

کاربرد شاخص‌های IPI، PI و MC_a در ارزیابی وضعیت آلودگی برخی فلزات در رسوبات باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن در مجتمع معدنی چغارت بافق

۱- عبدالحسین رضائی پورباغدر، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
Iranbaghedar@yahoo.com

۲- حسن وقار فرد، استادیار مهندسی عمران-منابع آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۳- حمیدرضا عظیم‌زاده، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۴- حمید غلامی، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۵- یحیی اسماعیل پور، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۶

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۲۱

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین وضعیت آلودگی رسوبات باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق از نظر برخی فلزات صورت گرفت. پس از حفر هفت پروفیل و نمونه‌برداری از عمق ۱۵۰-۰ سانتیمتری رسوبات، غلظت ۱۴ فلز در ۳۵ نمونه رسوب به وسیله دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. جهت تعیین مقدار زمینه ۱۴ فلز در خاک منطقه شاهد، ۲۵ نمونه از پروفیلی به عمق ۲/۵ متر (هر ۱۰ سانتیمتر یک نمونه) تهیه و غلظت متغیرهای مذکور به وسیله دستگاه ICP-OES تعیین شد. پس از دسته‌بندی داده‌های حاصل و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، جهت تعیین مقدار آلاینده‌گی و تغییرات متغیرهای اندازه‌گیری شده شاخص‌های IPI، PI و MC_a محاسبه شد. نتایج نشان داد میانگین شاخص PI برای متغیرهای آرسنیک، کبالت، آهن و وانادیوم به ترتیب ۴/۳۶۵، ۹/۲۵۴، ۴/۵۷۰ و ۹/۲۴۹ است. همچنین بر اساس نتایج محاسبه شده برای شاخص‌های IPI و MC_a ۱۰٪ نمونه‌ها در طبقه آلودگی متوسط قرار دارد. در مجموع، متغیرهای آرسنیک (As)، کبالت (Co)، آهن (Fe) و وانادیوم (V) به عنوان آلاینده‌های مهم رسوب باطله ناشی از کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق است که در صورت عدم اجرای اقدامات پیشگیرانه یا اصلاحی مناسب موجب آلودگی خاک و منابع آب منطقه خواهد شد. یافته‌های این پژوهش با شناسایی منابع بالقوه آلاینده آب و خاک منطقه، راهگشای تحقیقات آینده جهت بررسی امکان رفع آن‌ها با روش گیاه‌پالایی است.

واژگان کلیدی: آلودگی؛ فلزات؛ رسوب؛ مقدار زمینه؛ بافق.

مقدمه

بررسی اثر زیست محیطی استخراج و فرآوری منابع معدنی، امروزه به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر امکان‌یابی طرح‌های معدنی و صنعتی در کشورهای توسعه یافته است. در سال‌های اخیر افزایش فعالیت‌های استخراج و فرآوری فلزات زمینه تشدید آلودگی‌های محیطی را فراهم ساخته است. نخستین گام در راستای چاره‌اندیشی و نیز پیش‌گیری از گسترش این مشکل آگاهی از میزان و وضعیت آلودگی است [۱]. آنچه زمینه‌ساز انجام این پژوهش شد وجود معادن متعدد و صنایع هم‌جوار از جمله کارخانه فرآوری سنگ آهن در بافق است که رسوبات باطله حاصل از آن به عنوان تهدیدی بزرگ در تخریب

بررسی اثر زیست محیطی استخراج و فرآوری منابع معدنی، امروزه به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر امکان‌یابی طرح‌های معدنی و صنعتی در کشورهای توسعه یافته است. در سال‌های اخیر افزایش فعالیت‌های استخراج و فرآوری فلزات زمینه تشدید آلودگی‌های محیطی را فراهم ساخته است. نخستین گام در راستای چاره‌اندیشی و نیز پیش‌گیری از گسترش این مشکل آگاهی از میزان و وضعیت آلودگی است [۱]. آنچه زمینه‌ساز انجام این پژوهش شد وجود معادن متعدد و صنایع هم‌جوار از جمله کارخانه فرآوری سنگ آهن در بافق است که رسوبات باطله حاصل از آن به عنوان تهدیدی بزرگ در تخریب

خاک و منابع آب و شروع بیابان‌زایی در منطقه است. آلودگی‌های محیط زیست به عنوان یکی از شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی و از مهم‌ترین چالش‌های جوامع صنعتی و در حال توسعه است. خاک و آب، دریافت‌کننده هزاران نوع زباله و مواد شیمیایی مصرف شده در جامعه امروزی هستند. همه ساله میلیون‌ها تن از فرآورده‌ها یا بقایای مختلف صنعتی به درون خاک‌ها راه یافته و به محض ورود، به بخشی از چرخه زیستی که در تمام شکل‌های حیات موثر است تبدیل می‌شوند. هر چند که خاک‌ها بنا بر طبیعت خود می‌توانند بخشی از این مواد را جذب و نگهداری کنند، تا از انتقال آن‌ها به لایه‌های زیرین

آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین‌انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی در شهرستان نهاوند مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر شاخص فاکتور آلودگی نشان داد که بیشتر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند، و فاکتور آلودگی برای فلز کروم بیشترین مقدار را داشت، به‌طوری‌که ۱۰/۲۶ درصد از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط تا شدید قرار داشت [۱۱].

نتایج ارزیابی وضعیت خاک‌های اطراف دو بزرگراه در انگلستان، نشان داد که غلظت‌های بسیار بالایی از سرب در پنج سانتیمتری اول خاک‌های حاشیه این بزرگراه وجود دارد. غلظت سرب در فاصله پنج متری از بزرگراه بیش از حد مجاز این عنصر به دست آمد [۸].

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه‌ای در چین که سه دهه از صنعتی و شهری شدن آن می‌گذرد، نشان داد که میانگین فلزات کادمیوم، مس، منگنز و آرسنیک در خاک سطحی منطقه دو برابر بالاتر از مقدار زمینه بوده و آلودگی سرب در خاک خیلی گسترده‌تر از دیگر فلزات بود که نتیجه فعالیت‌های انسانی است [۱۴].

شهرستان بافق در زمره مناطق خشک و بیابانی کشور قرار دارد و یکی از فعالیت‌های مهم اقتصادی در این شهرستان معدنکاری و احداث صنایع هم‌جوار است. مهم‌ترین معدن شهرستان بافق شرکت سنگ آهن مرکزی ایران (معدن چغارت) است که بزرگ‌ترین تامین‌کننده خوراک کارخانه ذوب آهن اصفهان است. صنایع جوار معدنی مختلفی در کنار این مجموعه معدنی ساخته شده و تعدادی نیز در حال ساخت است. از جمله این صنایع، کارخانه فرآوری سنگ آهن با تولید سالانه بالغ بر سه میلیون تن کنسانتره آهن است، رسوب باطله حاصل از آن کارخانه به بستر انباشت انتقال یافته و می‌تواند موجبات آلودگی منابع آب و خاک منطقه را فراهم آورد.

در حال حاضر کنترل و اصلاح آلودگی خاک به فلزات سنگین به‌عنوان بخشی از برنامه‌های مربوط به حفاظت منابع طبیعی، محیط زیست، اکوسیستم و امنیت غذایی هر منطقه مورد توجه است [۱۵]. از سوی دیگر تصمیم‌گیری در مورد اجرای اقدامات پیشگیرانه یا

و در نهایت آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود، ولی توان خاک در این رابطه محدود بوده و با افزایش حجم آلاینده‌ها خطر بیابان‌زایی حتمی خواهد بود [۵].

دخالتهای انسان در طبیعت و شرایط ویژه زمین‌شناسی در برخی مناطق، موجب شده است که آلودگی‌های خاک و محیط‌های آبی با فلزات به یک مشکل جدی تبدیل شود. ورود فلزات سمی از طریق فعالیت‌های انسانی باعث آلودگی خاک و در نتیجه آب‌های زیرزمینی شده است، به‌طوری‌که میزان غلظت این عناصر، در خاک و آب زیرزمینی، در بسیاری از نقاط صنعتی بیش از حد مجاز است و یا به زودی به بیش از حد مجاز خواهد رسید [۷]. تحقیقات زیادی در زمینه آلودگی خاک و رسوبات باطله به فلزات انجام شده که به برخی موارد اشاره می‌گردد. نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی خاک و آب زیرزمینی دشت آبرفتی عسلویه با تاکید بر فلزات سنگین نشان داد که غلظت برخی فلزات در نمونه‌های آب و خاک زیاد بوده و همچنین عناصر F و B در آب زیرزمینی و Sr, Mn, Pb و Ni در برخی نمونه‌های خاک دارای غلظتی بیش از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است [۷].

بررسی وضعیت آلودگی رسوب رودخانه بشار در شهرستان یاسوج از نظر برخی فلزات سنگین ثابت کرد که که رسوب مذکور از نظر عناصر سرب، کروم، نیکل، روی و مس دارای آلودگی متوسط و از نظر کادمیوم دارای آلودگی شدید است [۴].

نتایج تحقیقی با عنوان آلودگی رسوبات جنوب شرق تهران به عناصر سمی، نشان داد که رسوبات منطقه بی‌نهایت آلوده نسبت به عناصر آنتیموان و نقره، به شدت آلوده نسبت به عناصر آرسنیک، کادمیوم، روی و مس، بی‌نهایت تا شدیداً آلوده نسبت به عنصر سرب، آلودگی شدید تا متوسط نسبت به عنصر کروم و غیر آلوده تا کمی آلوده نسبت به عنصر نیکل هستند [۱۲].

نتایج بررسی تأثیر فعالیت کارخانه سیمان روی رسوبات رودخانه‌ای در شمال نیجر به نشان داد که غبار ناشی از کارخانه سیمان حاوی مقادیر متنابهی از فلزات روی، کادمیوم و نیکل است و کارخانه سیمان و دود ناشی از خودروها دو منبع مهم انتشار آلاینده‌ها هستند [۲].

بازیافتی، از طریق چهار دریچه در زیر تیکنر تخلیه شده و پس از طی مسافتی حدود پنج کیلومتر که دو کیلومتر آن لوله‌گذاری شده است وارد لاگون‌ها (سدهای باطله) می‌شود. پس‌اب ناشی از فرآوری سنگ آهن در بافق مخلوطی از باطله‌های معدنی و آب به حالت دوغاب است که در اثر نیروی ثقل و به وسیله لوله به پائین دست کارخانه مذکور خارج از سایت فرآوری هدایت شده و پس از استحصال آب بازیافتی رسوب باطله در سدها انباشت می‌شود (شکل ۱). در حال حاضر ۷ سد باطله به ابعاد تقریبی ۱۰۰×۱۰۰ متر بستر انباشت رسوب باطله را تشکیل می‌دهد. پسماند مذکور با آلاینده‌هایی همراه خواهد بود که با وجود اقدامات پیشگیرانه اولیه، موجب آلودگی خاک و به دنبال آن منابع آب زیرزمینی می‌شود.

روش تحقیق

جهت تعیین وضعیت آلاینده‌های رسوب ناشی از کارخانه فرآوری، با توجه به تعداد سدهای باطله، نسبت به حفر هفت پروفیل (هر سد یک پروفیل) به صورت کامل تصادفی اقدام شد. سپس با توجه به عمق رسوبات انباشته شده از اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰، ۹۰-۱۲۰ و ۱۲۰-۱۵۰ سانتیمتری پروفیل‌های حفر شده به مقدار استاندارد و به نحوی که معرف لایه‌ها باشد و در مجموع ۳۵ نمونه رسوب گرفته شد.

اصلاحی همواره در گرو اطلاع اولیه از پراکنش و شدت آلودگی‌ها است [۱۶]. با رعایت به این‌که آلودگی فلزات در مورد باطله‌های معدنی و صنایع فرآوری کمتر مورد پژوهش قرار گرفته است، در همین راستا اطلاع از وضعیت آلودگی رسوبات باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن به منظور اجرای اقدامات اصلاحی از جمله گیاه‌پالایی ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش در صدد پاسخ‌گویی به اینسوال است که وضعیت پسماند حاصل از فرآوری سنگ آهن از نظر برخی فلزات چگونه است؟

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

معدن چغارت در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر بافق و در ۱۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر یزد در حاشیه کویر مرکزی ایران واقع شده است. بیش از ۴۰ سال از شروع بهره‌برداری این معدن می‌گذرد. پس از عملیات حفاری، آتشیاری و استخراج در پیت معدن، سنگ‌های ارسالی به کارخانه در سه مرحله خردایش انباشت و آماده حمل می‌شود. به منظور بهره‌برداری بهینه از سنگ‌های کم‌عیار استخراج شده از معدن چغارت و نیز معدن سه چاهون، ساخت کارخانه فرآوری سنگ آهن از سال ۱۳۷۲ شروع و در سال ۱۳۸۶ به بهره‌برداری رسید. کنسانتره آهن تولیدی در این کارخانه پس از آبیگری توسط فیلتر نواری به انبار کنسانتره انتقال می‌یابد. مواد باطله پس از سیرکوله شدن در تیکنر و استحصال بخشی از آب



شکل ۱- محل انباشت رسوبات باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن (محدوده تحقیق)

نمایش شد. نمونه‌های پودر شده با استفاده از روش انحلال چهار اسید شامل بر اسید هیدروفلوئوریک،

نمونه‌های رسوب پس از کدگذاری به آزمایشگاه منتقل و در آن‌جا به وسیله آسیاب دیسکی تا اندازه ۷۵ میکرون

تاملینسون، محاسبه شد. در این رابطه PI_1 تا PI_n متغیرهای آلودگی محاسبه شده برای اولین نمونه تا n امین نمونه اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد [۴].

$$IPI = \left(\prod_{i=1}^n PI_i \right)^{1/n} \quad (2)$$

هاکانسون در سال ۱۹۸۰ شاخص دیگری با نام درجه آلودگی را ارائه نمود که در سال ۲۰۰۵ آبراهم آن را به شاخص MC_d به شرح روابط زیر اصلاح نمود.

$$Cd = \sum_{i=1}^n PI_i \quad (3)$$

$$MCd = \sum_{i=1}^n \frac{PI_i}{n} \quad (4)$$

طبقه‌بندی متغیرهای IPI و MC_d در جدول های ۲ و ۳ آمده است [۴].

مقدار	طبقه
$IPI \leq 1$	آلودگی کم
$1 < IPI \leq 2$	آلودگی متوسط
$IPI \geq 2$	آلودگی زیاد

مقدار	طبقه
$MC_d \leq 1.5$	درجه خیلی پایین آلودگی
$1.5 \leq MC_d < 2$	درجه پایین آلودگی
$2 \leq MC_d < 4$	درجه متوسط آلودگی
$4 \leq MC_d < 8$	درجه بالای آلودگی
$8 \leq MC_d < 16$	درجه خیلی بالای آلودگی
$16 \leq MC_d < 32$	درجه شدید آلودگی
$MC_d \geq 32$	درجه خیلی شدید آلودگی

پرکلریک، نیتریک و هیدروکلریک هضم شد. در گام بعد غلظت فلزات نقره (Ag)، آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، بریلیوم (Be)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، سرب (Pb)، سلیوم (Se) و وانادیوم (V) به وسیله دستگاه ICP-OES تعیین شد. تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد.

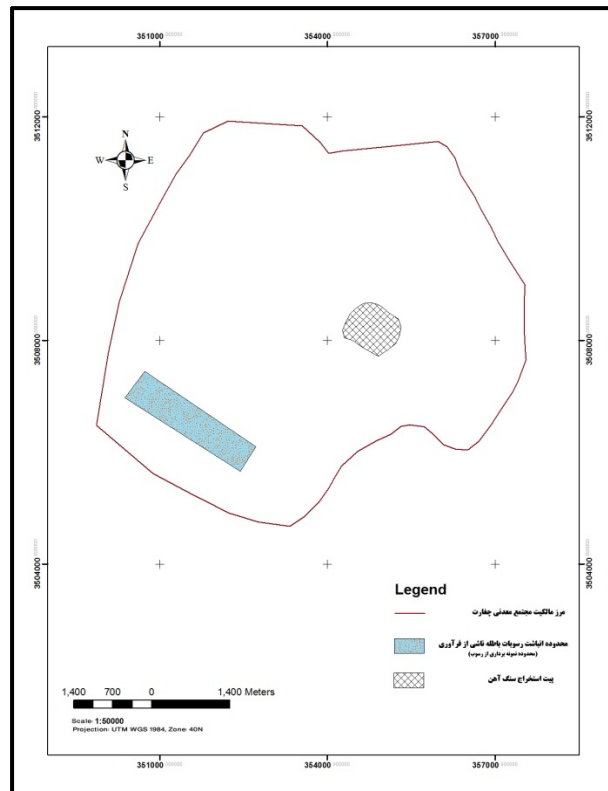
سپس با استفاده از شاخص آلودگی^۱ میزان آلودگی مولفه‌های اندازه‌گیری شده در پسماند فرآوری برآورد شد. شاخص آلودگی برای برآورد یک محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص برای رسوب به صورت نسبت غلظت یک عنصر (C_i) در نمونه‌های رسوب به مقدار زمینه همان عنصر در منطقه (B_i) مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۱). در این پژوهش برای محاسبه مقدار زمینه هر عنصر (مقدار استاندارد)، یک پروفیل به عمق ۲/۵ متر با فاصله‌ای مناسب در مجاورت سدهای انباشت رسوب حفر شد. کندن این پروفیل‌ها در مکان‌هایی صورت گیرد که وضعیت ژئومورفولوژی یکسانی داشته و آلودگی به آن سرایت نکرده باشند. از هر ۱۰ سانتیمتر پروفیل به مقدار استاندارد و به نحوی که معرف لایه‌ها باشد، یک نمونه و در مجموع ۲۵ نمونه گرفته شد. تمامی مولفه‌های مورد آزمایش در نمونه‌های رسوب، در ۲۵ نمونه خاک منطقه شاهد نیز به وسیله دستگاه ICP-OES تعیین و نمودار تغییرات غلظت متغیرهای آلاینده در خاک ترسیم شد. طبقه‌بندی متغیر آلودگی PI در جدول ۱ آورده شده است [۴].

$$PI = \frac{C_i}{B_i} \quad (1)$$

مقادیر PI	درجه آلودگی
$PI \leq 1$	آلودگی کم
$1 < PI \leq 3$	آلودگی متوسط
$PI \geq 3$	آلودگی زیاد

در ادامه برای تعیین تغییرات آلودگی از دو شاخص IPI و MC_d استفاده شد. سطح آلودگی با استفاده از شاخص بار آلودگی (رابطه ۲) ارائه شده به وسیله

^۱ Pollution Index (PI)



شکل ۲- موقعیت انباشت رسوبات باطله و محدوده نمونه برداری

نتایج

مقدار زمینه هر عنصر جهت محاسبه شاخص های PI، IPI و MC_d با توجه به تجزیه و تحلیل نمونه های شاهد و نمودار تغییرات هر عنصر (شکل های ۳ تا ۹) در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه شاهد محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

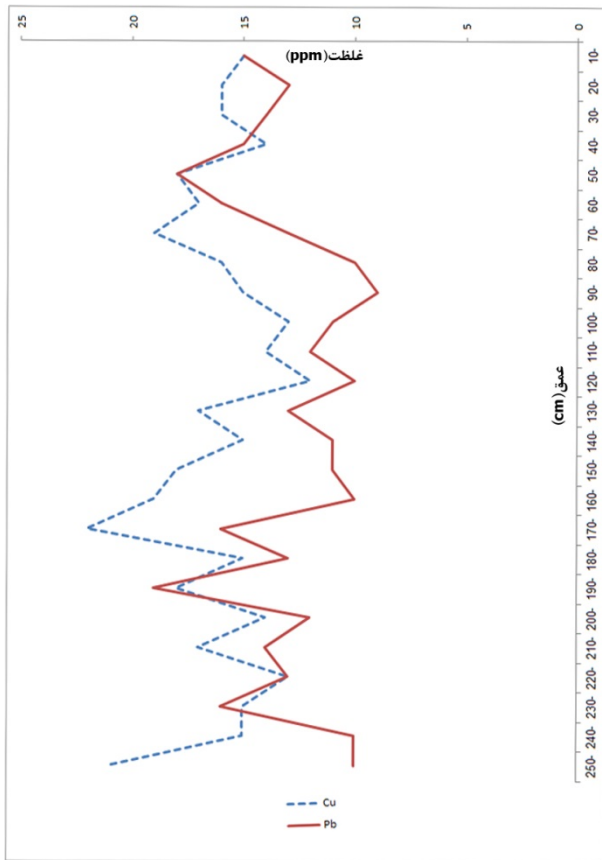
بررسی نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای همه متغیرهای مورد مطالعه در نمونه های رسوب نشان داد که تمامی مولفه ها در سطح اطمینان ۰/۰۵ نرمال است.

جدول ۴- میانگین، کمینه و بیشینه غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن

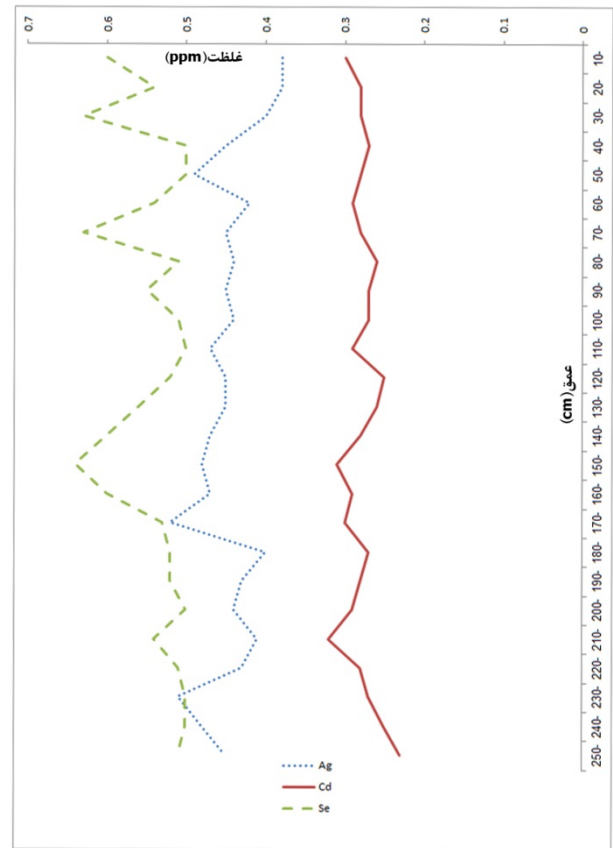
متغیر	بیشینه (ppm)	کمینه (ppm)	میانگین (ppm)
نقره (Ag)	۰/۲۶	۰/۲	۰/۲۲۳
آلومینیوم (Al)	۲۶۴۲۱	۲۶۴۱۹	۲۶۴۱۹/۹۶
آرسنیک (As)	۲۷/۱۷	۲۶/۸	۲۷/۰۱۶
بریلیوم (Be)	۲/۸	۲/۲	۲/۵۲
کادمیوم (Cd)	۰/۳	۰/۲۴	۰/۲۷۵
کیالت (Co)	۵۶/۱	۵۵/۶	۵۵/۸۹۶
کروم (Cr)	۵۰/۹	۴۹/۸	۵۰/۰۸۹
مس (Cu)	۳۵/۱	۳۳/۹	۳۴/۸۴
آهن (Fe)	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
منگنز (Mn)	۷۴۴	۷۴۲	۷۴۳/۰۲۲
مولیبدن (Mo)	۱/۸۴	۱/۵۹	۱/۶۸۵
سرب (Pb)	۳۴/۳۲	۳۳	۳۳/۹۰۹
سلنیوم (Se)	۰/۵۳	۰/۵	۰/۵۱۴
وانادیوم (V)	۴۴۹/۹۲	۴۴۸/۸	۴۴۹/۱۴۹

جدول ۵- مقدار زمینه (استاندارد) برای ۱۴ فلز اندازه گیری شده در منطقه بافق

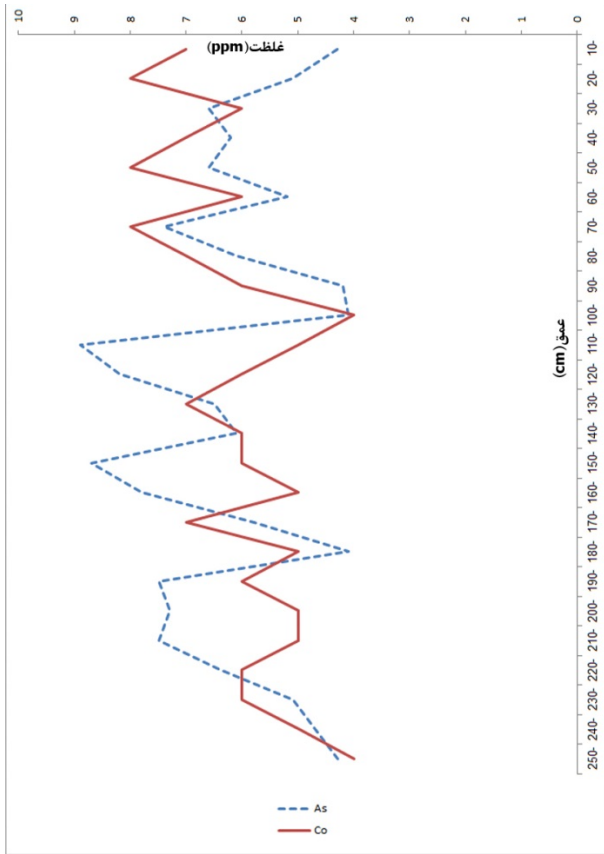
نوع فلز	مقدار زمینه (ppm)	نوع فلز	مقدار زمینه (ppm)
نقره (Ag)	۰/۴۴۶	مس (Cu)	۱۶/۱۶
آلومینیوم (Al)	۴۱۱۶۰/۹۶	آهن (Fe)	۲۱۸۸۱/۷۲
آرسنیک (As)	۶/۱۸۸	منگنز (Mn)	۶۸۶/۱۶
بریلیوم (Be)	۱/۳۳۲	مولیبدن (Mo)	۱/۲۰۰
کادمیوم (Cd)	۰/۲۷۸	سرب (Pb)	۱۲/۸۸
کبالت (Co)	۶/۰۴	سلنیوم (Se)	۰/۵۴۲
کروم (Cr)	۷۸/۴۴	وانادیوم (V)	۴۸/۵۶



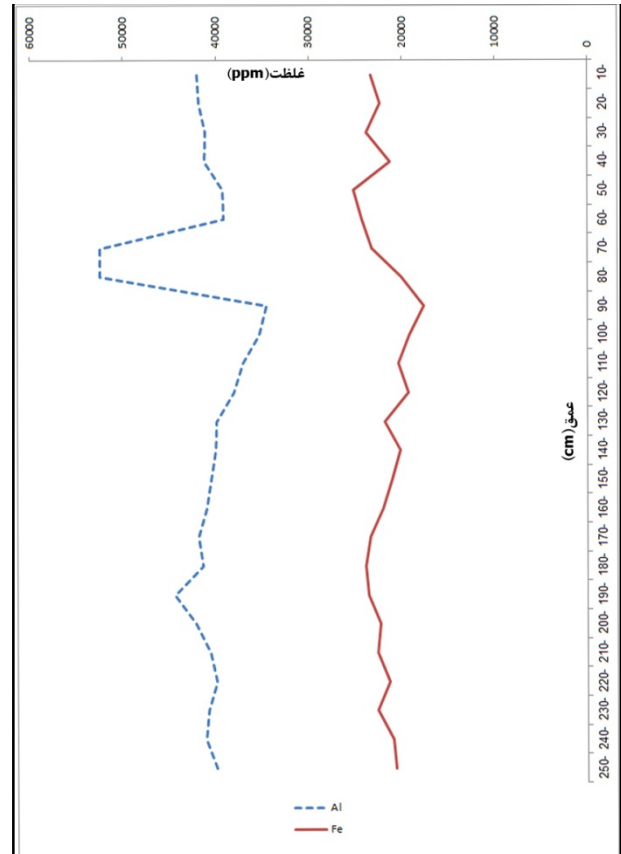
شکل ۴- روند تغییرات غلظت عناصر مس و سرب در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق



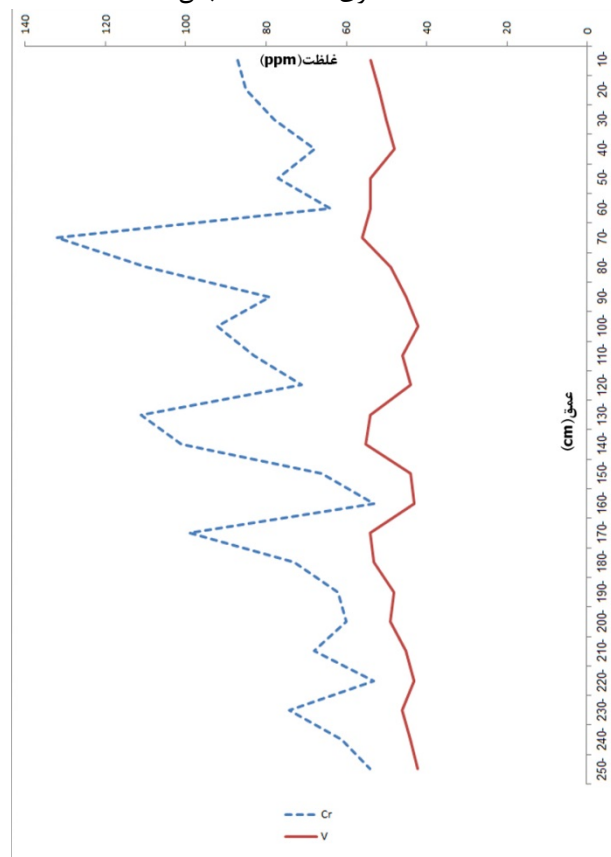
شکل ۳- روند تغییرات غلظت عناصر نقره، کادمیوم و سلنیوم در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق



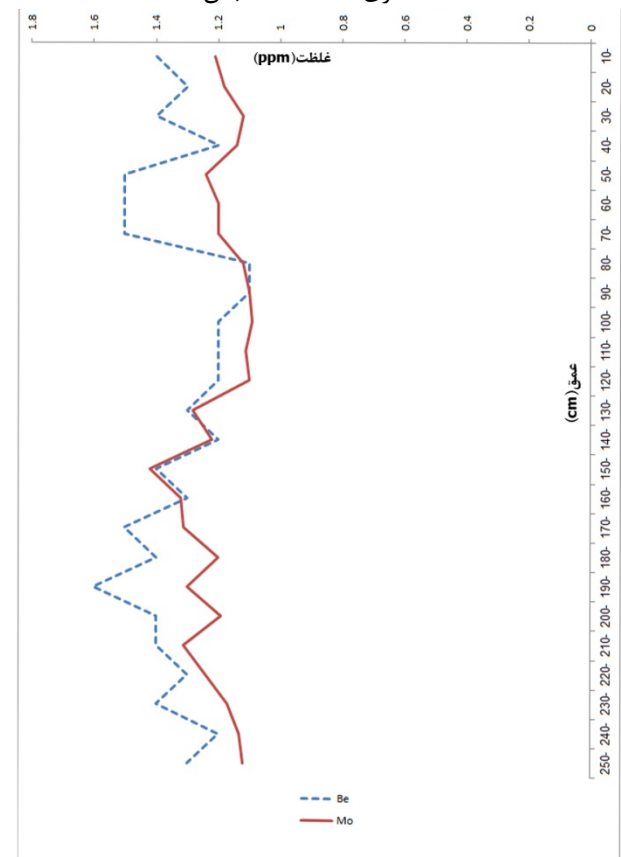
شکل ۶- روند تغییرات غلظت عناصر آرسنیک و کبالت در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق



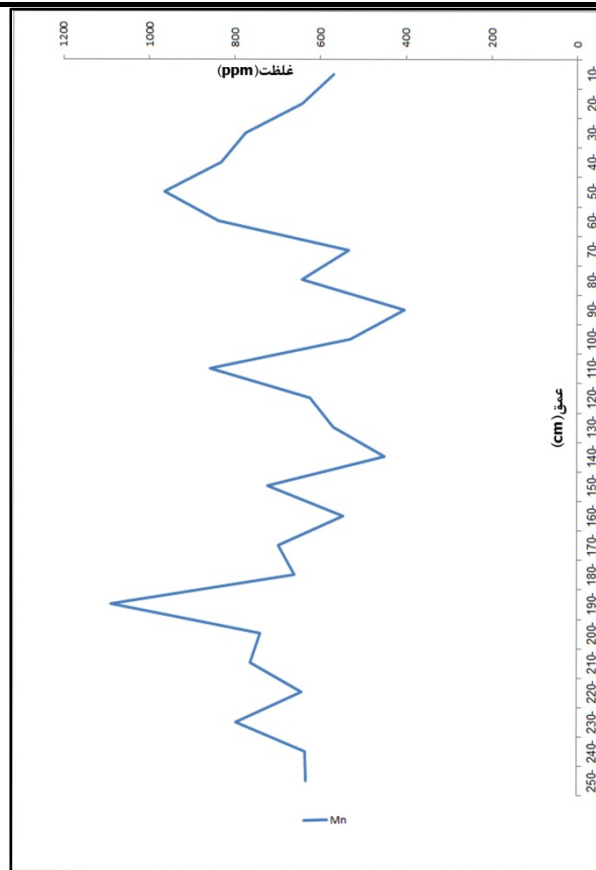
شکل ۵- روند تغییرات غلظت عناصر آلومینیوم و آهن در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق



شکل ۸- روند تغییرات غلظت عناصر کروم و وانادیوم در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق



شکل ۷- روند تغییرات غلظت عناصر بریلیوم و مولیبدن در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق



شکل ۹- روند تغییرات غلظت عنصر منگنز در عمق ۲/۵ متری خاک منطقه بافق

سپس با استفاده از شاخص آلودگی و بر اساس مقدار زمین هر عنصر، مقدار آلودگی متغیرهای اندازه گیری شده در پسماند کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق برآورد شد (جدول ۶).

جدول ۶- دسته بندی نمونه های رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن بر اساس شاخص آلودگی

تعداد نمونه های رسوب در کلاس های مختلف			متغیر
آلودگی شدید ($PI \geq 3$)	آلودگی متوسط ($1 < PI \leq 3$)	آلودگی کم ($PI \leq 1$)	
۰	۰	۳۵	نقره (Ag)
۰	۰	۳۵	آلومینیوم (Al)
۳۵	۰	۰	آرسنیک (As)
۰	۳۵	۰	بریلیوم (Be)
۰	۱۹	۱۶	کادمیوم (Cd)
۳۵	۰	۰	کبالت (Co)
۰	۰	۳۵	کروم (Cr)
۰	۳۵	۰	مس (Cu)
۳۵	۰	۰	آهن (Fe)
۰	۳۵	۰	منگنز (Mn)
۰	۳۵	۰	مولیبدن (Mo)
۹	۲۶	۰	سرب (Pb)
۰	۱۳	۲۲	سلنیوم (Se)
۳۵	۰	۰	وانادیوم (V)

نظر متغیرهای بریلیموم (Be)، مس (Cu)، منگنز (Mn) و مولیبدن (Mo) ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در طبقه آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. همچنین در مورد متغیرهای کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) و سلنیوم (Se) نمونه‌های رسوب درجه‌های متفاوتی از آلودگی را دارا هستند.

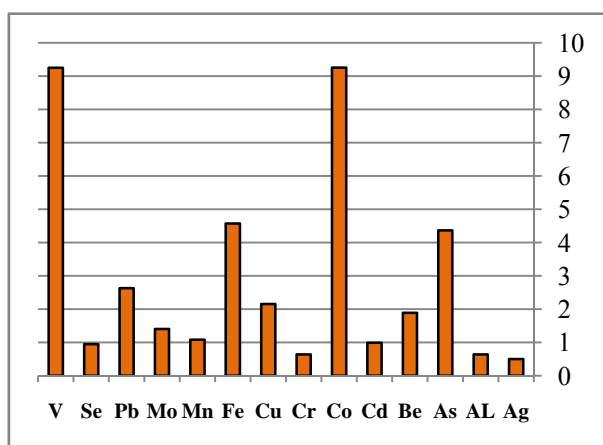
بر اساس جدول ۶ مقدار شاخص آلودگی برای متغیرهای نقره (Ag)، آلومینیوم (Al) و کروم (Cr) نشان می‌دهد که ۱۰۰٪ نمونه‌ها در طبقه آلودگی کم قرار دارند. همچنین در مورد آرسنیک (As)، کبالت (Co)، آهن (Fe) و وانادیوم (V) ۱۰۰٪ نمونه‌ها در طبقه آلودگی زیاده از

جدول ۷- وضعیت شاخص آلودگی رسوب باطله بر اساس مقدار زمینه

متغیر	میانگین شاخص آلودگی	وضعیت شاخص آلودگی
نقره (Ag)	۰/۵۰۱	کم
آلومینیوم (Al)	۰/۶۴۱	کم
آرسنیک (As)	۴/۳۶۵	زیاد
بریلیموم (Be)	۱/۸۹۱	متوسط
کادمیوم (Cd)	۰/۹۸۹	کم
کبالت (Co)	۹/۲۵۴	زیاد
کروم (Cr)	۰/۶۳۸	کم
مس (Cu)	۲/۱۵۵	متوسط
آهن (Fe)	۴/۵۷۰	زیاد
منگنز (Mn)	۱/۰۸۲	متوسط
مولیبدن (Mo)	۱/۴۰۴	متوسط
سرب (Pb)	۲/۶۳۲	متوسط
سلنیوم (Se)	۰/۹۴۸	کم
وانادیوم (V)	۹/۲۴۹	زیاد

کم تا متوسط، نسبت به متغیرهای بریلیموم، مس، منگنز، مولیبدن و سرب دارای آلودگی متوسط و نسبت به متغیرهای آرسنیک، کبالت، آهن و وانادیوم دارای آلودگی زیاد است.

نتایج ارائه شده در جدول ۷ و شکل ۱۰ نشان‌دهنده این است که رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن نسبت به متغیرهای نقره، آلومینیوم و کروم دارای آلودگی کم، نسبت به متغیرهای سلنیوم و کادمیوم دارای آلودگی



شکل ۱۰- میانگین شاخص PI برای فلزات اندازه گیری شده در رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن

IPI و MC_d بر اساس مقدار زمینه به دست آمده استفاده گردید (جدول ۸).

در مرحله بعد، بررسی تعیین تغییرات آلودگی و تکمیل روند شناسایی متغیرهای آلاینده رسوب باطله (پسماند) کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بافق از شاخص‌های

جدول ۸- مقادیر شاخص‌های IPI و MC_d برای نمونه‌های رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن

نمونه	IPI	MC _d	نمونه	IPI	MC _d
۱	۱/۸۸۴	۲/۹۵۶	۱۹	۱/۸۴۳	۲/۸۷۳
۲	۱/۸۸۷	۳/۰۰۴	۲۰	۱/۸۳۸	۲/۸۸۱
۳	۱/۸۸۷	۲/۹۲۶	۲۱	۱/۸۵۱	۲/۸۸۴
۴	۱/۸۷۹	۲/۸۷۴	۲۲	۱/۸۳۵	۲/۸۷۳
۵	۱/۸۸۶	۲/۹۰۲	۲۳	۱/۸۳۷	۲/۸۷۲
۶	۱/۸۸۶	۳/۰۶۸	۲۴	۱/۸۶۰	۲/۸۸۴
۷	۱/۸۸۴	۲/۷۹۹	۲۵	۱/۸۱۹	۲/۸۷۰
۸	۱/۸۸۶	۲/۹۲۹	۲۶	۱/۸۵۸	۲/۸۹۱
۹	۱/۸۸۰	۲/۹۳۵	۲۷	۱/۸۵۶	۲/۸۷۸
۱۰	۱/۸۷۶	۲/۸۳۲	۲۸	۱/۸۵۷	۲/۸۸۷
۱۱	۱/۸۸۷	۲/۸۶۱	۲۹	۱/۸۰۴	۲/۸۴۹
۱۲	۱/۸۸۵	۲/۸۵۱	۳۰	۱/۸۲۰	۲/۸۶۱
۱۳	۱/۸۹۰	۲/۹۸۸	۳۱	۱/۸۶۰	۲/۸۹۵
۱۴	۱/۸۸۱	۲/۹۷۶	۳۲	۱/۸۷۲	۲/۸۹۶
۱۵	۱/۸۷۱	۲/۸۹۰	۳۳	۱/۸۲۴	۲/۸۷۸
۱۶	۱/۸۷۷	۳/۱۳۶	۳۴	۱/۸۱۵	۲/۸۶۲
۱۷	۱/۸۹۵	۳/۰۵۸	۳۵	۱/۸۴۹	۲/۸۸۴
۱۸	۱/۸۶۴	۲/۸۲۳			

بر اساس مقادیر شاخص تجمعی IPI، ۱۰۰٪ نمونه‌ها در طبقه آلودگی متوسط قرار دارند. همچنین از نظر شاخص درجه آلودگی MC_d، ۱۰۰٪ نمونه‌ها درجه متوسط آلودگی را در رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج شاخص آلودگی (PI)، نشان می‌دهد که رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن نسبت به فلزات نقره، آلومینیوم و کروم دارای آلودگی کم، نسبت به فلزات سلیسیم و کادمیوم دارای آلودگی کم تا متوسط، نسبت به فلزات بریلیوم، مس، منگنز، مولیبدن و سرب دارای آلودگی متوسط، و نسبت به فلزات آرسنیک، کبالت، آهن و وانادیوم دارای آلودگی زیاد است. یافته‌های این پژوهش در ارتباط با شاخص تجمعی IPI و شاخص درجه آلودگی MC_d نشان می‌دهد که رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن در منطقه بافق در طبقه آلودگی متوسط قرار دارد.

بنابراین، در مجموع نتیجه‌گیری می‌شود متغیرهای آرسنیک (As)، کبالت (Co)، آهن (Fe) و وانادیوم (V) به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده‌های رسوب باطله ناشی از کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق است.

در صورت عدم اجرای اقدامات پیشگیرانه یا اصلاحی مناسب در ارتباط با این آلاینده‌ها، آلودگی خاک و منابع آب منطقه را به دنبال خواهد داشت. پژوهشگران نیز به نتایج مشابهی در این خصوص دست یافتند. در بررسی آلودگی رسوبات جنوب شرق تهران به عناصر سمی، نتایج نشان‌دهنده آلودگی شدید به آرسنیک است [۱۲]. همچنین ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه‌ای در چین نشان داد که میانگین آرسنیک در خاک سطحی منطقه دو برابر بالاتر از مقدار زمینه بود که نتیجه فعالیت‌های انسانی است [۱۴].

وانادیوم از منابع طبیعی و همچنین سوخت‌های فسیلی وارد محیط می‌شود و در آب، خاک و هوا برای مدت طولانی می‌ماند. وانادیوم در محیط‌های آبی، پایدار بوده و در طولانی مدت اثر زیان‌آوری روی موجودات آبی به جای می‌گذارد [۹].

هر چند آهن به عنوان یک عنصر آلوده کننده جدی محیط زیست به شمار نمی‌آید، بررسی‌ها نشان می‌دهد که وجود آهن اضافی در خون باعث ایجاد رسوباتی می‌شود که رگ‌های خونی را مسدود کرده و موجب بروز بیماری‌های دیگری نیز می‌شود [۱۰].

فرسایش بادی و انتقال رسوب باطله به وسیله باد نیز می‌تواند در انتقال آلودگی به سایر نقاط از جمله شهر بافق نقش مهمی داشته باشد. اولین گام در کنترل آلودگی، اجرای سامانه بازیافت آب از باطله است. پس از ورود مواد باطله به سد در حال آبیگری، رسوب آن در یک طرف ته نشین شده و آب آن می‌تواند با استفاده از نیروی ثقل و از سوی دیگر سد خارج شده و جهت استفاده دوباره به کارخانه هدایت شود. از سوی دیگر، با کوبیدن کف سدهای باطله در مرحله نخست ساخت به وسیله خاک رس، کمترین نفوذ را به لایه‌های پائین خاک منطقه خواهد داشت. هر چند اجرای فرآیندهای فوق بخشی از آلودگی رسوبات را در کوتاه مدت کنترل خواهد کرد. با این وجود، برای کنترل بیابان‌زایی تکنوژنیک و جلوگیری از ورود فلزات به چرخه زیستی موجودات زنده، رفع آلودگی‌های صنعتی با اجرای برنامه‌های بلند مدت و روش‌های کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست ضروری است. یافته‌های این تحقیق ضمن تعیین وضعیت آلاینده‌های پسماند فرآوری سنگ آهن و شناسایی منابع بالقوه آلاینده آب و خاک منطقه، راهگشای تحقیقات آینده جهت بررسی امکان رفع آن‌ها به روش گیاه‌پالایی است. گیاهان خانواده‌های گز^۱ و اسفناجیان^۲ از جمله گونه‌هایی هستند که برای انباشت فلزات در مناطق بیابانی پیشنهاد شده‌اند. هم‌چنین جنس‌های *Tamarix*، *Anabasis* و *Haloxylon* نیز به عنوان گونه‌های انباشتگر در مناطق بیابانی ازبکستان معرفی شده‌اند [۳]. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه بیابانی بافق و شرایط ادافیکی رسوب باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن بیان و هم‌چنین مقاومت بالای گونه‌های انتخابی نسبت به خشکی، نوسانات شدید دمایی، بافت و ساختمان نامناسب خاک، اسیدیته نامناسب و متغیر، و شوری و سدیمی بودن محیط، پیشنهاد می‌شود امکان رفع آلاینده‌های رسوبات مذکور با روش گیاه‌پالایی و به وسیله گونه‌های *Anabasis spp.*، *Tamarix spp.* و *Haloxylon spp.* که از گونه‌های بومی منطقه بوده و سالیان متمادی در منطقه بافق رشد و نمو داشته‌اند، بررسی و مطالعه شود.

ورود مقدار زیادی از کبالت به داخل بدن می‌تواند بیماری برونشیت حاد ایجاد کند. در اثر تماس این عنصر با پوست دست بیماری‌های پوستی بوجود می‌آید. موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان این عنصر را سرطان‌زای احتمالی معرفی کرده است [۱۰].

مکانیسم مسمومیت آرسنیک، اختلال در متابولیسم سلولی از طریق ترکیب با آنزیم‌های بدن است. قرار گرفتن در معرض آرسنیک در مدت کوتاه نیز منجر به حساسیت‌های معده، روده، سخت شدن عمل بلع، تشنگی و کاهش غیرطبیعی فشار خون، تشنج و در موارد حادتر، نارسائی و کاهش ضربان قلب که منجر به مرگ می‌شود.

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین به دلیل تأثیر سوء این موادمسموم بر موجودات زنده، تبدیل به مسئله‌ای جهانی شده است [۱۰]. فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و انباشت در مخازن طبیعی و در آخر ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم‌شناختی زیادی برخوردارند [۹]. با عنایت به این که بوم‌سازگان‌های بیابانی حساس و شکننده بوده و در مقابل کوچک‌ترین تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند، در صورتی که آلاینده‌های پسماند (رسوب باطله) ناشی از فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق کنترل نشود و به دنبال آن روند بیابان‌زایی تکنوژنیک مهار نشود، فلزات سنگین پس از ورود به منابع آب و خاک، وارد چرخه زیستی موجودات زنده شده و افزون بر پدیدآوردن مشکلات زیست محیطی گوناگون، تأثیر شگرفی بر بوم‌سازگان منطقه خواهد گذاشت. نتایج این پژوهش حاکی از این است که رسوبات باطله به جا مانده از فرآوری سنگ آهن در منطقه بافق آلوده به فلزات سنگین بوده و روند بیابان‌زایی در این منطقه را تشدید نموده است. نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که سدهای باطله بر روی سازند کواترنر (پادگانه‌های آبرفتی جدید Q₂) ساخته شده است. از طرف دیگر، بستر چند رودخانه فصلی نیز در محدوده انباشت این رسوبات باطله قرار دارد. فلزات آرسنیک، کبالت، آهن و وانادیوم که به عنوان آلاینده‌های این رسوبات باطله شناخته شده‌اند، می‌توانند در اثر آبشویی به منابع آب زیرزمینی و چاه‌های کشاورزی منطقه انتقال یافته و از آن‌جا به بافت گیاهان و چرخه زیستی موجودات زنده وارد شود. از سوی دیگر،

¹. *Tamaricaceae*

². *Chenopodiaceae*

References

- [1]. Abdolahi, S., Delavar, M., & Shekari, P. (2012). Numerical analysis of the distribution of soil pollution by heavy elements Angooran mine area in Zanjan. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*, 26(5), 1130-1151, (in Farsi).
- [2]. Ameh, E.G., Kolawole, M.S., Imeokparia, E.G. (2011). Using Factor-Cluster analysis and Enrichment methods to evaluate impact of cement production on stream sediments around Obajana cement factory in kogi state. *North Central Nigeria Pelagia Research Library*, 76-89.
- [3]. Ashraf, M., Ozturk, M., and Ahmad, M.S.A. (2010). Plant Adaptation and Phytoremediation, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, Library of Congress Control Number: 2010931467. (www.springer.com)
- [4]. Ayaseh, K., Stodeh, A., & Poorshirzad, A. (2014). Study on sediment pollution of Bashar river due to some trace metals. M.Sc. theses, Faculty of Natural resources. Yazd university, (in Farsi).
- [5]. Gity, A. (2011). Desert, desertification and desertification combating. Iran Agricultural Science Publications. 700 p, (in Farsi).
- [6]. Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Res.* 14, 975-1001.
- [7]. Kalantari, N., Sajadi, Z., Makvandy, M., & Keshavazi, M. (2012). Chemical properties of Asalooyeh alluvial soil and groundwater with an emphasis on heavy metal pollution. *Journal of Applied Geology*, 7(4), 333-342. (in Farsi).
- [8]. Legret, M. (2006). Heavy metal deposition and soil pollution along 2 major rural highways, *Environment technology*, 37, 247-254.
- [9]. Loska, K., & Wiechula, D. (2003). Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere Journal*, 51, 723-733.
- [10]. MacFarlane, G.R., & Burchett, M.D. (2000). Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.). *Vierh. Aquatic Botany*, 68, 45-59.
- [11]. Shahbazi, A., Safianian, A., Mirghafari, N., & Einghalai, M.H. (2012). Study of heavy metals contamination soil by pollution factor, the comprehensive pollution factor and land accumulation indexes in Nahavand city. *Environment and development Journal*, 5, 31-38.
- [12]. Shahdadi, S., & Moslempour, M. (2011). Study of Contamination of sediments in the South East of Tehran to toxic elements using principal components analysis and determination of pollution index. *Journal of Ecology*, 37(60), 137-148, (in Farsi).
- [13]. Tomlinson D. L., Wilson J. G., Harris C. R. and Jeffney D. W. (1980). problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of pollution index, *Helgol. Wiss. Meeresunters*, vol. 33, 566-572
- [14]. Yuanan, H., Xueping, L., Jinmei, B., Kaimin, Sh., Eddy, Y., & Hefa, Ch. (2013). Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environ Science Pollution Research*, 20, 6150-6159.
- [15]. Zhou, A.X., & Mackay, D.S. (2001). Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. *Journal of Hydrology*, 248, 54-77.
- [16]. Zhou, J.M., Dang, Z., Cai, M.F., & Liu, C.Q. (2007). Soil heavy metal pollution around the Dabaoshan mine, Guangdong Province, China. *Pedosphere Journal*, 17(5), 588-594.

Using of the PI, IPI and Mc_d indices for evaluating of contamination status of some metals in waste sediments caused by iron ore processing in Chogart Mineral Complex of Bafgh

- 1- A. Rezaipoorbaghedar, Ph.D. Student of Combating Desertification, Hormozgan University
Iranbaghedar@yahoo.com
- 2- H. Vaghrfard, Assistant Professor of Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University
- 3- H. Azimzadeh, Associate Professor of Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University
- 4- H. Gholami, Assistant Professor of Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University
- 5- Y. Esmailpoor, Assistant Professor of Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University

Received: 25 Feb 2015

Accepted: 20 Mar 2016

Abstract

The present study was designed to evaluate the pollution status of some heavy metals in waste sediments caused by iron ore processing in Bafgh desert area. After drilling 7 profiles and sampling from 0-150 cm depth of sediments, concentration of 14 heavy metals in 35 sediment samples were measured by ICP-OES. To determine the background of heavy metals in soil of control site, 25 samples from the profile with a depth of 2.5 meters (one sample per 10 centimeter) was prepared and the concentration was determined by ICP-OES. After testing data normality, PI, IPI and MC_d indices were calculated for determining the amount of pollution and changes in the measured parameters. The results showed that PI amount for As, Co, Fe and V were 4.365, 9.254, 4.57 and 9.249. Also the results about IPI and Mc_d showed that 100 percentages of samples were in moderate class of pollution. Overall As, Co, Fe and V are as important pollutant parameters in the waste sediment caused by iron ore processing in Bafgh desert area. In case of lack of appropriate modifying or Precautionary proceedings, it will lead to contamination of soil and water resources in the region. Moreover, the findings of this study revealed the status of pollution and identified potential sources of water and soil pollutants in waste sediment, It is guidance for future research in order to examine the possibility of their removal by phytoremediation method.

Keywords: Contamination; Heavy metal; Sediment; Background amount; Bafgh.