

پراکنش مکانی برخی از فلزات سنگین در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک در منطقه‌ی کفه مور،

استان کرمان

محبوبه طیبی^{۱*}، مهدی نادری^۱ و جهانگرد محمدی^۱

چکیده

این پژوهش با هدف مطالعه چگونگی توزیع غلظت برخی فلزات سنگین در کلاس‌های مختلف اندازه‌ای ذرات خاک و بررسی تغییرات مکانی آن‌ها در منطقه کفه مور، استان کرمان صورت گرفت. در این منطقه، معدن سنگ آهن گل‌گهر واقع شده است. برای این منظور ۱۲۰ نمونه خاک سطحی (۱۰-۰ cm) به صورت مرکب و تصادفی برداشته شد و ذرات خاک در اندازه ۰/۵-۲، ۰/۲۵-۰/۵، ۰/۱۲۵-۰/۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۱۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۷۵ و ۰/۰۵-۰/۰۷۵ میلی‌متر جدا و غلظت کل فلزات سنگین شامل آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل در هر کلاس پس از تیمار نمونه‌های خاک با اسید نیتریک ۴ نرمال توسط دستگاه جذب اتمی تعیین گردید و پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین به روش کریجینگ معمولی انجام شد. نتایج نشان دادند که با کاهش اندازه ذرات غلظت فلزات سنگین افزایش یافت. به طوری که میانگین غلظت در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از ۰/۰۵ برای آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل به ترتیب ۲/۱۳، ۱/۷۰، ۴/۷۹، ۲/۴۳، ۱/۴۲ و ۳/۴۷ برابر بیشتر از میانگین غلظت در کلاس اندازه‌ای ۰/۵-۲ میلی‌متر بود. پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین به روش کریجینگ نیز نشان داد که با فاصله گرفتن از معدن فلزات سنگین کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، تغییرپذیری مکانی، فلزات سنگین، کریجینگ، کلاس اندازه ذرات خاک.

۱- گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahtayebi@yahoo.com

- ۱
- ۲ در دهه‌های اخیر توسعه‌ی صنعت، کشاورزی و فعالیت‌هایی چون معدن‌کاری، ذوب فلزات و استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها در
- ۳ کشاورزی منجر به افزایش **غلظت** فلزات در خاک شده است (۶). **فلزات سنگین یکی از مضرترین آلاینده‌های زیست محیطی**
- ۴ **هستند که در مجموع اثرات زیست محیطی آن‌ها از اثرات زباله‌های آلی و مواد رادیواکتیو برای محیط زیست بیشتر است.** (۲۳). به
- ۵ همین دلیل آلودگی خاک به **فلزات** سنگین به عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی پیش‌روی بشر، مورد توجه محققین بسیاری
- ۶ قرار گرفته است.
- ۷ بدست آوردن اطلاعات ویژگی‌های خاک و وضعیت آلودگی آنها نیازمند عملیات صحرایی و آزمایشگاهی و همچنین صرف
- ۸ وقت و هزینه‌ی زیادی است، بنابراین اگر با تعداد محدودی نمونه‌برداری و اندازه‌گیری، به روشی امکان تعمیم به کل منطقه
- ۹ وجود داشته باشد، در وقت و هزینه‌ها صرفه‌جویی قابل توجهی صورت خواهد گرفت. در این زمینه روش‌های زمین‌آماری
- ۱۰ می‌تواند بسیار مؤثر باشد. در واقع یکی از راهکارهای تجزیه و تحلیل‌های مکانی داده‌های ژئوشیمیایی محیطی، استفاده از
- ۱۱ روش‌های میانابیی برای مطالعه الگوی توزیع مکانی این داده‌ها و تهیه نقشه‌های مورد نظر می‌باشد (۱۵).
- ۱۲ کاربرد زمین‌آمار در خاکشناسی از اواخر دهه‌ی ۷۰ میلادی توسط کمپل (۱۰) آغاز شد. در ایران زمین‌آمار اولین بار توسط
- ۱۳ حاج‌رسولی‌ها و همکاران (۱۳) به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی شوری خاک استفاده شد. در سال‌های اخیر کاربرد این
- ۱۴ **راهکار توسط پژوهشگران افزایش یافته است. به عنوان مثال کیو و همکاران (۲۵)، خاندوزی و همکاران (۱۶)، لیو و همکاران**
- ۱۵ **(۱۸)، ژائو و همکاران (۳۴)، مری‌ام و همکاران (۲۲)، لی و فنگ (۱۷)، یانگ و همکاران (۳۲) و رودری گویز و همکاران (۲۷)**
- ۱۶ **در مطالعات خود از زمین‌آمار برای تهیه نقشه‌های توزیع غلظت فلزات سنگین استفاده کردند.**
- ۱۷ از آنجا که اندازه ذرات خاک نقش اساسی در جذب، ظرفیت نگهداری آب، ساختمان، تغذیه گیاه و تثبیت فلزات سنگین دارند
- ۱۸ بنابراین بررسی توزیع اندازه ذرات خاک بر ویژگی‌های جذبی **آن‌ها** بسیار مهم است (۲۱). همچنین فلزات سنگین به صورت
- ۱۹ ترجیحی جذب ذرات ریز می‌شوند بنابراین اطلاع از توزیع اندازه ذرات علاوه بر تعیین نقشه‌های آلودگی خاک، برای انجام
- ۲۰ **عملیات اصلاحی ضروری است (۲۶). بیشتر مطالعات تجمع ترجیحی فلزات سنگین را در بخش ریز ذرات خاک نشان می‌دهند (۵**
- ۲۱ **و ۲۰). این ذرات به دلیل سطح ویژه بالاتر و همچنین وجود کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم دارای توانایی**
- ۲۲ **بیشتری در نگهداری فلزات سنگین می‌باشند (۸ و ۲۰). یاو و همکاران (۳۳) با بررسی اندازه ذرات مرتبط با فلزات سنگین در**
- ۲۳ **رسوبات معلق رود زرد به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد بنابراین بیشتر آلودگی**

۱ ها توسط ذرات معلق به دریای بوهای^۱ منتقل می‌شود. سارلک (۲۸) نیز به بررسی اندازه ذرات خاک مرتبط با فلزات سنگین در
 ۲ خاک‌های زراعی اهواز پرداخت و نشان داد فلزات سنگین در اندازه ذرات کوچکتر افزایش می‌یابد. در مطالعه انجام شده توسط
 ۳ مانژیوپا و همکاران (۲۱) اثر توزیع اندازه ذرات رس و سیلت که اجزای بافت خاک هستند بر مقدار جذب مس، سرب و روی در
 ۴ یک خاک چرنوزوم بررسی شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد میزان جذب مس، سرب و روی به ترتیب در خاک‌های
 ۵ لومی‌رسی، لومی و شنی‌لومی کاهش می‌یابد. بنابراین با کاهش نسبت اجزا ریز خاک، جذب فلزات توسط خاک و دامنه تثبیت
 ۶ آنها بر روی سطح ذرات خاک کاهش می‌یابد. همچنین مطالعات محمودی و همکاران (۲) بر روی کلاس‌های مختلف اندازه‌ای
 ۷ ذرات خاک‌های سطحی جنوب شهر اصفهان نشان داد که با کاهش اندازه ذرات خاک، غلظت فلزات سنگین (روی، سرب و
 ۸ کادمیوم) افزایش می‌یابد.
 ۹ منطقه کفه مور استان کرمان دارای خاک‌های متنوع از لحاظ شوری و قلیائیت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. همچنین
 ۱۰ از نظر فیزیوگرافی، توپوگرافی بسیار متنوع است. در این منطقه، معدن سنگ آهن گل‌گهر واقع شده است که در حال حاضر یکی
 ۱۱ از بزرگترین معادن روباز در سطح کشور می‌باشد و به طور گسترده مواد معدنی آن از عمقی بسیار پایین‌تر از تراز سطح آب
 ۱۲ زیرزمینی منطقه، استخراج می‌گردد. پراکنش آهن و فلزات سنگین موجود در کانی‌های آهن در طی فرآیند استخراج، استحصال و
 ۱۳ حمل منجر به آلودگی خاک، گیاهان زراعی و مرتعی مورد چرای حیوانات و آب‌های سطحی و زیرزمینی را شده و نگرانی‌هایی
 ۱۴ در مورد احتمال تأثیر بر سلامتی ساکنین منطقه به وجود آورده است. با توجه به نقش اندازه ذرات خاک در میزان فرسایش‌پذیری
 ۱۵ و انتقال ذرات خاک به همراه مواد آلوده‌کننده متصل به آن‌ها، با باد و آب به مناطق دیگر می‌توان با تعیین پتانسیل هر یک از
 ۱۶ ذرات خاک در نگهداری فلزات سنگین و تعیین نقش آن‌ها در بروز سمیت در محیط با اعمال مدیریت‌های مناسب نسبت به رفع
 ۱۷ مشکل اقدام نمود. بنابراین هدف اصلی از این مطالعه، تعیین توزیع غلظت کل فلزات سنگین و تعیین تغییرات مکانی غلظت فلزات
 ۱۸ در کلاس‌های اندازه مختلف ذرات خاک می‌باشد.

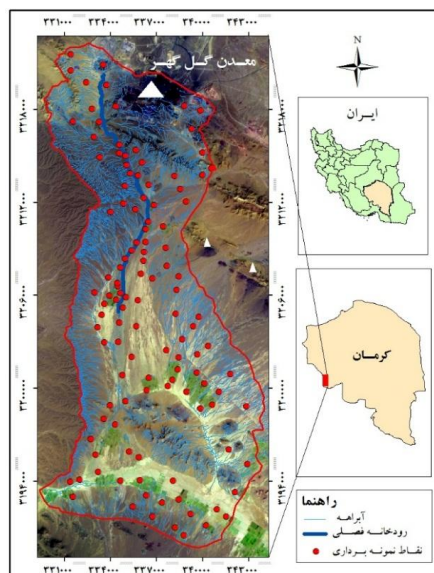
مواد و روش اجرا

بررسی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

۲۱ منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۹۵۳۳ هکتار در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب سیرجان در مسیر جاده شیراز - سیرجان بین طول‌های
 ۲۲ جغرافیایی ۱۵° ۵۵' تا ۲۵° ۵۵' و عرض‌های جغرافیایی ۵۱° ۲۸' تا ۱۱° ۲۹' قرار گرفته است (شکل ۱). ناحیه معدنی سنگ

^۱ Bohai

آهن گل گهر در شمال آن واقع شده است. در این منطقه کشاورزی، باغداری و دامداری رواج دارد و بیشتر محصولات آن شامل پسته، گندم، جو، یونجه و زیتون می باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه مدیترانه ای و میانگین بارندگی سالانه ۱۷۲ میلی متر، حداقل درجه حرارت 12°C - و حداکثر آن 42°C است. رژیم حرارتی منطقه ترمیک و رژیم رطوبتی آن اریدیک و جهت باد غالب در این ناحیه، جنوب غربی می باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کرمان.

با پردازش تصاویر ماهواره ای لندست ۸، پهنه خاک ها و مناطق آلوده شده شناسایی و با استفاده از نقشه های زمین شناسی، کاربری اراضی، توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و به روش هایپر کیوب (Latin Hypercube) محل نقاط نمونه برداری در محیط نرم افزار R مشخص گردید. روش هایپر کیوب یک روش آماری برای انتخاب تصادفی محل نمونه ها، براساس تنوع فاکتورهای مستقل محیطی است (۷). سپس ۱۲۰ نمونه خاک به صورت مرکب و از اختلاط ۴ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری از سطح خاک برداشته شد. برای تعیین محل دقیق نمونه برداری ها از دستگاه GPS استفاده گردید. نمونه های خاک پس از هوا خشک کردن، توسط چکش پلاستیکی خرد و ذرات خاک در ۶ کلاس اندازه ای ۲-۰/۵، ۰/۵-۰/۲۵، ۰/۲۵-۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۵ و کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر از طریق عملیات همزمان تکان دادن توسط دستگاه شیکر و ساطع نمودن امواج ماورای صوت توسط دستگاه التراسونیک به مدت ۱ ساعت و سپس، غربال نمودن توسط الک های با اندازه های مورد نظر جدا شدند. غلظت کل فلزات سنگین شامل Fe، Cu، Mn، Zn، Pb و Ni پس از تیمار نمونه های خاک با اسید نیتریک ۴ نرمال به روش اسپوزیتو و همکاران (۲۹) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (GBC,932)^۱ اندازه گیری شد.

^۱ Atomic Absorbntion Spectropotometer

۱ به منظور ارزیابی اثر کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک بر غلظت فلزات سنگین در خاک و تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار ۹
 ۲ SAS استفاده گردید. **آنالیز واریانس به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار (شش کلاس اندازه ذرات خاک) و درجه آزادی ۵**
 ۳ **و ۱۲۰ تکرار در نظر گرفته شد. مقایسه آماری میانگین غلظت فلزات با استفاده از آزمون LSD فیشر در سطح احتمال ۹۵ درصد و**
 ۴ **بررسی توزیع آماری داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف - اسمیرنوف انجام شد. برای تعیین الگوی تغییرپذیری مکانی غلظت**
 ۵ **فلزات در کلاس‌های اندازه ذرات خاک تغییرنمای داده‌ها محاسبه و مدل مناسب به آن برازش داده شد. هدف اصلی از محاسبه**
 ۶ **واریوگرام این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت، برای این کار لازم است مجموع مربع**
 ۷ **تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم گردد (۱۲) براساس معادله [۱].**

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad [1]$$

۸ که در این معادله N(h) تعداد جفت نمونه‌های جدا شده در فاصله گام h، $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه i و
 ۹ $Z(x_i + h)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی $i+h$ می‌باشد (۱). برای انجام بررسی تغییرنمای هر یک از متغیرها، بعد از
 ۱۰ نرمال‌سازی داده‌ها و بررسی همسانگردی و ناهمسانگردی تغییرات مکانی متغیرها، تغییرنمای هر یک از متغیرها توسط نرم‌افزار
 ۱۱ Variowin ۲/۲۱ رسم گردید و مناسب‌ترین مدل به آن‌ها برازش داده شد و پارامترهای آستانه، اثرقطعه ای و دامنه تأثیر به دست
 ۱۲ آمد. به منظور بررسی وضعیت ساختار مکانی، از معیار نسبت همبستگی که از تقسیم اثر قطعه ای به آستانه $(C_0/C + C_0)$ محاسبه
 ۱۳ می‌گردد، استفاده شد. چنانچه این نسبت کمتر از ۲۵ گردد، نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی و اگر این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ باشد
 ۱۴ بیان‌گر همبستگی مکانی متوسط و مقادیر بزرگتر از ۷۵ نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف می‌باشد (۹). **بعد از برازش مدل به**
 ۱۵ **تغییرنما و تعیین پارامترهای مدل، برای بررسی اعتبار تغییرنما و درستی آن، مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی توسط**
 ۱۶ **روش کریجینگ جک نایف در نرم‌افزار Geoeas مقایسه شدند و شاخص‌های میانگین خطا و میانگین مربعات خطا و درصد**
 ۱۷ **میانگین مربعات خطا محاسبه شدند. در نهایت نقشه‌ی متغیرهای مورد بررسی در کلاس‌های اندازه‌ای تعیین شده به روش**
 ۱۸ **کریجینگ معمولی در ArcGIS ۹/۲ رسم گردید.**

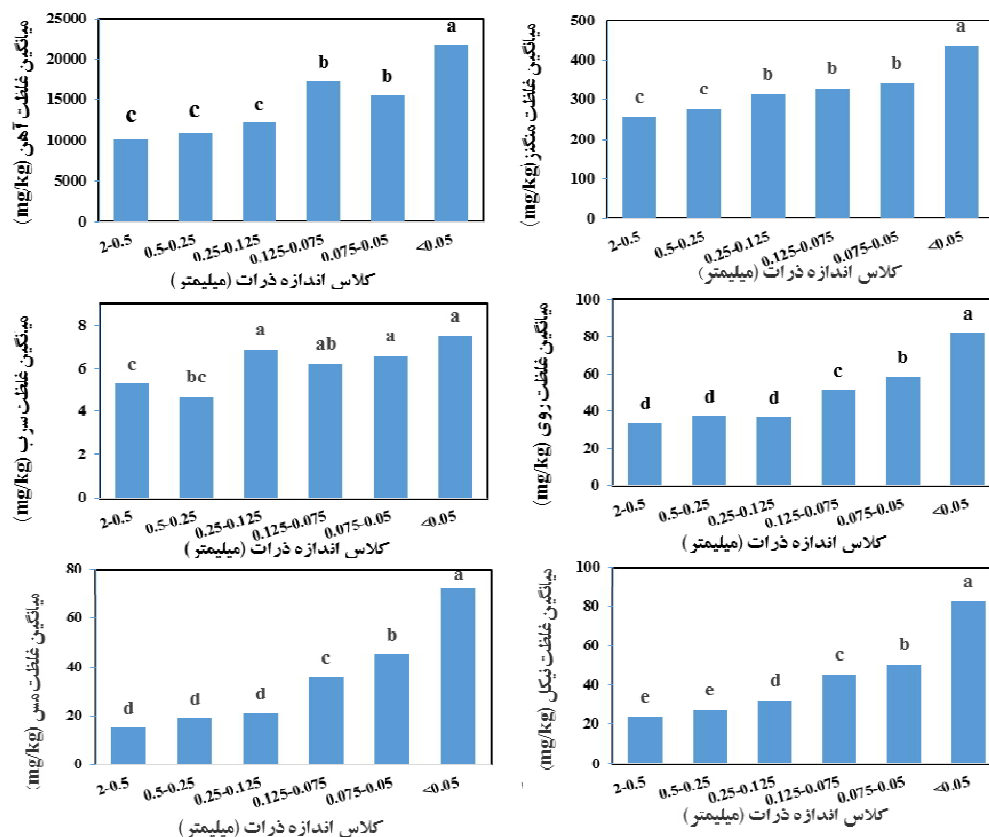
۱۹ نتایج و بحث

۲۰ **تجزیه و تحلیل اطلاعات آزمایشگاهی**

- ۱ خلاصه آماری غلظت کل فلزات آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) در کلاس اندازه ذرات ۲-۰/۵،
- ۲ ۰/۲۵-۰/۵، ۰/۱۲۵-۰/۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۱۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۵ و کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر در جدول (۱) آورده شده است. نتایج نشان
- ۳ می دهد که ضریب تغییرات آهن در کلاس اندازه ذرات ۲-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۵، ۰/۱۲۵-۰/۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۱۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۵ میلی متر
- ۴ کمتر از ۵۰ درصد می باشد که بیان گر عدم تغییرپذیری زیاد این ویژگی در منطقه مورد مطالعه است. در بین فلزات سنگین، سرب
- ۵ دارای ضریب تغییرات بزرگتر از ۵۰ درصد در تمام کلاس های اندازه ذرات و منگنز دارای ضریب تغییرات کوچکتر از ۵۰ درصد
- ۶ در تمام کلاس های اندازه ذرات می باشند. ضریب تغییرات بزرگتر از ۵۰ درصد برای روی در کلاس اندازه ذرات ۵-۰/۲۵
- ۷ میلی متر، برای نیکل در کلاس اندازه ذرات ۲-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۵ میلی متر و برای مس در کلاس اندازه ذرات ۲-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۵،
- ۸ ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۵ و کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر وجود دارد. در حالی که مس در کلاس اندازه ۰/۰۷۵-۰/۰۵ میلی متر
- ۹ دارای بیشترین ضریب تغییرات (۱۰۰/۲۹) و منگنز در کلاس اندازه ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر دارای کمترین ضریب
- ۱۰ تغییرات (۲۶/۶۱) می باشد.
- ۱۱ حداکثر میانگین برای تمامی فلزات در کلاس ذرات ریز کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر وجود داشت (جدول ۱) که نشان می دهد با
- ۱۲ کاهش اندازه ذرات غلظت فلزات افزایش می یابد، البته برای سرب نوساناتی مشاهده گردید و کمترین غلظت در کلاس اندازه
- ۱۳ ۰/۵-۰/۲۵ میلی متر بدست آمد. نتایج آنالیز واریانس نشان می دهد که تفاوت کلاس های اندازه ذرات خاک از نظر غلظت کل
- ۱۴ عناصر سنگین آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) معنی دار است. مقایسه آماری میانگین غلظت فلزات
- ۱۵ با استفاده از آزمون LSD فیشر در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد میانگین غلظت تمامی فلزات مورد مطالعه در کلاس ذرات
- ۱۶ کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری با سایر کلاس های اندازه ذرات داشت. مقایسه میانگین
- ۱۷ غلظت آهن نشان داد که اختلاف معنی داری بین کلاس های اندازه ای ۲-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۵ و ۰/۱۲۵-۰/۲۵ میلی متر و بین کلاس های
- ۱۸ اندازه ای ۰/۰۷۵-۰/۱۲۵ و ۰/۰۷۵-۰/۰۵ وجود ندارد، برای منگنز نیز اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بین کلاس های
- ۱۹ اندازه ای ۲-۰/۵ و ۰/۲۵-۰/۵ میلی متر و ۰/۱۲۵-۰/۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۱۲۵ و ۰/۰۷۵-۰/۰۵ وجود ندارد. برای مس و روی بین کلاس های
- ۲۰ اندازه ای ۲-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۵ و ۰/۱۲۵-۰/۲۵ میلی متر و همچنین برای سرب در بین کلاس های اندازه ای ۲-۰/۵ و ۰/۲۵-۰/۵ میلی متر،
- ۲۱ کلاس های اندازه ای ۰/۲۵-۰/۵، ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵ و کلاس های اندازه ای ۰/۱۲۵-۰/۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۱۲۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۵ و کوچکتر از
- ۲۲ ۰/۵ میلی متر اختلاف معنی داری وجود ندارد. برای نیکل نیز در بین کلاس های اندازه ای ۲-۰/۵ و ۰/۲۵-۰/۵ میلی متر وجود
- ۲۳ ندارد. (شکل ۲). محمودی و همکاران (۲) با مطالعه خاک های آلوده منطقه جنوب شهر اصفهان نیز گزارش کردند که میانگین

- ۱ غلظت فلزات روی و سرب در کلاس ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با سایر
- ۲ کلاسهای اندازه ذرات دارد اما، میانگین غلظت کادمیوم در کلاس‌های اندازه‌ای مختلف ذرات خاک اختلاف معنی‌داری در
- ۳ سطح احتمال ۹۵ درصدی از خود نشان نداد.
- ۴ جدول ۱- خلاصه آماری غلظت کل آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات (میلی‌متر).

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	میان	چولگی	کشیدگی	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)
Fe _{۲-۰/۵}	۲			۵				
Fe _{۰/۵-۰/۲۵}				۵				
Fe _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}				۵				
Fe _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}								
Fe _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}		۲						
Fe _{<۰/۰۵}								
Mn _{۲-۰/۵}								
Mn _{۰/۵-۰/۲۵}								
Mn _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}								
Mn _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}								
Mn _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}								
Mn _{<۰/۰۵}								
Cu _{۲-۰/۵}								
Cu _{۰/۵-۰/۲۵}								
Cu _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}								
Cu _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}								
Cu _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}								
Cu _{<۰/۰۵}								
Zn _{۲-۰/۵}								
Zn _{۰/۵-۰/۲۵}								
Zn _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}								
Zn _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}								
Zn _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}								
Zn _{<۰/۰۵}								
Pb _{۲-۰/۵}								
Pb _{۰/۵-۰/۲۵}								
Pb _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}								
Pb _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}								
Pb _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}								
Pb _{<۰/۰۵}								
Ni _{۲-۰/۵}								
Ni _{۰/۵-۰/۲۵}								
Ni _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}								
Ni _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}								
Ni _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}								
Ni _{<۰/۰۵}								



شکل ۲- میانگین غلظت کل فازات سنگین در کلاس‌های مختلف اندازه‌ای ذرات خاک. (ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال آماری ۵ درصد براساس آزمون LSD فیشر دارای اختلاف معنی‌دار نیستند).

دیگر محققین در سایر نقاط نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. وی و همکاران (۳۱) غلظت فلزات سنگین را در کلاس‌های مختلف اندازه‌ای ذرات خاک را بررسی و بیان نمودند که بیشترین غلظت فلزات سنگین در جز کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر وجود دارد. یاو و همکاران (۳۳) نشان دادند که ۷۸ تا ۸۲ درصد فلزات سنگین در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از ۰/۰۱۶ میلی‌متر تجمع یافتند. بررسی‌های هرنگرن و همکاران (۱۴) و آکوستا و همکاران (۴) نیز نشان داد که بیش‌ترین غلظت فلزات سنگین در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از ۰/۰۱۶ میلی‌متر وجود داشته است.

توزیع مکانی فلزات سنگین در کلاس‌های مختلف اندازه ذرات خاک

برای تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در کلاس‌های اندازه ذرات خاک ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی گردید. با توجه به نتایج آماری جدول (۱) و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تنها توزیع آهن در کلاس اندازه ذرات ۰/۲۵-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۱۲۵ و ۰/۰۷۵-۰/۰۵ و توزیع نیکل در کلاس اندازه ذرات ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵ و کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر نرمال بود و سایر فلزات از توزیع نرمال برخوردار نبودند. همچنین قبل از اقدام به مدل‌سازی تغییرنا وجود و عدم وجود روند برای هر یک از فلزات در هر ۶ کلاس

اندازه ذرات مورد بررسی قرارگرفت و مدل‌های رگرسیونی و ضریب همبستگی هریک محاسبه گردید. نتایج نشان داد که برای

هیچ یک از فلزات در هر ۶ کلاس اندازه ذرات روند خاصی وجود ندارد.

پس از روند، اقدام به بررسی ناهمسانگردی در ساختار و الگوی تغییرات مکانی از طریق محاسبه و تحلیل تغییرنما شد. که تحلیل

کیفی تغییرنما بیانگر توزیع مکانی به نسبت همسانگرد همه متغیرهای مورد مطالعه بود. سپس برای تخمین ویژگی‌های خاک با

روش کربجینگ برای هر ویژگی، مناسب‌ترین مدل تغییرنما انتخاب و برازش داده شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که تغییرنمای

آهن در کلاس اندازه‌ای ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵، روی در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر از مدل گوسی، منگنز در کلاس

اندازه ذرات ۰/۰۵-۲ میلی در کلاس اندازه‌ای ۰/۵-۲، مس در کلاس اندازه‌ای ۰/۲۵-۰/۰۵، ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵، ۰/۰۵-۰/۰۷۵ میلی‌متر، روی در کلاس اندازه‌ای

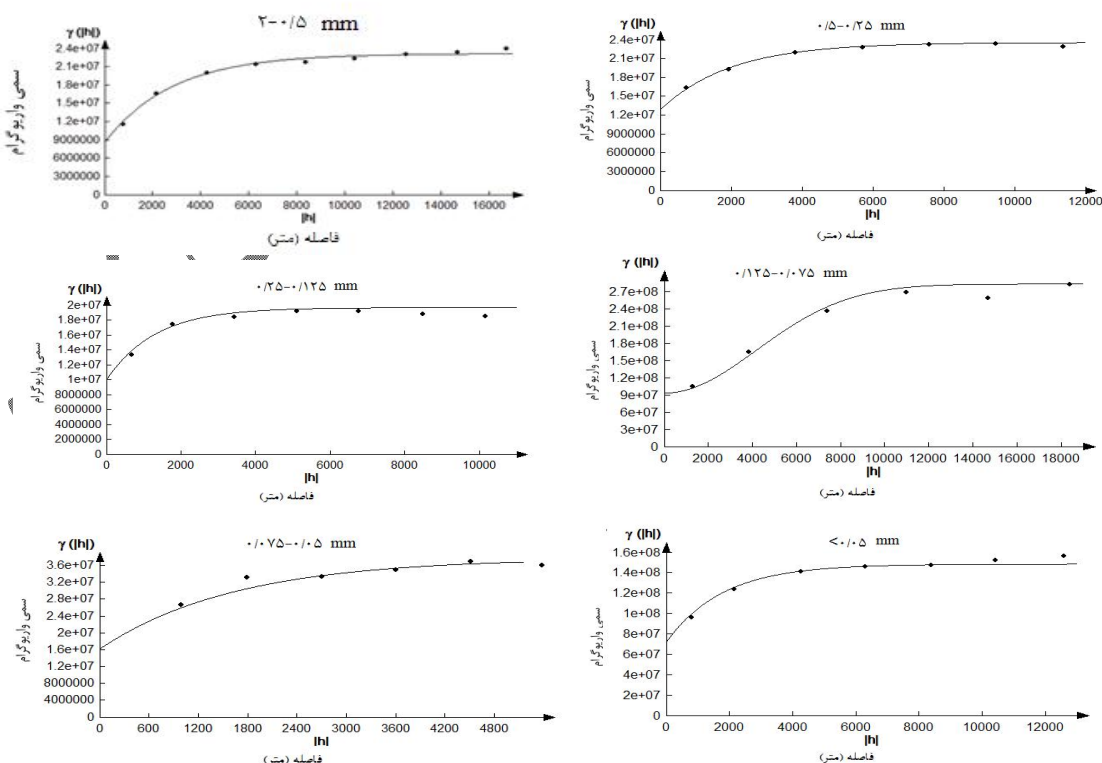
۰/۵-۲، ۰/۲۵-۰/۰۵، سرب در کلاس اندازه‌ای ۰/۲۵-۰/۰۵ میلی‌متر و نیکل در کلاس اندازه‌ای ۰/۵-۲ میلی‌متر از مدل کروی و سایر

ویژگی‌ها از مدل نمایی پیروی می‌نمایند (جدول ۲) مری‌ام و همکاران (۲۲) نیز برای بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین نیکل و

سرب از مدل نمایی و عناصر کبالت، کادمیوم، سرب، کروم و مس از مدل گوسی استفاده کردند. ژائو و همکاران (۳۴) نیز مدل

کروی را برای تعیین تغییرات مکانی عناصر کادمیوم، نیکل، سرب و مدل نمایی را برای تعیین تغییرات مکانی عناصر مس، و روی

توصیه نمودند.



شکل ۳- تغییرنمای آهن در کلاس‌های مختلف اندازه‌ای ذرات خاک.

۱
۲
۳

جدول ۲- پارامترهای تغییرنمای آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل در کلاس‌های اندازه ای ۲-۰/۵، ۰/۵-۰/۲۵، ۰/۲۵-۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵، ۰/۰۷۵-۰/۰۵ و کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر.

ویژگی خاک	مدل	اثر قطعه ای (C ₀)	دامنه (m)	آستانه (C)	درصد همبستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی
Fe _{۲-۰/۵}	نمایی	۸/۷۵×۱۰ ^۶	۸۵۰۰	۱/۴۵×۱۰ ^۷	۳۷/۶۳	متوسط
Fe _{۰/۵-۰/۲۵}	نمایی	۱/۳×۱۰ ^۷	۵۹۷۸	۱/۰۷×۱۰ ^۷	۵۴/۸۵	متوسط
Fe _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}	نمایی	۱/۰۹×۱۰ ^۷	۳۸۹۲/۵۳	۹/۶۶×۱۰ ^۶	۵۳/۰۱	متوسط
Fe _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}	گوسی	۹/۴۷×۱۰ ^۷	۱۰۲۰۱/۷	۱/۹×۱۰ ^۸	۳۳/۲۶	متوسط
Fe _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}	نمایی	۱/۵×۱۰ ^۷	۴۹۳۴/۸۸	۲/۱۶×۱۰ ^۷	۴۰/۹۸	متوسط
Fe _{<۰/۰۵}	نمایی	۷/۲۷×۱۰ ^۷	۵۳۰۶/۱۷	۷/۶۳×۱۰ ^۷	۴۸/۷۹	متوسط
Mn _{۲-۰/۵}	کروی	۴۹۴۰	۴۹۴۰	۶۸۹۰	۴۱/۷۵	متوسط
Mn _{۰/۵-۰/۲۵}	نمایی	۹۸۸۹/۲	۵۱۷۰	۶۷۲۲/۴	۵۹/۵۳	متوسط
Mn _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}	نمایی	۵۳۶۹/۷	۴۹۱۶/۵	۱۵۱۴۱/۷	۲۶/۱۷	متوسط
Mn _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}	نمایی	۱۰۲۸۲/۷	۳۸۵۲/۲	۴۷۹۶/۸	۶۸/۱۹	متوسط
Mn _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}	نمایی	۷۷۴۲/۹۳	۶۳۸۲/۲	۱۴۸۳۴/۴	۳۴/۲۹	متوسط
Mn _{<۰/۰۵}	نمایی	۲۴۴۸/۶	۳۸۹۵/۴۴	۹۴۷۷/۰۷	۲۰/۵۳	قوی
Cu _{۲-۰/۵}	کروی	۴۸۰۶	۲۷۴۶/۸۸	۲۹/۷۵	۶۲/۰۳	متوسط
Cu _{۰/۵-۰/۲۵}	کروی	۵۳/۶۹	۱۰۷۶۵/۵	۱۶۵/۳۲	۲۴/۵۱	قوی
Cu _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}	کروی	۳۱/۷۳	۵۳۸۱/۷۶	۶۳/۱	۳۳/۴۶	متوسط
Cu _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}	نمایی	۱۳۰/۱۶	۵۶۳۳/۰۴	۴۳۰/۲۸	۲۳/۲۲	قوی
Cu _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}	کروی	۴۴۶/۱۱	۹۵۲۰	۱۴۲۷/۵۸	۲۳/۸۱	قوی
Cu _{<۰/۰۵}	نمایی	۷۳۷/۶۶	۵۵۵۴/۳۲	۱۰۵۴/۶۸	۴۱/۱۶	متوسط
Zn _{۲-۰/۵}	کروی	۱۷۴/۶۴	۳۱۸۷/۸	۷۲/۰۴	۷۰/۵۱	متوسط
Zn _{۰/۵-۰/۲۵}	کروی	۱۴۵/۶۴	۸۴۸۹/۸۷	۹۵۱/۳۸	۱۳/۲۸	قوی
Zn _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}	نمایی	۹۴/۴۳	۳۰۸۹/۲۴	۶۵/۳۱	۵۹/۱۱	متوسط
Zn _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}	نمایی	۱۵۴/۲۹	۳۵۹۱/۸۷	۸۲/۶۶	۶۵/۱۲	متوسط
Zn _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}	نمایی	۹۱/۵۵	۳۷۱۲/۸	۱۸۳	۳۳/۳۵	متوسط
Zn _{<۰/۰۵}	گوسین	۱۲۱/۹۶	۲۷۲۵/۶۸	۹۷۴/۲	۱۱/۱۳	قوی
Pb _{۲-۰/۵}	نمایی	۱۵/۰۱	۷۲۰۰	۱۹/۰۴	۶۴/۰۸	متوسط
Pb _{۰/۵-۰/۲۵}	کروی	۶/۳۷	۴۹۷۹/۳۳	۱۱/۴۶	۳۵/۷۳	متوسط
Pb _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}	نمایی	۶/۱۷	۳۹۰۶/۱	۳۶/۱۵	۱۴/۵۸	قوی
Pb _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}	نمایی	۶/۴۴	۶۷۱۰	۶/۹۹	۴۷/۹۵	متوسط
Pb _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}	نمایی	۱۸/۸۶	۴۰۵۰	۱۱/۴۲	۶۲/۲۹	متوسط
Pb _{<۰/۰۵}	نمایی	۱۵/۹۹	۲۹۰۱/۴۴	۱۶/۵۱	۴۹/۲	متوسط
Ni _{۲-۰/۵}	کروی	۹۷/۳۱	۳۴۸۰	۷۱/۳۱	۵۷/۷۱	متوسط
Ni _{۰/۵-۰/۲۵}	نمایی	۱۳۷/۷۶	۵۵۶۴	۹۸/۸۵	۵۸/۲۲	متوسط
Ni _{۰/۲۵-۰/۱۲۵}	نمایی	۱۰۴/۰۸	۵۹۹۲/۸	۷۰/۸۸	۵۹/۴۹	متوسط
Ni _{۰/۱۲۵-۰/۰۷۵}	نمایی	۱۳۱/۴۳	۲۵۷۹/۵۵	۱۳۶/۶۹	۴۹/۰۲	متوسط
Ni _{۰/۰۷۵-۰/۰۵}	نمایی	۱۹۴/۹۵	۳۶۱۸/۶	۸۶/۳۵	۶۹/۳۰	متوسط
Ni _{<۰/۰۵}	نمایی	۲۵۵/۲۸	۵۳۰۶/۱۷	۲۳۰/۶۹	۵۲/۵۳	متوسط

۴

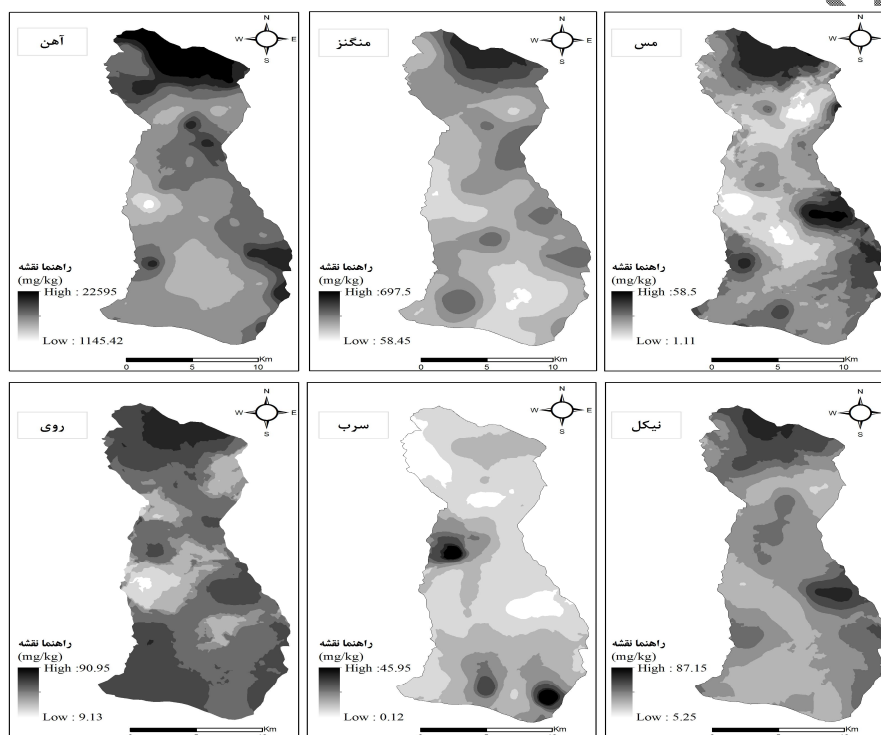
۵ اثر قطعه‌ای برای آهن و منگنز در کلاس اندازه‌ای ۰/۱۲۵-۰/۰۷۵ میلی‌متر، مس و نیکل در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از ۰/۰۵

۶ میلی‌متر، روی در کلاس اندازه‌ای ۰/۵-۲ میلی‌متر و سرب در کلاس اندازه‌ای ۰/۰۷۵-۰/۰۵ میلی‌متر بیشتر از سایر پارامترها می

باشد، این امر نشان دهنده آن است که فلزات مذکور در این کلاس‌های اندازه‌ای دارای تغییرپذیری مکانی زیادی در فواصل نزدیک هستند. اثر قطعه‌ای بزرگ نشان‌دهنده آن است که نمونه برداری اضافی متغیر مورد نظر در فواصل کوتاه‌تر و به مقدار بیشتر لازم می‌باشد تا وابستگی مکانی را تعیین کند و در نتیجه نقشه‌هایی با کیفیت و دقت بالاتری را ارائه دهد. در اکثر ویژگی‌های خاک، آستانه (Sill)، تخمین خوبی از واریانس ارائه می‌دهد که نمایانگر برقراری فرضیات پایایی در داده هاست. این امر نشان دهنده آن است که اندازه نمونه انتخابی از مجموعه داده‌های اصلی به اندازه کافی بزرگ بوده است که بتواند خصوصیات کل داده‌های اصلی را آشکار سازد. مومنی (۳) و لویز-گرانادوز و همکاران (۱۹) نیز نتایج مشابهی بدست آورده‌اند. برای بررسی وضعیت ساختار مکانی، از معیار درصد نسبت همبستگی که از تقسیم اثر قطعه ای به آستانه $(C_0/C + C_0)$ محاسبه می‌گردد، استفاده شد. منگنز در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از 0.05 میلی‌متر، مس در کلاس اندازه‌ای $0.05-0.25$ ، $0.125-0.25$ میلی‌متر و $0.25-0.5$ میلی‌متر و سرب در کلاس اندازه‌ای $0.25-$ میلی‌متر دارای همبستگی مکانی قوی می‌باشند و سایر متغیرها دارای همبستگی متوسط می‌باشند. همچنین بررسی تغییرنا نشان می‌دهد که دامنه تأثیر تغییرنا از حدود $2579/55$ متر برای نیکل در کلاس اندازه‌ای $0.075-0.125$ تا حدود $10765/5$ متر برای مس در کلاس اندازه‌ای $0.05-0.25$ در نوسان می‌باشد. به طور کلی دامنه تأثیر، فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها برهم تأثیری نداشته و یا وابستگی نشان نمی‌دهند و آنها را می‌توان مستقل از یکدیگر فرض نمود. در واقع هر چه دامنه تأثیر بزرگتر باشد ساختار مکانی گسترده‌تر است و می‌توان با استفاده از داده‌های فواصل دورتر برای تخمین متغیر مورد نظر با به کارگیری روش‌های زمین‌آماري استفاده کرد به عبارت دیگر، هر چه این دامنه گسترده‌تر باشد، به تعداد نمونه کمتری برای تخمین نیاز است. می‌توان از پارامتر دامنه به عنوان شاخصی برای تعیین کوچک‌ترین واحد مناسب برای نقشه‌برداری ویژگی‌های مکانی استفاده کرد (۱۲). همچنین مقایسه دامنه‌ها در هر کلاس اندازه‌ای نشان داد که دامنه تغییرپذیری هر در کلاس ذرات ریزتر تا حدودی بیشتر از ذرات درشت‌تر می‌باشد که محمودی و همکاران (۲) این امر را به دلیل پدیده ترقیق اتمسفری و نقش باد در گسترش و پراکنده نمودن ذرات ریزتر و حمل آن تا مسافت‌های بیش‌تر در مقایسه با ذرات بزرگ‌تر می‌دانند.

با توجه به اینکه غلظت فلزات سنگین در سطح هر منطقه بسیار متنوع و دارای ناهمگونی است، بنابراین شناخت روند و محل تغییرات خاک در سطح منطقه با استفاده از تکنولوژی‌های مدرن می‌تواند در نحوه مدیریت و اقدامات حفاظتی بسیار موثر باشد. این شناخت و اطلاعات با پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های غلظت فلزات سنگین به وجود می‌آید. پس از بهینه‌سازی پارامترهای تخمین گر کریجینگ، پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین برای هر ۶ کلاس اندازه‌ای ذرات خاک صورت گرفت (شکل ۴). نتایج نشان داد که بالاترین مقدار آهن در هر ۶ کلاس اندازه‌ای در نواحی شمالی و برخی نقاط شرقی و کمترین مقدار آن در قسمت‌های جنوبی

- ۱ منطقه واقع شده است. سایر فلزات نیز تقریباً روندی مشابه با آهن دارند به جز سرب که در نقاط جنوبی و غربی دارای بیشترین
- ۲ مقدار است (شکل ۴). با توجه به اینکه در این نقاط، زمین‌های کشاورزی گسترش یافته‌اند احتمال افزایش غلظت سرب به واسطه
- ۳ عملیات کشاورزی در اثر مصرف سموم وجود دارد. همچنین ممکن است منشا آلودگی در خارج از حوضه آبخیز کفه مور باشد و
- ۴ عواملی چون باد و یا آب‌های زیرزمینی آلوده که برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند عامل این مشاهده باشند، در این
- ۵ زمینه جای تحقیق وجود دارد. هر چند به طور کلی میانگین سرب در منطقه پایین است.



- ۶ شکل ۴- پهنه‌بندی غلظت کل فلزات آهن، منگنز، مس، روی، سرب و نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) در کلاس اندازه ذرات ۲-۵/۰ میلی‌متر.
- ۷
- ۸ وجود ارتفاعاتی در جنوب معدن مانع از ایجاد یک الگوی تغییر پذیری مکانی منظم در منطقه شده است اما وجود یک آبراهه که
- ۹ از طرف معدن و از سمت شمال غربی به سمت مرکز امتداد دارد باعث انتقال بسیاری از آلودگی‌ها به سمت پایین دست منطقه
- ۱۰ گردیده است (شکل ۱). براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه، فرسایش سنگ‌های حاوی آهن و سایر آلاینده‌ها در کوه‌های قسمت
- ۱۱ شرقی منطقه منجر به توسعه آلودگی در نواحی شرقی منطقه شده است. همچنین باد غالب منطقه که به سمت جنوب غربی می‌باشد
- ۱۲

- ۱ می‌تواند عامل پراکنش آهن و دیگر آلاینده‌ها از روی سطح رسوبات ذخیره شده در پشت سدهای رسوبگیر در بخش‌های جنوبی
- ۲ منطقه شده باشد و این روند برای سایر **فلزات سنگین** نیز تا حدودی مشهود می‌باشد (شکل ۴). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود
- ۳ توزیع مکانی متغیرها از الگوی مشابه‌ای پیروی می‌کنند به طوری که غلظت **فلزات سنگین** با فاصله گرفتن از نقاط معدنی کاهش
- ۴ می‌یابد البته با توجه به توزیع ارتفاعی، مدیریت اراضی، انتقال ذرات توسط رودخانه که از طرف معدن و از شمال غرب به سمت
- ۵ مرکز امتداد دارد و همچنین جهت باد غالب در منطقه، تغییرات غلظت کاملاً منظم نمی‌باشد. برای آهن یک الگوی تغییرپذیری
- ۶ مکانی مشترک و مشابه بر روی تمامی نقشه‌ها وجود دارد که حداکثر آلودگی در مجاورت معدن یعنی منبع آلودگی وجود داشته
- ۷ و با فاصله گرفتن از آن‌ها آلودگی کاهش می‌یابد. برای تمامی **فلزات** با کاهش اندازه ذرات خاک با فاصله گرفتن از منابع
- ۸ آلودگی، آلودگی افزایش یافته است که علت آن را می‌توان به انتقال آسان این ذرات توسط باد و آب دانست. **نتایج مطالعات**
- ۹ **مریام و همکاران (۲۲) نیز نشان داد که با افزایش فاصله از پسماندهای معدنی، آلودگی کاهش می‌یابد و باد عامل انتقال فلزات**
- ۱۰ **سنگین از پسماندهای معدنی و آلودگی خاک‌های مورد مطالعه این محققین بوده است و خاک‌های در جهت باد غالب از سمت**
- ۱۱ **پسماندها دارای فلزات سنگین بیشتری است.**

نتیجه‌گیری

- ۱۲
- ۱۳
- ۱۴ نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش اندازه ذرات خاک غلظت **فلزات سنگین** افزایش یافته است به طوری که میانگین غلظت
- ۱۵ در کلاس اندازه‌ای کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر برای آهن ۲/۱۳ برابر، برای منگنز ۱/۷۰ برابر، برای مس ۴/۷۹ برابر، برای روی ۲/۴۳
- ۱۶ برابر، برای سرب ۱/۴۲ برابر و برای نیکل ۳/۴۷ برابر بیشتر از میانگین غلظت در کلاس اندازه‌ای ۲ - ۰/۵ میلی‌متر بدست آمد. **میزان**
- ۱۷ **کل رس در نمونه‌های خاک از ۴/۸۸ تا ۳۲/۵۲ درصد و غلظت کل آهن در کل توده خاک از ۴۴۳۶/۲۵ تا ۲۷۱۳۷۵ میلی‌گرم بر**
- ۱۸ **کیلوگرم متغیر است و میانگین pH خاک ۷/۷۴ می‌باشد. با توجه به این نتایج می‌توان تجمع ترجیحی در ذرات ریزتر را به سطح**
- ۱۹ **ویژه بالاتر و به احتمال زیاد وجود کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن که دارای توانایی بالاتری در نگهداری فلزات سنگین**
- ۲۰ **می‌باشند نسبت داد. بنابراین وجود فلزات سنگین در کلاس‌های اندازه‌ای ریز خاک می‌تواند ناشی از جذب سطحی و جزء**

- ۱ ساختاری کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن باشد. با توجه به اینکه ذرات ریزتر بیشترین خطر را برای سلامتی انسان به دلیل
- ۲ استنشاق و انتقال به بدن توسط بلع دهانی و تماس پوستی ایجاد می‌نمایند بنابراین این نتایج اهمیت اندازه ذرات در ارزیابی خطر
- ۳ آلودگی خاک در مناطق صنعتی را نشان می‌دهد.
- ۴ پهنه‌بندی و بررسی حضور روند غلظت فلزات سنگین برای هر ۶ کلاس اندازه‌ای ذرات خاک نشان داد که با فاصله گرفتن از
- ۵ منطقه معدنی گل‌گهر غلظت فلزات سنگین کاهش می‌یابد. حد آستانه آلودگی خاک براساس دستورالعمل کیفی محیط زیست
- ۶ کانادا^۱ (۲۰۰۷) تعیین شد که براساس این دستورالعمل مسیرهای مختلف ورود این آلاینده‌ها به بدن انسان جذب پوستی، استنشاق
- ۷ ریزگردها، بلعیدن مستقیم و غیرمستقیم عناصر از خاک می‌باشد (۱۱). این دستورالعمل حد آستانه منگنز، مس، روی، سرب، نیکل
- ۸ را به ترتیب ۱۵۰۰، ۶۳، ۲۰۰، ۱۲۰، ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته است و برای آهن از میانگین غلظت آن در کل پوسته
- ۹ زمین، ۴۷۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم استفاده شد (۳۰). براین اساس پهنه‌بندی آلاینده‌ها در بخش کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر نشان
- ۱۰ داد که ۱۱۱۸۲/۴۳ هکتار از مساحت کل منطقه دارای غلظت آهن بالاتر از حد آستانه بودند و برای منگنز، مس، روی، سرب،
- ۱۱ نیکل به ترتیب صفر، ۲۴۰۶۴/۷۳، ۱۰۰/۲۰، صفر و ۲۹۵۲۳ هکتار از منطقه دارای غلظت بالاتر از حد آستانه در کلاس ذرات
- ۱۲ کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر می‌باشند. در حالی که در توده خاک تنها برای آهن، مس و نیکل به ترتیب ۷۴۱۹/۵۷، ۴۵۰۰/۱۵ و
- ۱۳ ۳۵۸۸/۹۸ هکتار از کل منطقه دارای غلظت بالاتر از حد آستانه هستند. بنابراین ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر در منطقه مورد
- ۱۴ مطالعه دارای خطر بیشتری برای سلامتی انسان هستند. آهن، مس و نیکل از فلزاتی هستند که در این منطقه بیشترین آلودگی را
- ۱۵ دارند.
- ۱۶ در این ناحیه معدن‌کاری‌های گسترده، تخلیه‌ی پساب‌های معادن به درون حوضچه‌ها و سدهای رسوبگیر منجر به آلودگی
- ۱۷ خاک‌های مجاورشده است. همچنین پراکنش فلزات در فرآیند استخراج، توسط باد و نیز نشست آب‌های آلوده و نفوذ به درون
- ۱۸ آب‌های سطحی و زیرزمینی باعث ایجاد آلودگی خاک‌های منطقه گردیده است. بنابراین انجام اقدامات حفاظتی از جمله ایجاد
- ۱۹ سیستم‌های انحراف مسیر پساب‌ها و سیستم‌های زهکشی به مناطق غیرمسکونی و غیر کشاورزی ضرورت دارد. همچنین تثبیت
- ۲۰ خاک و ایجاد بادشکن جهت جلوگیری از آلودگی زمین‌های کشاورزی و برای حفظ سلامتی ساکنین منطقه پیشنهاد می‌گردد.
- ۲۱
- ۲۲
- ۲۳

^۱ Canadian Environmental Quality Guideline, CCME

۱. محمدی، ج. ۱۳۸۴. ژئومتریک (آمار مکانی). انتشارات پلک، تهران.
۲. محمودی، ش. ج. محمدی. و م. نادری. ۱۳۹۲. توزیع آماری و مکانی برخی عناصر سنگین در کلاس های اندازه ای ذرات خاک سطحی جنوب شهر اصفهان. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۰(۲): ۱-۲۲.
۳. مومنی، ع. ۱۳۷۴. مدل سازی ساختار مکانی متغیرهای حاصلخیزی و مواد آلی خاک به عنوان مبنایی برای اعمال کشاورزی دقیق در دشت مرودشت، ایران. مجله علوم خاک و آب، ویژه خاکشناسی و ارزیابی اراضی. ۱: ۱-۱۲.
4. Acosta, J.A., A. Faz Cano, J.M Arocena, F. Debela and S. Martinez-Martinez. 2009. Distribution of metals in soil particle size fractions and its implication to risk assessment of playgrounds in Murcia City (Spain). *Geoderma*. 149: 101-109.
5. Ajmone-Marsan, F., M. Biasioli, T. Kralj, H. Grcman, C.M. Davidson, A.S. Hursthouse, L. Madrid and S. Rodrigues. 2008. Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environmental Pollution*. 152: 73-81.
6. Anjaneyulu, E., M. Ramgopal, G. Narasimha and M. Balaji. 2011. Effect of Pig Iron Slag articles on Soil Physico-Chemical, Biological and Enzyme Activities. *Iranica Journal of Energy and Environment*. 2 (2): 161-165.
7. Brungard C.W. and J.L. Boettinger. 2010. Conditioned Latin Hypercube Sampling: Optimal sample size for digital soil mapping of arid rangelands in Utah, USA. p. 67-75. In Boettinger J.L., A.C. Moore, S.Kienast-Brown D.W. Howell, and A.E. Hartemink (eds) *Digital soil mapping: progress in soil science 2, Part 2: Research*. Springer Dordrecht, Netherlands.
8. Cai, Y., J.C. Cabrera, M. Georgiadis and K. Jayachandran. 2002. Assessment of arsenic mobility in the soils of some golf courses in South Florida. *Science of the Total Environment*. 291: 123-134.
9. Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.I. Karlen, R. F. Turco and A.E. Konopka. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58:1501-1511.
10. Campbell, J.B. 1978. Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. *Soil Science Society of America Journal*. 42:460-464.
11. Canadian Council of Ministers of the Environment. 2007. Excerpt from Publication No.1299, ISBN, pp.34.
12. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydology*. 228:113-129.
13. Hajrasuliha, Sh., N. Baniabassi, J. Metthey and D.R. Nielsen. 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in southwest Iran. *Irrigation Science*. 1: 197- 208.
14. Hergren, L., A. Goonetilleke and G.A. Ayoko. 2006. Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica Chimica Acta*. 571: 270-278.
15. Jiachun, S. W. Haizen, X. Jianming, W. Jiaanjun, L. Xingmei, Z. Haiping and Y. Chunlan. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soil: a case study of changing, China. *Environmental Geology*. 52: 1- 10.
16. Khanduzi F., A. Parizanganeh and A. Zamani. 2015. Application of multivariate statistics and geostatistical techniques to identify the spatial variability of heavy metals in groundwater resources. *Caspian Journal of Environment and Science*. 13 (4): 333-347.
17. Li, X. and L. Feng. 2012. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*. 47:58-65.
18. Liu B., X. Ma, S. Ai, S. Zhu, Zhang W, Zhang Y. 2016. Spatial distribution and source identification of heavy metals in soils under different land uses in a sewage irrigation region, northwest China. *Journal of Soils and Sediments*. 16(5):1547-1556.
19. Lopez-Granados, F., M. Jurado-Exposito, S. Atenciano, A. Garcia-Ferrer, M. S. De la Orden and L. Garcia-Torres. 2002. Spatial variability of agriculture soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*. 246:97-105.
20. Luo, X., S. Yu and X. Li. 2011. Distribution, availability, and sources of trace metals in different particle size fractions of urban soils in Hong Kong: Implications for assessing the risk to human health. *Environmental Pollution*. 159: 1317-1326.
21. Mandzhieva, S., T. Minikina, D.P.T. Bauer and S. Sushkova. 2014. The role of soils particle-size fractions in the adsorption of heavy metals. *Eurasian Journal of Soil Science*. 3: 197-205.

22. Meriem, L., D. Ahmad, B. Bouamar, E.H. Hassan, M. Rachid and T. Meryem. 2015. Spatial distribution of soil heavy metals in the Zaida mine (Morocco) based on Geostatistical Methods. *International Journal of Advanced Research*. 3(7): 337-349.
23. Nriagu, J.O. and J.M. Pacyna. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*. 333:134-39.
24. Panagopoulos, T., J. Jesus, M.D.C. Antunes and J. Beltrao. 2006. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce *European Journal of agronomy*. 24: 1-10.
25. Qi J., H. Zhang, X. Li, J. Lu, G. Zhang. 2016. Concentrations, spatial distribution, and risk assessment of soil heavy metals in a Zn-Pb mine district in southern China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188:1-11.
26. Ratha, D.S. and B.K. Sahu. 1993. Source and distribution of metals in urban soil of Bombay, India, using multivariate statistical techniques. *Environmental Geology*. 22: 276-285.
27. Rodriguez, M.J.A., A.M. Lopez and C.J.M. Grau. 2006. Heavy metal contents in agricultural topsoils in Ebro basin (Spain). Application of multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environment Pollution*. 144:1001-1012.
28. Sarlak, M. R. 2015. Characterization of the Particle Size Fraction Associated Heavy Metals in Arable soils from Ahwaz size, Iran. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 4(7): 65-75.
29. Sposito, G.L., J. Lund and A.C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid-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*. 46:260-265.
30. Turekian K.K. and Wedepohl K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin* 72:175-191.
31. Wei, M., J. Chen, Zh. Sun, C. Lv, and W. Cai. 2015. Distribution of Heavy Metals in Different Size Fractions of Agricultural Soils Closer to Mining Area and its Relationship to TOC and Eh. *Proceedings of the World Congress on New Technologies*, Barcelona, Spain. No. 200.
32. Yang, P., M. Renzhao, H. Shao and Y. Gao. 2009. The spatial variability of heavy metal distribution in the suburban farmland of Taihang piedmont plain, China. *Comptes Rendus Biologies*. 332: 558-566.
33. Yao, O., X. Wang, H. Jian, H. Chen and Z. Yu. 2015. Characterization of the Particle Size Fraction associated with Heavy Metals in Suspended Sediments of the Yellow River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12: 6725-6744.
34. Zhao, K., W. Fu, Z. Ye and C. Zhang. 2015. Contamination and Spatial Variation of Heavy Metals in the Soil-Rice System in Nanxun County, Southeastern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12: 1577-1594.

۱
۲
۳
۴
۵
۶
۷
۸
۹
۱۰
۱۱
۱۲
۱۳
۱۴
۱۵
۱۶
۱۷
۱۸
۱۹
۲۰
۲۱
۲۲
۲۳
۲۴
۲۵
۲۶
۲۷
۲۸
۲۹
۳۰
۳۱

**Spatial distribution of some heavy metals
in different soil particle size fractions in Kafe Moor, Kerman province, Iran**

Mahboobeh Tayebi^{۱*}, Mehdi Naderi^۲, Jahangard Mohammadi^۳

The aim of this work was to study the distribution of some heavy metals in different soil particle-size fractions and assess spatial distribution of them. The study was carried out in Kafe Moor (Kerman, Iran) where the Gol-Gohar Iron Mine is located in this Area. One hundred twenty composite soil samples were randomly collected and transferred to the laboratory in bags. After air-drying, the samples were fractionated into six classes including 2- 0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.125, 0.125- 0.075, 0.075-0.05 and <0.05 mm. Elemental concentrations (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb and Ni) were determined using acid digestion method (HNO₃, 4.0 N) and an atomic absorption spectrophotometer in each class. Ordinary kriging technique were used for predicting spatial distribution of heavy metals. The results showed that content of metals in soil increased with decreasing particle size. The results also showed that the concentration of Fe, Mn, Cu, Zn, Pb and Ni in <0.05 mm size fraction were 2.13, 1.70, 4.79, 2.43, 1.42, and 3.47 times higher than in 2-0.05 mm size fraction, respectively. In addition, mapping the concentrations of heavy metals with kriging showed that metals pollution decreased with increasing distance from mines area.

Keywords: Heavy metals, Kriging, soil particle size, Soil pollution, Spatial variability.

^۱ Phd student, Dept. of Soil Science, Shahrekord University,

^۲ Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahrekord University,

^۳ Prof., Dept. of Soil Science, Shahrekord University.

* Corresponding Author; Email: mahtayebi@yahoo.com