تابستان ۸۸، سال هجدهم، شماره ۷۲، صفحه ۱۷۳ تا ۱۸۰

پراکندگی و نقش جلبک‌های سبز در زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه

نوشته: ساناز اورندی*، عبدالمجید یعقوب پور*، محمد نخعی*، بهزاد مهرابی*، حسن صحرایی **و مینو بهروز**

* دانشگاه تربیت معلم تهران، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

** مجتمع مس سرچشمه کرمان، واحدهای معدن و تحقیقات آب و محیط زیست، کرمان، ایران

دریافت: ۱۳۸۵/۱۲/۰۲ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۴/۳۱

چکیده

معدن مس سرچشمه یکی از معادن شناخته شده مس پورفیری است که در ۵۵ کیلومتری جنوب شهرستان رفسنجان، جنوب خاوری ایران قرار دارد. معدن کاری ذخایر فلزی با ایجاد شرایط مناسب برای اکسایش کانی‌های سولفیدی و واکنش‌های شیمیایی بین سولفیدهای فلزی و آب در مجاورت هوا، تولید زهاب اسیدی را میسر می‌سازد. مطالعات انجام شده بر روی تأثیر دامپ‌های باطله در ایجاد زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه، افزایش اسیدیته زهاب‌ها در محدوده ۳ تا ۵/۵ و افزایش انحلال بسیاری از فلزات سمی و سنگین در مقادیر بالاتر از حد مجاز استاندارد (WHO) را نشان می‌دهد. تنها تعدادی از میکروارگانیسم‌ها در چنین محیط‌های آبی با کیفیت پایین و نامناسب قادر به ادامه حیات هستند. در معدن مس سرچشمه نوعی جلبک سبز نواری، مقاوم به شرایط اسیدی و مقادیر بالای عناصر محلول در بعضی از زهاب‌های اسیدی شناسایی شد. جنس این جلبک اولوتریکس (Ulothrix) و گونه اولوتریکس گیگاس (Ulothrix Gigas) شناخته شده و فاقد خاصیت ضد میکروبی و ضد قارچی است. این جلبک در زهاب‌های با مقدار بالای مواد جامد محلول (TDS≈۱۸۰۰ mg/l) مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد میزان اسیدیته و نوع عناصر محلول، همچنین نوع کانی‌های ثانویه تشکیل شده در بستر زهاب از عوامل مهم پراکندگی جلبک اولوتریکس محسوب می‌شوند. بررسی‌ها در این تحقیق نشان‌دهنده اسیدیته مناسب برای رشد این جلبک در محدوده ۳ تا ۴/۵ است. وجود شرایط کلوییدی و تجمع ذرات معلق آهن و آلومینیوم مانع از رشد و یا تکثیر آن می‌شود. نمونه برداری و تجزیه شیمیایی جلبک‌ها، جذب مقادیر بالایی از فلزات سنگین را نشان می‌دهد. بنابراین حضور جلبک‌ها، عاملی طبیعی در زدودن عناصر سنگین از زهاب اسیدی معدن و کمک به بهبود کیفیت آب است.

کلید واژه‌ها: زهاب اسیدی معدن، جلبک سبز نواری، اولوتریکس گیگاس ، معدن مس سرچشمه

۱- مقدمه

معدن کاری ذخایر مس پورفیری، کانی‌های سولفیدی را در معرض هوازدگی سطحی قرار می‌دهد و هوازدگی شیمیایی را تسریع می‌سازد (Borden, 2003). از هوازدگی و اکسایش کانی‌های سولفیدی سنگ‌های معدنی زهاب اسیدی تشکیل می‌شود. جریان زهاب‌های اسیدی در سطح زمین تحت شرایط اسیدی و اکسیدی، باعث افزایش غلظت Cd, Zn, Pb, Cu, Al, Fe, Seو آنیون سولفات می‌شود (Anderson & Youngstrom, 1976; Davis & Boegly, 1981). غلظت بالای فلزات و pH پایین مانع حیات اکثر جانداران آبزی است. تنها تعدادی از گونه‌های باکتری، قارچ و جلبک با این شرایط سازگار و قادر به ادامه حیات هستند. بعضی از این میکروارگانیسم‌ها اکسایش سولفیدها را تسریع می‌بخشند (باکتری‌های اسیددوست) در حالی که انواعی دیگر از آنها (جلبک‌ها و باکتری‌ها) قادر به جذب و ته نشست فلزات و شبه فلزات از محلول‌های اسیدی هستند (Bhattacharya et al., 2006; Brake et al., 2000; Ehrlich, 1996). گونه‌هایی از جلبک‌های رشته‌ای سبز، مانند Klebsormidium, Microspora, Mougeotia, Ulothrix و Stigeoclonium اغلب در آب‌های آلوده با زهاب اسیدی به طور چشمگیری دیده می‌شوند (Walker, 2005). غلظت بالای یون سولفات، یکی از عواملی است که به رشد آنها کمک می‌کند (Lottermoser, 1999).

بر اساس بررسی‌های Warner et al. (1971)، به علت ترکیب شیمیایی پیچیده و متغیر زهاب اسیدی و همچنین تأثیر عوامل فیزیکی، اندازه‌گیری مقادیر pH در آب رودخانه، معتبرترین شیوه بررسی تأثیرهای زهاب اسیدی معدن بر روی حیات آبزیان است. مکانیسم جذب (Absorption) در جلبک‌های میکروسکوپی با اتصال یون‌ها بروی سطح سلول و لیگاندهای بین سلولی، باعث جداسازی یون‌های فلزات سنگین از محلول می‌شود. جذب سطحی چندین برابر بیشتر از جذب بین سلولی است (Mehta & Gaur, 2005). این میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکننده از نور به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند و با تولید اکسیژن و احیا سولفات به سولفید، باعث جذب فلزات در قسمت خارجی سلول‌ها و یا در داخل ساختمان سلولی خود می‌شوند (Lottermoser, 2003) . جانداران برای تغذیه و حیات خود به فلزات متعددی نیاز دارند، به این منظور بسیاری از فلزات به درون سلول‌های جلبک پمپ و مکیده می‌شوند(Kalin et al., 2005). با تولید اکسیژن توسط جلبک‌ها، میزان انحلال آن در زهاب‌های معدن افزایش می‌یابد که موجب ته نشست آهن می‌شود. بدین ترتیب جلبک‌ها به طور غیر مستقیم قادر به زدودن آهن از زهاب‌های اسیدی معدن هستند (Brake et al., 2001a, b). بررسی Kimball et al. (1994) کاهش قابل توجه فلزات سنگین در زهاب اسیدی خروجی از معدن سنت کوین در کلرادو، در پایین دست مکان‌های دارای جلبک را نشان داد. از سوی دیگر مطالعات Driscoll et al. (1980) وBrake et al. (2001)، Witters et al. (1996) نشان‌دهنده تأثیر به شدت منفی آب‌های اسیدی غنی از کلوییدهای آلومینیوم بر روی حیات آبی است. رسوب هیدروکسیدهای آهن وآلومینیم در زهاب مانع از رشد جلبک‌ها و اختلال در اکوسیستم حیات آبی زهاب است. تراکم توده جلبک به وسیله سرعت ته‌نشست هیدروکسیدهای آهن محدود می‌شود (Brake et al., 2000). مطالعات Niyogi et al. (1999a,b) تأثیرات زهاب اسیدی را برروی گونه‌هایی از جلبک‌ها از جمله اولوتریکس بررسی کرده است. در نتیجه تحقیقات او اکسیدهای آلومینیم عامل محدودکننده رشد جلبک‌ها همراه با تأثیر منفی بیشتر از اکسیدهای آهن شناخته شده است .(Niyogi et al., 2002) جلبک زوناتا گونه‌ای از جنس جلبک اولوتریکس است که قدرت جذب بالای آن در زدودن فلزات سمی مس و کروم از آب بررسی و ثابت شده است (Nuhoglu et al., 2002). به دلیل جذب بالای یون‌های فلزات سنگین توسط بسیاری از جلبک‌ها، از آنها به عنوان عامل جذب در تصفیه بیولوژیکی بسیاری از فاضلاب‌های صنعتی و شهری استفاده می‌شود (Malkoç & Nuhoglu, 2003; Mehta & Gaur, 2005).

۲- منطقه مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه یکی از معادن شناخته شده مس پورفیری است که در جنوب خاور ایران و در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب باختر کرمان، ۵۵ کیلومتری جنوب رفسنجان قرار دارد. این معدن در مجموعه ارتفاعات بند ممزار - پاریز از توابع شهرستان رفسنجان واقع شده است. مختصات معدن، طول جغرافیایی ۵۶ درجه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی است که در ارتفاع حدود ۲۶۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. معدن مس سرچشمه به دلیل قرار گرفتن در منطقه کوهستانی، منطقه‌ای سردسیر به شمار می‌آید. کمترین دمای منطقه در زمستان ۱۵°C- و در تابستان به حداکثر ۳۲°C+ می‌رسد(کمیزی، ۱۳۷۹). میانگین بارندگی سالانه ۴۴۰ میلی متر که یکی از پر باران‌ترین زیر حوضه‌های باختر تا جنوب باختر استان کرمان محسوب می‌شود (Sahraei Parizi et al., 2005). جریان دائم آب‌های سطحی از دو سمت خاور (رودخانه سریدون) و باختر به سمت کاواک معدن روان است که پس از زهکشی باطله‌های انباشت شده در مسیر آنها، زهاب‌های اسیدی حاصل در پای دامپ‌های ۱۱ ، ۲۶ و ۱۵ جاری می‌شوند. زهاب دائم دیگری در سمت شمال معدن و در پای دامپ ۳۱ دیده می‌شود. دامپ‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ در جنوب معدن انباشت شده‌اند و در فصول بارندگی به طور موقت دارای زهاب هستند. زهاب‌ها به داخل کانال تعبیه شده در حاشیه کاواک معدن هدایت می‌شوند و همراه با آب‌های پمپاژ شده از داخل معدن به خارج از آن منتقل و به رودخانه شور می‌ریزند (شکل ۱).

چگونگی تشکیل زهاب اسیدی در معدن مس سرچشمه توسط دوراندیش(۱۳۸۱)، Sahraei Parizi et al. (2005)، اورندی (۱۳۸۵) تحقیق و بررسی شده است. اورندی و همکاران (۱۳۸۴) برای اولین بار به اهمیت حضور جلبک‌های سبز نواری به عنوان یکی از شاخص‌های زهاب اسیدی در زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه اشاره و استناد کردند. شناسایی مقدماتی دیگر میکروارگانیسم‌های زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه حضور باکتری‌های مفید نظیر سودوموناس‌ها (Pseudomonas) را نیز نشان داد که قادر به سم‌زدایی فلزهای سنگین از آب هستند (Orandi et al., 2007). باکتری‌ها و جلبک‌ها نقش بسیار مهمی در انحلال و یا برجاگذاری فلزات و شبه فلزات در آب‌های اسیدی معادن را بر عهده دارند. باکتری‌های هوازی از اکسیژن تولید شده توسط جلبک‌ها برای بقا خود استفاده نموده و این همزیستی منجر به رسوب بسیاری از فلزهای محلول به صورت ترکیبات سولفیدی می‌شود. بنابراین شناخت تأثیر آنها بر کیفیت آب امری لازم و ضروری در پی یافتن راهکارهای مناسب برای تصفیه بیولوژیکی زهاب‌های معدنی و کاهش آلودگی آنها با استفاده از میکروارگانیسم‌های سازگار با محیط است. به این منظور تحقیق حاضر سعی در شناسایی نوع و نقش جلبک موجود در زهاب‌های معدن مس سرچشمه داشته است.

۳- روش تحقیق

به منظور بررسی محیط مناسب برای رشد و توزیع جلبک‌ها، نمونه‌برداری از آب و رسوب بستر زهاب‌های معدن مس سرچشمه و جلبک‌های آن صورت گرفت و مقایسه‌ای بین ترکیب شیمیایی زهاب‌های دارنده جلبک و فاقد آن انجام شد. شناسایی جلبک‌های سبز موجود در زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه در دانشگاه تربیت معلم و با همکاری گروه زیست‌شناسی صورت گرفت. به منظور تجزیه و تعیین میزان جذب جلبک‌ها، مقداری از جلبک‌های سبز رشته‌ای در پاکت‌های پلاستیکی جمع‌آوری و به آزمایشگاه آب و محیط زیست معدن مس سرچشمه انتقال یافت. نمونه‌ها برروی شیشه ساعت و در داخل اون، با دمای کم (۵۰° C) خشک و به وسیله اسید در آزمایشگاه آب معدن مس سرچشمه، به صورت محلول در آورده شدند. سنجش میزان ۸ عنصر محلول سنگین Cu, Pb, Zn, As, Cd, Mo, Se و Sb در محلول جلبک‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی صورت گرفت. همزمان با نمونه‌برداری از جلبک‌ها و آب و رسوب زهاب‌ها، پارامترهای فیزیکی (TDS ، EC ، Eh ،pH و دما) آب نیز توسط دستگاه قابل حمل سنجش این پارامترها و دماسنج، اندازه گیری و ثبت شد. نمونه‌های زهاب در بطری‌هایی از جنس پلی‌اتیلن جمع آوری شد. به منظور حفاظت نمونه‌ها تا رسیدن به آزمایشگاه و انجام تجزیه‌ها، بر طبق دستورالعمل‌های استاندارد موجود، به ازای هر cc ۱۰۰۰ آب، cc ۱۰ اسید نیتریک خالص مرک ۵% (Merck) به هر نمونه آب اضافه شد و برای سنجش کاتیون‌ها و عناصر سنگین به آزمایشگاه مرکزی معدن مس سرچشمه ارسال شد. نمونه‌های رسوب بستر آبراهه‌ها نیز در پاکت‌های پلاستیکی و به مقدار کم و بیش یک کیلوگرم برداشت و آزمایشات XRF و XRD در آزمایشگاه خاک و کانی شناسی مس سرچشمه بر روی آنها انجام شد.

۴- جلبک‌های سبز

جلبک موجود در تعدادی از زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه از رده جلبک‌های سبز (کلروفیسه) است. جنس جلبک *Ulothrix* و گونه آن *Ulothrix gigas*، فاقد ویژگی ضد میکروبی و ضد قارچی شناخته شد. تنوع جلبک‌های سبز بسیار زیاد است. این جلبک‌ها هسته و کلروپلاست مشخصی دارند و سلول‌های زایشی آنها، متحرک و دارای تاژک است. رنگ آنها به سبب داشتن کلروفیل سبز است. مواد ذخیره‌ای سلول نشاسته و تولید مثل جنسی به صورت ایزوگامی، آنیزوگامی و اووگامی در آنها انجام می‌شود. جلبک‌ها ساده‌ترین موجودات زنده هوازی و فتوسنتز کننده‌اند که همگی دارای کلروفیل و فاقد آوند هستند. این موجودات اولین تولید کنندگان زنجیره غذایی هستند که با استفاده از نور خورشید و انجام فتوسنتز، مواد آلی را برای مصرف کنندگان آماده می‌سازند. به علاوه اکسیژنی که برای متابولیسم دیگر آبزیان لازم است، توسط جلبک‌ها تولید می‌شود. جلبک‌ها در طبیعت پراکندگی بسیار زیادی دارند. کمتر موجوداتی را می‌توان یافت که همانند آنها قادر به زندگی در محیط‌ها و شرایط مختلف باشند (ریاحی، ۱۳۷۷).

۵- تیره اولوتریکاسه (Ulothricaceae)

جلبک‌های این تیره رشته‌ای ساده و غیر منشعب هستند. کلروپلاست کمربندی یا زین اسبی شکل از ویژگی‌های مهم این گروه محسوب می‌شود. از جنس‌های مهم این تیره، اولوتریکس، هورمیدوم و اورونما است. جنس اولوتریکس از جلبک‌های بسیار معمول آب‌های شیرین است و اغلب به صورت متصل به سنگ‌ها و یا اجسام دیگر و یا به صورت آزاد در نقاطی از آب که سایه و کم‌ژرفا باشد یافت می‌شود. جنس اولوتریکس دارای ۳۰ گونه است که بعضی از آنها در آب‌های شور و به صورت اپی‌فیت دیده می‌شوند. ریسه شامل یک رشته ساده، باریک و نازک است که سلول‌های آن به شکل استوانه‌ای و یا مکعبی در یک ردیف قرار گرفته‌اند. رشته ممکن است به صورت آزاد و یا از یک انتها به محیط اطراف متصل شود. تمام سلول‌های ریسه یکسان هستند غیر از سلول انتهایی که گنبدی شکل است و سلولی دیگر به نام سلول نگاهدارنده (Hold fast) که به وسیله آن به اجسام متصل می‌شود (ریاحی ۱۳۷۷).

۶- یافته‌ها و مشاهدات مربوط به توزیع جلبک‌های سبز در زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه

زهاب اسیدی به طور دائم و از یک محل در پای دامنه دامپ‌های باطله ۱۱ و ۳۱ جریان دارد و جلبک‌های سبز به صورت رشته‌های متراکم، سازگار با ترکیب این زهاب‌ها و

دما، در تمام طول سال قابل مشاهده است. تراکم جلبک‌ها در دیگر زهاب‌های دائم، زهاب اسیدی دامپ‌های ۱۵ و ۲۶ متغیر است. زهاب‌های اسیدی دامپ‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ موقت است و تنها در فصول پرآبی و همراه با ریزش‌های جوی قابل توجه در منطقه، از اواخر زمستان تا شروع تابستان جریان دارند. در طول مدت انجام این تحقیق اثری از حضور جلبک در این زهاب‌ها دیده نشد. دامنه تغییرات pH زهاب دامپ ۱۱، ۳/۲ تا ۴/۵ است. در فصول بارندگی و افزایش آبدهی زهاب، همراه با کاهش دما، اسیدیته نیز تا pH= ۳ افزایش می‌یابد. زیرا بارندگی موجب شسته شدن بیشتر رسوبات هوازده و ترکیبات سولفاته، در نتیجه افزایش اسیدیته زهاب می‌شود. در این هنگام انبوهی از جلبک‌های سبز در کانال حامل زهاب قابل مشاهده است (شکل ۲). بیشترین تراکم جلبک‌ها در این زهاب است که مناسب بودن محیط و ترکیب زهاب در رشد آنها را نشان می‌دهد. زهاب دامپ ۱۱ دارای میزان املاح بالا (TDS=۱۶۸۰ mg/l) و بیشترین تعداد عناصر محلول در میان زهاب‌های دارنده جلبک است (جدول ۱).

با شروع تابستان و تا اواخر پاییز، آبدهی زهاب دامپ ۱۱ کاهش و در این دوره pH زهاب تا حدود ۵ افزایش می‌یابد. حلالیت بسیاری از عناصر با افزایش pH کاهش می‌یابد که همراه با افزایش دما و تبخیر رسوبات سولفاته آبی رنگ مس و آهن بر روی توده‌های جلبک و حواشی بستر زهاب مشاهده می‌شود (شکل۳). نتایج حاصل از نمونه‌برداری و مطالعات کانی‌شناسی رسوبات، وجود کانی‌های ژیپس و ملانتریت ($FeSO_4, 7H_2O$)، سیدروتیل ($(Fe,Cu)\ SO_4, 5H_2O$) و پاراملاکونیت (Cu_4O_3) را نشان می‌دهد. این کانی‌ها محلول بوده، همراه با اولین بارش‌ها انحلال می‌یابند. دامپ ۱۵ انبوه‌ترین دامپ باطله است که در باختر معدن و در مجاورت دستگاه سنگ شکن انباشت شده است. برای انتقال زهاب دائمی این دامپ کانالی سیمانی تعبیه شده است. تغییرات اسیدیته این زهاب از حدود ۴ در زمان پرآبی به حدود ۵/۵ در زمان کم آبی افزایش می‌یابد. تراکم جلبک‌ها در مسیر زهاب در فصول کم آبی و پر آبی متفاوت است.

دامپ ۲۶ که در سمت خاور معدن و در مسیر رودخانه دائمی سریدون انباشت شده است، دارای دو زهاب اصلی و فرعی است که تغییرات جلبک‌ها در این دو زهاب محسوس است. از اواخر بهار(خرداد) تا اواخر پاییز(آذر) که دوره کم آبی منطقه است، جلبک‌های سبز نواری در زهاب اصلی این دامپ که آبدهی بیشتری نسبت به زهاب فرعی دارد، با اسیدیته حدود ۴/۵ دیده می‌شود ولی اثری از آنها در زهاب فرعی آن با اسیدیته حدود ۷ مشاهده نمی‌شود. رسوبات بی‌شکل (آمورف) آبی رنگ، مشابه با ته نشست‌های زهاب دامپ ۱۱، حواشی زهاب اصلی دامپ ۲۶ و بستر زهاب فرعی آن را می‌پوشاند (شکل۴). با شروع بارندگی، وضعیت زهاب‌ها به سرعت و در فاصله کمتر از ۲ هفته تغییر می‌کند. اسیدیته زهاب اصلی دامپ ۲۶ از ۴/۵ به حدود ۵/۵ افزایش یافته و ظاهری شیری رنگ و کلوییدی می‌یابد. رسوبات آبی رنگ ثانویه در کناره‌های بستر زهاب اصلی دامپ ۲۶ به سرعت حل شده و لایه‌ای از رسوبات بی‌شکل سفید رنگ بر روی بستر زهاب اصلی و توده‌های جلبک رسوب می‌کند. به نظر می‌رسد کلوییدی شدن محیط برای رشد جلبک‌ها نامساعد است و در مدت زمان کوتاهی از تراکم جلبک‌ها کاسته می‌شود. در حالتی که آب حامل ذرات کلوییدی است و رنگ آن به سفیدی گراییده است، اثری از جلبک‌های سبز دیده نمی‌شود و یا به طور بسیار محدود و در حد چندین رشته جلبک در کناره‌های زهاب دیده می‌شوند (شکل ۵).

به نظر می‌رسد تغییر pH در این زهاب مغایر با دیگر زهاب‌ها است و بر طبق قانون هنری، کاهش دما به تنهایی تأثیر چندانی در کاهش pH ندارد. این تغییر می‌تواند در پی متفاوت بودن ترکیب سنگ‌های این دامپ باشد. شستشوی بیشتر ترکیبات رسی حاصل از هوازدگی فلدسپارها، باعث انحلال و آزادسازی یون‌های سدیم و پتاسیم، در نتیجه افزایش ویژگی قلیایی آب و همچنین وفورکلوییدهای آلومینیوم و یا ترکیبات سیلیس است که باعث شیری رنگ شدن زهاب می‌شوند. در پی بارندگی تغییر شرایط در زهاب فرعی دامپ ۲۶ متفاوت است و در دوره پرآبی و همراه با کاهش دما، اسیدیته آن از ۷ به مقدار ۵/۵ افزایش می‌یابد. این تغییر موجب انحلال سریع رسوبات ثانویه بی‌شکل (سولفات‌های آبی رنگ مس و آهن) در بستر آن و رشد جلبک‌ها است . این وضعیت در دوره پر آبی منطقه و تا اواسط بهار دیده می‌شود (شکل‌های۶و۷).

زهاب دامپ ۳۱ یکی دیگر از زهاب‌های دائمی منطقه با آلودگی بالا از عناصر سمی و سنگین محلول است. با وجود تغییرات pH (۵/۳ – ۳/۵) و تفاوت بارز میزان املاح محلول(۱۷۷۰– ۴۰۰)، همچنین محدوده متفاوت دمای هوا (۳۸°C-۴) و آب (۱۴°C-۱۰) (جدول ۲)، جلبک‌های سبز مورد نظر اغلب به طور دائم و به صورت متراکم در محل خروج زهاب وجود دارند. بنابراین به نظر می‌رسد فراوانی عناصر محلول و ایجاد نشدن محیط آشفته و کلوییدی در پای دامپ ۳۱ عامل اصلی ثبات رشد آنها است (شکل۸). قابل ذکر است که حباب‌های گاز محلول در آب در محل‌های متراکم از جلبک در زهاب‌ها، قابل توجه است که فعال بودن فتوسنتز و افزایش اکسیژن محلول در آب توسط این موجودات را نشان می‌دهد و این خود عاملی در زدودن یون‌های محلول و رسوب دادن آنها است.

زهاب دامپ‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ که در جنوب معدن انباشت شده‌اند، تنها پس از بارندگی های طولانی مدت و قابل توجه در منطقه دیده می‌شوند و جریان می‌یابند. با وجود اسیدیته بالای این زهاب‌ها (pH = ۳) اثری از جلبک‌ها دیده نمی‌شود و مشابه با شرایط کلوییدی شدن زهاب دامپ ۲۶، ظاهری شیری رنگ دارند و رسوبات سفیدرنگ، بستر زهاب‌ها را می‌پوشاند. این رسوبات بی‌شکل هستند و مطالعات کیفی نمونه‌های رسوب بستر زهاب دامپ ۱۷، ۱۸ و۱۹ توسط آزمایشگاه پراش پرتو X (XRD) تنها وجود کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز و ارتوکلاز را نشان داد. اما با توجه به تجزیه شیمیایی (XRF) این رسوبات سفید رنگ و انحلال‌پذیر، می‌توان وجود سولفات‌ها و هیدروکسیدهای آهن وآلومینیم را انتظار داشت. در حاشیه بستر سفید رنگ این زهاب‌ها، رسوبات قهوه‌ای رنگ اکسیدهای آهن نیز مشهود است (شکل ۹).

زهاب دامپ‌های باطله و زهاب خروجی از معدن در نهایت به سمت خارج از معدن هدایت می‌شوند. pH زهاب خروجی بین ۵/۵ تا ۶/۵ متغیر است. این زهاب با فراوانی ذرات کلوییدی، در طول سال ظاهری کدر به رنگ سبز- زرد و یا متمایل به سرخ دارد. رسوبات و لخته‌های قهوه‌ای - زرد و یا قهوه‌ای - نارنجی ترکیبات اکسیدی و هیدروکسیدی آهن از تأثیرات زهاب اسیدی درکاهش کیفیت آب‌های سطحی این منطقه است. اثری از جلبک‌ها در این زهاب نیز در طول سال دیده نمی‌شود (شکل ۱۰). لازم به ذکر است که آب‌های سطحی تجمع یافته در پشت دامپ‌ها و قبل از زهکشی باطله‌ها pH خنثی تا قلیایی دارند و جلبک‌های سبز رشته‌ای در آنها دیده نمی‌شود (شکل ۱۱). به منظور مقایسه مقدار متوسط عناصر اندازه‌گیری شده در آب و خاک با میزان جذب این عناصر توسط جلبک‌ها، نتایج حاصل از تجزیه جلبک، آب و رسوب بستر هر زهاب در جدول ۱ آمده است. جدول ۲، نشان‌دهنده پارامترهای صحرایی اندازه‌گیری شده (دمای آب، دمای هوا، پتانسیل اکسایش و کاهش (Eh)، اسیدایی آب (pH)، میزان مواد جامد محلول در آب (TDS)، هدایت الکتریکی آب (EC) در محل حضور و یا فقدان جلبک‌ها است. تغییرات pH، Eh و TDS در مقایسه با میزان تراکم جلبک‌ها در شکل ۱۲ به صورت نمودار نشان داده شده است. pH و Eh محیط‌های نمونه‌برداری در نمودار دیگری (شکل ۱۳) ترسیم شده و نقاط دارای جلبک و فاقد آن با نماد متفاوت متمایز شده است.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

کاهش pH در محیط آبی معادن سولفیدی و در نتیجه انحلال بسیاری از عناصر مسمومیت‌زای سنگین، اکوسیستم طبیعی آبزیان را مختل کرده و مانع از رشد و تکثیر آنها می‌شود. مشاهده رشته‌های سبز و متراکم جلبک در زهاب‌های با اسیدیته بالای معدن مس سرچشمه در طول سال و حتی در شرایطی که منطقه به طور کامل از برف پوشیده شده بود، انگیزه‌ای شد تا علت حضور و سازگاری این میکروارگانیسم‌ها و نحوه رشد و توزیع آنها در زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه را برای اولین بار و به طور مقدماتی در این معدن مورد بررسی قرار گیرد. آب‌های سطحی در محدوده معدن مس سرچشمه تحت تأثیر عوامل مختلف، pH متفاوتی دارند. pH رواناب‌های بالا دست محدوده معدن کاری قلیایی و در داخل معدن‌اسیدی است(جدول۲). با وجود اسیدی‌بودن همه آب‌های سطحی در محدوده معدن، حضور جلبک‌های سبز نواری محدود به بعضی از زهاب دامپ‌های باطله است. بنابراین ترکیب و ویژگی‌های شیمیایی آب عامل مهمی در رشد جلبک‌ها است. بررسی تأثیر دامپ‌های باطله در تولید زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه (اورندی، ۱۳۸۵، ۱۳۸۴) عوامل متعددی را در تغییر pH زهاب‌ها و در نتیجه تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها بر می‌شمارد. عواملی نظیر ترکیب بیشترین سنگ‌های باطله هر دامپ (اسیدی یا قلیایی)، مدت زمان انباشت آنها و در نتیجه شدت هوازدگی کانی‌های سولفیدی، میزان بارندگی و در نتیجه تغییر آبدهی زهاب و میزان شستشوی کانی‌های هوازده ، فعالیت‌های بیولوژیکی و انسان‌زاد و فوگاسیته اکسیژن از جمله این فاکتورها هستند. بر طبق قانون هنری با کاهش دمای محیط، انحلال گازها در آب افزایش می‌یابد. انحلال بیشتر اکسیژن و افزایش قدرت اکسیدکنندگی آب و انحلال گازهای SO_2 و CO_2 بویژه در فصول سرد و پرباران از دیگر دلایل کاهش pH آب است. بنابراین تغییر دمای سالانه در محدوده ۱۵- تا ۳۲+ در منطقه سرچشمه و در نتیجه تغییر مقدار گازهای محلول در آب یکی از عوامل مهم در تغییر pH آب‌های معدن است (خراسانی پور و همکاران، ۱۳۸۵). تحرک عناصر مسمومیت‌زای سنگین در محیط آبی بخش مهمی از چرخه ژئوشیمیایی در معادن سولفیدی است که مهم‌ترین نقش در انتقال عناصر بر عهده pH است. تجمع آب‌های سطحی در پشت دامپ‌های باطله معدن مس سرچشمه و در نتیجه زهکشی تدریجی سنگ‌های باطله، باعث شسته شدن عناصر از خلال سنگ‌های هوازده باطله می‌شود. بیشترین تراکم جلبک در فاصله۲ تا ۳ متری از محل نشت و خروج هر زهاب از پای دامپ دیده می‌شود که به تدریج از تراکم جلبک‌ها در ادامه مسیر زهاب کاسته می‌شود. علت رشد و تراکم بالا محدود به محل نشت زهاب، تمایل جلبک به سمت نقاط با غلظت بالای عناصر محلول است تا بیشترین جذب عناصر را داشته باشند. مطالعات و تجزیه مقدماتی توده‌های جلبک جذب بالای عناصر سمی و سنگین تا چندین برابر نسبت به غلظت همان عناصر در آب و یا خاک را نشان می‌دهد (جدول۱).

با وجودی که جلبک‌ها موجوداتی مقاوم و سازگار در محیط‌های نامطلوب هستند، آستانه تحمل آنها در گونه‌های مختلف متفاوت است. در مورد جلبک شناخته شده اولوتریکس گیگاس، بررسی اسیدیته زهاب‌ها به همراه میزان تراکم جلبک‌ها در طول سال، نشان‌دهنده محدوده مناسب ۴/۵-۳ برای pH در نقاط با تراکم بالا و دائمی جلبک است. به این ترتیب pH یکی از عوامل کنترل کننده توزیع و تراکم جلبک‌اولوتریکس به‌شمار می‌آید. شواهد صحرایی نشان‌دهنده قابلیت رشد جلبک اولوتریکس در محدوده دمای متفاوت آب در زمستان و تابستان(۱۴/۲-۵/۸) است. همچنین این جلبک در برابر افزایش مقدار مواد جامد محلول در زهاب اسیدی (TDS = ۳۶۰-۱۷۷۰ mg/l) نیز مقاوم است. فراوانی جلبک‌ها در زهاب دامپ‌های ۳۱ و ۱۱ که دارای بالاترین مقادیر TDS هستند(جدول۲)، بیشتر است.

توانایی آب در حمل فلزات تنها به وسیله pH کنترل نمی‌شود و Eh محلول نیز نقش مهمی دارد. پتانسیل اکسیداسیون و احیا به وسیله Eh بیان می‌شود و فرم پایدار هر عنصر و در نتیجه انحلال و یا رسوب‌پذیری عنصردر محیط‌های اکسیدی و احیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نمودارهای استاندارد pH – Eh (Brookins, 1988) نوع فاز پایدار مربوط به هر عنصر را مشخص می‌سازد. فلزاتی نظیر کروم، مولیبدن، سلنیم، وانادیم و اورانیم در فرم اکسیده خود به مراتب انحلال پذیرترند. آب‌های حاوی اکسیژن می‌تواند فلزات در فرم احیا و غیر متحرک را اکسیده و متحرک سازند. به این ترتیب زهاب‌های اسیدی با محیط اکسید کننده شرایط مناسبی برای انحلال بسیاری از عناصر فراهم می‌آورند (Lottermoser, 2003). اجتماع زنده توده‌های سبز جلبک اولوتریکس در محدوده وسیعی از Eh (۶۰۰-۲۲۶) یافت می‌شود ولی محیط‌های با تراکم بالا از اکسیدکنندگی بیشتری برخوردارند که تولید اکسیژن در پی فتوسنتز جلبک‌ها خود عاملی در افزایش پتانسیل اکسیدکنندگی زهاب است (جدول۲). تغییرات pH نسبت به پتانسیل اکسیداسیون و احیا Eh در مکان‌های نمونه‌برداری در مقایسه با میزان تراکم جلبک‌ها در شکل ۱۳ ترسیم شده است. تجزیه شیمیایی زهاب‌ها، انحلال بسیاری از عناصر سمی و سنگین(Fe, Cu, Cd, Ni, Mn, Zn, Cr, Sb) و آنیون‌های سولفات و نیترات، در مقادیر بالاتر از حد مجاز استاندارد (WHO) را نشان می‌دهد. جلبک‌ها فلزات و شبه فلزات را بر اساس نیاز خود و نه بر اساس غلظت آنها در زهاب‌ها جذب می‌کنند، بنابراین قادر به جذب انتخابی بعضی از عناصر هستند، هر چند سازوکار مسئول تجمع انتخابی عناصر در توده جلبک هنوز نامشخص است(Lottermoser, 1999). به طور خلاصه نتایج حاصل از تجزیه جلبک‌های زهاب دامپ‌های۱۱، ۲۶ و۳۱ و مقایسه مقدار عناصر جذب شده در جلبک‌ها با عناصر موجود در آب‌های منطقه (جدول۱) نشان می‌دهد که:

۱) در مقابل مقدار پایین سرب در زهاب دائم دامپ‌های ۱۱ و ۳۱، تجزیه جلبک این زهاب‌ها مقادیر بالایی از جذب سرب را نشان می‌دهد.

۲) فلز سنگین روی به مقدار زیادی در زهاب همه دامپ‌ها حضور دارد و نسبت به استانداردهای بین‌المللی آب (WHO) افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. جذب بالای این عنصر در جلبک‌ها به خوبی مشهود است.

۳) به علت کانی‌زایی مس در منطقه بالاترین مقدار عنصر محلول در آب به این عنصر تعلق دارد. بالاترین میزان جذب در جلبک‌ها نیز نسبت به این عنصر سنگین دیده می‌شود.

۴) آرسنیک و سلنیم محلول در نمونه‌های آب منطقه فراوانی چندانی ندارند ولی جذب بالای آنها توسط جلبک‌ها سازگاری این عناصر با جلبک‌ها را نشان می‌دهد.

۵) نمونه‌های آب تجزیه شده وجود مقادیر بالایی از کادمیم و آنتیموان در کل منطقه را مشخص کرده است. مقدار جذب این عناصر در مقایسه با سایر عناصر سنگین پایین بوده که خود ناسازگاری این گونه از جلبک با این عناصر را نشان می‌دهد.

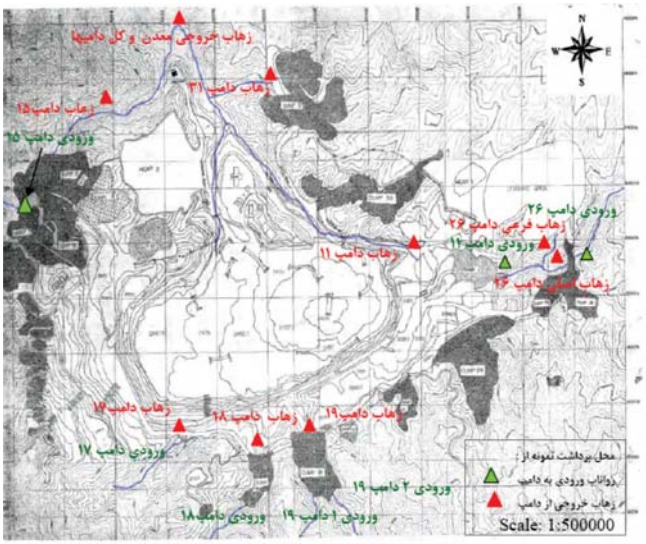
۶) مولیبدن عنصری است که بر خلاف بسیاری از عناصر در pH پایین و محیط اسیدی نامحلول است. این عنصر در آب‌های کل منطقه کاهش نشان می‌دهد و در اینجا نیز جذب آن توسط جلبک‌ها در حد پایین است.

۷) مقدار بالای یون‌های آلومینیم و آهن در زهاب‌های موقت نسبت به زهاب‌های دائم عامل مهم بازدارنده‌ای در رشد جلبک‌ها محسوب می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی مقدماتی قابلیت جذب فلزات به وسیله جلبک‌ها از زهاب‌های اسیدی معدن مس سرچشمه، مطالعات بیشتری در راستای دستیابی و توسعه به سیستم‌های جدید تصفیه بیولوژیکی (Bioremediation) با استفاده از میکروارگانیسم‌های سازگار در منطقه لازم و ضروری است.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی واحد امور تحقیقات معدن مس سرچشمه انجام شده است. به این وسیله از جناب آقای مهندس قاسمی، مدیر محترم این مجموعه و جناب آقای مهندس شکرچیان رئیس امور آب و محیط زیست در فراهم آوردن امکانات و تسهیلات و همچنین از جناب آقای نکویی برای کمک‌های بی‌دریغ ایشان در مراحل نمونه‌برداری، صمیمانه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.



شکل ۱- موقعیت دامپ‌های باطله معدن مس سرچشمه و نقاط نمونه‌برداری از زهاب دامپ‌ها و رواناب‌های بالادست آنها

جدول ۲- پارامترهای صحرایی اندازه‌گیری شده در رواناب‌های بالا دست دامپ‌ها و زهاب خروجی از آنها (زهاب دامپ‌های باطله و خروجی از معدن)

Date	Sample	T W(°C)	T A(°C)	pH	Eh	EC(µs/cm)	TDS(mg/l)
Areas with no Ulothrix							
83/12/4	D Dump 15	5.9	3.4	4.5	452	920	460
84/2/5	D Dump 15	11.7	23.7	5.3	442	710	350
85/1/29	Up Dump 15	11.2	22.7	7.5	251	370	180
84/1/9	D2 Dump17	9.5	12.5	5.5	414	490	240
84/1/9	D1 Dump17	9.3	12.7	5.6	411	490	240
84/1/9	Up Dump17	7.5	12	7.2	319	380	190
85/1/29	Up Dump 17	11.4	26.7	6.4	251	460	230
84/1/9	D Dump 18	6.7	12.1	3.7	557	1720	860
84/1/9	Up Dump18	6.8	13.4	7.5	268	240	120
84/2/5	D Dump 18	10.8	21.6	5.2	516	680	340
84/1/9	D2 Dump 19	13.5	12	3.4	550	3900	1500
84/1/9	D1 Dump 19	14	12	3.5	548	4000	1550
84/1/9	Up1 Dump19	9.5	14.2	7.5	278	260	130
84/1/9	Up2 Dump19	10.1	16.5	8	162	240	120
84/2/7	Up Dump 26	14.2	15.6	6.6	251	750	370
85/1/30	Up Dump 26	15.6	27.6	5.9	215	860	430
85/1/30	D Dump 26	11.1	25.1	5.2	270	1160	580
84/2/7	outlet of minesite *	13.4	18	4.5	288	1340	670
Areas with trace Ulothrix							
85/1/30	Up Dump11	16.7	23.3	5.1	267	1160	580
85/1/29	D Dump 15	16.9	28.9	4.2	286	880	440
85/4/3	D Dump 15	20	39	4.4	373	970	480
83/12/3	D1Dump 26	2.2	10.8	5.8	282	930	470
84/2/7	D1 Dump 26	11.4	15.4	5.9	261	930	460
84/2/7	D2 Dump 26	9.4	20.22	6.9	264	960	480
85/1/30	D1 Dump 26	11.1	25.1	5.2	270	1160	580
85/1/30	D2 Dump 26	17.4	24.2	6.2	226	720	360
Areas with abundant Ulothrix							
83/12/4	D Dump11	5.8	2.6	3.7	600	1790	890
84/2/7	D Dump11	9.6	15	4.5	445	1490	750
84/11/25	D Dump11	-	-	4.2	447	2770	1320
85/1/29	D Dump11	14.2	29.1	4.2	298	2520	1260
85/4/5	D Dump11	-	-	4.3	476	2360	1180
85/7/28	D Dump 11	12	22	4.17	456	3300	1680
83/12/4	D Dump 31	10	4.5	3.65	520	3540	1770
84/2/5	D Dump 31	10	24.5	4	438	2490	1320
84/11/25	D Dump 31	-	-	5.3	391	760	380
85/1/29	D Dump 31	14	28	4.6	292	820	410
85/4/3	D Dump 31	11.1	36	4.1	395	910	450
85/7/28	D Dump 31	11.8	22.3	4.92	465	720	360

* زهاب دامپ های باطله و خروجی از معدن

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی جلبک‌ها، زهاب‌های اسیدی و رسوبات بستر زهاب در معدن مس سرچشمه

	*Up Dump11	D Dump11	D Dump11	D Dump26	D Dump31	D Dump31	D Dump18	D Dump19
Date of sampling	85/1/29	84/11/25	85/7/28	85/1/29	84/11/25	85/7/28	84/1/9	84/1/9
T W(°C)	16.7	-	12	11.1	-	11.8	8.5	14
T Atm(°C)	23.3	-	22	25.1	-	22.3	12	12
pH	5.1	4.2	4.17	5.2	5.3	4.92	3.6	3.4
Eh(mv)	267	447	456	270	391	465	560	550
EC(µs/cm)	1160	2770	3300	1160	760	720	1700	1500
TDS(mg/l)	580	1320	1680	580	380	360	860	760
Pb(A)	100	300	100	36	300	200	-	-
Pb(W)	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	<0.01
Pb(S)	156	200	200	120	332	332	100	100
Zn(A)	300	600	900	300	400	400	-	-
Zn(W)	7.5	22.6	29	7.7	7.5	7.3	6.14	21.9
Zn(S)	226	100	100	260	230	230	200	100
Cu(A)	4500	3000	4300	5700	3200	1400	-	-
Cu(W)	28.56	127.3	155	29.52	12.19	-	57.51	257
Cu(S)	5400	2000	2000	1500	700	700	700	700
As(A)	162	500	-	150	700	-	-	-
As(W)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01	<0.01
As(S)	126	87	87	33	-	-	45	<30
Cd(A)	4	8.6	12	4	6.5	6	-	-
Cd(W)	0.1	0.27	0.08	0.1	0.5	0.04	0.03	0.16
Cd(S)	3.5	2	2	2.5	<2	<2	2	Tr
Se(A)	100	80	160	100	70	120	-	-
Se(W)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01	<0.01
Se(S)	-	-	-	-	-	-	<50	<50
Mo(A)	28	74	14	28	120	10	-	-
Mo(W)	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	<0.01	<0.01
Mo(S)	112	78.5	78.5	46.5	<10	<10	58	53
Sb(A)	65	130	94	56	86	136	-	-
Sb(W)	0.01	0.05	-	0.01	0.07	-	<0.01	<0.01
Sb(S)	-	-	-	-	-	-	14	19
Fe(w)	0.1	0.04	0.7	0.04	2.02	0.01	15.2	16.22
Al(w)	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	-	-

*D: زهاب دامپ، Up: ورودی دامپ، A: نمونه جلبک W، (mg/g): نمونه زهاب S: ، (ppm) نمونه رسوب (mg/g)

شکل۲- زهاب دامپ ۱۱ در دوره پر آبی (pH≈۳/۵) ، تراکم بالای جلبک‌ها مشهود است

شکل ۳- زهاب دامپ ۱۱ در دوره کم آبی (pH≈۴/۵)، رسوب سولفات‌های مس و آهن

شکل ۴- زهاب اصلی دامپ ۲۶ (pH≈۴/۷)، رسوب کانی‌های ثانویه سولفات مس و آهن، تراکم بالای جلبک‌ها

شکل ۵- زهاب اصلی دامپ ۲۶ (pH≈۵/۹)، کلوییدی شدن زهاب و انحلال سولفات‌ها، کاهش تراکم جلبک‌ها

شکل ۶- زهاب‌های دامپ ۲۶ در اوخر پاییز، جلبک‌ها تنها در زهاب اصلی و رسوب کانی‌های ثانویه سولفات مس در زهاب فرعی.

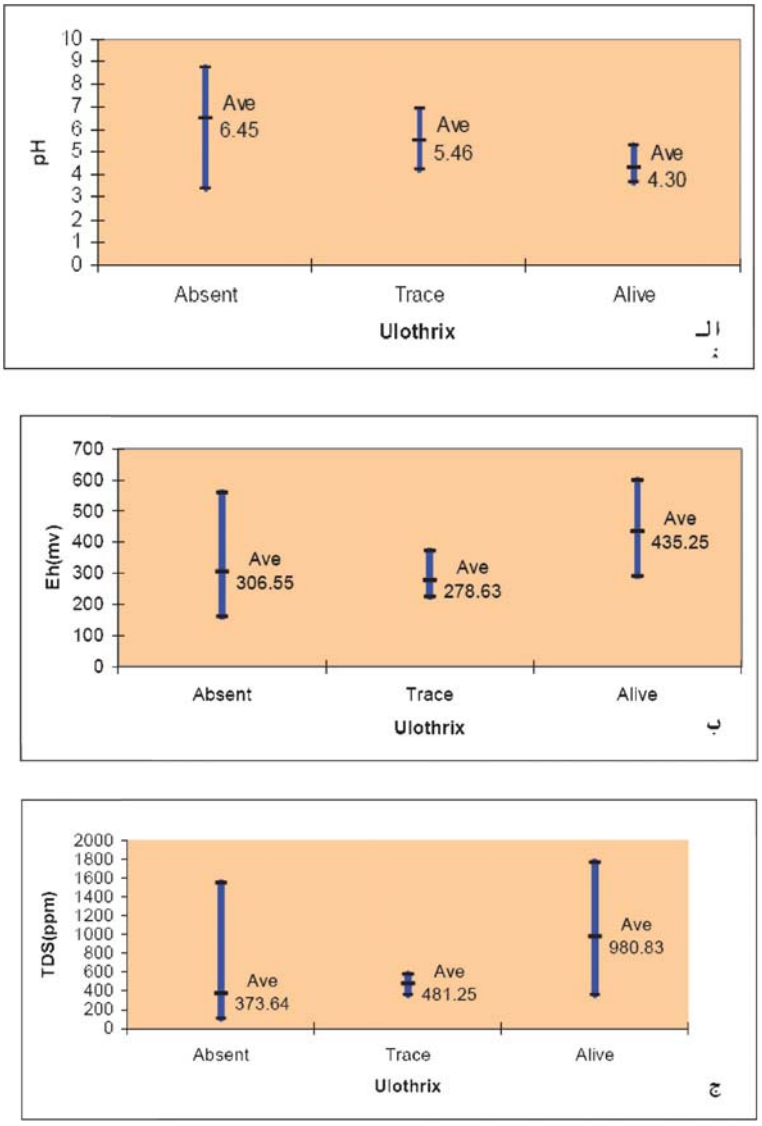
شکل ۷- زهاب‌های دامپ ۲۶ در بهار، کاهش تراکم جلبک‌ها در زهاب اصلی با کلوییدی شدن زهاب و انحلای سولفات‌ها در زهاب فرعی و جایگزینی با جلبک‌های سبز

شکل ۸- زهاب دامپ ۳۱، جلبک اولوتریکس به طور دائم در این زهاب دیده می‌شود.

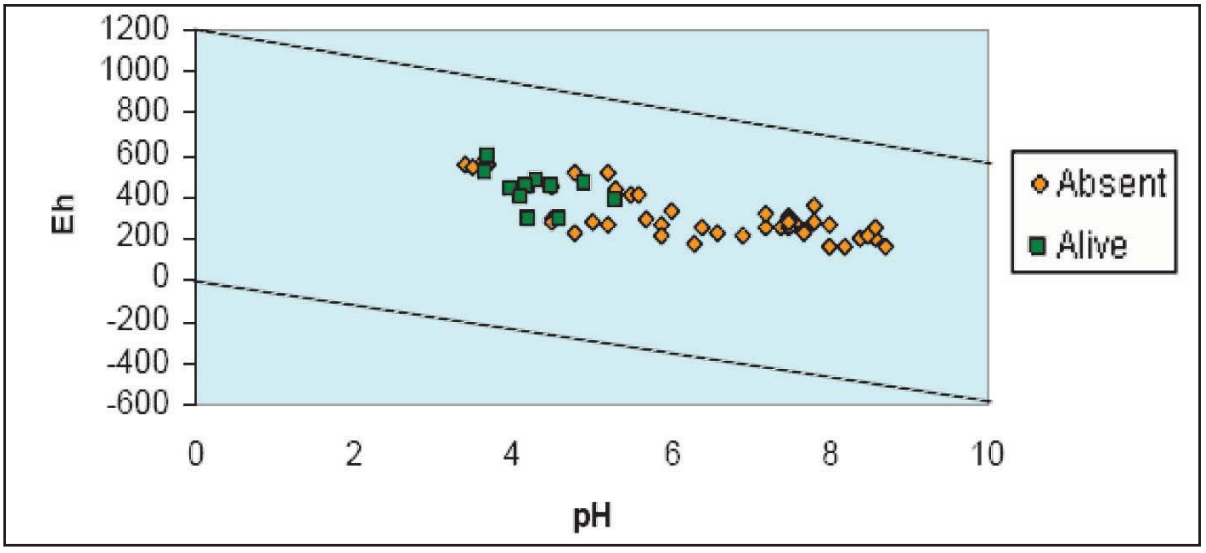
شکل ۹- زهاب دامپ ۱۹، رسوبات بی‌شکل پوشاننده بستر زهاب و رسوبات آهن در حواشی آن، نبود جلبک‌ها

شکل ۱۰- زهاب خروجی از معدن، کدر و حاوی ذرات معلق آهن نبود جلبک‌ها

شکل ۱۱- رواناب بالادست دامپ ۲۶، رودخانه سریدون (pH≈۸)



شکل ۱۲- تغییرات در حضور یا نبود جلبک‌ها نسبت به الف) pH ، ب) Eh و ج) TDS



شکل ۱۳- تغییرات pH نسبت به پتانسیل اکسیداسیون و احیاء Eh در مکان‌های نمونه‌برداری

کتابنگاری

اورندی، س.، یعقوب پور، ع.، نخعی، م.، مهرابی، ب. و صحرایی پاریزی، ح.، ۱۳۸۴- تأثیر دامپ‌های باطله در تولید زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

اورندی، س.، ۱۳۸۵- تأثیر دامپ‌های باطله در تولید زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۸۷صفحه.

خراسانی پور، م.، آفتابی، ع.، اسماعیل زاده، ع. و نکویی، م.، ۱۳۸۵- اهمیت pH و شرایط نمونه‌برداری در تحلیل‌های زیست محیطی عناصر سنگین در محیط آبی – معدن مس سرچشمه، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

دوراندیش، م.، ۱۳۸۱- بررسی اثرات زیست محیطی زهاب اسیدی در معدن مس سرچشمه، گزارش تحقیقاتی واحد آب و محیط زیست امور تحقیقات و مطالعات مجتمع مس سرچشمه، ۲۲۷ صفحه.

ریاحی، ح.، ۱۳۷۷- جلبک شناسی، انتشارات دانشگاه الزهراء ، ۲۲۰ صفحه.

کمیزی، ع.، ۱۳۷۹- بررسی آلودگی آب رودخانه شور مجتمع مس سرچشمه کرمان، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۲۰ صفحه.

References

Anderson, W.C and Youngstrom, M.P., 1976- Coal pile leachate quantity and quality characteristics, Environ Eng, Div ASCE ,V. 102, p1239-1253.

Bhattacharya, J., Islam, M. and Cheong, Y.W., 2006- Microbial Growth and Action: Implications for Passive Bioremediation of Acid Mine Drainage, Mine Water and the Environment, v. 25, no 4, p 233-240.

Borden, R. K., 2003- Environmental geochemistry of the Bingham Canyon porphyry copper deposit, Utah. Environmental Geology, v.43, p752-758.

Brake, S.S., Connors, K.A., Romberger, S.B., 2000- A river runs through it: impact of acid mine drainage on the geochemistry of West Little Sugar Creek Pre- and post-reclamation at the Green Valley coal mine, Indiana, USA. Environmental Geology, v. 40, p1471-1481.

Brake, S.S., Dannelly, H.K. and Connors, K.A, 2001a- Controls on the nature and distribution of an alga in coal mine-waste environments and its potential impact on water quality. Environmental Geology, v.40, p 458-469.

Brake, S.S., Dannelly, H.K. and Connors, K.A., Hasiotis, S.T., 2001b- Influence of water chemistry on the distribution of an acidophilic protozoan in an acid mine drainage system at the abandoned Green Valley coal mine, Indiana, U.S.A Appl Geochem v.16,p1641-1652.

Brookins, D.G., 1988- Eh-pH Diagrams for Geochemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 176 p.

Davis, E.C. and Boegly, W.J., 1981- A review of water quality issues associated with coal storage. J Environ Qual, v.10, p127-133.

Driscoll, C.T., Baker, J. P., Bisogni, J. J. & Schofield, C. L., 1980- Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters, Nature 284, p161 – 164.

Ehrlich, H.L., 1996- Geomicrobiology. Marcel Dekker: New York.

Kalin, M., Wheeler, W.N. and Meinrath, G., 2005- The removal of uranium from mining waste water using algal microbial biomass. Journal Environ Radioact, v. 78, no. 2, p151-177.

Kimball, B. A., Broshears, R. E., Bencala, K. E. and Mcknight, D. M., 1994- Coupling of hydrologic transport and chemical reactions in a stream affected by acid mine drainage. Environ. Sci. Technol. v. 28, p 2065–2073.

Lottermoser, B.G., 2003- Mine wastes. Springer-Verlag New York, p 277.

Lottermoser, B.G., Ashley, P.M. and Lawie, D.C., 1999- Environmental geochemistry of the Gulf Creek copper mine area, north-eastern New South Wales, Australia. Environmental Geology v.39, p .

Malkoç, E. and Nuhoglu, Y., 2003- The removal of chromium (VI) from synthetic wastewater by Ulothrix zonata. Fresenius Environmental Bulletin. v.12, p 376-381.

Mehta, S.K. and Gaur, J.P., 2005- Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: progress and prospects , Crit Rev Biotechnol. v. 25, no. 3, p113-52.

Niyogi, D.K., Lewis, W.M. and McKnight, D.M., 2002- Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in mountain streams. Ecosystems v. 5, p 554-567.

Niyogi, D.K., McKnigh, D.M. and Lewis W.M., 1999b- Influences of water and substrate quality for periphyton in a montane stream affected by acid mine drainage. Limnol. Oceanogr., v. 44, no. 3, p 804-809.

Niyogi, D.K., McKnigh, D.M. and Lewis W.M. , Kimball, B.A., 1999a- Experimental diversion of acid mine drainage and the effects on a headwater stream, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4018A, p 123-130.

Nuhoglu, Y., Malkoc, E., Gurses, A. and Canpolat, N., 2002- The removal of Cu(II) from aqueous solutions by Ulothrix zonata, Bioresource Technology, v. 85, p 331–333.

Orandi, S., Yaghubpur, A., Sahraei, H. and Behrouz, M., 2007- Influence of acid mine drainage on aquatic life at Sar Cheshmeh copper mine, Goldschmidt 2007 conference.

Sahraei Parizi, Nikouei & Babaei 2005- Acid mine drainage at Sarcheshmeh copper mine and methods of its preventing, 20th World Mining Congress.

Walker, T., Purton, S., Becker, D. and Collet, C., 2005- Microalgae as bioreactors Microalgae as bioreactors, Journal of Plant Cell reports, v.24, no.11, p 629-641.

Warner, R.W., 1971- Distribution of biota in a stream polluted by acid mine- drainage, The Ohio journal of science v. 71, no.4, p 202-215.

Witters, H. E., 1998- Chemical Speciation Dynamics and Toxicity Assessment in Aquatic Systems, Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 41, Issue 1, p 90-95.

Key words: Potassic igneous rocks, Adakites, Lamprophyres, Metallogeny of continental arc Porphyry copper deposits.

For Persian Version see pages 161 to 172

E-mail: hatapour@yahoo.com

Distribution and Role of Green Algae in Acid Mine Drainage at Sarcheshmeh Copper Minez

By: S. Orandi*, A. Yaghubpur*, M. Nakhaei*, B. Mehrabi*, H. Sahraei & M. Behrouz****

*Department of Geology, Tarbiat Moallem University, Tehran, Iran.

**Mining and Environment & Water Research Departments, Sarcheshmeh Copper Mine, Kerman, Iran.

Received: 2007 February21 Accepted:2009 July 22

Abstract

Sarcheshmeh Copper Mine, one of the well known porphyry copper deposits, is located in 55 km south of Rafsanjan, south-eastern Iran. Metalliferrous deposit mining, prepare proper conditions for oxidation of sulphide minerals and acid mine drainage will be produced easily by chemical reactions between metal sulphides and water, with the presence of air. Investigations on impact of waste dumps on producing acid mine drainage at Sarcheshmeh copper mine shows decreased pH up to 3-5.5 in acid drainages with the presence of some dissolved toxic and heavy metals higher than permitted standard limits (WHO). In such degraded water and improper environment for aquatic life, just some of microorganisms are able to survive. At Sarcheshmeh copper mine in some of acidic drainages which maintain high dissolved elements, an acid tolerant alga recognized. The genus of this filamentous green alga is *Ulothrix* and species is *Ulothrix gigas* without antimicrobial and antifungal properties. The alga is observed in the drainages with high dissolved solids (TDS≈1800mg/l). It seems pH values, type of dissolved elements and secondary minerals formed on the substrate, are important factors in distribution of *Ulothrix*. This research shows the most prolific and densely populated communities occur in effluent with the pH 3- 4.5. The colloidal conditions and presence of suspended Iron and Aluminium prevent growth or reproduction of them. Sampling and chemical analysis of algae show elevated absorption of heavy metals. Therefore the presence of this alga is a factor to remove heavy metals from acid mine drainage naturally and improve the water quality.

Keywords: Acid mine drainage, Filamentous green algae, Ulothrix *gigas*, Sarcheshmeh copper mine

For Persian Version see pages 173 to 180

E-mail: orand_san@yahoo.com

An Assessment of the Spatial Variation of the Seismic *b*-Value across Iran

By: N. Hashemi*

* Damghan University of Basic Sciences, Damghan, Iran

Received: 2007 September 09 Accepted: 2008 May 13

Abstract

This paper presents a study of the spatial variation of Gutenberg-Richter seismic *b*-value over the Iranian region. For this purpose, based on the works carried out by investigators for tectonic and seismotectonic zoning of Iran, the region subdivided into five structural zones, namely, Alborz-Kopet Dagh zone, Azarbaijan zone, East-Central Iran zone, Makran zone, and Zagros zone. Then, the seismic *b*-value parameter has been computed for these five zones. The results obtained reveal that among these five mentioned zones, the Zagros zone shows the highest *b*-value (1.28 ± 0.03), and in contrast, the East-Central Iran zone shows the lowest value (0.84 ± 0.08). In addition, the contour map showing the spatial distribution of *b*-value over the region is presented. According to this map, some parts of the Iranian region such as the Central Iran and the Eastern Iran clearly act as resistant (rigid) blocks. In summary, the results of this research reveal that the study of the frequency-