

Original Article

A Study of the effects of east Golestan coal mines on water quality with a glance on diatom assemblages

Seyyed Mohammad Karimian¹, Jamileh Panahy Mirzahasanolou^{1*}, Mojtaba G.Mahmoodlu², Arsalan Bahalkeh³

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: One of the main problems associated with mining activities is run-off, which adversely effects the quality of surface and underground waters. Golestan province has various mines and since that most of these are located in forest areas, monitoring their effects on neighboring ecosystems is essential. Due to the abundance in every ecosystem, short life cycle, and quick response to the environmental changes, diatoms are considered as suitable bioindicators and extensively have been used for water quality assessment. These organisms can serve as good indicators in heavily polluted areas affected by mining. This survey studied the effects of the mining drainage from the Zemestan Yurt and Razi mines in East Golesta on diatom assemblages. No studies have been conducted on the relationship between diatoms and coal mines in Iran. This survey specifically examined the impact of drainage from Zemestan Yurt and Razi coal mines on diatom assemblages.

Material and Methods: In this study in each mine two sites werer selected: the first site in the outlet of mine and the second downstream form the outlet where the drainage flows into the Khormarud (in Zemestan Yurt Mine) and Ghareh Cheshmeh Rivers (in Razi Mine). Sampling was carried out during the winter season from stony substrates. The sampling stations were located downstream from the outlets of the Zemestan Yurt (Azadshahr City) and Razi (East Alborz, Ramian City) coal mines, where the drainage flows into the Khormarud and Ghareh Cheshmeh Rivers. Alongside algal samples, water samples were also collected and in darkness with ice were carried out to the laboratory for further analysis. Diatom samples were studied and identified under a light microscope after preparation and the production of permanent slides. Water parameters were measured both *in situ* and in the laboratory.

Results and Discussion: In total 27 diatom taxa belonging to 16 genera were identified in this study; these taxa have also been reported from other aquatic ecosystems in Golestan Province. The most abundant taxa included *Achnantheidium minutissimum*, *Diatoma moniliformis* and *Gomphonema pumilum* which more or less were among the most abundant taxa in other studied ecosystems of Golestan Province. Hydrochemical results showed that the pH was alkaline and greater than 8, which aligns with the identified diatom taxa, as 60.71% of which were alkalifilous which

¹ Department of Biology, Faculty of Basic Science, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

² Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

³ Department of Fishery, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

* Corresponding Author Email Address: panahi@gonbad.ac.ir; ORCID ID: 0000-0001-6775-8631

are found in pH more than 7 and the last are taxa which are found in pH 7. Although salinity levels increased as one moved away from the mines, however its level was in the freshwater range and this increase was not significant enough to have a remarkable effect on the diatom assemblage. In terms of tolerance to organic pollution, most of the identified taxa in both mines were found to be pollution-tolerant. Regarding trophic status, most species were indicators of eutrophic waters, followed by species capable of surviving in various trophic conditions.

Conclusion: Among the effects of mining which can remarkably affect the diatom assemblages is the obvious change in water pH and salinity; according to findings of this study no significant change were observed in terms of the mentioned parameters and the identified taxa were also reported from other studied ecosystems of Golestan Province. However the studied sites exhibited low taxonomic richness, which is characteristic ecosystems affected by mining; all identified taxa were either pollution-tolerant or taxa with extensive ecological niches. Therefore more experiments on rivers pollution are suggested specially in terms of possible heavy metals that may have entered this rivers through mine runoffs.

Keywords: Epilith, Iran, Saprobity index, Trophic status.

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر معادن ذغال سنگ شرق گلستان روی کیفیت آب با نگاهی بر جمعیت‌های دیاتومه‌ای

سید محمد کریمیان^۴، جمیله پناهی میرزا حسنلو^{۵*}، مجتبی قره محمودلو^۵، ارسلان بهلکه^۶

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: یکی از مشکلات اصلی معدن‌کاری پساب‌های حاصل از آن می‌باشد که تأثیرات زیانباری روی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی برجا می‌گذارد. استان گلستان دارای معادن متعددی می‌باشد. با توجه به قرار گرفتن اکثر این معادن در مناطق جنگلی، لزوم پایش تأثیر معادن روی اکوسیستم‌های مجاور ضروری به نظر می‌رسد. دیاتومه‌ها به دلیل فراوان بودن در تمام اکوسیستم‌های آبی، چرخه زندگی کوتاه و پاسخ سریع به تغییرات شرایط محیطی به عنوان شاخص‌های زیستی مناسبی در نظر گرفته می‌شوند و بطور گسترده‌ای برای ارزیابی وضعیت کیفی آب استفاده شده‌اند. این میکروارگانیسم‌ها همچنین می‌توانند شاخص‌های بسیار خوبی در محیط‌های آبی بسیار آلوده و متاثر از آلودگی‌های معادن باشند. تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه ارتباط دیاتومه‌ها با معادن زغال سنگ در ایران انجام نشده است. در این بررسی، تأثیر زهاب‌های معادن زغال سنگ زمستان یورت و رضی در شرق گلستان روی جمعیت‌های دیاتومه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای این مطالعه در هر معدن دو ایستگاه انتخاب شد: ایستگاه اول در خروجی آب معدن و ایستگاه دوم بعد از اتصال پساب معدن مورد نظر به رودخانه‌های خرمارود (در معدن زمستان یورت) و قره‌چشمه (در معدن رضی). نمونه‌برداری‌ها طی فصل زمستان ۱۴۰۲ از روی بسترهای سنگی در ایستگاه‌های مورد نظر انجام گرفت. همراه با نمونه‌های جلبکی، نمونه‌های آب نیز برداشت و در شرایط تاریک به

^۴ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۵ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۶ گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

*Corresponding Author Email Address: panahi@gonbad.ac.ir; ORCID ID: 0000-0001-6775-8631

همراه یخ جهت آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های دیاتومه‌ای پس از آماده‌سازی و تهیه اسلایدهای دائمی با میکروسکوپ نوری بررسی و مورد شناسایی قرار گرفتند. در عین حال مقادیر پارامترهای آب در محل و همچنین در آزمایشگاه ارزیابی شد.

نتایج و بحث: در این بررسی بطور کلی ۲۷ تاکسون دیاتومه‌ای متعلق به ۱۶ جنس شناسایی گردید که گونه‌های شناسایی شده از سایر اکوسیستم‌های آبی استان گلستان نیز گزارش شده‌اند. بیشترین فراوانی‌ها متعلق به گونه‌های *Achnanthes minutissima* و *Diatoma moniliformis* بود که این گونه‌ها در مطالعات انجام شده در سایر اکوسیستم‌های استان گلستان نیز کمابیش جزو گونه‌های دارای بیشترین فراوانی گزارش شده‌اند. نتایج داده‌های هیدروشیمی آب، pH آب را قلیایی و بیش از ۸ نشان داد که این نتیجه با نتایج تاکسون‌های دیاتومه‌ای شناسایی شده نیز مطابقت دارد. به این صورت که ۶۰/۷۱٪ آنها جزو گونه‌های آلفالیفل هستند که در pH بیشتر از ۷ دیده می‌شوند و بقیه نیز گونه‌هایی که در pH ۷ دیده می‌شوند. اگرچه با فاصله گرفتن از معادن میزان شوری افزایش یافت، اما میزان آن در محدوده آبهای شیرین بود و این افزایش به اندازه‌ای نبود که روی جمعیت دیاتومه‌ای تأثیر قابل توجهی داشته باشد. نظر میزان تحمل تاکسون‌ها نسبت به آلودگی‌های آلی قسمت عمده گونه‌های شناسایی شده در هردو معدن جزو گونه‌های مقاوم به آلودگی بودند و از نظر وضعیت تروفي نیز قسمت عمده گونه‌های موجود، شاخص آبهای پوتروف بودند و بعد از آن گونه‌هایی که قادر به زیست در تمام وضعیت‌های تروفي هستند.

نتیجه‌گیری: از جمله اثرات معدنکاری که می‌تواند تأثیر قابل توجهی در ترکیب جمعیت‌های دیاتومه‌ای داشته باشد، تغییر محسوس در pH و شوری آب است که براساس یافته‌های این تحقیق، از نظر پارامترهای ذکر شده تغییر محسوسی مشاهده نشد و تاکسون‌های شناسایی شده در این مطالعه از سایر اکوسیستم‌های استان گلستان نیز گزارش شده‌اند. با این حال، ایستگاه‌های بررسی شده در این مطالعه از غنای گونه‌های کمی برخوردار بود که یکی از مشخصه‌های اکوسیستم‌های تحت تأثیر معادن می‌باشد، همچنین تاکسون‌های شناسایی شده همه جزو گونه‌های مقاوم به آلودگی یا دارای دامنه اکولوژیکی وسیع هستند. بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات و آزمایشات بیشتری در زمینه آلودگی آب رودخانه‌ها بویژه در ارتباط با فلزات سنگین احتمالی که از طریق رواناب‌های معادن ممکن است وارد این رودخانه‌ها شده باشند، انجام شود.

واژه‌های کلیدی: آبی لیت، ایران، شاخص ساپروبیته، وضعیت تروفي.

مقدمه

زغال‌سنگ ماده‌ای ناهمگن و با ترکیبی پیچیده است که کاربردهای مختلف صنعتی دارد. یکی از اثرات زیست‌محیطی حاصل از استخراج زغال‌سنگ، آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی است (Tiwary, 2000). زغال‌سنگ مجموعه‌ای است از ماسرال‌ها و کانی‌ها (یزدی، ۱۳۸۶). از جمله کانی‌های مهمی که در زغال‌سنگ وجود دارد کانی‌های سولفیدی است که استفاده‌های صنعتی مختلفی دارند در عین حال پتانسیل تولید زهاب‌های اسیدی را دارند (Ami et al., 2023). بسیاری از معادن شامل کانی‌های سولفید آهن و

به‌ویژه پیریت می‌باشند که در نتیجه اکسید شدن و هیدرولیز این کانی‌ها زهاب‌های اسیدی تولید می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۸). زمانیکه پیریت (FeS_2) در مجاورت اکسیژن هوا و آب قرار گیرد، بویژه در حضور جوامع باکتریایی منجر به تشکیل اسید سولفوریک می‌شود که باعث آبشویی و آزادسازی فلزات سنگین موجود در زغال‌سنگ هم می‌شود (Ojonimi *et al.*, 2021) که در نتیجه باعث آلودگی منابع آبی مجاور شده و تهدیدی برای ارگانسیم‌های موجود در منطقه می‌باشند و جزء مشکلات زیست محیطی معدنکاری زغال محسوب می‌شوند (Bisthoven *et al.*, 2006). زهاب اسیدی تولید شده با ورود به آب و یا خاک یک منطقه می‌تواند مشکلاتی را ایجاد نماید که نمونه‌هایی از آن شامل: کاهش اسیدیته آب و به دنبال آن افزایش قابلیت حلالیت، خوردگی و خوردگی آن، افزایش درصد یون‌های فلزی به‌ویژه فلزات سنگین، افزایش TSS (کل مواد جامد معلق در آب) و TDS (کل جامدات محلول در آب) آب، تغییر اکوسیستم آب، آلودگی آب‌های زیرزمینی، آلودگی خاک‌های منطقه، آلودگی گیاهان موجود در منطقه (Mishra, 2007) می‌باشد. از دیگر آلودگی‌های آبی ناشی از معادن زغال سنگ می‌توان به آلودگی دمایی و افزایش شوری اشاره کرد (Whright *et al.*, 2017).

استفاده از شاخص‌های زیستی، مکمل ارزیابی‌های فیزیکوشیمیایی و داده‌های هیدرومورفولوژیکی برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی رودخانه‌ها بوده و داده‌های قابل اعتمادتری از تغییرات زیستی درازمدت یک اکوسیستم آبی بدست می‌دهند (Celekli *et al.*, 2021). بنابراین امروزه بطور گسترده‌ای استفاده می‌شوند (Charles *et al.*, 2021). در بین شاخص‌های زیستی مختلف، دیاتومه‌ها مزایای مختلفی داشته و بطور گسترده‌ای استفاده می‌شوند (Lobo *et al.*, 2016).

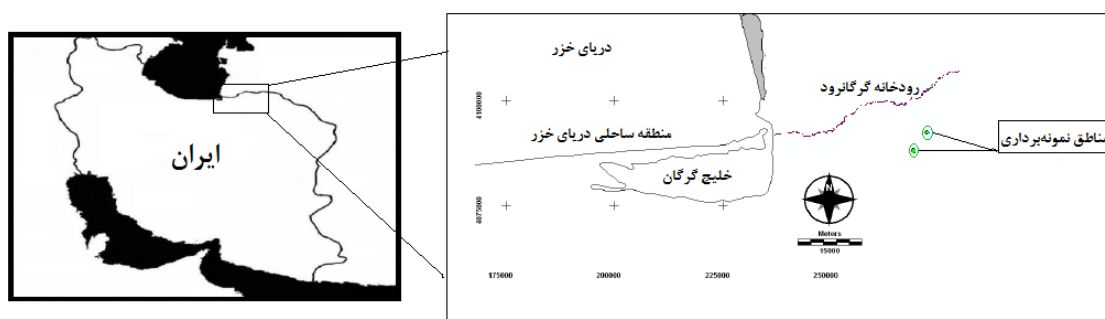
دیاتومه‌ها از شاخص‌ترین گروه‌های تشکیل دهنده جوامع جلبکی در اکوسیستم‌های آبی و از تولیدکنندگان اصلی این اکوسیستم‌ها به شمار می‌آیند. دیواره‌ای از جنس سیلیس دارند که از دو نیمه به نام والو تشکیل می‌شود. علائم و تزیینات متنوعی روی سطح دیواره دیاتومه‌ها دیده می‌شود که پایه‌ای برای رده‌بندی و شناسایی این موجودات می‌باشد (Spaulding *et al.*, 2021). عوامل محیطی اعم از شرایط اقلیمی و نیز خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب می‌توانند بر تنوع گونه‌ای این جوامع تأثیرگذار باشند. تنوع و غنای گونه‌ای بالا و ارتباط قوی با کیفیت آب باعث شده است که دیاتومه‌ها موجودات مناسبی برای ارزیابی زیستی اکوسیستم‌ها باشند (Desrosiers *et al.*, 2013). این موجودات در تمام زیستگاه‌ها (حتی جاهایی که بی‌مهرگان و فیتوپلانکتون‌ها یافت نمی‌شوند) حضور دارند و به دلیل چرخه زندگی کوتاه خیلی سریع به تغییرات شرایط محیطی پاسخ می‌دهند (Taurozzi *et al.*, 2024). بنابراین بطور گسترده‌ای در ارزیابی شرایط کیفی آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این موجودات بویژه نسبت به تغییرات مواد آلی، شوری، pH و مواد مغذی حساس هستند و ترجیحات اکولوژیکی بسیاری از گونه‌های دیاتومه‌ای نسبت به شوری، pH، هدایت الکتریکی (EC)، غلظت مواد آلی و سطوح تروپی تعیین شده است (Lobo *et al.*, 2016).

از جمله pH تأثیر مهمی روی ترکیب جمعیت‌های دیاتومه‌ای دارد (Van, Verb and Vis, 2000; Smucker and Vis, 2009). *Dam et al* (۱۹۹۴) دیاتومه‌ها را براساس دامنه تحمل pH به ۶ گروه تقسیم کردند: ۱- اسیدوبیونتیک (رشد اپتیمم در pH کمتر از ۵/۵ دارند)، ۲- اسیدوفیل (عمدتا در pH کمتر از ۷ دیده می‌شوند)، ۳- خنثی (عمدتا در pH حدود ۷ دیده می‌شوند)، ۴- آلكالیفیل (عمدتا در pH بیش از ۷ دیده می‌شوند)، ۵- آلكالیبیونتیک (منحصرا در pH بیش از ۷ دیده می‌شوند) و ۶- بی‌تمایل (فاقد اپتیمم مشخص)، بنابراین ترکیب دیاتومی با تغییر pH می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به اینکه آبهای منطقه استان گلستان به دلیل داشتن بسترهای آهکی از نظر pH در محدوده خنثی تا قلیایی قرار دارند هر گونه تغییر عمده pH به دلیل ورود زهابهای اسیدی معادن می‌تواند روی ترکیب دیاتومه‌ای تأثیرگذار باشد.

مطالعات مختلف نیز نشان داده است که دیاتومه‌ها می‌توانند شاخص‌های بسیار خوبی در محیط‌های آبی بسیار آلوده و متأثر از آلودگی‌های معادن باشند (Smucker and Vis, 2009; Bak et al., 2020). *Bak et al* (۲۰۲۰) با مطالعه رودخانه‌های متأثر از معادن زغال‌سنگ در جنوب لهستان به این نتیجه رسیدند که جمعیت‌های دیاتومی مطالعه شده منعکس‌کننده شوری ایجاد شده در نتیجه فعالیت‌های معدن کاری بوده و غنای گونه‌ای نسبتاً کمتری در این رودخانه‌ها مشاهده شد. *Vis and Verb* (۲۰۰۰) با مقایسه گونه‌های دیاتومی شاخص نهرهای متأثر از روانابهای معادن و نهرهای احیاشده به این نتیجه رسیدند که جمعیت‌های دیاتومی می‌توانند در ارزیابی این رودها مفید باشند. اگرچه در سالهای اخیر مطالعات دیاتومی در ایران (به عنوان مثال *Panahy* 2021) روبه افزایش است، اما تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه ارتباط دیاتومه‌ها با معادن زغال‌سنگ در ایران انجام نشده است. معدن زغال‌سنگ زمستان یورت و رضی در شرق استان گلستان در منطقه جنگلی واقع شده‌اند. با توجه به لزوم پایش آلاینده‌های معادن روی اکوسیستم‌های مجاور و با توجه به ورود مقادیر زیادی پسماند و زهابهای معادن مورد مطالعه روی رودخانه‌های مجاور، این مطالعه با هدف بررسی کیفیت آب رودخانه‌های خرمارود و قره‌چشمه که زهابهای این معادن را دریافت می‌کنند با تأکید بر دیاتومه‌های شاخص انجام گرفت. هدف از این مطالعه پاسخ به این سوالات بود که آیا پسابهای حاصل از معادن مورد مطالعه تغییری در کیفیت آب رودخانه‌های مجاور از نظر pH و دیگر پارامترهای مهم اثرگذار روی ترکیب دیاتومه‌ای مثل شوری ایجاد می‌کنند و آیا این تغییرات تأثیر خاص و محسوسی روی ترکیب دیاتومه‌ای می‌گذارد؟ و آیا گونه‌های دیاتومه‌ای شناسایی شده می‌توانند نشاندهنده تغییرات ناشی از استخراج معدن باشند؟

مواد و روش‌ها

در استان گلستان معادن متعددی وجود دارد. معدن زغال سنگ زمستان یورت آزادشهر در فاصله ۱۴ کیلومتری شهر آزادشهر و ۹۰ کیلومتری شرق گرگان (مرکز استان گلستان) قرار دارد (اونق، ۱۳۹۶). از دیگر معادن استان، معدن زغال سنگ رضی است که در ۳۰ کیلومتری شهرستان رامیان از توابع استان گلستان واقع است. این معدن جزو محدوده ذغال خیز اولنگ بوده و در اختیار شرکت زغال سنگ البرز شرقی قرار دارد (آزاد، ۱۳۹۲) (شکل ۱). پوشش گیاهی منطقه جنگلی و منطقه کوهستانی است (آزاد، ۱۳۹۲؛ اونق ۱۳۹۶).



شکل ۱- مناطق نمونه‌برداری از معدن ذغال سنگ زمستان یورت و معدن ذغال سنگ رضی (البرز شرقی) در استان گلستان

Fig. 1- Sampling areas of Zemestan Yurt and Razi (east Alborz) coal mines in Golestan Province.

در هر دو معدن نمونه‌برداری از دیاتومه‌ها در فصل زمستان از دو ایستگاه انجام گرفت: ایستگاه اول در خروجی آب معدن و ایستگاه دوم بعد از اتصال پساب معادن مورد نظر به رودخانه‌های خرمارود (در معدن زمستان یورت) و قره‌چشمه (در معدن رضی). طی زمان نمونه‌برداری هوا آفتابی و دمای هوا در محدوده ۱۷ درجه سانتیگراد بود. در هر ایستگاه مورد مطالعه، دیاتومه‌ها از سطوح بسترهای سنگی جمع‌آوری گردید. برای این منظور تعداد ۵ سنگ متوسط از بخشهای مختلف ایستگاه جمع‌آوری شد. بسترهای اپی‌لیتیک (سنگی) در ابتدا به لحاظ پاک شدن از گل و لای روی سنگ‌ها در آب همان رودخانه تکان داده شد و سپس به وسیله مسواک، نمونه‌های روی سطح سنگ تراشیده و سپس با آب مقطر به داخل ظروف نمونه‌برداری ریخته شدند (Bellinger and Sigee, 2010). نمونه‌های جلبکی جمع‌آوری شده در محل با فرمالین ۴ درصد فیکس و به آزمایشگاه دانشگاه گنبدکاووس منتقل شدند. از هر ایستگاه نمونه‌برداری، به همراه نمونه‌های جلبکی، نمونه‌های آب نیز در ظروف یک لیتری برداشته شده و در شرایط تاریک به همراه یخ جهت آزمایشات کیفی آب شامل نیترات و سیلیس (APHA, 1999) به آزمایشگاه دانشگاه گنبدکاووس منتقل شدند. مقدار

اکسیژن محلول (DO)، دما، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، شوری (Salinity)، اسیدیته (pH)، کل جامدات محلول (TDS) در محل نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه پرتابل HQ-40d اندازه‌گیری شدند.

در آزمایشگاه، نمونه‌های دیاتومه‌ای در زیر هود با اسید نیتریک غلیظ جوشانده شد تا ترکیبات آلی آنها از بین رفته و تزئینات سیلیسی پوسته مشخص شود. پس از شستشوی متوالی با آب مقطر جهت از بین بردن اسید اضافی، از هر نمونه ۳ اسلاید دائمی تهیه شده و زیر میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت، و بعد از تهیه عکسهای میکروسکوپی با استفاده از منابع فلورستیک دیاتومه‌ای و استفاده از صفات تشخیصی و کلیدهای شناسایی مورد شناسایی قرار گرفت (Krammer and Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b; Lange-Bertalot, 2001; Krammer, 2003; Kulikovsky *et al.*, 2016; Lange-Bertalot *et al.*, 2017). در هر اسلاید بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ والو شمارش شده، فراوانی نسبی گونه‌ها بدست آمد. ارتباط بین گونه‌های دارای فراوانی بیشتر با پارامترهای اندازه‌گیری شده آب با استفاده از آنالیز همبستگی پیرسون بدست آمد (SPSS 16). و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این بررسی بطور کلی ۲۷ تاکسون دیاتومه ای متعلق به ۱۶ جنس شناسایی گردید که در معدن زمستان یورت از مجموع دو ایستگاه ۲۲ گونه (ایستگاه اول ۲۰ گونه و ایستگاه دوم ۱۲ گونه) و در معدن البرز شرقی نیز از مجموع دو ایستگاه ۲۰ گونه (ایستگاه اول ۱۷ گونه و ایستگاه دوم ۱۳ گونه) شناسایی گردید و اکثر گونه‌ها در هر دو معدن حضور داشتند (جدول ۱). که این غنای گونه‌ای پایین (تعداد گونه‌ها در هر نمونه) در مقایسه با اکوسیستم‌های دیگر مطالعه شده در استان گلستان (به عنوان مثال بالاترین غنای گونه‌ای در رودخانه خرمارود در مطالعه Panahy Mirzahasanlou *et al.*, 2019 ۳۷ گونه)، با نتایج مطالعات دیگر روی معادن مطابقت دارد (Verb and Vis, 2000; Bak *et al.*, 2020). همچنین این تاکسون‌های شناسایی شده از سایر اکوسیستم‌های آبی استان گلستان (Ahmadi Musaabad *et al.*, 2019; Panahy Mirzahasanlou *et al.*, 2020, 2024; Aghatabay *et al.*, 2021) و ایران (Panahy Mirzahasanlou *et al.*, 2018; Kheiri *et al.*, 2018; Naseri *et al.*, 2020; Yadollahi and Atazadeh, 2023) نیز گزارش شده‌اند. بیشترین فراوانی‌ها در معدن زمستان یورت مربوط به گونه‌های *Achnanthidium minutissimum* (بیشترین میزان فراوانی نسبی ۷۹/۹۲٪) و *Gomphonema pumilum* (بیشترین میزان فراوانی نسبی ۱۶/۴۱٪) بود و در معدن البرز شرقی گونه‌های *Achnanthidium minutissimum* (بیشترین میزان فراوانی نسبی ۶۳/۳۷٪)، *Diatoma moniliformis* (بیشترین میزان فراوانی نسبی ۲۱/۱٪) و *Gomphonema pumilum* (بیشترین میزان فراوانی نسبی ۱۲/۲۳٪)

دارای بیشترین فراوانی بودند (جدول ۱ و شکل ۲). که گونه‌های فوق کمابیش در سایر رودخانه‌های مطالعه شده در استان گلستان از جمله سرشاخه‌های گرگانرود (Panahy Mirzahasanlou *et al.*, 2024) و رودخانه اترک (کوسه غراوی، ۱۴۰۱) نیز جزو گونه‌های دارای بیشترین فراوانی‌ها بیشتر بودند.

در این پژوهش، به منظور بررسی هیدروشیمیایی شیرابه‌های خروجی از معادن زغال سنگ زمستان یورت در شهرستان آزادشهر و زغالسنگ رضی و تغییرات آن بعد از تخلیه به آب‌های سطحی بلافاصله از خروجی معادن و بعد از اتصال به رودخانه، مقادیر برخی از پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شد (شکل ۳). همچنین همبستگی بین گونه‌های دارای بیشترین فراوانی‌ها با پارامترهای اندازه‌گیری شده آب نیز اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۱- دیاتومه‌های شناسایی شده به تفکیک مناطق نمونه‌برداری و فراوانی نسبی شمارش شده برای هر کدام از ایستگاهها (اعداد بصورت درصد می باشد). مقادیر ساپروبیته: ۱. اولیگوساپروب، ۲. β مزوساپروب، ۳. α مزوساپروب، ۴. α مزو- پلی ساپروب، ۵. پلی ساپروب. مقادیر وضعیت تروفی: ۳. مزوتروف، ۴. مزو-یوتروف، ۵. یوتروف، ۶. هایپریوتروف، ۷. اولیگو تا یوتروف.

Table 1. Identified diatoms by sampling regions with relative abundance for each stations.
Saprobity values: 1. Oligosaprobous, 2. β mesosaprobous, 3. α mesosaprobous, 4. α meso-polysaprobous, 5. Polysaprobous. Trophic status values: 3. Mesotraphentic, 4. Meso-eutraphentic, 5. Eutraphentic, 6. Hypereutraphentic, 7. Oligo- to eutraphentic.

تاکسون	وضعیت تروفی	سایروبیته	pH	معدن البرز شرقی		معدن زمستان یورت	
				خروجی معدن	بعد از خروجی معدن	خروجی معدن	بعد از خروجی معدن
<i>Achnanthis minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	7	1	3	۴۶/۷	۶۳/۳۷	۵۸/۷	۷۹/۹۲
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	5	2	4	۴/۴۸	-	۰/۹۹	-
<i>Amphora</i> sp.	-	-	-	۰/۵۲	-	۰/۴۹	-
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	5	2	4	-	-	۰/۴۹	۰/۳۸
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	5	2	4	۱/۸۴	-	۰/۴۹	-
<i>Cymbella compacta</i> Østrup	-	-	-	-	۰/۴۱	-	-

<i>Cymbella excisa</i> Kützing	5	2	4	۳/۶۹	۲/۰۵	۱/۴۹	۰/۳۸
<i>Diatoma moniliformis</i> (Kützing) D.M.Williams	5	3	4	۲۱/۱	۱۳/۹۹	۱/۹۹	۱/۱۵
<i>Diploneis</i> cf. <i>calcilacustris</i> Lange- Bertalot & Fuhrmann	-	-	-	-	-	۰/۹۹	۰/۳۸
<i>Encyonopsis minuta</i> Krammer & E.Reichardt	-	-	3	۰/۵۲	-	۳/۴۸	۳/۰۸
<i>Fragilaria recapitellata</i> Lange-Bertalot & Metzeltin	5	3	-	۰/۲۶	۰/۴۱	-	-
<i>Gomphonella olivacea</i> (Hornemann) Rabenhorst	5	2	5	۱/۰۵	۰/۸۲	-	۰/۷۷
<i>Gomphonema micropus</i> Kützing	5	2	4	-	۰/۴۱	-	-
<i>Gomphonema parvulum</i> Grunow	5	4	3	۲/۱	۰/۸۲	۴/۹۷	-
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot	7	-	-	۳/۶۹	۱۲/۳۴	۱۶/۴۱	۱۰/۴۲
<i>Gomphonema</i> sp.	-	-	-	-	۱/۲۳	-	۰/۷۷
<i>Navicula capitatoradiata</i> H.Germain	5	3	4	-	-	۰/۹۹	-
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	7	3	4	۳/۹۵	۰/۴۱	۱/۹۹	-
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	5	2	4	-	-	۰/۹۹	۰/۷۷
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	4	2	4	۵/۲۷	۳/۲۹	۱/۹۹	۰/۷۷
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	6	5	3	-	-	۱/۴۷	-
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch	7	2	4	-	-	۰/۴۹	-
<i>Nitzschia</i> sp.	-	-	-	۱/۵۸	-	۰/۴۹	-
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange- Bertalot) Lange-Bertalot	7	4	4	۰/۷۹	-	-	-
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	5	2	4	۱/۸۴	۰/۴۱	۱/۴۹	۰/۳۸
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	-	-	4	۰/۵۲	-	-	-
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compere	7	4	4	-	-	۰/۴۹	-



شکل ۲- گونه‌های دارای فراوانی بیشتر. ۱: *Gomphonema pumilum*. ۲: *Achnanthes minutissima*. ۳: *Diatoma moniliformis*. علامت = $10\ \mu\text{m}$.

Fig. 2- the most abundant taxa. 1: *Gomphonema pumilum*. 2: *Achnanthes minutissima*. 3: *Diatoma moniliformis*. Bar= $10\ \mu\text{m}$.

pH یکی از پارامترهای مهم در شیرابه‌های خروجی از معادن است. مقدار این پارامتر می‌تواند بر روی خاک، گیاهان و اکوسیستم‌های آبی تاثیر گذار باشد. همچنین pH یکی از پارامترهای تأثیرگذار روی پراکنش دیاتومه‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که pH در دو معدن در خروجی بیش از ۸ و قلیایی است. اگرچه مقدار آن برای معدن رضی اندکی بیش از معدن زمستان یورت است (شکل ۳-ا). همچنین با فاصله گرفتن از معدن مقدار pH کاهش می‌یابد. با توجه به قلیایی بودن آب می‌توان نتیجه گرفت که سنگ منشاء مربوط به آب‌های زیرزمینی که در حین حفاری وارد تونل‌های معادن و سپس به شکل شیرابه خارج می‌شوند متشکل از سنگ‌های آهکی مربوط به سازندهای لار و مزدوران است. از بین گونه‌های دیاتومه‌ای دارای بیشترین فراوانی‌ها که در هر دو معدن فراوان بودند نیز گونه *Gomphonema pumilum* جزو گونه‌های فراوان در تمام زیستگاه‌های آب شیرین غنی از کلسیم بی‌کربنات (ترکیبی که باعث قلیائیت آب می‌شود)، گزارش شده است (Lange-Bertalot et al., 2017). با توجه به طبقه‌بندی Van Dem نیز ۶۰/۷۱٪ گونه‌های دیاتومه‌ای شناسایی شده جزو گونه‌های آلکالیفیل بودند که عمدتاً در pH بیش از ۷ دیده می‌شوند، ۱۴/۲۸٪ جزو گونه‌های خنثی که در pH حدود ۷ دیده می‌شوند و ۳/۵۷٪ نیز جزو گونه‌هایی بود که منحصرأ در pH بیش از ۷ دیده می‌شوند که این نتایج با داده‌های آنالیز آب که محدوده pH را قلیایی و در محدوده ۸ اندازه‌گیری کرده بود کاملاً مطابقت دارد. در عین حال نتایج این مطالعه از این نظر که گونه‌های شاخص آب‌های اسیدی مشاهده نشد با نتایج مطالعات دیگر تفاوت نشان می‌دهد (Verb and Vis, 2017).

(2000; Bak et al., 2020). در بررسی همبستگی گونه‌ها نیز تنها گونه *Achnanthydium minutissimum* همبستگی معنی‌دار و منفی با pH نشان داد (جدول ۲). این گونه جزو گونه‌های خنثی محسوب می‌شود که عمدتاً در pH ۷ دیده می‌شوند (Van Dam et al., 1999). بنابراین کاهش آن با افزایش مقدار pH منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۲- نتایج آنالیز همبستگی پیرسون بین گونه‌های دارای فراوانی بیشتر با پارامترهای آب.

Table 2- Results of the Pearson correlation analysis between most abundant species with water parameters.

		NO3	DO	EC	TDS	T	pH	Sio2	sal	سختی
GOPU	Pearson Correlation	.573	-.010	.397	.580	.667	-.448	-.194	.329	.243
	Sig. (2-tailed)	.427	.990	.603	.420	.333	.552	.806	.671	.757
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ACMI	Pearson Correlation	.697	.088	.903	.652	.462	-.995**	-.465	.963*	.986*
	Sig. (2-tailed)	.303	.912	.097	.348	.538	.005	.535	.037	.014
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIMO	Pearson Correlation	-.969*	.411	-.888	-.963*	-.927	.802	.754	-.809	-.630
	Sig. (2-tailed)	.031	.589	.112	.037	.073	.198	.246	.191	.370
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

شوری نشان دهنده میزان کل نمک‌های داخل آب است و عامل مهمی در تعیین ویژگی‌های شیمیایی آب‌های طبیعی و فرایندهای زیستی آن است. مطالعات نشان داده است که میزان شوری جزو مهمترین عوامل تعیین کننده ترکیب جمعیت‌های دیاتومه‌ای است و طبقه‌بندیهای مختلفی از نظر دامنه تحمل شوری برای دیاتومه‌ها وجود دارد (Stenger-Kovács et al., 2023). باتوجه به شکل ۱-d میزان شوری در معدن زمستان یورت آزادشهر از معدن رضی رامیان بیشتر است. با فاصله گرفتن از معدن میزان شوری در هر دو معدن افزایش یافته است. اما این افزایش در معدن زمستان یورت بیشتر از معدن رضی است. باتوجه به وجود میان لایه‌های تشکیلات مارنی حاوی کانی‌های تبخیری این افزایش بدیهی به نظر می‌رسد. البته این افزایش شوری قابل توجه نبود و تمام ایستگاهها در محدوده آبهای شیرین بودند و این میزان تغییر شوری به اندازه‌ای نبود که روی جمعیت دیاتومه‌ای تأثیر قابل توجهی داشته باشد. اگرچه که برخی گونه‌های شناسایی شده در این مطالعه از جمله *Cocconeis* *Surirella brebissonii*, *Ulnaria ulna* *placentula*, *Nitzschia palea*, به دلیل دامنه تحمل اکولوژیکی بالا در آبهای شور نیز دیده می‌شوند (Bagheri and Fallahi,

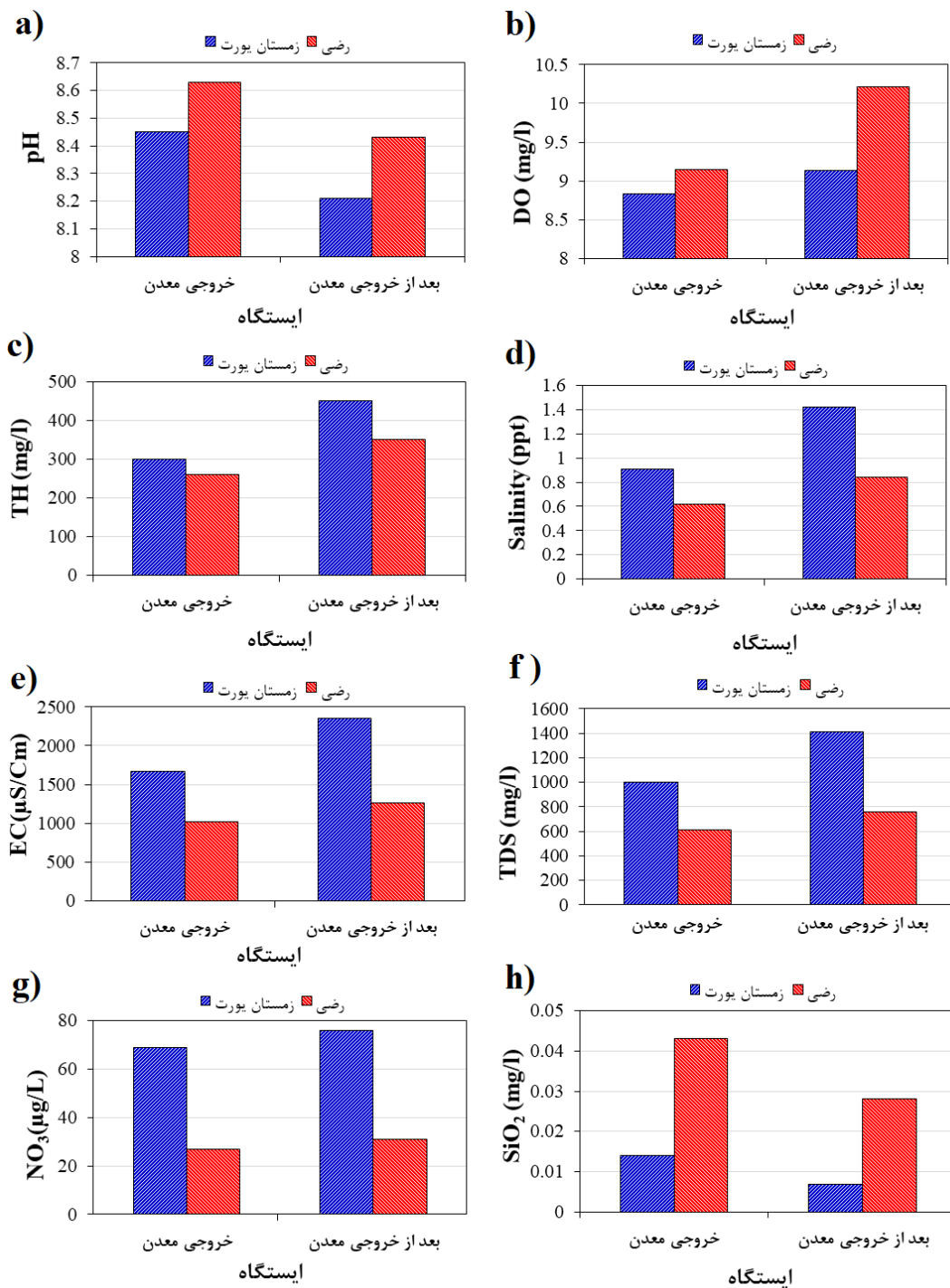
اما هیچ گونه شاخص آبهای شور و نیمه شور در این مطالعه مشاهده نشد. همچنین اگرچه که گونه *Achnanthes minutissimum* با شوری و سختی آب همبستگی معنی دار و مثبت نشان داد (جدول ۲)، اما این گونه، گونه‌ای فراوان در تمام اکوسیستم‌های آبی با دامنه اکولوژیکی وسیع گزارش شده است (Kelly et al, 2008; Falasco et al., 2012).

اکسیژن محلول (DO) یکی از پارامترهای اصلی آب است که نقش مهمی در کیفیت آب، حیات گیاهان و حیوانات دارد. مقدار آن در آب‌های زیرزمینی بین ۱/۷۵ تا ۱۹/۴۰ میلی گرم بر لیتر است (Zan et al., 2019). باتوجه به شکل ۳-b، میزان DO در هر دو معدن بین ۸/۵ تا ۹/۵ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. اگرچه مقدار آن در معدن رضی همانند pH بیشتر از معدن زمستان یورت می‌باشد. با دور شدن از معادن و تبدلات اتمسفری مقدار آن در ادامه افزایش می‌یابد. اگرچه مقدار آن در آبراهه خروجی از معدن رضی افزایش بیشتری داشته است (بیش از ۱۰ میلی گرم بر لیتر). سختی آب معیاری برای نشان دادن برخی از ترکیبات معدنی در آب است. مهمترین یون‌های تاثیرگذار بر روی سختی آب کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب است. نتایج این بررسی نشان داد که برخلاف دو پارامتر قبلی میزان سختی کل (TH) در معدن زمستان یورت بیشتر از معدن رضی است (شکل ۳-c). همچنین با دور شدن از معدن و تخلیه به آبراهه اصلی میزان سختی افزایش یافته است. براساس میزان سختی، آب‌های خروجی در هر دو معدن در رده خیلی سخت قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) مشابه یکدیگر و پارامتر شوری است (شکل ۳-e و f). بطوریکه مقدار هر دو پارامتر در معدن زمستان یورت بیشتر از رضی است. باتوجه به پارامترهای EC و TDS می‌توان نتیجه گرفت انحلال برخی تشکیلات با املاح بالا و در تماس با آبهای زیرزمینی و سطحی باعث افزایش میزان املاح جامد محلول و در پی آن افزایش میزان هدایت الکتریکی شده است. هدایت الکتریکی و ترکیب یونی نیز جزو مهمترین عوامل تأثیرگذار در پراکنش دیاتومه‌ها گزارش شده‌اند (Potapova and Charles, 2003; Stenger-Kovács et al., 2023). مقادیر هدایت الکتریکی مشاهده شده در این مطالعه بیش از $1000 \mu\text{S/cm}$ بود که با اکولوژی گونه‌های شناسایی شده مطابقت دارد (Krammer and Lange-Bertalot et al., 2017; Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b). و تغییرات مشاهده شده در محدوده‌ای نبود که تغییر قابل توجهی در ترکیب دیاتومه‌ای ایجاد کند. در بین گونه‌های دارای فراوانی بیشتر نیز *Diatoma moniliformis* همبستگی منفی و معنی‌دار با TDS نشان داد.

شکل ۳-g مقدار نیترات اندازه گیری شده را نشان می‌دهد. این پارامتر نیز مشابه اکثر پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در معدن زمستان یورت بیشتر از معدن رضی است. مقدار نیترات در منابع آبی اندازه‌گیری شده بسیار پایین‌تر از آب‌های زیرزمینی دشت

گرگان بود. از آنجائیکه نیترات یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های انسانی است، پایین بودن غلظت آن در شیرابه‌های هر دو معدن بدیهی به نظر می‌رسد. در مقابل مقدار سیلیس در معدن زمستان یورت تقریباً نصف معدن رضی است (شکل ۳-۳). همچنین برخلاف بقیه پارامترها، سیلیس تنها پارامتری است که با فاصله گرفتن از معدن مقدار آن کاهش می‌یابد. نیترات از طریق تأثیری که روی وضعیت تروفیک یک اکوسیستم می‌گذارد حائز اهمیت است (Nollet and Gelder, 2013).

شاخص‌های ساپروبیوتی و وضعیت تروفیک (تغذیه‌گرایی) از پارامترهای ارزیابی اکولوژی تاکسون‌های دیاتومه‌ای در نظر گرفته می‌شوند (Van Dam et al., 1994). شاخص ساپروبیوتی میزان تحمل تاکسون‌ها نسبت به آلودگی‌های آلی را نشان می‌دهد. از نظر ساپروبیوتی قسمت عمده گونه‌های شناسایی شده در هر دو معدن جزو گونه‌های β مزوساپروب و α مزوساپروب بودند که گونه‌های مقاوم به آلودگی هستند که به ترتیب به کلاسهای کیفی II و III آب تعلق دارند. از بین گونه‌های دارای بیشترین فراوانی، *Nitzschia dissipata* جزو گونه‌های β مزوساپروب (شاخص آبهای نسبتاً آلوده) و *Diatoma moniliformis* α مزوساپروب (شاخص آبهای آلوده) می‌باشند که قادر به تحمل آلودگی‌های آلی می‌باشند، درحالیکه *Gomphonema pumilum* جزو گونه‌های نسبتاً حساس به آلودگی‌های آلی در نظر گرفته می‌شود، اما شاخص سطوح تروفیک متوسط تا بالا هست (Lange-Bertalot et al., 2017). وضعیت تروفیک یک اکوسیستم آبی بطور غیرمستقیم دلالت بر مواد مغذی آن دارد بویژه افزایش مصنوعی یا طبیعی مقادیر نیترات و فسفات از طریق تجزیه مواد آلی یا ورود آلاینده‌هایی نظیر کودها (Nollet and Gelder, 2013). که از نظر وضعیت تروفی قسمت عمده گونه‌های موجود شاخص آبهای یوتروف بودند و بعد از آن گونه‌هایی که قادر به زیست در تمام وضعیت‌های تروفی هستند.



شکل ۳- تغییرات برخی از پارامترهای کیفی در خروجی معادن و بعد از خروجی معادن زمستان یورت و رضی

Fig. 3- Changes in some quality parameters in Zemestan Yurt and Razi mines output and after output.

نتیجه گیری

از جمله اثرات معدنکاری که می تواند تأثیر قابل توجهی در ترکیب جمعیت های دیاتومه ای داشته باشد، تغییر محسوس در pH و شوری آب است که براساس یافته های این تحقیق، هم از نظر داده های آب و هم داده های زیستی در هردو معدن مطالعه شده از نظر پارامترهای ذکر شده تغییر محسوسی مشاهده نشد و تاکسون های شناسایی شده در این مطالعه از سایر اکوسیستم های استان گلستان نیز گزارش شده اند. با این حال تاکسون های شناسایی شده در این مطالعه جزو گونه های مقاوم به آلودگی یا دارای دامنه اکولوژیکی وسیع هستند و همچنین ایستگاه های بررسی شده در این مطالعه از غنای گونه ای کمی برخوردار بود که یکی از مشخصه های اکوسیستم های تحت تأثیر معادن می باشد. بنابراین پیشنهاد می شود مطالعات و آزمایشات بیشتری در زمینه آلودگی آب رودخانه ها بویژه در ارتباط با فلزات سنگین احتمالی که از طریق رواناب های معادن ممکن است وارد این رودخانه ها شده باشند، انجام شود. براساس داده های pH می توان نتیجه گرفت که معادن مورد مطالعه عاری از کانی های سولفیدی نظیر پیریت (FeS_2) هستند که عامل اصلی شیرابه های اسیدی معادن زغال سنگ می باشند که با داده های دیاتومه ای نیز تأیید می شود، با این حال با توجه به جمعیت های دیاتومه ای مورد بررسی می توان نتیجه گیری کرد که اگرچه معادن مورد بررسی فاقد ترکیبات اسیدی بودند اما آلاینده های مختلفی وارد آب می کنند، که برای حفظ سلامت اکوسیستم اطراف این معادن باید تمهیداتی اندیشیده شود. طی دوره مورد مطالعه پسماندهای معادن در اکوسیستم های جنگلی و رودخانه های مجاور کاملاً قابل مشاهده بود که لازم است با اقداماتی از قبیل زهکشی زهاب های معادن و همچنین ساخت حوضچه هایی جهت ته نشینی پساب های معدنی و رعایت فاصله مناسب محل دپوی باطله ها با رودخانه های منطقه، اثرات زیست محیطی زینبار را کاهش داد.

سپاسگزاری

نگارندگان یاد و خاطره کارگران زحمتکش معدن زمستان یورت و سایر معادن کشور را گرامی می دارند.

منابع

آزاد، ع، ۱۳۹۲. ارزیابی ریسک حوادث شغلی معادن زغال سنگ- شرکت البرز شرقی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

اونق، م، ۱۳۹۶. طراحی الگوی چالزنی و انفجار مناسب تونل های پیشروی در معادن زیرزمینی زغال با در نظر گرفتن خردایش و کاهش بیش شکست. مطالعه موردی (معدن زغال زمستان یورت- گلستان، ایران). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

کوسه غراوی، م.، ۱۴۰۱. مطالعه دیاتومه‌های بنتیک رودخانه اترک و ارتباط آنها با کیفیت آب. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه گنبدکاووس.

هاشمی، ن.، نبی‌بیدهندی، غ.، یاوری، الف.، ۱۳۹۸. مدیریت زیست‌محیطی پسماند معادن زغالسنگ با رویکرد ارزیابی چرخه حیات؛ مطالعه موردی: معادن زغالسنگ پروده طبس. نشریه علمی تخصصی شباک، ۵(۵۱): ۱-۱۲.

یزدی، م.، ۱۳۸۶. اثرات زیست محیطی معدن زغال سنگ مزینو طبس. علوم محیطی، ۵(۱): ۱-۱۰.

Aghatabay, A., Panahy Mirzahasanlou, J., Rostami Charati, F., and Akbari, R., 2021. Biodiversity of Diatoms in Khormarud River, Golestan Province. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*. 73(4), 625-636. (In Persian with English abstract).

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

Amy, S.W., Dani, U., Numan, H., Muslim, D., Nasruddin, D., Nuryahya, H., Nurhasan, R., and Agustin, D.S., 2023. The Forming of Acid Mine Drainage Based on Characteristics of Coal Mining, East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*. 24(7): 301-310. <https://doi.org/10.12911/22998993/162551>.

APHA. 1999. Standard methods for examination of water and wastewater. Waldorf, Maryland: American public health association, American water works Association, Water environment federation.

Bagheri, S. and Fallahi, M., 2014. Checklist of Phytoplankton Taxa in the Iranian Waters of the Caspian Sea. *Caspian Journal of Environmental Science*. 12(1), 81-97.

Bak, M., Halabowski, D., Kryk, A., Lewin, I. and Sowa, A., 2020. Mining salinisation of rivers: its impact on diatom (Bacillariophyta) assemblages. *Fottea, Olomouc*. 20(1). 1–16. <https://doi.org/10.5507/fot.2019.010>.

Bellinger, E.G. and Sigeo, D.C., 2010. *Freshwater Algae, Identification and Use as Bioindicators*. Wiley-Blackwell. 271p.

Bisthoven, L.J., Gerhardt, A., Cuhr, K., Soares, A. M.V.M., 2006. Behavioral changes and acute toxicity to the freshwater shrimp *Atyaephyra desmaresti* Miller (Decapoda: Natantia) from exposure to acid mine drainage. *Ecotoxicology*. 15, 215- 227.

Celekli, A., Lekesiz, O., Yavuzatmaca, M., 2021. Bioassessment of water quality of surface waters using diatom metrics. *Turkish Journal of Botany*. 45: 379-396.

Charles, D.F., Kelly, M.G., Stevenson, R.J., Poikane, S., Theroux, S., Zgrundo, A. and Cantonati, M., 2021. Benthic algae assessments in the EU and the US: Striving for consistency in the face of great ecological diversity. *Ecological Indicators*. 121: 107082. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107082>.

Desrosiers, C., Leflaive, J., Eulin, A. and Ten-Hage, L., 2013. Bioindicators in marine waters: Benthic diatoms as a tool to assess water quality from eutrophic to oligotrophic coastal ecosystems. *Ecological Indicators*. 32, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.021>

Falasco, E., Ector, L., Ciaccio, E., Hoffmann, L., and Bona, F. 2012. Alpine freshwater ecosystems in a protected area: a source of diatom diversity. *Hydrobiologia*. 695, 233-251. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1114-0>.

Kelly, M.G., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, B.J., Rippey, B., Hirst, H., and Yallop, M.L., 2008. Assessment of ecological status in UK Rivers using diatoms. *Freshwater Biology*. 53, 403-422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01903.x>

Kheiri, S., Solak, C. N., Edlund, M. B., Spaulding, S., Nejdassattari, 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. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2018.1557747>.

Krammer, K., 2003. Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella. *Diatoms of Europe* 4: 1-530.

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

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*. Vol.2. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

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

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

Kulikovskiy, M.S., Glushchenko, A.M., Genkal, S.I. and Kuznetsova, I.V., 2016. Identification book of diatoms from Russia. Koeltz Botanical Books.

Lange-Bertalot, H., 2001. Navicula sensu lato. *Diatoms of Europe. Diatoms of European Inland Waters and Comparable Habitats*. 2: 1-526. <https://doi.org/10.3390/w11122602>.

Lange-Bertalot, H., Hofmann, G., Werum, M., Cantonati, M., 2017. Freshwater benthic diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessment. Koeltz Botanical Books.

Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Wetzel, C. E., and Ector, L., 2016. Diatoms as bioindicators in rivers. (In Necchi, O. ed. *River Algae*). São José do Rio Preto, SP, Brazil: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1>

Mishra, V.K., Upadhyaya, A.R., Pandey, S.K., Tripathi, B.D., 2007. Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*. 98(12), 930-936.

Naseri, A., Noroozi, M., Asri, Y., Iranbakhsh, A., Saadatmand, S., and Atazadeh, E., 2022. Diatom taxonomy and environmental drivers of biodiversity in the Taleghan River and reservoir in Central Alborz, Iran. *Diatom Research*, 37(3), 199-226. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2022.2123049>.

Nollet, L.M.L. and Gelder, L.S.P., 2013. *Handbook of Water Analysis*. 995 p. CRC Press.

Ojonimi, T., Okeme, I.C., Chanda, T.P., Amen, E.G., 2021. Acid mine drainage (AMD) contamination in coal mines and the need for extensive prediction and remediation: a review. *Journal of Degraded and Mining Land Management*. 9(1), 3129-3136. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2021.091.3129>.

Panahy Mirzahasnlou, J., Aghatabay, A., Rostami Charati, F., and Akbari, R., 2019. Effects of substrate type and locality on species diversity of diatoms in Khormarud River of Azadshahr. 2 th National Iranian Conference on Phycology. Tehran, Iran.

Panahy Mirzahasnlou, J., Heshmatpour, A., Nikjoui, M., Bahalkeh, A., Hoseyni, S.A., 2024. Epilithic diatoms distribution in four tributaries of Gorganrud River (NE Iran). *Fundamental and Applied Limnology*. 197/2, 103-115.

Panahy Mirzahasnlou, J., Qarebesloun, T., Farasati, M., Bahalkeh, A., 2020a. Epilithic diatom diversity in Golestan waterfall. *Journal of Phycological Research*. 4(2), 582-595. <https://doi.org/10.52547/JPR.2021.220408.1003>.

Panahy Mirzahasnlou, J., Nejdassattari, T., Ramezanpour, Z., Imanpour Namin, J. and Asri, Y., 2018. The epilithic and epipellic diatom flora of the Balikhli River, Northwest Iran. *Turkish Journal of Botany*. 42, 518-532. <https://doi.org/0.3906/bot-1711-46>.

Potapova, M. and Charles, D.F., 2003. Distribution of benthic diatoms in U.S. Rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater Biology*. 48: 1311–1328. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01080.x>

Smucker, N.J. and Vis, M.L., 2009. Use of diatoms to assess agricultural and coal mining impacts on streams and a multi-assemblage case study. *Journal of the North American Benthological Society*. 28(3):659-675. <http://dx.doi.org/10.1899/08-088.1>.

Spaulding, S., Potapova, M.G., Bishop, I.W., Lee, S.S., Gasperak, T.S., Jovanoska, E., Furey, P.C. and Edlund, M., 2021. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research* 36(4): 291-304. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790>.

Stenger-Kovács, C., Béres, V.B., Buczkó, K., Tapolczai, K., Padisák, J., Selmeczy, G.B. and Lengyel, E., 2023. Diatom community response to inland water salinization: a review. *Hydrobiologia*. 850(20): 4627-4663. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05167-w>.

Taurozzi, D., Cesarini, G. and Scalici, M., 2024. Diatoms as bioindicators for health assessments of ephemeral freshwater ecosystems: A comprehensive review. *Ecological Indicators*. 166: 112309. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112309>.

Tiwary, R.K., 2000. Environmental impact of coal mining on water regime and its management. *Water, Air and Soil Pollution*. 132: 185-199.

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 non-impacted sites. *Journal of North American Benthological Society*. 19(2), 274–288.

Wright, I.A., Belmer, N. and Davies, P.J., 2017. Coal Mine Water Pollution and Ecological Impairment of One of Australia's Most 'Protected' High Conservation-Value Rivers. *Water Air and Soil Pollution*. 228(90): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3278-8>.

Yadollahi, Z. and Atazadeh, E., 2023. Biodiversity of Diatoms and Their Relationship with Environmental Factors in the Ahar-Chai River, Northwest Iran. *Taxonomy and Biosystematics*. 15(3), 41-64. <https://doi.org/10.22108/TBJ.2024.137841.1233>. (In Persian with English abstract).

Zan, J., Dong, Y., Zhang, W., Xu, W., Li, J., Gao, B., Hu, F. and Wang, Q., 2019. Distribution characteristics of dissolved oxygen and stable isotope compositions of shallow groundwater in the vicinity of an inland nuclear power plant, HK, China. *E3S Web of Conferences*. 98, 09035.

Zarei Darki, B., Bigham, S., Patimar, R., 2021. Diatom community structure along physico -chemical gradients in Southern Caspian Sea (Noor shore). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 20(4), 945 – 960. DOI: 10.22092/ijfs.2021.124392.