

DOI: 10.22092/irm.2022.358094



نامه علمی

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۴/۲۵

دیاتومه‌های نشانگر آلودگی آلی و معدنی در رودخانه دماوند (البرز مرکزی)، ایران

سمیه خیری*

چکیده

دیاتومه‌ها نشانگرهای خوبی برای بررسی کیفیت آب در رودخانه‌ها شناخته شده‌اند. از این رو، از ترکیب جمعیت و فراوانی دیاتومه‌ها به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی کیفیت آب در مطالعات پایش آب در کشورهای مختلف استفاده می‌شود. در کشور ایران، مطالعات اندکی پیرامون استفاده از دیاتومه‌ها در بررسی کیفیت آب انجام شده است. لازم است این مطالعات، شناخت دیاتومه‌های نشانگر و توان مقاومت گونه‌ها به آلودگی است. در مطالعه پیش رو، به‌منظور شناخت دیاتومه‌های نشانگر آلودگی، تغییرات فصلی ترکیب دیاتومه‌ها از بالادست (آلودگی کم) تا پایین‌دست (آلودگی بسیار زیاد) رودخانه دماوند در سال‌های ۱۳۹۶-۹۷ مطالعه شد. مطالعه فراوانی نسبی و حضور گونه‌ها در طول رودخانه نشان داد، تعدادی از گونه‌ها حساس به آلودگی هستند. این گونه‌ها در بالادست رودخانه به‌صورت غالب مشاهده شدند و در ایستگاه‌های پایین‌دست به‌صورت نادر حضور داشتند و در آلودگی‌های بسیار بالا از ترکیب جمعیتی حذف شدند. تعدادی از گونه‌ها مقاومت متوسطی نسبت به آلودگی داشتند، به‌طوری‌که در میان‌دست رودخانه به بالاترین فراوانی رسیدند و در پایین‌دست رودخانه از فراوانی آنها بسیار کاسته شد. مقاوم‌ترین گونه‌ها در پایین‌دست رودخانه، که سطح آلودگی بسیار بالایی داشت، به‌صورت غالب ظاهر شدند. داده‌های این تحقیق می‌تواند پایه‌ای برای مطالعات پایش آب بر مبنای دیاتومه‌ها در منطقه البرز مرکزی باشد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، دیاتومه، آلودگی، نشانگر، رودخانه دماوند

Diatoms as indicators of organic pollution and nutrient enrichment in the Damavand River, Central Alborz, Iran

Somayyeh Kheiri*

Abstract

Diatoms are well-known indicators of water quality in rivers. Therefore, the composition and abundance of diatoms are used as a tool to monitor rivers in different countries. In Iran, few studies have been conducted on biomonitoring the rivers using diatoms. For diatom-based water quality assessment, it is necessary to determine the characteristic diatom species and the pollution tolerance level of the species. The present study investigates the indicator diatom assemblage from upstream (least polluted) to downstream (most polluted) stations along the Damavand River at different seasons from 2017 to 2019. The study of relative abundance and presence of species along the river showed that several species, sensitive to pollution, were dominant upstream. However, they were present as rare species and disappeared at high pollution levels in downstream stations. Several species had moderate resistance to pollution. Therefore, they reached the highest abundance in the river's middle course, and their abundance was highly reduced downstream. The most resistant species appeared in the lower reaches of the river, which had a very high level of pollution. This research introduces the indicator species of diatoms and their pollution tolerance in the Damavand water basin. Thus, this study can be a baseline for diatom-based water quality monitoring at aquatic resources in Central Alborz.

Keywords: Water quality, Diatom, pollution, indicator, Damavand River.

*- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: kheiri@rifr-ac.ir

*- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
E_mail: Kheiri@rifr-ac.ir



● مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان منبع تأمین آب برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی از دیرباز اهمیت بسزایی برای انسان داشته‌اند. توسعه شهری و گردشگری و به دنبال آن ایجاد آلودگی‌های مختلف در رودخانه‌ها تأثیر زیادی بر کاهش کیفیت آب و از دست رفتن یکپارچگی آن داشته است. از این رو، سازمان حفاظت محیط زیست به صورت دوره‌ای، کیفیت آب رودخانه‌ها را در ایران پایش و بررسی می‌کند. مهم‌ترین ابزار پایش در این سازمان، فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب هستند. سازمان محیط زیست ایران برای بررسی میزان آلودگی آب‌های سطحی شاخص IRWQsc را به کار می‌برد و برای محاسبه آن از مجموعه‌ای از پارامترهای شیمیایی شامل نیترات، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیک، آمونوم، فسفات، سختی کل، pH، میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی و پارامتر میکروبی مانند تعداد کلیفرم مدفوعی و پارامتر فیزیکی کدورت آب استفاده می‌کند (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۴۰۱).

اطلاعاتی که از اندازه‌گیری این عوامل محیطی در نقاط نمونه‌برداری به دست می‌آید، اطلاعات لحظه‌ای در خصوص کیفیت آب هستند که تحت تأثیر تغییرات شرایط هیدرولوژیکی رودخانه‌ها، تغییر می‌کنند. بنابراین، داده‌های به‌دست آمده برای بررسی کیفیت آب کافی نیستند. همچنین آزمایش‌های شیمیایی که برای اندازه‌گیری این پارامترها انجام می‌شوند هزینه بر هستند و انجام آنها نیاز به صرف زمان زیادی دارد. در مقابل، نشانگرها و شاخص‌های زیستی ویژگی‌هایی دارند که آنها را به عنوان ابزار مناسبی برای بررسی کیفیت آب معرفی می‌کند. از جمله این که آثار آلاینده‌ها را در درازمدت نشان می‌دهند، به کارگیری آنها ارزان قیمت و نمونه‌برداری و کاربری آنها آسان است (پیرعلی زفرئی و ابراهیمی درجه، ۱۳۹۵).

دیاتومه‌ها یکی از نشانگرهای زیستی و از گروه جلبک‌های تک‌سلولی اکوسیستم‌های آبی با رنگیزه‌های کلروفیل a و c هستند و همواره به دلیل پاسخ سریع به تغییرات محیطی آب از جمله

آلودگی‌های آلی و معدنی، کوتاه بودن چرخه زندگی، تنوع بالا و پراکنش وسیع جغرافیایی از بهترین شاخص‌های زیستی در اکوسیستم‌های آبی دنیا بوده‌اند (Patrick & Reimer, 1966; Rott, 1991; Potapova & Charlisle, 2011).

کشورهای اتحادیه اروپا پیشینه خوبی در مطالعه و شناسایی جوامع دیاتومه‌ها و بررسی کیفیت آب براساس ترکیب جوامع دیاتومه‌ها داشته‌اند و سال‌هاست به اهمیت دیاتومه‌ها به عنوان شاخص زیستی پی برده‌اند. از این رو در اروپا، محققان برای رسیدن به کیفیت بالا در آب مطابق با دستورالعمل آب WFD (۲۰۰۰)، به پژوهش و شناسایی گونه‌های نشانگر آلودگی پرداخته‌اند و شاخص‌های مختلفی را از دیاتومه‌ها ارائه کرده‌اند (Van Dam et al., 1994; Lamparelli, 2004; Kelly & Whitton, 1995; Rott et al., 1999; al., 1997; Rott et al., 1999). سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US-EPA) همچنین، در برنامه‌های خود برای ارزیابی تمامیت زیستی اکوسیستم‌ها و نیز به منظور بررسی کیفیت آب و وضعیت اکوسیستم‌های آبی از دیاتومه‌ها به عنوان شاخص زیستی استفاده می‌کند (Yoder & Barbour, 2009 USE-PA, 2002; Davis & Simon, 1995).

آلودگی‌های آلی یکی از عوامل مهم در کاهش کیفیت آب است، این آلودگی‌ها ناشی از ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری به رودخانه‌ها هستند که با اندازه‌گیری مقادیر کاهش میزان اکسیژن و افزایش مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی می‌توانند بررسی شوند. مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی نشان‌دهنده میزان اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد آلی موجود در فاضلاب است که توسط میکروارگانیسم‌های هوازی مصرف می‌شود.

مطالعات پیشگام روی کاربرد دیاتومه‌ها در بررسی کیفیت آب در آلودگی آلی توسط دانشمند آلمانی، Lange-Bertalot (۱۹۷۹) و در دو رودخانه اصلی آلمان (راین و مین) به صورت فصلی انجام شد. او با بررسی فراوانی نسبی گونه‌های معرف یا نشانگر در سایت‌های مختلف با درجات متفاوتی از میزان آلودگی، دیاتومه‌ها را به سه گروه بسیار مقاوم، تاحدی مقاوم و نسبتاً حساس تقسیم‌بندی کرد.

اهمیت کاربرد دیاتومه‌ها به عنوان ابزار کیفی آلودگی آلی در آب به قدری زیاد است که محققان ژاپنی توانستند با بررسی ارتباط بین دیاتومه‌های سنگ‌روی و میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، شاخصی از دیاتومه‌ها برای آلودگی آلی آب تعریف کنند. همچنین، این محققان نشان دادند، شاخص دیاتومه، همبستگی زیادی با هدایت الکتریکی آب دارد. به گونه‌ای که هرچه قدر هدایت الکتریکی بیشتر باشد، شاخص دیاتومه عدد کمتری را نشان می‌دهد که نشانه آلودگی بیشتر است (Watanabe et al., 1986).

در ادامه مطالعات، Van dam و همکاران (۱۹۹۴) با مطالعه ۷۷۶ گونه دیاتومه آب‌های شیرین در مقیاس وسیع در هلند، درجه حساس بودن گونه‌ها را به میزان شوری، مواد مغذی، نیاز به اکسیژن و مقاومت به آلودگی آلی مشخص کردند و براساس مقاومت گونه‌ها به آلودگی آلی، پنج گروه گونه‌های بسیار حساس به آلودگی، حساس به آلودگی، تاحدی مقاوم به آلودگی، مقاوم به آلودگی و مقاوم به آلودگی زیاد را تعریف کردند (جدول ۱).

Kelly و همکاران (۱۹۹۵)، با بررسی حضور و فراوانی گونه‌ها در ایستگاه‌های قبل و بعد از تخلیه فاضلاب به معرفی گونه‌های نشانگر پرداختند و براین اساس شاخصی از دیاتومه‌ها با عنوان TDI را برای بررسی کیفیت آب تعریف کردند.

با وجود اهمیت دیاتومه‌ها در مطالعات کیفی آب در ایران، اطلاعات کمی در خصوص بررسی کیفیت آب براساس دیاتومه‌ها وجود دارد (Moghadam, Atazadeh et al., 2007). 1975؛ پورحیدر خورشکوردی و همکاران، ۱۳۹۳؛ خیری و همکاران، ۱۳۹۷؛ خیری، ۱۳۹۸؛ خیری، ۱۴۰۰. Moghadam (۱۹۷۵) با مطالعه جوامع دیاتومه‌های رودخانه زاینده‌رود در ایستگاه‌هایی با درجات مختلف آلودگی آلی در طول رودخانه نشان داد، فراوانی گونه‌های مقاوم به آلودگی در ایستگاه نزدیک به تخلیه فاضلاب افزایش می‌یابد. Atazadeh و همکاران (۲۰۰۷) ارتباط شاخص دیاتومه TDI را با عوامل فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی تغذیه‌گرایی در رودخانه قره‌سو در غرب ایران مطالعه کردند و نشان دادند، بالادست رودخانه قره‌سو، که در معرض آلودگی آلی

بسیار کمی است، از پایین دست رودخانه، که آلودگی آلی زیادی دارد، براساس ترکیب جوامع دیاتومه‌ای متفاوت جدا می‌شود، به گونه‌ای که چهار گونه غالب مختص بالادست و هفت گونه غالب مختص پایین دست رودخانه است. پورحیدرخشکرودی و همکاران (۱۳۹۳) با مطالعه شاخص تروفیکی و سابروبیوتی دیاتومه‌ها در رودخانه بابلسر، توانستند جنس‌های مقاوم و حساس دیاتومه‌ها به آلودگی را از همدیگر جدا کنند، آنها همبستگی بالایی را بین فراوانی و نوع جنس‌ها با غلظت نیترات، میزان هدایت الکتریکی و اسیدیته در طول رودخانه مشاهده کردند. خیری و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای بر فلور دیاتومه‌های رودخانه ماربره، حضور پررنگ تعدادی از گونه‌ها را در ایستگاه‌های نزدیک به پرورش ماهی گزارش و اظهار کردند، حضور این گونه‌ها نشان‌دهنده مقاومت گونه‌ها به مقادیر مختلف آلودگی آلی است. خیری (۱۳۹۸) در پژوهش دیگری با بررسی ارتباط گونه‌های دیاتومه با کیفیت آب رودخانه کرج، ۱۸ گونه جهان‌وطنی و یک گونه بومی غالب را از رودخانه کرج گزارش کرد، همچنین، با بررسی فصلی فراوانی نسبی گونه‌ها در ایستگاه‌های مختلف با مقادیر مختلف آلودگی آلی و معدنی، گونه‌های شاخص آلودگی را معرفی کرد و با مقایسه توان مقاومت این گونه‌ها با نتایج تحقیقات انجام‌شده در اروپا، روسیه و ایالات متحده آمریکا به این نتیجه رسید که تعدادی از گونه‌ها توان

مقاومت متفاوتی در برابر آلودگی نشان می‌دهند. درنهایت او به لزوم انجام مطالعات بیشتر در زمینه بررسی رفتار دیاتومه‌ها در آلودگی‌های مختلف در رودخانه‌ها تأکید کرد با این هدف که گونه‌های نشانگر در سطوح مختلف آلودگی در حوضه‌های آبریز کشور شناسایی شوند. همچنین، مطالعات موردی نیز در خصوص دیاتومه‌های نشانگر وجود دارد که گونه حساس به آلودگی آلی (خیری، ۱۴۰۰)، یا گونه مهاجم (خیری، ۱۳۹۹) در رودخانه‌های البرز مرکزی را معرفی کرده است.

این مطالعه، قسمتی از داده‌های تنوع زیستی دیاتومه‌ها در رودخانه دماوند است که تغییرات فصلی جوامع دیاتومه‌ها را در ایستگاه‌های بالادست تا پایین دست، در مقادیر مختلف آلودگی نشان می‌دهد. داده‌های مربوط به فلور دیاتومه‌ای رودخانه دماوند در مقاله دیگری ارائه خواهد شد. رودخانه دماوند، یکی از رودخانه‌های مهم استان تهران است که برای مصارف کشاورزی و شرب ساکنین منطقه دماوند حائز اهمیت است. با این وجود، کیفیت آب در مناطقی تحت تأثیر پساب‌های کشاورزی، فضولات دامی و فاضلاب شهری تنزل یافته است. با توجه به اهمیت دیاتومه‌ها در کیفیت آب، این مطالعه با هدف بررسی و معرفی دیاتومه‌های معرف در شیب آلودگی آلی و معدنی رودخانه دماوند انجام شده است و توانایی مقاومت این گونه‌ها را در برابر آلودگی

با نتایج محققان دیگر در ایران و جهان مقایسه می‌کند و اهمیت دیاتومه‌ها را به‌عنوان ابزاری در مطالعات پایش کیفی آب خاطر نشان می‌کند.

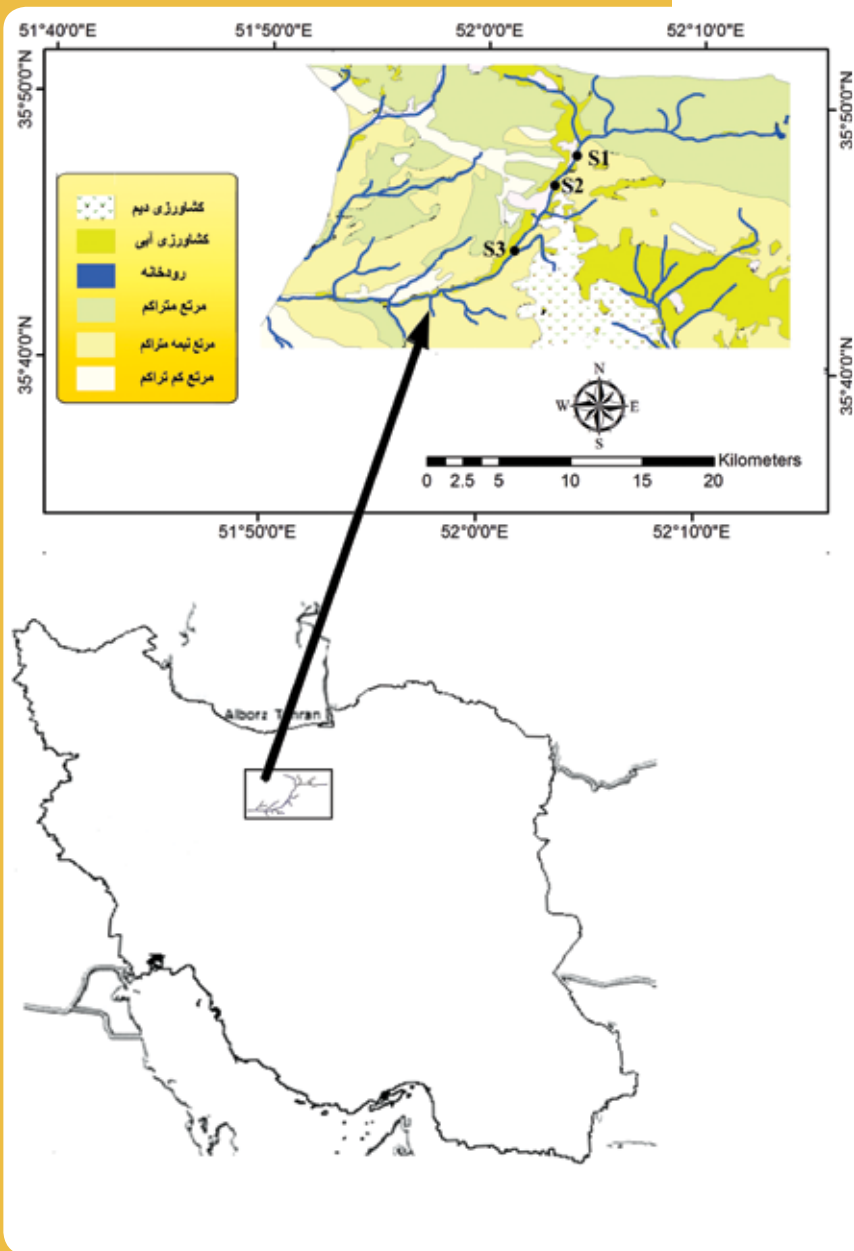
● اقدامات و یافته‌ها

موقعیت محل نمونه‌برداری

رودخانه دماوند از رودخانه‌های دائمی حوضه آبریز دماوند در شمال شرق استان تهران است. سرشاخه آن، رودخانه تار و ارتفاعات قره‌داغ است. رودخانه تار در مسیر حرکت خود در شمال شهرستان دماوند با رودخانه بار یکی می‌شود و رودخانه دماوند را تشکیل می‌دهد. رودخانه دماوند در مسیر خود از بالادست از مناطقی مانند تیزاب، چشمه اعلا و روح‌افزا عبور می‌کند و به سمت پایین دست به سمت روستاهای حصار پایین و مرا روانه می‌شود و بعد از مخلوط شدن با چند ریزابه مانند سیاهرود در یوردشاه به جاجرود می‌ریزد. این رودخانه درنهایت به دریاچه نمک قم می‌ریزد (جعفری، ۱۳۷۹). در نقشه کاربری اراضی منطقه دماوند، حضور مراتع و زمین‌های کشاورزی در اطراف رودخانه دماوند به‌خوبی مشخص شده است (شکل ۱). پساب‌های کشاورزی و فضولات دام در مراتع به‌عنوان منابع اصلی آلوده‌کننده رودخانه به‌شمار می‌روند. رودخانه دماوند با ورود به شهر دماوند مقادیری از فاضلاب شهری را نیز دریافت می‌کند. از این رو، میزان آلودگی آلی و معدنی در طول رودخانه به

جدول ۱- درجه مقاومت دیاتومه نشانگر به آلودگی آلی و ارتباط آن با درجه کیفیت آب براساس طبقه‌بندی Van dam و همکاران (۱۹۹۴)

درصد اکسیژن	میزان اکسیژن خواهی بیولوژیک میلی گرم بر لیتر	درجه کیفیت آب	سطح کیفیت آب	دیاتومه نشانگر
>۸۵	<۲	I, I-II	عالی	بسیار حساس به آلودگی آلی
۷۰-۸۵	۲-۴	II	خوب	حساس به آلودگی آلی
۲۵-۷۰	۴-۱۳	III	متوسط	تا حدی مقاوم به آلودگی آلی
۱۰-۲۵	۱۳-۲۲	IV	بد	مقاوم به آلودگی آلی
<۱۰	>۲۲	V	خیلی بد	بسیار مقاوم به آلودگی آلی



سمت پایین پیوسته در حال افزایش است. Fatemi و Khoramnejadian (۲۰۱۶) میزان کلی فرم مدفوعی و مقادیر نیترات و میزان آلودگی آلی ناشی از فضولات حیوانی و فاضلاب‌های شهری را در ایستگاه‌های مختلف در امتداد رودخانه دماوند اندازه‌گیری کردند، و گزارش کردند که کمترین میزان آلودگی نیترات و آلودگی میکروبی در ایستگاه روح‌افزا، متوسط مقادیر آلودگی در ایستگاه فرامه و بیشترین آلودگی در ایستگاه مرا وجود دارد. ایستگاه‌های مطالعاتی موردنظر در این تحقیق شامل ایستگاه‌های روح‌افزا، فرامه و مرا در مجاورت مکان‌هایی قرار گرفته‌اند که مشخصات میکروبی و شیمیایی آنها توسط Khoramneja- Fatemi و dian (۲۰۱۶) اندازه‌گیری و گزارش شده است. طبق مطالعات این پژوهشگران، ایستگاه روح‌افزا دارای کمترین آلودگی آلی و معدنی است و آلودگی به سمت ایستگاه‌های فرامه و مرا در حال افزایش است. با در دست داشتن این اطلاعات و به دلیل موقعیت مکانی روح‌افزا در بالادست منطقه دماوند و نیز دور بودن از شهر، این ایستگاه به‌عنوان ایستگاه شاهد انتخاب شد. ایستگاه فرامه به‌عنوان ایستگاه میان‌دست با آلودگی معدنی بالا و آلودگی آلی متوسط و ایستگاه مرا با آلودگی معدنی و آلی بالا به‌عنوان ایستگاه پایین‌دست در نظر گرفته شد (شکل‌های ۱ و ۲).

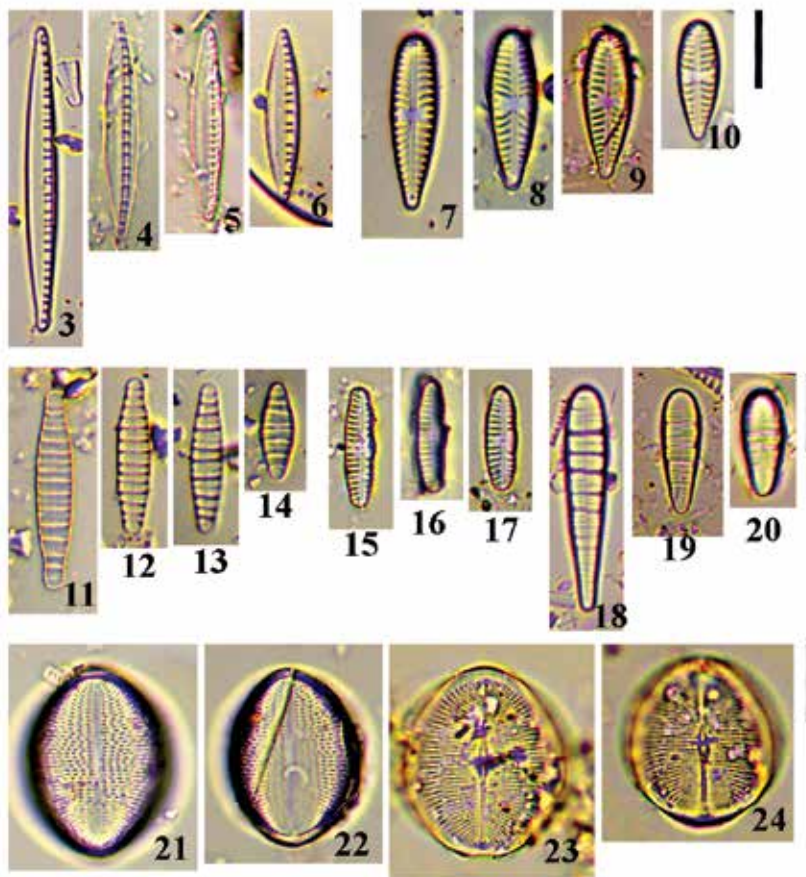
● نمونه‌برداری میدانی و کارهای آزمایشگاهی

برای جمع‌آوری دیاتومه‌ها، سطح سنگ‌های بستر رودخانه با کمک مسواک ساییده شد. نمونه‌ها به‌صورت فصلی در ماه‌های تیر و شهریور ۱۳۹۶

شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری، حوضه آبریز رودخانه دماوند
S1 ایستگاه روح‌افزا، S2 ایستگاه فرامه و S3 ایستگاه مرا



شکل ۲- ایستگاه‌های نمونه‌برداری، الف- ایستگاه روح‌افزا، ب- ایستگاه فرامه، ج- ایستگاه مرا



و ماه‌های آبان و اسفند ۱۳۹۷ از پایین‌دست تا بالادست رودخانه جمع‌آوری شدند. از هر ایستگاه دو برداشت و در کل، تعداد ۲۴ نمونه تهیه شد. نمونه‌ها ابتدا به مدت یک شبانه‌روز در اسیدکلریدریک ۱۰ درصد قرار گرفتند تا مواد معدنی آنها زدوده شود. سپس با پراکسید هیدروژن ۳۷ درصد به مدت ۴ تا ۸ ساعت جوشانده شدند تا کلروفیل و رنگیزه‌های سلول‌ها از بین برود. در نهایت، از محلول سوسپانسیون دیاتومه روی لام‌ها تزریق شد و لام‌ها با چسب نفاکس روی هات پلیت دائمی شدند. برای اندازه‌گیری فراوانی نسبی گونه‌ها، ۴۰۰ والو از کل گونه‌ها در هر لام شمارش و در نهایت، فراوانی نسبی هر گونه به درصد محاسبه شد. والوهای دیاتومه‌ها با میکروسکوپ نوری الپوس مدل BX53 با بزرگنمایی ۱۰۰۰ بررسی و با دوربین الپوس DP72 عکسبرداری شدند (شکل‌های ۲۴-۳). نمونه‌ها براساس کتاب‌های فلور اروپا و آمریکا Patrick & Reimer, 1966; 1975; Krammer & Lange-Bertalot, (1991; 1988; Hofmann *et al.*, 2011) شناسایی شدند. نمونه‌های آب نیز هم‌زمان با نمونه‌های دیاتومه در محل برداشت و اطلاعات محیطی مانند میزان دمای آب در همان محل اندازه‌گیری شدند. فاکتورهای شیمیایی نمونه‌های آب نیز در آزمایشگاه خاک و آب در محل مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

شکل‌های ۳ تا ۲۴- عکس میکروسکوپ نوری از نمای والوی گونه‌های دیاتومه رودخانه دماوند، (100X)، مقیاس ۱۰ میکرون.

۳-۶ *Nitzschia dissipata* ۷-۱۰ *Gomphonella olivacea* ۱۱-۱۴ *Diatoma moniliformis*
 ۱۵-۱۷ *Reimeria sinuata*
 ۱۸-۲۰ *Meridion circulare* ۲۱-۲۴ *Cocconeis pediculus*

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها و میانگین مقادیر فاکتورهای محیطی در فصول مختلف

Na		K		SO4		pH		EC		دما		ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی	نام و شماره ایستگاه
mg/L		mg/L		mg/L				µS/cm		(C°)				
فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم			
۱۰	۱۳	۱/۶	۳/۳	۲۵	۴۴	۷/۱	۸	۵۰۰	۵۰۰	۱	۲۰	۱۷۲۹	35°39'01.5"N, 52°01'03.7"E	مرا S3
۸/۷	۳/۷	۱/۷	۱/۶	۲۳	۴۴	۷/۱	۷/۷	۴۰۰	۳۵۰	۱	۲۰	۱۹۶۷	35°42'03.6"N, 52°03'36.0"E	فرامه S2
۴/۷	۲/۳	۱	۱/۴	۲۴	۳۶	۸/۳	۷/۷	۴۰۰	۱۵۰	۱	۱۹/۲	۲۰۰۷	35°43'39.6"N, 52°05'04.0"E	روح افزا S1



● نتیجه گیری نهایی، بحث و پیشنهادها

این پژوهش، دیاتومه های نشانگر در رودخانه دماوند را بررسی و توان مقاومت آنها را به آلودگی های آلی و معدنی شدید ارزیابی می کند. مطالعه فصلی فراوانی نسبی جمعیت دیاتومه های رودخانه دماوند نشان داد، شش گونه از دیاتومه ها شامل

Reimeria sinuata (W.Gregory) Kociolek، *Diatoma moniliformis* Kützing، *Gomphonella olivacea* (Hornemann) Rabenhorst، *Nitzschia dissipata* (Kützing) Rabenhorst و *Cocconeis pediculus* Ehrenb. و *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh به صورت گونه های غالب ظاهر شدند (جدول ۳).

مطالعه تغییرات فراوانی نسبی جمعیت گونه های غالب در سه ایستگاه بالادست، میان دست و پایین دست در طول رودخانه دماوند نشان داد، جمعیت گونه ها با نسبت های مختلفی در سه ایستگاه حضور دارند (جدول ۳). همچنین، بررسی مقادیر عوامل فیزیکوشیمیایی در ایستگاه های مختلف نشان داد، میانگین هدایت الکتریکی و غلظت یون های مانند سولفات، پتاسیم و سدیم به سمت پایین دست رودخانه در حال افزایش است. همان طور که جدول ۲ نشان می دهد، کمترین میزان هدایت الکتریکی در

ایستگاه روح افزا و بیشترین مقدار آن در ایستگاه مراد در طول دوره نمونه برداری مشاهده شد. علت افزایش مقادیر هدایت الکتریکی در طول رودخانه دماوند، افزایش ورود پساب های کشاورزی و فاضلاب خانگی به رودخانه در ایستگاه های پایین دست و به دنبال آن افزایش غلظت یون های معدنی است که ترکیبات تشکیل دهنده کودهای شیمیایی و فاضلاب شهری هستند (Khoramnejadian & Fatemi, 2016).

میزان pH در رودخانه دماوند در محدوده ۷/۱ تا ۸ متغیر بود و در کل، مقادیر این عامل محیطی در ایستگاه بالادست رودخانه دماوند نسبت به پایین دست آن در فصل گرم، تغییرات محسوسی نداشت. ولی، میزان pH در ایستگاه های فرامه و مرا، در فصل سرد کمی پایین تر از فصل گرم بود (جدول ۳). عباس پور و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند، ورود مواد معلق، مواد کلئیدی، مواد آلی و رواناب های کشاورزی به رودخانه ها از عوامل مؤثر در تغییرات pH هستند. بنابراین، می توان گفت، ورود آلاینده های اسیدی به رودخانه می تواند عامل کاهش pH در ایستگاه های میان دست و پایین دست رودخانه دماوند باشد. همچنین، بار آلودگی آلی ایستگاه ها نیز از بالادست به پایین دست با ورود زهاب فاضلاب شهری و روستایی به رودخانه بیشتر می شود. بنابراین، ایستگاه ها به سمت پایین دست رودخانه، آلودگی معدنی و آلی بیشتری دریافت می کنند.

براین اساس، حضور و فراوانی نسبی گونه ها در سه قسمت مختلف رودخانه متفاوت بود. گونه های حساس به آلودگی در ایستگاه بالادست، گونه های مقاوم به آلودگی در ایستگاه میان دست و دیاتومه های بسیار مقاوم به آلودگی در ایستگاه پایین دست شناسایی شدند.

در ایستگاه بالادست، جمعیت گونه *Reimeria sinuata* در دو فصل گرم و سرد فراوانی نسبی بیشتری داشت. فراوانی نسبی این گونه از ایستگاه بالادست به میان دست شیب کاهشی داشت و این گونه به صورت نادر (فراوانی نسبی < ۱ درصد) در پایین دست ظاهر شد. بنابراین، این گونه به عنوان گونه نسبتاً حساس به آلودگی معرفی می شود.

در ایستگاه میان دست، گونه های *Diatoma moniliformis* و *Meridion circulare* بیشترین فراوانی نسبی را داشتند. این دو گونه در ایستگاه پایین دست یا به صورت نادر حضور داشتند یا به طور کلی ناپدید شدند. بنابراین، این گونه ها در گروه گونه های مقاوم به آلودگی آلی متوسط و آلودگی معدنی بالا قرار می گیرند. *Nitzschia dissipata*، *Cocconeis pediculus* و *Gomphonella olivacea* بیشترین فراوانی را در ایستگاه پایین دست داشتند و فراوانی آنها به سمت ایستگاه میان دست و بالادست شیب کاهشی بسیار زیادی را نشان می دهد، این گونه ها در مقادیر مواد مغذی بسیار زیاد بهینه رشد خود

جدول ۳- بیشینه و کمینه درصد فراوانی نسبی دیاتومه ها از بالادست تا پایین دست رودخانه دماوند در طول فصول نمونه برداری

گونه ها	روح افزا		فرامه		مرا	
	فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم	فصل سرد	فصل گرم
<i>Cocconeis pediculus</i>	۰-۰/۴۹	۳-۰/۳۱	۰	۰	۰	۸-۰/۶۱
<i>Diatoma moniliformis</i>	۰/۴۸-۱/۱	۰/۱-۲۴/۱۶	۴/۶-۲/۴۶	۱/۲-۶/۳۶	۰	۰/۱-۶/۶۹
<i>Gomphonella olivacea</i>	۰-۰/۴۸	۲-۰/۹	۵/۱۸-۶/۶	۱-۰/۸۳	۳۶-۰/۲۲	۱/۱-۲۳/۶۹
<i>Meridion circulare</i>	۰	۰-۰/۴۸	۰	۱۰-۰/۴۹	۰	۰
<i>Nitzschia dissipata</i>	۰	۱/۱-۱/۷۴	۶-۰/۴۶	۳-۰/۶۷	۲۱-۰/۶۷	۲/۵۴-۹/۲۳
<i>Reimeria sinuata</i>	۳/۴۷-۱۹/۵	۱۵-۴/۹	۰/۸۶-۴/۲	۹-۰/۵	۰-۰/۶۱	۰

Diatoma moniliformis, *Gomphonella*

olivacea و *Nitzschia dissipata* هستند و این گونه‌ها در هر دو رودخانه در ایستگاه‌هایی با آلودگی آلی و معدنی بالا گزارش شده‌اند (خیری، ۱۳۹۸). از سوی دیگر، مقایسه میانگین مقادیر هدایت الکتریکی، سولفات، سدیم و پتاسیم در رودخانه کرج با رودخانه دماوند نشان داد، آلودگی معدنی در رودخانه دماوند بیشتر از رودخانه کرج است. در خصوص آلودگی آلی، هر دو رودخانه در معرض زهاب فاضلاب خانگی هستند و سطح آلودگی آلی در آنها زیاد است (Khoramnejadian & Fatemi, 2016; Kheiri et al., 2018).

مقایسه توان مقاومت گونه‌ها در رودخانه دماوند با نتایج مطالعات پژوهشگران خارجی نشان داد، حساسیت تعدادی از گونه‌ها به مقادیر مواد معدنی و میزان آلودگی آلی متفاوت از داده‌های محققان خارجی بود. *Reimeria sinuata*، در روسیه در آب‌هایی با سطح غذایی کم تا زیاد و در اکوسیستم‌های آبی هلند به صورت گونه‌ای با نیاز غذایی متوسط و حساس به آلودگی آلی معرفی شده است (Kulikovsky et al., 2016; Van dam, 1994; et al., 2009). همچنین، این گونه در ایالات متحده آمریکا به عنوان گونه‌ای بسیار حساس به آلودگی آلی معرفی شده است (Potapova, 2009). داده‌های این تحقیق نشان داد، این گونه توانایی زیست در آب‌هایی با مواد غذایی متوسط و مقادیر آلودگی آلی کم تا حدی متوسط را دارد. از این رو، می‌توان نتیجه‌گیری کرد، سطح مقاومت *Reimeria sinuata* به مواد آلی، کمی بیشتر از گزارش‌های سایر محققان است. با این وجود، میزان مقاومت این گونه به مقادیر مواد معدنی با نتایج این پژوهشگران مطابقت دارد. در اکوسیستم‌های آبی اروپا، مقاومت *Diatoma moniliformis* به میزان بالا ذکر شده است (Hofmann, 2011; et al., 2012; Bık et al., 2011). این گونه در ایالات تگزاس و کنتاکی آمریکا به عنوان گونه‌ای با سطح مقاومت متوسط به آلودگی آلی گزارش شده است (Muscio, 2002). نتایج این پژوهش، در مورد سطح مقاومت *Diatoma moniliformis* به آلودگی آلی با مطالعات Muscio (2002) و در خصوص مقاومت به مقادیر

بر اساس دیاتومه‌ها انجام شده است (Mogha-dam, 1975; Atazadeh et al., 2007). پورحیدرخشک‌رودی و همکاران، ۱۳۹۳؛ خیری و همکاران، ۱۳۹۷؛ خیری (۱۳۹۸) نشان داد، تعدادی از گونه‌های غالب در دو رودخانه کرج و ماربره مشترک هستند. از جمله *Nitzschia dissipata* و *Cocconeis pediculus* گونه‌هایی بودند که در تمام ایستگاه‌ها به ویژه ایستگاه‌های نزدیک به زمین‌های کشاورزی در روستا و نزدیک به پرورش ماهی گزارش شده‌اند که این ایستگاه‌ها با ورود پساب‌های کشاورزی و پرورش ماهی، درجاتی از آلودگی معدنی و آلی را دریافت می‌کردند و حضور بالای این دو گونه در این ایستگاه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت بالای این دو گونه به آلودگی معدنی و آلی باشد. *Meridion circulare* به عنوان گونه‌ای با پراکنش فصلی در فصل سرد و از ایستگاه اول نمونه‌برداری در رودخانه ماربره گزارش شده است که این ایستگاه، به دلیل فاصله از روستا و مراکز پرورش ماهی مقادیر آلودگی معدنی و آلی کمتری داشته است. چنین به نظر می‌رسد که حضور این گونه در ایستگاهی با مقادیر آلودگی کمتر می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت این گونه به مقادیر متوسط آلودگی آلی و معدنی باشد که در این صورت، داده‌های خیری و همکاران (۱۳۹۷) می‌تواند با نتایج این تحقیق هم‌سو باشند. گونه‌های *Diatoma moniliformis* و *Gomphonella olivacea* نیز جزو گونه‌هایی بودند که از رودخانه ماربره گزارش شدند، ولی به عنوان گونه غالب حضور نداشتند. علاوه بر این، اطلاعاتی در خصوص پراکنش فصلی و مکانی این گونه‌ها در رودخانه ماربره ارائه نشده است. از این رو، مقایسه‌ای در خصوص مقاومت این گونه‌ها به آلودگی با داده‌های این تحقیق انجام نشده است. لک‌زایی و همکاران (۱۳۹۷)، گونه‌های *Nitzschia dissipata*، *Cocconeis pediculus*، *Meridion circulare* و *Diatoma moniliformis* را جزو گونه‌های مقاوم به آلودگی در رودخانه چهل‌چای معرفی کردند، ولی در خصوص توان مقاومت این گونه‌ها در برابر آلودگی اطلاعاتی را ارائه نکردند. مقایسه ترکیب گونه‌ای در رودخانه دماوند (پژوهش پیش‌رو) با تنوع گونه‌های غالب رودخانه کرج نشان داد، دو رودخانه شامل گونه‌های غالب مشترک

را دارند. بنابراین، در گروه گونه‌های مقاوم به آلودگی معدنی شدید و آلودگی آلی بالا به‌شمار می‌آیند. شیب تغییرات فراوانی نسبی گونه‌ها از بالادست به پایین دست رودخانه نشان داد، گونه‌های حساس به آلودگی در حضور گونه‌های مقاوم به آلودگی در ایستگاه‌های آلوده به صورت گونه نادر حضور پیدا می‌کنند و در سایت‌های بسیار آلوده حذف می‌شوند و این نشانه بدتر شدن کیفیت آب است (جدول ۳). Lange-Bertalot (۱۹۷۹) در مطالعه‌ای روی فراوانی نسبی جوامع دیاتومه‌ها در برابر آلودگی آلی و معدنی در طول رودخانه راین و مین آلمان گزارش کرد، با وجود اینکه داده‌های فیزیکوشیمیایی در بیشتر ایستگاه‌ها تغییرات محسوسی نشان ندادند، تغییرات جوامع دیاتومه بسیار بارز بود و گونه‌های نسبتاً حساس به آلودگی در ایستگاه‌های بسیار آلوده حذف شدند. داده‌های تحقیق پیش‌رو، در خصوص رفتار گونه‌های حساس و مقاوم به آلودگی با نتایج Lange-Bertalot (۱۹۷۹) مطابقت دارد. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات سایر محققان در ایران روی پراکنش گونه‌ها نشان داد، *Diatoma moniliformis* و *Nitzschia dissipata* در رودخانه کرج، رودخانه ماربره (غرب ایران)، رودخانه چهل‌چای (شمال ایران) و رودخانه بالیخلو (شمال غرب ایران)، *Gomphonella olivacea* در رودخانه‌های کرج و چهل‌چای، *Cocconeis pediculus* در رودهای رامسر و رودخانه ماربره و *Meridion circulare* در رودخانه ماربره به صورت غالب ظاهر شدند (خیری و همکاران، ۱۳۹۷؛ لک‌زایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Panahy-Mirzahasanlou et al., 2020; Soltanpour-Gargari; Kheiri et al., 2018; et al., 2011). همچنین در بررسی اکولوژیکی تعدادی از دیاتومه‌ها در رودخانه چهل‌چای و بالیخلو، ارتباط بین عوامل فیزیکوشیمیایی آب با گونه‌های *Gomphonella olivacea*، *Diatoma moniliformis* و *Nitzschia dissipata* و *Diatoma moniliformis* ارائه شده است، ولی اطلاعاتی در خصوص ارتباط گونه‌ها با مقادیر آلودگی آب ذکر نشده است (لک‌زایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Panahy-Mirzahasanlou et al., 2020). مقایسه نتایج گونه‌ها با تحقیقات معدودی که در خصوص بررسی کیفیت آب در ایران



آلودگی معدنی با نتایج Baq و همکاران (۲۰۱۲) و Hofmann و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. *Gomphonella olivacea* در اروپا به عنوان گونه‌ای حساس به آلودگی آلی و مقاوم به مقادیر زیاد مواد معدنی در اکوسیستم‌های آبی معرفی شده است (Van-Hofmann et al., 2011; dam et al., 1994). نتایج پژوهش پیش‌رو، *Gomphonella olivacea* را به عنوان گونه‌ای با سطح مقاومت بالای آلی و معدنی معرفی می‌کند، از این رو با مطالعات این محققان در خصوص مقاومت به آلودگی آلی مغایرت دارد. *Meridion circulare* در مطالعات Van dam و همکاران (۱۹۹۴) به عنوان گونه‌ای حساس به آلودگی آلی و مقاوم به آلودگی معدنی معرفی شده است. ولی در مطالعات Muscio (۲۰۰۲) به صورت گونه‌ای مقاوم به آلودگی آلی و مقاوم به سطح متوسطی از مقادیر مواد معدنی گزارش شده است. نتایج این پژوهش، با داده‌های Muscio (۲۰۰۲) در خصوص مقاومت به آلودگی آلی و با نتایج Van dam و همکاران (۱۹۹۴) در خصوص مقاومت به آلودگی معدنی مطابقت دارد. *Nitzschia dissipata* در هلند به عنوان گونه‌ای حساس به آلودگی آلی و مقاوم به سطح متوسطی از مواد معدنی معرفی شده است (Van dam et al., 1994). از سوی دیگر، این گونه در اکوسیستم‌های آبی سایر کشورهای اروپایی به عنوان گونه‌ای با نیاز تغذیه‌ای متوسط تا زیاد معرفی شده است که در اکوسیستم‌هایی با مواد معدنی کم ناپدید می‌شود (Hofmann et al., 2011). در این مطالعه، این گونه در مقادیر بالای آلودگی آلی و مواد معدنی به اوج فراوانی رسید. از این رو، داده‌های این تحقیق با مطالعات Hofmann و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. *Cocconeis pediculus* در اکوسیستم‌های آبی آمریکا به عنوان گونه‌ای مقاوم به آلودگی آلی گزارش شده است (Grubagh & Potapova, 2012). این گونه در هلند به عنوان گونه‌ای حساس به آلودگی آلی و مقاوم به آلودگی معدنی ذکر شده است. همچنین، پژوهشگران روسی *Cocconeis pediculus* را گونه‌ای قلیادوست معرفی کردند که توانایی زیست در آب‌هایی با مواد معدنی بالا دارد (Kulikovsky et al., 2016). نتایج این پژوهش نشان داد،

Cocconeis pediculus گونه‌ای مقاوم به آلودگی آلی و معدنی است. بنابراین، داده‌های این مطالعه با مطالعات Potapova و Grubagh (۲۰۱۲) و Kulikovskiy و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

پژوهش پیش‌رو دومین مطالعه پیرامون بررسی تغییرات جمعیت گونه‌های دیاتومه در مقادیر مختلف آلودگی در رودخانه‌های البرز مرکزی با هدف افزایش آگاهی در خصوص سطح مقاومت گونه‌های دیاتومه در برابر آلودگی در رودخانه‌های آب شیرین در ایران است. همچنین، مطالعه تغییرات جمعیت گونه‌های غالب دیاتومه‌ها در مقادیر مختلف آلودگی در رودخانه دماوند، به درک ما در شناسایی دیاتومه‌های نشانگر کمک می‌کند و اطلاعات پایه‌ای را برای استفاده از این گونه‌ها در طرح‌های پایش آب‌های شیرین در اختیار می‌گذارد. از آنجایی که شاخص‌های مختلفی از دیاتومه‌ها در کشورهای مختلف بر مبنای توان مقاومت آنها در برابر آلودگی تهیه شده است و دیاتومه‌ها به عنوان ابزار زیستی مطلوب در مطالعات کیفیت آب در سازمان حفاظت محیط‌زیست در کشورهای مختلف به صورت وسیع استفاده می‌شوند، پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری روی ساختار جمعیت دیاتومه‌ها در رودخانه‌های مختلف آب شیرین در کشور انجام شود تا اطلاعات بیشتری پیرامون رفتار اکولوژیک گونه‌های نشانگر و نیز شناسایی گونه‌های بومی آنها به دست آید. همچنین پیشنهاد می‌شود از متخصصان دیاتومه‌شناس در برنامه‌های پایش آب در سازمان حفاظت محیط‌زیست و نهادهای مرتبط دعوت به همکاری شود و هم‌زمان، داده‌های زیستی به همراه داده‌های شیمیایی برای بررسی کیفیت آب بررسی شوند. با مطالعات بیشتر در خصوص تنوع دیاتومه‌ها در شیب‌های آلودگی در رودخانه‌های کشور، اطلاعات و شناخت ما از دیاتومه‌های نشانگر آلودگی افزایش خواهد یافت و زمینه برای تعریف شاخص زیستی بومی بر مبنای دیاتومه‌ها برای بررسی کیفیت آب رودخانه‌های آب شیرین در ایران فراهم خواهد شد. استفاده از شاخص دیاتومه در برنامه‌های پایش آب از یک سو دقت کار را در بررسی کیفیت آب افزایش خواهد داد و از سوی دیگر می‌تواند جایگزین مناسبی برای آزمایش‌های پرهزینه

شیمیایی در بررسی کیفیت آب در مطالعات آتی پایش آب باشد.

● سپاسگزاری

از کارشناسان محترم آزمایشگاه آب و خاک برای اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب، از سرکار خانم مهندس بیتا سیاوش، کارشناس بخش تحقیقات گیاه‌شناسی برای همراهی در نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌های میدانی و خانم دکتر پروانه عشوری، عضو هیئت‌علمی بخش مرتع مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور برای در اختیار گذاشتن نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دماوند قدردانی می‌شود.

● منابع

- پیرعلی زفره‌ئی، ا. و ابراهیمی درجه، ع.، ۱۳۹۵. معرفی چند شاخص زیستی مناسب برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه. آب و توسعه پایدار، ۲(۳): ۳۵-۴۲.
- پورحیدر خشک‌رودی، ب. جعفری، ن. و تقی‌زاد، ع.، ۱۳۹۳. شناسایی و اکولوژی دیاتومه‌های ایپیلیک رودخانه بابلرود. زیست‌شناسی گیاهی ایران، ۱۶(۱): ۵۶-۴۳.
- جعفری، ع.، ۱۳۷۹. گیتاشناسی ایران، رودها و رودخانه‌های ایران جلد دوم. مکسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، تهران، ۵۶۰ صفحه.
- خیری، س.، توکلی، م. و اوراقی اردبیلی، ز.، ۱۳۹۷. فلور دیاتومه‌های حوضه آبریز دز در لرستان، ایران. پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳(۳۳۱): ۵۷۹-۵۸۶.
- خیری، س.، ۱۳۹۸. دیاتومه‌ها بهترین پایشگرهای زیستی در اکوسیستم‌های آبی. طبیعت ایران، ۴(۴): ۴۷-۳۷.
- خیری، س.، ۱۳۹۹. *Didymosphenia geminata* M. Schmidt تهدیدی برای اکوسیستم رودخانه کرج، البرز مرکزی، ایران. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران، ۱۱(۱): ۹۳-۱۰۱.
- خیری، س.، ۱۴۰۰. *Odontidium mesodon* (Ehrenb.) Kützing گونه‌ای از دیاتومه‌های معرف کیفیت بالای آب‌های شیرین (مطالعه موردی: حوضه آبریز دماوند، ایران). طبیعت ایران، ۶(۲): ۵۵-۶۲.
- سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۴۰۱. استاندارد کیفیت آب. برگرفته از سایت: آب-سطحی. <https://wsm.doe.ir/portal/home/?208567>
- عباس‌پور، م.، جاوید، ا. و حبیبی، ا.، ۱۳۹۲. تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه خراسان و بررسی روند تغییرات سالیانه آن.
- علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۵(۴): ۱۱-۱.
- لک‌زایی، ف.، پناهی میرزاحسنلو، ج.، قلی‌زاده، م. و دانشور، ا.، ۱۳۹۷. بررسی اکولوژیکی دیاتومه‌های

- Monitoring Rivers. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria, pp: 9-16.
- Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. and Pipp, E., 1997. Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 1: Saprobielle Indikation. -Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wasserwirtschaftskataster, Wien, 73p.
- Rott, E., Pipp, E., Pfister, P., Van Dam, H., Ortler, K., Binder, N. and Pall, K., 1999. Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation (sowie geochemische Präferenzen, taxonomische und toxikologische Anmerkungen). Vienna, Austria: Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f.Land-u. Forstwirtschaft, 404 p. (in German)
- Soltanpour-Gargari, A., Lodenius, M. and Hinz, F., 2011. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) from streams in Ramsar, Iran. *Acta Botanica Croatica*, 70(2):167-190.
- USEPA, 2002. Summary of biological assessment programs and biocriteria for states, tribes, territories and interstate commissions: Streams and wadeable rivers (No. EPA-822-R-02-048). U.S. Environmental Protection Agency, office of water. Washington, D.C., ?p.
- Van Dam, H., Mertens, A. and Sinkeldam, J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 26: 117-133.
- Watanabe, T., Asai, K. and Houki, A., 1986. Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage-Diatom Assemblage index (DAI_{po}). *The Science of the Total Environment*, 55: 209-218.
- WFD, 2000. Water Framework Directive – Directive of European Parliament and of the Council 2000/60/EC. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. European Union, the European Parliament and Council, Luxembourg, ? p.
- Yoder, C.O. and Barbour, M.T., 2009. Critical technical elements of state bioassessment programs: a process to evaluate program rigor and comparability. *Environmental monitoring and assessment*, 150:31-42.
- Mittleuropa (Ed.by H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer). Vol. 2/4.G. Fischer Verlag, Stuttgart & New York, 437p.
- Kulikovskiy, M.S., Glushchenko, A.M., Genkal, S.I. and Kuznetsova, I.V., 2016. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl, Russia, 805p. (In Russian).
- Lamparelli, M.C., 2004. Trophic Status in São Paulo State water bodies– evaluation of monitoring methodologies. São Paulo (BR). PhD Thesis– Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, ? p.
- Lange-Bertalot, ?, 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criteria for water quality estimation. *Nova Hedwigia*, 64: 285-304.
- Moghadam, F., 1975. Diatoms as indicators of pollution in Zayandeh River. *Proceedings of Academy of Natural Science of Philadelphia*, 127: 281-297.
- Muscio, C., 2002. The Diatom Pollution Tolerance Index: Assigning Tolerance Values. Watershed Protection Development Review Department, Environmental Resource Management. Austin, 17p.
- Panahy-Mirzahasanolou, J., Ramezanpour, Z., Nejadstarrari, T., Imanpour-Namin, J. and Asri, Y., 2020. Temporal and spatial distribution of diatom assemblages and their relationship with environmental factors in Balikhli River. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 20(1): 102-111.
- Patrick, R.M. and Reimer, C.W., 1966. The Diatoms of the United States. Vol. 1. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 13. Livingston Publishing Company, Pennsylvania, 688p.
- Patrick, R.M. and Reimer, C.W., 1975. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. 2. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 13. Livingston Publishing Company, Pennsylvania, 213 p.
- Potapova, M., 2009. *Reimeria sinuata*. In *Diatoms of North America*. Retrieved June 07, 2022, from https://diatoms.org/species/reimeria_sinuata
- Potapova, M. and Charlisle, D.M., 2011. Development and application of indices to assess the condition of benthic algal communities in U.S. streams and rivers. *Geological Survey. Open-File Report 2011-1126*, 40 p.; available at: <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1126>.
- Rott, E., 1991. Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers. In: Whitton, B.A., E. Rott and G. Friedrich, (Eds.) *Use of Algae for رودخانه چهل چای استان گلستان. بهره‌برداری و پرورش آبزیان*, ۳۷(۳): ۵۱-۴۱.
- Atazadeh, I., Sharifi, M. and Kelly, M.G., 2007. Evaluation of the trophic diatom index for assessing water quality in River Gharasou, western Iran. *Hydrobiologia*, 589:165-173.
- Bąk, M., Witkowski, A., Żelazna-Wieczorek, J., Wojtal, A.Z., Szczepocka, E., Szulc, K. and Szulc, B., 2012. Klucz do oznaczania okrzemek w fitobentosie na potrzeby oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa, 452 p.
- Davis, W.S. and Simon, T.P., 1995. Biological assessment and criteria: Tools for water resource planning and decision making. CRC press, محل نشر, ? p.
- Grubaugh, C. and Potapova, M., 2012. *Cocconeis pediculus*. In *Diatoms of North America*. Retrieved June 09, 2022, from https://diatoms.org/species/cocconeis_pediculus
- Hofmann, G., Werum, M. and Lange-Bertalot, H., 2011. Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflorea Kieselalgen für die ökologische Praxis. Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie. Koeltz Scientific Books. Königstein, 908 p.
- Kheiri, S., Solak C.N., Edlund, M.B., Spaulding, S., Nejadstarrari, T., Asri, Y. and Hamdi, S.M.M., 2018. Biodiversity of diatoms in the Karaj River in the Central Alborz, Iran. *Diatom Research*. 33(3): 355-380.
- Kelly, M.G. and Whitton, B.A., 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of applied ecology*, 7: 433-444.
- Khoramnejadian, Sh. and Fatemi, F., 2016. Assessment of microbiological quality of the River Damavand in Iran by measuring coliform bacteria, nitrate and pH of water in autumn. *Journal of biology and today's world*, 5(4):76-80.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1988. Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Ed. by H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer), Vol. 2/2. G. Fischer Verlag, Stuttgart & New York, 596p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991. Bacillariophyceae, 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*, Gesamtliteraturverzeichnis. In: *Süßwasserflora von*