مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۰(۸۴-۶۹)

بررسی وضعیت آلودگی خاک به سرب، نیکل و کادمیوم و پهنه بندی آن با استفاده از زمین آمار در اراضی زراعی جنوب تهران

یوسف رضا باقری[1*]

bagheriyo@yahoo.com

فاطمه مسکینی ویشکایی[2]

رسول میرخانی[3]

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: افزایش رشد جمعیت جهان و نیاز به تولید بیشتر از، محدودیت منابع آبی و استفاده بی‌رویه از آنها به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک و همچنین حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی در شهرها و لزوم دفع مناسب آن‌ها، ضرورت بهره‌گیری از فاضلاب را در بخش کشاورزی و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی افزایش داده است. کادمیم، سرب و نیکل از جمله آلاینده‌هایی هستند که از منابع گوناگون به آب و خاک، گیاه و نهایتاً به زنجیره غذایی انسان و حیوانات راه می‌یابند. این تحقیق به منظور تعیین میزان آلودگی خاک اراضی زراعی جنوب تهران به عوامل آلاینده و پهنه بندی منطقه با استفاده از روش های زمین آمار صورت گرفت.

روش بررسی: در این تحقیق در سال ۱۳۹۳ از حدود ۲۰۰۰ هکتار از اراضی زراعی در محدوده نهر فیروزآباد در جنوب تهران، تعداد ۱۷۵ نمونه خاک با فواصل ۳۰۰ متر انتخاب گردید. جهت پهنه بندی منطقه از دو روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) استفاده شد.

یافته ها: میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه گیری‌شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب کاهشی نیکل> سرب> کادمیوم به دست آمد. براساس استانداردهای پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳ و ۹ درصد نمونه های خاک به ترتیب آلوده به سرب و نیکل بود.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به اهمیت تعیین تغییرات نقطه ای آلودگی، روش IDW به عنوان روش مناسب جهت پهنه‌بندی غلظت سرب و نیکل کل در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. بر این مبنا حدود ۱۶۱ و ۱۴ هکتار از سطح اراضی زراعی به ترتیب دارای مقادیر سرب و نیکل بیش از حد مجاز بودند.

واژه های کلیدی: آلاینده‌های خاک، فلزات سنگین، کریجینگ، وزن دهی عکس فاصله، فاضلاب شهری.

۱- محقق موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۳- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 11, February, 2022

Soil pollution assessment to lead, nickel and cadmium and mapping it by geostatistics in the Tehran south farms

Yousef Reza Bagheri [1*]
bagheriyo@yahoo.com
Fatemeh Meskini-Vishkaee[2]
Rasoul Mirkhani[3]

Admission Date: October 5, 2016 Date Received: June 22, 2016

Abstract

Background and Objective: Increasing world population and need to more production, limited water resources and the indiscriminate use of them specially in arid and semi-arid regions and also the huge amount of sullage produced in cities and the necessity for proper disposal of them, increased the urgency (necessity) of using wastes in order to farming & feeding the under- ground aquifers. Cadmium, lead and nickel are such pollutants which can enter to water, soil and plant and finally to human and animals' food chain from different resources.

Material and Methodology: This Study was performed to evaluate the amount of soil contamination in the south Tehran farms and mapping the studied area using geostatistical methods. From the 2000 hectares of the agricultural farms around Firooz Abad stream in Tehran south in 2014, 175 soil samples were selected with 300 meters intervals. Two methods of mapping including kriging and Inverse distance weighting (IDW) were used.

Finding: Based on mean concentration, the metals in studied area were in following decreasing order: nickel> lead> cadmium. According to the standards proposed by the environmental protection Agency of Iran, 13 and 9 % of soil samples are contaminated to total lead and nickel, respectively.

Discussion and Conclusion: Due to the importance of point spatial variation of soil pollutants, the IDW method was identified as the suitable method for mapping the concentration of total lead and nickel. The total lead and nickel concentration in about 161 and 14 hectares of the agricultural lands, respectively, were more than allowed limits.

Keywords: Middle Space, Attachment to Place, Residential Complex, Residents.

1- Researcher of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2- Scientific members, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
3- Scientific members, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

مقدمه

آلودگی محیط زیست و از جمله آلودگی خاک یکی از عوارض مهم به هم خوردن تعادل و توازن طبعیت می باشد. از مهمترین آلاینده های خاک شامل فلزات سنگین، بارش های اسیدی و مواد آلی هستند که از این میان فلزات سنگین به واسطه غیر قابل تجزیه بودن، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان زایی مورد توجه می‌باشند (۱). فلزات سنگین به فلزاتی گفته میشود که دارای چگالی نسبتا بالا بوده و در غلظت های کم سمی باشند (۲). هرچند این عناصر به طور طبیعی دارای غلظت کمی در خاک موجود هستند، اما پراکنش جغرافیایی آنها چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت های انسانی مشکلات و مسائلی را در بر خواهد داشت. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی ممکن است منجر به بی نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی می‌گردد (۳).

کاربرد نادرست برخی از نهاده‌های مهم کشاورزی (آب، کود و سم) ممکن است مشکلات زیست‌محیطی زیادی به دنبال داشته باشد. با ورود برخی فلزات سنگین به زنجیره غذایی و آب‌های زیرزمینی سلامت انسان و دیگر موجودات زنده به خطر می‌افتد (۴). گیاهان علاوه بر عناصر ضروری، عناصری چون سرب و کادمیم را هم جذب نموده و آن‌ها را در درون بافت‌های خود جمع می‌کنند. این عناصر می‌توانند بدون اینکه دارای پیامدهای سمّی برای گیاه باشند، در اندام‌های آن تجمع یافته و به زنجیره‌های غذایی انسان و حیوان منتقل شوند (۵). بنابراین برای جلوگیری از ورود این فلزات به زنجیره غذایی و گسترش آلودگی، شناسایی مکان‌های آلوده به این عناصر امری ضروری است.

کادمیم، سرب و نیکل از جمله آلایندهایی هستند که از منابع گوناگون به آب و خاک، گیاه و نهایتاً به زنجیره غذایی انسان و حیوانات راه می‌یابند و عواقب و امراضی را در پی داشته و خسارتهایی جدّی به بار می‌آورند. میزان فلزات سنگین نظیر جیوه، کادویم، نیکل و سرب در خاک‌های جهان رو به افزایش است (۶). از جمله عوامل اصلی این افزایش مصرف مواد حاصلخیزکننده، اصلاح‌کننده، آفت‌کشها و فاضلاب‌ها در اراضی کشاورزی می‌باشد که در میان آن‌ها لجن، کمپوست و فاضلاب و در بین عناصر سرب، روی و کادمیم سهم بسزایی داشته‌اند (۷).

طی تحقیقی در منطقه‌ای در جنوب چین که به رشد سریع صنایع در ۳۰ سال اخیر مشهور است، آلودگی خاک‌های کشاورزی به عناصر روی، سرب، نیکل، جیوه، کروم، کادمیم مس و آرسنیک بر روی ۹۰ نمونه خاک جمع‌آوری شده مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از روش های آماری تجزیه خوشه ای و تجزیه عامل استفاده و عناصر به سه گروه تقسیم شد. فاکتور یک شامل عناصر نیکل، کروم، مس، روی و آرسنیک می‌باشد و فاکتور دو و سه به ترتیب عناصر سرب، جیوه و کادمیم را شامل می‌شوند. پس از بررسی‌های زمین‌آماری مشخص شد که فاکتور یک به وسیله مواد مادری کنترل می‌شود، فاکتور دو در نتیجه صنایع و آلودگی‌های ناشی از آن در خاک تجمع یافته و فاکتور سه مربوط فعالیت‌های طولانی مدت انسان در رابطه با افزودنی‌های کشاورزی و مصرف سوخت‌های فسیلی است (۸).

شریعتی و همکاران در مطالعه ای به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین در اراضی جنوب تهران که با فاضلاب آبیاری می شد غلظت کادمیوم خاک را بطور میانگین ۱/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم گزارش نمودند (۹). همچنین، ترابیان و بغوری نیزغلظت کل و قابل دسترس فلزات کادمیم، روی، مس، سرب، کرم و نیکل را در بخشی از اراضی تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران را بررسی و نتیجه گرفتند که بطور کلی غلظت این فلزات در خاک‌های این اراضی بیش از حد معمول در خاک‌های شاهد است. همچنین غلظت کل و قابل جذب آن‌ها در خاک‌های منطقه و در گیاهان منطقه در سالهای تحقیق مطالعه (۷۲-۱۳۷۰) رو به افزایش بوده است (۱۰). افیونی و همکاران با بررسی اثرات استفاده از فاضلابهای شهری در انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاه نشان دادند که استفاده از فاضلاب شهری سبب افزایش غلظت فلزات مس، نیکل و

روی در خاک می‌گردد؛ اما در غلظت کادمیم موجود در خاک و همچنین pH و EC تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (۱۱). ملاحسینی و بغوری ضمن بررسی عناصر سنگین در بیش از ۲۰۰ هکتار از اراضی جنوب تهران که با فاضلاب آبیاری می-شدند میانگین غلظت عناصر سنگین قابل جذب سرب، کادمیم و نیکل را به ترتیب ۲۷/۵، ۰/۵ و ۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کردند (۱۲). مردانی و همکاران در بررسی آلودگی خاکهای منطقه جنوب تهران میانگین غلظت کل عناصر سرب، کادمیوم، روی، مس و نیکل را به ترتیب ۷۶/۴۰، ۲/۶۲، ۱۷۲/۰۵، ۶۹/۸۵ و ۳۷/۴۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک اعلام نموده و نتیجه گرفتند که غلظت عناصر سنگین در منطقه جنوب تهران رو به افزایش است (۱۳).

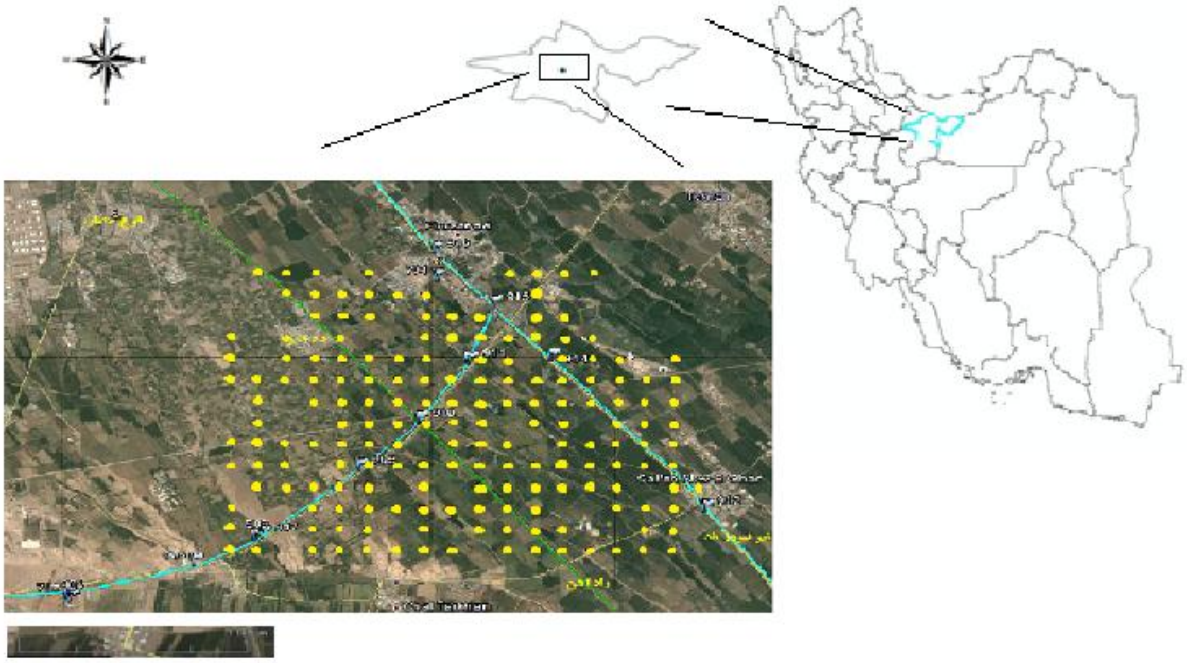
یکی از مشکلات اصلی بررسی الگوی توزیع مکانی فلزات سنگین در ارزیابی وضعیت آلودگی منطقه، ناممکن بودن نمونه برداری از تمامی نقاط است. اصول زمین‌آمار، امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آنها را فراهم می‌آورد. به کمک زمین-آمار، علاوه بر توصیف و مشاهدهٔ الگوی تغییرات مکانی داده‌ها، می‌توان به تخمین و تهیهٔ نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس اقدام کرد. برای این کار، تکنیک های درون یابی نظیر روش کریجینگ (۱۴)، وزن دهی عکس فاصله (۱۴ و ۱۵)، توابع پایه شعاعی (۱۶، ۱۷) و روش مکانی چندجمله‌ای (۱۵ و ۱۷) به طور گسترده ای در تحقیقات خاک و تولید نقشه ی آلودگی استفاده می‌شود. هانی و کریمی نژاد پراکنش و ارزیابی عناصر سنگین عناصر کادمیم، جیوه و سرب در جنوب شهر تهرانرا با روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله(IDW)، اسپلاین (توابع پایه شعاعیRBF)، روش مکانی چندجمله‌ای (LPI) و کریجینگ مورد ارزیابی قرار دادند. بهترین روش درون یابی برای عناصر جیوه، سرب و کادمیم به‌ترتیب کریجینگ معمولی و وزن دهی عکس فاصله و کریجینگ معمولی بود. ۲۵/۳۹ درصد مساحت منطقه دارای آلودگی متوسط و ۱۶ درصد مساحت منطقه دارای آلوگی شدید بودند (۱۸).

بقایی و همکاران، نقشه‌های آلودگی سرب و نیکل قابل جذب را در اراضی اطراف دو کارخانه مجتمع فولاد مبارکه و ذوب آهن اصفهان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری بدست آوردند (۱۹). نتایج اولیه نشان داد که غلظت عنصر سرب در اطراف ذوب آهن و نیکل در اطراف زمین هر دو کارخانه نسبت به دیگر نقاط بالاتر بوده است. دیانی و همکاران برای پهنه‌بندی آلودگی سرب در جنوب شهر اصفهان از فناوری‌های سنجش از دور و زمین‌آمار (کریجینگ معمولی) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو روش سنجش از دور و زمین‌آمار صحت خوبی دارند و منطقه از نظر آلودگی سرب دارای وضعیت خطرناکی است. همچنین بیشترین غلظت سرب در اطراف معادن مشاهده شد که با نزدیک شدن به سوی شهر غلظت آن کاهش یافت (۲۰). دادگر و همکاران با بررسی روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در بازنمایی مکانی کادمیم دشت آبسرد تهران نشان دادند که کوکریجینگ دارای مطابقت بیشتری با غلظت‌های اندازه‌گیری شده است. طبق نتایج آن‌ها، خطری از لحاظ آلودگی کادمیم در اراضی زراعی نسبت به اراضی غیر زراعی بیشتر بوده است (۱۴). روند افزایش جمعیت، افزایش مصرف به همین ترتیب افزایش ضایعات و فاضلاب‌ها را به دنبال دارد. از طرف دیگر شیب طبیعی شهر تهران از شمال به جنوب و جنوب شرقی است. بدین ترتیب قسمت عمدهٔ فاضلاب‌های شهری و صنعتی تهران به قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی آن انتقال می‌یابد. با توجه به محدودیت منابع آب‌های شیرین و افزایش روز افزون جمعیت، کشاورزان اراضی جنوب تهران از فاضلاب‌های شهری انتقال یافته جهت تامین آب مورد نیاز اراضی زراعی خود استفاده می‌نمایند. تخلیه بی‌رویه فاضلاب‌های شهری در اراضی کشاورزی این منطقه می‌تواند اثرات زیانباری را به محیط زیست به ویژه به محصولات زراعی و خاک‌های این منطقه وارد سازد و سلامت مصرف‌کنندگان این تولیدات را نیز در معرض خطر قرار دهد. از دیرباز استفاده از فاضلاب نهر فیروزآباد به عنوان یک منبع تأمین آب جهت آبیاری محصولات کشاورزی و آلودگی ناشی از آن از دغدغه‌های پژوهشگران مختلف بوده است (۹-۱۳). آنچه که در تمامی این پژوهش‌ها بر آن تأکید شده است روند افزایشی غلظت فلزات سنگین در اراضی و محصولات زراعی منطقه جنوب تهران است. این پژوهش به منظور

شناسایی و پهنه‌بندی میزان آلودگی خاک‌های زراعی به عناصر سنگین جنوب تهران در سطح مناطق مورد مطالعه (حوالی نهر فیروزآباد) ناشی از مدیریت‌های نادرست مصرف فاضلاب، مصرف بی‌رویه کود و آلودگی ناشی از کارخانجات منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

پس از بازدید از مناطق کشاورزی مشروب از کانال فیروزآباد و انشعابات آن واقع در جنوب تهران، حدود ۲۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی اطراف کانال برای مطالعه در سال ۱۳۹۳ انتخاب - گردید. با استفاده از عکس‌های هوایی منطقه، یک شبکه ۲۰۰ نقطه‌ای (به ابعاد ۳۰۰*۳۰۰ متر در هر شبکه) در محدوده ۳۵/۴۹ تا ۳۵/۵۴ عرض شمالی و ۵۱/۴۵ تا ۵۱/۵۲ طول شرقی برای نمونه‌برداری ایجاد گردید. بعد از نمونه‌برداری به‌علت وجود موانع و بیرون افتادن تعدادی از نقاط نمونه‌برداری از زمین‌های تحت کشت این موقعیت‌ها به ۱۷۵ نقطه نمونه‌برداری تقلیل یافت (شکل ۱). با استفاده از GPS مختصات موقعیت نمونه-برداری تعیین گردید. سپس در فصل زراعی در هر موقعیت نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری این نقاط ۲ کیلوگرم خاک به صورت مرکب نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل وغلظت سرب، کادمیوم و نیکل کل با استفاده از دستگاه ماکروویو و روش هضم با اسیدنیتریک ۶۵ درصد، هیدروکلریدریک اسید ۳۲ درصد و هیدروفلوریک اسید ۴۰-۳۸ درصد و سپس بوسیله‌ی دستگاه ICP تعیین گردید. سایر ویژگی‌های خاک شامل فسفر قابل استفاده، شوری، PH، آهک و بافت خاک با روش‌های آزمایشگاهی موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (۲۱).



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه و پراکنش مکانی نقاط نمونه برداری خاک در اراضی زراعی اطراف نهر فیروزآباد

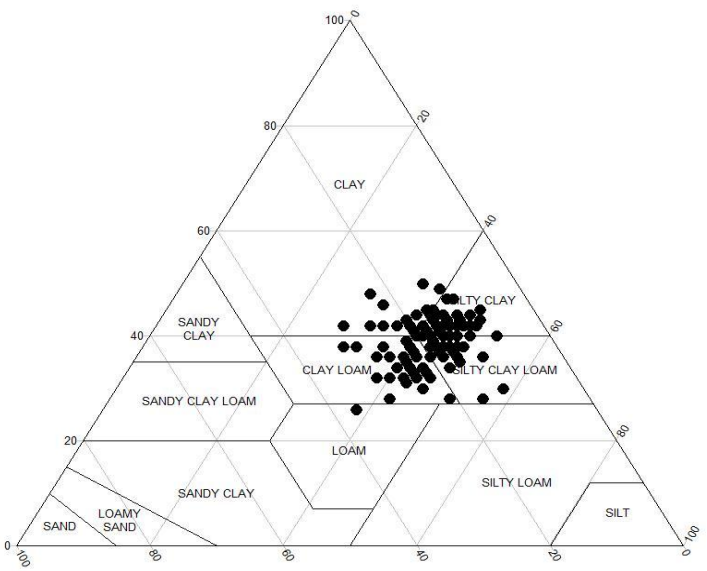
Figure 1. location of studied area and spatial distribution of soil samples in agricultural lands around Firooz Abad stream

آنالیزهای آماری

پس از اتمام اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد نظر، توزیع فراوانی هر یک از متغیرها و آماره‌های توصیفی آن‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab 17 مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین نرمال بودن توزیع متغیرها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن توزیع متغیرها، برای نرمال کردن متغیرهای دارای توزیع غیرنرمال، از تبدیل‌های لگاریتمی یا توانی استفاده شد. پس از نرمال شدن توزیع فراوانی متغیرها، ارزیابی ساختار مکانی متغیرها با استفاده از برازش مدل‌های نیم تغییر نما انجام شد. برای تعیین بهترین مدل تغییر نما از نرم افزار GS^+ 5.2 استفاده شد. بر اساس آماره‌های ضریب تعیین (R^2) و مجموع مربعات خطا (RSS) مناسب‌ترین مدل از بین مدل‌های کروی، گوسی، خطی و نمایی انتخاب گردید. پهنه‌بندی متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) و نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شد.

نتایج

توزیع بافت خاک ۱۷۵ نمونه خاک مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ و جدول ۱ همان گونه که ملاحظه می‌شود حدود ۵۰ درصد خاک‌های منطقه دارای ۳۹ درصد رس می‌باشد که نشان می‌دهد که عمده خاک‌ها دارای بافت متوسط تا سنگین هستند. با توجه به این نتایج خاک‌های منطقه مستلزم مدیریت آبیاری و کوددهی مناسب برای جلوگیری از انباشتگی عناصرسنگین در آن‌ها می‌باشند. همچنین بیش از نیمی از خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارا ی غلظت فسفر ۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که نشان از انباشتگی فسفر در این خاک‌ها است.



شکل ۲- توزیع بافت خاک‌های مورد مطالعه در منطقه جنوب تهران

Figure 2. Distribution of studied soil textures in region of Tehran south

خلاصه آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. pH خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای میانگین ۷/۸ و دامنه تغییرات ۷/۲ تا ۸/۳ می‌باشد. خاک منطقه از نظر pH خنثی تا کمی قلیایی است.

غلظت سرب کل در نمونه‌ها در دامنه ۳۵ تا ۱۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده گردید. میانگین غلظت سرب کل نمونه ها ۵۹/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۵۰ درصد نمونه‌ها دارای سرب کل ۵۷ میلی‌گرم بودند. غلظت نیکل کل در نمونه‌ها در دامنه

۴۴ تا ۱۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده گردید. میانگین غلظت نیکل کل نمونه‌ها ۸۶/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۵۰ درصد نمونه‌ها دارای سرب کل ۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند.

جدول۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد مطالعه

Table 1. Descriptive criteria of studied variables

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
رس (٪)	۳۸/۸	۳۹	۲۶	۵۰	-۰/۳۱۵	-۰/۳۸۹
pH	۷/۸	۷/۹	۷/۲	۸/۳	-۰/۸۰۶	۰/۶۰۵
EC ($dS\ m^{-1}$)	۴/۲	۲/۹۴	۱/۰۸	۳۰/۷	۳/۴۴	۱۷/۵
آهک (٪)	۲۱/۰۴	۲۱	۱۵/۹	۲۶/۶	-۰/۰۲۸	-۰/۳۵۱
فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	۴۶/۳	۴۲/۱	۵/۰۴	۲۰۶	۲/۰۸	۷/۶۶
سرب کل ($mg\ kg^{-1}$)	۵۹/۸۹	۵۷	۳۵	۱۲۵	۱/۵۸	۳/۲۳
نیکل کل ($mg\ kg^{-1}$)	۸۶/۸	۸۴	۴۴	۱۶۴	۱/۰۳	۲/۹۵
کادمیوم کل ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۲۹	۰/۲۷۸	۰/۱۳	۰/۸۲	۱/۵۲	۵/۹

غلظت کادمیوم کل در نمونه‌ها در دامنه ۰/۱۳ و حداکثر ۰/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده گردید. میانگین غلظت کادمیوم کل نمونه‌ها ۰/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۵۰ درصد نمونه‌ها دارای کادمیوم کل ۰/۲۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند.

آماره‌های چولگی و کشیدگی فلزات مورد مطالعه (جدول ۱) نشان‌دهنده غیرنرمال بودن توزیع داده‌ها می‌باشد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها در تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری نتایج مطلوب‌تری را در پی خواهد داشت. اقدام به نرمال سازی داده‌ها با استفاده از تبدیل‌گرهای لگاریتمی گردید.

برای بررسی همبستگی بین فلزات سنگین مورد مطالعه با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (PH، EC، کربنات کلسیم معادل خاک، درصد شن و رس خاک) از ضریب همبستگی خطی پیرسون استفاده شد (جدول ۲). نتایج تجزیه ضریب همبستگی نشان داد که بین نیکل کل و کادمیوم کل ($r=0.31,\ P< 0.01$) و همچنین بین کادمیوم کل و سرب کل ($r= 0.39,\ p< 0.01$) همبستگی مثبت وجود دارد. اما، بین نیکل کل و غلظت سرب کل در نمونه‌های خاک مورد مطالعه همبستگی معنی داری مشاهده نشد. در بسیاری از مطالعات، همبستگی معنی‌دار بین این فلزات حاکی از منشأ مشترک آن‌ها می‌باشد (۲۲ و ۲۳).

همبستگی معنی‌داری بین pH خاک با فلزات سنگین مورد مطالعه مشاهده نشد. با توجه به دامنه‌ی تغییرات کم pH تاثیر ناچیز آن بر غلظت عناصر سنگین قابل توجیه است. از آنجایی که pH بر قابلیت انحلال و تحرک‌پذیری عناصر مؤثر است (۲۴). بنابراین تاثیر کمی بر روی رفتار غلظت کل عناصر خاک داشته و pH بیشتر مرتبط با غلظت قابل جذب عناصر می‌باشد. در مطالعاتی که توسط سایر محققین همچون فرزانه و همکاران (۲۵) و مارتین و همکاران[1] (۲۶) نیز انجام گرفت هیچ همبستگی معنی‌داری بین pH و غلظت عناصر مورد مطالعه مشاهده نشد. بین میزان کربنات کلسیم معادل خاک و مقدار کادمیوم کل ($r=-0.15,\ p<0.05$) و سرب کل ($r= -0.18,\ p< 0.05$) در نمونه‌های خاک مورد مطالعه همبستگی منفی کم اما معنی‌دار مشاهده شد.

همبستگی منفی و معنی‌دار نیکل کل با درصد شن نمونه‌های خاک ($r=0.17,\ p<0.05$) را می‌توان احتمالا به نداشتن بار

1- Martin et al.

سطحی و سطوح تبادلی و عدم توانایی ذرات شن برای جذب و نگه‌داری عناصر خاک نسبت داد (۲۵).

نتایج برازش مدل‌های نیم‌تغییرنما نشان داد که تغییرات مکانی غلظت نیکل کل در منطقه‌ی مورد مطالعه از مدل کروی و تغییرات مکانی غلظت عناصر کادمیوم و سرب کل از مدل خطی پیروی می‌کنند (شکل ۳). مدل‌های برازش داده شده بر نیم-تغییرنمای تجربی از بالاترین ضریب تبیین (R^2) و کم‌ترین میزان مجموع مربعات خطا (RSS) برخوردار بودند. ویژگی‌های هر مدل در جدول ۳ نشان داده شد.

جدول ۲- ضرایب همبستگی خطی بین متغیرهای مورد مطالعه

Table 2. Linear correlation coefficients between studied variables

	رس	شن	PH	EC	آهک	کادمیوم کل	سرب کل	نیکل کل
رس	۱							
شن	-۰/۵۷۹**	۱						
PH	۰/۲۵۴**	-۰/۰۷۸	۱					
EC	-۰/۱۷۵*	۰/۱۵۳*	-۰/۴۷۳**	۱				
آهک	۰/۲۲۲**	-۰/۳۴۳**	۰/۱۳۷	-۰/۱۹۹**	۱			
کادمیوم کل	-۰/۰۴۶	۰/۰۱۵	۰/۱۳۷	۰/۰۰۲	-۰/۱۵۱*	۱		
سرب کل	-۰/۰۱۴	۰/۰۵۹	۰/۰۸۹	-۰/۱۱۵	-۰/۱۷۷*	۰/۳۹۱**	۱	
نیکل کل	۰/۰۷۹	-۰/۱۷۴*	-۰/۱۰۳	۰/۱۰۱	۰/۰۲۳	۰/۳۱۲**	۰/۰۱۵	۱

* معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد ($P < 0.01$)

** معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P < 0.05$)

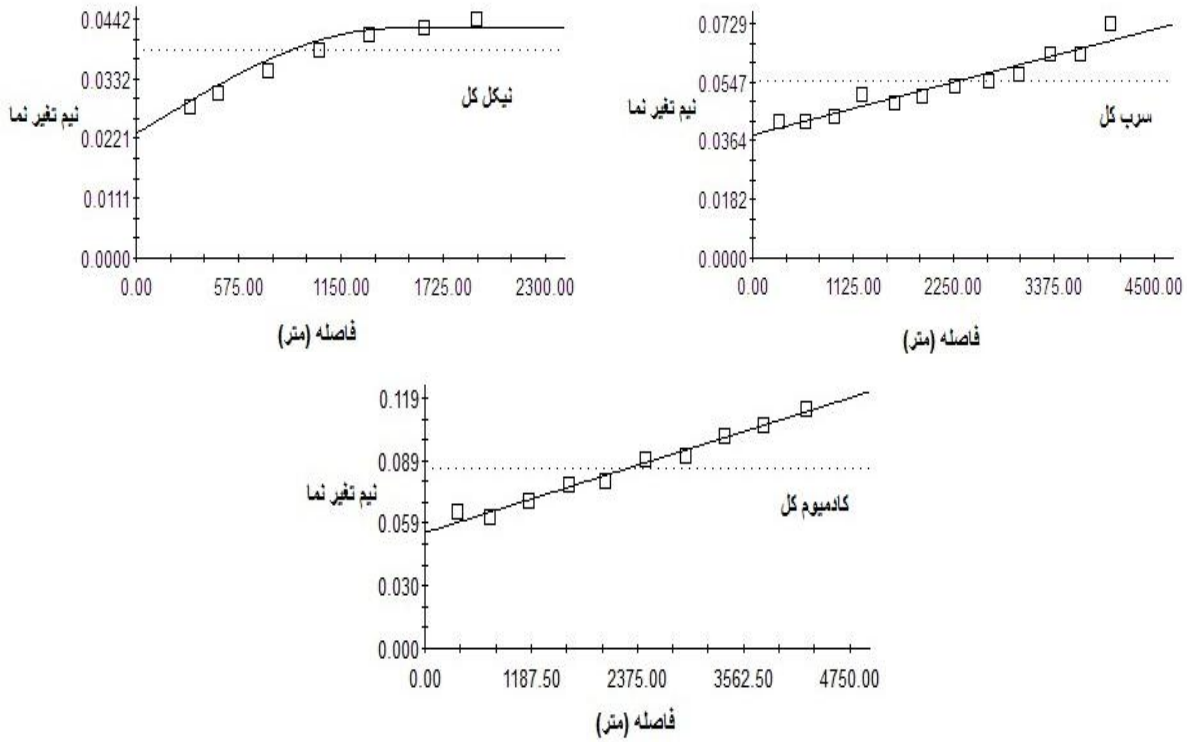
جدول ۳- مولفه‌های مدل‌های برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی فلزات سنگین مورد مطالعه

Table 3. Parameters for the variogram fitted to the experimental semivariograms for studied heavy metals

متغیر	نوع مدل	اثر قطعه ای	حدآستانه	دامنه تاثیر (متر)	نسبت اثر قطعه ای به حد آستانه	R^2	RSS
سرب	خطی	۰/۰۳۸	-	-	-	۰/۹۲۶	۳/۸۲× ۱۰$^{-۳}$
نیکل	کروی	۰/۰۲۳	۰/۰۴۲۵	۱۴۵۰	۰/۵۴	۰/۹۶۷	۱/۴۲× ۱۰$^{-۵}$
کادمیوم	خطی	۰/۰۵۵	-	-	-	۰/۹۸۱	۵/۶۴× ۱۰$^{-۵}$

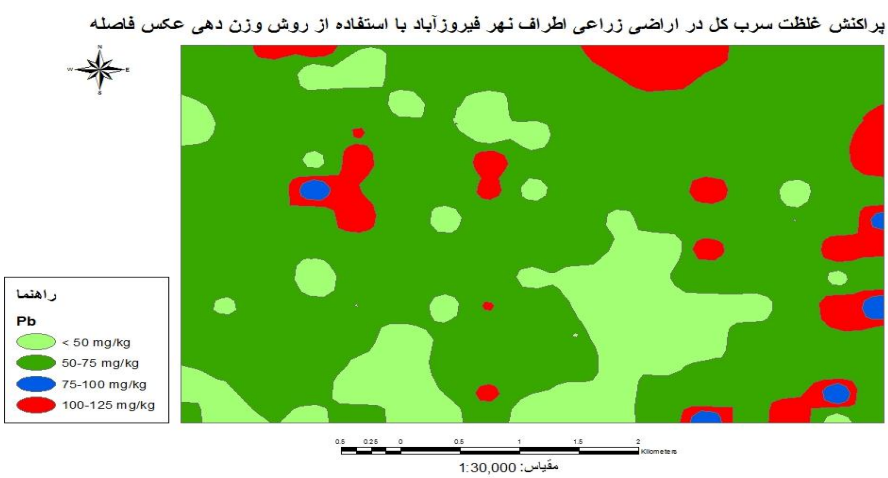
در مورد غلظت سرب و کادمیوم کل به دلیل پیروی از مدل خطی تعیین حد آستانه و دامنه تأثیر ممکن نیست. تنها غلظت نیکل کل از مدل کروی پیروی نموده است (جدول ۳) لذا دقت برآورد درون‌یابی برای عنصر نیکل بالاتر از دو عنصر دیگر است. و نیکل کل دارای ساختار مکانی قوی‌تری نسبت به سایر فلزات سنگین مورد مطالعه است. با توجه به توانایی بیشتر روش وزن-دهی عکس فاصله در بازنمایی رفتار آنومالی ویژگی‌ها نسبت به کریجینگ که امکان مدیریت رفتار ویژگی‌ها را بهتر فراهم می-کند. جهت پهنه‌بندی غلظت سرب و کادمیوم کل از روشIDW و برای غلظت نیکل کل از روش کریجینگ استفاده شد (شکل ۴). شکل ۴ نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت عناصر مورد

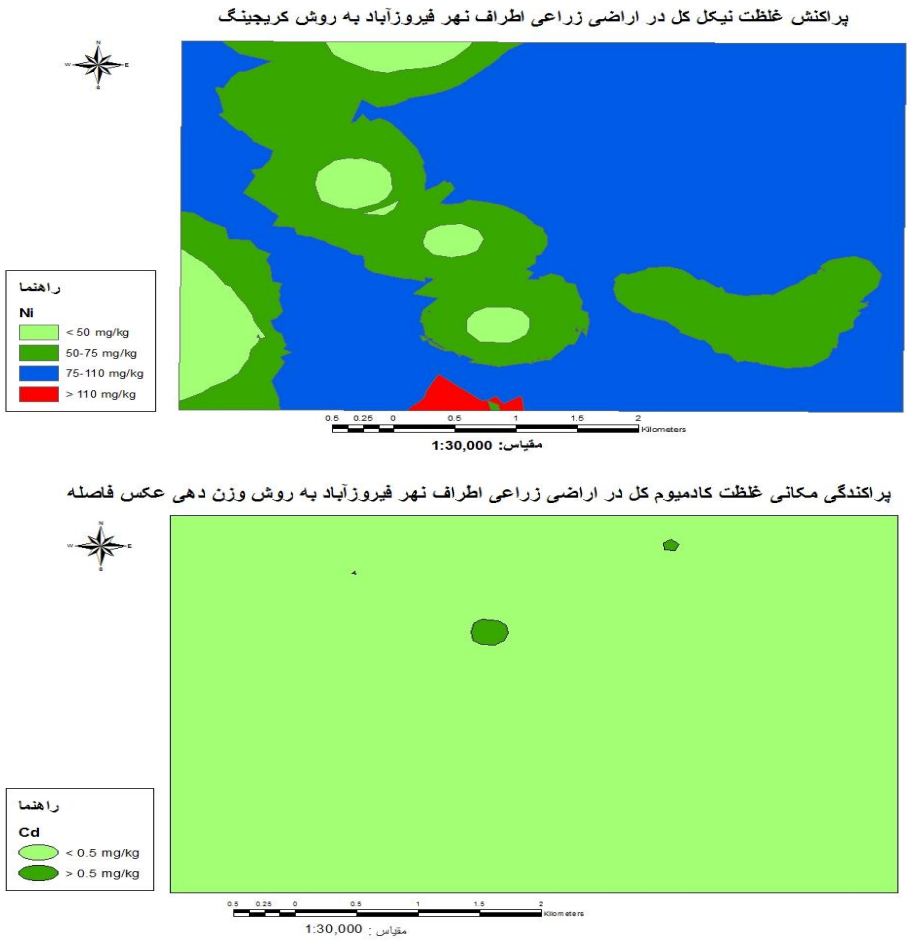
مطالعه را به دو روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در محدوده ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۳- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل‌های برازش داده شده برای غلظت سرب کل، نیکل کل و کادمیوم کل.

Figure 3. The experimental semivariograms and fitted model for the concentration of total lead, nickel and cadmium.





شکل ۴- پراکنش مکانی غلظت عناصر سرب و کادمیوم کل به روش IDW و غلظت نیکل کل به روش کریجینگ در خاک-های اراضی زراعی اطراف نهر فیروزآباد در جنوب تهران

Figure 4. Spatial variations of the concentration of total lead and cadmium using by IDW approach and total nickel concentration using by krigging approach in the soils of agricultural land around Firooz Abad stream in Tehran south

بحث و نتیجه‌گیری

میانگین غلظت سرب کل مشاهده شده در این پژوهش (۵۹/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از مقدار گزارش شده توسط فرزانه و همکاران (۲۵) برای استان همدان (متوسط ۲۵/۹۷ میلی گرم در کیلوگرم) می‌باشد. اما، کمتر از میانگین غلظت سرب گزارش شده برای خاک‌های مناطق صنعتی ایران توسط پژوهشگرانی همچون دیانی و محمدی[1] (۲۷) (میانگین ۱۰۱/۹ میلی گرم در کیلوگرم)، پریزنگانه و همکاران[2] (۲۸) (میانگین ۱۲۸/۵۱ میلی گرم در کیلوگرم) و نعیمی و ایوبی[3] (۲۹) (میانگین ۹۹/۴ میلی گرم در کیلوگرم) بود. با توجه به استاندارد پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای حد استاندارد سرب (۷۵ میلی گرم در کیلوگرم) ۱۳ درصد نمونه‌های خاک آلوده به سرب می-باشند. همچنین با توجه به استاندارد کشور آلمان (۱۹۹۲) (۳۰) که استاندارد سرب خاک را ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نموده حدود ۳ درصد نمونه‌های خاک آلوده به سرب و کشور

1- Dayani and Mohammadi
2- Parizanganeh et al.
3- Naimi and Ayoubi

امریکا(۱۹۹۳) (۳۰) که استاندارد سرب خاک را ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نموده آلودگی به سرب مشاهده نگردید.

میانگین غلظت نیکل کل مشاهده شده در این پژوهش (۸۶/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از غلظت گزارش شده توسط قیشلاقی و همکاران[1] (۳۱) برای خاک‌های مرتعی در منطقه‌ی انگوران در شمال غرب ایران (میانگین غلظت ۲۲/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و غلظت گزارش شده توسط نعیمی و ایوبی (۲۹) در خاک‌های صنعتی استان اصفهان (متوسط ۵۸/۴ میلی گرم در کیلوگرم) است. با توجه به حد استاندارد پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۳۲) برای نیکل کل (۱۱۰ میلی-گرم در کیلوگرم)، ۹ درصد نمونه‌های خاک آلوده به نیکل می-باشند. همچنین با توجه به استاندارد کشور آلمان(۱۹۹۲) (۳۰) که استاندارد نیکل خاک را ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نموده حدود ۹۹ درصد نمونه‌های خاک آلوده به نیکل و کشور امریکا (۱۹۹۳) (۳۰) که استاندارد نیکل خاک را ۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نموده آلودگی به نیکل مشاهده نگردید.

میانگین غلظت کادمیوم کل در منطقه ی مورد مطالعه (۰/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) کمتر از غلظت گزارش شده توسط دیانی و محمدی (۲۷) (میانگین غلظت ۰/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) برای خاک‌های مناطق شهری- معادن و همچنین بسیار کمتر از میانگین غلظت گزارش شده توسط دیگر محققان ایرانی همچون سلجی و همکاران[2] (۳۳) (میانگین غلظت ۱/۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پریزنگانه و همکاران (۲۸) (میانگین غلظت ۳/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک‌های مناطق صنعتی می‌باشد، با این حال غلظت‌های مشاهده شده در این پژوهش تا حدی مشابه غلظت‌های گزارش شده توسط اسماعیلی و همکاران[3] (۳۴) در خاک‌های کشاورزی استان اصفهان می‌باشد (میانگین غلظت ۰/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم). همچنین از میانگین غلظت کادمیوم گزارش شده از خاک‌های استان همدان (میانگین ۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است. با توجه به حد استاندارد پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای کادمیوم (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) آلودگی به کادمیوم مشاهده نگردید.

در طبیعت، اگر ورودی‌های دیگری (ورودی‌های ناشی از فعالیت-های انسانی) وجود نداشته باشد، معمولاً غلظت عناصر سنگین دارای توزیع نرمال خواهند بود (۳۵). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به غیرنرمال بودن توزیع فراوانی غلظت عناصر مورد بررسی غلظت‌های طبیعی این فلزات سنگین متأثر از فعالیت‌های انسانی است.

مدل‌های نیم‌تغییرنما برازش داده شده علاوه بر فراهم نمودن مولفه‌های ورودی روش درون‌یابی کریجینگ، اطلاعات مربوط به ساختار مکانی متغیرها را نیز فراهم می‌نماید (۳۶). دامنه‌ی تأثیر غلظت نیکل کل به مراتب بیش‌تر از فاصله‌ی نمونه‌برداری در منطقه‌ی مورد مطالعه (۳۰۰ متر) است و نشان می‌دهد که فاصله‌ی نمونه‌برداری مورد استفاده توانسته است الگوی تغییرات مکانی عنصر مورد بررسی را به خوبی نشان دهد. هرچه دامنه گسترده‌تر باشد تعداد نمونه کم‌تری جهت تعیین نقاط نمونه-برداری‌نشده لازم است (۳۷).

نسبت اثر قطعه‌ای به حدآستانه مشخص‌کننده درجه همبستگی مکانی هر ویژگی است. براساس تقسیم‌بندی کامباردلا و همکاران[4] (۳۸)، اگر نسبت اثر قطعه‌ای به حدآستانه کمتر از ۰/۲۵ باشد، متغیر دارای همبستگی مکانی قوی در مقیاس منطقه می‌باشد. اگر بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی متوسط می‌باشد و نسبت‌های بالاتر از ۰/۷۵ نشان‌دهنده‌ی همگنی و وابستگی مکانی ضعیف متغیر است. بر این اساس می‌توان بیان نمود که غلظت نیکل کل مورد مطالعه دارای وابستگی مکانی متوسط است (جدول ۳). همبستگی مکانی متوسط عنصر مورد بررسی حاکی از تأثیر عوامل انسانی شامل عوامل مدیریتی، تولید محصولات صنعتی، اضافه کردن پسماندهای صنعتی به صورت روباز در منطقه و حمل و نقل

1- Qishlaqi et al.
2- Solgi et al.
3- Esmaeili et al.
4- Cambardella et al.

وسایل نقلیه است. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهش‌گران نیز مطابقت دارد (۳۹ و ۴۰).

با توجه به هموار سازی یا نرم شدن تغییرات که در آن واریانس نمونه‌های تخمین زده شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری دارد، از ویژگی‌های روش کریجینگ است (۴۱) و با در نظر گرفتن اهمیت تعیین تغییرات نقطه‌ای آلودگی خاک‌ها و وابستگی مکانی کم غلظت سرب و کادمیوم کل، در این مطالعه روش IDW به عنوان روش مناسب جهت پهنه‌بندی غلظت این عناصر در اراضی زراعی جنوب تهران پیشنهاد گردید. در روش IDW نیازی به تعیین الگوی تغییرات مکانی یعنی ترسیم نیم تغییرنما نیست. IDW یک روش وزن‌دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند (۴۲). در این روش تنها با توجه به فاصله‌ی هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد برآورد، تعیین می‌شوند. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص داده می‌شود (۴۳).

نتایج پهنه‌بندی غلظت سرب کل در منطقه مورد مطالعه به روش IDW نشان داد که ۱۷۲۹ و۱۶۱ هکتار از سطح اراضی زراعی منطقه به ترتیب دارای مقدار سرب کل کمتر و بیش از ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشند. با توجه به محل قرار گرفتن نهر فیروز آباد در جنوب شرقی و شرق منطقه مورد مطالعه می‌توان بیان نمود که استفاده از فاضلاب‌های این نهر برای آبیاری اراضی سبب افزایش غلظت بالاتری از سرب در خاک‌های این مناطق شده است. علاوه بر این بخشی از غلظت‌های بالای سرب کل مشاهده شده در منطقه می‌تواند ناشی از وسایل نقلیه و کارخانجات موجود در منطقه باشد.

نتایج پهنه‌بندی منطقه برای عنصر نیکل کل به روش کریجینگ نشان داد که تقریبا ۰/۷ درصد از سطح اراضی زراعی منطقه مورد مطالعه دارای بیش از ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیکل کل هستند (حدود ۱۴ هکتار). نتایج نشان داد که در ۹۷ درصد از سطح اراضی زراعی منطقه مورد مطالعه غلظت کادمیوم کل کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. زیانگ دونگ و همکاران[1] (۴۴) عامل کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین را در مناطق شهری، دخالت‌های انسان در طبیعت و فعالیت‌های صنعتی گزارش کردند. علاوه بر این، عبداللهی و همکاران نیز دلایل احتمالی بالابودن غلظت این عناصر را به عملیات صنعتی، فعالیت‌های حمل ونقل و نیز کاربرد انواع کودهای حاوی این عناصر در اراضی کشاورزی و باغی مرتبط دانستند (۳۷).

از دیرباز آلودگی ناشی از استفاده از فاضلاب نهر فیروزآباد از دغدغه‌های پژوهشگران مختلف بوده است (۹ - ۱۳). آنچه که در تمامی این پژوهش‌ها بر آن تأکید شده است روند افزایشی غلظت فلزات سنگین در اراضی و محصولات زراعی منطقه جنوب تهران است. با توجه به نتایج به دست آمده در استفاده از فاضلاب نهر فیروزآباد به عنوان یک منبع تأمین آب برای آبیاری محصولات کشاورزی لازم است برای جلوگیری از آلودگی بیشتر این اراضی، نسبت به فعال کردن تصفیه خانه‌های فاضلاب جنوب تهران، مدیریت استفاده از کودهای شیمیایی و تغییر الگوی کشت منطقه اقدامات ضروری انجام شود.

References

1. Mico´, C., Recatala´, L., Peris, M., Sa´nchez. J., 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere, 65: 863–872.
2. Erfan manesh, M. and Afiuni, M. 2000. Environment pollution: water, soil and air. Arkan Esfahan publication.
3. Lee, C.S., Li, X., Shi, W., 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics, Science of the Total Environment, 356: 45–61.

1- Xiangdong et al.

4. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B., 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
5. Brown, R.E., 1975. Significance of trace-metals and nitrate in sludge Soil. J. Water Pollution Control Federation, 47(12): 2863-2875.
6. Gaui, F., Basta., N.T., Ram., W.R., 1997. Wheat grain cadmium as a effected by long term fertilization and soil acidity. J. Environ. Qual., 26: 265-271.
7. Shiela. M,R., 1996. Toxic metals in soil – Plant System John Wily & Sons, Inc. new York.
8. Lie, D., Yongzhang., Z., Jin., M.L., Yong, C.H., Qiuming, I., Shuyun, X., Haiyan, D., Yuanhang, Y., Honguf, W., 2008. Using multivariate statistical and geostatistical methods to identify spatial variability of trace elements in agricultural soils in Dongguan city, Guangdong. Journal of China University of Geosciences, 19(4): 343-353.
9. Shariati, M., Sabagh Farshi, R. and ghorghani nezhad, A. 1999. Investigation of heavy metal concentrations in agricultural crops and lands south of Tehran. Technical report of Soil and Water Research Institute (In Persian)
10. Torabian, A. and Baghouri, E. 1997. A survey of domestic and industrial wastewater application in south Tehran agricultural land. Journal of Environmental Studies, 18: 33-46. (In Persian)
11. Afiuni, M., Rezaee nezhad, Y. and Khaiam bashi, B. 1998. Effect of sewage sludge on yield and absorption of heavy metals by lettuce and spinach. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 2(1): 19-30. (In Persian)
12. Mola Hosseini, H. and Baghouri, E. 2002. Investigation of severity and extent of soil contamination with heavy elements and determination of their amount in plants irrigated with sewage. Final report of Soil and Water Research Institute. (In Persian)
13. Mardani, G., Sadeghi, M. and Ahankoob, M. 2010. Soil Pollution along the Surface Runoff in Southern Tehran. Water and Wastewater Consulting Engineers, 21 (3): 108-113. (In Persian)
14. Dadgar, M., Shahsavar, A. and Yousef Zadeh, A. 2010. Investigation of cadmium changes in Absard plain of Tehran. International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Kerman, Shahid Bahonar University. (In Persian)
15. Seifi, Y. and Mirzaei, R. 2017. Comparison of Spatial Interpolation Methods to Mapp Heavy Metals Concentrations in Surface Soil of Aran-O-Bidgol City. Journal of Environmental Science and Technology, 19(1): 131-147. (In Persian)
16. Rahimpour, F. and Abbaspour, R.A. 2014. Mapping Concentrations of heavy metals in soils using kriging And rbf case study: Harris Township. Geographical Data, 23: 55-67. (In Persian)
17. Shabani, M. 2011. Evaluation of geostatistical methods in groundwater

quality maps preparation and their mapping case study: Neyriz plain, Fars province. Journal of Physical Geography, 4(13): 83-96. (In Persian)

18. Hani, A. and Karimi Nejad M.T. 2010. Comparison of different interpolation methods in environmental pollution estimation, a case study of South Tehran. 5th National Conference on Geology and Environment, Islamic Azad University, Islamshahr Branch. (In Persian)
19. Baghaie, A.H., Khademi, H. and Mohammadi, J. 2007. Geostatistical analysis of spatial variability of Lead and Nickel around two industrial factories in Isfahan province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(2): 11-19. (In Persian)
20. Dayani, M., Mohammadi, J. and Naderi, M. 2010. Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Isfahan). Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology), 23(4): 67-76.
21. Ghazan Shahi, J. 2006. Soil and plant analysis. Aiezh Publications, 296 pages. (In Persian)
22. Facchinelli, A., Sacchi, E., Mallen, L. 2001. Multivariate statistacal and GIS-based approach to identify heavy metal source in soils. Journal of Environmental Pollution, 114: 313-324.
23. De Temmerman, L., Vanongeval, L., Boon, W., Hoenig, M., Geypens, M. 2003. Heavy metal content of arable soils in northern Belgium. Water, Air & Soil Pollution. 148(1): 61-76.
24. Elhag, M., Bahrawi, J.A., 2016. Consideration of geostatistical analysis in soil pollution assessment caused by leachate breakout in the municipality of Thermi, Greece, Desalination and Water Treatment, DOI: 10.1080/19443994.2016.1168583
25. Farzaneh, P., Soffianian, A.R. and Moattar, f. 2011. Spatial distribution of (Ni, Cr, Pb, Cu and Co) in the surface (superficial) soil of Hamadan County with Geostatistic & GIS. Human and Environment, 9 (4): 39-48.
26. Martin, J.A., Arias, M.L. and Grau Corbi, J.M. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geoestatistical methods to study spatial variations, Environmental Pollution, 144: 1001-1012.
27. Dayani, M., Mohammadi, J., 2010. Geostatistical assessment of Pb, Zn and Cd contamination in near-surface soils of the urban-mining transitional region of Isfahan, Iran. Pedosphere, 20: 568–577.
28. Parizanganeh, A., Hajisoltani, P., Zamani, A., 2010. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding zinc industrial complex in Zanjan-Iran. Prog. Environ. Sci., 2: 162–166.
29. Naimi, S., Ayoubi, S., 2013. Vertical and horizontal distribution of magnetic susceptibility andmetal contents in an industrial district of central Iran. J. Appl. Geophysics, 96: 55–66.
30. Kabata-Pendias, A., 2001.Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition, Talor and Fancis.
31. Qishlaqi, A., Moore, F., 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. J. Hazard. Mater., 172: 374-384.

32. Afiuni, M. 2011. Management Summary and Standard Tables for contamination and remediation in the soils of Iran. General Department of Administration for Environment Conservation and Protection of Isfahan. (In Persian)
33. Solgi, E., Esmaili-Sari, A., Riyahi-Bakhtiari, A., Hadipour, M., 2012. Soil contamination of metals in the three industrial estates, Arak, Iran. Bull. Environ. Contam. Toxicol, 88: 634–638.
34. Esmaeili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., Kermani, M., 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. Catena, 121: 88–98.
35. Zhao, Y.C.,Wang, Z.G., Sun,W.X., Huang, B., Shi, X.Z., Ji, J.F., 2010. Spatial interrelations and multi-scale sources of soil heavy metal variability in a typical urban–rural transition area in Yangtze River Delta region of China. Geoderma, 156: 216–227.
36. Burgos, M., E., Pérez-de-Mora., A., Cabrera., F., 2006. Spatial variability of the chemical characteristics of a trace element -contaminated soil before and after remediation, Geoderma, 130: 157-175.
37. Abdollahi, S., Delavar, M.A. and Shekari, P. 2013. Spatial distribution mapping of Pb, Zn and Cd and soil pollution assessment in Anguran area of Zanjan province. Journal of Water and Soil, 26 (6): 1410-1420. (In Persian)
38. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E., 1994 . Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of American Journal, 58: 1501-1511.
39. Yang, Y., Jin, Z., Bi, X., Li, F., Sun, L., Liu, J., Fu, Z., 2009. Atmospheric deposition carried Pb, Zn, and Cd from a zinc smelter and their effect on soil microorganisms. Pedosphere, 4: 422–433.
40. Moura, M.C.S., Moita, G.C., Neto, J.M.M., 2010. Analysis and assessment of heavy metals in urban surface soils of Teresina, Piauí State, Brazil: a study based on multivariate analysis. Comunicata Scientiae, 1: 120-127.
41. Davis, J C., 1986 (Secound Edition), Statistics and data analysis in geology, John Wiley $Sons, New York, 405-425.
42. Taghizadeh Mehrjerdi, R., Zareian, M., Mahmodi, Sh., Heidari, A. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd- Ardakan plain). World Applied Science Journal, 4: 9-17.
43. Rahsepar, S.R., Shahnazar, A., Khaledian, M.R. and Forghani, A. 2015. Study of Heavy Metals Pollution in Groundwater of Central Guilan Region and Mapping by Geostatistics. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 9(1): 13-21. (In Persian)
44. Xiangdong, L., Siu, L., Ewnzhong, S., 2004. The study of heavy metal contamination in urban soil of Hong

Kong using a GIS–base approach. Environmental Pollution, 129: 113-124.