

## بررسی تغییرات عمقی و سطحی سرب و نیکل در خاک‌های منطقه صنعتی ذوب آهن اصفهان

سلمان نعیمی مرنندی<sup>۱</sup> - شمس‌اله ایوبی<sup>۲\*</sup> - حسین خادمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۲۲

### چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین ناشی از فرآیند تولید در کارخانجات ذوب فلز به دلیل ارتباط نزدیک با سلامت جوامع انسانی از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به اهمیت استان اصفهان از نظر فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، این پژوهش با هدف ارزیابی روند آلودگی عمقی و سطحی خاک‌های اطراف ذوب‌آهن به فلزات سرب و نیکل صورت گرفت. در این تحقیق ۲۰۲ پروفیل براساس یک شبکه بندی منظم حفر گردید و در مجموع ۵۰۰ نمونه خاک از اعماق ۰-۳۰، ۶۰-۹۰ و ۱۲۰-۱۵۰ سانتی‌متری برداشته شد. پس از آماده سازی نمونه‌ها مقدار کل فلزات در نمونه‌ها با استفاده از اسید نیتریک ۴ نرمال استخراج و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. جهت بررسی تغییرات عمقی، بین اعماق مورد بررسی مقایسه میانگین صورت گرفت و به منظور بررسی تغییرات سطحی، تغییرنمای همه جهته فاکتور آلودگی فلزات مورد بررسی قرار گرفت و سپس الگوی مناسب بر آن‌ها برآزش داده شد. در نهایت به وسیله کریجینگ معمولی نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات مورد مطالعه ترسیم گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت سرب در خاک‌های سطحی عمدتاً به وسیله فعالیت‌های انسانی در منطقه کنترل می‌شود در حالی که غلظت نیکل عمدتاً تحت تأثیر ماده مادری است. همچنین با توجه به فاکتور آلودگی نیکل و سرب، منطقه مورد بررسی از نظر آلودگی به نیکل دارای شدت آلودگی کم و از نظر آلودگی به سرب، منطقه مورد بررسی دارای شدت آلودگی بیشتری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، ذوب‌آهن، تغییرات مکانی، زمین‌آمار

### مقدمه

خاک است (۲۶). آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین به علت مسئله امنیت غذایی و سلامت انسان، نگرانی رو به رشدی را در جهان به وجود است (۴). فلزات سنگین به علت تداوم آن در خاک و احتمال رسیدن غلظت آن‌ها به حد آستانه سمیت و همچنین به دلیل اهمیت زیست محیطی و پتانسیل بالای این فلزات در انتقال به چرخه اکولوژیکی از اهمیت بالای برخوردار هستند (۲۸).

آلاینده در یک تقسیم‌بندی براساس منبع و منشاء ایجاد به دو دسته آلاینده‌های طبیعی که در ساختار کانی‌های خاک وجود دارند و آلاینده‌هایی صنعتی که منشاء انسانی دارند تقسیم می‌شوند (۳). در تقسیم‌بندی دیگر می‌توان منابع آلاینده‌ها را به دو دسته نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای تقسیم نمود که تفاوت آن‌ها تنها در گسترش مکانی و نیز منشاء تولید آن‌ها می‌باشد (۱۹). آلودگی نقطه‌ای در یک نقطه متمرکز بوده و معمولاً غلظت آلاینده‌ها در آن نقطه بالاست و ممکن است بسیار سمی باشد. آلاینده‌های غیر نقطه‌ای منشاء مشخصی نداشته و در بیشتر موارد متأثر از فعالیت‌های انسانی هستند. این نوع آلاینده‌ها دارای غلظت کمتر و دامنه انتشار وسیع‌تر هستند. آلاینده‌های غیر نقطه‌ای یک مشکل جهانی هستند، زیرا به سادگی

چرخه فلزات در سطح جهانی و منطقه‌ای در چند دهه اخیر تحت تأثیر فعالیت‌های بشر قرار گرفته است. شدت آلودگی محیط زیست تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی و میزان تأثیرپذیری آن بستگی زیادی به موقعیت زمانی و مکانی فعالیت، نوع فعالیت، ظرفیت تولید و تمرکز فعالیت در منطقه دارد. در حال حاضر در سرتاسر جهان صنعت و تکنولوژی با سرعتی روز افزون در حال پیشرفت است، اما در این راستا مشکلات و مسائلی ایجاد می‌شود که مستقیم یا غیر مستقیم، معلول این پیشرفت‌ها هستند. از جمله این مشکلات دفع مواد باقی‌مانده از محصولات مصرفی و مواد مضر و خطرناک خارج شده از کارخانجات و صنایع تولیدی است (۲۱).

آلودگی محیط‌زیست شامل تغییرات نامطلوب در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع اصلی حیات یعنی آب، هوا و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

شهرستان زرین‌شهر واقع شده است. این منطقه بین مدارهای جغرافیایی ۱۸' ۵۱° تا ۲۳' ۵۱° شرقی و ۲۴' ۳۳° تا ۲۶' ۳۳° شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۷۶۸ متر و متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه حدود ۱۵۷/۷ میلی‌متر می‌باشد. جهت وزش باد غالب در منطقه با استفاده از داده‌های ۵ ساله اخیر ایستگاه هواشناسی زرین‌شهر گلباد منطقه مورد بررسی به کمک نرم افزار 7 Wind Rose Plots رسم گردید. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب اریدیک (Aridic) و ترمیک (Thermic) می‌باشد.

برای انجام نمونه برداری، محل هر نمونه با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) براساس یک شبکه‌بندی منظم تعیین گردید. با توجه به هدف بررسی حاضر که تهیه نقشه‌های کریجینگ در مورد ویژگی‌های مورد بررسی بود، روش شبکه‌بندی منظم با نمونه برداری تصادفی انتخاب شد. شبکه بندی در داخل کارخانه به ابعاد ۳۰۰ × ۳۰۰ متر (یک نمونه در ۹ هکتار) و در فازهای مختلف تاکستان شبکه بندی به ابعاد ۶۰۰ × ۶۰۰ متر (یک نمونه در ۳۶ هکتار) انجام گرفت و با استفاده دستگاه بکپروپیل‌های خاک حفر شد. سپس از اعماق ۳۰-، ۹۰-، ۶۰- و ۱۵۰-۱۲۰ سانتی‌متری، بسته به ویژگی‌های خاک نمونه برداری صورت گرفت. در مجموع از ۲۰۲ پروفیل حفر شده که ۲۰۲ نمونه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، ۱۲۵ نمونه از عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری و ۱۷۵ نمونه از عمق ۱۵۰-۱۲۰ سانتی‌متری جهت انجام آنالیزهای آزمایشگاهی برداشته شد. قبل از انجام آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه خاک‌ها بعد از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ استان اصفهان نقاط نمونه‌برداری غالباً بر روی رسوبات آبرفتی دامنه‌ای کواترنری و نهشته‌های قدیمی زاینده‌رود (تراس قدیمی) واقع شده اند (شکل ۲).

### آنالیزهای آزمایشگاهی

به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های تهیه شده از روش بهینه سازی شده اسپزیتو و همکاران (۲۷) استفاده گردید. جهت اندازه گیری غلظت کل فلزات سنگین ۰/۲ گرم خاک وزن شد و با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۵ نرمال عصاره گیری صورت گرفت. مقدار کل فلزات سرب و نیکل توسط دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. به منظور بررسی ارتباط میان غلظت فلزات سنگین و سایر ویژگی‌های خاک، pH (در عصاره ۱ به ۲ خاک و محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم)، درصد رس، سیلت و شن (روش پیپت)، مواد آلی (روش والکی-بلاک)، آهک (تیتراسیون اسید و باز)، گچ (روش وزنی) و ظرفیت تبادل کاتیونی (روش عصاره‌گیری با استات سدیم ۱ نرمال) اندازه‌گیری شد (۵).

قادر به کنترل کردن این آلودگی‌ها به وسیله حد و مرزهای بین کشور نمی‌باشیم (۱۹). فلزات سنگین عمدتاً جزء آلاینده‌های غیر نقطه‌ای بوده که اثرات زیان‌بار و مخربی بر روی جوامع بشری دارد. منابع اصلی ورود غیر طبیعی فلزات سنگین به جو بیشتر شامل کارخانجات ذوب و تصفیه فلزات، کوره‌های احتراق زغال سنگ و زباله‌ها است که منجر به آلودگی منابع خاک در منطقه تأثیرپذیر از این کارخانجات می‌گردد (۱۱).

فعالیت‌های صنعتی و شهری مانند استفاده از سوخت‌های فسیلی، ذوب فلزات و کارخانجات تولید سیمان، گچ و غیره سبب ورود بخش قابل ملاحظه‌ای از فلزات سنگین نظیر روی، سرب، مس و کادمیم به اتمسفر می‌شود. فلزات و ترکیبات وارد شده به اتمسفر در نهایت بخش اعظمی از آن به صورت فرونشست‌های خشک و یا تر به همراه آب باران به سطح خاک اضافه می‌گردند. میزان فرونشست جوی فلزات به عوامل مختلف نظیر غلظت عنصر در اتمسفر، موقعیت جغرافیایی محل و میزان فاصله از مناطق آلاینده به ویژه مناطق صنعتی، شهری و جاده‌ها و عوامل اقلیمی منطقه دارای تغییرات مکانی و زمانی شدیدی می‌باشد (۱۰).

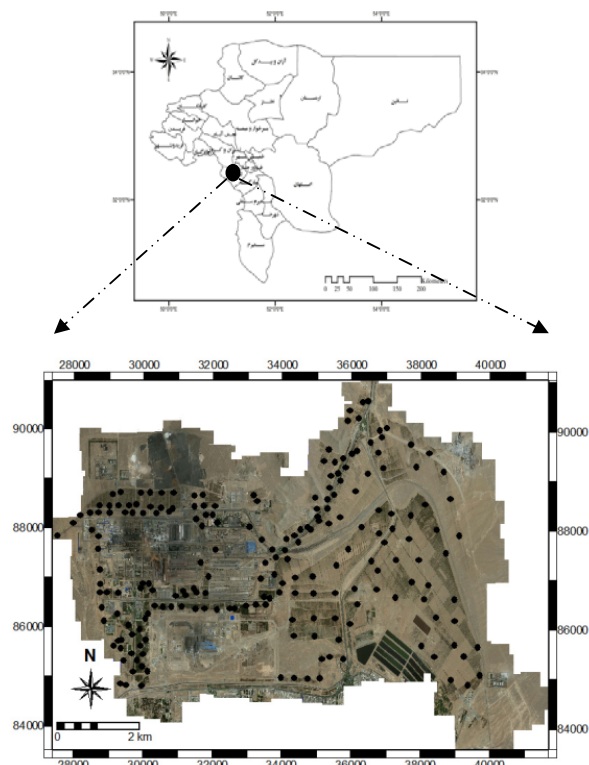
لی و فنگ (۱۸) به بررسی پراکنش و منشأ فلزات سنگین در مناطق صنعتی وینان، شمال غربی چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که فلزات سنگین باریم، مس، سرب، کروم و روی وابسته به فعالیت‌های انسانی شامل منابع صنعتی و عامل ترافیک هستند، در حالیکه منگنز، وانادیوم، کبالت، آرسنیک و نیکل به وسیله مواد مادری و منابع طبیعی، کنترل شده‌اند.

به دلیل اهمیت فلزات سنگین، تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پراکنش مکانی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان‌های مختلف کشور صورت گرفته است (۲، ۸ و ۹) اما در رابطه با تغییرات عمقی و سطحی فلزات سنگین در مناطق صنعتی پژوهش‌های زیادی صورت نگرفته است. بنابراین به دلیل اهمیت کارخانه ذوب‌آهن به خاطر موقعیت خاص جغرافیایی این صنعت، نزدیکی به شهرستان‌های پرجمعیت، نزدیکی به رودخانه زاینده‌رود و زمین‌های کشاورزی، تعیین آلودگی خاک‌های سطحی و بررسی روند عمقی فلزات سنگین در این منطقه بسیار حائز اهمیت است. لذا این پژوهش به منظور بررسی پراکنش مکانی، بررسی روند تغییرات عمقی سرب، نیکل و همچنین تعیین فاکتور آلودگی این فلزات، در خاک‌های منطقه صنعتی ذوب‌آهن صورت گرفت.

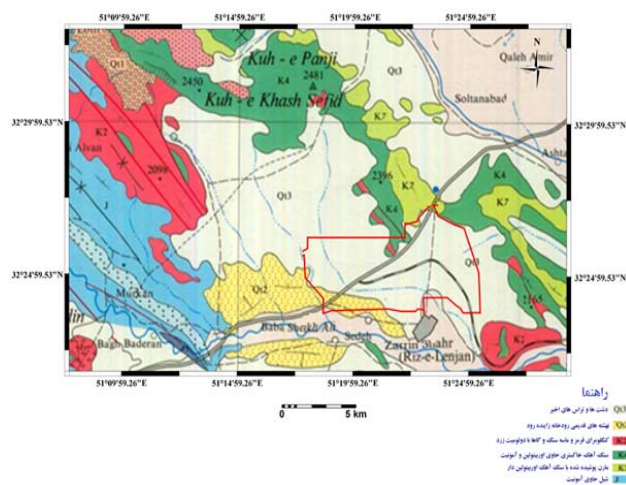
### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۲۰۰۰ هکتار از اراضی حاشیه منطقه ذوب آهن اصفهان می‌باشد که در شمال و شمال غرب



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه برداری



شکل ۲- محل منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه زمین شناسی استان اصفهان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (۱۲)

استفاده گردید. بر اساس این فاکتور می توان مقدار فلزات را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلاینده گی خاک را تعیین کرد. این

ارزیابی اثرات زیست محیطی فلزات سنگین جهت تعیین آلاینده گی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی

فاکتور از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۴).

$$CF_{\text{metal}} = \frac{C_{\text{metal}}}{C_{\text{background}}} \quad (1)$$

در این رابطه  $CF_{\text{metal}}$  فاکتور آلودگی،  $CF_{\text{background}}$  غلظت عنصر در زمینه می‌باشد. در این پژوهش میانگین غلظت هر عنصر در عمق ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری به‌عنوان مقدار آن عنصر در زمینه در نظر گرفته شده است و مقادیر فاکتور آلودگی نیکل و سرب برای هر نمونه محاسبه شده است.

هکنسن (۱۴) از فاکتور آلودگی به عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک، و همچنین شاخصی برای مقایسه تجمع فلزات در سطح نسبت به عمق استفاده کرد. وی همچنین بیان کرد خاک‌ها از نظر آلودگی به فلزات بر اساس فاکتور آلودگی به چهار گروه تقسیم می‌شوند (جدول ۱).

جدول ۱ - ارزیابی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی

(۱۴)	
دامنه تغییرات CF	شدت آلودگی
$CF < 1$	آلودگی کم
$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط
$3 \leq CF < 6$	آلودگی زیاد
$6 \leq CF$	آلودگی بسیار زیاد

### تجزیه و تحلیل آماری و زمین آماری

آماره‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، حداقل، حداکثر، دامنه تغییرات، چولگی و کشیدگی تعیین گردید. همبستگی خطی پیرسون میان پارامترهای مختلف با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه شد و به منظور تفسیر روابط بین فلزات سنگین و ویژگی‌های خاک مورد استفاده قرار گرفت همچنین به منظور مقایسه میانگین فلزات سنگین در اعماق مورد بررسی از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. به منظور بررسی نقاط آلوده در منطقه، از حد استاندارد آلودگی مشخص شده توسط کشور هلند استفاده گردید. جهت تعیین نقاط آلوده و نقاط بحرانی از نقشه‌های کریجینگ معمولی فاکتور آلودگی فلزات سنگین استفاده گردید. سپس تغییرنمای همه‌جهته برای فلزات مورد مطالعه ترسیم شد. به منظور بررسی اعتبار تغییرنما در متغیرهای نرمال توسط برنامه Variowin 2.2 صورت گرفت. به منظور بررسی اعتبار تغییرنما، انتخاب پارامترهای مدل به گونه‌ای صورت گرفت که مدل نهایی، دارای حداقل میانگین خطای تخمین  $(MEE)^1$  و مجذور

میانگین مربعات خطای تخمین  $(RMSE)^2$  باشد (معادلات ۲ و ۳) (۲۰). پس از تعیین بهترین مدل، نقشه‌های کریجینگ توسط نرم افزار Arc GIS 9.3 برای فلزات مورد مطالعه ترسیم گردید (۱۶).

$$MEE = 1/n \sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - Z^*(x_i))] \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2]} \quad (3)$$

که در این معادلات:  $n$  = تعداد نقاط مشاهده‌ای،  $Z^*(X_i)$  = مقدار برآوردی برای نقطه  $i$  ام،  $Z(X_i)$  = مقدار مشاهده‌ای برای نقطه  $i$  ام می‌باشد.

### نتایج و بحث

#### توصیف آماری متغیرها

خصوصیات آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که تنها ماده آلی و گچ در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از تابع توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند که با استفاده از لگاریتم طبیعی داده‌ها به حالت نرمال تبدیل شدند. بر اساس نتایج آزمایشگاهی بافت غالب خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً Sandy loam و Sandy clay loam می‌باشد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، حداکثر غلظت نیکل کل در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری با ۸۶/۳ و حداقل غلظت نیکل کل ۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری محاسبه شد. بیشترین دامنه تغییرات غلظت نیکل در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، با ۴۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین فاکتور آلودگی نیکل کمتر از یک می‌باشد که بیان‌کننده این مطلب است که غلظت این عنصر تحت تأثیر عوامل غیر طبیعی قرار نگرفته است. با توجه به فاکتور آلودگی عنصر نیکل، شدت آلودگی این عنصر کم می‌باشد.

شکل ۳ نمودار درصد فراوانی نیکل کل را در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد با توجه به شکل مزبور وضعیت پراکنش نیکل در خاک‌های مورد بررسی از تابع نرمال پیروی می‌کند.

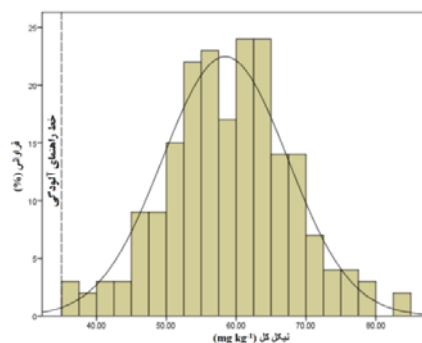
همچنین چولگی و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در دو عمق دیگر نشان دادند که غلظت نیکل از توزیع نرمال پیروی می‌کند. بر اساس حد مجاز مشخص شده توسط کشور هلند (۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۶) تمام نمونه خاک‌های مورد بررسی هم در عمق و هم در سطح غلظتی بیشتر از حد مجاز را نشان دادند.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری

متغیر	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (%)
هدایت الکتریکی	$dS m^{-1}$	۲/۲	۱/۱	۸/۲	-/۵	-/۳	۳۷/۰
pH	-	۷/۷	۷/۳	۸/۲	-/۱	-/۳	۲/۳
ماده آلی	%	۰/۴	-/۰	۱/۶	۱/۴	۱/۵	۶۰/۱
کربنات کلسیم معادل	%	۴۷/۹	۱۲/۰	۸۲/۰	-/۹	-/۹	۲۱/۱
گیج	%	۴/۱	-/۷	۳۷/۶	۱/۳	۱/۷	۵۸/۹
ظرفیت تبادل کاتیونی	$cmol.kg^{-1}$	۱۳/۸	۹/۱	۲۱/۹	-/۷	-/۱	۲۲/۷
رس	%	۲۲/۷	۱۰/۴	۴۸/۰	-/۶	-/۲	۲۹/۵
شن	%	۵۷/۴	۳۱/۰	۸۲/۴	-/۲	-/۵	۱۷/۸
سیلت	%	۱۹/۹	۲/۳	۵۲/۰۲	-/۸	-/۷	۴۳/۸

جدول ۳- وضعیت آماری غلظت کل و فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی در عمق‌های مورد مطالعه

عمق (cm)	متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
۰ - ۳۰	نیکل ( $mg kg^{-1}$ )	۵۸/۴	۳۶/۰	۸۲/۵	۰/۰	۰/۱	۸۰/۴	۹/۰	۱۵/۳
۲۰۲ = تعداد نمونه	فاکتور آلودگی نیکل سرب ( $mg kg^{-1}$ )	۰/۹۷	-/۶۰	۱/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۲	-/۱۴	۱۵/۳۴
	فاکتور آلودگی سرب	۱/۶۸	-/۷۱	۴/۶۲	۰/۹۶	۱/۱۸	۱۴۴۵/۶	۳۸/۰	۳۸/۲
۶۰ - ۹۰	نیکل ( $mg kg^{-1}$ )	۶۳/۹	۴۳/۸	۸۶/۳	-/۱	-/۳	۷۷/۲	۸/۸	۱۳/۷
۱۲۵ = تعداد نمونه	سرب ( $mg kg^{-1}$ )	۶۱/۰	۲۹/۰	۹۱/۱	۰/۱	-/۵	۲۰۱/۸	۱۴/۲	۲۳/۳
۱۲۰ - ۱۵۰	نیکل ( $mg kg^{-1}$ )	۶۰/۱	۴۰/۰	۸۰/۰	۰/۱	-/۳	۶۲/۹	۷/۹	۱۳/۲
۱۷۵ = تعداد نمونه	سرب ( $mg kg^{-1}$ )	۵۸/۹	۲۲/۵	۱۰۹/۵	۰/۳	-/۴	۲۱۹/۲	۱۴/۸	۲۵/۱



شکل ۳- توزیع فراوانی غلظت نیکل کل در عمق ۳۰ - ۰ سانتی متری منطقه مورد بررسی و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول در کشور هلند (۶)

متری از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری وجود ندارد. به نظر می‌رسد عنصر غلظت نیکل کل تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه قرار نگرفته باشد و بیشتر تحت تأثیر مواد مادری در منطقه مورد بررسی باشد. از آنجا که مواد مادری منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر رسوبات آبرفتی بوده و این رسوبات شامل شیل‌های ژوراسیک و سنگ آهک کرتاسه می‌باشد این رسوبات می‌تواند عامل کنترل کننده

شکل ۴ نشان دهنده نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین غلظت نیکل کل بین هر سه عمق مورد بررسی می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که بین میانگین غلظت نیکل کل در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی متری با میانگین غلظت نیکل کل در دو عمق دیگر از نظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری وجود دارد. ولی بین میانگین غلظت نیکل کل در عمق صفر تا ۳۰ و ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی-

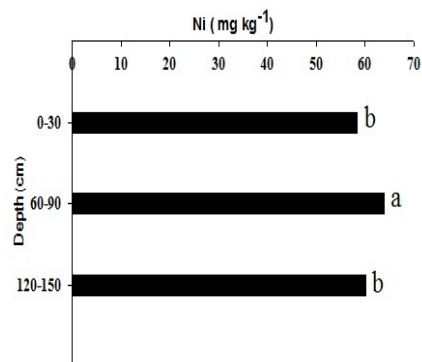
با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، حداکثر غلظت سرب کل در خاک‌های منطقه مورد مطالعه ۲۷۱/۹ و حداقل غلظت سرب کل ۲۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم که بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های سطحی و کمترین غلظت سرب در نمونه‌های عمقی بدست آمد.

بیشترین دامنه تغییرات غلظت سرب در عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری، با ۲۲۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. حداقل و حداکثر فاکتور آلودگی سرب در خاک سطحی به ترتیب ۰/۹۶ و ۴/۶۲ می‌باشد. با توجه به دامنه تغییرات بالای فاکتور آلودگی عنصر سرب خاک‌های سطحی از نظر آلودگی به سرب دارای آلودگی کم تا آلودگی زیاد می‌باشند. از آنجا که فاکتور آلودگی سرب در بخشی از منطقه مورد مطالعه بیشتر از یک می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که غلظت این عنصر در بخشی از خاک‌های سطحی به وسیله فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود.

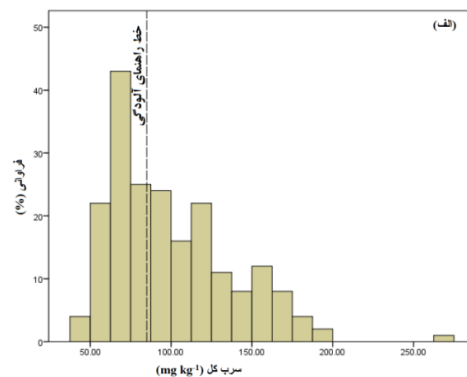
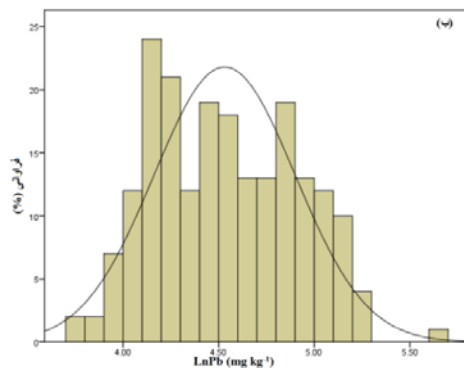
شکل ۵ نمودار درصد فراوانی سرب کل را در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد با توجه به شکل مزبور وضعیت پراکنش سرب در خاک‌های مورد بررسی از تابع نرمال پیروی نمی‌کند. چولگی ۱ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز مؤید این مطلب است که داده‌های غیر نرمال با استفاده از لگاریتم طبیعی داده‌ها به حالت نرمال تبدیل شوند. خصوصیات آماری و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در دو عمق دیگر نیز نشان دادند که پراکنش سرب از تابع نرمال پیروی می‌کند. همین مسئله نشان دهنده این است که یک عامل غیر طبیعی باعث افزایش غلظت سرب در بخشی از خاک‌های سطحی منطقه مورد مطالعه شده است و نشان دهنده آلودگی بالای این عنصر در بخشی از منطقه مورد بررسی می‌باشد.

غلظت برخی از فلزات سنگین در منطقه مورد بررسی باشند. تقی پور (۲) در مطالعه تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت نیکل و مس در خاک‌های سطحی اطراف همدان بیان نمود که عامل اصلی کنترل کننده نیکل و مس در این منطقه نوع ماده مادری می‌باشد. وی با آنالیز سنگ بستر در منطقه نشان داد که شیل‌های واقع در قسمت‌های جنوب شرقی و غرب منطقه، غنی از عنصر نیکل (۹۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مس (۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند که در اثر هوازدگی این سنگ‌ها مقدار زیادی از مس و نیکل وارد خاک می‌شوند.

یکی از دلایل اصلی کمتر بودن نیکل در عمق ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری نسبت به عمق دوم رقیق شدن خاک‌های این عمق به وسیله کریبات کلسیم و گچ می‌باشد که به مرور زمان در اثر آبشویی در این عمق تجمع یافته‌اند. هی و همکاران (۱۵) نشان دادند، شیل‌های که از رسوبات دانه‌ریز تشکیل شده‌اند مقادیر زیادی از فلزات سنگین مثل روی، مس، نیکل و کادمیم را شامل می‌شوند.



شکل ۴ - مقایسه میانگین غلظت نیکل کل در عمق‌های مورد بررسی



شکل ۵- نمودار توزیع فراوانی غلظت سرب کل در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری منطقه مورد بررسی (الف) (داده‌های خام و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول کشور هلند (۶))، ب (داده‌های نرمال شده)

از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک روی فرآیندهای تحرک و عدم تحرک فلزات سنگین مؤثرند (۲۴). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴، هدایت الکتریکی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری همبستگی مثبتی را با نیکل ( $r = 0.15, P < 0.05$ ) و همبستگی منفی و معنی داری را با سرب ( $r = -0.23, P < 0.01$ ) نشان داد. دیانی و محمدی (۹) همبستگی منفی و معنی داری ( $P < 0.05$ ) بین هدایت الکتریکی و سرب ( $r = -0.216$ ) و روی ( $r = -0.242$ ) در منطقه مطالعاتی خود در اصفهان گزارش کردند. ماده آلی در عمق اول همبستگی مثبت و معنی داری با سرب نشان داد. ماده آلی یکی از مهم ترین فاکتورهای کنترل کننده تجمع، تحرک و دسترسی فلزات سنگین در خاک است که احتمالاً درصد نسبتاً بالای ماده آلی در عمق اول نسبت به دو عمق دیگر مهمترین عامل در تجمع سرب در این عمق می باشد. کرنات کلسیم معادل همبستگی منفی و معنی داری با نیکل ( $r = 0.30, P < 0.01$ ) و همچنین همبستگی مثبت و معنی داری با سرب نشان داد. همبستگی بالا و معنی دار بین نیکل با ظرفیت تبادل کاتیونی و رس خاک احتمالاً نشان دهنده منشأ زمین-شناختی این عنصر می باشد.

میکو و همکاران (۲۲) گزارش کردند که غلظت فلزات کبالت، کروم، نیکل و روی در خاک به وسیله مواد مادری کنترل می شود و یک ارتباط قوی بین غلظت این فلزات در خاک و سایر ویژگی های خاک مانند رس و کرنات وجود دارد.

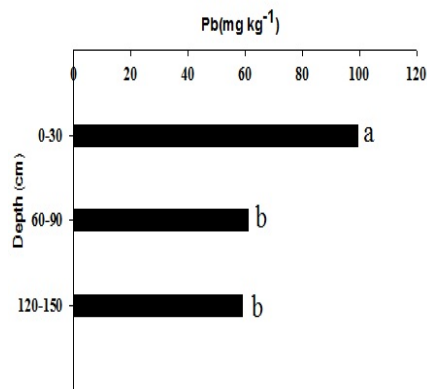
#### پهنه بندی فلزات سنگین در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری

##### منطقه مورد بررسی

در تخمین های کریجینگ به دلیل وابستگی شدید دقت نتایج به مدل تغییر نما، باید این مدل ها به گونه ای اعتبارسنجی شوند (۱۷). در این مطالعه دقت مدل ها توسط مجذور میانگین مربعات خطای تخمین تعیین شد. میانگین خطای تخمین (ME) در بهترین حالت باید برابر صفر باشد اما این پارامتر برای کنترل اعتبار کریجینگ بسیار ضعیف است چرا که مقدار آن وابسته به مقیاس داده ها می باشد (۲۳). نتایج کنترل اعتبار تغییر نما برای فاکتور آلودگی سرب و نیکل در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری به همراه مدل برازش داده شده به آن در جدول ۵ ارائه شده است.

شکل ۶ نشان دهنده نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین غلظت سرب کل بین هر سه عمق مورد بررسی می باشد. با توجه به شکل مشاهده می شود که بین میانگین غلظت سرب کل در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری با دو عمق پایینی از نظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری وجود دارد. ولی بین غلظت سرب کل در عمق ۶۰ تا ۹۰ با غلظت سرب در عمق ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی متری از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری وجود ندارد. در تمامی نقاط نمونه برداری به خصوص در نقاطی که در مجاورت کارخانه بودند میزان سرب در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نسبت به دو عمق دیگر بالاتر بود و میزان سرب کل یک روند کاهشی با افزایش عمق نشان دادند که این شدت کاهش مقدار سرب با افزایش عمق بستگی به مقدار سرب در سطح خاک دارد.

ضریب تغییرات بالای سرب در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نسبت به دو عمق دیگر نشان دهنده این است که احتمالاً غلظت سرب تحت تأثیر فعالیت صنعتی منطقه و دود ناشی از آگزوز وسایل نقلیه در این منطقه می باشد. با توجه به حداکثر غلظت قابل قبول سرب کل در کشور هلند (۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم) (۶)، ۵۴/۴ درصد از نمونه ها در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری و ۵ درصد از نمونه ها در دو عمق دیگر آلودگی به سرب را نشان دادند.



شکل ۶- مقایسه میانگین غلظت سرب کل در عمق های مورد بررسی

#### همبستگی بین فلزات مورد بررسی و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

به طور گسترده در بسیاری از مطالعات عنوان شده است که برخی

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون بین نیکل و سرب با برخی ویژگی های خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری

متغیر	هدایت الکتریکی	pH	ماده آلی	کرنات کلسیم معادل	گچ	ظرفیت تبادل کاتیونی	رس	سیلت
Ni	۰/۱۵*	-۰/۰۴	۰/۰۹	-۰/۳۰**	۰/۳۶**	۰/۵۶**	۰/۵۲**	۰/۲۳**
LnPb	-۰/۲۳**	۰/۵۵**	۰/۳۶**	۰/۳۶**	-۰/۱۹**	-۰/۲۸**	۰/۱۰	-۰/۲۴**

\*\* - در سطح ۱ درصد معنی دار است. \* - در سطح ۵ درصد معنی دار است.

جدول ۵- مشخصات تغییرنمای همه جهته نیکل و سرب کل در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری منطقه مورد بررسی

متغیر	الگوی تغییر نما	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (m)	نسبت همبستگی %	کلاس همبستگی	ME	RMSE
CF <sub>Ni</sub>	کروی	۰/۰۰۷۸	۰/۲۳۷	۱۵۳۰	۳۲/۹۲	M	۰/۰۰	۰/۱۲
CF <sub>Pb</sub>	کروی	۰/۱۳۹۹	۰/۳۵۲	۳۶۸۰	۳۹/۷۶	M	۰/۰۰	۰/۴۱

M کلاس همبستگی متوسط

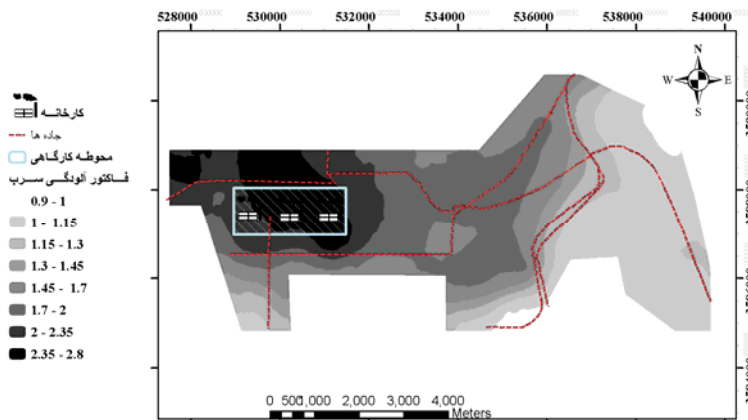
وسایل نقلیه به علت نزدیکی به جاده اصلی (جاده اصفهان - زرین شهر) و تردد زیاد و سایل نقلیه در محوطه کارخانه تأثیر بسزایی در افزایش غلظت سرب در خاک منطقه داشته باشد.

گودرزی و همکاران (۱۳) طی مطالعه‌ای در کانادا بیان کردند عامل اصلی آلودگی خاک‌های اطراف کارخانه ذوب فلزات، دود خروجی دودکش‌ها و محل تخلیه سرباره‌های صنعتی بدون پوشش می‌باشند. آن‌ها بیان نمودند که باد باعث انتقال سرباره‌های صنعتی به زمین‌های اطراف می‌شود همچنین بیان نمودند که این سرباره‌های صنعتی حدود ۷۰ درصد سرب و روی می‌باشند که باعث آلودگی منابع خاک و آب می‌شوند.

شکل ۹ نشان دهنده نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی نیکل کل را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی نیکل کل مشاهده می‌شود که غلظت این عنصر در منطقه مورد بررسی روند منظمی از خود نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد غلظت این عنصر تحت تأثیر فعالیت صنعتی در منطقه مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین مقایسه گروهی میانگین‌ها نشان داد که غلظت این عنصر در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری بالاتر از دو عمق دیگر می‌باشد. بالا بودن غلظت نیکل در عمق دوم و عدم وجود یک روند منظم در پراکنش مکانی نقشه آلودگی این عنصر، دلیلی بر منشاء لیتوژنیک این عنصر در منطقه مورد بررسی می‌باشد.

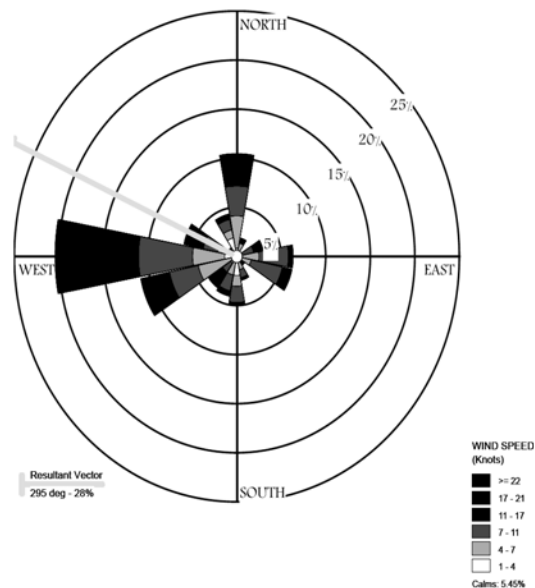
بهترین مدل تغییرنما برای نیکل و سرب کل، مدل کروی انتخاب گردید. دامنه تأثیر نیکل و سرب به ترتیب ۱۵۳۰ و ۳۶۸۰ متر محاسبه گردید. نتایج نسبت همبستگی (وارینانس کل / اثر قطعه‌ای) نشان می‌دهد که غلظت نیکل و سرب کل دارای کلاس همبستگی متوسط (۷۵٪ < نسبت همبستگی < ۲۵٪) می‌باشد. تقی‌پور و همکاران (۱) تغییرات مکانی سرب و روی کل در خاک‌های سطحی بخشی از استان همدان بررسی کرده و بهترین مدل تغییرنما برای سرب و روی را مدل کروی تعیین کرد مطالعات آن‌ها نشان داد که توزیع این فلزات در خاک دارای کلاس همبستگی متوسط است.

شکل ۷ نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی سرب کل را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که بیشترین آلودگی سرب در نزدیکی کارخانه و در قسمت غرب و شمال غربی وجود دارد. نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی این عنصر نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از محل کارگاهی کارخانه به سمت قسمت‌های شرقی منطقه میزان آلودگی کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌شود که روند آلودگی ناشی از سرب با جهت باد غالب (غرب و شمال غرب) در منطقه که حامل دود ناشی از کوره‌ها می‌باشد مطابقت دارد (شکل ۸) و همچنین آلودگی این عنصر تحت تأثیر ضایعات صنعتی که به صورت رو باز در قسمت غربی منطقه واقع شده است، قرار می‌گیرد. نتایج نشان دادند علاوه بر اینکه ضایعات کارخانه و دود ناشی از سوختن زغال سنگ باعث افزایش غلظت سرب در منطقه می‌شود، به نظر می‌رسد دود ناشی از



شکل ۷- پراکنش مکانی فاکتور آلودگی سرب حاصل از کریجینگ معمولی





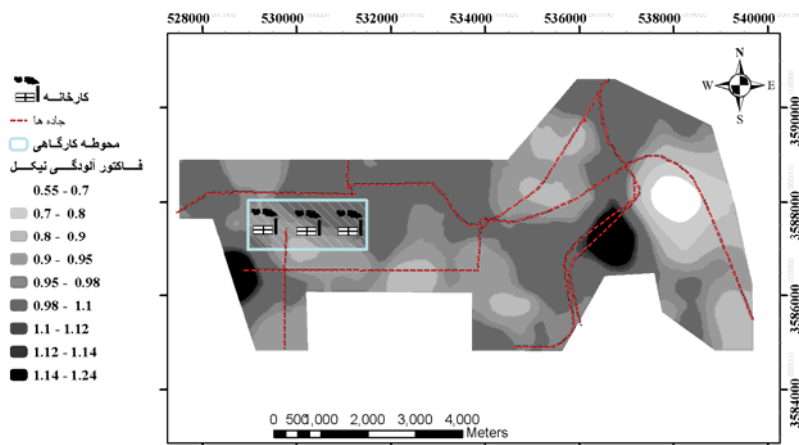
شکل ۸- گلباد منطقه مورد بررسی بر اساس داده‌های ۵ ساله باد غالب از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰

فعالیت‌های انسانی تغییر می‌کند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مقایسه میانگین نیکل و سرب در اعماق مورد بررسی و همچنین نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی این فلزات، چنین به نظر می‌رسد که ماده مادری مهمترین عامل کنترل‌کننده غلظت نیکل در خاک منطقه مورد بررسی می‌باشد، در حالیکه غلظت سرب در خاک منطقه وابسته به فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی و عبور و مرور وسایل نقلیه می‌باشد.

دنکوب و همکاران (۸) در مطالعه‌ای به بررسی خصوصیات پذیرفتاری مغناطیسی و تغییرات مکانی غلظت کل فلزات سنگین خاک‌های سطحی اصفهان پرداختند. آن‌ها ماده مادری را به عنوان عامل اصلی کنترل‌کننده غلظت نیکل، کروم، کبالت و فعالیت انسانی را عامل اصلی کنترل‌کننده مس و روی بیان نمودند. آن‌ها همچنین بیان نمودند غلظت سرب و آهن به طور مشترک به وسیله فعالیت‌های انسانی و مواد مادری کنترل می‌شود. چن و همکاران (۷) غلظت فلزات سنگین (نیکل، مس، روی و سرب) را در خاک سطحی شهر پکن در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار نیکل و روی به وسیله مواد مادری کنترل می‌شود، در حالی که مقدار مس، سرب و در برخی از مناطق غلظت روی تحت تأثیر



شکل ۸- نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی نیکل کل حاصل از کریجینگ معمولی

مطالعه به مرور زمان آلوده به سرب شده است. درحالی‌که غلظت طبیعی نیکل به طور طبیعی بالا بوده و فعالیت‌های انسانی تأثیری بر آلوده شدن خاک‌های این منطقه به نیکل نداشته است. نتایج بررسی آلودگی به عنصر سرب و نیکل در منطقه نشان می‌دهد که غلظت سرب در ۵۴/۴ درصد از نمونه‌های سطحی و ۵ درصد از نمونه‌های عمقی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند بوده و غلظت نیکل در تمام نمونه‌های سطحی و عمقی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور هلند می‌باشند. بنابراین لازم است اقدامات مدیریتی لازم جهت جلوگیری از بروز حوادث مخرب زیستی محیطی انجام گیرد.

فعالیت‌های ناشی از فرآیند تولید آهن و همچنین سرباره‌های صنعتی بدون پوشش باعث غنی‌شدن بخشی از خاک سطحی به عنصر سرب شده است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که غلظت سرب از سطح خاک به عمق کاهش می‌یابد اما تغییرات عمقی نیکل با عمق نامنظم بوده و بیشترین غلظت‌های این عنصر در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری منطقه مورد بررسی مشاهده شد. با توجه به نقشه‌های پراکنش مکانی فاکتور آلودگی سرب و نیکل در منطقه مورد بررسی مشاهده می‌شود که تغییرات سطحی سرب در منطقه دارای الگوی مشخص بوده که با افزایش فاصله از محوطه کارگاهی کارخانه کاهش می‌یابد اما تغییرات سطحی عنصر نیکل از الگو و روند خاصی پیروی نمی‌کند. با توجه به استانداردهای موجود بخشی از منطقه مورد

## منابع

- ۱- تقی‌پور م.، خادمی ح. و ایوبی ش.ا. ۱۳۸۹. تغییرات مکانی سرب و روی کل در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، صفحات ۱۳۲ تا ۱۴۴.
- ۲- تقی‌پور م.، ایوبی ش.ا. و خادمی ح. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت نیکل و مس در خاک‌های سطحی اطراف همدان به روش زمین آمار. مجله حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره دوم. صفحات ۶۹ تا ۸۷.
- ۳- غضبان ف. ۱۳۸۱. زمین‌شناسی زیست محیطی، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۴۰ صفحه.
- 4- Baker A.J.M., Reeves R.D., and Hajar A.S.M. 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. and C. Presl (Brassicaceae). *New Phytol*, 127: 61-68.
- 5- Burt R. (Ed.). 2004. Soil survey laboratory methods manual, soil survey Investigations, Report No. 42, Version 4.0, USDA, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, USA.
- 6- Carlon C. (Ed.). 2007. Derivation methods of soil screening values in Europe: a review and evaluation of national procedures towards harmonization, European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Lombardy, Italy.
- 7- Chen T., Zheng Y., Lei M., Huang Z., Che H.W.H., Fan K., Yu K., Wu X., and Tian Q. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60: 542-551.
- 8- Dankoub Z., Ayoubi S., Khademi H., and Lu Sheng-Gao. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, central Iran, *Pedosphere*, 22: 33-47.
- 9- Dayani M., and Mohammadi J. 2010. Geostatistical assessment of Pb, Zn and Cd contamination in near-surfaces Soils of the urban-mining transitional region of Isfahan, Iran. *Pedosphere*. 20: 568-577.
- 10- Deboudt K., Flement P., and Bertho M. 2004. Cd, Cu, Pb and Zn concentration in atmospheric wet deposition at a coastal station in western Europe. *Water, Air and Soil Pollution*. 151: 335-359.
- 11- Garcia R., and Millan E. 1998. Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain). *Chemosphere*. 37: 1615-1625.
- 12- Geological Survey of Iran. 1977. Geological quadrangle map of Iran, NO D 6: 1:250000, Offset Press Inc. Tehran.
- 13- Goodarzi F., Sanei H., Labonte L., and Duncan W.F. 2002. Sources of lead and zinc associated with metal smelting activities in the Trail area, British Columbia, Canada. *Journal of Environmental Monitoring*. 4: 400-407.
- 14- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach, *Water Research*, 14(8): 975-1001.
- 15- He Z.L., Yang X.E., and Stoffella P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. A review. *Journal of Trace Elements in Medicine Biology*. 19: 125-140.
- 16- Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K., and Lucas N. 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst, ESRI, New York, USA.
- 17- Juang K.W., and Lee D.Y. 2000. Comparison of three nonparametric kriging methods for delineating heavy metal contaminated soils. *Journal Environmental Quality*. 29: 197-205.
- 18- Li X., and Feng L. 2012. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*. 47: 58-65.
- 19- Li X., Poon C., and Liu P.S. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Journal*

- of Applied Geochemist. 16: 1361-1368.
- 20- Lopez-Granados F., Jurado-Environ M., Atenciano S., Garcia-Ferrer A., Dela Orden M.S., and Garcia-Torres L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant Soil*. 246: 97-105.
  - 21- McBride M.B. 2003. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research*. 8: 5-19.
  - 22- 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.
  - 23- Mohammadi J. 2007. *Pedometrics (Spatial Statistics)*. Pelk Publication, 453p. (In Persian).
  - 24- Navas A., and Machin J. 2002. Spatial distribution of heavy metal and arsenic in soil of Aragon (northeast Spain): controlling factors and environmental implications. *Journal of Applied Geochemist*. 17: 961-973.
  - 25- Rodriguez Martin J.A., Nanos N., Grau J.M., Gil L., and Lopez-Arias M. 2008. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere*, 70: 1085-1096.
  - 26- Sparks G.L. 2003. *Environmental Soil Chemistry*, Academic Press, San Diego, California, USA.
  - 27- Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in air-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*. 46: 260-264.
  - 28- Sterckeman T., Douay F., Proix N.P., Fourrier H., and Perdrix E. 2002. Assessment of the contamination of cultivated soils by eighteen trace elements around smelters in the north of France. *Journal Water, Air and Soil Pollution*. 135: 173-194.



## Vertical and Horizontal Variability of Lead and Nickel in Zobahan Industrial District, Isfahan

S. Naimi Marandi<sup>1</sup> – S. Ayoubi<sup>2\*</sup> – H. Khademi<sup>3</sup>

Received: 10-10-2012

Accepted: 12-05-2013

### Abstract

Soil pollution by heavy metals from the manufacturing process due to metal smelting plants closely related to human health is very important. Given the importance of the province to industrial and agricultural activities, this study was conducted to explore the vertical and horizontal variability of lead and nickel metals in contaminated soils around the Zobahan melting factory, in nearby of Isfahan city. For this purpose, 202 profiles were dug and described in the green landscapes of Zobahan industrial site by a manner of grid sampling method. Five hundred soil samples were taken from depths of 0–30, 60–90, and 120–150 cm. Concentration of total lead (Pb) and nickel (Ni) were measured in the soil samples. To explore the vertical distribution of selected metals, the mean values of Ni and Pb were compared statistically. The horizontal variability of selected metals was evaluated by variography analysis and the spatial distributions of them were constructed by kriging method. The overall results of study showed that Pb content in surface horizons is controlled by industrial activity, otherwise the concentration of Ni mainly attributed to parent material.

**Keywords:** Heavy metals, Contamination factors, Steel mill, Spatial variability, Geostatistics

---

1,2,3- MSc Student, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Respectively  
(\*-Corresponding Author Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)