

Original Article



Water quality of Sirvan River (Kurdistan) based on zooplankton biological indices

Rahimeh Rahmati^{1*} , Mehdi Naderi Jelodar¹ , Mastrooreh Doustdar² 

1. Agricultural Research, Education and Extension Organization, National Fisheries Science Research Institute, Caspian Sea Ecology Research Institute, Farahabad, Sari, Iran.
2. Agricultural Research, Education and Extension Organization, National Fisheries Science Research Institute, Tehran, Iran.

Article history:

Received: 18 December 2022
Revised: 25 January 2024
Accepted: 26 January 2024
ePublished: 22 April 2024

***Corresponding author:** Rahimeh Rahmati, 1. Agricultural Research, Education and Extension Organization, National Fisheries Science Research Institute, Caspian Sea Ecology Research Institute, Farahabad, Sari, Iran

E-mail: rahmati764@gmail.com

Abstract

Zooplanktons have high potential as biomarkers and are a good indicator for environmental changes caused by impactful activities. The present study aims to determine the water quality of the Sirvan River in Kurdistan, at the head of the Gaveh River and Qeshlaq River branches, by examining the diversity and density of zooplanktons and using Shannon and Saprobic zooplankton biological indices for one year. 5 stations (4 stations from the upstream of the Qeshlaq River to near the reservoir of the Javeh Dam and one station in the branch of Gaveh River) were carried out in 2020-2021. Sampling of zooplankton was done using a water filter with a 50 micrometer planktonic net, and the samples were observed under a microscope after being fixed with formalin and prepared. 17 zooplankton species of Protozoa, Rotifera, Cladocera and Copepoda were identified in different stations during sampling. Zooplankton density in stations 2 and 3 showed different conditions compared to other stations. In stations 3 (2.97) and 1 (2.18), respectively, the highest and lowest average of Saprobic index were calculated, and the highest and lowest average of Shannon index were also in station 5 (1.56) and station 3 (1.04) was obtained. Stations 2 and 3 showed different conditions in zooplankton density than other stations, also the highest values of saprobic index (organic pollution) were calculated in these two stations. In this study, the population of zooplankton in winter was different from other seasons (especially summer) and the lack of significant difference in Shannon's diversity index between stations throughout the year indicates the stability of organic pollution along the river. In general, the state of organic contamination of the sampling stations on saprobic index was in alpha and beta mesosaprobe conditions (moderate-severe pollution).

Keywords: Zooplankton, Biological indices, Water quality, Sirvan River, Javah Dam.

Please cite this article as follows: Rahmati R, Naderi Jelodar M; Doustdar M. Water quality of Sirvan River (Kurdistan) based on zooplankton biological indices. J Marin Bio, 2024; 16(1): 27-40. DOI:



Copyright © 2024 Journal of Marin Biology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله اصلی

مطالعه کیفیت آب رودخانه سیروان (کردستان) بر اساس شاخص‌های زیستی زئوپلانکتونی

رحیمه رحمتی^{۱*} ID، مهدی نادری جلودار^۱ ID، مسطوره دوستدار^۲ ID

۱. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، فرح‌آباد، ساری، ایران.
۲. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، ایران.

چکیده

زئوپلانکتون‌ها به‌عنوان نشانگرهای زیستی از پتانسیل بالایی برخوردار بوده و شاخص خوبی برای تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های تأثیرگذار می‌باشند. مطالعه حاضر باهدف تعیین کیفیت آب رودخانه سیروان کردستان، در سرشاخه‌های گاوهرود و قشلاق‌رود، با استفاده از بررسی تنوع و تراکم زئوپلانکتون‌ها و نیز بهره‌گیری از شاخص‌های زیستی شانون و ساپروبی زئوپلانکتونی، به مدت یک سال در ۵ ایستگاه (۴ ایستگاه از بالادست رودخانه قشلاق تا نزدیک مخزن سد ژاوه و یک ایستگاه در شاخه گاوهرود) در ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. نمونه‌برداری از زئوپلانکتون با استفاده از فیلتر آب با تور پلانکتونی ۵۰ میکرومتر انجام گرفت و نمونه‌ها پس از فیکس با فرمالین و آماده‌سازی مورد مشاهده میکروسکوپی قرار گرفتند. ۱۷ گونه زئوپلانکتونی از پروتوزوا (Protozoa)، روتیفر (Rotifera)، کلاوسرا (Cladocera) و کوپه‌پودا (Copepoda) در ایستگاه‌های مختلف طی نمونه‌برداری شناسایی شد. تراکم زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های ۲ و ۳ در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها شرایط متفاوتی را نشان دادند. در ایستگاه‌های ۳ (۲/۹۷) و ۱ (۲/۱۸) به ترتیب، بیشترین و کمترین میانگین شاخص ساپروبی محاسبه شد. همچنین بیشترین و کمترین میانگین شاخص شانون نیز به ترتیب در ایستگاه ۵ (۱/۵۶) و ایستگاه ۳ (۱/۰۴) به دست آمد. ایستگاه‌های ۲ و ۳ شرایط متفاوتی در تراکم زئوپلانکتون‌ها از سایر ایستگاه‌ها نشان دادند، همچنین در این دو ایستگاه بالاترین مقادیر شاخص ساپروبی (آلودگی آلی) نیز محاسبه شد. در این مطالعه جمعیت زئوپلانکتون‌ها در فصل زمستان متمایز از سایر فصول (به‌ویژه تابستان) بوده است و عدم تفاوت معنادار شاخص تنوع شانون بین ایستگاه‌ها در طول سال حاکی از پایداری آلودگی آلی در طول رودخانه می‌باشد. در مجموع وضعیت آلودگی آلی ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر مبنای شاخص ساپروبی در شرایط آلفا و بتا مزوساپروب (آلودگی متوسط-شدید) بوده است.

واژگان کلیدی: زئوپلانکتون، شاخص‌های زیستی، کیفیت آب، رودخانه سیروان، سد ژاوه.

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۹/۲۷

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۶

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۲/۳

تمامی حقوق برای دانشگاه آزاد اهواز محفوظ است.

* نویسنده مسئول: رحیمه رحمتی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، فرح‌آباد، ساری، ایران

ایمیل: rahmati764@gmail.com

استناد: رحمتی، رحیمه؛ نادری جلودار، مهدی؛ دوستدار، مسطوره. مطالعه کیفیت آب رودخانه سیروان (کردستان) بر اساس شاخص‌های زیستی. مجله زیست‌شناسی دریا،

بهار ۱۴۰۳؛ ۱۶(۱): ۲۷-۴۰

مقدمه

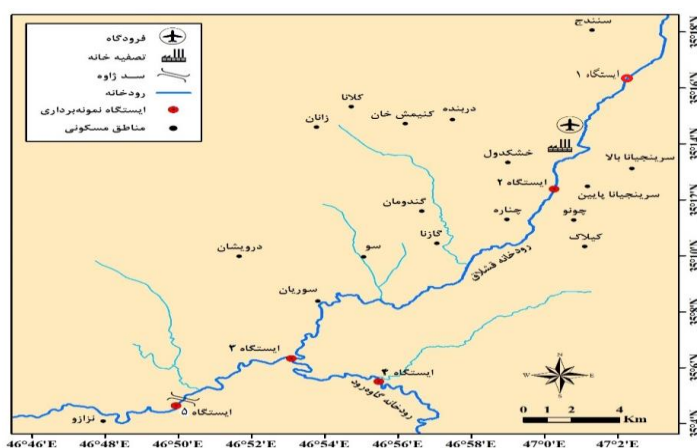
در سال‌های اخیر اکوسیستم رودخانه‌ها فشارهای زیادی را از سوی طبیعت و به‌ویژه فعالیت‌های انسانی دریافت نموده‌اند (Wan et al., 2021). امروزه با آگاهی از ساختار و عملکرد چرخه جوامع زیستی اکوسیستم‌های آبی می‌توان مدیریت بهتری را بر شرایط ناپایدار و آلودگی‌های زیست‌محیطی این اکوسیستم‌ها انجام داد (Ekpo, 2013). ژئوپلانکتون‌ها یکی از اعضای مهم زنجیره غذایی در اکوسیستم‌های پلاژیک می‌باشند و می‌توانند در پیش‌بینی تغییرات کوتاه‌مدت تا بلندمدت اکوسیستم‌های آبی مفید واقع شوند (Cadjo et al., 2007). ژئوپلانکتون‌ها به دلیل اندازه کوچک، چرخه کوتاه تناوب نسل و رشد سریع، اغلب اوقات تحت تأثیر تغییرات زیست‌محیطی اطراف خود قرار می‌گیرند. همچنین این موجودات دارای سیکل زندگی طولانی‌تر نسبت به فیتوپلانکتون‌ها و سیکل کوتاه‌تر نسبت به زوبنتوزها می‌باشند که این امر آن‌ها را یکی از حساس‌ترین عوامل اکوسیستم‌های آبی نموده است (Yermolaeva and Dvurechenskaya, 2016). این ویژگی‌ها سبب شده که این موجودات به‌عنوان نشانگرهای زیستی از پتانسیل بالایی برخوردار باشند (Parveen et al., 2013). ژئوپلانکتون‌ها می‌توانند شاخص خوبی برای تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های تأثیرگذار باشند، زمانی که گونه‌های مقاوم در آن‌ها نرخ رشد جمعیتی بالایی را نشان می‌دهند، گونه‌های حساس آن‌ها به آلودگی عموماً حذف می‌شوند (Cai et al., 2020). تغییر در شرایط حضور ژئوپلانکتون‌ها بر ترکیب گونه‌ای، شاخص‌های کمی و ساختار جمعیت تأثیر می‌گذارد. موقعیت میانی که توسط آن‌ها اشغال می‌شود، از آن‌ها شاخص‌های بالقوه ارزشمندی جهت تعیین سطح یوتروفی و سلامت کلی اکوسیستم می‌سازد (Zhang et al., 2020) و موضوع مطالعات متعددی در اکوسیستم‌های آبی بوده است. کمالی‌سنزیتی و موسوی‌ندوشن (۱۳۹۴) به ارزیابی جوامع ژئوپلانکتونی و شاخص ساپروبی استخرهای پرورش کپور ماهیان در شهر گنبد کاووس پرداختند. در این تحقیق ژئوپلانکتون‌های غالب استخرها شناسایی و تعیین کلاسه کیفی آب به کمک آن‌ها انجام شد. Jindal و Vatsal (۲۰۰۵) از پلانکتون‌ها به‌عنوان زیست مانیتورهای ساپروبی استفاده نمودند. پروتوزوا، روتیفر، کopeپودا، کلادوسرا و لارو حشرات در میان ژئوپلانکتون‌ها توالی را در شرایط ساپروبی مختلف نشان دادند که آن‌ها بر اساس حضور، عدم حضور، فراوانی و فرکانس حضور این گونه‌ها، بیواندیکاتورهای ساپروبی را طراحی نمودند. Cadjo و همکاران (۲۰۰۷) ژئوپلانکتون‌های مخزن سد Potpec را مطالعه نمودند، در این تحقیق از طریق آنالیز کیفی حضور ۳۸ جنس از آن‌ها و از طریق آنالیز کمی غالبیت برخی گونه‌ها مشخص شد. در این مطالعه نتیجه گرفته‌شده است که بیشترین تعداد ارگانسیم‌های شاخص متعلق به گونه‌های الیگوساپروب و بتامزوساپروب می‌باشند. مقادیر شاخص ساپروبی در این منطقه نیز از ۱/۶ در سد (الیگوبتامزوساپروب) تا ۱/۸ در قسمت مرکزی مخزن سد (بتامزوساپروب) متفاوت بود. مطالعاتی نیز توسط Yermolaeva و Dvurechenskaya (۲۰۱۶) و Cai و همکاران (۲۰۲۰) در این زمینه انجام شد که در مطالعه اول بر استفاده از شاخص‌های ژئوپلانکتونی اختصاصی هر منطقه و در مطالعه دوم بر استفاده از شاخص‌های ژئوپلانکتونی در آنالیز سلامت اکوسیستم آب شیرین تأکید شده است. سد ژاوه بر روی رودخانه سیروان (استان کردستان)، بعد از تلاقی دوشاخه اصلی گاو رود و قشلاق، باهدف استفاده در بخش‌های کشاورزی و صنعت ساخته‌شده است و تاکنون آبیگری نشده است. این مطالعه برای نخستین بار بر تراکم و تنوع ژئوپلانکتون‌ها و همچنین تعیین کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های زیستی شانون و ساپروبی بر رودخانه سیروان انجام‌شده است. شاخه قشلاق با سهم حدود ۴۳ درصد آورد ورودی به مخزن سد به دلیل مجاورت با سنج و صنایع اطراف این شهر، پذیرای حجم زیادی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی است و در حاشیه شاخه گاو رود نیز باغات و زمین‌های کشاورزی وجود دارد. با توجه به اینکه آلودگی آلی یکی از مشکلاتی است که به تعادل هر اکوسیستم آسیب وارد می‌کند، در این مطالعه از نشانگرهای زیستی (ژئوپلانکتون) جهت پایش کیفیت آب این رودخانه و از شاخص ساپروبی به‌عنوان کاربردی‌ترین شاخص تخمین درجه آلودگی آلی آب بر مبنای این نشانگرها، استفاده‌شده است (Yermolaeva and Dvurechenskaya, 2016).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۵ ایستگاه انتخاب شد. ۴ ایستگاه از بالادست شاخه رودخانه قشلاق تا نزدیکی مخزن سد (ژاوه) و یک ایستگاه در شاخه گاو رود انتخاب شدند. نمونه‌برداری به صورت فصلی و از پاییز ۱۳۹۹ آغاز گردید و تا تابستان ۱۴۰۰ ادامه داشت. موقعیت جغرافیایی و عمق ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه سیروان- سنندج (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

شماره ایستگاه	ایستگاه	مختصات جغرافیایی	عمق (متر)
۱	بالادست قشلاق (قبل از تصفیه خانه-زیر پل)	۳۶° ۲۲' ۳۵"N ۴۷° ۰۱' ۱۲"E	۰/۷۰
۲	شاخه قشلاق رود (پایین دست تصفیه خانه)	۳۵° ۱۲' ۱۲"N ۴۶° ۵۹' ۳۳"E	۰/۵۰
۳	شاخه قشلاق رود (حدود ۳ کیلومتر پایین تر از ایستگاه ۲ واقع گردید)	۳۵° ۰۸' ۰۸"N ۴۶° ۵۳' ۵۹"E	۱/۲۰
۴	شاخه گاو رود	۳۵° ۰۵' ۰۴"N ۴۶° ۵۵' ۲۱"E	۰/۸۰
۵	شاخه سیروان (پشت سد)	۳۵° ۰۳' ۵۲"N ۴۶° ۴۹' ۵۱"E	۲/۰



شکل ۱: نقشه جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه سیروان- سنندج (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

برای نمونه‌برداری از زئوپلانکتون، در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۱۰۰ لیتر آب برداشته شده توسط تور مخروطی پلانکتون با چشمه ۵۰ میکرومتر فیلتر شد. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای با فرمالین ۴ درصد تثبیت شدند (Wetzel and Linkens, 1991). نمونه‌ها جهت بررسی کیفی و کمی زئوپلانکتون به آزمایشگاه پلانکتون منتقل شده و با استفاده از تور ۵۰ میکرون تغلیظ و در زیر میکروسکوپ وارونه (Invert) شناسایی و شمارش شدند (Postel et al., 2000). شناسایی زئوپلانکتون‌ها با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر انجام شد (Boltovskoy, 2000; Kuticova, 1970; Manolova, 1964).

در ارزیابی‌های زیستی ساختار هر جامعه زنده، اغلب از تنوع موجودات اکوسیستم استفاده می‌شود، شاخص تنوع شانون (Shannon-Wiener) یکی از فاکتورهای ارزیابی ساختار جمعیت می‌باشد که از ترکیبی از غنا و جمعیت گونه‌ها تأثیر می‌پذیرد. در این مطالعه شاخص شانون با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شده است (Shannon and Wiener, 1949) و کلاسه‌بندی کیفی آب بر اساس این شاخص طبق جدول ۲ انجام شده است (Mason, 1982).

$$1- H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i \rightarrow$ فراوانی هر گونه

$N \rightarrow$ فراوانی کل

جدول ۲: دامنه کلاسه‌های کیفی شاخص شانون.

ویژگی نوع منبع آب	دامنه شاخص شانون
آلودگی زیاد	۱-۰
آلودگی متوسط	۳-۱
تمیز	>۳

شاخص ساپروبی (Saprobity Index) نشان‌دهنده کیفیت آب و آلودگی مواد آلی است. در این مطالعه شاخص ساپروبی بر مبنای عدد ساپروبی و جمعیت هر یک از گونه‌های شاخص زوپلانکتون و طبق رابطه ۲ محاسبه شد. طبقه‌بندی کیفی نتایج حاصله طبق جدول ۳ انجام شد (Pantle and Buck, 1955; Sladeczek, 1973).

$$2- S = \sum (s_i \cdot h_i) / \sum (h_i)$$

$S =$ ارزش ساپروبیکی انفرادی هر گونه،

$h_i =$ فراوانی ظهور هر گونه

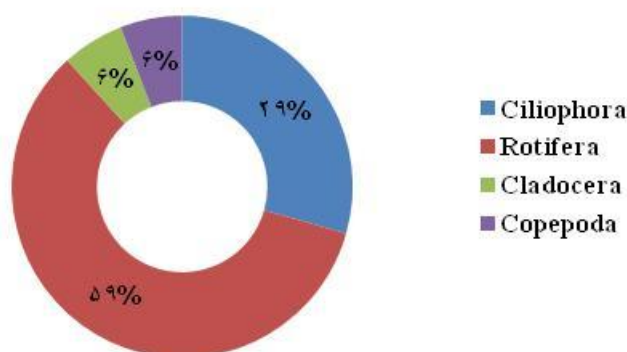
جدول ۳: دامنه کلاسه‌های کیفی شاخص ساپروبی.

نوع کلاسه کیفی	دامنه	ویژگی نوع منبع آب
اولیگو ساپروب	۱-۱/۵	آلودگی کم
بتا مزوساپروب	۱/۲-۵۱/۵	آلودگی متوسط
آلفا مزوساپروب	۲/۳-۵۱/۵	آلودگی شدید
پلی ساپروب	۳/۴-۵۱	آلودگی خیلی شدید

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه بیست و دوم انجام گرفت. کلیه اطلاعات نرمال شده (انتقال یافته با روش لگاریتم) به وسیله آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و تست Duncan برای مقایسه میانگین‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

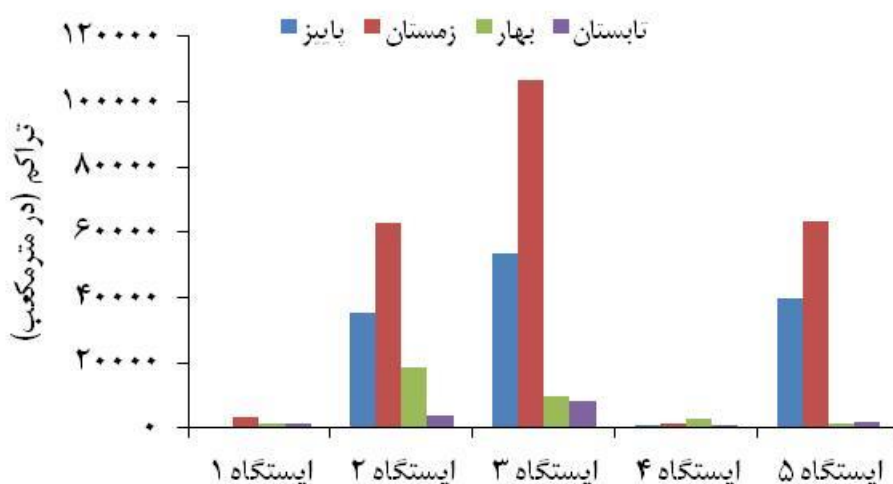
نتایج

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های کیفی و کمی زئوپلانکتون‌ها در این مطالعه نشان داد که ۱۷ گونه زئوپلانکتون از ۴ گروه طی نمونه‌برداری یک‌ساله در ایستگاه‌های مختلف شناسایی شده است. ۵ گونه (*Tintinnidium fluviatile*, *Paramecium* sp., *Epistylis* sp.) از شاخه Protozoa، ۱۰ گونه (*Bdelloidea*, *Asplanchna priodonta*) از شاخه Rotifera، ۲ گونه (*Rhinoglena frontalis*, *Polyarthra vulgaris*, *Lecane luna*) از شاخه Crustacea، شامل ۱ گونه (*Bosmina coregoni*) از راسته Cladocera و ۱ گونه (*Cyclops* sp.) از زیررده Copepoda مورد شناسایی قرار گرفتند (شکل ۲). بیشترین تعداد گونه‌ها در شاخه روتیفرها مشاهده شد (۵۹ درصد تعداد گونه‌ها).

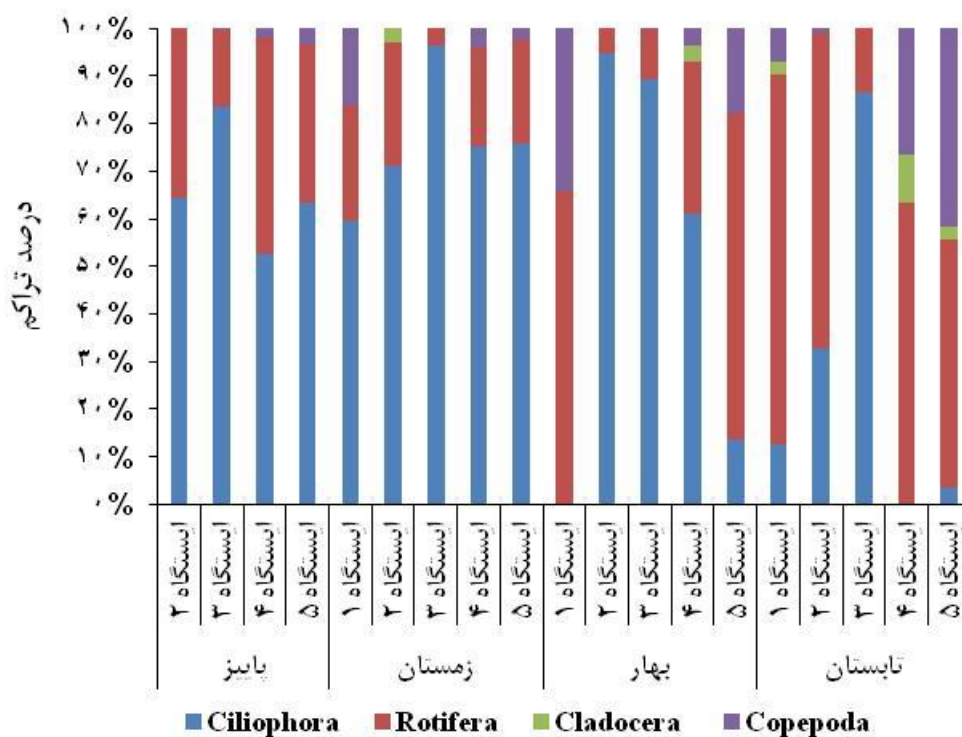


شکل ۲: درصد تعداد گونه‌ها در گروه‌های مختلف زئوپلانکتونی در رودخانه سیروان (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

تغییرات فصلی و ایستگاهی تراکم زئوپلانکتون‌ها در این رودخانه در شکل ۳ نشان داده شده است. بالاترین تراکم در فصول پاییز و زمستان مشاهده شده است که تحت تأثیر دو گروه پروتوزوا و روتیفرها بوده‌اند. همچنین درصد مشارکت گروه‌های مختلف زئوپلانکتونی در هر ایستگاه در فصول مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. بر این اساس شاخه پروتوزوا به‌عنوان گروه غالب زئوپلانکتونی در همه فصول به‌ویژه در ایستگاه‌های ۲ و ۳ بوده است، پس از آن هم به ترتیب روتیفرها و کوپه‌پودا قرار گرفتند. گونه *Epistylis* sp. از پروتوزوا، در فصل زمستان بین ۲۱ تا ۷۵ درصد جمعیت ایستگاه‌ها را تشکیل داد که به دنبال آن در فصول بهار و تابستان نیز این گونه بیش از ۵۰ درصد جمعیت ایستگاه ۳ را شامل شده بود. گونه *Vorticella similis* به‌ویژه در فصول پاییز و زمستان سهم عمده‌ای در جمعیت زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌ها داشت، به‌عنوان نمونه در فصل زمستان ۷۶ درصد جمعیت ایستگاه ۳ را شامل می‌شد. *Bdelloidea* ها نیز در غالب ایستگاه‌ها در همه فصول حضور داشته و به‌ویژه در فصل تابستان ۶۰ درصد جمعیت ایستگاه ۲ را شامل می‌شدند. *Lecane luna* از روتیفرها و *Cyclops* sp. از کوپه‌پودا هم در فصل تابستان در برخی از ایستگاه‌ها سهم بیش از ۲۵ درصد در ایستگاه‌های ۴ و ۵ داشتند.

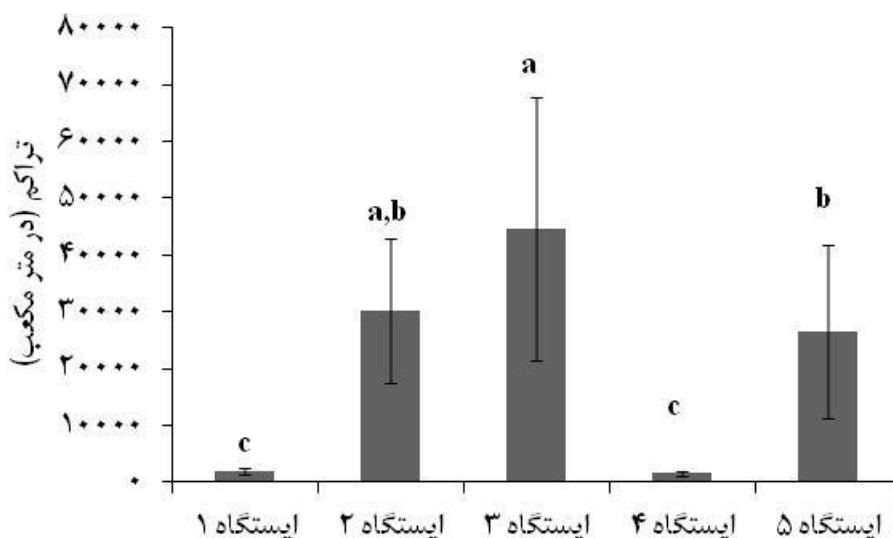


شکل ۳: تغییرات زمانی تراکم زئوپلانکتون‌ها (تعداد در مترمکعب) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (۱۳۹۹-۱۴۰۰).



شکل ۴: درصد مشارکت گروه‌های مختلف در تراکم زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

نتایج حاصل از بررسی جمعیت کل زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری حاکی از تفاوت معنادار جمعیت در ایستگاه‌های ۲ و ۳ در طی سال است که در شکل ۵ این تفاوت مشهود می‌باشد.

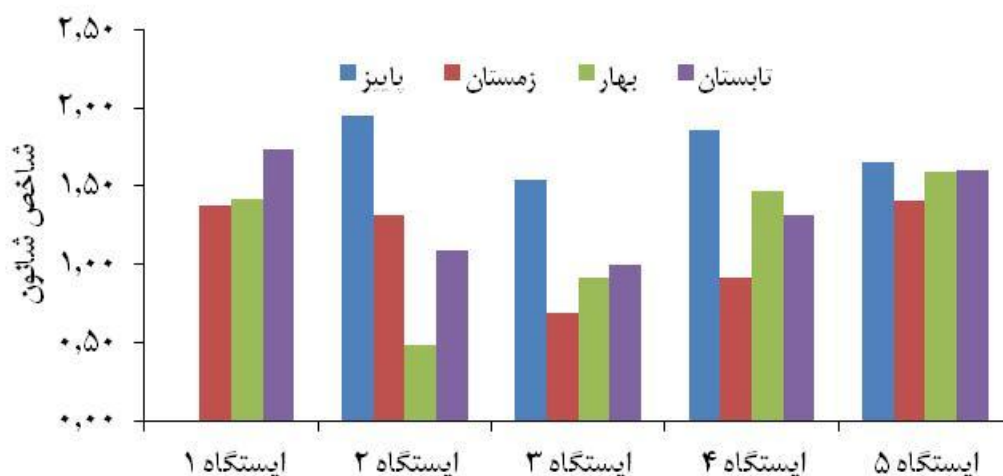


شکل ۵: میانگین تراکم کل زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

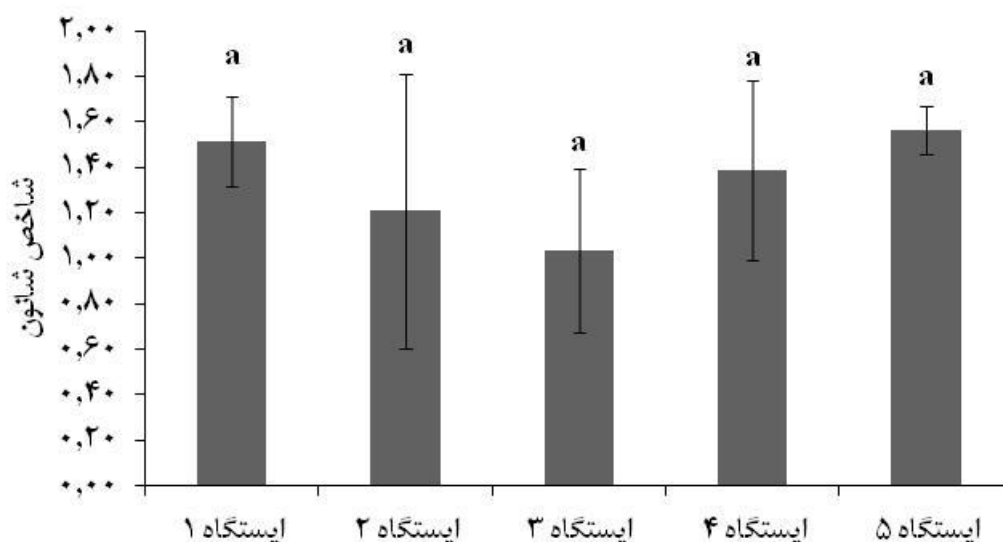
(حروف متفاوت حاکی از تفاوت معنادار است).

میانگین تراکم کل زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه ۱ تا ۵ طی زمان نمونه‌برداری به ترتیب $2,055 \pm 617$ ، $30,136 \pm 12,706$ ، $44,656 \pm 23,219$ ، $50,815 \pm 15,86$ و $26,572 \pm 15,204$ عدد در مترمکعب بود. میانگین تراکم شاخه پروتوزوا در ایستگاه‌های ۱ تا ۵ طی زمان نمونه‌برداری به ترتیب $16,763 \pm 10,336$ و $34,277 \pm 7,72$ ، $21,822 \pm 3,921$ ، $81,381 \pm 19,992$ ، $45,555 \pm 5,28$ تا ۵ طی زمان نمونه‌برداری به ترتیب $7,444 \pm 96$ ، $74,171 \pm 3,463$ ، $34,233 \pm 15,84$ ، $13,247 \pm 4,70$ و $66,711 \pm 3,396$ عدد در مترمکعب بود. میانگین تراکم کلادوسرا در اکثر ایستگاه‌ها پایین بوده و درصد کمی از جمعیت آن ایستگاه را شامل بود. این گروه در ایستگاه ۳ مشاهده نشد. میانگین جمعیت کوپه‌پودا نیز در اکثر ایستگاه‌ها پایین بود و تنها در ایستگاه ۱ و ۵ به ترتیب 284 ± 99 و 890 ± 276 عدد در مترمکعب بود. سهم بالای جمعیت پروتوزوا در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۴ تحت تأثیر گونه *Epistylis sp* و در ایستگاه‌های ۳ و ۵ متأثر از گونه *Vorticella similis* بود؛ اما بالاترین جمعیت روتیفرها در همه ایستگاه‌ها متأثر از تراکم *Bdelloidea* بود. آنالیز اطلاعات تراکم کل زئوپلانکتون‌ها حاکی از تفاوت معنادار بین ایستگاه‌ها می‌باشد ($P < 0.05$)، به‌گونه‌ای که طبق آزمون دانکن ایستگاه‌های ۲ و ۳ کاملاً متمایز از سایر ایستگاه‌ها می‌باشند. این تمایز در گونه‌های غالبی چون پروتوزوئرها *Epistylis* و *Vorticella* و روتیفر *Bdelloid* نیز مشاهده شد. آنالیز زمانی تراکم زئوپلانکتون‌ها نیز حاکی از تفاوت معنادار جمعیت کل در دو فصل تابستان و زمستان بود ($P < 0.05$). شاخه پروتوزوا نیز تابع شرایط اخیر بود، در روتیفرها نیز این تفاوت در فصول بهار و پاییز دیده شد ($P < 0.05$).

نتایج حاصل از محاسبه شاخص تنوع شانون در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین میانگین شاخص تنوع شانون ($1/56$) در طول مدت نمونه‌برداری به ایستگاه ۵ و کمترین میانگین به ایستگاه ۳ ($1/04$) تعلق داشت (شکل ۷). اگرچه آنالیز آماری نتایج شاخص شانون حاکی از عدم وجود تفاوت معنادار میان ایستگاه‌ها بود ($P > 0.05$)، اما بررسی نشان داد که این شاخص در ایستگاه ۳ در فصول زمستان و بهار مقادیر بسیار کمی ($0/69$ و $0/91$) را نشان داد (آلودگی زیاد). ایستگاه ۲ نیز در فصل بهار کمترین مقدار شاخص شانون ($0/48$) را داشت (آلودگی زیاد).



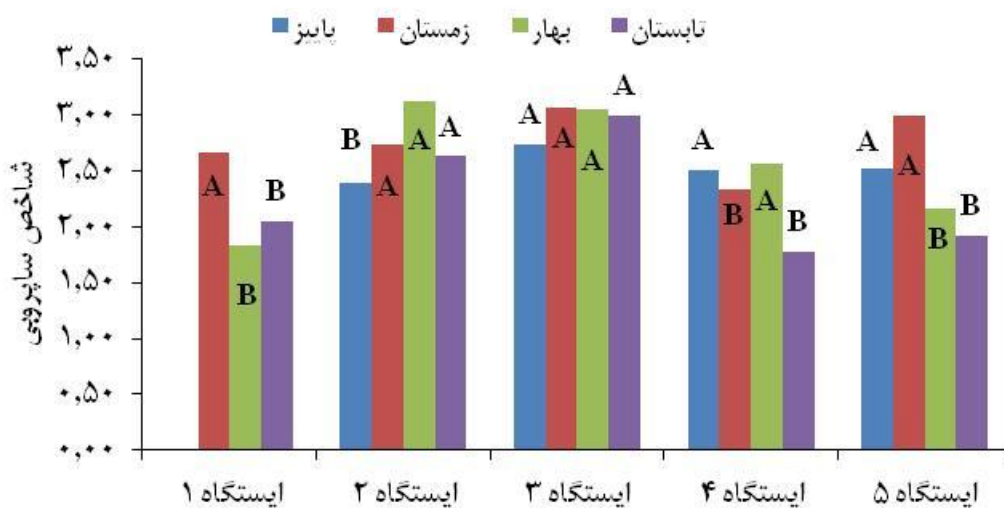
شکل ۶: تغییرات شاخص تنوع شانون در ایستگاه‌های مختلف (۱۳۹۹-۱۴۰۰).



شکل ۷: میانگین شاخص شانون در ایستگاه‌های مختلف (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

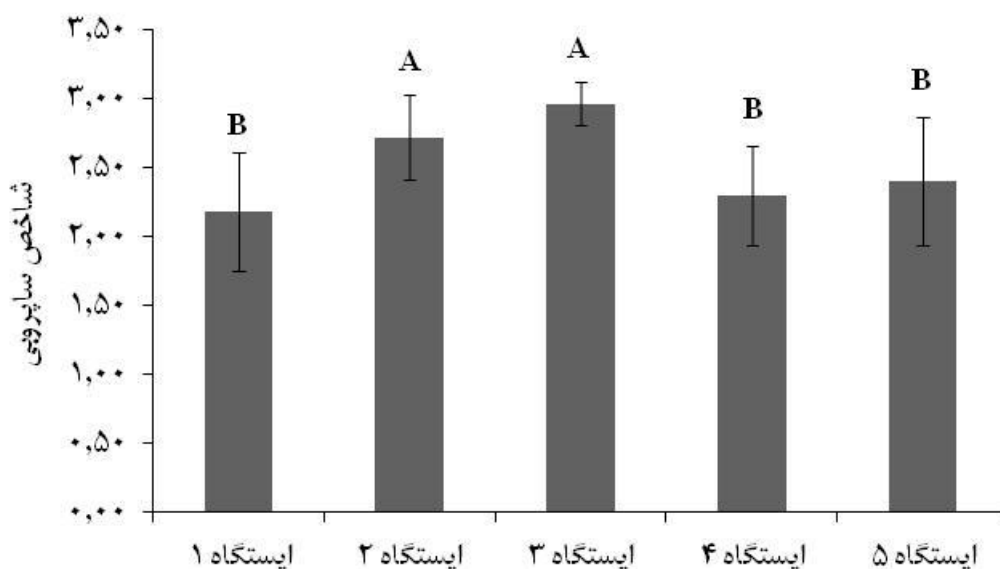
(حروف مشابه حاکی از عدم تفاوت معنادار است)

نتایج حاصل از محاسبه شاخص ساپروبی بر مبنای زئوپلانکتون‌های موجود در ایستگاه‌های مختلف طی فصول سال در محدوده ۱/۷۸ تا ۳/۱۳ قرار گرفت که بیشترین مقادیر این شاخص در ایستگاه ۳ (۲/۷۴-۳/۰۷) و مقادیر کمتر شاخص در ایستگاه ۱ (۱/۸۳-۲/۶۷) و ایستگاه ۴ (۲/۵۶-۱/۷۸) به دست آمد. محاسبه شاخص ساپروبی در ایستگاه‌های مختلف این مطالعه نشان داد که ایستگاه ۲ در اکثر فصول و ایستگاه ۳ در تمام فصول سال بر مبنای شاخص ساپروبی زئوپلانکتون‌ها در کلاس کیفی آلفا مزوساپروپ (آلودگی شدید) قرار گرفتند و سایر ایستگاه‌ها به‌ویژه در فصول بهار و تابستان، کلاس کیفی بتا مزوساپروپ (آلودگی متوسط) را نشان دادند (اشکال ۸ و ۹).



شکل ۸: تغییرات شاخص ساپروبی در ایستگاه‌های مختلف (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

(A: آلفا مزوساپروب (آلودگی شدید)، B: بتا مزوساپروب (آلودگی متوسط))



شکل ۹: میانگین شاخص ساپروبی در ایستگاه‌های مختلف (۱۳۹۹-۱۴۰۰).

(A: آلفا مزوساپروب (آلودگی شدید)، B: بتا مزوساپروب (آلودگی متوسط))

بحث و نتیجه‌گیری

در اکوسیستم‌های آبی تحلیل‌های اکولوژیک به‌طور معمول بر اساس حضور گونه‌های مختلف می‌باشد که نشان‌دهنده پاسخ آن‌ها به عوامل محیطی است (Zhang et al., 2020). زئوپلانکتون‌ها به‌عنوان تولیدکننده ثانویه در اکوسیستم‌های آبی می‌توانند به‌طور مؤثر به تغییرات محیطی پاسخ دهند (Azevedo et al., 2015; Cai et al., 2020). طبق نتایج این مطالعه در طول رودخانه سیروان، ۱۷ گونه زئوپلانکتونی شناسایی شد. بیشترین غنای گونه‌ای در روتیفرها مشاهده شد (۵۹ درصد) (شکل ۲). مقادیر شاخص تنوع شانون طی فصول مختلف در این مطالعه در محدوده ۰/۴۸-۱/۹۵ قرار داشت. اگرچه بالاترین میانگین شاخص شانون طی نمونه‌برداری در ایستگاه ۵ مشاهده شد، اما این شاخص بین ایستگاه‌ها طی سال تفاوت معناداری را نشان نداد ($p > 0.05$) و با توجه به مقادیر آن (محدوده آلودگی متوسط تا زیاد) می‌تواند حاکی از پایداری آلودگی آبی در طول این رودخانه طی سال و اثرات آن بر تنوع گونه‌ای زئوپلانکتون‌ها باشد (شکل ۷). بررسی‌های کمی زئوپلانکتون‌ها نشان داد که برخی از گونه‌های شناسایی‌شده به‌ویژه از گروه پروتوزوآ جمعیت بالایی از زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های ۲، ۳ و به دنبال آن در ایستگاه ۵ را در برداشتند. بیشترین تراکم در اغلب ایستگاه‌ها به‌غیر از ایستگاه ۱ که در بالادست رودخانه قرار دارد و شرایطی متفاوت را نشان داده است، به شاخه پروتوزوآ تعلق داشت (شکل ۴). پروتوزوآ مجموعه بزرگ و متنوعی از موجودات میکروسکوپی می‌باشند که هم به‌صورت تک‌سلولی و هم کلونی زندگی می‌کنند. مژه‌داران (Ciliophora) از این گروه (که پروتوزوئرها می‌باشند) نسبت به سایر ارگانیسم‌ها به آلودگی‌های محیطی به دلیل نرخ تولیدمثل بالا، حساسیت و تنوع نیچ‌های اشغال نموده سریع‌تر پاسخ می‌دهند (Shariati et al., 2011). مژه‌داران به‌عنوان یکی از شاخص‌های زیستی آلودگی آبی در رودخانه‌ها پیشنهاد می‌شوند. پروتوزوآهای مژه‌دار طبیعی جهان شمول دارند و مقاومت بالایی در شرایط سخت از خود نشان می‌دهند (Komala and Nurfitriana, 2021). دو گونه از پروتوزوئرها مژه‌دار که در این مطالعه در اکثر ایستگاه‌ها به‌ویژه ایستگاه‌های ۲ و ۳ جمعیت بالایی را نشان داده‌اند، گونه‌های *Epistylis* sp. و *Vorticella similis* بوده‌اند. فرم زندگی *Vorticella* و *Epistylis* به‌صورت چسبیده و نوع تغذیه هر دو باکتری‌خواری است و از لحاظ درجه ساپروبی (سیستم شاخص آلودگی‌های آبی) در اکثر محیط‌های آبی *Epistylis* sp. نشان‌دهنده شرایط آلفامزوساپروب یا آلودگی شدید و *Vorticella similis* نشان‌دهنده شرایط آلفا (آلودگی شدید) و بتامزوساپروب (آلودگی متوسط) می‌باشد (Weisse et al., 2021; Li et al., 2017). گونه *Vorticella similis* جمعیت بالایی از پروتوزوآ در ایستگاه ۳ را تشکیل داد، این ایستگاه با توجه به درجه ساپروبی بالاتر و شاخص تنوع پایین‌تر از سایر ایستگاه‌ها ظاهراً آلودگی آبی بیشتری را داشته است و به نظر می‌رسد که غالبیت واضح این گونه، واکنش به آلودگی‌های آبی است. همچنین در این مطالعه ایستگاه ۲ نیز که محل ورود فاضلاب‌های صنعتی، شهری و خانگی می‌باشد، شرایط متفاوتی را در جمعیت زئوپلانکتون‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها نشان داده است. در این ایستگاه نیز میانگین سالانه جمعیت پروتوزوآ به‌ویژه گونه *Epistylis* sp. نسبتاً بالا بوده است که بیشترین تراکم در زمستان مشاهده شده است. به‌طور کلی در این مطالعه در اکثر ایستگاه‌ها پروتوزوآ جمعیت بالای خود را در زمستان نشان داده‌اند که می‌تواند به دلیل مقاومت به‌ویژه پروتوزوئرها مژه‌دار در شرایط سخت باشد و درواقع حضور و جمعیت بالای آن‌ها نشان‌دهنده هم فشارهای محیطی و هم انسانی به منطقه موردنظر است (Guggiari and Peck, 2008; Cavan et al., 2017). گونه *Epistylis* sp. در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۴ گونه غالب پروتوزوئرها بوده و *Vorticella similis* در ایستگاه‌های ۳ و ۵ این غالبیت را در جمعیت پروتوزوآ داشته است؛ اما یکی از گروه‌های مهم زئوپلانکتونی در اکثر ایستگاه‌ها که بیشترین غنای گونه‌ای را نیز داشته است، روتیفرها به‌طور مشخص بی‌مهرگان هوازی می‌باشند و شرایط لیمنوساپروبی (آلودگی آبی کمتر) و نه شرایط یوساپروبی نظیر فاضلاب‌های شهری یا صنعتی را نشان می‌دهند (Kim; Wan et al., 2021; et al., 2014). لذا ایستگاه ۱ که تقریباً به‌عنوان ایستگاه شاهد در نظر گرفته شده است تنها ایستگاهی است که میانگین جمعیت روتیفرها در آن بر گروه‌های دیگر غلبه داشته است؛ اما نکته‌ی قابل‌توجه در گروه روتیفرها در این مطالعه حضور *Bdelloidea* (شاخص وضعیت بتامزوساپروب) در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری بوده است. این نمونه در هر ۵ ایستگاه به‌عنوان نمونه غالب روتیفر مشاهده شده است و در اغلب فصول سال به‌غیر از

پاییز به صورت سیستم در نمونه‌ها مشاهده شد. در فصل پاییز Bdelloidae هم به صورت سیستم و هم کرمی شکل حضور داشت. بدلوئیدها به عنوان ارگانیسم‌های مقاوم در برابر عوامل نامطلوب شناخته می‌شوند. آن‌ها به دلیل حساسیت خاص خود می‌توانند به عنوان یک شاخص اکولوژیک جهت ارزیابی زیست‌محیطی کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرند (Komijov et al., 2016; Garcia et al., 2017). عملکرد دفاعی بدلوئیدها در محیط‌های ناپایدار و سخت تعلیق حرکتی است و موجودات زنده در پاسخ به شرایط سخت وارد آن می‌شوند. بدلوئیدها در این حالت از لحاظ مرفولوژیکی سطوحشان را کاهش می‌دهند و نرخ تبخیر را کنترل می‌کنند (Marotta et al., 2010). همچنین بدلوئیدها می‌توانند در مراحل مختلف رشد اعم از جنین، جوونایل و بلوغ وارد این مرحله شوند (Radzikowski, 2013). نقش سخت‌پوستان در این مطالعه، با توجه شرایط پایدار آلاینده‌های آلی در مسیر این رودخانه، به‌ویژه در مورد کلاوسرا قابل توجه است، چراکه راسته کلاوسرا جمعیت قابل توجهی را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این مطالعه نشان نداده است، این گروه در ایستگاه ۳ که شاخص ساپروبی بالا و کمترین شاخص تنوع را داشته، در طول سال مشاهده نشد و در برخی از ایستگاه‌ها تنها یک‌بار در سال دیده شد. زیررده کوپه‌پودا نیز در این مطالعه جمعیت بالایی را در ایستگاه‌های ۱ تا ۴ نشان نداده است اما در ایستگاه ۵، میانگین جمعیت سالانه آن بالاتر بود (شکل ۴). ایستگاه ۵ که در نزدیکی مخزن سد قرار دارد، اگرچه بیشترین جمعیت سالانه خود را همچنان در پروتوزوئرها نشان داده، اما بیشترین شاخص تنوع را در بین ایستگاه‌ها داشته است، همچنین جمعیت بالایی را در گروه کوپه‌پودا نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشت، اما خود پالایی نامناسب و تجمع مواد آلی صنعتی، کشاورزی و انسانی ورودی به این حوضه همچنان موجب عدم حضور گونه‌های متنوع‌تر از سایر گروه‌های زئوپلانکتونی می‌گردد. ایستگاه‌های ۱ و ۴ هم از روی شرایط ظاهری و هم با توجه به جمعیت زئوپلانکتون‌های غالبشان، شرایط آلودگی کمتری را نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند (شکل ۹)، اگرچه ایستگاه ۴ در فصل بهار شرایط آلودگی شدید را نشان داده است که می‌تواند به دلیل نزدیکی این ایستگاه به باغات و زمین‌های کشاورزی باشد (شکل ۸). اغلب گونه‌های شناسایی شده در طول این رودخانه، دارای عدد ساپروبی (۲/۵-۱/۵۱) و بتا مزوساپروب (آلودگی متوسط) بودند. گونه‌های غالبی چون *Vorticella similis* و *Epistylis* sp. از پروتوزوآ، *Bdelloid rotifer* و *Lecane luna* از روتیفر و *Cyclops* sp. از copepoda که درصد بالایی از جمعیت را در ایستگاه‌های مختلف طی مدت نمونه‌برداری تشکیل دادند، نیز از نظر عدد ساپروبی در محدوده ۳-۱/۵ (بتا - آلفا مزوساپروب) قرار گرفتند. در مطالعه کمالی‌سنزیقی و موسوی‌ندوشن (۱۳۹۴) نیز ۲۷ گونه از گروه‌های زئوپلانکتونی مشابه حاضر شناسایی شد که با در نظر گرفتن درصد فراوانی گونه‌های غالب (به‌ویژه *Eucyclops*, *Cyclops*, *Brachionus* و *Daphnia*)، شاخص ساپروبی در ایستگاه‌های مختلف بین ۱/۳۸ تا ۱/۸۷ (الیگو-بتا مزوساپروب) محاسبه شد. در مطالعه حاضر ایستگاه ۲ که در پایین‌دست تصفیه‌خانه سنج قرار داشته ۶ کیلومتر با ایستگاه ۳ فاصله داشت که ظاهراً تأثیرات قابل توجهی را بر درجه ساپروبی این ایستگاه گذاشته است، چراکه این دو ایستگاه بالاترین مقادیر شاخص ساپروبی را نسبت به سایر ایستگاه‌ها در طول سال نشان داده‌اند (آلفا مزوساپروب: آلودگی شدید)، ایستگاه ۳ در همه فصول سال در وضعیت آلفا مزوساپروب قرار داشت (شکل ۸) و این وضعیت در اغلب فصول سال در ایستگاه ۲ نیز حاکم بود و همچنین کمترین میانگین شاخص تنوع زئوپلانکتون‌ها (شاخص شانون) نیز طی مدت نمونه‌برداری در ایستگاه ۳ مشاهده شده است (شکل ۷). ایستگاه‌های ۲ و ۳، در فصول زمستان و بهار مقادیر بالایی را در شاخص ساپروبی نشان داده‌اند که در ایستگاه ۲ هم‌زمان (بهار) با پایین‌ترین مقدار شاخص تنوع شانون نیز بوده است، این در حالی است که شاخص ساپروبی در فصل بهار در ایستگاه ۱ (بالادست رودخانه قشلاق) مقدار کمتری (۱/۸۳) در مقایسه با ایستگاه‌های ۲ و ۳ داشته است که این امر حاکی از تأثیر خروجی تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سنج و سایر آلاینده‌های آلی نظیر پساب کشتارگاه و زباله‌ها است.

مطالعه زئوپلانکتون در رودخانه سیروان کردستان (سرشاخه‌های گاو رود و قشلاق رود) بیانگر افزایش تراکم گونه‌های مقاوم و کاهش تنوع گونه‌ای و تراکم حضور گونه‌های حساس بوده است. محاسبه شاخص ساپروبی زئوپلانکتون به عنوان شاخص کیفیت آب و آلودگی مواد آلی، شرایط آلودگی متمایز و بیشتری را برای ایستگاه‌های ۲ و ۳ (آلفا مزوساپروب) نشان داد که به سمت مخزن سد، مقادیر شاخص آلودگی، تحت تأثیر ورودی شاخه گاو رود و طبعاً خود پالایی آب، کمتر شد. همچنین میانگین شاخص شانون نیز در طول سال نمایانگر وضعیت آلودگی متوسط در

ایستگاه‌های ۲ و ۳ بوده است و به‌ویژه در فصل بهار هر دو ایستگاه بر مبنای مقادیر شاخص شانون آلودگی زیاد را نشان داده‌اند. ورود پساب‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی، تأثیرات نامطلوبی را بر تنوع زئوپلانکتون‌ها در این رودخانه گذاشته است. بررسی حضور این پلانکتون‌های جانوری با در نظر گرفتن عدد ساپروبی آن‌ها و در مجموع وضعیت کلی ساپروبی در ایستگاه‌های تعیین‌شده در طول این رودخانه حاکی از ثبات آلودگی آلی در طول مسیر این رودخانه حتی در قسمت بالادست (ایستگاه ۱) است، لذا بایستی با توجه به سایر عوامل زیستی و غیر زیستی در این رودخانه، شرایط مناسب برای کاهش ورود پساب‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی و ایجاد شرایط مناسب‌تر برای خود پالایی بیشتر آب رودخانه سیروان و نمونه‌برداری مجدد جهت تعیین میزان بهره‌برداری و امکان آبیگری سد ژاوه فراهم شود.

سپاسگزاری

بر خود لازم می‌دانیم تا از پژوهشکده اکولوژی دریای خزر ساری که شرایط برای انجام این مطالعه را فراهم نمود، به‌ویژه همکاران محترم بخش بوم‌شناسی و آزمایشگاه پلانکتون سپاسگزاری نماییم.

References

۱. کمالی سنزیقی، م. و موسوی ندوشن، ر.، ۱۳۹۴. ارزیابی جوامع زئوپلانکتونی و شاخص ساپروبی استخرهای پرورش کپور ماهیان (مطالعه موردی: شرق استان گلستان - شهر گنبد کاووس). مجله علمی شیلات ایران، ۱: صفحات ۱۶۱-۱۵۱.
2. Azevedo, D. J. S., Barbosa, J. E. L., Gomes, W. I. A., Porto, D. E., Marques, J. C. and Moiozzi, J., 2015. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses. *Ecological Indicators*, pp.135-149.
3. Boltovskoy, D., 2000. South Atlantic zooplankton. Netherlands: Backhuys publisher.
4. Cadjo, S., Miletic, A. and Djurkovic, A., 2007. Zooplankton of the Potpec reservoir and the saprobiological analysis of water quality. *Desalination*, 213: 24-28.
5. Cai, W., Xia, J., Yang, M., Wang, W., Dou, C., Zeng, Z., Dong, S. and Sheng, L., 2020. Cross-basin analysis of freshwater ecosystem health based on a zooplankton based index of biotic integrity: models and application, *Ecological Indicators*, 114: 1-12.
6. Cavan, E. L., Henson, S. A., Belcher, A. and Sanders, R., 2017. Role of zooplankton in determining the efficiency of the biological carbon pump. *Biogeosciences*, 14(1): 177-186.
7. Ekpo, I., 2013. Effect of phisico-chemical parameters on zooplankton species and density of a tropical rainforest river in Niger Delta, using canonical cluster analysis. *The International Journal of Engineering and Science*, 2(4): 13-21.
8. Garcia, P. E., Garcia, R. D., Marinone, M. C., Casa, V., Gonzalez, G. and Mataloni, G., 2017. Aquatic micro invertebrate abundance and species diversity in peatbogs of Tierra del Fuego (Argentina). *Limnology*, 18: 85-96.
9. Guggiari, M. and Peck, R., 2008. The Bacteriophorus ciliate cyclidium glaucoma Isolated from a sewage treatment plant: Molecular and Cytological Description for Bracoding. *European Journal of Protistology*, 44(3): 168-180.
10. Jindal, R. and Vatsal, P., 2005. Plankton as biomonitors of saprobity. *Aquacult*, 6(1): 11-16.

11. Kim, H.J., Sawadam C., Rhee, J. S., Lee, J. S., Suga, K. and Hagiwara, A., 2014. Nutritional effects on the visual system of the rotifer *B.plicatilis* sensu strict(Rotifera: Monogononta). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 460: 170-183.
12. Komala, R. and Nurfitriana, D., 2021. Organic pollution detection based on protozoa saprobity index at Bojonegara waters of Banten Bay. Material Science and Engineering, 1098: 1-6.
13. Komijov, R., Measev, G. J. and Moss, B., 2016. The structure of the littoral: effects of waterlily density and perch predation on sediment and plant-associated macroinvertebrate community. Freshwater Biology, 61: 32-50.
14. Kuticova, L. A., 1970. Rotatoria. Mosco: Leningrad. 744p. (in Russian).
15. Li, Y. D., Chen, Y., Wang, L., Yao, L., Pan, X. M. and Lee, D. J., 2017. Pollution tolerant protozoa in polluted wetland. Bioresource Technology, 240: 115-122.
16. Manolova, E. Q. 1964. Cladocera. Mosco: Leningrad. 326p. (in Russian).
17. Marotta, R., Leasi, F., Uggetti, A., Ricci, C. and Melone, G., 2010. Dry and survive: Morphological changes during anhydrobiosis in a bdelloid rotifer. Journal of Structural Biology, 171: 11-17.
18. Mason, C. F., 1982. Biology of freshwater pollution. 2nd edition, Longman, London, 250pp.
19. Pantle, R. and Buck, H., 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas Wasserfach, 96:604.
20. Parveen, S., Hesham, R. and Mola, A., 2013. Comparison of physical-chemical parameters and zooplankton diversity in two perennial ponds at Aligarh, India. Journal of Environmental Biology, 34(4): 709-716.
21. Petipa, T. S., 1957. On average weight of the main zooplankton forms in the Black Sea. Proc. Sevastopol. Biological Station, pp. 39-57.
22. Postel, L., Fock, H. and Hagen, W., 2000. Biomass and abundance. In: Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H. R. and Huntley, M. (Eds.), Zooplankton Methodology Manual. Academic Press, San Diego, pp. 83-192.
23. Radzikowski, J., 2013. Resistance of dormant stages of planktonic invertebrates to adverse environmental conditions. Journal of plankton Research, 35(4): 707-723.
24. Shannon, C. E. and Wiener, W., 1949. The mathematical theory of communication, by CE Shannon (and recent contributions to the mathematical theory of communication), W. Weaver. Champaign, IL, USA: University of illinois Press.
25. Shariati, S. R. P., Bonakdrpour, B., Zare, N. and Ashtiani, F. Z., 2011. The effect of hydraulic retention time on the performance and fouling characteristics of membrane sequencing batch reactors used for the treatment of synthetic petroleum refinery wastewater. Bioresource Technology, 102: 7692-7699.
26. Sladeczek, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. Archive Hydrobiology Beih Ergebn limnology, (3);218.
27. Wan, X., Yang, T., Zhang, Q., Wang, W. and Wang, Y., 2021. Joint effects of habitat indexes and physico-chemical factors for freshwater basin of semi-arid area on plankton integrity- A case study of the Wei River basin, China. Ecological Indicators, 120: 1-11.

28. Weisse, T., Jezberova, J. and Moser, M., 2021. Picoplankton feeding by the ciliate *Vorticella similis* in comparison to other peritrichs emphasizes their significance in the water purification process. *Ecological Indicators*, 121: 1-12.
29. Wetzel, R. G. and Likens, G. E., 1991. *Limnological analysis*. New York USA: Springer-Verlag.
30. Yermolaeva, N. and Dvurechenskaya, S., 2016. Developing the regional indicator indexes of zooplankton for water quality class determination of water bodies in Siberia. In *Novel methods for monitoring and managing land and water resources in Siberia* (pp. 157-183). Springer, Cham.
31. Zhang, Y., Ban, X., Li, E., Wang, Z. and Xiao, F., 2020. Evaluating ecological health in the middle-lower reaches of the Hanjiang river with cascade reservoirs using the planktonic index of biotic integrity (P-IB). *Ecological Indicators*, 114: 1-14.