



University of Tehran

Journal of Fisheries

Home Page: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

Online ISSN: 2423-7809

Antioxidant Changes in Body of Wild Zooplankton in Hana Dam Lake During Different Seasons

Hasti Beigzadeh¹ | Omidvar Farhadian^{2*} |
Eisa Ebrahimi Dorcheh³ | Farideh Balali⁴

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: hastibz1999@gmail.com

2. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: omfarhad@iut.ac.ir

3. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: e_ebrahimi@iut.ac.ir

4. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: fbalali@na.iut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 13 May 2026

Revised: 08 July 2026

Accepted: 12 July 2026

Published online: 23 September 2026

Keywords:

Zooplankton,
Antioxidant,
Hana Dam Lake,
Biomass.

ABSTRACT

Wetlands are among the most productive ecosystems worldwide, and zooplankton, as key components of freshwater systems, represent natural sources of antioxidant compounds. This study aimed to evaluate the antioxidant capacity of wild zooplankton from the Hana Dam Lake during different seasons. Sampling was conducted from three wetland zones at depths of 4 to 22 meters during four seasons, and antioxidant activity was measured using DPPH, FRAP, and ABTS assays. In the DPPH method, the highest antioxidant activity occurred in summer using acetone and ethanol (0.84% and 1.85%, respectively), while the lowest values were recorded in spring with acetone (8.72%) and in autumn with ethanol (8.47%). In the FRAP assay, maximum antioxidant levels were observed in spring with acetone and ethanol (7.8% and 9.7%), whereas the lowest values were obtained in summer with acetone (2.2%) and in autumn with ethanol (3.9%). Using the ABTS method, the highest antioxidant activity was observed in winter with acetone (7.97%) and in autumn with ethanol, while the lowest levels were detected in summer (3.78% and 9.93% for acetone and ethanol, respectively). Among the assays, ABTS proved to be the most sensitive technique. Statistical analysis was performed at a significance level of $p < 0.05$. Overall, the findings highlight the pivotal roles of seasonality, solvent type, assay method, and environmental conditions in determining the antioxidant capacity of zooplankton. The study underscores zooplankton as rich sources of natural antioxidant compounds with promising applications in pharmaceutical, food, cosmetic, and biotechnological industries, contributing to the development of sustainable natural products.

Cite this article: Beigzadeh, H., Farhadian, O., Ebrahimi Dorcheh, E., Balali, F. (2026). Antioxidant changes in body of wild zooplankton in Hana Dam Lake during different seasons. *Journal of Fisheries*, 79 (3), 163-174. DOI: <http://doi.org/>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/orcid.org/0000-0001-6280-4483>



دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۸۰۹

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

بررسی تغییرات آنتی اکسیدانی پیکره زئوپلانکتون ها وحشی دریاچه سد حنا در فصول مختلف

هستی بیگزاده^۱ | امیدوار فرهادیان^{۲*} | عیسی ابراهیمی درجه^۳ | فریده بلالی^۴

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: hastibz1999@gmail.com

۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: omfarhad@iut.ac.ir

۳. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: e_ebrahimi@iut.ac.ir

۴. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: fbalali@na.iut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

تالابها از اکوسیستم های پر تولید جهان محسوب می شوند و زئوپلانکتون ها به عنوان اجزای کلیدی اکوسیستم های آب شیرین، منابع بالقوه ترکیبات آنتی اکسیدانی طبیعی هستند. هدف این پژوهش، بررسی مقدار آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون های وحشی دریاچه سد حنا در فصول مختلف بود. نمونه برداری از سه منطقه تالاب با عمق ۴ تا ۲۲ متر در چهار فصل انجام گرفت و مقدار آنتی اکسیدانی با سه روش FRAP، DPPH و ABTS سنجیده شد. در روش DPPH، بیشترین مقدار آنتی اکسیدانی در تابستان با حلال استون و اتانول به ترتیب ۸۴/۰ و ۸۵/۱ درصد و کمترین مقدار در بهار با حلال استون ۷۲/۸ و اتانول پاییز ۴۷/۸ درصد مشاهده شد. در روش FRAP بیشترین مقدار در بهار با حلال استون و اتانول به ترتیب ۸/۷ و ۷/۹ درصد و کمترین مقدار با حلال استون در تابستان ۲/۲ و با حلال اتانول در پاییز ۳/۹ ثبت شد. در روش ABTS، بیشترین مقدار آنتی اکسیدانی در حلال های استون در زمستان و اتانول پاییز با ۹۷/۷ درصد و کمترین مقدار در حلال های استون و اتانول در تابستان (۷۸/۳ و ۹۳/۹ درصد) ثبت گردید و این روش حساس ترین شیوه تعیین مقدار آنتی اکسیدانی بود. تحلیل آماری داده ها در سطح معنی داری $p < 0.05$ انجام شد. این مطالعه اهمیت فصل، نوع حلال، روش سنجش و ترکیب گونه ای زئوپلانکتونی را در تعیین مقدار آنتی اکسیدان زئوپلانکتون ها نشان می دهد. با توجه به مقادیر آنتی اکسیدان ها در زئوپلانکتون ها می توان بیان کرد که آنها منابع غنی آنتی اکسیدانی با پتانسیل بالایی برای کاربرد در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بیوتکنولوژی اند و در توسعه محصولات طبیعی و پایدار می توانند کاربرد زیادی داشته باشند.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

زئوپلانکتون،

آنتی اکسیدان،

دریاچه سد حنا،

زیست توده.

استاد: بیگزاده؛ هستی، فرهادیان؛ امیدوار، ابراهیمی درجه؛ عیسی، بلالی؛ فریده (۱۴۰۵). بررسی تغییرات آنتی اکسیدانی پیکره زئوپلانکتون ها وحشی دریاچه سد حنا در فصول مختلف. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۹ (۳)، ۱۶۳-۱۷۴. DOI: <http://doi.org/0000-0001-6280-4483>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org>

© نویسندگان.



۱. مقدمه

تالاب‌ها از پربازده‌ترین اکوسیستم‌های آبی‌اند و نقشی کلیدی در پایداری تنوع زیستی و چرخه‌های تولید دارند. این زیستگاه‌ها با فراهم آوردن شرایط مناسب برای تخم‌ریزی، تغذیه و رشد در مراحل اولیه زندگی آبزیان، اهمیت محیط‌زیستی و اقتصادی چشمگیری دارند (Costanza *et al.*, 1989). در این اکوسیستم‌ها، گیاهان آبزی و فیتوپلانکتون‌ها به‌عنوان تولیدکنندگان اولیه، پایه زنجیره‌ی غذایی را تشکیل می‌دهند، در حالی که زئوپلانکتون‌ها، بی‌مهرگان و سایر مهره‌داران با مصرف آن‌ها، انرژی و مواد مغذی را به سطوح بالاتر زنجیره غذایی منتقل می‌کنند (Declerck *et al.*, 2022). زئوپلانکتون‌ها موجودات ریز و میکرو سکویی هستند که در تمامی اکوسیستم‌های آبی، اعم از شیرین و شور، به‌وفور یافت می‌شوند. این موجودات نقش مهمی در زنجیره غذایی ایفا می‌کنند و به عنوان منبع تغذیه‌ای برای بسیاری از جانوران آبزی، از جمله ماهیان و بی‌مهرگان، عمل می‌کنند. گروه‌های مختلف زئوپلانکتون‌ها، بسته به شرایط اکولوژیک و زیستی قادر به تولید پاسخ‌ها و سازگاری‌ها متنوعی‌اند که به آن‌ها کمک می‌کند تا در برابر تنش‌های محیطی مختلف نظیر تغییرات دما، شوری و دیگر تنش‌های زیستی مقابله کنند (Roth *et al.*, 2022). یکی از ویژگی‌های جالب توجه در زئوپلانکتون‌ها، تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی است و آن‌ها را در مقابله با استرس‌های اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند. استرس اکسیداتیو ناشی از تولید مولکول‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد است و می‌تواند به ساختارهای زیستی آسیب رسانده و موجب تخریب پروتئین‌ها، چربی‌ها و DNA شود. زئوپلانکتون‌ها با تولید سیستم‌های آنتی اکسیدانی متنوع، قادرند از سلول‌ها و بافت‌های خود در برابر آسیب‌های ناشی از این تنش‌ها محافظت کنند (Dongare *et al.*, 2025). این ترکیبات می‌توانند به‌طور مستقیم رادیکال‌های آزاد را خنثی کرده و به این ترتیب از آسیب به سلول‌ها جلوگیری کنند. در این راستا، اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص توانایی این موجودات در مقابله با استرس‌های محیطی و زیستی فراهم کند. برای انجام این سنجش‌ها، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که هر کدام قادر به اندازه‌گیری نوع خاصی از فعالیت آنتی اکسیدانی هستند. از جمله مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)، FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Plasma) و ABTS (3-azino-2,3,6,8-tetramethyl-5-phenylsulfonamyl) اشاره کرد.

این روش‌ها به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف برای ارزیابی ظرفیت آنتی اکسیدانی مواد و موجودات زیستی استفاده می‌شوند (Benzie and Strain, 1996; Re *et al.*, 1999). زئوپلانکتون‌ها در شرایط مختلف محیطی به‌ویژه در فصول مختلف سال، ممکن است تغییرات قابل توجهی در میزان تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی نشان دهند. تغییرات فصلی، از جمله نوسانات دما و دسترسی به منابع غذایی، بر سطح استرس اکسیداتیو و پاسخ‌های دفاعی این موجودات اثر می‌گذارد. در فصول گرم‌تر مانند تابستان، به دلیل افزایش فعالیت متابولیکی و تولید رادیکال‌های آزاد، معمولاً فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، در فصول سردتر مانند زمستان و پاییز، کاهش دما و کاهش منابع غذایی می‌تواند متابولیسم را کاهش دهد، اما در برخی شرایط استرس‌زا، مانند سرمای شدید یا محدودیت غذایی، زئوپلانکتون‌ها ممکن است به صورت جبرانی سطح آنتی اکسیدان‌ها را افزایش دهند تا از آسیب اکسیداتیو جلوگیری کنند (Galipa *et al.*, 2018).

یکی از عوامل مؤثر در میزان و نوع ترکیبات آنتی اکسیدانی استخراج شده از زئوپلانکتون‌ها، انتخاب حلال مناسب است. حلال‌های مختلف از جمله استون و اتانول، به دلیل تفاوت در قطبیت و ویژگی‌های شیمیایی، توانایی استخراج ترکیبات متفاوتی را دارند و در نتیجه می‌توانند موجب تفاوت در نتایج اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی شوند. به طور معمول، استون به دلیل قطبیت متوسط و قدرت نفوذ بیشتر، در استخراج ترکیبات آنتی اکسیدانی موثرتر عمل کرده و مقادیر بیشتری از فعالیت آنتی اکسیدانی را نشان می‌دهد در حالی که اتانول ممکن است ترکیبات متفاوتی را استخراج کند که می‌تواند بر نتایج نهایی تأثیرگذار باشد (Chen *et al.*, 2021).

علاوه بر تأثیر فصول و نوع حلال، تراکم و زیست توده زئوپلانکتون‌ها نیز در میزان تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی آن‌ها نقش دارند. در فصولی مانند بهار که شرایط زیستی و منابع غذایی بیشتر هستند، زیست توده زئوپلانکتون‌ها افزایش می‌یابد و به تبع آن تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی نیز بیشتر می‌شود. در مقابل، در فصولی مانند پاییز و زمستان که منابع غذایی محدودتر هستند و شرایط زیستی

سخت‌تر می‌شود، تولید این ترکیبات ممکن است کاهش یابد. با این حال، در برخی شرایط خاص مانند تغییرات ناگهانی دما، این موجودات می‌توانند در پاسخ به استرس‌های محیطی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی خود را افزایش دهد (Lampert, 1987; Liu et al., 2015). مطالعه‌ی تأثیر شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی محیطی مانند دما، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های دفاعی این موجودات کمک کند. همچنین، بررسی نوع حلال‌های مختلف در استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و تأثیر آن از دیگر جنبه‌های مهم این مطالعه به شمار می‌آید. نتایج این مطالعه می‌تواند به تعیین اثر برخی عوامل موثر بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها کمک کند. در این پژوهش، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی زئوپلانکتون‌های وحشی آب شیرین در دریاچه سد حنا در استان اصفهان ارزیابی شد. هدف اصلی، تعیین و تحلیل تغییرات پتانسیل زیستی این جانداران به عنوان منابع طبیعی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است. این مطالعه با تعیین مقدار آنتی‌اکسیدان‌ها در زئوپلانکتون‌ها، می‌تواند زمینه‌ای برای کاربردهای زیست‌فناورانه، حفظ سلامت اکوسیستم و مدیریت پایدار منابع آب فراهم آورد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. معرفی منطقه نمونه برداری

نمونه‌برداری زئوپلانکتون‌ها از دریاچه سد حنا با استفاده از تور پلانکتونی ۱۰۰ میکرون از ناحیه وسط دریاچه انجام شد. این دریاچه که به سد تالاب حنا هم معروف است در ۳۰ کیلومتری شهرستان سمیرم و ۱۹۰ کیلومتری جنوب شرق اصفهان، با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). این تالاب با گستره‌ای حدود ۷۰۰ هکتار و ارتفاعی نزدیک به ۲۳۰۰ متر از سطح دریا، در ناحیه‌ای با اقلیم سرد و کوهستانی واقع شده است. میانگین عمق این تالاب حدود ۱۰ متر و متوسط بارندگی سالانه ۳۸۰ میلی‌متر گزارش شده است. میانگین کم‌ترین دما در بهمن ماه ۱/۱ درجه و میانگین بیشترین دما در مرداد ماه ۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. شرایط اقلیمی حاکم موجب می‌شود که سطح آن در نیمی از فصل زمستان پوشیده از یخ باشد. پوشش گیاهی آن در نواحی کم عمق عمدتاً شامل گونه‌های بن در آب از جنس‌های *Ceratophyllum*, *Typha*, *Juncus*, *Phragmites* است. گیاهان غوطه‌ور نیز از جنس‌های *Potamogeton* و *Myriophyllum* بوده و معمولاً از اردیبهشت تا مهر در تالاب مشاهده می‌شوند. سد دریاچه حنا از نظر اکولوژیک برای پرندگان مهاجر، حیات وحش منطقه و جوامع آبی، به ویژه ماهیان، اهمیت قابل توجهی دارد. با توجه به میانگین عمق، میزان ورودی آب و ویژگی‌های فیزیکی تالاب، در اواسط هر فصل نمونه‌برداری به مدت یکسال انجام گردید. نمونه‌های زئوپلانکتونی در محل نمونه‌برداری متراکم شده و پس از مراجعه به آزمایشگاه بلافاصله به مدت ۲۴ ساعت مورد انجماد در دمای ۲۰- درجه قرار گرفت و سپس با استفاده از روش خشک کردن انجمادی، خشک و در دسیکاتور نگهداری شد. شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب طی چهار فصل و با بهره‌گیری از تجهیزات قابل حمل در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه، نقشه سد دریاچه تالاب حنا

۲-۲. ارزیابی ظرفیت آنتی اکسیدانی

از روش ماسراسیون با نسبت نمونه به حلال ۱:۲۵ برای تهیه عصاره‌های اتانولی و استونی نمونه‌های ژئوپلانکتونی استفاده شد. بدین منظور، نمونه‌های توزین شده در حضور اتانول و استون ۸۰ در صد در هاون همگن سازی شد و سپس به فالكون‌ها منتقل شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر و در دمای محیط قرار داده شدند تا فرآیند استخراج کامل شود. پس از پایان دوره استخراج، نمونه‌ها با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ (مدل Hettich ROTINA 380) گردید. سپس فاز رویی با کاغذ صافی واتمن فیلتر و به فالكون دیگری منتقل شدند و تا زمان انجام اندازه گیری‌ها در یخچال نگهداری شدند.

۲-۳. اندازه گیری آنتی اکسیدان با روش DPPH

این روش بر مبنای خنثی سازی رادیکال آزاد DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) توسط آنتی اکسیدان‌ها است. فرآیندی که در غیاب هر گونه رادیکال آزاد دیگر صورت می‌گیرد. در نتیجه این واکنش، تغییر رنگی در محیط ایجاد می‌شود که شدت آن با استفاده از دستگاه طیف سنج قابل اندازه گیری است. در این روش در صد مهار رادیکال آزاد از طریق سنجش میزان تغییر رنگ DPPH از بنفش به زرد در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانش و سپس درصد بازدارندگی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Olasehinde et al., 2019).

$$\text{Scavenging Activity (\%)} = ((\text{AC}-\text{AS})/\text{AC}) \times 100$$

در این رابطه، Scavenging Activity در صد بازدارندگی است و AC جذب نمونه شاهد و AS: میزان جذب نوری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۴. اندازه گیری آنتی اکسیدان با روش FRAP

سنجش FRAP یکی از روش‌های اساسی برای غربالگری فعالیت آنتی اکسیدان است. روش FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) با TPTZ (2, 4, 6-tripyridyl-s- triazine) انجام شد. این روش بر اساس احیای آهن فریک به فرو ($\text{Fe}^{3+} - \text{TPTZ}$ به $\text{Fe}^{2+} - \text{TPTZ}$) در حضور آنتی اکسیدان است. به عبارت دیگر؛ توانایی عصاره‌ها در احیای یون‌های فریک در حضور آنتی اکسیدان‌ها اندازه گیری می‌شود. قابل ذکر است که احیای یون فریک و تبدیل آن به یون فرو در pH اسیدی و در حضور TPTZ که رنگ آن بنفش است؛ تشکیل می‌شود. پس از آن سنجش نوری در طول موج ۵۹۳ نانومتر اندازه گیری می‌شود. محلول FRAP حاوی بافر استات ۳/۱ مولار (۳/۱ گرم استات سدیم و ۱۶ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال در یک لیتر آب مقطر) با ۳/۶ pH=۱۰ TPTZ ۱۰ میلی مولار (۰/۳ گرم TPTZ) در HCl ۴۰ میلی مولار و محلول کلرید آهن (III) ۲۰ میلی مولار (۰/۵ گرم کلرید آهن در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر) به نسبت های ۱۰:۱:۱ است. برای تهیه محلول استاندارد نیز از سولفات آهن ($\text{FeSO}_4/7\text{H}_2\text{O}$) استفاده شد. در این روش ۴۰۰ میکرولیتر از عصاره‌ها درون فالكون ریخته شد و به آن ۲/۵ میلی لیتر از استوک FRAP اضافه و به مدت ۵ دقیقه در دستگاه بنماری قرار داده شد. در ادامه جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل JENW AY 6300) در طول موج ۵۹۳ نانومتر قرائت گردید (Benzie and Strain, 1996).

۲-۵. اندازه گیری آنتی اکسیدان با روش ABTS

فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره‌ها با روش حذف رادیکال کاتیونی ABTS ($2,2\text{-azinobis}(3\text{-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate})$) تعیین شد. محلول استوک با مخلوط کردن ۷ میلی مولار و پتاسیم پر سولفات ۲/۴ میلی مولار تولید شد تا یک محلول سبز رنگ بدست آمد. سپس معرف ABTS به مدت ۱۶ ساعت در تاریکی قرار داده شد تا واکنش کامل جذب و پایدار شود. در مرحله بعد محلول ABTS به کمک PBS رقیق شد تا در نهایت میزان جذب در طول موج ۷۳۴ نانومتر به ۰/۷ برسد. سپس، ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره‌های اتانولی و استونی با ۲ میلی لیتر معرف ABTS مخلوط شد و به مدت ۶ دقیقه در تاریکی در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد انکوبه شدند. در ادامه جذب نمونه‌ها به کمک دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل JENW AY 6300) در طول موج ۷۳۴

نانومتر قرائت شد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Re et al., 1999).

$$\text{Scavenging Activity (\%)} = ((AC-AS)/AC) \times 100$$

در این رابطه، Scavenging Activity درصد بازدارندگی است و AC جذب نمونه شاهد و AS: میزان جذب نوری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۶. تجزیه و تحلیل آماری

اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان نمونه‌های زئوپلانکتونی با سه تکرار، با روش‌های DDPH، FRAP و ABTS که با استفاده از دو نوع حلال استون و اتانول انجام شد. تحلیل داده‌ها از طریق تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین با آزمون دانکن Duncan's در سطح خطای ۵ درصد بررسی گردید. کارهای آماری در نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۷ انجام شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب

مطابق داده‌های بدست آمده، میانگین فصلی دمای آب و اکسیژن محلول به ترتیب در بهار $14/79^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد و $8/01^{\circ}\text{C}$ میلی گرم بر لیتر، در تابستان $20/65^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد و $7/46^{\circ}\text{C}$ میلی گرم بر لیتر، در پاییز $11/33^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد و $7/94^{\circ}\text{C}$ میلی گرم بر لیتر و در زمستان $5/34^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد و $9/73^{\circ}\text{C}$ میلی گرم بر لیتر بود. همچنین میانگین فصلی pH و عمق رویت صفحه سکشی به ترتیب در بهار $8/07$ و $98/2$ سانتی متر، در تابستان $8/24$ و $109/9$ سانتی متر، در پاییز $8/14$ و $118/9$ سانتی متر و در زمستان $8/22$ و $96/9$ بود. میانگین فصلی نیترات و فسفات محلول نیز به ترتیب در بهار $1/18$ و $0/05$ میلی گرم بر لیتر، در تابستان $2/26$ و $1/20$ میلی گرم بر لیتر، در پاییز $1/89$ و $0/67$ میلی گرم بر لیتر و در زمستان $5/27$ و $0/03$ میلی گرم بر لیتر بود (جدول ۱).

جدول ۱- برخی شاخص‌های کیفی آب در فصول مختلف در تالاب حنا. (میانگین $\pm$ خطای استاندارد).

شاخص	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
دمای آب ($^{\circ}\text{C}$)	$14/79 \pm 0/39b$	$20/65 \pm 0/47a$	$11/33 \pm 0/46c$	$8/24 \pm 0/24d$
اکسیژن محلول (mg/L)	$7/94 \pm 0/29b$	$7/46 \pm 0/22b$	$7/94 \pm 0/08b$	$9/73 \pm 0/06a$
pH	$8/07 \pm 0/02c$	$8/24 \pm 0/03a$	$8/14 \pm 0/02b$	$8/22 \pm 0/01a$

میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح 0.05 از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۲. ساختار فصلی جامعه زئوپلانکتون‌ها

در چارچوب نمونه‌برداری‌های انجام شده از تالاب حنا، ده جنس زئوپلانکتونی شناسایی شد که شامل دو گروه اصلی کلاوسرها و کوپه‌پودها بود. مراحل نابالغ کوپه‌پودها شامل ناپلی و کوپه‌پودید نیز مشاهده گردید. در میان کلاوسرها، بیشترین حضور فصلی به ترتیب در بهار برای *Daphnia longispina*، در پاییز برای *Daphnia dubia* و *Ceriodaphnia* sp.، در زمستان برای *Daphnia pulex* و در تابستان برای *Monia* sp. ثبت شد در حالی که *Bosmina* sp. در پاییز فراوانی بالایی نشان داد. در گروه کوپه‌پودها، مراحل رشدی مختلف الگوی متفاوتی داشتند، به طوری که *Metanauplii* در زمستان، *Copepodid* در پاییز و افراد بالغ (Copepod) در تابستان بیشترین فراوانی را نشان دادند.

بیشترین زیست توده زئوپلانکتونی با مقدار $26/02$ میلی گرم وزن خشک بر متر مکعب در فصل بهار ثبت شد. حداکثر تراکم زئوپلانکتون‌ها نیز در پاییز، برابر $149/63$ فرد در لیتر بود (جدول ۲). در میان گروه‌های زئوپلانکتونی، بیشترین تراکم کوپه‌پودها

با ۹۸/۴۶ فرد در لیتر در فصل پاییز و بالاترین تراکم کلادوسرها با ۷۷/۱۹ فرد در لیتر در فصل بهار مشاهده شد.

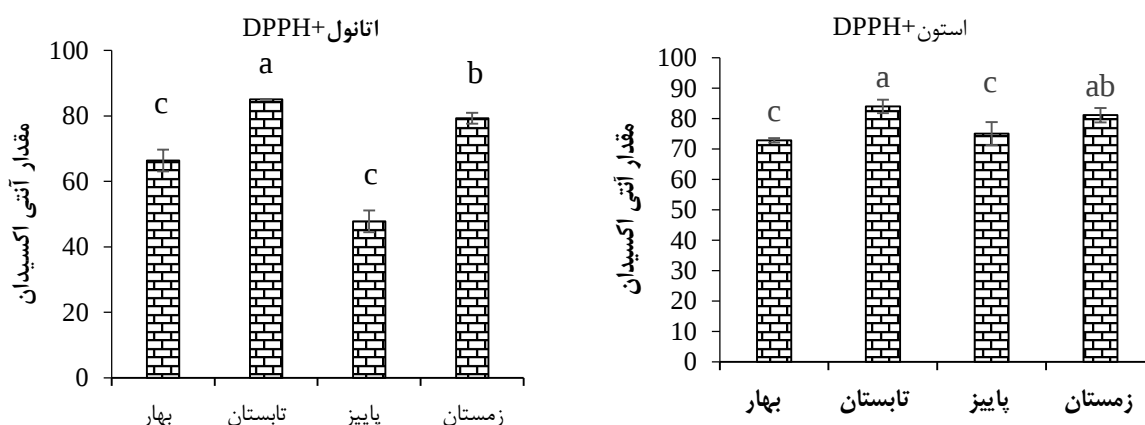
جدول ۲- زیست توده و تراکم زئوپلانکتون‌ها، کپه پودها و کلادوسرها در فصول مختلف در دریاچه سد تالاب حنا (میانگین $\pm$ خطای استاندارد).

پارامتر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
زیست توده زئوپلانکتون‌ها (میلی گرم وزن خشک در مترمکعب)	۲۶/۰۲ $\pm$ ۱/۹۳ a	۸/۶۳ $\pm$ ۰/۷۷ b	۲۰/۸۹ $\pm$ ۵/۴۰ a	۶/۲۳ $\pm$ ۲/۷۶ b
تراکم زئوپلانکتون‌ها (فرد در لیتر)	۹۹/۹۶ $\pm$ ۲/۴۹ b	۵۴/۰۹ $\pm$ ۱/۴۴ c	۱۴۹/۶۳ $\pm$ ۲۲/۷۵ a	۲۳/۹۲ $\pm$ ۹/۷۳ c
تراکم کپه پودها (فرد در لیتر)	۲۲/۹۱ $\pm$ ۹/۷۷ bc	۳۰/۲۶ $\pm$ ۱/۲۵ b	۹۸/۴۶ $\pm$ ۶/۷۹ a	۵/۴۴ $\pm$ ۳/۳۳ c
تراکم کلادوسرها (فرد در لیتر)	۷۷/۱۹ $\pm$ ۷/۲۹ a	۲۲/۴۹ $\pm$ ۲/۱۹ b	۵۰/۹۳ $\pm$ ۱۵/۷۴ ab	۱۸/۴۹ $\pm$ ۸/۴۰ b

میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۴. خاصیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها

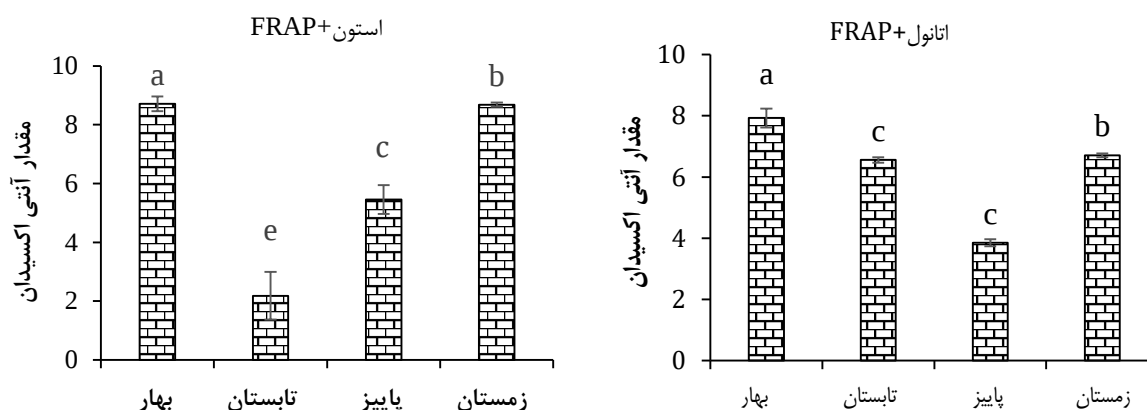
نتایج سنجش DPPH ارایه شده در شکل ۲ نشان داد که عملکرد آنتی اکسیدانی در زئوپلانکتون‌های چهار فصل در استخراج با حلال استونی، بیشترین و کمترین مقدار آنتی اکسیدانی به ترتیب مربوط به فصول تابستان (حدود ۸۰ درصد) و بهار (حدود ۷۰ درصد) است. همچنین در استخراج با حلال اتانولی، بیشترین و کمترین مقدار آنتی اکسیدانی به ترتیب مربوط به فصول تابستان (۶۰ درصد) و پاییز (۴۵ درصد) بود.



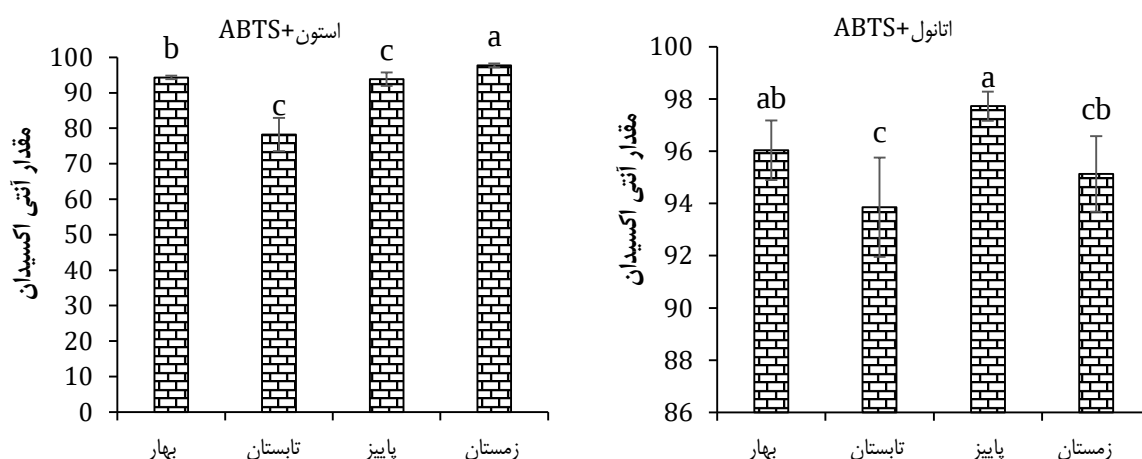
شکل ۲- نمودارهای ستونی میانگین ($\pm$ خطای استاندارد) مقدار آنتی اکسیدانی DPPH زئوپلانکتون‌های وحشی آب شیرین (سد حنا) در فصول مختلف با استفاده از حلال استون و حلال اتانول. میانگین‌هایی با حروف متفاوت، تفاوت آماری معنی‌داری با آزمون دانکن دارند ($P < 0.05$).

نتایج سنجش FRAP و بررسی عملکرد آنتی اکسیدان (شکل ۳) در استخراج با حلال استون، بیشترین و کمترین مقدار آنتی اکسیدان را به ترتیب در فصول بهار (حدود ۹ واحد میکرومول بر گرم) و تابستان (حدود ۲ میکرومول بر گرم) نشان داد. همچنین در استخراج با حلال اتانولی، بیشترین و کمترین مقدار آنتی اکسیدان به ترتیب در فصول بهار (حدود ۸ میکرومول بر گرم) و پاییز (حدود ۴ واحد میکرومول بر گرم) مشاهده شد.

نتایج سنجش ABTS و ارزیابی عملکرد آنتی اکسیدان (شکل ۴) در استخراج با حلال استونی بیشترین و کمترین مقدار آنتی اکسیدان به ترتیب در فصول زمستان (حدود ۹۰ درصد) و تابستان (حدود ۷۵ درصد) ثبت شد. همچنین در استخراج با حلال اتانولی، بیشترین و کمترین مقدار آنتی اکسیدان به ترتیب مربوط به فصول پاییز (حدود ۹۰ درصد) و تابستان (حدود ۹۰ درصد) بود. تحلیل مقایسه‌ای میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن بیانگر تفاوت‌های آماری معنی‌داری بین فصول و نوع حلال بود ($P < 0.05$).



شکل ۳- نمودارهای میانگین ($\pm$ خطای استاندارد) مقدار آنتی اکسیدانی FRAP زئوپلانکتون‌های وحشی آب شیرین (سد حنا) در فصول مختلف با استفاده از حلال استون و حلال اتانول میانگین‌هایی با حداقل یک حرف متفاوت از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن دارند ($P < 0.05$).



شکل ۴- نمودارهای میانگین ($\pm$ خطای استاندارد) مقدار آنتی اکسیدانی ABTS زئوپلانکتون‌های وحشی آب شیرین (سد حنا) در فصول مختلف با استفاده از حلال استون و حلال اتانول میانگین‌هایی با حروف متفاوت، تفاوت آماری معنی‌داری با آزمون دانکن دارند ($P < 0.05$).

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

زئوپلانکتون‌ها نقش کلیدی در ساختار اکوسیستم‌های آبی و جریان انرژی دارند و به‌عنوان دومین حلقه زنجیره غذایی، با مصرف فیتوپلانکتون‌ها انرژی تثبیت شده را به سطوح بالاتر منتقل می‌کنند. این گروه همچنین در چرخه تولیدمثل و بقای لاروهای آبریان تأثیر مهمی بر ذخایر ماهیان دارد (Ross and Epperly, 1985; Lampert and Sommer, 2007). نتایج فیزیکی-شیمیایی سد دریاچه یا تالاب حنا نشان داد که دما، اکسیژن محلول و pH می‌توانند به طور مستقیم بر پراکنش، فراوانی و ترکیب زیستی و زئوپلانکتون‌ها تأثیرگذار باشند. کاهش اکسیژن در تابستان و تغییرات مواد مغذی در فصول مختلف، شرایط غذایی و رشد زئوپلانکتون‌ها را دستخوش تغییر می‌کند و از این طریق بر زنجیره غذایی و بازده تولیدمثل آبریان اثر گذار است (Carpenter *et al.*, 1998). شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب از جمله دما، اکسیژن محلول و pH از عوامل اصلی کنترل‌کننده

نوسانات فصلی زئوپلانکتون‌ها هستند (Hao et al., 2025; Yin et al., 2025; Wang et al., 2025). همچنین تفاوت در فراوانی کلادوسرها و کوپه‌پودها طی فصول مختلف با ویژگی‌های زیستی و شرایط محیطی مرتبط است. مطالعات انجام شده در دریاچه‌های کم عمق نیز نشان داده‌اند که تغییرات فصلی کیفیت آب می‌تواند به طور معنی‌داری ساختار جامعه زئوپلانکتونی را تحت تاثیر قرار دهد (Qiu et al., 2022; Zhang et al., 2022). به طور کلی عوامل فیزیکو-شیمیایی فصلی مهم‌ترین محرک‌های تغییرات جمعی زئوپلانکتون‌ها در اکوسیستم‌های تالابی هستند.

خواص آنتی اکسیدانی در روش‌های DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) و ABTS (3-ethylbenzothiazoline-6-) خواص آنتی اکسیدانی (2/2- azinobis(sulfonate) به ترتیب به عنوان رادیکال نیتروژنی یا کاتیون پذیرنده هیدروژن یا کاتیون از ترکیبات آنتی اکسیدانی اند. سنجش DPPH و ABTS جهت ارزیابی میزان عملکرد آنتی اکسیدانی استفاده می‌شود و ظرفیت یک محصول را در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد DPPH و ABTS نشان می‌دهد (Monteiro et al., 2019). روش FRAP شاخص مهمی از ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه بر اساس توان احیاکنندگی و انتقال الکترون است. افزایش مقدار FRAP نشان دهنده قدرت بیشتر ترکیبات آنتی اکسیدانی در کاهش یون‌های Fe^{3+} به Fe^{2+} و در نتیجه مهار واکنش‌های اکسیداتیو است. این رفتار معمولاً به حضور ترکیبات فنولی و متابولیت‌های کاهنده نسبت داده می‌شود. همان‌گونه که Prior و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کرده‌اند، روش FRAP به عنوان روشی قابل اعتماد برای سنجش توان الکترون‌دهی آنتی اکسیدان‌ها در نمونه‌های غذایی و زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند بخش مهمی از ظرفیت آنتی اکسیدانی کل محصول را نشان دهد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره‌های زیست توده زئوپلانکتون‌ها با استفاده از سنجش DPPH، FRAP و ABTS در طی چهار فصل تفاوت معنی‌داری دارند. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی در روش DPPH مربوط به فصل تابستان و در روش FRAP مربوط به فصل بهار و در روش ABTS مربوط به فصل زمستان و پاییز است. بررسی عملکرد آنتی اکسیدانی عصاره زئوپلانکتونی با استفاده از سنجش ABTS قابل توجه بود و نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد آنتی اکسیدانی متعلق به زی‌توده در عصاره استونی زمستان و عصاره اتانولی پاییز بود. Vuori و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای همراستا که به بررسی زیست نشانگرهای استرس اکسیداتیو در کوپه‌پود *Limnocalanus macrurus* از دریای بالتیک شمالی پرداختند، گزارش نمودند که سطح نشانگرهای آنتی اکسیدانی مانند آنزیم GST به طور قابل توجهی تحت تاثیر تغییرات هیدروگرافیکی و آلودگی شیمیایی افزایش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش بیانگر این است که کوپه‌پودهای بومی قادر به فعال سازی سیستم دفاع آنتی اکسیدانی خود هستند که این ظرفیت می‌تواند پتانسیل استفاده از این موجودات به عنوان منبع ترکیبات زیست فعال آنتی اکسیدانی در صنایع مختلف را نشان دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که ظرفیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها تحت تاثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی آب، فصل نمونه‌برداری و روش سنجش قرار دارد.

در روش DPPH، با دما، اکسیژن محلول در بهار، تابستان و زمستان احتمالاً ناشی از فعال شدن مسیرهای دفاعی آنتی اکسیدانی در پاسخ به استرس محیطی است (Glippa et al., 2024). ارتباط منفی در برخی فصل‌ها مانند پاییز یا نمونه‌های تابستان می‌تواند به تغییرات ترکیب زیست توده یا کیفیت غذایی مربوط باشد (Chen et al., 2022). روش FRAP نیز عمدتاً با دما و اکسیژن محلول رابطه دارد. اما در برخی نمونه‌ها رابطه معکوس بود که می‌تواند ناشی از حساسیت روش به ترکیبات احیاکننده و اثر یون‌های معدنی باشد (Benzie and Strain, 1996).

در روش ABTS، ظرفیت آنتی اکسیدانی عمدتاً با شاخص‌های محیطی رابطه منفی داشت و تنها در زمستان با حلال استون الگوی مثبت مشاهده شد که ممکن است به استخراج بهتر ترکیبات پایدار مربوط باشد (Re et al., 1999). مطالعات اخیر مانند پژوهش Von weissenberg و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که ترکیب عوامل محیطی و کیفیت غذایی می‌تواند پاسخ‌های آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها را به طور قابل توجهی تغییر دهد. به طور کلی، تفاوت میان روش‌ها، تاثیر فصل و حلال نشان می‌دهد که ظرفیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها یک ویژگی پویا و وابسته به شرایط محیطی و زیستی است. نتایج این مطالعه نشان داد که ظرفیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها با تغییرات فصلی و احتمالاً تغییر در شرایط محیطی یا ساختار جمعیتی تغییر می‌کند برای مثال در این مطالعه فعالیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها در نمونه‌های پاییز کاهش یافت، اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود که علت احتمالی آن کاهش فعالیت‌های متابولیکی و تولید ترکیبات زیست فعال در شرایط محیطی سردتر است (Liu et al., 2015). در

مقابل، بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی در نمونه‌های بهار و به ویژه در استخراج با حلال استون مشاهده شد. شرایط مطلوب‌تر زیستی در نمونه‌های بهار مانند دما و تغذیه، منجر به افزایش سنتز ترکیبات آنتی اکسیدانی در زئوپلانکتون‌ها می‌شود (Wang et al., 2019). در نمونه‌های پاییز، کاهش دما و تغییر نور باعث افزایش استرس اکسیداتیو می‌شود، یعنی تولید رادیکال‌های آزاد افزایش یافته و زئوپلانکتون‌ها برای محافظت خود، آنتی اکسیدان بیشتری تولید می‌کنند (Halliwell and Gutteridge, 1984). در نمونه‌های زمستان، اگرچه تعداد زئوپلانکتون‌ها بیشتر است، اما کاهش دما و کاهش فعالیت‌های متابولیکی باعث می‌شود که تولید آنتی اکسیدان‌ها کم شود و به همین دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی پایین باشد (Sommer, 1989).

۵. نتیجه‌گیری نهایی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که زئوپلانکتون‌های تالاب حنا نقش مهمی در پویایی اکوسیستم‌های تالابی دارند و تغییرات فصلی عوامل فیزیکی و شیمیایی آب، به‌ویژه دما، اکسیژن محلول و pH، بر پراکنش، فراوانی و ساختار جمعیتی آن‌ها تأثیرگذار است. همچنین نتایج بیانگر آن است که ظرفیت آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها تحت تأثیر فصل نمونه‌برداری، شرایط محیطی و روش سنجش قرار دارد و در طول سال تغییرات محسوس را نشان می‌دهد. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی در آزمون DPPH در فصل تابستان، در آزمون FRAP در فصل بهار و در آزمون ABTS در فصول پاییز و زمستان مشاهده شد. این تغییرات نشان می‌دهد که پاسخ‌های آنتی اکسیدانی زئوپلانکتون‌ها ماهیتی پویا دارند و با تغییر شرایط محیطی، وضعیت تغذیه‌ای و ویژگی‌های زیستی جمعیت‌ها دستخوش تغییر می‌شوند. یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که زئوپلانکتون‌های تالاب حنا علاوه بر نقش در انتقال انرژی و پایداری زنجیره غذایی، دارای ظرفیت قابل توجهی برای تولید ترکیبات زیست‌فعال با ویژگی‌های آنتی اکسیدانی‌اند. این قابلیت می‌تواند زمینه استفاده از زیست‌توده زئوپلانکتونی را به‌عنوان منبعی ارزشمند در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی فراهم سازد. از این‌رو، بررسی‌های تکمیلی در زمینه شناسایی ترکیبات مؤثر و عوامل محیطی مؤثر بر ظرفیت آنتی اکسیدانی این موجودات می‌تواند به بهره‌برداری پایدار از این منبع زیستی کمک کند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از کلیه افرادی که در انجام این پژوهش همکاری و مساعدت داشته‌اند، ابراز می‌دارند. همچنین از مسئولان و کارکنان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان به‌دلیل فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی و همکاری‌های ارزشمند در اجرای آزمایش‌ها صمیمانه تشکر می‌شود.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- Benzie, I.F.F., Strain, J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239(1), 70–76. DOI: 10.1006/abio.1996.0292.
- Carpenter, S., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R., Sharpley, A.N., Smith, V., 1998. Non-point pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8, 559–568. DOI: 10.1890/1051-0761(1998)008[0559: NPOSWW]2.0.CO;2.
- Chen, H., Wang, J., Zhuang, Y., Yu, W.-F., Liu, G., 2022. Reduced fitness and elevated oxidative stress in the marine copepod *Tigriopus japonicus* exposed to the toxic dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. *Antioxidants* 11, 2261. <https://doi.org/10.3390/antiox11112299>.
- Costanza, R., Farber, S.C., Maxwell, J., 1989. Valuation and management of wetland ecosystems. *Ecological Economics* 1, 335–361. DOI: 10.1016/0921-8009(89)90014-1.

- Declerck, S., De Senerpont Domis, L., 2022. Contribution of freshwater metazooplankton to aquatic ecosystem services: An overview. *Hydrobiologia* 850, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05001-9>.
- Dongare, V., Pandey, S., 2025. Antioxidant enzyme responses in cladoceran *Moina macrocopa* under oxidative stress. *Uttar Pradesh Journal of Zoology* 46, 217–226. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2025/v46i14756>.
- Glippa, O., Engström-Öst, J., Kanerva, M., Rein, A., Vuori, K., 2018. Oxidative stress and antioxidant defense responses in *Acartia* copepods in relation to environmental factors. *PLOS ONE* 13, e0207780. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195981>.
- Glippa, O., Engström-Öst, J., Kanerva, M., Rein, A., Vuori, K., 2024. Seawater carbonate chemistry and oxidative stress level and antioxidant responses in the planktonic copepod of the genus *Acartia*. *PANGAEA*. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.972145>.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1984. *Free radicals in biology and medicine* (1st ed.). Oxford University Press, Oxford, UK.
- Hao, L., Xu, X., Zhou, Y., Liu, D., Shao, J., Pan, J., He, G., Hu, Z., Liu, Q., 2025. Diversity and seasonal variation of zooplankton community in a large deep-water reservoir of Eastern China using eDNA and morphological methods. *Frontiers in Marine Science* 12, 1456789. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1509743>.
- Lampert, W., 1987. Feeding and growth of zooplankton: Seasonal aspects and implications for aquatic food webs. *Hydrobiologia* 147(1), 1–11.
- Liu, X., Wang, Y., Zhang, H., 2015. Seasonal variation in antioxidant properties of zooplankton in freshwater ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 468, 1–8. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i04.009>.
- Monteiro, M., Santos, R.A., Iglesias, P., Couto, A., Serra, C.R., Gouvêas, I., Barros, A., 2019. Effect of extraction method and solvent system on the phenolic content and antioxidant activity of selected macro- and microalgae extracts. *Journal of Applied Phycology*, 32, 349–362. doi:10.1007/s10811-019-01927-1
- Olasheinde, T.A., Odjadjare, E.C., Mabinya, L.V., Olaniran, A.O., Okoh, A.I., 2019. *Chlorella sorokiniana* and *Chlorella minutissima* exhibit antioxidant potentials. *Electronic Journal of Biotechnology*, 40, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.03.008>.
- Prior, R., Wu, X., Schaich, K., 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290–4302. DOI: 10.1021/jf0502698.
- Qiu, X., Lu, Q., Jia, C., Dai, Y., Ouyang, S., Wu, X., 2022. The effects of water level fluctuation on zooplankton communities in Shahu Lake based on DNA metabarcoding and morphological methods. *Animals*, 12(8), 950. DOI: 10.3390/ani12080950.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231–1237. DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
- Ross, S., Epperly, S., 1985. Utilization of shallow nursery areas by fishes in Pamlico Sound and adjacent tributaries, North Carolina. In: Yáñez-Arancibia, Y. (Ed.), *Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration*. UNAM Press, Mexico City, pp. 207–232.
- Roth, S., Polazzo, F., García-Astillero, A., Cherta, L., Sobek, A., Rico, A., 2022. Multiple stressor effects of a heatwave and a herbicide on zooplankton communities: Implications of global climate change. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1035842. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.920010>.
- Schindler, D., 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography* 51, 356–363. DOI: 10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0356.
- Sommer, U., 1989. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Ecology*, 70(4), 1183–1196. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/106/1986/433>.
- Von Weissenberg, E., Mottola, G., Uurasmaa, T.-M., Anttila, K., Engström-Öst, J., 2022. Combined effect of salinity and temperature on copepod reproduction and oxidative stress in brackish-water environment. *Frontiers in Marine Science*, 9, 878768. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.952863>.

- Vuori, K., Lehtonen, K., Kanerva, M., Peltonen, H., Nikinmaa, M., Berezina, N., Boikova, E., 2015. Oxidative stress biomarkers in the copepod *Limnocalanus macrurus* from the northern Baltic Sea: Effects of hydrographic factors and chemical contamination. *Marine Ecology Progress Series*, 538, 131–144. <https://doi.org/10.3354/meps11471>.
- Wang, J., Li, X., Chen, Y., 2019. Effect of extraction solvents and seasonal changes on antioxidant activity of freshwater zooplankton. *Aquatic Toxicology*, 207, 20–27.
- Wang, Y., Zhang, S., Sun, M., Han, J., Wang, Z., Chen, X., Chen, Z., Qin, H., 2025. Spatial–temporal pattern and stability analysis of zooplankton community structure in the lower Yellow River in China. *Diversity*, 17, 162. DOI: 10.3390/d17030162.
- Yin, C., Gong, L., Jiao, Y., Yang, Y., Guo, L., 2025. Spatial–seasonal shifts in phytoplankton and zooplankton community structure within a subtropical plateau lake: Interplay with environmental drivers during rainy and dry seasons. *Fishes*, 10, 343. <https://doi.org/10.3390/fishes10070343>.
- Zhang, S., Lu, W., Zhou, Z., Chen, W., 2022. Spatial differences in zooplankton community structure between two fluvial lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River: Effects of land use patterns and physicochemical factors. *Diversity*, 14(11), 90. <https://doi.org/10.3390/d14110908>.