



Investigating the Relationship between Protozoa and Nematode Density with Turbidity, Rainfall, and Seasonal Variations in Chah-Nimeh III Wetland, Sistan and Baluchestan, Iran

Rasele Ataei^{1*}, Hediye Nozari Nia², Fatemeh Haji Abbasi³

¹Senior Laboratory Expert, Central Laboratory, Sistan and Baluchestan Province Water and Wastewater Company, Zahedan, Iran

²Senior Laboratory Expert, Central Laboratory, Sistan and Baluchestan Province Water and Wastewater Company, Zahedan, Iran

³Microbiology Expert at Mashhad Food Laboratory, Iran

Received: 2026/05/15

Revised: 2026/06/07

Accepted: 2026/06/17

Abstract

Aquatic microorganisms are considered important components of wetland ecosystems, and variations in physical and hydrological environmental conditions can affect their density and dynamics. This study was conducted to investigate the relationship between the density of biological factors (nematodes and protozoa) and changes in turbidity, rainfall, and seasonal variations in the Chah-Nimeh III Wetland, Sistan and Baluchestan Province, Iran, during the period from April 2025 to May 2026. In this study, surface water samples were collected periodically from the wetland, and the density of biological groups including protozoa and nematodes was measured along with physicochemical parameters including temperature, pH, electrical conductivity (EC), and turbidity. Rainfall data were also collected throughout the study period. To evaluate the relationships among variables, statistical analyses including Pearson correlation, Spearman correlation, analysis of variance (ANOVA), and regression analysis were performed. The results indicated a significant positive relationship between protozoa density and water turbidity, such that protozoa density increased with increasing turbidity. The highest protozoa density was observed in October 2025, simultaneously with the highest turbidity level. A positive relationship was also observed between nematode density and turbidity, which was statistically significant according to the Spearman correlation test. In contrast, the relationship between rainfall and the density of nematodes and protozoa was generally weak and negative, while Pearson correlation analysis showed no statistically significant association, suggesting possible nonlinear relationships or high variability in the data. Overall, the results demonstrated that turbidity is a more suitable indicator than rainfall for predicting changes in microorganism populations in this wetland. Furthermore, seasonal variations play an important role in fluctuations in the density of microscopic organisms. These findings may contribute to a better understanding of the biological dynamics of aquatic ecosystems and support regional water resource management.

Keywords: Nematodes, Protozoa, Turbidity, Rainfall, Seasonal Variations, Chah-Nimeh III Wetland

Cite this article: Ataei R., Nozari Nia H., Haji Abbasi H. Investigating the Relationship between Protozoa and Nematode Density with Turbidity, Rainfall, and Seasonal Variations in Chah-Nimeh III Wetland, Sistan and Baluchestan, Iran. *Informatics in Biology, Health, and Food*. 2025;3(1):27-37.

Copyright©: The Authors. Published by Shandiz Institute of Higher Education

Corresponding author: Rasele Ataei

Gmail: attae.r33@gmail.com



بررسی ارتباط تراکم پروتوزوآ و نماتدها با کدورت، بارندگی و تغییرات فصلی در تالاب چاه‌نیمه سوم، سیستان و بلوچستان، ایران

راسله عطائی^{۱*}، هدیه نوزری نیا^۲، فاطمه حجی عباسی^۳

^۱ کارشناس مسئول آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان، ایران

^۲ کارشناس مسئول آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان، ایران

^۳ کارشناس میکروبیولوژی آزمایشگاه مواد غذایی مشهد، ایران

پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۲۷

بازنگری: ۱۴۰۵/۳/۱۷

دریافت: ۱۴۰۵/۲/۲۵

چکیده

میکروارگانیسم‌های آبی از اجزای مهم اکوسیستم‌های تالابی به شمار می‌آیند و تغییرات شرایط فیزیکی و هیدرولوژیکی محیط می‌تواند بر تراکم و پویایی آن‌ها تأثیرگذار باشد. این پژوهش با هدف بررسی ارتباط تراکم عوامل بیولوژیک (نماتدها و پروتوزوآ) با تغییرات کدورت، بارندگی و فصل‌ها در تالاب چاه‌نیمه سوم استان سیستان و بلوچستان طی دوره فروردین ۱۴۰۴ تا اردیبهشت ۱۴۰۵ انجام شد. در این مطالعه نمونه‌برداری از آب سطحی تالاب به صورت دوره‌ای انجام گرفت و تراکم گروه‌های زیستی شامل پروتوزوآ و نماتدها همراه با پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل دما، pH، هدایت الکتریکی (EC) و کدورت اندازه‌گیری شد. همچنین داده‌های مربوط به میزان بارندگی در طول دوره مطالعه جمع‌آوری گردید. به منظور بررسی روابط بین متغیرها از آزمون‌های آماری همبستگی پیرسون، همبستگی اسپیرمن، تحلیل واریانس (ANOVA) و رگرسیون استفاده شد. نتایج نشان داد که بین تراکم پروتوزوآ و کدورت آب رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد، به طوری که با افزایش کدورت، تراکم پروتوزوآ نیز افزایش یافت. بیشترین تراکم پروتوزوآ در مهرماه ۱۴۰۴ همزمان با بیشترین مقدار کدورت مشاهده شد. در مورد نماتدها نیز رابطه‌ای مثبت بین تراکم و کدورت مشاهده شد که در آزمون اسپیرمن معنی‌دار بود. در مقابل، ارتباط بارندگی با تراکم نماتدها و پروتوزوآ عمدتاً منفی و ضعیف ارزیابی شد و همبستگی پیرسون معنی‌داری نشان نداد که می‌تواند بیانگر وجود روابط غیرخطی یا پراکندگی بالای داده‌ها باشد. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که کدورت نسبت به بارندگی شاخص مناسب‌تری برای پیش‌بینی تغییرات جمعیت میکروارگانیسم‌ها در این تالاب است. همچنین تغییرات فصلی نقش مهمی در نوسانات تراکم موجودات میکروسکوپی ایفا می‌کند. این یافته‌ها می‌تواند در درک بهتر پویایی زیستی اکوسیستم‌های آبی و مدیریت منابع آبی منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: نماتد، پروتوزوآ، کدورت، بارندگی و چاه نیمه سوم

Cite this article: Ataei R., Nozari Nia H., Haji Abbasi H. Investigating the Relationship between Protozoa and Nematode Density with Turbidity, Rainfall, and Seasonal Variations in Chah-Nimeh III Wetland, Sistan and Baluchestan, Iran. *Informatics in Biology, Health, and Food*. 2025;3(1):27-37.

Copyright©: The Authors. Published by Shandiz Institute of Higher Education

Corresponding author: Rasele Ataei

Gmail: attaeer33@gmail.com



مقدمه

سخت در مقابل محیط حفاظت ایجاد می کند، با ورود به بدن، کیست تخریب و انگل در روده وارد فاز فعال می شود و شروع به تغذیه و رشد می کند (۷). پروتوزواها نیز از اجزای کلیدی زنجیره غذایی میکروبی در محیط های آبی محسوب می شوند و نقش مهمی در کنترل جمعیت باکتری ها و چرخه مواد دارند. برخی گونه های پروتوزوا به ویژه انواع انگلی مانند *ژیاردیا* و *کریپتوسپوریدیوم*^۴ از نظر بهداشتی اهمیت ویژه ای دارند و حضور آن ها در منابع آب می تواند تهدیدی برای سلامت عمومی باشد (۸). یکی از مهم ترین دلایل ارتباط و پروتوزواها با کدورت آب، اتصال کیست ها و اووسیست ها به ذرات معلق است. این ذرات نقش حفاظتی داشته و مانع تماس کامل مواد ضد عفونی کننده با انگل ها می شوند (۶). یکی از پارامترهای مهم کیفیت آب، کدورت است که بیانگر حضور ذرات معلق، مواد آلی و رسوبات در ستون آب می باشد. افزایش کدورت می تواند بستر مناسبی برای رشد و تجمع میکروارگانیسم ها فراهم کند و حتی کارایی فرآیندهای گندزدایی را کاهش دهد (۹). علاوه بر این، بارندگی نیز از طریق انتقال رواناب، رسوبات و آلاینده های میکروبی می تواند بر ساختار جوامع میکروبی تأثیرگذار باشد (۱۰). تالاب های چاه نیمه در منطقه سیستان به عنوان یکی از مهم ترین اکوسیستم های آبی در شرق ایران، نقش حیاتی در تعدیل آب و هوا، حفظ تنوع زیستی و تأمین معیشت برای ساکنین محلی ایفا می کنند (۱۱). پلانکتون ها به عنوان پایه های اصلی زنجیره غذایی در این اکوسیستم های آبی، شاخص های حساسی برای ارزیابی سلامت و کیفیت آب محسوب می شوند (۱۲). تالاب چاه نیمه سوم در استان سیستان و بلوچستان یکی از مهم ترین منابع ذخیره آب منطقه محسوب می شود و تغییرات هیدرولوژیک و اقلیمی می تواند کیفیت زیستی آن را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به اهمیت اکولوژیک و بهداشتی این تالاب، مطالعه حاضر با هدف بررسی ارتباط تراکم نماتدها و پروتوزوا با کدورت آب و بارندگی و تحلیل تغییرات فصلی آن ها انجام شد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری

منطقه سیستان در منتهی الیه مرز شرقی کشور و در شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان قرار دارد (شکل ۱). آب و هوای این منطقه گرم و خشک می باشد. این منطقه قسمتی از حوزه آبریز

تالاب ها از مهم ترین اکوسیستم های آبی جهان به شمار می روند و نقش اساسی در حفظ تنوع زیستی، تنظیم چرخه مواد غذایی و پایداری اکولوژیک دارند. جوامع میکروبی و کفزی موجود در این محیط ها، از جمله نماتدها و پروتوزواها، به عنوان شاخص های زیستی حساس به تغییرات محیطی شناخته می شوند و بررسی تغییرات آن ها می تواند اطلاعات ارزشمندی درباره وضعیت اکولوژیک منابع آبی ارائه دهد (۱). نماتدهای آزادزی یکی از فراوان ترین گروه های جانوری در رسوبات آبی هستند که به دلیل چرخه زندگی کوتاه، حساسیت بالا به شرایط محیطی و تنوع تغذیه ای، به طور گسترده در مطالعات اکولوژیکی مورد استفاده قرار می گیرند (۲). تراکم این موجودات تحت تأثیر عواملی نظیر مواد آلی، دما، نوع رسوبات، اکسیژن محلول و ویژگی های هیدرولوژیک قرار دارد (۳). در محیط های آبی، نماتدها به صورت آزادزی در عمق آب، رسوبات، بیوفیلم ها و بسترهای آلی حضور دارند و از باکتری ها، قارچ ها، جلبک ها و مواد آلی تغذیه می کنند. برخی از آن ها همه چیزخوار هستند و در شبکه غذایی آبرزی نقش مؤثر دارند (۴). نماتدها به عنوان طعمه برای بی مهرگان بزرگ تر و برخی لاروهای آبرزی عمل می کنند و انرژی را از تک سلولی به سطوح بالاتر زنجیره غذایی منتقل می کنند (۵). به علت حساسیت متفاوت گونه های نماتد به اکسیژن، مواد آلی، فلزات سنگین و سایر آلاینده ها، ساختار جامعه نماتدی می تواند شاخصی برای ارزیابی سلامت محیط آبی باشد (۲، ۶). پروتوزوا یوکاریوت های تک سلولی است، برخی گونه های آن ها انگلی و میزبان آن ها انسان است. انگل های پروتوزوا بر اساس نوع حرکت، به چهار نوع *سارکودینا*^۱ که حرکات آمیبی دارد؛ *ماستیگوفورا*^۲ که با فلاژله حرکت می کند؛ *سیلوفورا*^۳ که با مژک های فراوان خود جابجا می شود و *اسپوروزوا*^۴ که فرم تکامل یافته تر این دسته و فاقد تحرک است، تقسیم می شوند. پروتوزواها به محیط مرطوب بسیار علاقه دارند، عفونت های روده ای و دیگر بیماری های ناشی از پروتوزواها مانند آمیبیازیس و *ژیاردیازیس* از طریق آب آلوده منتشر می شود. انگل *ژیاردیا*^۵ نیز پروتوزوا است و در روده انسان زندگی می کند. آلودگی با *ژیاردیا* شیوع نسبتاً بالایی دارد و درصد بالایی از عفونت های انگلی منتقل شده از آب را تشکیل می دهد، بیماری از طریق غذا و آب آلوده به کیست های *ژیاردیا*، منتقل می شود. کیست ها نوع غیرفعال انگل هستند و با یک پوشش خارجی

⁴ *Sporozoa*

⁵ *Giardia*

⁶ *Cryptosporidium*

¹ *Sarcodina*

² *Mastigophora*

³ *Ciliophora*



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی چاه نیمه‌ها و ایستگاه نمونه برداری

Figure 1. Geographical location of the studied wells and sampling station

آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان، روش فیلتراسیون غشایی می‌باشد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، با توجه به غلظت نمونه‌ای که آماده سازی گردید، حجمی از نمونه مورد نظر (یک لیتر) که کاملاً مخلوط شده را با استفاده از کاغذ صافی غشایی^۱ (SM24ED-10200C; Sedgwick-Rafter Counting Cell, USA) و با فشار خلاء کمتر از ۵۰ کیلو پاسکال فیلتر شد. پس از فیلتر کردن، کاغذ صافی را به بشر منتقل شده و با ۱ میلی‌لیتر آب مقطر شستشو داده شد. سپس با استفاده از سمپلر یا پیپت، آب شستشو داده شده را در روی لام سدویک رافت^۲ قرار داده (برای محاسبه پلانکتون‌ها، از لام سدویک رافت استفاده می‌شود چون حجم و مساحت آن جهت محاسبه تراکم نمونه مشخص است) و دو الی سه دقیقه صبر کرده تا پلانکتون‌ها ته‌نشین شوند. سپس لام را زیر میکروسکوپ (NikonE200) و با بزرگنمایی عدسی X10 و استفاده از کلیدهای شناسایی در دسترس (۱۴)، پروتوزواها و نماتدها را شناسایی کرده و بر حسب تعداد در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر گزارش گردید. و پارامترهای فیزیکوشیمیایی؛ دما، هدایت الکتریکی PH و کدورت در محل با استفاده از پرتابل انجام شد (۱۴).

تحلیل آماری

تحلیل داده‌ها و بررسی روابط بین متغیرها از آزمون‌های آماری Pearson correlation, Spearman correlation ANOVA و Regression Analysis با استفاده از نرم افزار Minitab استفاده شد. سطح معنی‌داری آزمون‌ها برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

هیرومند محسوب می‌گردد. چاه نیمه‌ها سه گودال طبیعی هستند که در جنوب شرقی سیستان قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر به علت عدم ورود آب از طریق رود هیرومند به دشت سیستان و خشکسالی‌های متوالی چاه نیمه دوم به‌طور کامل خشک شده است و آب ورودی تصفیه خانه از مخزن چاه نیمه سوم تأمین می‌شود. حجم این مخزن در هنگام پر آبی معادل ۳۲۰ میلیون متر مکعب است (۱۳).

نمونه برداری و شناسایی

نمونه برداری مطابق با روش نمونه برداری آب طبق کتاب استانداردمتد ویرایش ۲۰۲۴ (۱۴) از تالاب در بازه زمانی فروردین ۱۴۰۴ تا اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۵ انجام گردید. عمق‌ها نمونه برداری براساس عمق آب ایستگاه یا عمق ترموکلاین یا پیکنوکلاین یا سایر فاکتورها مشخص می‌شود. باید نمونه‌ها در مناطق عمیق‌تر از عمق‌های مختلف با فاصله‌های معین جمع‌آوری گردد (۱۴). بنابراین برای این مطالعه نمونه برداری از ایستگاه نمونه برداری، از عمق ۶-۸ متری از سطح آب تالاب که توسط خطوط وارد آبگیر تصفیه خانه سیستان می‌شود، با ظروف نمونه برداری مات از جنس پلی اتیلن و حجم ۴ لیتری در هر نوبت، نمونه‌های آب سطحی از ایستگاه ثابتی جمع‌آوری شد. پس از پایان نمونه برداری نمونه‌ها در روزهای گرم، نمونه را با یخ حمل کرده و به آزمایشگاه بیولوژیکی شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان جهت انجام آزمایشات تشخیص و شناسایی تحویل داده شد. روش آزمون مورد استفاده در آزمایشگاه شرکت

^۲ Sedgwick-Rafter Counting Cell؛ لام شمارش تمام‌شیشه‌ای با

ابعاد داخلی محفظه ۵۰*۲۰*۱ mm، حجم دقیق ۱ mL، مجهز به لامل ۲۵*۶۰ mm، مورد استفاده برای شمارش کمی پلانکتون‌ها و سایر ذرات معلق در نمونه‌های آبی.

^۱ کاغذ صافی غشایی سلولز استات با قطر ۴۷ mm و اندازه منافذ ۰/۸ μm ساخت Sartorius آلمان. (این روش آزمون با کاغذ صافی ۰/۴۵ میکرون صحت‌گذاری شده و اختلاف معناداری بین دو کاغذ صافی وجود ندارد).

جدول ۱. میانگین تراکم و پروتوزوآ و نماتدها و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی.

Table 1. Mean densities of protozoa and nematodes and associated physicochemical parameters.

ماه نمونه برداری	پروتوزوآ (N/1000ml)	نماتودها (N/1000ml)	کدورت (NTU)	بارندگی (mm)	Ph	دما °C	هدایت الکتریکی µs/cm
فروردین ۱۴۰۴	۵۰/۰۰	۳۰/۰۰	۱۶/۵۰	۰/۰۰	۸/۲۱	۱۵/۲۰	۷۸۸/۰۰
اردیبهشت ۱۴۰۴	۱۱۰/۰۰	۷۰/۰۰	۱۶/۰۰	۰/۰۰	۸/۳۸	۱۶/۳۰	۸۴۴/۰۰
خرداد ۱۴۰۴	۷۰/۰۰	۲۰/۰۰	۱۵/۵۰	۰/۰۰	۸/۴۳	۲۷/۳۰	۸۲۰/۰۰
تیر ۱۴۰۴	۹۰/۰۰	۹۰/۰۰	۱۳/۰۰	۰/۰۰	۸/۳۸	۲۹/۷۰	۸۲۳/۰۰
مرداد ۱۴۰۴	۱۰۰/۰۰	۴۰/۰۰	۱۲/۵۰	۰/۰۰	۸/۲۰	۲۵/۰۰	۸۴۱/۰۰
شهریور ۱۴۰۴	۱۸۰/۰۰	۸۰/۰۰	۱۸/۷۰	۰/۰۰	۸/۳۹	۲۲/۷۰	۸۶۴/۰۰
مهر ۱۴۰۴	۲۵۰/۰۰	۴۵/۰۰	۲۳/۰۰	۰/۰۰	۸/۳۷	۲۹/۸۰	۸۹۹/۰۰
آبان ۱۴۰۴	۷۰/۰۰	۲۰/۰۰	۹/۸۳	۰/۰۰	۸/۳۹	۱۷/۹۰	۸۴۳/۰۰
آذر ۱۴۰۴	۵۰/۰۰	۳۰/۰۰	۸/۲۱	۴/۰۰	۷/۱۲	۱۴/۵۰	۸۸۳/۰۰
دی ۱۴۰۴	۱۰۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۰/۲۰	۰/۰۰	۷/۴۱	۱۳/۹۰	۸۸۰/۰۰
بهمن ۱۴۰۴	۵۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	۸/۱۲	۱۳/۰۰	۸۸۲/۰۰
اسفند ۱۴۰۴	۸۰/۰۰	۰/۰۰	۹/۵۰	۰/۰۰	۸/۲۵	۱۲/۸۰	۸۴۰/۰۰
فروردین ۱۴۰۴	۵۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۰/۰۰	۸/۳۱	۱۳/۳۰	۷۷۰/۰۰
اردیبهشت ۱۴۰۴	۱۲۰/۰۰	۴۰/۰۰	۲۰/۴۰	۰/۰۰	۸/۱۰	۱۷/۰۰	۷۴۰/۰۰

نتایج

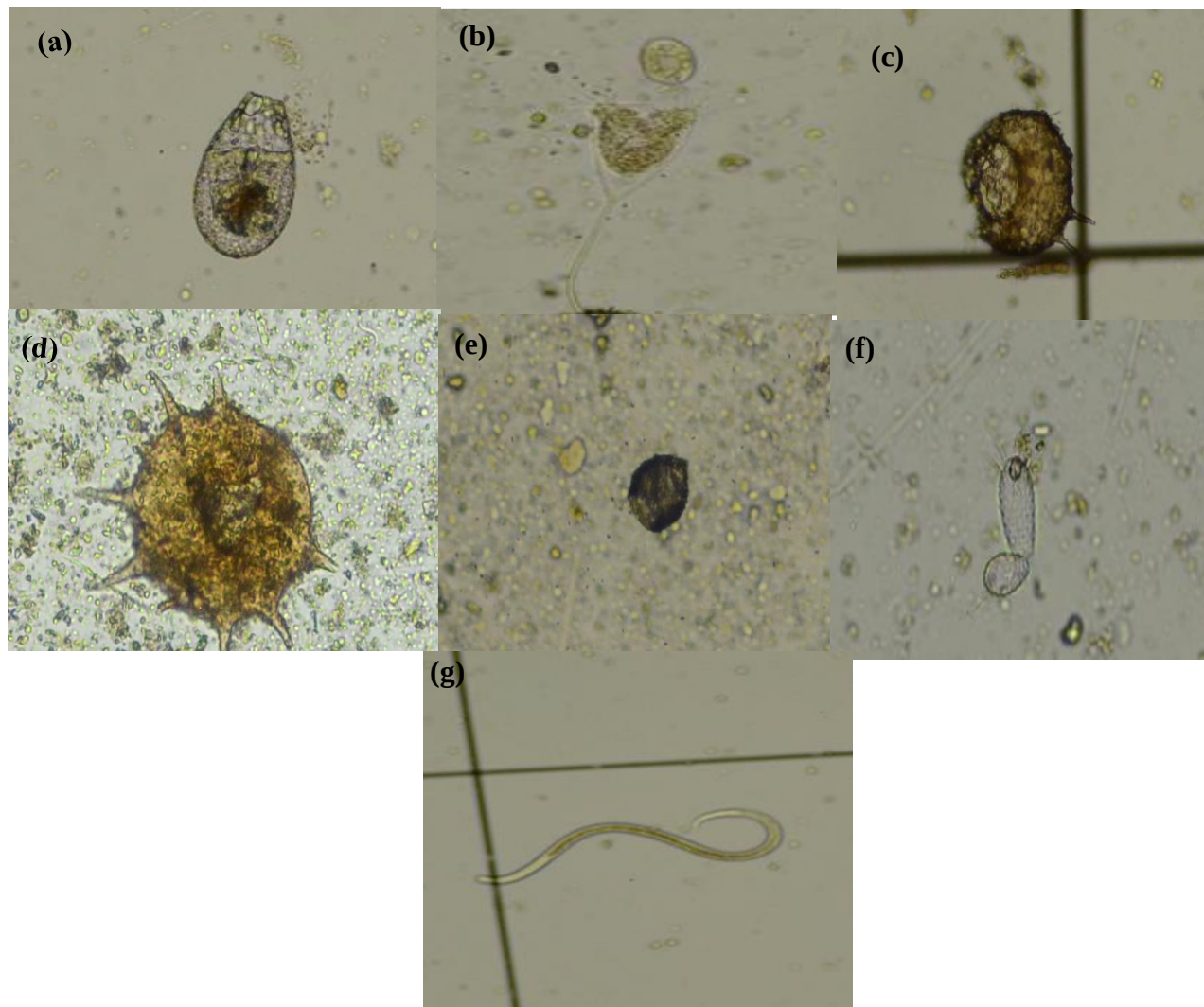
میانگین تراکم پروتوزوآ و نماتدها در ماه‌های مختلف سال و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محل نمونه‌برداری در مدت ۱۴ ماه در جدول ۱ خلاصه شده است. بر اساس یافته‌های حاصل از داده‌های جدول مذکور، تغییرات فصلی معناداری در پارامترهای زیستی و فیزیکی و شیمیایی منبع آبی مورد بررسی مشاهده می‌گردد. به‌طوریکه بیشینه تراکم پروتوزوآها با ۲۵۰ عدد در هزار میلی‌لیتر در مهرماه و ۱۸۰ عدد در هزار میلی‌لیتر در شهریورماه ثبت شده است؛ همچنین بالاترین جمعیت نماتودها به ترتیب با ۹۰ و ۸۰ عدد در هزار میلی‌لیتر در تیرماه و شهریورماه گزارش می‌شود که این اوج‌های جمعیتی با دوره‌های گرم سال (محدوده دمایی ۲۲ تا ۲۹/۹ درجه سانتی‌گراد) و افزایش هدایت الکتریکی تا ۸۹۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر همزمان بوده است. شایان ذکر است که افزایش کدورت تا ۲۳ واحد NTU در مهرماه نیز همراه با این اوج‌های زیستی رخ داده که می‌تواند بیانگر ارتباط میان ذرات معلق و رشد جمعیت میکروارگانیسم‌ها باشد. در مقابل، ماه‌های سرد سال (آذر تا اسفند) با کاهش چشمگیر بار میکروبی، افت دما به محدوده ۱۲ تا ۱۷/۹ درجه سانتیگراد و مقادیر pH ۷/۱۲ تا ۸/۲۵ همراه بوده است؛ هرچند رویدادهای بارندگی در این دوره، تأثیر قابل توجهی بر سایر متغیرها نداشته است.

شکل ۲ عکس‌های میکروسکوپی پلانکتون‌ها توسط میکروسکوپ Nikon E200 در ماه‌های انجام آزمون تهیه شده را نشان می‌دهد که شامل *Diffugia. sp.*, *Vorticella. sp.*, *Centropyxis sp.*, *Centropyxis sp.*, *Testate amoebae*, *Euglypha filifera*, *Nematod* می‌باشد.

در شکل ۲ روند تغییرات نشان می‌دهد که افزایش کدورت، به‌ویژه در فصل‌های بارندگی، با رشد قابل توجه جمعیت پروتوزوآ هم‌زمان بوده و بیانگر ورود بیشتر مواد آلی و ذرات معلق به منبع آب است. همچنین کاهش دما در زمستان موجب افت جمعیت پروتوزوآ می‌شود، در حالی که کدورت در سطح متوسط باقی مانده و این امر نقش غالب عوامل هیدرولوژیک فصلی را بر رفتار هر دو پارامتر تأیید می‌کند.

الگوی داده‌ها در شکل ۳ نشان می‌دهد که افزایش بارندگی با جهش‌های ناگهانی در تعداد پروتوزوآ هم‌زمان است، به‌ویژه در ماه‌های با بارش بالا که ورود روان آب و مواد آلی می‌تواند رشد این ارگانیسم‌ها را تقویت کند. در مقابل، دوره‌های کم‌بارش با مقادیر پایین‌تر و پایدارتر پروتوزوآ همراه‌اند که بیانگر نقش بارندگی فصلی در تحریک نوسانات جمعیت پروتوزوآ در منابع آب است.

شکل ۳ و ۵ نمودار زمانی نشان می‌دهد حاکی از آن است تراکم پروتوزوآ و نماتدها نوسان‌های شدید و مقطعی دارد و اوج‌های اصلی

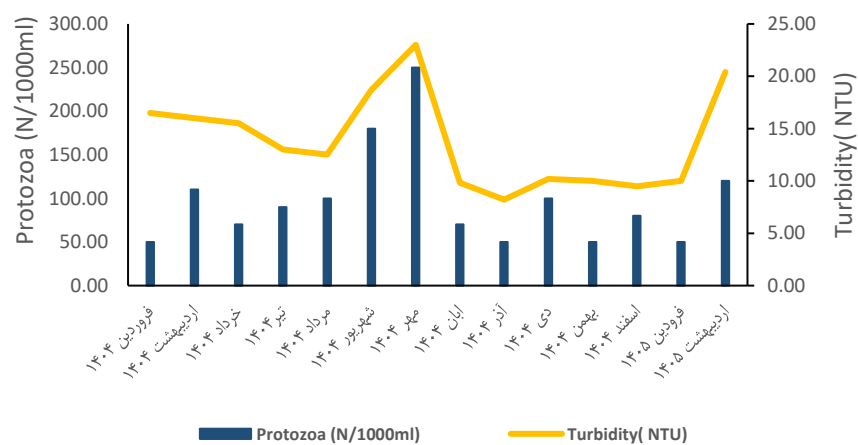


شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی و پروتوزواها و نماتد ها مورد آزمون در مقیاس با بزرگنمایی عدسی X10.

(a) *Diffugia*. sp., (b) *Vorticella*. sp., (c) *Centropyxis* sp., (d) *Centropyxis* sp., (e) *Testate amoebae* sp., (f) *Euglypha filifera*, (g) *Nematod*.

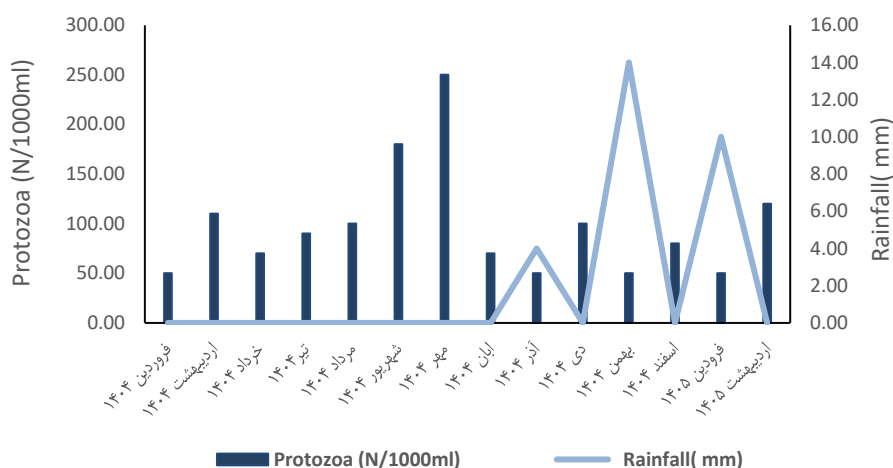
Figure 2. Microscopic images of the tested protozoa and nematodes observed under a light microscope at $\times 10$ magnification.

(a) *Diffugia*. sp., (b) *Vorticella*. sp., (c) *Centropyxis* sp., (d) *Centropyxis* sp., (e) *Testate amoebae* sp., (f) *Euglypha filifera*, (g) *Nematod*.



شکل ۳. تغییرات تراکم پروتوزوا و کدورت.

Figure 3. Variations in Protozoa Density and Turbidity.



شکل ۴. تغییرات تراکم پروتوزوا و بارندگی.

Figure 4. Variations in Protozoa Density and Rainfall.

که کدورت تنها بخش محدودی از تغییرات نماتدها را توضیح می‌دهد و عوامل محیطی و یا اکولوژیک دیگر (مانند مواد آلی، دما، شرایط بستر و دینامیک زیستی) احتمالاً نقش موثرتر در نوسانات مشاهده شده دارند.

بحث

افزایش کدورت معمولاً بیانگر حضور بیشتر ذرات معلق، رسوبات و مواد آلی در آب است که می‌تواند شرایط مطلوب‌تری برای رشد و تجمع میکروارگانیسم‌ها ایجاد کند (۱۶). نتایج این پژوهش نشان داد که کدورت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تراکم میکروارگانیسم‌ها در تالاب چاه‌نیمه سوم است. رابطه مثبت و قوی میان پروتوزوا و کدورت نشان می‌دهد که ذرات معلق موجود در آب می‌توانند نقش حفاظتی و انتقالی برای پروتوزوآها ایفا کنند. مطالعات پیشین نیز گزارش کرده‌اند که افزایش کدورت اغلب با افزایش بار میکروبی و حضور بیشتر پروتوزوآهای بیماری‌زا همراه است (۱۷).

در مورد نماتدها نیز افزایش تراکم در شرایط دارای کدورت بیشتر ناشی از افزایش مواد آلی و منابع غذایی میکروبی در رسوبات بوده است. نماتدهای کفزی معمولاً در محیط‌های دارای رسوبات نرم و غنی از مواد آلی تراکم بیشتری دارند (۱۸).

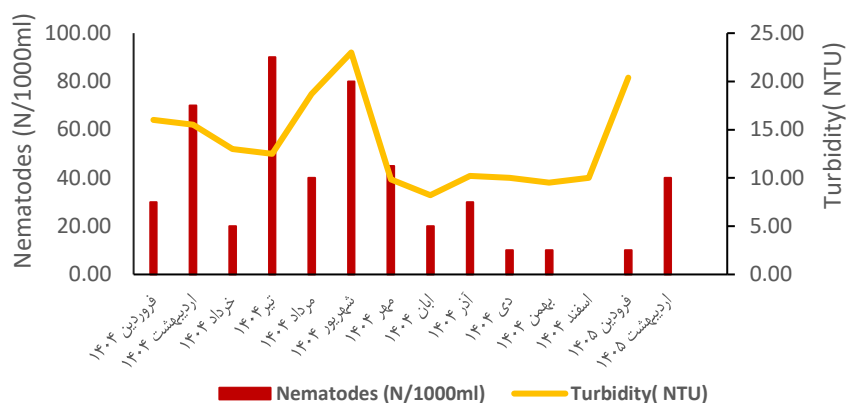
تفاوت میان نتایج آزمون‌های پیرسون و اسپیرمن احتمالاً ناشی از غیرخطی بودن روابط یا وجود نوسانات فصلی در داده‌ها است. در مطالعات اکولوژیک، به دلیل پراکندگی زیاد داده‌ها، آزمون اسپیرمن اغلب عملکرد بهتری در آشکارسازی روابط واقعی دارد (۱۹).

آن عمدتاً در ماه‌های گرم‌تر سال ۱۴۰۴ مشاهده می‌شود، در حالی که کدورت در همان دوره ابتدا افزایش یافته و سپس افت پیدا می‌کند و در انتهای دوره (بهار ۱۴۰۴) دوباره به‌طور محسوس بالا می‌رود. هم‌زمانی برخی قله‌های نماتد با مقادیر بالاتر کدورت، وجود ارتباط مثبت را محتمل می‌کند؛ با این حال عدم همپوشانی کامل قله‌ها نشان می‌دهد کدورت به‌تنهایی تعیین‌کننده نیست و عوامل فصلی و زیست‌محیطی دیگر (مانند مواد آلی، دما و شرایط بستر) در تغییرات نماتدها نقش مهمی دارند.

شکل ۴ و ۶ نشان می‌دهد که بین بارندگی و تراکم نماتدها و پروتوزوا رابطه معکوس وجود دارد به طوری که افزایش بارندگی در فصل‌های پاییز و زمستان با کاهش شدید جمعیت نماتدها همراه می‌باشد. این امر بیانگر آن است که فرآیندهای هیدرولوژیک ناشی از بارش (رقیق‌سازی، افزایش جریان و ناپایداری بستر) بر پویایی نماتدها غلبه داشته و عوامل تعیین‌کننده اصلی نوسانات مشاهده شده هستند.

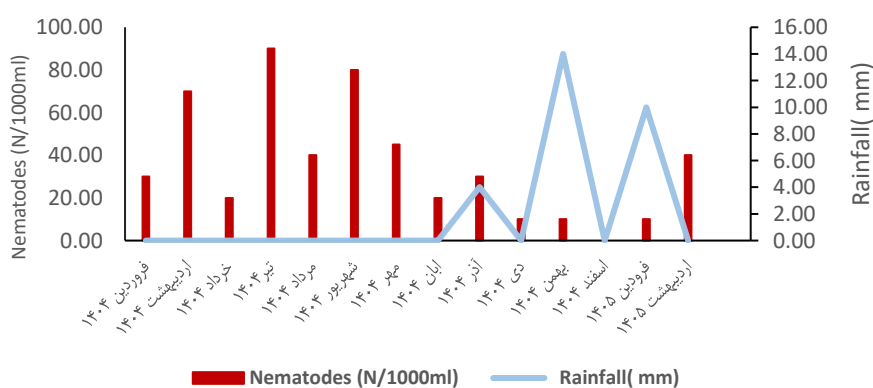
نتایج نمودار پراکنش در شکل ۷ نشان می‌دهد که بین کدورت و تعداد پروتوزوا رابطه مثبت وجود دارد، به طوری که با افزایش کدورت، تراکم پروتوزوا نیز افزایش می‌یابد. مقدار رگرسیون $R^2=0.5922$ بیانگر وجود همبستگی نسبتاً قوی بین این دو پارامتر است و نشان می‌دهد که افزایش ذرات معلق و مواد آلی در آب می‌تواند شرایط مناسب‌تری برای حضور و تکثیر پروتوزوآ فراهم کند.

در شکل ۸ نمودار پراکنش نشان می‌دهد بین کدورت و تعداد نماتدها روندی مثبت اما ضعیف وجود دارد (شیب خط رگرسیون مثبت)، به این معنا که با افزایش کدورت، مقدار نماتدها عموماً افزایش می‌یابد. با این حال، مقدار $R^2=0.2609$ بیانگر آن است



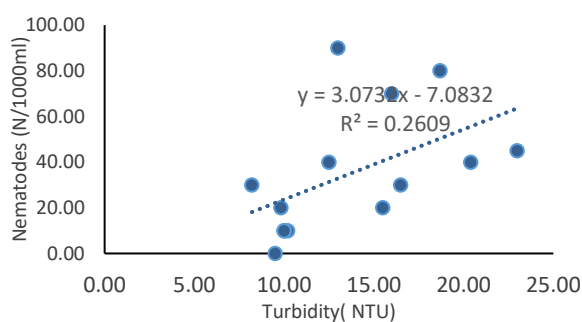
شکل ۵. تغییرات تراکم نماتد و کدورت.

Figure 5. Variations in Nematode Density and Turbidity



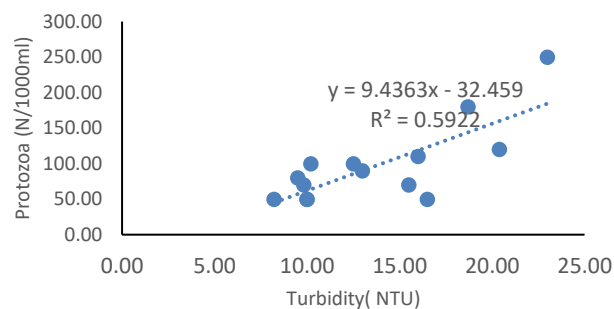
شکل ۶. تغییرات تراکم نماتد و میزان بارندگی

Figure 6. Variations in Nematode Density and Rainfall



شکل ۸. نمودار رگرسیون خطی بین کدورت و نماتد.

Figure 8. Linear regression analysis between turbidity and nematode.



شکل ۷. نمودار رگرسیون خطی بین کدورت و پروتوزوا.

Figure 7. Linear regression analysis between turbidity and Protozoa.

تنوع و تراکم پروتوزوآ در منابع آبی افزایش می‌یابد، زیرا مواد آلی معلق می‌توانند به عنوان منبع انرژی غیرمستقیم برای زنجیره میکروبی عمل کنند (۲۴). در مقابل، رابطه بین پروتوزوآ و بارندگی منفی بود. اگرچه آزمون پیرسون معنی‌داری آماری را نشان نداد ($r = -0.41$, $p > 0.05$)، اما آزمون اسپیرمن وجود رابطه منفی معنی‌دار را تأیید کرد ($p = -0.65$, $p < 0.05$). این موضوع احتمالاً ناشی از اثر رقیق‌سازی و افزایش شدت جریان آب در زمان بارندگی است. در واقع، بارندگی شدید می‌تواند موجب بی‌ثباتی زیستگاه‌های میکروبی، کاهش راکد ماندن آب و کاهش جمعیت های میکروبی شود (۲۵). بنابراین، اگرچه بارندگی ممکن است کدورت را افزایش دهد، اما الزاماً به افزایش تراکم زیستی منجر نمی‌شود.

در مورد نماتدها نیز نوسانات فصلی قابل توجهی مشاهده شد. بیشترین تراکم نماتدها در تیر ۱۴۰۴ با مقدار 90 ml/N ثبت شد، در حالی که کمترین مقدار در اسفند ۱۴۰۴ برابر صفر بود. نتایج آماری نشان داد که رابطه بین نماتدها و کدورت مثبت است، اما شدت این رابطه نسبت به پروتوزوآ کمتر بود. تحلیل رگرسیون مقدار ضریب تعیین حدود 0.26 ($R^2 \approx 0.26$) را نشان داد که بیانگر نقش محدود کدورت در توضیح تغییرات جمعیت نماتدها است. این نتیجه حاکی از آن است که نماتدها نسبت به پروتوزوآ وابستگی کمتری به تغییرات مستقیم کدورت دارند و بیشتر تحت تأثیر شرایط پیچیده اکولوژیکی قرار می‌گیرند.

مطالعات جدید نشان داده‌اند که فراوانی نماتدها در اکوسیستم‌های آبی علاوه بر کیفیت آب، به ویژگی‌های رسوبات، غلظت اکسیژن محلول، ترکیب مواد آلی، ساختار بستر و روابط غذایی وابسته است (۲۶، ۲۷). همچنین تغییرات دمایی می‌تواند بر نرخ رشد، تولیدمثل و فعالیت متابولیکی نماتدها تأثیر مستقیم داشته باشد. به همین دلیل، کاهش تراکم نماتدها در ماه‌های سرد سال احتمالاً ناشی از کاهش فعالیت زیستی و محدود شدن شرایط مناسب رشد بوده است.

افزایش دما و هدایت الکتریکی در ماه‌های گرم سال نیز از دیگر یافته‌های مهم این مطالعه بود. دما یکی از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر متابولیسم میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌شود و با افزایش دما سرعت واکنش تغییر یافته، افزایش متابولیسم و رشد سریع‌تر جمعیت‌های میکروبی می‌شود (۲۸). از سوی دیگر، افزایش EC می‌تواند نشان‌دهنده افزایش غلظت یون‌ها و مواد محلول در آب باشد که در بسیاری از موارد با افزایش دسترسی به مواد مغذی همراه است. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که هدایت الکتریکی

اگرچه بارندگی در بسیاری از اکوسیستم‌های آبی می‌تواند موجب انتقال رواناب و افزایش آلودگی میکروبی شود، اما در این مطالعه به دلیل پایین بودن میزان بارندگی در بیشتر ماه‌های سال، اثر آن محدود مشاهده شد. اقلیم خشک منطقه سیستان و بلوچستان احتمالاً موجب شده است که فرآیندهای داخلی تالاب نقش مهم‌تری نسبت به بارندگی در کنترل کیفیت میکروبی آب داشته باشند.

افزایش تراکم پروتوزوآ و نماتدها در اواخر تابستان و اوایل پاییز می‌تواند ناشی از افزایش دما، کاهش حجم آب، تمرکز مواد آلی و افزایش فعالیت زیستی در این دوره باشد. این الگوی فصلی با مطالعات انجام‌شده در سایر اکوسیستم‌های تالابی نیمه‌خشک همخوانی دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات فصلی و عوامل فیزیکوشیمیایی آب نقش تعیین‌کننده‌ای در نوسانات جمعیت پروتوزوآ و نماتدها دارند. الگوی تغییرات مشاهده‌شده بیانگر آن بود که در ماه‌های گرم سال، همزمان با افزایش دما، هدایت الکتریکی (EC) و تا حدودی کدورت، تراکم این شاخص‌های زیستی نیز افزایش یافته است. در مقابل، با ورود به فصل‌های سرد و افزایش بارندگی، کاهش محسوسی در تراکم پروتوزوآ و نماتدها مشاهده شد. این الگو با مطالعات جدید اکولوژی میکروبی آب‌های سطحی مطابقت دارد که نشان می‌دهند دما و شرایط هیدرولوژیکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده ساختار جوامع میکروبی و ریزجانوران آبی هستند (۲۰، ۲۱).

بیشترین تراکم پروتوزوآ در مهر ۱۴۰۴ با مقدار 250 ml/N ثبت شد که همزمان با بیشترین مقدار کدورت (23 NTU) بود. آزمون‌های همبستگی نیز وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین پروتوزوآ و کدورت را تأیید کردند ($p < 0.01$, Pearson: $r = 0.77$). همچنین تحلیل رگرسیون ($p < 0.01$, Spearman: $\rho = 0.67$)، همچنین تحلیل رگرسیون خطی نشان داد که مقدار ضریب تعیین حدود 0.59 ($R^2 \approx 0.59$) است؛ به این معنا که حدود ۵۹ درصد از تغییرات جمعیت پروتوزوآ توسط تغییرات کدورت قابل توضیح است. این یافته نشان می‌دهد که افزایش ذرات معلق و مواد آلی موجود در آب می‌تواند شرایط مناسب‌تری برای رشد و پایداری پروتوزوآ فراهم کند.

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که افزایش کدورت معمولاً با افزایش غلظت مواد آلی، مواد مغذی و میکروزیستگاه‌های مناسب برای اتصال و بقای میکروارگانیسم‌ها همراه است. ذرات معلق می‌توانند از پروتوزوآ در برابر تنش‌های محیطی محافظت کرده و دسترسی آنها به منابع غذایی را افزایش دهند (۲۲، ۲۳). علاوه بر این، برخی پژوهش‌ها گزارش کرده‌اند که در شرایط افزایش کدورت، میزان

می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی تغییرات زیستی و کیفیت اکولوژیکی منابع آب باشد (۲۹).

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات جمعیت پروتوزوآ بیشتر تحت تأثیر کدورت و شرایط فیزیکی آب قرار دارد، در حالی که نماتدها پاسخ پیچیده‌تر و چند وجهه‌ای به شرایط محیطی نشان می‌دهند. همچنین دما، هدایت الکتریکی و فرآیندهای هیدرولوژیکی از عوامل کلیدی کنترل‌کننده ساختار زیستی اکوسیستم مورد مطالعه محسوب می‌شوند. این یافته‌ها می‌توانند در پایش زیستی منابع آب، ارزیابی کیفیت اکولوژیکی و مدیریت بهداشتی منابع آبی مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات فصلی جمعیت پروتوزوآها و نماتدها و تعیین ارتباط آن‌ها با پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب به منظور ارزیابی قابلیت استفاده از این موجودات به عنوان شاخص‌های زیستی کیفیت منابع آب بود. نتایج حاصل نشان داد که تغییرات فصلی و شرایط محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای در نوسانات تراکم این گروه‌های زیستی دارند و می‌توانند به طور مستقیم ساختار و پویایی جوامع میکروسکوپی آب را تحت تأثیر قرار دهند.

بررسی روند تغییرات زمانی نشان داد که بیشترین تراکم پروتوزوآها و نماتدها در ماه‌های گرم سال و همزمان با افزایش دما، هدایت الکتریکی و کدورت آب مشاهده شد. در مقابل، طی فصل‌های سرد و دوره‌های همراه با بارندگی شدید، کاهش قابل توجهی در تراکم این موجودات ثبت گردید. این یافته‌ها بیانگر آن است که شرایط حرارتی، تغییرات هیدرولوژیکی و نوسانات کیفیت آب از عوامل اصلی کنترل‌کننده جوامع زیستی در اکوسیستم مورد مطالعه هستند.

نتایج تحلیل‌های آماری نیز نشان داد که بین کدورت و تراکم پروتوزوآها همبستگی مثبت و نسبتاً قوی ($R^2 \approx 0.59$) وجود دارد. این موضوع احتمالاً به دلیل افزایش مواد آلی و ذرات معلق در آب و فراهم شدن منابع غذایی مناسب برای رشد و تکثیر پروتوزوآها است. در مقابل، رابطه بین کدورت و تراکم نماتدها ضعیف‌تر است. ($R^2 \approx 0.26$) بود که نشان می‌دهد پراکنش و فراوانی این گروه علاوه بر کیفیت آب، تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اکولوژیکی دیگر از جمله ویژگی‌های بستر، میزان مواد آلی، غلظت اکسیژن محلول و شرایط زیستگاهی قرار دارد.

همچنین نتایج نشان داد که بارندگی، علی‌رغم افزایش کدورت آب، در بسیاری از موارد موجب کاهش تراکم پروتوزوآها و نماتدها شده است. این پدیده را می‌توان به اثر رقیق‌سازی آلاینده‌ها و مواد غذایی، افزایش سرعت جریان آب، شست‌وشوی موجودات از محیط و ناپایداری زیستگاه‌های میکروبی نسبت داد. بنابراین، کدورت به تنهایی نمی‌تواند بیانگر افزایش فعالیت زیستی باشد و باید همراه با سایر متغیرهای محیطی مورد ارزیابی قرار گیرد.

در مجموع، نتایج این پژوهش اهداف اولیه مطالعه را تأیید کرده و نشان داد که پروتوزوآها و نماتدها نسبت به تغییرات فصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب حساس هستند و می‌توانند به عنوان شاخص‌های زیستی ارزشمند در ارزیابی وضعیت اکولوژیکی منابع آبی مورد استفاده قرار گیرند. ترکیب داده‌های زیستی با شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، تصویری جامع‌تر از سلامت اکوسیستم‌های آبی ارائه می‌دهد و می‌تواند ابزاری کارآمد برای پایش مستمر کیفیت آب، شناسایی تغییرات محیطی و برنامه‌ریزی در مدیریت و حفاظت پایدار منابع آب باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، تأثیر سایر عوامل محیطی نظیر اکسیژن محلول، مواد مغذی، ویژگی‌های رسوب و تنوع زیستی سایر گروه‌های آبی نیز بررسی شود تا درک کامل‌تری از روابط اکولوژیکی حاکم بر این اکوسیستم‌ها حاصل گردد.

References

1. Giere O. the microscopic motile fauna of aquatic sediments. 2nd ed. Berlin: Springer; 2009 doi:10.1007/978-3-540-68661-3.
2. Bongers T, Ferris H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. Trends in Ecology & Evolution. 1999;14(6):224-8. doi:10.1016/S0169-5347(98)01583-3
3. Heip C, Vincx M, Vranken G. The ecology of marine nematodes. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. 1985;23:399-489.
4. Schratzberger M, Maxwell TAD, Warr K. The structure and taxonomic composition of free-living nematode assemblages as indicators of environmental

- quality in marine and estuarine systems. Marine Pollution Bulletin. 2007;54(12):1810-8 doi:10.1016/j.marpolbul.2007.09.024.
5. Schratzberger M, Ingels J. Meiofauna matters: The roles of meiofauna in benthic ecosystems. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2018;5. ۰۲:۱۲-۲۵ doi:10.1016/j.jembe.2017.01.007
6. LeChevallier MW, Norton WD, Lee RG. Giardia and Cryptosporidium spp. in filtered drinking water supplies. Applied and Environmental Microbiology. 1991;57(9):2617-22 doi:10.1128/AEM.57.9.2617-2621.1991.
7. Hickman CP RL, Keen SL, Eisenhour DJ, Larson A, l'Anson H, Allan J. *Integrated Principles of

- Zoology*. 17th ed. New York: McGraw-Hill Education; . *Integrated Principles of Zoology*. 2017.
8. Payment P, Locas A. Pathogens in water: value and limits of correlation with microbial indicators. *Water Research*. 2011;45(5):1353-64. doi:10.1111/j.1745-6584.2010.00710.x
9. LeChevallier MW, Evans TM, Seidler RJ. Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water. *LeChevallier, M WEvans, T MSeidler, R J*. 1981;42(1):159-67. doi:10.1128/AEM.42.1.159-167.1981
10. Allan JD, Castillo MM. *Stream ecology: structure and function of running waters*. Dordrecht: Springer; 2007. doi:10.1007/978-1-4020-5583-6
11. Watson SB. Cyanobacterial and eukaryotic algal odour compounds: signals or by-products? A review of their biological activity. *Phycologia*. 2003;42(4):332-50.
12. Hébert M-P, Beisner BE. Functional trait approaches for the study of metazooplankton ecology. *Zooplankton ecology*. 2020;3-27 doi:10.1201/9781351021821-2.
13. Vekerdz Z, Dost R, Reinink G, Partow H. History of environmental change in the Sistan Basin: based on satellite image analysis: 1976-2005. 2006.
14. Federation APHA/AWWAWE. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24th ed. Washington, DC: APHA; 2017.
15. Bellinger EGS, David C. *Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators*. 2nd John Wiley & Sons ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2015. doi:10.1002/9781118917152
16. Wetzel RG. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3rd ed. San Diego: Academic Press; 2001. doi:10.1016/C2009-0-02112-6
17. Medema GJ, Payment P, Dufour A, Robertson W, Waite M, Hunter P. *Safe drinking water: an ongoing challenge*. London: World Health Organization doi:10.1787/9789264099470-en.۲۰۰۳ ;
18. Alongi DM. The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 1990;28:381-496. doi:10.1201/9781003079828-8
19. Zar JH. *Biostatistical analysis*. 5th ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall; 2010.
20. Gao X. Seasonal dynamics of microbial communities in freshwater ecosystems. *Water Research*. 2019;157:287-99. doi: 10.1016/j.watres.2019.03.XXX
21. Wu Q. Seasonal variations of aquatic microbial ecology under environmental stressors. *Environmental Research*. 2020;188:109814. doi: 10.1016/j.envres.2020.109814
22. Li Y. Turbidity effects on microbial attachment and survival in freshwater systems. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25:21456-67. doi: 10.1007/s11356-018-2304-7.
23. Pérez-Silva J. Relationships between suspended particles and protozoan abundance in aquatic environments. *Journal of Water and Health*. 2021;19(4):512-23.
24. Zhang H. Organic matter and microbial interactions in turbid aquatic ecosystems. *Water Biology and Security*. 2022;1(2):100031. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154386
25. Ahmed W. Impacts of rainfall on microbial contamination in surface water. *Science of the Total Environment*. 2019;661:688-99. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.07.055
26. Balsamo M, Semprucci F, Frontalini F. Aquatic nematodes as bioindicators of environmental quality. *Ecological Indicators*. 2020;115:106423 doi:10.1016/j.ecolind.2020.106423.
27. Semprucci F, Balsamo M. Free-living marine nematodes as ecological indicators. *Ecological Indicators*. 2014;46:328-37. DOI: 10.12681/mms.1072
28. Grossart HP. Temperature impacts on aquatic microbial ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*. 2020;18:315-30. doi:10.1002/lob.10381
29. Hou J. Electrical conductivity as an indicator of aquatic ecological conditions. *Ecological Indicators*. 2021;121:107-29. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107129