

## تغییرات برخی فلزات سنگین در اجزای مختلف ذرات خاک در خاک‌های سطحی منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان

زینب سلطانی<sup>۱</sup>، شمس‌اله ایوبی<sup>۲</sup> و حسین خادمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** اطلاع و آگاهی از توزیع عناصر سنگین در اندازه‌های مختلف ذرات خاک جهت مطالعه ارزیابی خطر عناصر سنگین در ذرات گرد و غبار و همچنین ارزیابی خطرات زیست‌محیطی آن‌ها دارای اهمیت می‌باشد. در این راستا در دنیا و به‌خصوص در کشور ما مطالعات محدودی انجام گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات سطحی برخی از فلزات سنگین در اجزای مختلف ذرات خاک فضای سبز منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** منطقه مورد مطالعه در منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان واقع شده است. ۶۰ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۵ سانتی متری برداشت شد. نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های الک کردن، سیفون و سانتریفیوژ به ۵ جزء کوچک‌تر از ۲۸، ۲۸-۷۵، ۷۵-۱۵۰، ۱۵۰-۳۰۰، ۳۰۰-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۳۰۰۰ میکرون تفکیک شدند. غلظت عناصر سنگین (مس، روی، منگنز و آهن، سرب و نیکل) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل Analyst 200 در اجزای مختلف تفکیک شده اندازه‌گیری گردید. فاکتور آلودگی و بار وزنی عناصر سنگین محاسبه شد.

**یافته‌ها:** نتایج مطالعه نشان داد که در ذرات ریز (کوچک‌تر از ۲۸ میکرون و ۲۸-۷۵ میکرون) عنصر آهن دارای حداکثر غلظت بود و در ذرات درشت‌تر، عنصر منگنز حداکثر غلظت را داشت. بیش‌ترین میانگین فاکتور آلودگی مربوط به عنصر آهن در کل خاک و پس از آن در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰ میکرومتر و کم‌ترین میانگین فاکتور آلودگی مربوط به عنصر سرب در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰ میکرومتر بود. بالاترین شاخص بار وزنی در تمام عناصر سنگین در کوچک‌ترین اندازه ذرات دیده شد که علت آن وجود سطوح ویژه بالا در این اندازه ذرات خاک و افزایش همزمان این عناصر در لایه‌های واکنش‌پذیر این جزء خاک می‌باشد. پس از آن، بیش‌ترین بار وزنی عناصر سنگین به‌ترتیب در ذرات خاک با اندازه ذرات ۲۸-۷۵، ۷۵-۱۵۰ و ۱۵۰-۳۰۰ میکرومتر مشاهده گردید.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع نتایج مطالعه تأیید می‌نماید که اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در اندازه ذرات مختلف خاک می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای ارزیابی خطر آلاینده‌های خاک‌های آلوده سطحی در مناطق صنعتی تحت فرسایش فراهم نماید. نتایج این مطالعه می‌تواند در مطالعات خطر فرسایش بادی ذرات با اندازه مختلف و خطرپذیری آن برای تنفس انسان مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** توزیع اندازه ذرات، شاخص بار وزنی، عناصر سنگین، فاکتور آلودگی، فولاد مبارکه

## مقدمه

ترکیب شیمیایی عناصر در خاک تا حد زیادی به ترکیب مواد مادری، فاکتورهای خاک‌سازی، فرآیندهای خاک‌سازی و فعالیت‌های انسانی بستگی دارد. توزیع مکانی عناصر طی فرآیند هوازگی پیچیده می‌باشد، زیرا عناصر تحت تأثیر فرآیندهای مختلف خاک‌سازی از جمله انحلال مواد معدنی اولیه، تشکیل مواد معدنی ثانویه، فرآیندهای اکسید و احیا و حمل و نقل و تبادل یونی قرار می‌گیرند (۴، ۱۵، ۱۷، ۱۴). فرآیندهای هوازگی فیزیکی و شیمیایی در لایه‌های سطحی خاک شدت بیشتری دارند، در نتیجه عناصر سنگین بیش‌تر در لایه سطحی خاک تجمع می‌یابند. از طرف دیگر غلظت بعضی از عناصر سنگین از طریق ته‌نشست‌های اتمسفری و یا مواد افزودنی به خاک در لایه سطحی افزایش می‌یابد. بیش‌تر عناصر سنگین در خاک‌رخ به دلیل چگالی بار سطحی بالا به شدت جذب سطح ذرات معدنی خاک و مواد آلی خاک می‌شوند. فرآیندهای خاک‌سازی نظیر آبشویی و انتقال ذرات خاک در طول خاک‌رخ سبب توزیع و پراکنده شدن عناصر سنگین در طول خاک‌رخ می‌گردند (۱، ۳).

ری (۱۹۹۷) نقش اندازه ذرات خاک را در کنترل غلظت آلودگی خاک غیرقابل انکار دانست، به طوری که با کاهش اندازه ذرات، غلظت آلودگی‌های موجود در سطح ذرات افزایش یافت (۱۱). وانگ (۲۰۰۶) با مطالعه خاک‌های کنار جاده شهر زوژو چین به این نتیجه رسید که تأثیر اندازه ذرات مختلف خاک بر غلظت عناصر سنگین متفاوت می‌باشد. بیش‌ترین غلظت عناصر Cu، Zn، Mo، As، Hg، Bi و Ag در کوچک‌ترین اندازه ذرات خاک (< ۴۵ میکرون) مشاهده می‌شود. در حالی که غلظت عناصر Se، Sb و Ba مستقل از اندازه ذرات خاک می‌باشند (۱۶).

اجمون-مارسان و همکاران (۲۰۰۸) با اندازه‌گیری غلظت عناصر Cu، Ni، Pb، Zn و Cr در اجزی

تفکیک شده فیزیکی خاک و نمونه کلی خاک‌های پنج شهر اروپایی (با اندازه‌گیری مقادیر فاکتور تجمع (AF)) به این نتیجه رسیدند که تجمع آلودگی در اجزای ریزتر در جایی که آلودگی کم‌تر است، بیش‌تر می‌باشد. همچنین رابطه معکوسی بین AF برخی از فلزات و درصد اجزای کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر به دست آوردند که می‌تواند برای ارزیابی خطر آلودگی استفاده شود (۶).

سودرلند (۲۰۰۳) بیش‌ترین غلظت عناصر سنگین (Ag، Bi، Cu، Zn، Cd، As، Hg و Mo) را در کوچک‌ترین اجزای خاک گزارش کرد و علت آن را وجود سطوح ویژه بالا در این دسته از اجزای خاک و افزایش هم‌زمان این عناصر در لایه‌های واکنش‌پذیر آن‌ها معرفی کرد (۱۶). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که عناصر ناشی از آلودگی‌های اتمسفر تمایل به تجمع در اجزای ریزتر خاک دارند (۱۴، ۱۹، ۲۰).

اطلاع از وضعیت توزیع عناصر سنگین در اندازه ذرات مختلف خاک به خصوص در مناطق صنعتی ضروری است، چرا که می‌تواند در راستای خطر انتقال عناصر سنگین در گرد و غبار (ذرات سیلت تا رس) توسط فرسایش بادی دارای اهمیت باشد. با توجه به این که در خصوص تغییرات عناصر سنگین در اندازه‌های مختلف ذرات خاک در دنیا و به خصوص ایران مطالعات محدودی انجام شده است، این پژوهش به منظور بررسی تغییرپذیری عناصر سنگین در اندازه ذرات مختلف در خاک‌های سطحی منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان طراحی و اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه و نحوه نمونه‌برداری: مجتمع فولاد مبارکه اصفهان در ۷۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهر اصفهان و در ۱۲ کیلومتری

تفکیک شدند. غلظت عناصر سنگین (مس، روی، منگنز و آهن، سرب و نیکل) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل Analyst 200 در اجزا تفکیک شده مختلف اندازه‌گیری گردید.

**شاخص‌های آلودگی و محاسبات آماری:** فاکتور آلودگی مربوط به هر یک از عناصر سنگین در اجزای مختلف خاک به کمک رابطه زیر محاسبه شد (۵).

$$CF_{\text{زمینه}} = CF_{\text{فلز}} / CF_{\text{فلز}} \quad (۱)$$

که در آن،  $CF$  (زمینه) مربوط به غلظت عنصر در جزء مربوطه و  $CF$  (زمینه) مربوط به غلظت زمینه همان عنصر است که در این پژوهش مقدار حداقل غلظت در هر جزء به‌عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته شد (۵، ۱۰، ۱۲).

رابطه زیر برای محاسبه بار وزنی عناصر سنگین بر اساس اندازه ذرات ( $GS_{\text{Floading}}$ ) مورد استفاده قرار گرفت (۱۳).

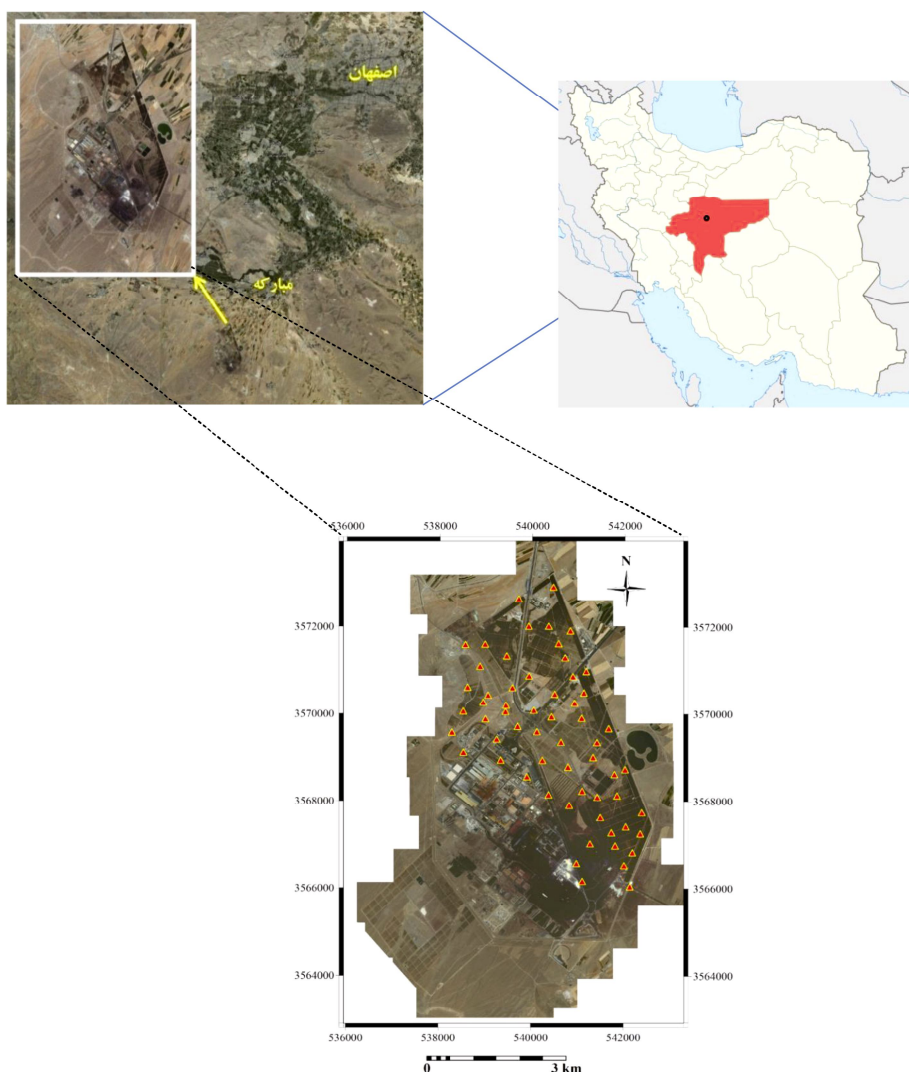
$$GSF_{\text{loading}} = [100 \times \frac{HM_i \times GS_i}{\sum_{i=1}^5 HM_i \times GS_i}] \quad (۲)$$

که در آن،  $HM_i$  غلظت عناصر سنگین در هر جزء ( $\frac{mg}{kg}$ ) و  $GS_i$  درصد وزنی هر جزء می‌باشد. مجموع مقادیر  $GSF_{\text{loading}}$  برای هر عنصر در اجزای مختلف ذرات خاک برابر ۱۰۰٪ می‌باشد. پارامترهای آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مشتمل بر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و چولگی به کمک نرم‌افزار SPSS 16 محاسبه شدند.

جنوب‌غربی شهرستان مبارکه در گستره‌ای به وسعت ۳۵ کیلومترمربع استقرار یافته و شامل ۱۵۰۰ هکتار فضای سبز می‌باشد (شکل ۱). خاک‌های این منطقه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی ترمیک می‌باشند. با استفاده از آمار بیست‌ساله ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مبارکه (در بازه زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲) وضعیت آب و هوایی منطقه نشان می‌دهد که دارای میانگین رطوبت سالانه ۳۷ درصد و میانگین بارندگی سالیانه در حدود ۱۴۱ میلی‌متر بوده که عمدتاً به‌صورت باران و در محدوده زمانی پاییز، زمستان و اوایل بهار صورت می‌گیرد. متوسط دمای منطقه ۱۵/۸ درجه سلسیوس بوده و بیش‌ترین درجه حرارت، در تابستان‌ها ۳۶-۳۹ درجه سلسیوس بالای صفر و کم‌ترین آن، در زمستان‌ها ۷-۹ درجه سلسیوس زیر صفر بوده است. بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در ماه‌های تیر و مرداد و کم‌ترین مقدار آن در ماه‌های دی و بهمن می‌باشد.

برای رسیدن به اهداف این پژوهش همه مناطق فضای سبز کارخانه شبکه‌بندی شد و محل‌های نمونه‌برداری روی نقشه مشخص گردید. سپس در ۶۰ نقطه مورد مطالعه، نمونه‌های افق سطحی از عمق ۰-۵ سانتی‌متری با فاصله تقریبی ۵۰۰ تا ۷۰۰ متر جمع‌آوری گردید. پراکنش مکانی نقاط مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

**تجزیه‌های آزمایشگاهی:** در مطالعات آزمایشگاهی، ابتدا نمونه‌ها هوا خشک و پس از کوبیده شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های الک کردن، سیفون و سانتریفیوژ به ۵ جزء کوچک‌تر از ۲۸، ۲۸-۷۵، ۷۵-۱۵۰، ۱۵۰-۳۰۰، ۳۰۰-۲۰۰۰ میکرون



شکل ۱- موقعیت مکانی مجتمع فولاد مبارکه نسبت به شهر اصفهان و پراکنش جغرافیایی نقاط نمونه برداری.

Figure 1. Location of the Mobarakeh Steel Company in Isfahan city and distribution of soil sampling points.

منطقه اصفهان را ۱۷۹۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم با دامنه تغییرات ۲۵۵۰۰ گزارش کرد (۷). میانگین غلظت منگنز در منطقه مورد بررسی ۴۴۳/۳۲ میلی گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات ۴۰۵/۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. از علل افزایش غلظت منگنز و آهن در منطقه و افزایش دامنه تغییرات می توان فعالیت های انسانی از جمله فعالیت های صنعتی موجود در منطقه را نام برد. میانگین غلظت روی کل ۳۰۰/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات غلظت روی در خاک های منطقه ۶۰۶ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. دامنه تغییرات

### نتایج و بحث

توصیف آماری عناصر سنگین: خلاصه ای از وضعیت آماری عناصر سنگین در نمونه های کل خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. بیشترین میانگین غلظت عناصر سنگین در غلظت عنصر آهن ( $\frac{mg}{kg}$  ۱۴۲۴۲/۸) و کمترین آن در غلظت عنصر مس ( $\frac{mg}{kg}$  ۳۸/۴) مشاهده می شود. همچنین بالاترین ضریب تغییرات (CV) مربوط به عنصر آهن (۵۰/۸ درصد) می باشد. دنکوب (۲۰۱۰) میانگین غلظت آهن در

روی را در خاک ۱۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده‌اند (۶). بنابراین دامنه تغییرات ۶۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیانگر آلودگی بخشی از خاک‌های منطقه به روی است.

جدول ۱ میانگین غلظت سرب را در خاک‌های منطقه ۷۸/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات ۱۱۹/۱ می‌دهد. دامنه تغییرات سرب در خاک را ۲ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده‌اند (۹). بنابراین دامنه تغییرات سرب در منطقه مطالعاتی بیانگر این است که خاک‌های مورد بررسی آلودگی به سرب ندارند. جدول ۱ میانگین غلظت مس را در خاک‌های منطقه ۳۸/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات ۳۶/۸۳ نشان می‌دهد. دامنه تغییرات مس کل در خاک را ۲ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده‌اند (۲). دامنه تغییرات مس در منطقه مطالعاتی بیانگر این است که خاک‌های مورد بررسی آلودگی به مس کل ندارند. دنکوب (۲۰۱۰) میانگین غلظت مس کل را در منطقه اصفهان ۴۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم با دامنه تغییرات ۱۱۶/۸ گزارش کرد (۷). میانگین غلظت نیکل کل ۶۴/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات غلظت نیکل در خاک‌های منطقه در حدود ۵۴/۳۳ می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار دامنه تغییرات و ضریب تغییرات ۱۵ درصد می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات نیکل کل در منطقه مورد مطالعه کم می‌باشد.

خلاصه‌ای از وضعیت آماری عناصر سنگین در اندازه ذرات مختلف خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. در مجموع بیش‌ترین غلظت عناصر سنگین در اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲۸ میکرون مربوط به عنصر Mn ( $762/93 \frac{mg}{kg}$ ) با حداقل مقدار  $334 \frac{mg}{kg}$  و حداکثر مقدار  $1092 \frac{mg}{kg}$  و پس از آن عناصر Fe ( $588/25 \frac{mg}{kg}$ ) و Zn

( $300/82 \frac{mg}{kg}$ ) می‌باشد. مشاهده می‌شود در نمونه‌های با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲۸ میکرون، Cu و Ni و Zn دارای بیش‌ترین غلظت نسبت به سایر اندازه ذرات می‌باشند.

بیش‌ترین مقدار غلظت عناصر در اندازه ذرات ۲۸-۷۵μ مربوط به Fe ( $486/5 \frac{mg}{kg}$ ) و Mn ( $485 \frac{mg}{kg}$ )، در اندازه ذرات ۷۵-۱۵۰μ مربوط به Fe ( $611/33 \frac{mg}{kg}$ )، در اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰μ مربوط به Mn ( $564/68 \frac{mg}{kg}$ ) و در بزرگ‌ترین اندازه ذرات (۲۰۰-۳۰۰μ) مربوط به Mn ( $293/58 \frac{mg}{kg}$ ) می‌باشد. به‌نظر می‌رسد در اندازه‌های ریزتر ذرات، عنصر آهن دارای حداکثر غلظت بوده و در اندازه ذرات بزرگ، غلظت عنصر منگنز حداکثر غلظت را از بین شش عنصر مورد مطالعه نشان داده است. به‌نظر می‌رسد عنصر آهن که در ذرات رس بیش‌تر دیده می‌شود عمدتاً از فعالیت‌های صنعتی منطقه فولاد مبارکه غنی شده است و در مقابل مقدار زیاد منگنز در ذرات درشت را می‌توان به مقدار آن در مواد مادری نسبت داد که در منطقه خشک مورد مطالعه هنوز فرصت غنی شدن در ذرات رس را پیدا نکرده است.

فاکتور آلودگی (CF) عناصر سنگین مورد بررسی: ارزیابی آلودگی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های مختلفی از جمله فاکتور آلودگی (CF) صورت می‌گیرد. هکنسن (۱۹۸۰) از فاکتور آلودگی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک به عناصر سنگین و همچنین شاخصی برای مقایسه تجمع عناصر در سطح نسبت به عمق استفاده کرد (۵).

جدول ۱- خلاصه‌ای از وضعیت آماری عناصر سنگین در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Descriptive statistics of heavy metal concentrations in soil samples of study area.

متغیر ( $\frac{mg}{kg}$ ) Varibale	میانگین Mean	انحراف معیار Stand.dev	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	چولگی Skewness	دامنه Range	ضریب تغییرات (%) CV
Zn	300.8	125.3	104.0	710.0	0.9	606.0	41.6
Ni	64.4	9.4	43.8	98.1	0.7	54.3	14.6
Cu	38.4	8.0	27.1	63.9	1.2	36.8	20.9
Mn	443.3	99.8	222.1	627.6	-0.6	405.5	22.5
Pb	78.5	15.1	33.8	153.0	2.0	119.1	19.2
Fe	14242.4	7244.4	1445.3	30157.2	0.7	28711.9	50.8

با اندازه ذرات ۱۵۰-۷۵ ( $\frac{\mu}{m}$ ) و کم‌ترین میانگین فاکتور آلودگی مربوط به عنصر Pb در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰ ( $\frac{\mu}{m}$ ) می‌باشد. با توجه به نتایج این جدول، آلودگی عناصر مورد بررسی را می‌توان به صورت زیر رتبه‌بندی نمود:

خصوصیات آماری مربوط به فاکتور آلودگی برای هر عنصر در اجزای مختلف ذرات خاک منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. خلاصه‌ای از آماره‌های این فاکتور در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میانگین فاکتور آلودگی مربوط به عنصر Fe در کل خاک ( $\frac{9}{85}$ ) و پس از آن Fe در اجزای خاک

جدول ۲- خلاصه‌ای از توصیف آماری غلظت عناصر سنگین ( $\frac{mg}{kg}$ ) در اندازه‌های مختلف ذرات خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 2. Descriptive statistics of heavy metal concentration ( $\frac{mg}{kg}$ ) in various sizes of soil particles of the study area.

KS	CV(%)	دامنه Range	چولگی Skewness	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	انحراف معیار Std.Dev	میانگین Mean	عنصر Element	اندازه فیزیکی ذرات ( $\mu$ ) Particle size distribution
0.17	41.7	606.0	0.99	710.0	104.4	125.3	300.8	Zn	<28
0.08	11.2	76.0	-0.90	172.0	96.0	14.8	131.7	Ni	
0.20	34.3	147.0	1.94	193.0	46.0	27.6	80.5	Cu	
0.05	20.4	1.58	-0.08	1092.0	334.0	155.6	762.9	Mn	
0.09	26.6	113.4	0.77	167.9	54.5	23.7	89.3	Pb	
0.14	22.8	855.0	2.12	1232.0	377.0	133.8	588.2	Fe	28-75
0.2	65.0	717	4.05	43.0	760.0	100.1	153.9	Zn	
0.09	24.5	107	0.79	35.0	142.0	18.7	76.1	Ni	
0.29	61.8	152	2.41	20.0	172.0	31.6	51.1	Cu	
0.11	25.8	721	0.64	154.0	875.0	125.6	485.4	Mn	
0.15	23.7	138	1.84	59.0	197.6	22.2	93.7	Pb	75-150
0.11	37.5	874	1.3	186.0	1060.0	182.2	486.5	Fe	
0.18	51.5	505	3.3	45	550	72.9	141.4	Zn	
0.07	19.9	67	-0.35	20	87	12.1	60.8	Ni	
0.15	27.3	57	1.04	21	87	11.5	42.1	Cu	
0.11	22.5	570	-0.08	145	715	97.3	431.2	Mn	75-150
0.27	56.5	2.7	3.9	0.31	3.05	0.43	0.76	Pb	
0.23	66.5	1571	1.4	128	1699	406.6	611.3	Fe	

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

KS	CV(%)	دامنه	چولگی	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	عنصر	اندازه فیزیکی ذرات (μ)
		Range	Skewness	Maximum	Minimum	Std.Dev	Mean	Element	Particle size distribution
0.22	54.2	187	2.2	30	217	36.7	67.8	Zn	150-300
0.09	24.91	47.0	0.43	22.0	69.0	10.7	42.8	Ni	
0.154	20.09	22.0	1.212	18.0	40.0	4.87	24.3	Cu	
0.082	23.20	568.0	-0.14	271.0	839.0	131.03	564.8	Mn	
0.13	16.51	39.39	0.58	50.54	89.92	10.79	65.3	Pb	
0.21	68.92	1012.0	2.11	136.0	1148.0	214.02	310.5	Fe	300-2000
0.12	25.17	51.0	1.80	28.0	79.0	10.30	40.92	Zn	
0.11	14.06	23.0	0.348	23.0	46.0	4.67	33.20	Ni	
0.18	20.46	17.0	1.08	13.0	30.0	3.66	17.73	Cu	
0.08	28.72	362.0	-0.08	122.0	484.0	84.31	293.58	Mn	
0.06	12.60	47.78	-0.26	50.91	98.69	9.83	77.98	Pb	
0.15	53.62	-398.0	1.99	48.0	446.0	72.0	134.28	Fe	

CV: ضریب تغییرات، KS: نتایج آزمون کولموگروف - اسمیرنوف

در اجزای خاک با اندازه ذرات کوچکتر از ۲۸ میکرون:

Zn>Mn> Cu>Pb> Fe> Ni

در اجزای خاک با اندازه ذرات ۲۸-۷۵ میکرون:

Zn>Mn> Fe> Cu> Ni>Pb

در اجزای خاک با اندازه ذرات ۷۵-۱۵۰ میکرون:

Fe> Zn=b> Ni>Mn> Cu

در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰ میکرون:

Fe> Zn>Mn> Ni> Cu>Pb

در اجزای خاک با اندازه ذرات ۳۰۰-۲۰۰۰ میکرون:

Fe>Pb> Zn> Ni>Mn> Cu

در نمونه کل خاک:

Fe> Zn>Pb>Mn> Ni> Cu

جدول ۳- خلاصه‌ای از آماره‌های فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی در اجزای مختلف ذرات خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 3. Descriptive statistics of contamination factor for the studied metals in various sizes of soil particles of the study area.

CV(%)	دامنه	چولگی	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	متغیر	اندازه فیزیکی ذرات (μ)
	Range	Skewness	Max	Min	Std.Dev	Mean	Variable	Physical size particle (μ)
41.52	5.83	0.99	6.83	1	1.20	2.89	CF <sub>Zn</sub>	≤28
10.95	0.79	-0.09	1.79	1	0.15	1.37	CF <sub>Ni</sub>	
34.28	3.20	1.94	4.20	1	0.60	1.75	CF <sub>Cu</sub>	
20.17	3.27	-0.08	3.27	1	0.46	2.28	CF <sub>Mn</sub>	
26.22	2.08	0.77	3.08	1	0.43	1.64	CF <sub>Pb</sub>	
22.43	2.27	2.12	3.27	1	0.35	1.56	CF <sub>Fe</sub>	28-75
65.08	16.6	4.05	17.67	1	2.33	3.58	CF <sub>Zn</sub>	
24.42	3.06	0.79	4.06	1	0.53	2.17	CF <sub>Ni</sub>	
61.94	7.60	2.41	8.60	1	1.58	2.55	CF <sub>Cu</sub>	
25.71	4.68	0.64	5.68	1	0.81	3.15	CF <sub>Mn</sub>	
23.90	2.35	1.84	3.35	1	0.38	1.59	CF <sub>Pb</sub>	
37.55	4.70	1.30	5.70	1	0.98	2.61	CF <sub>Fe</sub>	

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

CV(%)	دامنه Range	چولگی Skewness	حداکثر Max	حداقل Min	انحراف معیار Std.Dev	میانگین Mean	متغیر Variable	اندازه فیزیکی ذرات (μ) Physical size particle (μ)
51.59	11.2	3.35	12.22	1	1.62	3.14	CF <sub>Zn</sub>	75-150
19.73	3.35	-0.35	4.35	1	0.60	3.04	CF <sub>Ni</sub>	
27.00	2.71	1.04	3.71	1	0.54	2.00	CF <sub>Cu</sub>	
22.56	3.93	-0.08	4.93	1	0.67	2.97	CF <sub>Mn</sub>	
136.30	2.08	4.89	29.08	1	4.28	3.14	CF <sub>Pb</sub>	
66.53	12.20	1.40	13.27	1	3.18	4.78	CF <sub>Fe</sub>	150-300
53.98	6.23	2.19	7.23	1	1.22	2.26	CF <sub>Zn</sub>	
24.61	2.14	0.43	3.14	1	0.48	1.95	CF <sub>Ni</sub>	
20.00	1.22	1.20	2.22	1	0.27	1.35	CF <sub>Cu</sub>	
23.07	2.10	-0.14	3.10	1	0.48	2.08	CF <sub>Mn</sub>	
16.28	0.78	0.58	1.78	1	0.21	1.29	CF <sub>Pb</sub>	300-2000
68.84	7.44	2.11	8.44	1	1.57	2.28	CF <sub>Fe</sub>	
25.34	1.82	1.80	2.82	1	0.37	1.46	CF <sub>Zn</sub>	
13.88	1	0.35	2.00	1	0.20	1.44	CF <sub>Ni</sub>	
20.95	1.31	1.08	2.31	1	0.28	1.36	CF <sub>Cu</sub>	
49.28	2.97	-0.08	3.97	1	0.69	1.40	CF <sub>Mn</sub>	کل خاک (bulk soil)
12.42	0.94	-0.26	1.94	1	0.19	1.53	CF <sub>Pb</sub>	
53.76	8.29	1.99	9.29	1	1.50	2.79	CF <sub>Fe</sub>	
41.52	5.83	0.99	6.83	1	1.20	2.89	CF <sub>Zn</sub>	
14.28	1.24	0.74	2.24	1	0.21	1.47	CF <sub>Ni</sub>	
20.42	1.36	1.21	2.36	1	0.29	1.42	CF <sub>Cu</sub>	
22.61	1.83	-0.61	2.83	1	0.45	1.99	CF <sub>Mn</sub>	
19.39	3.52	2.01	4.52	1	0.45	2.32	CF <sub>Pb</sub>	
50.86	19.80	0.75	20.87	1	5.01	9.85	CF <sub>Fe</sub>	

CV: ضریب تغییرات

جدول ۴- بار وزنی عناصر سنگین، GSF<sub>loading</sub> (%). در پنج جزء فیزیکی ذرات خاک (بر حسب میکرون) در منطقه مورد مطالعه.

Table 4. GSF<sub>loading</sub> (%) in five physical size fraction (μ) in the study area.

300-2000	150-300	75-150	28-75	<28	عنصر element
8.63	10.39	19.16	19.16	42.65	Zn
14.02	13.13	16.50	18.97	37.37	Ni
12.09	12.00	18.42	20.57	36.91	Cu
16.50	23.04	15.55	16.09	28.81	Mn
25.70	15.63	20.65	18.23	19.78	Pb
9.36	15.72	27.36	20.00	27.56	Fe

خاک می‌باشد (۱۳). بار وزنی، غلظت عناصر سنگین خاک را بر اساس اندازه ذرات خاک با اطلاعات مربوط به درصد وزنی اجزاء خاک ترکیب می‌نماید.

شاخص بار وزنی عناصر سنگین در اجزای مختلف ذرات خاک (GSF<sub>loading</sub>): مهم‌ترین شاخص آلودگی، بار وزنی عناصر سنگین در پنج جزء ذرات



سطوح خارجیشان را به مکان‌های دورتر منتقل می‌کنند (۱۹).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش غلظت عناصر سنگین در اجزای فیزیکی خاک در منطقه صنعتی فولاد مبارکه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که از بین شش عنصر مورد مطالعه (سرب، روی، آهن، منگنز، مس و نیکل) در اندازه ذرات ریزتر عنصر آهن دارای حداکثر غلظت بود و در اندازه ذرات درشت‌تر، غلظت عنصر منگنز حداکثر بود. بیش‌ترین میانگین فاکتور آلودگی (CF) مربوط به عنصر آهن در کل خاک و پس از آن در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰ و کم‌ترین میانگین فاکتور آلودگی مربوط به عنصر سرب در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰ می‌باشد. بالاترین شاخص بار وزنی ( $G_{SF\text{loading}}$ ) در مورد تمامی عناصر سنگین مورد مطالعه در کوچک‌ترین اندازه ذرات ( $<2.8\mu$ ) دیده می‌شود که علت آن وجود سطوح ویژه بالا در این اندازه ذرات خاک و افزایش هم‌زمان این عناصر در لایه‌های واکنش‌پذیر این جزء خاک می‌باشد. پس از آن بیش‌ترین بار وزنی عناصر سنگین به‌ترتیب در ذرات خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۳۰۰، ۲۸-۷۵، ۷۵-۱۵۰ و ۱۵۰-۳۰۰ میکرون مشاهده شد. در مجموع نتایج مطالعه تأیید می‌نماید که اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین در اندازه ذرات مختلف خاک می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای ارزیابی خطر آلاینده‌های خاک‌های آلوده سطحی در مناطق صنعتی تحت فرسایش فراهم نماید. نتایج این مطالعه می‌تواند در راستای مطالعات خطر ریسک فرسایش بادی ذرات با اندازه مختلف و خطرپذیری آن برای تنفس انسان مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج محاسبات بار وزنی عناصر سنگین در پنج جزء فیزیکی ذرات خاک در منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. به‌طورکلی بیش‌ترین بار وزنی در تمام عناصر سنگین (به‌جز Pb) در کوچک‌ترین اندازه ذرات ( $<2.8$ ) میکرون که معادل جزء رس خاک می‌باشد) دیده می‌شود که علت آن وجود سطوح ویژه بالا در این اندازه ذرات خاک و افزایش هم‌زمان این عناصر در لایه‌های واکنش‌پذیر این جزء خاک می‌باشد (۱۳). مشاهده می‌شود که عنصر آهن ضمن بالا بودن در کوچک‌ترین اندازه ذرات، در اجزای خاک با اندازه ذرات ۱۵۰-۷۵ میکرون نیز از بار وزنی بالایی برخوردار است. پس از آن بیش‌ترین بار وزنی عناصر سنگین به‌ترتیب در ذرات خاک با اندازه ذرات ۲۸-۷۵، ۷۵-۱۵۰ و ۱۵۰-۳۰۰ میکرون مشاهده می‌شود. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد کم‌ترین بار وزنی عناصر سنگین در بزرگ‌ترین اندازه ذرات خاک (۲۰۰۰-۳۰۰ میکرون که معادل جزء شن درشت خاک می‌باشد) وجود دارد.

وانگ (۲۰۰۶) با اندازه‌گیری بار وزنی عناصر سنگین در خاک‌های کنارجاده شهر زوژو چین گزارش کرد بیش از ۳۰ درصد غلظت عناصر سنگین در اندازه ذرات ۷۵-۴۵ میکرون و بیش از ۷۰ درصد از غلظت عناصر سنگین در اندازه ذرات ۷۵-۴۵ و ۱۲۵-۷۵ میکرون حضور دارند، به‌طوری‌که ذرات درشت خاک (۲۵۰-۵۰۰ میکرون) و ذرات کوچک خاک ( $<4.5$  میکرون) به مقدار کم‌تر از ۱۰ درصد از غلظت فلزات سنگین را در بر می‌گیرند (۲۰). وانگ (۲۰۰۶) اجزای خاک با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۲۵ میکرون را از نظر آلودگی خاک مشکل‌ساز معرفی کرد. به این دلیل که این ذرات در اثر فرسایش بادی و آبی منتقل شده و بنابراین فلزات سنگین موجود در

### منابع

1. Afyuni, M., Rezaee Nejad, Y., and Khyambashi, B. 1998. Sludge effects on yield and adsorption of heavy metals in Cabbage and Spinach. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 29: 19-29. (In Persian)
2. Ajmone-Marsan, F., Biasioli, M., Kralj, T., Greman, H., Davidson, C.M., Hursthouse, A.S., Madrid, L., and Rodrigues, S. 2008. Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environ. Pollut.* 152: 73-81.
3. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspourand, K.C., and Schulin, R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Sci. Total Environ.* 347: 64-77.
4. Amiri, S. 2011. Effects of parent material and land use on variability of heavy metals and magnetic susceptibility in eaten Isfahan. MSc. thesis, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (In Persian)
5. Bi, X., Feng, X., Yang, Y., Qiu, G., Li, G., Li, F., Liu, T., Fu, Z., and Jin, Z. 2006. Environmental contamination of heavy metals from zinc smelting areas in Hezhang Country, western Guizhou, China. *Environ. Inter.* 32: 883-890.
6. Chan, L.S., Ng, S.L., Davis, A.M., Yim, W.S., and Yeung, C.H. 2001. Magnetic Properties and Heavy-metal Contents of Contaminated Sediments of Penny Bay, Hong Kong. *Mar. Pollut. Bull.* 42: 569-583.
7. Dankoub, Z. 2010. Spatial relationships of magnetic susceptibility and some heavy metals in surface soils of Isfahan district. MSc. Thesis, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. (In Persian)
8. Eze, P.N., Udeigwe, T.K., and Stietiya, M.H. 2010. Distribution and potential source evaluation of heavy metals in prominent soils of Accra Plains, Ghana. *Geoderma.* 156: 357-362.
9. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.* 14: 975-1001.
10. Hopke, P.K., Lamb, R.E., and Natusch, D.F.S. 1980. Multielemental characterization of urban roadway dust. *Environ. Sci. Technol.* 14: 164-172.
11. Lu, S.G., Bia, S.Q., and Fu, L.X. 2008. Magnetic Properties as Indicators of Cu and Zn Contamination in soils. *Pedosphere.* 18: 479-485.
12. Manta, D.S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., and Sprovieri, M. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Sci. Total Environ.* 300: 229-243.
13. Mico, C., Recatala, L., Peris, M., and Sanchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere.* 65: 863-872.
14. Rae, J.E. 1997. Trace metals in deposited intertidal sediments. P 16-31, In: T.D. Jickells and J.E. Rae (Eds.), *Biogeochemistry of Intertidal Sediments*. Cambridge University Press, Cambridge.
15. Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., and Teng, J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environ. Pollut.* 156: 251-260.
16. Sutherland, R.A. 2003. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment. *Environ Pollut.* 121: 229-237.
17. Taghipour, M. 2009. Spatial variability of some heavy metals in surface soils of Hmadan province. MSc. Thesis, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran, 170p. (In Persian)
18. Tomasevic, M., Vukmirovic, Z., Rajsic, S., Tasic, M., and Stevanovic, B. 2005. Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area. *Chemosphere.* 61: 753-760.
19. Von Stieger, B., Webster, R., Schulin, R., and Lehmann, R. 1996. Mapping heavy metal in polluted soil by disjunctive kriging. *Environ. Pollut.* 94: 205.

20. Wang, X.S., Qin, Y., and Chen, Y.K. 2006b. Heavy metals in urban roadside soils, part 1: effect of particle size fractions on heavy metals partitioning. *Environ Geol.* 50: 1061-1066.
21. Wang, X., Sato, T., and Xing, B. 2006b. Size distribution and anthropogenic sources apportionment of airborne trace metals in Kanazawa, Japan. *Chemo-spher.* 65: 2440-2448.



## Variability of some heavy metal concentration in various physical fractions of soil surface of Foolad-e-Mobarakeh steel company, Isfahan

Z. Soltani<sup>1</sup>, \*Sh. Ayoubi<sup>2</sup> and H. Khademi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 02/17/2015; Accepted: 09/06/2016

### Abstract

**Background and Objectives:** Among the soil pollutants, heavy metals due the high stability in soils and their toxicity to animals and plants needed special considerations. Therefore, knowledge about the variability of heavy metals especially in various physical fractions is valuable for decision making and proper management in industrial districts. The knowledge about the heavy metal distribution in different particle size distributions (PSD's) provides valuable information for heavy metal risk assessment of wind deposits and aerosols. In this regards little study has been made in the world as well as in Iran. Therefore, this study was conducted to study the variability of heavy metals in different particle size fractions of surface soils of Foolad-e-Mobarakeh steel company in Isfahan province.

**Materials and Methods:** The study area is located in Foolad-Mobarakeh steel company nearby of Isfahan city. Sixty soil samples were collected from 0-5 cm of surface soils and after sieving, various fractions including <28, 28-75, 7-150, 150-300 and 300-2000  $\mu\text{m}$  were separated by siphon method. The concentration of some heavy metals included Cu, Zn, Mn, Fe, Pb and Ni were determined by atomic absorption spectroscopy (Model: Analyst 200) equipped by graphite furnace. Using selected criteria, including concentration factor (CF) and grain size loading factor ( $\text{GSF}_{\text{loading}}$ ), soils of the study area were classified and ranked in various particle size fractions.

**Results:** The results showed that the highest of CF was observed for Fe in bulk soil samples. The lowest CF was observed for Pb in 150-300  $\mu\text{m}$  fraction. The results showed that Fe had the highest value in finest particles (<28 and 28-75  $\mu\text{m}$ ), while Mn showed the highest concentration in coarse fractions. The highest value of CF was obtained for Fe in bulk soil samples and then for 150-300  $\mu\text{m}$  fraction. The lowest CF was attributed to Pb in 150-300  $\mu\text{m}$  fraction. The highest  $\text{GSF}_{\text{loading}}$  for all studied metals were observed in the finest particles (<28  $\mu\text{m}$ ) which might be related to high specific area in this fraction. The highest value of  $\text{GSF}_{\text{loading}}$  was observed for the <28 fraction and then reduced for 28-57, 75-150 and 150-300  $\mu\text{m}$  fractions in ranking in the studied soils.

**Conclusions:** In overall, results of this study confirmed that various metals are distributed variously in different PSD's. Also, the knowledge about the heavy metals contribution in various particle size distribution of soil could provide valuable information for manager and governors in respect to risk assessment of metals in aerosols and wind deposits in industrial sites located in arid regions.

**Keywords:** Particle size distribution, Grain size fraction loading, Heavy metals, Concentration factor, Foolad-e-Mobarakeh

\* Corresponding Author; Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir