



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

Journal homepage <https://gnf.khu.ac.ir>

Study on sediment quality parameters in the tributaries of the Sirvan River-Zhaveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

Mahdieh Balouei¹, Hassan Nasrollahzadeh Saravi^{2*}, Asieh Makhloogh¹, Mohammad Kardar Rostami³, Marzieh Rashidi Golrooye¹, Ahad Ahmadnezhad Chehreh³

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

2. Associate Professor, Caspian Sea Ecology Research Center (CSERC), Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

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

Article info

Article history

Received: 04 February 2024

Accepted: 28 February 2024

Keywords:

Quality parameters, Sediment, Sirvan River, Zhaveh Dam, Sanandaj.



Abstract

The Zhaveh dam is located on the Sirvan River containing two main branches of Gaveh Rood and Qeshlaq. The dam was designed for industrial and agricultural use. Surface sediment samples were collected at 5 selected stations in the two branches of the Sirvan River, Qeshlaq and Gaveh, as well as in the dam reservoir. In this study, nine sediment parameters (different forms of nitrogen and phosphorus, TOC, pH, Eh) were investigated to determine the quality and the prediction of the eutrophication trend of the Zhaveh Dam. The quality of sediments in different stations showed that they contain high organic and mineral pollution. Based on the TOC% of the sediment, the region was considered as slightly to highly polluted, especially in stations 2 and 3, but station 4 (Gaveh Rood branch) was classified as moderate quality. The changes in the OPI and ONI indices and comparison with the organic index standard also indicated the high pollution of the sediments in this region. These conditions are due to the high mean concentration of total phosphorus (2075 ± 178 mg/kg.dw) and bioavailable phosphorus (666 ± 142 mg/kg.dw) in the rivers feeding the dam, which deal with a high risk of eutrophication. In addition, after the water intake of the Zhaveh Dam and the high concentration of organic and mineral pollutants during the retention time of the water, it will be difficult to control the eutrophication.

Introduction

River water is an essential natural resource that supports economic and social development. Rivers and streams have been extensively used to provide water for human consumption, livestock drinking, aquaculture, irrigation, industries, transportation, recreation, and other purposes (Barakat et al., 2016). Despite these benefits, rivers and streams in developing countries are exposed to

pollution from various human and natural sources (Oketola et al., 2013). The Zhaveh dam is located 15 km from Sanandaj city. The water of this dam is supplied by two main tributaries, Qeshlaq and Gaveh Rood, where the Qeshlaq tributary is highly polluted due to passing through the city of Sanandaj. One of the important aspects of predicting the environmental effects caused by the entry of pollutants into the river ecosystem of Qeshlaq,

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.106971>

*Corresponding author: Hassan Nasrollahzadeh Saravi; E-mail: hnsaravi@gmail.com

How to cite this article: Balouei, M., Nasrollahzadeh Saravi, H., Makhloogh, A., Kardar Rostami, M., Rashidi Golrooye, M., Ahmadnezhad Chehreh, A., 2024. Study on sediment quality parameters in the tributaries of the Sirvan River-Zhaveh Dam of Sanandaj (2020-2021). Kharazmi Journal of Earth Sciences 9(2), 225-249.

<http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.106971>



Gaveh Rood, and Sirvan is also the construction of a dam, predicting the water quality of the reservoir and the outflow from the reservoir after operation. In this regard, comprehensive and accurate information about the quality of reservoirs of dams can be an important factor in macro policies. The purpose of the construction of the Zhaveh Dam in Sanandaj is to store water for agricultural and industrial activities (Mashanir Electric Engineering Services Company, 2017). Considering the balance between the capacity of the environment and the amount of incoming materials and wastewater caused by human activities and to prevent the spatial disturbance of the ecosystem and also considering the importance of sediment components in water quality, it seems necessary to study sediments.

Materials and Methods

The current research was conducted at 5 stations in Sirvan River, including two main branches of Gaveh Rood and Qeshlaq, which are located in Sanandaj city. Sampling was done seasonally during one year from the fall of 2020 to the summer of 2021. The equipment, sampling method, and checking of various parameters were based on standard methods (APHA, 2005; Sapozhnikov et al., 1988). In this research, the sequential extraction method of Psenner et al. (1984) was used to separate different forms of phosphorus in the sediment and thus for nitrogen species. The Phosphorus Pollution Index (PPI= Phosphorus Pollution Index) was used to evaluate the level of phosphorus pollution, which shows the potential for ecological risk. For statistical analysis, parametric tests (stepwise regression, Pearson correlation) and one-sample t-tests were used to compare with the standard values. Data analysis was

performed using SPSS version 19 statistical programs.

Results and Discussion

The results of this research showed that the sediment concentration of bioavailable phosphorus (Bioava.-P) (summation of three forms of Loosely-P, Fe-P, and Al-P) at stations 2 and 3 (Qashlaq River branch) has a significant percentage (almost 50% of total phosphorus), which is due to the entry of sewage into this river. Loosely-P has the lowest percentage among the Bioava.-P, which is due to its direct consumption by living organisms. Bioavailable phosphorus was often found in the forms of Fe-P and Al-P in sediment. These values decreased in station 5 (dam reservoir station). PPI ranged from 0.90 to 6.20 with an average of 3.40 ± 0.81 in the sediment of the catchment area of the Zhaveh Dam. Stations 2 and 4 showed the lowest and highest PPI, respectively. PPI was greater than 1 in most of the sampling sites, which indicates that the sediment of the study area was contaminated by phosphorus.

The results of evaluating the changes of TPi, TNi, and TOC% in surface sediments at different stations and seasons in the catchment area of Zhaveh Dam showed that based on the TP concentration, the river sediments were highly polluted and in terms of TN, the sediments were in the range of clean to slightly polluted. However, based on the TOC% of the sediments, the region was considered slightly polluted to highly polluted, especially in stations 2 and 3. The condition of station 4, which is related to the Gaveh Rood River, was better in all seasons. But, the Qeshlaq river stations even the upstream have shown different pollution of TPi, TNi, and TOC%. According to the results of the single pollution index, the risk level of TOC pollution in sediments is relatively high in the entire

region, and the risk level of TP pollution is low to moderate and severe in some areas, while the risk level of TN pollution is low in most areas.

In this research, the changes in OPI and ONI indices were in the range of 0.003-4.623% and 0.004-0.500%. Comparing the values of the two indicators of this study with the standard organic index showed that the state of the quality of the sediments of both indicators showed high pollution.

Conclusions

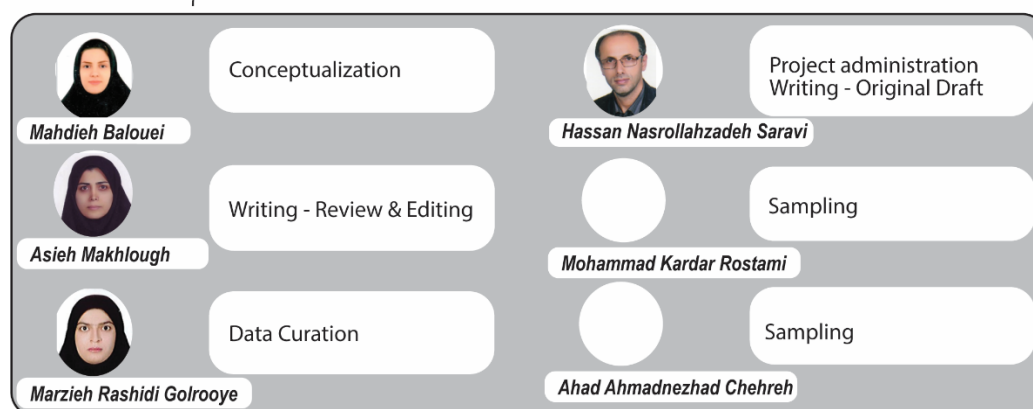
Water scarcity has become an environmental problem in many countries in recent years. Understanding sediment plays an important role in water quality because nutrients loaded in water are absorbed by sediment and can always release nutrients in the water body and make them available to algae and other consumers. The investigation of sediment in the present study showed that the total concentration of phosphorus (2075 ± 178 mg/kg) and bioavailable phosphorus (666 ± 142 mg/kg) in the rivers leading to the dam was high, which will increase the risk of water eutrophication. In addition, the concentration of TN and TP in the sediment of all stations was higher than that of the river water, which can provide the

necessary nitrogen and phosphorus to enhance eutrophication.

References

- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Seventeenth Edition. 1113P.
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezzaf, B., Slassi, M., 2016. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rabia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research* 4(4), 284-292.
- Mashanir Electrical Engineering Services Company, 2017 Report of Mashanir Electrical Engineering Company, 92 p. In persian.
- Oketola, A.A., Adekolurejo, S.M., Osibanjo, O., 2013. Water quality assessment of River Ogun using multivariate statistical techniques. *Journal of Environmental Protection* 4, 466-479.
- Psenner, R., Puesko, R., Sager, M., 1984. Die fractionierung organischer und anorganischer phosphorverbindungen von sedimenten-versucheiner einer definition okologisch wichtiger fractionen. *Arch. FürHydrobiology* 10,115-155.
- Sapozhnikov, V.N., Agativa, A.E., Arjanova, N.V., Nalitova, E.A., Mardosova, N.V., Zobarowij V.L., Bandarikov, E.A., 1988. Methods of hydrochemical analysis of the major nutrients. VNIRO publisher: Moscow, Russia.

CRediT authorship contribution statement





بررسی پارامترهای کیفیت رسوبات سرشاخه‌های رودخانه سیروان-سد ژاوه سنندج (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

مهدیه بالوئی^۱، حسن نصراله‌زاده ساروی*^۲، آسیه مخلوق^۱، محمد کاردر رستمی^۳، مرضیه رشیدی گل‌رویه^۱، احد احمدنژاد چهره^۳

۱. کارشناسی ارشد، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج جهاد کشاورزی، مازندران، ایران
۲. دانشیار، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج جهاد کشاورزی، مازندران، ایران
۳. کارشناسی، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج جهاد کشاورزی، مازندران، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
سد ژاوه بر روی رودخانه سیروان بعد از دو شاخه اصلی گاوهرود و قشلاق واقع شده و با هدف انتقال آب جهت استفاده در بخش‌های کشاورزی احداث گردید. بر این اساس، نمونه‌برداری در پنج ایستگاه منتخب از رسوبات سطحی در دو شاخه قشلاق و گاوهرود و همچنین در محل آبیگری سد ژاوه صورت گرفت. در این مطالعه ۹ پارامتر در رسوبات (فرمهای مختلف نیتروژن و فسفر، Eh، pH، TOC) جهت تعیین کیفیت و پیش بینی روند تغذیه گرابی سد ژاوه بررسی گردید. کیفیت رسوبات در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که حاوی آلودگی آلی (نیتروژن) و معدنی (فسفر) بالایی می‌باشند. براساس %TOC رسوبات منطقه کمی آلوده تا خیلی آلوده به خصوص در ایستگاه‌های ۲ و ۳ در شاخه قشلاق در نظر گرفته شد اما کیفیت رسوب در ایستگاه ۴ (شاخه گاوهرود) بهتر و در گروه متوسط طبقه‌بندی گردید. در تحقیق حاضر تغییرات شاخص OPI و ONI و مقایسه با استاندارد شاخص آلی بیانگر آلودگی بالای رسوبات منطقه است. همچنین با توجه به بالا بودن غلظت میانگین فسفرکل (2075 ± 178 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) و فسفر قابل‌دسترس (142 ± 666 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در مسیر رودخانه‌های منتهی به سد خطر غنی شدن سد ژاوه از نظر مواد مغذی نیز افزایش خواهد یافت. لذا با توجه به بالا بودن غلظت آلاینده‌های آلی و معدنی، پس از آبیگری سد ژاوه، کنترل تغذیه گرابی با در نظر گرفتن زمان ماند در مخزن به سختی امکان پذیر خواهد بود.	تاریخچه مقاله دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹ واژه‌های کلیدی پارامترهای کیفی، رسوبات، رودخانه سیروان، سد ژاوه، کردستان.



مقدمه

رودخانه‌ها و نهرها استفاده زیادی برای تأمین آب شرب انسان، شرب دام، آبی‌پروری، آبیاری، صنایع، حمل و نقل، تفریح و سایر اهداف دارند (Barakat et al., 2016). به عبارتی آب رودخانه یک منبع طبیعی

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.106971>

*نویسنده مسئول: حسن نصراله زاده ساروی hnsaravi@gmail.com

استناد به این مقاله: بالوئی، م.، نصراله زاده ساروی، ح.، مخلوق، آ.، کاردر رستمی، م.، رشیدی گل‌رویه، م.، احمدنژاد چهره، ا. (۱۴۰۲). بررسی پارامترهای کیفیت رسوبات سرشاخه‌های رودخانه سیروان-سد ژاوه سنندج (۱۴۰۰-۱۳۹۹). مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۹، شماره ۲، صفحه ۲۲۵ تا ۲۴۹.

<http://doi.org/10.22034/KJES.2024.9.2.106971>



شامل HCl-P, NaOH-P, KCl-P و Res-P در رسوبات بستر به ترتیب ۹۵/۴، ۶۰/۲۱، ۲۳/۶۴ و ۸۹/۲۷ میلی گرم بر کیلوگرم رسوب وزن خشک بود. همچنین فراوانی شکل‌های معدنی فسفر در رسوبات بستر به صورت HCl-P > Res-P > NaOH-P > KCl-P به دست آمد. فاکس و همکاران (Fox et al., 1989) تحقیقی در مورد جذب و رهاسازی فسفات از رسوبات رودخانه واقع در کنتیش (Kentish) که دریافت کننده فاضلاب است انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که درصد عنصر آهن و فسفر متصل به آهن با افزایش فاصله از تصفیه خانه کاهش و درصد کلسیم و saloid-P افزایش یافته است. سینتیک جذب و رهاسازی فسفات یک مرحله آغازی سریع و به دنبال آن یک مرحله کندتر را نشان داد که داده‌های آن با یک معادله مرتبه دوم برگشت پذیر متناسب است. نتایج نشان داد پیوند فسفات دارای کلسیم در مقایسه با رسوبات حاوی آهن ضعیف‌تر است. پایلز و همکاران (Pailles et al., 1993) به بررسی توزیع فسفات رسوبات دهانه و حوضه آبریز رودخانه جانستون (Johnstone) در فصول مختلف پرداختند و سه فرم فسفر قابل دسترس، فسفر معدنی و فسفر آلی را محاسبه و اندازه‌گیری نمودند. غلظت فسفر کل در حوضه آبریز فوقانی رودخانه جانستون شمالی حدوداً ۳ برابر غلظت آن در حوضه آبریز فوقانی رودخانه جانستون جنوبی به دست آمد. این تفاوت، شیوه‌های مختلف استفاده از زمین را منعکس می‌کند. حوضه آبریز فوقانی رودخانه جانستون شمالی برای مرتع پاکسازی شد در حالی که حوضه آبریز رودخانه جنوبی

ضروری است که از توسعه اقتصادی و اجتماعی حمایت می‌کند. اما از سوی دیگر این فعالیت‌ها سبب می‌شود که در کشورهای در حال توسعه، رودخانه‌ها و نهرها در معرض آلودگی منابع مختلف انسانی و طبیعی قرار گیرند (Oketola et al., 2013). سد ژاوه در ۱۵ کیلومتری شهر سنندج واقع شده است. آب این سد از دو سرشاخه قشلاق و گاوهرود تأمین می‌شود که شاخه قشلاق به دلیل عبور از شهر سنندج احتمال آلودگی بسیار بالایی دارد. یکی از جنبه‌های مهم پیش‌بینی اثرات زیست محیطی ناشی از ورود آلاینده‌ها به اکوسیستم رودخانه‌ای قشلاق، گاوهرود و سیروان می‌باشد، همچنین با احداث یک سد، پیش‌بینی کیفیت آب مخزن و جریان خروجی از مخزن پس از بهره‌برداری می‌باشد. در این راستا اطلاعات جامع و دقیق در خصوص کیفیت مخازن سدها می‌تواند عامل مهمی در سیاست‌گذاری‌های کلان باشد. هدف از ساخت سد ژاوه ذخیره‌سازی آب برای فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی است (Mashanir Electrical Engineering Services Company, 2017). پژوهش‌های متعدد در خصوص بررسی رسوبات رودخانه‌ها در ایران و جهان صورت گرفته است. آشراک و همکاران (Ashrak et al., 2018) به بررسی شکل‌های مختلف فسفر و رابطه آن با رسوبات بستر رودخانه شهر چای استان آذربایجان غربی، شهرستان ارومیه پرداختند. مقدار فسفر کل در رسوبات بستر به طور میانگین ۷۳/۷ میلی گرم بر کیلوگرم، مقدار فسفر آلی به طور میانگین ۲۴/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم، میانگین شکل‌های معدنی فسفر

کیفیت و پیش‌بینی روند تغذیه‌گرایی سد ژاوه انجام گردید.

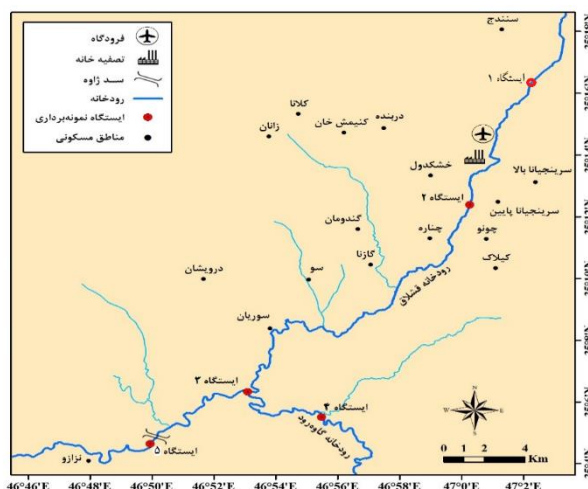
مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های نمونه‌برداری

مطالعه حاضر در ۵ ایستگاه تعیین شده طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ در چهار فصل صورت گرفت. موقعیت ایستگاه‌ها به این شرح است: ایستگاه ۱ در بالادست قشلاق (قبل از تصفیه‌خانه-زیر پل)، ایستگاه ۲ در شاخه قشلاق رود (پایین دست تصفیه‌خانه شهر سنندج)، ایستگاه ۳ در شاخه قشلاق رود (حدود ۳ کیلومتر پایین تر از ایستگاه ۲)، ایستگاه ۴ در شاخه گاوهرود و ایستگاه ۵ در شاخه سیروان (محل مخزن سد) قرار داشتند. نمونه‌برداری از رسوبات رودخانه در چهار فصل پاییز و زمستان ۱۳۹۹ و بهار و تابستان ۱۴۰۰ به صورت دستی انجام شد. عواملی مانند سرعت جریان آب، مورفولوژی رودخانه، جنس بستر، وجود منابع آلوده‌کننده، موانع فیزیکی، پوشش گیاهی و آبزیان رودخانه و مناسب بودن مسیر رودخانه جهت نمونه‌برداری با امکانات موجود در انتخاب ایستگاه‌ها دخالت داشته‌اند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ روی نقشه نشان داده شده است. مواد مورد استفاده و روش بررسی پارامترها در جدول ۱ آمده است.

با جنگل‌های بارانی کامل پوشیده شده بود. غلظت فسفات در انشعابات زمین‌های کشاورزی بیشتر از مقدار آن در رودخانه اصلی است. هم‌چنین غلظت فسفرکل در فصل خشک بسیار بیشتر از فصل مرطوب است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کارهای کشاورزی تأثیر قابل توجهی بر محتوای فسفات رسوب رودخانه دارد.

فابر و همکاران (Fabre et al., 1996) جهت برنامه‌ریزی کنترل یوتروفیکاسیون رودخانه گارن (Garonne) مقادیر فسفات را در رسوب رودخانه به روش‌های مختلف استخراج شیمیایی به دست آوردند. آنها مقدار فسفات قابل دسترس جلبک نمونه‌های رسوب را طبق روش گلترمن و همکاران (Golterman et al., 1969) برابر ۱۶/۹ درصد فسفرکل به دست آوردند. درحالی‌که اجزای شیمیایی NTA-P، NaOH-P و Resi.-P به ترتیب با ۱۴/۸، ۱۱/۵ و ۳/۹ درصد مقادیر کمتری را نشان دادند. با توجه به اینکه تعادل بین ظرفیت محیط و میزان مواد و فاضلاب ورودی ناشی از فعالیت‌های انسانی و ... به منظور جلوگیری از اغتشاش مکانی اکوسیستم بایستی در نظر گرفته شود و هم‌چنین با توجه به اهمیت اجزای رسوبات در کیفیت آب، مطالعه رسوبات در حوضه سد ژاوه ضروری به نظر می‌رسد. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی فرم‌های مختلف نیتروژن و فسفر، TOC، pH و Eh در رسوبات جهت تعیین



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج

Fig. 1. The location of sampling stations in the catchment area of Zhaveh Dam of Sanandaj

بررسی پارامترهای شیمی رسوبات

نمونه‌های رسوب پس از انتقال به آزمایشگاه، توزین و سپس در دستگاه فریز درایر (Freeze Dryer) قرار می‌گیرد تا کاملاً خشک گردد. سپس برای آنالیز، از نمونه خشک رسوبات در هر ایستگاه به مقدار کافی برداشته و براساس روش ذیل فرم‌های مختلف فسفر و نیتروژن جداسازی شد.

استخراج فرم‌های مختلف فسفر در رسوبات

در این تحقیق از روش استخراج متوالی ستر و همکاران (Psenner et al., 1984) برای جداسازی انواع فسفر موجود در رسوب استفاده شد. در این روش امکان جداسازی پنج فرم مختلف فسفر (فسفر جذب سطحی، فسفر متصل به آهن، فسفر متصل به آلومینیم، فسفر متصل به کلسیم و فسفر باقیمانده) وجود دارد.

استخراج فسفر جذب سطحی شده (Loosely-P)

یک گرم از رسوب خشک شده به وسیله دستگاه فریز درایر را برداشته و به آن ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۱

مولار آمونیم کلراید با pH=7 اضافه شده و به مدت دو ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در شیکر قرار داده شد. سپس محلول سانتریفوژ شده و از رسوب جدا گردید.

استخراج فسفر متصل به آهن (Fe-P)

به رسوبات باقیمانده از مرحله اول ۲۵ میلی‌لیتر محلول دی تیونیت-بیکربنات ۰/۱۱ مولار اضافه کرده و سپس به مدت یک ساعت در شیکر قرار داده شد. پس از آن به مدت ده دقیقه سانتریفوژ گردید. محلول حاصل در لوله‌های آزمایش ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. رسوبات در ۲۵ میلی‌لیتر دیگر از محلول دی تیونیت-بیکربنات حل شده و دوباره به مدت ده دقیقه در شیکر و ده دقیقه در دستگاه سانتریفوژ قرار گرفت و محلول بالایی دو مرحله به هم اضافه شد.

استخراج فسفر متصل به آلومینوم (Al-P)

به رسوبات حاصل از مرحله قبل ۲۵ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار اضافه کرده و به مدت ۱۶ ساعت در انکوباتور در دمای اتاق شیک شد

طول موج ۶۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (APHA, 2005; Sapozhnikov et al., 1988).

فسفر باقیمانده (Res.-P)

فسفر باقیمانده، از اختلاف فسفر کل اندازه‌گیری شده به روش هضم و مجموع فسفرهای محلول فعال در چهار مرحله به دست می‌آید.

pH، Eh و TOC رسوبات

۳۷/۲۷ گرم از پتاسیم کلراید را در مقداری آب مقطر حل کرده، به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر رسانده و محلول یک نرمال تهیه گردید. سپس ۱۰ گرم از رسوب را با ۲۵-۲۰ میلی‌لیتر محلول پتاسیم کلراید یک نرمال مخلوط کرده و کاملاً هم زده شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه، pH و Eh محلول شفاف با دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد.

مقدار مشخصی از رسوبات تر به کروزه وزن شده (وزن کروزه خالی=A) منتقل گردید. سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک گردد (وزن کروزه+ وزن رسوب خشک شده =B). در ادامه رسوب خشک شده مرحله قبلی به مدت ۴ ساعت در کوره ۵۵۰°C قرار گرفت (C). اوزان مربوطه تعیین و محاسبه با فرمول زیر انجام شد:

$$\text{TOM \%} = (B - C / B - A) * 100 \quad (1)$$

میزان درصد کل کربن آلی (TOC) به روش غیر مستقیم با استفاده از کل مواد آلی (TOM) با فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{Total organic carbon (\%)} = \text{Organic matter (\%)} / 1.724 \quad (2)$$

استخراج فرم‌های مخلف نیتروژن رسوبات

و پس از خروج از انکوباتور به مدت ده دقیقه سانتریفوژ گردید. محلول بالایی حاصل به لوله آزمایش ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و رسوبات با ۲۵ میلی‌لیتر دیگر محلول سدیم هیدروکسید ترکیب شد. دوباره به مدت ده دقیقه شیک و ده دقیقه سانتریفوژ و محلول بالایی دو مرحله به هم اضافه شد.

استخراج فسفر متصل به کلسیم (Ca-P)

به رسوبات مرحله قبل ۲۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکلریک اسید ۰/۵ مولار اضافه شد و به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور همزمان با شیک شدن قرار داده شد و پس از ده دقیقه سانتریفوژ محلول بالایی به لوله آزمایش ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد. رسوبات باقیمانده دوباره در ۲۵ میلی‌لیتر دیگر محلول هیدروکلریک اسید حل شده و به مدت ده دقیقه شیک و ده دقیقه سانتریفوژ شده و در نهایت به محلول بالایی قبلی اضافه شد.

فسفر کل (TP)

در مورد هر یک از نمونه‌ها، از محلول استخراج شده از آخرین مرحله، دو میلی‌لیتر برداشته و به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. سپس به نمونه‌ها و محلول شاهد که از نمونه اصلی گرفته شد، ۲/۶ میلی‌لیتر محلول فسفات کل اضافه شد. در نهایت در لوله‌های آزمایش با فویل بسته و به مدت یک ساعت در فشار ۱/۵ اتمسفر و دمای ۱۲۰-۱۱۵ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو حرارت داده شد.

در آخر نمونه‌های فسفات استخراج شده به روش مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در

فرم‌های مختلف ازت به روش اسپکتروفوتومتری استفاده گردید (Hesse, 1971; Sapzhnikove et al., 1988; APHA, 2005). تجهیزات و روش بررسی پارامترهای مختلف رسوب در حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج در جدول ۱ ارائه شده است.

۱۰ گرم از رسوب خشک شده به وسیله دستگاه فریز درایر با ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم کلراید ۰/۵ مولار در یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شد. سپس محلول از کاغذ صافی (واتمن ۴۲)، در یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری عبور داده شد و از آن برای تعیین

جدول ۱- تجهیزات و روش بررسی پارامترهای مختلف در حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج

Table 1. Equipment and methods of investigation of various parameters in the catchment area of the Zhavveh Dam of Sanandaj

parameters	Device equipment	method
pH	pH meter (WTW 320)	USEPA 2004-9045D
Eh	pH meter (WTW 320)	USEPA 2004-9045D
TOC	Computational	TOC(%) = Total Organic matter(%) / 1.724
(NH ₄ ⁺ /N)	Spectrophotometer(CECIL2501)	(Sapozhnikov et al., 1988) APHA, 2005
(NO ₂ ⁻ /N)	Spectrophotometer(CECIL2501)	4500, B(APHA, 2005)
(NO ₃ ⁻ /N)	Spectrophotometer(CECIL2501)	4500, E(APHA, 2005)
(DIN/N)	Computational	(Yurkovskis, 2004) DIN = (NH ₄ ⁺) + (NO ₂ ⁻) + (NO ₃ ⁻)
(DON/N)	Computational	(Yurkovskis, 2004) DON=TN-DIN
(TN/N)	Spectrophotometer(CECIL2501)	(APHA, 2005) Digestion of persulfate
(DIP/P)	Spectrophotometer(CECIL2501)	(APHA, 2005) Molybdate method
(DOP/P)	Computational	DOP=TP-DIP (Yurkovskis, 2004)
(TP/P)	Spectrophotometer(CECIL2501)	Digestion of persulfate (APHA, 2005)

$$PPI = C_i / C_{std} \quad (۳)$$

در این معادله C_i غلظت فسفر نمونه i است (mg/kg) و C_{std} غلظت استاندارد (mg/kg) است. معیار ارزیابی مواد مغذی (فسفر، نیتروژن و کربن) رسوبات آبهای سطحی (Alvarez-Guerra et al., 2010) در جدول ۲ نشان داده شد.

شاخص آلودگی فسفر (PPI)

شاخص آلودگی فسفر (PPI= Phosphorus Pollution Index) معمولاً برای ارزیابی سطح آلودگی فسفر در مناطق مورد مطالعه استفاده می‌شود که با تعیین نسبت سطح آلودگی نمونه به سطح آلودگی استاندارد به دست می‌آید (معادله ۱) و بیانگر پتانسیل ریسک اکولوژیک است (Bing et al., 2013; Wang et al., 2013).

جدول ۲- معیار ارزیابی مواد مغذی (فسفر، نیتروژن و کربن) رسوبات آبهای سطحی (Alvarez-Guerra et al., 2010)

Table 2. Evaluation criteria for nutrients (phosphorus, nitrogen, and carbon) of surface water sediment (Alvarez-Guerra et al., 2010)

Risk Level	TOC	TN	TP	Pollution Assessment
I	$P_{TOC} < 1$	$P_{TN} < 1$	$P_{TP} < 0.5$	Clean
II	$1 \leq P_{TOC} < 5$	$1 \leq P_{TN} < 2$	$0.5 \leq P_{TP} < 1$	Slightly polluted
III	$5 \leq P_{TOC} < 10$	$2 \leq P_{TN} < 3$	$1 \leq P_{TP} < 1.5$	Moderately polluted
IV	$10 \leq P_{TOC}$	$3 \leq P_{TN}$	$1.5 \leq P_{TP}$	Seriously polluted

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون‌های پارامتریک (Pearson ، Stepwise regression ، correlation) و همچنین آزمون تی، تک نمونه‌ای (One-sample t test) جهت مقایسه با استاندارد بر روی داده‌های نرمال شده استفاده گردید. لازم به ذکر است که پیش از آزمون‌های فوق، نرمال بودن داده‌ها بر اساس فرایند رتبه‌بندی انتقال داده و سپس با آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) و رسم نمودار Q-Q نرمال بودن آن تایید گردید (Nasiri, 2009).

تجزیه و تحلیل داده‌ها در برنامه‌های آماری SPSS نسخه ۱۱/۵ انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۳ آمار توصیفی (میانگین، حداقل و حداکثر) پارامترهای مختلف محیطی رسوبات اعم از فرم‌های مختلف فسفر و نیتروژن ، pH و Eh در فصول و ایستگاه‌های مختلف حوضه آبریز سد زاوه- سنندج را نشان می‌دهد.

جدول ۳- آمار توصیفی فرم‌های مختلف فسفر (mg/kg.dw) و نیتروژن (mg/kg.dw) و درصد کربن کل رسوبات سطحی در فصول و ایستگاه‌های مختلف حوضه آبریز سد زاوه، سنندج (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 3. Descriptive statistical of phosphorus, nitrogen, and carbon) of surface water sediment in different seasons and stations in the catchment area of the Zhavveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

seasons		parameters								
		pH	Eh	Loosely-P	FeP	AIP	CaP	BioP	TIP	TP
Spring 2021	Mean	8.05	-85.18	28.44	128.80	368.40	1757.4	525.6	2283.4	2278.2
	SE	0.08	4.54	9.88	57.11	216.95	314.1	279.9	472.5	305.7
	Minimum	7.91	-98.10	10.00	33	58	1168	101	1269	1647
	Maximum	8.28	-76.70	54.60	345	1226	2872	1626	3584	3293
Summer 2021	Mean	8.30	-90.54	39.42	220.80	692.60	1585.40	952.8	2538.6	2634
	SE	0.11	5.42	12.80	74.42	314.03	274.71	397.7	665.8	353
	Minimum	8.01	-111.50	5.40	53	70	924	128	1135	1714
	Maximum	8.69	-81.20	66.40	477	1796	2539	2335	4874	3725
Autumn 2020	Mean	7.68	-61.80	24.27	179.0	572.5	865.5	775.7	1641.2	1691.2
	SE	0.07	4.05	9.55	66.3	237.2	167.8	304.4	444.7	436.1
	Minimum	7.49	-70.10	6.20	45	55	373	106	479	515
	Maximum	7.83	-51.20	49.20	358	1030	1128	1438	2423	2429
Winter 2020	Mean	7.62	-57.78	33.54	126.40	273.60	1163.20	433.6	1596.4	1619.4
	SE	0.12	6.60	11.94	44.43	67.24	86.78	115.2	200.9	200.3
	Minimum	7.23	-77.30	11.10	25	53	888	89	976	978
	Maximum	7.96	-36.20	74.80	281	433	1366	750	2116	2136
Total	Mean	7.92	-74.46	31.79	162.95	471.7	1368.0	666.5	2034.6	2074.9
	SE	0.08	4.18	5.34	29.54	111.0	134.5	142.4	239.8	178.1
	Minimum	7.23	-111.5	5.40	25	53	373	89	479	515
	Maximum	8.69	-36.2	74.80	477	1796	2872	2335	4874	3725

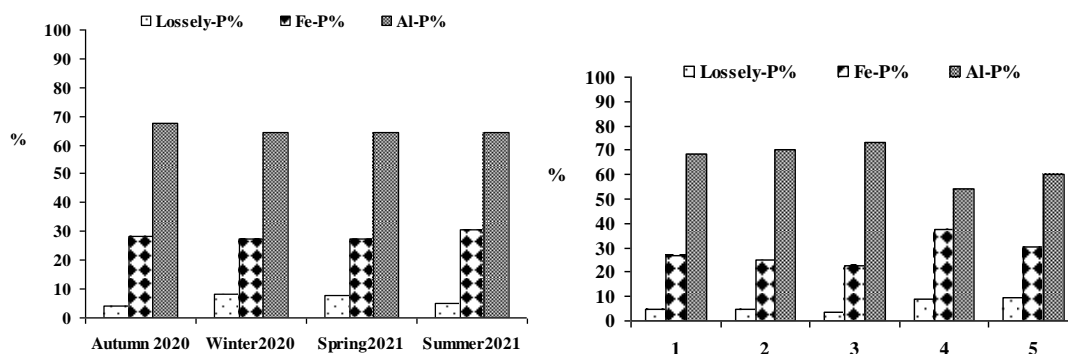
seasons		parameters								
		NH ₄ N	NO ₂ N	NO ₃ N	TINN	TONN	TNN			
Spring 2021	Mean	279.70	0.76	8.87	289.3	141.9	431.20			
	Std. Error of Mean	142.64	0.52	1.74	142.1	41.1	140.88			
	Minimum	15.70	.12	3.61	30.200	49.38	211.36			
	Maximum	831.50	2.84	14.35	839.50	275.10	971.64			
Summer 2021	Mean	531.10	0.32	7.82	539.18	4.30	541.60			
	Std. Error of Mean	83.69	0.12	0.32	84.05	4.30	84.11			
	Minimum	395.40	0.11	6.80	403	0.00	395			
	Maximum	857.00	0.80	8.70	866	21.50	866			
Autumn 2020	Mean	515.25	0.70	5.48	521.45	16.17	537.60			
	Std. Error of Mean	50.08	0.16	0.44	50.61	5.57	56.03			
	Minimum	420.90	0.51	4.46	425.9	7.30	433.18			
	Maximum	655.50	1.19	6.46	663.2	31.40	694.55			
Winter 2020	Mean	278.02	1.04	7.0	286.06	148.8	435.1			
	Std. Error of Mean	133.97	0.29	1.2	135.44	16.1	143.9			
	Minimum	33.3	0.5	4.50	38.3	105	181.59			
	Maximum	732.0	2.0	11.27	745.3	203	948.59			
stations		parameters								
		pH	Eh	Loosely-P	FeP	AlP	CaP	BioP	TIP	TP
1	Mean	8.07	-81.93	9.47	48.7	144.67	1299.67	202.33	1502.67	1801.0
	SE	0.43	23.19	2.05	5.9	49.01	159.49	52.61	134.12	203.5
	Minimum	7.23	-111.50	5.40	37	70	1046	128	1350	1417
	Maximum	8.69	-36.20	11.90	56	237	1594	304	1770	2110
2	Mean	7.92	-74.07	41.42	260.7	842.25	1976	1144	3121	2896
	SE	0.17	8.01	15.95	81.1	347.79	429	424	6371	370
	Minimum	7.49	-88.50	13.00	99	263	1128	377	2116	2136
	Maximum	8.30	-51.20	74.80	477	1796	2872	2335	4874	3725
3	Mean	7.82	-70.37	45.15	267.0	878.75	1500	1191	2692	2472
	SE	0.09	5.28	6.36	51.2	169.54	222	224	357	247
	Minimum	7.65	-81.20	26.40	145	433	985	605	1895	1905
	Maximum	8.01	-60.40	54.60	358	1226	1958	1626	3584	3055
4	Mean	7.86	-70.27	10.0	49.75	67.0	838.2	126.7	964.7	1213
	SE	0.14	6.15	1.3	15.95	11.7	167.1	28.3	172.6	286
	Minimum	7.58	-83.4	6.2	25	53	373	89	479	515
	Maximum	8.22	-55.5	12.3	96	102	1168	211	1269	1714
5	Mean	7.98	-77.5	47.3	160.0	344.25	1208.25	551.75	1760	1923

	SE	0.16	8.4	7.8	32.7	111.16	94.12	148.79	228	228
	Minimum	7.61	-94.2	28.7	125	168	976	349	1420	1551
	Maximum	8.29	-57.6	66.4	258	669	1436	994	2430	2567

stations		parameters					
		NH ₄ N	NO ₂ N	NO ₃ N	TINN	TONN	TNN
1	Mean	381.03	0.75	11.04	392.83	159.37	549.47
	Std. Error of Mean	206.90	0.62	1.98	206.49	82.36	201.22
	Minimum	15.7	0.1	7.50	30.2	0.00	305.25
	Maximum	732.0	2.0	14.35	745.3	275.10	948.59
2	Mean	510.17	0.77	7.90	518.8	76.97	595.7
	Std. Error of Mean	128.40	0.23	1.04	128.2	42.79	93.3
	Minimum	242.4	0.32	5.13	252.8	0.00	438.1
	Maximum	857.0	1.39	10.05	866.4	185.30	866.0
3	Mean	506.05	0.65	6.83	513.5	80	593.5
	Std. Error of Mean	164.77	0.20	0.72	165.2	31	161.5
	Minimum	62.70	0.32	4.96	68.4	21.5	203.57
	Maximum	831.50	1.19	8.20	839.5	135.0	971.64
4	Mean	259	0.3	4.8	264	49.9	314.0
	Std. Error of Mean	98	0.1	0.7	98	32.9	68.1
	Minimum	33.30	0.12	3.61	38.3	0	181.59
	Maximum	423.50	0.51	6.80	430.4	143	433.18
5	Mean	315.27	1.0525	7.2625	323.52500	58.4900	382.1100
	Std. Error of Mean	101.75	0.60	0.63	101.2	36.4	70.8
	Minimum	128.40	0.23	5.89	135.5	0	229.7
	Maximum	505.10	2.84	8.68	513.1	158	513.0

(فسفر جذب سطحی، فسفر متصل به آهن و فسفر متصل به آلومینیم) فسفر متصل به آلومینیم (بیش از ۶۰ درصد) بیشترین درصد را دارد.

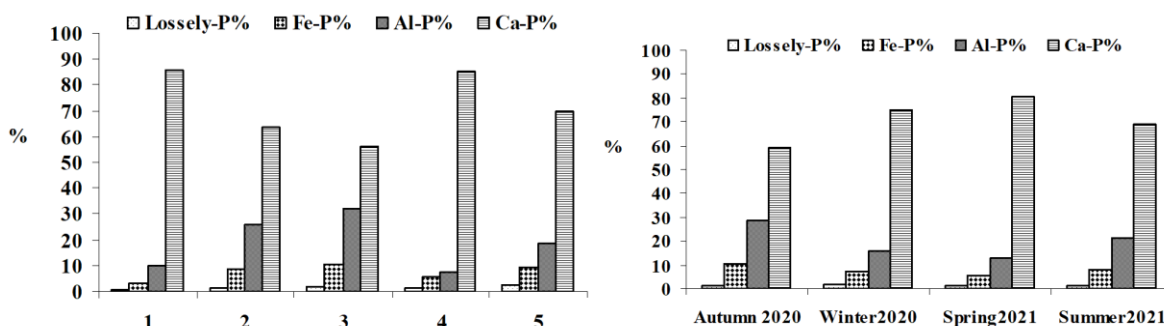
درصد فرم‌های مختلف فسفر قابل دسترس رسوبات در ایستگاه‌ها و فصول مختلف حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج در شکل ۲ نشان داده شده است. طبق شکل در میان سه فرم فسفر قابل دسترس



شکل ۲- درصد فرم‌های مختلف فسفر قابل دسترس در فصول و ایستگاه‌های مختلف حوزه آبریز سد ژاوه، سنندج (۱۳۹۹-۱۴۰۰)
 Fig. 2. The percentage of different forms of available phosphorus in different seasons and stations in the catchment area of the Zhavveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

به آهن، فسفر متصل به آلومینیم و فسفر متصل به کلسیم) فسفر متصل به کلسیم (۵۶-۸۶ درصد) بیشترین و فسفر جذب سطحی (۰/۶۷-۲/۸۰) کمترین درصد را در تمام ایستگاه‌ها داشتند.

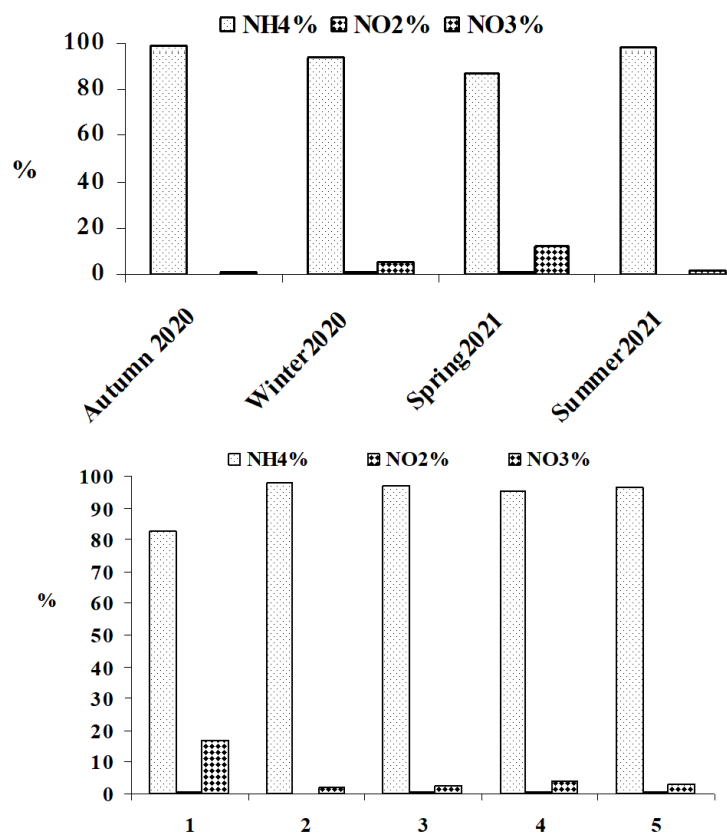
درصد فرم‌های مختلف فسفر معدنی رسوبات در ایستگاه‌ها و فصول مختلف حوزه آبریز سد ژاوه- سنندج در شکل ۳ نشان داده است. در میان چهار فرم فسفر معدنی (فسفر جذب سطحی، فسفر متصل



شکل ۳- درصد فرم‌های مختلف فسفر معدنی در فصول و ایستگاه‌های مختلف حوزه آبریز سد ژاوه، سنندج (۱۳۹۹-۱۴۰۰)
 Fig. 3. The percentage of different forms of inorganic phosphorus in different seasons and stations in the catchment area of the Zhavveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

آمونیمی بیش از ۸۰ درصد از نیتروژن کل اما مجموع نیتروژن نیتریتی و نیتروژن نیتراتی کمتر از ۲۰ درصد ثبت گردید.

درصد فرم‌های مختلف نیتروژن آمونیمی، نیتروژن نیتریتی و نیتروژن نیتراتی در ایستگاه‌ها و فصول مختلف حوزه آبریز سد ژاوه-سنندج در شکل ۴ نشان داده شده است. در همه ایستگاه‌ها درصد نیتروژن



شکل ۴- تغییرات درصد فرم‌های مختلف نیتروژن معدنی در فصول و ایستگاه‌های مختلف حوضه آبریز سد زاوه-سنندج (۱۳۹۹-۱۴۰۰)
 Fig. 4. Changes of different forms of inorganic nitrogen in different seasons and stations in the catchment area of the Zhaveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

مقادیر در ایستگاه ۵ که محل احداث سد زاوه می‌باشد کاهش یافت.

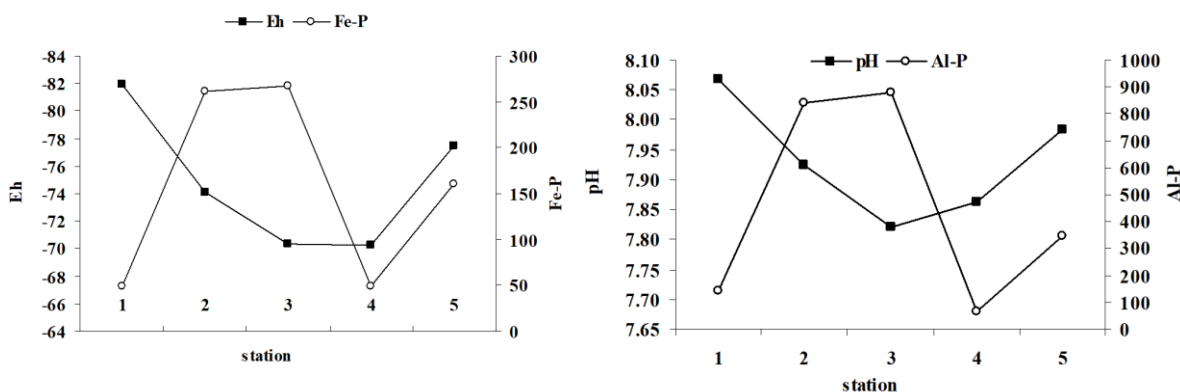
در رسوبات با پتانسیل اکسایش - کاهش (Eh) منفی، مقدار اکسیژن محلول کم بوده و شرایط کاهشی فراهم است. بنابراین Fe^{3+} به Fe^{2+} تبدیل شده و چون فسفر متصل به آهن دوظرفیتی به صورت محلول است، در نتیجه شرایط آزادسازی فسفر از رسوب به محیط آب فراهم خواهد شد. در این مطالعه تمام ایستگاه‌ها پتانسیل اکسایش- کاهش منفی دارند. بنابراین آزادسازی فسفر متصل به آهن ($Fe-P$) راحت تر انجام گرفته و مقدار فسفر متصل به آهن

نتایج این تحقیق نشان داد غلظت فسفر قابل دسترس (مجموع سه فرم فسفر جذب سطحی، متصل به آهن و متصل به آلومینیم) در رسوبات ایستگاه‌های ۲ و ۳ (شاخه قشلاق رود) سهم قابل ملاحظه‌ای دارد (تقریباً ۵۰ درصد از فسفر کل) که به دلیل ورود فاضلاب به داخل این رودخانه می‌باشد.

فسفر جذب سطحی کمترین سهم را بین فرم‌های فسفر قابل دسترس دارا بود، که به دلیل مصرف شدن مستقیم آن توسط موجودات زنده است. فسفر قابل دسترس غالباً به فرم‌های فسفر متصل به آهن و فسفر متصل به آلومینیم در رسوبات مشاهده شد. این

هیدروکسید با یون فسفات، فسفات از رسوب آزاد شده و میزان آن در رسوب کاهش می‌یابد. با توجه به افزایش pH، طبق شکل ۵ غلظت فسفر متصل به آلومینیم در ایستگاه‌ها کاهش نشان داد.

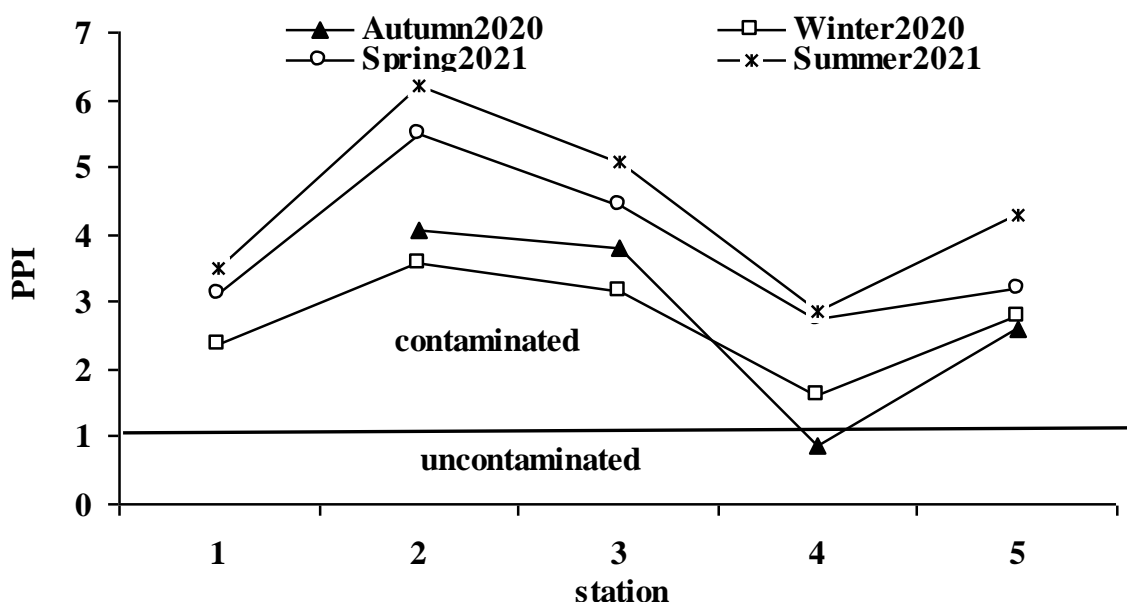
کاهش می‌یابد (شکل ۵). طبق این نمودار (شکل ۵)، غلظت فسفر متصل به آهن در ایستگاه‌های مختلف نیز نشان دهنده کمتر بودن غلظت این نوع فسفر در مقایسه با فسفر متصل به آلومینیم است. میزان فسفر متصل به آلومینیم (Al-P) تحت تاثیر pH محیط قرار دارد. با افزایش pH و رقابت یون



شکل ۵- تغییرات pH، Eh، Fe-P و Al-P در ایستگاه‌های مختلف حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج (سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰)
 Fig. 5. Changes of pH, Eh, Fe-P, and Al-P in different stations of the catchment area of the Zhaveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

۳/۰±۴/۸۱ در رسوبات حوضه آبریز سد ژاوه متغیر بود (شکل ۶). ایستگاه‌های ۲ و ۴ به ترتیب کمترین و بیشترین PPI را نشان دادند. PPI در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیش از ۱ بود، که نشان می‌دهد رسوبات منطقه مورد مطالعه توسط فسفر آلوده شده‌اند.

با توجه به معیارهای ارزیابی کیفیت وزارت محیط زیست و انرژی (DOEE)، کانادا (Mudroch and Azcue, 1995) فسفر با مقادیر بیشتر از ۶۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم به خطر زیست محیطی منجر می‌شود (Zhang et al., 2015). بنابراین برای فسفر، C_{std} به میزان ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم استفاده می‌شود. به این ترتیب PPI از ۰/۹ تا ۶/۲ با میانگین



شکل ۶- تغییرات ایستگاهی شاخص آلودگی فسفر (PPI) در فصول مختلف در حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج (سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰)
 Fig. 6. Spatial changes of Phosphorus pollution index (PPI) in different seasons in the catchment area of the Zhaveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

(آلودگی متوسط) با غلظت TP بیشتر از ۱۰۰۰ میلی-گرم بر کیلوگرم دارای آلودگی بالا بوده (جدول ۴)، اما در محدوده استاندارد کشورهای کره جنوبی و کانادا قرار می‌گیرد. همچنین تغییرات TN رسوبات در حوضه آبریز سد ژاوه کمتر از مقدار متوسط استاندارد چین و کره جنوبی بوده اما حداکثر آن بیش از استاندارد کانادا ثبت گردید. همچنین میانگین کل کربن آلی (TOC%) رسوبات این حوضه در محدوده استاندارد کشور کانادا قرار می‌گیرد. اما حداکثر میزان ثبت شده (ایستگاه ۲) بیشتر از محدوده استاندارد کشور کانادا است.

غلظت TN و TP رسوبات در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن حوضه رودخانه چانجیانگ چین نشان می‌دهد که میانگین مقدار TP رسوبات در حوضه بین ۷۳۸ تا ۹۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که کمی بیشتر از سطح متوسط استاندارد چین ۷۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم است و میانگین TN رسوب نیز با مقدار ۱۱۱۴-۳۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ظاهراً بالاتر از مقدار متوسط ۱۰۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (Yang et al., 2017). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان غلظت TP حوضه آبریز سد ژاوه در مقایسه با استاندارد چین (۷۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۵/۰۸ برابر ۲/۸۳ بیشتر بوده است به طوریکه بر اساس محدوده غلظتی آلودگی فسفر کل رسوبات (Liu et al., 1999) تمام ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه ۴

جدول ۴- مقایسه محدوده غلظت فسفر و نیتروژن کل رسوبات در مطالعه حاضر با سایر مطالعات

Table 4. Comparison of phosphorus and total nitrogen concentration in sediments of e present study with those of literature data.

Reference	Range of values TOC (%)	Concentration range TN (mg/kg.dw)	Concentration range TP (mg/kg.dw)	Country
Yang et al., 2017	-	1070	733	(NAL) China
Huh et al., 2014	-	5600	1600	(SMSs) South Korea
Persaud et al., 1993	10-1	640	2000-600	(PSQG) Ontario, Canada
This research	5.19±5.35 26.23-0.86	240±484)971-182(776±2075)3725-515(Zhaveh Dam -Sanandaj catchment area

Sediment Management Standards (SMSs), National Average Level (NAL), Provincial Sediment Quality Guidelines (PSQG)

آلودگی منفرد، شاخص آلودگی کلی، شاخص آلی و شاخص نیتروژن آلی را برای ارزیابی عناصر مغذی رسوب مورد استفاده قرار داده است (Guorong, 1996). این مطالعه، روشی را برای ارزیابی موثر خطر اکولوژیکی مواد مغذی در رسوبات حوضه، تعیین منابع کنترل و عوامل تأثیرگذار مواد مغذی در رسوبات و جلوگیری از یوتروفیکاسیون و ترمیم اکولوژیکی حوضه ارائه کرده است. در تحقیق حاضر تغییرات شاخص OPI و ONI در محدوده ۴/۶۲۳-۰/۰۰۳ و ۰/۵۰۰-۰/۰۰۴ درصد بوده است. مقایسه مقادیر دو شاخص این مطالعه با استاندارد شاخص آلی (جدول ۵) بیانگر آن است که وضعیت کیفیت رسوبات هر دو شاخص آلودگی بالایی را نشان داده اند.

براساس مطالعه یانگ و همکاران (Yang et al., 2017)، غلظت TN و TP در رسوبات دریاچه بیشتر از رسوبات رودخانه است، و نیتروژن و فسفر آزاد شده از رسوبات منابع مغذی اساسی برای تقویت یوتروفیکاسیون دریاچه‌ها و سدها هستند. در دریاچه‌های تایهو (Taihu) و چاهو (Chaohu)، انشعاباتی مانند رودخانه ووچیانگ و رودخانه هانجیانگ از مناطقی با سطح بالای فسفر (از منظر زمین‌شناسی) عبور می‌کنند. بنابراین، رسوب مخازن واقع در این زیر حوضه‌ها دارای محتوای متوسط TP نسبتاً زیاد (۴۷۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است که شش برابر بیشتر از میانگین استاندارد کشور چین است. این مسأله نشان‌دهنده پتانسیل بالای آزاد شدن فسفر و خطر یوتروفیک دریاچه مرتبط است. بنابراین، این شرایط برای سد ژاوه نیز با توجه بالا بودن غلظت فسفر کل (۲۰۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مسیر رودخانه‌های منتهی به سد خطر یوتروفیک کردن آن را افزایش خواهد داد.

وزارت محیط زیست و انرژی کانادا معیارهای درجه‌بندی ارزیابی کیفیت رسوب از جمله شاخص

جدول ۵- ارزیابی استاندارد شاخص آلی در رسوبات در حوضه آبریز سد ژاوه-سنندج (سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰)

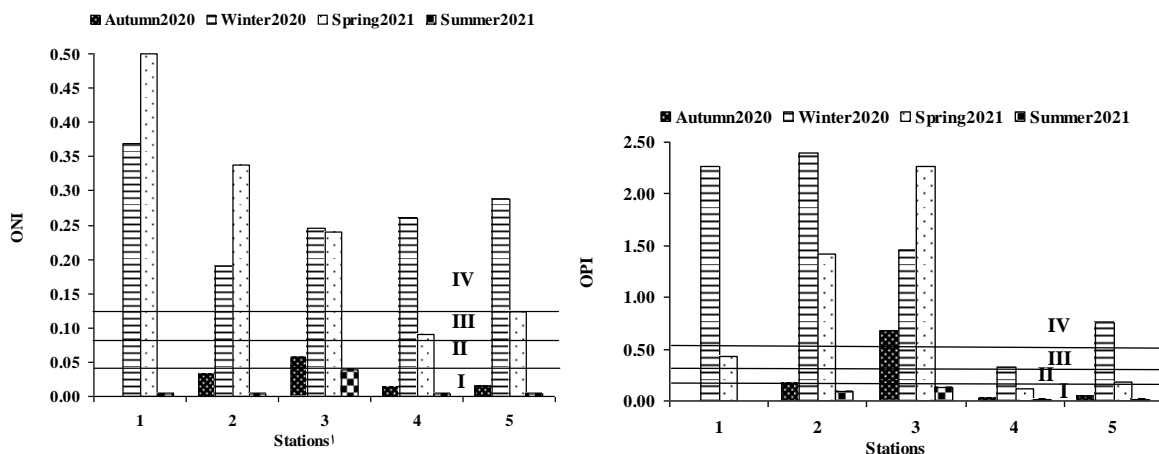
Table 5. Evaluation of standard organic index in sediments in the catchment area of the Zhavveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

Total	OPI				
	<0.50	0.20-0.50	0.05-0.20	>0.05	
0.741±1.15					
up					
IV					
ONI%					
OPI=Organic Index;	0.152±0.15	<0.133	0.066-0.133	0.033-0.066	>0.033
up					
Pollution scale					
IV	up	medium	IV	uncontaminated	
Classification					
	IV	III	II	I	

ONI=Organic Nitrogen Index

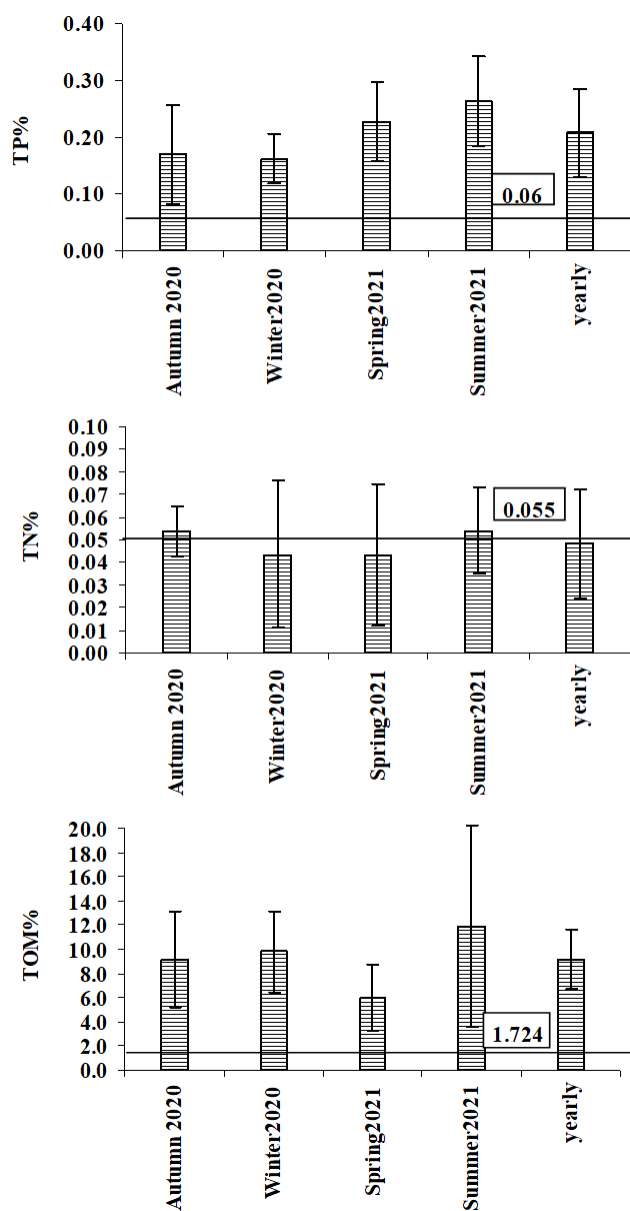
بوده است. اما TN (استاندارد کانادا ۰/۰۵۵٪) با دارا بودن محدوده ۰/۰۹۷-۰/۰۱۸٪ کمتر از محدوده استاندارد کانادا (Ministry of Environment and Energy of Canada, 1992) ثبت گردید (شکل ۸).

بر اساس نتایج به دست آمده درصد مقادیر TP (استاندارد کانادا ۰/۰۶٪) و TOM (استاندارد کانادا ۰/۰۲۷٪) معمولاً به ترتیب در محدوده ۰/۰۳۷-۰/۰۰۵٪ و ۴۵/۲۲-۱/۴۸٪ متغیر بوده و در مقایسه با ارزیابی استاندارد کانادا دارای مقادیر فصلی و سالانه بیشتر



شکل ۷- ارزیابی استاندارد شاخص آلی (ONI, OPI) در رسوبات در فصول مختلف حوضه آبریز سد ژاوه، سنندج (سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰)

Fig. 7. Evaluation of standard organic index (ONI, OPI) in sediments in different seasons of Zhavveh Dam of Sanandaj (2020-2021)



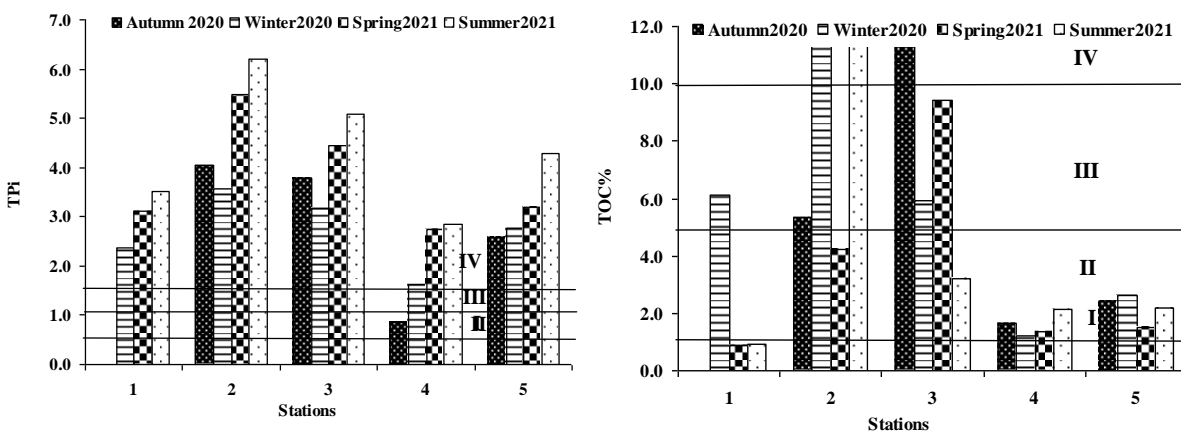
شکل ۸- تغییرات میانگین درصد فسفر، نیتروژن و مواد آلی کل حوزه آبریز سد ژاوه به همراه استاندارد کشور کانادا
 Fig. 8. Changes in the average percentage of phosphorus, nitrogen, and whole organic matter of the catchment area of the Zhaveh Dam along with the Canadian standard

آلوده (Seriously polluted) و از منظر TN رسوبات در محدوده پاک و کمی آلوده (Slightly polluted) ارزیابی گردید. اما براساس %TOC، رسوبات حوزه کمی آلوده تا خیلی آلوده به خصوص در ایستگاه‌های

نتایج تغییرات ارزیابی TP_i ، TN_i و %TOC در رسوبات سطحی در ایستگاه‌ها و فصول مختلف حوزه آبریز سد ژاوه در شکل ۹ در مقایسه با جدول ۴ نشان داد که براساس غلظت TP رسوبات رودخانه خیلی

منفرد، سطح خطر آلودگی TOC در رسوبات در کل منطقه نسبتاً زیاد بوده و سطح خطر آلودگی TP کم تا متوسط و در برخی مناطق شدید بوده، در حالی که سطح خطر آلودگی TN در بیشتر مناطق کم بود.

۲ و ۳ ارزیابی شد. وضعیت ایستگاه ۴ که مربوط به رودخانه گاوهرود می‌باشد در کل فصول بهتر بوده است. اما ایستگاه‌های رودخانه قشلاق حتی در بالادست نیز آلودگی‌های مختلف TP_i ، TN_i و $TOC\%$ را نشان داده است. طبق نتایج روش شاخص آلودگی

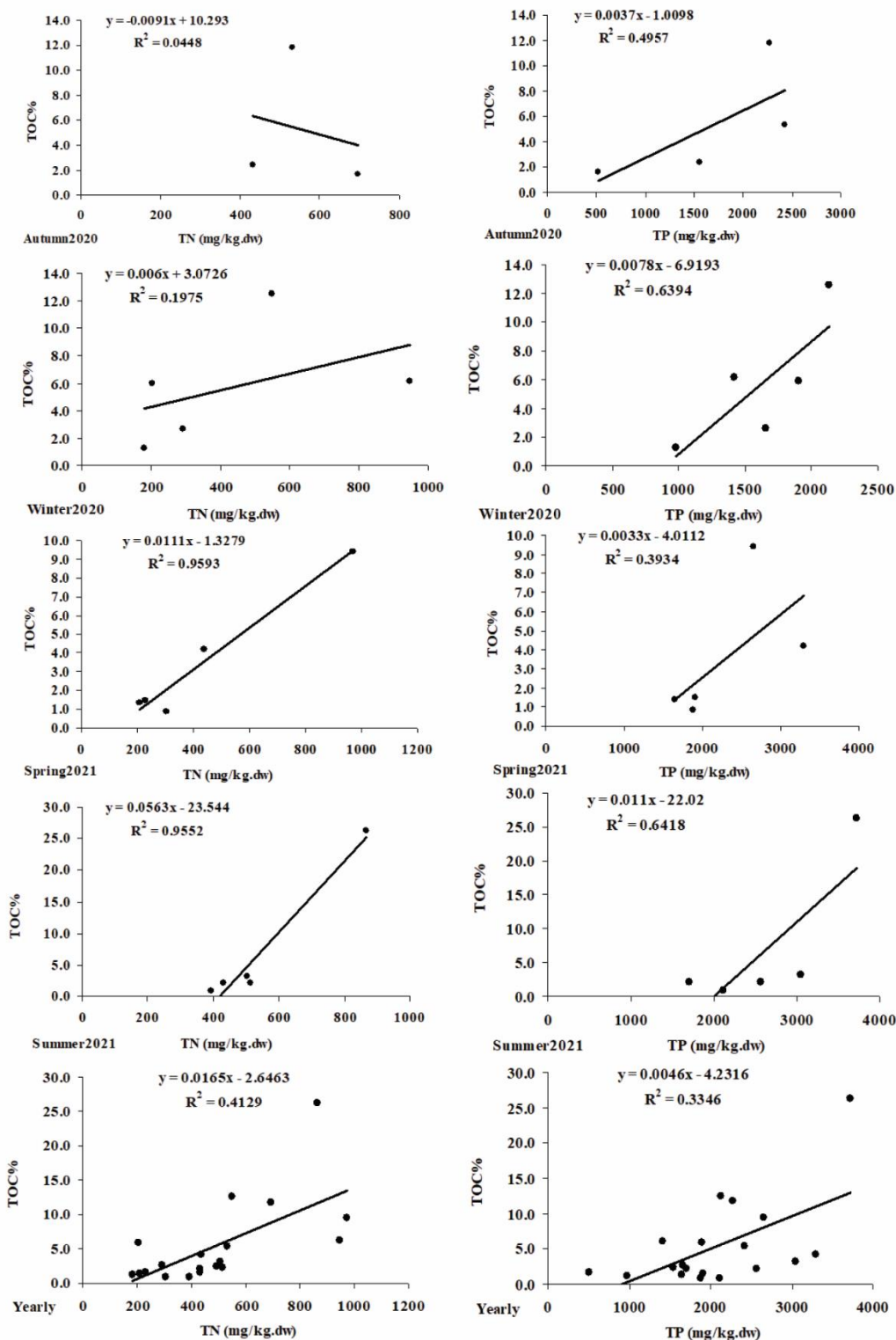


شکل ۹- شاخص استاندارد TP_i ، TN_i و TOC در ایستگاه‌ها و فصول مختلف در رسوبات حوضه آبریز سد ژاوه سنندج (سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Fig. 9. The standard index of TP_i , TN_i , and TOC in sediments in different stations and seasons of the catchment area of the Zhavveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

دهد که نیتروژن کل در بهار و تابستان ۱۴۰۰ به طور قابل توجهی با TOC ($r=0.97$) همبستگی دارد. این امر بر وابستگی تجمع و تغییرات مواد آلی به ترکیبات آلی نیتروژن دار بیشتر تاکید می‌کند. با توجه به اینکه درصد آمونیم بیش از ۹۰ درصد نیتروژن کل را تشکیل می‌دهد بنابراین آمونیم در آب به عنوان محصول نهایی تجزیه بیولوژیکی نیتروژن آلی محسوب می‌گردد (شکل ۱۰).

وجود همبستگی زیاد بین فسفر (TP) و نیتروژن (TN) در رسوبات نشان می‌دهد که فسفر (TP)، نیتروژن (TN) و کربن (TOC) در رسوبات از منابع مشابه ناشی می‌شوند (Zhang et al., 2015). آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین TOC و TP در فصول مختلف و سالانه با ضرایب بیش از ۰/۶۳ همبستگی داشته است و بیانگر منشأ مشابه این دو متغیر می‌باشد. همچنین ضریب رگرسیون نشان می‌



شکل ۱۰- همبستگی بین TN، TP، و TOC% در رسوبات حوزه آبریز سد ژاوه سنندج (سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Fig. 10. Relationships between TN, TP, and TOC% in sediments of the catchment area of the Zhaveh Dam of Sanandaj (2020-2021)

نسبت فرم‌های مختلف فسفر در رسوبات به آب سد ژاوه نشان داد که غلظت فسفر کل و فسفر قابل دسترس در رسوبات از آب بسیار بیشتر است (جدول ۶). همان‌طوری که جدول ۶ نشان می‌دهد نسبت فسفر معدنی رسوبات سد ژاوه به فسفر معدنی آب در محدوده ۲۶۷ تا ۷۹۶ بوده است که بیانگر نفوذ فسفر معدنی از رسوبات به محیط آب است. زیرا غلظت فسفر در رسوبات خیلی بیشتر از ستون آبی است که با قانون انتشار ترکیبات از محیط با غلظت بیشتر به محیط با غلظت کمتر، مطابقت دارد.

همچنین غلظت فرم‌های مختلف ازت در رسوبات بیش از غلظت آن‌ها در آب بوده است (جدول ۶). نتایج مربوط به فرم‌های مختلف ازت در رسوبات سطحی نشان داد که فرم معدنی (۶ برابر) بیش از فرم آلی بوده است و همچنین در بین فرم‌های معدنی، ازت آمونیمی، تقریباً ۸۰ درصد مشارکت داشته است. با در نظر گرفتن نسبت فرم‌های مختلف ازت در رسوبات نسبت به آب (جدول ۶) می‌توان دریافت که انتقال ازت معدنی نسبت به ازت آلی بیشتر صورت می‌گیرد و همچنین انتقال ازت آمونیمی از رسوبات به ستون

آبی بیشتر انجام می‌گیرد. زیرا ازت آمونیمی در رسوبات دارای نسبت بالاتری است. نتایج تحقیقات وینسبی و همکاران (Winsby et al., 1996) نشان داد که رهاسازی نیتروژن متصل به رسوبات به ستون آبی در شرایط هوازای قابل اغماض است و میزان آزادسازی آمونیم معدنی در رسوبات به ستون آبی در شرایط هوازای بسیار کم است. طبق تحقیقات کمپ و بوینتون (Kemp and Boynton, 1992)، در رسوباتی که شرایط بی‌هوازی حاکم باشد سرعت فرآیند نیتریفیکاسیون به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به طوری که در فرآیند معدنی شدن مقدار قابل ملاحظه‌ای از ازت آلی به فرم آمونیم تبدیل خواهد شد. منفی بودن پتانسیل اکسایش-کاهش رسوبات بیانگر غنی بودن مواد آلی، دانه‌بندی ریز، کم بودن اکسیژن و غیر هوازای بودن شرایط است (Winsby et al., 1996). در تحقیق حاضر میانگین پتانسیل اکسایش - کاهش رسوبات سطحی در ایستگاه ۵ سد ژاوه (۷۸-) میلی ولت دلالت بر بی‌هوازی بودن این رسوبات دارد در نتیجه انتقال ازت معدنی از رسوبات به ستون آبی بعد از آگیری سد پیش بینی می‌گردد.

جدول ۶- نسبت غلظت مواد مغذی فسفر و نیتروژن در رسوبات به آب سد ژاوه سنندج (سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 6. Sediment to water ratio of phosphorus and nitrogen nutrients in the Zhavah Dam of Sanandaj (2020-2021)

	TPs/TPw	DINs/DINw	TNs/TNw	Bioava.-Ps/PO4w
The ratio of nutrient concentration of sediments to water	769	70	6	267

S=sediment, W=water

نتیجه‌گیری

در بسیاری از کشورها تغذیه گرایبی آب در سال‌های اخیر به یک مشکل زیست‌محیطی تبدیل شده است. درک تغییرات رسوبات نقش مهمی در

تعیین کیفیت آب ایفا می‌کند. زیرا مواد مغذی بارگذاری شده در آب، جذب رسوبات می‌شود و همواره می‌تواند مواد مغذی را در آب آزاد کند و در اختیار جلبک‌ها و سایر مصرف‌کنندگان قرار دهد.

قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور (وزارت جهاد کشاورزی) اجرا گردید. بر خود لازم می‌دانیم که از پرسنل بخش اکولوژی در پژوهشکده اکولوژی دریای خزر برای نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها سپاسگزاری نماییم.

بررسی رسوبات در مطالعه حاضر بیانگر مقادیر بالای غلظت فسفر کل (2075 ± 178 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و فسفر قابل دسترس (666 ± 142 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مسیر رودخانه‌های منتهی به سد زاوه سنندج است که خطر یوتروفیک شدن آب را افزایش خواهد داد. ضمن آن که بالاتر بودن غلظت TN و TP در رسوبات محل مخزن سد نسبت به آب رودخانه می‌تواند نیتروژن و فسفر لازم را برای تقویت یوتروفیکاسیون فراهم نماید.

References

- Ashrak, A., Pir Kharati, H., Asadzadeh, F. 2018. Investigating the various forms of phosphorus sediments in the tea river bed. The first international conference and the third National Conference on Sustainable Management of Soil and Environment Resources. In Persian
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Seventeenth Edition. 1113P.
- Alvarez-Guerra, M., Viguri, J.R., Casado-Martínez, M.C. DelValls, T.A., 2010. Sediment quality assessment and dredged material management in Spain: Part I, application of sediment quality guidelines in the Bay of Santander. *Integrated Environmental Assessment and Management* 3, 529-538.
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezzaf, B., Slassi, M., 2016. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rabia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research* 4(4), 284-292.
- Bing, H., Wu, Y., Liu, E., Yang, X., 2013. Assessment of heavy metal enrichment its human impact in lacustrine sediment from four lakes in the mid-low reaches of the Yangtze River China. *Journal of Environmental Sciences* 25(7), 1300-1309.
- Directive, C., 1998. On the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, 330, 32-54.
- Fabre, A., Qotbi, A., Dauta, A., Baldy, V., 1996. Relation between algal available phosphate in the sediment of the River Garonne and chemically-determined phosphate fractions. *Hydrobiologia* 335, 43-48.
- Fox, I., Malati, M.A., Perry, R., 1989. The adsorption and release of phosphate from sediment of a river receiving sewage effluent. *Water Research* 23(6), 725-732.
- Golterman, H. L., Bakels, C. C., Jakobs-Mögelin, J., 1969. Availability of mud phosphates for the growth of algae. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 17(1), 467-479.
- Guorong, S., 1996. Statement and evaluation of organic matter, total nitrogen and total phosphate in surface layer sediment in Taihu Lake. *Journal of Lake Sciences* 8(4), 319-324.
- Hairston, Jr.N.G., Kearns, C.M., Perry Demma, L. Effler, W.S., 2005. Species-specific *Daphnia* phenotypes: a history of industrial pollution and pelagic ecosystem response. *Ecology* 86, 1669-1678.
- Hesse, P. R., 1971. A Text Book of Soil Chemical Analysis. John Nurray Williams Clowes and sons Ltd. London 324 p.
- Huh, I.A., Kim, Y.S., Yu, S.J., Wong, S., Shin, W.S., Park, H.O., Kim, H.J., Kim, H.W., 2014.

- Development of freshwater sediment management standards for organic matters, nutrients, and metals in Korea. *Environmental science and pollution research international* 21(1), 86-94.
- Kemp, W.M. Boynton, W.R., 1992. Benthic-pelagic interactions: Nutrient and oxygen dynamics, In: D.E. Smith, M. Leffler, and G. Mackiernan (eds.), *Oxygen Dynamics in the Chesapeake Bay: A Synthesis of Recent Research*. Maryland Sea Grant, College Park, Maryland. 149-209 pp.
- Lee, H.W., Lee, Y.S., Kim, J., Lim, K.J., Choi, J.H., 2019. Contribution of Internal Nutrients Loading on the Water Quality of a Reservoir. *Water* 11(1409), 1-17.
- Liu, H.L., Jin, X.C., Jing, X.F., 1999. Environmental dredging technology of lake sediment. *Chinese Engineering Sciences* 1(1), 81-84. (In Chinese).
- Mashanir Electrical Engineering Services Company, 2017. Report of Mashhanir Electrical Engineering Company, 92p. In Persian.
- Mudroch, A., Azcue, J.M., 1995. Manual of aquatic sediment sampling. In: Lewis Publishers, pp. 194-200.
- Nasiri, R., 2009. Step -by -step training SPSS 17. Gostar Cultural Center, Tehran, 344 p. In Persian.
- Oketola, A.A., Adekolurejo, S.M. Osibanjo, O., 2013. Water quality assessment of River Ogun using multivariate statistical techniques. *Journal of Environmental Protection* 4, 466-479.
- Pailles, C., McConchie D.M., Arakel, A.V., Saenger, P., 1993. The distribution of phosphate in sediment of the Johnstone Rivers catchment-estuary system, North Queensland, Australia. *Sedimentary Geology* 85, 253-269.
- Persaud, D., Jaagumagi, R. Hayton, A., 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Canada.
- Psenner, R., Puesko, R. Sager, M., 1984. Die fractionierung organischer und anorganischer phosphorverbindungen von sedimenten-versucheiner einer definition ökologisch wichtiger fractionen. *Arch. FürHydrobiology* 10,115-155.
- Sapozhnikov, V.N., Agativa, A.E., Arjanova, N.V., Nalitova, E.A., Mardosova, N.V., Zobarowij V.L. Bandarikov, E.A., 1988. Methods of hydrochemical analysis of the major nutrients. VNIRO publisher: Moscow, Russia.
- Wang, L., Ye, M., Li, Q., Zou, H., Zhou, Y., 2013. Phosphorus speciation in wetland sediment of zhujiang (Pearl) river estuary China. *Chinese Geographical Science* 23(5), 574-583.
- Winsby, M., Sander, B., Archibald, D., Daykin, M., Nix, P., Taylor, F.J.R., Mundy, D., 1996. The environmental effects of salmon net-cage culture in British Columbia. Ministry of Environment, Lands and Parks, Environmental Protection Dept. Industrial Waste/Hazardous Contaminants Branch, Victoria, BC. Canada, 214p.
- Yang, Y., Gao, B., Hao, H., Zhou, H., Lu, J., 2017. Nitrogen and phosphorus in sediment in China: A national- scale assessment and review. *Science of the Total Environment* 576, 840-849.
- Yurkovskis, A., 2004. Long-term land-based and internal forcing of the nutrient state of the Gulf of Riga (Baltic Sea). *Journal of Marine Systems* 50, 181-197.
- Zhang, Z.B., Yufeng, Lv., Zhang, W., Zhang, Y., Sun, C., Marhaba, T.F., 2015. Phosphorus, organic matter and nitrogen distribution characteristics of the surface sediment in Nansi Lake. *China Journal of Environmental Earth Sciences* 73(9), 5669-5675.