نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص. ۱۴۴-۱۳۲

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 1, Mar-Apr 2010, p. 132-144

تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان

مرضیه تقی پور[۱] - حسین خادمی[۲*] - شمس اله ایوبی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۷
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۳

چکیده

در سال‌های اخیر تجمع عناصر سنگین در خاک در بسیاری از نقاط جهان به یک مشکل زیست محیطی مهم تبدیل شده است. از آنجائیکه در ارتباط با وضعیت پراکنش عناصر سنگین در خاک‌های استان همدان اطلاعاتی وجود ندارد، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین سرب و روی در برخی از خاک‌های سطحی اطراف شهر همدان و درک ارتباط احتمالی آن با نوع استفاده از اراضی و مواد مادری خاک‌ها صورت گرفت. تعداد ۲۶۳ نمونه خاک سطحی مرکب از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری از منطقه مطالعاتی به وسعت ۱۶۰۰ کیلومترمربع جمع‌آوری شد. موقعیت نقاط توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی تعیین و کاربری محل شامل مرتع، گندم دیم، کشاورزی آبی و مناطق شهری ثبت گردید. همچنین شش نوع ماده مادری غالب منطقه شناسایی و از هر نوع سه نمونه برداشت شد. مقدار سرب و روی کل و قابل جذب در نمونه‌های خاک و مقدار کل این عناصر در نمونه‌های سنگ عصاره‌گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. برخی از ویژگی‌های خاک مانند هدایت الکتریکی، بافت، pH، ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. تغییرنمای همه جهته مقدار کل عناصر مورد مطالعه ترسیم و سپس الگوی مناسب بر آن‌ها برازش داده شد. در نهایت به وسیله روش کریجینگ نقشه پراکنش مکانی عناصر مورد مطالعه ترسیم گردید. میانگین غلظت روی کل و قابل جذب در منطقه مطالعاتی به‌ترتیب ۷۱/۴ و ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین غلظت سرب کل و قابل جذب به ترتیب ۲۴ و ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نتایج آنالیزهای زمین‌آماری نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده بر غلظت کل سرب و روی می‌باشد. دامنه تأثیر برای سرب ۹۷۵۰ متر و برای روی ۱۱۵۵۰ متر تخمین زده شد. بر اساس نقشه‌های پراکنش سرب و روی، عامل مؤثر بر روند افزایشی این عناصر، نوع کاربری است. آنالیز سنگ‌های بستر در منطقه نیز نشان داد که شیل‌های واقع در قسمت‌های جنوب شرقی و غرب منطقه، دارای غلظت بالایی از عنصر روی (۹۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) هستند. بنابراین با هوادیدگی این سنگ‌ها روی به خاک اضافه شده است. علاوه بر کاربری، نوع مواد مادری منطقه نیز عامل مهم دیگر در کنترل غلظت روی کل است. از بین خصوصیات خاک تنها ماده آلی همبستگی بالایی با غلظت سرب (r^2=۰/۳۵) و روی (r^2=۰/۳۳) نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، عناصر سنگین، مواد مادری، نوع کاربری، تغییرنما، کریجینگ، همدان

مقدمه

خاک محیط طبیعی برای رشد گیاهان است و از آنجا که گیاهان منبع مهم تغذیه برای موجودات به طور مستقیم و غیر مستقیم هستند، هر نوع تغییری در کیفیت و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بر کلیه موجودات زنده تأثیر گذار است. از این رو بررسی و شناسایی عوامل آلاینده در خاک امری ضروری است. مواد آلاینده پس از وارد شدن در خاک می‌توانند به آلودگی آب و هوا منجر شده و در نهایت آلودگی زنجیره غذایی را به دنبال داشته باشند، این مواد حاصلخیزی خاک را تغییر داده و کارآیی مطلوب خاک را کاهش می‌دهند (۲۱). آلاینده‌ها از راه‌های مختلفی تولید و وارد طبیعت می‌شوند. در یک تقسیم‌بندی برای آلاینده‌ها دو مرجع اصلی یعنی انسان و طبیعت را در نظر می‌گیرند. در تقسیم‌بندی دیگر منابع آلاینده را به دو دسته نقطه‌ای[۴] و غیر نقطه‌ای[۵] تقسیم می‌کنند که تفاوت این دو تنها از لحاظ گسترش مکانی آن‌ها و نیز منشأ اولیه آن‌ها می‌باشد (۴۰). دشواری بررسی

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(* - نویسنده مسئول: Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir)

4- Point source
5- Non-point source

Archive of SID
www.SID.ir

آلودگی‌های غیرنقطه‌ای بیشتر ناشی از موقعیت، مقیاس، پیچیدگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ناهمگونی مکانی محیط مورد مطالعه می‌باشد (۲۶).

یکی از مهمترین و شناخته شده‌ترین آلاینده‌ها که ورود آن به محیط زیست باعث بروز صدمات و بیماری‌های مختلفی می‌شود، فلزات سنگین هستند. برخی از این فلزات در غلظت‌های پایین برای متابولیسم موجودات زنده ضروری بوده (۳۸)، اما در غلظت‌های بالا اثرات معکوس بر سلامت موجودات دارند (۳۱). خسارت شدید وارد شده ناشی از کارخانه‌های ذوب روی، بر پوشش گیاهی و جانوران بارها گزارش شده است (۹). در بسیاری از مناطق ورودی عناصر سنگین با دخالت انسان به داخل خاک، بسیار بیشتر از ورودی آن‌ها به طور طبیعی است (۲۵). فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از کود، کمپوست، لجن فاضلاب و فعالیت‌های شهری و صنعتی، از مهمترین منابع غیرطبیعی ورود فلزات سنگین به خاک به‌شمار می‌روند (۱۵). استخراج معادن و دیگر فعالیت‌های بشر مانند استفاده از سوخت‌های فسیلی و سوزاندن ضایعات نیز منجر به انتشار فلزات به اتمسفر و ورود آن به خاک می‌شود (۱۰).

یکی از منابع اصلی تولید فلزات سنگین در شهرها صنایع کوچک و بزرگ و نیز وسایل حمل و نقل می‌باشند که با تولید آلاینده‌ها و وارد کردن آن‌ها به هوا، اولین حلقه آلودگی را ایجاد می‌نمایند، سپس این مواد از طریق فرونشست جوی وارد خاک‌ها شده و در آن‌ها تجمع می‌یابند (۲۷). افزودن لجن فاضلاب و کمپوست شهری به خاک به‌دلیل دارا بودن مقدار بسیار زیادی فلزات سنگین نسبت به خاک، باعث افزایش غلظت این عناصر در خاک می‌گردد. عناصر مذکور با وجود این‌که مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرند، اما مصرف پی در پی لجن فاضلاب و کمپوست گاهی منجر به مسمومیت برخی از گیاهان می‌شود (۸). مواد مادری و فرآیند خاکسازی یکی دیگر از منابع مهم ورود عناصر سنگین به داخل خاک به شمار می‌رود. بلاستر و همکاران (۹) بیان کردند با فعالیت فرآیندهای خاکساز و هوادیدگی سنگ بستر، غلظت عناصر بر حسب نوع سنگ بستر به طور تدریجی افزایش می‌یابد.

یکی از شیوه‌های مورد استفاده در دهه‌های اخیر به منظور بررسی پراکنش آلودگی در سطح خاک، استفاده از علم زمین آمار است. موحدی راد (۵) با بررسی تغییرات مکانی روی ، سرب ، کادمیوم و نیکل در بخشی از استان قم گزارش کرد که عامل موثر بر روند افزایشی عناصر سرب و روی نوع کاربری است و ماده مادری و توپوگرافی منطقه موثرترین عامل در افزایش غلظت نیکل در منطقه به شمار می رود. شای و همکاران (۳۴) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی شانگ‌های بررسی کردند. آن‌ها منبع ورود عناصر روی، سرب و مس به محیط را عمدتاً فعالیت‌های انسانی عنوان کردند. مورسلی و همکاران (۲۹) توزیع عناصر سنگین را در شهر سائوپائولوی برزیل بررسی کردند. نمونه‌ها در چهار منطقه با خصوصیات مختلف برداشت گردید و در نهایت همه نتایج تایید کننده پراکنش فلزات سنگین حاصل از تردد خودروها در شهر از طریق فرونشست جوی و ورود آن‌ها به خاک منطقه بود. چن و همکاران (۱۳) غلظت عناصر سنگین (نیکل، مس، روی و سرب) را در خاک سطحی شهر بیجینگ (چین) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که، مقدار نیکل و روی به وسیله مواد مادری کنترل می‌شود، در حالی‌که مقدار مس، سرب و در برخی از مناطق غلظت روی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی تغییر می‌کند.

با وجود اهمیت عناصر سنگین، در بسیاری از استان‌های کشور وجود تحقیقاتی که بتواند مقدار پراکنش آلودگی را به صورت نقشه‌های کاربردی ارائه کند بسیار کم انجام گرفته است. بقایی در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه (۱)، صدر در اراضی صنعتی، کشاورزی و شهری اصفهان (۳)، شیرانی در برخی خاک‌های بزرگراه مشهد- چناران (۲) و موحدی راد در خاک‌های سطحی بخشی از استان قم (۵) مطالعاتی را در زمینه تغییرات مکانی برخی فلزات سنگین انجام داده‌اند. در استان همدان هیچ گونه اطلاعاتی در مورد پراکنش مکانی فلزات سنگین در خاک وجود ندارد. بنابراین به دلیل اهمیت استان همدان از نظر تمرکز فعالیت‌های کشاورزی، تعیین آلودگی خاک‌های سطحی این منطقه به فلزات سنگین بسیار حائز اهمیت است. لذا این تحقیق به منظور بررسی پراکنش مکانی عناصر سرب و روی و ارتباط آن‌ها با نوع کاربری و مواد مادری در خاک‌های سطحی بخشی از استان همدان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

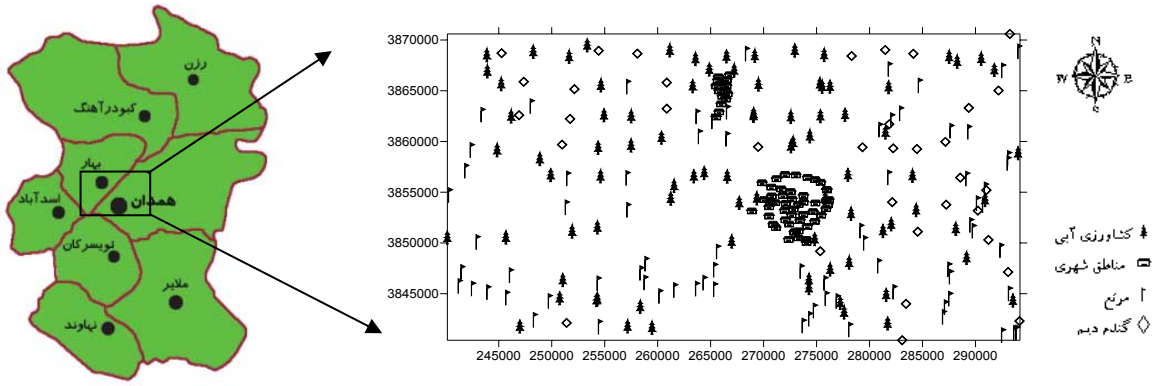
منطقه مورد مطالعه به وسعت ۱۶۰۰ کیلومترمربع در اطراف شهر همدان قرار دارد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی "۴۲ ´۸ °۴۸ تا "۰۰ ´۴۵ °۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۵۹ ´۴۰ °۳۴ تا "۲۰ ´۵۷ °۳۴ شمالی قرار دارد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۷۳۱ متر و متوسط بارندگی در منطقه در حدود ۳۲۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

نمونه‌برداری در مناطق غیر شهری با فواصل حدود ۳ کیلومتر و در مناطق شهری (پارک‌ها، حاشیه خیابان‌ها، اراضی متروکه و غیره) با فواصل حدود ۱ کیلومتر صورت گرفت. در مجموع تعداد ۲۶۳ نمونه مرکب خاک سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متر) برداشت شده، موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه موقیت یاب جهانی[1] تعیین و کاربری محل نمونه‌برداری نیز ثبت گردید. شکل ۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده را به تفکیک نوع کاربری نشان می‌دهد. از کاربری‌های شهری، مرتع ، گندم دیم و کشاورزی آبی به‌ترتیب ۶۵، ۷۸، ۳۵ و ۸۵ نمونه حدود یک کیلوگرمی برداشت شد.

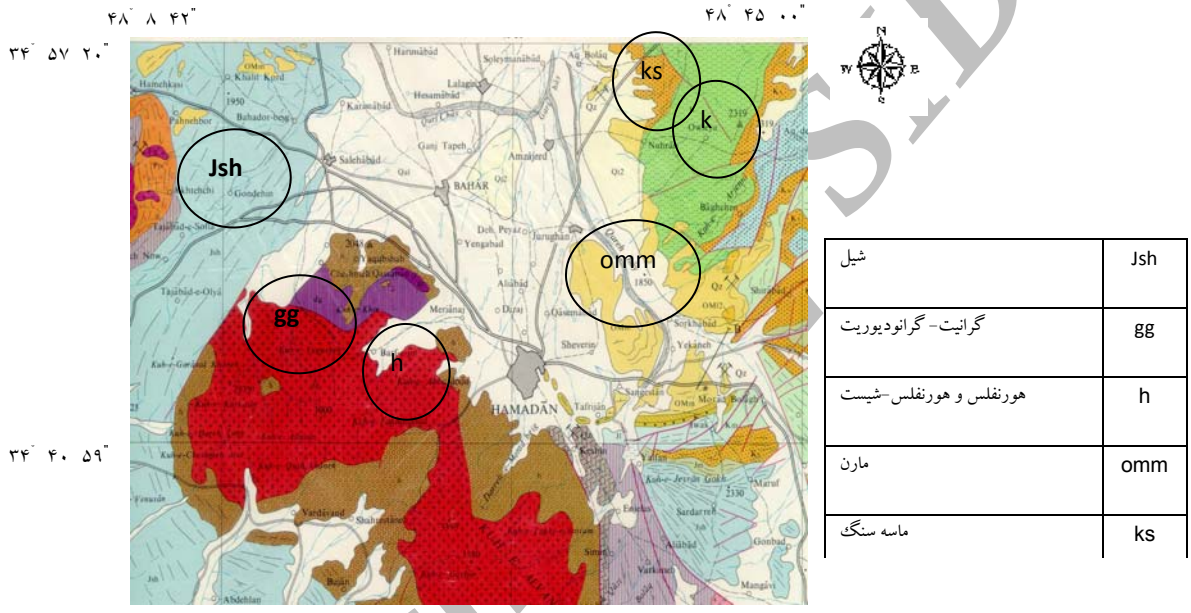
1- Global Positioning System (GPS)

Archive of SID

www.SID.ir



(شکل ۱)- موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مطالعاتی به تفکیک نوع کاربری



(شکل ۲)- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰(برگرفته از مرجع شماره ۱۶)

نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده، سپس مقدار کل عناصر روی و سرب (۶) و شکل قابل جذب این عناصر (۲۴) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ تعیین شد. برای بررسی اثر نوع مواد مادری بر غلظت عناصر مورد مطالعه، از مهم‌ترین سنگ‌های بستر در منطقه نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی (شکل ۲) تعداد شش نوع ماده مادری غالب در منطقه شامل شیل، سنگ‌های آذرین و دگرگونی، مارن، ماسه‌سنگ و سنگ‌های رسوبی تفکیک نشده (کرتاسه) شناسایی و از هر نوع سنگ سه نمونه برداشت شد. پس از آسیاب کردن سنگ‌ها، غلظت عناصر روی و سرب (هضم به وسیله سه اسید HF, HNO_3, HCl) (۳۶) در آن‌ها تعیین گردید. به منظور کنترل کیفیت نتایج تجزیه فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و سنگ خاک، یک نمونه استاندارد مؤسسه تحقیقات ملی فناوری آمریکا (NST) به نام San Joaquin # 2709 تهیه شده و غلظت عناصر مورد مطالعه در آن اندازه‌گیری شد. همچنین برای تعیین ارتباط بین غلظت عناصر مورد مطالعه با سایر خصوصیات خاک، حدود نیمی از نمونه‌ها انتخاب و بافت خاک (روش هیدرومتر)، ماده آلی (روش والکی- بلک)، ظرفیت تبادل کاتیونی و هدایت الکتریکی و pH (عصاره ۱ به ۲ آب به خاک) در نمونه‌ها اندازه گیری شد (۳۵). انتخاب نمونه‌ها کاملاً تصادفی و از هر سه نوع کاربری به نحوی صورت گرفت که در تمام منطقه توزیع یکنواختی حاصل شود.

پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، آزمون کولموگروف – اسمیرنف[1] به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. سپس ناهمسانگردی داده‌ها توسط تغییرنمای سطحی بررسی و

1 -Kolomogrov - Smirnov

www.SID.ir

(جدول۱)- توصیف آماری غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه و برخی خصوصیات خاک در منطقه مطالعاتی

	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
pH	-	۷/۸	۷/۲	۸/۱	۰/۲	−۱	۲/۲
هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۰/۴	۰/۱	۴/۶	۰/۶	۶/۸	۵۱/۳
مواد آلی	%	۰/۲	۰/۱	۴/۷	۰/۹	۱/۶	۲/۷
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol_{(+)}kg^{-1}$	۱۹/۲	۷/۸	۳۶/۴	۵/۳	۰/۸	۱/۷
شن	%	۳۶/۵	۹/۲	۶۳/۳	۱۴/۶	۰/۳	−۰/۷
سیلت	%	۳۸/۶	۱۶/۷	۶۳/۳	۱۰/۸	۰/۱	−۰/۴
رس	%	۲۴/۹	۱۰	۳۸/۳	۶/۱	−۰/۱	۰/۴
سرب کل	$mg\ kg^{-1}$	۲۴	۳/۶	۳۵۷/۲	۳۱	۶/۹	۶۱/۸
روی کل	$mg\ kg^{-1}$	۷۱/۴	۳۲/۵	۲۷۶/۲	۲۸/۴	۲/۹	۱۴/۵
سرب قابل جذب	$mg\ kg^{-1}$	۲/۵	۰/۱	۳۵/۱	۳/۷	۵/۵	۴۱/۵
روی قابل جذب	$mg\ kg^{-1}$	۲/۵	۰/۱	۳۹/۲	۴/۱	۳/۹	۲۴/۶

(جدول ۲)- میانگین غلظت روی و سرب کل در سنگ‌های غالب منطقه و خاک‌های حاصل از هوادیدگی این سنگ‌ها

نوع ماده مادری	تعداد نمونه آنالیز شده		میانگین روی کل($mg\ kg^{-1}$)		میانگین سرب کل($mg\ kg^{-1}$)	
	سنگ بستر	خاک	سنگ بستر	خاک	سنگ بستر	خاک
هورنفلس و هورنفلس-شیست	۳	۳۶	۴۵/۲	۴۷/۴	۲۵/۲	۱۵/۱
گرانیت- گرانودیوریت	۳	۱۶	۱۶/۵	۳۷/۸	۲۵/۴	۱۰/۴
شیل	۳	۳۲	۹۶/۲	۷۸/۵	۲۹/۴	۱۸/۴
ماسه سنگ	۳	۸	۲۴/۲	۳۲/۴	۲۰/۵	۱۶/۷
مارن	۳	۱۸	۴۲/۲	۲۳/۷	۱۸/۸	۱۶/۳
رسوبی تفکیک نشده (کرتاسه)	۳	۶	۲۰/۵	۲۹/۲	۱۷/۴	۱۵/۶

تغییرنمای[1] همه جهته برای تمام عناصر مورد مطالعه، ترسیم شد. محاسبه و ترسیم تغییرنما در متغیرهای نرمال توسط نسخه ۲/۲ برنامه Variowin صورت گرفت (۳۰). به منظور بررسی اعتبار تغییرنما، انتخاب پارامترهای مدل به نحوی صورت گرفت که مدل نهایی، دارای حداقل میانگین خطای تخمین[2] (MEE) و حداقل مجذور میانگین مربعات خطای تخمین[3] (RMSE) باشد (۴). پس از تعیین بهترین مدل، نقشه‌های کریجینگ توسط نرم افزار Surfer8 برای هر عنصر ترسیم گردید (۱۸).

نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها

جدول ۱ خلاصه‌ای از وضعیت آماری عناصر مورد مطالعه و برخی خصوصیات خاک را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات pH در منطقه مطالعاتی حدود ۰/۹ با حداکثر ۸/۱ و حداقل ۷/۲ است و این بیانگر عدم تغییرات گسترده این ویژگی در منطقه می‌باشد. بر اساس نتایج آزمایشگاهی دامنه تغییرات بافت نمونه‌های خاک منطقه بین لومی شنی تا رسی سیلتی می‌باشد. توزیع پارامترهای ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد شن، سیلت و رس از تابع نرمال پیروی کرده اما توزیع سایر پارامترها در منطقه نرمال نیست.

وضعیت پراکنش سرب کل در منطقه مطالعاتی نشان می دهد که در اراضی دارای کاربری شهری میانگین غلظت سرب کل به مراتب بالاتر از کاربری کشاورزی و مرتع می‌باشد. اما بین کاربری کشاورزی و مرتع اختلاف معنی‌داری ($P<0/05$) وجود ندارد (شکل ۳- الف). ضریب تغییرات سرب در اراضی شهری ۱۰۹ درصد است که نشان دهنده تغییرات بسیار بالای آن در این کاربری می باشد. دود ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه می‌تواند یکی از عوامل افزایش سرب به خاک های مناطق شهری باشد. نمودار جعبه‌ای غلظت سرب قابل جذب (شکل ۴- الف) بیانگر این است که در اراضی با کاربری شهری میانگین غلظت سرب کل به مراتب بالاتر از کاربری کشاورزی آبی، گندم دیم و مرتع می‌باشد. اما بین کاربری کشاورزی آبی، گندم دیم و

1- Variogram
2 - Mean Estimation Error
3 -Root Mean Squared Error

Archive of SID

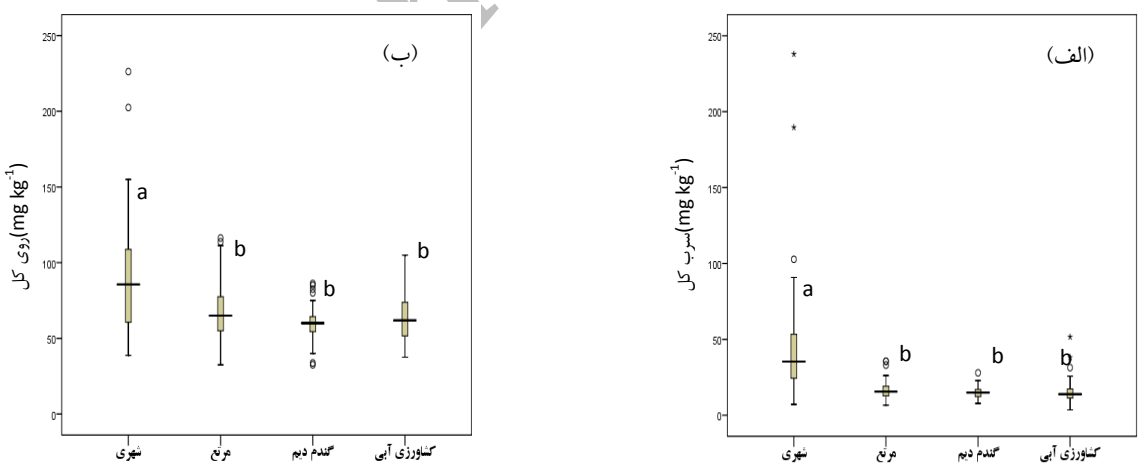
www.SID.ir

مرتع اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) وجود ندارد. ضریب تغییرات این متغیر ۱۶۶ درصد است که بیانگر تغییرات زیاد آن در منطقه مطالعاتی است. در اراضی مرتعی این ضریب ۱۵۵ درصد بدست آمد و این امر پراکندگی بسیار بالای روی قابل جذب را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار جعبه ای مقادیر روی کل در شکل ۳- ب، غلظت روی کل در کاربری شهری با کاربری کشاورزی و مرتع دارای اختلاف معنی دار (P<۰/۰۵) است. در حالیکه کاربری کشاورزی با مرتع تفاوت معنی داری را نشان نمی دهد. کاربری شهری با میانگین ۹۳/۱۳ میلی گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین غلظت روی کل در منطقه مورد مطالعه است. این مسئله را می توان به ترافیک شهری و سایش تایر اتومبیل ها با سطح جاده نسبت داد (۱۴). ۱۲ درصد از نمونه ها غلظتی بیش از ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم دارند که این مناطق به سوی آلوده شدن پیش می‌روند. وضعیت پراکنش روی قابل جذب (شکل ۴- ب) در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که همانند روی کل، غلظت روی قابل جذب در مناطق شهری نسبت به اراضی کشاورزی، گندم دیم و مرتع بیشتر است. در مقایسه بین میانگین‌ها، تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین کاربری شهری با سایر کاربری‌ها و بین کاربری کشاورزی آبی با مرتع و گندم دیم وجود دارد. اما تفاوت بین کاربری مرتع و گندم دیم معنی‌دار نیست. تفاوت بین میانگین روی کل و قابل جذب در اراضی کشاورزی نشان می‌دهد که تنها حدود ۲ درصد از روی کل در خاک‌های مورد مطالعه برای گیاه قابل جذب بوده و مابقی آن عملاً به فرم غیر قابل دسترس است. pH نسبتاً بالا و آهکی بودن خاک‌ها ار دلایل عمده تثبیت بخش عمده روی در خاک‌ها می‌باشد. بنابراین غلظت کل نمی‌تواند معیار مناسبی برای بررسی فراهمی روی در اراضی کشاورزی باشد.

فاک چینلی و همکاران (۱۶) گزارش کردند که مقدار روی و مس در خاک به وسیله فعالیت های طولانی مدت بشر کنترل می‌شود. سرب نیز تحت تاثیر فعالیت های انسان مانند ترافیک در جاده ها قرار می گیرد و اغلب در مناطق شهری و صنعتی تجمع می‌یابد. در بررسی های صورت گرفته در یکی از شهرهای ایرلند نیز عبور وسایل نقلیه و ترافیک عامل آلودگی خاک‌ها به عنصر سرب معرفی شده است (۳۹). موحدی‌راد (۵) تغییرات مکانی سرب و روی کل در استان قم را بررسی کرده و با تهیه نقشه‌های پراکنش سرب و روی در دو شکل کل و قابل جذب، نوع کاربری را عامل مؤثر بر روند افزایشی این عناصر عنوان کرد. زیرا در مناطق شهری مقدار این عناصر به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاربری‌های دیگر بود.

شکل (۵- الف) نمودار درصد فراوانی غلظت سرب کل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل وضعیت پراکنش سرب در منطقه از تابع نرمال پیروی نکرده و چولگی ۶/۹ و آزمون کولموگروف- اسمیرنف هم این مطلب را تأیید می‌نماید. از آنجایی که برای انجام محاسبات زمین آماری فرض نرمال بودن داده‌ها مطرح است، لذا داده‌های غیرنرمال با استفاده از لگاریتم طبیعی به داده‌های نرمال تبدیل شد. شکل (۵- ب) نیز نمودار درصد فراوانی روی کل در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل وضعیت پراکنش روی کل در منطقه از تابع نرمال پیروی نمی‌کند. چولگی ۲/۹ و آزمون کولموگروف- اسمیرنف نیز مؤید این مطلب است. با توجه به اینکه در بین ۲۶۳ داده، تعداد ۳ داده به صورت پرت در بین داده‌ها قرار گرفته‌اند، در محاسبات بعدی این تعداد داده حذف گردید. بعد از حذف سه داده پرت، توزیع روی کل از توزیع نرمال تبعیت کرده است.

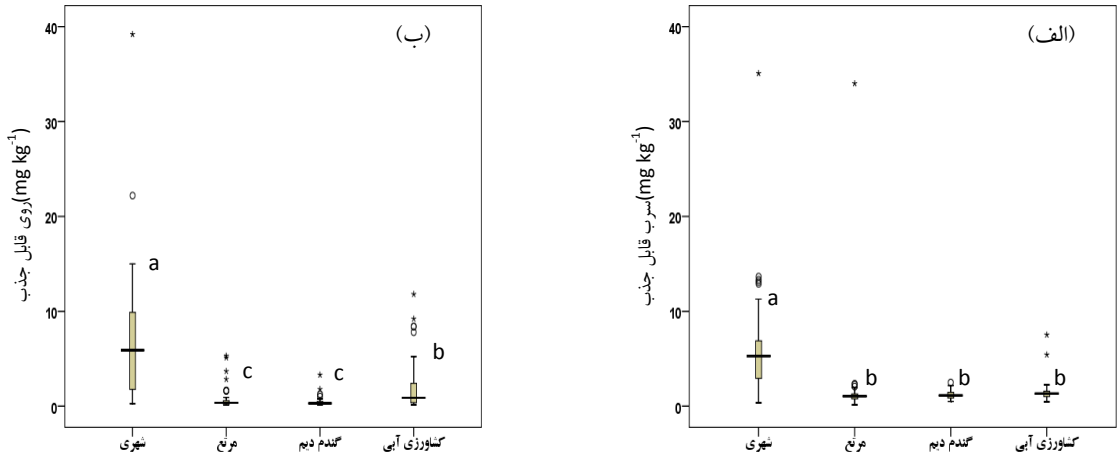


(شکل ۳)- نمودار جعبه‌ای (الف): سرب کل، (ب): روی کل در منطقه مطالعاتی

*- میانگین های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

Archive of SID

www.SID.ir



(شکل ٤) - نمودار جعبه‌ای (الف): سرب قابل جذب، (ب): روی قابل جذب در منطقه مطالعاتی

*- میانگین های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

نمودار همبستگی غلظت سرب و روی کل خاک در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در بین ۲۶۳ داده، تعداد ۳ داده به صورت نامتعادل بوده و باعث کاهش شدید ضریب همبستگی شد. این تعداد نمونه از مجموع داده ها حذف و ضریب همبستگی بین بقیه داده ها بدست آمد. داده های حذف شده کمتر از ۱/۵ درصد کل داده ها را تشکیل می‌دادند. ضریب همبستگی بالا (r^2 = ۰/۷۴) بین این دو عنصر بیانگر این است که احتمالاً بخش اعظمی از تغییرات این دو عنصر در خاک توسط عوامل مشابهی کنترل می‌شود.

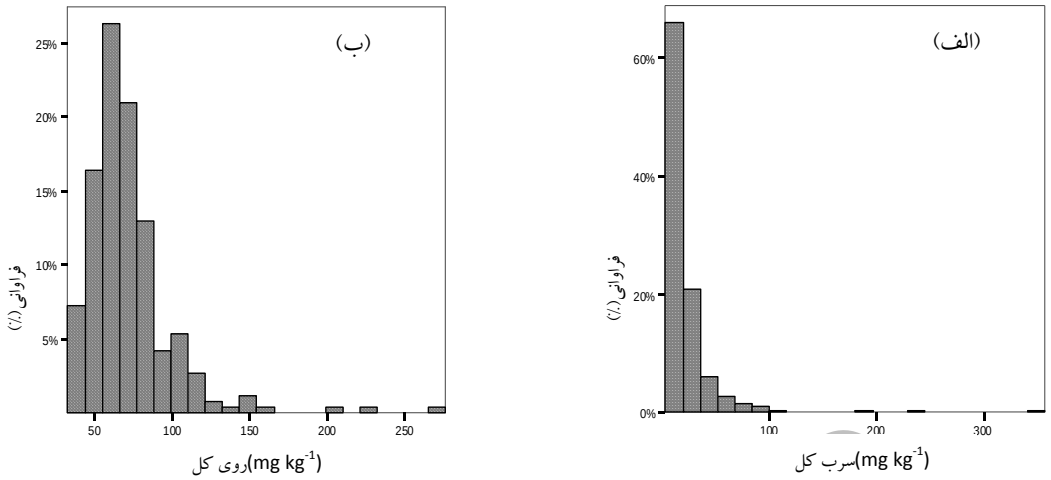
جدول ۲ میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در برخی از سنگ‌های غالب در منطقه مطالعاتی و خاک‌های تشکیل شده بر روی این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول مزبور، شیل‌ها بیشترین غلظت روی را دارا می‌باشند و می‌توانند منبع ورود این عنصر به خاک باشند. بررسی خاک‌های تشکیل شده بر روی این سنگ‌ها نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

شکل ۷- الف نشان می‌دهد که بین غلظت روی در خاک با غلظت آن در مواد مادری همبستگی (r^2 = ۰/۲۷) وجود دارد، بنابراین مواد مادری می‌تواند یکی از عوامل افزایش غلظت روی به خاک در منطقه مطالعاتی باشند. اما بین غلظت سرب در خاک و مواد مادری همبستگی وجود ندارد (شکل ۷- ب). بنابراین نوع مواد مادری تأثیری بر غلظت سرب کل در خاک منطقه ندارد. لی و همکاران (۲۳) منبع فلزات سنگین را در چین مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان داد که غلظت روی در خاک توسط مواد مادری کنترل می‌شود. اما مواد مادری تأثیری بر غلظت سرب کل در خاک ندارند. در این مطالعه عامل کنترل کننده غلظت سرب فعالیت‌های انسانی عنوان شده است.

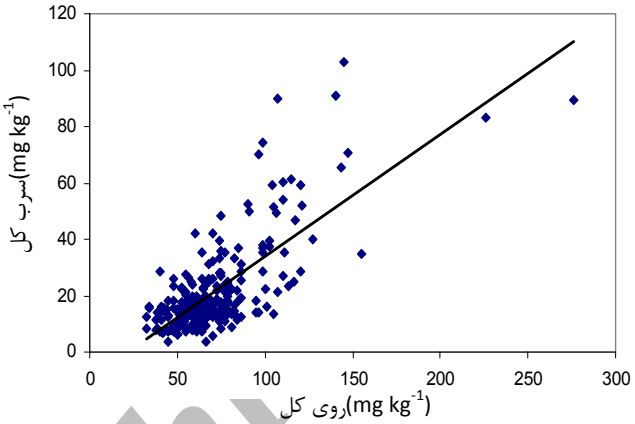
جدول ۳ ضریب همبستگی بین عناصر مورد مطالعه و برخی خصوصیات خاک را نشان می‌دهد. غلظت سرب و روی کل در منطقه با مقدار ماده آلی همبستگی مثبت معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) را نشان می‌دهد، اما غلظت این عناصر با سایر پارامترها ارتباط معنی‌داری ندارد. ترکیب عناصر سنگین با مواد آلی یکی از شکل‌های عناصر سنگین در خاک می‌باشد. مواد آلی به دلیل دارا بودن برخی گروه‌های عاملی مانند هیدروکسیل، فنول و کربوکسیل در کنترل فعالیت، جذب و کمپلکس عناصر سنگین نقش مثبتی ایفا می‌کنند(۷). رودریگوز و همکاران (۳۳) در مطالعه‌ای بر روی خاک‌های سطحی اسپانیا فعالیت‌های انسانی را عامل افزایش غلظت سرب و روی به خاک‌های کشاورزی منطقه معرفی کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد که غلظت این عناصر در خاک همبستگی ضعیفی با سایر خصوصیات خاک مانند درصد شن، سیلت و رس، آهک، هدایت الکتریکی و pH دارد. میکو و همکاران (۲۸) نیز گزارش کردند که غلظت عناصر سرب، مس و کادمیم به وسیله فعالیت‌های بشر کنترل می‌شود. این عناصر ارتباط کمتری با برخی خصوصیات خاک مانند مقدار رس و کربنات دارند، اما همبستگی خوبی با مقدار ماده آلی در خاک نشان می‌دهند.

Archive of SID

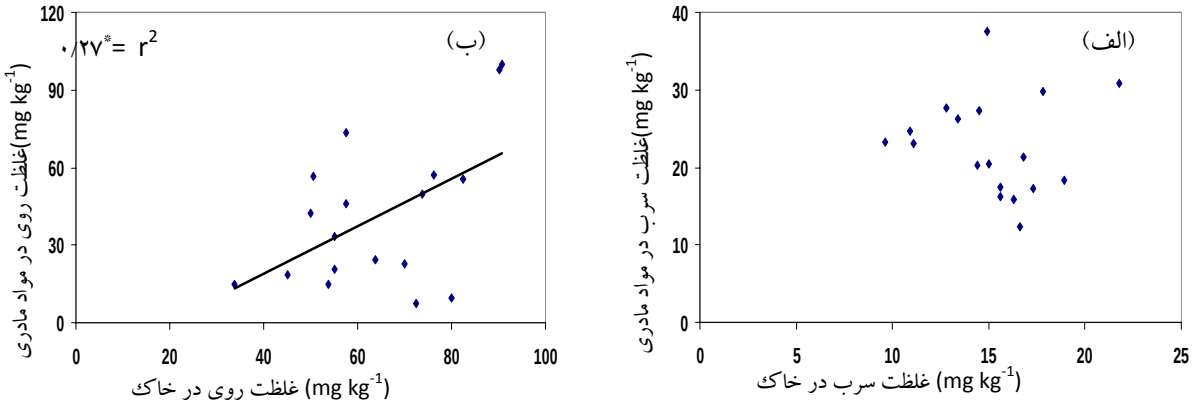
www.SID.ir



(شکل ۵)- نمودار توزیع فراوانی غلظت (الف) سرب کل، (ب) روی کل در منطقه مورد مطالعه



(شکل ٦)- نمودار همبستگی غلظت سرب و روی کل در منطقه مطالعاتی



(شکل ۷)- نمودار همبستگی غلظت سرب کل (الف) و روی کل (ب) در خاک و مواد مادری

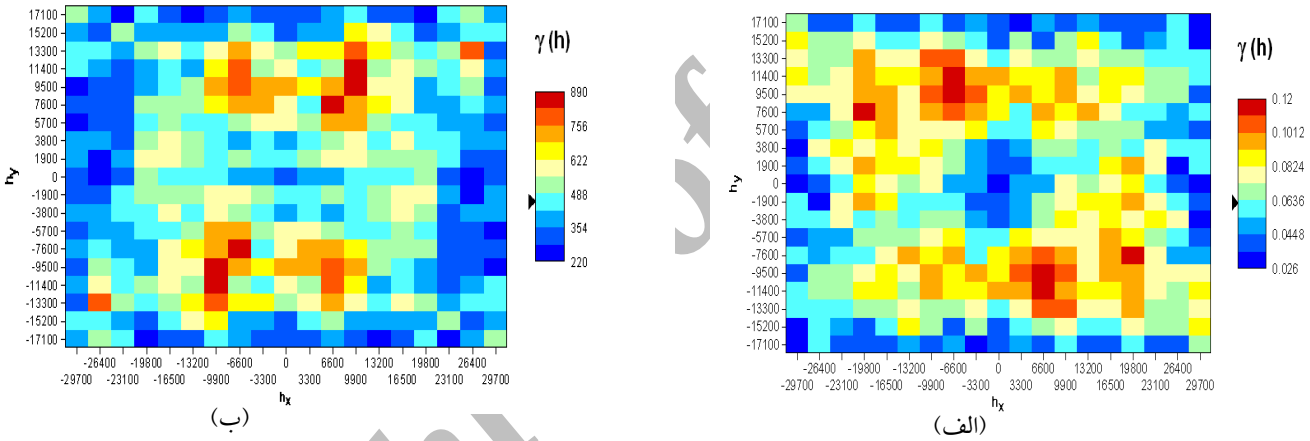
www.SID.ir

آنالیز همبستگی مکانی

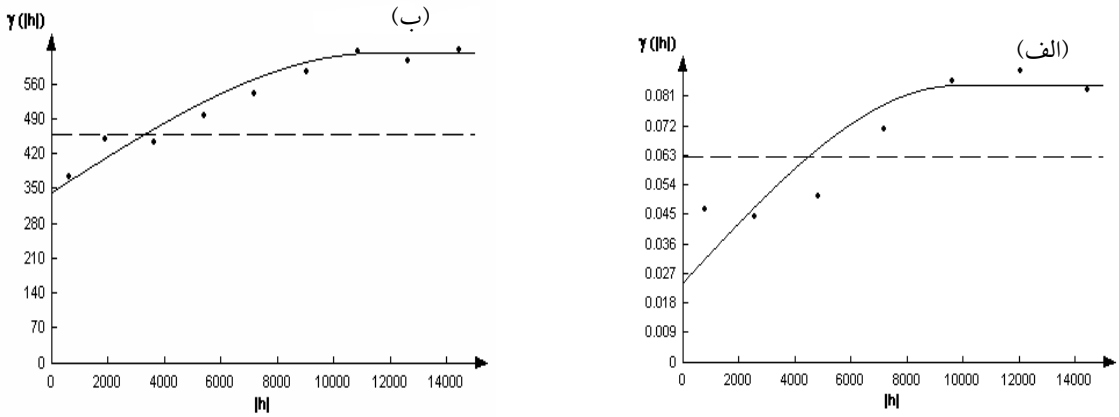
تشخیص ناهمسانگردی در کریجینگ از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. برای تعیین همسانگرد یا ناهمسانگرد بودن توزیع عناصر مورد مطالعه، می‌توان ازتغییر نمای سطحی استفاده کرد (۴). در مورد عناصر مورد مطالعه این تغییرنماها ترسیم و هیچکدام از عناصر ناهمسانگردی خاصی را نشان ندادند (شکل ۸).

شکل ۹ تغییرنمای همه‌جهته سرب و روی کل و جدول ۴ مشخصات مدل‌های این تغییرنماها را نشان می‌دهد. در تخمین‌های کریجینگ به دلیل وابستگی شدید دقت نتایج به مدل‌های تغییرنما، باید این مدل‌ها به گونه‌ای اعتبارسنجی شوند. در این مطالعه دقت مدل‌ها توسط مجذور میانگین مربعات خطای تخمین تعیین شد (۲۰).

میانگین خطای تخمین (MEE) در بهترین حالت باید برابر صفر باشد اما این پارامتر برای کنترل اعتبار کریجینگ بسیار ضعیف است چرا که مقدار آن وابسته به مقیاس داده‌ها است (۲۰). نتایج نسبت همبستگی (واریانس کل/ اثر قطعه‌ای) نشان می‌دهد که غلظت سرب و روی کل در منطقه دارای کلاس همبستگی متوسط (۷۵٪ > نسبت همبستگی >۲۵٪)(۳۳) می‌باشد. شیرانی (۲) تغییرات مکانی سرب و روی کل را در بزرگراه مشهد- چناران بررسی کرده و بهترین مدل تغییرنما برای سرب و روی کل را مدل کروی تعیین کرد. مطالعات او نشان داد که توزیع این عناصر در خاک دارای کلاس همبستگی متوسط است. دامنه تأثیر برای سرب ۱۹۲۰۰ متر و برای روی ۱۴۲۴۰ متر تخمین زده شد.



(شکل ۸)- تغییر نمای سطحی (الف) سرب کل (ب) روی کل در منطقه مطالعاتی



(شکل ۹)- تغییرنمای همه جهته (الف): سرب کل (ب) روی کل در خاک

- مدل واریوگرام کروی، - - مدل واریوگرام تجربی، . واریانس کل

www.SID.ir

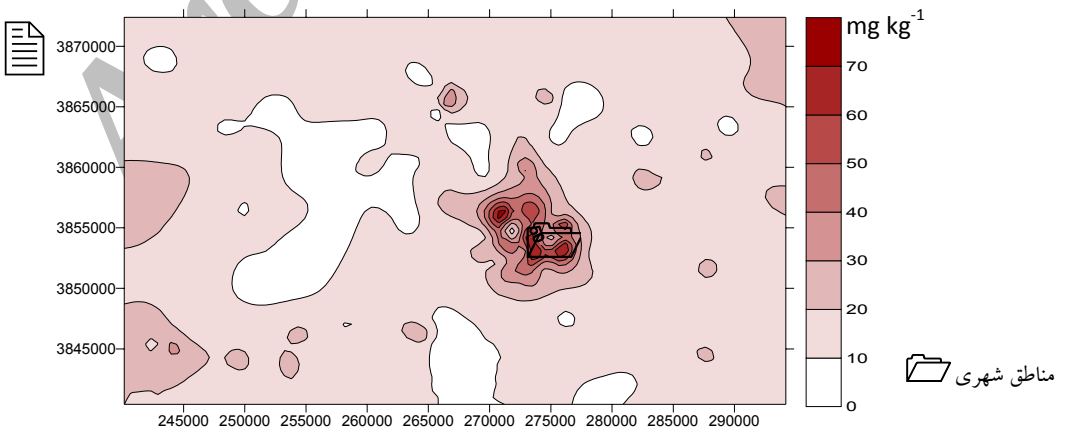
پراکنش مکانی غلظت کل عناصر مورد مطالعه

در این تحقیق کریجینگ بلوکی در مورد عناصر مورد مطالعه اعمال شده است. شکل ۱۰ نقشه پراکنش مکانی سرب خاک که از کریجینگ بلوکی حاصل شده، را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مناطق با کاربری شهری بیشترین غلظت سرب را دارا می‌باشند. چن و همکاران (۱۱)، در یک مطالعه زمین‌آماری به بررسی منشأ عناصر سنگین در چین پرداختند. آن‌ها با ترکیبی از آمار چند متغیره و زمین آمار مشاهده نمودند که غلظت عناصر مس، روی و سرب توسط فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود. ویارد و همکاران (۳۷) به ارزیابی فلزات سنگین در شهر متز فرانسه پرداختند. اندازه‌گیری غلظت فلزات کادمیم، سرب و روی در خاک و گیاهان موجود انجام گرفت. در نهایت با انجام تجزیه‌های آماری و ارائه نقشه‌های آلودگی در همه قسمت‌ها و تعمیم آن به سه عنصر مورد مطالعه، سرب به عنوان یک عنصر اصلی در بررسی آلودگی‌های شهری به فلزات سنگین پیشنهاد گردید.

با توجه به نقشه حاصل از کریجینگ بلوکی روی (شکل ۱۱)، مناطق با کاربری شهری دارای غلظت بالای روی هستند. هوادیدگی شیل‌های واقع در قسمت‌های جنوب شرقی و غرب منطقه، نیز منجر به افزایش غلظت روی در این نواحی شده است. آنالیز سنگ‌های مادری در منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که شیل‌ها بیشترین غلظت روی را در خود جای داده‌اند (جدول ۲) بنابراین می‌توانند عامل افزایش غلظت روی در خاک منطقه باشند. هی و همکاران (۱۹) نشان دادند، شیل‌ها که از رسوبات دانه‌ریز تشکیل شده‌اند مقادیر زیادی از فلزات نادر مثل روی، مس، نیکل و کادمیم را در خود جای داده‌اند. لی و همکاران (۲۲) تغییرات مکانی عناصر سرب، مس کروم، روی و نیکل را در خاک‌های مناطق کشاورزی چین بررسی کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد که نیکل، مس و روی در خاک با هم ارتباط داشته و تحت تأثیر مواد مادری قرار دارند اما غلظت سرب در خاک به وسیله فعالیت‌های انسانی مانند صنعت و ترافیک کنترل می‌شود. رودریگوز–مارتین و همکاران (۳۲) در مطالعه‌ای بر روی خاک‌های سطحی اسپانیا فعالیت‌های انسانی و نوع مواد مادری را عامل افزایش غلظت مس، جیوه، کادمیم و روی به خاک‌های کشاورزی منطقه معرفی کردند. چن و همکاران (۱۲) نشان دادند که غلظت روی و مس در خاک به وسیله مواد مادری و فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود. این عناصر همبستگی خوبی با مقدار ماده آلی در خاک نشان می‌دهند. بنابراین علاوه بر نوع کاربری، عامل مهم دیگری که توانسته است غلظت روی را کنترل نماید، ماده مادری در منطقه مورد مطالعه است.

نتیجه گیری

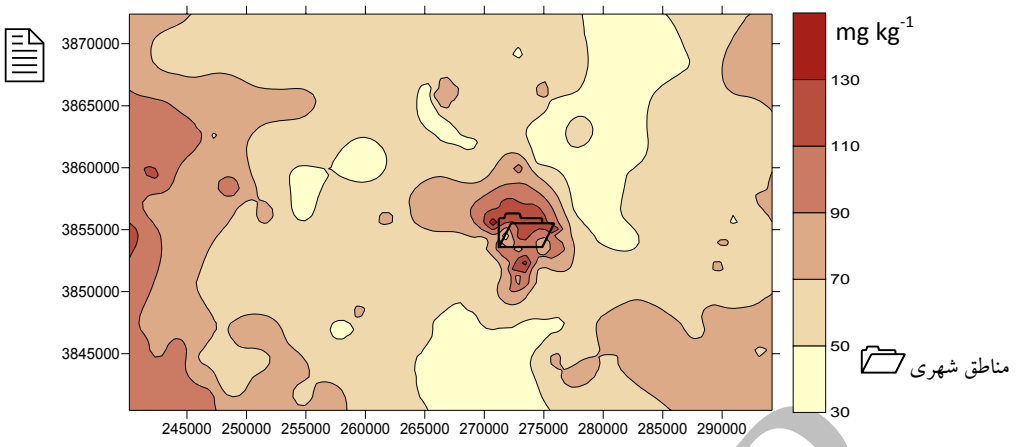
مقایسه میانگین غلظت سرب کل در کاربری‌های متفاوت نشان می‌دهد که اراضی شهری از غلظت سرب بالاتری برخوردار می‌باشند که می‌توان دود ناشی از اتومبیل‌ها و ترافیک شهری را از عوامل اصلی افزایش سرب در منطقه به‌شمار آورد. نکته‌ای که بایستی مورد توجه قرار گیرد این است که با توجه به استانداردهای موجود، در منطقه مطالعاتی آلودگی سرب به‌صورت جدی وجود ندارد. نقشه کریجینگ بلوکی سرب نشان می‌دهد که تنها در محدوده کوچکی در شهر همدان که جزو مناطق پر ترافیک محسوب می‌شود، آلودگی به عنصر سرب مشاهده می‌شود.



(شکل ۱۰)- پراکنش مکانی سرب کل($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ بلوکی در منطقه مورد مطالعه

Archive of SID

www.SID.ir



(شکل۱۱)- پراکنش مکانی روی کل($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ بلوکی در منطقه مورد مطالعه

مقایسه میانگین غلظت روی کل در کاربری‌های مختلف نیز نشان می‌دهد که مناطق شهری بیشترین غلظت روی کل را دارا می‌باشند که می‌توان ترافیک و سایش تایر اتومبیل‌ها با سطح جاده را از عوامل اصلی افزایش روی به مناطق شهری به حساب آورد. مراتع از نظر غلظت کل روی بعد از کاربری شهری قرار دارند. توجه به نمودار همبستگی روی کل در خاک با مواد مادری و نقشه کریجینگ بلوکی روی نیز نشان می‌دهد که علاوه بر نوع کاربری، مواد مادری می‌تواند از عوامل مهم افزایش غلظت این عنصر به خاک باشد. آنالیز سنگ‌های غالب در منطقه نشان می‌دهد که، شیل‌ها دارای غلظت بالای روی هستند. بنابراین هوادیدگی این سنگ‌ها منجر به افزایش عنصر روی در این مناطق شده است.

مواد آلی به دلیل دارا بودن برخی گروه‌های عاملی مانند هیدروکسیل، فنول و کربوکسیل در کنترل فعالیت، جذب و کمپلکس عناصر سنگین نقش مثبتی ایفا می‌کنند. بنابراین غلظت عناصر مورد مطالعه با مقدار ماده آلی خاک همبستگی خوبی نشان می‌دهد اما غلظت این عناصر با سایر پارامترها شامل بافت خاک، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و pH همبستگی ندارد. با توجه به شناسایی نقاط موضعی که غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در آن‌ها بیشتر از حد مجاز استانداردهای جهانی است، لذا لازم است اقدامات مدیریتی لازم جهت جلوگیری از بروز حوادث مخرب زیست محیطی انجام گیرد.

منابع

۱- بقایی ا. ح. ۱۳۸۲. تجزیه و تحلیل زمین‌آماری برخی فلزات سنگین در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۹۸ ص.

۲- شیرانی م. ۱۳۸۶. تغییرات مکانی سرب، کادمیم، نیکل و روی در برخی خاک‌های کشاورزی، صنعتی و شهری محدوده بزرگراه مشهد- چناران. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۹۲ ص.

۳- صدر س. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی آرسنیک، سلنیوم و وانادیوم در اراضی صنعتی، کشاورزی و شهری منطقه اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۵۵ ص.

۴- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری (آمار مکانی). جلد دوم، انتشارات پلک، ۲۴۰ ص.

۵- موحدی راد ز. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی روی ، سرب ، نیکل و کادمیم در خاک های بخشی از استان قم. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۷۳ ص.

6- Ajoyi A. and Kamson F. 1983. Determination of lead in roadside in Logos city by atomic absorption spectrophotometry. Environ. Int. 9: 397-400.

7- Alloway B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son, Ltd. Glasgow and London. P.339.

8- Bhogal A., Nicholson F.A., Chambers B.J. and Shepherd M.A. 2003. Effects of past swage sludge addition on heavy metal availability in light textured soils: Implications for crop yields and metal uptakes. Environ. Pollut. 121: 413-423.

9- Blaster P., Zimmermann S., Luster J. and Shotyk W. 2000. Critical examination of trace element enrichments and

Archive of SID

www.SID.ir

depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. Sci. Total Environ. 249: 257-280.
10- Boularbah A., Schwartz C., Bitton G. and Morel J.L. 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 1. Use of a biotest to assess metal toxicity of tailings and soils. Chemosphere, 63: 802- 810.
11- Chen T., Xingmei L., Muzhi Z., Keli Z., Jianjun W., Jianming X. and Panming H. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban- rural transitional area of Hangzhou, China. Environ. Pollut. 151: 67-78.
12- Chen T., Liu X., Li X., Zhao K., Zhang J., Xu J., Shi J. and Dahlgren R.A. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field–scale vegetable soil of Hangzhou, China. Environ. Pollut. 157: 1003-1010.
13- Chen T., Zheng Y., Lei M., Huang Z., Che H.W.H., Fan K., Yu K., Wu X. and Tian Q. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere, 60: 542–551.
14- Christoforidis A. and Stamatis N. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavalas region, Greece. Geoderma, 151: 257–263.
15- Doelsch E., Deroche B. and Van de Kerchove V. 2006. Impact of sewage sludge spreading on heavy metal speciation in tropical soils (Reunion, Indian Ocean). Chemosphere, 65: 286- 293.
16- Facchinelli A., Sacchi E. and Mallen L. 2001. Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils. Environ. Pollut., 114: 313-324.
17- Geological Survey of Iran. 1977. Geological quadrangle map of Iran, NO D 6: 1:250000. Offset Press Inc. Tehran.
18- Golden Software. 2002. Surfer for Windows. Version 8, Copyright, Inc.
19- He Z.L., Yang X.E., and Stoffella P.J. 2005. Trace elements in agro-ecosystems and impacts on the environment. *J. Trace Elem. Med. Bio*. 19: 125-140.
20- Juang K.W., and Lee D.Y. 2000. Comparsion of three nonparametric kriging methods for delineating heavy metal contaminated soils. J. Environ. Qual. 29: 197-205.
21- Kabata-Pendias A. and Pendias H. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, London. P. 413.
22- Lei D., Yongzhang Z., Jin M., Yong L., Qiuming C., Shuyun X., Haiyan D., Yuanhang Y., and Hongfu W. 2008. Using multivariate statistical and geostatistical methods to identify spatial variability of trace elements in agricultural soils in Dongguan City, Guangdong, China. J. China University of Geosciences. 19: 343-353.
23- Li J., He M., Han W., and Gu Y. 2009. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. J. Hazardous Materials. 164: 976–981.
24- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
25- Liu W., Zhao J., ouyang Z., Soderlund L., and Liu G. 2005. Impact of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environ. Int. 31: 805-812.
26- Marques J.J., Schulze D.G., Curia N., and Mertzman S.A. 2004. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrdo soils. Geoderma, 121: 31-43.
27- Merrington G., Oliver I., Smemik R., and McLaughlin M.J. 2003. The influence of sewage sludge properties on sludge- borne metal availability. Adv. Environ. Res. 8: 21-36.
28- Mico C., Recatala L., Peris M., and Sanchez J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere, 65: 863-872.
29- Morcelli C.P., Fipeiredoa A.M., Sarkisam J.E., Kakazua M. and Sigolo J.B. 2005. PGEs and other traffic-related elements in roadside soils from Sao Paolo, Brazil. Sci. Total Environ. 345: 81-91.
30- Pannatier, Y., 1996. Variowin, Version 2.2. Springer-Verlag, Switzerland.
31- Pierzynsky G.M., Sims J.T. and Vance G.F. 2000. Soils and Environmental Quality. CRC press. New York, USA. P.459.
32- Rodriguez Martin J.A., Lopez Arias M., and Grau Corbi J.M. 2006. Heavy metal contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of multivariate geostatistical methods to study spatial variations. Environ. Pollut. 144: 1001-1012.
33- Rodriguez Martin J.A., Nanos N., Grau J.M., Gil L., and Lopez-Arias M. 2008. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. Chemosphere, 70: 1085-1096.
34- Shi, G., Chen Z., Xu S., Zhang J., Wang L., Bi C., and J. Teng. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. Environ. Pollut., 156: 251-260.
35- Smith K.A. 1991. Soil Analysis, (2nd ed), Marcel Decker, New York. p. 659.
36- Stalikas C.D., Pilidis G.A. and Tzouwara-Karayanni S.M. 1999. Use of a sequential extraction scheme with data normalisation to assess the metal distribution in agricultural soils irrigated by lake water. Sci. Total Environ. 236: 7-18
37- Viard B., Pihan F., Promeyrat S. and Pihan J.C. 2004. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails. Chemosphere, 55: 1349-1359.
38- Wong C.S.C., Li X. and Thornton I. 2006. Urban environmental geochemistry of trace metals. Environ. Pollut.

Archive of SID

www.SID.ir

142: 1-16.
39- Zhang Ch. 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soil in Galway, Ireland. Environ. Pollut., 142: 501-511.
40- Zhang R., Hamerlinck J.D., Gloss S.P. and Munn L. 1996. Determination of nonpoint- source pollution using GIS and numerical models. J. Environ. Qual. 25: 411-418.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 1, Mar-Apr 2010, p. 132-144

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص. ۱۴۴-۱۳۲

Spatial variability of Pb and Zn concentration and its relationship with land use and parent materials in selected surface soils of Hamadan province

M. Taghipour[1] - H. Khademi[2*] - Sh. Ayoubi [3]

Abstract

Accumulation of heavy metals in soils has become a serious environmental problem in many parts of the world. No information is currently available on the distribution pattern of heavy metals concentration in soils of Hamadan province. The objective of this research was to determine the spatial distribution of Pb and Zn and its relationship with land use and parent materials of a selected area surrounding the city of Hamadan. A total of 263 composite surface soil samples (0-10 Cm) were taken from an area of about 1600 km^2. The location of each sampling site was recorded by using a GPS and its land use type (residential, uncultivated, agricultural land and dryland wheat) was also determined. In addition from six major types of bedrock in the Hamadan province were also sampled with 3 replicates. The total and plant available Zn and Pb in soil samples and the total concentration of these elements in parent rocks were measured by atomic absorption spectrophotometer after extraction. Selected soil properties including pH, electrical conductivity, organic matter, cation exchange capacity and soil texture were also determined. The spatial variability of variables was examined by variography and kriging analysis. The mean concentration of total and available Zn were 71.4 and 2.5 mg Kg^{-1} and those for Pb were 24 and 2.5 mg Kg^{-1}, respectively. The results of geostatistical analysis showed that spherical model was the best model for describing the spatial variability of Pb and Zn. The range of influence was estimated 9750 m for Pb and 11550 m for Zn. It seems that the major factor controlling the high concentration of total Pb and Zn in the area is land use type. Analysis of parent rock samples indicated that shale as the major parent rock occurring in the southeast and west part of the study area contains a high quantity of Zn (96.2 mg Kg^{-1}). Therefore, it appears that Zn has entered the soils in the study area through the weathering of parent materials. In other words, the content of Zn in the soils studied seems to be mainly controlled by soil parent material and land use. A significant correlation was found between organic matter and the concentration of Pb.(r^2= 0.35) and Zn (r^2= 0.33).

Keywords: Spatial variability, Heavy metals, Parent materials, Variogram, Kriging, Hamadan

Archive of SID

1,2,3 - A Contribution from Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
(* Corresponding author Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir)

www.SID.ir