



Assessment of the physicochemical and biological characteristics of water resources in the watershed and reservoir of the Kosar dam

Taleb Moradinejad¹ , Nasrolah Kalantari² , Hadi Mohammadi³, Ali Afrous⁴

1. Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: talebmoradinejad@yahoo.com

2. Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: n.kalantari@scu.ac.ir

3. Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: mohammadihadi845@gmail.com

4. Department of Environmental Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: ali.afrous@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received October 3, 2024

Received in revised form

November 8, 2024

Accepted December 18, 2024

Available online December 21,
2024**Keywords:**Temperature stratification,
Electrical conductivity,
dissolved oxygen,
nutrients,
Kosar dam reservoir.

Objective: Investigating the physicochemical and biological characteristics of the water resources of the Kosar Dam watershed and reservoir, which is one of the important reservoirs in the southwest of Iran and supplies drinking water to about twenty cities, and hundreds of villages in the Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Khuzestan, Bushehr, and Hormozgan provinces.

Method: This investigation aims to determine the Physicochemical and ecological characteristics of the reservoir impounded water. To achieve the aim, Renter and CTD (conductivity, temperature, and depth), facilities were undertaken and water samples in the depth and the vicinity of the Asmari and Gachsaran formations were analyzed.

Results: Electrical conductivity (EC), temperature, dissolved oxygen (DO), pH, salinity, major ions, and nutrients were measured.

Conclusions: The results reflect temperature stratification and EC, temperature, DO, density, nutrients, and the hydrochemical parameter variation. Water quality differs in parts of the reservoir from the input and output.

Cite this article: Moradinejad, T., Kalantari, N., Mohammadi, H., Afrous, A. (2024). Assessment of the physicochemical and biological characteristics of water resources in the watershed and reservoir of the Kosar dam. *ECOHYDROLOGY*, 11 (4), 457-476. <https://doi.org/10.22059/IJE.2024.379179.1833>



© Taleb Moradinejad, Nasrolah Kalantari, Hadi Mohammadi, Ali Afrous.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/IJE.2024.379179.1833>

Introduction

Dam construction and water storage is used to supply drinking water, irrigation, food production, electricity generation and flood mitigation. In addition, dam reservoirs are desirable homeland and habitation for animals and plants and play a significant role to protect biodiversity. In general, lakes and reservoirs experience almost stagnant ecosystems and are relatively immobile. In addition to living organism effects, they are subjected to non-living physical and chemical factors. In dam reservoirs the thermo-cline layering with huge amount of cold water and depleted oxygen in depth is observed. As a result of the depleted oxygen condition in depth, decomposition of material an anxious condition occurs and the produced gases influencing on aqueous ecosystem.

In this article, temperature, EC, pH, DO, density, nutrients (PO_4 and NO_3) in different depths of the Kosar reservoir, major elements in reservoir and the tributaries of the Kosar watershed have been measured and evaluated. The hydrochemical characteristics of the watershed and geological formations impacting on chemical quality of the reservoir also have been accounted.

Material and methods

In order to evaluate quality parameters of the dam reservoir, 17 stations in different parts of the reservoir were selected to measure temperature, EC, DO, pH, acidity, density, NO_3 and PO_4 , and 7 locations in tributaries and reservoir were chosen for sampling and analyses of the major elements including; HCO_3 , SO_4 , Cl, Ca, Mg, Na and K. With regards to quality variation with respect to depth, two points in outset and center of the reservoir were taken into account for chemical analyses of the samples from the shallow, mid and depth. For assessment of the column water quality in various depths, CDT (Conductivity, depth and temperature) instrument was used. Rotner facility was applied to collect samples from the hypolimnion (mixed layer), thermocline (thermal gap) and beneath layer. In this investigation softwares including EXCEL 2019, SPSS 23 and AqQa 1.1 for statistical computation, graph drawing and water facies were employed.

Results and discussions

Two main factors responsible for deteriorating water quality of the reservoirs are thermal layering and eutrophication phenomena. Based on the obtained results, the lowest temperature was noticed in January and February, and later on, temperature indicated an increasing trend. In the summer and September, the temperature was on peak. The thermocline layer extends from -12 to -25 m and the temperature difference is 14C^0 . Due to high temperature in summer and solar radiation and particularly where plants nutrient elements are frequent, algae growth in upper layer increases, and leading to change water quality (specifically colour, odor and taste). On the other hand, due to low dissolved oxygen, growing activity of aquatic metabolism and decomposition of accumulated material in sediments, the water at lower level (depth) absolutely anxious and resulted in to form compounds affecting the taste and odor of water.

Plot of the electrical conductivity (EC) versus depth, displayed that with increasing depth until beginning of the thermocline, EC is stable and in the thermocline zone (-12 to -25), it reduces and then increases. As a result of water flow and the reservoir water mixing the thermocline exhibited lowest total dissolved solids (TDS), while the upper and lower levels of the reservoir embrace the higher TDS. The pH variation is quite similar to EC trend in the

thermocline layer and its value drops from the 12 m depth downward. The overall pH variation is between 7.67 to 8.4 in the reservoir and till 43 m depths the pH and EC depicting falling off trend.

There is a correlation between salinity and the temperature in the reservoir. In the spring and summer (sampling periods), the average TDS indicating an increasing trend from 12 m depths downward, but as a result of mixing in autumn and winter seasons salinity is almost uniform. The amount of dissolved oxygen in the epilimnion, thermocline and hypolimnion was very low, very varied and declining respectively, and the reducing concentration reflecting oxygen stress condition. In the lower depth the oxygen approaches zero value, so providing reducing condition, affecting the taste, colour and odor of water.

To evaluate the nutrient status in the Kosar reservoir, the concentration of nitrate and phosphate was measured in different depth. In the beginning depth of the thermal layer phosphate concentration is elevated and corresponds to the oxygen drop, but in general the phosphate concentration in different depth is below acceptable limit for drinking. Though, the nitrate concentration in the tributaries, due to fertilizer usage, domestic sewage, and industry upstream, reaches to 25 mg/l, but due to the huge amount of water and mixing, the nitrate concentration in the reservoir is around 5 mg/l. Anyhow, the concentration of both nutrients (PO_4 and NO_3) is not harmful in the reservoir.

The amounts of DO, COD and BOD in the tributaries are high as compared to the reservoir. In the reservoir dilution and water mixing leads to lower concentration. Of course, with increasing depth COD and BOD are showing the increasing trend while DO is declining and affecting water quality at depth.

The water facies in the tributaries are Ca-HCO_3 and Ca-SO_4 , due to carbonate (Asmari formation) and gypsum (Ghachsaran formation) outcrop in the watershed. The water type in the reservoir is dominantly Ca-HCO_3 , though in small part water type is Ca-SO_4 , but the output water experiences Ca-HCO_3 . With increasing depth of the reservoir, the amount of Ca, HCO_3 and SO_4 is raised up, displaying dissolution of the outcropped rocks in the watershed and in the reservoir. The correlation of the hydrochemical data on composite diagrams, particularly between sulfate and calcium and also calcium and magnesium proves the dissolution of the rocks.

Conclusion

The collected results indicated intense thermal layering in the Kosar reservoir, the beginning of the thermocline layer occurs at 12 m depth and the temperature difference between the surface and depth is 14 C^0 .

The EC, TDS, salinity percent and nutrients, in the thermocline outset having improved trend, while DO and pH exhibiting falling off pattern. The DO is higher in the upper levels and terminating to zero at the deepest depth. Therefore, water utilization is preferred from the upper levels. The DO is severely reduced and in contrary COD and BOD are increasing with depth.

The water facies in the tributaries are $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ and $\text{SO}_4\text{-Ca}$, due to carbonate and gypsum rock dissolution. Although, in the major parts of reservoir water type is $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, but due to gypsum dissolution in small part of the reservoir $\text{SO}_4\text{-Ca}$ water is also observed. Due to the mixing of the vast amount of the water body in the reservoir, the output water designated $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ facies.

Author Contributions

All authors have the same contributions in conceptualization; investigation; data collection; methodology; formal analysis; software; initial drafting; writing and editing. The corresponding for superintendence, management and funding accession was Nasrollah Kalantari.

All authors have agreed to the published version of the article.

Data Availability Statement

It is a part of Ph.D thesis which is undergoing in the Shahid Chamran University of Ahvaz

Acknowledgements

The authors would like to thank the research deputy and earth science faculty of Shahid Chamran university for financial and logistic support and the authors would like to extend their thanks to regional water authority of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad for providing facility and particularly thankful to Dr Khadri, the manager of the Kosar dam for his continuous cooperation.

Ethical considerations

Based on informed consent and agreement among the authors.

Funding

Research deputy of Shahid Chamran university of Ahvaz.

Conflict of interest

No conflict of interest concerning financial and non-financial benefits.



بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی منابع آب حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر

طالب مرادی نژاد^۱ | نصرالله کلانتری^۲، هادی محمدی^۳، علی افروس^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: talebmoradinejad@yahoo.com

۲. استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: n.kalantari@scu.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: mohammadihadi845@gmail.com

۴. گروه مهندسی محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: ali.afrous@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

موضوع: بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی منابع آب حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر که یکی از سدهای مهم در جنوب غرب ایران است. این سد آب شرب حدود ۲۰ شهر و ۱۰۰ روستا را در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، بوشهر و هرمزگان تأمین می‌کند.

هدف: هدف از این تحقیقات بررسی وضعیت زیستی و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی مخزن روی کیفیت آب مخزن است.

روش تحقیق: برای نیل به این هدف، با استفاده از دستگاه روتنر و CTD (هدایت الکتریکی، درجه حرارت و عمق)، نمونه‌های آب در اعماق مختلف و در نزدیک سازندهای گچساران و آسماری مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها: هدایت الکتریکی، درجه حرارت، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن خواهی شیمیایی، pH، شوری، عناصر عمد (بی کربنات، سولفات، کلرید، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، و مواد مغذی (نیترات و فسفات) در آزمایشگاه معتمد اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده لایه‌بندی حرارتی از عمق ۱۲ تا ۲۵ متری است که این لایه‌بندی حرارتی بر تغییرات pH، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، وزن مخصوص، شوری، مواد مغذی و همچنین ترکیبات شیمیایی آب اثرگذار است. کیفیت آب در بخش‌هایی از مخزن سد نسبت به عمده‌ترین آب ورودی حوزه آبخیز به مخزن نیز نسبتاً متفاوت بوده که ناشی از انحلال سازند گچساران در بخشی از مخزن سد است، در صورتی که تیپ آب خروجی از سد با آب ورودی اصلی به مخزن یکسان است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

لایه‌بندی درجه حرارت،

هدایت الکتریکی،

اکسیژن محلول،

مواد مغذی،

سد کوثر.

استناد: مرادی نژاد، طالب؛ کلانتری، نصرالله؛ محمدی، هادی؛ افروس، علی. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی منابع آب حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر.

اکوهیدرولوژی، ۱۱(۴)، ۴۵۷-۴۷۶.

<https://doi.org/10.22059/IJE.2024.379179.1833>



مقدمه

سابقهٔ سدسازی برای مهار آب رودخانه‌ها به حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد که در امپراطوری مصر باستان احداث شده است. هرچند که سدسازی قبل از جنگ جهانی دوم (۱۹۴۰م) گسترش یافت، از سال ۱۹۴۵ به بعد شتاب بیشتری گرفته است. در دههٔ ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ اوج سدسازی در آمریکای شمالی و اروپای غربی بوده و موج بعدی سدسازی در دههٔ ۲۰۰۰ میلادی بوده است. به علت تغییراتی که سدها در اکوسیستم پایین دست رودخانه‌ها ایجاد می‌کنند مخالفان زیادی دارد، ولی باتوجه به تغییراتی که در شرایط اقلیمی به وجود آمده، مهار آب رودخانه‌های بزرگ و کوچک امری اجتناب‌ناپذیر است. سد کوثر در تنگهٔ بسیار باریک پادوک بر روی رودخانهٔ خیرآباد در استان کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۳۸۳ احداث شده است. باتوجه به ذخیرهٔ آبی حدود ۵۴۷ میلیون متر مکعب، یکی از سدهای مهم محسوب می‌شود و چون دارای کیفیت مطلوبی است، برای تأمین آب شرب بخش وسیعی در جنوب و جنوب غرب کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد (آب‌پژوهان خوزستان، ۱۴۰۲).

سدسازی و ذخیرهٔ آب در مخازن برای تأمین آب شرب، آبیاری و تولید غذا، تولید برق و کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، مخازن سدها به عنوان زیستگاهی مطلوب محل زیست مناسبی برای جانداران و گیاهان فراهم می‌آورد و نقش مهمی در محافظت از تنوع حیاتی^۱ دارد. در این زیستگاه علاوه بر تنوع جانوری و گیاهی، قارچ و میکروارگانیسم‌ها مثل باکتری‌ها نیز وجود دارند (چافین، برایدگمن و باده، ۲۰۱۳؛ پایرل و همکاران، ۲۰۱۱). هرکدام از این گونه‌ها و ارگانیسم‌ها با همدیگر در این اکوسیستم فعال اند و مانند شبکهٔ پیچیده‌ای برای حفظ توازن و تداوم بخشیدن حیات فعالیت می‌کنند. این تنوع حیاتی در نتیجهٔ عوامل متعددی همچون رسوب‌گذاری و آلودگی در گذر زمان دچار تغییراتی شده و گونه‌های جدیدی به وجود می‌آید. عموماً مخازن سدها مانند دریاچه‌ها دارای اکوسیستم ساکن و غیرمتحرک^۲ است و علاوه بر تأثیرات موجودات زنده، تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی غیرحیاتی نیز قرار می‌گیرند. مهار آب رودخانه و عملکرد مخزن، تغییراتی در فرایند هیدرولوژیکی به وجود می‌آورد و باعث جلوگیری از جریان مواد مغذی مانند کربن، نیتروژن، فسفر و سیلیس می‌شود. تجمع آن‌ها در مخزن موجب تغذیه‌گرایی و در نتیجه رشد جلبک‌ها می‌شود که آبزیان (به‌ویژه ماهی) درون مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (ماوارا، دوور و کاپلان، ۲۰۱۴؛ پایرل و همکاران، ۲۰۰۶؛ ماوارا و همکاران، ۲۰۲۰). نوسان و تغییرات در مؤلفه‌های اکوسیستم آبی موجب تغییرات متقابلی در مؤلفه‌های دیگر نیز می‌گردد؛ بدین مفهوم که تغییرات در نوع آب و مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی منجر به تغییرات فیزیولوژیکی گیاهان و جانداران اکوسیستم می‌گردد (هایوسمن و همکاران، ۲۰۰۴؛ اوزویسکی و نیکسون، ۲۰۰۸).

پارامترهای عمده‌ای که کیفیت آب یک مخزن را تعیین می‌کنند عبارت‌اند از: مجموع املاح محلول (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۹) درجه حرارت، رسوبات، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، pH، مواد مغذی (نیترات، فسفات و...) و کدورت (آلکاشمن و آلنوافلا، ۲۰۲۰؛ حیدرزاده، ۱۳۹۶؛ کامبل و همکاران، ۲۰۰۸؛ لای، ژئو و نی، ۲۰۲۱؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ ثابتی، جمالی و جمالی، ۱۳۹۵). در مخزن سدها لایه‌بندی حرارتی با حجم زیادی از آب سرد و تهی از اکسیژن در اعماق مشاهده می‌شود (پایرل و همکاران، ۲۰۰۶). چون لایه‌های پایینی مخزن فاقد اکسیژن است، تجزیهٔ مواد در فرایند غیرهوازی صورت می‌گیرد و تولید گاز می‌کند که اثر سویی بر اکوسیستم آبی دارد (دومیتران و همکاران، ۲۰۲۰؛ آیون و انی، ۲۰۲۱).

باتوجه به اهمیت سد کوثر به عنوان منبع آب شرب بخش وسیعی در جنوب و جنوب غرب کشور، در این مقاله پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، pH، اکسیژن محلول، چگالی و مواد مغذی (نیترات و فسفات) در اعماق مختلف مخزن، آنالیز عناصر عمده از مخزن سد و سرشاخه‌های حوضهٔ آبخیز سد کوثر مورد سنجش قرار گرفته است. خصوصیات هیدروشیمیایی حوضهٔ آبخیز سد و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی مخزن نیز روی کیفیت شیمیایی آب مخزن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

پیشینه پژوهش

مطالعاتی که در ۲۷۱ مخزن سد در چین، توسط چنگ و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفته، نشان‌دهنده لایه‌بندی حرارتی شدید است و دلیل لایه‌بندی حرارتی را تغییر اقلیم، تابش نور خورشید و فعالیت انسان می‌داند. مطالعات بایمنز و همکاران (۲۰۱۱)، چاوو، وو و لی (۲۰۰۸)، فانگ و استفان (۱۹۹۹)، هوستلر، باتس و گئورگی (۱۹۹۳)، پوخل و همکاران (۲۰۱۲)، ژو و همکاران (۲۰۱۸)، ویگزاو و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده است که تشکیل لایه‌بندی حرارتی در مخازن سدها منجر به تغییرات زمانی و مکانی کیفیت بیوزئوشیمیایی منابع آب در مقیاس محلی و منطقه‌ای می‌شود. درجه حرارت آب رودخانه، یک پارامتر فیزیکی است که تحت تأثیر ذخیره آب در سیستم آبی قرار می‌گیرد و دانستن مکانیزم تغییر درجه حرارت در یک مخزن، در پایین دست رودخانه و لایه‌بندی حرارتی برای بررسی حیات آبریان حائز اهمیت است (فوستر و لیلیستام، ۲۰۱۰؛ میرا و همکاران، ۲۰۱۷). لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد میناب را مریدی و همکاران (۱۴۰۰) بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که لایه‌بندی حرارتی موجب تغییر تغذیه‌گرایی و کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شده و اثر مخربی روی خصوصیات شیمیایی آب شرب مصرفی از سد داشته است. بررسی‌های انجام شده در سد بافت نشان داده که در نه ماه از سال لایه‌بندی حرارتی رخ داده و تفاوت دما ۱۹ درجه سانتی‌گراد بوده است. شروع لایه‌بندی حرارتی در اردیبهشت‌ماه و اوج آن در شهریورماه ثبت شده است. نتایج به‌دست‌آمده منعکس‌کننده افزایش املاح همراه با لایه‌بندی حرارتی بوده و پیشنهاد گردید که برای بهبود کیفیت آب از نظر شیمیایی و تغذیه‌گرایی از دریچه‌های پایین در موقع پیک لایه‌بندی حرارتی استفاده شود (ابراهیمی، جابری و عباسی، ۱۳۹۳). لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد یک فرایند حیاتی است که موجب تعدیل و تنظیم انرژی چرخه بیوزئوشیمیایی در پایین دست رودخانه‌ها می‌شود (فریدل و ویست، ۲۰۰۲؛ هامبورگ و همکاران، ۱۹۹۷؛ ترانویک و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج بررسی همین محققان نشان داده است که لایه‌بندی حرارتی موجب تغییر ترکیب شیمیایی و فیزیکی تمام سیستم آبی در مخزن و آب رهانده در پایین دست رودخانه می‌شود. تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اکوسیستم آبی که شامل توزیع اکسیژن محلول، ترکیب مواد مغذی و تولید پلانکتون است، متأثر از ذخیره آب و لایه‌بندی حرارتی است. در تحقیقی که در مخزن سد کرخه در رابطه با لایه‌بندی حرارتی و تغذیه‌گرایی صورت گرفته، زمان رخداد، طول مدت و شدت لایه‌بندی با استفاده از پروفیل عمق و درجه حرارت، میزان اکسیژن محلول و تغذیه‌گرایی بررسی شده است (نوری و همکاران، ۲۰۱۸).

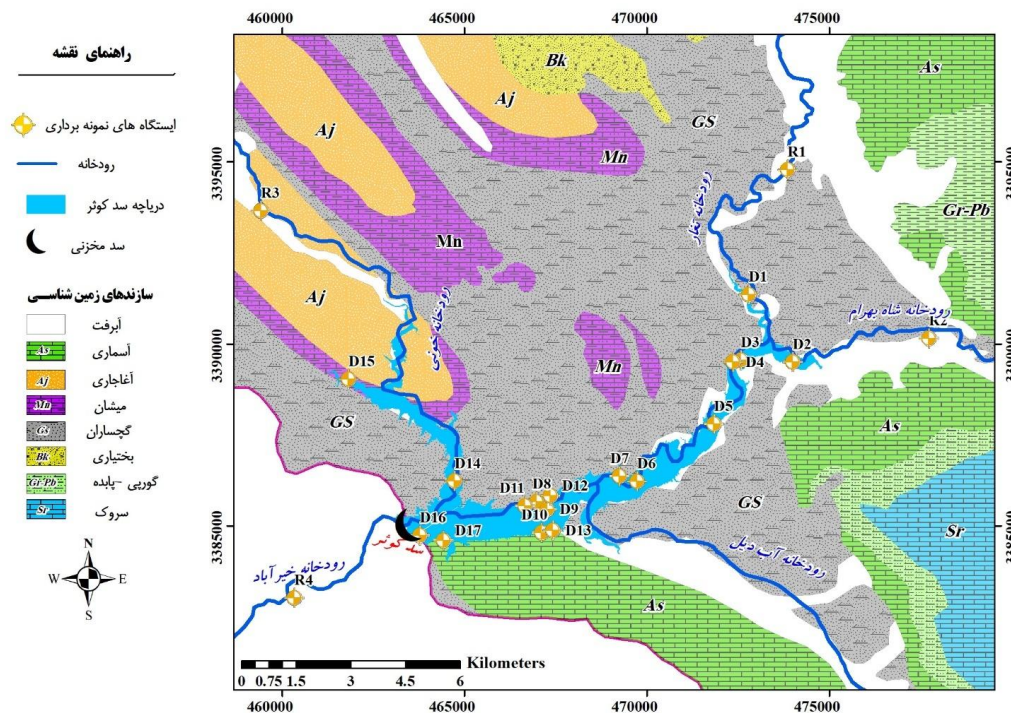
منطقه مورد مطالعه

سد کوثر با ۱۴۴ متر ارتفاع و ۷ متر پهناى تاج سد و ۱۹۰ متر طول تاج و همین‌طور پهناى پی ۶۳ متر و با طول جغرافیایی ۲۲-۵۰ تا ۱۵-۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵-۳۰ تا ۵۵-۳۰ شمالی در شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد در یک تنگه بسیار باریک پادوک بر روی رودخانه خیرآباد احداث شده است. سد مخزنی کوثر یکی از سدهای بزرگ کشور است که به دلیل مهار آب‌های سطحی و استفاده از آن در بخش‌های قابل توجهی از مناطق جنوبی و جنوب غربی که فاقد منابع آب مطمئن به‌ویژه برای مصارف شرب بوده‌اند، از اهمیت زیادی برخوردار است. رودخانه‌های اصلی حوزه آبخیز سد کوثر شامل رودخانه‌های شاه‌بهرام، خونی، شور، تغار و آب دیل هستند. رودخانه‌های شور و تغار قبل از ورود به مخزن سد به یکدیگر متصل شده و در قسمت شمال شرقی وارد مخزن سد می‌شود. رودخانه شاه‌بهرام که از اصلی‌ترین شاخه تأمین‌کننده آب سد کوثر است، از ارتفاعات منشأ گرفته و در بخش شرقی به مخزن سد وارد می‌شود. شاخه‌های خونی و آب دیل نیز به ترتیب از بخش‌های جنوب غربی و شمال غربی وارد مخزن سد کوثر می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه سازندهای زمین‌شناسی گچساران، آسماری، میشان، آغاچاری، سروک، گورپی-پابده و بختیاری مشاهده می‌گردد (شکل ۱). سازندهای آهکی موجود در حوزه آبخیز از قبیل آسماری و ایلام سروک منشأ اصلی رودخانه شاه‌بهرام هستند و رودخانه شور و خونی با عبور از سازند گچساران به مراتب کیفیت آب نامطلوب‌تری دارند (شکل ۱). بیشترین رخنمون سازند گچساران در قسمت‌های شمالی مخزن مشاهده می‌گردد و در حوزه آبخیز کوثر نیز این سازند در ارتفاعات شمالی و در اطراف شهر دهدشت رخنمون دارد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی وضعیت کیفی سد مخزنی کوثر در ابتدا موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی مشخص شدند. برای سنجش پارامترهای کیفی مخزن سد، تعداد ۱۷ ایستگاه در مناطق مختلف مخزن برای اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی، درجه حرارت، اکسیژن محلول، pH، اسیدیته، وزن مخصوص، نیترات و فسفات در اعماق مختلف و ۷ ایستگاه از شاخه‌های ورودی به سد و همچنین مخزن سد برای آنالیز عناصر عمده (بی‌کربنات، سولفات، کلرید، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) انتخاب شد. باتوجه به تغییرات پارامترهای کیفی نسبت به عمق آب در دو نقطه (مرکز و ابتدای سد) به عنوان ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب و نمونه آب برای آنالیز شیمیایی در اعماق کم عمق، نیمه عمیق و عمیق برداشت شد. پراکنش ایستگاه‌ها براساس سازندهای زمین‌شناسی موجود در مخزن سد (سازند آسماری و گچساران) و همچنین ورودی آب به مخزن (سیدآباد و نازمکان) و خروجی مخزن (ایستگاه پادوک) انتخاب شد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در نقشه زمین‌شناسی شکل (۱) نمایش داده شده است.

برای بررسی پارامترهای کیفی ستون آب (وضعیت لایه‌بندی حرارتی، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، pH، شوری و وزن مخصوص) در اعماق مختلف به صورت آنالیز از دستگاه CTD استفاده شد (جدول ۱). از نمونه‌برداری عمقی آب (روت‌نر) برای نمونه‌برداری لایه‌های هیپولیمنیون^۱ (لایه اختلاط یا لایه رویی)، حد بالا و پایین لایه ترموکلاین^۲ (لایه شکست حرارتی) و لایه هیپولیمنیون (لایه پایینی) استفاده شده است. عناصر عمده (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) در ایستگاه‌های D16, D14, D9, R1, R2, R3, R4 در دو دوره نمونه‌برداری (اردیبهشت و آذرماه ۱۳۹۷) (جدول ۲ الف و ۲ ب) و در مخزن سد به صورت عمقی در عمق ۱ متری، ۱۷ تا ۲۰ متری و بالای ۳۴ متری در ایستگاه‌های D9 و D16 در آزمایشگاه سازمان آب و برق خوزستان آنالیز شده‌اند (جدول ۳). میزان فسفات و نیترات به صورت عمقی نیز در مخزن سد و در ایستگاه D16 با استفاده از دستگاه Water analyzer Wagtech اندازه‌گیری شده است. در این تحقیق برای بررسی داده‌های به‌دست آمده در طی دوره‌های نمونه‌برداری، تهیه نتایج آماری، رسم نمودارها و تیپ آب از نرم‌افزارهای EXCEL ۲۰۱۹، SPSS ۲۳ و AqQa 1.1 استفاده شده است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر

1. Hypolimnion
2. Thermocline

یافته‌های پژوهش

جدول ۱. میانگین آماری نتایج سنجش آب مخزن سد کوثر توسط دستگاه CTD

Station	Parameter	Temp(c)	pH	EC (ms/cm)	DOS (%)	DO(mg/l)	Salinity(%)	Density (kg/m ³)
D1		۲۶/۷۲	۸/۳۸	۱/۰۷	۹۶/۴۷	۷/۶۸	-/۵۱	۹۹۶/۹۷
D2		۲۹/۲۱	۸/۳۸	۱/۲۹	۹۷/۷۸	۷/۴۴	-/۵۹	۹۹۶/۳۳
D3		۲۹/۰۶	۸/۳۳	۱/۲۸	۹۳/۵۴	۷/۱۴	-/۵۹	۹۹۶/۳۹
D4		۲۸/۷۱	۸/۲۹	۱/۲۷	۸۸/۶۸	۶/۸۰	-/۵۹	۹۹۶/۴۹
D5		۲۶/۴۴	۸/۰۹	۱/۲۵	۶۶/۵۷	۵/۱۶	-/۶۰	۹۹۷/۱۰
D6		۲۱/۴۰	۷/۹۶	۱/۲۳	۴۹/۳۰	۳/۹۷	-/۶۷	۹۹۸/۳۱
D7		۲۴/۴۹	۸/۱۲	۱/۲۵	۷۲/۱۰	۵/۷۳	-/۶۳	۹۹۷/۵۷
D8		۲۸/۸۵	۸/۳۸	۱/۳۲	۹۹/۶۹	۷/۶۴	-/۶۱	۹۹۶/۴۷
D9	Mean	۲۰/۷۴	۸/۰۳	۱/۳۴	۶۰/۸۶	۵/۰۷	-/۶۸	۹۹۸/۴۹
D10		۲۸/۸۹	۸/۴۲	۱/۳۴	۱۰۱/۹۷	۷/۸۱	-/۶۲	۹۹۶/۴۷
D11		۲۸/۷۵	۸/۳۹	۱/۳۲	۱۰۱/۹۷	۷/۸۳	-/۶۱	۹۹۶/۵۰
D12		۲۸/۸۲	۸/۴۱	۱/۳۳	۱۰۰/۴۹	۷/۷۰	-/۶۱	۹۹۶/۴۷
D13		۲۸/۸۵	۸/۴۱	۱/۳۴	۱۰۲/۴۰	۷/۸۴	-/۶۲	۹۹۶/۴۶
D14		۲۱/۲۷	۸/۱۰	۱/۳۰	۷۶/۷۱	۶/۵۳	-/۷۱	۹۹۸/۳۹
D15		۲۹/۴۷	۸/۴۶	۱/۴۳	۱۰۲/۶۶	۷/۷۸	-/۶۵	۹۹۶/۳۱
D16		۲۰/۸۲	۸/۰۶	۱/۲۶	۶۶/۸۷	۵/۶۴	-/۶۹	۹۹۸/۴۹
D17		۲۸/۱۹	۸/۳۸	۱/۳۴	۱۰۷/۹۴	۸/۳۹	-/۶۳	۹۹۶/۶۷

جدول ۲ الف. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر در آذرماه ۱۳۹۷ (هدایت الکتریکی برحسب میکروموس بر سانتی‌متر و سایر پارامترها برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

Parameter	R1	R2	R3	R4	D9	D14	D16
EC	۷۵۲	۴۹۸	۲۲۷۰	۱۵۰۲	۱۲۱۳	۱۴۹۰	۱۳۲۰
TDS	۵۰۶	۲۹۳	۱۴۸۰	۹۹۳	۷۸۵	۸۹۰	۸۷۰
PH	۸	۷/۹	۷/۹	۸	۷/۸	۷/۶	۷/۸۸
Ca	۱۳۸/۵	۶۲/۴	۳۲۳/۱	۲۰۵/۵	۱۴۹/۷	۱۴۷/۱	۱۸۵
Mg	۲۳/۲	۱۱/۶	۷۹/۸	۳۳/۷	۱/۶	۱۱/۳	۲۵/۲
Na	۶۵/۲	۲۵/۶	۶۲/۵	۷۸/۱	۶۱/۸	۸۶/۱	۸۲
K	۷/۵	۱/۸	۱۱/۱	۹/۴	۱/۸	۱/۷	۲/۸
HCO ₃	۳۵۹/۴	۱۸۹/۷	۳۳۹/۵	۴۱۳/۱	۲۲۴/۵	۲۲۴/۶	۲۶۲
SO ₄	۱۱۲/۴	۴۱/۲	۵۳۴/۲	۲۵۵/۴	۲۴۷/۹	۲۶۶/۹	۳۲۰
Cl	۱۰۵/۷	۳۵/۷	۲۵۹/۳	۱۲۳/۵	۱۲۱/۴	۱۵۹/۴	۱۰۵/۵
NO ₃	۲۰/۴	۲۴/۸	۲۴/۱	۲۰/۱	۵/۲	۵/۱	۵
BOD	۷/۱	۸/۳	۱۱/۷	۴/۵	۳/۷	۴/۸	۴/۱
COD	۱۸/۲	۱۹/۴	۲۴/۵	۱۱/۴	۸/۴	۸/۹	۹/۴
DO	۸/۶	۸/۲	۹/۴	۸/۶	۸/۱۶	۷/۹	۸/۶

جدول ۲ ب. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر در اردیبهشت ۱۳۹۷
(هدایت الکتریکی برحسب میکروموس بر سانتی متر و سایر پارامترها برحسب میلی گرم بر لیتر)

Parameter	R1	R2	R3	R4	D9	D14	D16
EC	۹۹۵	۶۳۶	۴۴۵۳	۱۵۵۹	۱۲۲۰	۱۴۷۰	۱۲۵۳
TDS	۶۶۴	۴۷۳/۴	۲۸۳۰/۵	۱۰۳۸	۷۹۵	۹۸۰	۸۱۵
PH	۷/۸۱	۷/۶۲	۷/۵۶	۷/۷۱	۸/۰۵	۷/۹	۷/۹۴
Ca	۶۶/۱	۷۸/۵	۳۸۳/۷	۱۸۲/۳	۱۵۹/۶	۱۹۶	۱۷۵
Mg	۳۶	۳۸/۸	۹۰/۱	۴۲	۲/۱	۲۸	۲۱/۱
Na	۹۶/۸	۸/۴	۴۴۸/۱	۸۲/۷۶	۶۲/۹	۹۰	۷۷/۵
K	۰/۸	۰/۶	۳/۴	۱/۴	۲/۱	۳/۱	۲/۲
HCO3	۷۰/۱۴	۸۹/۱	۵۶/۱	۵۶/۱	۲۳۱/۵	۲۶۸/۴	۲۴۱
SO4	۳۵/۴	۳۰/۴	۳۸۰/۵	۱۷۹/۵	۲۶۱/۳	۳۵۰	۳۰۶
Cl	۹۳/۱	۹/۰۱	۴۴۵/۸۹	۷۴/۱۴	۱۲۹/۴	۱۶۵	۱۴۱/۹
NO3	۱۵/۱۲	۱۳/۴۷	۱۴/۲۳	۵/۱۳	۶/۲	۶	۵/۸
BOD	۸/۲۷	۷/۸۱	۸/۹۸	۷/۵۷	۱۱/۹	۱۱/۹	۱۰/۲
COD	۱۶/۵	۱۷/۳	۲۲/۶۰	۹/۴	۴/۱	۶/۱	۴/۶
DO	۸/۳۸	۹/۳۳	۴/۸۳	۸/۳۱	۸/۶	۸/۱	۹/۶

جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب مخزن سد در دو ایستگاه و در عمق‌های مختلف
(هدایت الکتریکی برحسب میکروموس بر سانتی متر و سایر پارامترها برحسب میلی گرم بر لیتر)

Parameter	D9			D16		
	۱	۲۰	۴۳	۱	۱۷	۳۴
EC	۱۲۱۳	۱۱۹۳	۱۱۲۰	۱۳۲۰	۱۱۹۸	۱۱۶۵
TDS	۷۸۵	۷۲۹	۷۶۹	۸۷۰	۷۲۱	۸۰۴
pH	۷/۸	۷/۵	۷/۴۹	۷/۸۸	۷/۴۶	۷/۴۶
Ca	۱۴۹/۷	۱۶۹/۴	۱۸۱/۷	۱۸۵	۱۵۲/۳	۱۴۹/۷
Mg	۳۱/۶	۱۴/۶	۱۵/۵	۲۵/۲	۲۸/۶	۱۱/۴
Na	۶۱/۸	۵۵/۲	۷۱/۸	۸۲	۷۲/۹	۷۵/۵
K	۱/۸	۱/۹	۲/۱	۲/۸	۱/۴	۱/۱
HCO3	۲۲۴/۵	۲۰۴/۸	۲۳۱/۵	۲۶۲	۲۱۴/۳	۱۸۳/۵
SO4	۲۴۷/۹	۲۵۹/۷	۲۹۵/۶	۳۲۰	۲۴۱/۶	۲۴۸/۲
Cl	۱۲۱/۴	۱۲۹/۴	۱۳۹/۴	۱۵۰/۵	۱۴۵/۳	۱۳۳/۴
NO3	۵/۲	۵/۱	۵/۵	۵	۴/۹	۵/۲
BOD	۳/۷	۴/۷	۵/۳	۴/۱	۴/۹	۵/۱
COD	۸/۴	۱۰/۲	۱۲/۷	۹/۴	۱۰/۶	۱۲/۹
DO	۱/۶	۵/۵	۱/۶	۸/۶	۵/۲	۲/۱

بحث و نتایج

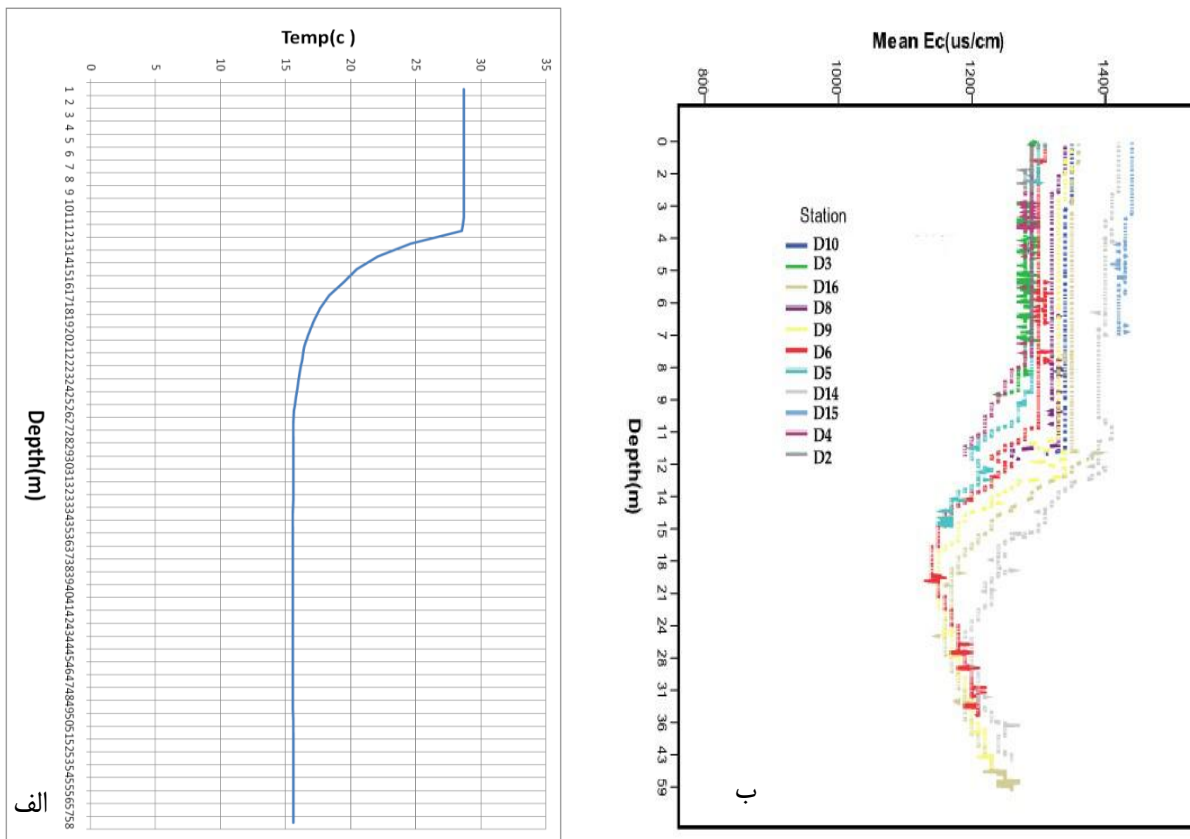
۱. لایه‌بندی حرارتی

دو عامل مهمی که در مخازن سدها موجب کاهش کیفیت آب می‌شوند، پدیده‌های لایه‌بندی حرارتی و تغذیه‌گرایی هستند. به دلیل تفاوت درجه حرارت آب و تشکیل لایه‌بندی حرارتی عملاً مانعی در ایجاد اختلاط در ستون آب می‌شود. همچنین پدیده تغذیه‌گرایی بر اثر ازدیاد مواد مغذی به‌ویژه ترکیبات کربن، فسفر و نیتروژن در پیکره آبی اتفاق می‌افتد و رشد بی‌رویه جلبک‌ها را به همراه دارد (کاسوه، مرادی و شوربان، ۱۳۹۷). لایه‌بندی به معنی ایجاد لایه‌هایی از جرم‌های سیال است که بر اثر اختلاف در چگالی یا درجه حرارت یا مواد محلول و معلق ایجاد می‌شود. میانگین درجه حرارت مخزن سد کوثر ۲۴/۹۵ درج/ سانتی‌گراد (n=4013, Max=29.94, Min = 15.53)

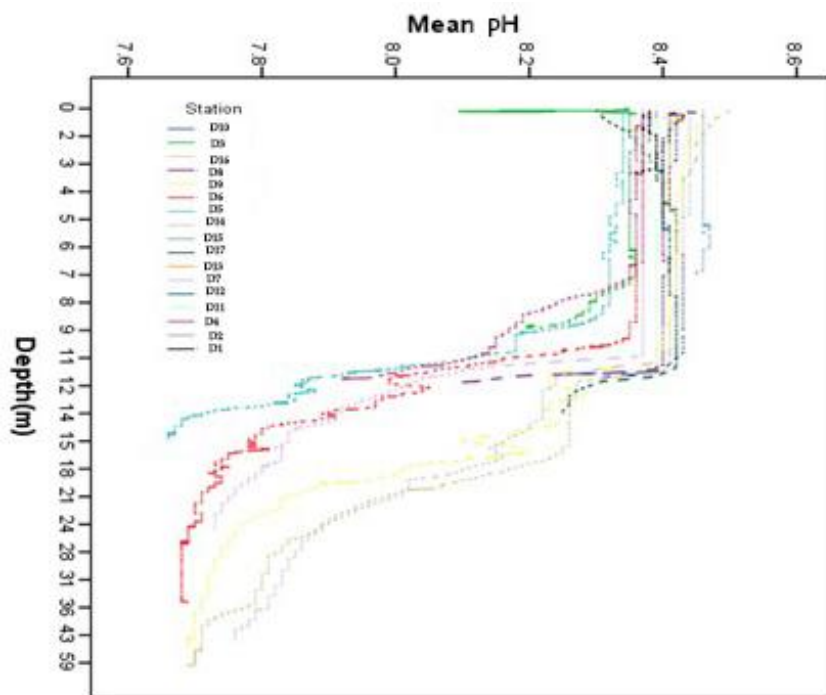
بوده است. در فصل زمستان به دلیل اختلاط کامل مخزن، لایه‌بندی حرارتی تشکیل نشده و دمای آب در تمامی ترازهای مخزن یکسان بوده است. با شروع فصل بهار و گرم شدن هوا، به تدریج از اواسط بهار، لایه‌بندی حرارتی در مخزن تشکیل شده و در اواسط تابستان به اوج خود رسیده و تا انتهای تابستان ادامه یافته است. در این دوره، اختلاف دما بین لایه سطحی و لایه‌های پایینی به دلیل افزایش دمای آب در لایه‌های سطحی و نبود شرایط اختلاط بین لایه‌های مختلف مخزن، افزایش می‌یابد (خیامی و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین، با اندازه‌گیری درجه حرارت در فصل تابستان بهترین لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد کوثر مشاهده شده است. باتوجه به بررسی نتایج به‌دست‌آمده در ماه‌های بهمن و اسفند کمترین میزان دما مشاهده می‌شود، ولی بعد از این دوره به‌مراتب دما افزایش یافته و در تابستان و شهریورماه به اوج می‌رسد. تشکیل لایه‌بندی حرارتی در مخزن، به تدریج باعث افزایش ضخامت لایه اپیلمنیون می‌شود. لایه ترموکلاین در مخزن سد از عمق ۱۲- تا ۲۵- متر با اختلاف دمایی ۱۴ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده است که در شکل (۲) لایه‌بندی حرارتی مخزن سد کوثر مشاهده می‌گردد. وجود لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد عامل و بیانگر تغییرات کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ترازهای مختلف است که در صورت تداوم می‌تواند منجر به نامناسب شدن شرایط کیفی آب در مخزن گردد (خیامی و همکاران، ۱۳۸۸). ایجاد لایه‌بندی حرارتی و تغییر در شرایط کیفی آب را می‌توان با مشاهده در اشکال ۲، ۳ و ۴ که تغییرات عمقی هدایت الکتریکی، pH و درصد شوری هستند مشاهده کرد. دمای آب بر روی نوع و میزان فعالیت گونه‌های بیولوژیکی، انحلال گازها، سرعت واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی و سرعت رسوب‌گذاری تأثیر گذاشته به طوری که به‌ازای افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی دوبرابر می‌شود (امیری، شریعتی و احمدی کلان، ۱۴۰۰). در فصل تابستان به‌علت بالا بودن درجه حرارت و شدت تابش نور خورشید، به‌خصوص در شرایطی که عناصر غذایی گیاهی نیز فراوان باشد، رشد جلبک‌ها در لایه‌های سطحی به‌شدت افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند کیفیت آب را از نظر رنگ، بو و طعم دچار تغییرات زیادی کند. از طرف دیگر به دلیل کاهش انحلال اکسیژن در آب و همچنین زیاد شدن سرعت فعالیت‌های متابولیسمی آبزیان و تجزیه مواد تجمع‌یافته در رسوبات، شرایط در ترازهای عمقی آب می‌تواند کاملاً بی‌هوازی شده و منجر به تشکیل ترکیبات مولد بو و یا طعم نامطبوع گردد (امیری، شریعتی و احمدی کلان، ۱۴۰۰). پایداری شدت لایه‌بندی حرارتی بستگی به چندین عامل کلیدی دارد که شامل محل جغرافیایی، الگوی اقلیمی، عوامل اتمسفری (مثل درجه حرارت هوا، سرعت باد، تابش خورشید) و همچنین بستگی به خصوصیات مخزن مثل وضعیت مواد مغذی، رسوبات معلق کف مخزن، توپوگرافی کف مخزن، فعالیت بیولوژیکی و آب ورودی دارد (بوهریر و اسپولتزا، ۲۰۰۸؛ کرلین و شاتول، ۲۰۱۶؛ نودی فراهانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ نوری و همکاران، ۲۰۲۲).

۲. هدایت الکتریکی، pH و شوری

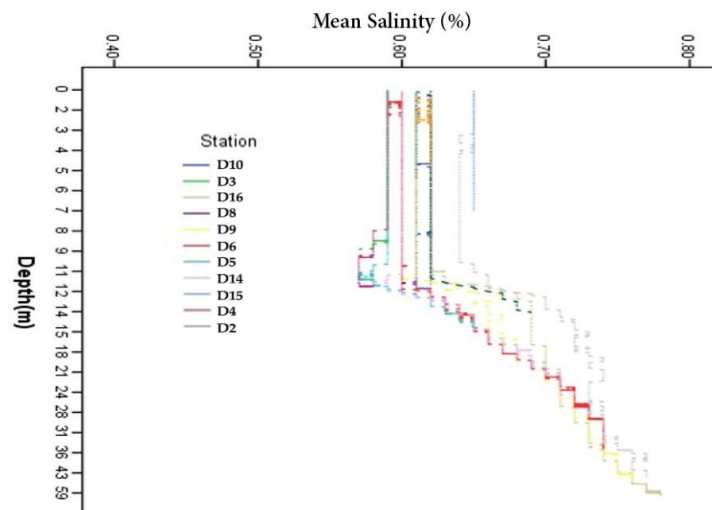
بررسی هدایت الکتریکی در مقابل عمق نیز نشان می‌دهد که با افزایش عمق و تا شروع لایه ترموکلاین مقدار هدایت الکتریکی ثابت است و در حدفاصل لایه ترموکلاین (۱۲ تا ۲۵ متر) میزان هدایت الکتریکی کاهش و پس از آن افزایش می‌یابد. باتوجه به انحلال سازند گچساران که در مخزن سد رخ می‌دهد و جریان و اختلاط آب در دریاچه سد به نظر می‌رسد که مجموع املاح در لایه ترموکلاین کمترین میزان و آب‌ها با مجموع املاح بیشتر در عمق و سطح مخزن سد وجود دارند (شکل ۲ ب). میزان pH اندازه‌گیری شده توسط دستگاه CTD (شکل ۳) نشان می‌دهد که تغییرات pH نیز همانند هدایت الکتریکی از لایه ترموکلاین تبعیت می‌کند و در عمق ۱۲ متری به پایین pH آب کاهش می‌یابد. تغییرات عمقی pH در مخزن بین ۷/۶ تا ۸/۴ متغیر است و تا عمق ۴۳ متری با کاهش pH میزان هدایت الکتریکی نیز روند کاهشی نشان می‌دهد. هرچند با کاهش pH، غلظت عناصر نیز تغییراتی را نشان می‌دهد، در مجموع تغییراتی در تیپ آب مشاهده نمی‌شود. با نتایج اندازه‌گیری شوری آب مخزن (شکل ۴) مشاهده می‌شود که روند تغییرات شوری کاملاً مشابه روند تغییرات حرارتی آب مخزن سد است، به طوری که در فصول بهار و تابستان (فصول اندازه‌گیری نمونه‌های آب) میانگین املاح آب در عمق ۱۲ متری به سمت اعماق روند افزایشی نشان می‌دهد و باتوجه به تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است (خیامی و همکاران، ۱۳۸۷)، با شروع فصول پاییز و زمستان اختلاط آب مخزن، باعث یکنواختی شرایط شوری آب می‌گردد. بیشترین میزان شوری با ۰/۷۱٪ در ایستگاه D14 (در نزدیکی سازند گچساران) و کمترین میزان در ایستگاه D1 (ورودی رودخانه تغار به سد) مشاهده می‌شود.



شکل ۲. الف) دما در مقابل عمق؛ ب) هدایت الکتریکی در مقابل عمق



شکل ۳. نمودار pH در مقابل عمق در آب مخزن سد کوثر



شکل ۴. میزان درصد شوری در مقابل عمق آب مخزن سد کوثر

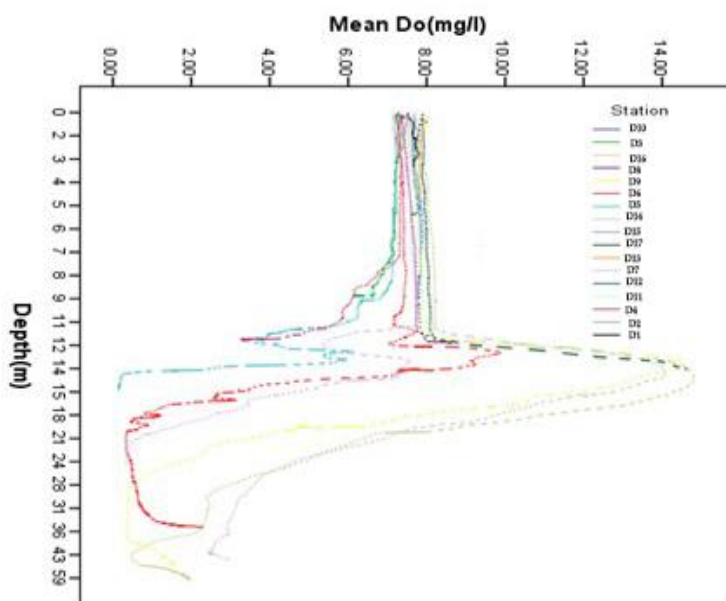
۳. اکسیژن محلول و تغذیه گرای^۱

یکی از اجزای اصلی آب، اکسیژن محلول است که نقش مهمی در کیفیت آب، حیات گیاهان و آبزیان دارد. غلظت اکسیژن محلول^۲ (DO) در آب در تماس با هوا تابع درجه حرارت و فشار و تا حدودی غلظت بقیه املاح در آب است. مقدار اکسیژن محلول در آب شیرین در 5°C حدود $12/75$ میلی گرم در لیتر است و در 30°C غلظت آن به $7/54$ میلی گرم در لیتر کاهش می یابد. میانگین اکسیژن محلول مخزن سد کوثر 5.95 mg/l ($n=4013$ Max= 14.81 mg/l Min= 0.14 mg/l) بوده است. باتوجه به شکل ۵، مشاهده می گردد که در تمامی ایستگاهها در لایه ایپیلیمنون روند تغییرات اکسیژن محلول بسیار کم ولی در لایه ترموکالین آشفستگی زیادی مشاهده می شود. میزان اکسیژن محلول در لایه هیپولیمنون به شدت کاهش و در شرایط هیپوکسیا^۳ (استرس اکسیژنی) قرار می گیرد. میزان اکسیژن آب در ترازهای بالایی بیش از ترازهای پایینی است که علت اصلی این مسئله وجود لایه بندی حرارتی در مخزن و عدم انتقال اکسیژن اتمسفر به لایه هیپولیمنون است (نوری و همکاران، ۲۰۲۴). در اعماق پایین تر اکسیژن محلول در مخزن همواره صفر است که این امر شرایط را برای تولید بو، رنگ و طعم نامطبوع (شرایط احیایی)^۴ مهیا می سازد.

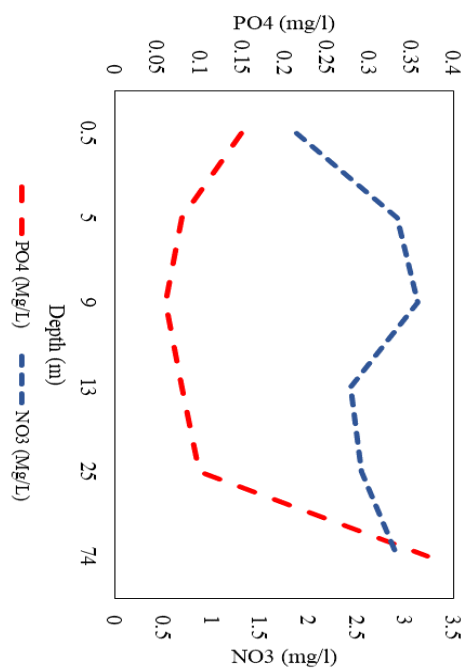
تغذیه گرای یک فرایند طبیعی است که در طول زمان ممکن است در یک دریاچه رخ دهد و طی آن مواد مغذی نظیر فسفر و نیتروژن در اکوسیستم آبی افزایش یابد. فعالیت های انسانی، مانند کشاورزی، توسعه شهری و فرایندهای صنعتی، می تواند با وارد کردن مواد مغذی بیش از حد به آب، این روند را تسریع کند. این اضافه بار مغذی منجر به رشد سریع جلبک ها و سایر گیاهان آبی می شود و ممکن است جلبک به سرعت سطح دریاچه را بپوشاند (ایمانی امیرآباد، دلاور و نیکسخن ۱۳۹۶). برای بررسی میزان مواد مغذی سد کوثر از غلظت عناصر نیترات و فسفات در دریاچه سد و در اعماق مختلف استفاده شده است. با رسم غلظت نیترات و فسفات در مقابل عمق آب شکل (۶) مشاهده می شود که در عمق شروع لایه حرارتی میزان فسفات در آب نیز افزایش می یابد که این افزایش با کاهش میزان اکسیژن محلول مطابقت دارد. حد مجاز فسفات در آب آشامیدنی کمتر از $0/03$ میلی گرم بر لیتر براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) است. در آب مخزن سد کوثر در اعماق متفاوت میزان فسفات کمتر از حد مجاز بوده و برای شرب مناسب است. همچنین میزان حد مجاز نیترات براساس استاندارد جهانی برای شرب 50 میلی گرم در لیتر است که غلظت این عنصر نیز در اعماق مختلف سد کوثر کمتر از حد مجاز می باشد. باتوجه به شکل ۷ ملاحظه می گردد که میزان غلظت نیترات در نمونه های آب رودخانه ها به مراتب بیشتر از مخزن سد است. میزان نیترات در مخزن سد در محدوده 5 میلی گرم بر

1. Europhication
2. Dissolved oxygen
3. Hypoxia
4. Reduction

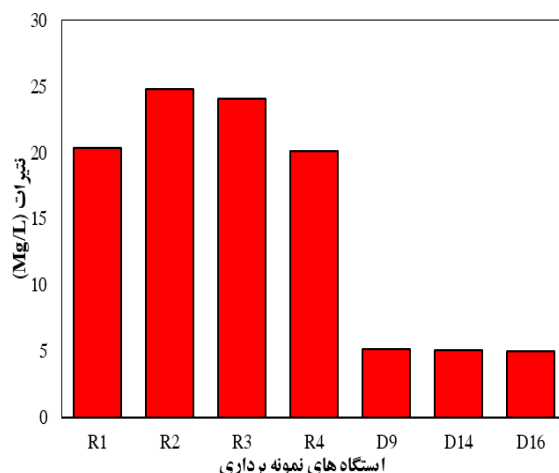
لیتر است و در بعضی از مناطق آب رودخانه‌های ورودی به سد، میزان نیترات به ۲۵ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. از عوامل افزایش نیترات در آب رودخانه‌ها کودهای شیمیایی مصرفی در کشاورزی، فاضلاب صنایع، فاضلاب‌های خانگی و... هستند که در مسیر جریان آب سطحی قرار دارند. یکی از عوامل کاهش میزان نیترات در مخزن سد نسبت به سرشاخه‌های آن، اختلاط و افزایش میزان آب و در واقع رقیق‌شدگی آب در مخزن سد است. هرچند که در عمق شرایط احیایی است و انتظار می‌رود که غلظت نیترات روند کاهشی داشته باشد، واکنش‌های شیمیایی و باکتری‌های مؤثر در محیط ممکن است که اختلالی در این روند ایجاد کنند و تغییر جزئی در حدود یک میلی‌گرم در لیتر در غلظت نیترات ایجاد نمایند.



شکل ۵. میزان غلظت اکسیژن محلول در مقابل عمق آب مخزن سد کوثر



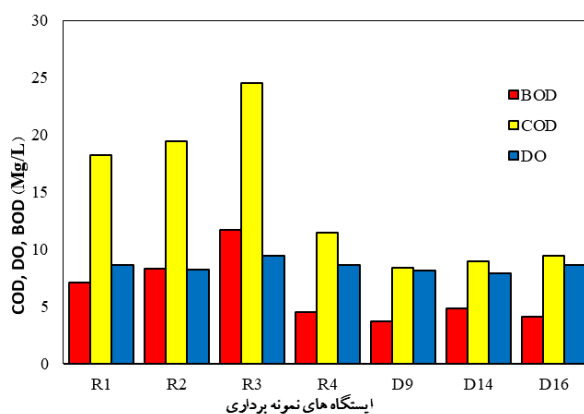
شکل ۶. نمودار میزان غلظت فسفات و نیترات در اعماق مختلف آب مخزن سد کوثر (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)



شکل ۷. غلظت نیترات در نمونه‌های آب حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر

۴. پارامترهای بیوشیمیایی کیفیت آب

برای بررسی کیفیت آب مخزنی سد کوثر از پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD) استفاده شده است. به مقدار اکسیژنی که لازم است تا تمام مواد آلی موجود در آب توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف شود، به اصطلاح BOD گفته می‌شود. براساس یک رابطه کلی می‌توان مشخص کرد که هرچه BOD بیشتر باشد، به معنای زیاد بودن مواد آلی در آب خواهد بود و در نهایت می‌توان گفت آب از کیفیت پایین‌تری برخوردار است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، میزان COD, DO و BOD در حوزه آبخیز بیشتر از مخزن سد است و در سطح آب مخزن سد و در نقاط مختلف آن تا حدودی به روند ثابتی رسیده است که ناشی از رقیق‌شدگی و اختلاط است. باتوجه به پارامترهای فوق کیفیت آب در عمق ۱ متری مخزن سد دارای شرایط ایدئال است، ولی باتوجه به نتایج عمقی که در جدول ۳ ارائه شده است مشاهده می‌گردد که با افزایش عمق میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی افزایش و مقدار اکسیژن محلول کاهش می‌یابد. در شرایطی که مقدار زیادی از مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های مختلف تجزیه شوند، ممکن است سطح اکسیژن محلول کاهش یابد. با ادامه این فرایند، میکروارگانیسم‌های موجود در آب، اکسیژن محلول را مصرف می‌کنند و باعث کاهش سطح آن می‌شوند. همچنین راکد بودن آب باعث کاهش میزان اکسیژن محلول در آب می‌شود. در واقع اکسیژن محلول تحت‌تأثیر دما، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، گیاهان آبی، شوری آب و فشار هواست که در این شرایط محیط برای رشد جلبک‌ها و مواد آلی فراهم می‌گردد. باتوجه به کاهش شدید میزان اکسیژن محلول در عمق و افزایش پارامترهای BOD و COD مشخص می‌گردد که آب در اعماق سد مخزنی کوثر از جهت استفاده به خصوص شرب مناسب نیست.

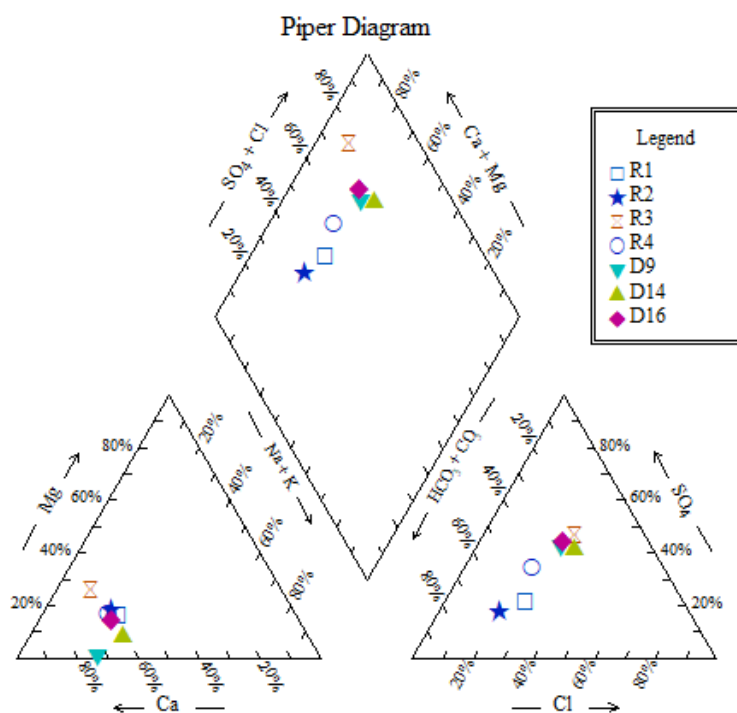


شکل ۸. میزان COD و BOD, DO در حوزه آبخیز و مخزن سد کوثر

۵. هیدروژئوشیمی منابع آب مورد مطالعه

به‌منظور بررسی تیپ آب مخزن سد کوثر و تأثیر سازند گچساران بر کیفیت آب از نمودار پایپر و نمودارهای ترکیبی هیدروشیمیایی شکل ۹ استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد، آب رودخانه‌های حوزه آبخیز سد کوثر دارای دو تیپ هستند. ایستگاه R1 در منطقه سیدآباد بر روی رودخانه تغار و بعد از تلاقی آب ورودی از چشمه‌سیاه و چشمه‌بلیقیس دارای تیپ Ca-HCO_3 می‌باشد که به‌دلیل منشأ گرفتن چشمه‌سیاه و چشمه‌بلیقیس از سازندهای آهکی در منطقه است. ایستگاه R2 (نازمکان) در رودخانه شاه‌بهرام نیز مانند سیدآباد دارای تیپ Ca-HCO_3 است.

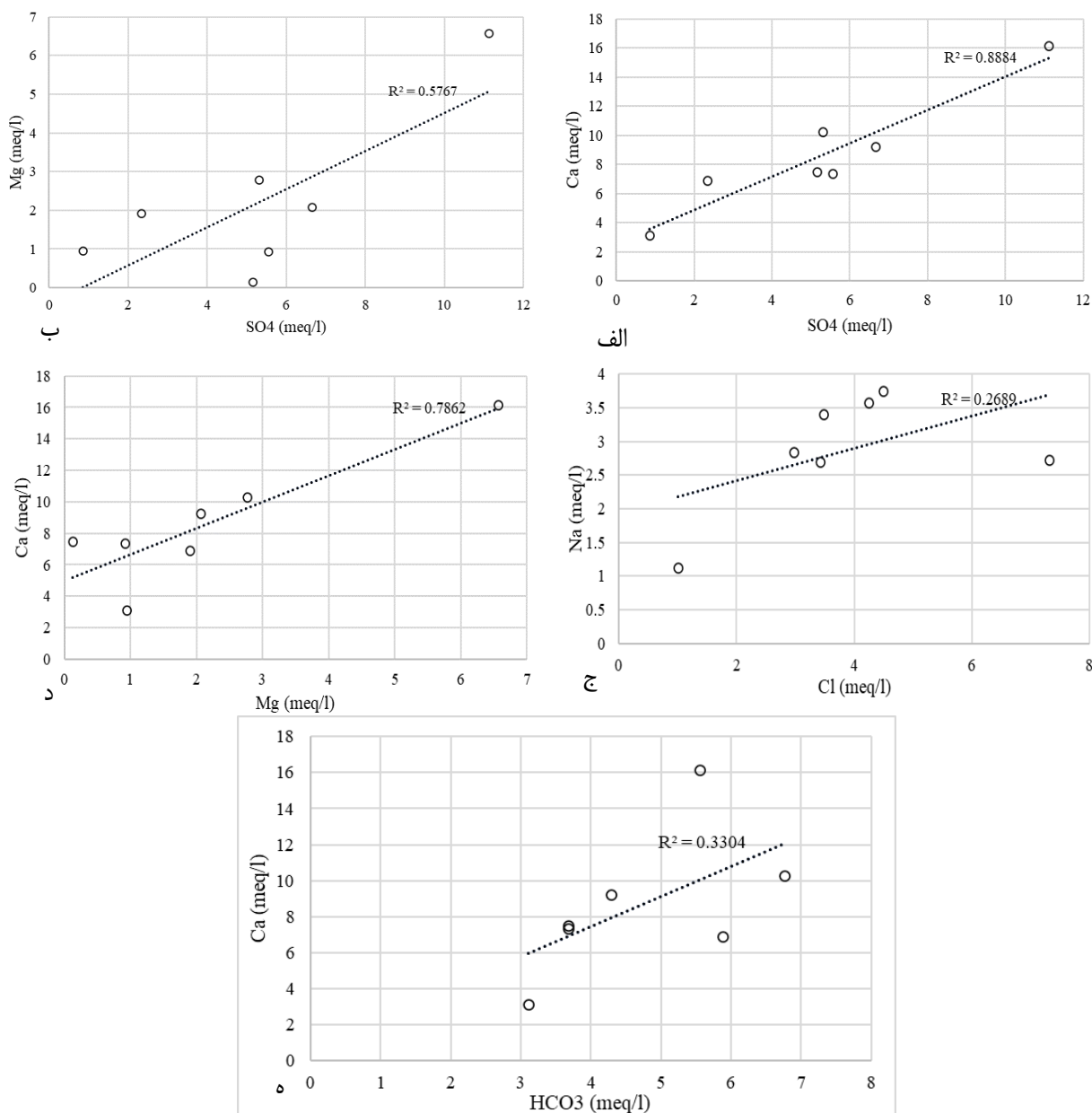
ایستگاه R3 دارای تیپ Ca-SO_4 است. این ایستگاه بر روی رودخانه خونی قرار دارد و به‌دلیل عبور از سازند گچساران دارای هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به سایر سرشاخه‌های حوزه آبخیز سد کوثر است. تیپ سولفات-کلسیک نیز به‌دلیل گسترش سازند گچساران در حوزه آبخیز این رودخانه است که انحلال این سازند باعث افزایش میزان کلسیم و سولفات آب رودخانه شده است. در پایین دست سد و در ایستگاه پادوک واقع بر رودخانه خیرآباد، تیپ آب بی‌کربنات کلسیک است. بخش اعظم آب ورودی به مخزن سد از رودخانه شاه‌بهرام و تغار است که دارای تیپ بی‌کربنات کلسیک است، تأمین می‌شود. این موضوع در نتایج آنالیز عناصر عمده در اعماق مختلف مخزن که در جدول ۳ ارائه شده است نیز مشاهده می‌گردد. با افزایش عمق میزان پارامتر کلسیم، سولفات و بی‌کربنات افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده انحلال سازندهای کربناته در مخزن است. تیپ آب تعدادی از نمونه‌های مخزن سد کوثر (D9, D14, D6)، سولفات کلسیک است که ناشی از رخنمون سازند گچساران در جناحین دریاچه سد است. همچنین تیپ آب در ایستگاه پادوک که خروجی سد مخزنی کوثر است، نشان‌دهنده اختلاط آب است.



شکل ۹. نمودار پایپر نمونه‌های آب حوزه آبخیز مخزن سد کوثر

یکی از روش‌های تفسیر فرایندهای مؤثر بر کیفیت شیمیایی منابع آب، تعیین رابطه بین پارامترهای نمونه‌های آب از طریق رسم آن‌ها بر روی نمودارهای دومتغیره است (میرزاوند، صادقی و باقری، ۱۳۹۹) که به نمودارهای ترکیبی معروف‌اند. باتوجه‌به نحوه آرایش نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب را تعیین کرد. بیشترین ارتباط بین سولفات و کلسیم در منابع آب حوزه آبخیز سد کوثر است که نشان‌دهنده تأثیر سازند گچساران است. همچنین ارتباط نسبتاً خوب کلسیم و منیزیم که احتمالاً ناشی از تأثیر سازندهای آهکی در مسیر جریان حرکت آب است. برای مشخص شدن میان لایه‌های نمکی در سازند گچساران از

نمودار ترکیبی سدیم در مقابل کلرید (شکل ۱۰) استفاده گردید که ارتباط نسبتاً ضعیفی را نشان می‌دهد و عملاً منعکس‌کننده نبود میان لایه نمکی در سازند گچساران است.



شکل ۹. نمودارهای ترکیبی عناصر عمده حوزه آبخیز سد مخزنی کوثر

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از پروفیل‌های عمقی دمای آب بیانگر وقوع لایه‌بندی شدید حرارتی در دوره مورد بررسی در مخزن سد است؛ به‌گونه‌ای که تفاوت دما بین لایه‌های سطحی و عمقی آب به مقدار ۱۴ درجه سلسیوس رسیده و ابتدای لایه ترموکلاین از عمق ۱۲ متری است.

مواد مغذی، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول، درصد شوری در عمق در ابتدای لایه ترموکلاین دارای الگوی افزایشی و پارامترهای اکسیژن محلول و pH روند کاهشی را نشان می‌دهند. میزان اکسیژن محلول در ترازهای بالایی بیش از ترازهای پایینی است و در اعماق پایین‌تر که اکسیژن محلول نزدیک به صفر می‌رسد، شرایط را برای تولید بو، رنگ و طعم نامطبوع (شرایط احیایی) مهیا می‌سازد. به‌دلیل اینکه تشکیل لایه‌بندی حرارتی، موجب تغییر کیفیت آب در عمق پایینی مخزن می‌شود، آبیگری از

ترازهای فوقانی پیشنهاد می‌گردد.

گسترش سازند گچساران در بخش‌هایی از دیواره‌های دریاچه سد کوثر باعث ایجاد انحلال و موجب تغییر کیفیت آب شده و تیپ آب در بخش‌های محدودی از مخزن سد Ca-SO_4 است. باتوجه‌به اینکه رودخانه‌های تغار و شاه‌بهرام که دارای تیپ Ca-HCO_3 هستند و تأمین‌کننده اصلی آب مخزن سد نیز هستند، آب خروجی از سد نیز دارای تیپ بی‌کربنات کلسیک است.

سپاسگزاری

مؤلفان این تحقیق از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و شرکت آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد که تسهیلات لازم و پشتیبانی مالی این تحقیق را فراهم آورده‌اند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

- Al-Khashman, O. A., & Alnawafleh, H. M. (2020). Hydrochemistry and Quality Assessment of Water in Tannur Dam, Southern Jordan. *Open Journal of Modern Hydrology*, 10(1), 1-19.
- Amiri1, P., Shariat, S.M., & Ahmadikallan, M. (2021). Detecting of Water Quality Using National Sanitation Foundation (WQI) Index (Case Study: Ilam ChamGardallan's Dam). *Human and Environment*, 19(4), 189-200. (in persian)
- Biemans, H., Haddeland, I., Kabat, P., Ludwig, F., Hutjes, R. W., Heinke, J., von Bloh, W., & Gerten, D. (2011). Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century. *Water Resources Research*, 47(3).
- Boehrer, B., & Schultze, M. (2008). Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics*, 46(2).
- Chaffin, J. D., Bridgeman, T. B., & Bade, D. L. (2013). Nitrogen constrains the growth of late summer cyanobacterial blooms in Lake Erie. *Advances in Microbiology*.
- Chao, B. F., Wu, Y.-H., & Li, Y. (2008). Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level. *science*, 320(5873), 212-214.
- Cheng, Y., Voisin, N., Yearsley, J. R., & Nijssen, B. (2020). Reservoirs modify river thermal regime sensitivity to climate change: a case study in the southeastern United States. *Water Resources Research*, 56(6), e2019WR025784.
- Dumitran, G. E., Vuta, L. I., Popa, B., & Popa, F. (2020). Hydrological variability impact on eutrophication in a large Romanian border reservoir, Stanca-Costesti. *Water*, 12(11), 3065.
- Ebrahimi, M., Jabbari, E., & Abbasi, H. (2015). Simulation of thermal stratification and salinity in dam reservoir using CE-QUAL-W2 software (Case study: Baft Dam). *J Civil Engine Urban*, 5(1), 07-11.
- Fang, X., & Stefan, H. G. (1999). Projections of climate change effects on water temperature characteristics of small lakes in the contiguous US. *Climatic Change*, 42(2), 377-412.
- Förster, H., & Lilliestam, J. (2010). Modeling thermoelectric power generation in view of climate change. *Regional Environmental Change*, 10, 327-338.
- Friedl, G., & Wüest, A. (2002). Disrupting biogeochemical cycles-Consequences of damming. *Aquatic Sciences*, 64, 55-65.
- Heydarizad, M. (2018). Hydrochemical assessment and quality classification of water in Torogh and Kardeh Dam reservoirs, North-East Iran. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 12(1), 49-53.
- Hostetler, S. W., Bates, G. T., & Giorgi, F. (1993). Interactive coupling of a lake thermal model with a regional climate model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D3), 5045-5057.
- Huisman, J., Sharples, J., Stroom, J. M., Visser, P. M., Kardinaal, W. E. A., Verspagen, J. M., & Sommeijer, B. (2004). Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology*, 85(11), 2960-2970.
- Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A., & Bodungen, B. v. (1997). Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*, 386(6623), 385-388.
- Imani, S., Delavar, M., & Niksokhan, M.H. (2017). Simulation and Assessment of Management Practices for Reduction of Nutrients Discharge to the Zrebar Lake Using SWAT Model. *Iran-Water Resources Research*, 13(1), 69-87. (in persian)
- Ion, I. V., & Ene, A. (2021). Evaluation of greenhouse gas emissions from reservoirs: A review. *Sustainability*, 13(21), 11621.
- Kamble, P., Kokate, S., Aher, H., & Kuchekar, S. (2008). Seasonal variation in physico-chemical parameters of Khadakwasala Reservoir. *Rasayan Journal of Chemistry*, 1(1), 63-67.
- Kaveh, M., Moridi, A., & Shourian, M. (2018). Solutions for Improving Water Quality in Dams' Reservoirs (Case Study: Ilam Reservoir). *Water Resources Engineering Journa*, 11(37), 87-97. (in persian)
- Khayammi, M., Danesh, S., Khodashenas, S., & Davari, K. (2009). Simulation of Water Quality in Dam's Basins (Case Study – Torogh Dam Basin). *Journal of Water & Soil*, 23(1), 17-29. (in persian)
- Khuzestan Water Research Consulting Engineering Company. studies to identify the biological threats of Kausar Dam (with an emphasis on the qualitative pollutants of water resources in the population centers on the edge of the dam reservoir). 2023; 245. (in persian)
- Kirillin, G., & Shatwell, T. (2016). Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes. *Earth-Science Reviews*, 161, 179-190.
- Li, S., Xu, Y. J., & Ni, M. (2021). Changes in sediment, nutrients and major ions in the world largest reservoir: Effects of damming and reservoir operation. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128601.
- Maavara, T., Chen, Q., Van Meter, K., Brown, L. E., Zhang, J., Ni, J., & Zarfl, C. (2020). River dam

- impacts on biogeochemical cycling. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(2), 103-116.
- Maavara, T., Dürr, H. H., & Van Cappellen, P. (2014). Worldwide retention of nutrient silicon by river damming: From sparse data set to global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 28(8), 842-855.
- Miara, A., Macknick, J. E., Vörösmarty, C. J., Tidwell, V. C., Newmark, R., & Fekete, B. (2017). Climate and water resource change impacts and adaptation potential for US power supply. *Nature Climate Change*, 7(11), 793-798.
- Mirzavand, M., Sadeghi, S., & Bagheri, R. (2020). Groundwater and soil salinization and geochemical evolution of Femenin-Ghahavand plain, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 43056-43066.
- Mohammadi, M., Kalantari, N., Anbari, A., & Pahlavanizadeh, S. (2021). Hydrochemical assessment of the Jareh Dam water resources; using multivariate statistical techniques and hydrochemical methods. *Journal of Advanced Applied Geology*, 10(4), 620-633. [in Persian]
- Moridi, M., Pazira, A., Jafarzadeh, Na., Amiri, F., & Kouhgardi, E. (2022). Investigating the thermal stratification phenomenon of Minab Dam using the 2w-qual-Ce model and its impact on Bandar Abbas water quality. *Journal of Wetland Ecobiology*, 14(51), 49-70. [in Persian]
- Nodefarahani, M., Aradpour, S., Noori, R., Tang, Q., Partani, S., & Klöve, B. (2020). Metal pollution assessment in surface sediments of Namak Lake, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 45639-45649.
- Noori, R., Bateni, S. M., Saari, M., Almazroui, M., & Torabi Haghghi, A. (2022). Strong warming rates in the surface and bottom layers of a boreal lake: Results from approximately six decades of measurements (1964–2020). *Earth and Space Science*, 9(2), e2021EA001973.
- Noori, R., Berndtsson, R., Adamowski, J. F., & Abyaneh, M. R. (2018). Temporal and depth variation of water quality due to thermal stratification in Karkheh Reservoir, Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19, 279-286.
- Noori, R., Noury, M., Poshtegal, M. K., Sadrinassab, M., Mahdian, M., Bhattarai, R., Moradi, M., & Abolfathi, S. (2024). Thermal stratification and mixing of dam reservoirs in Iran. *Watershed Ecology and the Environment*, 6, 138-145.
- Oczkowski, A., & Nixon, S. (2008). Increasing nutrient concentrations and the rise and fall of a coastal fishery; a review of data from the Nile Delta, Egypt. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(3), 309-319.
- Paerl, H. W., Valdes, L. M., Peierls, B. L., Adolf, J. E., & Harding, L. J. W. (2006). Anthropogenic and climatic influences on the eutrophication of large estuarine ecosystems. *Limnology and oceanography*, 51(1part2), 448-462.
- Paerl, H. W., Xu, H., McCarthy, M. J., Zhu, G., Qin, B., Li, Y., & Gardner, W. S. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a hyper-eutrophic lake (Lake Taihu, China): the need for a dual nutrient (N & P) management strategy. *Water research*, 45(5), 1973-1983.
- Pokhrel, Y. N., Hanasaki, N., Yeh, P. J., Yamada, T. J., Kanae, S., & Oki, T. (2012). Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage. *Nature Geoscience*, 5(6), 389-392.
- Rezaei, R., Mahmodabadi, H., Kalantari, N., & Aliyari, Z. (2016). Studying the water quality of Maroon Dam reservoir using multivariate statistical analysis method based on correlation and changes in water quality data, Behbahan, Khuzestan. *Journal of Advanced Applied Geology*, 6(1), 82-88. [in Persian]
- Sabeti, R., Jamali, S., & Jamali, H. H. (2017). Simulation of thermal stratification and salinity using the Ce-Qual-W2 model (case study: mamloo dam). *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(3), 1664-1669.
- Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T. J., Dillon, P., Finlay, K., Fortino, K., & Knoll, L.B. (2009). Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and oceanography*, 54(6part2), 2298-2314.
- Wang, X., Chen, Y., Yuan, Q., Xing, X., Hu, B., Gan, J., Zheng, Y., & Liu, Y. (2022). Effect of river damming on nutrient transport and transformation and its countermeasures. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1078216.
- Xu, B., Yang, D., Yao, P., Burnett, W. C., Ran, X., Charette, M., Huang, X., Liu, S., & Yu, Z. (2018). A new perspective for assessing water transport and associated retention effects in a large reservoir. *Geophysical Research Letters*, 45(18), 9642-9650.
- Yigzaw, W., Li, H. Y., Fang, X., Leung, L. R., Voisin, N., Hejazi, M. I., & Demissie, Y. (2019). A multilayer reservoir thermal stratification module for earth system models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(10), 3265-3283.