

Mapping the heavy metals proportions in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone

ABSTRACT

Background & objective: Cement manufacturing is the most important and influential industry in the economic prosperity of the country. However, this can be an entrance source for heavy metals to environment. The main objectives of the present study were to identify the spatial variability and main sources of heavy metals including Cr, Mn, Ni, Co, Cu, Cd, As and Zn in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone by conducting multivariate geostatistical analysis assisted with ArcGIS 10.2 tool. Multivariate geostatistics was used to survey the spatial distribution of studied heavy metals and their reasons in the studied area.

Materials & Methods: In the present study, 88 samples of surface soils were collected in radiuses of 500, 1000, 2000 and 3000 m from the center of the cement factory from two depths of 0–15 and 15–30 cm.

Results: According to the gained results, three principal factors were appeared with more than 90% of the total variance through multivariate statistical analysis for heavy metals. For mapping the distribution of the heavy metals amounts, four different models including circular, spherical, exponential and Gaussian with methods of simple Kriging, ordinary Kriging, universal and simple Co-Kriging were identified as the optimum models using ArcGIS 10.2. The accuracy of the methods were evaluated using coefficient determination, mean absolute error, mean bias error and root mean square error.

Conclusion: Heavy metals mapping confirmed that the levels of Cd, As, Pb and Cu in surface soils closed to the factory are higher than global average amount. Also, it can be mentioned that geological structure of the area plays most important role in soil pollution. However, anthropogenic activities, particularly cement plant are considered as another effective factor on soil pollution in the studied area.

Document Type: Research article

Key words: Multivariate geostatistical, Heavy metals, Soil pollution, Kurdistan Cement Factory

Abbas Ali Zamani

Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Elham Ahmadpour

M.S.c .Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Abdolkhosro Zanganeh

Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Younes Khosravi

* Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

khosravi@znu.ac.ir

Received: 10 March 2017

Accepted: 30 April 2017

► **Citation:** Zamani A, Ahmadpour E, Zanganeh A, Khosravi Y. Mapping the heavy metals proportions in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*.Spring 2017;3 (1) : 40-55.

پهنه‌بندی مقدار فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان

چکیده

زمینه و هدف: صنعت سیمان از مهم‌ترین کارخانه‌های تولیدی و تأثیرگذار در شکوفایی اقتصادی کشور است. این صنعت می‌تواند باعث ورود فلزات سنگین به محیط زیست شود. مطالعه حاضر با هدف بررسی و تعیین منبع احتمالی فلزات سنگین شامل کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم، آرسنیک و روی در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان به کمک زمین آمار چند متغیره انجام شد. **مواد و روش‌ها:** به منظور رسیدن به هدف پژوهش، ۸۸ نمونه خاک از اطراف کارخانه در شعاع‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری و از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ cm خاک سطحی انتخاب شد. سپس با استفاده از روش زمین آمار چند متغیره، به بررسی چگونگی توزیع فلزات سنگین و دلیل پراکنش آن‌ها در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از آنالیز خاک، سه مؤلفه اصلی با بیش از ۹۰ درصد واریانس کل در بین فلزات سنگین مورد مطالعه آشکار گردید. مدل‌های دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی به روش‌های کریجینگ ساده، کوکریجینگ معمولی، کوکریجینگ عام و ساده برای پهنه‌بندی پراکندگی مقدار فلزهای مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2 به عنوان مدل‌های پهنه‌شناسایی شدند. صحت نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش‌های میانگین انحراف خطا، خطای قدر مطلق میانگین و ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: پهنه‌بندی مقدار فلزات سنگین نشان می‌دهد که میانگین مقدار فلزهای کادمیوم، آرسنیک، سرب و مس در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه بیش‌تر از میانگین استاندارد جهانی است. هم‌چنین می‌توان گفت که ساختار زمین‌شناسی منطقه بیش‌ترین نقش را در آلودگی خاک دارد، با این حال فعالیت‌های انسانی و به‌ویژه کارخانه سیمان کردستان نیز در افزایش آلودگی تأثیر داشته است.

نوع مقاله: مقاله علمی - پژوهشی

کلید واژه‌ها: آلودگی خاک، زمین‌آمار چند متغیره، فلزات سنگین، کارخانه سیمان کردستان

عباسعلی زمانی

استادیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

الهام احمدپور مبارکه

کارشناس ارشد، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

عبدالحسین پری زنگنه

استاد، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

یونس خسروی

* استادیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

khosravi@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۰

◀ **استناد:** زمانی ع، احمدپور مبارکه الف، پری زنگنه ع، خسروی ی. پهنه‌بندی مقدار فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۶؛ ۳: ۴۰-۵۵ (۱)

مقدمه

امروزه پیشرفت صنعت و شهرنشینی، باعث گسترده‌گی خاک‌های آلوده شده است. از میان مواد آلاینده خاک، فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده، حتی در غلظت‌های کم، سهم مهمی در آلوده کردن محیط زیست دارند. کارخانه‌های مختلف از جمله صنعت سیمان با توجه به آسیب‌های محیط زیستی باید به صورت ویژه مورد توجه قرار گیرند تا از آسیب‌های جدی به محیط زیست جلوگیری به عمل آید، به ویژه در ایران که روزبه‌روز بر تعداد کارخانه‌های سیمان افزوده می‌شود (۱).

گام نخست در پایش پراکندگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در منطقه‌های مشکوک به آلودگی، تعیین مقدار فلزات سنگین می‌باشد. بنابراین دست‌یابی به نقشه کلی پراکندگی فلزات سنگین و پهنه‌بندی آن‌ها امری ضروری در پایش آلودگی خاک محسوب می‌شود (۲). یکی از مشکلات تعیین پراکنش فلزات سنگین و ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌ها، عدم امکان نمونه‌برداری از همه سطح منطقه مورد مطالعه است. به این منظور استفاده از راهکاری مناسب برای تعمیم مقدار فلزات سنگین در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده به تمام سطح پیشنهاد می‌شود. زمین آمار شاخه‌ای از علم آمار مکانی است که این مهم را به خوبی به انجام می‌رساند. برتری این شاخه آمار از شعبه کلاسیک آن، فراشمولی آن است (۳).

تابع آماری بنام تغییرنگار^۱ از ابزارهای زمین‌آمار، امکان تجزیه و تحلیل ساختار، مقیاس و شدت تغییرات مکانی متغیرهای ناحیه‌ای را فراهم می‌آورد. چنان‌چه تغییرنگار به درستی تعیین شود، از آن نه تنها جهت تخمین آماری، بلکه به منظور طراحی و اصلاح شبکه نمونه‌برداری نیز می‌توان استفاده کرد (۴). در این رابطه، روش‌های زمین آماری مانند تخمین‌گرهای آماری ناپارامتری نظیر میانگین متحرک وزن‌دار و یا روش‌های پارامتری زمین آماری نظیر کریجینگ و کوکریجینگ به دلیل در نظر گرفتن

همبستگی مکانی داده‌ها مطرح می‌باشد (۵،۳). تغییرپذیری ویژگی‌های خاک با این فرض که توزیع این ویژگی‌ها در یک منطقه به صورت تصادفی است، اغلب توسط نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها و مستقل از موقعیت فضایی آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، بنابراین مقدار یک کمیت در یک نمونه، هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نمونه‌های دیگر در فاصله‌های مختلف نمی‌دهد (۳).

از آمار چندمتغیره و GIS برای درون‌یابی ویژگی‌های تأثیرگذار خاک در میزان محصول، شناسایی منابع فلزات سنگین در رسوبات ساحل، شناسایی منابع فلزات سنگین در خاک منطقه‌های صنعتی، شناسایی منابع فلزات سنگین در خاک زمین‌های کشاورزی و بررسی تغییرات فلزات سنگین در خاک زمین‌های برنج‌کاری استفاده شده است (۶-۱۰). در ایران نیز تحقیقات زیادی با موضوع توزیع مکانی مقدار فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان مازندران، در ارزیابی شوری خاک، ارزیابی توزیع مکانی مقدار کل مس در خاک‌های شالیزاری و شناسایی آلودگی فلزات سرب و کادمیوم در بخشی از دشت سیرجان با استفاده از روش‌های زمین آمار انجام شده است (۱۱-۱۴).

بر اساس مطالعات انجام گرفته مشخص می‌شود که روش‌های زمین آمار در تخمین پراکندگی مقدار فلزات سنگین می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشند، بنابراین مطالعه حاضر با هدف مدل‌سازی تغییر مکانی و تهیه نقشه پهنه‌بندی مقدار فلزات سنگین در اطراف کارخانه سیمان کردستان با روش‌های مختلف درون‌یابی و انتخاب مدل مناسب برای این منطقه انجام گرفت.

روش کار

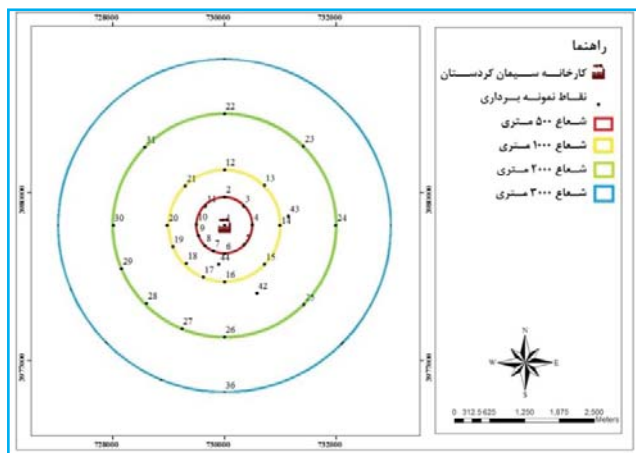
معرفی منطقه مورد مطالعه:

کارخانه سیمان کردستان در شمال غرب شهرستان بیجار و در ۵ کیلومتر جاده بیجار- تکاب واقع شده است. شهرستان بیجار از نظر جغرافیایی در ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه عرض جغرافیایی و ارتفاع ۱۹۴۰ متری از سطح

1. Variogram

قطره آب اضافه شد، سپس به آن ۲۱ میلی‌لیتر مخلوطی از ۷ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ و ۱۴ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ اضافه شد و بعد از مدت زمان ۲۴ ساعت که این مخلوط در ظرف درب بسته قرار گرفت، محتوای ظرف به بالن تقطیر ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و به مدت ۲ ساعت رفلاکس شد. پس از سرد شدن محلول، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

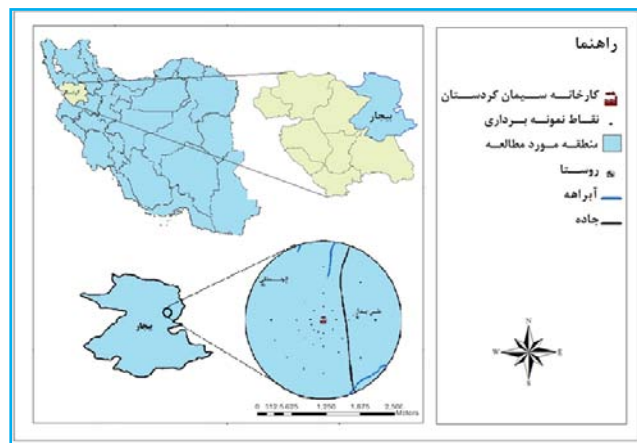
فلزات سنگین مورد بررسی در مطالعه حاضر شامل: کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم، آرسنیک و روی بودند که برای اندازه‌گیری غلظت آن‌ها از دستگاه جذب اتمی میانگین مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه سیمان کردستان و نمونه‌های خاک یک منطقه خارج از تأثیر این فعالیت صنعتی، تعدادی نمونه به‌عنوان نمونه شاهد نیز از شعاع ۱۰ کیلومتری واحدهای صنعتی مورد مطالعه (منطقه غیر آلوده) برداشت شد. شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان را نشان می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری کارخانه سیمان کردستان

در مطالعه حاضر پس از اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در خاک نمونه‌برداری شده، نخست از روش آمار چند متغیره شامل

دریا قرار دارد. این شهرستان از شمال به تکاب (آذربایجان غربی) و ماهنشان (زنجان)، از شرق به شهرستان‌های زرین‌آباد و قیدار (استان زنجان)، از جنوب به قروه و از باختر به دیواندره محدود است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت شهرستان بیجار و منطقه مورد مطالعه در استان کردستان

برای نمونه‌برداری از خاک در محدوده هر نقطه، مربعی با ضلع ۲ متر رسم شد و از هر گوشه این مربع و مرکز آن یک نمونه خاک برداشته شد (۱۵). سپس نمونه‌ها با هم مخلوط شدند و در نهایت یک نمونه ۵۰۰ گرمی انتخاب شد. در این مطالعه نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری برای ۴۵ ایستگاه نمونه‌برداری در اطراف کارخانه سیمان کردستان و در شعاع‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری انتخاب شد. تعداد نقاط نمونه‌برداری در شعاع‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری به ترتیب ۱۱، ۱۱، ۱۲ و ۱۱ مورد انتخاب گردید. نمونه‌ها با استفاده از اوگر دستی و بیلچه نمونه‌برداری شد و در کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه تحقیقاتی گروه شیمی دانشگاه زنجان منتقل گردید. در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در هوای آزاد خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و مورد استفاده قرار گرفتند. برای تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، سه گرم خاک توزین و به ظروف شیشه‌ای درب‌دار ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و به آن چند

علوم خاک، کشاورزی دقیق، کنترل آلودگی، سلامت عمومی، سیلات، اکولوژی گیاهی و جانوری و سنجش از دور به کار برده می‌شود (۱۷).

ب) کوکریجینگ (Cokriging)

در برخی موارد، مجموعه داده‌ها شامل یک یا چند متغیر است که این متغیرها دارای یک وابستگی فضایی با متغیر اصلی می‌باشند و اطلاعات مفیدی را در رابطه با متغیر اصلی ارائه می‌دهند. در برخی موارد در تخمین متغیر اصلی از متغیر دومی استفاده می‌شود. تخمین زمین آماری به صورت چند متغیره بوده و کوکریجینگ نامیده می‌شود، ولی با توجه به این که مدل‌سازی برای روش مذکور نیازمند صرف زمان زیادی است، در کارهای عملی استفاده بیش از دو متغیر چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد (۱۸).

معمول‌ترین و ساده‌ترین روش تخمین یک متغیر در یک مکان خاص، استفاده از ترکیب خطی همان متغیر با متغیرهای دیگر می‌باشد (۱۹). با توجه به قابلیت کوکریجینگ در به‌کارگیری اطلاعات متغیرهای کمکی دوم جهت بهبود دقت تخمین، وجود همبستگی متقابل بین متغیرهای اندازه‌گیری شده، مشکلات اقتصادی، زمانی و تکنولوژیکی اندازه‌گیری برخی از متغیرها، افزایش توان پردازش‌ها و وجود نرم‌افزارهای متنوع و قابل دسترس، استفاده از این روش تخمین در مطالعات خاک‌شناسی و زیست محیطی سیر افزایشی داشته است.

در مطالعه حاضر با انجام هر کدام از روش‌های فوق بر روی مقدار فلزات سنگین مورد مطالعه، نقشه‌های توزیع مکانی این فلزات سنگین ایجاد شد. برای بررسی خطای هر روش و انتخاب روش بهینه برای هر یک از متغیرهای مورد بررسی، از روش ارزیابی متقابل^۶ استفاده شد. این روش شامل حذف به نوبت نمونه‌ها و برآورد مجدد آن‌ها با استفاده از تمامی نمونه‌ها و مدل برازش شده بر تغییرنگار تجربی می‌باشد. بنابراین با در دست داشتن دو دسته داده (داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های برآورد شده) می‌توان به ارزیابی مدل‌های تخمین پرداخت. آماره‌های مختلفی جهت آزمون

تجزیه مؤلفه اصلی و تحلیل عاملی به منظور کاهش حجم اطلاعات و پیدا کردن وابستگی‌های پنهان بین ویژگی‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار Statistica 10 استفاده شد. پس از شناسایی نوع وابستگی بین عنصرها، از روش مهم زمین آماری شامل کریجینگ ساده^۱، کوکریجینگ معمولی^۲، کوکریجینگ عام^۳ و کوکریجینگ ساده^۴ جهت تهیه نقشه‌های توزیع مکانی انواع فلزات سنگین در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 استفاده شد. همچنین به منظور بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها پیش از انجام محاسبه‌های زمین آماری، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۵ استفاده شد. لازم به ذکر است برای انجام روش‌های درون‌یابی و ترسیم نمودارهای واریوگرافی از نرم‌افزار GS+ استفاده گردید.

مبانی نظری روش‌های زمین آمار

الف) کریجینگ (Kriging)

کریجینگ اصطلاحی عمومی است که به طیف وسیعی از روش‌های آماری تخمین متغیرهای ناحیه‌ای اطلاق می‌گردد (۱۶). این روش یک تخمین گر خطی وزن‌دار است؛ به این معنی که این تخمین گر با اختصاص دادن اوزانی قراردادی به داده‌های مشاهداتی، اقدام به تخمین متغیر در سایر نقاط می‌کند. هدف اصلی کریجینگ، یافتن اوزان آماری مشاهدات و نمونه‌ها است؛ به گونه‌ای که علاوه بر نارایب بودن تخمین، واریانس تخمین نیز کمینه گردد. به همین دلیل، کریجینگ را گاهی اوقات تخمین گر آبی به معنای بهترین تخمین گر خطی نارایب می‌نامند (۴). از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ این است که به ازای هر تخمینی، خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بر اساس همین خاصیت، امکان تعیین موقعیت بهینه نمونه‌برداری‌های آتی وجود دارد. امروزه کریجینگ به‌طور گسترده در علوم مختلف نظیر مهندسی نفت، معدن‌کاوی، زمین‌شناسی، هواشناسی، هیدرولوژی،

1. Simple Kriging
2. Ordinary Co-Kriging
3. Universal Kriging
4. Simple Co-Kriging
5. Kolmogorov-Smirnov

یافته‌ها

تحلیل آمار توصیفی مقدار کل فلزات سنگین مورد بررسی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، مقدار فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از مقدار آن در خاک‌های عمقی‌تر بود و این نشان می‌دهد که اگرچه این فلزات با منبع طبیعی در محدوده مورد مطالعه وجود دارند، اما فعالیت‌های انسانی در افزایش مقدار آن‌ها در خاک‌های سطحی نقش دارند. در مقایسه میانگین مقدار فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نزدیک به کارخانه با ایستگاه شاهد که در فاصله ۱۰ کیلومتری قرار داشت، میانگین مقدار تمام فلزات سنگین به غیر از روی در محدوده نزدیک و تحت تأثیر کارخانه سیمان کردستان بیش‌تر از منطقه شاهد بود که افزایش مقدار این فلزات احتمالاً به دلیل تأثیر فعالیت کارخانه سیمان می‌باشد.

دقت برآورد (MAE) و خطای برآورد (MBE) مقادیر فلزات در نقاط مجهول استفاده می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها روش‌های زیر می‌باشد (۲۰، ۲۱) (معادله ۲، ۳ و ۴).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - z(x_i)) \right| \quad (۲)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - z(x_i)) \quad (۳)$$

(۴)

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n [(z(x_i) - Z)(z^*(x_i) - Z^*)]] / (n-1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (z(x_i) - Z)^2 / (n-1)} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - Z^*)^2 / (n-1)}}$$

در معادله فوق، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر در نقطه (x_i) مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه X_i و $Z(x_i)$ می‌باشد. بهترین مدل، مدلی است که MBE و MAE نزدیک به صفر و R^2 نزدیک یک باشد.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار مقدار کل فلزات سنگین (میلی‌گرم فلز سنگین / کیلوگرم خاک) در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری (۴۴ نمونه)

| Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Cd | Pb | As | عمق خاک |
|-------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|--------------|
| ۴۴/۴۵ | ۳۸۳/۹۸ | ۲۹۳۲/۰ | ۱۰/۲۷ | ۲۴/۳۲ | ۷۶/۸۲ | ۵۱/۴۰ | ۹/۳۵ | ۱۱۲/۷۰ | ۵۷/۳۰ | میانگین |
| ۱۱/۷۰ | ۱۱۵/۰۷ | ۶۴۰۴/۹ | ۲/۸۸ | ۴/۸۹ | ۳۱/۶۰ | ۱۰/۹۳ | ۱/۹۲ | ۲۲/۲۶ | ۱۰/۷۷ | انحراف معیار |
| ۳۹/۸۷ | ۳۳۷/۱۰ | ۲۴۷۶۳/۵ | ۹/۰۹ | ۲۲/۱۱ | ۶۷/۶۰ | ۴۴/۰۱ | ۸/۲۸ | ۹۵/۷۱ | ۵۳/۵۶ | میانگین |
| ۱۳/۰۴ | ۱۲۷/۷۳ | ۶۸۴۵/۱ | ۳/۰۸ | ۵/۴۵ | ۳۳/۰۱ | ۹/۷۲ | ۲/۲۴ | ۲۲/۸۱ | ۱۱/۵۷ | انحراف معیار |
| ۴۲/۱۶ | ۳۶۰/۵۴ | ۲۷۰۴۷/۸ | ۹/۶۸ | ۲۳/۲۲ | ۷۲/۲۱ | ۴۷/۷۰ | ۸/۸۱ | ۱۰۴/۲۰ | ۵۵/۴۳ | میانگین |
| ۱۲/۵۳ | ۱۲۳/۱۴۷ | ۶۹۷۹/۴ | ۳/۰۳ | ۵/۲۷ | ۳۲/۴۶ | ۱۰/۹۳ | ۲/۱۴ | ۲۳/۹۹ | ۱۱/۲۷ | انحراف معیار |
| ۳۰/۲۲ | ۱۸۸/۲۰ | ۱۶۳۲۱/۶۰ | ۶/۸۷ | ۱۵/۳۵ | ۴۵/۶۰ | ۴۵/۳۵ | ۶/۹۰ | ۷۸/۲۶ | ۴۲/۶۵ | میانگین |
| ۱/۱۱ | ۷/۵ | ۵۰/۷۹ | ۰/۲۶ | ۰/۴۴ | ۱/۳۰ | ۰/۷۵ | ۰/۵۰ | ۲/۳۱ | ۱/۵۲ | انحراف معیار |

بودند. با توجه به جدول ۲، وجود همبستگی بین فلزات سنگین در خاک تأیید می‌شود. برای تحلیل بردارهای ویژه می‌بایست وابستگی بین بردارهای ویژه و هر کدام از فلزات سنگین را نشان داد (جدول ۲). هر یک از ستون‌های این جدول همان فاکتورهای بار^۲ می‌باشند که وزن هر یک از متغیرها را در هر فاکتور نشان می‌دهند. هم‌چنین سهم هر یک از متغیرها را در مؤلفه‌های اصلی یا همان فاکتورها نشان می‌دهند.

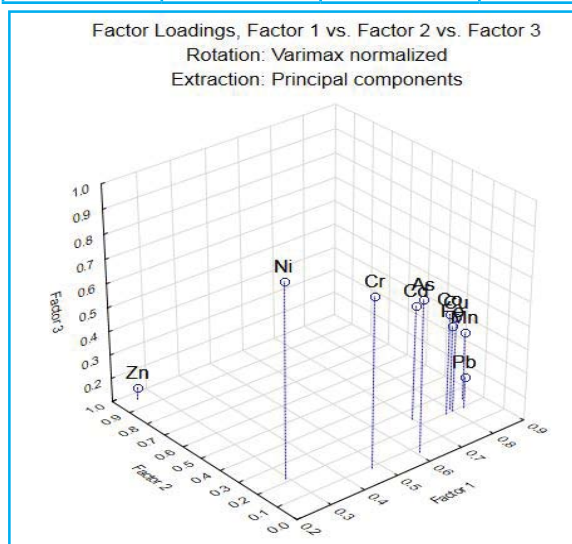
تجزیه مؤلفه‌های اصلی

هدف از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، پیدا کردن و توضیح ترکیب‌های پیچیده یا همان وابستگی‌های نهان بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده است. شکل ۳ نمودار شیب^۱ مقدارهای ویژه به همراه واریانس مربوط به این داده‌ها را نشان می‌دهد. ۷۶/۷۱ درصد اطلاعات در گروه نخست قرار داشتند و بقیه (حدود ۲۳/۲۹ درصد) در گروه‌های دیگر پراکنده

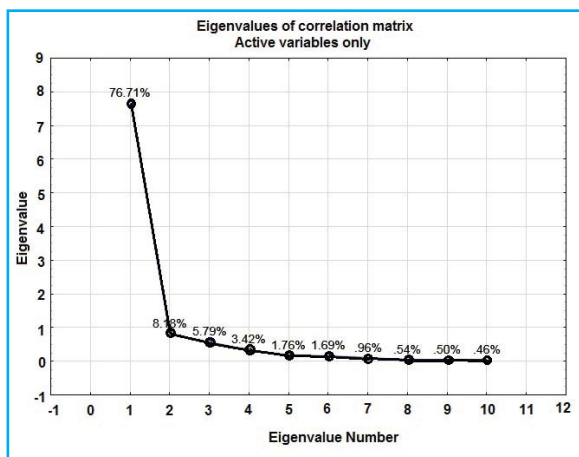
بیش تری داشتند. نتایج تحلیل فاکتوری ثابت می کند که فعالیت های انسانی در تغییرات غلظت فلزات نیکل، کروم و آرسنیک و عامل های طبیعی بر غلظت روی تأکید دارند. هم چنین فلزات کادمیوم، کبالت، مس، آهن، منگنز و سرب نیز به طور مشترک دارای منبع انسانی و زمین شناختی هستند.

جدول ۳. ماتریس بار^۱ به دست آمده به روش وریمکس برای فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

| Factor loadings (Varimax normalized); Extraction method PCA | | | متغیر |
|---|----------|----------|-----------|
| فاکتور ۳ | فاکتور ۲ | فاکتور ۱ | |
| ۰/۸۰۴۰۸۳ | ۰/۰۸۸۰۴۱ | ۰/۴۷۵۷۷ | Cr |
| ۰/۳۸۸۸۴۶ | ۰/۲۳۸۵۷۰ | ۰/۸۵۶۱۰۰ | Mn |
| ۰/۴۵۶۶۰۴ | ۰/۲۱۶۲۸۳ | ۰/۸۰۰۵۲۲ | Fe |
| ۰/۵۲۵۰۲۴ | ۰/۱۹۳۸۹۹ | ۰/۷۷۶۰۵۳ | Co |
| ۰/۹۰۰۳۳۱ | ۰/۲۱۵۱۸۲ | ۰/۲۹۰۴۰۶ | Ni |
| ۰/۵۰۱۲۱۵ | ۰/۱۹۶۶۵۱ | ۰/۷۹۷۸۹۱ | Cu |
| ۰/۱۴۹۹۹۶ | ۰/۹۵۴۸۶۰ | ۰/۲۵۱۶۵۳ | Zn |
| ۰/۵۸۴۰۲۸ | ۰/۲۴۱۰۹۶ | ۰/۶۹۵۶۶۱ | Cd |
| ۰/۲۳۵۱۷۸ | ۰/۱۹۲۴۵۳ | ۰/۸۲۸۰۵۵ | Pb |
| ۰/۷۲۹۸۵۵ | ۰/۰۶۶۰۷۷ | ۰/۶۰۸۵۶۱ | As |
| ۳/۲۹۵۲۸۶ | ۱/۲۴۵۳۰۸ | ۴/۵۲۶۶۲۵ | Expl. Var |
| ۰/۳۲۹۵۲۹ | ۰/۱۲۴۵۳۱ | ۰/۴۵۲۶۶۲ | Prop. Tor |



شکل ۴. تصویر هریک از متغیرها با توجه به فاکتورهای به دست آمده در اندازه گیری فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه به روش تحلیل فاکتوری



شکل ۳. نمودار شیب مربوط به مقادیر ویژه غلظت فلزات سنگین در خاک

جدول ۲. فاکتورهای استخراجی مربوط به فلزات سنگین در خاک

| متغیر | فاکتور | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | فاکتور ۴ | فاکتور ۳ | فاکتور ۲ | فاکتور ۱ |
| Cr | ۰/۱۷۱۹۴۱ | -۰/۲۳۰۲۰۴ | -۰/۲۶۳۹۹ | -۰/۸۷۰۶۱۸ |
| Mn | -۰/۰۸۲۳۷۷ | ۰/۲۲۳۵۶۴ | ۰/۰۹۵۳۴۴ | -۰/۹۳۹۱۲۳ |
| Fe | -۰/۰۳۰۶۰۶ | ۰/۱۵۲۸۸۷ | ۰/۰۳۹۲۳۲ | -۰/۹۳۳۳۷۴ |
| Co | -۰/۱۵۵۸۷۵ | ۰/۱۰۲۳۹۲ | -۰/۰۱۴۷۴۱ | -۰/۹۵۱۲۱۲ |
| Ni | ۰/۱۲۷۴۵۴ | -۰/۴۶۴۸۶۲ | -۰/۲۱۳۰۳۶ | -۰/۸۲۴۴۷۲ |
| Cu | -۰/۱۳۵۴۳۹ | ۰/۱۳۰۷۹۸ | ۰/۰۰۰۷۰۷ | -۰/۹۵۳۶۳۰ |
| Zn | -۰/۰۰۰۳۲۳ | -۰/۳۱۳۰۱۳ | ۰/۷۸۷۴۹۳ | -۰/۵۲۸۶۴۴ |
| Cd | -۰/۱۷۰۶۶۸ | -۰/۰۰۷۱۱۱ | -۰/۰۰۷۷۶۷ | -۰/۹۳۹۷۰۷ |
| Pb | ۰/۴۵۶۷۵۹ | ۰/۳۲۰۹۱۱ | ۰/۱۲۵۲۱۹ | -۰/۸۱۲۰۰۹ |
| As | -۰/۰۸۹۰۲۲ | -۰/۰۸۶۵۸۸ | -۰/۲۳۷۳۶۶ | -۰/۹۱۸۴۵۶ |
| Expl. Var | ۰/۳۴۱۸۵۴ | ۰/۵۷۸۵۴۷ | ۰/۸۱۸۱۵۵ | ۷/۶۷۰۵۱۶ |

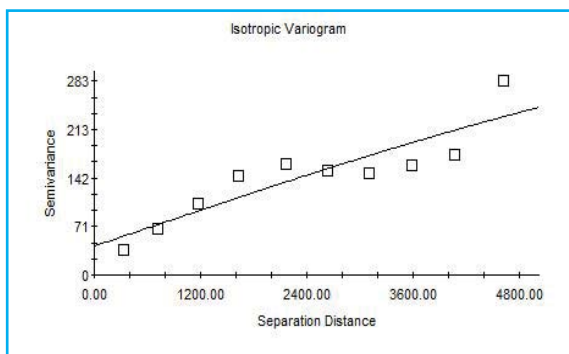
تحلیل فاکتوری (عاملی)

در این بخش، از تحلیل فاکتوری برای دسته بندی داده های به دست آمده برای فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه استفاده شد. از نتیجه تحلیل فاکتوری می توان پیشنهاد کرد که یون های فلزی که در یک گروه قرار دارند، دارای منبع یکسان هستند. جدول ۳ ماتریس (فاکتورهای) بار و شکل ۴ مقادیرهای بار را برای هریک از متغیرهای حاصل از روش وریمکس نرمال شده نشان می دهد. این داده ها نشان می دهند که ۱۰ فلز سنگین اندازه گیری شده در سه گروه فاکتوری خلاصه می شوند. بیشترین سهم از فاکتور یک را یون های کادمیوم، کبالت، مس، آهن، منگنز و سرب داشتند، در فاکتور دوم بیشترین وزن را یون روی و در فاکتور سوم آرسنیک، نیکل و کروم سهم

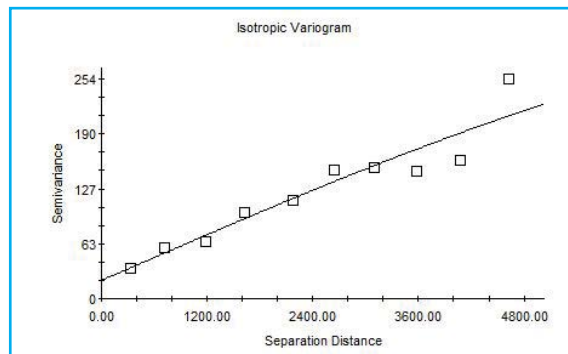
(شکل ۶) به عنوان مدل بهینه استخراج شده توسط نرم‌افزار +GS را نشان می‌دهد. مقایسه این تغییرنگارها حاکی از یکسان بودن محدوده دامنه تأثیر و آستانه در تمامی جهت‌ها بود. در این نمودارها ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نشد و تغییرنگار مورد بررسی در حالت همه جهته (همسانگرد) بررسی شد. نتایج آنالیز تغییرنگار برای هر کدام از این مدل‌ها و مشخصات آن‌ها و برازش مدل بهینه با استفاده از این تغییرنگارها در حالت همسانگرد در جدول ۴ و ۵ آورده شده است. پس از شناسایی مدل‌های بهینه با کمک تغییرنگارها، به ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین اقدام گردید. شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب نقشه هم غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی ۰-۱۵ cm و ۱۵-۳۰ cm را نشان می‌دهد.

تحلیل واریوگرافی

یکی از هدف‌های اصلی زمین آمار، ارائه مدلی مناسب برای توصیف متغیر ناحیه‌ای، با در نظر گرفتن مؤلفه‌های تغییرپذیری ساختاری و تصادفی می‌باشد. به منظور بررسی ساختار تغییرات مکانی فلزات سنگین خاک منطقه مورد مطالعه، از تغییرنگار تجربی برای روش‌های کریجینگ ساده، کوکریجینگ معمولی، کوکریجینگ ساده و کوکریجینگ عام و با برازش مدل‌های کروی^۱، نمایی^۲، گوسی^۳ و دایره‌ای^۴ استفاده شد. به دلیل تعداد زیاد تغییرنگارهای مذکور، فقط به دو مورد از آن‌ها اشاره شده است. شکل ۵ و ۶ تغییرنگارهای مدل‌های مناسب برای دو فلز کروم و آرسنیک مربوط به دو عمق ۰-۱۵ cm (شکل ۵) و ۱۵-۳۰ cm

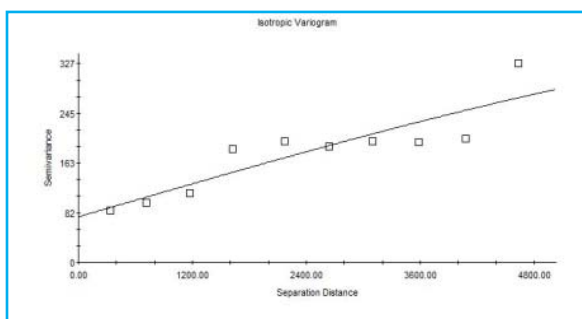


(Cr)

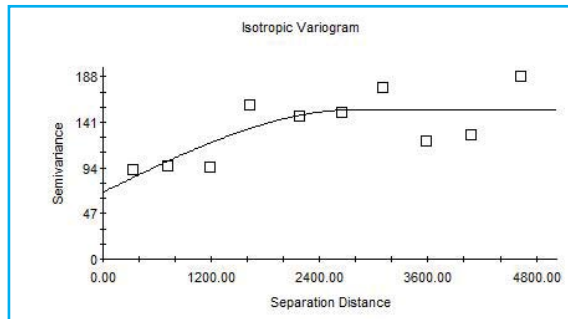


(As)

شکل ۵. تغییرنگار تجربی در عمق ۰-۱۵ cm برای دو فلز آرسنیک و کروم



(Cr)



(As)

شکل ۶. تغییرنگار تجربی در عمق ۱۵-۳۰ cm برای دو فلز آرسنیک و کروم

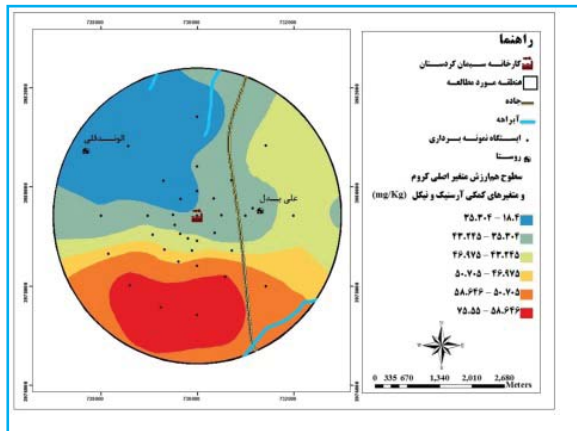
1. Spherical model
2. Exponential model
3. Gaussian Model
4. Circular Model

جدول ۴. پارامترهای تجربی و مدل برازش داده شده بر تغییرنگارهای تجربی مقادیر فلزات سنگین در عمق ۱۵ cm -۱

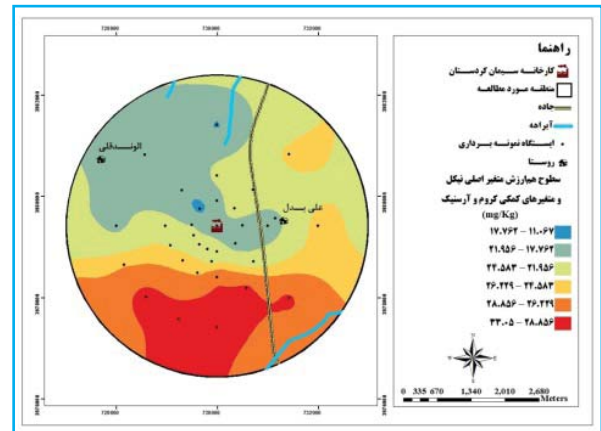
| عنصر | مدل مناسب | MAE | MBE | R ² | دامنه تأثیر (متر) | سقف (C+C ₀) | اثر قطعه‌ای (C ₀) | همبستگی مکانی (C+C ₀)/C ₀ | کلاس همبستگی مکانی |
|------|-------------------------------------|---------|--------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|--|--------------------|
| Zn | الگوی کروی در مدل کریجینگ ساده | ۰/۰۸۰۹ | -۰/۴۷ | ۶/۹۷ | ۳۱۶۷ | ۱۴۱/۵ | ۲۰/۷ | ۰/۸۵ | ضعیف |
| Co | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ عام | ۰/۸۵ | -۰/۰۱ | ۰/۸۶۲۲ | ۴۶۶۵/۳۰ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۸ | قوی |
| Cd | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۰/۶۱ | -۰/۰۲ | ۰/۸۴۷۷ | ۲۲۶۱/۷۷ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۰ | ۰/۸ | قوی |
| Ni | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۱/۹ | -۰/۱۶ | ۰/۷۸۷۹ | ۲۱۶۰/۶۰ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۳۱ | ۱/۱ | ضعیف |
| Fe | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۲۳۸۹/۵۳ | ۲۰۰/۹۹ | ۰/۸۰۳۹ | ۲۲۶۱/۷۷ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۴۰ | ۱/۷ | ضعیف |
| Mn | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۵۶/۳۱ | ۳/۴ | ۰/۶۵۳۳ | ۲۸۷۶/۹۷ | ۰/۰۳۱ | ۰/۰۷۷ | ۲/۴ | ضعیف |
| Cu | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۸/۰۷ | ۱/۵۵ | ۰/۸۹۳۱ | ۲۲۶۱/۷۷ | ۰/۰۹۶ | ۰/۰۹ | ۰/۹۳ | ضعیف |
| As | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ معمولی | ۳/۶۵ | -۰/۱۳ | ۰/۷۵۸۶ | ۲۵۷۸/۷۸ | ۰/۰۴۶ | . | . | قوی |
| Pb | الگوی دایره‌ای در مدل کوکریجینگ عام | ۹/۴۱ | ۰/۱ | ۰/۶۵۴۵ | ۴۷۰۳/۹۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۲۲ | ۰/۱۶ | قوی |
| Cr | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ معمولی | ۳/۷۶ | -۰/۳۹ | ۰/۸۰۵۶ | ۲۵۲۳/۸۷ | ۰/۰۹۴ | . | . | قوی |

جدول ۵. پارامترهای تجربی و مدل برازش داده شده بر تغییرنگارهای تجربی مقادیر فلزات سنگین در عمق ۳۰-۱۵ cm

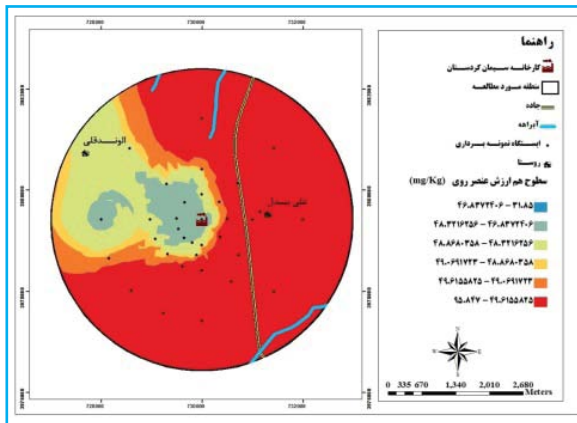
| عنصر | مدل مناسب | MAE | MBE | R ² | دامنه تأثیر (متر) | سقف (C+C ₀) | اثر قطعه‌ای (C ₀) | همبستگی مکانی (C+C ₀)/C ₀ | کلاس همبستگی مکانی |
|------|-------------------------------------|--------|--------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|--|--------------------|
| Zn | الگوی کروی در مدل کریجینگ ساده | ۰/۰۹۲۱ | -۰/۰۵ | ۷/۶۵ | ۷۳۶/۸۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۴۲ | ۲/۳ | ضعیف |
| Co | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۱/۰۵ | ۰/۰۸ | ۰/۸۷۹۸ | ۱۹۲۸/۷۸ | ۰/۰۵۴ | ۰/۰۶۰ | ۱/۱ | ضعیف |
| Cd | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۰/۶۱ | -۰/۰۲ | ۰/۸۴۷۷ | ۱۹۲۸/۷۸ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۵۰ | ۱/۳ | ضعیف |
| Ni | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ معمولی | ۲/۰۹ | ۰/۲۷ | ۰/۷۶۲۸ | ۱۹۹۱/۶۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۳۹ | ۰/۹۲ | ضعیف |
| As | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ معمولی | ۴/۰۳ | ۰/۰۶ | ۰/۸۳۱۱ | ۱۹۹۱/۶۲ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۶۳ | متوسط |
| Fe | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۷/۵۱ | ۲۲۴/۶۷ | ۰/۷۲۸ | ۱۹۲۸/۷۸ | ۰/۰۳ | ۰/۰۶۲ | ۲/۰۶ | ضعیف |
| Mn | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۶۷/۰۴ | ۱/۶۲ | ۰/۷۳۴۴ | ۲۳۸۸/۴۸ | ۰/۰۵۱ | ۰/۰۹۶ | ۱/۸ | ضعیف |
| Cu | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۷/۵۱ | ۱/۲ | ۰/۹۲۸۶ | ۱۹۲۸/۷۸ | ۰/۱۵۲ | ۰/۰۷۵ | ۰/۶ | متوسط |
| Pb | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ معمولی | ۱۱/۵۲ | -۰/۰۲ | ۰/۶۶۲۷ | ۲۳۸۸/۴۸ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۴۰ | ۱/۸ | ضعیف |
| Cr | الگوی نمایی در مدل کوکریجینگ ساده | ۴/۷۷ | ۰/۵۳ | ۰/۸۰۶۶ | ۱۸۴۲/۸۵ | ۰/۰۶۸ | ۰/۰۷۲ | ۱/۰۵ | ضعیف |



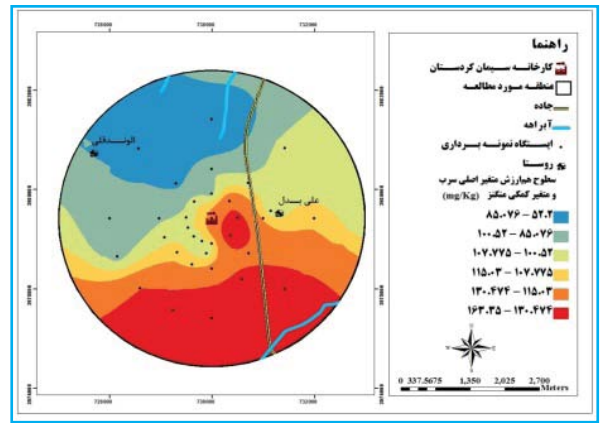
(Cr)



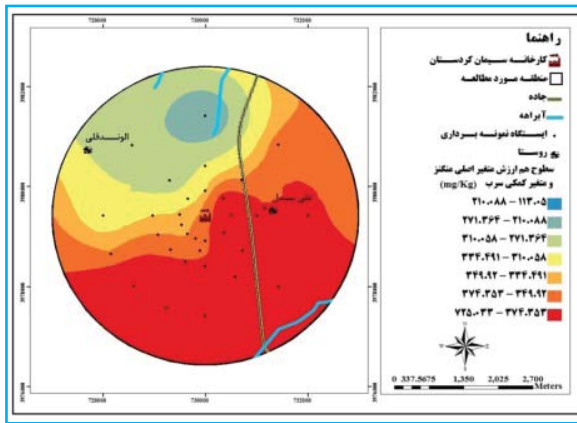
(Ni)



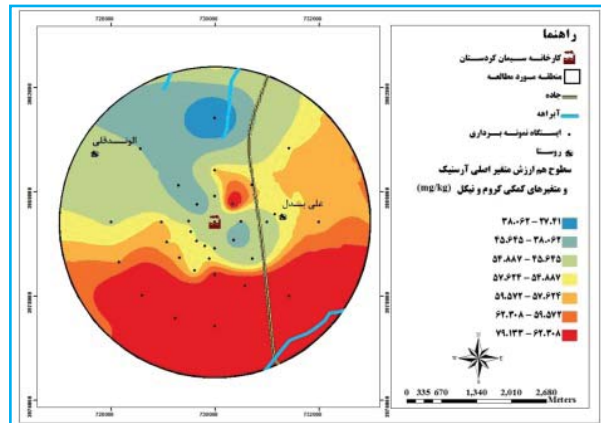
(Zn)



(Pb)

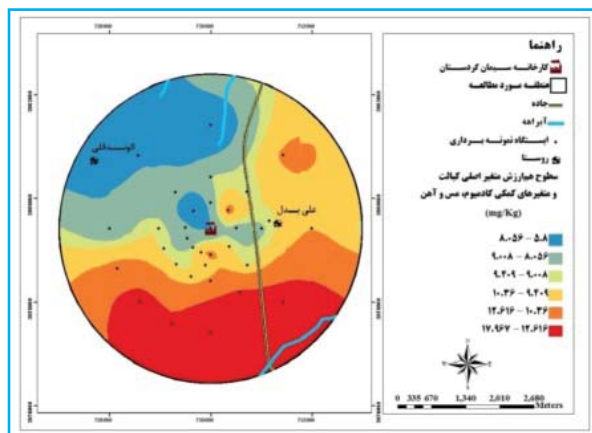


(Mn)

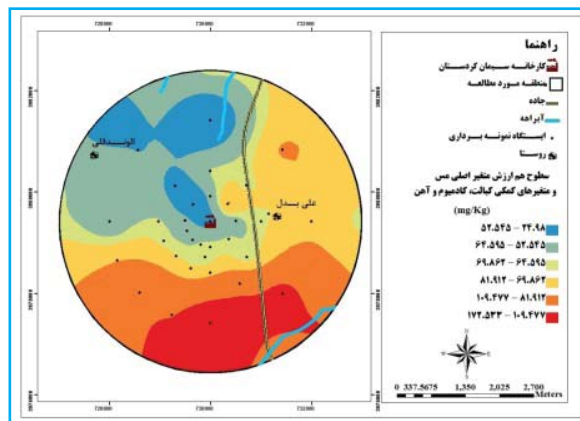


(As)

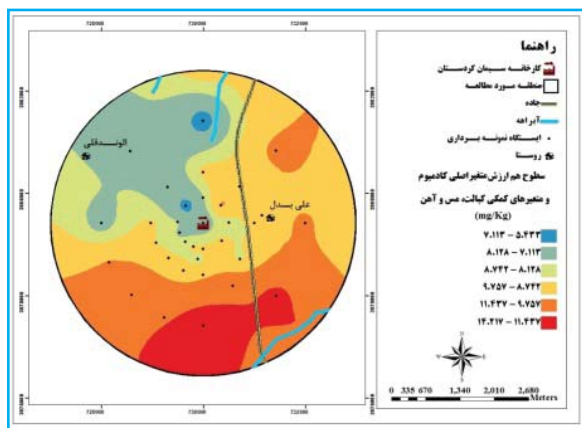
شکل ۷. نقشه هم غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۰-۱۵ cm)



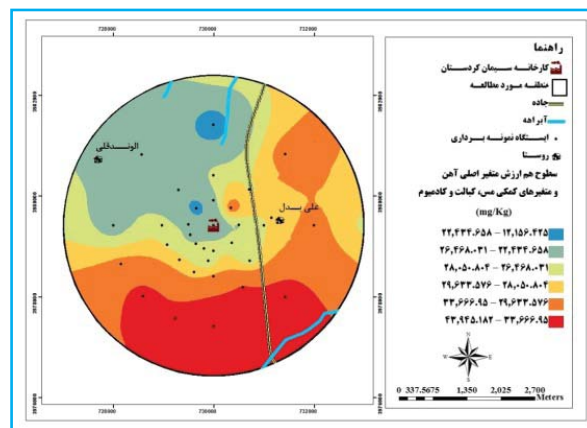
(Co)



(Cu)

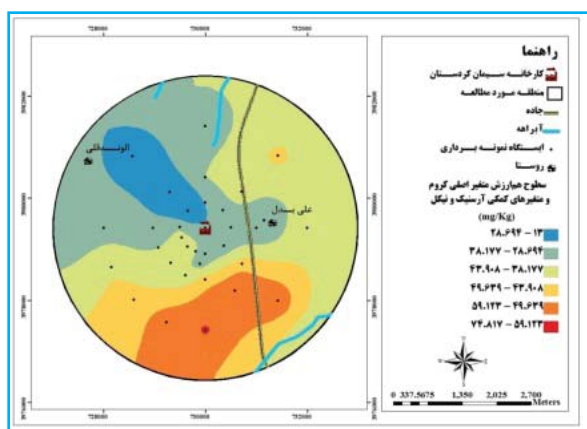


(Cd)

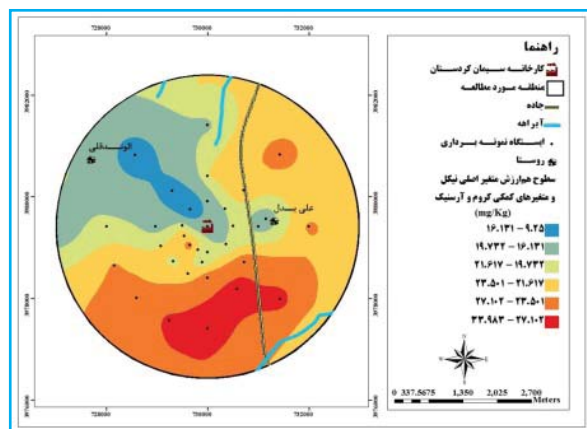


(Fe)

ادامه شکل ۷. نقشه هم غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۰-۱۵ cm)

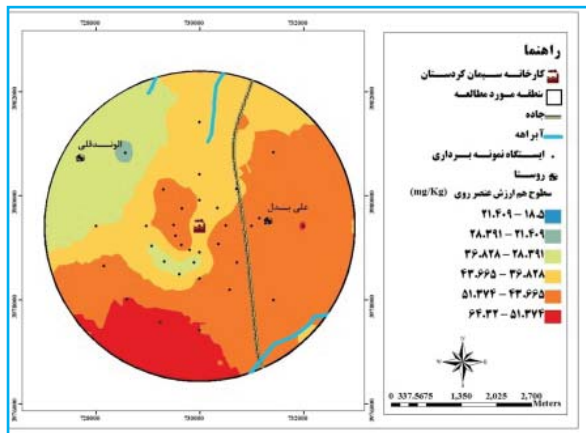


(Cr)

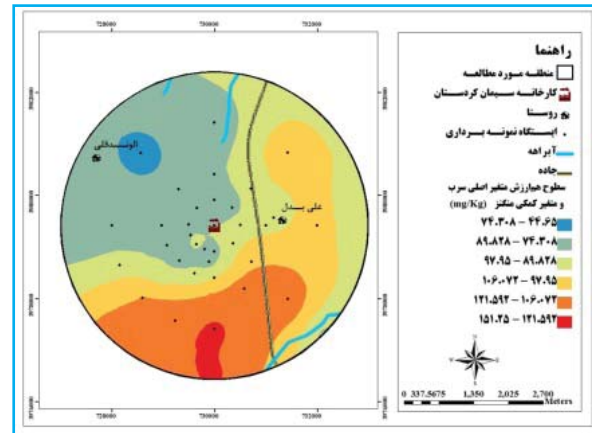


(Ni)

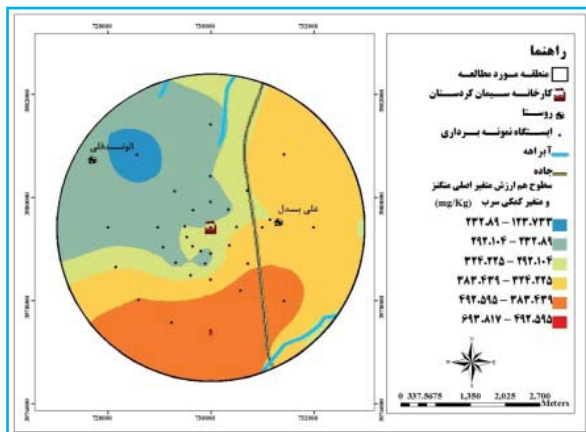
شکل ۸. نقشه هم غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۱۵-۳۰ cm)



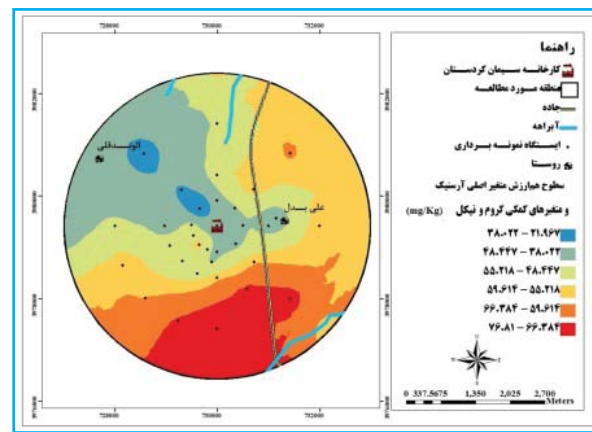
(Zn)



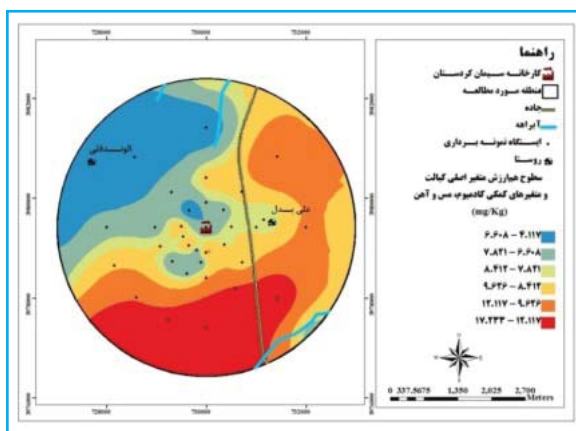
(Pb)



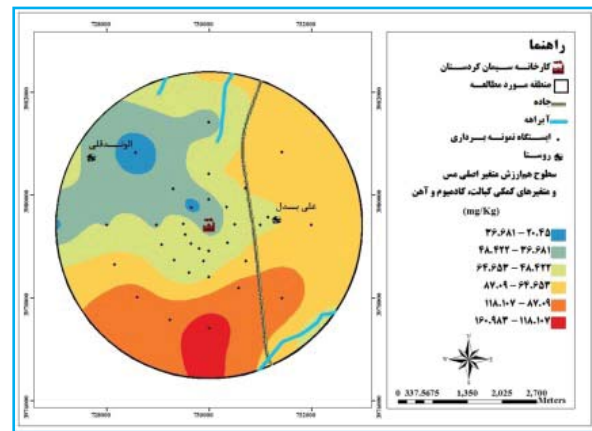
(Mn)



(As)

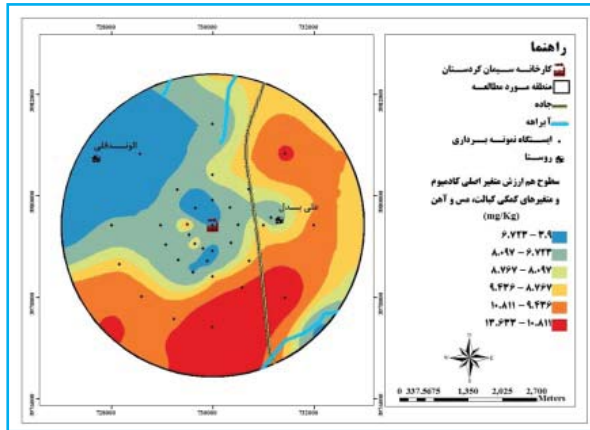


(Co)

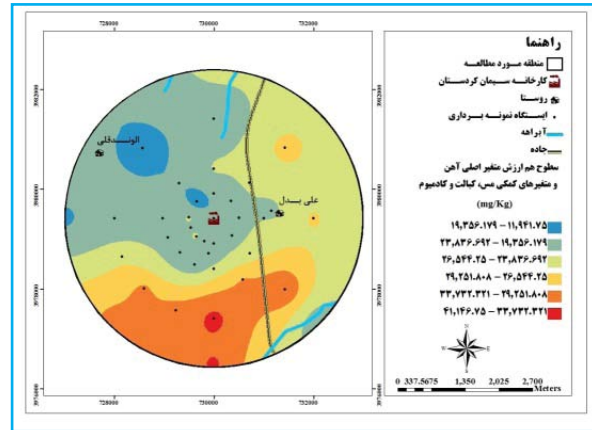


(Cu)

ادامه شکل ۸. نقشه هم غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۱۵-۳۰ cm)

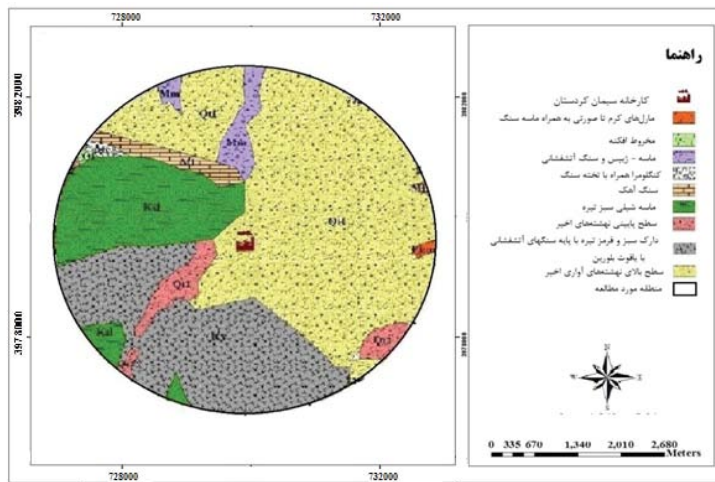


(Cd)



(Fe)

ادامه شکل ۸. نقشه هم غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۱۵-۳۰ cm)



شکل ۹. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بحث

این‌که فلز کروم، شاخص آلودگی آجرهای نسوز استفاده شده در کوره در کارخانه سیمان می‌باشد، می‌توان گفت که این گروه از فلزات سنگین اندازه‌گیری شده به دلیل فعالیت کارخانه سیمان در محیط پخش شده‌اند. منبع احتمالی پراکنش یون‌های منگنز، سرب، آهن، مس، کبالت و کادمیوم نیز می‌تواند منبعی مختلط از زمین شیمی و فعالیت کارخانه سیمان باشد؛ چراکه در این گروه فلز آهن که از فلزات مهم تشکیل دهنده پوسته زمین می‌باشد نیز قرار دارد. بر اساس نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های انسانی و زمین‌شناختی در پخش فلزات

بر اساس نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی، بیش‌ترین سهم از فاکتور یک را یون‌های کادمیوم، کبالت، مس، آهن، منگنز و سرب داشتند. قرار گرفتن فلز روی در یک فاکتور متفاوت، پراکنش این یون در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که این فلز به دلیل وجود منبعی متفاوت از کارخانه در خاک پخش شده است، یعنی منبع تولید روی در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان کردستان به دلیل زمین شیمی منطقه است. آرسنیک، نیکل و کروم سهم بیش‌تری در تشکیل فاکتور سوم داشتند. با توجه به

سنگین مؤثر می‌باشند (۲۲). نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به آستانه یا واریانس کل $(C+C_0/C_0)$ ، شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد که بر اساس توضیحات داده شده، به سه دسته قوی، متوسط و ضعیف دسته‌بندی می‌شوند. به‌طور معمول همبستگی مکانی قوی به فاکتورهای ذاتی و همبستگی مکانی ضعیف به تأثیر فاکتورهای بیرونی نسبت داده می‌شود. بنابراین با مطالعه ساختار مکانی داده‌ها می‌توان عوامل کنترل کننده یا منشأ تغییرپذیری آن‌ها را تعیین کرد. بر اساس جداول ۴ و ۵، در تغییرنگارهای محاسبه شده برای مقدار فلزات سنگین خاک در منطقه مورد مطالعه برای هر کدام از مدل‌ها، این نسبت متفاوت بود. در برآزش مدل‌ها بر روی روش‌های کوکریجینگ با متغیرهای کمکی سایر فلزات سنگین در هر فاکتور، متوسط اثر قطعه‌ای به آستانه بیش‌تر از ۷۵ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده وابستگی ضعیف مکانی در محدوده دامنه تأثیر است. درجه وابستگی مکانی ضعیف بدان معناست که غیر از عوامل درون‌زاد یعنی خصوصیات ذاتی خود متغیر، عوامل بیرونی نیز بر تغییرپذیری این فلزات اثر گذاشته‌اند. وجود همبستگی قوی در این نتایج، در زمان استفاده از روش کوکریجینگ (معمولی، ساده و عام) و با کمک متغیرهای ثانویه قابل مشاهده است. با بررسی ضریب تبیین هر کدام از مدل‌ها به خوبی می‌توان به درستی محاسبه درجات همبستگی مکانی بین داده‌ها پی برد؛ به‌طوری‌که وجود همبستگی مکانی قوی در بین مشاهدات، خود را در نتایج نهایی مدل یعنی ضریب تبیین هر کدام از مدل‌ها که حاکی از رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های پیش‌بینی شده است، نشان داده است (جداول ۴ و ۵). نتایج پهنه‌بندی فلزات سنگین در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است. بر اساس این شکل‌ها مشخص می‌شود که تمامی فلزات سنگین بررسی شده در این پژوهش، در قسمت جنوبی این منطقه بیش‌ترین تمرکز را داشته و از زمین‌شناسی و سنگ‌های آتشفشانی بازالتی هستند، تبعیت می‌کنند. مطالعه دادستان و مهرزاد (۲۰۱۲) در مجاورت منطقه مورد مطالعه نیز منبع طبیعی این فلزها را تأیید می‌کند (۲۴).

نتایج این مطالعه و مطالعات دیگر نظیر عظیم‌زاده و خادمی (۲۰۱۳)، چرخ آبی و همکاران (۲۰۱۲) و میرزایی و سیفی (۲۰۱۶) مؤید این است که روش کریجینگ و کوکریجینگ از خطای کمتر و دقت بالاتری برای پهنه‌بندی فلزات سنگین برخوردارند (۱۱، ۱۳، ۲۳). پهنه‌بندی فلزات سنگین در منطقه نشان می‌دهد که تمامی فلزات بررسی شده در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین تمرکز را داشته و از زمین‌شناسی و سنگ‌های تشکیل دهنده جنوب منطقه مورد مطالعه که از نوع سنگ‌های آتشفشانی بازالتی هستند، تبعیت می‌کنند. مطالعه دادستان و مهرزاد (۲۰۱۲) در مجاورت منطقه مورد مطالعه نیز منبع طبیعی این فلزها را تأیید می‌کند (۲۴). نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش و روند افزایشی فلزها در هر دو سطح نشان می‌دهد که منبع بسیاری از فلزات سنگین مورد

سنگین مؤثر می‌باشند (۲۲). نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به آستانه یا واریانس کل $(C+C_0/C_0)$ ، شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد که بر اساس توضیحات داده شده، به سه دسته قوی، متوسط و ضعیف دسته‌بندی می‌شوند. به‌طور معمول همبستگی مکانی قوی به فاکتورهای ذاتی و همبستگی مکانی ضعیف به تأثیر فاکتورهای بیرونی نسبت داده می‌شود. بنابراین با مطالعه ساختار مکانی داده‌ها می‌توان عوامل کنترل کننده یا منشأ تغییرپذیری آن‌ها را تعیین کرد. بر اساس جداول ۴ و ۵، در تغییرنگارهای محاسبه شده برای مقدار فلزات سنگین خاک در منطقه مورد مطالعه برای هر کدام از مدل‌ها، این نسبت متفاوت بود. در برآزش مدل‌ها بر روی روش‌های کوکریجینگ با متغیرهای کمکی سایر فلزات سنگین در هر فاکتور، متوسط اثر قطعه‌ای به آستانه بیش‌تر از ۷۵ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده وابستگی ضعیف مکانی در محدوده دامنه تأثیر است. درجه وابستگی مکانی ضعیف بدان معناست که غیر از عوامل درون‌زاد یعنی خصوصیات ذاتی خود متغیر، عوامل بیرونی نیز بر تغییرپذیری این فلزات اثر گذاشته‌اند. وجود همبستگی قوی در این نتایج، در زمان استفاده از روش کوکریجینگ (معمولی، ساده و عام) و با کمک متغیرهای ثانویه قابل مشاهده است. با بررسی ضریب تبیین هر کدام از مدل‌ها به خوبی می‌توان به درستی محاسبه درجات همبستگی مکانی بین داده‌ها پی برد؛ به‌طوری‌که وجود همبستگی مکانی قوی در بین مشاهدات، خود را در نتایج نهایی مدل یعنی ضریب تبیین هر کدام از مدل‌ها که حاکی از رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های پیش‌بینی شده است، نشان داده است (جداول ۴ و ۵). نتایج پهنه‌بندی فلزات سنگین در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است. بر اساس این شکل‌ها مشخص می‌شود که تمامی فلزات سنگین بررسی شده در این پژوهش، در قسمت جنوبی این منطقه بیش‌ترین تمرکز را داشته و از زمین‌شناسی و سنگ‌های آتشفشانی بازالتی هستند، تبعیت می‌کنند. دادستان و مهرزاد

در کارخانه سیمان کردستان نشان داد که نتایج تحلیل فاکتوری همانند تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر تأثیر فعالیت انسانی در تغییرات مقدار فلزهای نیکل، کروم و آرسنیک و عامل‌های طبیعی بر غلظت روی تأکید دارد. همچنین فلزهای کادمیوم، کبالت، مس، آهن، منگنز و سرب نیز به طور مشترک دارای منبع انسانی و زمین‌شناختی است. تحلیل واریوگرافی روش‌های مختلف زمین‌آماري نشان داد فلزات سنگین از الگوی توزیع مکانی مشخصی برخوردار می‌باشد. همچنین پیوستگی مکانی در منطقه مورد مطالعه برای روش‌های کریجینگ ساده و کوکریجینگ در سه درجه قوی متوسط و ضعیف تشخیص داده شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهش و فناوری و همکاران محترم آزمایشگاه تحقیقاتی علوم محیط زیست دانشگاه زنجان به خاطر همکاری در انجام این پژوهش سپاس‌گذاری می‌نمایند.

References

1. Abbasi, J. and M. Salari. Environmental pollution of cement factories. the 5th Mining Engineering Conference. 2008; 1-10. (Persian)
2. Yazdaninejhad F, Torabi H, Davatgar N. Mapping of Available Fe, Zn, Cu and Mn in Soils of Southern Tehran Lands by Geostatistical and GIS Techniques. Iranian Journal of Soil and Water Research. 2014;44(4):383-95. (Persian)
3. Hasani Pak A. Geostatics. University of Tehran Press, Tehran. 1998. (Persian)
4. Mohammdai J. Pedometeri,. Pelk Publication. 2007. (Persian)
5. Hajrasuliha S. Accumulation and toxicity of chloride in bean plants. Plant and Soil. 1980;55(1):133-8. (Persian)
6. Robinson T, Metternicht G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and electronics in agriculture. 2006;50(2):97-108.
7. Gu Y-G, Wang Z-H, Lu S-H, Jiang S-J, Mu D-H, Shu Y-H. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. Environmental pollution. 2012;163:248-55.
8. Li X, Feng L. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest

مطالعه، طبیعی و زمین‌شیمیایی بوده، اما منابع آلاینده انسانی نیز در افزایش مقدار فلزات سنگین سرب، آهن، کادمیوم، روی، نیکل، کبالت و منگنز مؤثر بوده است. مقایسه مقدار میانگین فلزات سنگین در خاک‌های سطحی محدوده مورد مطالعه اطراف کارخانه سیمان کردستان با مقدارهای میانگین آن در پوسته نشان می‌دهد که مقدار کادمیوم (۴۷ برابر)، آرسنیک (۳۲ برابر)، سرب (۹ برابر) و مس (۱/۴ برابر) بیش‌تر از مقدار میانگین پوسته زمین می‌باشد. مقایسه مقدار فلزات سنگین در خاک‌های عمقی محدوده مورد مطالعه کارخانه سیمان کردستان با مقدارهای میانگین آن در پوسته نیز نشان داد که مقدار غلظت مس (۱/۲ برابر)، سرب (۷/۴ برابر)، آرسنیک (۲۹/۷ برابر) و کادمیوم (۴۱/۴ برابر) نسبت به میانگین این عناصرها در پوسته زمین بیش‌تر است. مقدار فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از خاک‌های عمقی است، بنابراین احتمال غنی‌شدگی خاک توسط فعالیت‌های انسانی وجود دارد. آزمون‌های آمار چند متغیره برای تحلیل داده‌ها

- of China. Atmospheric Environment. 2012;47:58-65.
9. Gu YG, Li QS, Fang JH, He BY, Fu HB, Tong ZJ. Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the pearl river estuary in China using a multivariate geostatistical approach. Ecotoxicology and environmental safety. 2014;105:7-12.
10. Zhao K, Fu W, Ye Z, Zhang C. 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, 2015 Jan 28;12(2):1577-94.
11. Azimzadeh B, khademi H. Zoning lead concentration in surface soils of Mazandaran province using experimental data and satellite. The 6th National Conference of Environmental Engineering, 2013 Nov 17-21, Tehran University, Faculty of Environment. (Persian)
12. Behnam V, gholamalizade ahanger A, Bameri A. Assessment of Geostatistical methods for estimating the soil salinity, (Case study: Zabol to Zahedan route), Second National Conference on agricultural sustainable development and healthy environment, 2013 Sep. 12, Hamandishan Zist Farda Company, Hamadan. (Persian)
13. Charkhabi A, Rahimi G, Maroufi S, Mousavi F. Survey of spatial distribution of Pb and soil salinity in paddy fields in Esfahan, the 6th National Conference of Environmental Engineering, 2012 Nov. 17-21, Tehran, Tehran University,

- Faculty of Environment. (Persian)
14. Azarbeyg T. Mapping lead and cadmium contamination using geostatistics technology (Case study: part of Sirjan Plain), The first national conference on sustainable management of soil resources and environment, 2014 Sep 10-11, Shahid Bahonar University of Kerman. (Persian)
 15. Zamani A, Yaftian MR, Parizanganeh A, Statistical evaluation of topsoil heavy metal pollution around a lead and zinc production plant in Zanjan province, Iran. *Caspian J. Env. Sci.* 2015;13(4):349-61.
 16. Madani H. Principles of Geostatistics 1999, University of Amirkabr press. (in Persian). (Persian)
 17. Webster R, Oliver MA. Characterizing spatial processes: the covariance and variogram. *Geostatistics for Environmental Scientists*, Second Edition. 2007:47-76.
 18. Deutsch C, Lewis R, editors. Advances in the practical implementation of indicator geostatistics. Proceedings of the 23rd APCOM symposium, Tucson, AZ, April; 1992
 19. Asakereh H. Spatial Modeling of Annual Precipitation in Iran. *Geography and Development.* 2013;10(29):15-30. (Persian)
 20. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, de Moraes Gonçalves JL. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and applied climatology.* 2013 Aug 1;113(3-4):407-27.
 21. Chappell A, Renzullo LJ, Raupach TH, Haylock M. Evaluating geostatistical methods of blending satellite and gauge data to estimate near real-time daily rainfall for Australia. *Journal of hydrology.* 2013;493:105-14.
 22. Sekabira K, Oryem Origa H, Basamba T A, Mutumba G, Kakudidi E, Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediment and its tributaries, *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2010; 7 (3): 435-446.
 23. Mirzaei R and Y Seifi. Comparison of Spatial Interpolation Methods to Map Heavy Metals Concentrations in Surface Soil of Aran-O-Bidgol City. *Journal of Environmental Science and Technology Available Online from 15 May 2016.* (Persian).
 24. Dadsetan A, Mehrzad, J, Determination of Origin and metal contamination indices of soil and water resources and its effects on the immune system of animals, South of Bijar, Kurdistan, 30th symposium of Geo Sciences, 2012. (Persian)