

شناسایی و اکولوژی دیاتومه‌های اپلیتک رودخانه بابلرود

بهرام پورحیدر خشکرودی، ناصر جعفری* و علیرضا نقی‌نژاد
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

دیاتومه‌های اپی‌لیتون گروهی از جلبک‌های شاخه Bacillariophyta هستند که بر سطح سنگ‌ها و سطوح سخت رشد می‌کنند. در پژوهش حاضر، شناسایی و تغییر جمعیت فلور دیاتومه‌های رودخانه بابلرود بررسی شد. نمونه‌برداری از خرداد ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۱، هر ۳۰ روز یک بار در پنج ایستگاه انجام گرفت و همراه با آن عوامل فیزیکی و شیمیایی نظیر: درجه حرارت، اسیدیته، نیترات و فسفات و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها با روش Patrick و Reimer (۱۹۶۶) آماده شدند. از ۷۲ گونه گزارش شده ۳۳ گونه (۴۶ درصد) انتشار گسترده‌ای در همه نمونه‌ها داشتند. اغلب گونه‌ها متعلق به جنس‌های *Navicula* (۱۲)، *Nitzschia* (۹)، *Achnanthes* (۹)، *Cymbella* (۸) و *Gomphonema* (۶) بودند. تنوع گونه‌ای دیاتومه‌ها از بالادست به سمت پایین دست رودخانه کاهش یافته است که نشان دهنده افزایش آلودگی آب است. همچنین، تأثیر تغییرات عوامل محیطی مانند هدایت الکتریکی، اسیدیته، درجه حرارت، نیترات و فسفات در پراکنش گونه‌های دیاتومه بررسی شد. در قسمت‌های بسیار آلوده رودخانه بابلرود گونه‌هایی نظیر: *Gomphonema olivaceum*، *Navicula pupula*، *Nitzschia flexa* و *Pinnularia major* مشاهده شدند، در صورتی که در قسمت‌هایی با آلودگی نسبتاً کم گونه‌های: *Achnanthes fragilaria virescens* و *Cymbella affinis*، *Achnanthes deflexa clevei* حضور بیشتری داشتند. بنابراین، این نتیجه حاصل شد که می‌توان از دیاتومه‌ها به عنوان شاخص‌های کمی از شرایط زیست محیطی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، تنوع گونه‌ای، دیاتومه‌ها، رودخانه بابلرود، شاخص تروفیک، شاخص ساپروبیته

مقدمه

اکوسیستم‌های رودخانه‌ای مؤثر است بلکه می‌تواند نشان‌دهنده فشارهای وارده از محیط اطراف باشد (Sioli, 1975). مطالعه آب‌ها و شناسایی آلودگی رودها تنها با روش‌های رایج سنجش شاخص‌های

شناخت و بررسی کمی و کیفی منابع آبی از ارکان مهم و اساسی توسعه پایدار است. مطالعه رودخانه‌ها و نهرها بسیار مهم بوده، نه تنها در تشخیص سلامت

2004؛ Donald, 2006). سنجش شرایط زیست‌محیطی می‌تواند بر اساس مطالعه گونه‌ای خاص (Juttner *et al.*, 1996) یا بررسی گروهی از گونه‌های معرف (Kelly and Whitton, 1995) یا بررسی تمامی گونه‌های دیاتومه‌ای داخل آب صورت گیرد (Lowe and Pan, 1996).

با توجه به اهمیت مطالعات هیدروبیولوژیک در رودخانه‌های کشور و عدم وجود اطلاعات جامع در مورد دیاتومه‌های رودخانه بابلرود، شناسایی و بررسی تنوع، تراکم و فلور دیاتومه‌ها با تأکید بر شاخص‌های بوم‌شناختی ضروری است. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تغییرات دیاتومه‌های اپی‌لیتون با توجه به نوسانات غلظت آلاینده‌ها، درجه حرارت آب و اسیدیته آن از بالادست تا مصب رودخانه در بابلرود است.

مواد و روش‌ها

رودخانه بابلرود از رودخانه‌های اصلی حوزه آبریز دریای مازندران است که از شمال به دریای مازندران، از شرق به حوزه رودخانه تالار، از جنوب به دامنه شمالی سلسله کوه‌های البرز (قله دماوند) و از غرب به حوزه آبریز رودخانه هراز محدود می‌گردد. وسعت حوزه آبریز ۱۸۵ کیلومتر مربع و نوع رودخانه دایمی است. طول رودخانه ۸۳ کیلومتر، عرض رودخانه حداقل ۷۰ متر و حداکثر ۱۲۰ متر، شیب متوسط رودخانه ۲/۴ درصد، میانگین آب‌دهی سالانه ۲۳۳ میلیون متر مکعب، نوع بستر رودخانه از سرچشمه تا مصب رودخانه شن و ماسه، وضعیت ظاهری آب رودخانه در بیشتر مناطق گل‌آلود، بیشترین میزان رسوب‌گذاری در دهانه و مصب رودخانه است. مصب

فیزیکوشیمیایی آب کافی نیست زیرا فقط اطلاعاتی را در زمان نمونه‌برداری به ما می‌دهد (Esmaili Sari, 2002). روش‌های سنتی بررسی منابع آب به طور کامل قادر به بیان کیفیت و وضعیت محیط آبی نیست، به همین دلیل ارزیابی زیستی با استفاده از موجودات زنده و به ویژه کفزی‌ها شاخص بهتری از محیط آبی است (Spellman and Drinan, 2002). منبع اصلی جلبک‌ها منابع آبی طبیعی است که پژوهش‌های متعددی برای شناسایی تنوع جلبک‌های آنها انجام شده است. بررسی تنوع گونه‌ای جلبک‌های بومی منطقه و ارزیابی پتانسیل پرورش انبوه، ارزش غذایی و یافتن کاربرد آنها می‌تواند بنیادی‌ترین تحقیق در آغاز صنعتی‌سازی پرورش و استفاده از جلبک‌ها باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، آب‌های داخلی منابع بسیار مهم و سرشار انواع جلبک‌ها هستند (Asal Pishe *et al.*, 2012). پتانسیل ارگانیک‌های آب شیرین، نسبت به تغییرات شرایط محیطی در آب‌های آلوده و غیر آلوده متفاوت است (Liebmann, 1962). استفاده از جلبک‌های میکروسکوپی به عنوان نشانگر زیستی نخستین بار توسط Patrick و Reimer (۱۹۶۶) مطرح شد. دیاتومه‌ها از معرف‌های شرایط محیطی هستند و می‌توانند به طور موفقیت‌آمیزی در روشن کردن وضعیت شرایط زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند. دیاتومه‌ها جمعیت‌های مطلوبی برای مشخص کردن کیفیت آب به شمار می‌آیند (Atici *et al.*, 2008). در بسیاری از مطالعات با استفاده از جمعیت‌های دیاتومه‌ای اپی‌لیت، کیفیت آب‌های جاری ارزیابی شده است، بدین صورت که با ارزیابی ترکیب گونه‌ای، رابطه آن را با کیفیت آب سنجیده‌اند (Bate *et al.*,

مسواک، یا تیغ) تراشیده شد و به ظرف نمونه برداری منتقل شد، نمونه برداری از سطحی معادل ۱۶ سانتی‌متر مربع در ۳ تکرار انجام شد. نمونه‌ها در محل توسط فرمالین ۴ درصد تثبیت شدند (Salmoni, 2006). نمونه برداری‌ها در پنج ایستگاه متفاوت (جدول ۱ و شکل ۱) به صورت ماهیانه (دهه دوم هر ماه) از فروردین ماه ۱۳۹۱ تا شهریورماه ۱۳۹۱ انجام شد. همزمان با آن یک لیتر آب برای آزمایشات شیمیایی جمع‌آوری شد. دمای آب، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS اندازه‌گیری شد.

رودخانه تا حدودی عریض و دارای عمق مناسب برای رفت و آمد شناورهای صیادی است. دسترسی به مصب از طریق اسکله بندر بابلسر و جاده ساحلی امکان‌پذیر است. درختان از جمله موانع طبیعی موجود در رودخانه و رستوران‌های دریایی، آلاچیق، دکه‌های تفریحی، پل‌های احداث شده از موانع مصنوعی به شمار می‌روند. برای نمونه برداری از دیاتومه‌های اپی لیتون در هر ایستگاه در عرض رودخانه سه سنگ انتخاب و از آنها نمونه برداری صورت گرفت. سنگ‌ها از آب خارج و سطح مجاور سنگ با آب، توسط کاردک (یا بُرس، یا

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری

ایستگاه	نام محل نمونه برداری	ارتفاع (متر)	طول و عرض جغرافیایی
۱	اسکله لنج‌ها	-۲۲	E.۵۲° ۳۹/۰۹۱'N, ۳۶° ۴۲/۴۷۸'
۲	علی آباد	-۱۶	E.۵۲° ۳۸/۵۸۰', N۳۶° ۴۰/۳۹۶'
۳	پایین درزی نقیب	-۹	E.۵۲° ۳۷/۵۴۷', N۳۶° ۳۷/۷۲۹'
۴	میدان مادر بابل	-۴	E.۵۲° ۳۹/۶۷۸', N۳۶° ۳۳/۰۰۱'
۵	پل محمد حسن خان بابل	۰	E.۵۲° ۳۹/۸۴۵', N۳۶° ۳۱/۴۹۳'

رابطه ۱: $T=(N.S1)/(S2.n.V)$

T = تعداد جلبک‌ها در هر میلی‌لیتر، N = تعداد کل جلبک‌ها شمارش شده در تمام نقاط، $S1$ = مساحت لامل، $S2$ = مساحت میدان دید میکروسکوپ در عدسی شیئی مورد نظر، n = تعداد نقاط شمارش شده در زیر میکروسکوپ، V = حجم نمونه زیر میکروسکوپ که در این مطالعه برابر ۰/۰۵ میلی‌لیتر است.

شاخص‌های زیستی

در پژوهش حاضر، از شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر (رابطه ۲) (Shannon and Wiener, 1963)، شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون (رابطه ۳) (Simpson, 1949)، شاخص غنای گونه‌ای مارگالف (رابطه ۴)

برای آماده کردن دیاتومه‌ها از روش Patrick و Reimer (۱۹۶۶) استفاده شد. نمونه‌ها با مخلوط ۱۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه و ۱۰ میلی‌لیتر کلریدریک اسید به مدت ۳۰ دقیقه در زیر هود جوشانده شدند. سپس دو بار با آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰ سانتی‌فیوژ شدند. تشخیص و شناسایی دیاتومه‌ها با استفاده از کلیدهای شناسایی موجود در این زمینه انجام شد (Patrick and Reimer, 1966; Hustedt, 1930; Cox, 1996). شمارش دیاتومه‌ها با استفاده از میکروسکوپ اینورت و روش شمارش قطره‌ای (Lackey, 1938) انجام شد. سپس تعداد کل جلبک‌ها در ۱ میلی‌لیتر آب از رابطه ۱ محاسبه گردید:

Gomphonema به ترتیب با داشتن ۱۲، ۹، ۹، ۸ و ۶ گونه از تنوع زیادی در طول رودخانه برخوردار بودند. جنس‌های *Pinnularia*، *Diatoma*، *Cocconeis*، *Amphora* و *Surirella*، *Fragilaria* به ترتیب با داشتن ۵، ۴، ۳، ۲ و ۲ گونه حضور بیشتری در ایستگاه‌های مختلف نسبت به جنس‌های دیگر داشتند. جنس *Navicula* با ۳۷/۹ درصد و *Nitzschia* با ۲۲/۷ درصد بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر دیاتومه‌ها داشتند. دامنه نوسانات درجه حرارت در طول رودخانه بابلرود بین ۲۲/۱۷±۸/۶ و ۲۵/۶۷±۶/۲ درجه سانتیگراد متغیر بود که حداکثر آن در پایین دست رودخانه (ایستگاه ۲) و حداقل آن در بالادست رودخانه (ایستگاه ۵) مشاهده شد. میزان نیترات و فسفات از بالادست رودخانه به سمت پایین دست رودخانه افزایش داشت. بیشترین غلظت نیترات در ایستگاه ۲ و کمترین میزان آن در ایستگاه ۴ (بالادست رودخانه) مشاهده شد. بالاترین غلظت فسفات (۰/۳۴±۰/۱۱ mg/l) در پایین دست رودخانه (ایستگاه ۱) و حداقل میزان آن در ایستگاه ۵ (۰/۲۷±۰/۱۲ mg/l) در بالادست رودخانه (ایستگاه ۵) مشاهده شد (پیوست ۱). اسیدیته رودخانه بابلرود خنثی تا قلیایی است و به تدریج از بالادست به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. حداکثر اسیدیته آب (۸/۰۷±۲/۲) در ایستگاه ۱ و کمترین میزان آن (۷/۳۱±۱/۲) در ایستگاه ۵ واقع در بالادست رودخانه گزارش شده است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی آب (EC) در پایین دست رودخانه (۹۱۸±۹۸ μS/cm) و کمترین مقدار آن (۶۵۱±۸۵ μS/cm) در بالادست رودخانه مشاهده شد.

(Margalef, 1958) و شاخص تروفیکی دیاتومه‌ای مبتنی بر جنس *GDI_S* و *GDI_T* (رابطه ۵) (Van Dam et al., 1994) برای بررسی‌های بوم‌شناسی و میزان آلودگی استفاده شد:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i (\ln p_i) \quad \text{رابطه ۲:}$$

S = تعداد گونه مورد بررسی، P_i = فراوانی نسبی هر گونه.

$$D-1 = \sum \left(\frac{n_i (n_i - 1)}{N (N - 1)} \right) \quad \text{رابطه ۳:}$$

n_i = تعداد افراد هر گونه، N = تعداد کل افراد گونه‌ها.

$$m = (S-1) / (\ln(N)) \quad \text{رابطه ۴:}$$

N = تعداد کل افراد گونه‌ها و S = تعداد گونه‌های شمارش شده.

$$DI = \sum S_i / \sum T_i \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$S_i = n_i / N$$

n_i = تعداد افراد هر جنس حساس، N = تعداد کل افراد

جنس و S_i = فراوانی نسبی هر جنس حساس.

$$T_i = n_i / N$$

n_i = تعداد افراد هر جنس مقاوم، N = تعداد کل افراد

جنس و T_i = فراوانی نسبی هر جنس مقاوم.

برای بررسی ارتباط شاخص‌های زیستی و غیر زیستی با یکدیگر و مقایسه آماری، از آزمون اختلاف میانگین ANOVA، ضریب همبستگی پیرسون و از نرم‌افزارهای PAST، SPSS نسخه ۱۶ و STATISTICA نسخه ۷ استفاده شد.

نتایج

در این پژوهش، در مجموع ۷۲ گونه دیاتومه متعلق به ۲۰ جنس شناسایی شد (جدول ۲). جنس‌های *Navicula*، *Achnanthes*، *Cymbella* و

برای نمونه، جنس *Gyrosigma* در فروردین، *Synedra* و *Diploneis* در اردیبهشت و خردادماه و جنس‌های *Synedra* و *Diatoma*، *Amphora*، *Achnanthes* تیرماه مشاهده نشدند. Jamallou و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی دیاتومه‌های اپی‌لیتون رودخانه جاجرود و Rasti و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه جوامع پری‌فیتون رودخانه گرگر بیشترین فراوانی جلبک‌های اپی‌لیتون را در ماه‌های گرم سال گزارش نموده‌اند. کمترین فراوانی در این نوع بستر در ماه‌های سرد مشاهده شده که با مشاهدات مطالعه حاضر پیروی می‌کند.

(1644 ± 182 cell/cm²) در ایستگاه ۴ و کمترین آن (1469 ± 148 cell/cm²) در ایستگاه ۲ گزارش شده است. در بین ماه‌های نمونه‌برداری به طور میانگین حداکثر تراکم دیاتومه‌ها (2175 cell/cm²) در تیرماه و حداقل آن (1204 cell/cm²) در فروردین‌ماه مشاهده شد (جدول ۴). از نظر درصد فراوانی دیاتومه‌ها حداکثر فراوانی ($37/58 \pm 9/14$) در ایستگاه ۲ و کمترین آن ($9/21 \pm 2/11$) در ایستگاه ۵ واقع در بالادست رودخانه گزارش گردید (پیوست ۱).
برخی از جنس‌ها در بعضی ماه‌ها وجود نداشتند،

جدول ۳- فهرست جنس‌های حساس و مقاوم ساپروپ و تروفیک دیاتومه‌ها GDI_S و GDI_T (Van Dam et al., 1994)

شاخص ساپروبی	شاخص تروفیکی	
<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i>	جنس‌های حساس
<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira</i>	
<i>Cocconeis</i>	<i>Cymbella</i>	
<i>Cymbella</i>	<i>Eunotia</i>	
<i>Eunotia</i>	<i>Neidium</i>	
<i>Neidium</i>	<i>Pinnularia</i>	
<i>Pinnularia</i>	<i>Stauroneis</i>	
<i>Stauroneis</i>		
<i>Surirella</i>		
<i>Amphora</i>	<i>Amphora</i>	جنس‌های مقاوم
<i>Cyclotella</i>	<i>Cocconeis</i>	
<i>Diatoma</i>	<i>Diatoma</i>	
<i>Melosira</i>	<i>Nitzschia</i>	
<i>Nitzschia</i>		

جدول ۴- تراکم دیاتومه‌ها در مدت زمان نمونه‌برداری در پنج ایستگاه بررسی شده (cell/cm²)

ماه / ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	میانگین
فروردین	۱۲۵۳	۱۲۶۰	۱۲۰۳	۱۱۳۳	۱۱۷۱	۱۲۰۴
اردیبهشت	۱۴۸۰	۱۵۴۲	۱۳۶۲	۱۲۸۲	۱۴۵۲	۱۴۲۴
خرداد	۱۴۷۴	۱۵۳۸	۱۳۹۳	۱۳۸۵	۱۳۷۶	۱۴۳۳
تیر	۲۲۲۲	۲۳۱۶	۲۱۴۶	۲۰۷۲	۲۰۳۱	۲۱۷۵
مرداد	۱۸۰۶	۱۸۴۱	۱۶۷۷	۱۷۱۷	۱۶۹۸	۱۷۴۸
شهریور	۱۳۷۰	۱۳۶۸	۱۲۸۵	۱۲۲۳	۱۱۷۰	۱۲۸۳
میانگین ایستگاه	۱۶۰۱	۱۶۴۴	۱۵۱۱	۱۴۶۹	۱۴۸۳	۱۵۱۴

بحث

بوم‌شناسان معتقدند که حضور موجودات زنده در یک اکوسیستم اتفاقی نیست و نشان‌دهنده مجموعه شرایط اکولوژی است که باعث رشد، تکثیر و تراکم برخی گونه‌ها و حذف بعضی گونه‌های دیگر می‌شود (Gharibkhani and Tatina, 2009). در پژوهش حاضر، جنس‌های *Gomphonema*، *Cymbella*، *Navicula* و *Nitzschia* فراوانی بیشتری در ایستگاه‌های مختلف نسبت به سایر جنس‌ها داشتند که در بررسی‌های فلوربستیگ انجام شده در سایر رودخانه‌های ایران و دنیا وضعیت مشابهی گزارش شده است. Jamallou و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی دیاتومه‌های اپی‌لیتون رودخانه جاجرود جنس‌های *Navicula*، *Gomphonema*، *Cocconeis*، *Cymbella* و *Nitzschia* را فراوان‌تر از سایر دیاتومه‌ها گزارش داد. Masoudian و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای مشابه در رودخانه تجن شش جنس: *Cymbella*، *Achnanthes*، *Diatoma*، *Gomphonema*، *Navicula* و *Nitzschia* را فراوان گزارش داد. فراوانی دیاتومه‌ها در ماه‌های فروردین و شهریور از کمتری است که از دلایل آن به غیر از کمتر بودن نور و گرما می‌توان به افزایش دبی آب به دلیل بارندگی بیشتر و همچنین باز بودن سدهای داخل رودخانه، آلودگی گل و لای آب و رقابت سیانوباکترها در این موقع از سال اشاره کرد. از سوی دیگر، حجم جریان آب در تعیین نوع بستر یعنی سنگی، گلی یا دیتریتی بودن نیز بسیار مهم است، تعداد و تراکم فیتوپلانکتون‌ها نیز در این شرایط اغلب تحت تأثیر عوامل فیزیکی است به همین علت ناحیه‌بندی زیستی رودخانه‌ها متفاوت و از الگوی نواحی زیستی خاصی

مانند دریاچه‌ها پیروی نمی‌کند (Goldman and Rasti.Horne, 1983) و همکاران (۲۰۰۸) وجود پساب‌ها، نور و گرما را علت فراوانی جلبک‌های پری‌فیتون دانسته‌اند.

مشاهدات پژوهش‌های پیشین با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. دمای اکوسیستم رودخانه بابلرود به تدریج از بالادست به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. با مطالعه ماتریس همبستگی پیرسون (پیوست ۲)، بین دما با شاخص تروفیکی (GDI_T) و شاخص ساپرویتی (GDI_S) ارتباط معنی‌داری (در سطح $P < 0/01$) وجود دارد. بر اساس نتایج بررسی حاضر، برخی از دیاتومه‌ها نظیر *Navicula* و *Nitzschia* نسبت به تغییرات دما مقاوم و بعضی دیگر مانند *Cyclotella* و *Fragilaria* نسبت به تغییرات دما حساس بوده، از فراوانی آنها کاسته می‌شود. Kadri (۱۹۹۸) در شناسایی گونه‌های مختلف دیاتوم در دریاچه کبان ترکیه گزارش نمود که افزایش درجه حرارت عاملی مثبت در ازدیاد دیاتوم‌ها است که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد، در مطالعه حاضر بین فراوانی دیاتوم‌ها و درجه حرارت آب ارتباط معنی‌دار (۰/۹۸۴) در سطح $P < 0/01$ مشاهده شد. جنس‌های *Diatoma*، *Gomphonema*، *Navicula* و *Nitzschia* در اغلب ماه‌های نمونه‌برداری حضور گسترده داشتند که این موضوع نشان‌دهنده مقاوم بودن آنها به تغییرات دمایی است در حالی که برخی از جنس‌ها مانند: *Achnanthes*، *Cyclotella*، *Fragilaria* و *Melosira* با حضور و فراوانی کمتری در برخی از ماه‌های نمونه‌برداری نشان‌دهنده حساسیت و عدم بردباری این جنس‌ها به تغییرات دمایی است. همچنین، بر اساس نتایج آزمون همبستگی، دما با

هدایت الکتریکی بر فراوانی دیاتومه‌ها تأثیرگذار است (Sheath and Cole, 1992). در مطالعه حاضر، با افزایش مقدار هدایت الکتریکی آب میزان شاخص تنوع گونه‌ای شانون کاهش نشان داد.

با مطالعه ماتریکس همبستگی پیرسون (پیوست ۲) بین EC و شاخص ساپروبیته (GDI_S) ارتباط معنی‌دار در آزمون همبستگی (در سطح $P < 0/01$) به خوبی دیده می‌شود. یعنی در مناطق آلوده به مواد تروفیکی میزان EC افزایش نشان می‌دهد. بین بسیاری از جنس‌های دیاتومه و میزان EC نیز ارتباط معنی‌داری وجود دارد. برای نمونه، با افزایش EC فراوانی جنس‌هایی نظیر: *Nitzschia*، *Navicula*، *Gomphonema*، *Diploneis* به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد و فراوانی جنس‌هایی مانند: *Cyclotella*، *Cocconeis*، *Achnanthes* و *Fragilaria* کاهش می‌یابد، این دیاتومه‌ها نسبت به EC و آلودگی آب حساس هستند.

در بررسی حاضر، بیشترین فراوانی دیاتومه‌های اپی‌لیتون در ماه‌های گرم سال گزارش شد و کمترین فراوانی در ماه‌های سرد مشاهده گردید که با مشاهدات پژوهشگران دیگر (Jamallou, et al., 2005؛ Rasti et al., 2008) مطابقت دارد، کاهش جمعیت دیاتومه‌ها می‌تواند ناشی از افزایش سرعت جریان رودخانه، آلودگی از نوع گل و لای به دلیل بارندگی و کاهش دما و نور باشد. در پژوهش حاضر مشاهده شد که از سمت ایستگاه‌های بالادست به سمت ایستگاه‌های پایین دست با افزایش درصد آلاینده‌ها به رودخانه تراکم و فراوانی گونه‌ها افزایش می‌یابد که این ارتباط معنی‌دار در آزمون همبستگی به خوبی دیده می‌شود (پیوست ۲). در رودخانه بابلرود پساب‌های کشاورزی و پرورش

فراوانی گونه‌ها ارتباط معنی‌داری دارد، به این معنی که از سمت ایستگاه‌های بالادست با دمای کمتر به سمت ایستگاه‌های پایین‌تر با دمای بیشتر فراوانی گونه‌های مطالعه شده به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. نتیجه بررسی‌های Roshantabari (۱۹۹۵) و Shomali و Abdolmaleki (۱۹۹۷) که به ترتیب بر روی رودخانه‌های گرگانرود و هراز انجام شده است با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

در پژوهش حاضر، بین اسیدیته و شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر، شاخص تروفیکی (GDI_T) و شاخص ساپروبیته (GDI_S) همبستگی معنی‌داری مشاهده شد که البته این همبستگی منفی است و نشان می‌دهد که با افزایش اسیدیته از تنوع زیستی کاسته شده و در مناطق آلوده میزان اسیدیته بالاتر است. ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین اسیدیته و فراوانی بعضی از جنس‌ها نیز ارتباط بالایی چه به صورت منفی (*Fragilaria* و *Cyclotella*) و چه به صورت مثبت (*Nitzschia* و *Navicula*) وجود دارد که نشان می‌دهد برخی از این جنس‌ها نسبت به تغییرات اسیدیته مقاوم‌تر و برخی حساس‌تر هستند و جنس‌های مختلف به تغییرات اسیدیته پاسخ یکسانی نمی‌دهند. فراوانی برخی از جنس‌ها با افزایش اسیدیته رابطه مستقیم دارد (مانند: *Gomphonema*، *Navicula* و *Nitzschia*) و بعضی از آنها با افزایش اسیدیته کاهش می‌یابند (مانند: *Cocconeis*، *Cyclotella*، *Cymbella*، *Fragilaria* و *Melosira*). هدایت الکتریکی (EC) به دنبال تغییرات مقدار کل مواد جامد محلول که نشان‌دهنده میزان جامدات محلول در آب است تغییر می‌یابد، در پژوهش‌های متعدد بیان شده است که

ماهی بیشترین تخلیه را در ماه‌های گرم (تیر و مرداد) سال دارند و هر دوی این پساب‌ها حاوی مواد مغذی‌اند که به رودخانه تخلیه می‌شود. بنابراین، وجود مواد مغذی به علاوه گرمای شدید هوا، افزایش نور، کاهش سرعت و دبی آب رودخانه در ماه‌های گرم (به دلیل برداشت‌های مختلف) می‌تواند مجموعه عوامل مؤثر در افزایش فراوانی دیاتومه‌ها باشند (Welch, 1992).

در ماه‌های گرم سال به دلایلی که اشاره شد غلظت نیترات و فسفات افزایش می‌یابد ولی در شهریور به دلیل باز شدن سدهای در طول مسیر رودخانه و همچنین افزایش بارندگی، از میزان نیترات و فسفات در آب رودخانه کاسته می‌شود. Sedamkar و Angadi (۲۰۰۳) گزارش نمودند که غلظت‌های بالای فسفات و نیترات عامل اصلی افزایش رشد دیاتومه‌ها هستند که با یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد. در تحقیق حاضر، بین تنوع گونه‌ای شانون-وینر و سیمپسون با شاخص‌های تروفیکی و ساپرویتی دیاتومه‌ها رابطه معکوس مشاهده شد. همچنین، بین شاخص‌های زیستی تروفیکی و شاخص ساپرویتی با مقدار نیترات نیز ارتباط معنی‌دار است، به این معنی که از ایستگاه‌های بالاتر با غلظت نیترات کمتر به سمت ایستگاه‌های پایین‌تر با مقدار نیترات بیشتر فراوانی گونه‌های مطالعه شده به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. بنابراین، شاخص زیستی تروفیکی و ساپرویتی می‌تواند به صورت معنی‌داری میزان آلودگی آب به نیترات را نشان دهد. ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین مقدار نیترات و فراوانی برخی جنس‌ها هم ارتباط بالایی وجود دارد. برای نمونه، با افزایش میزان نیترات فراوانی جنس‌های *Gomphonema*

Navicula و *Nitzschia* افزایش معنی‌داری می‌یابد. با کاهش نیترات جنس‌هایی نظیر: *Achnanthes*، *Cymbella*، *Fragilaria* و *Melosira* افزایش می‌یابند. در مطالعه حاضر، در ایستگاه‌هایی که غلظت آلاینده‌ها به ویژه نیترات و فسفات افزایش داشته است اغلب گونه‌های *Navicula*، *Gomphonema*، *Diatoma*، *Navicula*، *Pinnularia* و *Nitzschia* با تنوع و فراوانی بالا در مدت زمان نمونه‌برداری مشاهده شد و گونه‌های *Melosira*، *Fragilaria*، *Cymbella*، *Achnanthes* در بالادست رودخانه که آب پاکیزه‌تری داشتند، با فراوانی بیشتری مشاهده شدند. بنابراین بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر که با نتایج پیشین (Jafari, 2006؛ Atazadeh et al., 2007) همخوانی دارد، حضور گونه‌های *Diatoma*، *Gomphonema*، *Navicula*، *Nitzschia* و *Pinnularia* در رودخانه‌ها به عنوان شاخص زیستی آلودگی آب و حضور گونه‌های *Achnanthes*، *Cymbella*، *Fragilaria* و *Melosira* به عنوان نشانگر زیستی عدم آلودگی یا آلودگی ناچیز آب رودخانه به ترکیبات آلی و معدنی است.

جمع‌بندی

به طور کلی، دیاتومه‌های اپی‌لیتون به عنوان یک گروه شاخص نشان دهنده کیفیت آب و تغییرات حاصل در رودخانه هستند. برای نمونه، Karin و همکاران (۲۰۰۷) گونه *Achnantheidium minutissima* و Potapova و همکاران (۲۰۰۴) جنس *Achnanthes* را به عنوان جلبکی که در ناحیه غیرآلوده یا آلودگی اندک رودخانه رشد می‌کند معرفی نمودند. در رودخانه بابلرود نیز گونه‌های این جلبک فراوانی بیشتری در مناطق غیر

Jamallou و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد.

سپاسگزاری

نگارندگان، از مسؤولان محترم شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، از جناب آقای پروفیسور گوناله استاد دانشگاه پونا هندوستان و از گروه زیست‌شناسی دانشگاه مازندران به خاطر همکاری در اجرای این پژوهش، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

آلوده داشتند. Shams و همکاران (۲۰۱۲) دیاتومه‌های *Cymbella affinis* و *Achnantheidium minutissima* را به عنوان عوامل اصلی ایجاد و ساختار اجتماع اپی‌فیتونی که بر روی گیاهان عالی موجود در رودخانه رشد می‌کنند معرفی نمودند. در پژوهش حاضر، در میان گونه‌های مختلف جنس *Nitzschia* گونه *N. dissipata* بیشتر در آب‌های تمیز رودخانه مشاهده شدند. این نتایج با یافته‌های Cox (۱۹۹۶)، Afsharzadeh (۲۰۰۳) و

منابع

- Afsharzadeh, S. (2003) Study of algal flora in Zayandeh Rood River. PhD thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Asal Pische, Z., Heydari, R. and Manaffar, R. (2012) Characterization of two unicellular algae species *Scenedesmus obliquus* and *Desmodesmus cuneatus* from Mahabad dam Lake, West Azerbaijan. Iranian Journal of Plant Biology 4(11): 61-72 (in Persian).
- Atazadeh, I., Mozafar, S. and Kell, M. G. (2007) Evaluation of the trophic diatom index for assessing water quality in River Gharasou, Western Iran. Hydrobiologia 589: 165-173.
- Atici, T., Ahiska, S., Altinda, A. and Aydin, D. (2008) Ecological effects of some heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) pollution of phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Sarlyar dam reservoir in Turkey. African Journal of Biotechnology 7: 1972-1977.
- Bate, G., Smailes, P. and Adans, J. (2004) A water quality index for use with diatoms in the assessment of Rivers. Water South Africa 30: 493-498.
- Cox, E. J. (1996) Identification of freshwater diatoms from live material. Chapman and Hall, London.
- Donald, F. (2006) Large-scale regional variation in diatom-water chemistry relationships: Rivers of the Eastern United States. Hydrobiologia 561: 27-57.
- Esmaili Sari, A. (2002) Pollution health and environmental standards. 1st edition, Naghsh Mehr Publications, Tehran (in Persian).
- Gharibkhani, M. and Tatina, M. (2009) Natural productivity potential of Lavandavil River based on benthic communities. Journal of Fisheries 2(4): 1-14 (in Persian).
- Hustedt, F. (1930) Bacillariophyta (Diatomeae). In: Die Susswasserflora Mitteleuropas. Heft 10. 2nd edition. (Ed. Pascher, A.) 466-875. Verlag von Gustav Fischer, Germany.
- Jafari, N. (2006) Ecological studies on aquatic vegetation of Pune's Wetlands. PhD thesis, Pune University, Pune, India.
- Jamallou, F., Nejdassattari, T. and Fallahian, F. (2005) Epilithon diatoms of Jajrood River. Journal of Pajouhesh and Sazandegi 73: 1-10 (in Persian).
- Juttner, I., Rothfritz, H. and Ormerod, S. J. (1996) Diatoms as indicators of rivers water quality in the Nepalese Middle Hills with consideration of the effects of habitats-species sampling. Freshwater Biology 36: 475-486.

- Kadri, A. (1998) Diatoms (Bacillariophyta) in the phytoplankton of Keban reservoir and their seasonal variations. *Turkish Journal of Botany* 22: 25-34.
- 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: 433-444.
- Lackey, J. B. (1938) The manipulation and counting of river plankton and changes in some organisms due to formalin preservation. *Public Health Reports* 53: 2080-2093.
- Liebmann, H. (1962) *Handbuch der Frischwasser-und Abwasserbiologie*. 2nd edition, Oldenbourg, Munich.
- Lowe, R. L. and Pan, Y. D. (1996) Benthic algal communities as biological monitors. In: *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystem* (Eds. Stevenson, R. J., Bothwell, M. L. and Lowe, R. L.) 705-739. Academic Press Inc., San Diego.
- Margalef, D. R. (1958) Information theory in ecology. *General Systems Research* 3: 36-71.
- Masoudian, N., Fallahian, F., Nejadstari, T., Mattaji, A. and khavarinejad, R. (2009) Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Tajan River, Mazandaran province, Iran. *Biological Sciences* 4(2): 57-66 (in Persian).
- Patrick, R. and Reimer, C. W. (1966) *The diatom of the United States*. vol. 1. Academy of Natural Sciences Philadelphia, Pennsylvania.
- Potapova, M. G., Charles, D. F., Ponader, K. C. and Winter, D. M. (2004) Quantifying species indicator values for trophic diatom indices: a comparison of approaches. *Hydrobiologia* 517: 25-41.
- Rasti, M., Nabavi, S. M. B., Jafarzadeh, H. N. and Moubed, P. (2008) Study on algal flora of Periphyton communities and in relationship to type of substrate in Gargar River. *Journal of Environmental Studies* 34(46): 73-80 (in Persian).
- Roshantabari, M. (1995) Hydrology and hydrobiology of Tajan River. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 3(4): 59-71 (in Persian).
- Salmoni, S. E. (2006) Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravata river Rio Grande do sul, Brazil. *Hydrobiologia* 559: 233-246.
- Sedamkar, E. and Angadi, S. B. (2003) Physico-chemical parameters of two fresh water bodies of Gulbarga-India, with special reference to phytoplankton. *Pollution Research* 22: 411-422.
- Shams, M., Afsharzadeh, S. and Atici, T. (2012) Seasonal variations in phytoplankton communities in Zayandeh-Rood Dam lake (Isfahan, Iran). *Turkish Journal of Botany* 36: 715-726.
- Shannon, C. E. and Wiener, W. (1963) *The mathematical theory of communications*. Urban University, Illinois Press, Illinois.
- Sheath, R. G. and Cole, K. M. (1992) Biogeography of stream macroalgae in North America. *Journal of Phycology* 28: 448-460.
- Shomali, M. and Abdolmaleki, S. (1997) Reports of biological and non biological Gorgan Rood River. Gilan Fisheries Research Centre, Bandar Anzali (in Persian).
- Simpson, E. H. (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 433-471.
- Sioli, H. (1975) Tropical rivers as expression of their terrestrial environments. In: *Tropical ecological systems* (Eds. Golley, F. and Medina, E.) 275-288. Springer Verlag, New York.
- Spellman, F. R. and Drinan, J. E. (2002) *Stream ecology and self purification*. 2nd edition, Technomic Publication Inc., Lancaster.

-
- 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* 28: 117-133.
- Welch, E. B. (1992) *Ecological effects of wastewater, applied limnology and pollutant effects*. 2nd edition, Chapman and Hall, London.

An ecological and floristic study of the diatoms in Babolrud river

Bahram Pourheydar Khoshkrudi, Naser Jafari * and Alireza Naqinezhad

Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Abstract

Epilithic diatoms are a division of Bacillariophyceae which live on stone and hard surfaces. This study was aimed to investigate the population dynamics of diatoms in Babolrud river. Samples were collected from 5 stations from May 2012 through September 2012 in a monthly interval. Temperature, pH, NO_3^- , PO_4^{4-} and (EC) were measured for each sampling. Samples were prepared using Patrick and Reimer procedure. 72 taxa were identified, among which 33 taxa (46%) were cosmopolitan or widely distributed. The genera with the highest species were *Navicula* (12), *Nitzschia* (9), *Achnanthes* (9), *Cymbella* (8) and *Gomphonema* (6). The decrease in diatoms diversity from upstream toward downstream can be regarded as an indicator of increasing water pollution. Trends in distribution of diatom species in the sampling sites were explained by variations in environmental parameters such as conductivity, pH, temperature, nitrate and phosphate. In highly contaminated sites of the Babolrud River, species such as *Gomphonema olivaceum*, *Navicula pupula*, *Nitzschia flexa* and *Pinnularia major* were observed, while individuals of *Achnanthes clevei*, *Achnanthes deflexa*, *Cymbella affinis* and *Fragilaria virescens* were found in sampling sites with relatively less environmental perturbation. We concluded that diatoms can be used as quantitative indicators of environmental conditions in lotic systems.

Key words: Water pollution, Species diversity, Diatoms, Babolrud river, Trophic index, Saprobity index

* Corresponding Author: n.jafari@umz.ac.ir