

بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاکهای استان همدان

الهه موسوی^{۱*}، علیرضا سفیانیان، نورا.. میرغفاری و لقمان خداکرمی

دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست دانشگاه صنعتی اصفهان؛ ela6280@yahoo.com

استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان؛ soffianian@cc.iut.ac.ir

استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان؛ mnorolah@cc.iut.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست دانشگاه صنعتی اصفهان؛ loghman.azad@gmail.com

چکیده

بررسی توزیع غلظت فلزات سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است. این تحقیق با هدف تهیه نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین مس، کروم، آرسنیک و آنتیموان در استان همدان به وسعت ۱۹۵۴۶ کیلومتر مربع انجام شد. بدین منظور با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی طبقه بندی شده ۲۸۶ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتری) جمع آوری گردید و غلظت کل این فلزات، خصوصیات خاک شامل pH، ماده آلی، در صد رس، سیلت و شن در آنها اندازه‌گیری شد. نقشه پهنه بندی غلظت فلزات آنتیموان، مس و کروم با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی و فلز آرسنیک با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل کروی، تهیه شد. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه بندی فلزات سنگین مورد مطالعه و نقشه های کاربری اراضی و زمین شناسی منطقه، نشان داد عناصر آرسنیک، آنتیموان، مس و کروم عمدتاً منشأ زمین شناسی دارند.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، توزیع مکانی، GIS، کریجینگ، همدان

مقدمه

می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا بوده و در غلظت‌های کم سمی باشند (عرفان منش و افیونی ۱۳۷۹). هرچند این عناصر به طور طبیعی دارای غلظت کمی در خاک موجود هستند اما پراکنش جغرافیایی آنها چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت های انسانی مشکلات و مسائلی را در بر خواهد داشت.

با وجود اهمیت فلزات سنگین، در بسیاری از استان های کشور اطلاعات کمی از نحوه توزیع این عناصر در خاک وجود دارد. به طور مثال، امینی و همکاران (۲۰۰۵) نقشه آلودگی کادمیوم و سرب را در خاک های منطقه اصفهان، خسروی و همکاران (۱۳۸۷) توزیع فلزات سنگین را در خاک منطقه شهری، صنعتی و

طی سالهای اخیر و در نتیجه اجرای بعضی برنامه های توسعه اقتصادی، صنعتی، کشاورزی و خدماتی در مناطق مختلف جهان، تعادل و توازن طبیعت در مواردی برهم خورده است که این امر عوارضی را در مقیاسهای محلی یا منطقه ای و حتی جهانی به همراه داشته است (تائبی و اسحاقی، ۱۳۸۰). آلودگی محیط زیست از جمله آلودگی خاک یکی از عوارض مهم به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت می باشد. مهمترین آلاینده های خاک شامل فلزات سنگین، بارش های اسیدی و مواد آلی می باشند که از این میان فلزات سنگین به واسطه غیر قابل تجزیه بودن، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان زایی مورد توجه می باشند (میکو و همکاران، ۲۰۰۶). فلزات سنگین به فلزاتی گفته

^۱ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط زیست، کد پستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

* دریافت: بهمن ۱۳۸۹ و پذیرش: دی ۱۳۹۰

مطالعه را در سطح کشور نشان می دهد. کوه الوند با ۳۵۷۴ متر ارتفاع از سطح دریا بلندترین و کناره رود قره چای کم ارتفاع ترین نقاط این استان می باشند (بی نام، ۲، ۱۳۸۶). تشکیلات زمین شناسی غالب در منطقه شامل تراسهای آبرفتی مربوط به دوره زمین شناسی کواترنری و همین طور تشکیلات آهک اوریتالین و شیل و مارل مربوط به اواخر دوره کرتاسه و ماسه سنگ دگرگون شده مربوط به دوره ژوراسیک و گدازه های آندزیتی و سنگ آهک ریفی مربوط به اوایل نئوژن و و اواخر پالئوژن می باشد (نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی) (شکل ۱). خاک های منطقه خاکهای کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار سبک تا متوسط همراه با تجمع مقداری مواد آهکی می باشد (بی نام، ۱، ۱۳۸۶). بافت خاک منطقه مورد مطالعه به طور عمده لومی رسی و لومی است. مجموع اراضی کشاورزی استان همدان در سال ۱۳۸۵ حدود یک میلیون هکتار برآورد شده که از این میان حدود ۷۰۰ هزار هکتار زیر کشت و بقیه به صورت آیش می باشد استان همدان یکی از قطب های مهم کشاورزی ایران می باشد که از جمله محصولات عمده آن می توان به گندم، جو، سیب زمینی و یونجه اشاره کرد (شکل ۱) (بی نام، ۱۳۸۸). بخش عمده معادن استان همدان را معادن غیر فلزی سنگهای گرانیت، آهکی و سیلیس تشکیل می دهند و از جمله مهمترین صنایع و معادن استان می توان به کارخانه های سیمان هگمتانه و اکباتان در محدوده شهرستان رزن و معدن آهنگران در بخش جنوب شرقی استان و در محدوده شهرستان ملایر اشاره کرد (بی نام، ۱، ۱۳۸۶).

نمونه برداری

در این تحقیق با توجه به اهداف مطالعه، وسعت و ویژگیهای منطقه، جلوگیری از افزایش هزینه ها و تهیه نمونه های کافی و مناسب که امکان تجزیه و تحلیل های آماری را فراهم کند از روش طبقه بندی شده - سیستماتیک برای نمونه برداری استفاده شد. بدین منظور با بررسی نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای و کاربری اراضی، بازدید از بخشهای مختلف منطقه مطالعه ابتدا منطقه مطالعه بر اساس شدت استفاده از سرزمین (خاک) به سه بخش استفاده کم شامل اراضی دیم و مراتع، بخش استفاده متوسط شامل محدوده شهر های استان و اراضی کشاورزی آبی و بخش استفاده شدید محدوده اطراف شهرهای همدان و بهار که دارای کشاورزی بسیار متراکم و واحدهای صنعتی هستند تقسیم گردید در مرحله بعد در هر بخش به ترتیب از شبکه های ۱۰×۱۰، ۵×۵ و ۲،۵×۲،۵ کیلومتر برای نمونه برداری استفاده گردید. در

کشاورزی شهر اصفهان، دلجانی و همکاران (۱۳۸۸) غنی شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاک های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی، بقائی و همکاران (۱۳۸۶) آلودگی حاصل از پراکنش سرب و نیکل را در اطراف دو کارخانه ذوب فلز در منطقه اصفهان بررسی کردند.

ناواس و ماچین (۲۰۰۲) نمونه برداری را با توجه به ۹ نوع خاک عمده در منطقه آراگون واقع در شمال شرقی اسپانیا انجام دادند و نقشه سازی این نقاط با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد، نوع خاک و لیتولوژی مهمترین عوامل موثر بر غلظت فلزات سنگین است. ژانگ (۲۰۰۶) از تکنیک های آماری چند متغیره و GIS برای طبقه بندی عناصر و شناسایی تأثیر عناصر بر فعالیت های انسان استفاده کرد. کاسکان و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از نتایج آنالیز ۷۳ نمونه خاک سطحی و تکنیک کریجینگ نقشه های توزیع مکانی فلزات سرب، نیکل، مس، کروم، کادمیوم، آرسنیک و روی را تهیه کردند. نتایج نشان داد که غلظت اغلب عناصر کمتر تحت تأثیر صنایع و دیگر فعالیت های انسانی انجام شده در منطقه بوده و به نظر می رسد توزیع های مشاهده شده به طور مهم با تغییرات لیتوژنیک در ارتباط باشد. شی و همکاران (۲۰۰۷) در منطقه چانسینگ چین به مساحت ۱۴۳۰ کیلومتر مربع از تکنیک کریجینگ لوگ نرمال و معمولی برای نقشه سازی توزیع مکانی فلزات سنگین استفاده کردند. لیو و همکاران (۲۰۰۶) هم تحقیق مشابهی را برای جلگه ای در استان جیانگ که از مناطق مهم کشاورزی چین است انجام دادند. محمدی (۱۳۸۱)، لی و همکاران (۲۰۰۶) و آلیون و همکاران (۲۰۰۸) هم مطالعات گسترده ای را در زمینه کاربرد زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین انجام داده اند.

هدف از این مطالعه تهیه نقشه توزیع مکانی غلظت کل فلزات سنگین مس، آنتیموان، کروم و آرسنیک در خاک سطحی استان همدان با استفاده از تکنیک GIS می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان همدان با مساحت ۱۹۵۴۷ کیلومتر مربع بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است و جزء استان های غربی کشور است که از شمال به استان های زنجان و قزوین، از شرق به استان مرکزی، از جنوب به استان لرستان و از غرب به استان های کرمانشاه و کردستان محدود است (کلوندی و همکاران، ۱۳۸۶). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد

آنالیز زمین آماری

به طور کلی کریجینگ نامی تعمیم یافته است که به کلیه روشهای آماری تخمین و برآورد متغیر ناحیه‌ای اطلاق می‌گردد. هدف اصلی کریجینگ، یافتن اوزان آماری مشاهدات و نمونه هاست به گونه ای که علاوه بر نأریب بودن تخمین، واریانس تخمین نیز حداقل گردد. به همین دلیل کریجینگ را در بعضی موارد بهترین تخمین گر خطی نأریب گویند (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰) و (محمدی، ۱۳۸۵). در این مطالعه میانبایی به روش کریجینگ با استفاده از نرم افزار Arc GIS 9.3 انجام شد و روش کریجینگ معمولی برای بررسی توزیع غلظت فلزات سنگین آرسنیک، آنتیموان، مس و کروم به کار گرفته شد. در این روش برای بیان تغییرات فضایی از واریوگرام استفاده می‌شود و خطای مقادیر پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده های پیش بینی شده کمینه می‌کنند. روش عمومی محاسبه کریجینگ بر اساس معادله ۱ می‌باشد که در این معادله Z_0 برابر با مقدار برآورد شده W_i برابر با وزن و Z_i برابر مقادیر نمونه است. وزنها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آنها برابر ۱ است (فرجی سبکبار و عزیز، ۱۳۸۵).

$$Z_0 = \sum W_i Z_i \quad \text{معادله (۱)}$$

توزیع مکانی فلزات سنگین

تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی با استفاده از نیم تغییر نما صورت می‌گیرد. تغییر نما تغییرات فاصله ای یا ساختار تغییر پذیری یک متغیر خاص را نشان می‌دهد و از ابزارهای اساسی زمین آمار جهت بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک می‌باشد. در واقع تغییر نما (واریوگرام) میانگین مربعات تفاضل دو مقدار را به عنوان تابعی از نمو فاصله بین آنها نشان می‌دهد. واریوگرام پایه ی بسیاری از محاسبات زمین آماری است. جهت اعتبار تغییر نماهای ترسیم شده از روش ارزیابی جک نایف استفاده شد. سپس با استفاده شاخص های میانگین خطای تخمین $(MEE)^2$ ، جذر میانگین مربعات خطای تخمین $(RMSE)^2$ و خطای قدر مطلق میانگین $(MAE)^2$ صحت الگوی برازش داده شده بررسی شد. میانگین خطای تخمین، جذر میانگین مربعات خطای تخمین و خطای قدر مطلق میانگین با نزدیک شدن به صفر نشان دهنده دقت

مجموع تعداد ۲۸۶ نمونه مرکب از خاک سطحی (عمق ۰-۲۰ سانتیمتر) جمع آوری شد (شکل ۲).

تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه های خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند و برای آنالیز آماده گردیدند. بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس)، به روش هیدرومتری و درصد مواد آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فرسولفات آمونیوم و دی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ، EC به وسیله EC متر و pH نمونه‌ها در گل اشباع خاک با استفاده از pH متر اندازه‌گیری شد (کلوت، ۱۹۸۶). عصاره گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک نیز با استفاده از HCl و HNO₃ صورت گرفت (کائو و همکاران، ۱۹۸۴). غلظت کل عناصر سنگین کروم، کبالت و نیکل با استفاده از دستگاه ICP-MS در آزمایشگاه شیمی موسسه تحقیقات پیشرفته فرآوری مواد معدنی ایران، اندازه گیری شد.

آنالیز آماری

پس از انجام تجزیه های آزمایشگاهی از آنجایی که مقادیر غیر عادی می‌تواند منجر به گسستگی داده ها و نقض ثوری زمین آمار شود، ابتدا داده هایی که خارج از دامنه $A \pm 3S$ (A میانگین و S انحراف معیار) بودند به عنوان مقادیر غیر عادی در نظر گرفته شد، و این داده ها با ماکزیمم یا مینیمم مقادیر داخل دامنه $A \pm 3S$ در مجموعه داده های خام اولیه جایگزین شدند (شی و همکاران، ۲۰۰۷). سپس توزیع فراوانی با شاخص های مد، میانه، میانگین، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. تجاوز جدی از حالت نرمال مانند چولگی و کشیدگی زیاد می‌تواند به ساختار واریوگرام و نتایج کریجینگ آسیب وارد کند. این وضعیت اغلب در متغیرهای زیست محیطی که لگاریتم نرمال یا چولگی مثبت دارند مشاهده می‌شود و تبدیل داده ها برای نرمال کردن مجموعه داده ها ضروری می‌باشد. کشیدگی در مجموعه داده ها می‌تواند رفتار نا منظم در واریوگرام ایجاد کند، در صورتی که تبدیل داده ها می‌تواند اختلاف بین مقادیر انتهایی را کم کند. بدین طریق داده‌هایی که توزیع نرمال ندارند به منظور نرمال کردن چولگی مثبت مجموعه داده‌ها در این مطالعه به صورت لگاریتمی تبدیل شدند (شی و همکاران، ۲۰۰۷). برای بررسی توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده گردید. همچنین از نمودار های Q-Q Plots برای مصور کردن چگونگی توزیع داده های خام و تغییر شکل یافته استفاده شد.

1. Semivariogram

2. Mean Error Estimate

3. Root Mean Square Error Estimate

4. Mean Absolute Error Estimate

آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع غلظت مس است. شکل ۴ نمودار لگاریتم داده‌ها را نشان می‌دهد.

توزیع مکانی فلزات سنگین

مطالعه واریوگرام‌ها (شکل ۵) نشان می‌دهد تمامی متغیرها از تغییرنمای سقف دار تبعیت کرده و به طور ایده آل با مدل کروی و نمایی سازگاری دارند. پارامترهای مدل های برازش داده شده در جدول ۲ ارائه شده است. نسبت همبستگی هر چهار عنصر در طبقه متوسط می‌باشد. کروم وابستگی مکانی بالاتری نسبت به سایر متغیرها داشته و در مرتبه بعدی آنتیموان، آرسنیک و مس قرار دارند. با اینکه وسعت منطقه مطالعاتی زیاد است نمونه‌های برداشت شده نماینده‌های مناسبی برای کل منطقه مطالعاتی هستند و نسبت همبستگی متوسط (پایین بودن اثر قطعه ای نسبت به آستانه) موید این مطلب می‌باشد.

شکل ۶ نقشه پراکنش مکانی آرسنیک حاصل از روش کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت‌های آرسنیک، (۲۵-۱۵ و ۴۱/۵-۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به صورت نواری، از شمال غربی استان به جنوب شرقی واقع شده است. ساختار زمین شناسی این مناطق سنگ‌های آذرین و دگرگونی، سنگ‌های آهکی و شیل و مارل است. کاربری زمین در این مناطق مرتع و زمین‌های کشاورزی دیم است لذا مصرف کودهای شیمیایی در این مناطق پایین می‌باشد. همچنین الگوی توزیع غلظت آرسنیک با الگوی کشت منطقه مطابقت ندارد و احتمال آن می‌رود که ورود آرسنیک به خاک منطقه مورد مطالعه ناشی از ساختار زمین شناسی باشد. اما به دلیل استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی امکان افزایش غلظت آرسنیک در مناطق کشاورزی دور از انتظار نیست.

نقشه پراکنش مکانی آنتیموان حاصل از روش کریجینگ معمولی در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل بالاترین مقدار غلظت آنتیموان در خاک منطقه مورد مطالعه بین ۹/۸-۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به صورت یک لکه کوچک در غرب استان و در محدوده شهرستان اسدآباد و بر روی سنگ بستر شیل و مارل، آذرین و دگرگونی واقع شده است. کاربری عمده این منطقه مرتع، زمین‌های کشاورزی و آیش می‌باشد. همچنین در نوار غربی استان، بخش‌هایی در جنوب و جنوب شرقی استان غلظت آنتیموان در محدوده ۵-۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد ساختار زمین شناسی عمده این مناطق سنگ‌های آذرین، سنگ‌های آهکی، شیل و مارل است. کاربری عمده این مناطق هم مراتع و کشاورزی می‌باشد و از آنجا که الگوی توزیع غلظت آنتیموان با

بالای تخمین می‌باشد. جهت انجام میان‌یابی، مدل‌های مختلف تغییر نما و روش‌های مختلف زمین‌آمار به کار گرفته شد و بهترین مدل تغییر نما و مناسب‌ترین روش درون‌یابی، که کمترین خطای تخمین و خطای قدر مطلق میانگین را ایجاد نماید، انتخاب و میان‌یابی نهایی با استفاده از آنها صورت گرفت. همچنین برای بیان استحکام ساختار فضایی یک متغیر از نسبت C_0 به Sill استفاده شد که در آن C_0 اثر قطعه ای و Sill مقدار آستانه است. این نسبت معرف آن است که اثر قطعه ای (بخش بدون ساختار) چه مقدار از کل تغییر پذیری را توجیه می‌کند (حسنی پاک، ۱۳۷۷) و (مهدی زاده و همکاران، ۱۳۸۵). این نسبت، نسبت همبستگی نامیده می‌شود و نسبت‌های ۰/۲۵ و ۰/۷۵ دو آستانه برای بیان شدت نسبی وابستگی مکانی می‌باشند. متغیری با نسبت کمتر از ۰/۲۵ نشان‌دهنده وابستگی مکانی شدید می‌باشد. متغیری با نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ وابستگی مکانی متوسط و متغیری با نسبت بزرگتر از ۰/۷۵ وابستگی مکانی ضعیفی دارد (شی و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی در جدول ۱ خلاصه شده است.

ضریب تغییرات مواد آلی و هدایت الکتریکی در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیانگر وجود تغییرات زیاد غلظت این متغیر در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد، اما برای فلزات سنگین و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ضریب تغییرات کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد، که بیانگر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد این متغیرها است. در بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی pH دارای کمترین ضریب تغییرات می‌باشد. همچنین شاخص چولگی داده‌ها نشان می‌دهد که هیستوگرام pH دارای چولگی منفی یا چولگی به سمت چپ و بقیه خصوصیات دارای چولگی به سمت راست می‌باشند.

شکل ۳ نمودار Q-Q Plot آنتیموان، آرسنیک، مس و کروم را نشان می‌دهد با توجه به نمودار، توزیع داده‌های آنتیموان، آرسنیک و کروم منطبق بر خط توزیع نرمال نمی‌باشد. به ترتیب چولگی ۳/۲، ۱/۶۲ و ۰/۲۵ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف موید این نتایج می‌باشد. لذا برای نرمال کردن این داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد.

نمودار Q-Q Plot داده‌های مس (شکل ۳) توزیع نرمال داده‌های مس را نشان می‌دهد. چولگی ۰/۲ و

منطقه مورد مطالعه غلظت آرسنیک و کروم به ترتیب بیش از ۱۰ و ۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آلوده می‌باشد.

نتایج مطالعات آنکارو و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که غلظت‌های بالای آرسنیک در خاک‌ها به طور مهم به ساختار زمین‌شناسی و توزیع مکانی آن با طبیعت و سن مواد مادری خاک مرتبط است. ایناشیو و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی توزیع زمین‌شیمیایی عناصر در پرتغال گزارش کردند، مقادیر بالای آرسنیک می‌تواند با فرآیند‌های معدنی شدن با تماس بین گرانیت‌ها و رسوبات میانی مرتبط باشد. آنان به طور کلی الگوهای زمین‌شیمیایی مشاهده شده را عمدتاً تحت کنترل لیتولوژی، نوع خاک و فرایندهای معدنی شدن عنوان می‌کنند.

اوهتا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند نقشه ژئوشیمیایی آنتیموان و مس تحت تأثیر یک فاکتور اضافی علاوه بر ژئولوژی سطحی و رسوبات معدنی می‌باشد و غنای این فلزات در اطراف شهرهای واقع در منطقه مورد مطالعه را در اثر فعالیت‌های انسانی عنوان کردند. میکو و همکاران (۲۰۰۶) برای شناسایی منبع رایج فلزات سنگین از آنالیزهای چند متغیره استفاده کردند. آنان گزارش کردند که غلظت عناصری همچون مس علاوه بر مواد مادری خاک با فعالیت‌های انسانی مرتبط می‌باشند. شی و همکاران (۲۰۰۷) عنوان کردند که مس وابستگی مکانی شدیدی به عوامل طبیعی شامل مواد مادری، توپوگرافی و تیپ خاک دارد در حالیکه کروم و آرسنیک علاوه بر مواد مادری خاک وابستگی مکانی متوسطی با عوامل انسانی هم داشتند. فاکچینلی و همکاران (۲۰۰۱)، دلش و همکاران (۲۰۰۶) عامل افزایش غلظت کروم را مواد مادری خاک گزارش کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

مهمترین یافته‌های حاصل از انطباق چشمی نقشه‌های توزیع مکانی فلزات سنگین و نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه به طور خلاصه نشان می‌دهد که عامل اصلی بالا بودن غلظت فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی مواد مادری خاک است. اما به دلیل حضور عناصر آرسنیک، مس و کروم در کودهای شیمیایی و آفت‌کشها و استفاده بی‌رویه از آنها در بخش کشاورزی، امکان افزایش غلظت عناصر آرسنیک، مس و کروم در اراضی کشاورزی دور از انتظار نیست. با توجه به خطرات جذب فلزات سنگین خصوصاً در اراضی کشاورزی موجود در منطقه توصیه می‌شود با مدیریت استفاده از کودها و آفت‌کشهای شیمیایی از پراکنش بیشتر عناصر سنگین جلوگیری به عمل آمده و از کاشت گیاهانی که پتانسیل جذب فلزات سنگین را دارند، در مناطق آلوده خودداری گردد.

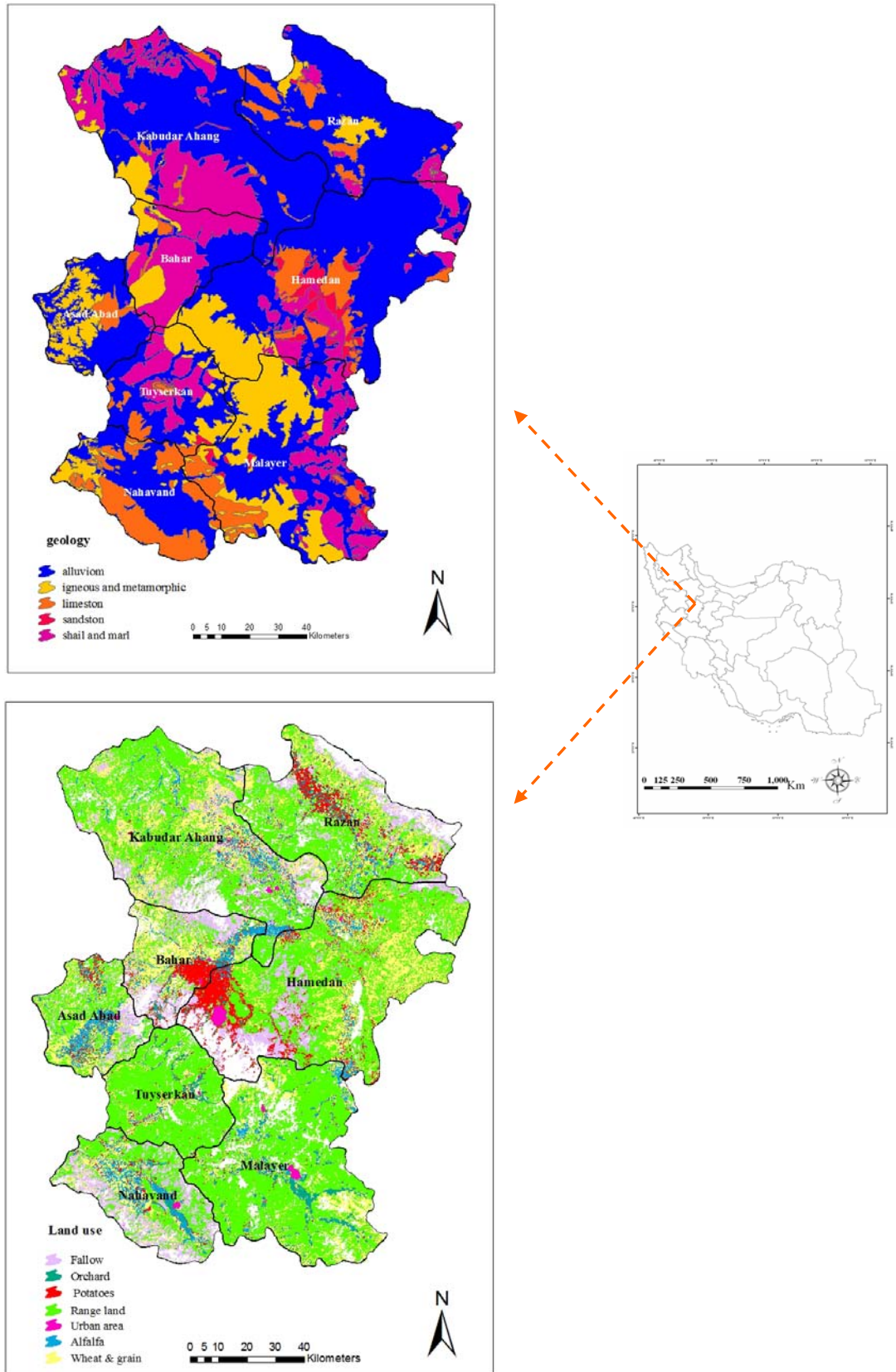
الگوی کشت منطقه مطابقت ندارد می‌توان ساختار زمین‌شناسی را عامل اصلی افزایش این عنصر در منطقه مورد مطالعه عنوان کرد.

بیشترین غلظت (۴۵-۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مس در منطقه مورد مطالعه در غرب و جنوب شرقی استان واقع شده (شکل ۶). ساختار زمین‌شناسی در این مناطق، شیل و مارل، آذرین و دگرگونی و کاربری‌های عمده مراتع و زمین‌های کشاورزی می‌باشد. الگوی توزیع مس به طور کامل با الگوی کشت منطقه و مصرف کودهای شیمیایی مطابقت ندارد، بنابراین می‌توان زمین‌شناسی را عامل موثر بر افزایش غلظت مس دانست. از آنجایی که فعالیت‌های کشاورزی با کاربرد کود‌های غیرآلی باعث افزایش مس در خاک می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸)، افزایش روز افزون مس در خاک‌های منطقه انتظار می‌رود. علاوه بر این فعالیت‌های معدنی یکی دیگر از عوامل افزایش غلظت مس در خاک می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). در منطقه مورد مطالعه معدن سنگ آهن سرمک وجود دارد که احتمالاً در افزایش غلظت مس در منطقه بی‌تأثیر نیست.

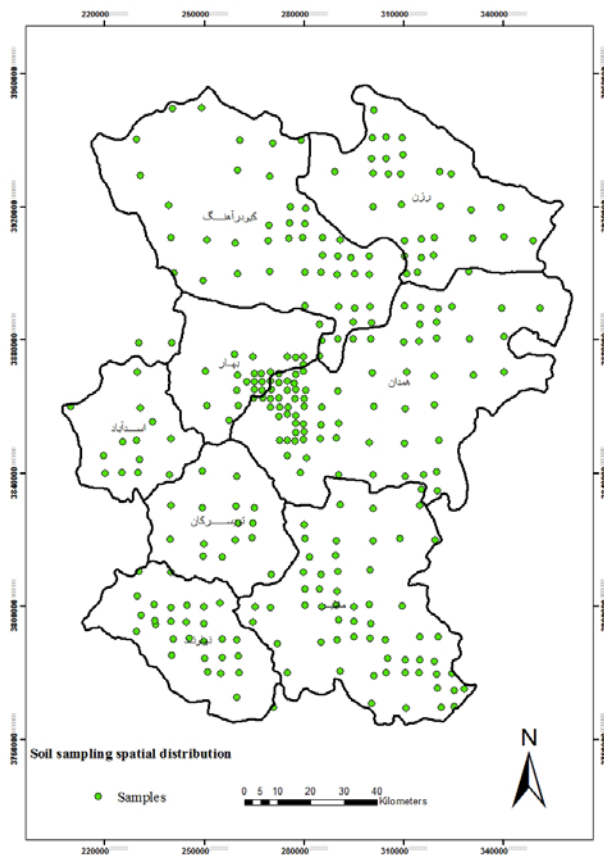
همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده حداکثر غلظت کروم ۱۲۰ تا ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به صورت لکه‌هایی در غرب، جنوب غربی و جنوب شرقی استان دیده می‌شود. ساختار زمین‌شناسی این مناطق سنگ‌های آذرین و دگرگونی، آهکی و شیل و مارل است و از آنجایی که الگوی توزیع کروم با الگوی کشاورزی منطقه انطباق ندارد، می‌توان مواد مادری خاک را عامل اصلی افزایش غلظت کروم دانست. با این حال به دلیل وجود کروم در ترکیب کودهای شیمیایی، استفاده از این ترکیبات باید به صورت کنترل شده باشد.

جهت تعیین میزان آلاینده‌گی خاک به عناصر سنگین در یک منطقه بایستی میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در کشور ما به دلیل عدم وجود استاندارد خاص برای درجه آلودگی خاک از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی (جدول ۳) استفاده می‌شود.

با توجه به نقشه غلظت فلزات سنگین و جدول رنج غلظت فلزات سنگین در خاکهای غیر آلوده در مقیاس جهانی می‌توان گفت تمامی منطقه مورد مطالعه غلظت مس و آنتیموان به ترتیب بیش از ۲۵ و ۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آلوده می‌باشد. همچنین بخش‌های وسیعی از



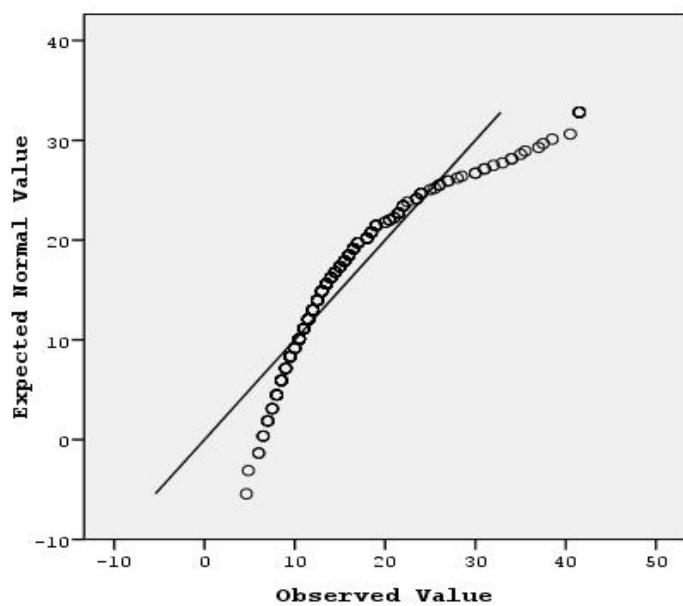
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه نقشه زمین شناسی و کاربری اراضی استان همدان



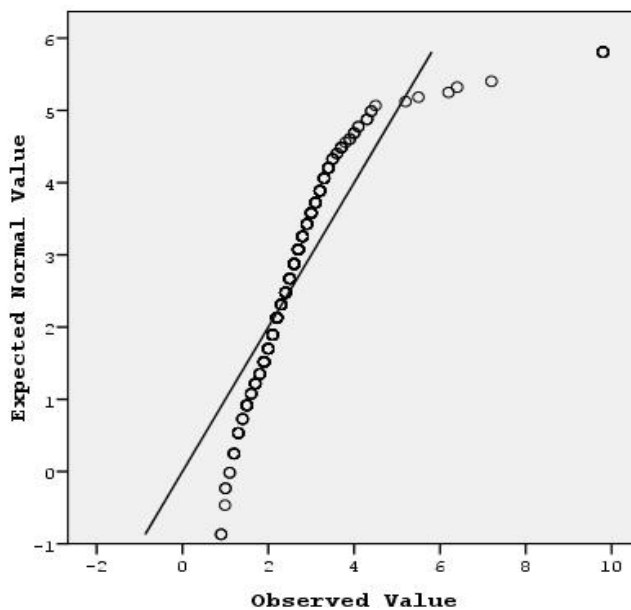
شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه برداری

جدول ۱- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

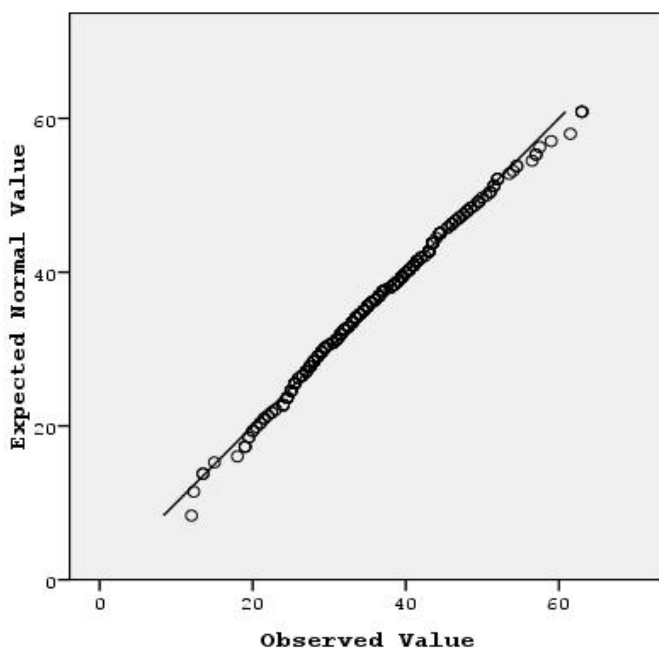
فاکتور خاک	حداکثر	حداقل	دامنه	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میان	میانگین	چولگی	کشی‌دگی
آرسنیک (mg/kg)	۴۱/۵	۴/۶۵	۳۶/۸۵	۰/۴۷	۷/۳۴	۱۳/۵	۱۵/۴۸	۱/۶۲	۲/۸۱
آنتیموان (mg/kg)	۹/۸	۰/۹	۸/۹	۰/۴۹	۱/۳۴	۲/۵	۲/۷۱	۳/۲۸	۱۴/۵۱
مس (mg/kg)	۶۳	۱۲	۵۱	۰/۲۷	۹/۷۵	۳۵/۵	۳۶/۱۶	۰/۲	-۰/۰۶
کروم (mg/kg)	۱۶۰	۳۰	۱۳۰	۰/۲۶	۲۵/۹۸	۹۴	۹۶/۶۷	۰/۲۵	۰/۰۲۷
pH	۸/۳۷	۶/۷۰	۱/۶۷	۰/۰۳	۰/۲۴	۷/۷۶	۷/۷۳	-۰/۳۳	۰/۵۵
مواد آلی (%)	۴/۳۴	۰/۰۳	۴/۳۱	۰/۷۹	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۷۷	۱/۷۴	۴/۹۶
هدایت الکتریکی (dS/m)	۳۸/۸۰	۰/۳۱	۳۸/۴۹	۱/۴۷	۲/۵۰	۱/۲۵	۱/۶۹	۱۱/۸۲	۱۷۰/۴۵
رس (%)	۵۴/۱۵	۷/۶۸	۴۶/۴۷	۰/۳۴	۹/۱۵	۲۶/۵۳	۲۶/۷۱	۰/۳۶	-۰/۲۲
شن (%)	۷۷/۴۲	۰/۲۷	۷۷/۱۵	۰/۵۴	۱۶/۱۴	۲۹/۹۴	۲۹/۵۳	۰/۲۸	-۰/۵
سیلت (%)	۷۴/۱۵	۲/۹۹	۷۱/۱۶	۰/۲۷	۱۱/۱۹	۴۴/۰۹	۴۳/۷۴	-۰/۳۴	۰/۲۸



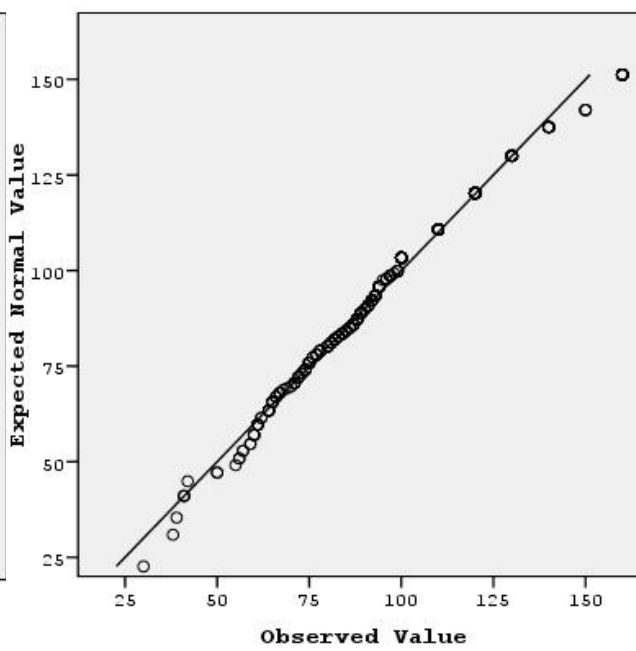
As



Sb

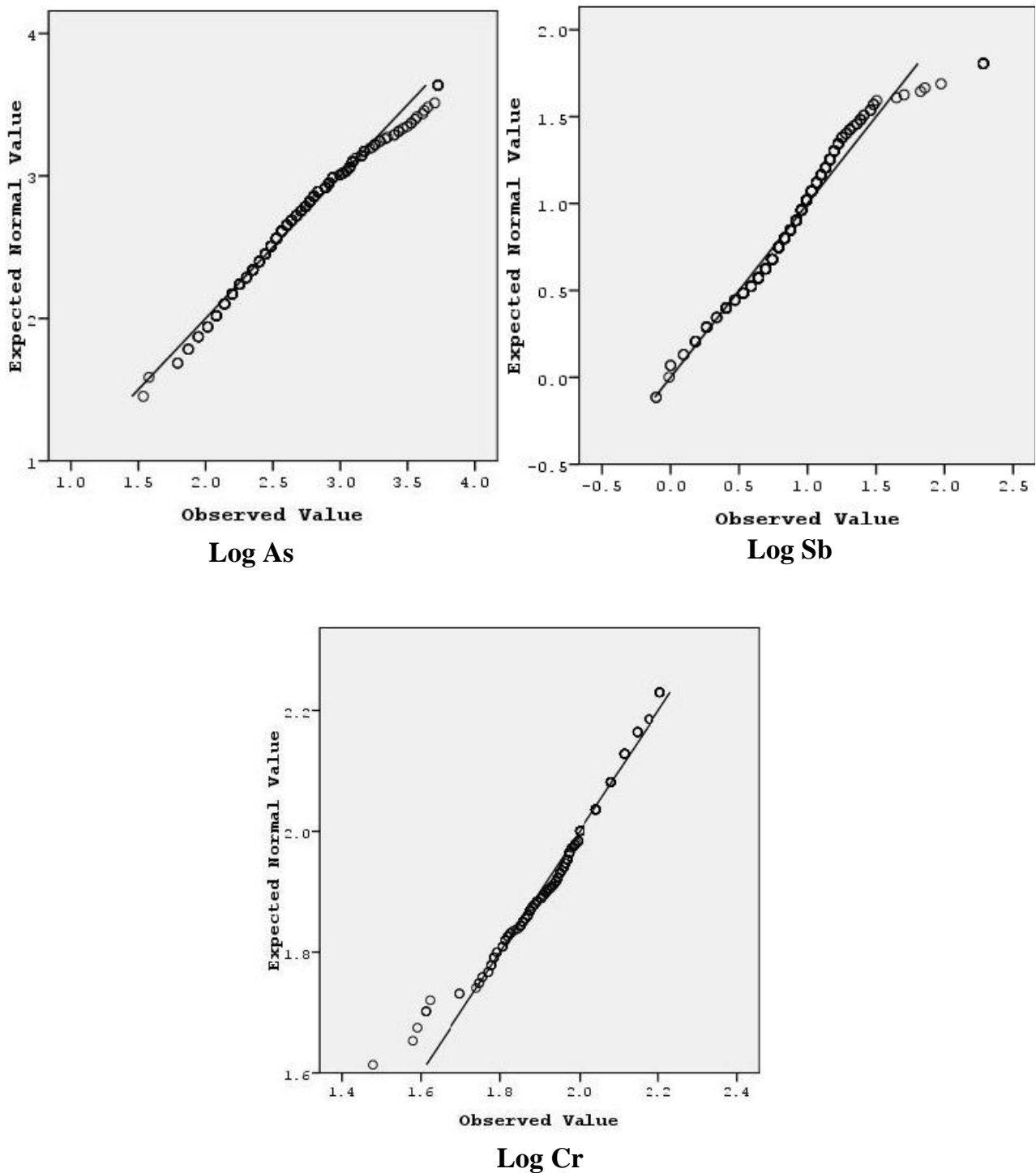


Cu



Cr

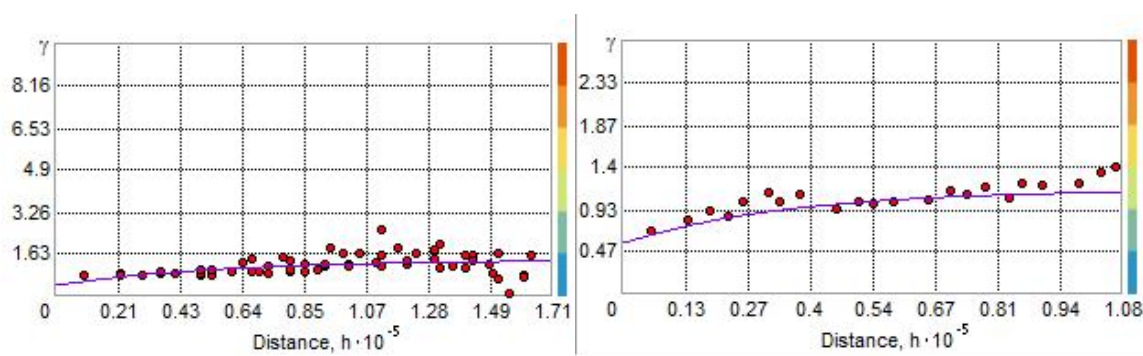
شکل ۳- نمودار Q-Q Plot آنتیموان، آرسنیک، مس و کروم



شکل ۴- نمودار Q-Q Plot لگاریتم داده های آنتیموان، آرسنیک و کروم

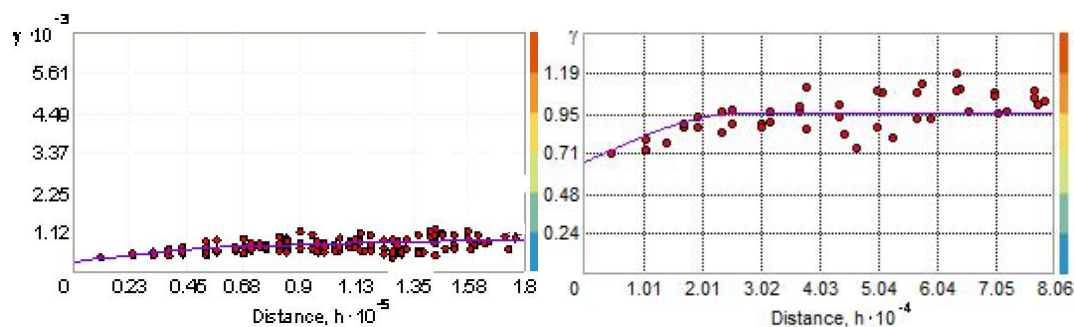
جدول ۲- پارامترهای واریوگرام عناصر آرسنیک، مس، کروم و آنتیموان

$C_0/C+C_0$	MAE	RMS E	MEE	Sill (C+ C ₀) (mg/kg)	Major range (km)	Nugget (C ₀) (mg/kg)	Model	عنصر
.42	5.04	6.97	-0.05	0.14	15	0.06	Spherical	As
0.49	7.27	9.07	0.01	118.07	178	58.07	Exponential	Cu
0.27	16.32	20.63	-0.23	0.11	178	0.03	Exponential	Cr
0.39	0.72	1.25	-0.05	0.18	178	0.07	Exponential	Sb



(Sb)

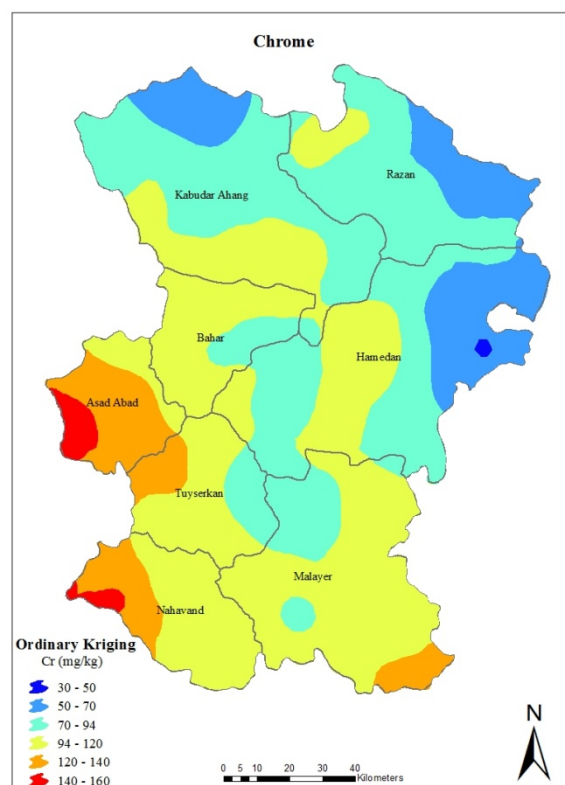
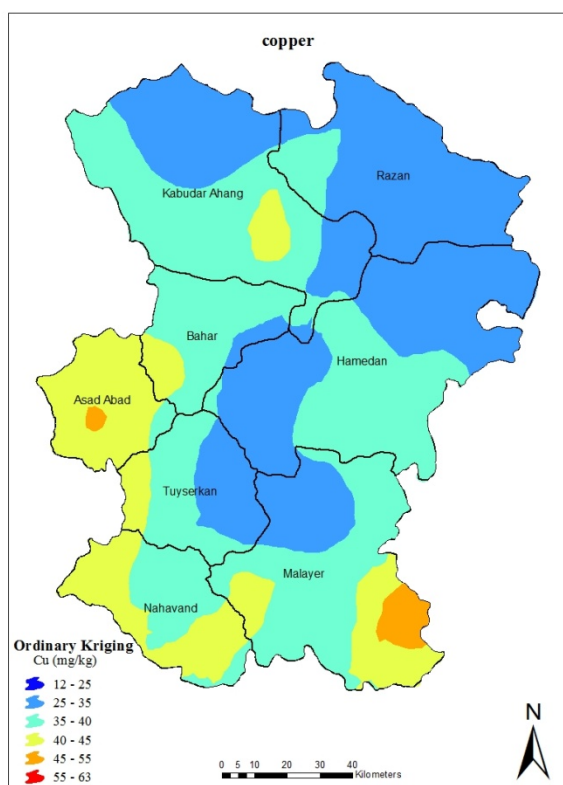
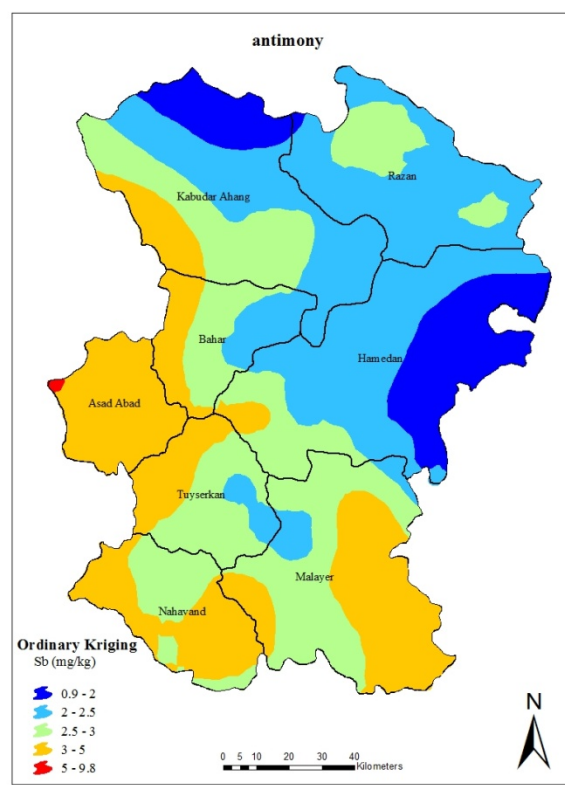
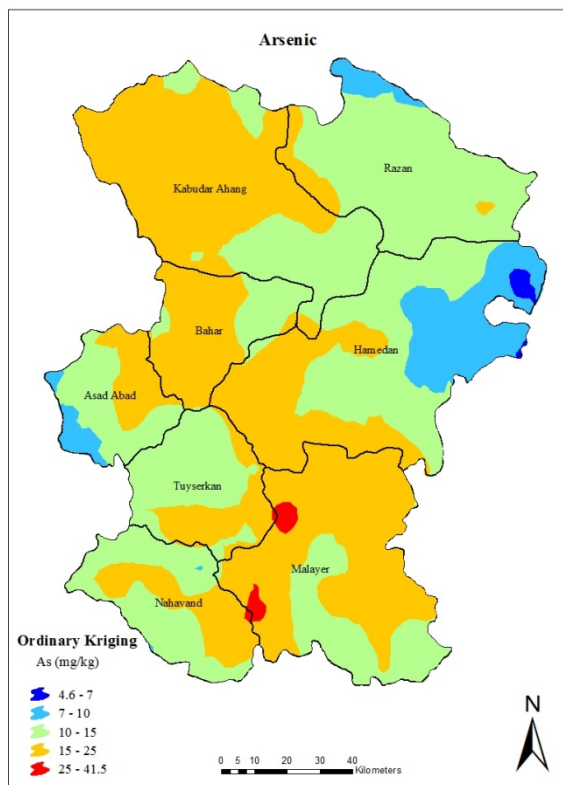
(As)



(Cr)

(Cu)

شکل ۵- واریوگرام فلزات سنگین مورد مطالعه (mg/kg), h(m)



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین آرسنیک، آنتیموان، مس و کبالت

جدول ۳- دامنه غلظت محاسبه شده برخی از فلزات سنگین در خاک غیرآلوده در مقیاس جهانی (mg/kg) [مانتا و همکاران ۲۰۰۲]

عنصر	میانگین رنج غلظت
مس	۱۳-۲۴
کروم	۱۲-۸۳
آرسنیک	۱۰
آنتیموان	۰/۳-۰/۹

فهرست منابع:

۱. بقائی، ا.، ح. خادمی، و ج. محمدی. ۱۳۸۶. "تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره: ۱۴(۲).
۲. بی نام. ۱۳۸۶. مطالعات مکانیابی محل های دفع و دفن پسماندهای ویژه در استان همدان، گزارشات هواشناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، زمین شناسی، خاکشناسی، تکتونیک- لرزه خیزی، تلفیق و GIS. سازمان حفاظت محیط زیست دفتر بررسی آلودگی آب و خاک. معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی.
۳. بی نام. ۲. ۱۳۸۶. مطالعات مکانیابی محل های دفع و دفن پسماندهای ویژه در استان همدان، جلد پنجم مطالعات زمین شناسی و تکتونیک. معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی.
۴. بی نام. ۱۳۸۸. طرح اطلس آلاینده های خاک استان همدان، بخش مطالعات پایه. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵. تائبی، ا.، و ر. اسحاقی. ۱۳۸۰. "نگرشی بر وضعیت محیط زیست و استقرار صنایع در محدوده اصفهان بزرگ". مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۶. حسنی پاک، ع. ا.، و م. شرف الدین. ۱۳۸۰. تحلیل داده های اکتشافی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. ۹۸۷ صفحه.
۷. حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. ۳۱۴ صفحه.
۸. خسروی دهکردی، ا.، ع. سفیانیان، و م. افیونی. ۱۳۸۷. "مدلسازی توزیع مکانی کل سرب و کل کادمیوم در خاک سطحی شهر اصفهان بروش کریجینگ ناپیوسته". همایش ژئوماتیک.
۹. دلجانی، ف.، غ. ع. کاظمی، م. پروین نیا، و م. خاکشور. ۱۳۸۸. "غنی شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاکهای منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه)". هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز.
۱۰. عرفان منش، م.، و م. افیونی. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست: آب، خاک و هوا. نشر ارکان اصفهان. چاپ اول.
۱۱. فرجی سبکبار، ح.، و ق. عزیزی. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان دقت روش های درونابی فضایی مطالعه موردی الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد. پژوهش های جغرافیایی. ۵۸: ۱۵-۱.
۱۲. کلوندی، ر.، ک. صفی خانی، ق. نجفی، و پ. باباخانلو. ۱۳۸۶. "شناسایی گیاهان دارویی استان همدان". فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۲۳ شماره ۳: ۳۷۴-۳۵۰.
۱۳. محمدی، ج. ۱۳۸۱. "پهنه بندی و ارزیابی آلودگی خاک با استفاده از نظریه مجموعه های فازی". گزارش سومین همایش مجموعه های فازی و کاربردهای آن. ۱۳۹-۱۳۳.

۱۴. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری جلد دوم: آمار مکانی. انتشارات پلک. چاپ اول. ۴۵۳ صفحه.
۱۵. مهدی زاده، م.، ح. مهدیان، و س. حجام. ۱۳۸۵. "کارایی روش های زمین آماری در پهنه بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه". مجله فیزیک زمین و فضا. جلد ۳۲. شماره ۱: ۱۱۶-۱۰۳.
16. Aelion, C.M., H.T. Davis, S. McDermott, A.B. Lawson. 2008. "Metal concentrations in rural topsoil in South Carolina: Potential for human health impact". *Science of total environment*. Vol. 402:149-156.
17. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K.C. Abbaspour, & R. Schulin. 2005. "Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran". *Science of the Total Environment*. Vol. 347: 64– 77.
18. Cao, H. F., A. C. Chang and A. L. Page. 1984. Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. *J. Environ. Qual.* 13:632–634.
19. Coskun, M., E. Steignes, M.V. Frontasyeva, T.E. Sjobakk, & S. Demkina. 2006. "Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace region, Turkey". *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 119: 545–556.
20. Dklsch, E., H.S. Macary, & V.V. Kerchove. 2006. "Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Re'union)". *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 88:194– 197.
21. Facchinelli, A., E. Sacchi, & L. mallen. 2001. "Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils". *Environmental pollution*. Vol. 114: 313-324.
22. Inácio, M., V. Pereira, & M. Pinto. 2008. "The Soil Geochemical Atlas of Portugal: Overview and applications". *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 98:22–33.
23. Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis, part I, physical and mineralogical methods*. Second edition. Soil Science Society of America INC. Wisconsin. USA.
24. Lee, C.S., X. Li, W. Shi, S.C. Cheung, & I. Thornton. 2006. "Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics". *Science of the Total Environment*. Vol. 356:45– 61.
25. Liu, X., J. Wu, & J. Xu. 2006. "Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS". *Environmental Pollution*. Vol. 141:257-264.
26. Manta, D.S., M. Angelone, A. Bellanca, R. Neri, & M. Sprovieri. 2002. "Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy". *The Science of the Total Environment*. Vol. 300:229–243.
27. Mico', C., L. Recatala', M. Peris, J. Sa'nchez. 2006. "Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis". *Chemosphere*. Vol. 65:863–872.
28. Navas, A. & J. Machi'n. 2002. "Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Arago'n (northeast Spain): controlling factors and environmental implications". *Applied Geochemistry*. Vol. 17:961–973.
29. Ohta, A., N. Imai, S. Terashima, & Y. Tachibana. 2005. "Application of multi-element statistical analysis for regional geochemical mapping in Central Japan". *Applied Geochemistry*. Vol. 20:1017–1037.
30. Shi, J., H. Wang, J. Xu, J. Wu, X. Liu, H. Zhu, & C. Yu. 2007. "Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China". *Environ Geol*. Vol. 52:1–10.

31. Ungaro, F., F. Ragazzi, R. Cappellin, & P. Giandon. 2008. "Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): Mapping the probability of exceeding contamination thresholds". *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 96:117–131.
32. Weaver, R.W., J.S. Angle, and P.S. Bottomley. *Methods of soil analysis, microbiological and biochemical properties, part II*. Soil Science of America INC. Wisconsin. USA.
33. Zhang, C. 2006. "Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland". *Environmental Pollution*. Vol. 142:501-511.
34. Zhang, X., F. Lin, Y. Jiang, K. Wang, & M.T.F. Wong. 2008. "Assessing soil Cu content and anthropogenic influences using decision tree analysis". *Environmental Pollution*. Vol. 156:1260–1267