Advanced Environmental Sciences ***(Adv. Environ. Sci.)*** **2026, 24(1):119-132** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

A Study of the Effects of East Golestan Coal Mines on Water Quality with a Glance on Diatom Assemblages

Received: 2024.12.22
Accepted: 2025.02.11

Seyyed Mohammad Karimian,[1] Jamileh Panahy Mirzahasanlou,[1]* Mojtaba G. Mahmoodlu,[2] Arsalan Bahalkeh[3]

[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 Resource, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

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

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 laberatory 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 *Achnanthidium 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 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.

How to cite this article:
Karimian, S.M., Panahy Mirzahasanlou, J., G. Mahmoodlu, M. and Bahalkeh, A. 2026. A Study of the Effects of East Golestan Coal Mines on Water Quality with a Glance on Diatom Assemblages. Adv. Environ. Sci. 24 (1): 119-132.

* **Corresponding Author Email Address:** panahi@gonbad.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.237934.1471

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی نوین، ۱۳۲-۱۱۹ : (۱) ۲۴، ۱۴۰۵ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

سید محمد کریمیان[۱]، جمیله پناهی میرزاحسنلو[۱]*، مجتبی قره محمودلو[۲]، ارسلان بهلکه [۳]

[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

[۲] گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

[۳] گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: یکی از مشکلات اصلی معدن‌کاری پساب‌های حاصل از آن است که تأثیرات زیان‌باری روی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی برجا می‌گذارد. استان گلستان دارای معادن متعددی است. 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 به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی وضعیت کیفی آب استفاده شده‌اند. این میکروارگانیسم‌ها همچنین می‌توانند شاخص‌های بسیار خوبی در محیط‌های آبی بسیار آلوده و متأثر از آلودگی‌های معادن باشند. تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه ارتباط دیاتومه‌ها با معادن زغال‌سنگ در ایران انجام نشده است. در این بررسی، تأثیر زهاب‌های معادن زغال‌سنگ 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 معادن موردنظر به رودخانه‌های خرمارود (در معدن زمستان یورت) و قره‌چشمه (در معدن رضی). نمونه‌برداری‌ها طی فصل زمستان ۱۴۰۲ از روی بسترهای سنگی در ایستگاه‌های موردنظر انجام گرفت. همراه با نمونه‌های جلبکی، نمونه‌های آب نیز برداشت و در شرایط تاریک به 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. درعین‌حال مقادیر پارامترهای آب در محل و همچنین در آزمایشگاه ارزیابی شد.

نتایج و بحث: در این بررسی به‌طورکلی ۲۷ تاکسون دیاتومه‌ای متعلق به ۱۶ جنس شناسایی گردید که گونه‌های شناسایی‌شده از سایر اکوسیستم‌های آبی استان گلستان نیز گزارش شده‌اند. بیشترین فراوانی‌ها متعلق به گونه‌های *Achnanthidium minutissimum*، *Diatoma moniliformis* و *Gomphonema pumilum* بود که این گونه‌ها در مطالعات انجام‌شده 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 شناسایی‌شده نیز مطابقت دارد؛ به این صورت که ۶۰/۷۱٪ آن‌ها جزو گونه‌های آلکالیفیل 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 به‌اندازه‌ای نبود که روی جمعیت دیاتومه‌ای تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. از نظر میزان تحمل تاکسون‌ها نسبت به آلودگی‌های آلی، قسمت عمده گونه‌های شناسایی‌شده در هردو معدن جزو گونه‌های مقاوم به آلودگی بودند و از نظر وضعیت تروفی نیز قسمت عمده گونه‌های موجود، شاخص آب‌های یوتروف بودند و بعد از آن گونه‌هایی که قادر به زیست در تمام وضعیت‌های تروفی هستند.

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

واژه‌های کلیدی: اپی لیت، ایران، شاخص ساپروبیتی، وضعیت تروفی.

استناد به این مقاله: *کریمیان، س. م.، پناهی میرزاحسنلو ، ج.، قره محمودلو، م.، الف، بهلکه. ۱۴۰۵. بررسی تأثیر معادن زغال‌سنگ شرق گلستان روی کیفیت آب با نگاهی بر جمعیت‌های دیاتومه‌ای. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۴ (۱): ۱۱۹-۱۳۲.*

* **Corresponding Author Email Address:** panahi@gonbad.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.237934.1471

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

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 درعین‌حال 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). زمانی که پیریت (FeS_2) در مجاورت اکسیژن هوا و آب قرار گیرد، به‌ویژه در حضور جوامع باکتریایی منجر به تشکیل اسیدسولفوریک 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 ارگانیسم‌های موجود در منطقه می‌باشند و جزء مشکلات زیست‌محیطی معدنکاری زغال محسوب می‌شوند (Bisthoven *et al*., 2006). زهاب اسیدی تولیدشده 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، خورندگی 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) است. از دیگر آلودگی‌های آبی ناشی از معادن زغال‌سنگ 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 قابل‌اعتمادتری از تغییرات زیستی درازمدت یک اکوسیستم آبی به دست می‌دهند (Celekli *et al*., 2021)؛ بنابراین امروزه به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند (Charles *et al*., 2021). در بین شاخص‌های زیستی مختلف، دیاتومه‌ها مزایای مختلفی داشته و به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند (Lobo *et al*., 2016).

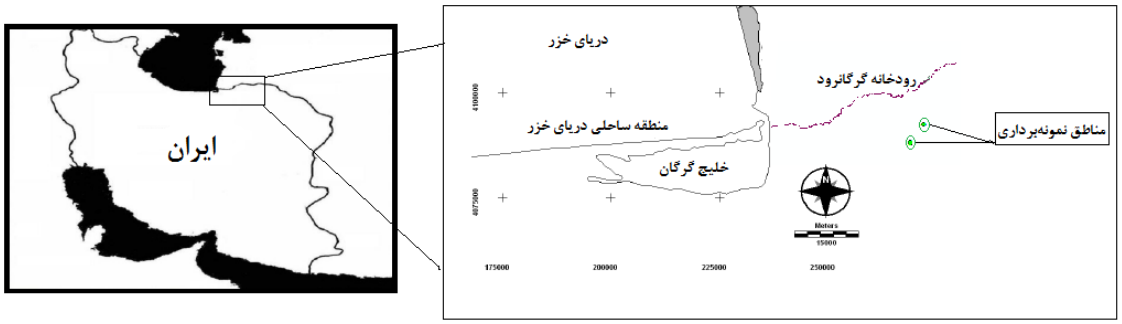
دیاتومه‌ها از شاخص‌ترین گروه‌های تشکیل‌دهنده جوامع جلبکی در اکوسیستم‌های آبی و از تولیدکنندگان اصلی این اکوسیستم‌ها به شمار می‌آیند. دیواره‌ای از جنس سیلیس دارند که از دو نیمه به نام والو تشکیل می‌شود. علائم و تزئینات متنوعی روی سطح دیواره دیاتومه‌ها دیده می‌شود که پایه‌ای برای رده‌بندی و شناسایی این موجودات می‌باشد. 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، به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی شرایط کیفی آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این موجودات به‌ویژه 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 تروفی تعیین شده است (Lobo *et al.,* 2016)، از جمله pH تأثیر مهمی روی ترکیب جمعیت‌های دیاتومه‌ای دارد (Smucker and Vis, 2009; Verb and Vis, 2000). Van Dam *et al* (۱۹۹۴) دیاتومه‌ها را بر اساس دامنه تحمل pH به ۶ گروه تقسیم کردند: ۱- اسیدوبیونتیک (رشد اپتیمم در pH کمتر از ۵/۵ دارند)، ۲- اسیدوفیل (عمدتاً در pH کمتر از ۷ دیده می‌شوند)، ۳- خنثی (عمدتاً در pH حدود ۷ دیده می‌شوند)، ۴- آلکالیفیل (عمدتاً در pH بیش از ۷ دیده می‌شوند)، ۵- آلکالیبیونتیک (منحصراً 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 هرگونه 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 (Bak et al., 2020; Smucker and Vis, 2009). Bak . (۲۰۲۰) *et al* با مطالعه رودخانه‌های متأثر از معادن زغال‌سنگ در جنوب لهستان به این نتیجه رسیدند که جمعیت‌های دیاتومی مطالعه شده منعکس‌کننده شوری ایجادشده در نتیجه فعالیت‌های معدن کاری بوده و غنای گونه‌ای نسبتاً کمتری در این رودخانه‌ها مشاهده شد. Verb (۲۰۰۰) Vis and 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 (به‌عنوان‌مثال Yadollahi and Atazadeh, 2023 ; Naseri *et al*., 2020; Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2018; Kheiri *et al*., 2018) و همچنین استان گلستان (Aghatabay *et al*., 2021; Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2020, 2024; Ahmadi Musaabad *et al*., 2019) 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 شناسایی‌شده می‌توانند نشان‌دهندهٔ تغییرات ناشی از استخراج معدن باشند؟

مواد و روش‌ها

در استان گلستان معادن متعددی وجود دارد. معدن زغال‌سنگ 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 زغال‌سنگ رضی است که در ۳۰ کیلومتری شهرستان رامیان از توابع استان گلستان واقع است. این معدن جزو محدوده زغال‌خیز اولنگ بوده و در اختیار شرکت زغال‌سنگ 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 زغال‌سنگ زمستان یورت و معدن زغال‌سنگ 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 گل‌ولای 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 جمع‌آوری‌شده 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, 2003; Lange-Bertalot, 2001; Krammer and Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b; Lange-Bertalot *et al.*, 2017; Kulikovsky *et al.*, 2016). در هر اسلاید بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ والو شمارش شده، فراوانی نسبی گونه‌ها به دست آمد. ارتباط بین گونه‌های دارای فراوانی بیشتر با پارامترهای اندازه‌گیری شده آب با استفاده از آنالیز همبستگی پیرسون به دست آمد (SPSS 16) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این بررسی به‌طورکلی ۲۷ تاکسون دیاتومه‌ای 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 (به‌عنوان‌مثال، بالاترین غنای گونه‌ای در رودخانه خرمارود در مطالعه Panahy Mirzahasanlou et al., 2019 ۳۷ گونه) با نتایج مطالعات دیگر روی معادن مطابقت دارد (Bak *et al*., 2020; Verb and Vis, 2000). همچنین این تاکسون‌های شناسایی‌شده از سایر اکوسیستم‌های آبی استان گلستان(Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2020, 2024; Aghatabay *et al*., 2020; Ahmadi Musaabad *et al*., 2019) و ایران (Panahy Mirzahasanlou *et al*., 2018; Kheiri *et al*., 2018 Yadollahi and Atazadeh, 2023; Naseri *et al*., 2020 ; 20) 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.

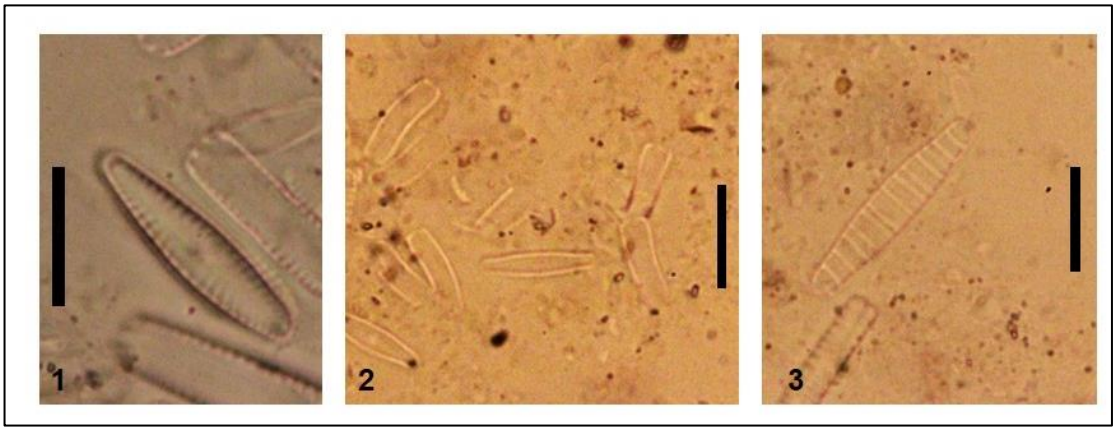
در این پژوهش، به منظور بررسی هیدروشیمیایی شیرابه‌های خروجی از معادن زغال‌سنگ زمستان یورت در شهرستان آزادشهر و زغال‌سنگ رضی و تغییرات آن بعد از تخلیه به آب‌های سطحی بلافاصله از خروجی معادن و بعد از اتصال به رودخانه، مقادیر برخی از پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شد (شکل ۳). همچنین همبستگی بین گونه‌های دارای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

pH یکی از پارامترهای مهم در شیرابه‌های خروجی از معادن است. مقدار این پارامتر می‌تواند بر روی خاک، گیاهان و اکوسیستم‌های آبی تأثیرگذار 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-a). همچنین با فاصله گرفتن از معادن مقدار pH کاهش می‌یابد. با توجه به قلیایی بودن آب می‌توان نتیجه گرفت که سنگ منشأ 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 هردو 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 Demنیز ۶۰/۷۱٪ گونه‌های دیاتومه‌ای شناسایی‌شده 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 منحصراً 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. درعین‌حال، نتایج این مطالعه از این نظر که گونه‌های شاخص آب‌های اسیدی مشاهده نشد، با نتایج مطالعات دیگر تفاوت نشان می‌دهد (Verb and Vis, 2000; Bak *et al*., 2020). در بررسی همبستگی گونه‌ها نیز تنها گونه *Achnanthidium 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 ۱- دیاتومه‌های شناسایی‌شده به تفکیک مناطق نمونه‌برداری و فراوانی نسبی شمارش شده برای هرکدام از ایستگاه‌ها (اعداد به‌صورت درصد می‌باشد). مقادیر ساپروبیتی: 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	ساپروبیتی	pH	معدن البرز شرقی		معدن زمستان یورت	
				خروجی معدن	بعد از خروجی معدن	خروجی معدن	بعد از خروجی معدن
Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki	7	1	3	۴۶/۷	۶۳/۳۷	۵۸/۷	۷۹/۹۲
AmpHora pediculus (Kützing) Grunow	5	2	4	۴/۴۸	-	۰/۹۹	-
AmpHora sp.	-	-	-	۰/۵۲	-	۰/۴۹	-
Cocconeis pediculus Ehrenberg	5	2	4	-	-	۰/۴۹	۰/۳۸
Cocconeis placentula Ehrenberg	5	2	4	۱/۸۴	-	۰/۴۹	-
Cymbella compacta Østrup	-	-	-	-	۰/۴۱	-	-
Cymbella excisa Kützing	5	2	4	۳/۶۹	۲/۰۵	۱/۴۹	۰/۳۸
Diatoma moniliformis (Kützing) D.M.Williams	5	3	4	۲۱/۱	۱۳/۹۹	۱/۹۹	۱/۱۵
Diploneis cf. *calcilacustris* Lange-Bertalot & Fuhrmann	-	-	-	-	-	۰/۹۹	۰/۳۸
Encyonopsis minuta Krammer & E.Reichardt	-	-	3	۰/۵۲	-	۳/۴۸	۳/۰۸
Fragilaria recapitellata Lange-Bertalot & Metzeltin	5	3	-	۰/۲۶	۰/۴۱	-	-
Gomphonella olivacea (Hornemann) Rabenhorst	5	2	5	۱/۰۵	۰/۸۲	-	۰/۷۷
Gomphonema micropus Kützing	5	2	4	-	۰/۴۱	-	-
Gomphonema parvulum Grunow	5	4	3	۲/۱	۰/۸۲	۴/۹۷	-
Gomphonema pumilum (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot	7		-	۳/۶۹	۱۲/۳۴	۱۶/۴۱	۱۰/۴۲
Gomphonema sp.	-		-	-	۱/۲۳	-	۰/۷۷
Navicula capitatoradiata H.Germain	5	3	4	-	-	۰/۹۹	-
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot	7	3	4	۳/۹۵	۰/۴۱	۱/۹۹	-
Navicula tripunctata (O.F.Müller) Bory	5	2	4	-	-	۰/۹۹	۰/۷۷
Nitzschia dissipata (Kützing) Rabenhorst	4	2	4	۵/۲۷	۳/۲۹	۱/۹۹	۰/۷۷
Nitzschia palea (Kutzing) W.Smith	6	5	3	-	-	۱/۴۷	-
Nitzschia recta Hantzsch	7	2	4	-	-	۰/۴۹	-
Nitzschia sp.	-	-	-	۱/۵۸	-	۰/۴۹	
Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	7	4	4	۰/۷۹	-	-	-
RhoicospHenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot	5	2	4	۱/۸۴	۰/۴۱	۱/۴۹	۰/۳۸
Surirella brebissonii Krammer & Lange-Bertalot			4	۰/۵۲	-	-	-
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compere	7	4	4	-	-	۰/۴۹	



شکل ۲- گونه‌های دارای فراوانی بیشتر: ۱- *Gomphonema pumilum*، ۲- *Achnanthidium minutissimum*، ۳- *Diatoma moniliformis*.

علامت= ۱۰ µm

Fig. 2- the most abundant taxa: 1- *Gomphonema pumilum*. 2- *Achnanthidium minutissimum*. 3- *Diatoma moniliformis*. Bar= 10 µm

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 نشان‌دهنده 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 تعیین‌کننده ترکیب جمعیت‌های دیاتومه‌ای است و طبقه‌بندی‌های مختلفی از نظر دامنه تحمل شوری برای دیاتومه‌ها وجود دارد (Stenger-Kovács *et al.*, 2023). با توجه 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. با توجه 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 محدودهٔ آب‌های شیرین بودند و این میزان تغییر شوری به‌اندازه‌ای نبود که روی جمعیت دیاتومه‌ای تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. اگرچه که برخی گونه‌های شناسایی‌شده در این مطالعه از جمله *Surirella brebissonii*, *Ulnaria ulna*, *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea* به دلیل دامنه تحمل اکولوژیکی بالا در آب‌های شور نیز دیده می‌شوند (Zarei Darki *et al*., 2021; Bagheri and Fallahi, 2014) اما هیچ‌گونه شاخص آب‌های شور و نیمه شور در این مطالعه مشاهده نشد. همچنین اگرچه که گونه *Achnanthidium*

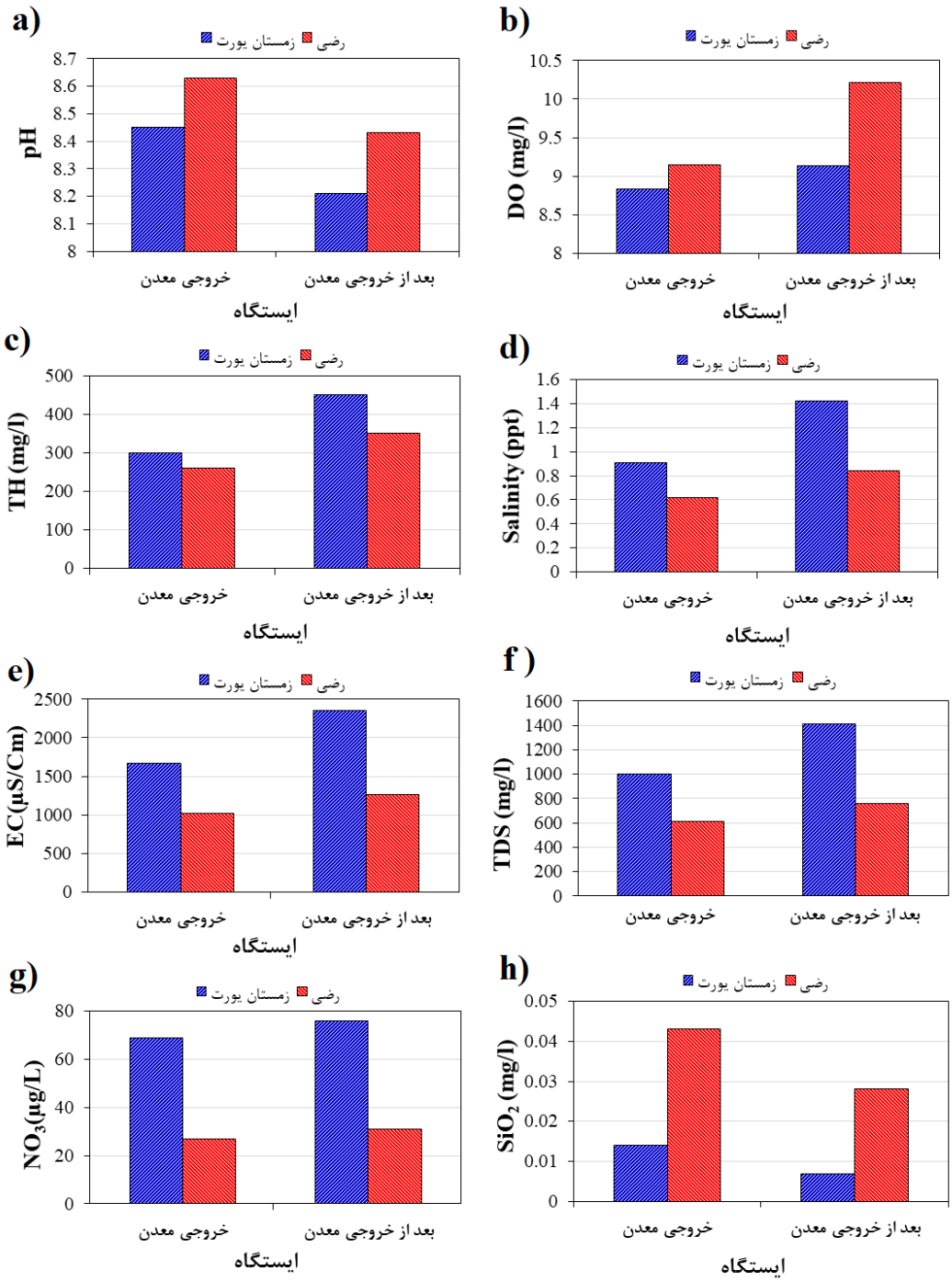
minutissimum با شوری و سختی آب همبستگی معنی‌دار و مثبت نشان داد (جدول ۲)، اما این گونه، گونه‌ای فراوان در تمام اکوسیستم‌های آبی با دامنه اکولوژیکی وسیع گزارش شده است (Falasco *et al,*. 2012; Kelly *et al.,* 2008).

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 میلی‌گرم بر لیتر است (Zan et al., 2019). با توجه به شکل ۳-b، میزان DO در هر دو معدن بین ۸/۵ تا ۹/۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. اگرچه مقدار آن در معدن رضی همانند pH بیشتر از معدن زمستان یورت می‌باشد. با دور شدن از معادن و تبادلات اتمسفری مقدار آن در ادامه افزایش می‌یابد. اگرچه مقدار آن در آبراهه خروجی از معدن رضی افزایش بیشتری داشته است (بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر). سختی آب معیاری برای نشان دادن برخی از ترکیبات معدنی در آب است. مهم‌ترین یون‌های تأثیرگذار 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. بر اساس 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). به‌طوری‌که مقدار هر دو پارامتر در معدن زمستان یورت بیشتر از رضی است. با توجه 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 (Stenger-Kovács et al., 2023; Potapova and Charles, 2003). مقادیر هدایت الکتریکی مشاهده‌شده در این مطالعه بیش از ۱۰۰۰s/cm μ بود که با اکولوژی گونه‌های شناسایی‌شده مطابقت دارد (Lange-Bertalot *et al.*, 2017; Krammer and Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b) و تغییرات مشاهده‌شده در محدوده‌ای نبود که تغییر قابل‌توجهی 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 اندازه‌گیری 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. ازآنجاکه 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-h). همچنین برخلاف بقیه پارامترها، سیلس 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 ساپروبیتی و وضعیت تروفیک (تغذیه‌گرایی) از پارامترهای ارزیابی اکولوژی تاکسون‌های دیاتومه‌ای در نظر گرفته می‌شوند (Van Dam et al., 1994). شاخص ساپروبیتی میزان تحمل تاکسون‌ها نسبت به آلودگی‌های آلی را نشان می‌دهد. از نظر ساپروبیتی قسمت عمده گونه‌های شناسایی‌شده در هردو 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 به‌طور غیرمستقیم دلالت بر مواد مغذی آن دارد به‌ویژه 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

نتیجه‌گیری

از جمله اثرات معدنکاری که می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در ترکیب جمعیت‌های دیاتومه‌ای داشته باشد، تغییر محسوس در pH و شوری آب است که بر اساس یافته‌های این تحقیق، هم از نظر داده‌های آب و هم داده‌های زیستی در هردو معدن مطالعه شده از نظر پارامترهای ذکرشده تغییر محسوسی مشاهده نشد و تاکسون‌های شناسایی‌شده در این مطالعه از سایر اکوسیستم‌های استان گلستان نیز گزارش شده‌اند. بااین‌حال تاکسون‌های شناسایی‌شده در این مطالعه جزو گونه‌های مقاوم به آلودگی یا دارای دامنه اکولوژیکی وسیع هستند و همچنین ایستگاه‌های بررسی‌شده در این مطالعه از غنای گونه‌ای کمی برخوردار بود که یکی از مشخصه‌های اکوسیستم‌های تحت تأثیر معادن می‌باشد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات و آزمایشات بیشتری در زمینه آلودگی آب رودخانه‌ها به‌ویژه در ارتباط با فلزات سنگین احتمالی که از طریق رواناب‌های معادن ممکن است وارد این رودخانه‌ها شده باشند، انجام شود. بر اساس داده‌های pH می‌توان نتیجه گرفت که معادن موردمطالعه عاری از کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت (FeS_2) هستند که عامل اصلی شیرابه‌های اسیدی معادن زغال‌سنگ می‌باشند که با داده‌های دیاتومه‌ای نیز تأیید می‌شود، بااین‌حال با توجه به جمعیت‌های دیاتومه‌ای موردبررسی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگرچه معادن موردبررسی فاقد ترکیبات اسیدی بودند اما آلاینده‌های مختلفی وارد آب می‌کنند که برای حفظ سلامت اکوسیستم اطراف این معادن باید تمهیداتی اندیشیده شود. طی دوره موردمطالعه پسماندهای معادن در اکوسیستم‌های جنگلی و رودخانه‌های مجاور کاملاً قابل مشاهده بود که لازم است با اقداماتی از قبیل زهکشی زهاب‌های معادن و همچنین ساخت حوضچه‌هایی جهت ته‌نشینی پساب‌های معدنی و رعایت فاصله مناسب محل دپوی باطله‌ها با رودخانه‌های منطقه، اثرات زیست‌محیطی زیان‌بار را کاهش داد.

سپاسگزاری

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

منابع

assessment of coal mines of eastern Alborz Company. Master thesis. Shahrud Technology University.

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 Sigee, 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.

References

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.

Azad, A. 2013. Occupational accident risk

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 t.he 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.

Hashemi, N., Nabi. Bidhendi, Gh., Yavari, A. 2019. Environmental management of coal mine waste with a life cycle assessment approach: case study Tabas Parvadeh Coal Mine. Shabak Specialuzed Scientific Journal, 5(15): 1-12.

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., Nejadsattari, 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. 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 Erganzungenzu Navicula (Lineolatae) und GompHonema. In: Etti, H. Gerloff, J. Heyning, H. Mollenhauer, D. (eds), Susswasserflora von Mitteleuropa. Vol. 4. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

Krammer, K. 2003. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, GompHocymbellopsis, Afrocymbella. Diatoms of Europe 4: 1-530.

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

Kuseh Gharavi, M. 2021. Study of beneficial diatoms in Atrak River and their relationship with water quality. Master thesis. Gonbad Kavous University.

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 macropHites. 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.

Onegh, M. 2017. Designing appropriate drilling and blasting patterns for tunnels in underground coal mines, taking into account crushing and reducing over-fracture (case study Zemestan Yurt Coal Mine - Golestan, Iran). Master thesis. Shahrud Technology University.

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., 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. https://doi.org/0.3906/bot-1711-46.

Panahy Mirzahasnlou, J., Qarebesloum, 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.

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 multiassemblage 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. Eological 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).

Yazdi, M. 2007. Environmental effects of Tabas Mezino Coal Mine. Environmental Science, 5(1): 1-10.

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.

This page is intentionally left blank.