

الگوی پراکنش مکانی برخی فلزات سنگین (Cu, Zn, Pb, Co, Cr, Ni, Mn, Fe) و (Cd) در اراضی مرکزی استان زنجان

علی افشاری*^۱

a.afshari66@yahoo.com

حسین خادمی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۷

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین از مهم‌ترین عوامل آلوده‌کننده محیط زیست به ویژه در مناطق با فعالیت‌های انسانی بالا می‌باشند. هدف از این مطالعه، تعیین الگوی پراکنش فلزات سنگین (Cu, Zn, Pb, Co, Cr, Ni, Mn, Fe) و Cd بر اساس روش کریجینگ معمولی در خاک‌های مرکزی استان زنجان است.

روش بررسی: در مطالعه حاضر در منطقه‌ای به وسعت ۲۰۰۰ کیلومتر مربع تعداد ۲۴۱ نمونه مرکب بر اساس روش شبکه‌بندی تصادفی (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) برداشت شد. به منظور بررسی تأثیر مواد مادری بر غلظت فلزات سنگین، از ۱۱ نوع مواد مادری مختلف در منطقه نیز نمونه‌برداری صورت پذیرفت. غلظت کل فلزات سنگین به کمک اسید نیتریک ۵ نرمال عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی قرائت شد. از کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مدل کروی بهترین نتیجه را برای توصیف تغییرپذیری مکانی سرب، روی، نیکل، کادمیم، مس، کبالت و آهن و مدل نمایی برای کروم و منگنز داشته است. نقشه‌های پراکنش مکانی فلزات نشان داد که توزیع عناصر آهن، منگنز، نیکل، کبالت و کروم وابسته به ساختارهای زمین‌شناسی است. در حالی که غلظت‌های بالای عناصر سرب، روی، مس و کادمیم بیش‌تر در مناطق شهری و صنعتی و تا حدی در خاک‌های کشاورزی دیده می‌شود. آنالیز نمونه سنگ‌ها نشان داد که در بین سنگ‌های آذرین و رسوبی به ترتیب بازالت و شیل بالاترین غلظت طبیعی عناصر مورد مطالعه را در بردارد.

بحث و نتیجه‌گیری: غلظت و توزیع هر یک از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه مطالعاتی بسیار گسترده است و عوامل مختلفی (عوامل انسانی و طبیعی) در آن شرکت دارد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، پراکنش مکانی، مواد مادری، کریجینگ معمولی، زنجان.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان* (مسوول مکاتبات).

۲- استاد مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Spatial Distribution Patterns of Heavy Metals (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Cu and Cd) in the Central Area of Zanjan

Ali Afshari^{*1}

a.afshari66@yahoo.com

Hossein Khademi²

Abstract

Background and Objectives: Heavy metals are the most important environment pollutants, especially in high-density residential areas. The objective of this study was main purpose of this study was the determination of spatial distribution patterns of heavy metals (including Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Cu and Cd) according to ordinary kriging method for the central parts of Zanjan province, Iran.

Methods: In this study the 241 of mixed samples of soil, picked up from 0 till 10 Cm depth based on Random Networking (Area of case study was around 2000 Km²). Inorder to, for investigating of the impacts of bedrocks on the heavy metals, we sampled of eleven bedrocks. We used of Nitric Acid (5N), Atomic Absorption Spectroscopy and ordinal kriging for extraction, detection and finally, preparation of maps, respectively.

Findings: The result showed the best models are Spherical models for the spatial distribution of lead, zinc, nickel, cadmium, copper, cobalt, iron and exponential models for chromium and manganese respectively. The map of the spatial distribution of metals showed that the distribution of iron, manganese, nickel, cobalt and chromium depend on geological formations. While it seems the concentrations of Pb, Zn, Cu and Cd were depended domestic and industry areas.

Discussion and Conclusion: The highest concentrations of the metals were naturally detected in basalt and shale context with analyzing of bedrocks.

Keywords: Heavy Metals, Spatial Distribution, Parent Material, Ordinary Kriging, Zanjan.

1- MSc Student of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
**(Corresponding Author)*.

2- Professor of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

مقدمه

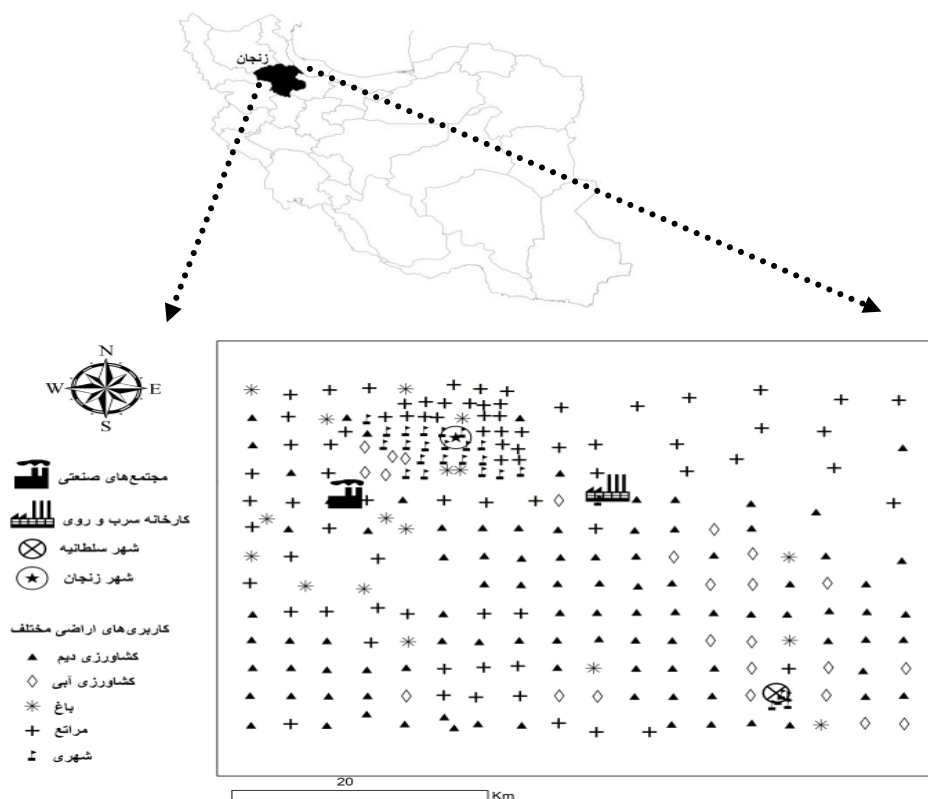
فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین و شناخته شده‌ترین آلاینده‌ها، از جهت ماندگاری زیاد، عدم تجزیه توسط میکروارگانیسم‌های خاک و دارای پتانسیل ورود به چرخه غذایی انسان در سطح وسیع، قابل تأمل هستند. فلزات سنگین در خاک تحرک کمی داشته و این عناصر تقریباً در لایه سطحی خاک و حداکثر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک باقی می‌مانند. بنابراین، با گذشت زمان غلظت این عناصر در خاک افزایش می‌یابد و بیش‌تر در معرض پیوستن به حلقه غذایی انسان قرار می‌گیرد (۱). همچنین فلزات سنگین به آن دسته از عناصر گفته می‌شود که به شدت جذب بافت‌های زنده شده، در آن انباشت گردیده و خروج آن‌ها از بافت به سختی صورت می‌گیرد و نیمه عمر این عناصر در بدن انسان بسیار طولانی است (۱). به طور کلی دو منبع عمده برای فلزات سنگین در خاک وجود دارد: منابع طبیعی که شامل غلظت عناصر در سنگ‌های بستر است و منابع غیرطبیعی (فعالیت‌های انسانی) که در اثر کاربرد کودها، لجن-فاضلاب، کمپوست، سوخت‌های فسیلی و غیره به خاک اضافه می‌شوند (۲). فلزات سنگین موجود در خاک از راه‌های مختلفی مانند هوازدگی مواد مادری به خاک وارد می‌شوند که میزان ورود فلزات از این طریق رابطه مستقیم با عملکرد عوامل خاک-سازی از جمله مواد مادری در طول سالیان متمادی دارد (۱). در بسیاری از مناطق ورودی فلزات سنگین با دخالت انسان به خاک، بسیار بیش‌تر از ورودی آن‌ها به طور طبیعی است (۱). فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از کود، کمپوست، لجن-فاضلاب و فعالیت‌های شهری و صنعتی، از مهم‌ترین منابع غیر-طبیعی ورود فلزات سنگین به خاک به شمار می‌روند (۳). با توجه به کارایی بسیار بالای علم زمین‌آمار در بررسی توزیع خصوصیات خاک‌ها، مطالعات وسیعی در این زمینه در سایر

کشورها صورت گرفته است (۲ و ۴-۶). در ایران نیز این نوع پژوهش‌ها طی دو دهه اخیر در حال افزایش بوده است (۷-۱۱). بنابر اهمیت موضوع فلزات سنگین در کیفیت محصولات کشاورزی و سلامت جامعه، منطقه مورد مطالعاتی ناحیه‌ای از استان زنجان انتخاب گردیده است. از آن جا که مهم‌ترین بخش جمعیتی استان در این منطقه سکونت دارند و بیش‌ترین تولیدات کشاورزی نیز در استان مربوط به این منطقه می‌باشد، تأثیرات صنایع آلاینده در این منطقه مورد توجه بوده است. لذا مطالعه حاضر با هدف تعیین الگوی پراکنش فلزات سنگین (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Cu و Cd) بر اساس روش کریجینگ معمولی در خاک‌های مرکزی استان زنجان است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

استان زنجان با وسعتی بیش از ۲۲ هزار کیلومتر مربع حدود ۱/۳۴٪ از کل کشور را در بر می‌گیرد. تراکم نسبی جمعیت در استان ۴۴/۷ نفر در کیلومتر مربع می‌باشد (۱۲). منطقه مطالعاتی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر مربع، بین مدارهای ۲۰° ۳۶ تا ۴۸° ۴۱ عرض شمالی و ۱۹° ۴۸ تا ۵۳° ۴۸ طول شرقی قرار گرفته است. از نظر کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به ترتیب وسعت دارای کاربری‌های کشاورزی دیم و آبی، مرتع، باغات و اراضی شهری، راه‌ها و تأسیسات انسانی می‌شود (شکل ۱). مواد مادری غالب منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های آذرین (دوره ایوسن-کامبرین) و سنگ‌های رسوبی (دوره ژوراسیک-کرتاسه) می‌باشد. همچنین مواد مادری آبرفتی (دوره کوآترنری) بخش اعظم منطقه مطالعاتی را می‌پوشاند (۱۳) (شکل ۲).



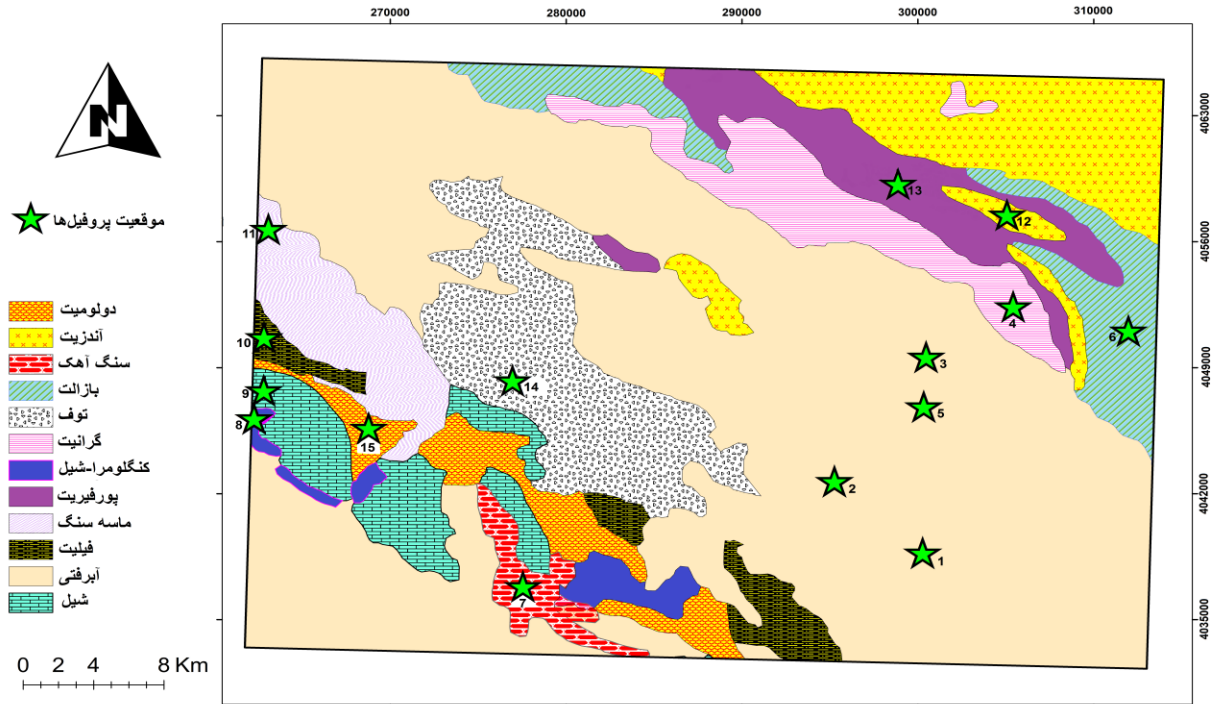
شکل ۱- منطقه مطالعاتی، موقعیت نمونه برداری و کاربری های اراضی مختلف در اراضی مرکزی استان زنجان

Figure 1. Study area, sampling position and difrent land use in central province Zanjan

نمونه برداری خاک

در این حالت ۱۶۲ محل نمونه برداری در شبکه های ۳×۳ ، ۳ ، ۵۴ محل نمونه برداری در شبکه های $۱/۵ \times ۱/۵$ کیلومتر و ۲۵ محل نمونه برداری در شبکه های ۶×۶ کیلومتر که مربوط به عرصه های طبیعی و مرتفع منطقه مورد مطالعه می گردد، به وجود آمد (شکل ۱). در کل در تعداد ۲۴۱ نقطه نمونه برداری سطحی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی متری به روش نمونه برداری مرکب برداشت گردید. همچنین برای تعیین دقیق تر سهم هر یک از مواد مادری غالب در منطقه در افزایش و تأثیر بر توزیع فلزات سنگین اقدام به برداشتن و آنالیز نمونه سنگ های غیرهوا دیده در منطقه گردید.

نمونه برداری بر اساس روش شبکه بندی تصادفی در سه مرحله انجام گرفت (۱۴). بدین ترتیب ابتدا منطقه مورد مطالعه بر اساس شبکه های ۶×۶ کیلومتر به حدود ۶۰ شبکه اصلی تقسیم شد. در مرحله بعد با توجه به نوع کاربری های موجود در منطقه مورد مطالعه، شبکه های اولیه به شبکه های ثانویه با ابعاد کوچک تر تقسیم شدند. اراضی که دارای کاربری کشاورزی آبی و دیم می باشند، شبکه های ۶×۶ کیلومتر در آن ها به شبکه های ۳×۳ کیلومتر و در اراضی شهری این شبکه ها به $۱/۵ \times ۱/۵$ کیلومتر تقسیم شده و محل تلاقی شبکه ها به عنوان نقاطی که می توانند برای نمونه برداری مناسب باشند در نظر گرفته شدند.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی به همراه موقعیت‌های حفر پروفیل برای تهیه نمونه سنگ غیرهواپدیده
Figure 2- Geological map of study area and profil positions

اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) استفاده گردید. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 16.0 صورت پذیرفت.

تغییرپذیری مکانی

محاسبه و ترسیم تغییرنما برای متغیرهای نرمال توسط برنامه‌های Surfer 10.7 و Variowin 2.2 صورت گرفت (۱۶). با توجه به اینکه اعتبار تغییرنما با مقدار حداقل MEE (میانگین خطای تخمین) (معادله ۱) و RMSE (مجدور میانگین مربعات خطای تخمین) (معادله ۲) سنجیده می‌شود و از طرف دیگر مقدار این پارامترها به اندازه و مقدار داده‌های ورودی بستگی دارد، برای اطمینان از کیفیت مدل برازش داده شده، بین داده‌های واقعی (Measured) و پیش‌بینی شده (Predicted) توسط مدل، همبستگی (R) گرفته شد (۱۷). پس از تعیین بهترین مدل، نقشه‌های کریجینگ توسط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای هر پارامتر ترسیم گردید (۱۸).

$$MEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z^*(x_i)] \quad (1)$$

آماده سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سنگین در خاک

نمونه‌های خاک برداشته شده بعد از هوا خشک شدن و سپس کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. عناصر Cd, Pb, Zn, Ni, Mn, Cu, Cr, Co و Fe با استفاده از اسید نیتریک ۵ نرمال (۱۵)، عصاره‌گیری شدند. برای این منظور مقدار ۲۰ میلی‌لیتر به نمونه‌های خاک اسید نیتریک ۵ نرمال اضافه شد و پس از گذشت ۳۰ ساعت، به مدت ۳۰ دقیقه بر روی گرم‌کن حرارت داده شد و در آخر پس از سرد شدن نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و در بالن ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند. سپس غلظت کل عناصر Pb, Co, Cr, Cu, Zn, Mn, Ni و Fe با دستگاه جذب اتمی مدل پراکین المر ۳۰۳۰ و با توجه به این که غلظت کل کادمیم از حد تشخیص (Limit of Detection) دستگاه پایین‌تر بود، با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل RAYLEIGH WF-1E اندازه‌گیری شد. به منظور نرمال‌سازی داده‌های غیرنرمال از تبدیل لگاریتمی و برای اطمینان از نرمال‌سازی از آزمون کولموگراف -

سرب در سنگ مادری دولومیت و سنگ آهک و کادمیم در سنگ مادری دولومیت مشاهده می‌شود. مس در سنگ ماسه سنگ و بازالت و نیکل در سنگ شیل و منگنز در بازالت، گرانیت و پورفیریت دیده می‌شود. کروم در سنگ مادری شیل، فیلیت، کبالت در سنگ بازالت و شیل و آهن در سنگ شیل، فیلیت و بازالت دارای بیشترین مقدار می‌باشد. همچنین در شکل ۳ توزیع فراوانی عناصر نشان داده شده است.

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

$Z(x_i)$ و $Z^*(x_i)$ به ترتیب مقدار واقعی و مقدار برآورد شده و N تعداد مشاهده‌ها است.

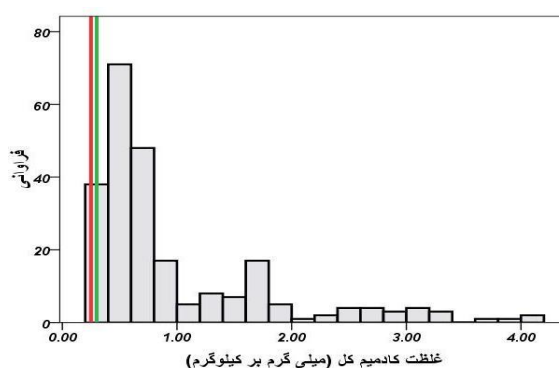
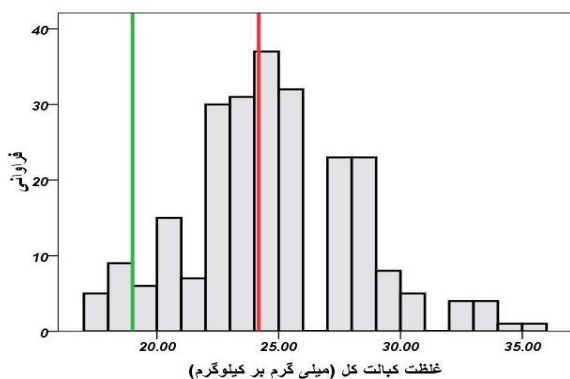
یافته‌ها

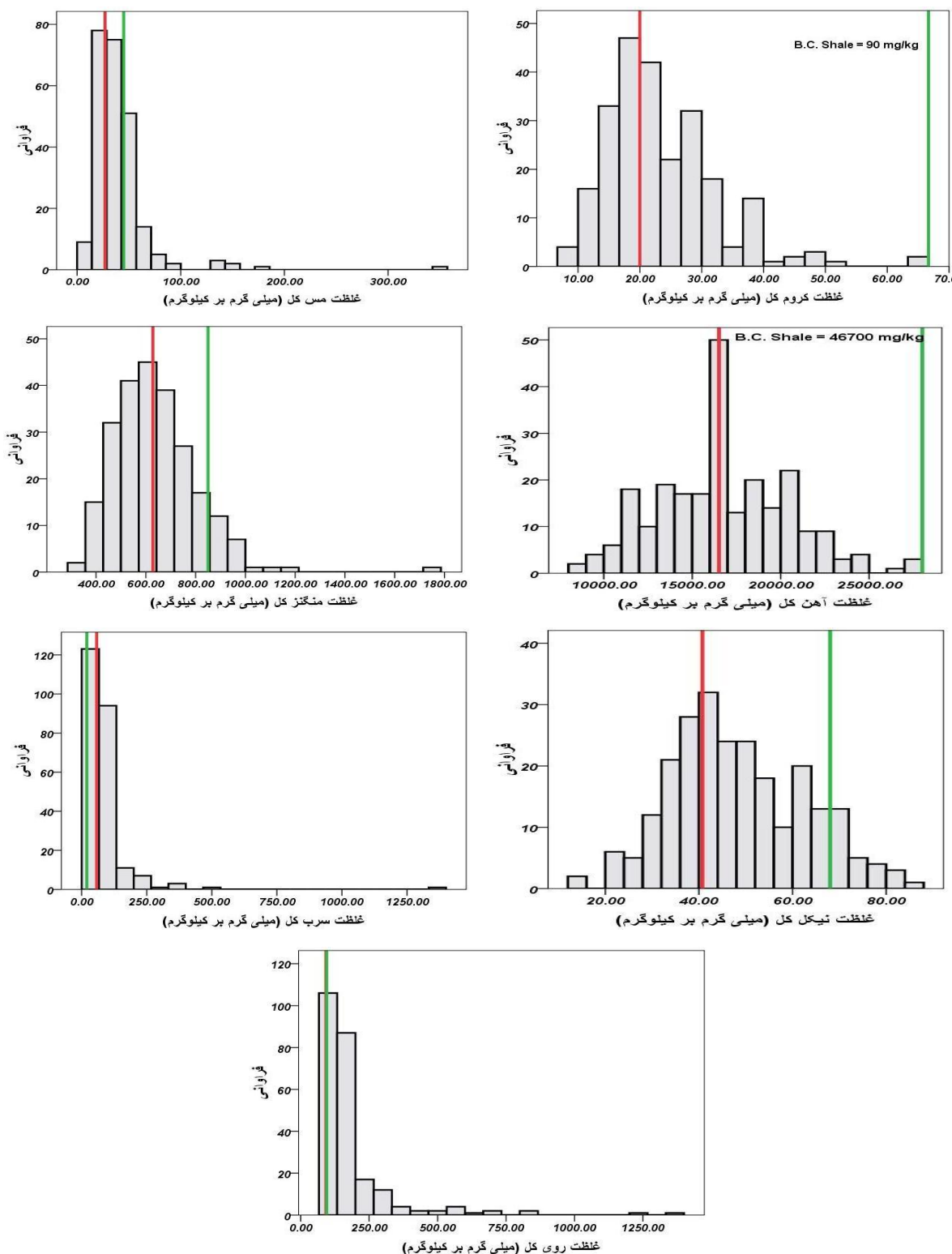
جدول ۱ میانگین غلظت کل فلزات سنگین را در نمونه‌های سنگ مختلف نشان می‌دهد. بالاترین غلظت روی در بازالت، سنگ آهک، آندزیت و گرانیت دیده می‌شود. بیشترین مقدار

جدول ۱- میانگین غلظت کل عناصر سنگین (mg/kg) در نمونه سنگ‌های غیرهوادیده

Table 1- Mean of total concentration heavy metals (mg/kg)

نوع ماده مادری	روی	سرب	کادمیم	مس	نیکل	منگنز	کروم	کبالت	آهن
گرانیت	۸۶/۳	۳۸/۸	۰/۲۵	۷/۵	۲۵/۳	۸۳۷/۵	۲/۵	۱۰/۰	۱۰۰۴۶/۹
بازالت	۴۸۷/۵	۷۱/۳	۰/۲۱	۵۲/۵	۲۲/۵	۱۲۷۷/۵	۱۲/۵	۴۳/۸	۳۷۴۲/۹
آندزیت	۱۰۰/۰	۴۳/۸	۰/۰۲	۲۳/۸	۷/۵	۳۷۷/۵	۲/۵	۱۷/۵	۵۳۹۰/۷
توف آتشفشانی	۳۶/۳	۴۸/۸	۰/۲۲	۱۶/۳	۱/۳	۱۶۱/۳	۲/۵	۸/۸	۲۸۹۰/۷
پورفیریت	۶۶/۳	۴۱/۳	۰/۰۳	۱۶/۳	۶/۳	۸۲۷/۵	۷/۵	۲۱/۳	۱۳۵۱۵/۷
فیلیت	۴۱/۳	۳۱/۳	۰/۰۶	۴۳/۸	۲۶/۳	۱۸۲/۵	۶۸/۸	۲۷/۵	۵۷۸۱۲/۵
ماسه سنگ	۸۳/۸	۳۷/۵	۰/۰۱	۶۳/۸	۱۲/۵	۵۱۱/۳	۶/۳	۱۶/۳	۱۷۳۹۰/۷
شیل	۱۳۰/۰	۳۰/۰	۰/۰۳	۱۸/۸	۵۳/۸	۳۰/۰	۱۰۱/۳	۴۲/۵	۸۶۷۱۸/۸
سنگ آهک	۱۱۶/۳	۱۱۰/۰	۰/۳۳	۲۱/۳	۲۱/۳	۱۱۰/۰	۸/۸	۲۵/۰	۳۶۷۱/۹
دولومیت	۳۶/۳	۱۲۳/۸	۰/۴۸	۱۵/۰	۲۲/۵	۵۷۷/۵	۱۰/۰	۳۱/۳	۲۳۷۵/۰
کنگومرا-شیل	۳۸/۸	۹۶/۳	۰/۰۳	۱۱/۳	۲۵/۰	۹۶/۳	۱۱/۳	۲۶/۳	۱۳۴۳/۸





شکل ۳- توزیع فراوانی غلظت کل عناصر سنگین مورد مطالعه در خاک‌های سطحی منطقه مطالعاتی، خط راهنمای آلودگی قرمز و سبز رنگ به ترتیب نشان دهنده مقادیر غلظت زمینه‌ای منطقه‌ای (۲۷) و متوسط شیل جهانی (۲۸) می‌باشد.

Figure 3- Frequency distribution of the total concentration of heavy metals in surface soils of the study area, red and green lines represent the values of pollution guidelines regional background concentration (27) and average world shale (28)

در جدول ۲ خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت کل فلزات سنگین در نمونه‌های خاک سطحی آورده شده است. میانگین عناصر مس (۴۰/۴)، کادمیم (۰/۹۷)، روی (۱۸۷/۰)، سرب (۸۹/۶)، نیکل (۴۸/۳)، کروم (۲۳/۶)، کبالت (۲۴/۶)، منگنز (۱۶۷/۷) و آهن (۱۶۷۰۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بیش-ترین ضریب تغییرات مربوط به عناصر سرب، کادمیم، روی و مس به ترتیب با ۱۱۱٪، ۸۴٪، ۸۴٪ و ۷۷٪ می‌باشد.

در جدول ۲- خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت کل عناصر مورد مطالعه (mg/kg) در خاک‌های سطحی

Table 2- Summary of the statistics that studied the concentration of elements (mg/kg) in surface soils.

متغیرها	مس	کادمیم	روی	سرب	نیکل	کروم	کبالت	منگنز	آهن (%)
حداقل	۱۱/۳	۰/۲۴	۸۶/۳	۴۰/۰	۱۲/۸	۷/۰	۱۷/۰	۳۳۸/۸	۸/۴
حداکثر	۳۵۲/۵	۴/۱۱	۱۳۵۳/۸	۱۳۵۷/۵	۸۶/۸	۶۵/۸	۳۵/۸	۱۷۶۱/۳	۲۷/۵
میانگین حسابی	۴۰/۴	۰/۹۷	۱۸۷/۰	۸۹/۶	۴۸/۳	۲۳/۶	۲۴/۶	۶۳۷/۷	۱۶/۷
میانگین هندسی	۳۴/۶	۰/۷۵	۱۵۹/۳	۷۵/۲	۴۶/۱	۲۲/۱	۲۴/۴	۶۱۷/۷	۱۶/۳
دامنه تغییرات	۳۴۱/۳	۳/۸۷	۱۲۶۷/۵	۱۳۱۷/۵	۷۴/۰	۵۸/۸	۱۸/۸	۱۴۲۲/۵	۱۹/۱
کشیدگی	۴۴/۹	۲/۸۷	۲۳/۰	۱۱۱/۰	-۰/۴	۳/۲	۰/۲	۷/۳	-۰/۱
چولگی	۵/۴	۱/۸۳	۴/۳	۹/۳	۰/۳	۱/۳	۰/۳	۱/۶	۰/۲
انحراف معیار	۳۱/۱	۰/۸۱	۱۵۶/۵	۹۹/۶	۱۴/۳	۹/۲	۳/۵	۱۶۹/۱	۳/۷
ضریب تغییرات (%)	۷۷	۸۴	۸۴	۱۱۱	۳۰	۳۹	۱۴	۲۷	۲۲
K-S test	۲/۸	۳/۹	۴/۲	۴/۸	۱/۲	۱/۶	۱/۵	۰/۹	۱/۱
غلظت زمینه ^۱	۲۶/۹۹	۰/۲۵	۹۱/۸۱	۵۷/۷۹	۴۰/۷۴	۱۹/۹۹	۲۴/۱۸	۶۲۸/۴	۱۶/۵
شیل جهانی ^۲	۴۵	۰/۳	۹۵	۲۰	۶۸	۹۰	۱۹	۸۵۰	۴۶/۷

^۱ افشاری و همکاران (۲۷)، ^۲ Ghrefat و همکاران (۲۸)

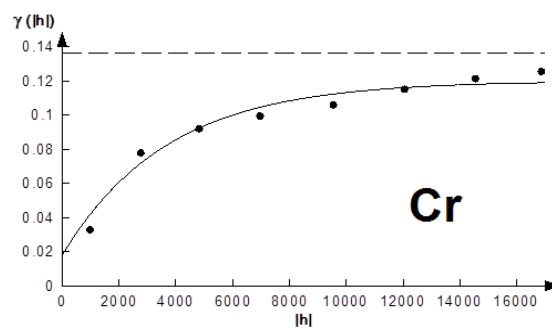
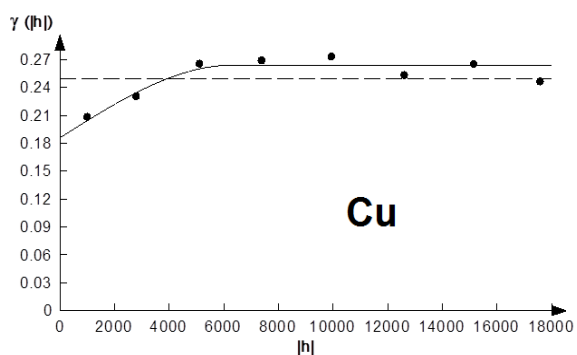
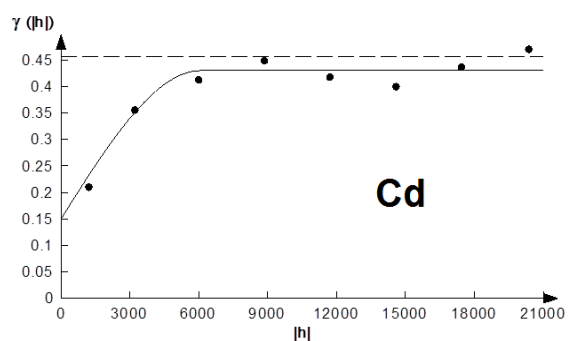
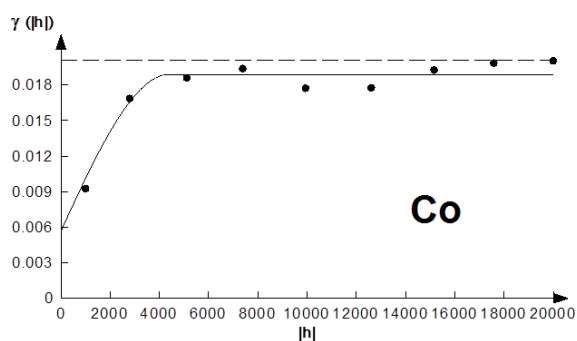
نتایج کنترل اعتبار تغییرنا برای پارامترهای مورد بررسی به همراه مدل برازش داده شده به آن در جدول ۳ ارائه شده است. به منظور تعیین کلاس‌های مختلف وابستگی مکانی متغیرهای مورد بررسی از نسبت بین واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل استفاده شده است. در این نسبت که نسبت همبستگی نامیده می‌شود و معمولاً به صورت درصد بیان می‌گردد، واریانس اثر قطعه‌ای به صورت درصدی از واریانس کل بیان شده است. واریانس کل برابر مجموع مقادیر اثر قطعه‌ای و مقدار آستانه یا سقف می‌باشد. هر چه نسبت همبستگی به صفر نزدیک‌تر باشد، پیوستگی شدید در وابستگی مکانی وجود دارد،

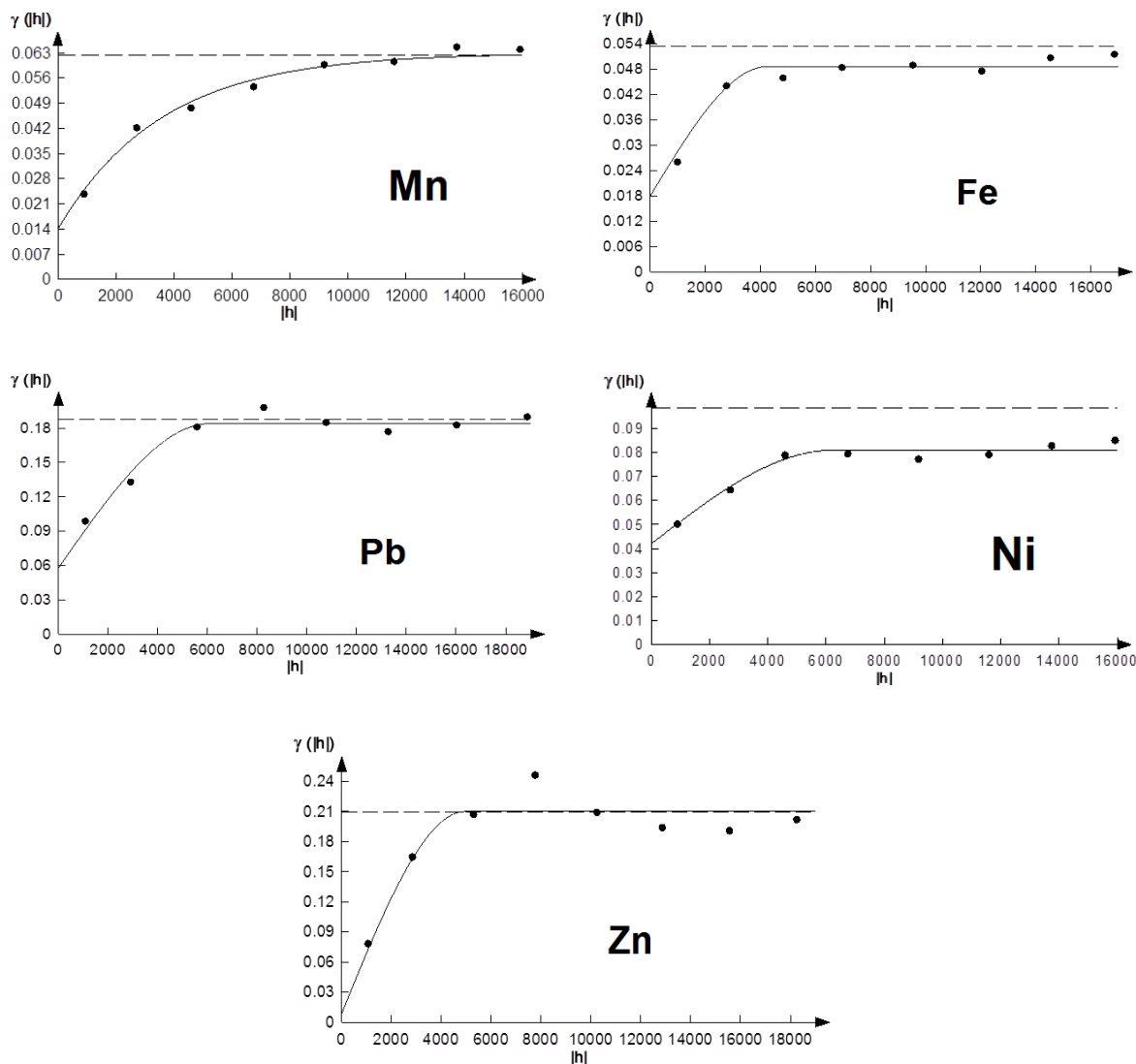
اگر این نسبت کم‌تر از ۲۵٪ باشد، وابستگی مکانی قوی، بین ۲۵-۷۵٪ وابستگی مکانی متوسط و اگر این نسبت بیشتر از ۷۵٪ باشد، وابستگی ضعیفی برای متغیر مورد مطالعه وجود دارد (۱۴). همچنین شکل ۴ تغییرناهای همه جهت برای همه عناصر سنگین مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به غیر از کروم و منگنز تمامی عناصر دارای الگوی تغییرنا می‌باشند و کروم و منگنز دارای مدل‌های نمایی می‌باشد. عناصر منگنز، کروم و روی دارای کلاس همبستگی قوی و عناصر سرب، نیکل، کادمیم، مس، کبالت و آهن دارای کلاس همبستگی متوسط می‌باشد.

جدول ۳- مشخصات مدل‌های تغییرنمای همه جهت‌ها برای عناصر سنگین مورد مطالعه

Table 3- Variogram models of the heavy metals in study area.

R	RMSE	ME	کلاس همبستگی	نسبت همبستگی (%)	دامنه تأثیر (m)	حد آستانه	اثر قطعه‌ای	الگوی تغییرنما	متغیر
۰/۴۲***	۳۷/۳۷	۰/۶۱۲۳	متوسط	۳۱/۵	۶۰۸۰	۰/۱۲۶	۰/۰۵۸	کروی	سرب
۰/۵۲***	۶۳/۸۷	۱/۰۳۹	قوی	۴/۳	۴۹۴۰	۰/۲۰۱	۰/۰۰۹	کروی	روی
۰/۵۵***	۱۱/۵۷	۰/۰۶۵۲	متوسط	۵۱/۹	۶۲۴۰	۰/۰۳۹	۰/۰۴۲	کروی	نیکل
۰/۳۱***	۰/۵۷۲	-۰/۰۰۱۸۷۲	متوسط	۳۴/۹	۶۰۹۰	۰/۲۸۰	۰/۱۵	کروی	کادمیم
۰/۴۲***	۲۴/۶	۰/۴۸۱۸	متوسط	۷۰/۵	۶۳۰۰	۰/۰۷۸	۰/۱۸۶	کروی	مس
۰/۴۶***	۷/۸۹۳	۰/۰۱۷۵	قوی	۱۵/۰	۱۱۰۴۹	۰/۱۰۲	۰/۰۱۸	نمایی	کروم
۰/۵۸***	۳/۲۲۸	-۰/۰۳۹۵۲	متوسط	۳۱/۶	۴۴۰۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	کروی	کبالت
۰/۵۷***	۱۵۳	-۰/۰۹۶۲۶	قوی	۲۲/۲	۱۰۷۲۰	۰/۰۴۹	۰/۰۱۴	نمایی	منگنز
۰/۵۰***	۳۸۵۶	۳۹/۵	متوسط	۳۶/۷	۴۲۴۸	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	کروی	آهن





شکل ۴- تغییرنماهای همه جهت‌های عناصر مورد مطالعه (محور X بر حسب متر می‌باشد)
Figure 4- Variograms of the studied elements (axis X is in meters)

بحث

شیل‌ها رسوبات ریزی هستند که دارای مقادیر زیادی از فلزات سنگین نظیر Cu, Zn, Mn, Fe, Pb, As, Ag, Cd, Mo و V هستند. خاک‌هایی که از سرپانتین‌ها منشأ گرفته‌اند از نیکل و کادمیم غنی می‌باشند (۲۱).

جدول ۱ غلظت برخی فلزات سنگین را در نمونه سنگ‌های غیرهوادیده، در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. با توجه به جدول، غلظت برخی عناصر سنگین در بعضی نمونه سنگ‌ها، بیش‌تر است. بالاترین مقدار روی (Zn) به ترتیب کاهشی در بازالت (۴۸۷/۵) < شیل (۱۳۰/۰) < سنگ آهک (۱۱۰/۰) < آندزیت (۱۰۰/۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم و بالاترین مقدار سرب

غلظت فلزات سنگین در نمونه سنگ‌های غیرهوادیده

عناصر مختلف به طور طبیعی در پوسته زمین به نسبت‌های متفاوتی وجود دارد. غلظت طبیعی عناصر در پوسته زمین و در خاک بستگی به تغییرات زمین‌شناسی و جغرافیایی منطقه دارد (۱۹). پوسته زمین از ۹۵٪ سنگ‌های آذرین و ۵٪ سنگ‌های رسوبی تشکیل شده که در این میان ۸۰٪ سنگ‌های رسوبی را شیل‌ها و ۱۵٪ را ماسه‌سنگ‌ها و ۵٪ را آهک تشکیل می‌دهد (۲۰). سنگ‌های آذرین بازیک عموماً دارای غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین مثل مس، روی، کروم، کبالت و نیکل هستند.

روی هستند. وجود مجتمع‌های صنعتی متعدد^۱ در اطراف شهر زنجان به خصوص کارخانه سرب و روی در قسمت شرق و شهرک صنعتی شماره یک در شمال و در فاصله ۵ کیلومتری و همچنین کارخانجات بزرگ صنعتی در ۵ تا ۱۵ کیلومتری در قسمت غرب شهرستان زنجان و ضایعات و دود حاصل از فعالیت آن‌ها و همچنین ترافیک بالای ماشین در شهر می‌تواند از عوامل افزایش غلظت روی کل در منطقه باشد. گلچین (۱۲) در مطالعه خود در اطراف کارخانه سرب و روی زنجان بیش‌ترین غلظت قابل جذب را در بین عناصر سنگین، مربوط به عنصر روی گزارش کرد و مقدار روی کل را در این منطقه، در محدوده چند هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک پیش‌بینی نمود. Bi و همکاران (۲۴) در بررسی میزان آلودگی اطراف کارخانه ذوب روی در چین، میانگین غلظت عناصر سنگین (Zn و Pb) در خاک و گیاهان کشت شده در اطراف یک کارخانه را بالا گزارش کردند. این محققان مهم‌ترین عامل افزایش غلظت بالای این عناصر را ته‌نشست‌های اتمسفری دانستند. میانگین غلظت سرب کل در منطقه ۸۹/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن حدود ۱۳۱۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با حداقل ۴۰ و حداکثر ۱۳۵۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین غلظت سرب در این مطالعه از میانگین سرب کل در مشهد (۹) (۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، قم (۱۰) (۲۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، همدان (۲۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۲۳) بالاتر، ولی از اصفهان (۱۳۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۱۱) کم‌تر است. با توجه به داده‌های غلظت سرب کل در خاک‌ها، ۶۶/۵٪ از خاک‌های سطحی منطقه مورد مطالعه بیش‌تر از غلظت زمینه‌ای منطقه‌ای (۵۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند (جدول ۲). دنکوب و همکاران (۱۱) عامل افزایش سرب را در منطقه اصفهان دود ناشی از آگزوز وسایل نقلیه و فعالیت‌های صنعتی بیان می‌کنند. میانگین غلظت مس کل ۴۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۳۴۱/۳، با حداقل ۱۱/۳ و حداکثر ۳۵۲/۵

(Pb) در دولومیت (۱۲۳/۸) و سنگ آهک (۱۱۰/۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده می‌شود. مس بیش‌تر در ماسه سنگ و بازالت به ترتیب با ۶۳/۸ و ۵۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. مقدار کادمیم آنچنان در نمونه سنگ‌ها بالا نیست و بیش‌ترین مقدار آن در دولومیت با ۰/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده می‌شود. بیش‌ترین مقدار نیکل، کروم و آهن در سنگ مادری شیل به ترتیب با ۵۳/۸، ۱۰۱/۳ و ۸۶۷۱۸/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. He و همکاران (۲۰) نشان دادند، شیل‌ها که از رسوبات دانه‌ریز تشکیل شده‌اند، مقادیر زیادی از فلزات نادر مثل روی، مس، نیکل و کادمیم را شامل می‌شوند. غلظت‌های بالای کبالت نیز در سنگ مادری بازالت (۴۳/۸) و شیل (۴۲/۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. شامحمدی و همکاران (۲۲) با بررسی پهنه‌بندی آلودگی طبیعی خاک در استان زنجان، بالاترین مقدار عناصر Cu, Cr, Pb, Zn و V را در سنگ‌های آذرین اسیدی و عناصر Cu, Fe, Zn, Ni, Cr و V را در سنگ‌های آذرین بازی و عناصر Cu, Pb, Ni, Cr, Zn و V را در سنگ‌های آذرین حدواسط و عناصر Ni, Pb, As, Zn و Cd را در سنگ‌های کربناته گزارش کردند.

غلظت عناصر سنگین در خاک‌های سطحی منطقه

مطالعاتی

با توجه به جدول ۲ و شکل ۳ هر یک از عناصر تغییرات گسترده‌ای دارند. میانگین غلظت روی کل ۱۸۷/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با حداقل ۸۶/۳ و حداکثر ۱۳۵۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۱۲۶۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین غلظت روی کل در این مطالعه از میانگین غلظت روی کل در مشهد (۹)، اصفهان (۱۱)، قم (۱۰) و همدان (۲۳) به ترتیب با ۶۶/۸، ۱۱۸/۷، ۴۴/۴ و ۷۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌تر می‌باشد.

با توجه به داده‌های مربوط به غلظت روی در خاک، ۹۵/۸٪ از خاک‌های سطحی مورد مطالعه با توجه به غلظت زمینه‌ای منطقه‌ای (۹۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (جدول ۲)، آلوده به

۱- مجتمع‌های صنعتی شامل کارگاه ذوب مس، مجتمع کارگاه‌های صنعتی، شرکت روی زنجان، شهرک صنعتی روی و شهرک صنعتی جی که تماماً به صورت مجزا در قسمت شمال غرب منطقه مطالعاتی قرار گرفتند.

دامنه تغییرات آن ۵۸/۸ با حداقل ۷/۰ و حداکثر ۶۵/۸ میلی- گرم بر کیلوگرم می‌باشد. دامنه تغییرات کروم بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی-گرم بر کیلوگرم در خاک تعیین شده است (۲۹)، بنابراین کروم در منطقه مورد مطالعه در دامنه طبیعی قرار دارد. میانگین غلظت کبالت کل در منطقه ۲۴/۶ کیلوگرم بر کیلوگرم با دامنه تغییرات ۱۸/۸، با حداقل ۱۷/۰ و حداکثر ۳۵/۸ میلی- گرم بر کیلوگرم می‌باشد که از میانگین غلظت کبالت در منطقه اصفهان (۱۳/۴ میلی-گرم بر کیلوگرم) (۱۱)، بیش‌تر است. میانگین غلظت منگنز کل ۶۳۷/۷ میلی-گرم بر کیلوگرم با دامنه تغییرات ۱۴۲۲/۵ با حداقل ۳۳۸/۸ و حداکثر ۱۷۶۱/۳ میلی-گرم بر کیلوگرم می‌باشد که از گزارش دنکوب و همکاران (۱۱)، در منطقه اصفهان (۵۱۴/۴ میلی-گرم بر کیلوگرم) بالاتر است. میانگین غلظت آهن در منطقه مطالعاتی ۱۶/۷ گرم بر کیلوگرم با دامنه تغییرات ۱۹/۱، حداقل ۸/۴ و حداکثر ۲۷/۵ گرم بر کیلوگرم می‌باشد که از میانگین آهن گزارش شده توسط دنکوب و همکاران (۱۱) در منطقه اصفهان (۱۷۹۸۱/۵ میلی-گرم بر کیلوگرم) کم‌تر می‌باشد.

با توجه به جدول ۲، مقادیر چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات عناصری چون مس، کادمیم، روی و سرب نسبتاً بالاست. در حالی که سایر عناصر مورد مطالعه ضریب تغییرات کم‌تری دارند. بعضی از پارامترهای آماری مانند ضریب تغییرات بالا و چولگی مثبت بالا در بررسی آلودگی فلزات سنگین، می‌تواند نشان دهنده وجود تأثیرات ناشی از فعالیت‌های انسانی برای آن عناصر باشد (۵ و ۳۰). در کنار این موارد، غلظت‌های بالاتر از مقادیر زمینه‌ای عناصر نیز نشان دهنده تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی است (۲۸).

محاسبه و الگوسازی تغییرنا و پراکنش مکانی عناصر سنگین

با توجه به جدول ۳، بر داده‌های عناصر سرب، روی، مس، کادمیم، کبالت، آهن و نیکل مدل کروم و عناصر کروم و منگنز مدل نمایی برازش داده شد. Hooker و Nathanail (۳۱) در تهیه نقشه آلودگی و خطرپذیری سرب با استفاده از روش کریجینگ، در اطراف شهر ولورهمپتون (انگلستان)، الگوی

میلی-گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین غلظت مس کل در خاک‌های سطحی منطقه از میانگین غلظت مس کل در همدان (۳۶/۵ میلی-گرم بر کیلوگرم) (۸)، بیش‌تر و از میانگین غلظت مس در اصفهان (۴۵/۱ میلی-گرم بر کیلوگرم) (۱۱)، کم‌تر است. Elik (۲۵) با مطالعه بر روی میزان عناصر سنگین در گرد و غبار شهری در شهر سیواس (ترکیه)، غلظت بالای سرب، روی، مس و کادمیم را ناشی از دود وسایل نقلیه و مناطق صنعتی دانست. Figueiredo و همکاران (۲۶) در مطالعه‌ای بر روی پارک‌های شهر سائوپالو (برزیل)، غلظت سرب، روی و مس را در مناطق پرترافیک شهر بیش از استاندارد ارایه شده برای این ایالت گزارش کردند. این محققان ترافیک بالا و دود حاصل از سوخت‌های فسیلی را مهم‌ترین عامل افزایش غلظت این عناصر دانستند. میانگین غلظت کادمیم کل در خاک ۰/۹۷ میلی-گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۳/۸۷، با حداقل ۰/۲۴ و حداکثر ۴/۱۱ میلی-گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین غلظت کادمیم کل در این منطقه از گزارش امینی و همکاران (۷) در منطقه اصفهان (۱/۷۴ میلی-گرم بر کیلوگرم)، شیرانی (۹) در مشهد (۱/۲ میلی-گرم بر کیلوگرم) کم‌تر می‌باشد. ۹۷/۵٪ از کل داده‌های غلظت کادمیم کل بیش از غلظت زمینه‌ای منطقه‌ای می‌باشد.

میانگین غلظت نیکل کل در خاک‌های سطحی منطقه مطالعاتی ۴۸/۳ میلی-گرم بر کیلوگرم با دامنه تغییرات ۷۴/۰ و حداقل ۱۲/۸ و حداکثر ۸۶/۸ میلی-گرم بر کیلوگرم می‌باشد. متوسط مقدار نیکل در خاک‌های جهان ۴۰ میلی-گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۹). بنابراین، متوسط نیکل کل در خاک‌های منطقه مطالعاتی از دامنه طبیعی بیش‌تر است. میانگین غلظت نیکل کل در منطقه از میانگین نیکل گزارش شده توسط موحدی‌راد (۱۰) در قم (۹/۶ میلی-گرم بر کیلوگرم) بیش‌تر و از میانگین غلظت نیکل کل در خاک‌های سطحی مناطق اصفهان (۵۳ میلی-گرم بر کیلوگرم) (۱۱) و مشهد (۵۴/۷ میلی-گرم بر کیلوگرم) (۹) کم‌تر می‌باشد. در حدود ۶۴/۸٪ از نمونه‌های خاک غلظت نیکل کل بیش از حد غلظت زمینه‌ای است. میانگین کروم در منطقه ۲۳/۶ میلی-گرم بر کیلوگرم بوده و

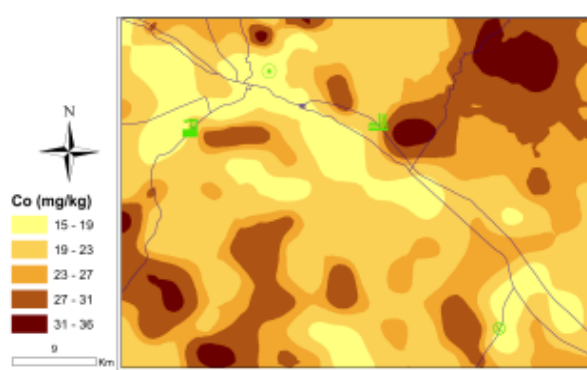
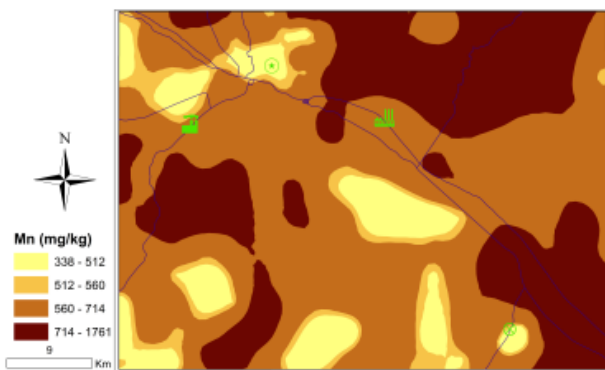
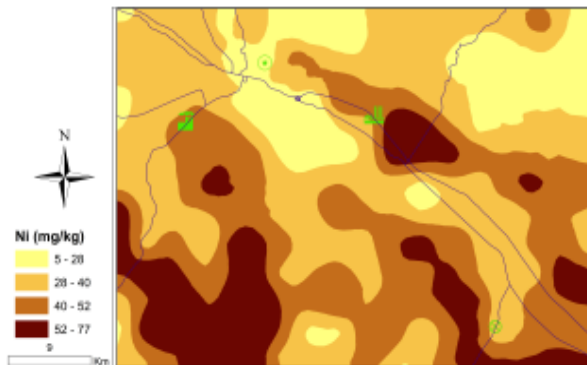
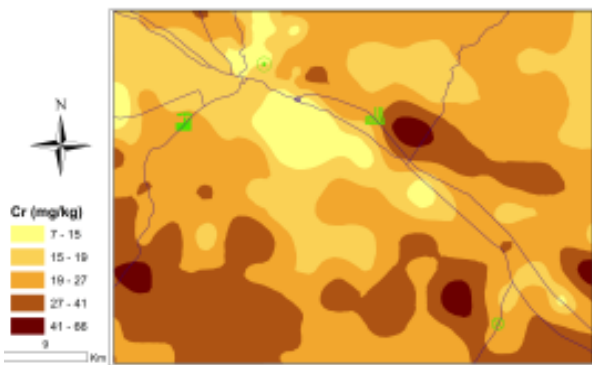
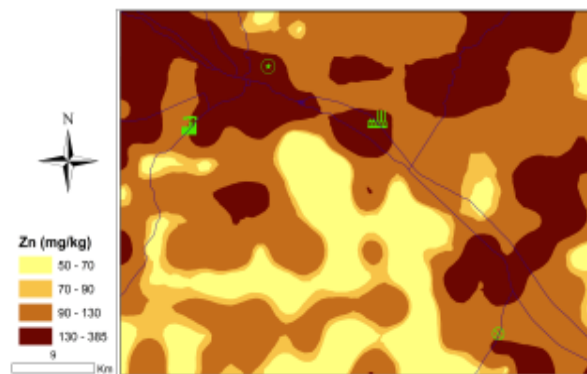
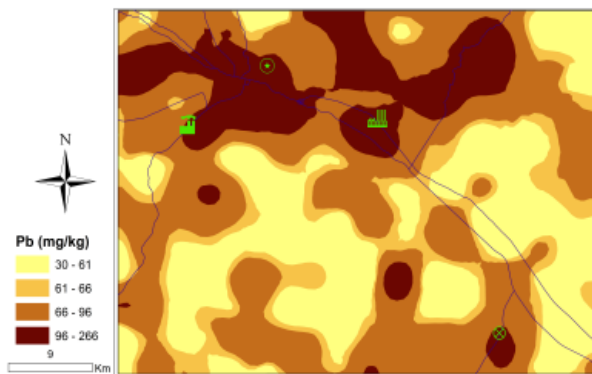
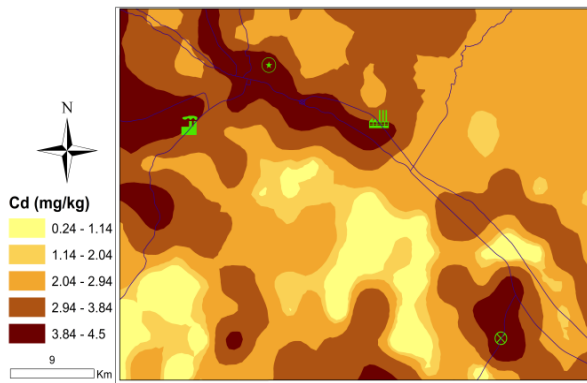
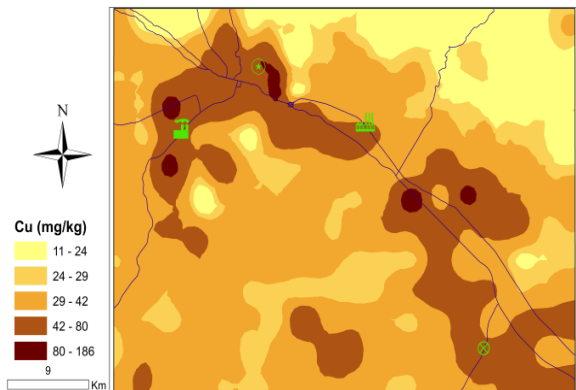
غربی منطقه (مجتمع کارخانه‌های صنعتی) ادامه می‌یابد. قسمت شمال شرقی منطقه دارای مواد مادری آذرین از قبیل پورفیریت، آندزیت و دیوریت می‌باشد که مقدار روی در آن‌ها نسبتاً بالاست (جدول ۱) و با هوادیدگی ماده مادری و فرایندهای خاک‌سازی باعث آزاد شدن فلز روی شده و غلظت این عنصر را در خاک بالا می‌برند. با توجه به نقشه پراکنش مکانی، عناصر روی و سرب همبستگی مکانی قوی با هم دیگر نشان می‌دهند. Li و Fng (۵) در مطالعه پراکنش مکانی عناصر سنگین در مناطق صنعتی وینان (چین) با استفاده از روش کریجینگ، الگوی تغییرات مکانی یکسانی میان سرب و کروم، میان باریم، مس و روی و نیز میان آرسنیک، کبالت، منگنز و وانادیم گزارش کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند، فلزاتی که الگوی تغییرات مکانی مشابهی را نشان می‌دهند، به احتمال زیاد دارای منشأ یکسانی هستند. عبداللهی و همکاران (۳۳) در بررسی توزیع مکانی سرب، روی و کادمیم در خاک‌های منطقه انگوران (استان زنجان)، با توجه به نقشه‌های کریجینگ، غلظت بالای این عناصر را در اطراف کارخانه‌های تولیدی گزارش کردند که با افزایش فاصله غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد.

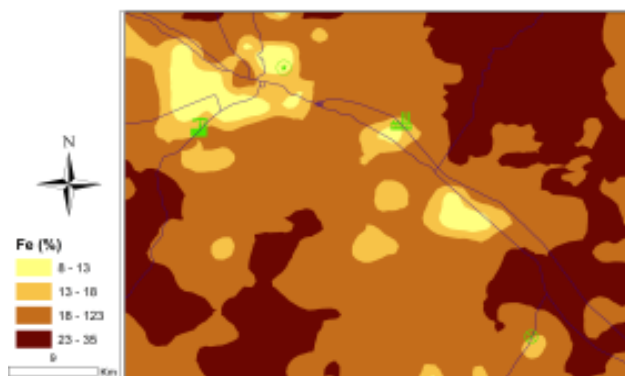
باید توجه داشت میانگین غلظت کادمیم به دست آمده از منطقه در حد متوسط آلودگی می‌باشد و فقط در بعضی نقاط غلظت‌های بالا دیده می‌شود. با توجه به شکل، مقدار کادمیم در شهر سلطانیه (جنوب شرقی منطقه) بیش‌تر است. از طرف دیگر این آلودگی کادمیم از اطراف کارخانه سرب و روی شروع شده و تقریباً تمام شمال غرب منطقه غلظت بالای کادمیم دارد. فعالیت کارخانه‌های موجود در منطقه و استفاده از کودهای حیوانی در فضای سبز شهر از عوامل افزایش غلظت کادمیم در این ناحیه می‌توانند باشند. در مطالعه‌ای که توسط امینی و همکاران (۷) برای بررسی مسیرهای ورودی عناصر سنگین به خاک در منطقه اصفهان انجام گرفته بود، زمین‌های کشاورزی را آلوده‌ترین مناطق به کادمیم گزارش کردند و عامل اصلی آن را استفاده کشاورزان از کودهای حیوانی و فسفره دانستند.

Nicholson و همکاران (۶) کودهای دامی را از مهم‌ترین

کروی را بهترین مدل برازش داده شده بر داده‌های سرب گزارش کردند. براتی و همکاران (۳۲) در بررسی توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سطحی استان همدان، نقشه‌های توزیع کروم و نیکل را با استفاده از کریجینگ معمولی با مدل کروی و برای کبالت با روش کریجینگ گسسته با مدل نمایی ارایه دادند. تقی‌پور و همکاران (۸) نیز در خاک‌های سطحی اطراف همدان، مدل کروی را بهترین مدل برازش داده شده برای مس و نیکل گزارش کردند. دامنه تأثیر برای پارامترهای مورد بررسی متفاوت بود که بیش‌ترین و کم‌ترین دامنه تأثیر به ترتیب مربوط به کروم و آهن در منطقه مورد بررسی است. عناصر منگنز، روی و کروم وابسته مکانی قوی و سرب، کادمیم، مس، نیکل، آهن و کبالت وابستگی مکانی متوسط نشان دادند. عبداللهی و همکاران (۳۳) با بررسی توزیع مکانی سرب، روی و کادمیم در خاک‌های منطقه انگوران (استان زنجان) به روش کریجینگ معمولی، دامنه تأثیر برای تغییرنماهای سرب، روی و کادمیم را به ترتیب ۴۸۰۰، ۳۹۸۷ و ۴۸۴۵ متر و بهترین مدل برازش داده شده را برای هر یک از عناصر، کروی گزارش کردند.

شکل ۵ نقشه پراکنش مکانی غلظت کل عناصر مورد مطالعه که از کریجینگ معمولی حاصل شده است را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، قسمت شمال غربی منطقه دارای مقادیر بیش‌تری از سرب می‌باشد و این غلظت نسبتاً بالا تا شمال شرق منطقه ادامه دارد. در قسمت شرق کارخانه سرب و روی و قسمت غرب نیز شهرستان زنجان و مجتمع‌های صنعتی قرار دارند. فعالیت ذوب فلز و ذخیره کنسانتره آن، فرونشست جوی، ترافیک و دود ناشی از سوخت‌های فسیلی عوامل افزایش غلظت سرب در این ناحیه می‌توانند باشند. شرایط محیطی مانند شرایط جوی و بارندگی سالانه، پستی و بلندی و موقعیت جغرافیایی، نوع مواد معدنی مصرفی در کارخانه، سطح تولید و قدمت کارخانه و هم-چنین جهت باد غالب در توزیع رسوب‌گذاری اتمسفری در مناطق صنعتی تأثیر می‌گذارند (۳۴). با توجه به شکل ۵، بیش-ترین غلظت روی از اطراف کارخانه سرب در قسمت شمالی منطقه شروع شده و به طرف شهر زنجان و هم‌چنین تا شمال





شکل ۵- پراکنش مکانی غلظت کل عناصر (mg/kg) حاصل از کریجینگ معمولی در منطقه مورد مطالعه
Figure 5- Spatial distribution of total concentration elements (mg/kg) of ordinary kriging in study area

رسوبی به خصوص شیل می‌باشد. بر اساس آنالیزهای انجام یافته بر روی سنگ‌های منطقه (جدول ۱)، شیل‌ها غنی از نیکل بوده (۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، بنابراین احتمال دارد که طی سالیان متمادی و در اثر هوازدگی شیل‌ها، نیکل به خاک اضافه شده باشد. پراکنش مکانی نیکل با نقاط زمین‌شناسی مطابقت می‌کند. براتی و همکاران (۳۲) در بررسی توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سطحی استان همدان، دامنه تغییرات و میانگین کبالت، کروم و نیکل را به ترتیب $8/1$ تا 34 و $18/9$ ، 30 تا 180 و $96/8$ و 26 تا 140 و 69 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. آنان، غلظت‌های بالای این عناصر را در مناطق غربی استان که دارای سنگ بستر آذرین و دگرگونی بودند، نشان دادند و اشاره داشتند که زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل مؤثر بر غلظت این عناصر می‌باشد. تقی‌پور و همکاران (۸) با بررسی توزیع مکانی غلظت کل مس و نیکل در اطراف همدان، بر اساس نقشه‌های پراکنش مکانی، عامل مؤثر بر روند افزایشی این عناصر را نوع مواد مادری دانستند. آنان با آنالیز نمونه سنگ‌های منطقه، غلظت‌های زیادی از عناصر نیکل ($97/5$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مس (75 میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در شیل‌ها گزارش کردند که با هوازدگی این سنگ‌ها، عناصر می‌توانند به خاک اضافه شوند. علاوه بر آن، غلظت مس در خاک‌های شهری نیز بالا بود.

با توجه به آنالیز سنگ‌های مادری غالب منطقه، بیش‌ترین غلظت منگنز در سنگ‌های آذرین از قبیل بازالت (1277 میلی-

منابع آلاینده‌گی فلزات سنگین در مناطق کشاورزی انگلستان دانستند. مطالعات آن‌ها نشان داد، استفاده از کودهای حیوانی به مقداری که 250 کیلوگرم نیتروژن به خاک اضافه نماید، باعث ورود بیش از 1990 گرم روی و 650 گرم مس به زمین-های کشاورزی می‌شود که از این طریق 37 تا 40% از روی کل و 8 تا 17% از مس کل در خاک از طریق کاربرد کودهای حیوانی به خاک وارد شده است. در قسمت شمال و شمال شرقی همانند عناصری که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند (مانند سرب، روی و کادمیم)، مس نیز در منطقه با توجه به فعالیت کارخانه‌ها و مجتمع‌های صنعتی و ترافیک وسایل نقلیه غلظت بالاتری را نشان می‌دهد.

با توجه به نقشه پراکنش مکانی کبالت، جنوب غربی و شمال شرقی منطقه غلظت بالاتری را نسبت به سایر قسمت‌ها نشان می‌دهد. وجود مواد مادری شیل و سنگ‌آهک در قسمت جنوب غربی و مواد مادری گرانیت و دیوریت در شمال شرقی منطقه که غلظت کبالت در آن‌ها بالا است (جدول ۱)، می‌تواند از عوامل افزایش غلظت کبالت در مناطق یاد شده، باشد. هوازدگی سنگ مادری در طول زمان می‌تواند باعث افزایش غلظت این عنصر در این ناحیه شود. نقشه پراکنش مکانی کروم نیز تقریباً مانند کبالت می‌باشد و بیش‌تر متأثر از مواد مادری شیل، سنگ آهک و شیل - کنگلومرا در منطقه می‌باشد. توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، نشان می‌دهد که قسمت جنوب تا جنوب غربی تحت تأثیر سنگ‌های

نسبت به عناصر دیگر و چولگی کمتر از یک و وضعیت نرمال داده‌ها، این نتایج اشاره به توزیع لیتوژنیکی این عناصر در منطقه دارد. به علاوه، میانگین این عناصر با مقدار زمینه محاسبه شده اختلاف چندانی ندارد و حتی در مقایسه با متوسط شیل جهانی (جدول ۲) بسیار پایین‌تر است.

منابع

1. Kabata-Pendias, A., and Mukherjee, A.B. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer. 561 Pages.
2. Li, J., He, M., Han, W., and Gu, Y. 2009. Analysis and assessment on heavy metal source in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *Journal of Hazardous Materials*, 164: 976-981.
3. Doelsch, E., Deroche, B., and Kerchve, V.D.V. 2006. Impact of sewage sludge spreading on heavy metal speciation in tropical soils (Reunion, Indian Ocean). *Chemosphere*, 65: 286-293.
4. Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114: 313-324.
5. 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.
6. Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C., and Chambers, B.J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311: 205-219.

۷. امینی، م.، افیونی، م.، و خادمی، ح. ۱۳۸۵. مدل -

سازی توازن جرمی عناصر کادمیم و سرب در زمین -

گرم برکیلوگرم)، پورفیریت (۸۲۷ میلی گرم برکیلوگرم) و گرانیات (۸۳۷ میلی گرم برکیلوگرم) مشاهده می شود که در قسمت شمال شرقی منطقه غالب هستند و همچنین دولومیت - های قسمت غرب منطقه مقدار ۵۷۷ میلی گرم برکیلوگرم منگنز دارند. به مرور زمان و هوادیدگی حاصل از این سنگ ها و آزاد شدن مقدار منگنز موجود در آن ها باعث افزایش آن در این مناطق شده است. وجود مواد مادری از قبیل شیل با ۸۶۷۱۸، فیلیت با ۵۷۸۱۲، بازالت با ۳۷۴۲۱، گرانیات با ۱۰۰۴۶ و پورفیریت با ۱۳۵۱۵ میلی گرم برکیلوگرم آهن، در منطقه باعث افزایش غلظت آهن در اثر هوادیدگی این سنگ ها می شود. با توجه به نقشه کریچینگ آهن قسمت شمال شرقی و جنوب غربی غلظت بالاتری از آهن کل را نشان می دهند. این مناطق کاملاً با نقشه زمین شناسی (شکل ۲) منطقه مطابقت دارند و قسمت اعظم آن شامل انواع سنگ های آذرین و همچنین سنگ رسوبی شیل می باشد. قشلاقی و همکاران (۳۵) در بررسی خاک های زراعی و مراتع در منطقه انگوران (زنجان)، عناصر نیکل، کروم، آهن، منگنز و رس را در یک مؤلفه نشان دادند و آن ها را لیتوژنیکی فرض کردند و عناصر مس، کادمیم، آرسنیک، ماده آلی، فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل را منشأ گرفته از فعالیت های کشاورزی منطقه معرفی کردند.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج نشان داد، غلظت و توزیع هر یک از فلزات سنگین در خاک های سطحی منطقه مطالعاتی بسیار گسترده است و عوامل مختلفی در آن شرکت دارد. نتایج توصیفات آماری غلظت کل عناصر نشان می دهد که سرب، روی، مس و کادمیم بیش تر متأثر از فعالیت های انسانی در منطقه می باشند. چولگی، ضریب تغییرات و آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بالای این عناصر نیز نشان می دهد که این عناصر غیریکنواختی بالایی دارند و از توزیع نرمال پیروی نمی کنند. با توجه به نوع ساختارهای زمین شناسی (شکل ۲) و مقدار غلظت هر یک از فلزات در مواد مادری (جدول ۱)، به نظر می رسد تغییرپذیری عناصر آهن، منگنز، کبالت، کروم و نیکل توسط مواد مادری کنترل می شود. وجود ضریب تغییرات خیلی پایین این گروه

15. Spósito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 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 American journal*, 46: 260-264.
16. Pannatier, Y. 1996. VARIOWIN: Software for spatial data analysis in 2D. *Statistics and computing series*, Springer – Verlag, Berlin.
17. Krasilnikov, P., Carre, F., and Montanarella, L. (eds.). 2008. *Soil Geography and Geostatistics. Concepts and application*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Scientific and Technical Research. 212 Pages.
18. Ormsby, T. 2008. *Getting to Know ArcGIS Desktop. 2nd Edition 9.3*, ESRI Press. 592 Pages.
19. Sevigny, J.H. 1990. *Geochemistry of the Jurassic Nelson plutonic suite Southeastern British Columbia*. Litho. Probe. Report. 11:41-52.
20. He, Z.L., Yang, X.E., and Stoffella, P.J. 2005. Trace elements in agro-ecosystems and impacts on the environment. A review. *Journal of Trace Elements in Medicine Biology*, 19: 125-140.
21. Ferguson, J.E. 1990. *Heavy Elements: Chemistry Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, Oxford. 614 Pages.
۲۲. شامحمدی، ا.، خامه‌چیان، م.، نیکودل، م.، و برومندی، م. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی آلودگی طبیعی خاک در استان زنجان. ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- های زارعی منطقه اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۰، شماره ۴، صص ۷۷-۹۰.
۸. تقی‌پور، م.، ایوبی، ش.، و خادمی، ح. ۱۳۸۹ الف. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت کل نیکل و مس در خاک‌های سطحی اطراف همدان به روش زمین‌آمار. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، جلد ۱۷، شماره ۲، صص ۶۹-۸۷.
۹. شیرانی، م. ۱۳۸۶. تغییرات مکانی سرب، کادمیم، نیکل و روی در برخی خاک‌های کشاورزی، صنعتی و شهری محدوده بزرگراه مشهد - چناران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۹۲ صفحه.
۱۰. موحدی‌راد. ز. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی روی، سرب، کادمیم و نیکل در خاک‌های سطحی بخشی از استان قم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۷۵ صفحه.
11. Dankoub, Z., Ayoubi, S., Khademi, H., and Sheng-Gao, L.U. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in Isfahan region, central Iran. *Pedosphere*, 22: 33-47.
۱۲. گلچین، ا. ۱۳۸۴. فعالیت‌های صنعتی و آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان زنجان. ۱۱۷ صفحه.
13. Stocklin, J., Hirayama, K., Alavi, M., Eftekhari-nezhad, J., Haghypour, A., Hajian, J., and Vale, N. 1969. *Explanatory text of the Zanjan quadrangle map, 1:250000*. Geological quadrangle No. D4. Geological Survey of Iran.
۱۴. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری (آمار مکانی). جلد دوم، انتشارات پلک. ۲۴۰ صفحه.

- In:Wn Q. L., (Ed). *Micronutrients and biohealth*. Guiyan, China: Guizhou. Sci. Technal. Press, pp. 208-216.
30. Shi, G., Chen, Z., Bi, C., Li, Y., Teng, J., Wang, L., and Xu, S. 2010. Comprehensive assessment of toxic metals in urban and suburban street deposited sediments (SDSs) in the bioggestmetrolitan area of China. *Environmental Pollution*, 158: 694-703.
31. Hooker, P.J., and Nathanail, C.P. 2006. Risk-based characterisation of lead in urban soils. *Chemical Geology*. 226: 340-351.
۳۲. براتی، س.، میرغفاری، ن.، سفیانیان، ع.، و خداکریمی، ل. ۱۳۹۱. توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سطحی استان همدان. نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۵، شماره ۳، صص ۲۸۳-۲۹۵.
۳۳. عبداللهی، س.، دلاور، م.ا.، و شکاری، پ. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی توزیع مکانی سرب، روی و کادمیم و ارزیابی آلودگی خاک‌های منطقه انگوران، استان زنجان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۶، صص ۱۴۲۰-۱۴۱۰.
34. Tiller, K.G., and Merry, R.H. 1976. Heavy metal contamination of soils around a lead smelter. *Australian Journal Soil Research*. 15: 69-81.
35. Qishlaqi, A., Moore, F., and Forghani, G. 2009. Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 172: 374-384.
۲۳. تقی‌پور، م.، خادمی، ح.، و ایوبی، ش. ۱۳۸۹. تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۳۲.
24. Bi, X., Feng, X., Yang, Y., Qiu, G., Li, G., Li, F., Liu, T., Fu, Z., and Jin, Z. 2006. Environmental contamination of heavy metals from zinc smelting areas in Hezhang County, western Guizhou, China. *Environment International*, 32: 883-890.
25. Elik, A. 2003. Heavy metal accumulation in street dust samples in Sivas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34: 145-156.
26. Figueiredo, A.M.G., Camargo, S.P., Pavese, A.C., Gumiero, F.C., Enzweiler, J., and Sigolo, J.B. 2007. Metal assessment in urban park soils in Sao Paulo. 1. Ibirapuera park. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC*.
۲۷. افشاری، ع.، خادمی، ح.، و حاجتی، س. ۱۳۹۳. ارزیابی پتانسیل خطرپذیری آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مرکزی استان زنجان بر اساس شاخص-های آلودگی. مجله حفاظت و پژوهش‌های آب و خاک، در دست دآوری.
28. Ghrefat, H.A., Abu-Rukah, Y., and Rosen, M.A. 2011. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan. *Environmental Monitoring Assessment*, 178: 95-109.
29. Xie, Z.M., and Lu, S.M. 2000. Trace elements and environmental quality.