بررسی دیاتومه‌ها به‌عنوان شاخص زیستی در ارزیابی کیفیت آب در رودخانه عنبران چای در استان اردبیل

آرزو پناهی میرزاحسنلو[۱]
ابراهیم فتایی[۲*]
جمیله پناهی میرزاحسنلو[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی محیطزیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی محیطزیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.
۳. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

***مسئول مکاتبات:**
ebfataei@iauardabil.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۲۰۸۰۵
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

انسان علیرغم استفاده‌های گوناگون از آب رودخانه‌ها به علت توسعه جوامع بشری و گسترش صنایع، همواره از منابع مهم آلودگی آب‌های جاری بوده است. برای تعیین کیفیت آب‌ها از شاخص‌های متعددی استفاده می‌شود. امروزه از موجودات آبزی به‌عنوان شاخص کیفی آب بهره‌های شایانی به عمل می‌آورند. در این مطالعه دیاتومه‌های رودخانه عنبران که در شهرستان نمین در شرق استان اردبیل واقع‌شده است در سال ۱۳۹۶ موردبررسی قرار گرفت. جهت بررسی دیاتومه‌های رودخانه عنبران، ۴ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. در هر ایستگاه، نمونه‌های جلبکی از بستر سنگی نمونه‌برداری گردید. همچنین نمونه‌های آب نیز در ظروف یک لیتری برداشته شد و جهت تعیین میزان نیترات، آمونیوم، سولفات، فسفات، سیلیس، کلر، کلسیم و BOD و COD به آزمایشگاه منتقل گردید. میزان اکسیژن محلول، دما، هدایت الکتریکی، شوری، pH و TDS نیز با استفاده از دستگاه پرتابل در محل اندازه‌گیری شد. برای بررسی ارتباط بین گونه‌های دیاتومه‌ای و عوامل محیطی از روش رسته‌بندی با استفاده از نرم‌افزار CANOCO 5 استفاده گردید. به‌طورکلی در این بررسی ۴۵ گونه متعلق به ۲۷ جنس و ۱۳ تیره دیاتومه شناسایی شد که بزرگ‌ترین جنس ازنظر تعداد گونه‌ها *Nitzschia* با ۵ گونه بود. گونه‌های غالب در ایستگاه‌های این رودخانه شامل *Planothidium lanceolatum*، *Cocconeis placentula*، *Cymbella affinis* و *Planothidium frequentissimum* بودند که جزو گونه‌های شاخص آب‌های یوتروف می‌باشند. بر اساس آنالیز رسته‌بندی PCA مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش دیاتوم‌ها، pH، فسفات، BOD، COD، دما، نیترات و آمونیوم بودند. بر اساس داده‌های تنوع گونه‌ای این رودخانه در وضعیت کمی آلوده قرار داشت.

واژگان کلیدی: پایش کیفی، شاخص زیستی، دیاتومه‌ها، رودخانه عنبران چای.

مقدمه

بحران آب به دلایل مختلف ازجمله رشد جمعیت، شهرنشینی، تغییر کاربری اراضی، استفاده ناپایدار از آب و تغییرات آب‌وهوایی در ایران روزبه‌روز چالش‌برانگیزتر می‌شود (Mostafavi and Azad Teimori, 2018). رودخانه‌های ایران از اکوسیستم‌هایی هستند که کمتر موردتوجه قرارگرفته‌اند. علیرغم اینکه ایران یک کشور خشک و یا نیمه‌خشک به‌حساب می‌آید، اما دارای ۳۵۰۰ رودخانه می‌باشد که طول بسیاری از آن‌ها بیش از ۱۵۰ کیلومتراست. انسان علیرغم استفاده‌های گوناگون از آب رودخانه‌ها به علت توسعه جوامع بشری و گسترش صنایع همواره از منابع مهم آلودگی و تخریب آب‌های جاری بوده است. آلودگی آب رودخانه‌ها را در حقیقت می‌توان شاخص آلودگی محیطزیست در اثر فعالیت‌های انسانی به‌حساب آورد، زیرا رودخانه‌ها تنها منابع آبی هستند که مسیر طولانی را از میان شهرها، روستاها و مناطق صنعتی و کشاورزی طی می‌کنند. برای تعیین کیفیت آب‌ها از شاخص‌های متعددی بر اساس ارزیابی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود به دلیل محدود بودن اطلاعات به‌دست‌آمده (ازنظر زمان و مکان)، امروزه از موجودات آبزی به‌عنوان شاخص کیفی آب بهره‌های شایانی به عمل می‌آورند (Ramachandra

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

et al., 2005). مدت‌زمان کوتاه لازم برای تشکیل کلنی دیاتوم‌ها، آن‌ها را به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای بیان تغییرات موجود در زیستگاه‌های آبزی معرفی می‌کند (Sabater and Admiraal, 2005). دیاتوم‌ها معمولاً به‌عنوان فراوان‌ترین تولیدکنندگان اولیه ازلحاظ تعداد گونه در اکوسیستم‌های آبی (Pan *et al.*, 1999) و دارای واکنش سریع به تغییرات محیطی به‌حساب می‌آیند (Rott, 1991؛ Sabater *et al.*, 1998). اشکال ساختاری آن‌ها در دیواره سلولی آن‌ها یک تشخیص و شناسایی تاکسونومیکی مطمئن را برای شناسایی آن‌ها را تا حد جنس و حتی گونه را فراهم می‌کند. دیاتومه‌ها در طول بیش از ۱۰۰ میلیون سال تکامل‌یافته‌اند و خود را با مجموعه‌ای از محیط‌های مختلف وفق داده‌اند که مقدار کل گونه‌های آن‌ها از ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ گونه تخمین زده‌شده است (Gudimova *et al.*, 2016). دیاتومه‌ها از شاخص‌های زیست‌محیطی مفیدی در سلامت اکوسیستم آبی به شمار می‌رود و به دلیل سرعت‌بالای تولیدمثل دارای نقش پایه‌ای در زنجیره غذائی هستند (Chen *et al.*, 2016).

مجموعه دیاتومه‌ها به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخص سلامت اکولوژیک و کیفیت آب در بسیاری از کشورها و مناطق مختلف جهان مورداستفاده می‌باشند (عطاران فریمان و همکاران، ۱۳۹۷). رودخانه عنبران از کوه‌های مرزی شمال شهر نمین واقع در ۴۰ کیلومتری شمال شرقی اردبیل سرچشمه می‌گیرد و سد مخزنی عنبران باهدف بهره‌گیری از جریان سطحی عنبران چای باهدف تأمین نیازهای پایین‌دست، محرومیت‌زدایی، اشتغال‌زایی، جلوگیری از مهاجرت کشاورزان به شهرها در حال احداث می‌باشد (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۹۴). به همین جهت این مطالعه باهدف شناسایی دیاتومه‌ها به‌عنوان بخشی از تنوع زیستی رودخانه و امکان استفاده به‌عنوان شاخص زیستی همچنین به‌عنوان یک مطالعه پایه‌ای جهت برنامه‌های مدیریتی آینده انجام شد.

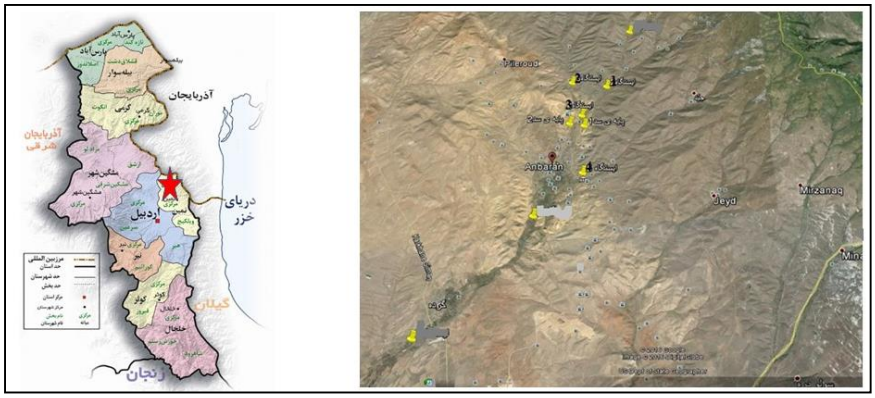
مواد و روش‌ها

حوضه آبریز سد عنبران بین طول‌های جغرافیایی '۴۸°۲۶ تا '۳۲ °۴۸ و عرض‌های جغرافیایی '۲۹ °۳۸ تا '۳۷ °۳۸ قرارگرفته است و ازنظر تقسیمات کشوری قسمتی از استان اردبیل می‌باشد. رودخانه عنبران از کوه‌های مرزی شمال شهر نمین واقع در ۴۰ کیلومتری شمال شرقی اردبیل سرچشمه می‌گیرد و در راستای شرق به غرب جریان می‌یابد. سپس از روستای گرده عبور کرده و در جهت شمال شرقی–جنوب غربی جریان یافته تا در نزدیکی دولت‌آباد در شرق روستای سامیان به رودخانه قره‌سو بپیوندد. رودخانه قره‌سو نیز پس از الحاق شاخه اهرچای، رودخانه دره‌رود را تشکیل داده و به‌سوی شمال ادامه می‌یابد تا به رودخانه ارس منتهی شود. رودخانه ارس در راستای کلی غرب به شرق امتدادیافته و بالاخره به دریاچه خزر ختم می‌شود (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۹۴).

جهت بررسی دیاتومه‌های رودخانه عنبران، درسال ۱۳۹۶ تعداد ۴ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. ایستگاه‌های موردنظر بر اساس دسترسی آسان، نزدیکی به محل آلودگی و سد انتخاب شدند (شکل ۱). در هر ایستگاه، دیاتومه‌ها از سطح بسترهای سنگی رودخانه جمع‌آوری شدند. بسترهای اپی‌لیتیک یا سنگی را ابتدا جهت پاک شدن از گل‌ولای با آب شسته و سپس با استفاده از مسواک نمونه‌ها از سطح سنگ تراشیده شدند (Bellinger and Sigee, 2010). نمونه‌های جمع‌آوری‌شده با فرمالین ۴ درصد تثبیت‌شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در زیر هود در اسید نیتریک غلیظ جوشانده شدند. سپس اسید اضافی با شستشوی متوالی و آبکشی با آب مقطر حذف شد. لام‌های دائمی با استفاده از چسب Canada Balsam تهیه شدند. سپس نمونه‌ها در زیر میکروسکوپ نوری بررسی‌شده و با استفاده از منابع موجود شناسایی شدند (Krammer and Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b؛ Spaulding *et al.*, 2010). در هر اسلاید ۳۰۰– ۲۰۰ والو شمارش شد و فراوانی نسبی آن‌ها به دست آمد. ترجیحات اکولوژیکی هرکدام از تاکسون‌ها نسبت به وضعیت تروفیک و میزان pH بر اساس فهرست Van Dam به دست آمد. وی برای وضعیت تروفیک ۷ سطح تعیین کرده است: ۱– اولیگوتروف، ۲– اولیگومزوتروف، ۳–مزوتروف، ۴– مزو–یوتروف، ۵– یوتروف، ۶– هایپریوتروف و ۷– اولیگو تا یوتروف. برای pH نیز ۶ گروه تعیین‌شده است: ۱– اسیدوبیونتیک: گونه‌هایی که اپتیمم حضورشان

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

در pH کمتر از ۵/۵ می‌باشد. ۲- اسیدوفیل: عمدتاً در pH کمتر از ۷ حضور دارند. ۳- خنثی: عمدتاً در pH حدود ۷ حضور دارند. ۴- آلکالیفیل: عمدتاً در pH بیشتر از ۷ حضور دارند. ۵- آلکالیبیونتیک: منحصراً در pH بیشتر از ۷ حضور دارند. ۶- بی‌تفاوت: فاقد اپتیمم مشخص (Van Dam *et al.*, 1994). برای محاسبه شاخص‌های زیستی از شاخص‌های تنوع استفاده شد که با استفاده از داده‌های فراوانی دیاتومه‌های شمارش‌شده در نرم‌افزار Past 3.1 محاسبه گردید.



شکل ۱: موقعیت رودخانه موردمطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

در هر ایستگاه نمونه‌برداری، همراه با نمونه‌های جلبکی، نمونه‌های آب نیز در ظروف یک لیتری برداشته شد و جهت آنالیز میزان نیترات، آمونیوم، سولفات، فسفات، سیلیس، کلر، کلسیم و BOD و COD به آزمایشگاه منتقل گردید. میزان اکسیژن محلول، دما، هدایت الکتریکی، شوری، pH و TDS نیز با استفاده از دستگاه پرتابل در محل اندازه‌گیری شد. برای بررسی ارتباط بین گونه‌های دیاتومه‌ای و عوامل محیطی از روش رسته‌بندی استفاده شد. در این روش واحدهای نمونه‌برداری یا گونه‌ها در امتداد شیب تغییرات محیطی آرایش می‌یابند. یکی از معروف‌ترین روش‌های رسته‌بندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (Principal Components Analysis یا PCA) است. ماحصل این روش، ایجاد محورهایی در یک فضای دوبعدی است که اطلاعاتی را دربارهٔ شباهت‌های اکولوژیکی بین واحدهای نمونه‌برداری یا گونه‌ها بیان می‌کند (عصری، ۱۳۸۵). رسته‌بندی با استفاده از نرم‌افزار CANOCO 5 و آنالیز PCA انجام گرفت.

نتایج

در این بررسی ۴۵ گونه متعلق به ۲۷ جنس و ۱۳ تیره شناسایی گردید (جدول ۱). بزرگ‌ترین جنس‌ها *Nitzschia* با ۵ گونه و *Gomphonema* با ۴ گونه می‌باشد، جنس‌های *Amphora*، *Navicula*، *Encyonema* و *Cymbella* هرکدام با ۳ گونه در ردیف بعدی قرار داشتند (شکل ۲). ازنظر مورفولوژی بیشترین تعداد گونه‌ها با ۱۶ گونه و ۷ جنس متعلق به گروه دورافه‌ای نامتقارن بود و از گروه Eunothia شکلی و Ephithemia شکلی نمونه‌ای در این رودخانه وجود نداشت.

بیشترین فراوانی مربوط به گونه‌های *Planothidium lanceolatum*، *Cymbella affinis*، *Cocconeis placentula*، *Planothidium frequentissimum* بود. ازنظر ترجیحات اکولوژیکی قسمت عمدهٔ گونه‌ها جزو گونه‌هایی بودند که آب‌های یوتروف را ترجیح می‌دهند (Van Dam *et al.*, 1994)، همچنین ازنظر ترجیح pH، اکثر گونه‌ها در گروه ۴ (قلیایی دوست که عمدتاً در pH بیشتر از ۷ حضور دارند) قرار گرفتند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

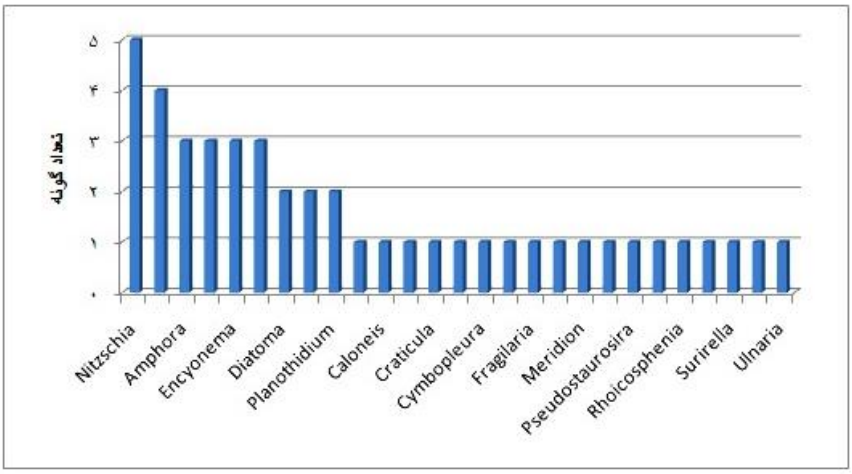
جدول ۱: لیست دیاتومه‌های شناسایی‌شده در رودخانه عنبران همراه با کد مورداستفاده در آنالیز رسته‌بندی.

اسم گونه	کد	تیره	وضعیت تروفیک	دامنه pH
Amphora copulata (Kutzing) Schoeman & R.E.M.Archibald	AMCO	Catenulaceae	یوتروف	–
Amphora ovalis (Kutzing) Kutzing	AMOV	C.atenulaceae	یوتروف	۴
Amphora pediculus (Kutzing) Grunow	AMPE	Catenulaceae	یوتروف	۴
Bacillaria paradoxa Gmelin	BAPA	Bacillariaceae	یوتروف	۵
Caloneis silicula (Ehrenberg) Cleve	CASI	Naviculaceae	مزو–یو	۴
Cocconeis placentula Ehrenberg	COPL	Cocconeidaceae	یوتروف	۴
Craticula cuspidata (Kutzing) Kutzing	CRCU	Stauroneidaceae	یوتروف	۴
Cyclotella meneghiniana Kutzing	CYME	Stephanodiscaceae	اولیگو–یو	۴
Cymbella affinis Kutzing	CYAF	Cymbellaceae	یوتروف	۴
Cymbella cistula (Ehrenberg) O.Kirchner	CYCI	Cymbellaceae	یوتروف	۴
Cymbella turgidula Grunow	CYTU	Cymbellaceae	–	۴
Cymbopleura amphicephala (Nägeli) Krammer	CYAM	Cymbellaceae	اولیگو–مزو	۳
Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kutzing	DIME	Fragilariaceae	مزوتروف	۳
Diatoma moniliformis Kutzing	DIMO	Fragilariaceae	یوتروف	۴
Diploneis subovalis Cleve	DISU	Diploneidaceae	-	-
Encyonema hamsherae D. winter & E.Bahls.	ENHA	Cymbellaceae	-	-
Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann	ENMI	Cymbellaceae	-	۳
Encyonema silesiaca (Bleisch) D.G.Mann	ENSI	Cymbellaceae	اولیگو–یو	۳
Fragilaria capucina Desmazieres	FRCA	Fragilariaceae	مزوتروف	۳
Geissleria acceptata (Hustedt) Lange-Bertalot & Metzeltin	GEAC	Naviculaceae	-	-
Geissleria decussis (Ostrup) Lange-Bertalot & Metzeltin	GEDE	Naviculaceae	مزو– یو	۴
Gomphonema clavatum Ehrenberg	GOCL	Gomphonemataceae	مزو– یو	۳
Gomphonema helveticum Brun	GOHE	Gomphonemataceae	-	-
Gomphonema olivaceum (Hornemann) Brebisson	GOOL	Gomphonemataceae	یوتروف	۵
Gomphonema parvulum (Kutzing) Kutzing	GOPA	Gomphonemataceae	یوتروف	۳
Hippodonta subcostulata (Hustedt) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	HISU	Naviculaceae	-	-
Meridion circulare (Grevile) Agardh	MECI	Fragilariaceae	اولیگو–یو	۴
Navicula capitatoradiata Germain	NACA	Naviculaceae	یوتروف	۴
Navicula menisculus Schumann	NAME	Naviculaceae	یوتروف	۴
Navicula tripunctata (O.F.Muller) Bory	NATR	Naviculaceae	یوتروف	۴
Nitzschia dissipata (Kützing) Rabenhorst	NIDI	Bacillariaceae	مزو– یو	۴
Nitzschia flexa Schumann	NIFL	Bacillariaceae	–	۳
Nitzschia fonticoloides Sovereig	NIFO	Bacillariaceae	–	–
Nitzschia inconspicua Grunow	NIIN	Bacillariaceae	یوتروف	۴
Nitzschia palea (Kutzing) W.Smith	NIPA	Bacillariaceae	هایپریو	۳

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

اسم گونه	کد	تیره	وضعیت تروفیک	دامنه pH
Placoneis hambergii (Hustedt) K.Bruder	PLHA	Gomphonemataceae	-	۲
Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	PLFR	Achnanthidiaceae	یوتروف	۴
Planothidium lanceolatum (Brebisson ex Kutzing) Bukhtiyarova	PLLA	Achnanthidiaceae	یوتروف	۴
Pseudostaurosira robusta (Fusey) D.M.Williams & Round	PSRO	Fragilariaceae	مزو-یو	۴
Reimeria sinuata (Gregory) Kociolek & Stoermer	RESI	Gomphonemataceae	–	–
Rhoicosphenia abbreviata (C. Agardh) Lange-Bertalot	RHAB	Rhoicospheniaceae	یوتروف	۴
Staurosira construens Ehrenberg	STCO	Fragilariaceae	مزو-یو	۴
Surirella brebissonii Krammer and Lange- Bertalot	SUBR	Surirellaceae	–	۴
Tryblionella calida (Grunow) D-.G.Mann	TRCA	Bacillariaceae	یوتروف	–
*Ulnaria ulna (*Nitzsch) P. Compere	ULUL	Fragilariaceae	اولیگو-یو	۴

اولیگو: اولیگوتروف، یو: یوتروف، مزو: مزوتروف، هایپریو: هایپریوتروف.



شکل ۲: نمودار جنس‌های دیاتوم شناسایی‌شده در رودخانه موردمطالعه و تعداد گونه‌های متعلق به هر جنس سال بررسی.

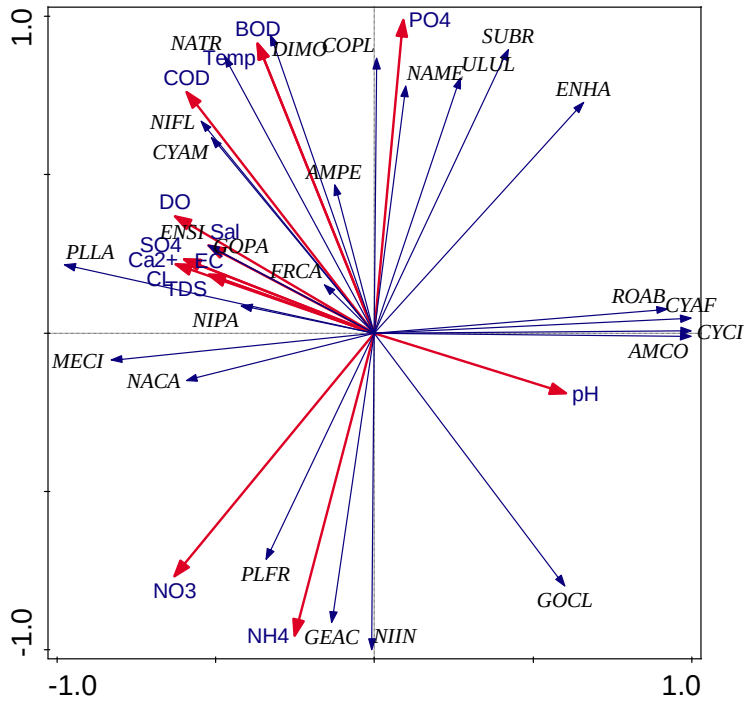
برای محاسبه شاخص‌های زیستی، تنوع گونه‌ای با استفاده از شاخص‌های سیمپسون و شانون وینر محاسبه شد. بیشترین میزان شاخص سیمپسون در ایستگاه دوم و کمترین میزان آن در ایستگاه چهارم محاسبه گردید. بیشترین میزان شاخص شانون وینر نیز در ایستگاه دوم و کمترین آن در ایستگاه اول محاسبه شد. یکنواختی کل با استفاده از شاخص پیلو محاسبه شد. ازنظر یکنواختی نیز بیشترین میزان در ایستگاه دوم و کمترین میزان در ایستگاه سوم بود (جدول ۲).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

جدول ۲: مقادیر شاخص‌های تنوع در ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

شاخص / ایستگاه	تعداد گونه	مارگالف	شانون وینر	یکنواختی پیلو	شاخص سیمپسون
S1	۱۶	۳/۲۸	۱/۷۴	۰/۳۵	۰/۷۳
S2	۲۰	۴/۲۱	۲/۱۲	۰/۴۱	۰/۸
S3	۱۷	۳/۵۷	۱/۷۵	۰/۳۳	۰/۶۶
S4	۱۸	۳/۸۳	۱/۹	۰/۳۷	۰/۲۸

برای بررسی ارتباط بین جمعیت دیاتوم‌ها و عوامل فیزیکوشیمیایی از آنالیز مؤلفه‌های اصلی PCA استفاده شد. نتایج دسته‌بندی PCA نشان‌دهنده (شکل ۳) ارتباط بین جمعیت دیاتومه‌ها با متغیرهای محیطی می‌باشد. مقادیر ویژه برای محور اول، دوم و سوم PCA (۰/۴۵۸، ۰/۳۳۷ و ۰/۲) و با واریانس کل ۵۹/۵۴ بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقادیر ویژه جدول ۲ درمجموع، ۷۹/۶٪ از کل واریانس در جمعیت‌های دیاتومه توسط دو محور اول توضیح داده می‌شود. نتایج نشان داد که pH همبستگی مثبتی با محور اول و فسفات، BOD و دما همبستگی مثبتی با محور دوم دارد. آنالیز نشان داد که فراوانی *Staurosira construens* با pH مرتبط است. فراوانی *Navicula menisculus* و *Nitzschia fonticoloides* با فسفات، فراوانی *Diatoma moniliformis* و *Navicula tripunctata* با BOD و دما، فراوانی *Encyonema silesiaca* با DO و EC، فراوانی *Planothidium lanceolatum* با TDS، کلر و کلسیم، فراوانی *Planothidium frequentissimum* با نیترات و آمونیوم و فراوانی *Geissleria acceptata* با آمونیوم مرتبط است.



شکل ۳: نمودار آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از داده‌های فراوانی گونه‌های دیاتومه‌ای و پارامترهای آب در ایستگاه‌های موردمطالعه.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

جدول ۳: خلاصه نتایج آزمون PCA برای فراوانی جمعیت دیاتوم‌ها و ١٤ فاکتور محیطی در دوره مطالعه.

	محور ۱	محور ۲	محور ۳	واریانس کل
				۰/۳۰۴۷
مقدار ویژه (Eigenvalue)	۰/۴۵۸	۰/۳۳۷	۰/۲۰۴	
٪ واریانس تجمعی	۴۵/۸۸	۷۹/۶۰	۱۰۰/۰۰	

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد فلور دیاتومه‌های اپی‌لیتیک رودخانه عنبران شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با دیاتومه‌های سایر رودخانه‌های مطالعه شده در ایران دارد. در این رودخانه بزرگ‌ترین جنس ازنظر تعداد گونه، *Nitzschia* می‌باشد؛ و بعدازآن به ترتیب جنس‌های *Gomphonema*، *Nitzschia*، *Cymbella*، *Encyonema* و *Amphora*، جنس‌های *Nitzschia*، *Gomphonema*، *Navicula* و *Cymbella* جنس‌های بسیار متداول با تعداد زیادی گونه هستند (Fourtanier and Kociolek, 2009; Spaulding *et al*., 2010). نتایج مشابهی در سایر مطالعات به‌دست‌آمده است. Panahy Mirzahasanlou و همکاران (Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2018) در مطالعه بر روی دیاتوم‌های رودخانه بالیخلو بزرگ‌ترین جنس‌ها را به ترتیب *Nitzscha*، *Navicula* و *Gomphonema* معرفی کرد؛ اما برخلاف مطالعه حاضر جنس *Cymbella* در آن رودخانه خیلی بارز نبود. Atazadeh و همکاران (Atazadeh *et al*., 2007) در رودخانه قره‌سو، Soltanpour Gargari و همکاران (۲۰۱۱) در رودخانه‌های رامسر و Kheiri و همکاران (Kheiri *et al*., 2019) در رودخانه کرج نیز *Nitzscha*، *Navicula* و *Cymbella* را بزرگ‌ترین جنس‌های موجود در آن رودخانه‌ها معرفی کردند. همچنین Ahmadi Musaabas و همکاران در مطالعه سه چشمه در استان گلستان، جنس‌های *Gomphonema*، *Nitzschia*، *Nitzschia* و *Cymbella* را به‌عنوان بزرگ‌ترین جنس‌ها معرفی کردند (Ahmadi Musaabas *et al*., 2019). جنس‌هایی مانند *Nitzschia* و *Navicula* هم می‌توانند متحرک باشند و هم به‌صورت موقت از طریق مواد موسیلاژی به بستر بچسبند و از شسته شدن توسط جریان جلوگیری کنند (Chang *et al*., 2010).

ازنظر نوع گونه‌های موجود فلور دیاتومه‌های اپی‌لیتیک رودخانه عنبران با دیاتومه‌های اپی‌لیتیک رودخانه بالیخلو مشابهت نشان می‌دهد (۱۹ گونه مشترک) (Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2018) که این نشان‌دهنده مشابهت دو رودخانه می‌باشد، درعین‌حال جنس‌های *Achnanthes*، *Ctenophora*، *Cymatopleura*، *Epithemia*، *Fallacia*، *Gyrosigma*، *Hippodonta*، *Luticola*، *Mastogloia*، *Melosira*، *Pinnularia*، *Psammothidium*، *Rhopalodia*، *Stenopterobia*، *Tabularia*، *Oxyneis* در رودخانه بالیخلو مشاهده شد امّا در رودخانه عنبران مشاهده نشد، برعکس جنس‌های *Geissleria*، *Meridion*، *Placoneis* و *Pseudostaurosira* که در رودخانه عنبران حضور داشتند از رودخانه بالیخلو گزارش نشدند.

مطالعات نشان داده است که معمولاً در جوامع دیاتومه‌ای تعداد کمی از گونه‌ها، غالب هستند و تعداد زیادی گونه نیز به‌صورت نادر همراه آن‌ها وجود دارند که گاهی حضور دارند یا تنها یک‌بار یا در یک نمونه یافت می‌شوند (Kelly and Whitton, 1995 ؛Round, 1993). در رودخانه عنبران نیز ساختار جمعیت‌های دیاتومه‌ای از این رویه پیروی می‌کرد. از بین گونه‌های شناسایی‌شده، گونه‌های *Planothidium lanceolatum*، *Cymbella affinis*، *Cocconeis placentula*، *Planothidium frequentissimum* گونه‌های غالب را تشکیل دادند. این گونه‌ها جزو گونه‌های شاخص آب‌های یوتروف می‌باشند (Van Dam *et al*., 1994). *Cocconeis placentula*، *Planothidium frequentissimum* و *Planothidium lanceolatum* جزو گونه‌های شاخص آب‌های آلوده با روان آب‌های کشاورزی می‌باشند که تحت عنوان رسته کشاورزی (Agricultural guild) نامیده می‌شوند (Lee, 2008). با توجه به اینکه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تحقیق حاضر در

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

نزدیکی زمین‌های کشاورزی یا روستا قرار داشت، این امر دور از انتظار نیست. به‌طورکلی ۵۲/۷ درصد گونه‌های شناسایی‌شده جزو گونه‌های شاخص آب‌های یوتروف می‌باشند. در رودخانه بالیخلو نیز قسمت عمدهٔ گونه‌های شناسایی‌شده، گونه‌های شاخص آب‌های یوتروف بودند (Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2018). مطالعات روی رودخانه‌های دیگر نیز نشان داده است که رودخانه‌های کمی آلوده تا بسیار آلوده، گونه‌های غالب مشابهی دارند، ازجمله *Planothidium lanceolatum*, *Cocconeis placentula* جزو گونه‌هایی هستند که غالباً گزارش‌شده‌اند (Noga *et al*., 2014؛Kawecka, 1986).

نتایج تحقیق جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد ارتباط متناسبی بین شرایط فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های زیستی وجود دارد. در تحقیق حاضر نتایج آنالیز رسته بندی PCA نشان داد که پارامترهای pH، فسفات، BOD، COD، دما، نیترات و آمونیوم عمده‌ترین پارامترهای تأثیرگذار روی پراکنش دیاتومه‌های اپی‌لیتیک رودخانه عنبران می‌باشند. pH تأثیر عمده‌ای روی ترکیب جوامع دیاتومه‌ای دارد (Verb and Vis, 2000؛ Smucker and Vis, 2011) که ممکن است به شرایط زمین‌شناختی و فعالیت‌های کشاورزی محلی مربوط باشد. در تحقیق حاضر pH رودخانه در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدوده قلیایی بود. ازنظر ترجیح pH، ۶۴/۸۶ درصد گونه‌های شناسایی‌شده در گروه گونه‌های قلیادوست که عمدتاً در pH بیشتر از ۷ حضور دارند، می‌باشند که این موضوع با داده‌های pH به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های نمونه‌برداری مطابقت دارد. میزان نیترات و فسفات با افزایش فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی افزایش می‌یابد و پارامتری‌های سطوح تروفیک هستند که فاضلاب‌های خانگی معمول‌ترین منبع نوترینت‌ها و مواد آلی هستند و بیشترین سهم را در یوتریفیکاسیون دارند (Berthon *et al*., 2011). رمضان پور و همکاران در بررسی جنس‌های دیاتومه‌ای در رودخانه ماسوله گیلان (۱۳۹۲) pH را در کنار پارامترهای هدایت الکتریکی، آهن و شوری مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در پراکنش دیاتومه‌ها معرفی کرد. Panahy Mirzahasanlou و همکاران (Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2020) در رودخانه بالیخلو نیترات، فسفات، pH و دما را جزو مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش جمعیت‌های دیاتومه‌ای معرفی کرد. Czerwik-Marcinkowska و همکاران (Czerwik-Marcinkowska *et al*., 2019) نیز pH را یکی از عوامل اصلی اثرگذار روی جمعیت دیاتوم‌ها گزارش کردند. Sharifinia و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی دیاتومه‌های کف زی برای ارزیابی سلامت و آلودگی رودخانه شاهرود به این نتیجه رسیدند که DO، نیترات، فسفات و فلزات سنگین مثل روی و کادمیوم مهم‌ترین عوامل اثرگذار روی دیاتومه‌های این رودخانه می‌باشند. Liu و همکاران نیز pH و فسفات را جزو مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار روی ساختار جوامع دیاتومه‌ای به دست آوردند (Liu *et al*., 2019).

مقدار شاخص شانون وینر می‌تواند مقادیری بین ۵-۱ را به خود اختصاص دهد و هرچقدر مقدار عددی شاخص پایین باشد نشان‌دهنده آلودگی بالاتر می‌باشد. مقادیر شاخص تنوع شانون بالاتر از ۳ نشان‌دهنده وضعیت آب تمیز، مقادیر ۳-۱ بیانگر وضعیت کمی آلوده و مقادیر کمتر از ۱، نشان‌دهنده وضعیت شدیداً آلوده می‌باشد (Salusso and Moraňa, 2000). در مطالعه حاضر میزان شاخص شانون وینر در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدودهٔ ۳-۱ قرار داشت. میزان شاخص یکنواختی بین ۱-۰ متغیر بوده و هنگامی‌که توزیع و فراوانی تمام افراد از گونه‌های مختلف در نمونه مشابه‌تر باشد این شاخص به مقدار بیشینه نزدیک می‌شود و درصورتی‌که توزیع و فراوانی نسبی افراد نامشابه تر باشد مقدار عددی این شاخص به سمت صفر خواهد رفت. در مطالعه حاضر میزان شاخص یکنواختی در ایستگاه‌ها بین صفر و ۰/۵ متغیّر بود. ازنظر شاخص سیمپسون نیز به‌غیراز ایستگاه ۴ بقیه ایستگاه‌ها از تنوع بالایی برخوردار بودند.

ساختار جمعیت دیاتومه‌ای و حساسیت خاص برخی از گونه‌ها می‌تواند در ارتباط با درجه کیفیت آب باشد. فراوانی برخی از گونه‌های دیاتومه‌ای خاص می‌تواند به‌عنوان معرف‌های زیستی برای آلودگی‌ها و آشفتگی‌های آب‌ها مورداستفاده قرار گیرد. گسترش متدهای بیولوژیکی در تشریح آلودگی آب‌های جاری، یکی از اهداف مهم در تحقیقات دیاتومه‌ای در چند سال گذشته بوده است. Snell و همکاران (Snell *et al*., 2019) معتقدند که سلامت اکوسیستم‌ها را به‌طور مؤثری می‌توان با استفاده از موجودات حساس به تغییرات کیفیت آب مثل دیاتوم‌ها، تعیین کرد.

مطالعه حاضر اولین مطالعه روی دیاتوم‌های رودخانه عنبران می‌باشد. با توجه به اینکه سد مخزنی عنبران باهدف بهره‌گیری از جریان سطحی عنبران چای باهدف تأمین نیازهای پایین‌دست، محرومیت‌زدایی، اشتغال‌زایی، جلوگیری از مهاجرت کشاورزان به شهرها در حال احداث می‌باشد،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

مطالعه تنوع دیاتومی این رودخانه به‌عنوان مطالعه پایه‌ای جهت برنامه‌های مدیریتی آینده و بررسی تأثیر سد روی اکوسیستم پایین‌دست رودخانه حائز اهمیت است.

منابع

جعفر زاده، ن.، فتائی، الف.، وطن‌دوست، ص. و مداح، س.، ۱۳۹۸. ارزیابی زیست رودخانه بالیخلو اردبیل بر اساس شاخص‌های زیستی. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۱(۲): صفحات ۲۹۶-۲۸۵.

رمضان پور، ز.، شریفی‌نیا، م. و ایمانپور نمین، ج.، ۱۳۹۲. تنوع زیستی جمعیت دیاتومه رودخانه ماسوله گیلان، ایران. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۵ (۱۵): صفحات ۴۸-۳۷.

عصری، ی.، ۱۳۸۵. اکولوژی پوشش‌های گیاهی. انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۰۹ ص.

عطاران فریمان، گ.، لقمانی، م.، میرکازهی ریگ، ا.، ۱۳۹۷. بررسی تنوع و فراوانی دیاتومه‌ها (Bacillariophyceae) در رسوبات سواحل جنوب ایران. مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۸ (۲): صفحات ۱۲۳-۱۱۵.

Ahmadi Musaabad, L., Panahy Mirzahasanlou, J. G., Mahmoodlu, M. and Bahlakeh, A., 2019. Diatom flora in three springs of Golestan Province. Journal of Phycological Research, 3(2): 432-442.

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.

Bellinger, E. G. and Sigee, D. C., 2010. Freshwater Algae, Identification and Use as Bioindicators. First edition, Wiley-Blackwell, 271 pp.

Berthon, **V., Bouchez, A. and Rimet, F., 2011.** Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south-eastern France. Hydrobiologia, 673: 259-271.

Chang, P. C., Ya-Hui, G. and Peng, L., 2010. Geographical and seasonal patterns of epiphytic diatoms on a subtropical mangrove (Kandelia candel) in southern China. Ecological Indicators, 10: 143–147.

Chen, X., Zhou, W., Pickett, S.T.A., Li, W., Han, L. and Ren, Y., 2016. Diatoms are better indicators of urban stream conditions: A case study in Beijing, China. Ecological Indicators, 60: 265-274.

Czerwik-Marcinkowska, J., Wroblewski, W., Gradzinski, M. and Uher, B., 2019. Diatom species diversity and their ecological patterns on different substrates in two karstic streams in the Slovak Karst. Journal of Cave and Karst Studies, 80(3): 1-16.

Fourtanier, E. and Kociolek, J. P., 2009. Catalogue of diatom names. San Francisco, California, USA, California Academy of Sciences.

Gudimova, E., Eilertsen, H.C., Jorgensen, T. and Hansen, O., 2016. In vivo exposure to northern diatoms arrests sea urchin embryonic development. Toxian. 109: 63-69.

Kawecka, B., 1986. The effect of light deficiency on communities of sessile algae in the Olczyski stream (Tatra Mts, Poland). Acta Hydrobiologica, 28: 379 – 386.

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.

Kheiri, S., Solak, C. N., Edlund, M. B., Spaulding, S., Nejadsattari, T., Asri, Y. and Hamdi, S. M. M., 2019. Biodiversity of diatoms in the Karaj River in the Central Alborz, Iran. Diatom Research, 33 (3): 355-380.

Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1986. Bacillariophyceae, 1. Naviculaceae. In: Etti, H. Gerloff, J. Heyning, H. Mollenhauer, D. (eds), Susswasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag. Jena, 1:876.

Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1988. Bacillariophyceae, 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Etti, H. Gerloff, J. Heyning, H. Mollenhauer, D. (eds), Susswasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 2: 596.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991 a. Bacillariophyceae, 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Etti, H. Gerloff, J. Heyning, H. Mollenhauer, D. (eds), Susswasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 3: 576.

Krammer, K. and Lange-Bertalot, H., 1991 b. Bacillariophyceae, 4. Achnanthaceae. Kritische Erganzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. In: Etti, H. Gerloff, J. Heyning, H. Mollenhauer, D. (eds), Susswasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 4: 437.

Lee, R. E., 2008. Phycology. Cambridge University Press, 547pp.

Liu, L., He, X., Fu, J., Yang, Y., Mi, W., Shi, J. and Wu, Z., 2019. Benthic diatom communities in the main stream of Three Gorges Reservoir and its relationship with environmental factors. Huan Jing Ke Xue, 40(8): 3577-3587.

Mostafavi, H. and Azad Teimori, A., 2018. Investigating multiple human pressure types in the southern Caspian Sea Basin Rivers at different spatial scales toward Integrating Water Resource Management (IWRM) in Iran. Anthropogenic Pollution Journal, 2(1): 38-47.

Noga, T., Kochman, N., Peszek, L., Stanek-Tarkowska, J. and Pajaczek, A., 2014. Diatoms (Bacillariophyceae) in rivers and streams and on cultivated soils of the Podkarpacie region in the years 2007-2011. Journal of Ecological Engineering, 15(1): 6-25.

Pan, Y. D., Stevenson, R. J., Hill, B. H., Kaufmann, P. R. and Herlihy, A. T., 1999. Spatial patterns and ecological determinants of benthic algal assemblages in Mid- Atlantic streams. USA Journal of Phycology. 35: 460-468.

Panahy Mirzahasnlou, J., Nejadsattari, T., Ramezanpour, Z., Imanpour Namin, J. and Asri, Y., 2018. The epilithic and epipelic diatom flora of the Balikhli River, Northwest Iran. Turkish Journal of Botany, 42: 518-532.

Panahy Mirzahasnlou, J., Ramezanpour, Z., Nejadsattari, T., Imanpour Namin, J. and Asri, Y., 2020. Temporal and spatial distribution of diatom assemblages and their relationship with environmental factors in Balikhli River (NW Iran). Ecohydrology & Hydrobiology, 20: 102-111.

Ramachandra, T. V., Ahalya, N., and Murthy, C. R., 2005. Aquatic ecosystems Conservation, restoration and Management, Capital publishing Company.

Rott, E., 1991. Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers. In Whitton, B. A., Rott, E. & Friedrich, G. (eds.) Use of Algae for Monitoring Rivers. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria, 9-16.

Round, F. E., 1993. A review and methods for the use of epilithic diatoms for detecting and monitoring changes in river water quality. HMSO Publisher, London, 63.

Sabater, S. and Admiraal, W., 2005. Biofilms as biological indicators in managed aquatic ecosystems. In Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., van Dam, A. A. & Beveridge, M. C. M. (eds.) Periphyton: Ecology, Exploitation and Management. CAB International, Wallingford, UK, 159-177.

Sabater, S., Sabater, F. and Armengol, J., 1988. Relationships between diatom assemblages and physico-chemical variables in the River Ter (NE Spain). Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 73: 171-179.

Salusso, M. M. and Moraňa, L. N., 2000. Caracteristicas fisicas, quimicas y fitoplancton de rios y embalses de la alta Cuenea del Rio Juramento (Salta, Argentina). Natura Neotropicalis, 31:29-44.

Smucker, N. J. and Vis, M. L., 2011. Spatial factors contribute to benthic diatom structure in streams across spatial scales: considerations for biomonitoring. Ecological Indicators. 11(5):1191–1203.

Snell, M., Barker, P. A., Surridge, B. W. J., Benskin, C. M. H., Barber, N., Reaney, S., Tych, W., Mindham, D., Large, A., Burke, S. and Haygarth, P. M., 2019. Strong and recurring seasonality revealed within stream diatom assemblages. Scientific Reports 9(1): 3313.

Soltanpour Gargari, A., Lodenius, M. and Hinz, F., 2011. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) from streams in Ramsar, Iran. Acta Botanica Croatia, 70(2): 167-190.

Spaulding, S. A., Lubinski, D. J. and Potapova, M., 2010. Diatoms of the United States. http://westerndiatoms.colorado.edu Accessed on 04 July, 2016.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

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.
Verb, R. G. and Vis, M. L., 2000. Comparison of benthic diatom assemblages from streams draining abandoned and reclaimed coal mines and nonimpacted sites. Journal of North American Benthological Society, 19(2):274–288.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-01-16]