

بررسی آلودگی منابع آبی مجموعه معدنی ذغالسنگ طزره با توجه به خصوصیات ژئوشیمیائی منطقه

مرتضی رحیمی^۱، بهناز دهرآزما^{۲*}، احمد خدادادی^۳، فرج ا... فردوست^۴

- ۱- کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود؛ Email: morteza_rahimi20@yahoo.com
 ۲- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین؛ Email: behnaz_dahrazma@shahroodut.ac.ir
 ۳- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن؛ Email: akdarban@modares.ac.ir
 ۴- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین؛ Email: faraj_fardoost@yahoo.com

(دریافت ۹ آذر ۱۳۸۸، پذیرش ۵ دی ۱۳۸۹)

چکیده

معدن کاری ذغال سنگ، تعادل ژئوشیمیایی اولیه واحدهای سنگی را بر هم می زند و با تغییر یافتن شرایط اکسیداسیون محیط، عناصر موجود در لایه های ذغالی و سنگ های دربرگیرنده آن ها آزاد شده و وارد محیط می گردند. در این تحقیق، به بررسی اثرات معدن کاری ذغال سنگ در مجموعه معدنی طزره (تونل مادر)، واقع در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شاهرود پرداخته شده است. به این منظور با تعیین غلظت عناصر $Se, Sr, Zn, Pb, Sb, Hg, Fe, Cu, S, As$ در منابع آبی، باطله ها و ذغال سنگ های استخراج شده از تونل مادر مجموعه معدنی طزره، نحوه گسترش این عناصر در آب های زیرزمینی منطقه بررسی شده است. ذغال سنگ منطقه فاکتورهای غنی شدگی بسیار بالایی را برای عناصر $Sr, Pb, Sb, Hg, Fe, Cu, S, As$ ، نئوپرم، سرب، آرسنیک، جیوه و سلنیوم (به ترتیب: ۲۲/۵۵، ۷۷/۰۱، ۱۷/۸۶، ۴۴/۶۴، ۶۱/۹۵ و ۴۶۸/۴) نشان می دهد. این در حالی است که باطله های ذغال و سینه کار، غنی شدگی بسیار کمتری نسبت به ذغال سنگ منطقه برای عناصر فوق نشان می دهند. بررسی همبستگی عناصر حاکی از این است که همبستگی های بالایی نیز بین آهن و سرب (۰/۹۲۹) و نیز روی با جیوه (۰/۹۸۰) وجود دارد. با توجه به وجود زهاب های قلیایی طبیعی یا NAMD (Natural Alkaline Mine Drainage) با pH برابر ۷/۶ در منطقه، عناصر سنگین با غلظت های بسیار پایین در زهاب خروجی تونل مشاهده گردید. این غلظت ها برای عناصر Sr و Cu به ترتیب ۳/۱ و ۲۵۰۱ ppb بود و برای عناصر Zn, Pb, Fe, Sb, As, Hg میزان غلظت کمتر از حد اندازه گیری دستگاه ثبت گردید. با این وجود، معدن کاری باعث افزایش چشمگیر در غلظت عناصر گوگرد، استرانسیوم، مس، آرسنیک و سلنیوم که غلظت آن ها در آب زیرزمینی پایین دست منطقه به ترتیب ۴۳۰۰۰، ۸۵۰۵، ۳/۷ و ۱/۵ ppb بود، گردیده است، به طوری که گوگرد با افزایش ۹/۴ برابری، بیشترین افزایش را در آب های زیرزمینی پایین دست معدن کاری نسبت به آب های بالا دست نشان می دهد.

کلمات کلیدی

ذغال سنگ، معدن کاری، آلودگی، فلزات سنگین، NAMD، آب زیرزمینی، طزره.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات

۱- مقدمه

زهاب‌های خروجی اسیدی و یا قلیایی پمپاژی از تونل‌های استخراجی ذغال‌سنگ و آب‌های حاصل از شستشو و هوازدهی باطله‌های مربوطه، مهم‌ترین جریان‌های خروجی آلوده در ذغال هستند که آلودگی آب و خاک پایین دست منطقه را به عناصر گوناگون از جمله فلزات سنگین باعث می‌شوند. این عناصر در زمان رسوب‌گذاری یا پس از آن (در هنگام دیاژنز)، در توالی‌های ذغالی جای می‌گیرند و همزمان با تغییرات فیزیکوشیمیایی که در هنگام استخراج ذغال‌سنگ‌ها و باطله‌های همراه با آن‌ها در سطح زمین رخ می‌دهد، آزاد شده و محیط اطراف را آلوده می‌سازند.

با توجه به تفاوت‌هایی که در ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر وجود دارد، هر یک از آن‌ها، ارتباط و همبستگی خاصی با اجزاء تشکیل دهنده ذغال‌سنگ‌ها (محتوای خاکستر، مواد آلی، اجزاء سولفیدی و...) نشان می‌دهد. همبستگی مثبت بین عناصر جزئی و محصول خاکستر ذغال‌سنگ‌ها در تحقیقات وسیعی به اثبات رسیده است [۱]، [۲]، [۳] و [۴]. Pb, Th, Se, Cr, Mo, Al, Be, V, Sb و P از جمله عناصری هستند که همبستگی مثبت بالایی با محتوای خاکستر ذغال‌سنگ‌ها نشان داده اند [۵]. نتایج تحقیقی که روی ذغال‌سنگ‌های جنوب غربی ایالت Guizhou انجام شد نشان داد که کانی پیریت مقادیر زیادی از عناصر Zn, Tl, Se, Sb, Mo, Hg, Cd, As را در خود جای داده است [۶]. با اینکه سونگ و همکاران تنها معتقد به همبستگی Br با مواد آلی هستند، اسکنازی و استفانو همبستگی مثبت قابل توجهی را برای مواد آلی با Be, Ge, As, Mn, Cl, Br را بیان می‌کنند [۵] و [۷].

در مورد ژئوشیمی عناصر موجود در ذغال‌سنگ‌های ایران، مطالعات گسترده‌ای توسط کبیر زاده (۱۳۷۰) رضوی ارمغانی و معین السادات (۱۳۷۲) و گودرزی و همکاران (۲۰۰۵) در حوزه البرز صورت گرفته است [۸]، [۹] و [۱۰]. مناطق ذغال‌خیز البرز به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی تقسیم شده است که با وجود ویژگی‌های نسبتاً یکسان و مشابه، دارای تفاوت‌های اندک و جزئی نیز هستند. به طور کلی، منطقه‌ی ذغال‌دار البرز شامل رسوبات دلتایی و باتلاقی آب شیرین مربوط به اواسط دوره‌های تریاس و ژوراسیک می‌باشد که با یک وقفه‌ی زمانی بر روی سازند الیکا قرار گرفته است [۱۱]. واحدهای در برگیرنده‌ی سازند شمشک (سازند فوقانی) نیز سنگ آهک‌های ژوراسیک بالایی، تحت عنوان سازند دلچای و لار (کرتاسه) هستند که بدون وقفه‌ی زمانی بر روی آن قرار گرفته‌اند. از جمله واحدهای سنگی غالب در سازند شمشک، می‌توان به

ماسه‌سنگ، شیل، سیلت استون، گلسنگ و ذغالسنگ اشاره کرد [۹].

کبیرزاده (۱۳۷۰) ویژگی‌های ذغال‌سنگ‌های البرز را چنین بیان می‌کند: این ذغال‌سنگ‌ها دارای خاکستری کم تا متوسط بوده (۲۶٪ - ۳٪) و با محتوی گوگردی که عموماً بین ۰/۵ تا ۴ درصد متغیر است، با ارزش حرارتی متوسط ۱۶/۷ kj/kg - ۱۵/۶ تشکیل شده‌اند. میزان رطوبت این ذغال‌ها نیز بین ۳/۵ - ۰/۲ درصد متغیر است [۸]. معین‌السادات و رضوی ارمغانی (۱۳۷۲) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذغال‌سنگ‌های منطقه‌ی طزره را مورد بررسی و آنالیز قرار داده اند که در جدول شماره ۱ قابل مشاهده هستند [۹].

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذغال‌سنگ‌های منطقه طزره

[۹]

نوع پارامتر	مقدار متوسط (٪)
درصد مواد فرار	۳۷ - ۴۱
خاکستر	۳/۶ - ۹/۲
رطوبت	۰/۹ - ۱
گوگرد	۶/۷ - ۱/۳
کربن	۹۲ - ۸۱

مطالعات گسترده‌ای در مورد زهاب‌های اسیدی حاصل از فعالیت‌های معدنی ذغال‌سنگ و فرآوری آن، توسط دولتی ارده‌جانی (۲۰۰۹)، اسلامی اندارگلی و مشرفی (۱۳۸۷) صورت گرفته است [۱۲] و [۱۳]. از جمله مطالعات صورت گرفته در مورد زهاب‌های قلیایی، می‌توان به مطالعات شهاب‌پور و همکاران (۲۰۰۵) بر روی زهاب‌های قلیایی خروجی از تونل‌های استخراجی میدان ذغالی کرمان، رحیمی و همکاران (۱۳۸۷) در مجموعه‌ی معدنی طزره، دهرآزما و همکاران (۱۳۸۷) در معدن ذغال‌سنگ تاشکوه، پوملی و همکاران (۱۹۹۸) و واتن و همکاران (۲۰۰۵) اشاره نمود [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷] و [۱۸].

همزمان با پمپاژ آب زیرزمینی از تونل‌های استخراجی، مواد و عناصر موجود در لایه‌های ذغالی و سنگ‌های در برگیرنده آن‌ها که در این آب حل شده اند، به سطح زمین راه یافته و با آزاد سازی عناصر محلول در خود، آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد می‌کنند [۱۹]. به دلیل وجود ترکیبات سولفات (به‌ویژه پیریت و مارکازیت) در توالی‌های ذغالی، این زهاب‌ها عموماً اسیدی بوده و علاوه بر تونل‌های استخراجی، در اثر شستشوی دمپ-های باطله نیز تولید می‌شوند و با فراوانی فلزات سنگینی از

۳۰۰ متر مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر، آبی که در هسته کوهستان حدود ۳۰ متر بالاتر از سطح زمین قرار داشته است اکنون (پس از گذشت ۳۰ سال) به علت حفر اکلون‌های استخراج در ۲۷۰ متری پایین تر از سطح زمین قرار گرفته و تمامی چشمه‌های اطراف را خشک نموده [۲۷]، سطح آب در چاه‌های اطراف را پایین انداخته و در نتیجه، کشاورزی را در مناطق پایین دست (در روستای طزره و زمین‌های اطراف آن) با مشکل مواجه کرده است.

۳- نمونه برداری

جهت بررسی دقیق تغییرات عناصر مورد بررسی در منابع آبی منطقه، علاوه بر نمونه‌برداری از ذغال‌سنگ تونل‌های استخراجی و باطله‌های همراه با آن (باطله‌های ذغال و باطله‌های سینه کار)، نمونه برداری از زهاب خروجی تونل و رسوبات مرتبط با آنها به همراه منابع آب زیرزمینی منطقه (بالا دست و پایین دست معدن کاری) صورت گرفت (جدول شماره ۲ و شکل شماره ۲).

۴- مواد و روش‌ها

جهت تعیین کیفیت و بررسی پارامترهای مورد نظر، اندازه گیری‌هایی به شرح زیر صورت گرفته است:

اندازه گیری pH

pH نمونه‌های مایع توسط دستگاه pH متر (Jenway، مدل ۳۵۱۰) اندازه گیری گردید. pH نمونه‌های جامد پس از همگن شدن، پودر شدن و عبور از الک مش ۶۰، با استفاده از روش استاندارد EPA sw-846 METHOD 9045 و با کمک دستگاه pH متر (Jenway مدل ۳۵۱۰) اندازه‌گیری گردید.

اندازه گیری EC

EC نمونه‌های مایع توسط دستگاه EC متر (مدل jenway) اندازه گیری شد.

اندازه گیری درصد مواد آلی

جهت اندازه‌گیری مقدار مواد آلی در خاک، ۵ گرم از نمونه وزن شده به مدت ۱۲ ساعت در داخل کوره (با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد سپس نمونه‌ها دوباره وزن شدند. تفاضل وزن نمونه قبل و بعد از ورود به کوره، مقدار مواد آلی نمونه را مشخص می‌کند (Standard Methods 209f, APH,) (1995).

قبیل Cu, Mn, Fe, Pb, Hg و ... مشخص می‌شوند [۲۰]. در بسیاری از مواقع، این زهاب‌ها توسط عوامل خنثی ساز طبیعی از قبیل آهک و دولومیت، قبل و یا بعد از خروج از تونل، خنثی شده و ضمن بالا رفتن pH آن‌ها، یون‌های فلزی‌شان نیز ناپایدار شده و رسوب می‌کنند. البته این خنثی سازی تأثیری بر میزان یون سولفات محلول موجود در آب ندارد [۲۱] و [۲۲].

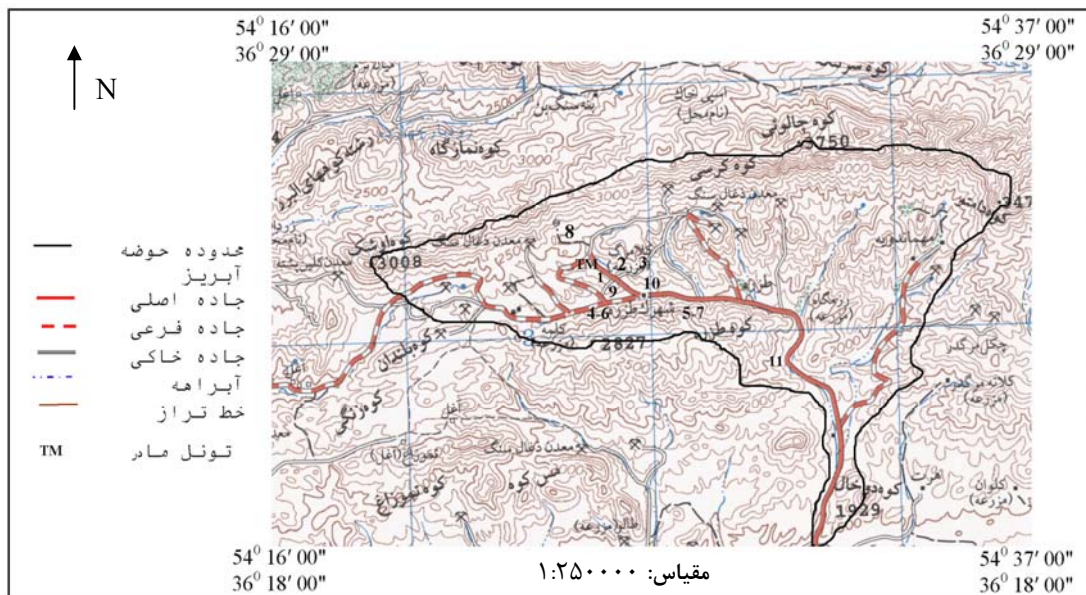
در این تحقیق، با اندازه‌گیری عناصر As, Cu, Fe, Hg, Sb, Pb, S, Zn, Sr و Se در باطله‌ها و لایه‌های ذغال‌سنگ‌های استخراجی مجموعه معدنی طزره، علاوه بر بدست آوردن فاکتور غنی‌شدگی آنها، تأثیرات معدن کاری ذغال‌سنگ طزره بر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه و غلظت عناصر فوق در این مناطق بررسی شده و وسعت این تأثیر نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی مجموعه معدنی طزره است که تحت نام "تونل مادر" شناخته می‌شود که در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شاهرود و ۴۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان دامغان، بین طول‌های جغرافیایی ۴۸° و ۱۸° و ۵۴° و ۴۵° و ۳۰° و ۵۴° و عرض‌های جغرافیایی ۲۲° و ۳۶° تا ۵۰° و ۲۵° و ۳۶° به مساحت ۷۰ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل شماره ۱). سابقه معدن کاری منطقه به ۳۰ سال و میزان استخراج روزانه ذغال‌سنگ به ۲۰۰۰ تن در روز می‌رسد. نقطه مرکزی مجموعه "تونل مادر" با گمانه اکتشافی که با جغرافیایی طول ۳۰° و ۲۵° و ۵۴° و عرض جغرافیایی ۲۵° و ۲۵° حفر شده است، مشخص است [۲۳]. منطقه مورد بررسی، بخشی از حوضه آبریزی است که توسط سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای و لار احاطه شده است و از همین سازندها نیز تغذیه می‌شود. از آنجایی که در منطقه، به جز در شرایط طوفانی و بارانی شدید، رواناب وجود ندارد، کیفیت منابع آب زیر زمینی آن بررسی می‌شود. جهت حرکت آب زیر زمینی از جهت زهکشی سطحی حوضه تبعیت نموده و حدوداً شمال شرق - جنوب - غرب تا شمالی - جنوبی می‌باشد. حدود تغییرات ضریب نفوذ پذیری در بخش اعظم حوضه (رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه ای) از ۵ تا ۱۰۰ متر بر روز متغیر است [۲۵]. با این‌که میزان بارندگی در این حوضه از ۳۰۰ میلی‌متر در سال تجاوز نمی‌کند یکی از پر بارانترین نقاط استان سمنان محسوب می‌شود [۲۶]. سطح آب زیر زمینی و کیفیت آن قبل از معدن کاری و بعد از آن و حتی همگام با توسعه این معدن، تغییرات بسیار زیادی یافته است. شدیدترین میزان این تغییرات، در محدوده تونل مادر در سازند شمشک در حدود

جدول ۲: شماره، نوع، محل و ویژگی‌های نمونه‌های برداشت شده

شماره نمونه	نوع	محل / توضیحات	موقعیت جغرافیایی	
			طول	عرض
۱	ذغال سنگ	لایه‌های تونل مادر	۲۶۸۸۵۵	۴۰۳۲۱۴۵
۲	باطله ذغال	ناخالصی‌های سیلیکاتی همراه با ذغال سنگ	۲۶۸۸۷۳	۴۰۳۲۱۱۴
۳	باطله سینه کار	ناخالصی‌ها و لایه‌های رسوبی بالا و پایین ذغال سنگ	۲۶۸۹۸۴	۴۰۳۱۷۹۹
۴	رسوب	محل تخلیه زهاب تونل به سطح زمین	۲۶۸۸۴۷	۴۰۳۲۰۸۰
۵	رسوب	محل ناپدید شدن و نفوذ زهاب تونل به داخل زمین	۲۶۹۴۶۵	۴۰۳۱۴۰۶
۶	زهاب خروجی تونل	محل تخلیه زهاب تونل به سطح زمین	۲۶۸۸۴۷	۴۰۳۲۰۸۰
۷	زهاب خروجی تونل	محل ناپدید شدن و نفوذ زهاب تونل به داخل زمین	۲۶۹۴۶۵	۴۰۳۱۴۰۶
۸	آب زیرزمینی	بالادست معدن کاری	۲۶۷۶۱۶	۴۰۳۳۵۱۸
۹	آب زیرزمینی	مجاور با دهانه تونل استخراج	۲۶۸۸۵۱	۴۰۳۲۰۱۲
۱۰	آب زیرزمینی	با فاصله ۳۰۰ متری از دهانه تونل مادر و مقابل دمپ باطله	۲۶۹۴۴۲	۴۰۳۱۳۲۸
۱۱	آب زیرزمینی	پایین دست معدن کاری و با فاصله ۷ کیلومتری از دهانه تونل مادر	۲۷۷۱۰۹	۴۰۲۷۳۸۱



شکل ۲: حوضه آبریز و موقعیت نمونه‌های آب و خاک برداشت شده از منطقه مورد مطالعه [۲۸]

تعیین غلظت عناصر سنگین

شاخصی تحت عنوان "فاکتور غنی شدگی" (رابطه شماره ۱) به

شرح زیر استفاده می‌شود؛

$$EF = \frac{c_1 Me^{+n}}{c_{1n}} / \frac{c_2 Me^{+n}}{c_{2n}} \quad (1)$$

که در آن:

EF: فاکتور غنی شدگی،

$c_1 Me^{+n}$: غلظت عنصر در محیط رسوبی مورد بررسی

c_{1n} : غلظت عنصر مبنا در محیط رسوبی،

$c_2 Me^{+n}$: غلظت عنصر مورد بررسی در یک محیط مبنا،

c_{2n} : غلظت عنصر مبنا در محیط مبنا است.

نمونه‌های آب و خاک برداشت شده توسط شرکت طیف

کانساران بینالود مشهد به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال شد و

در این آزمایشگاه به روش ICP مورد آنالیز قرار گرفتند.

فراوانی عناصر سنگین در جدول شماره ۳ و pH، EC و درصد

مواد آلی نمونه‌ها در جدول شماره ۴ آورده شده است.

تعیین فاکتور غنی شدگی

جهت بررسی دقیق‌تر تمرکز و تعیین میزان فراوانی عناصر از

جدول ۳: فراوانی عناصر سنگین در نمونه‌های مورد بررسی بر اساس جدول شماره ۲

نمونه عناصر	غلظت (ppb)					غلظت (ppm)					
	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
Cu	۳/۷	۳/۸	۱/۱	۱	۱/۳	۳/۱	۳۱/۹	۷۲/۲	۳۷/۱	۵۵/۷	۴۲/۳
Pb	—	—	—	—	—	—	۳۸/۳	۱۸۶/۷	۲۲/۸	۲۴/۵	۳۴/۵
Zn	۲/۵	۱	۰/۶	—	۲۳/۶	—	۷۲	۱۱۲	۹۰	۴۴	۲۹
Fe	—	۲۸	—	—	—	—	۲۶۰۰۰	۳۱۸۰۰	۲۴۳۰۰	۱۳۰۰۰	۲۱۰۰
As	۱/۵	۰/۹	۵/۴	۰/۷	۰/۹	—	۶/۴	۹	۷/۳	۱/۴	۱/۱
Sb	۳/۸۴	۳/۷۴	۲/۹۶	۳/۴	۰/۰۸	—	۰/۴	۲/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳
Hg	—	—	—	—	—	—	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۷
Sr	۸۵۰۵	۶۵۱۰	۱۴۷۶	۲۰۱۸	۱۰۴۰	۲۵۰۶	۱۳۵	۶۰	۲۱	۲۳	۲۳۵
Se	۳	۲/۲	۱/۹	۱/۶	۱	—	۰/۶	—	—	—	۰/۸
S	۴۳۰۰۰۰	۱۷۱۰۰۰	۸۷۰۰۰	۴۶۰۰۰	۲۸۵۰۰۰	۵۶۸۰۰۰	۱۰۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	—	—

جدول ۴: مقادیر pH، EC و OM (مواد آلی) در نمونه‌های مورد بررسی بر اساس جدول شماره ۲

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
pH	۸/۳۸	۸/۷۷	۸/۶۵	۸/۲۴	۸/۷۹	۷/۱۶	۷/۸۶	۷/۷۴	۷/۸۹	۷/۳۵	۶/۷۹
EC (μ S/cm)	—	—	—	—	—	۳۰۸۰	۲۱۰۰	۷۷۵	۱۲۳۱	۱۶۶۲	۲۱۲۰
OM (%)	۶۲/۷۴	۱۱/۸۷	۱۲/۷۸	۸/۲۴	۷/۷۹	—	—	—	—	—	—

عوامل ایجاد آلودگی و آزاد سازی فلزات سنگین در معدن کاری ذغال هستند، ابتدا به مطالعه میزان عناصر موجود در آن‌ها پرداخته شده است. غلظت عناصر به همراه فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مورد بررسی در این نمونه‌ها در جدول شماره ۶ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، عناصر مزبور از فاکتورهای غنی‌شدگی بسیار بالایی (خیلی شدید تا بی‌نهایت) در ذغال سنگ منطقه برخوردارند. سلنیوم با فاکتور غنی‌شدگی ۴۶۸/۴، بیشترین شدت غنی‌شدگی را به خود اختصاص داده است. سرب، جیوه، آنتیموان و مس به ترتیب با فاکتورهای غنی‌شدگی ۷۷/۰۱، ۶۱/۹۵، ۴۴/۶۴ و ۲۲/۵۵، بیشترین شدت غنی‌شدگی را (پس از سلنیوم) نشان می‌دهند. با توجه به درصد بالای ماده آلی (حدود ۶۲٪) و وجود کانی‌های رسی در ذغال سنگ، نقش این مواد در جذب عناصر مشخص می‌شود. خاصیت جذب عناصر As، Mn، Be، Ba، Co، V، Sr و به وسیله ماده آلی و عناصر Cr، Mo، Se، Pb، Sb، V، Al و P توسط کانی‌های رسی تایید شده است [۵] و [۷]. به طور کلی باطله‌های ذغال و سینه‌کار، غنی‌شدگی‌های بسیار کمتری نسبت به ذغال سنگ منطقه نشان داده‌اند. این مطلب

عناصر مینا معمولاً Al و محیط مینا نیز پوسته زمین در نظر گرفته می‌شوند [۲۹]. با استفاده از فاکتور شدت غنی‌شدگی خاک یا رسوب به یک عنصر، می‌توان آن را در یکی از ۶ گروه جای داد. این گروه‌ها در جدول شماره ۵ آورده شده‌اند [۲۹].

جدول ۵: بررسی شدت غنی‌شدگی رسوبات [۲۹]

شدت غنی‌شدگی رسوبات	EF ^۱
بدون غنی‌شدگی	۱ >
غنی‌شدگی اندک	۳ >
غنی‌شدگی متوسط	۳-۵
غنی‌شدگی نسبتاً شدید	۵-۱۰
غنی‌شدگی شدید	۱۰-۲۵
غنی‌شدگی خیلی شدید	۲۵-۵۰
غنی‌شدگی بینهایت شدید	۵۰ <

۵- بحث و بررسی

۱-۱- غلظت عناصر در ذغال سنگ و باطله‌ها

از آنجا که ذغال سنگ و باطله‌های همراه با آن از مهم‌ترین

با توجه به این که ارتباط آرسنیک با محتوای پیریتی نمونه‌ها در تحقیقات بسیاری به اثبات رسیده است [۴]، در صورتی که بالا بودن Fe و S باطله سینه‌کار به کانی پیریت نسبت داده شود، فراوانی As در این نمونه را نیز می‌توان به محتوای پیریتی آن نسبت داد.

۵-۲- کیفیت زهاب خروجی تونل

زهاب‌های خروجی از تونل‌های استخراجی به دلیل شستشوی توالی‌های ذغالی و همچنین انحلال عناصر (زیر سطح ایستایی) موجود در واحدهای رسوبی، عمدتاً حاوی غلظت بالایی از عناصر و یون‌ها بوده و معمولاً جزء منابع آلاینده طبیعی محسوب می‌شوند [۱۹]. در حالی که در منطقه مورد مطالعه، پمپاژ روزانه آب از تونل‌های استخراجی، کم بودن زمان لازم جهت انحلال عناصر سنگین و بالا بودن بیش از حد pH آب (۷/۶) به دلیل حل شدن کانی‌های کربناته (HCO_3^- برابر 560 ppm منجر به تولید NAMD (Natural Alkaline Mine Drainage) نموده و باعث کاهش غلظت عناصر سنگین در زهاب خروجی تونل می‌شوند. مقادیر کمتر از حد اندازه‌گیری دستگاه برای عناصر Zn, Pb, As, Sb, Hg و Se این مطلب را تایید می‌کنند (جدول شماره ۳). البته افزایش pH تأثیری در انحلال یون سولفات ندارد، به طوری که غلظت این یون در زهاب خروجی تونل، ۱۶۰۰ ppm اندازه‌گیری شده است.

جهت درک بهتر تغییرات عناصر در آب‌های ابتدا و انتهای زهاب‌های خروجی تونل (نمونه‌های شماره ۶ و ۷) با رسوبات همجوار آنها و تحلیل صحیح تر رفتار ژئوشیمیایی عناصر، همزمان با برداشت نمونه‌های آب تونل در لحظه تخلیه به سطح زمین و محل نفوذ کامل آب به داخل زمین (محل ناپدید شدن)، از کف همان محل‌ها، نمونه‌های رسوبی به ترتیب با شماره‌های ۴ و ۵ برداشت گردید. شکل ۳ و ۴ تغییرات عناصر در ابتدا و انتهای زهاب خروجی تونل مادر و رسوب این دو محل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، به دلیل تغییرات شدید ژئوشیمیایی که بر آب تونل خارج شده از لوله‌های پمپاژ، در لحظه ورود به سطح زمین اعمال می‌گردد، بسیاری از عناصری (به‌ویژه فلزات سنگین) که در محیط داخل زمین (به دلیل پتانسیل اکسیداسیون و احیای کم) به صورت محلول وجود داشته‌اند، به صورت مستقیم و یا توسط کلونیدها و کمپلکس‌های موجود در محلول، از مایع جدا شده و رسوب می‌کنند. بالاتر بودن غلظت عناصر مس، سرب، آنتیموان و گوگرد در رسوب ابتدای زهاب خروجی تونل

با توجه به کم شدن میزان ماده آلی در باطله‌ها نسبت به ذغال‌سنگ قابل توجه است. با این حال، گوگرد که میزان آن در ذغال‌سنگ منطقه کمتر از حد آشکارسازی دستگاه (حد آشکارسازی برای گوگرد ۰/۰۵٪) می‌باشد و آرسنیک که فاکتور غنی‌شدگی معادل ۱۷/۸۶ را در ذغال‌سنگ نشان داده است، به ترتیب فاکتورهای غنی‌شدگی ۳۳/۲۶ و ۳۴/۲۱ را در باطله سینه‌کار نشان می‌دهند. آهن نیز عنصر دیگری است که بیشترین فراوانی را در باطله سینه‌کار (۲۴۳۰۰ ppm) داراست (جدول شماره ۳).

جدول ۶: غلظت عناصر و فاکتورهای غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های جامد برداشت شده از منطقه (نمونه‌های شماره ۱ تا ۵)

عنصر	غلظت	شماره نمونه				
		۱	۲	۳	۴	۵
Cu	Ef	۴۲/۳	۵۵/۷	۳۷/۱	۷۲/۲	۳۱/۹
	C	۲۲/۵۵	۹/۳۴۱	۵/۷۰۹	۱۱/۹۷	۴/۸۰۹
Pb	C	۳۴/۵	۲۴/۵	۲۲/۸	۱۸۶/۷	۳۸/۳
	Ef	۷۷/۰۱	۱۷/۲۱	۱۴/۶۹	۱۲۹/۷	۲۴/۱۸
Zn	C	۲۹	۴۴	۹۰	۱۱۲	۷۲
	Ef	۱۲/۰۴	۵/۷۴۹	۱۰/۷۹	۱۴/۴۷	۸/۴۵۷
Fe	C	۲۱۰۰	۱۳۰۰۰	۲۴۳۰۰	۳۱۸۰۰	۲۶۰۰۰
	Ef	۱/۲۳	۲/۳۹۵	۴/۱۰۷	۵/۷۹۲	۴/۳۰۵
As	C	۱/۱	۱/۴	۷/۳	۹	۹/۴
	Ef	۱۷/۸۶	۷/۱۵	۳۴/۲۱	۴۵/۴۵	۲۹/۳۸
Cd	C	-	-	۰/۱	۰/۷	۰/۲
	Ef	۰	۰	۴/۲۹۶	۳۲/۴۱	۸/۴۱۸
Sb	C	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۲/۴	۰/۴
	Ef	۴۴/۶۴	۹/۳۶۳	۱۲/۸۹	۱۱۱/۱	۱۶/۸۴
Hg	C	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲	۰/۳۹	۰/۰۸
	Ef	۶۱/۹۵	۲۰/۶۴	۲۱/۰۴	۴۴/۲۲	۸/۲۴۶
Sr	C	۲۳۵	۲۳	۲۱	۶۰	۱۳۵
	Ef	۱۸/۲۵	۰/۵۶۲	۰/۴۷۱	۱/۴۴۹	۲/۹۶۴
Se	C	۰/۸	-	-	-	۰/۶
	Ef	۴۶۸/۴	۰	۰	۰	۹۹/۳۵
Ba	C	۹۲	۸۶	۵۰	۹۵	۵۰
	Ef	۶/۳۱۹	۱/۸۵۸	۰/۹۹۱	۲/۰۳	۱/۵۵۴
S	C	-	-	-	۲۲۰۰	۱۰۰۰
	Ef	۰	۰	۳۳/۲۶	۳۹/۴۳	۱۶/۲۹

در حدفاصل pHهای خنثی تا کمی قلیایی (۷/۵ - ۷)، در pH برابر ۷/۶ بوده و با افزایش تنها ۰/۲ واحد pH، حلالیت آن بیست برابر افزایش می‌یابد و در نتیجه با عمل واجذب و ورود مجدد روی از رسوب به زهاب، مقدار آن در محل ناپدید شدن زهاب تونل افزایش می‌یابد.

۵-۳- همبستگی عناصر

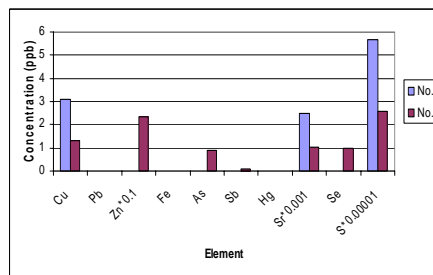
جهت بررسی مشابهت رفتار عناصر و تعیین ارتباط فراوانی و حلالیت آنها با pH و EC آب‌های خروجی تونل (نمونه های ۶ و ۷) و آب زیرزمینی منطقه (نمونه های ۸ تا ۱۱)، همبستگی آنها با یکدیگر تعیین و نتایج حاصل در جدول شماره ۷ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد تقریباً تمامی عناصر (به‌جز روی، آرسنیک و جیوه) همبستگی منفی با pH نشان می‌دهند. علت آن این است که هم‌زمان با بالا رفتن pH، همراه با کاهش حلالیت عناصر [۱۴]، غلظت آنها نیز در محلول کاهش می‌یابد.

مس همبستگی قابل توجهی را با عناصر آنتیموان و گوگرد (۰/۵۳۹ و ۰/۶۳۰) نشان داده و همبستگی بالایی نیز بین آهن و سرب (۰/۹۲۹) و بین روی و جیوه (۰/۹۸۰) مشاهده می‌شود. دلیل این موضوع مشابهت‌های ژئوشیمیایی این عناصر با یکدیگر است. با این‌که بسیاری از عناصر مورد بررسی دارای پتانسیل یونی نزدیک به هم بوده و انتظار می‌رود همبستگی‌های مثبتی نیز با هم نشان دهند، به دلیل تفاوت‌هایی که در میزان حلالیت، شعاع آبیوشی، میزان مواد کلئیدی موجود در فاز مایع جذب یون‌ها، تمایل یون‌ها به جذب سطحی شدن و وجود ظرفیت‌های مختلف از یک کاتیون در محلول وجود دارد [۳۳]، همبستگی منفی بین بسیاری از عناصر موجود در فاز مایع منطقه مشاهده گردد (جدول شماره ۷)؛ با این حال، همبستگی‌های مثبتی بین گوگرد و مس (۰/۶۳۰) و بین گوگرد و آرسنیک (۰/۴۸۰) وجود دارد که آن را می‌توان به تمایل بیشتر کمپلکس‌های سولفات در نگهداری و حمل این یون‌ها نسبت داد.

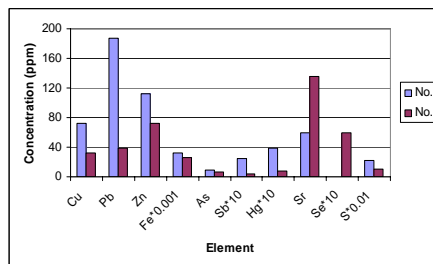
۵-۴- گسترش غلظت عناصر در منابع آب زیرزمینی منطقه

به منظور بررسی تاثیر فعالیت‌های معدن‌کاری بر منابع آبی منطقه، نمونه‌هایی از آب زیرزمینی (جدول شماره ۲) تهیه شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. روند تغییرات گوگرد و استرانسیم (به دلیل بالا بودن غلظت و افزایش چشمگیر آنها در آب زیرزمینی پایین دست) با استفاده از نرم افزار Surfer و تغییرات سایر عناصر به کمک نرم افزار Excel ترسیم شده است (شکل های شماره ۵ تا ۱۱).

نسبت به رسوب انتهای زهاب خروجی (به ترتیب ۲/۴، ۴/۹، ۶ و ۲/۲ برابر) این مطلب را توجیه کند. کاهش چشمگیری که در میزان فراوانی عناصر، در آب خروجی تونل مادر (نمونه ۶) نسبت به محل ناپدید شدن آن (نمونه ۷) برای عناصری همچون مس (۲/۴ برابر)، استرانسیم (۲/۴ برابر) و گوگرد (۲/۲ برابر) مشاهده می‌گردد، دلیل رسوبگذاری عناصر طی حرکت در سطح زمین است (شکل ۴).



شکل ۳: تغییرات غلظت عناصر در محل‌های خروج و محل‌های ناپدید شدن زهاب خروجی تونل (نمونه های ۶ و ۷).



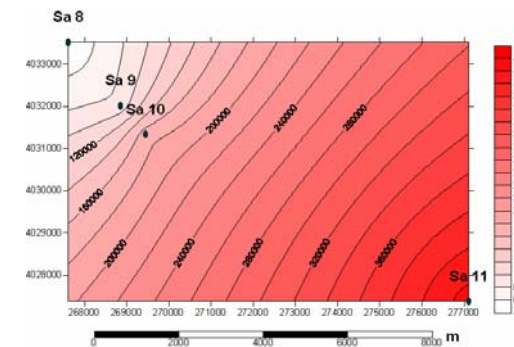
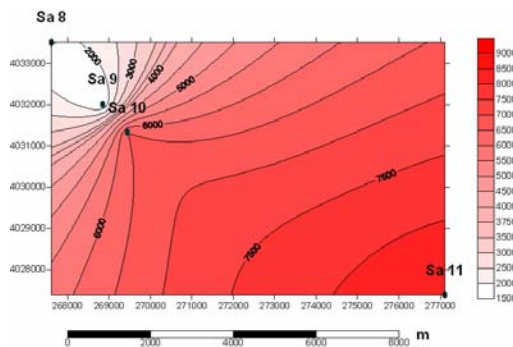
شکل ۴: تغییرات غلظت عناصر در رسوب محل‌های خروج و ناپدید شدن زهاب خروجی تونل (نمونه های ۴ و ۵).

تغییرات pH و ته‌نشینی عوامل منتقل کننده یون‌ها، همانند کمپلکس‌های سولفات، کمپلکس‌های هیدروکسیدی و کربناته فلزات، از جمله عوامل کاهش دهنده غلظت عناصر محلول در آب هستند [۱۷]. اسمیت و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۹۳) اظهار کردند که جذب فلزات سنگین و عناصر جزئی به وسیله ذرات موجود در آب که عموماً کمپلکس‌های اکسیدهای آهن و آلومینیوم آبدار هستند، کنترل می‌شود [۳۰] و [۳۱]. اسمیت (۱۹۹۹) همچنین جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر روی کانی‌های اکسیدی (آبدار) را عمدتاً وابسته به pH می‌داند، به طوری که با افزایش pH، جذب کاتیون‌ها افزایش (تشکیل رسوب) و جذب آنیون‌ها کاهش می‌یابد [۳۲].

افزایش ناگهانی مقدار روی در زهاب خروجی تونل در محل ناپدید شدن آن نسبت به محل تخلیه ی زهاب به سطح زمین را می‌توان به افزایش pH این دو محل از ۷/۶ (محل تخلیه) به ۷/۸ (محل ناپدید شدن) مربوط دانست. کمترین حلالیت روی

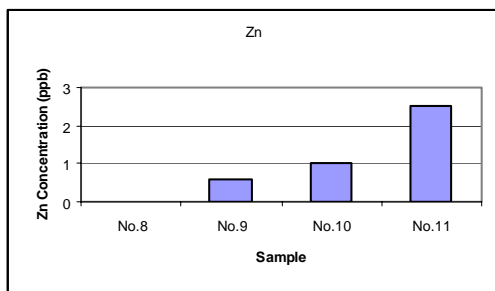
جدول ۷: همبستگی عناصر در نمونه‌های آب تهیه شده از منطقه (نمونه‌های ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱)

EC	pH	S	Se	Sr	Hg	Sb	As	Fe	Zn	Pb	Cu	
											۱	Cu
										۱	-۰/۳۹۶	Pb
									۱	-۰/۰۰۶	-۰/۴۳۷	Zn
								۱	-۰/۰۸۵	۰/۹۲۹۱	-۰/۲۸۴	Fe
							۱	-۰/۱۷۳	-۰/۲۵۴	-۰/۰۶۸	۰/۱۱۷۱	As
						۱	۰/۴۹۵	-۰/۲۴۸	-۰/۵۲۶	-۰/۲۴۸	۰/۵۳۹۶	Sb
					۱	-۰/۵۴۴	-۰/۲۷۹	-۰/۲۲۸	۰/۹۸۰۹	-۰/۱۷۶	-۰/۴۲۵	Hg
				۱	-۰/۲۳۱	۰/۳۷۰۳	-۰/۰۱۴	-۰/۲۷۰	-۰/۱۸۱	-۰/۱۳	۰/۳۹۸	Sr
			۱	۰/۴۷۸۸	-۰/۱۶۸	۰/۸۴۰۱	۰/۴۸۰۲	۰/۰۲۳۷	-۰/۰۷۹	-۰/۰۳۲	۰/۳۶۴۹	Se
		۱	۰/۳۷۰۱	۰/۰۹۹۶	-۰/۱۹۶	۰/۳۰۵۶	۰/۴۸۰۲	-۰/۱۲۴	-۰/۱۴۳	-۰/۰۵۲	۰/۶۳۰۷	S
	۱	-۰/۰۰۵	-۰/۵۳۹	-۰/۸۰۷	۰/۴۱۰۵	-۰/۵۲۱	۰/۲۵۹۳	-۰/۱۲۲	۰/۳۳۷	-۰/۰۶۲	-۰/۵۴۳	PH
۱	-۰/۱۰۳	۰/۳۱۴۴	-۰/۳۹۸	۰/۲۶۹۴	۰/۰۶۳۴	-۰/۳۰۹	-۰/۲۷۸	-۰/۵۴۸	-۰/۰۱۱	-۰/۴۶۸	۰/۵۶۲	EC

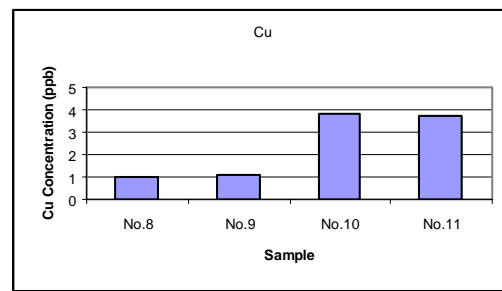


شکل ۶: روند تغییرات Sr در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۱۰: مجاور دمپ باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)

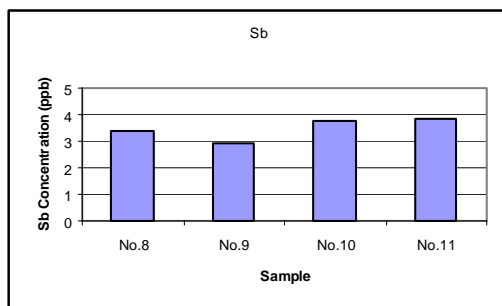
شکل ۵: روند تغییرات S در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۱۰: مجاور دمپ باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)



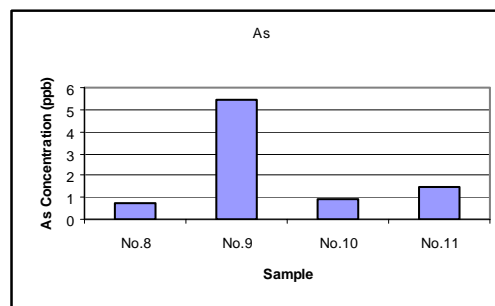
شکل ۸: روند تغییرات Zn در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۱۰: مجاور دمپ باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)



شکل ۷: روند تغییرات Cu در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۱۰: مجاور دمپ و باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)



شکل ۱۰: روند تغییرات Sb در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۸: بالادست معدن کاری، نمونه ۹: مجاور با دهانه تونل مادر، نمونه ۱۰: مجاور دمپ باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)



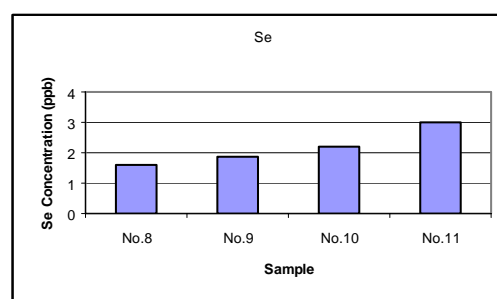
شکل ۹: روند تغییرات As در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۸: بالادست معدن کاری، نمونه ۹: مجاور با دهانه تونل مادر، نمونه ۱۰: مجاور دمپ باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)

تشکیل کمپلکس‌های سولفات محلول، علاوه بر اینکه در آب به صورت پایدار باقی می‌ماند و عناصری از قبیل مس و آرسنیک را در فضاهای خالی خود محصور می‌کند، با کاهش pH آب، شرایط انحلال بسیاری از عناصر را نیز فراهم می‌نماید. بنابراین، برآورد می‌شود با ادامه روند معدن کاری به صورت کنونی، شاهد افزایش بسیار زیاد غلظت فلزات سنگین در مناطق پایین دست معدن کاری باشیم. چون نمونه شماره ۱۱ یکی از منابع آب شرب (دامی و انسانی) منطقه محسوب می‌شود، افزایش غلظت عناصر در آن و آلودگی حاصله می‌تواند بسیار خطرناک و جبران ناپذیر باشد.

۶- نتیجه گیری

با توجه به قدمت زیاد و حجم بالای استخراج از معدن ذغال- سنگ طزره و اثرات سوء این نوع معدن کاری در آلودگی محیط زیست (خاک و آب)، در این تحقیق به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و تغییر غلظت عناصر (از جمله فلزات سنگین) در منطقه در اثر معدن کاری پرداخته شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که سلنیوم با فاکتور غنی شدگی ۴/۴۶۸ و عناصر سرب، جیوه، آنتیموان و مس با فاکتورهای غنی شدگی به ترتیب: ۰/۲۷۷؛ ۹/۶۱؛ ۶/۴۴ و ۵/۲۲ با بیشترین میزان غنی شدگی را در ذغال سنگ منطقه دارا هستند.

بسیاری از عناصر از جمله Cu، Sb، Sr و Se همبستگی منفی (به ترتیب: ۰/۵۴۳-؛ ۰/۵۲۱-؛ ۰/۸۰۷-؛ ۰/۵۳۹-) با pH آب نشان دادند. تشابه در ویژگی‌های ژئوشیمیایی، همبستگی مثبتی را بین سرب و آهن (۰/۹۲۹)، روی و جیوه (۰/۹۸۰) و آنتیموان و سلنیوم (۰/۸۴۰) ایجاد نموده است. معدن کاری باعث افزایش غلظت عناصر در آب‌های زیرزمینی پایین دست



شکل ۱۱: روند تغییرات Se در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (نمونه ۸: بالادست معدن کاری، نمونه ۹: مجاور با دهانه تونل مادر، نمونه ۱۰: مجاور دمپ باطله، نمونه ۱۱: پایین دست معدن کاری)

همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود تقریباً تمامی عناصر (به جز سرب و آهن و جیوه که غلظت آنها کمتر از حد آشکارسازی دستگاه، یعنی ۰/۱ ppm بوده است) در آب زیرزمینی پایین دست معدن کاری (نمونه شماره ۱۱) نسبت به آب زیرزمینی بالادست معدن کاری (نمونه شماره ۸) افزایش چشمگیری را نشان می‌دهند. گوگرد با افزایش ۹/۴ برابر، بیشترین مقدار افزایش را به خود اختصاص داده است. Cu، Sr، Zn، As و Se نیز به ترتیب ۴/۲، ۳/۷، ۲/۵، ۲/۱ و ۱/۸ برابر افزایش را نسبت به آب بالادست نشان می‌دهند. دلیل افزایش این عناصر در آب زیرزمینی پایین دست را می‌توان به معدن- کاری و ورود آلاینده‌ها به محیط توسط زهاب خروجی تونل و باطله‌ها دانست. از سوی دیگر، دلیل اختلاف در میزان افزایش این عناصر در آب پایین دست را می‌توان به متفاوت بودن غلظت آن‌ها در منابع آلاینده نسبت داد. pH آب زیرزمینی پایین دست (۶/۷۸) در حدود ۱ واحد کمتر از pH آب زیرزمینی قبل از معدن کاری (۷/۷۴) شده است. گوگرد به دلیل

- [۹] رضوی ارمغانی، م.، معین السادات، ح.، (۱۳۷۲)، گزارش، "ذغالسنگ"، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، شماره ۷، ص ۲۸۶.
- [10] Goodarzi, F., Sanei, H., Stasiuk, L.D., Bagheri-Sadeghi, H., Reyes, J., 2005. "A preliminary study of mineralogy and geochemistry of four coal samples from northern Iran", International Journal of Coal Geology, 35-50.
- [11] Yazdi, M., Shirvani, A.E., 2004. "Geochemical properties of coals in the Lushan coal field of Iran", International Journal of Coal Geology, 73-79.
- [12] Doulati Ardejani F., Jodieri Shokri B., Bagheri M., Soleimani E., 2009 "Investigation of pyrite oxidation and acid mine drainage characterization associated with Razi active coal mine and coal washing waste dumps in the Azad shahr-Ramian region, northeast Iran", Environmental Earth Sciences, published online.
- [۱۳] اسلامی اندار گلی، م. ۱۳۷۸. "خواص الکترو شیمیایی کانی‌های سولفور و ارتباط این خواص با رفتار کانی‌ها در مدار فلوتاسیون". سمینار کارشناسی ارشد. دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [14] Shahabpour, J., Doorandish, M., Abbasnejad, A., 2005. "Mine-drainage water from coal mines of Kerman region", Iran. Environ Geol., 915-925.
- [۱۵] رحیمی، م؛ دهرآزما، ب؛ خدادادی، ا؛ فردوست، ف، ۱۳۸۷؛ "ارزیابی خطرات آلودگی آبهای زیرزمینی در اثر معدن-کاری ذغالسنگ"، مجموعه مقالات هشتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، صفحات ۴۷۲-۴۸۲.
- [۱۶] دهرآزما، ب؛ ابراهیمی، م؛ رحیمی، م؛ "بررسی تأثیر معدن-کاری ذغالسنگ بر آلودگی منابع آب سطحی (معدن تاشکوه شاهرود)". دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- [17] Plumlee, G.S. Smith, K.S. Montour MR, Ficklin WH, Mosier EL. 1998. "Geologic controls on the composition of natural waters draining diverse mineral deposit types". Reviews in economic geology, G(B) 373-407.
- [18] Watten, B.J., Sibrell, P.L., Schwartz, M.F., 2005. "Acid neutralization within limestone sand reactors receiving coal mine drainage". Environ. Pollut. 137. 295-304.
- [19] Mishra, V.K., Upadhyaya, A.R., Pandey, S.K., Tripathi, 2007. "Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally معدن‌کاری شده است. بیشترین افزایش مربوط به گوگرد (۹/۴ برابر) بود و استرانسیوم، مس، روی، آرسنیک و سلنیوم نیز به ترتیب افزایش ۴/۲؛ ۳/۷؛ ۲/۵؛ ۲/۱ و ۱/۸ برابری را نشان دادند. با توجه به استفاده از آب‌های زیرزمینی پایین دست معدن‌کاری برای شرب (دام و حیوان) و روند آلودگی این آب‌ها در اثر معدن‌کاری، با ادامه این نوع فعالیت‌ها، شاهد آلودگی‌ها و خطرات زیست‌محیطی گسترده‌ای در این اراضی در آینده شاهد خواهیم بود.
- ۷- تشکر و قدردانی**
- این پژوهش براساس قرارداد شماره ۱۵۲-۸۸-۱ مورخ ۸۸/۸/۴ مابین شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان و دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفته است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از نهادهای مذکور به جهت حمایت‌های مالی و پشتیبانی فنی و پرسنلی تشکر و قدردانی نمایند.
- منابع**
- [1] Spears, D.A., Zheng, Y., 1999. "Geochemistry and origin of elements in some UK coals". International Journal of Coal Geology 38, 161-179.
- [2] Goodarzi, F., 1988. "Elemental distribution in coal seams at the Fording coal mine". British Columbia, Canada, Chemical Geology 68, 129-154.
- [3] Finkelman, R.B., 1983. "Modes of occurrence of trace elements in coal". U.S. Geological Survey Open-File Report 322, 81-99.
- [4] Dai, S.F., Chou, C.L., Yue, M., Luo, K.L., Ren, D.Y., 2005. "Mineralogy and geochemistry of a late Permian coal in the Dafang coalfield, Guizhou, China: influence from siliceous and iron-rich calcic hydrothermal fluids". International Journal of Coal Geology 61, 241-258.
- [5] Song, D., Qin, Y., Zhang, J., Wang, W., Zheng, C.H., 2007. "Concentration and distribution of trace elements in some coals from Northern China". International Journal of Coal Geology 69, 179-191.
- [6] Zhang, J.Y., Ren, D.Y., Zheng, C.G., Zeng, R.S., Chou, C., Liu, J., 2002. "Trace element abundances in major mineral of Late Permian coals from southwestern Guizhou Province, China". International Journal of Coal Geology 53, 55-64.
- [7] Eskenazy G.M., Stefano Y.S., 2007. "Trace element in the Goze Delchev coal deposit", Bulgaria. International journal of coal Geology 72, 257-267.
- [۸] زاده کبیر، ا.، (۱۳۷۰)، گزارش، "طرح مطالعات تأمین ذغال-سنگ طرح توسعه فولاد"، شرکت ملی فولاد ایران.

- [۲۷] استان سمنان در آیینیه آمار، ۱۳۸۶؛ دفتر آمار و اطلاعات. استاننداری سمنان، معاونت برنامه ریزی.
- [۲۸] نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان، ۱۳۸۲؛ سری K551. برگه 40-13.Nj. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- [29] Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., Dong, C.D., 2007. "Distribution and accumulation of heavy metal in the sediments of Kaohsiung". *Cheemospher* 66, 1431-1440.
- [30] Smith, K.S., Ficklin, W.H., Plumlee, G.S., Meier, A.L., 1992. "Metal and arsenic partitioning between water and suspended sediment at mine-drainage sites in diverse geologic settings". proceedings, 7th international water-rock interaction conference, Park City, 443-447.
- [31] Smith, K.S., Ficklin, W.H., Plumlee, G.S., Meier, A.L., 1993. "Computer simulation of the influence of suspended iron-rich particulates on trace metal-removal from mine drainage water". proceedings, mined land reclamation symposium, Billings, Mont, 107-115.
- [32] Smith, K.S., 1999. "Sorption of trace element by earth materials: an overview with examples relating to mineral deposits". Society of economic geologists, reviews in economic geology 6A, 161-182.
- [۲۳] اوستان، ش.، ۱۳۸۳، ترجمه، "شیمی خاک (با نگرش زیست محیطی)"، دانشگاه تبریز، ص ۲۳۱، ۲۳۴، ۲۵۲.
- occurring aquatic macrophytes". *Bioresource Technology*, Article in Press.
- [20] Laus, R., Geremias, R., Vasconcelos, H.L., Laranjeira, M.C.M., Favere. 2007. "Reduction of acidity and removal of metal ions from coal mining effluent using chitosan microspheres", *Journal of Hazardous Materials*, Article in Press.
- [21] Arthur, W., Rose., Charles, A., Cravotta, P., 1999. "Geochemisry of coal mine drainage". Department of Geoscience, Penn State univ., University park, PA, 1680.
- [22] Butler, L., Grimes, S., Rickard, D., 2000. "Pyrite formation in anoxic chemostatic, Reaction system. Department of earth sciences", Cardiff university, Park plase Cardiff, CF10 3YE, UK.
- [۲۳] شرکت ذغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۵۹؛ اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات. جلد ۲. آرشیو بخش اکتشافات.
- [24] اطلس کامل گیتا شناسی، ۱۳۸۰؛ موسسه جغرافیایی و کارتو گرافی. انتشارات امیر.
- [۲۵] اداره امور آب شهرستان دامغان، ۱۳۷۷. گزارش نمونه برداری کیفی آب های شهرستان دامغان.
- [۲۶] سالنامه آماری استان سمنان، ۱۳۸۶؛ دفتر آمار و اطلاعات- گروه استخراج و پردازش داده های آماری. استاننداری سمنان، معاونت برنامه ریزی.

پی نوشت

¹ Enrichment Factor

