مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هفدهم، شماره دوم، ۱۳۸۹
www.gau.ac.ir/journals

تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت کل نیکل و مس در خاک‌های سطحی اطراف همدان به روش زمین‌آمار

مرضیه تقی‌پور[۱]، *شمس‌اله ایوبی[۲] و حسین خادمی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۳]استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۸/٤/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۲۲

چکیده

در سال‌های اخیر، به‌دلیل تجمع عناصر سنگین در خاک، تشخیص نوع، منشأ و پراکندگی این عناصر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی‌که در ارتباط با وضعیت پراکنش عناصر سنگین در خاک‌های استان همدان اطلاعاتی وجود نداشته، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین مس و نیکل در برخی از خاک‌های سطحی استان همدان صورت گرفت. تعداد ۲٦۳ نمونه مرکب خاک سطحی از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری از منطقه مطالعاتی به وسعت ۱٦۰۰ کیلومترمربع جمع‌آوری گردید. موقعیت نقاط توسط دستگاه GPS تعیین و کاربری محل نیز شناسایی و ثبت شد. به‌منظور بررسی تأثیر مواد مادری بر غلظت این عناصر از مواد مادری نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک و سنگ، مقدار کل عناصر در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. تغییرنمای همه‌جهته عناصر مورد مطالعه ترسیم، سپس الگوی مناسب بر آن‌ها برازش داده شد. در نهایت به‌وسیله روش کریجینگ نقشه پراکنش مکانی عناصر مورد مطالعه ترسیم گردید. نتایج آنالیزهای زمین‌آماری نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده برای این متغیرها می‌باشد. براساس نقشه‌های پراکنش مس و نیکل، عامل مؤثر بر روند افزایشی این عناصر، نوع مواد مادری است. آنالیز سنگ‌های بستر در منطقه نیز نشان داد که شیل‌های واقع در قسمت‌های جنوب

* مسئول مکاتبه: ayouby@cc.iut.ac.ir

شرقی و غرب منطقه، غلظت‌های زیادی از عناصر نیکل (۹۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مس (۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در خود جای داده‌اند. بنابراین با هوادیدگی این سنگ‌ها مس و نیکل به خاک اضافه شده است. علاوه‌بر این غلظت مس در مناطق شهری بیش‌تر از سایر مناطق می‌باشد. بنابراین علاوه‌بر ماده مادری عامل مهم دیگری که توانسته غلظت مس را کنترل نماید، نوع کاربری در منطقه مورد مطالعه است. توزیع فراوانی فلزات اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که براساس حد استاندارد آلودگی انگلستان، نیکل بیش‌ترین آلودگی (حدود ٦٣ درصد) را در منطقه دارد. در حالی‌که مس با ۱/۵ درصد بیش‌تر از حد آلودگی انگلستان، بعد از نیکل قرار دارد.

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

مقدمه

خاک ترکیب ویژه‌ای از زیست‌کره است که نه تنها یک مخزن ژئوشیمیایی برای آلودگی‌هاست، بلکه به‌عنوان یک بافر طبیعی کنترل‌کننده انتقال عناصر و مواد شیمیایی به هواکره، آب‌کره و جانداران می‌باشد (کاباتاپندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱). هر گونه تغییر در ویژگی‌های هوا، خاک، آب و مواد غذایی که اثر نامطلوبی بر سلامت محیط زیست، فعالیت‌های بشر و سایر جانداران داشته باشد، آلودگی نامیده می‌شود (عرفان‌منش و افیونی، ۲۰۰۲).

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[1] و غیرنقطه‌ای[2] تقسیم می‌کنند که تفاوت این دو تنها از نظر گسترش مکانی و نیز منشأ اولیه آن‌ها می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۱). دشواری بررسی آلودگی‌های غیرنقطه‌ای بیش‌تر ناشی از موقعیت، مقیاس، پیچیدگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ناهمگونی مکانی محیط مورد مطالعه می‌باشد (مارکز و همکاران، ۲۰۰٤).

فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌ها هستند که ورود آن به محیط زیست سبب بروز صدمات و بیماری‌های مختلفی می‌شود. این عناصر در غلظت‌های مشخصی سمی بوده و برای برخی موجودات زنده از جمله انسان مضر می‌باشند. در عین‌حال کاربرد و تولید آن‌ها در صنایع

1. Point Source
2. Non-Point Source

اجتناب‌ناپذیر است (بلیک و همکاران، ۲۰۰۱). فلزات سنگین آن دسته از فلزات هستند که دارای جرم اتمی بیش‌تر از آهن (۵۵/۸ گرم بر مول) یا جرم حجمی بیش‌تر از ۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشند (مارتین و همکاران، ۲۰۰۶). پویایی این فلزات در خاک کم بوده و معمولاً به لایه‌های زیرین خاک، انتقال نمی‌یابند، بنابراین بیش‌تر در معرض جذب و انتقال به گیاه قرار می‌گیرند (ژیاسکویانی و همکاران، ۱۹۹۵). فلزات سنگین برخلاف آلوده‌کننده‌های آلی تغییرناپذیر، غیرقابل تجزیه و پایدار در خاک هستند (آدریانو و همکاران، ۲۰۰۴).

در بسیاری از مناطق، ورودی عناصر سنگین به داخل خاک، به‌طور طبیعی و بدون دخالت انسان، بسیار بیش‌تر از ورودی آن‌ها با دخالت انسان است. مواد مادری یکی از منابع مهم ورود عناصر سنگین به داخل خاک به‌شمار می‌رود (فاک‌چینلی و همکاران، ۲۰۰۱). بلاستر و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند، با انجام فرآیندهای خاک‌ساز و هوادیدگی سنگ بستر، غلظت عناصر بر حسب نوع سنگ بستر به‌طور تدریجی افزایش می‌یابد. پوسته زمین از ۹۵ درصد سنگ‌های آذرین و دگرگونی‌های به‌دست آمده از آن‌ها و ۵ درصد سنگ‌های رسوبی و سنگ‌های دگرگونی مشتق شده از آن‌ها تشکیل شده که از این میان ۸۰ درصد شیل و ۱۵ درصد سنگ آهک است (کابالا و سینگ، ۲۰۰۱). به‌طورکلی ماسه‌سنگ‌ها به‌دلیل اینکه به‌طور عمده از کوارتز تشکیل شده‌اند، غلظت‌های کم‌تری از فلزات را در خود جای داده‌اند، در حالی‌که رسوبات رسی و شیل‌ها به‌دلیل توانایی بالا در جذب یون‌های فلزی می‌توانند مقادیر بالای این فلزات را در خود داشته باشند (کابالا و سینگ، ۲۰۰۱). مواد مشتق شده از هوادیدگی سنگ‌های دانه‌درشت مثل ریولیت و گرانیت نسبت به مواد دانه‌ریز مثل شیل‌ها و سنگ‌های آذرین بازیک، حاوی مقادیر کم‌تر عناصری مثل مس، روی و کبالت می‌باشند (هی و همکاران، ۲۰۰۵).

یکی از شیوه‌های مورد استفاده در دهه‌های اخیر به‌منظور بررسی پراکنش آلودگی خاک، استفاده از علم زمین‌آمار است (ایزاک و سریواستاوا، ۱۹۸۹). موحدی‌راد (۲۰۰۸) با بررسی تغییرات مکانی روی، سرب، کادمیوم و نیکل در بخشی از استان قم گزارش کرد که عامل مؤثر بر روند افزایشی عناصر سرب و روی نوع کاربری است و ماده مادری و توپوگرافی منطقه مؤثرترین عامل در افزایش غلظت نیکل در منطقه به‌شمار می‌رود. همچنین مطالعات شیرانی (۲۰۰۸) در زمینه تغییرات مکانی سرب، کادمیم و نیکل در محدوده بزرگراه مشهد- چناران نشان داد که فعالیت‌های صنعتی و نوع ماده مادری عامل مؤثر بر غلظت نیکل و روی در منطقه است.

شای و همکاران (۲۰۰۸) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی شانگهای بررسی کردند. آن‌ها منبع ورود عناصر روی، سرب و مس را به‌طور عمده فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی را عامل افزایش نیکل به محیط عنوان کردند. چن و همکاران (۲۰۰۸)، در یک مطالعه زمین‌آماری به بررسی منشأ عناصر سنگین در چین پرداختند. آن‌ها با ترکیبی از آمار چندمتغیره و زمین‌آمار مشاهده نمودند که غلظت عناصر مس، روی و سرب توسط فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود، در حالی‌که نیکل، کروم و کبالت به‌وسیله فاکتورهای طبیعی و خصوصیات خاک کنترل می‌گردد. رودریگوز و همکاران (۲۰۰۸)، گوانزالز و همکاران (۲۰۰۱)، مارتین و همکاران (۲۰۰۷) و میکو و همکاران (۲۰۰٦) نیز مطالعاتی را در زمینه توزیع مکانی عناصر سنگین انجام داده‌اند.

با وجود اهمیت عناصر سنگین، در بسیاری از استان‌های کشور وجود پژوهش‌هایی که بتواند مقدار پراکنش آلودگی را به‌صورت نقشه‌های کاربردی ارایه کند بسیار کم انجام گرفته است. در استان همدان نیز تاکنون هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد پراکنش مکانی فلزات سنگین منتشر نشده است. بنابراین به‌دلیل وجود شیل، سنگ‌های دگرگونی و آذرین در منطقه و اهمیت این نوع سنگ‌ها در ورود عناصر سنگین به خاک‌ها و همچنین تمرکز فعالیت‌های کشاورزی و احتمال ورود این عناصر به زنجیره غذایی، تعیین آلودگی خاک‌های سطحی این منطقه به فلزات سنگین بسیار دارای اهمیت است. بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی پراکنش مکانی عناصر مس و نیکل و ارتباط آن‌ها با مواد مادری و کاربری اراضی در خاک‌های سطحی بخشی از استان همدان صورت گرفت.

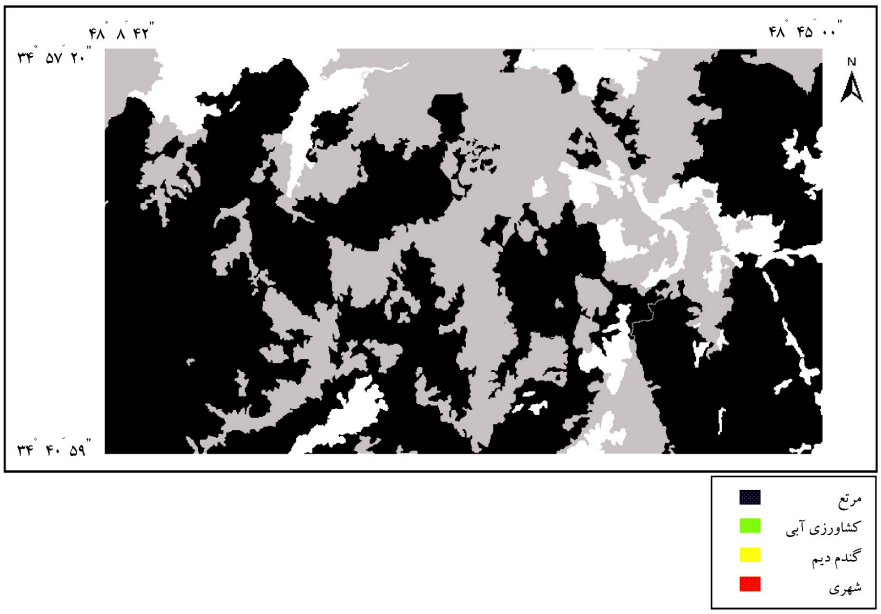
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۱٦۰۰ کیلومترمربع در اطراف شهر همدان قرار دارد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ٤۸ درجه، ۸ دقیقه و ٤۲ ثانیه تا ٤۸ درجه، ٤٥ دقیقه و صفر ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳٤ درجه، ٤۰ دقیقه و ٥۹ ثانیه تا ۳٤ درجه، ٥۷ دقیقه و ۲۰ ثانیه شمالی قرار دارد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۷۳۱ متر و متوسط بارندگی در منطقه در حدود ۳۲۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

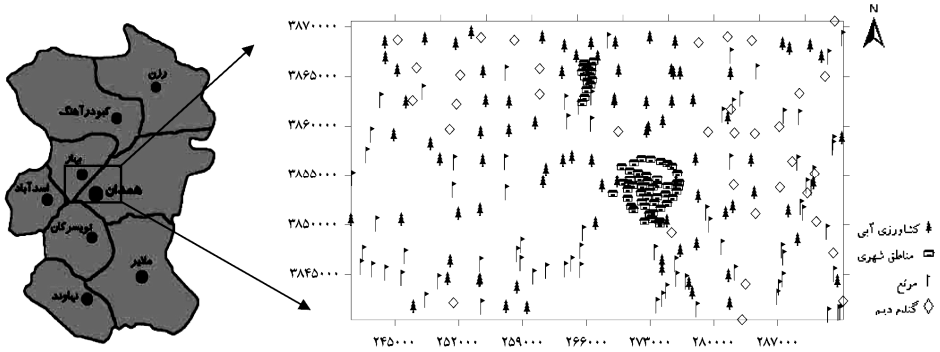
نمونه‌برداری در مناطق غیرشهری با فواصل حدود ۳ کیلومتر و در مناطق شهری با فواصل حدود ۱ کیلومتر به روش شبکه‌بندی منظم تصادفی صورت گرفت. در مجموع تعداد ۲٦۳ نمونه مرکب خاک سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متر) برداشت شده، موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه GPS[1] تعیین و

1. Global Positioning System

کاربری محل نمونه‌برداری نیز ثبت گردید. شکل ۱ نقشه کاربری منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. نمونه‌برداری از ٤ نوع کاربری مرتع، گندم دیم، کشاورزی آبی و مناطق شهری انجام شد. شکل ۲ موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده را به تفکیک نوع کاربری نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۲۵۰۰۰۰: ۱.

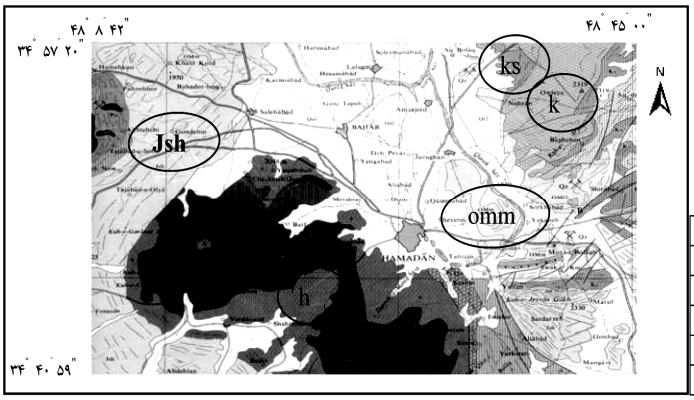


شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مطالعاتی به تفکیک نوع کاربری.

نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوا، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شده و مقدار کل عناصر مس و نیکل (قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک ۵ نرمال) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ تعیین شد (آجویی و کمسون، ۱۹۸۳). به‌منظور 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 (شکل ۳)، سنگ‌های غالب در منطقه شامل شیل‌ها در قسمت‌های غربی و بخشی از شرق منطقه، سنگ‌های رسوبی و دگرگونی در قسمت جنوبی منطقه و ماسه‌سنگ، سنگ آهک و مارن‌ها نیز در قسمت‌های شرقی منطقه می‌باشند. سنگ‌های رسوبی تفکیک نشده مربوط به دوره کرتاسه نیز در بخش‌هایی از شمال‌غربی منطقه وجود دارند. از هر ٦ نوع سنگ غالب در منطقه ۳ نمونه برداشت و پس از آسیاب کردن سنگ‌ها، غلظت عناصر مس و نیکل (هضم به‌وسیله سه اسید HF، HNO_3 و HCl) (استالیکاس و همکاران، ۱۹۹۹) در آن‌ها تعیین گردید. به‌منظور کنترل کیفیت نتایج تجزیه فلزات سنگین در خاک، یک نمونه استاندارد مؤسسه تحقیقات ملی فن‌آوری آمریکا به‌نام San Joaquin # ۲۷۰۹ تهیه شده و غلظت عناصر مورد مطالعه در آن اندازه‌گیری شد.

پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، آزمون کولموگروف- اسمیرنف به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. جهت بررسی نقاط آلوده در منطقه، از حد استاندارد آلودگی مشخص شده توسط کشور انگلستان استفاده گردید (سینگ و استینز، ۱۹۹٤). سپس ناهمسان‌گردی داده‌ها توسط تغییرنمای جهتی بررسی و پس از تعیین درجه ناهمسان‌گردی، تغییرنمای همه‌جهته برای تمام عناصر مورد مطالعه، ترسیم شد. محاسبه و ترسیم تغییرنما در متغیرهای نرمال توسط برنامه Variowin صورت گرفت. به‌منظور بررسی اعتبار تغییرنما، انتخاب پارامترهای مدل به شیوه‌ای صورت گرفت که مدل نهایی، دارای حداقل میانگین خطای تخمین (ME)[1] باشد. در صورتی‌که مدل تغییرنما درست انتخاب شده باشد RMSE[2] (مجذور میانگین مربعات خطای تخمین) نیز باید با مقدار واریانس کریجینگ برابر باشد (جوآنگ و لی، ۲۰۰۰؛ محمدی، ۲۰۰۷). پس از تعیین بهترین مدل، نقشه‌های کریجینگ توسط نرم‌افزار Surfer8 برای هر عنصر ترسیم گردید.

1. Mean Error
2. Root Mean Squared Error



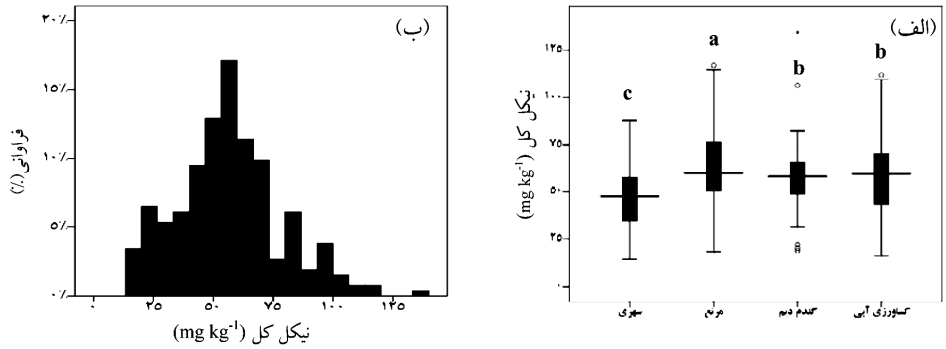
Jsh	شیل
gg	گرانیت- گرانودیوریت
h	هورنفلس و هورنفلس-شیست
omm	مارن
ks	ماسه سنگ
k	رسوبی تفکیک نشده (کرتاسه)

شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری ایران).

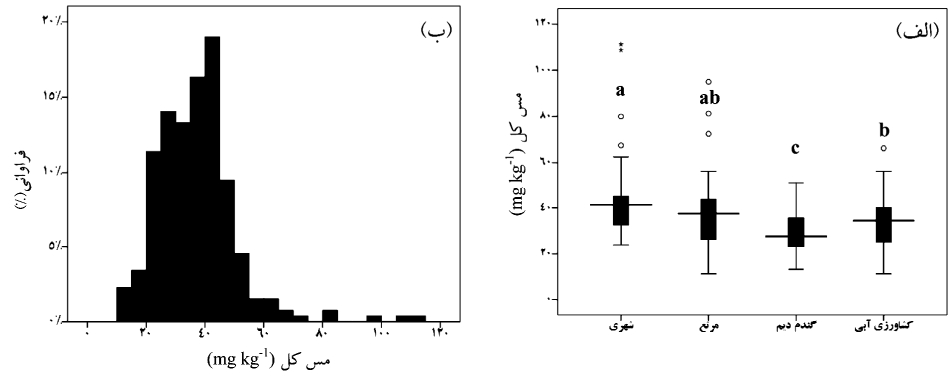
نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها: با توجه به نمودار جعبه‌ای نیکل کل (شکل ٤- الف) کاربری مرتع بیش‌ترین غلظت نیکل را دارا می‌باشد. کاربری کشاورزی آبی و گندم دیم از نظر غلظت نیکل کل حد واسط دو کاربری مرتع و شهری بوده و اراضی شهری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با کاربری مرتع است. از آنجایی‌که مراتع در منطقه مطالعاتی به‌طور عمده برروی مواد مادری شیل قرار دارند بنابراین می‌توان نوع مواد مادری را از عوامل افزایش نیکل در این نوع کاربری به‌شمار آورد. ٦٣ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز نیکل در انگلستان (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (سینگ و استینز، ١٩٩٤) دارند. شکل (٤- ب) نمودار درصد فراوانی غلظت نیکل کل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل وضعیت پراکنش نیکل در منطقه از تابع نرمال پیروی کرده و چولگی ۰/٤ و آزمون کولموگروف- اسمیرنف هم این مطلب را تأیید می‌نماید.

شکل (۵- الف) نمودار جعبه‌ای مس کل را در منطقه نشان می‌دهد. کاربری شهری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با دو کاربری کشاورزی آبی و گندم دیم است. بیش‌ترین غلظت مس در منطقه، ١١١/٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اراضی شهری قرار دارد، که از حد مجاز پیشنهاد شده برای خاک‌ها در کشور انگلستان (سینگ و استینز، ١٩٩٤) بیش‌تر است. بنابراین در برخی از مناطق، غلظت مس کل بیش‌تر از حد مجاز می‌باشد و در محدوده خاک‌های آلوده قرار می‌گیرد.



شکل ٤- الف- نمودار جعبه‌ای نیکل کل، ب- توزیع فراوانی غلظت نیکل کل در منطقه مطالعاتی.



شکل ٥- الف- نمودار جعبه‌ای مس کل، ب- توزیع فراوانی غلظت مس کل در منطقه مطالعاتی.

با توجه به شکل (٥- ب) وضعیت پراکنش مس کل در منطقه از تابع نرمال پیروی نکرده و چولگی ۱/٦ و آزمون کولموگروف- اسمیرنف نیز این مطلب را تأیید می‌کند. از آنجایی که برای انجام محاسبه‌های زمین‌آماری فرض نرمال بودن داده‌ها مطرح است، بنابراین لازم است که توزیع نرمال گردد. با توجه به این‌که در بین ۲٦۳ داده، تعداد ۲ داده به‌صورت پرت در بین داده‌ها قرار گرفته‌اند، در محاسبه‌های بعدی این تعداد داده حذف گردید. بعد از حذف دو داده پرت توزیع مس کل از توزیع نرمال پیروی کرده است.

جدول ۱ میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در برخی از سنگ‌های غالب در منطقه مطالعاتی و خاک‌های تشکیل شده برروی این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول شیل‌ها بیش‌ترین غلظت این عناصر را دارا می‌باشند و می‌توانند منبع ورود این عناصر به خاک باشند. بررسی خاک‌های

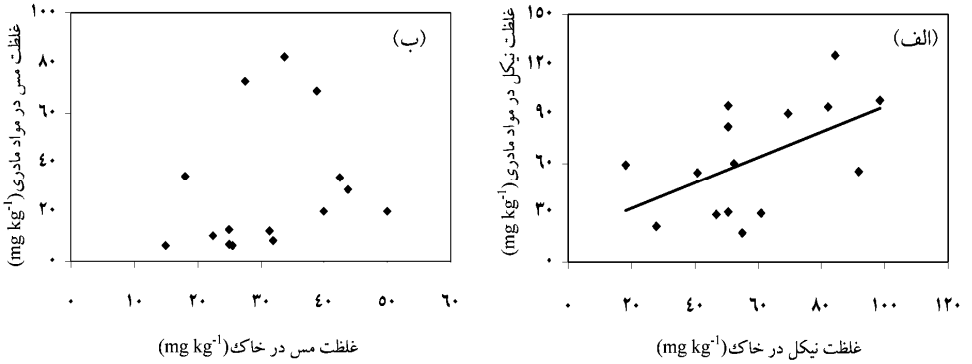
تشکیل شده برروی این سنگ‌ها نیز این مطلب را تأیید می‌کند. بعد از شیل‌ها، سنگ‌های دگرگونی غلظت‌های بالای این عناصر را در خود جای داده‌اند.

میکو و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که غلظت عناصر کبالت، کروم، نیکل و روی در خاک به‌وسیله مواد مادری کنترل می‌شود و یک ارتباط قوی بین غلظت این عناصر در خاک و سایر خصوصیات خاک مانند مواد آلی، مقدار رس و کربنات وجود دارد. اما مقدار سرب، مس و کادمیم به‌وسیله فعالیت‌های بشر کنترل می‌گردد. این عناصر ارتباط کم‌تری با سایر خصوصیات خاک دارند. فاک‌چینلی و همکاران (۲۰۰۱) ضمن انجام آنالیزهای زمین‌آمار چندمتغیره پی بردند که مقادیر کروم، نیکل و کبالت در خاک با هم در ارتباط بوده و منشأ مشابهی دارند.

جدول ۱- میانگین غلظت نیکل و مس کل در برخی از سنگ‌های غالب منطقه و خاک‌های به‌دست آمده از هوادیدگی این سنگ‌ها.

نوع ماده مادری	تعداد نمونه آنالیز شده		میانگین نیکل کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		میانگین مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
	سنگ بستر	خاک	سنگ بستر	خاک	سنگ بستر	خاک
هورنفلس و هورنفلس- شیست	۳	۳٦	۸۸/۷	٦٥/۰	۲۸/۱	۳۹/۱
گرانیت- گرانودیوریت	۳	۱٦	۲۹/٥	٤۸/٥	۱۷/۷	۳۸/۰
شیل	۳	۳۲	۹۷/٥	۷۹/۳	۷٥/۰	٤٤/۰
ماسه‌سنگ	۳	۸	٤۲/٤	٦۰/۷	۱٦/٥	۲۸/۹
مارن	۳	۱۸	٥۷/٥	٥۳/۷	۱۱/۷	۲۳/٦
رسوبی تفکیک نشده (کرتاسه)	۳	٦	۱۹/۲	٤۲/۷	۷/۲	۲۱/۸

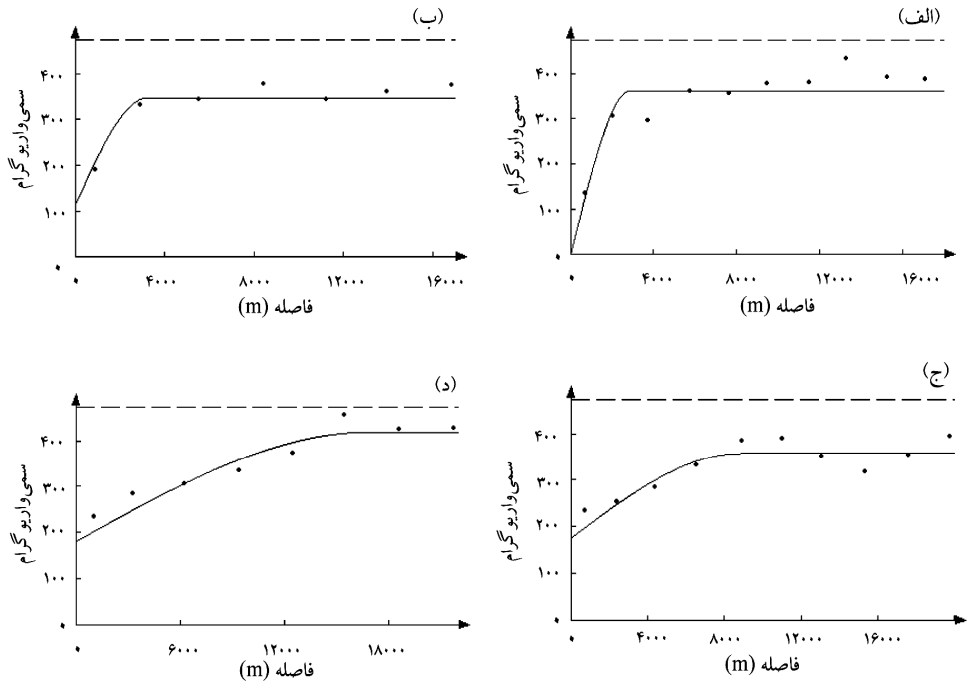
نمودار شکل ٦- الف ارتباط معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) غلظت نیکل موجود در مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده برروی این مواد ($r^۲=۰/٥۷$) را نشان می‌دهد. این نمودار نیز اثر مواد مادری بر غلظت نیکل کل را تأیید می‌کند. اما مس در خاک با مس موجود در مواد مادری همبستگی خوبی را نشان نمی‌دهد (شکل ٦- ب). بنابراین به‌نظر می‌رسد علاوه‌بر مواد مادری عامل دیگری نیز بر غلظت مس در خاک مؤثر بوده است.



شکل ٦- نمودار همبستگی غلظت نیکل کل (الف) و مس کل (ب) در خاک و مواد مادری.

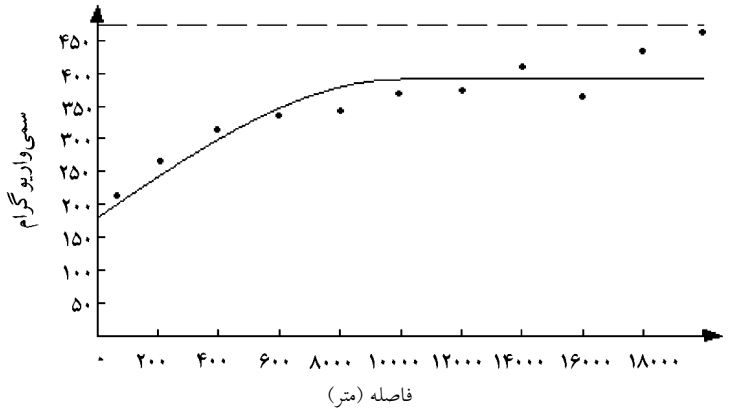
آنالیز همبستگی مکانی: تشخیص ناهمسان‌گردی در کریجینگ و درک بهتر ساختار تغییرپذیری متغیر مورد مطالعه و رفتار آن در لنداسکیپ از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. برای تعیین همسان‌گرد یا ناهمسان‌گرد بودن توزیع عناصر مورد مطالعه، می‌توان از تغییر نمای سطحی و تغییرنماهای جهتی در امتدادهای مختلف استفاده کرد (محمدی، ۲۰۰۷). شکل ۷، تغییرنماهای جهتی ترسیم شده در امتدادهای مختلف و شکل ۸ تغییرنمای کلی نیکل را نشان می‌دهد. پارامترهای مدل‌های تئوری منطبق بر تغییرنماهای ترسیم شده نیز در جدول ۲ ارایه شده است.

در تخمین‌های کریجینگ به‌دلیل وابستگی شدید دقت نتایج به مدل‌های تغییرنما، باید این مدل‌ها به گونه‌ای اعتبارسنجی شوند (جوآنگ و لی، ۲۰۰۰). در این مطالعه دقت مدل‌ها توسط مجذور میانگین مربعات خطای تخمین تعیین شد. میانگین خطای تخمین (ME) 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 می‌باشد (محمدی، ۲۰۰۷).



شکل ۷- تغییرنماهای امتدادی نیکل کل برای امتدادهای مختلف

(الف) صفر درجه (ب) ٤٥ درجه (ج) ۹۰ درجه (د) ۱۳۵ درجه.



شکل ۸- تغییرنمای همه‌جهته نیکل کل در خاک.

جدول ۲- مشخصات مدل‌های تغییرنمای نیکل کل در منطقه مطالعاتی.

امتداد	زاویه تحمل	الگوی تغییرنما	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (متر)	نسبت همبستگی (درصد)	کلاس همبستگی[1]	ME	RMSE	ضریب همبستگی
۰	۲۲/۵	کروی	۰	۳٦٤/۸	۲۸۸۰	۰	S	-۰/۰۰۵	۱٤/۲	۰/۵
٤۵	۲۲/۵	کروی	۱۱۵/۲	۳۵۰/٤	۳۲۳۰	۳۳	M	۰/۰۷۰	۱٤/۱	۰/۵
۹۰	۲۲/۵	کروی	۱۷۷/٦	۳٦۰/۰	۸۸۰۰	۵۰	M	۰/۱۰۰	۱٤/٤	۰/٦
۱۳۵	۲۲/۵	کروی	۱۸۲/٤	٤۲۲/٤	۱٦۹٤۰	٤۳	M	۰/۱۰۰	۱٤/۳	۰/٦
۰	۹۰	کروی	۱۸۲/٤	۳٦۳/٦	۱۰۰۰۰	۵۰	M	۰/۰۰۳	۱٤/۷	۰/٦

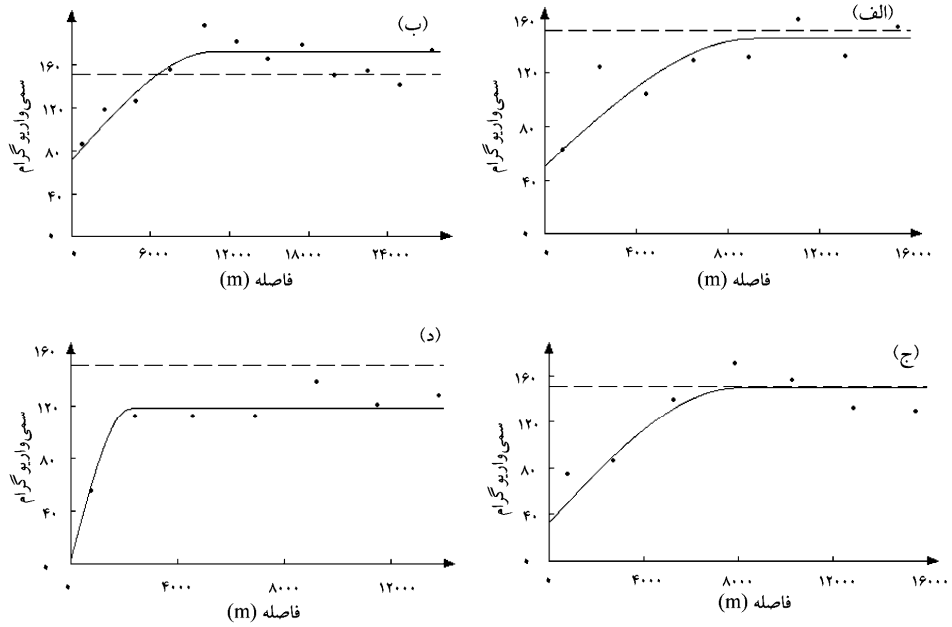
۱- کلاس همبستگی، M (متوسط)، S (قوی).

با توجه به نتایج جدول ۲، منطقه مورد مطالعه برای داده‌های موجود برای عنصر نیکل دارای ناهمسان‌گردی هندسی است که قطر بزرگ بیضی ناهمسان‌گردی در امتداد ۱۳۵ درجه و قطر کوچک آن در امتداد صفر درجه بوده و نسبت ناهمسان‌گردی (نسبت قطر بزرگ بیضی ناهمسان‌گردی به قطر کوچک آن) برابر ۵/۸ می‌باشد. نتایج نسبت همبستگی (واریانس کل/ اثر قطعه‌ای) نیز در این جدول ارایه شده است. نسبت همبستگی برابر صفر بیانگر یک پیوستگی شدید در وابستگی مکانی می‌باشد (میکو و همکاران، ۲۰۰٦). در جهت صفر درجه وابستگی شدید مشاهده گردید در حالی‌که در بقیه زوایا نیکل کل دارای کلاس همبستگی متوسط (۷۵ درصد > نسبت همبستگی > ۲۵ درصد) (میکو و همکاران، ۲۰۰٦) است. موحدی‌راد (۲۰۰۸) بهترین مدل تغییرنما برای نیکل کل را مدل کروی با دامنه تأثیر ۵۲۸۰ متر تعیین کرد. مطالعات او نشان داد که این متغیر دارای کلاس همبستگی قوی است.

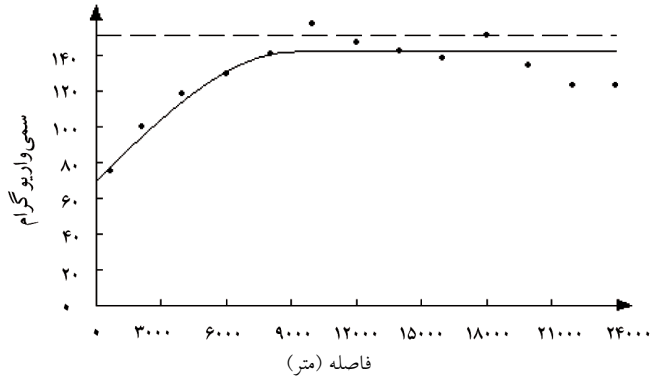
شکل ۹ تغییرنماهای جهتی ترسیم شده در امتدادهای مختلف و شکل ۱۰، تغییرنمای کلی مس را نشان می‌دهد. پارامترهای مدل‌های تئوری منطبق بر تغییرنماهای ترسیم شده نیز در جدول ۳ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که منطقه برای غلظت مس کل دارای ناهمسان‌گردی هندسی می‌باشد که قطر بزرگ بیضی ناهمسان‌گردی در امتداد ٤۵ درجه و قطر کوچک آن در امتداد ۱۳۵ درجه است. نسبت ناهمسان‌گردی برای منطقه در مورد این عنصر برابر ٤/۸ می‌باشد.

غلظت مس کل در امتداد ۹۰ و ۱۳۵ درجه دارای همبستگی مکانی پایین و کلاس همبستگی قوی است اما در سایر زوایا این متغیر از کلاس همبستگی متوسطی برخوردار است. مارتین و همکاران

(۲۰۰۷) تغییرات مکانی مس را در اسپانیا مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان داد که بهترین مدل تغییرنما برای مس کل، مدل کروی با دامنه تأثیر ۸۵ کیلومتر است. نسبت همبستگی برای این عنصر ٦٢ درصد به‌دست آمد.



شکل ۹- تغییرنماهای امتدادی مس کل برای امتدادهای مختلف
(الف) صفر درجه (ب) ٤٥ درجه (ج) ۹۰ درجه (د) ۱۳۵ درجه.



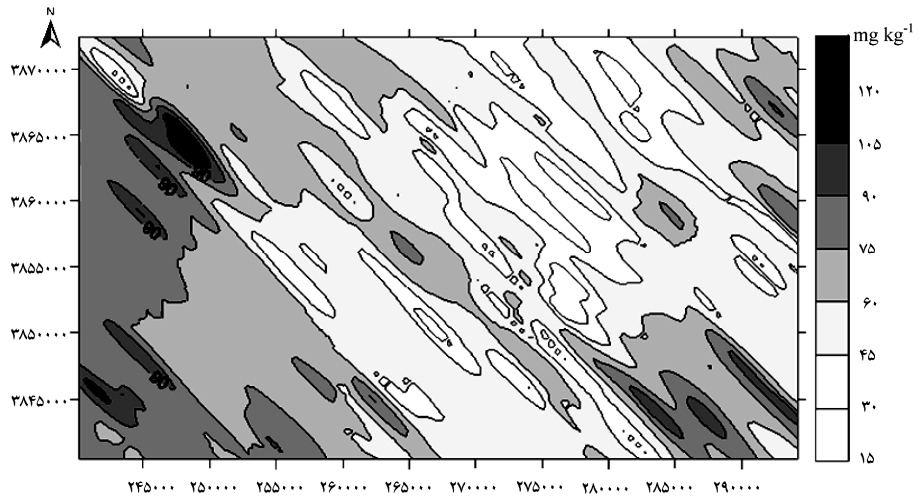
شکل ۱۰- تغییرنمای همه‌جهته مس کل در خاک.

جدول ۳- مشخصات مدل‌های تغییرنمای مس کل در منطقه مطالعاتی.

امتداد	زاویه تحمل	الگوی تغییرنما	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (متر)	نسبت همبستگی (درصد)	کلاس همبستگی[1]	ME	RMSE	ضریب همبستگی
۰	۲۲/۵	کروی	۵۱/۲	۱۴۵/۶	۹۱۲۰	۳۵	M	۰/۱۰	۶/۹	۰/۶۵
۴۵	۲۲/۵	کروی	۷۲/۰	۱۷۲/۸	۱۰۹۲۰	۴۱	M	-۰/۰۸	۷/۶	۰/۶۴
۹۰	۲۲/۵	کروی	۳۶/۶	۱۵۰/۴	۸۰۰۰	۲۲	S	۰/۱۰	۶/۸	۰/۶۵
۱۳۵	۲۲/۵	کروی	۳/۲	۱۱۸/۴	۲۲۴۰	۲/۷	S	۰/۲۰	۷/۱	۰/۶۳
۰	۹۰	کروی	۷۰/۴	۱۴۲/۴	۹۱۲۰	۴۹	M	۰/۲۰	۷/۲	۰/۶۰

۱- کلاس همبستگی، M (متوسط)، S (قوی).

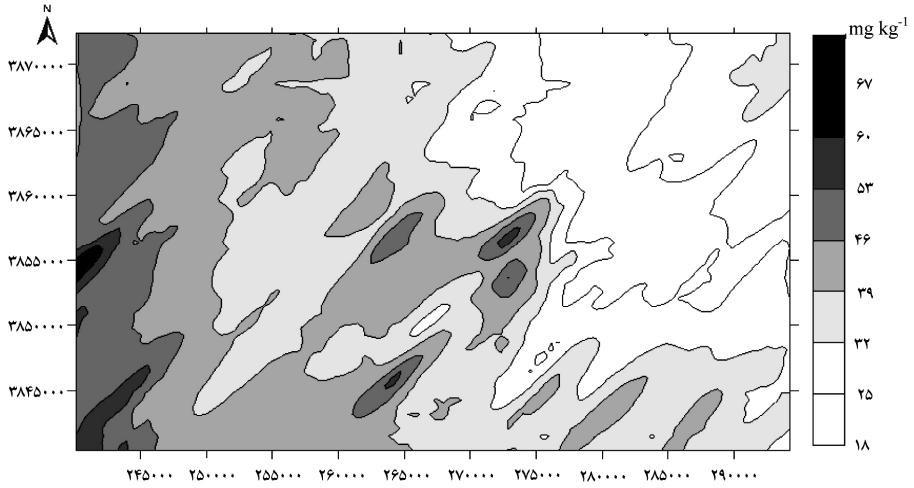
پراکنش مکانی عناصر مورد مطالعه: در این پژوهش کریجینگ بلوکی در مورد عناصر مورد مطالعه اعمال شده است. شکل ۱۱ نقشه پراکنش مکانی نیکل خاک که از کریجینگ بلوکی به‌دست آمده، را نشان می‌دهد. توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۳)، مشخص می‌کند که قسمت‌های جنوب‌شرقی و غرب منطقه به‌طور عمده تحت‌تأثیر مواد مادری از جنس شیل می‌باشند.



شکل ۱۱- پراکنش مکانی نیکل کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمده از کریجینگ بلوکی در منطقه مورد مطالعه.

براساس آنالیزهای انجام شده برروی سنگ‌های منطقه، شیل‌ها غنی از نیکل بوده، بنابراین احتمال دارد که طی سالیان متمادی و در اثر هوادیدگی شیل‌ها، نیکل به خاک اضافه شده باشد. مناطق شهری مقدار کم‌تری از این عنصر را دارند بنابراین غلظت نیکل در خاک به‌وسیله مواد مادری کنترل‌شده و فعالیت‌های انسانی بر غلظت آن تأثیر چندانی نداشته‌اند. گونزالز و همکاران (۲۰۰۱) در منطقه‌ای که برروی مواد مادری سرپنتین قرار گرفته بود، مقدار نیکل را بیش از حد بحرانی گزارش، و مواد مادری را عامل افزایش غلظت نیکل در منطقه معرفی نمود.

با توجه به نقشه به‌دست آمده از کریجینگ بلوکی مس (شکل ۱۲)، مناطق با کاربری شهری (شکل ۱) و همچنین خاک‌های تشکیل شده برروی شیل‌ها دارای غلظت بالای مس هستند. جدول ۱ نیز نشان می‌دهد که، سنگ‌های دانه‌ریز مانند شیل‌ها، نسبت به سنگ‌های دانه‌درشت مانند گرانیت، حاوی مقادیر بیش‌تری عنصر مس و نیکل هستند. هی و همکاران (۲۰۰۵) نیز 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.



شکل ۱۲- پراکنش مکانی مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمده از کریجینگ بلوکی در منطقه مورد مطالعه.

کم‌ترین غلظت مس برروی خاک‌های مشتق شده از سنگ‌های رسوبی تفکیک نشده (کرتاسه) قرار دارد که آنالیز سنگ‌های منطقه این مطلب را نیز تأیید می‌کند. بنابراین مواد مادری و نوع کاربری از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده غلظت مس در خاک منطقه می‌باشد. رودریگوز و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای برروی خاک‌های سطحی اسپانیا فعالیت‌های انسانی و نوع مواد مادری را عامل افزایش غلظت مس به خاک‌های کشاورزی منطقه معرفی کردند. به‌طورکلی در منطقه مطالعاتی با توجه به استانداردهای موجود آلودگی به مس مشاهده نشد ولی در برخی نقاط به‌صورت موضعی غلظت بالای مس مشاهده می‌شود که باید با ملاحظات بیشتری مورد بررسی قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین غلظت نیکل در کاربری‌های مختلف نشان داد که اراضی مرتعی از غلظت نیکل بالاتری برخوردار است که می‌توان مواد مادری را از عوامل اصلی افزایش نیکل در این منطقه به‌شمار آورد. نمودار همبستگی بین غلظت نیکل در خاک با غلظت نیکل در مواد مادری و نقشه‌های کریجینگ نیز مؤید این مطلب است. وجود مواد مادری شیل با غلظت بالای نیکل در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه می‌تواند مهم‌ترین عامل در افزایش این عنصر به خاک باشد. با توجه به این‌که غلظت نیکل در مناطق شهری و کشاورزی کمتر از کاربری مرتع است، می‌توان گفت که احتمالاً نوع کاربری تأثیری بر غلظت این عنصر در خاک ندارد.

میانگین غلظت مس در مناطق با کاربری شهری نسبت به سایر کاربری‌ها بیش‌تر می‌باشد و مراتع نیز از این نظر بعد از کاربری شهری قرار دارند. توجه به نمودار همبستگی مس کل در خاک با مواد مادری و نقشه‌های کریجینگ بلوکی مس نیز نشان می‌دهد که علاوه‌بر مواد مادری، نوع کاربری می‌تواند از عوامل مهم در افزایش غلظت این عنصر به خاک باشد. نتایج بررسی آلودگی به عنصر نیکل و مس در منطقه نشان می‌دهد که به‌ترتیب حدود ٦٣ و ۱/۵ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیش از حداکثر غلظت مجاز کشور انگلستان را دارند. بنابراین لازم است اقدامات مدیریتی جهت جلوگیری از بروز حوادث مخرب زیستی انجام گیرد و باید مورد نظر محققان و برنامه‌ریزان در سطوح مختلف مدیریتی قرار گیرد.

منابع

1.Adriano, D.C., Wenzel, W.W., Vangronsveld, J., and Bolan, N.S. 2004. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. Geoderma, 122: 121-142.
2.Ajoyi, A., and Kamson, F. 1983. Determination of lead in roadside in Logos city by atomic absorption spectrophotometry. Environ. Int. 9: 397-400.
3.Blake, A.D., Jones, R.M., Blake, R.C., Pavalov, A.R., Darwish, I.A., and Yu, H. 2001. Antibody-based sensors for heavy metal ions. Biosensors and Bioelectronics, 16: 799-809.
4.Blaster, P., Zimmermann, S., Luster, J., and Shotyk, W. 2000. Critical examination of trace element enrichment and depletion in soil: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. Total Qual. Manage. 249: 257-280.
5.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.
6.Erfanmanesh, M., and Afyuni, M. 2002. Environmental pollution water, soil and air. Arkan Publication, 318p. (In Persian)
7.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.
8.Geological Survey of Iran. 1977. Geological quadrangle map of Iran. 1: 250000. Offset Press Inc. Tehran.
9.Giusquiani, P.L., Pagliai, M., Businelli, D., and Benetti, A. 1995. Urban waste compost effect on physical, chemical and biological soil properties. J. Environ. Qual. 24: 172-184.
10.Goanzalez, A., Taboada, M.T., and Vieira, S.R. 2001. Geostatistical analysis of heavy metals in a one hectare plot under natural vegetation in a serpentine area, Can. J. Soil Sci. 81: 469-479.
11.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.
12.Issak, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 561p.
13.Juang, K.W., and Lee, D.Y. 2000. Comparsion of three nonparametric kriging methods for delineating heavy metal contaminated soils. Environ. Qual. 29: 197-205.
14.Kabala, C., and Singh, B.R. 2001. Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of copper smelter. J. Environ. Qual. 30: 485-492.
15.Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA, 413p.

16.Li, X., Poon, C., and Liu, P.S. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. Appli. Geochem. 16: 1361-1368.
17.Marques, J.J., Schulze, D.G., Curia, N., and Mertzman, S.A. 2004. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrdo soils. Geoderma, 121: 31-43.
18.Martin, J.A., Arias, M.L., and Graucorb, J.M. 2006. Heavy metals contents in agricultural top soils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. Environ. Pollut. 144: 1001-1012.
19.Martín, J.A.R., Cueva, A.V., Corbi, J.M.G., and Arias, M.L. 2007. Factors Controlling the Spatial Variability of Copper in Topsoils of the Northeastern Region of the Iberian Peninsula, Spain. Water Air Soil Pollut. 186: 311-321.
20.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.
21.Mohammadi, J. 2007. Pedometrics (Spatial Statistics). Pelk Publication, 453p. (In Persian)
22.Movahedi Rad, Z. 2008. Geostatistical analysis of spatial variability of zinc, lead, cadmium and nickel in selected surface soils of the Qom province. M.Sc. Thesis. College of Agriculture. Isfahan University of Technology, 173p. (In Persian)
23.Rodriguez, J.A., Nanos, N.J., Grau, M., Gil, L., and Lopez-Arias, M. 2008. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. Chemosphere, 70: 1085-1096.
24.Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., and Teng, J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. Environ. Pollut. 156: 251-260.
25.Shirani, M. 2008. Spatial variability of Pb, Cd, Ni and Zn in some agricultural, industrial and urban soils in Mashhad-Chenaran highway. M.Sc. Thesis. College of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, 92p. (In Persian)
26.Singh, B.R., and Steinnes, E. 1994. Soil and water contamination by heavy metals, P 233-271. In: Lai, R., and Stewart, B.A. (eds), Soil processes and water quality. Lewis Publication, London.
27.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.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 17(2), 2010
www.gau.ac.ir/journals

Spatial variability of total Ni and Cu concentration in surface soils surrounding the Hamadan city using geostatistic technique

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

[1]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[3]Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Abstract

Due to accumulation of heavy metals in soil, their recognition, origin and distribution have attracted considerable interest. No information is currently available on the distribution pattern of heavy metals concentration in soils of Hamadan province. The purpose of this research was to determine the spatial variability of Ni and Cu in soils 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 in Hamadan. The location of each sampling site and its land use were recorded using a GPS. Also, parent rock samples were collected to study the effect of parent material on the concentration of these elements. The total Ni and Cu were measured by atomic absorption spectrophotometer. The spatial variability of these variables was examined by variogram models and kriging. Geostatistical analysis of data showed that spherical model is the best model for describing the spatial variability of these elements. The major factor controlling the high concentrations of Ni and Cu in the area appears to be parent materials. Parent material analysis indicated that the concentration of Ni (97.5 mg kg^{-1}) and Cu (75 mg kg^{-1}) in shales was much higher than that in any other parent rocks. Therefore, these elements can enter the soils by weathering of the parent rocks. Also, the Cu concentration in urban soils is higher than that in other land uses. Therefore, the content of Cu in the soils studied seems to be mainly controlled by soil parent material and land use. Distribution of measured metal concentrations showed that the levels often exceed the guidelines established by the England. Ni had the greatest number of sites in excess of the England target value by 63%. Likewise, the concentration of Cu exceeded the England, guidelines in 1.5% of the study sites.

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

---

* Corresponding Author; Email: ayouby@cc.iut.ac.ir