

مطالعه‌ی هیدروژئوشیمی برخی عناصر سمی در پساب کارخانه‌ی زغالشویی زرنده و روش‌های پاکسازی آن

ممد علی ممزه*^۱ و امیررضا زریسفی^۲

(۱) مرکز ملی اقیانوس‌شناسی ایران، Hamzeh@inio.ac.ir

(۲) دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنده، Zarisfi@hotmail.com

(* عهده‌دار مکاتبات)

دریافت: ۸۹/۲/۶؛ دریافت اصلاح شده: ۸۹/۶/۷؛ پذیرش: ۸۹/۷/۱؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۳/۹

هکیده

در تحقیق انجام شده، تغییرات غلظت و میزان تحرک برخی عناصر سمی در پساب کارخانه‌ی زغالشویی زرنده جهت تعیین میزان آلودگی به‌وسیله‌ی این کارخانه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها در ماه‌های خرداد، آبان، دی و بهمن از آب ورودی به کارخانه، آب خروجی و حوضچه‌ی اکبرآباد که محل تجمع پساب می‌باشد، جمع‌آوری گردید و به‌وسیله‌ی دستگاه جذب اتمی شعله‌ای، غلظت عناصر نقره، بور، کادمیوم، کبالت، کروم، آهن، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی در آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده، حاکی از آن است که غلظت عناصر کروم، منگنز و نیکل در پساب کارخانه‌ی زغالشویی و در حوضچه‌ی اکبرآباد افزایش زیادی داشته است که بیانگر ورود آلودگی‌های ناشی از کارخانه‌ی زغالشویی می‌باشد. میزان غلظت عناصر در حوضچه، نسبتاً کمتر از غلظت آن‌ها در آب خروجی از کارخانه است که دلیل آن جذب این عناصر توسط زغال، هیدروکسیدهای آهن و منگنز، کانی‌های رسی و جلبک‌های موجود در حوضچه‌ی آب می‌باشد. غلظت تمامی این عناصر در ماه‌های گرم سال مانند خرداد ماه، بیش از اوقات سردتر سال می‌باشد که دلیل این امر، افزایش درجه حرارت و در نتیجه افزایش انحلال‌پذیری عناصر، کاهش pH آب در اثر کاهش انحلال‌پذیری کربنات‌ها و سولفات‌های کلسیم و منیزیم، افزایش میزان تبخیر و کاهش بارندگی و رواناب سطحی ورودی به حوضچه می‌باشد. همچنین مشخص گردید، غلظت اکثر عناصر در آب حوضچه بیش از غلظت مجاز برای استفاده در کشاورزی می‌باشد که با اعمال روش‌های صحیح پاکسازی مانند افزایش pH، هوادهی و استفاده از کلونیدها می‌توان آن را تا حد قابل قبولی تصفیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، پاکسازی، زرنده، زغالشویی، عناصر سمی.

۱- مقدمه

در کنار تمام این مزایا، بسیاری زغال‌سنگ را کثیف‌ترین سوخت می‌دانند، زیرا در تمام موارد از معدن‌کاری تا فرآوری و مصرف، مسائل زیست‌محیطی بسیاری را به دنبال دارد. مسائل مربوط به پسماندهای معادن متروک از جمله زهاب اسیدی معادن (Acid Mine Drainage) AMD و آلودگی‌های مربوط به فرآوری زغال‌سنگ از قبیل پساب مربوط به زغالشویی و آلودگی هوا از طریق ذرات ریز معلق و گازهای دیگر و آلودگی هوا به‌واسطه‌ی نیروگاه‌ها از آن جمله است (Merian et al. 2004).

اساساً تحرک عناصر کمیاب سمی با کاهش Eh و ایجاد شرایط احیایی کاهش می‌یابد و عناصر در این محیط‌های احیایی متمرکز می‌گردند. به‌همین دلیل میزان عناصر سمی در زغال‌سنگ‌ها که در محیط‌های احیایی تشکیل شده‌اند، بالاست (Eby 2004). در نتیجه

چگونگی تأمین انرژی به‌عنوان عامل اصلی گردش فن‌آوری، از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. با تهی شدن منابع و دخایر نفت جهان، زغال‌سنگ به‌دلیل فراوانی زیاد قادر است تا جای نفت را پر کند و مانع ایجاد بحران در مصرف انرژی گردد (Botkin & Keller 2002). ذخایر کشف شده‌ی زغال‌سنگ در جهان بیش از ۳۶ تریلیون تن برآورد شده است که بر اساس مصرف فعلی، صدها سال منبع مطمئن انرژی را در مقایسه با کل ذخایر نفتی که کمتر از پنجاه سال دیگر به اتمام می‌رسند، در اختیار بشر قرار می‌دهد (Duffy et al. 2005). کل مصرف جهانی زغال‌سنگ در حال حاضر سالانه ۶/۲ میلیارد تن می‌باشد که از این مقدار، حدود ۷۵ درصد آن جهت تولید الکتریسیته مصرف می‌گردد (Tiwary & Dhar 1994).

دولومیت‌ها و آهک‌های سخت پالئوزوئیک همراه با آهک‌های کرتاسه و یا ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک تشکیل شده‌اند (آقانباتی ۱۳۸۳). توالی-های چینه‌شناختی لایه‌های زغالدار در جدول ۱ آمده است. لایه‌های زغالدار در ۶ ناحیه به نام‌های A, B, C, C', D و E واقع شده‌اند. نواحی A و B قدیمی‌ترند و متعلق به تریاس فوقانی می‌باشند. نواحی C و C' به ژوراسیک پائین و زون‌های E و D به ژوراسیک میانی تعلق دارند. زون D با ۲۰ رگه‌ی زغالی بزرگترین ذخیره زغال را داراست. درصد گوگرد رگه‌های زغالی از ۱/۱ تا بیش از ۵ درصد است که اکثراً به شکل پیریت و مارکاسیت می‌باشد (Shahabpour et al. 2005). عملیات اکتشاف و بهره‌برداری از این معادن در سال ۱۳۴۴ آغاز گردیده است. این مناطق شامل مناطق معدنی باب‌نیزو، پابدانا، خمرو، سراپرده، دره‌گز، داربیدخون، هجدک، اشکلی، هشونی، همکار و باداموئیه می‌باشند. زغال‌سنگ اکثر معادن فوق کک شو بوده و صرفاً جهت تأمین سوخت کوره‌ی بلند ذوب آهن مورد استفاده قرار می‌گیرد (زیرسفی و دورانیش ۱۳۸۶).

کارخانه‌ی زغالشویی زرنده در ۷۵ کیلومتری شهرستان کرمان و در ۱ کیلومتری زرنده قرار گرفته است (تصویر ۱). محل مورد مطالعه در یک منطقه‌ی کم بارش واقع شده است که متوسط دمای آن در تابستان +۳۵ درجه و در زمستان ۵- درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد (زیرسفی و دورانیش ۱۳۸۶). کارخانه‌ی زغالشویی زرنده به‌منظور شستشوی زغال‌سنگ‌های استخراج شده از معادن ناحیه‌ی کرمان احداث شده و عمده‌ترین تأمین‌کننده‌ی داخلی زغال‌سنگ مورد نیاز کارخانه‌ی ذوب آهن اصفهان است. این کارخانه قادر به شستشوی حدود ۲ میلیون تن زغال خام در سال است و در حال حاضر روزانه به‌طور متوسط حدود ۴۰۰۰ تن زغال‌سنگ را شستشو می‌دهد (زیرسفی و دورانیش ۱۳۸۶). هدف از تغلیظ یا شستن زغال‌سنگ، پایین آوردن درصد خاکستر و ناخالصی‌های موجود در زغال‌سنگ و در نتیجه افزایش نسبی در صد کربن می‌باشد.

در حال حاضر آب مورد نیاز کارخانه جهت تغلیظ زغال، از چاه‌های منطقه‌ی سرآسیاب با آبدهی به میزان ۳۳ لیتر در ثانیه تأمین می‌شود. آب ورودی به‌وسیله‌ی لوله، از چاه‌های منطقه‌ی ریگ‌آباد به کارخانه پمپاژ شده و در کارخانه با توجه به نیاز، با شدت‌های مختلف وارد چرخه‌ی فرآیند شستشوی زغال می‌شود.

بخشی از آب مصرفی پس از رسوب دادن مواد معلق، مورد استفاده‌ی مجدد قرار می‌گیرد. تنها آب به هدر رفته، آبی است که همراه با پاتله-ی شناورسازی (فلوتاسیون)، از کارخانه خارج می‌شود و نیز مقداری که همراه زغال تغلیظ شده و همراه سایر محصولات به‌صورت رطوبت خارج می‌شود، به‌طوری‌که میزان رطوبت زغال‌سنگ اولیه‌ی معدن

زغال‌سنگ حاوی مقدار زیادی عناصر فرعی و کمیاب مسمومیت‌زا مانند جیوه، آرسنیک، عناصر رادیواکتیو، کادمیوم، نیکل، کبالت، روی، سرب و ... می‌باشد که در حین فرآوری آن، می‌تواند وارد چرخه‌های مختلف ژئوشیمیایی گردیده و آن‌ها را آلوده سازند (Athar & Vahora 1995). این عناصر نقش چندانی در تشکیل پوسته‌ی زمین ندارند، اما اهمیت زیاد آن‌ها در اقتصاد، بوم‌شناسی، کشاورزی، پزشکی، سم‌شناسی و بسیاری زمینه‌های دیگر کاملاً با فراوانی آن‌ها در پوسته‌ی زمین بی‌تناسب می‌باشد. بررسی چگونگی توزیع این عناصر نقش مهمی در تخمین و ارزیابی تحرک، فعالیت‌های زیست-شناسی و مسمومیت بازی می‌کند. غلظت فلزات کمیاب به‌وسیله‌ی تشکیل کمپلکس و جذب توسط کلونیدها (کانی‌های رسی، اکسی/هیدروکسیدهای آلومینیوم، آهن و منگنز و میزان مواد آلی) کنترل می‌گردد. در آب‌های اسیدی، عناصر به‌صورت یون‌های ساده‌ی فلزی یا کمپلکس‌های سولفات‌ی حضور دارند، در حالی که در pH های خنثی تا قلیائی، کمپلکس‌های کربناتی و هیدروکسیدی نوع غالب هستند (Berkowitz et al. 2008). جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها شدیداً وابسته به pH است. جذب کاتیون‌ها با افزایش pH افزایش می‌یابد، در حالی که جذب آنیون‌ها با افزایش pH محدود می‌گردد (Langmuir 1997).

شهرستان زرنده با دارا بودن ذخایر عظیم زغال‌سنگ و نیز کارخانه‌های زغالشویی و برق و نیز کارخانه در دست ساخت قطران توجه بیشتری را در خصوص مطالعات زیست‌محیطی می‌طلبد. با توجه به اهمیت فراوان موضوع، متأسفانه تاکنون مطالعات چندانی در مورد مسائل زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های مربوط به زغال‌سنگ در این منطقه صورت نگرفته است. تجمع پساب کارخانه‌ی زغالشویی در حوضچه-ای در نزدیکی آن و استفاده از آب حوضچه جهت آبیاری باغات پسته‌ی اطراف، ما را بر آن داشت تا با بررسی دوره‌ای وضعیت پساب، گامی در جهت روشن شدن بخشی از مسائل زیست‌محیطی منطقه به-عنوان حلقه‌ای از زنجیره‌ی مسائل مربوط به زغال‌سنگ (از معدنکاری تا مصرف) برداریم.

۲- روش مطالعه

۲-۱- زغال‌سنگ‌های کرمان و کارخانه‌ی زغالشویی زرنده

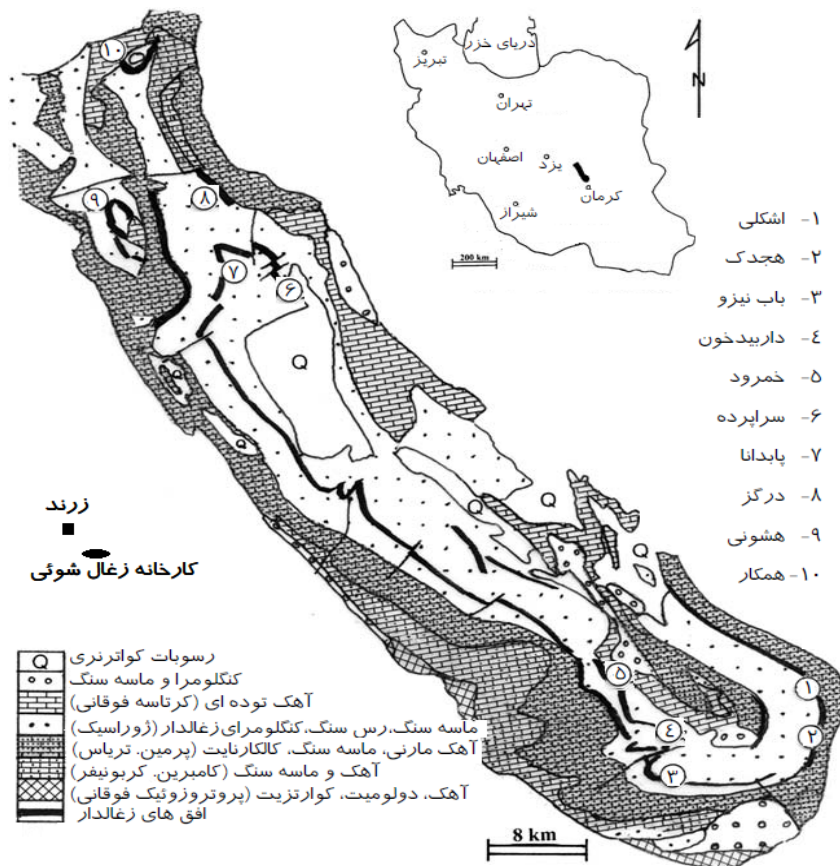
معادن زغال‌سنگ کرمان در قسمت شرق ایران مرکزی قرار دارند که در محدوده‌ی چین‌خوردگی کرمان- یزد واقع شده‌اند. این معادن به فاصله‌ی ۵۰ تا ۲۲۰ کیلومتری شمال غرب کرمان واقعند و از نظر زمین‌ساختی جزء ناودیس کرمان- بهاباد محسوب می‌شوند (تصویر ۱). مناطق مرتفع کوهستانی محدوده‌ی معادن زغال از نظر سنگ‌شناسی از

هنگام خروج از کارخانه کاملاً سیاه و همراه با مقدار زیادی مواد معلق می‌باشد. مواد شیمیایی مورد استفاده در زغالشویی زرنند در مرحله‌ی شناورسازی، شامل گازوئیل (به‌عنوان جمع‌کننده (کلکتور) برای چسبیدن ذرات) و روغن کاج (به‌عنوان کف‌ساز) می‌باشد. از پودر مگنتیت، کلر و روی در مرحله‌ی واسطه‌ی سنگین استفاده می‌شود.

معادل ۹/۰۵ درصد و در مورد زغال تغلیظ شده‌ی ارسالی به اصفهان حدود ۱۰ درصد است. این مقدار آب معادل ۰/۷ تا ۰/۶ متر مکعب به ازای هر تن زغال ورودی به کارخانه است. در طی فرآیند زغالشویی، مواد شیمیایی مختلفی به آب اضافه می‌شوند که در نهایت به همراه مواد حاصل از خرده‌های زغالی، کیفیت آب ورودی را کاملاً دگرگون می‌سازند، به‌طوری‌که آب ورودی با ظاهری زلال و بدون مواد معلق در

جدول ۱- توالی‌های چینه‌شناختی منطقه‌ی زغالدار زرنند

نام سری	سنگ شناسی	ضخامت (متر)	زون زغالدار	معادن
اسدآباد	سیلت سنگ، ماسه سنگ، رس سنگ ژپیس دار	۳۰۰-۱۴۰۰	-	-
	ماسه سنگ، آهک، رس سنگ ژپیس دار	۳۰۰-۱۱۰۰	-	-
	کنگومرا، ماسه سنگ	۲۵۰-۷۷۰	-	-
دشتخاک	ماسه سنگ، کنگومرا، رس سنگ، آهک	۱۵۰-۹۵۰	-	-
گمرود	ماسه سنگ، سیلت سنگ، رس سنگ، رس سنگ کربناتی، رگه های زغالی	۱۳۵-۱۳۵۰	E	پابدانا، همکار
	ماسه سنگ، سیلت سنگ، رگه های زغالی	۲۰-۱۹۰	D	پابدانا، هجدک، همکار، هشونی
باب نیزو	آهک	۲۳-۴۰	-	-
نیزار	سیلت سنگ، رس سنگ آهکی، ماسه سنگ آهکی	۵۰-۲۸۰	-	-
	کوارتزیت، رگه های زغالی		C'	
طغرالجرد	ماسه سنگ، سیلت سنگ	۸۰-۴۰۰		
	ماسه سنگ، رس سنگ، سیلت سنگ، رگه های زغالی	۳۶-۷۷۰	C	باب نیزو، اشکلی، پابدانا
داربیدخون	ماسه سنگ، سیلت سنگ رس سنگ آهکی، آهک	۱۵۰-۷۷۰	-	-
	ماسه سنگ، سیلت سنگ، رس سنگ، رگه های زغالی	۱۴۰-۶۱۰	B	باب نیزو، اشکلی، هجدک
دهرود	سیلت سنگ، ماسه سنگ	۱۰۰-۶۴۰	A	دهرود، نیزار، هجدک



تصویر ۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی معادن زغال‌سنگ زرنند و موقعیت معادن و کارخانه‌ی زغالشویی. اقتباس با تغییرات از (Shahabpour et al. 2005)

الکتریکی و دما به وسیله‌ی دستگاه قابل حمل مدل Cond315i WTW در محل اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری عناصر مسمومیت‌زا شامل نقره، بور، کبالت، روی، منگنز، کبالت، مس، سرب، نیکل، کادمیوم و کروم، نمونه‌های آب، پس از تغلیظ، جهت تجزیه‌ی شیمیایی به‌روش جذب اتمی، به دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (Flame Atomic Absorption Spectrometry, FAAS) تریق گردیدند. آنیون‌ها و کاتیون‌های Na^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- ، Cl^- توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای (Flame Photometer) اندازه‌گیری گردید.

۳- نتایج

در جدول ۲ نتایج حاصل از تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های مختلف آب ورودی به کارخانه (آب چاه)، آب خروجی از کارخانه و آب حوضچه‌ی اکبرآباد آمده است. این داده‌ها همچنین با عیار طبیعی آن‌ها در آب‌های جاری و حد مجاز آب آشامیدنی مقایسه گردیده‌اند (US EPA 2003 و Radojevic & Bashkin 1999) با توجه به داده‌ها مشخص می‌گردد. غلظت اکثر عناصر و املاح موجود در آب خروجی از کارخانه بیش از عیار متوسط در آب‌های جاری و حد مجاز آب آشامیدنی است.

۳-۱- تغییرات زمانی و مکانی غلظت عناصر مورد مطالعه

در اکثر موارد، غلظت عناصر سمی در آب حوضچه و خروجی از کارخانه بیش از آب ورودی است که این امر به‌طور آشکار به دلیل آلودگی آب در محل کارخانه‌ی زغالشویی می‌باشد. همچنین این غلظت‌ها در فصول گرم سال بیش از سایر اوقات می‌باشد (تصویر ۲). دلیل این رویداد نیز به خاطر تبخیر بیشتر آب و کاهش بارندگی و کمبود رواناب سطحی به خصوص در حوضچه و به تبع آن افزایش غلظت عناصر و افزایش انحلال‌پذیری عناصر و ترکیبات در اثر افزایش دمای آب (Langmuir 1997) است.

با توجه به تصویر و جدول شماره ۲، مقدار بیشینه‌ی نقره در نمونه‌های برداشته شده متعلق به آب کارخانه و آب حوضچه در خرداد ماه است که حدود ۰/۵۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در هر حال، میزان این عنصر در قبل و بعد از کارخانه چندان تغییری نشان نمی‌دهد. عنصر بور به‌طور کلی دارای خواص مشابهی با کربن است و در کربنات‌ها و فسفات‌ها متمرکز می‌گردد (Sarkar 2002). از این رو می‌تواند در زغال‌سنگ جانشین کربن گردد. بر اساس داده‌های جدول شماره ۲ غلظت این عنصر ناهنجاری چندان از خود نشان نمی‌دهد. عنصر کادمیوم یکی از مهمترین عناصر کمیاب از نظر مسمومیت‌زایی و ایجاد خطرات بالقوه برای سلامتی انسان می‌باشد. از دیدگاه

به ازای هر تن زغال، ۴ کیلوگرم مگنتیت مصرف می‌شود که توسط جداکننده‌های مغناطیسی قابل بازیافت است. همچنین در آخرین مرحله در جهت افزایش کارایی، به باطله‌های شناورسازی، مواد رسوب‌دهنده اضافه می‌شود.

آب خروجی پس از طی مسیر ۱/۵ کیلومتری، در حوضچه‌ای معروف به حوضچه‌ی اکبرآباد که برای همین منظور در خارج از کارخانه در نظر گرفته شده، جمع می‌شود. رسوب مداوم مواد زغالی حاصل از زغالشویی در محل حوضچه حجم زیادی از پسمانده‌های زغالی را ایجاد کرده که در حال حاضر مطالعاتی جهت استفاده‌ی بهینه از آن‌ها (به‌ویژه جهت استخراج ژرمانیم) در حال انجام است (زریسفی و دوراندیش ۱۳۸۶).

۳-۲- نمونه‌برداری و تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌ها

نمونه‌برداری از آب در طی چهار دوره‌ی زمانی و از سه محل آب ورودی به کارخانه، آب خروجی از کارخانه و آب حوضچه‌ی اکبرآباد انجام گرفت. آب ورودی به کارخانه که هیچ‌گونه موادی به آن اضافه نشده و هیچ تماسی با زغال نداشته، فاقد هر گونه آلودگی بوده و همان آب چاه‌هاست. این آب از لحاظ ظاهری بی‌رنگ و بی‌بو، دارای pH حدود ۷/۶ و بدون مواد معلق می‌باشد. با مقایسه‌ی میزان عوامل معمول کیفیت آب مانند میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها و عناصر مسمومیت‌زا با آب خروجی از کارخانه می‌توان میزان آلاینده‌ی کارخانه را در حین فرآیند زغالشویی بررسی نمود. آب خروجی توسط لوله به حوضچه‌ی اکبرآباد انتقال داده می‌شود که در آنجا انباشته شده و جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقدار سه لیتر نمونه برای تجزیه‌ی شیمیایی در هر مرتبه برداشت گردید که در ۲ ظرف یک و نیم لیتری برای ارائه به آزمایشگاه نگهداری شد. ظروف کاملاً تمیز و از جنس پلی‌اتیلن استفاده گردید که قبل از استفاده به‌وسیله‌ی اسید نیتریک کاملاً خالص، شسته شدند. نمونه‌های آب پس از برداشت، توسط فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر صاف گردید. سپس به‌منظور توقف تمام واکنش‌های مواد محلول، در یکی از ظروف نمونه‌ها اسید ریخته شد. این عمل با اضافه کردن اسید نیتریک کاملاً خالص و غلیظ تا رسیدن به pH کمتر از ۲، صورت گرفت. نمونه‌ها در دمای ۴ درجه‌ی سانتیگراد نگهداری شد و در طی هر مرحله از نمونه‌برداری، نمونه‌ها ظرف مدت کمتر از دو روز جهت تجزیه‌ی شیمیایی ارسال گردیدند. به‌منظور بررسی اثر فصل‌های خشک و مرطوب بر تغییرات غلظت عناصر و ترکیبات موجود در آب و نتیجه‌گیری بهتر، نمونه‌برداری در فواصل زمانی معین، در ماه‌های خرداد، آبان، دی و بهمن ۱۳۸۵ انجام گردید. میزان pH، هدایت

با این تفاوت که عنصر روی دارای تغییرات نسبتاً بیشتری در رابطه با محل نمونه‌برداری است. ضریب همبستگی این دو عنصر حدود ۰/۹۵ می‌باشد (جدول ۳).
میزان غلظت بیشینه‌ی این عنصر در مقایسه با متوسط غلظت در آب-های سطحی، حدود ۳۰۰۰ بار بیشتر است. روند افزایش غلظت عنصر کبالت در خرداد ماه نیز مانند سایر فلزات بررسی شده است. غلظت آن در آب خروجی کارخانه ناهنجاری نشان می‌دهد و حدود ۲ برابر میزان آن در آب ورودی به کارخانه است که در اثر آلودگی ناشی از شستشوی زغال سنگ می‌باشد.

ژئوشیمیایی، این عنصر دارای خواص کاملاً مشابهی با روی می‌باشد و اکثراً جانشین آن می‌گردد (Ronov & Yaroshevski 1969). با توجه به بررسی تصویر و جدول شماره‌ی ۲ مشخص می‌گردد که غلظت این عنصر در قبل از کارخانه، بعد از آن و در حوضچه تقریباً یکسان است. تغییرات غلظت کادمیوم فقط مربوط به فصول مختلف می‌باشد، به طوری که در فصل گرم سال یعنی خرداد ماه دارای بیشترین غلظت (۰/۳ میلی گرم بر لیتر) می‌باشد (تصویر ۲) و در فصول سردتر سال مانند دی و بهمن کمترین میزان (۰/۰۱ میلی گرم بر لیتر) را نشان می‌دهد. این روند تقریباً مشابه با روند تغییرات غلظت عنصر روی است،

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های مختلف آب

عوامل کیفیت آب	میانگین آب های جاری	حد مجاز آب آشامیدنی	آب حوضچه اکبرآباد				آب خروجی از کارخانه				آب ورودی به کارخانه			
			بهمن	دی	آبان	خرداد	بهمن	دی	آبان	خرداد	بهمن	دی	آبان	خرداد
Ag(ppm)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۵
B(ppm)	۰/۰۱	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۹۳	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۸۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۹۲
Co(ppm)	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۱	۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۶
Zn(ppm)	۰/۰۲	۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۴۱	۱/۳۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۴۶	۱/۹۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۸
Mn(ppm)	۰/۰۰۷	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۳۳	۲/۱۹	۱۲/۲	۰/۳	۰/۳	۲/۰۸	۱۳	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۳
Fe(ppm)	۰/۱	۰/۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۳۳	۱/۵	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۳۵	۵/۹۵	۰/۱۱	۰/۱	۰/۹۲	۲/۹۵
Cu(ppm)	۰/۰۰۳	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۴
Cr(ppm)	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۹	۱	۱/۶۶	۱/۸	۱	۱	۱/۲	۱/۹۵	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲
Cd(ppm)	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۳
Ni(ppm)	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳۱	۲/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۵۷	۲/۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲	۰/۷
Pb(ppm)	۰/۰۰۳	۰/۰۵	۰/۲	۰/۱۸	۰/۳۲	۱/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۷	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۶
Na ⁺ (ppm)	۶۳	۱۵۰	۶۶۷	۶۹	۱۰۶	۱۶۳	۱۶۳	۱۶۳	۱۶۸	۱۶۱	۸۷	۱۰۱	۷۶	۱۴۰
Ca ⁺⁺ (ppm)	۱۵	۲۰۰	۳۹۴	۳۹۰	۲۰۰	۲۳۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۰۴	۲۲۰	۱۸۰	۱۷۴	۱۸۲	۱۵۲
Mg ⁺⁺ (ppm)	۶۳	۱۵۰	۲۰۰	۱۹۸	۱۱۴	۱۱۸	۱۲۵	۱۲۱	۱۱۸	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۰۶	۱۲۶
Cl ⁻ (ppm)	۷/۸	۲۵۰	۳۸۷	۳۸۳	۳۰۹	۲۹۴	۳۳۳	۳۳۷	۳۰۵	۲۹۴	۲۸۷	۲۸۷	۲۶۶	۲۵۵
SO ₄ ⁻ (ppm)	۱۱/۲	۲۵۰	۱۲۳۴	۱۲۲۴	۶۸۶	۸۸۳	۷۳۹	۷۴۹	۶۶۷	۸۴۴	۵۶۲	۵۷۱	۶۱۰	۶۴۸
HCO ₃ ⁻ (ppm)	۵۸/۴	-	۱۷۱	۱۶۵	۶۷	۱۱۰	۱۹۵	۱۷۱	۷۹	۱۲۸	۱۸۳	۱۸۹	۶۷	۲۱۳
SAR(ppm)	-	-	۰/۷	۰/۷	۱/۵	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۳	۲/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۱	۲
TDS(ppm)	-	۵۰۰	۲۵۱۰	۲۵۰۰	۱۵۴۰	۱۸۱۷	۱۷۹۷	۱۷۸۵	۱۵۲۵	۱۷۹۲	۱۴۶۰	۱۴۸۰	۱۳۶۰	۱۵۵۰
EC(ms/cm)	-	۰/۷۵	۳/۹۳	۳/۹	۲/۴۱	۲/۸۴	۲/۸	۲/۷۹	۲/۳۸	۲/۸	۲/۲۸	۲/۳۱	۲/۱۳	۲/۴۲
TH(ppm)	-	-	۱۸۲۰	۱۸۰۰	۹۷۵	۱۰۷۰	۱۰۴۵	۱۰۳۰	۱۰۰۵	۱۰۵۰	۹۵۰	۹۳۵	۹۰۰	۹۰۵
pH	۴-۸	۶-۸	۷/۹	۷/۸۷	۷/۲۹	۶/۸	۷/۱۱	۷/۲۲	۷/۳۱	۶/۹	۸/۱۳	۷/۹۱	۷/۹۳	۷/۴

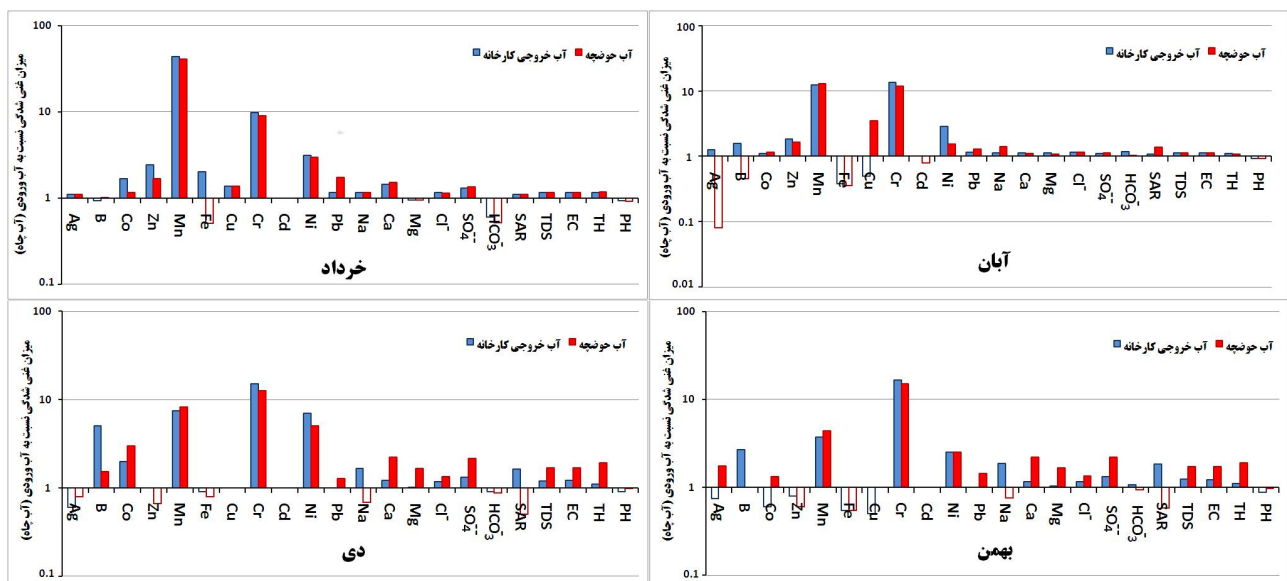
محلول است اما آهن ۳ ظرفیتی کاملاً نامحلول می‌باشد و در pH های بیش از ۳، به شکل اکسی هیدروکسیدهای آهن رسوب می‌کند و باعث رسوب برخی عناصر دیگر می‌شود (Eby 2004). این عنصر در زغال‌سنگ در شکل کانی پیریت (FeS_2) که خاص محیط‌های کاملاً احیائی است، یافت می‌گردد. اغلب عناصر مسمومیت‌زای کالکوفیل موجود در زغال‌سنگ، در این کانی متمرکز هستند. با توجه به جدول شماره ۲، مشاهده می‌گردد که عیار این عنصر در آب ورودی به کارخانه حدود ۳ ppm است که بعد از خروج از کارخانه غلظت آن دو برابر می‌گردد. این اختلاف ناشی از ورود آهن از طریق انحلال و اکسیداسیون کانی پیریت و افزودن مگنتیت به آب در حین شستشو می‌باشد. به دلیل کم بودن این اختلاف غلظت و pH در قبل و بعد از کارخانه می‌توان نتیجه گرفت که میزان پیریت موجود در این زغال‌ها کم است. کم بودن ناهنجاری غلظت در مورد عناصر سمی دیگر نیز می‌تواند به همین دلیل باشد. نکته‌ی قابل توجه، کاهش زیاد غلظت آهن در آب حوضچه می‌باشد که به دلیل اکسایش آهن از Fe^{2+} به Fe^{3+} و رسوب کردن آن است (Langmuir 1997). این واکنش نیز می‌تواند مسئول کاهش انحلال‌پذیری دیگر عناصر و رسوب آن‌ها تلقی گردد.

خصوصیات منگنز نیز از بسیاری جهات شبیه به آهن است. این عنصر می‌تواند به همراه آهن به وسیله‌ی کلونیدهای اکسیدی خود بسیاری از عناصر سمی را جذب کند (Langmuir 1997). غلظت منگنز در نمونه‌ی آب قبل از ورود به کارخانه در حد عیار طبیعی در آب‌های جاری می‌باشد، اما بعد از خروج از کارخانه غلظت آن حدوداً ۴۵ برابر و در حوضچه غلظت آن حدود ۴۰ برابر می‌گردد. دلیل این امر آن است که منگنز یکی از عناصر اصلی موجود در گیاهان است

کاهش غلظت کبالت در آب حوضچه می‌تواند به دلیل ته‌نشینی در اثر جذب توسط خرده‌های زغال‌سنگ معلّق در آب و یا دیگر مواد کلونیدی مانند رس‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز باشد. به‌طور کلی غلظت بیشینه‌ی کبالت در نمونه‌های جمع‌آوری شده به نسبت آب‌های جاری شیرین بیش از ۳۰۰ برابر غنی‌شدگی نشان می‌دهد. کروم جزء فلزات واسطه طبقه‌بندی می‌شود و بر خلاف دیگر عناصر بررسی شده که همگی گوگرد دوست (کالکوفیل) می‌باشند، یک عنصر لیتوفیل محسوب می‌گردد. این عنصر در آب‌های طبیعی به صورت ۳ و ۶ ظرفیتی حضور دارد که نوع سه ظرفیتی سریع رسوب می‌کند و یا به نوع شش ظرفیتی اکسید می‌گردد (Langmuir 1997).

در نمونه‌های مورد مطالعه، این عنصر علاوه بر تغییرات فصلی مشابه با عناصر یاد شده (افزایش غلظت در ماه‌های گرم سال) دارای افزایش غلظت فوق‌العاده در نمونه‌های بعد از کارخانه‌ی زغالشویی و حوضچه است. این افزایش غلظت بیش از ۱۰ برابر می‌باشد. عنصر کروم می‌تواند جایگزین آهن گردد و به همین ترتیب می‌تواند در اثر اضافه کردن ترکیباتی به آب در حال شستشوی زغال‌سنگ مانند پودر مگنتیت که قبلاً به آن اشاره گردید، وارد آب خروجی گردد. عنصر مس نیز در نمونه‌های متعلق به خرداد ماه و همچنین نمونه‌های بعد از کارخانه، غنی‌شدگی نشان می‌دهد.

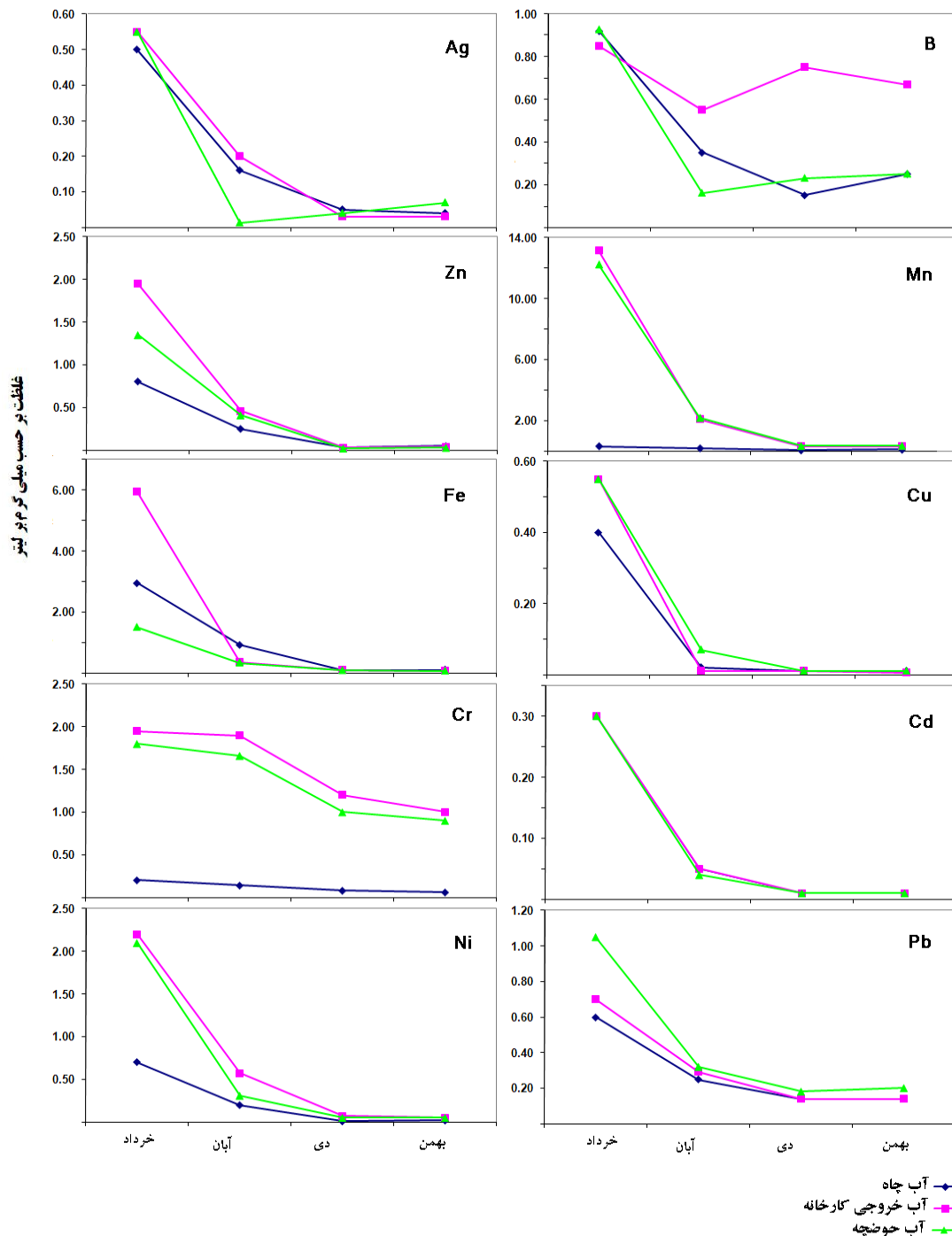
آهن بر خلاف عناصر قبل دارای خاصیت پاکسازی محیط نیز می‌باشد. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم دارای توان زیادی در جذب عناصر آلاینده به‌خصوص در pH های قلیائی هستند (Berkowitz et al. 2008). از این رو می‌توان از آن به‌عنوان یک عامل در پاکسازی منابع آب استفاده نمود. آهن دو ظرفیتی تا حدی



تصویر ۲- نمودار میزان غنی‌شدگی عناصر و عوامل کیفیت آب در آب خروجی کارخانه و حوضچه نسبت به آب ورودی (آب چاه)

در میان عناصر سمی، سرب مهمترین عنصر از نظر زیست محیطی به-شمار می‌رود. در آب‌های جاری، این عنصر در pH کمتر از ۵ به-صورت تقریباً محلول یافت می‌شود، در بالاتر از آن توسط کلوئیدها جذب می‌شود و رسوب می‌نماید (Langmuir 1997). غلظت سرب بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده در آب خروجی کارخانه و به‌خصوص در حوضچه، افزایش حدود صد درصدی نشان می‌دهد. روی به حالت اکسید، کربنات و فلز آزاد به‌راحتی جذب می‌شود (Sarkar 2002) که

که تبدیل به زغال‌سنگ شده است. غلظت نیکل مانند اکثر عناصر بعد از کارخانه افزایش چشمگیر حدود سه برابری نشان می‌دهد. غلظت آن در حوضچه کمی کاهش نشان می‌دهد که به‌دلیل ته‌نشینی به‌همراه اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز و در مقیاس کمتر به‌دلیل رقیق شدن آب و کاهش دماست. گونه‌ی محلول آن Ni^{2+} است. به‌طور کلی انحلال‌پذیری آن کم می‌باشد و در pH های قلیائی اغلب به‌همراه لیمونیت رسوب می‌کند (Sarkar 2002).



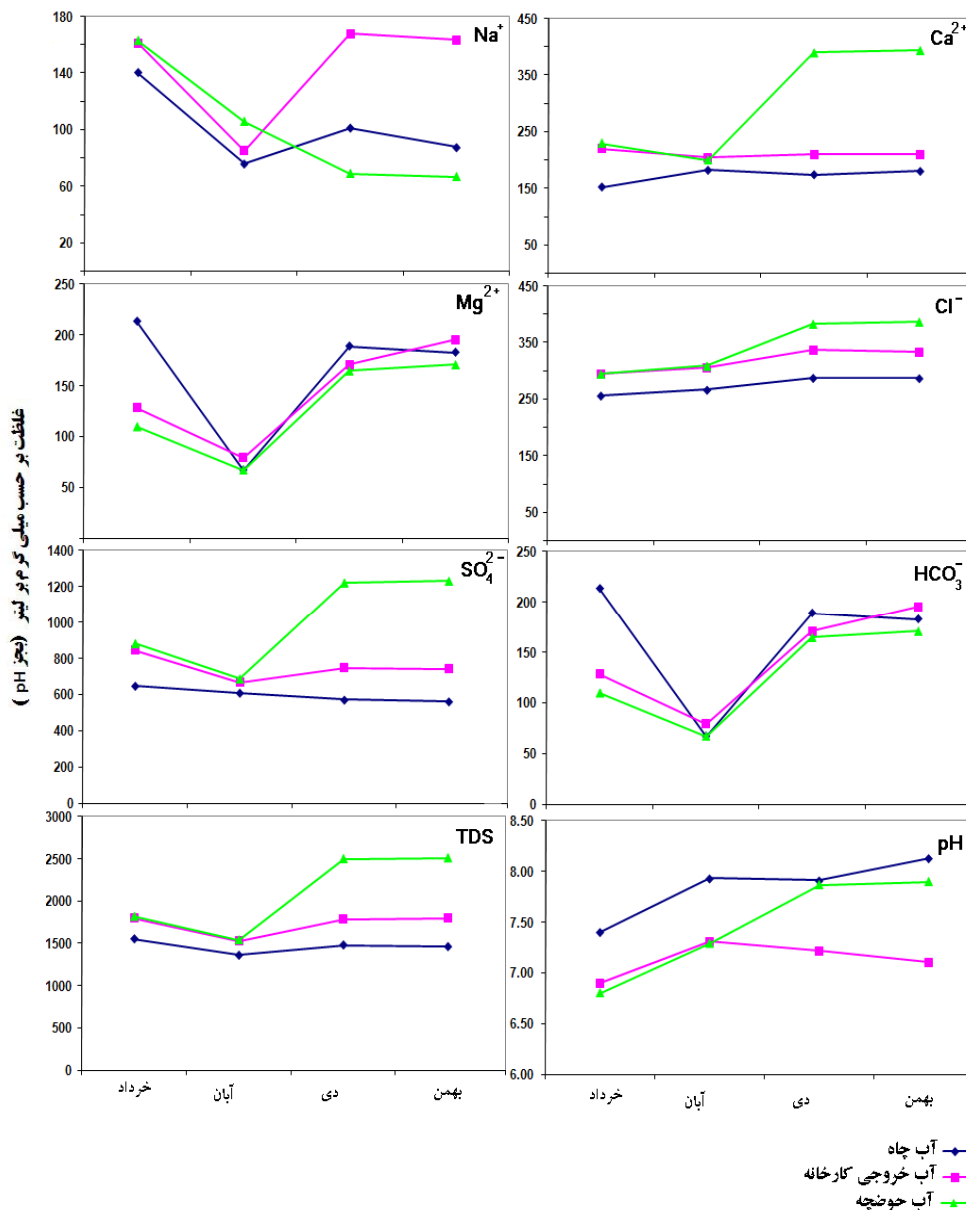
تصویر ۳- نمودار میزان تغییرات غلظت عناصر سمی در محل‌های مختلف نمونه‌برداری در زمان‌های متفاوت (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

با توجه به جدول شماره‌ی ۲ مشاهده می‌گردد، غلظت یون سدیم در نمونه‌های مختلف، تغییرات معنی‌داری نشان نمی‌دهد و فقط به مقدار کمی افزایش غلظت بعد از کارخانه در آن قابل مشاهده است. بخشی از تغییرات غلظت احتمالاً به دلیل اثر مواد افزودنی در محیط کارخانه است. غلظت یون سدیم بیش از آن‌که متأثر از آلودگی باشد، تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه و انحلال یون‌ها در آب ورودی به کارخانه است.

جدول شماره‌ی ۳ نیز بیانگر عدم همبستگی کاتیون‌ها و آنیون‌ها با عناصر کمیاب می‌باشد که گواهی بر این مدعاست. نکته‌ی قابل توجه در این مورد افزایش غلظت یون کلسیم در آب حوضچه در فصول سرد سال می‌باشد که عکس حالات قبل است (تصویر ۴).

دلیل کاهش غلظت آن در آب حوضچه است. عنصر روی یک عنصر غذایی اصلی برای گیاهان است و از این جهت رشد جلبک در آب حوضچه می‌تواند باعث جذب میزان زیادی روی گردد.

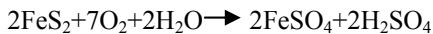
البته میزان بیش از حد روی در آب می‌تواند باعث آسیب رساندن به گیاهان گردد. این عنصر همچنین می‌تواند به وسیله‌ی اکسید منگنز (MnO_2) و مواد آلی نامحلول، جذب و ته‌نشین گردد (Langmuir 1997). احتمالاً به دلیل جذب روی در اثر مواد آلی و جلبک‌ها و همچنین افزایش pH آب و جذب توسط کلونیدها در آب حوضچه‌ی اکبرآباد، مقدار روی در آب حوضچه به میزان قابل توجهی کمتر از آب خروجی از کارخانه می‌باشد. مقدار روی در آب خروجی از کارخانه حدود ۳ برابر آب ورودی به آن است.



تصویر ۴- نمودار میزان تغییرات غلظت یون‌های اصلی و دیگر عوامل کیفیت آب در محل‌های مختلف نمونه‌برداری در زمان‌های متفاوت (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر - به جز pH)

۳-۲- تغییرات pH

مقدار pH در بیشتر آب‌های زیرزمینی بستگی به حالت تعادل دی اکسید کربن، کربنات و بیکربنات دارد. در این تعادل مقدار فشار و دما نیز مؤثر است و لذا با تغییر این عوامل میزان pH نیز تغییر می‌کند (Langmuir 1997). اغلب آب‌های زیرزمینی دارای pH معادل ۷/۵-۸/۵ هستند (Radojevic & Bashkin 1999). میزان غلظت یون هیدروژن به‌عنوان عامل بسیار مهم در تحرک و انحلال‌پذیری عناصر سمی نقش مهمی در مطالعات زیست‌محیطی دارد. عناصر سمی که در محیط‌های آبی به‌صورت کاتیون محلول حضور دارند، در محیط‌های اسیدی انحلال‌پذیری زیادی دارند و به‌همین دلیل خطرناک‌ترند (De Vivo et al. 2008). اما در محیط‌های قلیائی، انحلال‌پذیری آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و اکثراً جذب کلئیدهای مختلف مانند کانی‌های رسی، مواد آلی و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم می‌شوند و رسوب می‌نمایند (Berkowitz et al. 2008). به‌طور کلی محدوده‌ی تغییرات pH در نمونه‌ها بین ۷/۸ تا ۸/۲ است که از نمونه‌های قبل از کارخانه به سمت نمونه‌های بعد از آن و داخل حوضچه‌ی آب کاهش نشان می‌دهد. این کاهش به‌دلیل اکسایش کانی پیریت و تولید اسید سولفوریک طبق واکنش زیر است (Langmuir 1997).



میزان pH در آب حوضچه در ماه‌های سرد سال افزایش یافته است که دلیل آن افزایش انحلال‌پذیری کربنات‌ها و سولفات‌ها و در نتیجه آزاد سازی بیشتر کاتیون‌های قلیائی مانند کلسیم و منیزیم می‌باشد. اما به هر حال میزان تغییرات pH در کل نمونه‌ها قبل و بعد از ورود به کارخانه چندان زیاد نیست که به‌خاطر کم بودن میزان کانی پیریت در زغال‌سنگ می‌باشد. مطالعات شهاب پور و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان می‌دهد pH زهاب معادن زغال‌سنگ کرمان در اکثر موارد خنثی تا قلیائی است.

۳-۳- همبستگی بین عناصر و املاح

تفسیر نمودارهای همبستگی بین عناصر و ترکیبات مختلف موجود در آب در نمونه‌های مختلف می‌تواند ما را در تعیین منشأ عناصر در آب حوضچه و همچنین جذب عناصر توسط ترکیبات مختلف راهنمایی نماید. ضرایب همبستگی برخی عناصر و عوامل دیگر کیفیت آب در جدول شماره‌ی ۳ آمده است.

با توجه به جدول ضرایب همبستگی با یک دید کلی می‌توان نتیجه گرفت که ضرایب همبستگی میان عناصر مسمومیت‌زا در تمام موارد مثبت و اکثراً بیش از ۰/۷ می‌باشد. این مطلب منشأ مشترک و

دلیل این امر انحلال‌پذیری زیاد کربنات‌ها در دماهای پائین می‌باشد. این امر موجب افزایش pH آب حوضچه و کاهش انحلال‌پذیری و در نتیجه غلظت عناصر کمیاب در آب می‌گردد. غلظت یون منیزیم نیز از روندی مشابه با دیگر کاتیون‌های بررسی شده تبعیت می‌کند و در ماه‌های سرد سال افزایش نشان می‌دهد. یون کلراید نیز مانند سدیم چندان تحت تأثیر آلودگی قرار نگرفته است.

یون سولفات در محل نمونه‌برداری بعد از کارخانه و داخل حوضچه-ی آلودگی نشان می‌دهد که حاکی از انحلال پیریت و ورود این یون به آب می‌باشد. اما در کل، این اختلاف غلظت چندان زیاد نیست و به‌دلیل کمبود کانی پیریت در زغال‌سنگ است که قبلاً نیز بدان اشاره گردید. افزایش غلظت یون سولفات در حوضچه، در ماه‌های سرد دی و بهمن در اثر افزایش انحلال‌پذیری سولفات‌ها مانند ژپس در دماهای پائین‌تر در آب است (تصویر ۳).

غلظت یون بیکربنات نیز چندان دستخوش آلودگی توسط کارخانه قرار نگرفته است و در فصول سرد در حوضچه افزایش غلظت نشان می‌دهد. غلظت زیاد این یون در آب چاه در فصل گرم به‌دلیل سردتر بودن آب چاه در مقایسه با سطح زمین و کاهش انحلال‌پذیری آن در هنگام رسیدن به سطح در ماه‌های گرم می‌باشد.

دلیل بیشتر بودن غلظت این یون و دیگر یون‌ها در آب چاه در مقایسه با متوسط آب‌های جاری انحلال بیشتر این یون‌ها در آب زیرزمینی به‌دلیل تماس طولانی‌تر آب زیرزمینی با تشکیلات زمین-شناختی در مقایسه با آب سطحی است. میزان نسبت جذب سدیم کاملاً مشابه با روند تغییرات غلظت عنصر سدیم می‌باشد. افزایش نسبت جذب سدیم می‌تواند نقش مهمی در جذب آلاینده‌ها در حوضچه داشته باشد.

با توجه به جدول شماره‌ی ۲ مشاهده می‌شود که کل جامد محلول در آب ورودی به کارخانه، آب خروجی از کارخانه و آب حوضچه، افزایش کمی نشان می‌دهد. این حالت در مورد سختی آب نیز صادق است. دلیل این امر انحلال مقدار کم ناخالصی‌های موجود در زغال مانند کانی‌های رسی، کانی پیریت و ... در آب می‌باشد.

افزایش کل جامد محلول در آب در ماه‌های سرد سال (دی و بهمن) در اثر افزایش انحلال‌پذیری کربنات‌ها (آهک و دولومیت) و سولفات‌ها (ژپس) در اثر کاهش دماست. میزان تغییرات زمانی و مکانی هدایت الکتریکی کاملاً شبیه با کل جامد محلول در آب است. لازم به ذکر است که حد مجاز هدایت الکتریکی برای آب آشامیدنی ۰/۷۵ میلی‌زیمنس می‌باشد (Radojevic & Bashkin 1999) که با توجه به داده‌های موجود، مشاهده می‌گردد که بسیار کمتر از میزان هدایت الکتریکی آب‌های محدوده‌ی مورد مطالعه است.

بیشتری جهت جذب عناصر در حوضچه‌ی اکبرآباد دارد. همبستگی پائین عناصر سمی با یون سولفات گواه آن است که این عناصر تمایلی برای تشکیل کمپلکس سولفاتی ندارند. زیرا چنانچه بیشتر ذکر گردید، عناصر جزئی فقط در pH های اسیدی کمپلکس‌های سولفاتی ایجاد می‌نمایند (Smith 1999).

از آنجا که از آب حوضچه جهت آبیاری باغات پسته‌ی اطراف استفاده می‌شود، در تصویر شماره‌ی ۵ غلظت عناصر مسمومیت‌زا در آب حوضچه با حداکثر عیار مجاز جهت استفاده در کشاورزی مقایسه گردید. با توجه به این نمودار مشخص می‌شود به‌جز عناصر روی و مس، غلظت تمامی عناصر سمی به‌خصوص در خرداد ماه بیش از حد مجاز برای استفاده در کشاورزی است که می‌بایست با اعمال روش‌های صحیح پاکسازی، غلظت این عناصر در حد مطلوبی نگاه داشته شود. بهترین زمان برای مصرف آب حوضچه جهت کشاورزی ماه‌های دی و بهمن می‌باشد.

۴ - (راهکارها)

مبحث پاکسازی، جنبه‌ی کاربردی مبحث ژئوشیمی زیست‌محیطی است که در آن از اطلاعات به‌دست آمده در بخش‌های قبل، اعم از نوع، غلظت، منشأ، الگوهای توزیع و سایر خواص آلاینده‌ها و محیط آلوده در جهت پاکسازی و تصفیه‌ی محیط آلوده و پیشنهاد راهکارهایی جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها در آینده استفاده می‌شود.

خصوصیات ژئوشیمیایی مشابه عناصر را نشان می‌دهد. این منشأ مشترک در اکثر موارد هوازدگی کانی پیریت، کانی های رسی موجود در زغال و دیگر کانی‌های کمیاب‌تر می‌باشد که این عناصر در ساختمان آن‌ها به‌صورت عناصر جزئی و کمیاب جایگزین گردیده‌اند. عناصر منگنز، کبالت، نیکل و روی می‌توانند به‌جای آهن و عناصر کادمیم، روی، نقره و سرب نیز می‌توانند جانشین گوگرد شوند. ضریب همبستگی عناصر با عنصر کروم کمتر می‌باشد. دلیل این حالت این است که کروم بر خلاف تمامی عناصر، در محیط‌های آبی کمپلکس آنیونی، محلول ($Cr_2O_7^{2-}$) تشکیل می‌دهد، در حالی که عناصر دیگر به‌صورت کاتیون آزاد در آب حضور دارند.

نکته‌ی دیگر وجود همبستگی بسیار کم و در اکثر موارد منفی عناصر کمیاب و جزئی با کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول می‌باشد. افزایش کاتیون‌ها موجب افزایش pH و در نتیجه کاهش این عناصر در محلول می‌گردد. نکته‌ی بسیار مهم در این رابطه همبستگی منفی عناصر جزئی و کمیاب با pH است. این حالت می‌تواند راهنمای بسیار مفیدی جهت به‌کارگیری روش‌های صحیح پاکسازی حوضچه‌ی آب اکبرآباد باشد. همبستگی نسبتاً بالای آهن و منگنز با دیگر عناصر سمی، نشان‌دهنده‌ی جذب این عناصر توسط اکسیدهای آهن و منگنز است. از این میان، منگنز در قیاس با آهن همبستگی بالاتری با دیگر عناصر دارد و در اغلب موارد این میزان بیش از ۷/۰٪ می‌باشد. به‌طور مثال، همبستگی منگنز با نیکل، روی، سرب و مس به‌ترتیب ۰/۹۴، ۰/۸۳، ۰/۷۳ و ۰/۷۳ است. این مطلب نشان می‌دهد اکسید منگنز در این شرایط کارآیی

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین برخی عناصر و املاح موجود در آب حوضچه‌ی اکبرآباد

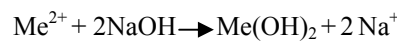
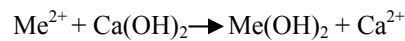
	Zn	Fe	Mn	Ni	Co	Cr	Cu	Cd	Pb	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	pH
Zn	۱	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۳	۰/۲۹۶	۰/۸۸	۰/۹۴۸	۰/۷۷۹	-۰/۰۴	-۰/۰۶۲	-۰/۰۰۵	-۰/۴۵
Fe		۱	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۰۸	۰/۸۵	۰/۶۹	۰/۶۹۵	۰/۴۳۳	-۰/۰۲۸	-۰/۰۵۳	-۰/۰۰۵	-۰/۲۴۲
Mn			۱	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۴	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۷۳	-۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۰۵
Ni				۱	۰/۸۹	۰/۳۶	۰/۸۷	۰/۷۸	۰/۸۶	-۰/۰۱۷	-۰/۰۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۵۲
Co					۱	۰/۲	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸	-۰/۰۰۵	-۰/۰۸	۰/۰۰	-۰/۴۲
Cr						۱	۰/۱۴	۰/۰۸۸	۰/۲۰۹	۰/۰۴۶	۰/۰۰۴	۰/۰۹۴	-۰/۰۹۴
Cu							۱	۰/۹۶	۰/۹	-۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۰۰۱	-۰/۴۳
Cd								۱	۰/۸۶۴	-۰/۰۶۵	-۰/۰۳۶	-۰/۰۲۱	-۰/۳۷۷
Pb									۱	۰/۰۲۱	۰/۰۵۵	-۰/۰۷۵	-۰/۴۴۶
Ca ²⁺										۱	۰/۸۹۸	۰/۹۳۳	۰/۵۰۶
Mg ²⁺											۱	۰/۸۱۹	۰/۱۳۴
SO ₄ ²⁻												۱	۰/۰۰۳
pH													۱

ذرات درشت درآب شود. اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی به آهن سه ظرفیتی و منگنز دو ظرفیتی به هیدروکسیدهای منگنز به‌وسیله‌ی هوادهی انجام می‌شود (در pH بالا). در این شرایط، گونه‌ی آهن هیدروکسیدی و MnO_2 ته‌نشین می‌شوند و به‌دلیل داشتن سطح تماس زیاد، همراه خود بسیاری آلاینده‌ها را نیز جذب می‌کنند و همراه خود رسوب می‌دهند (Langmuir 1997).

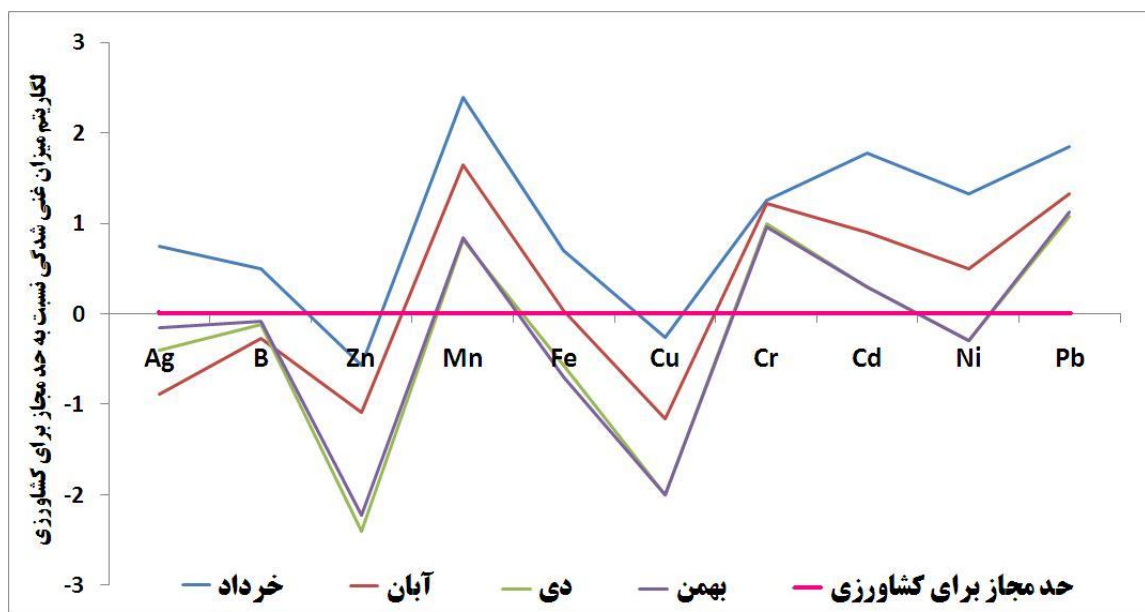
از دیگر روش‌های جذب عناصر مسمومیت‌زا، استفاده از رس‌هاست. این کانی‌ها در بستر حوضچه نیز وجود دارند و یکی از دلایل کاهش غلظت بسیاری از عناصر در حوضچه نسبت به آب خروجی از کارخانه می‌باشند. از مشخصات جالب توجه کلوئیدها، آزاد نمودن بارهای منفی (OH^-) در pH قلیائی و بارهای مثبت (H^+) در pH اسیدی در محیط‌های آبی است. تمام کلوئیدها در pH خاصی بدون بار می‌شوند که به آن، ZPC (Zero Point of Charge) می‌گویند (Faure 1991). در این مرز از pH، نبود بارهای منفی و یا مثبت باعث نزدیک شدن ذرات کلوئیدی به هم و لخته شدن آن‌ها می‌شود. اگر pH محیط بالاتر از مرز ZPC کلوئیدها برود، سطوح کلوئیدها بیشتر بار منفی آزاد می‌کند و بالعکس. بنابراین این ترکیبات در شرایط قلیائی می‌توانند کاتیون‌های فلزی محلول را جذب نمایند. از دیگر روش‌های پاکسازی می‌توان به پاکسازی با استفاده از ترکیبات فسفر (Hester & Harrison 1997)، انعقاد و پالایش کردن، استفاده از اکسید آلومینیوم فعال شده، پاکسازی به‌وسیله‌ی گیاهان، تصفیه‌ی بیولوژیکی (Iskandar 2000) و استفاده از خود زغال (تمیز) به‌عنوان یک جاذب پر قدرت اشاره نمود.

با توجه به مطالب یاد شده، مهمترین راه پاکسازی آب حوضچه در محدوده‌ی مورد مطالعه، اضافه نمودن آهک ($Ca(OH)_2$) و دیگر ترکیبات قلیائی به محلول جهت بالا رفتن pH و ته‌نشینی فلزات سنگین می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید، انحلال‌پذیری املاح موجود در آب حوضچه و عناصر کمیاب کاملاً عکس یکدیگر عمل می‌نمایند.

بدین صورت که در فصول گرم به‌دلیل بالا رفتن دمای آب، کاهش انحلال‌پذیری آهک و در نتیجه کاهش pH، انحلال‌پذیری عناصر جزئی افزایش می‌یابد و بالعکس در ماه‌های سرد سال، با افزایش انحلال‌پذیری املاح، pH آب بالا رفته و انحلال‌پذیری عناصر کمیاب کاهش می‌یابد. این عمل باعث می‌شود تا میزان زیادی از املاح و فلزات به‌همراه سختی کربناتی رسوب نمایند. در این مرحله، عناصر طی واکنش زیر ته‌نشین می‌گردند (Eby 2004).



که در این واکنش‌ها، منظور از Me^{2+} همان فلزات سمی دو ظرفیتی است. انحلال‌پذیری این ترکیبات هیدروکسیدی با افزایش pH کاهش می‌یابد و رسوب می‌کنند. pH بهینه برای این نوع پاکسازی، حدود ۱۰ می‌باشد و برای بسیاری از فلزات کاربرد دارد. این روش در تصفیه‌ی نهائی فاضلاب‌هایی که دارای غلظت بالای فلزات سنگین هستند و برای مصارف کشاورزی تصفیه می‌شوند، کاربرد زیادی دارد (Iskandar 2000). دیگر روش مهم پاکسازی در این زمینه، هوادهی است. نگهداری آب به‌صورت راکد، می‌تواند باعث رسوب‌گذاری



تصویر ۵- نمودار میزان غنی‌شدگی عناصر سمی در آب حوضچه‌ی اکبرآباد نسبت به حد مجاز برای کشاورزی

۵- نتیجه‌گیری

داده‌ها حاکی از آن است که غلظت عناصر سمی در اغلب موارد، در آب خروجی از کارخانه بیشتر از آب ورودی و حتی آب حوضچه می‌باشد (به جز نقره، بر و کادمیوم). بیشترین تغییرات مربوط به عنصر منگنز است که دلیل آن، مشارکت زیاد این عنصر در ساخت بافت‌های مختلف گیاهی است که بعدها به زغال‌سنگ تبدیل شده‌اند. به‌طور کلی، دلیل افزایش غلظت فلزات جزئی بخصوص منگنز، نیکل، کروم و تا حدودی کبالت و روی در آب خروجی از کارخانه به نسبت آب ورودی، به دلیل اثر آلودگی است و دلیل غلظت بیشتر آن نسبت به آب حوضچه، ته‌نشینی این عناصر به دلیل افزایش pH می‌باشد. در مورد کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، روند افزایش بطنی از آب ورودی به سمت آب خروجی و آب حوضچه مشخص است که دلیل افزایش این عوامل در آب خروجی، انحلال ناخالص‌های موجود در زغال‌سنگ مانند کانی‌های رسی و کربنات‌ها و سولفات‌ها است. دلیل افزایش این املاح در آب حوضچه اثر دما بر انحلال‌پذیری این املاح می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت در ماه‌های گرم سال میزان انحلال‌پذیری و در نتیجه غلظت عناصر مسمومیت‌زا در آب حوضچه بالا می‌باشد که دلیل آن انحلال‌پذیری زیاد این عناصر در دمای بالا و کاهش انحلال‌پذیری یون‌های قلیائی و در نتیجه کاهش pH و همچنین افزایش میزان تبخیر و کاهش بارندگی است.

در ماه‌های سرد، غلظت این عناصر در آب کاهش چشمگیری نشان می‌دهد که دلیل آن کاهش انحلال‌پذیری این عناصر در دمای پائین و افزایش انحلال‌پذیری یون‌های قلیائی و در نتیجه افزایش pH آب حوضچه، کاهش تبخیر و افزایش بارندگی است. نتایج نشان می‌دهد که به‌جز عناصر روی و مس، غلظت اغلب عناصر سمی در فصول گرم سال بیش از حد مجاز برای استفاده در کشاورزی است. بهترین زمان برای مصرف آب حوضچه جهت کشاورزی، ماه‌های دی و بهمن می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با همین عنوان می‌باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند انجام گردیده است. نگارنده بر خود واجب می‌داند که از مساعدت معاونت محترم پژوهشی آن دانشگاه تشکر و قدردانی به‌عمل آورد.

مراجع

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، وزارت صنایع و معادن، ۴۳۰ ص.

زریسفی، ا.، م. و دوراندیش، م.، ۱۳۸۶، "بررسی آلودگی پساب ناشی از برخی صنایع و کارخانجات زرنند"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، ۸۲ ص.

Athar, M. & Vahora, S. B., 1995, "Heavy metals and environment", *New agriculture national Publishers, India*, 68 pp.

Ayers, R. S. & Westcot, D. W., 1994, "Water quality for agriculture", 3rd ed. Rome: FAO, 174 pp. (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 29, Rev. 1)

Berkowitz, B., Dror, I. & Yaron, B., 2008, "Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 412 pp.

Botkin, D. B. & Keller, E. A., 2002, "Environmental science, Earth as a living planet", 4th ed, *John Willey*: 752 pp.

De Vivo, B., Belkin, H. E. & Lima, A., 2008, "Environmental Geochemistry: Site Characterization, Data Analysis and Case Histories", *Elsevier Science*, 350 pp.

Duffy, G. J., Lanuaze, R. D. & Kable, J. W., 2005, "Reducing the environmental impact of coal-washing practice in Australia", *Environmental Geochemistry and Health. Vol 3 (4): 103-110*.

Eby, G. N., 2004, "Principles of environmental geochemistry", *Brooks/Cole*, 516 pp.

Faure, G., 1991, "Principles and Applications of Inorganic Geochemistry: A Comprehensive Textbook for Geology Students", *Macmillan Coll Div*: 500 pp.

Hester, R. E. & Harrison, R. M., 1997, "Contaminated Land and Its Reclamation", *Thomas Telford Ltd*, 145 pp.

Iskandar, I. K., 2000, "Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils", *CRC Press*; 1th ed., 320 pp.

Langmuir, D., 1997, "Aqueous Environmental Geochemistry", *Prentice Hall, New Jersey*, 600 pp.

Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. & Stoepler, M., 2004, "Elements and their compounds in the environment", *John Willey*: 350 pp.

Radojevic, M. V. & Bashkin, N., 1999, "Practical environmental analysis", *Royal Society of Chemistry*; 1th ed., 486 pp.

Ronov, A. B. & Yaroshevski, A. A., 1969, "Chemical composition of the Earth's crust", In: *Hart, P. J. (ed.) , "The Earth's crust and upper mantle"*, *American Geophys, Union*: 37-57.

Sarkar, B., 2002, "Heavy Metals in the Environment", *Marcel Dekker, New York*, 725 pp.

Schuring, J., Schulz, H. D., Fischer, W. R., Bottcher, J. & Duijnsveld, W. H. M., 1999, "Redox: Fundamentals, Processes and Applications", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York*, 251 pp.

Shahabpour, J., Doorandish, M. & Abbasnejad, A., 2005, "Mine drainage water from coal mines of Kerman

region, Iran", *Environmental Geology*, Vol 47: 915– 925.

Smith K. S., 1999, "Sorption of trace elements by earth materials—an overview with examples relating to mineral deposits", In: *Plumlee, G. S. & Logsdon, M. J. (eds), The environmental geochemistry of mineral deposits, Part A. Processes, techniques and health issues: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology 6A: 161–182.*

Tiwary, R. K. & Dhar, B. B., 1994, "Environmental pollution from coal mining activities in Damodar river basin", *India, Mine Water and the Environment*, Vol. 13: 1-10.

US EPA, 2003, "List of drinking water contaminants and their MCLs", <http://www.Epa.gov/safewater/contaminants/index/html#listmcl>.