

ارزیابی کیفیت آب رودخانه سیروان (کردستان) بر اساس شاخص ساپروبی فیتوپلانکتون

آسیه مخلوق^۱، حسن نصراله زاده ساروی^{۲*}، مهدی نادری جلودار^۱، فرشته اسلامی^۲، احد احمد نژاد^۱

۱- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مازندران، ساری، پست

الکترونیکی: hnsaravi@gmail.com

۲- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

چکیده

شهرنشینی و توسعه صنایع منجر به افزایش استفاده از رودخانه ها برای دفع فاضلاب های مختلف شده است. سد ژاوه بر روی رودخانه سیروان (استان کردستان)، بعد از تلاقی دو شاخه اصلی گاو رود و قشلاق ساخته شده است. هدف این مقاله "تعیین کیفیت آب، با استفاده از شاخص ساپروبی فیتوپلانکتون در رودخانه سیروان" است. نمونه برداری آب (فیتوپلانکتون) از پاییز ۱۳۹۹ تا تابستان ۱۴۰۰، در ۴ ایستگاه از بالا دست شاخه قشلاق تا نزدیک تاج سد (مخزن سد) ژاوه و نیز یک ایستگاه در شاخه گاو رود، صورت گرفت. طبق نتایج، تعداد ۱۰ گونه غالب متعلق به ۷ جنس فیتوپلانکتونی با عدد ساپروبی ۲/۵۱ تا ۳/۵۰، در گروه "آلودگی شدید" شناسایی شدند. از بین گونه های فوق، حضور *Navicula* و *Cyclotella meneghiniana* در همه ایستگاه ها بیانگر ثبات آلودگی در کل مسیر رودخانه سیروان بوده است. حضور *Stigeoclonium amoenum* فقط در ایستگاه ۳ (بعد از تصفیه خانه شهر سنندج) و عدم حضور *Nitzschia tryblionella* در ایستگاه ۴ (حاشیه باغات و زمین های کشاورزی) را می توان به ترتیب بعنوان گونه های شاخص (آلودگی های صنعتی-شهری و جوامع انسانی) و (آلودگی با فاضلاب های کشاورزی)، در این منطقه در نظر گرفت. اما بطور کلی میزان شاخص ساپروبی در همه ایستگاه ها و فصول از ۱/۵ تا ۲/۵ واحد متغیر بود که بیانگر کیفیت آب با "آلودگی متوسط" است. نتایج این مطالعه قابل استفاده در تعیین کیفیت آب، نوع آلودگی و کاربری آب با توجه به حضور و عدم حضور گونه های شاخص فیتوپلانکتونی در منطقه است.

واژگان کلیدی: کیفیت آب، آلودگی، فیتوپلانکتون، گونه های شاخص، رودخانه سیروان، کردستان

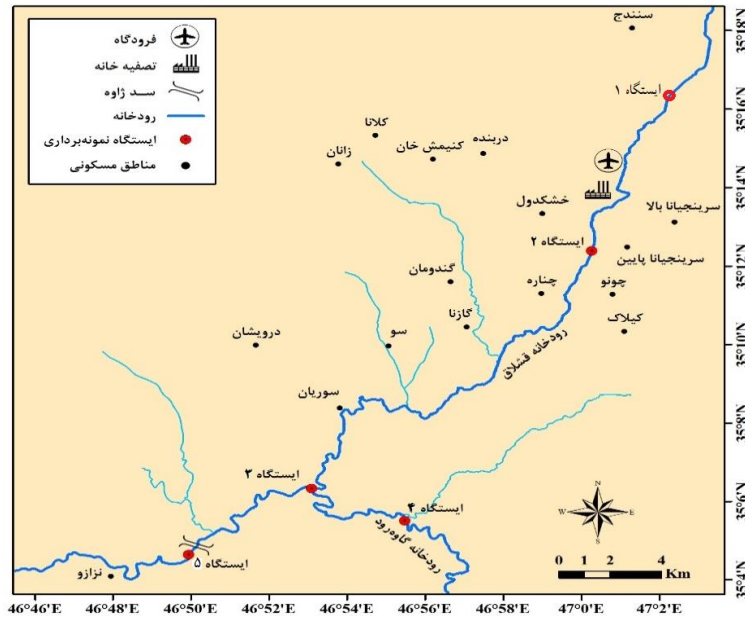
بیان مسئله

رودخانه‌ها طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها از جمله تامین آب شرب و کشاورزی را پشتیبانی می‌کنند. شهرنشینی و توسعه صنایع منجر به افزایش استفاده از رودخانه‌ها برای دفع آلودگی ناشی از منابع مختلف شده‌است. آلودگی‌های مختلف موجود در فاضلاب‌ها (از قبیل نیتروژن و فسفر اضافی) سبب تغییر ترکیب گونه‌ای و تراکم فیتوپلانکتون (ریز جلبک‌ها) می‌گردد. بطوری‌که گونه‌های دارای مقاومت کم و حساس کاهش و گونه‌های مقاوم افزایش می‌یابند. اثرات و روابط متقابل بین جلبک، آلودگی و مواد مغذی (اعم از آلی و معدنی) سبب می‌گردد که مطالعه فیتوپلانکتون‌ها نه تنها در جایگاه تولیدکنندگان اولیه و نخستین حلقه از زنجیره غذایی دارای اهمیت باشد، بلکه به‌عنوان شاخصی سودمند برای تعیین کیفیت و آلودگی آب مورد توجه قرار گیرند (EL-Shahed and Ibrahim, 1998).

سد ژاوه بر روی رودخانه سیروان، بعد از تلاقی دو شاخه اصلی گاوهر رود و قشلاق با هدف استفاده در بخش‌های کشاورزی و صنعت ساخته شده است و تاکنون آبیگری نشده است. در حاشیه شاخه گاوهر رود، باغات و زمین‌های کشاورزی وجود دارد. شاخه قشلاق پس از عبور از حاشیه شهر سنندج و مناطق صنعتی و دریافت انواع فاضلاب‌ها، به سد وارد می‌شود. تاکنون مطالعات انجام شده، بخش زیستی و جلبکی این حوضه آبریز را شامل نشده است. لذا مقاله حاضر به‌عنوان بخشی از طرح "ارزیابی یکپارچگی اکولوژیک سرشاخه‌های قشلاق و گاوهر رود و اثرات احتمالی آن بر اکوسیستم سد ژاوه"، برای نخستین بار فیتوپلانکتون‌ها (ریز جلبک‌ها) را در سرشاخه‌های قشلاق و گاوهر رود (رودخانه سیروان-کردستان) مورد مطالعه قرار داده تا از نتایج حاصله برای محاسبه شاخص ساپروبی، تعیین کیفیت آب و تعیین گونه‌های شاخص آلودگی آلی در این رودخانه استفاده نماید. ارزیابی کیفیت آب رودخانه، ابزار مهمی برای مدیران در تعیین نوع بهره‌وری، خطرات و بحران‌های ناشی از بهره‌وری غیرمجاز بخصوص در حوزه کشاورزی، مرتبط به انسان و سایر موجودات زنده (دام و شیلات) و میزان کارایی سیستم‌های تصفیه فاضلاب در منطقه می‌باشد.

دستاورد و راهکار

برای مطالعه فیتوپلانکتون، نمونه‌برداری از آب (به میزان نیم لیتر) بصورت مستقیم در ۵ ایستگاه منتخب در رودخانه سیروان (سنندج-استان کردستان) و در سرشاخه‌های قشلاق و گاوهر رود صورت گرفت. ایستگاه‌های ۱ تا ۳، در سرشاخه قشلاق انتخاب شدند. بطوری‌که ایستگاه ۱ در بالا دست، ایستگاه ۲ نزدیک به تصفیه‌خانه شهر سنندج و ایستگاه ۳، بعد از تصفیه‌خانه و قبل از تلاقی با گاوهر رود قرار داشت. همچنین ایستگاه ۴ در شاخه گاوهر رود و ایستگاه ۵ در نزدیک تاج سد (مخزن سد) ژاوه تعیین گردیدند (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه سیروان

آماده سازی نمونه‌ها (سیفون و سانتریفوژ) به منظور مشاهده میکروسکوپی فیتوپلانکتون (شناسایی گونه‌ای و تعیین تراکم) بر اساس APHA (۲۰۱۷) و کلیدهای شناسایی معتبر (Hartley et al., 1996; Wehr and Sheath, 2003) صورت گرفت. شاخص ساپروبی طبق فرمول (۱) محاسبه گردید (Pantle and Buck, 1955).
فرمول (۱):

$$S = \frac{\sum (h_i \times s_i)}{\sum h_i}$$

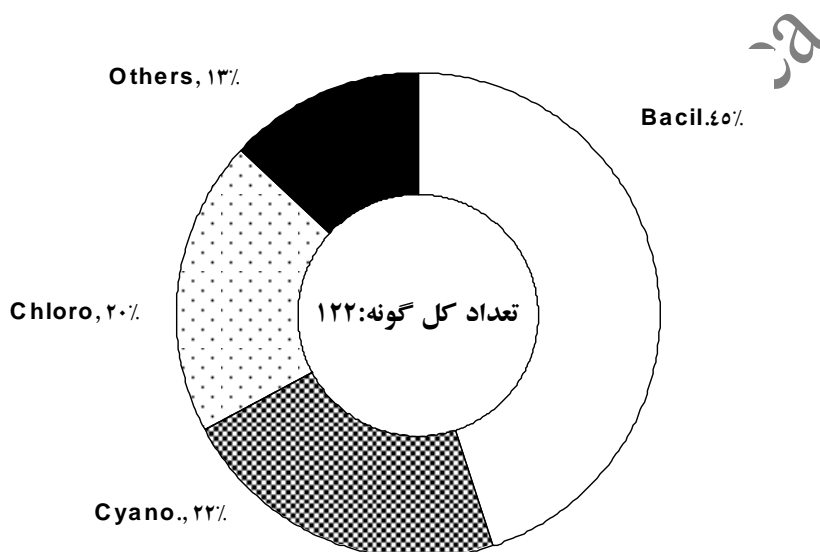
در فرمول (۱): S_i : عدد ساپروبی (مقاومت به آلودگی مواد آلی) هر گونه (Pantle and Buck, 1955) و h_i مقیاس بر اساس تراکم هر گونه است. بطوری‌که برای تراکم‌های کمتر از ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۲۰۰ و بیش از ۲۰۰ سلول در میلی لیتر به ترتیب مقادیر ۱، ۲ و ۳ برای h_i در نظر گرفته می‌شوند. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس نتایج بدست آمده از فرمول (۱) و طبق جدول (۱) صورت گرفت.

جدول ۱. کیفیت آب بر اساس شاخص ساپروبی (Pantle and Buck, 1955)

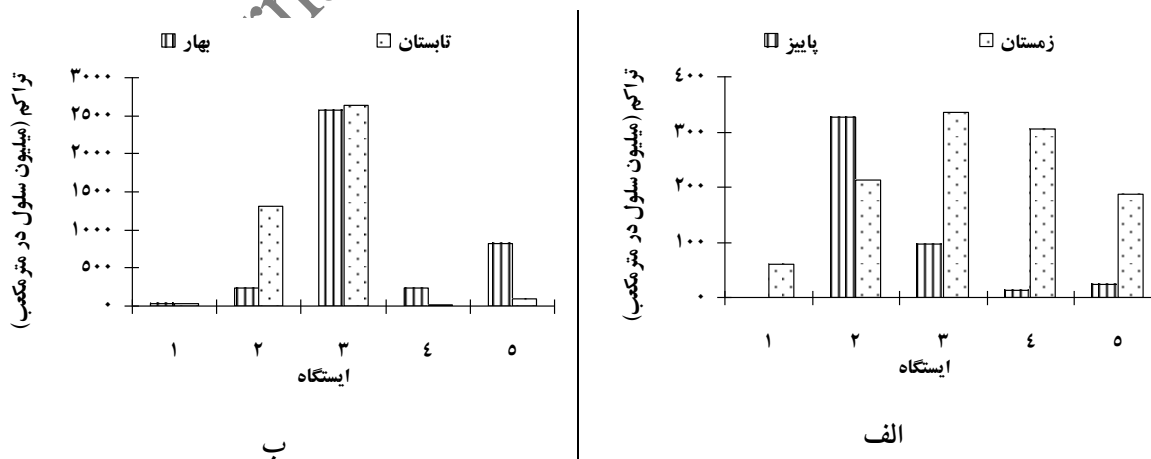
طبقه	وضعیت ساپروبی	شاخص ساپروبی
I	خیلی اندک آلوده	۱/۱۰-۱/۵۰
II	آلودگی متوسط	۱/۵۱-۲/۵۰

III	آلودگی شدید	۲/۵۱-۳/۵۰
IV	آلودگی خیلی شدید	۳/۵۱-۴/۰۰

بر اساس بررسی میکروسکوپی، ۱۲۲ گونه فیتوپلانکتون (ریزجلبک) متعلق به ۷ شاخه باسیلاریوفیتا (Bacillariophyta)، پیروفیتا (Pyrrophyta)، سیانوفیتا (Cyanophyta)، کلروفیتا (Chlorophyta)، اوگلنوفیتا (Euglenophyta)، زانتوفیتا (Xantophyta) و کریپتوفیتا (Cryptophyta) در نمونه‌های آب شناسایی شدند. بیشترین تعداد گونه‌ها در شاخه باسیلاریوفیتا (۴۵ درصد از تعداد کل گونه) و پس از آن در سیانوفیتا (۲۲ درصد) و کلروفیتا (۲۰ درصد) دیده شد (شکل ۲).

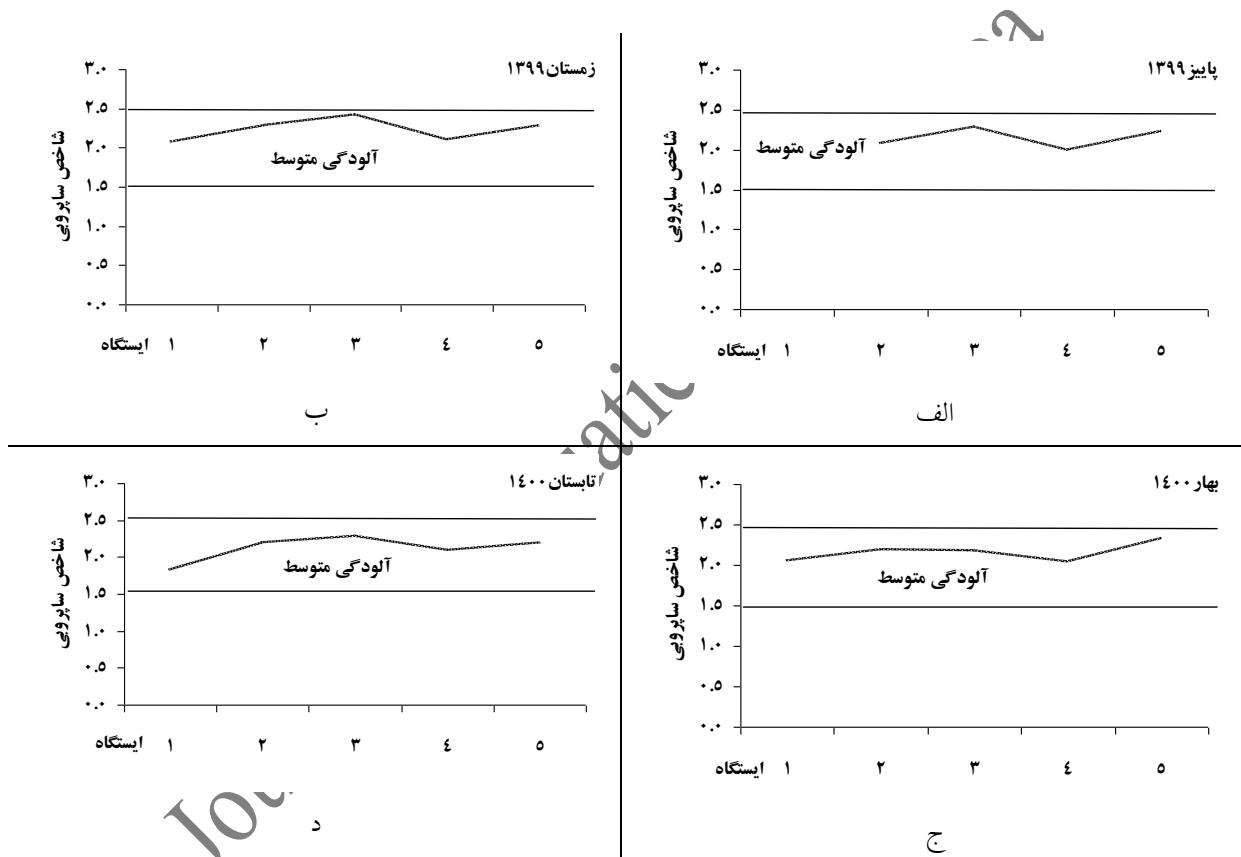


شکل ۲. تعداد گونه‌ها (برحسب درصد) در شاخه‌های مختلف فیتوپلانکتون



شکل ۳. تغییرات ایستگاهی تراکم فیتوپلانکتون در فصول پاییز و زمستان (الف)، بهار و تابستان (ب) در رودخانه سیروان

تراکم فیتوپلانکتون در آب از ۱۳ (پاییز، ایستگاه ۴) تا ۲۶۳۵ (تابستان، ایستگاه ۳) میلیون در مترمکعب متغیر بود. در ایستگاه ۳، تراکم در فصل بهار به میزان ۲۵۷۴ میلیون در مترمکعب بدست آمد که بسیار نزدیک به حداکثر تراکم ثبت شده در فصل تابستان بود. بررسی ایستگاهی نشان داد که در ایستگاه‌های ۱، ۴ و ۵ حداکثر تراکم عمدتاً در زمستان (شکل ۳، الف) و پس از آن در بهار بود ولی در ایستگاه‌های ۲ و ۳ حداکثر تراکم در تابستان ثبت شد (شکل ۳، ب). تغییرات ایستگاهی شاخص ساپروبی در فصول مختلف در شکل ۴ (الف، ب، ج و د)، آورده شده است. شاخص ساپروبی در همه ایستگاه‌ها و فصول در محدوده ۱/۵ تا ۲/۵ واحد متغیر بود. این محدوده از تغییرات شاخص ساپروبی بیانگر کیفیت آب با "آلودگی متوسط" می‌باشد (جدول ۱).



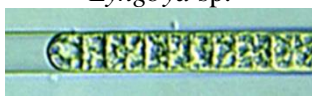
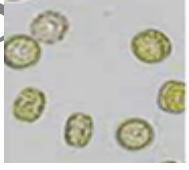


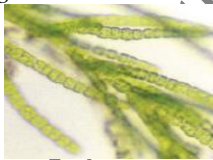


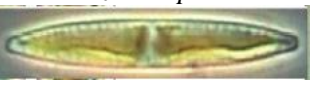
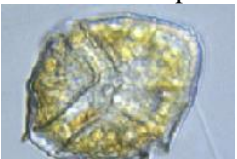

شکل ۴. تغییرات شاخص ساپروبی فیتوپلانکتون در فصول پاییز (الف)، زمستان (ب)، بهار (ج) و تابستان (د) در رودخانه سیروان

ایستگاه (۱) در بالا دست، دارای کم‌ترین عوامل موثر بر افزایش آلودگی‌ها (کارگاه‌ها، کارخانجات، تخلیه فاضلاب) بوده‌است. در حالی که ایستگاه‌های ۲ و ۳ در نزدیکی سایت تصفیه فاضلاب و تخلیه مواد خروجی به رودخانه و ایستگاه ۴ در معرض آلودگی سموم کشاورزی قرار داشتند. بر اساس نتایج شاخص ساپروبی، در تابستان تحت تاثیر افزایش آلودگی‌ها در منطقه، بیشترین عدد ساپروبی در ایستگاه‌های ۲ و ۳ (نزدیک به تاسیسات تصفیه فاضلاب شهر سندنجان، کشتارگاه مرغ و دام و دفن زباله و بیوکمپوست)، بدست آمد. در حالی که در این فصل، عدد ساپروبی در بالا دست (ایستگاه ۱) عدد کمتری را نشان داد. اگرچه بر

اساس عدد نهایی شاخص ساپروبی، همه نمونه‌ها در گروه "آلودگی متوسط" جای گرفتند، ولی بررسی در سطح گونه‌ای نشان داد که با توجه به نوع غالب آلودگی در هر ایستگاه می‌توان برخی از گونه‌های فیتوپلانکتونی را به عنوان گونه‌های کلیدی یا شاخص آلودگی معین در نظر گرفت.

جدول ۲. حضور و عدم حضور گونه‌های فیتوپلانکتون در گروه "آلودگی شدید با مواد آلی" در ایستگاه‌های مختلف رودخانه

سیروان

ایستگاه					گونه	ایستگاه					گونه
۵	۴	۳	۲	۱		۵	۴	۳	۲	۱	
					<i>Lyngbya</i> sp. 						<i>Cyclotella meneghiniana</i> 
					<i>Schroederia setigera</i> 						<i>Navicula cryptocephala</i> 
					<i>Stigeoclonium amoenum</i> 						<i>Nitzschia hungarica</i> 
					<i>Peridinium</i> sp. 						<i>Nitzschia palea</i> 
					<i>Peridinium</i> sp.2 						<i>Nitzschia tryblionella</i> 

در مجموع ۱۰ گونه غالب فیتوپلانکتون در محدوده آلودگی شدید با شاخص ساپروبی ۲/۵۱ - ۳/۵۰، در ایستگاه‌های مورد مطالعه ثبت شدند (جدول ۲). حضور پایدار گونه‌های *Navicula cryptocephala* و *Cyclotella meneghiniana* در همه ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که ثبات آلودگی، شرایط مطلوبی را برای حضور دائمی آن‌ها فراهم نمود. به عبارت دیگر به دلایل مختلف از جمله

ورود آلودگی با منابع نامشخص حتی در ایستگاه ۱ (پیش از خروجی تصفیه خانه شهرسندج) و نیز خودپالایی نامناسب رودخانه تا ایستگاه ۵ (مخزن سد و در فاصله نسبتاً دور از منابع مشخص آلودگی صنعتی، شهری و کشاورزی) نیز، گونه‌های شاخص "آلودگی شدید" دارای تراکم بالا بودند. لذا زمینه و امکان شکل‌گیری شکوفایی برای برخی گونه‌ها و وقوع پرغذایی و یوتروفیکاسیون (Eutrophication) وجود دارد. همچنین طبق جدول (۲)، حضور *Stigeoclonium amoenum* فقط در ایستگاه ۳ (شاخه قشلاق-بعد از تصفیه خانه شهر سندج) و عدم حضور *Nitzschia tryblionella* در ایستگاه ۴ (شاخه گاو رود-در حاشیه باغات و زمین های کشاورزی) را می‌توان به ترتیب به عنوان گونه‌های شاخص (آلودگی‌های صنعتی و جوامع انسانی) و (آلودگی با فاضلاب‌های کشاورزی)، در این منطقه در نظر گرفت. لازم به ذکر است که تاثیرپذیری ایستگاه‌های پایین دست از آلودگی‌های موجود در شاخه قشلاق، دبی نامناسب آب در برخی ایستگاه‌ها (خاکپور، ۱۳۹۹) و خودپالایی نامناسب رودخانه از دلایل حضور گونه *Nitzschia tryblionella* در ایستگاه ۵ محسوب می‌گردند. ملکی و همکاران (۱۳۹۹)، ضمن استفاده از گونه‌های مقاوم به آلودگی آلی به عنوان شاخص‌های کیفیت آب، حضور برخی گونه‌ها را بدلیل توانایی آنها در جذب آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین مفید بیان نمودند. زیرا از این جلبک‌های بومی، ساکن، مقاوم و دارای توان جذب آلاینده‌های مختلف، می‌توان پس از مطالعات و بررسی اثرات جانبی، در پاکسازی زیستی محیط‌های آلوده استفاده نمود. اما ثبت حضور و افزایش این موجودات در اکوسیستم از جنبه هشدار بالابودن آلودگی، بیش از جنبه توان تصفیه و پاکسازی محیط مطرح می‌باشد.

در مطالعه رودخانه اترک در خراسان شمالی در هر یک از شاخه‌های باسیلاریوفیتا، کلروفیتا و سیانوفیتا به ترتیب ۵، ۷ و ۲ گونه مشاهده شد و حداکثر تراکم فیتوپلانکتون حدود یک میلیون در مترمکعب برآورد گردید (قدیرنژاد و همکاران، ۱۳۹۲). آن‌ها بیان کردند که ساختار زیستی رودخانه اترک با ایجاد و احداث سد تهارک (در استان خراسان رضوی) جابجا شده، بطوری که 63 کیلومتر از بستر رودخانه در ابتدای ورود به استان خراسان شمالی کاملاً خشک و بی آب و فاقد حیات موجودات رودزی از جمله فیتوپلانکتون‌ها است. حضور فیتوپلانکتون‌ها در مسیر اترک، پس از محل جوشش چشمه‌ها مشاهده شد ولی به دلیل مصرف بی‌رویه آب در کشاورزی و نیز ورود مستقیم آلاینده‌های فاضلاب صنعتی (کارخانه سیمان، مجتمع پتروشیمی و...) همچنان تنوع و فراوانی فیتوپلانکتون‌ها در رودخانه اترک، افزایش نشان نداد. لذا با توجه به وجود شرایط مشابه در مطالعه حاضر از قبیل انواع فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و ورود غیر استاندارد فاضلاب‌ها (خانگی، کشاورزی و صنعتی) به رودخانه سیروان، ضروری است که داده‌های جلبکی نیز به عنوان شواهد با اهمیت در تعیین نوع بهره‌برداری از رودخانه سیروان، میزان کارایی ایستگاه تصفیه فاضلاب و نیز امکان آبرگیری سد ژاوه، مورد استفاده قرار گیرند.

توصیه ترویجی

توسعه صنایع و کشاورزی در حاشیه رودخانه سیروان منجر به افزایش استفاده از آن برای دفع فاضلاب‌های مختلف شده است. این امر در نهایت افزایش آلودگی‌ها، مواد مغذی و تغییرات کمی و کیفی تولید کنندگان اولیه یعنی فیتوپلانکتون (ریز جلبک‌ها) را در این حوضه بدنبال داشته است. لذا در این مقاله از شاخص ساپروبی فیتوپلانکتون برای تعیین کیفیت آب و آلودگی این رودخانه به مواد آلی استفاده شده است. در این مطالعه *Nitzschia Navicula cryptocephala*, *Cyclotella meneghiniana*, *N. tryblionella*, *N. palea hungarica*, *Stigeoclonium amoenum*, *Schroederia setigera*, *Lyngbya sp.*، *Peridinium sp.1* و *P. sp.2* به عنوان گونه‌های شاخص "آلودگی شدید" در رودخانه سیروان شناسایی شدند. همچنین حضور *Stigeoclonium amoenum* و عدم حضور *Nitzschia tryblionella* به ترتیب به عنوان گونه‌های شاخص (آلودگی‌های

صنعتی-شهری و جوامع انسانی) و (آلودگی با فاضلاب‌های کشاورزی)، در این منطقه بیان شدند. پیشنهاد استفاده از این جلبک-های بومی، ساکن و مقاوم برای مطالعات اولیه در خصوص "پاکسازی زیستی محیط‌های آلوده" از دیگر توصیه‌های ترویجی مطالعه حاضر می‌باشد. استفاده از شاخص‌های زیستی به همراه پارامترهای غیرزیستی در تعیین کیفیت آب و نیز کاربری حوضه آبی، نتیجه کاربردی‌تر و پایدارتری بدنبال خواهد داشت.

منابع

- خاکپور، ج.، ۱۳۹۹. مقایسه کارائی مدل‌های تحلیلی Gaussian، VART و ADZ به منظور تشخیص موقعیت منبع آلودگی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲ (۱۲): ۳۲۲۱-۳۲۳۶.
- قدیرنژاد، س.ح.، عقیلی، ک.، پورصوفی، ط.، حسینی، س.ص.، فخرائی، ح. و فاضل، ع.، ۱۳۹۹. بررسی پراکنش و فراوانی جمعیت‌های فیتوپلانکتون رودخانه آترک در استان خراسان شمالی، مجله شیلات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر، ۷ (۲): ۸۵-۹۲.
- ملکی، پ.، پاتیمار، ر.، جعفریان، ح.، ماهینی، ع.س.، قربانی، قلیزاده، م. و هرسیج، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی اکولوژیک آلودگی آلی خلیج گرگان با استفاده از شاخص جلبکی پالم. بوم‌شناسی کاربردی، ۹ (۱): ۴۵-۵۹.
- APHA (American Public Health Association). 2017. Standard method for examination of water and wastewater. Washington. USA: American public health association publisher, 23th edition. 1546p.
- El-Shahed, A.M. and Ibrahim, H.A., 1998. Significance of Algal Assemblages in Assessing Water Quality of the River Nile at Minia, Egypt. International Conference on Hazardous waste: Sources, Effects and Management 12-16 December 1998, Cairo-Egypt.
- Hartley, B.H.G., J.R.C. Barber and P. Sims. 1996. An Atlas of British Diatoms. UK: Biopress Limited, Bristol.
- Pantle, R. and Buck, H., 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas Wasserfach 96:604.
- Wehr, J.D., Sheath, R.G. and Patrick Kociolek, J., 2015. Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. USA: Academic Press. 1067p.