



ع
س
م
ح
م
ط
ی

فصلنامه علوم محیطی، دوره یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲

۶۳-۷۲

بررسی وضعیت فلزات سنگین خاک‌های غرب شهر تهران (مطالعه موردی: پارک جنگلی چیتگر)

ابراهیم محمودآبادی^{۱*}، فریدون سرمدیان^۲، غلامرضا ثواقبی فیروزآبادی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

^۲ دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

^۳ استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۶

Study of Heavy Metal Levels in Soils of West Tehran (Case study: Chitgar forest park)

Ebrahim Mahmoodabadi^{1*}, Fereidon Sarmadyan²,
GHolamreza Savaghebi firouzabadi³

¹ M.Sc. student of Soil Science, Faculty of Agricultural
Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj

² Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of
Agricultural Engineering and Technology, University of
Tehran, Karaj

³ Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural
Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj

Abstract

Industry and road traffic, the main causes of environmental pollution in Tehran city, have been growing in recent decades. This study was conducted to investigate the situation of soil heavy metals in Tehran, and Chitgar Forest Park and surrounding land were chosen as the study area. Soil was sampled at 116 sites using a squared grid sampling strategy with a distance of 250 meters. The total concentration of seven heavy metals: lead, nickel, cadmium, zinc, iron, manganese and copper, were measured and analyzed by geostatistical techniques in GIS and GS+ software. The results of variogram analysis and a study of generated maps revealed that spatial variations of metal cadmium, zinc, lead, nickel, manganese and copper in soils were affected by industrial activity. Among all metals, cadmium, with the highest value of Nugget to sill ratio (71%), narrow range of 800 meters and variation coefficient of 0.59, was more affected by industrial activity than other elements. By contrast, total iron concentration, with a wide range of 2638 meters and a very low variation coefficient (0.14), was less affected by anthropogenic activity, suggesting that its distribution is controlled by parent materials. With respect to the total amount of global indices, no heavy metal reached a toxic level, but the indices were clearly affected by industrial activity in the area. This indicates a warning about the risk of toxicity in the future and, therefore, this should be considered in urban and industrial planning and management.

Keywords: Soil heavy Metals, Geostatistics, Chitgar Forest Park, Urban Soils.

چکیده

در دهه‌های اخیر شاهد رشد روزافزون صنایع و حجم ترافیک جاده‌های کلان‌شهر تهران، و در نتیجه ورود میزان زیادی آلودگی به محیط‌زیست این شهر بوده‌ایم. در این پژوهش، به منظور بررسی وضعیت فلزات سنگین خاک در تهران، پارک جنگلی چیتگر و زمین‌های اطراف آن مورد مطالعه قرار گرفت. ۱۱۶ نمونه خاک سطحی با استفاده از روش شبکه‌بندی منظم و با فاصله ۲۵۰ متر برداشته شد. غلظت کل هفت فلز سنگین سرب، نیکل، کادمیوم، روی، آهن، منگنز و مس اندازه‌گیری شد و با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار در محیط نرم‌افزارهای GIS و GS+ مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج تحلیل سمی‌واربوگرام و بررسی نقشه‌های تولیدشده نشان داد که تغییرات مکانی فلزات کادمیوم، روی، سرب، نیکل، منگنز و مس خاک‌های منطقه مطالعاتی، تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی بوده است. از این بین مقدار کادمیوم با بیشترین نسبت ناگت به واریانس کل $(C_0/(C_0+C))$ با مقدار ۷۱ درصد و دامنه پایین ۸۰۰ متر و هم‌چنین ضریب تغییرات (۵۹/۰) بیش از سایر فلزات تحت تأثیر این فعالیت‌ها بوده است. در حالی که مقدار آهن خاک با مقدار دامنه ۲۶۳۸ متر و ضریب تغییرات بسیار پایین (۱۴/۰) نسبت به دیگر عناصر کم‌تر تحت تأثیر فعالیت‌های انسان‌ساز قرار داشت و پراکنش آن تحت تأثیر شرایط طبیعی خاک بود. مقایسه مقدار کل عناصر با شاخص‌های جهانی نشان داد که هیچ‌کدام از فلزات به حد سمیت نرسیده بودند اما به‌وضوح تحت تأثیر فعالیت صنعتی در سطح منطقه قرار گرفته بودند که احتمال بروز سمیت در آینده را هشدار می‌دهد. لذا در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری و صنعتی باید مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پارک جنگلی چیتگر، خاک‌های شهری، زمین‌آمار، فلزات سنگین خاک.

۱- مقدمه

مکانی فلزات سنگین شامل Pb, Cu, Zn, Ba, Co, Cr, Ni, V در شهر مکزیکوسیتی، غلظت بالای فلزات مس، روی، سرب و باریم در شمال و مرکز شهر، به ترافیک بالای وسایل نقلیه نسبت داده شد. این در حالی بود که هیچ‌یک از دیگر عناصر مورد بررسی (Co, Cr, Ni, V) تحت تأثیر عوامل انسانی قرار نگرفته بودند و غلظت آن‌ها نیز تحت تأثیر مواد مادری بود [۱۲].

تهران به‌عنوان پرجمعیت‌ترین و صنعتی‌ترین شهر کشور در چند دهه اخیر، شاهد رشد روزافزون صنایع و حمل و ترافیک جاده‌ای و استفاده از سوخت فسیلی بوده است. اما مطالعات اندکی در رابطه با میزان آلودگی خاک‌های این شهر صورت گرفته است. بدین‌منظور با توجه به تجمع صنایع و حمل‌ونقل و ترافیک بالای جاده‌ای در منطقه غرب تهران، پارک جنگلی چیتگر به‌عنوان منطقه مورد بررسی انتخاب شد. لذا این مطالعه با هدف بررسی وضعیت فلزات سنگین و رسم نقشه‌های مربوط به این فلزات، و نیز بررسی تأثیر ترافیک جاده‌ای و فعالیت‌های صنعتی بر تجمع و الگوی تغییرات مکانی فلزات سنگین در این ناحیه از شهر انجام شد.

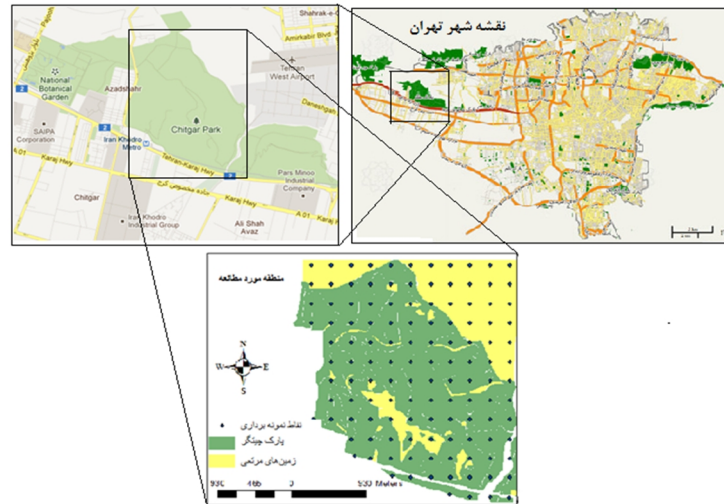
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و آنالیزهای آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه قسمتی از پارک جنگلی چیتگر و زمین‌های اطراف آن در غرب شهر تهران و در کنار اتوبان تهران - کرج است که بین طول جغرافیایی $30^{\circ}07'51''$ تا $51^{\circ}11'30''$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ}43'14''/17''$ تا $35^{\circ}44'51''/71''$ واقع شده است. مساحت منطقه مورد بررسی ۶۶۵ هکتار، بیشترین ارتفاع منطقه ۱۳۱۳ متر از سطح دریا، و کم‌ترین آن ۱۲۲۵ متر است. متوسط سالیانه بارش در تهران براساس آمار ۱۴ ساله (۷۴-۸۹) ایستگاه هواشناسی چیتگر معادل ۲۶۷ میلی‌متر است. در مجموع تعداد ۱۱۶ نمونه سطحی به‌صورت شبکه منظم و با فاصله ۲۵۰ متر از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد. در شکل ۱ موقعیت استقرار پارک جنگلی و کارخانجات صنعتی در غرب شهر تهران، و نیز الگوی نمونه‌برداری نشان داده شده است.

فعالیت‌های بشری از قبیل صنایع، حمل‌ونقل جاده‌ای، سوخت‌های فسیلی و مصرف ضایعات باعث آلودگی خاک در نواحی شهری و صنعتی شده است [۱]. خاک قسمت مهمی از اکوسیستم‌های شهری است که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم در کیفیت عمومی زندگی نقش دارد [۲]. در نواحی شهری به‌دلیل نزدیک بودن خاک به انسان، تأثیرات سمی فلزات از طریق تماس پوستی با خاک، بلع و ورود آن‌ها به معده، و استنشاق ذرات دارای عناصر کمیاب امکان بروز می‌یابد [۳]. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که خاک‌های نواحی شهری تغییرپذیری بسیار بالایی، حتی در محدوده‌های کوچک دارند [۴ و ۵]. این موضوع نه تنها در مورد کمیت‌های معمولی خاک، از قبیل pH و ظرفیت تبادل کاتیونی، بلکه در مورد آلودگی خاک نیز مشاهده می‌شود. این امر به‌دلیل تغییرپذیری مکانی طبیعت خاک و محیط شهر که ناشی از ناهمگنی بالای فعالیت‌های انسانی است، پدیدار می‌شود. بنابراین استفاده از روش‌های نوین و نرم‌افزارهای جدید برای شناسایی و مدیریت این مناطق امری ضروری است [۱ و ۶]. یکی از روش‌های پرکاربرد برای ارزیابی تغییرات مکانی در مطالعات خاک‌شناسی و محیط‌زیست، استفاده از روش‌های زمین‌آماري است. زمین‌آمار هم دارای ابزار تفسیر (واریوگرام) و هم ابزار تخمین (نظیر کریجینگ) برای مطالعه تغییرپذیری مکانی خاک است؛ تحلیل همبستگی مبتنی است بر ساختار واریوگرام که بیان‌گر وجود همبستگی مکانی است. روش‌های زمین‌آماري مناسب برای شناسایی و پهنه‌بندی فلزات سنگین است و در بسیاری از مطالعات کاربرد دارد [۷ و ۸].

تحقیقات متعدد در شهرهای مختلف، حاکی از افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک‌های نواحی صنعتی و شهری، به‌علت فعالیت‌های صنعتی و استفاده از سوخت‌های فسیلی بوده است [۶، ۸-۱۱]. در مطالعه خاک‌های اطراف منطقه صنعتی در زیوشای چین غلظت عناصر مس، نیکل، سرب و آرسنیک در مقایسه با مقادیر پس‌زمینه متناظر مقادیر بالاتری نشان دادند به‌طوری که جزء انسان‌ساز این عناصر با فاصله گرفتن از منطقه به‌صورت نمایی کاهش یافته بود [۱۰]. در بررسی پراکنش



شکل ۱- موقعیت قرار گیری منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری

در گام بعد، برازش مناسب‌ترین مدل نظری به تغییرنمای تجربی براساس حداقل مجموع مربع انحرافات و بیشینه ضریب تبیین (R^2) صورت گرفت. محاسبه وزن حداقل مجموع مربع انحرافات رایج‌ترین تکنیک مورد استفاده است [۱۴]. به‌منظور بررسی همسانگردی^۲ متغیرها، ابتدا تغییرنما در جهت‌های مختلف رسم شد، و بعد تغییرنماهای مربوط به هر جهت با هم مقایسه شد. هم‌چنین تحلیل همسانگردی با استفاده از تغییرنمای رویه‌ای^۳ انجام شد.

به منظور ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی، از روش ارزیابی متقاطع^۴ و با استفاده از معیارهای میانگین مربعات باقی‌مانده^۵ (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا^۶ (MAE)، و میانگین مربع خطا^۷ (MBA) استفاده شد. RMSE، MAE و MBA با فاصله یافتن از صفر، نشان‌گر کمی دقت یا زیاد بودن انحراف هستند [۱۵]. بر این اساس از بین سه تخمین‌گر کریجینگ، کوکریجینگ و روش فاصله معکوس^۸، تخمین‌گر کریجینگ به‌عنوان دقیق‌ترین تخمین‌گر به‌منظور میان‌یابی استفاده شد. کریجینگ تخمین‌گری ناریب^۹، با کم‌ترین مقدار واریانس تخمین است و همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌دهد. با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آن خطا زیاد است و برای کاهش آن داده‌های بیشتری مورد نیاز است، مشخص کرد و تحت پوشش لازم قرار داد. مهم‌ترین ویژگی کریجینگ که این روش را از دیگر تخمین‌گرها متمایز می‌سازد «کمینه‌سازی واریانس خطا» است [۱۶].

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و آماده‌سازی (هواخشک کردن، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری) عصاره‌گیری با استفاده از اسیدنیتریک ۴ نرمال انجام شد. در عصاره به دست آمده مقدار فلزات سنگین سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، نیکل (Ni)، روی (Zn)، مس (Cu)، منگنز (Mn) و آهن (Fe) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu (AA.670) اندازه‌گیری شد. توصیف آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS 16.0 صورت گرفت؛ تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده‌ها و رسم نقشه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار GIS v.9.2 و GS+ v.5.1 انجام شد.

۲-۲- تحلیل ساختار مکانی

در صورت وجود ساختار مکانی، نقاط نزدیک به هم شباهت بیشتری نسبت به نقاط دور از هم نشان می‌دهند و این در واقع پیش‌شرط استفاده از زمین‌آمار است. مقادیر نیم تغییرنمای تجربی نشان‌دهنده درجه تفاوت بین مقدار نمونه و مقدار داده‌های اطراف آن است. محاسبه تغییرنما اولین گام در بررسی تغییرات مکانی متغیر است. برای محاسبه تغییرنما از فرمول ارائه شده توسط گووارتز [۱۳] استفاده شد:

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

که در آن: $\gamma(h)$ نشان‌گر مقدار نیم تغییرنما، $N(h)$ تعداد زوج نقاط، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر x در موقعیت i ، و $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله h از x_i هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی وضعیت داده‌ها

ارزیابی داده‌های خام و آمار توصیفی مربوط به فلزات سنگین در جدول ۱ آورده شده است. از آنجا که تجزیه‌های زمین‌آماری به داده‌های با توزیع نرمال نیاز دارد، آزمون نرمالیته کالموگروف - اسمیرنوف روی متغیرها صورت گرفت. نتایج حاصله نشان داد که فلزات روی، منگنز، سرب و کادمیوم از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند، و براین اساس تغییر شکل داده‌ها به شکل لگاریتمی صورت گرفت. بیشینه غلظت هر یک از عناصر دو یا چند برابر کمینه متغیر بود که نشان از دامنه تغییرات زیاد دارد.

مقایسه ضریب تغییرات (معیار پراکندگی) فلزات سنگین نشان داد که بیشترین ضریب تغییرات در بین فلزات مربوط به کادمیوم و کم‌ترین ضریب مربوط به عناصر مس و آهن بود (جدول ۱). هم‌چنین مقدار ضریب تغییرات برای سایر فلزات نیز پراکندگی نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد. براساس گزارش‌های به دست آمده [۵] می‌توان گفت که تغییرات کادمیم تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. براساس این گزارش ضریب تغییرات پایین مس و آهن دلیلی بر کنترل بیشتر عوامل ذاتی خاک نسبت به عوامل انسان‌ساز، در کنترل غلظت این دو فلز در خاک منطقه مورد مطالعه است.

۳-۲- تفسیر مؤلفه‌های نیم تغییر نمای برازش داده شده برای مقادیر فلزات سنگین

از سمی‌واریوگرام برای فهم درجه پیوستگی مکانی داده‌ها و دامنه تأثیر وابستگی مکانی داده‌ها استفاده می‌شود. سمی‌واریوگرام تجربی نشان‌دهنده واریانس مقادیر نمونه‌ها

در فواصل مختلف است. تغییرنمای ایده آل دارای سه پارامتر اثر قطعه‌ای^{۱۰}، حد آستانه^{۱۱}، و دامنه مؤثر^{۱۲} است. اثر قطعه‌ای بیان‌کننده مقدار واریوگرام در مبدأ مختصات است که جزء تصادفی یا غیر ساختاردار متغیر را نشان می‌دهد؛ این مقدار (C_0) در حالت ایده‌آل برابر صفر است. مقدار ثابتی را که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد «آستانه» می‌نامند، که برابر واریانس کل تمام نمونه‌های مورد استفاده در محاسبه تغییرنما است. «دامنه مؤثر» بیان‌کننده فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل در نظر گرفت. این بدان معناست که نمونه‌ها تا فاصله معینی بر هم تأثیر می‌گذارند و پیوستگی مکانی دارند، اما در خارج از این فاصله دیگر پیوستگی مکانی وجود ندارد و نمونه‌ها به صورت مستقل عمل می‌کنند [۶].

شدت و درجه وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم اثر قطعه‌ای به حد آستانه (C_0/C_0+C) به دست آورد که گاه به صورت درصد بیان می‌شود. اگر این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد متغیر وابستگی مکانی قوی دارد. نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌گر وابستگی مکانی متوسط برای متغیر مورد نظر است، و نسبت اثر قطعه‌ای به واریانس کل بیشتر از ۷۵ درصد نشان‌گر وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود [۵]. بر این اساس، برازش مدل نظری بر واریوگرام تجربی به دست آمده نشان داد که پارامترهای روی، آهن، مس، منگنز، نیکل، سرب و کادمیم دارای ساختار تغییرات مکانی هستند. نسبت اثر قطعه‌ای به واریانس کل نشان داد که وابستگی تمامی فلزات سنگین مورد بررسی متوسط است. وابستگی مکانی قوی را می‌توان به خصوصیات ذاتی خاک، و وابستگی مکانی ضعیف را می‌توان به فاکتورهای خارجی نسبت داد [۵]. در تمامی

جدول ۱- خلاصه آماری مقادیر فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه

متغیر	دامنه تغییرات (mg/kg)	مقدار کمینه (mg/kg)	مقدار بیشینه (mg/kg)	میانگین (mg/kg)	واریانس	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (%)
روی	۷۷/۵	۴۲/۶۵	۱۲۰/۲	۷۴/۴۲	۳۲۹/۲۲	۰/۰۷	۰/۲۶	۲۲/۷۰
سرب	۳۰/۶۰	۹/۲۰	۳۹/۸۰	۲۱/۲۴	۳۵/۷۵	۱/۰۳	۱/۲۹	۲۸/۱۰
آهن	۱۵۷۳۸	۱۶۱۸۸	۳۱۹۲۵	۲۵۵۴۳	$۱/۳۷ \times ۱۰^۷$	-۰/۴۵	-۰/۳۷	۱۴/۵۰
نیکل	۳۲/۷۳	۴/۶۹	۳۷/۴۲	۲۱/۲۰	۵۳/۶۵	-۰/۴۵	-۰/۳۰	۳۴/۵۰
منگنز	۶۴۲/۵۵	۶۳۱/۲۵	۱۲۷۳/۸۰	۹۰۵/۴۰	۱۹۴۶۰	۰/۷۳	۰/۲۹	۱۵/۴۰
مس	۲۰/۲۰	۲۲/۸۰	۴۳/۰۰	۳۴/۵۲	۲۰/۴۵	۰/۴۵	-۰/۲۹	۱۳/۱۰
کادمیم	۰/۴۰	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۸۱	۰/۴۶	۵۹/۵۰

فعالیت‌های انسان‌ساز بر این عنصر است، ضریب تغییرات کم و هم‌چنین الگوی پراکنش مکانی متفاوت این عنصر را می‌توان دلیلی بر غالب بودن تأثیر منبع زمین‌شناسی در تعیین پراکنش این عنصر در منطقه دانست. برای فلز آهن دامنه تأثیر نسبتاً بالایی (۲۶۲۱) به دست آمد که بیشترین دامنه تأثیر در بین فلزات مورد بررسی بود. از طرفی با توجه به درصد ضریب تغییرات پایین این عنصر می‌توان نتیجه گرفت که مواد مادری نقش اصلی را در تعیین پراکنش مکانی این عنصر در خاک منطقه بازی می‌کند. این فلز کم‌تر از سایر فلزات تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی منطقه قرار گرفته است.

۳-۳- توزیع مکانی نقشه‌های فلزات سنگین خاک

در شکل ۲ پهنه‌بندی خصوصیات خاک و مقدار فلزات با روش کریجینگ نشان داده شده است. در شمال، به‌خصوص شمال شرقی منطقه، غلظت بالایی از فلزات سنگین منگنز، نیکل و کادمیوم دیده می‌شود. با مراجعه به نقشه بافت خاک منطقه بیشترین درصد رس نیز در این ناحیه دیده می‌شود. براساس ضریب همبستگی پیرسون این فلزات همبستگی بالایی با مقدار رس نشان دادند و بنابراین، میزان بالاتر تجمع فلزات در این ناحیه را می‌توان به عامل بافت خاک نسبت داد [۱۸ و ۱۹]. بالابودن مقدار آهن، مس و روی در قسمت شمال شرقی به مقدار پایین کربنات در این قسمت از منطقه مطالعاتی ارتباط دارد. با توجه به همبستگی منفی این سه عنصر با مقدار کربنات کلسیم و بالابودن این عامل در قسمت شمال شرقی منطقه، می‌توان این عامل را در پراکنش این سه عنصر تعیین‌کننده دانست.

فلزات اثر قطعه‌ای مشاهده شد که این امر را می‌توان ناشی از نمونه‌برداری اشتباه، تغییرپذیری در فواصل کم‌تر از فاصله نمونه‌برداری، و تغییرات تصادفی ذاتی متغیرها دانست. با توجه به بالاترین مقدار R^2 و کم‌ترین RMSE، بهترین مدل برازش‌یافته برای نیکل و منگنز خاک مدل نمایی بود. با توجه به نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل، برای هر دو عنصر وابستگی مکانی متوسط به دست آمد. در بین فلزات سنگین بالاترین همبستگی مکانی مربوط به نیکل بود. در مطالعه ونگ و ویو [۱۷] نیز مدل نمایی به‌عنوان بهترین مدل برای منگنز با وابستگی مکانی قوی برازش داده شد، در حالی که مدل به‌کار برده شده توسط آن‌ها برای نیکل کروی بود که وابستگی مکانی متوسطی داشت.

عناصر روی، کادمیوم، مس، آهن و سرب کل وابستگی متوسط نشان دادند که مدل برازش‌یافته برای این عناصر کروی بود. در مطالعه یانگ و همکاران [۵] برای کادمیوم، سرب و مس از مدل کروی، و برای روی کل از مدل گوسی استفاده شد. در حالی که مدل برازش داده شده برای این سه عنصر در مطالعه رودریگز و همکاران [۱۲] نمایی بود و وابستگی متوسطی داشتند. اما پایین بودن دامنه تأثیر روی و کادمیوم نشان‌گر این نکته است که این فلزات از ساختار مکانی کمی برخوردارند و می‌توان نتیجه گرفت که عوامل طبیعی خاک نقش چندانی در کنترل توزیع کادمیوم و روی کل خاک ندارند. تغییرات این دو عنصر در خاک را می‌توان تحت تأثیر عوامل خارجی، نظیر منابع انسان‌ساز، دانست. ضریب تغییرات بالا برای کادمیوم و روی کل نیز مؤید این نتیجه‌گیری است. در فلز مس علی‌رغم دامنه تأثیر نسبتاً کوچک که دلیلی بر تأثیر

جدول ۲- تحلیل سمی واریوگرام برای پارامترهای مورد مطالعه

پارامتر	مدل انتخابی	اثر قطعه‌ای (C_0)	مقدار آستانه (Sill)	دامنه تأثیر (A)	نسبت (C_0/C_0+C)	R^2	RSS
روی کل	کروی	۰/۰۳	۰/۰۵۲	۱۳۵۰	۰/۵۷	۰/۹۰	$۲/۶۰ \times 10^{-5}$
آهن کل	کروی	$۸/۱ \times 10^6$	$۱/۶۲ \times 10^6$	۲۶۲۱	۰/۵۰	۰/۹۵	$۲/۷۵ \times 10^{12}$
نیکل کل	نمایی	۲۱/۱	۶۲/۳	۲۲۴۷	۰/۳۴	۰/۹۷	۲۵/۶
منگنز کل	نمایی	۱/۳	۲/۹۶	۲۵۵۳	۰/۴۳	۰/۹۶	۰/۳۴
سرب کل	کروی	۰/۲۴۴	۰/۴۹	۳۴۸۳	۰/۵	۰/۹۷	$۸/۰۳ \times 10^{-4}$
مس کل	کروی	۱۳	۲۱	۱۲۰۰	۰/۶۲	۰/۹۲	۲/۶۳
کادمیوم کل	کروی	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۵۲	۱۱۰۰	۰/۷۱	۰/۷۱	$۳/۸۰ \times 10^{-7}$

غلظت بالای این عنصر به صورت طبیعی در خاک، تأثیر فعالیت‌های انسانی بر پراکنش آهن در سطح منطقه ناچیز است؛ درصد ضریب تغییرات پایین آهن نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

در مطالعه خاک‌های شهر زاگرب نیز منبع آهن خاک پدوژنیکی گزارش شد [۲۳]. بیشترین ضریب همبستگی مس با فلز آهن بود که این امر نشان‌گر منبع یکسان این دو عنصر در سطح منطقه است. مطالعه خاک‌های دشت جنوب شرقی چین نشان داد که بین آهن و مس همبستگی بالایی وجود دارد [۲۴]. براساس نقشه‌های به دست آمده، مقدار کل مس تغییرات مکانی مشابهی با نقشه آهن کل دارد. هم‌چنین براساس جدول ۳، همبستگی منفی بالایی بین کربنات کلسیم با آهن و مس وجود دارد. با مراجعه به نقشه مقدار کربنات کلسیم، کم‌ترین غلظت این عامل در قسمت جنوب منطقه بود و همین امر باعث کاهش غلظت مس در قسمت‌های جنوبی منطقه شده است. به نظر می‌رسد مواد مادری در تعیین مقادیر مس در خاک نیز نقش مهمی بازی می‌کنند، با این تفاوت که براساس نتایج حاصل از تحلیل سمی‌واریوگرام، این عنصر بیش از آهن تحت تأثیر فعالیت‌های آنتروپوژنیک منطقه قرار گرفته است.

بررسی نقشه‌های خطای تخمین به ما کمک می‌کند تا سطح اعتماد به داده‌ها را تعیین کنیم و در صورت لزوم برای افزایش دقت در نمونه‌برداری، تراکم تعداد نمونه‌ها را در پهنه‌هایی که از دقت مورد نظر برخوردار نیستند، افزایش دهیم. از این نقشه‌ها می‌توان در جهت مدیریت دقیق‌تر و نیز تفسیر فرایندها بهره‌مند شد. بررسی نقشه‌های خطای تخمین نشان داد که در پهنه‌هایی که

در قسمت میانی جنگل کم‌ترین مقادیر و تجمع برای فلزات سرب، نیکل، کادمیم، روی و منگنز دیده شد که می‌توان آن را ناشی از بیشینه فاصله از اتوبان‌های اطراف پارک دانست. هم‌چنین براساس نتایج حاصل از مطالعات دیگر [۲۱ و ۹، ۲۰] مبنی بر عملکرد جنگل‌ها به‌عنوان فیلتری برای آلودگی‌های اتمسفری و هواپردی، می‌توان پوشش جنگلی نزدیک به اتوبان را در جلوگیری از انتقال فلزات به نقاط مرکزی دخیل دانست. از طرفی با توجه به نقشه‌های تولیدی و موقعیت منطقه مطالعاتی، در جنوب منطقه تمام فلزات سنگین به جز مس و آهن غلظت بالایی دارند که نزدیک شدن به اتوبان تهران - کرج با حجم بالای ترافیک، شامل آلودگی حاصل از تردد و مصرف سوخت اتومبیل را دلیل آن ذکر کرد. هم‌چنین آلودگی اتمسفری صنایع بزرگی همچون کارخانجات صنعتی از قبیل ایران خودرو و سایپا، باعث افزایش مقدار بیشتری از این فلزات در این قسمت از منطقه شده است. الگوی پراکنش تقریباً یکسان این فلزات و نیز همبستگی مثبت بین این عناصر را می‌توان دلیلی بر یکسان بودن منبع تجمع و افزایش این فلزات در سطح منطقه دانست. این یافته با نتایج تحقیقات انجام شده [۴، ۸، ۱۰]، و بسیاری از مطالعات دیگر همخوانی دارد.

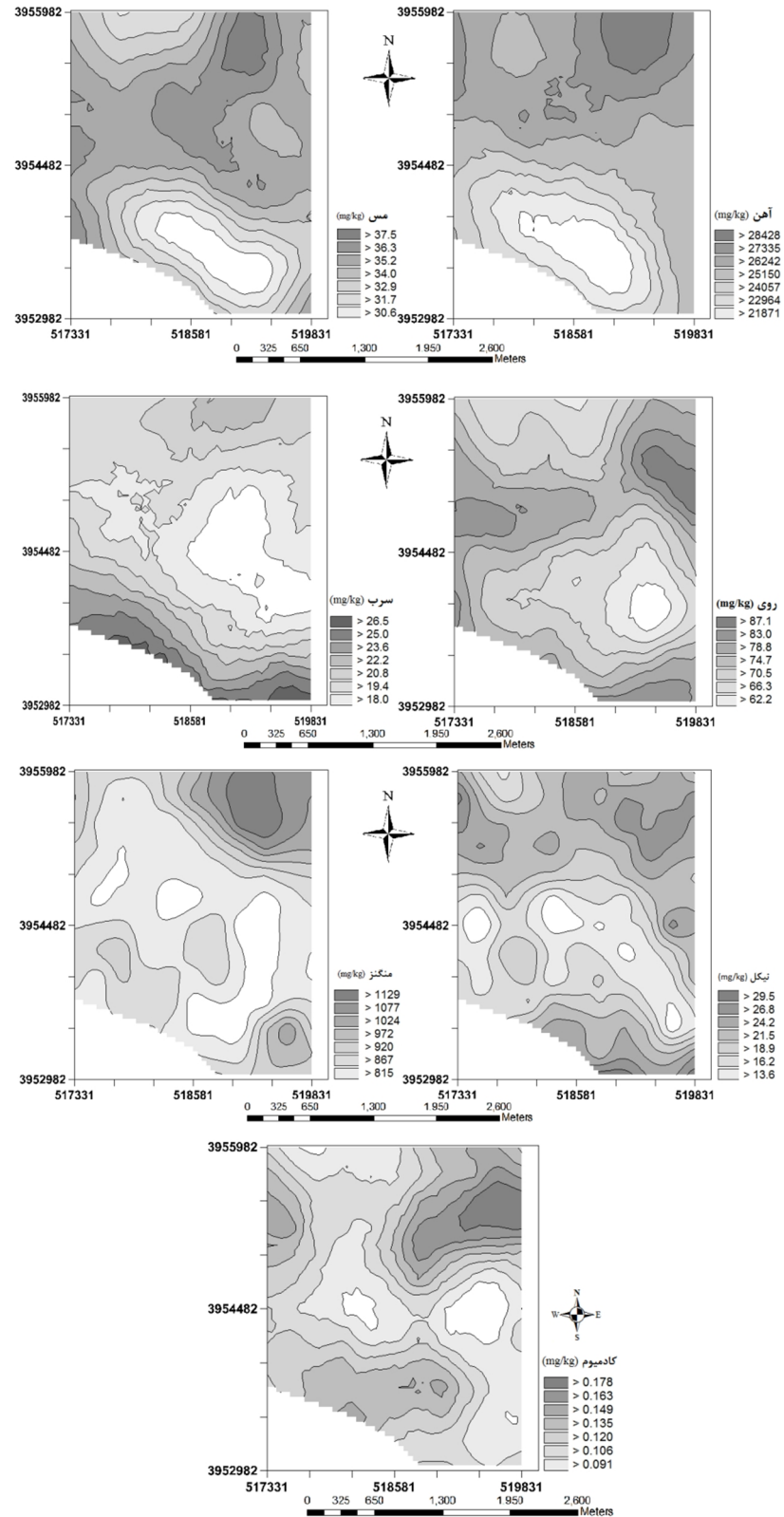
درمورد عنصر آهن و مس در جنوب نقشه، غلظت این دو عنصر کم‌ترین مقدار را نشان داد. آهن یکی از فراوان‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده خاک است که مقدار آن در پوسته جامد زمین به حدود ۵ درصد می‌رسد. آهن در پوسته جامد زمین چهارمین عنصر فراوان و اولین فلز سنگین محسوب می‌شود [۲۲]. براساس نتایج حاصل از تحلیل واریوگرام آهن، دامنه تأثیر این فلز نسبتاً بالاست (۲۶۳۸). با توجه به

جدول ۳- ضرایب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین و خصوصیات خاک

کادمیوم	مس	منگنز	نیکل	آهن	سرب	روی	رس	کربنات کلسیم	
-	-	-	-	-	-	-	-	۱	کربنات کلسیم
-	-	-	-	-	-	-	۱	-۰/۰۴۹ns	رس
-	-	-	-	-	-	۱	۰/۱۳۲ns	-۰/۲۱۹*	روی
-	-	-	-	-	۱	۰/۳۹۷**	۰/۰۴۴ns	-۰/۱۴۵ns	سرب
-	-	-	-	۱	۰/۰۶۱ns	۰/۲۷۶**	۰/۱۱۲ns	-۰/۶۴۱**	آهن
-	-	-	۱	۰/۰۶۹ns	۰/۲۷۲**	۰/۲۰۴*	۰/۵۱۰**	-۰/۲۹۷**	نیکل
-	-	۱	۰/۳۰۰**	۰/۳۹۸**	۰/۱۴۴ns	۰/۲۵۴**	۰/۵۴۵**	-۰/۴۴۱**	منگنز
-	۱	۰/۱۳۷ns	۰/۰۶۰ns	۰/۶۴۳**	۰/۲۶۹**	۰/۳۷۸**	۰/۰۳۱ns	۰/۴۶۹**	مس
۱	۰/۲۰۳*	۰/۱۲۰ns	۰/۳۰۱**	۰/۰۳۳ns	۰/۲۱۲*	۰/۲۹۰**	۰/۲۵۸**	-۰/۰۹۵ns	کادمیوم

هم‌چنین نتایج حاصل از ارزیابی متقاطع^{۱۳} و RMSE و MAE حاصل از آن نشان داد که دقت روش کریجینگ در تخمین مقادیر فلزات مورد بررسی در سطح منطقه مناسب است.

داده گمشده وجود دارد و نیز در حاشیه منطقه مورد مطالعه — به دلیل کم‌تر بودن داده به‌منظور میان‌یابی — خطای تخمین افزایش می‌یابد. در سایر قسمت‌های نقشه که تراکم نمونه‌برداری مناسب بود، خطای ناچیزی مشاهده شد.



شکل ۲- نقشه‌های پراکنش مکانی غلظت هفت فلز سنگین خاک

۴- نتیجه گیری

مطالعه عناصر سنگین مورد بررسی در منطقه نشان داد که این عناصر وابستگی مکانی متوسطی دارند. دامنه تأثیر این فلزات متغیر بود به طوری که بیشترین دامنه تأثیر مربوط به سرب و کمترین آن مربوط به کادمیم بود. دو مدل نمایی و کروی بر واریوگرام تجربی برازش داده شد که واریانس بخش ساختاردار بر واریانس مؤلفه تصادفی غلبه داشت. این مسئله نشان‌گر مناسب بودن الگو و فاصله نمونه برداری در این مطالعه است. بررسی نقشه پراکنش فلزات، که توسط تخمین‌گر کریجینگ ترسیم شد، حاکی از یکسان بودن الگوی تغییرات برای عناصر منگنز، روی، سرب، کادمیم و نیکل در منطقه بود. در شمال شرق و جنوب نقشه بیشترین تجمع این عناصر نشان داده شد، در حالی که فلزات مس و آهن الگوی متفاوتی نشان دادند که این مسئله را می‌توان در ارتباط با منشأ متفاوت این دو عنصر در خاک دانست. منشأ این دو عنصر را با توجه به ضریب تغییرات پایین‌شان می‌توان بیشتر به شرایط طبیعی خاک نسبت داد، در حالی که پراکنش سایر فلزات تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی و ترافیک اطراف پارک قرار گرفته بود. غلظت تمامی عناصر مورد بررسی براساس مقادیر کل تعیین شده توسط آئوی [۲۵] در حد مجاز بود. با این وجود براساس سمی‌واریوگرام به دست آمده غلظت تمامی فلزات مورد بررسی تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی قرار گرفته است. این امر لزوم برنامه‌ریزی برای آینده و جلوگیری از شهرسازی و توسعه شهری در این منطقه، و نیز دیگر مناطق نزدیک به قطب‌های صنعتی را تأیید می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Xushe
2. Anisotropy
3. Surface
4. Cross Validation
5. Root Mean Square Error (RMSE)
6. Mean Absolute Error (MAE)
7. Mean Bias Error (MBA)
8. IDW
9. Unbiased estimator
10. Nugget effect
11. Sill
12. Effective Range
13. cross-validation

منابع

- [1] Ajmone-marsan F, Biasioli M. Trace Elements in Soils of Urban Areas. *Water, Air, & Soil Pollution*; **2010**; **213**(1-4): 121-143.
- [2] Van Kamp I, Leidelmeijer K, Marsman G, de Hollander A. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning*; **2003**; **65**(1):5-18.
- [3] Abrahams PW. Soils: their implications to human health. *Science of the Total Environment*; **2002**; **291**(1): 1-32.
- [4] Madrid L, Diaz-Barrientos E, Ruiz-Cortés E, et al. Variability in concentrations of potentially toxic elements in urban parks from six European cities. *Journal of Environmental Monitoring*; **2006**; **8**(11):1158-1165.
- [5] Yang P, Mao R, Shao H, Gao Y. An investigation on the distribution of eight hazardous heavy metals in the suburban farmland of China. *Journal of Hazardous Materials*; **2009**; **167**(1):1246-1251.
- [6] Wu S, Xia X, Lin C, Chen X, Zhou C. Levels of arsenic and heavy metals in the rural soils of Beijing and their changes over the last two decades (1985- 2008). *Journal of Hazardous Materials*; **2010**; **179**(1-3):860-868.
- [7] Liu X, Wu J, Xu J. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. *Environmental Pollution*; **2006**; **141**(2): 257-264.
- [8] Sun Y, Zhou Q, Xie X, Liu R. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*; **2010**; **174**(1):455-462.
- [9] Yongfeng WU, Congqiang LIU, Chenglong TU. Distribution and sequential extraction of some heavy metals in urban soils of Guiyang City, China. **2008**; **27**(4): 401-406.
- [10] Wu S, Zhou S, Li X, Town X. Determining the anthropogenic contribution of heavy metal accumulations around a typical industrial town: Xushe, China. *Journal of Geochemical Exploration*; **2011**; **110**(2): 92-97.
- [11] Xia X, Chen X, Liu R, Liu H. Heavy metals in urban soils with various types of land use in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials*; **2011**; **186**(2-3): 2043-50.
- [12] Rodríguez JA, Nanos N, Grau JM, Gil L, Lopez-Arias M. Multiscale analysis of heavy metal



- contents in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere*; **2008**; **70**(6): 1085-1096.
- [13] Goovaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*; **1998**; **27**(4): 315-334.
- [14] Webster R, Oliver MA. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons; **2007**.
- [15] Wackernagel H. Geostatistical techniques for interpreting multivariate spatial information. In: *Quantitative analysis of mineral and Energy Resources*. Springer; **1987**: 393-409.
- [16] Mohammadi J. *Pedometric vol 2 (spatial statistics)*. Tehran: Pelk; **2006**. **(In persian)**
- [17] Wang L, Wu J. Spatial variability of heavy metals in soils across a valley plain in Southeastern China. *Environmental Geology*; **2008**; **55**(6): 1207-1217.
- [18] Korte NE, Skopp J, Fuller WH, Niebla EE, Alesii BA. Trace element movement in soils: influence of soil physical and chemical properties. *Soil Science*; **1976**; **122**(6): 350-359.
- [19] Qishlaqi A, Moore F, Forghani G. 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*; **2009**; **172**(1): 374-84.
- [20] Wenzel WW, Alge G, Blum WEH, et al. Seasonal and spatial variation of extractable trace metal fractions in topsoils under mixed forest. *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*; **1996**; **159**(4): 333-336.
- [21] Wilcke W, Kaupenjohann M. Small scale heterogeneity of soil chemical properties. II. Fractions of aluminum and heavy metals. *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*; **1994**; **157**(6): 459-465.
- [22] Vodyanitskii YN. Iron minerals in urban soils. *Eurasian Soil Science*; **2010**; **43**(12): 1410-1417.
- [23] Romic M, Romic D. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area; *Environmental Geology*; **2003**; **43**(7): 795-805.
- [24] Wang L, Wu J. Spatial variability of heavy metals in soils across a valley plain in Southeastern China. *Environmental Geology*; **2008**; **55**(6): 1207-1217.
- [25] Alloway BJ. *Heavy Metals in Soils*. New York: *Blackie and Son*; **1990**. p. 339.

