



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی

ندا سیستانی^۱، مظاهر معین الدینی^{۲*}، نعمت اله خراسانی^۲، امیرحسین حمیدیان^۲، محمد صالح علی طالشی^۲، رخساره عظیمی یانچشمه^۲
۱- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران
۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: توسعه شهری و صنعتی موجب افزایش میزان غلظت فلزات سنگین در محیط زیست شده‌اند. هدف از این تحقیق ارزیابی اثر مجتمع‌های فولاد کرمان بر آلودگی خاک پیرامون آن به فلزات سنگین صورت گرفت.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۱۳
تاریخ ویرایش: ۹۵/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۱
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۳/۳۱

روش بررسی: این مطالعه مقطعی و از نوع توصیفی-تحلیلی بود. فلزات سنگین ۶۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۱۵-۰ cm) مجاور دو مجتمع فولاد با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی شعله‌ای (AAS) آنالیز شدند. شاخص‌های منشأیابی و تعیین درجه آلودگی شامل شاخص‌های فاکتور غنی‌سازی (EF) و درصد آن، زمین انباشت (I_{geo})، فاکتور آلودگی (C_p)، درجه آلودگی (C_d) و درجه اصلاح شده آلودگی (mC_d) برای ارزیابی سطح آلودگی خاک محاسبه شدند.

واژگان کلیدی: خاک، فلزات سنگین، مجتمع‌های فولاد کرمان، شاخص آلودگی

یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، روی، آهن، سرب، کروم و کادمیوم به ترتیب ۵۴/۳۸، ۹/۹۸، ۰/۳۸ mg/kg و ۳/۵۴، ۲۰/۸۶، ۱۵۰۶۳/۳۳ بودند. ترتیب فلزات سنگین براساس میانگین شاخص‌های EF عبارت است از سرب > روی > کادمیوم > آهن > نیکل > کروم. شاخص C_p نیز نشان داد که ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط تا قابل توجه با عنصر سرب هستند. نتایج درصد فاکتور غنی‌شدگی (EF)، غنای عنصر آهن (۶۸/۱۸ درصد) را نشان داد. مقادیر میانگین شاخص C_d و mC_d به ترتیب ۲/۹۰ و ۰/۴۸ بود که درجه پایین آلودگی خاک‌ها را نشان داد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Moeinaddini@ut.ac.ir

نتیجه‌گیری: در این مطالعه غلظت سرب و کادمیوم بیشتر تحت تاثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت سایر عناصر تحت تاثیر منابع طبیعی و انسانی است. مجتمع‌های فولاد بایستی در کاهش انتشار آلاینده‌ها به محیط اطرافشان برنامه‌ریزی نمایند.

مقدمه

بدنبال رشد سریع صنعتی در طی چند دهه گذشته، آلودگی خاک به فلزات سنگین گسترش یافته است. اگرچه فلزات سنگین می‌توانند بطور طبیعی در خاک وجود داشته باشند، مقادیر بالای آنها نتیجه فعالیت‌های انسانی شامل استفاده از مواد شیمیایی، اصلاح‌کننده‌های آلی، کودهای حیوانی، بهسازیهای معدنی، لجن فاضلاب و ضایعات حاصل از صنایع آهن و فولاد، معدنکاو، حمل‌ونقل جاده‌ای و غیره هستند (۱). در میان پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، آثار آلاینده‌های منتشر شده از صنایع فلزی یک عامل محدودکننده مهم برای توسعه پایدار بخصوص در صنایع تولید به شمار می‌رود. کشور ایران نیز با بهره‌مندی از منابع انرژی و ذخایر سنگ آهن در تلاش برای بهبود جایگاه جهانی خود در زمینه تولید آهن و فولاد بعنوان یکی از صنایع مادر است. گردوغبار حاصل از فرایند فولادسازی از جمله عمده‌ترین آلاینده‌های ناشی از این نوع صنایع است. Vestergaard و همکاران (۱۹۸۵) با بررسی آلودگی فلزات سنگین هوازاد در محیط یک کارخانه فولاد در دانمارک نشان دادند که منحنی شدت آلودگی با افزایش فاصله از کارخانه کاهش می‌یابد (۲). Li و همکاران (۲۰۱۵) آلودگی ۸ فلز سنگین را در یک شهرک صنعتی قدیمی در شمال چین مورد ارزیابی قرار دادند که یافته‌ها نشان داد، غلظت سرب، کادمیوم و مس فراتر از میزان پس زمینه مورد مطالعه است. غلظت بالای این فلزات به همراه فلزات روی و جیوه در این مطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی در نظر گرفته شد (۳). Dai و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به تعیین و شناسایی منشأ فلزات سنگین در ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در یک منطقه صنعتی مجتمع فولاد و آهن و مقایسه آن با نقاط پس‌زمینه پرداختند. در این مطالعه مشخص شد که آهن به همراه کروم و منگنز، فلزات عمده و نشانگر، در انتشارات ناشی از عملیات تولیدی فولاد هستند (۴). Taiwo و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که انتشارات ناشی از عملیات تولیدی فولاد عامل ایجاد ۴۵ درصد از PM_{10} در مجاورت محل فعالیت‌های اصلی فولادی در Port Talbot، ولز جنوبی (UK) است.

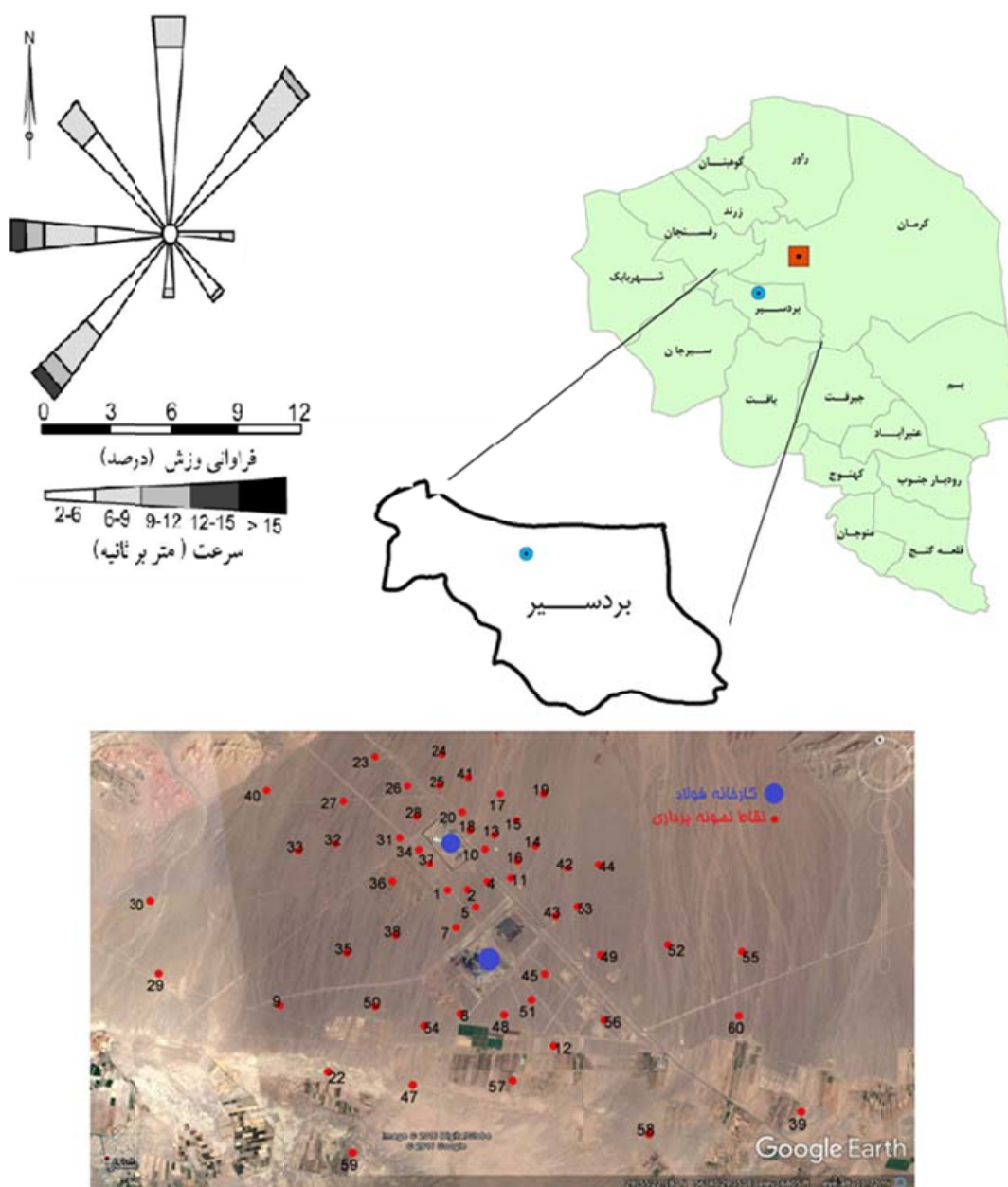
(۵). Rastmanesh و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر صنایع فولاد خوزستان را در آلودگی خاک نواحی اطراف این صنایع مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین میزان آلودگی در این منطقه مربوط به آهن، آرسنیک و سرب است (۶). تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو کارخانه صنعتی اصفهان بوسیله Baghaie و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. نتایج اولیه این مطالعه نشان داد که غلظت سرب در اطراف کارخانه ذوب آهن و نیکل در اطراف زمین‌های هر دو کارخانه نسبت به سایر مناطق بالاتر بوده است (۷). با توجه به نتایج مطرح و عدم وجود مطالعات جامع آلودگی‌های منتشره از کارخانه‌ها همچون کارخانه فولاد کرمان و تاثیرات بالقوه این کارخانه بر روی محیط اطراف، تحقیق در این زمینه می‌تواند اطلاعات و راهکارهای مناسبی را در اختیار تصمیم‌گیران برای ایجاد سیاست‌های کاهش سطح آلودگی و بهبود اکوسیستم خاک قرار دهد تا از گسترش آلودگی به محیط اطراف آن جلوگیری شود. بخصوص در سالیان اخیر بحث‌هایی مبنی بر آلودگی این صنعت مطرح شده است. همچنین تحقیقات در زمینه ارزیابی مخاطره آلودگی خاک و تعیین منشأ آلاینده‌ها در ایران هنوز در مراحل ابتدایی است. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف تعیین غلظت برخی از فلزات سنگین (شامل نیکل، سرب، آهن، روی، کروم، کادمیوم) جهت بررسی غنای فلزی و درجه آلودگی با فلزات در خاک منطقه مورد مطالعه و ارزیابی تاثیر فعالیت مجتمع فولاد کرمان بر غلظت فلزات سنگین خاک صورت گرفت. نتایج این پژوهش، امکان ارزیابی مناسب آثار ناشی از ورود فلزات سنگین به محیط زیست را فراهم ساخته و پیشنهادهای موثری را جهت پایش محیط اطراف این صنایع به منظور جلوگیری از مخاطرات محیط زیستی در محدوده تحت تاثیر این صنایع ارائه می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه و طرح نمونه‌برداری

صنعت فولادسازی استان کرمان دارای دو بخش مجتمع فولاد کرمان و منطقه احیای فولاد بردسیر است. مجتمع فولاد کرمان

در موقعیت جغرافیایی $56^{\circ} 43' 54''$ طول شرقی و 29° عرض شمالی واقع شده است. کارخانه فولادسازی بردسیر نیز در ۴۵ کیلومتر جاده کرمان- بردسیر قرار دارد. آهن اسفنجی بخش عمده مواد اولیه و ورودی به کارخانه فولادسازی بردسیر را به منظور تغذیه کوره‌های قوس الکتریکی فراهم می‌نماید. به منظور تعیین نقاط نمونه‌برداری ابتدا موقعیت کارخانه، راه‌های ارتباطی و کاربری‌های اطراف آن با استفاده از نرم‌افزار google earth بررسی شد. با توجه به جهت باد غالب در منطقه و احتمال پراکنش آلاینده‌های صنایع فولادسازی، نقاط نمونه‌برداری در فواصل ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۵۰۰ و بیشتر از ۵۰۰ متری نسبت به کارخانه‌ها با تراکم‌های متفاوت، تعیین شدند. موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه استان کرمان و شهر بردسیر، گلباد منطقه و نقاط نمونه‌برداری اطراف مجتمع فولاد کرمان

از نرم افزارهای IBM SPSS statistics 23 و Excel استفاده شد. به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای ارزیابی درجه آلودگی خاک در ایران، در این تحقیق جهت ارزیابی آثار محیط زیستی عناصر سنگین، غلظت عناصر با استانداردهای بین المللی مقایسه شد. بنابراین مطابق جدول ۱ از میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین بعنوان استاندارد درجه آلودگی و از فلز آهن بعنوان عنصر مرجع استفاده شد. آنالیزهای آماری با آزمون نرمالیت به روش Kolmogorov-Smirnov انجام شد و در ادامه با توجه نرمال بودن و نرمال نبودن داده‌ها از آزمون‌های آماری مقایسه میانگین‌ها برای مقایسه بین فواصل تعیین شده و همچنین جهت‌های پراکنش عناصر مورد بررسی نسبت به کارخانه‌های فولاد استفاده شد.

جدول ۱- میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین (mg/kg) (۹، ۱۰)

عناصر	سرب	کروم	روی	نیکل	آهن	کادمیوم
میانگین پوسته زمین	۱۴	۱۰۰	۷۵	۸۰	۴۱۰۰۰	۰/۲

زمین و نمونه هستند. Sutherland (۲۰۰۰) درجه‌بندی سطوح آلودگی خاک‌ها را بر مبنای این شاخص انجام داد (۱۲). این طبقه‌بندی به صورت $EF < 2$ (عدم وجود آلودگی یا درجه غنای حداقل)، $2 \leq EF < 5$ (درجه غنای متوسط)، $5 \leq EF < 40$ (غنای قابل توجه)، $40 \leq EF < 200$ (غنای شدید) و $EF \geq 200$ (غنای بسیار شدید) است.

درصد فاکتور غنی‌شدگی (EF)

فاکتور غنی‌شدگی (EF) بر روی تمایز منشأ انسانی از منشأ طبیعی تمرکز دارد. اساساً، هنگامی که میزان EF افزایش می‌یابد، سهم منابع غیر پوسته‌ای هم افزایش می‌یابد. بنابراین، آلودگی خاک با استفاده از شاخص درصد فاکتور غنی‌شدگی ارزیابی می‌گردد (معادله ۲) (۱۳، ۱۴).

$$\%EF = \frac{C - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \times 100 \quad (2)$$

در این مطالعه از روش نمونه‌برداری قضاوتی برای نمونه‌برداری استفاده شد. این روش غیر آماری با استفاده از دانش اولیه تغییرات فضایی و زمانی آلاینده‌ها، مکان و زمان نمونه‌برداری را تعیین می‌نماید. لازم به ذکر است، این روش انتخاب بخصوص زمانی مطرح است که هدف آنالیز بسادگی آلاینده‌های حاضر را مشخص می‌نماید (۸). لذا ۶۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری) در پلات‌های ۱۰۰×۱۰۰ m با استفاده از کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری و بعد از شماره‌گذاری برای انجام آنالیزهای مربوطه به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید و تا زمان آنالیز در دمای پایین نگهداری شدند. بمنظور تعیین غلظت فلزات سنگین مورد نظر از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی استفاده شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل،

فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor, EF)

اساس این روش بر مبنای مقایسه غلظت فلز مورد نظر در نمونه‌ها با غلظت همان فلز در ناحیه غیر آلوده است. این غلظت‌ها براساس غلظت عنصر مرجع که می‌تواند آلومینیوم یا آهن باشد، نرمال می‌شوند. Deely و همکار (۱۹۹۴) فلز آهن را بعنوان یک نرمال‌کننده مناسب پیشنهاد کردند. چون توزیع آهن در محیط در ارتباط با سایر فلزات نیست و همچنین غلظت طبیعی آن در پوسته زمین زیاد است. بنابراین مقدار آن بطور عمده وابسته به فعالیت‌های انسانی نیست (۱۱). معادله ۱ چگونگی محاسبه شاخص غنی‌سازی را نشان می‌دهد.

$$EF = \frac{(C_m / C_s)_x}{(C_m / C_s)_c} \quad (1)$$

در این معادله، C_m غلظت واقعی فلز سنگین مورد نظر (mg/kg)، C_s غلظت عنصر مرجع زمینی (mg/kg) در خاک، C و X به ترتیب غلظت‌های مورد اشاره در پوسته

فلز در نمونه‌های خاک با سطح پس‌زمینه در پوسته زمین مطابق با معادله ۴ مقایسه می‌گردد (۱۷):

$$C_f = C_x / C_b \quad (۴)$$

در این معادله، C_x و C_b به ترتیب میانگین غلظت فلز در خاک و پوسته زمین هستند. طبقه‌بندی شدت آلودگی براساس فاکتور آلودگی به صورت $C_f < 1$ (آلودگی پایین)، $1 \leq C_f < 3$ (آلودگی متوسط)، $3 \leq C_f < 6$ (آلودگی قابل توجه) و $C_f \geq 6$ (آلودگی بسیار بالا) است.

شاخص درجه کلی آلودگی از مجموع فاکتورهای آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، مطابق معادله ۵ به دست می‌آید:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (۵)$$

درجه‌بندی آلودگی خاک با این شاخص به صورت $C_d < 6$ (آلودگی با شدت پایین)، $6 \leq C_d < 12$ (آلودگی با شدت متوسط)، $12 \leq C_d < 24$ (آلودگی با شدت قابل توجه) و $C_d \geq 24$ (آلودگی با شدت بسیار بالا) است (۱۸).

به دلیل اینکه همیشه امکان اندازه‌گیری همه آلاینده‌های بکار رفته برای شاخص درجه آلودگی نیست، Abraham و Parker در سال ۲۰۰۸ معادله شاخص درجه کلی آلودگی را بصورت زیر اصلاح نمودند (معادله ۶).

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (۶)$$

در این معادله: C_f ، فاکتور آلودگی برای هر آلاینده منفرد؛ n ، تعداد آلاینده‌های مورد بررسی و mC_d ، میانگین فاکتورهای آلودگی محاسبه شده همه آلاینده‌ها است. معادله ۶ امکان مطالعه هر تعداد از فلزات سنگین را بدون محدودیت فراهم می‌نماید. درجه‌بندی سطوح آلودگی با استفاده از این شاخص بصورت $mC_d < 1/5$ (سطوح بسیار پایین آلودگی)، $1/5 \leq mC_d < 2$ (سطوح پایین آلودگی)، $2 \leq mC_d < 4$ (سطوح متوسط آلودگی)، $4 \leq mC_d < 8$ (سطوح بالای آلودگی)، $8 \leq mC_d < 16$ (سطوح بسیار بالای آلودگی)، $16 \leq mC_d < 32$ (سطوح شدید آلودگی) و $32 \leq mC_d$ (سطوح بی نهایت شدید آلودگی) تعریف شده است (۱۸).

در این معادله، C میانگین غلظت کل فلز در خاک، C_{min} حداقل غلظت فلز و C_{max} حداکثر غلظت فلز است.

شاخص زمین انباشت (Geoaccumulation Index, I_{geo})

روش متداول دیگر برای ارزیابی آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین، مقایسه غلظت اندازه‌گیری شده هر فلز سنگین در نمونه با غلظت پس‌زمینه ژئوشیمیایی آن در خاک با استفاده از شاخص I_{geo} است (معادله ۳) که توسط Muller (۱۹۷۹) پیشنهاد شده است (۱۵).

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5B_n) \quad (۳)$$

در این معادله I_{geo} شاخص زمین انباشت یا شاخص شدت آلودگی، C_n غلظت فلز سنگین در خاک و B_n غلظت پس‌زمینه فلز سنگین در پوسته زمین است. ضریب ثابت ۱/۵ به منظور به حداقل رساندن اثر تغییرات احتمالی در غلظت‌های پس‌زمینه است که معمولاً این اختلافات بدلیل تغییرات سنگ‌شناسی خاک‌ها است. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک‌ها براساس این شاخص بوسیله Forstner و همکاران (۱۹۹۰) انجام شد و به صورت $I_{geo} \leq 0$ (نسبتاً غیر آلوده)، $0 < I_{geo} < 1$ (غیر آلوده تا آلودگی متوسط)، $1 \leq I_{geo} < 2$ (آلودگی متوسط)، $2 \leq I_{geo} < 3$ (آلودگی متوسط تا شدید)، $3 \leq I_{geo} < 4$ (آلودگی شدید)، $4 \leq I_{geo} < 5$ (آلودگی شدید تا بسیار شدید) و $I_{geo} \geq 5$ (آلودگی بسیار شدید) مشخص شد (۱۶).

شاخص‌های درجه آلودگی (Contamination degree, C_d و درجه آلودگی اصلاح شده (Modified degree of Contamination factor, mC_d))

شاخص درجه آلودگی در سال ۱۹۸۰ توسط Hakanson بعنوان روشی برای محاسبه فاکتور کلی آلودگی بر مبنای ۷ فلز سنگین (سرب، جیوه، آرسنیک، کروم، روی، مس، کادمیوم) و یک آلاینده آلی (PCBs) معرفی شد. برای محاسبه فاکتور آلودگی (C_p Contamination factor)، غلظت میانگین

یافته‌ها

آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک‌های منطقه مورد مطالعه به صورت حداقل، حداکثر، میانگین، میانه، انحراف استاندارد، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی در جدول ۲ خلاصه شده است.

با توجه به جدول ۲، در بین فلزات سنگین مورد سنجش، بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده مطالعه مربوط به فلز آهن ($\bar{X}=15063/33$) و پایین‌ترین میانگین غلظت مربوط به فلز کادمیوم ($\bar{X}=0/038$) بود. میانگین غلظت فلزات در خاک‌های محدوده مورد مطالعه نیز به صورت آهن < روی < سرب < نیکل < کروم < کادمیوم کاهش یافت. ضریب تغییرات (CV)، درجه تغییرپذیری غلظت‌های یک فلز را در خاک نشان می‌دهد. اگر $CV \leq 20\%$ باشد، نشان‌دهنده تغییرپذیری اندک؛ $20\% < CV \leq 50\%$ تغییرپذیری متوسط و $CV \leq 100\%$ و $CV > 50\%$ تغییرپذیری بالا است، در حالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است (۱۹). ضرایب تغییرات غلظت فلزات در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به ترتیب کروم (۸۳/۶۱) < روی (۷۶/۹۵) < سرب (۶۷/۴۴) < کادمیوم (۲۸/۹۴) < نیکل (۲۵/۸۵) < آهن (۱۹/۹۸) کاهش یافت. مقادیر بالای

ضرایب تغییرات برای فلزات کروم، روی و سرب نشان‌دهنده این است که غلظت این فلزات بطور قابل توجهی در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت است و همچنین نمایانگر توزیع ناهمگن آنها بدلیل فعالیت‌های انسانی است. ضرایب تغییرات فلزات کادمیوم، نیکل و آهن، تغییرپذیری متوسطی را نشان داد که بازتاب‌کننده توزیع نسبتاً غیرهمگن این سه عنصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. انحراف استاندارد غلظت فلزات در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با روند نزولی آهن < روی < سرب < نیکل < کروم < کادمیوم کاهش یافت. مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشان‌دهنده گستره تغییراتی وسیع غلظت‌های فلزی در خاک‌های اطراف منطقه صنعتی است که این موضوع برای عناصر آهن و روی در این مطالعه مشاهده شد. میزان چولگی همه فلزات بجز آهن مثبت بود که نمایانگر این است که این فلزات چولگی مثبتی به سمت غلظت‌های پایین‌تر دارند. میزان کشیدگی همه فلزات بجز نیکل مثبت بود که نشان‌دهنده شیب بیشتر نمودار توزیع این عناصر نسبت به منحنی توزیع نرمال است.

در جدول ۳ محدودۀ EF ، I_{geo} و C_f محاسبه شده در خاک‌های نمونه‌برداری شده به صورت حداقل، حداکثر و میانگین نمایش داده شده است.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک منطقه مورد مطالعه

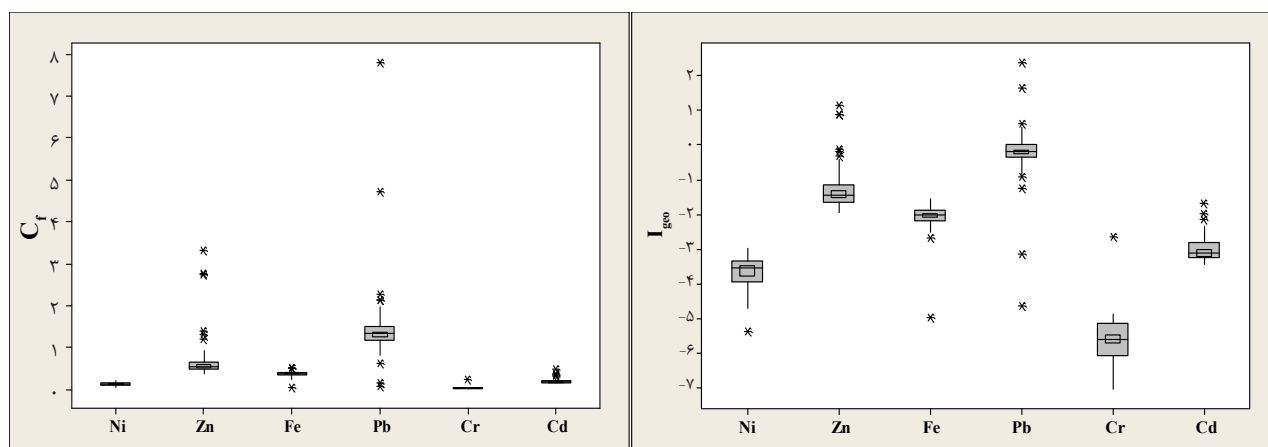
عناصر	نیکل	روی	آهن	سرب	کروم	کادمیوم	مقادیر
حداقل	۴/۵۵	۲۹/۱۰	۱۹۵۶/۰۰	۰/۸۵	۱/۱۴	۰/۰۳	
حداکثر	۱۵/۳۰	۲۴۷/۵۵	۲۱۱۸۰/۰۰	۱۰۹/۳۰	۲۴/۲۵	۰/۰۹	
میانگین	۹/۹۸	۵۴/۳۸	۱۵۰۶۳/۳۳	۲۰/۸۶	۳/۵۴	۰/۰۳۸	
میانه	۱۰/۲۵	۴۰/۶۵	۱۵۳۷۵/۰۰	۱۸/۷۰	۳/۰۸	۰/۰۳۵	
انحراف استاندارد	۲/۵۸	۴۱/۸۵	۳۰۰۹/۹۵	۱۴/۰۷	۲/۹۶	۰/۰۱۱	
ضریب تغییرات (CV%)	۲۵/۸۵	۷۶/۹۵	۱۹/۹۸	۶۷/۴۴	۸۳/۶۱	۲۸/۹۴	
چولگی	۰/۰۷۱	۳/۴۲	-۱/۱۳	۴/۸۳	۵/۹۲	۲/۶۰	
کشیدگی	-۰/۶۰	۱۲/۰۴	۵/۲۵	۲۸/۲۵	۴۱/۴۹	۸/۳۴	

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه EF، I_{geo} و C_f

شاخص	مقادیر	نیکل	روی	آهن	سرب	کروم	کادمیوم
EF	میانگین	۰/۳۶	۲/۹۳	۰/۳۷	۵/۵۳	۰/۱۰	۰/۵۹
	حداقل	۰/۱۵	۱/۲۳	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۴	۰/۳۱
	حداکثر	۱/۸۹	۶۹/۱۹	۰/۵۲	۹۹/۲۷	۰/۷۰	۴/۶۲
Cf	میانگین	۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۳۶	۱/۴۷	۰/۰۳۵	۰/۱۹
	حداقل	۰/۰۵	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۴
	حداکثر	۰/۱۹	۳/۳۰	۰/۵۱	۷/۸۰	۰/۲۴	۰/۴۷
I_{geo}	میانگین	-۳/۶۶	-۱/۲۴	-۲/۰۷	-۰/۲۳	-۵/۶۱	-۳/۰۱
	حداقل	-۵/۳۷	-۱/۹۵	-۴/۹۷	-۴/۶۳	-۷/۰۴	-۳/۴۶
	حداکثر	-۲/۹۷	۱/۱۴	-۱/۵۴	۲/۳۸	-۲/۶۳	-۱/۶۹

بررسی شده، منفی است که عدم آلودگی محیط با این چهار فلز را نشان می‌دهد. ۳/۳۲ درصد از نمونه‌های خاک از نظر عنصر سرب دارای آلودگی متوسط و متوسط تا شدید بوده، این در حالی بود که در ۷۵ درصد از نمونه‌ها هیچ اثری از آلودگی با این عنصر مشاهده نشد. همچنین تنها ۱/۶۶ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی متوسطی با عنصر روی بودند و در سایر نمونه‌ها آلودگی مشاهده نگردید. با توجه به طبقه‌بندی شاخص C_f ، ۱۰۰ درصد نمونه‌های خاک از نظر عناصر کادمیوم، کروم، نیکل و آهن دارای آلودگی پایین بودند. ۸۹/۹۳ و ۹/۹۶ درصد از نمونه‌ها نیز به ترتیب دارای آلودگی متوسط تا قابل توجه با عنصر سرب و روی بوده‌اند. نمودار جعبه‌ای یکی از مفیدترین نمودارها برای مقایسه دو یا چند جامعه آماری است که نمایانگر چارک‌ها، کمترین و بیشترین مقدار مشاهده شده است. چگونگی پراکنش شاخص‌های I_{geo} و C_f محاسبه شده برای هر یک از فلزات در نمودار جعبه‌ای نشان داده شده است (نمودار ۱).

با توجه به جدول ۳ مشخص شد که متوسط میزان EF مورد سنجش به صورت سرب < روی < کادمیوم < آهن < نیکل < کروم کاهش یافت. به عبارتی می‌توان عنوان نمود بالاترین میزان غنی‌شدگی خاک با فلزات براساس شاخص EF مربوط به فلز سرب و پایین‌ترین نیز مربوط به فلز کروم است. متوسط میزان I_{geo} نیز دارای روند نزولی سرب < روی < آهن < کادمیوم < نیکل < کروم بود، بطوری‌که شاخص I_{geo} نیز نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین میزان غنی‌شدگی خاک با فلزات به ترتیب مربوط به سرب و کروم است. متوسط میزان C_f نیز به صورت سرب < روی < آهن < کادمیوم < نیکل < کروم کاهش یافت. به عبارتی می‌توان عنوان نمود که متوسط میزان دو شاخص C_f و I_{geo} روند کاهشی کاملاً مشابهی را در مورد همه فلزات مورد مطالعه در این پژوهش نشان دادند. توزیع طبقه‌بندی شاخص‌های I_{geo} ، EF و C_f برای فلزات سنگین براساس روش‌های طبقه‌بندی بیان شده شاخص‌های مدنظر انجام گرفته است. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص I_{geo} برای عناصر سنگین نیکل، کادمیوم، کروم و آهن در تمام نمونه‌های



نمودار ۱- نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص C_f و I_{geo} فلزات سنگین مطالعه شده

با سایر جهات متفاوت بود. تجزیه و تحلیل پهنه‌بندی فلزات سنگین مورد مطالعه با توجه به جهت وزش باد غالب منطقه، کاهش غلظت عناصر سرب، روی، کادمیوم را با افزایش فاصله از دو مجتمع فولاد به خاک‌های اطراف نشان داد. غلظت عنصر آهن طبق بررسی درون‌یابی، در محدوده بین دو مجتمع فولاد دارای بیشترین مقدار است.

بحث

میانگین غلظت فلزات سنگین خاک اطراف منطقه مورد مطالعه برای عناصر نیکل، روی، آهن و کروم پایین‌تر از میانگین غلظت این فلزات در پوسته زمین بود. در حالی که برای عناصر سرب و کادمیوم بالاتر از غلظت این فلزات در پوسته زمین بود. بالاتر بودن غلظت این فلزات می‌تواند نقش منابع انسانی یا مجتمع‌های فولاد را در آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه، بازتاب نماید. در این مطالعه غلظت سرب و کادمیم بیشتر تحت تاثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت سایر عناصر تحت تاثیر منابع طبیعی و انسانی است. در همین راستا، Ravankhah و همکاران (۲۰۱۵)، غلظت‌های بالای بدست آمده برای فلزات سرب و کادمیوم در ارزیابی با شاخص‌های زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و تحلیل مولفه‌های اصلی برای برآورد آلودگی خاک با فلزات سنگین در شهرستان آران و بیدگل را تحت تاثیر

نتایج طبقه‌بندی EF نیز نشان داد که عناصر کروم، آهن و نیکل سبب ایجاد درجه غنای حداقلی شده‌اند. ۱۹/۳ درصد از نمونه‌ها درجه غنای متوسط تا قابل توجه را توسط فلز روی نشان دادند. علاوه بر این ۱۱/۶۶ درصد از نمونه‌ها، غنای قابل توجه تا شدید را برای فلز سرب نشان دادند. نتایج درصد فاکتور غنی‌شدگی (EF) نیز برای عنصر آهن (۶۸/۱۸ درصد) را نشان داد که بالاتر از سایر فلزات سنگین مورد مطالعه بود. دلیل این امر ممکن است به علت تغییرات محیط زیستی همراه با فعالیت انسانی باشد. درصد پایین فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر نیکل (۱۲/۴۲ درصد)، روی (۱۱/۵۷ درصد)، سرب (۱۸/۴۶ درصد)، کروم (۱۰/۴۲ درصد) و کادمیوم (۱۷/۴۵ درصد) نیز ممکن است به دلیل منشأ طبیعی این فلزات باشد. نتایج شاخص درجه آلودگی C_d و mC_d مربوط به عناصر مورد نظر در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۲/۹۰ و ۰/۴۸ بود. به عبارتی شاخص‌های C_d و mC_d به ترتیب درجه آلودگی با شدت پایین و سطوح بسیار پایین آلودگی را در خاک‌های اطراف منطقه مورد مطالعه نشان دادند. با توجه به آنالیزهای آماری انجام شده هیچ تفاوت معنی‌داری در غلظت عناصر نیکل، سرب، کروم و کادمیوم در جهت‌های جغرافیایی نمونه‌برداری شده نسبت به کارخانه‌ها مشاهده نشد ($P > 0/01$) ولی غلظت عنصر آهن در جهت شمال با سایر جهات و غلظت عنصر روی در جهت جنوب

مختلف، صنایع آهن- فولاد بعنوان یکی از منابع مهم سرب شناخته شده‌اند (۲۵-۲۲) که بر ضرورت جلوگیری از ورود آن به محیط تاکید می‌نماید. Dolezalova و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک در استراوا جمهوری چک با استفاده از شاخص‌های انباشت ژئوشیمیایی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص بار آلودگی نشان دادند که خاک اطراف نواحی شهری توسط این فلزات آلوده شده است. همچنین این نتایج نشان دادند که عناصر کادمیوم، سرب، روی، مس، منگنز و جیوه از منابع انسانی مخصوصاً از فعالیت‌های صنعتی منتشر می‌شوند (۲۶). این یافته همسو با مطالعه حاضر بوده و بر لزوم پایش و پالایش عناصر سنگینی همچون سرب تاکید ویژه‌ای دارد. Qing و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و مخاطرات بهداشتی آنها در خاک‌های شهری شهرک صنعتی فولاد (Anshan)، Liaoning در شمال چین با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی پرداختند (۲۷). نتایج این پژوهش نشان داد که خاک‌های این مناطق به میزان متوسط تا زیادی با فلزات سنگین کادمیوم و سرب آلوده شده است. این محققین مناطق نزدیک صنایع فولاد را بعنوان نقاط داغ آلودگی معرفی نمودند که در راستای نتایج مطالعه حاضر است. Conko و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی آلودگی عناصر آرسنیک و جیوه در خاک‌های شهر دوتنس اکراین، به این نتیجه رسیدند که مقادیر این فلزات در مناطق اطراف مراکز صنعتی در مقایسه با سایر خاک‌های منطقه بالاتر بود (۲۸) که نتایج این مطالعه نیز همسو با این یافته است. تعیین و شناسایی منشأ فلزات سنگین در ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در منطقه صنعتی مجتمع فولاد و آهن در مقایسه با نقاط پس زمینه بوسیله Dai و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که منابع تولید آهن و فولاد همچون سایر منابع فلزی می‌توانند غلظت‌های بالایی از آهن، روی، منگنز، سرب و کادمیوم را در اتمسفر منتشر نمایند که در مورد عنصر سرب با مطالعه حاضر در توافق است (۴). یکی از علل تفاوت در آلاینده‌های منتشره می‌تواند انواع مختلف کارخانجات صنایع آهن و فولاد همچون کارخانه‌های فولادسازی آگلومراسیون، کوره‌های قالب‌گیری

حضور منابع انسانی همچون مناطق صنعتی، کوره‌های آجرپزی و مناطق شهری دانستند (۲۰). مقادیر بالای سرب تغییرات برای فلزات کروم، روی و سرب نشان‌دهنده این است که غلظت این فلزات به میزان قابل توجهی در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری، متفاوت است. به عبارت دیگر، تغییر جهت و فاصله از منبع آلودگی (صنایع فولاد) و جاده مجاور آن می‌تواند بر افزایش یا کاهش غلظت آلاینده‌ها موثر باشد. تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف سپاهان‌شهر در جنوب اصفهان نیز تاییدکننده این موضوع است که غلظت عناصر سرب و روی با افزایش فاصله از معدن کاهش می‌یابد (۲۱). در مطالعه حاضر مقادیر بالای انحراف استاندارد برای فلزات آهن، روی و سرب نشان‌دهنده گستره وسیع تغییرات غلظت این فلزات در خاک اطراف مجتمع‌های فولاد است. علت این امر ممکن است به دلیل ماهیت عدم تحرک فلز سرب باشد، به طوری که میزان سرب در خاک به شدت با مواد معدنی خاک رس، اکسیدهای منگنز، هیدروکسیدهای آلومینیوم و آهن و مواد آلی مرتبط است (۲۲). همچنین توزیع فلزات سنگین می‌تواند تحت تاثیر ماهیت مواد مادری و شرایط آب و هوایی قرار گیرد (۲۳). میزان شاخص‌های EF ، I_{geo} و C_f در مطالعه حاضر نشان داد که عنصر سرب بیش از سایر عناصر در خاک، غنی‌شده و دارای پتانسیل آلودگی متوسط تا قابل توجه است. با این وجود برخلاف نتایج حاصل از مطالعه Yaylali-Abanuz (۲۰۱۱)، نتایج مطالعه کنونی نشان داد که منابع انسانی سهم کمتری در ورود فلزات به خاک نسبت به منابع طبیعی دارند و افزایش در غلظت فلزات تنها در صورتی سبب آلودگی شدید خاک می‌گردد که همراه با فعالیت‌های صنعتی شدید باشد (۲۲). سرب بعنوان یکی از آلاینده‌های غنی‌شده در خاک منطقه مورد مطالعه معرفی گردید که یک فلز غیر ضروری برای بدن انسان است و جذب بیش از حد این فلز می‌تواند به سیستم‌های عصبی، گردش خون، آنزیمی، اسکلتی، غدد درون ریز و سیستم ایمنی آسیب برساند. عنصر سرب از طریق زنجیره غذایی یا تنفس غبارات حاوی این عنصر به سیستم متابولیسمی انسان و حیوانات راه می‌یابد. در مطالعات

خاک‌های منطقه مورد مطالعه نیازمند پالایش مطابق با راهبردهای کیفی خاک هستند. همچنین پایش منظم میزان غنای فلزات سمی به منظور کنترل انتشارات صنعتی در منطقه ضروری است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، محققین در مطالعات دیگر به ارزیابی خطرات بهداشتی انسانی فلزات با سایر شاخص‌های موجود بپردازند که می‌تواند مکمل شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه بوده و جوانب احتمالی دیگر آلودگی با فلزات سنگین را مشخص نمایند. برخی راهکارها به منظور کاهش حداکثری انتشار آلاینده‌های فلزی از منبع اصلی این آلاینده‌ها (صنایع فولاد کرمان)، عبارتند از: ۱) بررسی تعداد بیشتری از عناصر که احتمال انتشار از این صنایع را دارند، ۲) استفاده از روش‌های کمی برای تعیین منشأ آلاینده‌ها، ۳) نصب فیلتر در مسیر دودکش و ایجاد سیستم جدید هدایت‌کننده مسیر غبار برای نمونه‌برداری online در صنایع فولاد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی آلودگی خاک اطراف شرکت صنایع فولاد کرمان" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۴ و کد ۲۶۰۳/۹۴/۹ است که با حمایت دانشکده محیط زیست کرج اجرا شده است.

منابع

1. Weber J, karczevska A. Biogeochemical processes and cycling of elements in the environment. *Geoderma*. 2004;122:2-4.
2. Vestergaard NK, Stephansen U, Rasmussen L. Airborne heavy metal pollution in the environment of a Danish steel plant. *Water, Air, and Soil Pollution*. 1986;27:363-77.
3. Li X, Liu L, Wang Y, Luo G, Chen X, Yang X, et al. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma*. 2013;192:50-58.
4. Dai QL, Bi XH, Wu JH, Zhang YF, Wang J, Xu H, et al. Characterization and source identification of heavy metals in ambient PM10 and PM2.5 in an integrated iron and steel industry zone compared with

آهن، کارخانجات تولید آلیاژهای آهنی، کارخانجات تولید نوردهای آهنی و فولادی باشد که آلاینده‌های متفاوتی منتشر می‌کنند. در مطالعه انجام گرفته به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز، نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های EF ، I_{geo} و C_F ، بیشترین میزان آلودگی را به نیکل، سرب و کروم نسبت داد (۲۹) که نتایج این مطالعه نیز تا حدودی همسو با نتایج مطالعه حاضر است. آگاهی از غلظت فلزات سنگین در خاک به کشف منبع آلودگی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌نماید. شاخص‌های mC_d به ترتیب درجه آلودگی با شدت پایین و سطوح بسیار پایین آلودگی را در خاک‌های اطراف منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با مقایسه این شاخص با مناطقی که تحت تاثیر نبوده می‌توان بیان نمود که با ادامه روند کنونی در انتشار آلاینده‌ها از مجتمع‌های فولاد در سال‌های آینده وضعیت آلودگی شدیدی در منطقه بخصوص در رابطه با آلودگی خاک رخ خواهد داد.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که غلظت عنصر سرب عمدتاً تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و غلظت سایر عناصر بخصوص آهن تحت تاثیر هر دوی عوامل طبیعی و انسانی است. بنابراین

- a background site. *Aerosol and Air Quality Reserch*. 2015;15:875-87.
5. Taiwo AM, Beddows DCS, Calzolari G, Harrison RM, Lucarelli F, Nava S, et al. Receptor modelling of airborne particulate matter in the vicinity of a major steelworks site. *Science of the Total Environment*. 2014;490:488-500.
6. Rastmanesh F, Zarosvandi A, Hormozinejad F. An investigation on Khuzestan steel industry in soil pollution around it. *First International Congress of Earth Sciences*; 2013; Tehran, Iran (in Persian).
7. Baghaie AH, Khademi H, Mohammadi J. Geostatistical analysis of spatial variability of Lead and Nickel around two industrial factories in Isfahan Province. *Journal of Agriculture Sciences and Natu-*

- ral Resources. 2007;14(2):1-9 (in Persian).
8. Mitra S, Kebbekus BB. Environmental Chemical Analysis. New York: CRC Press; 1997.
9. Wang YQ, Zhang XY, Arimoto R, Cao JJ, shen ZX. Characteristics of carbonate content and carbon and oxygen isotopic composition of northern china soil and dust aerosol and its application to tracing dust sources. Atmospheric Environment. 2005;39:2631-42.
10. Niencheski LFH, Baraj B, Franca RG, Mirlean N. Lithium as a normalizer for the assessment of an thropogenic metal contamination of sediment of the southern area of patos lagoon. Aquatic Ecosystem Health and Management. 2002;5:473-83.
11. Deely JM, Fergusson JE. Heavy metal and organic matter concentration and distributions in dated sediment of small adjacent to a small urban area. Science of the Total Environment. 1994;153:97-111.
12. Sutherland R. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology. 2000;39(6):611-27.
13. Zonta R, Botter M, Cassin D, Zaggia L. Sediment chemical contamination of shallow water area close to the industrial to the industrial zone of Porto Marghera (Venice Lagoon, Italy). Marine Pollution Bulletin. 2007;55:529-42.
14. Loska K, Wiechula D. Application of principal component analysis of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. Chemosphere. 2003;51(8):723-33.
15. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo Journal. 1979;2:108-18.
16. Heling D, Rothe P, Förstner U, Stoffers P. Sediments and Environmental Geochemistry. Berlin: Springer; 1990.
17. Hakanson L. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimento logical approach. Water Research. 1980;14:975-1001.
18. Abraham GMS. Holocene Sediment of Tamaki Estuary: characteristion and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [dissertation]. Aukland, New Zealand: University of Auckland; 2005.
19. Karimi Nezhad MT, Tabatabaii SM, Gholami A. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. Journal of Geochemical Exploration. 2015;152:91-109.
20. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. Iranian Journal of Health & Environment. 2015;8(3):345-55 (in Persian).
21. Dayani M, Mohammadi J, Naderi M. Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). Journal of Water and Soil. 2009;23(4):67-76 (in Persian).
22. Yaylali-Abanuz. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. Microchemical Journal. 2011;99:82-92.
23. Krishna A, Govil P. Assessment of heavy metal contamination in soils around Manali industrial area, Chennai, southern India. Environmental Geology. 2008;54(7):1465-72.
24. Doushanov DL. Control of pollution in the iron and steel industry. Pollution control Technologies. 2003;3:1-5.
25. Dahrazma B, Azarpeykan A, Modabberi S, Sayyareh AR. Assessment of heavy metals contamination in the soil of Ay Ghalasi abandoned lead-zinc mine area, southeast Takab. Geosciences. 2015;24(94):129-38.
26. Dolezalova WH, Pavlovsky J, Chovanec P. Heavy metal contamination on Urban soil in Ostrva, Czech Republic: Assessment of metal pollution and using principal component analysis, Journal Environment Research. 2014;9(2):683-96.
27. Qing X, Yutong Z, Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2015;120:377-85.
28. Conko KM, Landa ER, Kolker A, Kozlov K, Gibb HJ, Centeno JA. Arsenic And Mercury in the soils of an Industrial city in the Donets Basin, Ukrain. Soil and Sediment Contamination. 2013;22:547-93.
29. Pournia M, Mousavi M, Jasemi Zargani Z. An investigation on heavy metals in sourface soils around industrial city of No 2. Ahvaz. Environmental Science and Technology. 2015;17(4):1-11 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment

N Sistani¹, M Moeinaddini^{2,*}, N Khorasani², AH Hamidian², MS Ali-Taleshi², R Azimi Yancheshmeh²

1- Department of Environmental Engineering, College of Environment, Department of Environment, Karaj, Iran

2- Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 3 December 2016

Revised: 22 February 2017

Accepted: 1 March 2017

Published: 21 June 2017

Key words: Soil, Heavy metal, Kerman steel complexes, Pollution index

*Corresponding Author:

Moeinaddini@ut.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Urban and industrial development has increased concentration of heavy metals in the environment. The goal of this study was to assess the impact of Kerman steel complex on their surrounding soil by heavy metals.

Materials and Methods: This study was a snapshot and its type was descriptive-analytical research. Heavy metals contents from 60 soil samples (top soil, 0-15 cm) near two Steel Complexes were analyzed using flame atomic absorption spectroscopy (AAS). Source identification and pollution degree indices including enrichment factor (EF) and its percentage (EF%), geo-accumulation index (Igeo), contamination factor (C_f), degree of contamination (Cd) and modified degree of contamination (mCd) were calculated to assess the soil pollution level.

Results: The average concentration of Ni, Zn, Fe, Pb, Cr and Cd were 9.98, 54.38, 15063.33, 20.86, 3.54 and 0.038 mg/kg, respectively. The order of average EF for heavy metals was Pb > Zn > Cd > Fe > Ni > Cr. C_f index also showed that 90% of the samples were moderately to significantly polluted with lead element. The results of EF% indicated that Fe (68.18%) had higher enrichment than others. The average values of Cd and mCd indices were 2.90 and 0.48, respectively, that showed low degree of pollution.

Conclusion: In this study, Pb and Cd concentration were related with activities of the steel complexes and other metals had a combination of natural and anthropogenic emission sources. The steel complexes should plan to reduce pollutants emission to their environment.