حیات آبزیان باید بالای ۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد (Egemen, 2011)، این دریاچه در شرایط مطلوبی قرار دارد. دامنه تغییرات BOD_5 در این مطالعه ۱/۷۵-۱/۰۴ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد که مشابه با نتایج تحقیقات Karimian و همکاران (۲۰۲۰) بر دریاچه سد گاران مریوان در محدوده آبهای سالم است. در مطالعه حاضر، دامنه تغییرات pH ، در طول سال ۸/۸۳-۰۵/۸ در این مطالعه اندازه‌گیری شد که این شرایط قلیایی با سایر یافته‌های محققین مطابقت داشت (Parinet *et al.*, 2004). Khalaji و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که با توجه به سختی و وفور املاح کربناته در آب، ثبات pH در دریاچه، امری طبیعی است. دامنه تغییرات TN و TP در طول سال در دریاچه سد مارون به‌ترتیب ۵۷/۸۹-۲/۲ میلی‌گرم بر لیتر و ۰/۱۱-۰/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد. احتمالاً ورود زه‌آبهای کشاورزی در اطراف رودخانه مارون و فاضلاب مجتمع تفریحی مارون به رودخانه و سپس به مخزن سد، باعث افزایش فسفات و نیترات در این مخزن شده است. در مطالعات Kazi و همکاران (۲۰۰۹) بر دریاچه Manchar (پاکستان)، گزارش کردند که میزان تغییرات نیترات، نیتریت، فسفات و آمونیوم تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری و کودهای کشاورزی است.

یکی از عوامل محدود کننده در استفاده از آب، وجود آلودگی میکروبی هست که با توجه به نتایج نمونه‌برداری مقدار کلی‌فرم مدفوعی موجود در آب دریاچه سد مارون بیش از حد مجاز تعریف شده که احتمالاً تحت تاثیر آلودگی ناشی از فاضلاب مجموعه تفریحی مارون قرار گرفته است. مشابه این تحقیق، Faeed و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که میزان کلی‌فرم مدفوعی در دریاچه نئور (اردبیل) بالاتر از حد مجاز بوده و منشأ ۴۰ درصد آلودگی‌های میکروبی در این دریاچه، دخالت انسانی بوده است. Shokouhi و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که علت افزایش کلی‌فرم مدفوعی در خروجی سد نسبت به ورودی آن، شستشوی فضولات دامی از حومه سد و ورود آن به مخزن سد است.

براساس شاخص WQI، آب دریاچه سد مارون در طبقه متوسط تا نسبتاً خوب قرار گرفته و برای پرورش ماهیان با گونه مقاوم، برای تأمین آب شرب حیوانات اهلی و اهداف کشاورزی مناسب است (Hernández *et al.*, 2012). دلیل قرارگیری کیفیت آب در طبقه متوسط احتمالاً فعالیت‌های تفریحی و کشاورزی اطراف رودخانه مارون است. نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات Faeed و همکاران (۲۰۲۱) در دریاچه نئور (اردبیل) و Shokouhi و همکاران (۲۰۱۲) در دریاچه سد آیدوغموش (جنوب غربی شهرستان میانه)، مطابقت دارد. نتایج میانگین سالانه شاخص WQI نشان می‌دهد که در دی و خرداد ماه مقدار این شاخص در وضعیت نامناسب قرار دارد، ولی در سایر ماه‌ها در وضعیف نسبتاً خوبی قرار دارد. مقدار عددی شاخص در ایستگاه ورودی به‌جز فصل پاییز، در طبقه کیفی متوسط گزارش شد و در ایستگاه‌های درون دریاچه در همه فصول، در طبقه کیفی نسبتاً خوب قرار داشت. در ایستگاه خروجی مقدار این شاخص به‌جز فصل بهار، در طبقه کیفی نسبتاً خوب ثبت شد. بنابراین، بهترین کیفیت آب دریاچه در فصل پاییز است که در کلیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه نسبتاً خوب قرار داشت. Samarghandi و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که نوسانات فصلی بر شاخص WQI تأثیر می‌گذارد به‌طوری‌که در فصل گرم سال دارای کمترین مقادیر بوده و در فصل سرد سال، مقادیر عددی این شاخص‌ها افزایش یافته است که با نتایج مطالعه حاضر، مطابقت ندارد. همچنین مشاهده می‌گردد که میانگین سالانه مقدار عددی شاخص در ایستگاه ورودی نسبت به سایر ایستگاه‌ها در وضعیت پایین‌تری قرار دارد که با توجه به دریافت دبی از شاخه‌های متعدد، فرسایشی بودن منطقه، قطع درختان، کاهش بارندگی، افزایش ورودی آلاینده‌ها از مناطق روستایی بالا دست، واحدهای صنعتی (صنایع پتروشیمی و کارخانجات سیمان) و فعالیت‌های کشاورزی نیز وضعیت

کیفیت آب این ایستگاه را نامناسب کرده است. بنابراین، در بهره‌برداری از دریاچه باید محل پایدارتری را در نظر گرفت. سایر ایستگاه‌ها در شرایط نسبتاً خوبی قرار دارند که این امر نشان‌دهنده توانایی مخزن در کاهش آلاینده‌هاست که نتیجه مطالعه Amiri و همکاران (۲۰۲۱) بر دریاچه سد چمگردلان (ایلام) با استفاده از شاخص WQI، نتیجه مذکور را تأیید می‌کند. Ghazizadeh و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی کیفی رودخانه مارون بر اساس نظام شاخص کیفیت آب NSFWQI[1] پرداختند و گزارش کردند که آب رودخانه مارون در رده متوسط قرار دارد. مشابه با تحقیق حاضر، نتایج بررسی کیفیت آب سد سیمره (ایلام) نیز نشان داده است که کیفیت آب این سد در ایستگاه ورودی در محدوده کیفیت متوسط و در سایر ایستگاه‌ها در محدوده کیفیت نسبتاً خوب قرار دارد (Mazraavi *et al.*, 2018) درحالی‌که Amiri و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت آب دریاچه سد ایلام را در طبقه کیفی فقیر قرار دادند که مناسب استفاده برای آب شرب نیست که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت ندارد. همچنین در مطالعه Shil و همکاران (۲۰۱۹) بر کیفیت آب رودخانه Mahananda (هند و بنگلادش)، گزارش کردند که از ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه، ۱۰ ایستگاه در وضعیت کیفی متوسط الی خوب و ۴ ایستگاه در وضعیت کیفی بد الی خیلی بد قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی منفی بین BOD_5و کلی‌فرم با شاخص کیفیت آب فقط یک همبستگی عددی بوده و نشان‌دهنده کاهش مقدار عددی شاخص کیفیت همزمان با افزایش این دو شاخص بوده که در واقع، بیان‌کننده ارتقاء کیفیت آب است.

ایجاد لایه‌بندی حرارتی، تبادل عمودی را در دریاچه محدود می‌کند و مانع از استفاده اکسیژن از بدنه آبی بالایی به آبهای لایه زیرین می‌شود که ممکن است بر چرخه‌های هیدروشیمیایی و ژئوشیمیایی تأثیر بگذارد. با توجه به غلظت کم اکسیژن محلول، کیفیت آب بدتر می‌شود (Huang *et al.*, 2019). همان‌طوری‌که نتایج نشان می‌دهند، در ماه‌های سرد سال دامنه تغییرات دما در عمق مخزن سد مارون بسیار کم است، اما به‌تدریج با گرم شدن هوا، لایه‌بندی در مخزن شکل می‌گیرد و در فصل تابستان به طور میانگین اختلاف دمای لایه سطح آب با لایه‌های عمقی مخزن به حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و مخزن به‌شدت لایه‌بندی می‌شود. شکل‌گیری لایه ترموکلاین از اوایل فصل بهار شروع می‌شود و تا فصل پائیز ادامه دارد و سپس با سرد شدن هوا و لایه‌های بالایی آب، دوباره مخزن به سمت توزیع تقریباً یکنواختی از دما پیش می‌رود. بنابراین، مخزن جزو مخازن با لایه‌بندی مناسب است. چون در مخزن هیچ‌وقت دمای آب به چهار سانتی‌گراد نمی‌رسد، لایه‌بندی منفی شکل نمی‌گیرد. این دریاچه از نظر لایه‌بندی حرارتی تا حدی مشابه با دریاچه کارون ۳ (Zargarpour *et al.*, 2007) و دریاچه سد شهید رجائی (Saidi *et al.*, 2014) است.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که در حال حاضر، کیفیت آب دریاچه سد مارون جهت شرب نیاز به تصفیه پیشرفته دارد. همچنین روند تغییرات لایه‌بندی در این مخزن، مانع کمبود اکسیژن در لایه‌های عمقی نشده است. با توجه به بالا بودن مقدار کلی‌فرم در آب مخزن و کیفیت نامناسب آب در ایستگاه ورودی، نیاز به مدیریت بهتر همچون ایجاد تصفیه‌خانه‌های فاضلابی در مناطق بالا دست جهت کاهش ورود آلاینده‌ها به مخزن، است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی مدیریت نوآوری، فناوری و پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان انجام شده است.

منابع

Akhtar, N., Ishak, M. I.S., Ahmad, M. I., Umar, K., Md Yusuff, M.S., Anees, M.T. and Almanasir, Y.K.A., 2021. Modification of the Water Quality Index (WQI) Process for Simple Calculation Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: A Review. *Water*, 13(7):905. DOI:10.3390/W13070905

[1] National sanitation foundation water quality index (NSFWQI)

Alobaidy, A.H.M.J., Abid, H.S. and Maulood, B.K., 2010. Application of water quality index for assessment of Dokan Lake Ecosystem. Kurdistan Region, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 2(09):792-798. DOI:10.4236/jwarp.2010.29093.

Amiri, H., Hadizadeh, B., Ghorbani Mooselu, M., Azadi, S. and Sayyahzadeh, A.H., 2021. Evaluating the water quality index in dam lake for cold water fish farming. *Environmental Challenges*, 5(262):100378. DOI:10.1016/j.envc.2021.100378

Amiri, P., Shariat, S.M. and Ahmadikallan, M., 2021. Detecting of Water Quality Using National Sanitation Foundation (WQI) Index (Case Study: Ilam ChamGardallan's Dam). *Human and Environmen*, 59(4):189-200. (In Persian)

Buller, N.B., 2004. Bacteria from fish and other aquatic animals: a partical identification manual. CABI publishing, Wallingford, Oxfordshire. 361 P.

Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. and Trussell, R.R., 1989. Standard methods for examination of water and sea water. 17 th edition.APHA-AWWA-WPCF. IV, various paging. American Public Health Association, Washington DC. 258 P.

dos Santos Simoes, F., Moreira, A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M.N. and Yabe, M.J.S., 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological indicators*, 8(5):476-484. DOI:10.1016/j.ecolind.2007.05.002

Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., and Greenberg, A.E., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. American Public Health Association, Washington, DC. 1281 P.

Egemen, O., 2011. Water quality. Ege University Fisheries Faculty Publication No. 14, Izmir, Turkey. pp 1-150.

Faeed, M., Babaei, H. and Khodaparast, H., 2021. Evaluation of lake water based on Iran Water Quality Index of Surface Water (IRWQISC) for sustainable development (Ardabil's Neor Lake). *Journal of Animal Environment*, 13(1):483-488. DOI:10.22034/AEJ.2021.134992 (In Persian)

Firoozi, F., Roozbahani, A. and Massah BavaniAli, A.R., 2017. Investigating and modeling the effect of thermal layering phenomenon on the water quality of Letyan dam reservoir. International Conference of New Horizons in Agricultural Sciences, *Natural Resources and Environment*, February 2017. (In Persian)

Ghazizadeh, N., Shahnizadeh, B., Dehkardi, S. and Sawari, S. 2011. Quality assessment of Maron River based on NSFWQI water quality index system. *Conference and specialized exhibition of environmental engineering*, (5), 21 November 2011. (In Persian)

Hernández, J., Fernandez, L., Carrasco-Ochoa, J. and Martínez, J., 2012. Immediate water quality assessment in shrimp culture using fuzzy inference systems. *Expert Systems with Applications*, 39(12):10571-10582. DOI:10.1016/j.eswa.2012.02.141

Huang, Y., Yang, C., Wen, C. and Wen, G., 2019. S-type dissolved oxygen distribution along water depth in a canyon-shaped and algae blooming water source reservoir: reasons and control. *International journal of*

environmental research and public health, 16(6):987. DOI:10.3390/ijerph16060987.

Karimian, E., Mohammadi, H., Ghaderi, E., Hoseinpour, H. and Vahedi, N., 2020. Survey on physico-chemical factors of Garan dam reservoir (Marivan) in order to aquaculture activities. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 29(5):49-655. DOI:10.22092/ISFJ.2021.123199 (In Persian)

Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A. and Shah, Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72:301-309. DOI:10.1016/j.ecoenv.2008.02.024

Khalaji, M., Ebrahimi, E., Hashemenejad, H., Motaghe, E. and Asadola, S., 2017. Water quality assessment of the Zayandehroud Lake using WQI index. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25(5):51-63. DOI:10.22092/ISFJ.2017.110314 (In Persian)

Kutlu, B., Aydın, R., Danabas, D. and Serdar, O., 2020. Temporal and seasonal variations in phytoplankton community structure in Uzuncayir dam lake (Tunceli, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192:1–12. DOI:10.1007/s10661-019-8046-3.

Mansouri, B., Fazel, A., POURSOFI, T., Gharanjik, B.M. and Abbasi, F., 2023. Investigating the quality of water behind the Golestan dam for aquaculture activities using the CCMEWQI index. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 10(4):20-27. DOI:10.22034/jair.10.4.2 (In Persian)

Mazraavi, M., Khalfeh Nile Saz, M., Dehghan Madiseh, S. and Bani Torafi Zadeh, J., 2018. Investigating the water quality of the lake behind the Seimare dam for aquaculture activities using from WQI indicators. National Conference of Aquaculture Region - Management and Promotion of Water Resources Productivity, 15-16 January 2018. (In Persian)

Merichpor, H., lorestanei, B. and cheraghi, M., 2021. Evaluation of the water quality of Melair reservoir using NSFWQI measure and zoning of its results using geographic information system. *Environmental Science Quarterly*, 19(2):151-168. DOI:10.52547/ENVS.33909 (In Persian)

Mohabi, M.R., Azam Waqfi, K., Montazeri, A., Abtahi, M., Ektai, S., Gholamnia, R., Ali Asghari, F. and Saidi, R., 2013. Development of a new MDWQI drinking water quality index and its use in the assessment of Iranian groundwater quality, Health and Environment. *Journal Iranian Environmental Health Scientific Association*, 6(2):187-200. DOI:20.1001.1.20082029.1392.6.2.7.5 (In Persian)

Nasrollahzadeh Saravi, H., Makhlough, A., Yaghobzadeh, Z., Safari, R. and Hosseinpour M., 2019. Study on relationship between limnological parameters and water quality indices at Sanandaj Azad Dam due to fisheries activities. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 20(1):1-10. DOI:10.22092/ISFJ.2019.119704 (In Persian)

Ott,W.R., 1978. Water quality indices: a survey of indices used in the United States. US Environmental Protection Agency, Washington DC. 138 P.

Parinet, B., Lhote, A. and Legube, B., 2004. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. *Ecological Modeling*, 178:295-311. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2004.03.007

Sadeghi, M., Abotaleb, B., Bay, N., Soflaie, N., Mehdinejad, M.H. and Mallah, M., 2015. The effect of agriculture drainage on water quality of the Zaringol in Golestan Province by the water quality index. *Journal of Research in Environmental Health*, 1(3):177-185. DOI:10.22038/jreh.2015.6180

Saidi, P., Mehrdadi, N., Ardestani, M. and Baghund, A., 2014. Simulation of thermal stratification and dissolved oxygen concentration using Ce-Qual-W2 model (Case study: Shahid Rajaei Dam Reservoir. *Environmental Journal*, 39(4):171-180. DOI:10.22059/JES.2014.36470 (In Persian)

Samarghandi, M., weysi, K., AbaviMehrizi, A., Kaseb, P. and Danaii, A., 2013. Assessment of water quality of Ekbatan Lake reservoir Dam in Hamedan using Qualitative Index NSFWQI. *Medical Sciences Journal of North Khorasan University*, 5:63-69. DOI:10.29252/jnkums.5.1.63 (In Persian)

Sang, C., Tan, L., Cai, Q. and Ye, L., 2024. Long-term (2003-2021) Evolution Trend of Water Quality in the Three Gorges Reservoir: An Evaluation Based on an Enhanced Water Quality Index. *Science of the Total Environment*, 915(8):169819. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.169819.

Shil, S., Singh, U.K. and Mehta, P., 2019. Water quality assessment of a tropical river using water quality index (WQI), multivariate statistical techniques and GIS. *Applied Water Science*, 9:168. DOI:10.1007/s13201-019-1045-2

Shokouhi, R., Roushanaii, G.A., Alipour, M. and Hoseinzadeh, S., 2012. Investigation of the lake water quality in Aydghomoush using the Water Quality Index (NSFWQI) and nutrient balance, Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 4:439-450. (In Persian)

Shokuhi, R., Hosienzadeh, A., Roshanaei,G., Alipur, M. and hosinzadeh, S., 2012. Investigating the water quality of the lake behind the Aidaghmosh dam using the National Water Quality Index (NSFWQI) and changes in water quality parameters. *Iranian health and environment*, 4(4):1-10. (In Persian)

WHO, 2008. Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition, Incorporating the First and Second Addenda. Vol1. Recommendations, World Health Organization, Geneva. 134 P.

Zargarpour, H., Gheravi, M. and Dehghan, J., 2007. Thermal Stratification in Tandem Reservoirs Case Study: Karun 1, Karun 2, and Karun 3 Reservoirs. *Iran Water Resources Research*, 3(2):71-77. (In Persian)

Water quality assessment of Maroon Dam Lake using WQI index

Kianersi F.[1]*; Mazravi M.[1]; Ahangarzadeh M.[1]; Houshmand H.[1]; Mortezavizadeh S.A.[1]; Hekmatpour F.[1]; Nazemroaya S.[1]; Banitorfizadegan J. [1]; Saneai Dehkordi K. [2]; Abdevaise S.[2]

*farahnaz.kianersi@gmail.com

1- Aquaculture Research Center -South of Iran, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
2- Khuzestan Water and Power Organization Innovation and Technology Development Center, Ahvaz, Iran

Abstract

Continuous monitoring and evaluation of surface water quality is necessary to protect the global ecosystem and human health. One of the most critical ways to estimate water quality is the WQI method. In order to check the water quality of the Maroon Dam lake located in Khuzestan province (15 km from Behbahan city), five sampling stations were selected at the inlet, outlet and inside of the lake. Sampling to measure the water temperature factor (with intervals of five meters by five meters from the surface to the bottom of the lake) and other factors such as dissolved oxygen, pH, biochemical oxygen demand, total phosphorus, total nitrogen monthly and from the surface to a depth of 60 meters (with distances of 20 meters by 20 meters) were carried out from October 2014 to September 2019 and finally the WQI index was calculated using qualitative parameters. The results of this study showed that the trend of changes in WQI index in different months of sampling in different stations in the quality class was medium to relatively good and the range of changes of this index was calculated between 49 in June to 66 in October. The depth measurement of temperature showed that in the lake behind the dam thermal stratification was created in spring (0 to 20 meters), summer and autumn (0 to 40 meters), but in winter, there is no such difference between surface and depth. According to the evaluation of the WQI index values of the reservoir water, it is suitable for all kinds of drinking purposes for domestic animals, agricultural purposes and raising resistant species of fish.

Keywords: Maroon reservoir, Coliform, WQI index, Termal stratification

*Corresponding author