



DOI: 10.22092/irm.2019.120090

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۱/۲۷  
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۰۵/۰۴

## دیاتومه‌ها، بهترین پایشگرهای زیستی در اکوسیستم‌های آبی

سمیه خیری\*

چکیده

آب اصلی‌ترین فاکتور حیات است و رودخانه‌ها یکی از منابع اصلی شرب هستند. از این رو، پایش کیفی و مدیریت آب رودخانه‌ها به منظور صیانت و سلامت آب آنها بسیار ضروری است. دیاتومه‌ها یکی از بهترین ابزارهای بررسی کیفیت آب هستند که در برنامه‌های پایش کیفی آب در کشورهای اروپایی و آمریکایی به خوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اهمیت نقش دیاتومه‌ها در این حوزه، مطالعه حاضر با هدف بررسی کیفیت آب رودخانه کرج بر اساس گونه‌های دیاتومه طراحی و انجام شد. نمونه‌های دیاتومه در فصول مختلف از بهار سال ۱۳۹۰ تا بهار سال ۱۳۹۱ از سطح سنگ‌های رودخانه، غلظت مواد معدنی محلول و اکسیژن بیولوژیک آب رودخانه کرج اندازه‌گیری شد و بر این اساس، آب رودخانه کرج در ایستگاه‌ها و فصول مختلف در گروه آب‌های با آلودگی متوسط تا خیلی زیاد قرار گرفت. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده، ۱۲۸ گونه شناسایی و فراوانی نسبی آنها محاسبه شد که از این تعداد، ۱۹ گونه غالب بودند. با بررسی میزان آلودگی آب بر اساس میزان مواد معدنی و مقادیر اکسیژن بیولوژیک مشخص شد میزان آلودگی آب رودخانه کرج از متوسط تا خیلی زیاد است. نتایج بررسی اکولوژیک گونه‌های غالب نشان داد که فراوانی بیشتر این گونه‌ها با افزایش آلودگی آبی و معدنی افزایش می‌یابد. بنابراین، آنها می‌توانند به عنوان دیاتومه‌های شاخص آلودگی معرفی شوند. مطالعه حاضر می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای کاربرد دیاتومه‌ها در پایش رودخانه‌ها باشد و نتایج آن نیز می‌تواند برای طرح‌های پایش در منطقه البرز مرکزی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پایش، نشانگر، دیاتومه، رودخانه کرج

### Diatoms, the best indicators in biomonitoring the aquatic ecosystems

S. Kheiri\*

#### Abstract

Water is the most essential factor for life, and rivers are the main drinking source for human. Therefore, assessing the quality and management of rivers is essential for the protection and health of these rivers. Diatoms are one of the best monitoring tools used in European and American water quality monitoring programs. Due to the importance of diatoms in water quality assessment, the present study was designed and carried out to investigate the water quality of Karaj River based on diatom species and indicator diatoms for pollution. Diatom specimens were collected from the surface of the rocks at six stations along the river during 2011 to 2012 monthly. In this study, 128 species were identified and their relative abundance was calculated, of which 19 were dominant. Evaluation of water contamination based on minerals and biological oxygen demand showed that Karaj River water had moderate to very high pollution at the stations. The results of the ecology of the dominant species showed that most of these species increased with increasing organic and inorganic contamination and could be introduced as indicator diatoms for pollution. The present study is a baseline for future studies on diatom-based monitoring of mountainous rivers in the Alborz region.

**Keywords:** Biomonitoring, indicator, diatom, the Karaj 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

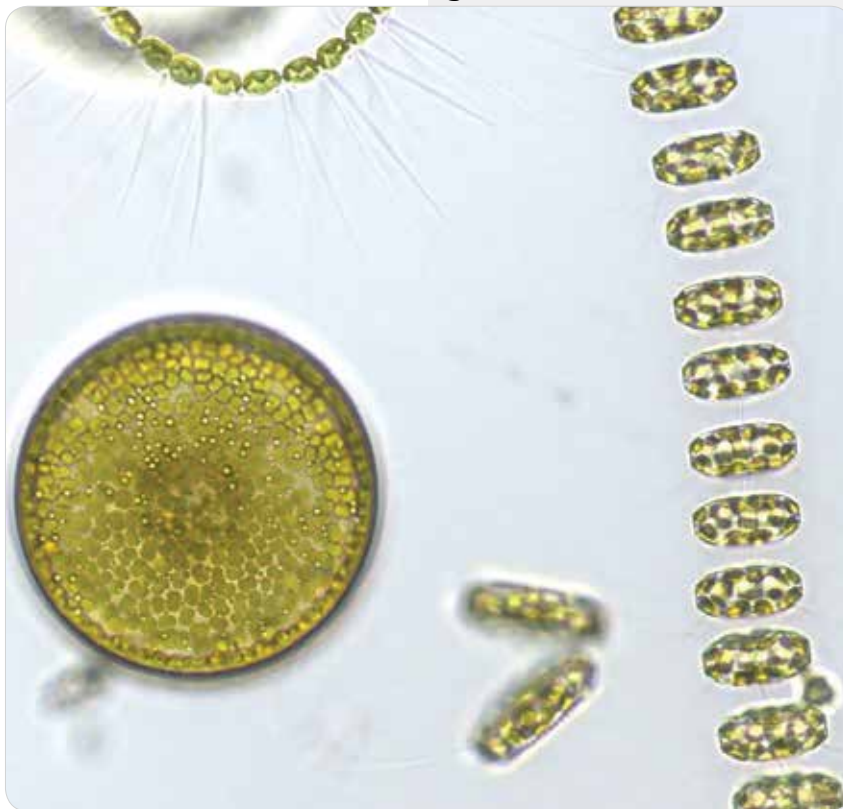
به دلیل نیاز حیاتی بشر به آب، اهمیت سلامت آب و آگاهی از میزان آلودگی منابع آبی بر کسی پوشیده نیست. در میان منابع آب، رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی هستند که از لحاظ تأمین آب آشامیدنی برای انسان حائز اهمیت هستند. با توجه به سیستم پیچیده رودخانه‌ها، کیفیت آب آنها تحت تأثیر فاکتورهای محیطی بسیاری شامل آب‌وهوا، کاربری اراضی، ریخت‌شناسی زمین و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در حوضه آبریز آن رودخانه است. در بسیاری از مطالعات اکولوژیک، تا آنجا که امکان دارد باید همه عوامل و متغیرهای محیطی مورد مطالعه قرار بگیرند تا اطلاعاتی درباره شرایط محیطی آن رودخانه به دست آید. در این میان، فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی از عوامل مهم تعیین‌کننده میزان سلامت و یکپارچگی اکوسیستم رودخانه‌ها هستند. با این وجود، اندازه‌گیری همه این فاکتورها که بر اساس آن بتوان به استنباطی در مورد میزان سلامت رودخانه‌ها رسید، امکان‌پذیر نیست (Stoermer & Smol, 2004).

نشانگرهای زیستی ابزارهای مفیدی هستند که توانایی پاسخ به انواع شرایط فیزیکی و شیمیایی حتی شرایط محیطی تغییر یافته غیرقابل اندازه‌گیری را دارند. نشانگرهای زیستی چه موجوداتی با عمر یک روزه یا چندساله باشند به‌عنوان ابزاری قوی برای ارزیابی یکپارچگی زیستی اکوسیستم در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل است که آنها به‌عنوان ابزار مهمی در برنامه‌های مدیریت و احیای اکوسیستم‌های آبی در کشورهای اروپایی و آمریکایی همواره مورد مطالعه بودند. دلایل استفاده از دیاتومه‌ها به‌عنوان ابزارهای محیطی در رودخانه‌ها عبارتند از: اهمیت و نقش آنها در اکوسیستم، کاربرد آنها به‌عنوان شاخص تغییرات محیطی و سهولت استفاده از آنها (Stoermer & Smol, 2004).

دیاتومه‌ها به این دلیل حائز اهمیت هستند که نقش بسیار مهمی در چرخه تولید غذا و اکسیژن در اکوسیستم دارند. آنها گروه آغازین زنجیره غذایی اکوسیستم‌های آبی هستند که به کمک

رنگیزه کلروفیل a و c فتوسنتز می‌کنند و نور خورشید را تبدیل به مولکول‌های قندی می‌کنند تا مورد مصرف سایر موجودات آبی قرار گیرد. آنها با تولید اسیدهای چرب بلند زنجیر، منبع غنی از مولکول‌های پراثری به حساب می‌آیند که تأمین‌کننده غذا برای کل شبکه غذایی از زئوپلانکتون تا حشرات آبی، ماهی‌ها و وال‌ها در آب هستند. دیاتومه‌ها فراوان‌ترین جلبک‌های اکوسیستم‌های آبی هستند و با تثبیت دی‌اکسیدکربن در فتوسنتز، درصد بالایی از اکسیژن هوا را تولید می‌کنند. این جلبک‌ها به دلیل تنوع بالایی که در اکوسیستم دارند یکی از عناصر مهم تنوع ژنتیکی و زیستی هستند (Mayer & Likens, 1987; Patrick, 1961). همانطور که پیش‌تر اشاره شد، دیاتومه‌ها نشانگرهای ارزشمندی برای مطالعه شرایط محیطی آب هستند. آنها به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب مانند تغییرات درجه حرارت، غلظت مواد غذایی و تعداد مصرف‌کنندگان به‌سرعت پاسخ می‌دهند. هر کدام از گونه‌های دیاتومه در شرایط زیستگاهی خاصی زندگی می‌کنند. از این رو، آنها در رودخانه‌های مختلف، جوامع متنوعی با فراوانی‌های متفاوت تشکیل می‌دهند (Patrick, 1961). این تنوع

بالا در نتیجه تأثیرات متقابل و پیچیده شرایط محیطی است که به‌طور متمایز به گونه‌ای روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گونه‌ها و در نهایت ترکیب جوامع گونه‌ای آن تأثیر می‌گذارد. استیونسون (1997) آن دسته از فاکتورهای محیطی را که ترکیب جوامع دیاتومه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهند در دو رده اهمیت قرار می‌دهد. فاکتورهای رده اول مانند اقلیم و مرفولوژی زمین هستند که می‌توانند روی فاکتورهای رده دوم مانند منابع غذایی (میزان فسفات و نیتрат)، شدت نور رودخانه و محرک‌های تنش‌زای محیطی در رودخانه (درجه حرارت، مواد سمی و pH) تأثیرگذار باشند. ترکیب گونه‌ای جوامع دیاتومه‌ها به‌طور مستقیم با فاکتورهای رده دوم در ارتباط هستند. با وجود این، اقلیم و مرفولوژی زمین با تأثیر روی فاکتور محیطی رده دوم می‌تواند از تأثیرات این گروه روی جوامع دیاتومه بکاهد. برتری دیگر دیاتومه‌ها آسانی کاربرد آنها به‌عنوان ابزار پایش است. دیاتومه‌ها در اکوسیستم‌های آبی تنوع و فراوانی بالایی دارند و در مقایسه با سایر شاخص‌های



شکل ۱- تنوع دیاتومه‌ها در یک اکوسیستم آبی (عکس برگرفته از سایت دیاتومه‌های آمریکا (Sapuding et al., 2019))



شکل ۲- کلونی دیاتومه‌ها روی سنگ، رودخانه کرج، (عکس از: خیری، ۱۳۹۰)

(Descy, 1979; Cemagref, 1982; Sládeček, 1986; Leclercq & Maquet, 1987; Watanabe *et al.*, 1988; Rumeau & Coste, 1988; Steinberg & Schiefele, 1988; Descy & Coste, 1991; Kelly & Whitton, 1995; Lenoir & Coste, 1996; Prygiel *et al.*, 1996; Rott *et al.*, 1997; Rott *et al.*, 1999; Lobo *et al.*, 2002; Dell'Uomo, 2004; Hurlimann & Niederhauser, 2006; Stenger-Kovács *et al.*, 2007; Gómez & Licursi, 2001)

نتایج مطالعه Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) روی کارایی کاربرد انواع جلبک‌های سبز، سبز آبی، قرمز، اوگنوفیتا و کریزوفیتا در بررسی کیفیت آب در ایالات متحده آمریکا نشان داد تنها ۳۴ تاکسون از این گروه‌های جلبکی به‌عنوان شاخص زیستی کارایی دارند. در مقابل، تعداد زیادی از گونه‌های دیاتومه شامل ۲۶۶ تاکسون به‌عنوان نشانگر زیستی در انواع اکوسیستم‌های آبی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. تنوع بالا و پراکنش وسیع جغرافیایی دیاتومه‌ها، برتری آنها را نسبت به سایر گروه جلبکی در پایش کیفی اکوسیستم‌های آبی ثابت می‌کند. Hering و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه‌ای که به بررسی کاربرد ماکروفیت‌ها (گیاهان آبی نهانده، جلبک‌های ماکرو و خزگیان)، بی‌مهرگان کفزی، ماهی‌ها و دیاتومه‌ها در کیفیت آب رودخانه‌های اروپا پرداختند، نشان دادند دیاتومه‌ها نسبت به

حفاظت از انواع اکوسیستم‌های آبی و تهیه آب سالم و با کیفیت در این اکوسیستم‌ها کرد. برای رسیدن به این هدف، برنامه‌های نظارت، پایش و مدیریت آب اکوسیستم‌ها در دستور کار دولت‌های اروپایی قرار گرفت. سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا در سال ۱۹۷۲ قانون آب‌های تمیز (Clean Water Act) را با هدف مدیریت آلودگی آب اکوسیستم‌های آبی و برای احیا و حفاظت از این اکوسیستم‌ها وضع و مقررات اجرایی را ارائه کرد و برای تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های هر ایالت و حفاظت از تالاب‌ها به دولت‌های ایالتی بودجه‌هایی را اختصاص داد (WFD, 2000; United States Environ-mental Protection Agency, 2002).

در راستای تحقق اهداف و اجرای قانون WFD، نشانگرهای زیستی مانند جلبک‌ها، بی‌مهرگان کفزی، ماهی‌ها و گیاهان آبی به‌عنوان ابزار پایش برای ارزیابی شرایط اکولوژیک یک رودخانه و بررسی درجه سلامت یا زوال سیستم آن مورد استفاده قرار گرفتند (Zelinka & Marvan, 1961; Statzner *et al.*, 2001; Buffagni *et al.*, 2004; Lorenz *et al.*, 2004; Armitage *et al.*, 1983; Karr, 1981; Westlake, 1975; Tremp & Kohler, 1995).

از میان انواع پایشگرها، دیاتومه‌ها محبوبیت فراوانی پیدا کردند به طوری که هر سال تعداد شاخص‌هایی که براساس ترکیب گونه‌ای دیاتومه در کشورهای مختلف تعریف می‌شود افزایش می‌یابد

زیستی (گروه‌های جلبکی و بی‌مهرگان) آسان‌تر شناسایی می‌شوند. دیاتومه‌ها به‌خاطر ساختار ظاهری خاص و بی‌مانندی که دارند به‌راحتی تا سطح گونه قابل تشخیص هستند، درحالی‌که شناسایی گونه در سایر گروه‌های جلبکی به این سادگی نیست. علت این دشواری و پیچیدگی در شناسایی جلبک‌های دیگر این است که تعدادی از این جلبک‌ها بیش از یک مرحله در چرخه زندگی خود دارند مانند جلبک‌های سبز آبی که مراحل تکامل سلولی بسیار متغیری دارند، یا مانند زیگنماها که شناسایی گونه‌های آنها بدون ساختارهای تولیدمثلی قابل تشخیص نیست، یا بسیاری از جلبک‌های سبز تک‌سلولی که شناسایی‌شان تنها از طریق کشت دادن امکان‌پذیر است. تنوع بالای دیاتومه‌ها باعث می‌شود تفسیرهای آماری قوی‌تری در استنتاج مدل‌ها به‌دست آید. همچنین امکان شناسایی نمونه‌ها تا سطح گونه، اهمیت و دقت استفاده از آنها را به‌عنوان شاخص زیستی بالا می‌برد. از سوی دیگر، دیاتومه‌ها کوتاه‌ترین چرخه زندگی را نسبت به سایر شاخص‌های زیستی مانند بی‌مهرگان کفزی، گیاهان آبی و ماهی‌ها دارند (Rott, 1991). با تقسیم دوتایی در مدت زمان ۲۰ دقیقه تولیدمثلی می‌کنند. فرایند تولیدمثلی، همچون پاسخ آنها به تغییرات محیطی بسیار سریع است. در زمان افزایش آلودگی آب و نیز زوال اکوسیستم آبی با هدف علامت هشدار به‌سرعت تولیدمثلی می‌کنند و بر تعدادشان افزوده می‌شود. از این رو این گونه‌ها به‌عنوان گونه‌های شاخص آلودگی و مهاجم به‌شمار می‌آیند (شکل ۱). دیاتومه‌ها در بیشتر اکوسیستم‌های آبی و حتی روی بستر رودخانه‌های خشک نیز حضور دارند. لذا در تمام فصول سال قابل نمونه‌برداری هستند. ساختار دیواره سلولی دیاتومه‌ها که یک فراستول دو قسمتی است به‌خوبی در رسوبات حفظ می‌شود. بنابراین، آنها به‌صورت پیوسته می‌توانند برای مطالعه تاریخیچه زیستگاه مورد استفاده قرار بگیرند (شکل ۲). توضیحات ذکر شده، مطلوب بودن کاربرد دیاتومه‌ها را به‌عنوان شاخص زیستی تضمین می‌کند. به‌منظور صیانت و سلامت آب رودخانه‌ها، پارلمان اتحادیه اروپا با ارائه بخشنامه دستورالعمل آب (Water Framework Directive 2000/60/EC: WFD)، کشورهای اروپایی را ملزم به



سه گروه دیگر، در مقابل آلودگی آلی و معدنی آب پاسخ خیلی بهتری نشان می‌دهند. از این رو، پژوهشگران دیاتومه‌ها را به‌عنوان بهترین و کاراترین ابزار پایش برای رودخانه‌ها معرفی کردند.

تاکنون مطالعات محدودی در مورد ارتباط ترکیب گونه‌ای دیاتومه‌ها با میزان آلودگی آب رودخانه‌ها در ایران انجام شده است (Moghadam, 1975; Atazadeh et al., 2007؛ مسعودیان و همکاران، ۱۳۸۹).

اولین گزارش توسط Moghadam (۱۹۷۵) روی فلور دیاتومه‌های زاینده‌رود و بررسی تنوع و فراوانی گونه‌های دیاتومه در برابر میزان آلودگی آب انجام شده است. در این مطالعه ۱۰ گونه غالب برای این رودخانه معرفی و درجه مقاومت این گونه‌ها در برابر آلودگی آلی و معدنی براساس داده‌های فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری تشریح شد. در این مطالعه

*Navicula accomoda* Hustedt  
*Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith  
*Nitzschia pusilla* Grunow  
*Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith  
*Gomphonema parvulum* (Kützing)  
*Navicula tripunctata* (O.F.Müller) Bory  
به‌عنوان گونه‌های مقاوم به آلودگی آلی و معدنی و *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki حساس به آلودگی آلی و نشانگر آب‌های تمیز و اکسیژن‌دار معرفی شدند.

مطالعه بعدی توسط Atazadeh و همکاران (۲۰۰۷) روی رودخانه قره‌سو انجام شد. آنها مشاهده کردند که جوامع دیاتومه‌های بالادست رودخانه کاملاً متفاوت از جوامع دیاتومه‌های پایین‌دست رودخانه است. دیاتومه‌های بالادست رودخانه که در معرض آلودگی متوسط آلی و معدنی بودند شامل *Planothidium lanceolatum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Gomphonema olivaceoides* Hustedt و دیاتومه‌های پایین‌دست رودخانه را که در معرض آلودگی آلی زیاد و خیلی زیاد بودند شامل *Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow in A. Schmidt

*Cyclotella meneghiniana* Kützing  
*Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg  
*Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J.B.Petersen و *Melosira varians* C.Agardh بودند. این پژوهشگران، با به‌کارگیری شاخص (TDI: Trophic Diatom Index) یا (شاخص تغذیه‌گرایی دیاتومه)، به ارزیابی کیفیت آب رودخانه قره‌سو پرداختند و سودمندی استفاده از این شاخص را برای بررسی کیفیت آب رودخانه قره‌سو نشان دادند. مسعودیان و همکاران (۱۳۸۹)، ارتباط بین دیاتومه‌ها و عوامل فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه تجن را بررسی کردند. آنها گونه‌های *Cymboplectra cuspidata* (Kützing) Krammer *Encyonema leibleini* (C.Agardh) W.J.Silva و R.Jahn, T.A.V.Ludwig, & M.Menezes گونه‌هایی که فراوانی‌شان رابطه مستقیم با افزایش آلودگی آب دارد، معرفی کردند.

با توجه به اهمیت جهانی دیاتومه‌ها به‌عنوان

### دیاتومه‌ها

#### نسبت به ماکروفیت‌ها،

#### بی‌مهرگان کفزی و ماهی‌ها

در مقابل آلودگی آلی و معدنی آب پاسخ خیلی بهتری نشان می‌دهند. از این رو، پژوهشگران دیاتومه‌ها را به‌عنوان بهترین و کاراترین ابزار پایش برای رودخانه‌ها معرفی کردند.

ابزار پایش برای رودخانه‌ها، بر آن شدید تا به بررسی کیفیت آب رودخانه کرج براساس نوع گونه‌های دیاتومه‌ای آن و ارتباط این گونه‌ها با میزان آلودگی معدنی و آلی رودخانه بپردازیم. مطالعه حاضر به بررسی اکولوژیک دیاتومه‌های رودخانه کرج و سودمندی کاربرد دیاتومه‌ها در پایش رودخانه کرج می‌پردازد.

#### ● موقعیت جغرافیایی رودخانه کرج

رودخانه کرج با طول تقریبی ۶۷ کیلومتر یکی از طولانی‌ترین رودخانه‌های البرز مرکزی است (بختیاری، ۱۳۸۸) که از دامنه‌های جنوبی سلسله

جبال البرز سرچشمه می‌گیرد. موقعیت کلی حوضه آبریز کرج بین ۳۵° ۵۳' تا ۳۵° ۱۱' عرض شمالی و ۵۱° ۳۰' تا ۵۱° ۳۵' طول شرقی است. مساحت کلی آن حدود ۸۴۰۰۰ هکتار است که در فاصله ۳۰ تا ۶۰ کیلومتری شمال و شمال غرب تهران جریان دارد. این حوضه از شمال به ارتفاعات البرز مرکزی، از جنوب به شهر کرج، از شرق به ارتفاعات غرب تهران و واریان و از غرب به ارتفاعات شمالی کرج و کردان ختم می‌شود. این رود در مسیر خود باغات و زمین‌های کشاورزی واقع در استان تهران و البرز را سیراب می‌کند و در نهایت به دریاچه نمک قم می‌ریزد. آب رودخانه منبع شرب ساکنین استان تهران و البرز است. رودخانه مذکور در مسیر خود آلودگی‌های مختلفی از آب‌های روستایی و آب‌های شهری را دریافت می‌کند (رحمتی، ۱۳۸۶). طبق مطالعات قاسمی‌زیارانی و فریادی (۱۳۸۷)، عوامل آلوده‌کننده اصلی رودخانه، فاضلاب هتل‌ها و ویلاهایی است که در طول مسیر رودخانه وجود دارند. همچنین، آب‌ها و کودهای شیمیایی که از طریق زمین‌های کشاورزی روستاهای اطراف شسته می‌شوند به رودخانه می‌ریزند. منابع دیگر آلوده‌کننده، آلودگی ناشی از فعالیت دامداری، کشتارهای غیرمجاز در مسیر رودخانه و تخریب ناشی از معادن است.

#### ● اقدامات و یافته‌ها

شش ایستگاه در امتداد رودخانه کرج از بالادست تا پایین‌دست سد کرج برای نمونه‌برداری از دیاتومه‌ها و آب رودخانه انتخاب شدند. ایستگاه‌های اول و دوم در پایین‌دست سد و ایستگاه‌های سوم تا ششم در بالادست رودخانه قرار دارند (شکل ۳).

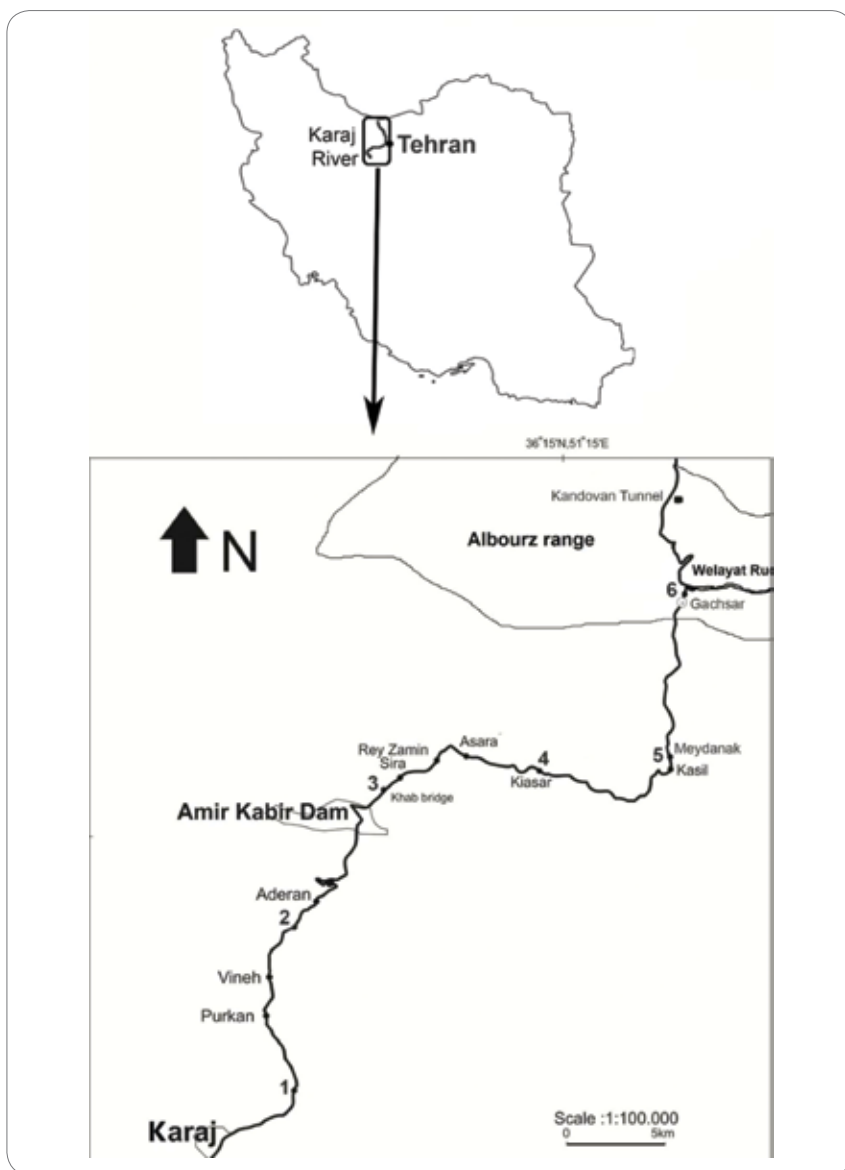
نمونه‌های دیاتومه در فصول مختلف از بهار ۱۳۹۰ تا بهار ۱۳۹۱ از سطح سنگ‌های رودخانه با مسواک زدن تهیه شدند. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه با اسیدکلریدریک و پراکسید هیدروژن جوشانده شدند تا کلروفیل و مواد آلی سلول‌ها و ترکیبات معدنی اضافه زدوده شود. در ادامه، نمونه‌ها چندین بار با آب مقطر شست‌و‌شو داده شدند و به این ترتیب، اسید اضافی از آنها زدوده و نمونه‌های تمیز تهیه شدند. سپس لام‌ها به‌وسیله چسب نفرکس (Naphrax) دائمی شدند و برای شناسایی، آماده مطالعه با میکروسکوپ نوری شدند. شناسایی گونه‌ها براساس کتاب‌های مرجع فلور اروپا و آمریکا

گروه اول، شش گونه با فراوانی بالا (۹۰ درصد-۴۰ درصد)، در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در هر دو فصل گرم و سرد حضور زیادی داشتند. این گونه‌ها شامل *Achnanthidium deflexum* (Reimer) Kingston, *Achnanthidium minutissimum* (Kützing) Czamecki *Hannaea arcus* (Ehrenberg) Patrick (Hornemann) P.A.Dawson ex R.Ross & P.A.Sims, *Gomphoneis olivaceum*, *Diatoma moniliformis* (Kützing) D.M.Williams بودند.

*Diatoma vulgare* morphotype product Grunow تنها گونه‌ای بود که با وجود فراوانی بالا (۴۱ درصد و ۱۳ درصد به ترتیب در ماه

با هدف بررسی ارتباط دیاتومه‌ها با میزان آلودگی آب انجام شد تا اطلاعات به دست آمده پایه‌ای برای شناسایی دیاتومه‌های شاخص در بررسی میزان کیفیت آب رودخانه‌های البرز باشد.

مطالعات تاکسونومیک، تنوع ۱۲۸ گونه از ۴۸ جنس دیاتومه را در رودخانه کرج نشان داده است (Kheiri et al., 2018). ۱۹ گونه به صورت غالب (با فراوانی نسبی بیش از ۵ درصد) در رودخانه کرج حضور داشتند که تعدادی از این گونه‌ها در تمام فصل‌ها به صورت پایدار و تعدادی نیز به صورت فصلی مشاهده شدند. از این میان، اغلب گونه‌های دارای فراوانی زیاد، به طور پایدار حضور داشتند. گونه‌های غالب براساس فراوانی در سه گروه تقسیم‌بندی شدند.



شکل ۳- نقشه رودخانه کرج و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

انجام شد (Williams, 1985; Krammer & Lange-Bertalot, 1986-1991 a,b; Lange-Bertalot & Krammer, 1989; Krammer, 1997a,b; Reichardt, 1999; Krammer, 2000; Witkowski et al., 2000; Lange-Bertalot, 2001; Hakansson, 2002; Krammer, 2002, 2003; Lange-Bertalot et al., 2003; Levkov, 2009; Levkov et al., 2010; Cantonati et al., 2011; Bey & Ector, 2013; Kheiri et al., 2013; Ács et al., 2016) در نهایت، فراوانی نسبی گونه‌ها محاسبه و گونه‌های غالب شناسایی شدند (شکل‌های ۳۳-۴). سطح مقاومت گونه‌های غالب با شاخص مقاومت آلی و معدنی که توسط Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) تعریف شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، آلودگی گونه‌ها با منابع موجود در روسیه، آمریکا و اروپا مقایسه شد. (Potapova & Charlisle, 2016; Van Dam et al., 1994; Krammer, 2000; kulikovskiy et al., 2016; Hofmann et al., 2013) هم‌زمان با جمع‌آوری نمونه‌های دیاتومه، نمونه‌های آب نیز برای انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی جمع‌آوری شدند. دما و هدایت الکتریکی توسط دستگاه‌های هدایت‌سنج پرتابل در محل اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها برای انجام آزمایشات تجزیه عوامل فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک آزما نگین فرستاده شدند. میانگین و انحراف معیار محدوده داده‌های فیزیکی و شیمیایی محاسبه و در جدول آورده شد. برای بررسی سطح آلودگی آب براساس مقادیر اکسیژن بیولوژیک آب، از شاخص Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) استفاده شد (جدول ۱). برای بررسی میزان آلودگی معدنی رودخانه، داده‌های شیمیایی آب با استانداردهای محیط‌زیست و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مقایسه شدند (کمیسیون فنی استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۵؛ معاونت محیط‌زیست انسانی، ۱۳۹۵).

### ● نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه، تنوع زیستی و پراکنش فصلی گونه‌های دیاتومه و ارتباط بین مقاومت گونه‌ها با میزان آلودگی آلی و معدنی بررسی شد. این پژوهش، مطالعه‌ای موردی روی فلور دیاتومه‌های یکی از رودخانه‌های اصلی رشته‌کوه البرز است که



مهر و ماه شهریور) حضور کمتری در ایستگاه‌ها و ماه‌های نمونه‌برداری داشت و پراکنش آن فصلی نبود. گروه دوم، با فراوانی کمتر نسبت به گروه اول (۳۰ درصد - ۱۶ درصد) در هر دو فصل گرم و سرد مشاهده شدند. این گونه‌ها شامل *Rabenhorst Nitzschia dissipata* (Kützing) *Cymbella cf. excisa* (Kützing) *Nitzschia fonticola* (Grunow) *Gomphonema calcifugum* Ehrenberg *Pantocsekiella iranica* (Nejadsattari Kheiri, Spaulding & Edlund) K.T.Kiss, L.Ector & E.Ács in Ács et al. *Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann *Cleve Cymbella* (Ehrenberg) *lange-bertalotii* Krammer *Cocconeis placentula* var. *lineata* بودند که به‌عنوان گونه‌های همراه با گونه‌های گروه اول در ایستگاه‌ها حضور داشتند.

گروه سوم گونه‌های غالبی مانند *Encyonema silesiacum* (Bleisch in Rabenh.) D.G.Mann in Round et al., *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow in A.Schmidt, *Cymbella cf. exigua* Krammer بودند که نسبت به گروه قبلی حضور و فراوانی کمتری در ایستگاه‌ها داشتند. ولی در تمام ایستگاه‌ها و در تعدادی از ماه‌ها در هر دو فصل گرم و سرد با فراوانی کمتری (۱۵ درصد - ۵ درصد) مشاهده شدند. تعداد کمی از اعضای این گروه مانند *C.Agardh Melosira varians* *Didymosphenia geminata* M.Schmidt (Lyngbye) پراکنش محدود و غیرفصلی (محدود به یک ماه و یک فصل) داشتند. هر دوی این گونه‌ها در ماه دی در ایستگاه‌های پایین‌دست سد (فراوانی ۱۰ درصد و ۱۲ درصد) حضور داشتند. نتایج تجزیه داده‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که طبق استانداردهای محیط‌زیست ایران و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (کمیسیون فنی استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۵، معاونت محیط‌زیست انسانی، ۱۳۹۵) آلودگی آب رودخانه کرج در تمام ایستگاه‌ها زیاد است و مقادیر اکسیژن بیولوژیک، کلر، سولفات و فسفات

جدول ۱- درجه مقاومت به آلودگی آلی، شرح دیاتومه، درجه کیفیت آب، درصد اکسیژن اشباع و میزان اکسیژن بیولوژیک (BOD) براساس شاخص Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)

نوع دیاتومه	درجه کیفیت آب	کیفیت آب	درصد اکسیژن اشباع	میزان اکسیژن بیولوژیک (mg l-1 O2)
بسیار حساس به آلودگی آلی	I, I-II	بالا	>۸۵	<۲
حساس به آلودگی آلی	II	خوب	۷۰-۸۵	۲-۴
تا حدی مقاوم به آلودگی آلی	III	متوسط	۲۵-۷۰	۴-۱۳
مقاوم به آلودگی آلی	III-IV	بد	۱۰-۲۵	۱۳-۲۲
بسیار مقاوم به آلودگی آلی	IV	خیلی بد	<۱۰	>۲۲

برای حیات آبریان بیش از حد مجاز است. نتایج به‌دست آمده از مقایسه داده‌های اکسیژن بیولوژیک رودخانه کرج با داده‌های Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) (جدول ۱)، نشان داد که آب رودخانه کرج در ماه‌های مختلف در گروه آب‌های با آلودگی آلی متوسط تا بسیار آلوده قرار می‌گیرد. با بررسی میزان حضور و فراوانی گونه‌های غالب در ایستگاه‌های مختلف براساس مقادیر مختلف اکسیژن بیولوژیک و نترات، به‌ترتیب دیاتومه‌های شاخص آلودگی آلی و آلودگی معدنی شناسایی شدند که به تفکیک، اطلاعات سطح مقاومت این گونه‌ها به میزان آلودگی آلی و معدنی شرح داده می‌شود. اغلب این گونه‌ها، گونه‌های جهان وطنی هستند که پراکنش جغرافیایی گسترده‌ای دارند، گزارش‌های زیادی در مورد مقاومت گونه‌ها به آلودگی آلی و معدنی در اروپا و آمریکا وجود دارد (Krammer & Lange-Bertalot, 1986-). در میان این گونه‌ها، فقط گونه *Pantocsekiella iranica* به‌عنوان اندمیک خاورمیانه (Kheiri et al., 2018; Solak et al., 2018) است که اطلاعات اکولوژی فردی آن در این مطالعه توضیح داده می‌شود. در مورد گونه‌های جهان وطنی، اطلاعات اکولوژیک فردی و سطح مقاومت گونه‌ها از این مطالعه با گزارش‌های ارائه شده در این مورد از منابع موجود (Van dam et al., 1994; Hofmann et al., 2013; Potapova Charlisle, 2011; Kulikovskiy et al., 2016) مقایسه شده است و تفاوت‌ها و تطابق‌ها توضیح داده شده است. از آنجایی‌که گونه‌های مختلف دیاتومه، علاوه بر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب و میزان آلودگی آلی و

معدنی محیطشان، تحت تأثیر اقلیم، زمین‌شناسی و ارتفاع مناطق اکولوژیک (Ecoregion) محیط‌زیستشان نیز قرار دارند. آنها همچنین می‌توانند با وجود میزان آلودگی‌های یکسان آب در مناطق مختلف آب‌وهوایی و جغرافیایی، درصد فراوانی نسبی و درجه تحمل به آلودگی متفاوتی از خود نشان دهند (Tison et al., 2008). به نظر می‌رسد تفاوت‌های به‌دست آمده از داده‌های اکولوژیک تعدادی از گونه‌های جهان وطنی در پژوهش حاضر با گزارش‌های پژوهشگران اروپایی و آمریکایی به‌دلیل جغرافیا، زمین‌شناسی و اقلیم متفاوت رودخانه کرج نسبت به سایر نقاط دنیا باشد. لازم به ذکر است این مطالعه به‌عنوان طرحی مقدماتی برای بررسی اهمیت دیاتومه‌ها در بررسی میزان آلودگی آب رودخانه کرج است. از این رو، اطلاعات این پژوهش می‌تواند پایه‌ای برای مطالعات آتی در مورد پایش رودخانه‌های کوهستانی البرز باشد. همچنین، این مطالعه مفید بودن دیاتومه‌ها را به‌عنوان ابزار بررسی کیفیت آب در رودخانه‌های کشور نشان می‌دهد. با وجود تعداد زیاد رودخانه‌ها در ایران، متأسفانه کاربرد دیاتومه‌ها به‌عنوان ابزار پایش کیفیت آب، به‌طور حرفه‌ای مورد توجه نبوده است. در برنامه‌های مدیریت منابع آب کشور به‌ویژه رودخانه‌ها که از منابع اصلی شرب مردم هستند لزوم استفاده از شاخصی سهل‌الوصول و مقرون‌به‌صرفه ضروری به نظر می‌رسد و دیاتومه‌ها با ویژگی‌های بارزی که در این مورد دارند از بهترین نشانگرهای زیستی هستند. از این رو، به‌طور قوی توصیه می‌شود که از دیاتومه‌ها در برنامه‌های مدیریت منابع آب ایران، به‌عنوان ابزار پایش کیفیت آب استفاده شود.

ویژگی‌های اکولوژیک و سطح مقاومت گونه‌های غالب به آلودگی‌های آلی و معدنی در رودخانه کرج *Achnantheidium minutissimum*: در مطالعه حاضر، گونه *Achnantheidium minutissimum* با بیشینه فراوانی ۹۰ درصد، در تمام ایستگاه‌ها و فصول نمونه‌برداری، به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به آلودگی معدنی (میزان نیترات ۴ میلی‌گرم در لیتر) و آلودگی آلی به میزان زیاد (اکسیژن بیولوژیک ۲۲-۱۳ میلی‌گرم در لیتر) حضور داشت. در گزارش Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) دامنه تحمل اکولوژیک این گونه وسیع بوده است. آنها مشاهده کردند که با غلظت مواد معدنی کم تا متوسط یافت می‌شود. Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) در بررسی که روی اکولوژی فردی ۹۴۸ تاکسون از هلند داشتند گونه *Achnantheidium minutissimum* را گونه‌ای مقاوم به آلودگی معدنی بسیار زیاد و حساس به آلودگی آلی گزارش کردند که در آب‌های حاوی اکسیژن بالا غالبیت دارد. Jakovljević و همکارانش (۲۰۱۶) با مطالعه روی رودخانه ملوا در صربستان، حضور این گونه را در قسمت‌های بالادست رودخانه و در آب‌های با کیفیت خوب و مقادیر کم آلودگی آلی گزارش کردند. مطالعات این پژوهشگران با داده‌های مطالعه حاضر در مورد مقاومت این گونه به آلودگی آلی مطابقت نمی‌کند. فراوانی بالای این گونه در مقدار زیاد آلودگی آلی رودخانه کرج نیز آن را به‌عنوان گونه‌ای مقاوم برای آلودگی آلی بالا معرفی می‌کند. همچنین، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) و Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) در مورد مقاومت این گونه به آلودگی معدنی بالا هم‌راستاست.

#### *Hannaea arcus*

*Hannaea arcus* با بیشینه فراوانی ۷۱ درصد در بهمن ماه و ۲۲ درصد در مرداد ماه و در هر دو فصل سرد و گرم حضور داشت. در مورد درجه مقاومت این گونه به آلودگی آلی اطلاعات متفاوتی وجود دارد از جمله اینکه Hofmann و همکاران (۲۰۱۳)، حضور این گونه را از مناطق کوهستانی آلپ و در آب‌های با مقدار کلسیم بالا گزارش کردند. همچنین توانایی این

گونه را در تحمل مقادیر بالای آلودگی آلی و فاضلاب در آب‌های با جریان زیاد نشان دادند. درحالی‌که Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) این گونه را در اکوسیستم‌های آبی کوهستانی ایالات متحده آمریکا و در آب‌های تمیز مشاهده کردند. Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) این گونه را در گروه گونه‌های حساس به آلودگی معدنی و آلی، یا درجه مقاومت معدنی و آلی کم و تا حدودی متوسط قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر مقاومت این گونه را به آلودگی آلی زیاد (میزان اکسیژن بیولوژیک ۳۰-۱۸ میلی‌گرم در لیتر) و آلودگی معدنی بالا (میزان نیترات ۴ میلی‌گرم در لیتر) نشان می‌دهد و از این لحاظ، با گزارش‌های Hofmann و همکاران (۲۰۱۳)، همخوانی دارد.

#### *Diatoma moniliformis*

*Diatoma moniliformis* با بیشینه فراوانی ۵۷ درصد در اسفند و ۴۸ درصد در تیر فراوانی بسیار بالایی را در هر دو فصل گرم و سرد نشان داد. این گونه بالاترین فراوانی خود را در میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۸-۲۰ نشان داد که سطح بالایی از آلودگی آلی است. Krammer (۲۰۰۰) دامنه اکولوژیک این گونه را وسیع و در آلودگی معدنی کم تا زیاد گزارش کرده است. Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) نیز حضور و فراوانی این گونه را در آب‌های با مواد معدنی بالا گزارش کردند. با توجه به میزان بالای مواد معدنی در رودخانه کرج، داده‌های آنها با پژوهش حاضر مطابقت دارد. از سوی دیگر، مطالعه حاضر ثابت می‌کند که این گونه توانایی زیست در میزان آلودگی بالای آلی را نیز دارد.

#### *Gomphoneis olivaceum*

*Gomphoneis olivaceum* با بیشینه فراوانی ۵۲ درصد در تیر ماه و ۳۸ درصد در اسفند ماه فراوانی بالایی در هر دو فصل تابستان و زمستان داشت. این گونه در آلودگی آلی بالا (میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۵-۱۹ میلی‌گرم در لیتر) و نیترات بالا (۲/۵-۴/۷ میلی‌گرم در لیتر) حضور داشت. Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، این گونه را به‌عنوان گونه‌ای مقاوم در برابر آلودگی معدنی و حساس به آلودگی آلی معرفی کردند. Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) حضور این گونه را در ایستگاه‌های با آلودگی بسیار کم در مناطق کوهستانی و

دشت‌های غربی ایالات متحده آمریکا و با فراوانی کمتر در آب‌های آلوده دشت‌های جنوب شرق ایالات متحده آمریکا نشان دادند. نتایج این مطالعه، با گزارش‌های این پژوهشگران در مورد درجه مقاومت این گونه به آلودگی آلی مغایرت دارد.

#### *Diatoma vulgare*

این گونه با بیشینه فراوانی ۴۱ درصد در مهر ماه و ۱۳ درصد در شهریور ماه در میزان اکسیژن بیولوژیک ۱۷ میلی‌گرم در لیتر و میزان نیترات ۴/۲-۳/۸ میلی‌گرم در لیتر جزو گونه‌های غالب رودخانه کرج بود. این گونه طبق مطالعات Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، در گروه گونه‌های مقاوم به آلودگی معدنی متوسط تا زیاد و آلودگی آلی کم قرار می‌گیرد. Hofmann و همکاران (۲۰۱۳)، حضور بالای این گونه را در آب‌هایی با مواد معدنی زیاد گزارش کردند. نتایج ما با گزارش این پژوهشگران در مورد مقاومت گونه در برابر آلودگی معدنی برای می‌کند. همچنین حضور بالای این گونه در میزان آلودگی آلی بالای رودخانه کرج نشان می‌دهد که این گونه می‌تواند در برابر آلودگی آلی هم مقاومت خوبی داشته باشد.

#### *Achnantheidium deflexum*

*Achnantheidium deflexum* با بیشینه فراوانی ۳۸ درصد، جزو گروه گونه‌های غالب رودخانه کرج بود که در تمام ایستگاه‌ها و فصول نمونه‌برداری، به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به آلودگی معدنی و آلودگی آلی حضور زیادی داشت. این گونه در میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۴ میلی‌گرم در لیتر، ۲۵ درصد فراوانی داشت ولی با کاهش غلظت اکسیژن بیولوژیک به ۱۲ میلی‌گرم برلیتر (آلودگی آلی متوسط) فراوانی آن به ۳۸ درصد رسید. با وجود این، فراوانی آن با افزایش غلظت نیترات از ۳ میلی‌گرم در لیتر به ۵/۱ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) این گونه را در آب‌های تمیز، یا با آلودگی بسیار کم از مناطق مختلف ایالات متحده آمریکا گزارش کرده است. طبق گزارش این دانشمندان، این گونه جزو گونه‌های حساس به آلودگی است که با فراوانی بالا مشاهده می‌شود. درحالی‌که داده‌های ما نشان داد که این گونه می‌تواند در



آلودگی آلی متوسط و معدنی بالا به خوبی حضور داشته باشد.

#### ***Nitzschia dissipata***

*Nitzschia dissipata* با بیشینه فراوانی ۳۶ درصد در ماه شهریور و ۲۰ درصد در ماه بهمن در هر دو فصل تابستان و زمستان مشاهده شد. طبق مطالعات Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، این گونه، در گروه گونه‌های مقاوم به آلودگی زیاد و حساس به آلودگی آلی قرار می‌گیرد. Potapova و Charlisle (۲۰۱۱)، فراوانی بالای این گونه را در آب‌های آلوده گزارش کردند. تحقیقات Hofmann و همکاران (۲۰۱۳)، نشان از حضور بالای این گونه در آب‌هایی با مواد معدنی متوسط داشت. داده‌های آنها نشان داد با کاهش مواد معدنی، فراوانی گونه نیز کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه حاضر حاکی از ارتباط مستقیم آلودگی معدنی و آلی با فراوانی گونه است. به عبارتی با افزایش آلودگی آلی (اکسیژن بیولوژیک ۱۷ به ۱۹ میلی‌گرم در لیتر) و آلودگی معدنی (نیتрат از ۳ به ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر) درصد فراوانی این گونه افزایش می‌یابد. بنابراین، این گونه توانایی حیات در سطح آلودگی بالای آلی و معدنی را دارد.

#### ***Cymbella cf. excisa***

*Cymbella cf. excisa* با بیشینه فراوانی ۳۲ درصد در بهمن ماه و ۸ درصد در مرداد ماه در هر دو فصل گرم و سرد غالبیت داشت. Kulikovsky و همکارانش (۲۰۱۶) در روسیه حضور *Cymbella excisa* را در آب‌های با مواد معدنی گزارش کردند. مطالعه محدوده اکسیژن بیولوژیک و نیترات نشان داد که فراوانی این گونه با افزایش میزان اکسیژن بیولوژیک (از ۱۶ به ۲۳ میلی‌گرم در لیتر) و نیترات (از ۲/۹ به ۴/۶ میلی‌گرم در لیتر) کاهش می‌یابد. از این رو، به نظر می‌رسد این گونه بالاترین فراوانی خود را در آب‌های با آلودگی متوسط و کم دارد.

#### ***Encyonema mintum***

*Encyonema mintum* با بیشینه فراوانی ۲۰ درصد در ماه مرداد و ۹ درصد در ماه اسفند در هر دو فصل حضور داشت. این گونه در اروپای مرکزی در آب‌های با مواد معدنی کم تا متوسط مشاهده شد (Hofmann et al., 2013). این گونه در ایالات متحده آمریکا نیز از آب‌های تمیز

گزارش شده است (Potapova & Char- (Iisle 2011). Kulikovsky و همکارانش (۲۰۱۶) حضور این گونه را در آب‌هایی با میزان آلودگی معدنی متوسط گزارش کرده‌اند. نتایج این مطالعه نیز نشان داد این گونه مقاومت خوبی در مقابل آلودگی معدنی و آلی (اکسیژن بیولوژیک ۲۴-۱۳ میلی‌گرم در لیتر و نیترات ۳-۴ میلی‌گرم در لیتر) دارد.

#### ***Cymbella lange-bertalotii***

*Cymbella lange-bertalotii* با بیشینه فراوانی ۲۰ درصد در بهمن و ۱۱ درصد در شهریور در هر دو فصل تابستان و زمستان غالب بود. این گونه در میزان نیترات ۴-۲ میلی‌گرم در لیتر در این ایستگاه‌ها حضور داشت. مطالعه حاضر در این مورد مشابه گزارش Kulikovsky و همکارانش (۲۰۱۶) و Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) است. آنها نیز حضور این گونه را در آب‌هایی با میزان آلودگی معدنی متوسط گزارش کرده‌اند.

#### ***Nitzschia fonticola***

*Nitzschia fonticola* با بیشینه فراوانی ۲۲ درصد در تیر ماه و ۱۰ درصد در آذر ماه در هر دو فصل سرد و گرم حضور داشت. طبق نتایج Hofmann و همکاران (۲۰۱۳)، این گونه در آب‌های تمیز تا آب‌های با آلودگی آلی متوسط و نیز مواد معدنی کم حضور دارد. Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) نشان دادند، این گونه با فراوانی بالا در آب‌های تمیز زندگی می‌کند. ولی نتایج Van Dam و همکاران (۱۹۹۴) نشان داد که *Nitzschia fonticola* گونه‌ای مقاوم به آلودگی معدنی متوسط و حساس به آلودگی آلی است. مطالعه حاضر نشان داد که این گونه می‌تواند در آلودگی‌های آلی (میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۳-۱۷ میلی‌گرم در لیتر) و معدنی زیاد (میزان نیترات ۴ میلی‌گرم در لیتر) فراوانی بالایی داشته باشد.

#### ***Gomphonema calcifugum***

*Gomphonema calcifugum* با بیشینه فراوانی ۲۳ درصد در ماه تیر و ۷ درصد در ماه اسفند در این مطالعه مشاهده شد. Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) حضور این گونه را در آب‌هایی با کلسیم کم نشان دادند. اطلاعات جهانی زیادی در مورد اکولوژی فردی این گونه در دسترس نیست. مشاهدات ما نشان داد این

گونه می‌تواند در آب‌های با میزان نیترات بالا (۴ میلی‌گرم در لیتر) و اکسیژن بیولوژیک بالا (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) فراوانی بالایی داشته باشد.

#### ***Pantocsekiella iranica***

*Pantocsekiella iranica* بیشینه فراوانی خود را در ماه اسفند (۲۰ درصد) در فصل سرد و در ماه مرداد (۱۴ درصد) در فصل گرم داشت. داده‌های فیزیکی و شیمیایی نشان داد که با افزایش اکسیژن بیولوژیک (از ۱۴ به ۲۲ میلی‌گرم در لیتر) میزان فراوانی گونه کاهش می‌یابد ولی با افزایش غلظت نیترات (از ۲/۵ به ۶/۴ میلی‌گرم در لیتر) فراوانی آن افزایش می‌یابد. از آنجایی که این گونه تاکنون فقط از کشور ترکیه (Solak et al., 2018) گزارش شده است و بومی خاورمیانه به‌شمار می‌آید اطلاعات کمی در مورد اکولوژی فردی آن وجود دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که این گونه می‌تواند در میزان آلودگی آلی و معدنی بالا تا حدی حضور داشته باشد. با این وجود، مطالعات بیشتری لازم است تا اطلاعات کامل‌تری در مورد اکولوژی این گونه به‌دست آید.

#### ***Cocconeis placentula var. lineata***

*Cocconeis placentula var. lineata* با بیشینه فراوانی ۱۶ درصد در ماه آذر و ۱۰ درصد در ماه مرداد در گروه گونه‌های مقاوم به آلودگی بسیار زیاد و آلودگی آلی کم قرار می‌گیرد که در هر دو فصل گرم و سرد غالبیت داشت. Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، این گونه را به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به آلودگی معدنی بسیار زیاد و آلودگی آلی کم معرفی کردند. این داده‌ها با نتایج مطالعه حاضر در مورد مقاومت این گونه به آلودگی معدنی بالا مطابقت دارد.

#### ***Amphora pediculus***

*Amphora pediculus* با بیشینه فراوانی ۸ درصد در ماه مرداد و فصل تابستان و ۱۲ درصد در ماه‌های آبان، دی، بهمن و فصل زمستان به‌صورت فصلی حضور داشت. این گونه طبق تقسیم‌بندی Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، در گروه گونه‌های مقاوم به آلودگی معدنی بسیار زیاد و آلودگی آلی کم قرار می‌گیرد. Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) نیز حضور این گونه را در آب‌های آلوده با انواع آلودگی آلی و معدنی و فراوانی بالا گزارش کردند. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نیز



این گونه در صورت عدم وجود آلودگی آلی، آلودگی معدنی بالا را نیز تحمل خواهد کرد. Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) فراوانی بالای این گونه را در آب‌های تمیز در مناطق کوهستانی شرق ایالات متحده آمریکا و در آب‌های آلوده در مناطق کوهستانی غرب ایالات متحده آمریکا گزارش کردند. Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، این گونه را در گروه گونه‌های مقاوم به آلودگی معدنی بسیار زیاد و مقاوم به آلودگی آلی سطح متوسط قرار دادند. نتایج ما نشان داد که فراوانی این گونه با افزایش آلودگی آلی و آلودگی معدنی کاهش می‌یابد.

#### ***Cymbella cf. exigua***

این گونه با بیشینه فراوانی ۱۲ درصد در ماه مرداد و ۱۰ درصد در ماه اسفند، در هر دو فصل گرم و سرد حضور داشت. گزارش‌های بسیار کمی در مورد اکولوژی این گونه وجود دارد. Krammer (۲۰۰۰) حضور این گونه را در آب‌هایی که مواد معدنی کمی دارند گزارش کرده است. طبق مشاهدات ما این گونه در میزان نیترات بالا (۴/۵ میلی‌گرم در لیتر) و آلودگی آلی بالا (اکسیژن بیولوژیک ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) در این رودخانه حضور داشت.

#### ***Melosira varians***

این گونه با بیشینه فراوانی ۱۱ درصد در ماه اسفند در میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۱ میلی‌گرم در لیتر و نیترات ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر در رودخانه کرج مشاهده شد. مطالعات Van Dam و همکاران (۱۹۹۴)، Potapova و Charlisle (۲۰۱۱) و Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) این گونه را به‌عنوان گونه مقاوم در آب‌های با مواد معدنی زیاد و آلودگی آلی متوسط گزارش کردند که نتایج این پژوهشگران از این نظر با نتایج مطالعه مطابقت دارد.

استرالیا شناخته شده است که با شیوع و گسترش فراوان، مشکلات محیط‌زیستی فراوانی به‌بار آورده است (Kulikovsky et al., 2016).

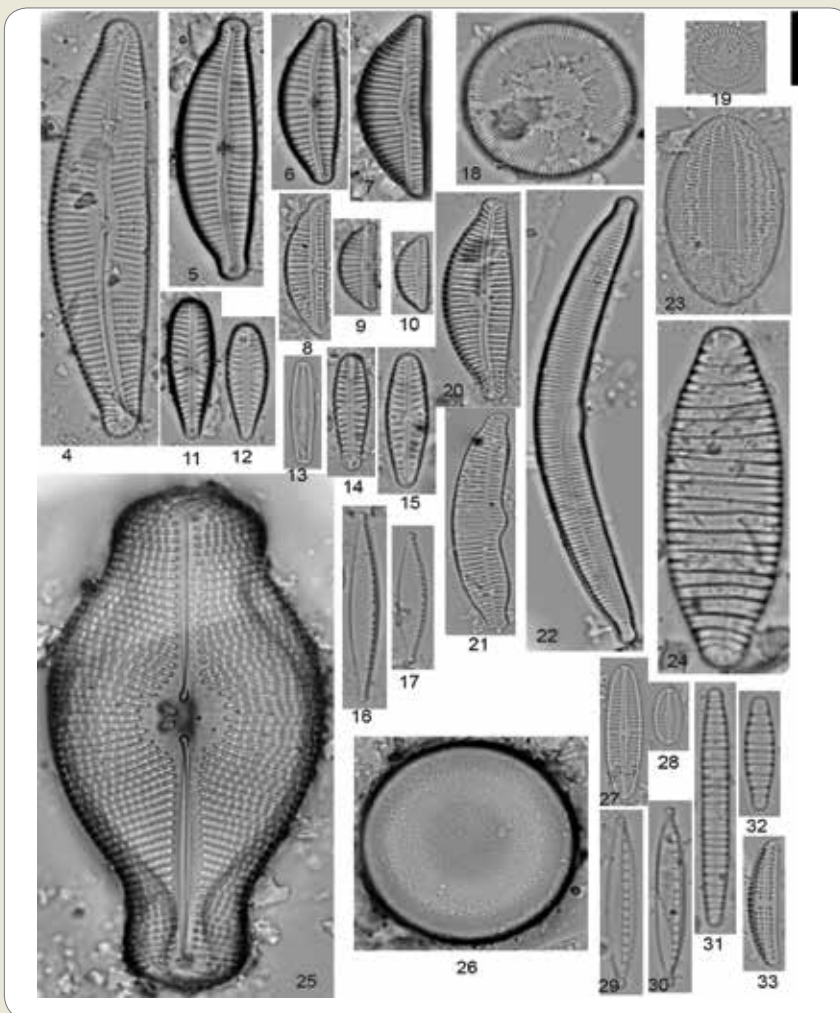
#### ***Encyonema silesiacum***

*Encyonema silesiacum* با بیشینه فراوانی ۱۰ درصد در ماه تیر (میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۱ میلی‌گرم در لیتر و میزان نیترات ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) و فراوانی ۶ درصد در ماه دی (میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۴ میلی‌گرم در لیتر و میزان نیترات ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر) حضور داشت. Hofmann و همکاران (۲۰۱۳) فراوانی بالای آن را در آب‌های با آلودگی معدنی کم تا متوسط گزارش کردند و اعلام کردند که

حضور این گونه را در آب آلوده رودخانه کرج نشان می‌دهد. از این رو داده‌های این مطالعه با نتایج این پژوهشگران همخوانی دارد.

#### ***Didymosphenia germinata***

*Didymosphenia germinata* با بیشینه فراوانی ۱۰ درصد فقط در ماه دی در میزان نیترات ۵ میلی‌گرم در لیتر و میزان اکسیژن بیولوژیک ۲۳ میلی‌گرم در لیتر در رودخانه کرج مشاهده شد. حضور این گونه در میزان بالای نیترات و اکسیژن بیولوژیک نشان‌دهنده مقاومت بالای آن به آلودگی معدنی و آلی است. این گونه به‌عنوان گونه‌ای مهاجم در دنیا و بومی مناطق مختلف آمریکای شمالی، اروپا، آسیا، نیوزیلند و



شکل‌های ۴ تا ۳۳- گونه‌های غالب عکس‌برداری شده با میکروسکوپ نوری در بزرگ‌نمایی ۱۰۰. مقیاس ۱۰ میکرومتر است

4- *Cymbella lange-bertalotii* 5-6- *Cymbella cf. excisa* 7- *Encyonema silesiacum* 8-10- *Encyonema minutum* 11-12- *Gomphonema olivaceum* 13- *Achnantheidum minutissimum* 14-15- *Gomphonema calcifugum* 16-17- *Nitzschia fonticola* 18-19- *Pantocsekiella iranica* 20- *Cymbella cf. exigua* 21-22- *Hannaea arcus* 23- *Cocconeis placentula* var. *Lineata* 24- *Diatoma vulgare* 25- *Didymosphenia geminata* 26- *Melosira varians* 27-28- *Achnantheidum deflexum* 29-30- *Nitzschia dissipata* 31-32- *Diatoma moniliformis* 33- *Amphora pediculus*

#### ● منابع

کمیسیون فنی استاندارد ملی ایران ۸۷۲۴، ۱۳۸۵. کیفیت آب-تعیین آب‌استخرپرورش ماهی برای گونه‌های رایج سردابی و گرمابی-روش متداول-ویژگی‌ها. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۲۱ صفحه. معاونت محیط‌زیست انسانی، دفتر آب و خاک، ۱۳۹۵. استاندارد کیفیت آب ایران. سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ۱۴ صفحه. رحمتی، م.، ۱۳۸۶. سازمان‌دهی بستر و حریم



- Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhaues (eds), *Suswasserflora von Mitteleuropa*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 596p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991a. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhaues (eds), *Suswasserflora von Mitteleuropa*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 576p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991b. Bacillariophyceae, 4. Teil: Achnanthesaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*, *Gesamtliteraturverzeichnis*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhaues (eds), *Suswasserflora von Mitteleuropa*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 437p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1986. Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhaues (eds), *Suswasserflora von Mitteleuropa*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 876p.
- Krammer, K., 1997a. Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part. Vol. 36. *Bibliotheca Diatomologica*. J. Cramer, Berlin, 382p.
- Krammer, K., 1997b. Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2. Encyonema Part, Encyonopsis und Cymbellopsis. Vol. 37, *Bibliotheca Diatomologica*. J. Cramer, Berlin, 469p.
- Krammer, K., 2000. *Pinnularia*. In: *Diatoms of the European inland waters and comparable habitats* (Ed. by H. Lange-Bertalot), Vol. 1. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 703p.
- Krammer, K., 2002. *Cymbella*. In: *Diatoms of Europe, diatoms of the European inland waters and comparable habitats* (Ed. by H. Lange-Bertalot) Vol. 3. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 584p.
- Krammer, K., 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocybella*. In: *Diatoms of Europe, diatoms of European inland waters and comparable habitats* (Ed. by H. Lange-Bertalot) Vol. 4. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 530p.
- Kulikovskiy, M.S., Glushchenko, A.M., Genkal, S.I., and Kuznetsova, I.V., 2016. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl. Filigran, 804p. (In Russian).
- Lange-Bertalot, H. and Krammer, K., 1989. *Achnanthes*. Eine Monographie der Gattung. Vol. 18. *Bibliotheca Diatomologica*, J. Cramer, Berlin, 393p.
- Descy, J. P., 1979. A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia*, 64: 305-323.
- Descy, J. P. and Coste, M., 1991. A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 24: 2112-2116.
- Gómez N. and Licursi M., 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*, 35(2): 173-181.
- Hakansson, H., 2002. A compilation and evaluation of species in the general *Stephanodiscus*, *Cyclostephanos* and *Cyclotella* with a new genus in the family *Stephanodiscaceae*. *Diatom Research*, 17(1): 1-139.
- Hofmann, G., Werum, M. and Lange-Bertalot, H., 2013. *Diatomeen im Süßwasser – Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsfloren Kieselalgen für die ökologische Praxis*. Koeltz Scientific Books, Königstein, 908p.
- Hurlimann, J. and Niederhauser, P., 2006. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Kieselalgen Stufe F (flachendeckend) Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern, 130 p.
- Hering, D., Johnson, R. K., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K. and Verdonschot, P. F. M., 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology*, 51: 1757-1785.
- Jakovljević, O. S., Popović, S. S., Vidaković, D. P., Stojanović, K. Z. and Krizmanić, J. Z., 2016. The application of benthic diatoms in water quality assessment (Mlava River, Serbia). *Acta Botanica Croatica*, 75(2): 199-205.
- Karr, J. R., 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6: 21-27.
- Kelly, M. G. and Whitton, B. A., 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7: 433-433.
- Kheiri, S., Nejadstattari, T., Asri, Y., Hamdi, S. M. M., Spaulding, S. and Edlund M. B., 2013. *Cyclotella iranica* sp. nov. (Bacillariophyta: Coscinodiscophyceae), a new diatom from the Karaj River, Iran. *Phytotaxa*, 104(1): 35-43.
- Kheiri, S., Solak, C. N., Edlund, M. B., Spaulding, S., Nejadstattari, 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.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1988. رودخانه کرج، گزارش نهایی طرح پژوهشی. شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، تهران، ۴۸ صفحه.
- قاسمی‌زیارانی، ا. و فریادی، ش.، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی پتانسیل آلوده‌کنندگی حوضه آبریز سد کرج با تلفیق روش‌های ارزیابی توان اکولوژیک، تحلیل پارامترهای کیفی آب و SWOT. *علوم محیطی*، ۷ (۲): ۲۱-۳۹.
- بختیاری، س.، ۱۳۸۷. اطلس جامع گیتهانشناسی، واحد پژوهش و تألیف گیتهانشناسی. مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتهانشناسی، تهران، ۹۶ صفحه.
- مسعودیان، ن.، فلاحیان، ف.، نژادستاری، ط.، متاجی، ا. و خاوری‌نژاد، ر.، ۱۳۸۸. دیاتومه‌های اپیلیتیک و نقش آن در تعیین کیفیت آب رودخانه تجن، استان مازندران. *دانش زیستی ایران*، ۴ (۲): ۶۶-۵۷.
- Ács, E., Ari, E., Duleba, M., Dressler, M., Genkal, S. I., Jakó, E., Rimet, F., Ector, L. and Kiss, K. T., 2016. *Pantocsekiella*, a new centric diatom genus based on morphological and genetic studies. *Fottea, Olomouc*, 16(1): 56-78.
- 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.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F. and Furse M. T., 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17: 333-347.
- Buffagni, A., Erba, S., Cazzola, M. and Kemp J. L., 2004. The AQEM multi-metric system for the southern Italian Apennines: assessing the impact of water quality and habitat degradation on pool macroinvertebrates in Mediterranean rivers. *Hydrobiologia*, 516: 313-329.
- Bey, M. Y. and Ector, L., 2013. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes. Tome 5: Naviculacées-Cymbelloidées, Gomphonématoidées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes, Lyon, 972p.
- Cantonati, M., Lange-bertalot, H. and Angeli, N., 2011. *Neidiomorpha* gen. nov. (Bacillariophyta): A new freshwater diatom genus separated from *Neidium* Pfitzer. *Botanical Studies*, 51: 195-202.
- Cemagref, 1982. Etude des méthodes biologiques quantitatives d'appréciation de la qualité des eaux. Rapport Division Qualité des Eaux Lyon – Agence financière de Bassin RhôneMéditerranée-Corse, Pierre-Bénite, 28p.
- Dell'Uomo, A., 2004. L'Indice Diatomico de Eutroffizzazione/ Polluzione (EPI-D) nel Monitoraggio delle Acque Correnti. *Linee Guida*. APAT, Roma, 101p.

- neity. Journal of the North American Benthological Society, 16: 248-62.
- Stenger-Kovács, C., Buczko, K., Hajnal, E. and Padisák, J., 2007. Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *Hydrobiologia*, 589(1):141-154.
- Tison, J., Giraudel, J. L. and Coste, M., 2008. Evaluating the ecological status of rivers using an index of ecological distance: An application to diatom communities. *Ecological indicators*, 294: 1-9.
- Tremp, H. and Kohler, A., 1995. The usefulness of macrophyte monitoring-systems, exemplified on eutrophication and acidification of running waters. *Acta Botanica Gallica*, 142: 541-550.
- United states Environmental Protection Agency. Federal water pollution control, 2002. Available at: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>
- Van Dam, H., Mertens, A. and Sinkeldam, J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Journal of Aquatic Ecology*, 28 (1): 117-133.
- Watanabe, T., Asai, K. and Houki, A., 1988. Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblage. In: Round, F.E. (Ed.), *Proceedings of the Ninth International Diatom Symposium 1986*. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, Germany, pp. 123-141.
- 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.
- Westlake, D. F., 1975. Macrophytes. In: *River ecology*, Ed. Whitton B.A., University of California Press, Berkeley, California, pp. 106-128.
- Williams, D. M., 1985. Morphology, taxonomy and interrelationships of the ribbed araphid diatoms from the genera *Diatoma* and *Meridion* (Diatomaceae: Bacillariophyta). Vol.8. *Bibliotheca Diatomologica*, 228p.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H. and Metzeltin, D., 2000. *Diatom Flora of Marine Coasts I*. Vol.7 *Iconographia Diatomologica*, A. R. G. Gantner Verlag, 925p.
- Zelinka, M. and Marvan, P., 1961. Zur Präzisierung der biologischen klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie*, 57:389-407.
- Sci. Eau), 9 (1): 97-113.
- Reichardt, E., 1999. Zur Revision der Gattung *Gomphonema*. Die Arten um *G. affine/insigne*, *G. angustum/micropus*, *G. acuminatum* sowie *gomphonemoide* Diatomeen aus dem Oberoligozän in Böhmen. Vol.8. *Iconographia Diatomologica*, 203p.
- Rott, E., 1991. Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers. In *Use of Algae for Monitoring Rivers*, ed. B. A. Whitton, E. Rott and G. Friedrich, Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria: E. Rott, Publisher, pp. 9-16.
- Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. and Pipp, E., 1997. Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Österreichischen Fließgewässern. Teil 1: Saprobielle Indikation Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, 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, Bundesministerium fuer Land- und Forstwirtschaft, Wien, 248 p.
- Rumeau, A. and Coste, M., 1988. Initiation la ssistematique des diatomées d'eau douce. pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 309: 1-69.
- Sládeček, V., 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica Hydrobiologica*, 14: 555-566.
- Statzner B., Bis B., and Usseglio-Polatera, P., 2001. Perspectives for biomonitoring at large spatial scales: a unified measure for the functional composition of invertebrate communities in European running waters. *Basic and Applied Ecology*, 1: 73-85.
- Solak, C. N., Kulikovskiy, M., Kiss, T. K., Kaleli M. A., Kociolek J. P. and Ács, E., 2018. The distribution of centric diatoms in different river catchments in Anatolian Peninsula, Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 42: 100-122.
- Spaulding, S., Bishop, I., Edlund, M. B., Lee, S. and Potapova, M., 2019. Diatoms of North America. Available at: <https://diatoms.org/what-are-diatoms>.
- Steinberg, C. and Schiefele, S., 1988. Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Z. Wasser. Abwasser. Forsch.*, 21: 227-234.
- Stoermer, E. F. and Smol, J. P., 1999. *The diatoms: Applications for the environmental Earth Sciences*. Cambridge university press, U.K., 483p.
- Stevenson, R. J., 1997. Scale-dependent causal frameworks and the consequences of benthic algal heteroge-
- Leclercq, L. and Maquet, B., 1987. Deux nouveaux indices chimiques et diatomiques de qualité d'eau courante. application au samson et ses affluents (Bassin de la Meuse Belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques biocénétiques et diatomiques. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Document de Travail, 38: 113.
- Lenoir, A. and Coste, M., 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board network, In Whitton B.A., Rott E. (Eds.) *Use of Algae for Monitoring Rivers II*, Universität Innsbruck, Innsbruck, pp. 29-45.
- Levkov, Z., 2009. *Amphora sensu lato*. In H. Lange-Bertalot (ed.), *Diatoms of Europe Vol.5 A.R.G. Gantner Verlag K. G., Ruggell*, 916p.
- Levkov, Z., Caput Mihalic, K. and Ector, L., 2010. A taxonomical study of *Rhoicosphenia Grunow* (Bacillariophyceae) with a key for identification of selected taxa. *Fottea*, 10: 145-200.
- Lobo, E. A., Callegaro, V. L. M. and Bender, E. P., 2002. Utilizacao de Algas Diatomaceas Epilíticas como Indicadores da Qualidade da Agua em Rios e Arroios da Regiao Hidrografica do Guaiba, RS, Brasil. *EDUNISC, Santa Cruz do Sul. EDUNISC*, 127 p.
- Lorenz, A., Hering, D., Feld C. K. and Rolaufts, P., 2004. A new method for assessing the impact of morphological degradation on the benthic invertebrate fauna for streams in Germany. *Hydrobiologia*, 516: 107-127.
- Mayer, M. S. and Likens, G. E., 1987. The importance of algae in a shaded headwater stream as food for an abundant caddisfly (Trichoptera). *Journal of the North American Benthological Society*, 6: 262-269.
- Moghadam, F., 1975. Diatoms as indicator of pollution in Zayandeh River, Iran. *Proceedings of Academy of Natural Science of Philadelphia*, 127: 281-297.
- Patrick, R., 1961. A study of the numbers and kinds of species found in rivers of the Eastern United States. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 113: 215-58.
- 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 (U.S.); Patrick Center for Environmental Research; National Water-Quality Assessment Program (U.S.). U.S. Geological Survey. Open file report. 44p.
- Prygiel, J., Leveque, L. and Iserentant, R., 1996. Un nouvel indice diatomique pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance. *Revue des sciences de l'eau (Rev.*