



## ارتباط مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات روی، مس و سرب در خاک‌های سطحی اطراف اصفهان

زهرا دنکوب<sup>9</sup>، شمس‌اله ایوبی<sup>2</sup> و حسین خادمی<sup>3</sup>

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، <sup>2</sup> دانشیار گروه خاک‌شناسی،

دانشگاه صنعتی اصفهان، <sup>3</sup> استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: 89/12/11؛ تاریخ پذیرش: 91/11/25

### چکیده

در سال‌های اخیر توسعه شهرها و افزایش فعالیت‌های صنعتی سبب تجمع فلزات سنگین در خاک شده است. آلودگی خاک باعث کاهش کیفیت محیط زیست شده و سلامتی موجودات زنده را به خطر می‌اندازد. از این رو بررسی و مطالعه آلودگی خاک‌ها اجتناب‌ناپذیر است. در بررسی آلودگی خاک‌ها، به‌طور عموم از روش‌های شیمیایی استفاده می‌شود که روشی دشوار و وقت‌گیر می‌باشد. ولی به تازگی، از اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی استفاده می‌شود که روشی سریع و غیرمخرب است. در این راستا، هدف این پژوهش بررسی ارتباط مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت برخی فلزات سنگین و اثر کاربری اراضی بر آن‌ها در خاک‌های سطحی بخشی از اراضی اطراف اصفهان بود. به این منظور، تعداد 158 نمونه مرکب خاک سطحی از عمق 5-1 سانتی‌متری از منطقه مطالعاتی به وسعت 711 کیلومتر مربع برداشته، و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی، در فرکانس پایین 1/46 کیلوهرتز اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت فلزات سرب، روی و مس در نمونه‌های خاک پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. سپس نقشه پراکنش مکانی پارامترهای مورد مطالعه با روش کریجینگ ترسیم شد. نتایج همبستگی معنی‌داری ( $P < 1/11$ ) را بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات مس، روی و سرب نشان داد. مقایسه میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق صنعتی بیش‌تر از سایر مناطق است. کاربری شهری نیز اختلاف معنی‌داری با کاربری کشاورزی

\* مسئول مکاتبه: [ayoubi@cc.iut.ac.ir](mailto:ayoubi@cc.iut.ac.ir)

نشان داد. روند افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه نشان داد که عوامل انسانی، مهم‌ترین فاکتور افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری صنعتی و شهری می‌باشد. بررسی نقشه‌های پراکنش مکانی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی الگوی مشابهی را در خاک‌های منطقه مطالعاتی نشان دادند. بیش‌ترین غلظت فلزات سنگین در کاربری شهری و صنعتی مشاهده شد که می‌تواند به دلیل آلودگی‌های به‌دست آمده از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی در منطقه مطالعاتی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی خاک، تغییرات مکانی، پذیرفتاری مغناطیسی، فعالیت‌های انسانی، فلزات سنگین

### مقدمه

پذیرفتاری مغناطیسی<sup>1</sup> درجه‌ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی شناخته شده و معینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقدار این تأثیر، تابع غلظت و نوع کانی‌های مغناطیسی می‌باشد که در نمونه وجود دارد. ممان‌های مغناطیسی کل در واحد حجم به‌عنوان فاکتور مغناطیسی شدن (M) شناخته می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی حجمی عبارت است از نسبت M به شدت میدان مغناطیسی (H) مورد استفاده و در واحد حجم که به‌صورت رابطه 1 نمایش داده می‌شود (نایفه و براسل، 1985)، که در آن، فاکتور K: پذیرفتاری مغناطیسی حجمی می‌باشد. پذیرفتاری مغناطیسی جرمی که به‌صورت  $\chi_{s\text{ smn}}$  نشان داده می‌شود با استفاده از رابطه 2 محاسبه می‌گردد (نایفه و براسل، 1985). که در آن،  $\chi$ : پذیرفتاری مغناطیسی جرمی بر حسب مترمکعب بر کیلوگرم، K: پذیرفتاری مغناطیسی حجمی (بدون واحـد) و  $\rho$ : دانسیته مواد مورد آنالیز بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است.

$$\kappa = M/H \quad (1)$$

$$(2)$$

$$\chi_{\text{mass}} = K/\rho$$

کانی‌هایی که در خاک وجود دارند دارای دو منشأ طبیعی (لیتوژنیک و پدوژنیک) و آنتروپوژنیک هستند (مجی‌پرا و همکاران، 2116). تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در خاک می‌تواند به‌علت تفاوت

در زمین‌شناسی، فرآیندهای تشکیل خاک و همچنین تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی<sup>۱</sup> بوده (دیرینگ و همکاران، ۱۹۹۶) و افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌تواند به دلیل ورود مواد مغناطیسی از منابع انسانی مانند گرد و غبارهای صنعتی و شهری باشد (لو و همکاران، ۲۰۱۱). فعالیت‌های صنعتی مانند صنایع متالورژی و احتراق سوخت‌های فسیلی، خاکسترهای معلق در هوا<sup>۲</sup> را تولید می‌کنند که شامل مقدار زیادی از کانی‌های مغناطیسی بوده و سبب افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک در نواحی نزدیک به مناطق شهری و صنعتی می‌شوند (تامسون و اولدفیلد، ۱۹۸۶).

مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی ( $\chi$ ) نسبتی برای نشان دادن غلظت کانی‌های فری‌مگنتیک در خاک است و تابعی از اندازه ذرات و کانی‌شناسی ذرات مغناطیسی می‌باشد (مورنو و همکاران، ۲۰۱۱). پژوهش‌گران متعددی افزایش پذیرفتاری مغناطیسی را به شکل‌های مختلفی تفسیر کردند. مولینز (۱۹۷۷) افزایش مغناطیس سطح خاک را تحت اثرات طبیعی بیان کرد. تامسون و اولدفیلد (۱۹۸۶) به ارتباط بین افزایش پذیرفتاری مغناطیسی و ترکیب سوخت‌های فسیلی اشاره کردند.

مجبی‌پرا و همکاران (۲۰۱۱) مطالعه‌ای را در سه کشور لهستان، چک و آلمان انجام دادند و اثرات عوامل لیتوژنیک و آنتروپوژنیک را روی پذیرفتاری مغناطیسی سطح خاک مورد بررسی قرار دادند. افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در ۳-۴ سانتی‌متری سطحی خاک در نواحی شهری، غالب شدن اثرات آنتروپوژنیک به دلیل ته‌نشست گرد و غبار اتمسفری را تأیید کرد، که با افزایش مغناطیس و غلظت بالای فلزات سنگین لایه هوموس مشخص گردید. بالاترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در بعضی از نواحی صنعتی در ایالت سیلسیای لهستان که یکی از مراکز اصلی صنعت سیمان و آهک در لهستان است، گزارش شد (هلر و همکاران، ۱۹۹۸).

لو و همکاران (۲۰۱۱) پذیرفتاری مغناطیسی زیاد خاک‌های کنار جاده شهری هانگزو در چین را گزارش دادند. آن‌ها بیان کردند که مواد مغناطیسی آنتروپوژنیک در خاک‌های سطحی تجمع یافته است. بررسی‌های قبلی نشان داده بود که پذیرفتاری مغناطیسی طبیعی خاک‌ها در هانگزو، با میانگین تقریبی  $1 \times 10^{-8}$  تا  $51 \times 10^{-8}$  مترمکعب بر کیلوگرم در تغییر بوده است (لو، ۲۰۱۱). خاک‌های کنار جاده شامل مقدار بیش‌تری از کانی‌های مغناطیسی آنتروپوژنیک در مقایسه با مقدار لیتوژنیک خود بودند. بنابراین پذیرفتاری مغناطیسی بالای خاک‌های کنار جاده به‌طور عمده به فعالیت‌های انسانی نسبت داده

1- Anthropogenic Activities

2- Fly Ash

شد. ایوبی و همکاران (2112) پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های سطحی دست‌نخورده در شرق اصفهان را مورد بررسی قرار دادند و میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در این خاک‌ها را  $41 \times 11^{-8}$  مترمکعب بر کیلوگرم گزارش کردند.

فعالیت‌های انسان همراه با افزایش سرعت شهری و صنعتی شدن سبب تشدید آلودگی محیط زیست شده است. آلودگی خاک و رسوبات به‌طور مؤثری سلامتی بشر و کیفیت محیط زیست را به خطر می‌اندازد. فعالیت‌های صنعتی و انتشار دود وسایل نقلیه از مهم‌ترین عوامل متأثر از آلودگی‌های انسانی در نواحی شهری است (کنبای و همکاران، 2111). فلزات سنگین در نواحی شهری شاخصی برای بررسی آلودگی محیط زیست هستند. هوپک و همکاران (1981) گزارش دادند که دود به‌دست آمده از آگزوز وسایل نقلیه و فرسایش تایر اتومبیل‌ها می‌تواند سبب افزایش غلظت سرب، روی و کادمیم در ذرات گرد و غبار خاک‌های کنار جاده شود.

به‌طور عموم از آنالیزهای شیمیایی برای سنجش خاک‌های آلوده استفاده می‌شود که مستلزم جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌های خاک است و بسیار دشوار می‌باشد. اما به تازگی از تکنیک اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی استفاده می‌گردد که روشی ساده، سریع و کم‌هزینه است و علاوه‌بر امکان بررسی نواحی وسیع در زمان کوتاه‌تر، در مقایسه با روش‌های شیمیایی روشی غیرمخرب می‌باشد.

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی خاک نشان داده است که روشی مؤثر برای بررسی آلودگی‌های صنعتی و دود خروجی از آگزوز وسایل نقلیه می‌باشد (هوفمن و همکاران، 1999؛ تامسون و اولدفیلد، 1986). این روش بر مبنای این فرض استوار است که فعالیت‌های صنعتی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی، خاکسترهای معلق در هوا را تولید می‌کنند که شامل مقدار زیادی از کانی‌های مغناطیسی هستند (فلاندرز، 1994؛ فلاندرز، 1999). از طرفی دود به‌دست آمده از وسایل نقلیه، منبع مهمی از آلاینده‌ها می‌باشند. برای مثال سرب به‌دست آمده از سوختن بنزین می‌تواند باعث آلودگی خاک‌های نواحی شهری شود (چن و همکاران، 1997). گرد و غبار و خاک اطراف بزرگراه‌ها آلودگی خاک با فلزات سنگین تحت‌تأثیر دود به‌دست آمده از آگزوز وسایل نقلیه را نشان می‌دهند (لو و همکاران، 2115). در مطالعات مختلفی، همبستگی معنی‌داری بین پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در خاک گزارش شده است (لو و بای، 2116؛ کنبای و همکاران، 2111).

در سال‌های اخیر از نقشه‌برداری پذیرفتاری مغناطیسی خاک برای ارزیابی آلودگی‌های

متأثر از فعالیت‌های انسانی استفاده شده است (لو و همکاران، 2115؛ ونگ و کوین، 2115). هوفمن و همکاران (1999) به‌طور موفقیت‌آمیزی آلودگی‌های ترافیکی را با ارزیابی توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های کنار جاده‌ای اندازه‌گیری کردند. پترووسکی و الوود (1999) گزارش کردند که پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت روی توزیع مکانی مشابهی در خاک‌های جمهوری چک دارند. ونگ و کوین (2115) همبستگی خوبی را بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات روی، مس و سرب در شهر زو در چین گزارش دادند.

به‌رغم مطالعات متعددی که در کشورهای مختلف در زمینه تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی و اثرات انسان بر آن در خاک‌ها صورت گرفته است (استریسز، 1989؛ لو و بای، 2116) ولی تاکنون در کشور ما در این زمینه پژوهشی صورت نگرفته است. از این‌رو این مطالعه با هدف بررسی توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و اثر کاربری اراضی بر تغییرات آن و بررسی همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه اصفهان صورت گرفت.

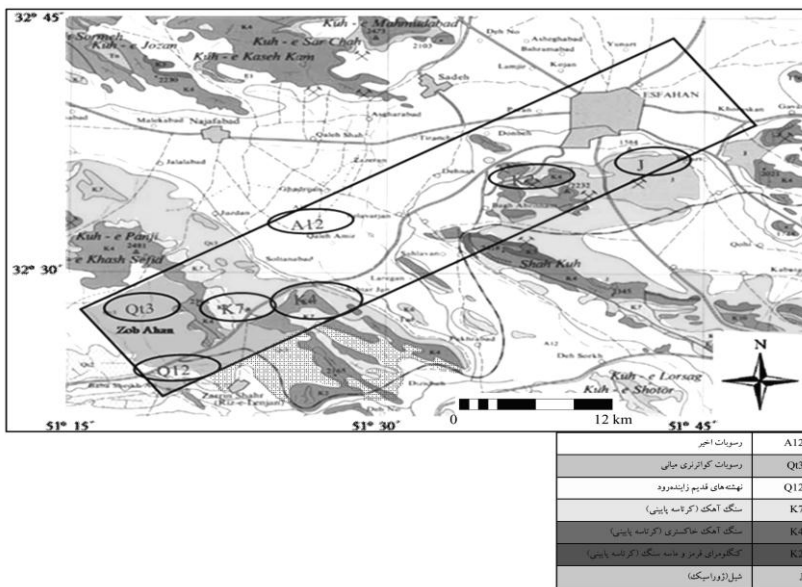
### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با وسعت 711 کیلومتر مربع شامل شهرستان اصفهان و حومه آن می‌باشد. این منطقه بین طول جغرافیایی 51 درجه و 15 دقیقه تا 51 درجه و 47 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 32 درجه و 22 دقیقه تا 32 درجه و 44 دقیقه شمالی واقع شده است. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا 1551 متر، میانگین دمای سالانه 16/2 درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی در منطقه حدود 111 میلی‌متر در سال می‌باشد.

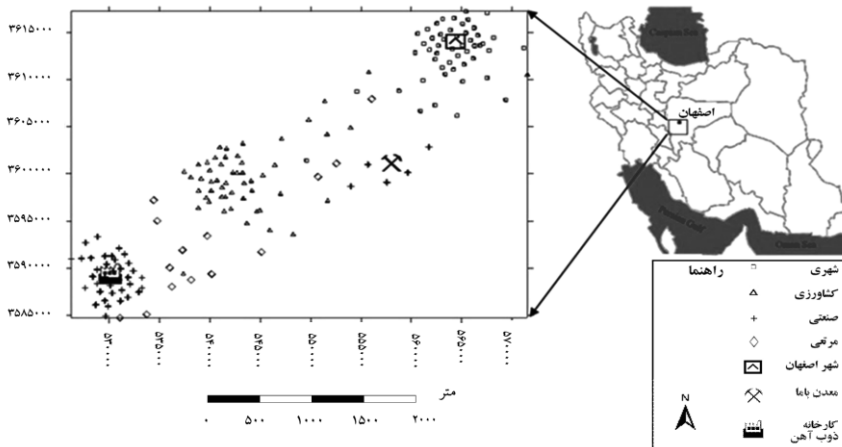
برای نمونه‌برداری، کل منطقه به شبکه‌های 3x3 کیلومتر تقسیم‌بندی گردید. به‌منظور مطالعه دقیق‌تر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی، فاصله‌های نمونه‌برداری در مناطقی با کاربری شهری، کشاورزی و صنعتی که تمرکز بیشتری داشتند 1x1 کیلومتر طراحی شد. موقعیت نقاط با دستگاه موقعیت‌یاب<sup>1</sup> تعیین و با استفاده از یک بیلچه غیرفلزی نمونه‌برداری از عمق 5-1 سانتی‌متری سطح خاک انجام و کاربری نقاط نیز ثبت گردید.

1- Global Positioning System

نمونه‌برداری به روش تصادفی داخل بلوک‌ها<sup>1</sup> به صورت ترکیبی انجام شد. به این ترتیب که از داخل هر شبکه یک نمونه مرکب، شامل مخلوطی از 4 نمونه به فاصله 5 متر از عمق 5-1 سانتی متری برداشته شده و نمونه‌ها درون کیسه پلاستیکی ریخته شد سپس برای آماده‌سازی و آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل گردید. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل 1)، تشکیلات زمین‌شناختی غالب منطقه از رسوبات اخیر، رسوبات دوران کواترنری، نهشته‌های قدیم زاینده‌رود، سنگ آهک دوران کرتاسه، کنگلومرا و ماسه‌سنگ کرتاسه پایینی و شیل‌های دوران ژوراسیک تشکیل شده است. نمونه‌برداری از 4 نوع کاربری مرتع، کشاورزی، صنعتی و مناطق شهری صورت گرفت. شکل 2 موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده را به تفکیک نوع کاربری نشان می‌دهد.



شکل 9- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی ایران) و نمایش محدوده مورد مطالعه روی آن.



شکل 2- موقعیت نقاط نمونه برداری شده در منطقه مطالعاتی به تفکیک نوع کاربری.

ابتدا نمونه‌ها هوا خشک و سپس از الک غیرفلزی 2 میلی‌متری عبور داده شدند. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی<sup>1</sup> در فرکانس پایین<sup>2</sup> 1/46 کیلوهرتز (Xlf) تعیین شد. به این منظور نمونه‌های خاک در ظروف پلاستیکی کوچک<sup>3</sup> ریخته شد و سپس توسط حس گر MS2B<sup>4</sup> قرائت گردید. از هر نمونه 3 تکرار مورد آزمایش قرار گرفت و برای هر تکرار سه قرائت انجام شد، تا مقدار خطای آزمایشگاهی قرائت به حداقل برسد. میانگین قرائت‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی پذیرفتاری مغناطیسی هر نمونه گزارش گردید. مقدار کل عناصر روی مس و سرب (قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک 5 نرمال) (آجایی و کمسون، 1983) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر 3131 تعیین شد.

به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها آزمون کولموگروف-اسمیرنف<sup>5</sup> مورد استفاده قرار گرفت (دیویس، 2112). بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین مورد مطالعه توسط نرم‌افزار SPSS16 انجام شده و مقایسه میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن<sup>6</sup> انجام شد. پس از تعیین

1- Bartington MS2 Dual Frequency Sensor

2- Low Frequency

3- Plastic Pots

4- MS2B Sensor

5- Kolmogrov Smirnov Test

6- Duncan

اطلاعات اولیه آماری ناهمسان‌گردی داده‌ها توسط تغییرنمای جهتی بررسی و پس از تعیین درجه ناهمسان‌گردی، تغییرنمای همه‌جبهه برای پارامترهای مورد مطالعه ترسیم و پس از تعیین بهترین مدل نقشه‌های کریجینگ توسط نرم‌افزار Arc GIS برای هر پارامتر ترسیم گردید (اورمبسی، 2118).

### نتایج و بحث

**توصیف آماری متغیرها:** توصیف آماری پارامترهای مورد مطالعه در جدول 1 آمده است. پذیرفتاری مغناطیسی خاک از  $14/4 \times 11^{-8}$  تا  $2544 \times 11^{-8}$  مترمکعب بر کیلوگرم متغیر بود و میانگین آن در خاک‌های منطقه  $158/5 \times 11^{-8}$  مترمکعب بر کیلوگرم نشان داده شد. دامنه تغییرات  $2529/5$  و ضریب تغییرات بالای  $(213/5)$  درصد این پارامتر را می‌توان به فعالیت‌های انسانی به‌خصوص در کاربری‌های شهری و صنعتی نسبت به کاربری کشاورزی و مرتعی نسبت داد. ایوبی و همکاران (2112) میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های سطحی دست‌نخورده در شرق اصفهان را  $41 \times 11^{-8}$  مترمکعب بر کیلوگرم گزارش کردند. میانگین بالای پذیرفتاری مغناطیسی ( $\chi_f$ ) نشان می‌دهد که خاک منطقه مورد مطالعه با ذرات فری‌مگنتیک غنی شده است که احتمالاً به دلیل فعالیت‌های انسانی به‌خصوص در کاربری‌های شهری و صنعتی در منطقه می‌باشد (تامسون و اولدفیلد، 1986). تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در خاک می‌تواند تحت تأثیر مواد مادری مختلف، فرآیندهای تشکیل خاک و همچنین فعالیت‌های انسانی قرار گیرد. فعالیت‌های انسانی مانند نیروگاه‌های سوخت زغال و فولاد، کانی‌های مغناطیسی را در محیط آزاد می‌کنند (هوفمن و همکاران، 1999).

با توجه به جدول 1 وضعیت پراکنش  $\chi_f$  در منطقه از تابع نرمال پیروی نکرده و چولگی  $5/1$  و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف هم این مطلب را تأیید می‌کند. بنابراین برای انجام محاسبه‌های زمین‌آماری، داده‌های غیرنرمال با استفاده از لگاریتم طبیعی به داده‌های نرمال تبدیل، و در محاسبه‌های بعدی از تبدیل لگاریتم پایه طبیعی داده‌ها استفاده شد. با توجه به جدول 1، توزیع روی و مس در منطقه از تابع نرمال پیروی نمی‌کند. چولگی و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز بیانگر این مطلب است، بنابراین داده‌های غیرنرمال با استفاده از لگاریتم طبیعی به داده‌های نرمال تبدیل شدند. پراکنش سرب در منطقه از توزیع نرمال برخوردار می‌باشد.

جدول 9- خلاصه‌ای از وضعیت آماری متغیرهای مورد مطالعاتی.

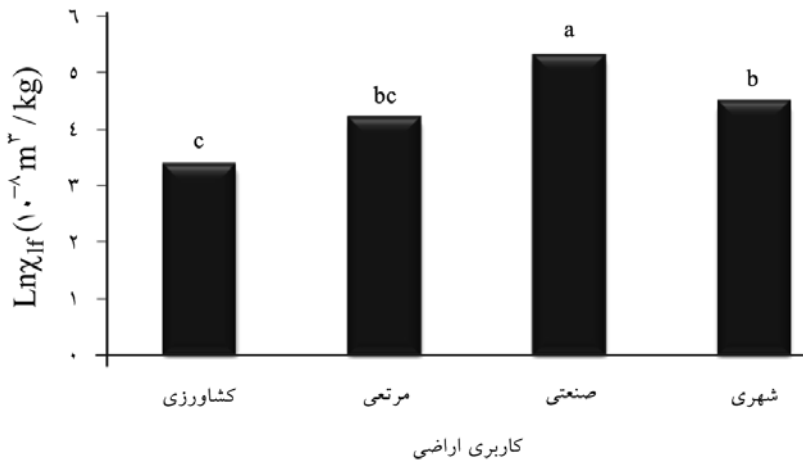


متغیر	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی	تغییرات (درصد)	ضریب
پذیرفتاری مغناطیسی <sup>1</sup>	$11^{-8}$ مترمکعب بر کیلوگرم	158/5	2544	14/4	5/1	28/6	213/5	
روی	میلی گرم بر کیلوگرم	118/7	437/5	21	1/5	2/1	64/1	
مس	میلی گرم بر کیلوگرم	45/1	133/7	16/8	1/6	2	61/9	
سرب	میلی گرم بر کیلوگرم	139/3	289/9	42/5	1/5	-1/1	41/3	

1- پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین ( $\chi_{lf}$ ).

مقایسه میانگین  $\chi_{lf}$  (شکل 3) نشان داد کاربری صنعتی بیشترین مقدار پذیرفتاری را دارا می باشد و اختلاف معنی داری را در سطح احتمال 95 درصد با سه کاربری دیگر نشان داد با وجود این که از نظر زمین شناسی یکنواخت به نظر می رسند که می توان این افزایش را در نتیجه انتشار گرد و غبار به دست آمده از فعالیت کارخانجات صنعتی دانست. مقدار  $\chi_{lf}$  در کاربری شهری اختلاف معنی داری را در سطح احتمال 95 درصد با کاربری کشاورزی نشان داد که می توان این افزایش را به ته نشست گرد و غبار رسوبات اتمسفری و دود به دست آمده از آگروز وسایل نقلیه نسبت داد. بین مقادیر پذیرفتاری در کاربری کشاورزی و مرتعی اختلاف معنی داری مشاهده نشد. باتوجه به شکل 3 مقادیر پذیرفتاری در کاربری مرتعی بیش تر از کاربری کشاورزی است که باتوجه به موقعیت نقاط نمونه برداری (شکل 2) علت را می توان نزدیکی نقاط نمونه برداری مرتعی با کاربری صنعتی دانست.

لو و بای (2116) گزارش دادند که پذیرفتاری مغناطیسی در خاک های شهری هانگزو در چین به ترتیب در نواحی صنعتی > خاک های کنار جاده ای > محل های مسکونی ~ فضای باز (محوطه کالج) > پارک های عمومی افزایش یافته و این افزایش را مربوط به فعالیت های صنعتی، دود ناشی از آگروز اتومبیل ها و رسوبات اتمسفری دانستند. تامسون و اولدفیلد (1986) دریافتند که در خاک های نزدیک نواحی شهری و صنعتی پذیرفتاری مغناطیسی افزایش یافته است و دلیل این افزایش را رسوب ذرات مغناطیسی به دست آمده از گرد و غبار صنایع متالورژیکی و خاکسترهای معلق ناشی از سوختن زغال دانستند.



شکل 3- مقایسه میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف در خاک‌های منطقه مطالعاتی.

همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی و عناصر مورد مطالعه: ضرایب همبستگی پیرسون بین پذیرفتاری مغناطیسی و عناصر سنگین مورد مطالعه در جدول 2 ارائه شده است. همبستگی مثبت و معنی داری بین سرب، روی و مس با پذیرفتاری مغناطیسی ( $\chi_{lf}$ ) مشاهده شد که می‌تواند به دلیل انتشار آلودگی‌های به دست آمده از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی در منطقه مطالعاتی باشد. کنبای و همکاران (2111) همبستگی مثبت و بالایی را بین  $\chi_{lf}$  و مس، سرب و نیکل و همبستگی منفی و بالایی را بین  $\chi_{lf}$  و کروم در خاک سطحی ناحیه ساحلی خلیج ایزمیت و ایزایتاس ترکیه گزارش کردند. لو و همکاران (2115) همبستگی مثبت و معنی داری را بین غلظت فلزات Cu و Pb و پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های شهری هانگزو در چین نشان دادند که بیان‌کننده میل ترکیبی قوی این دو فلز با کانی‌های فری‌مگنتیک می‌باشد و گمان می‌رود که کانی‌های فری‌مگنتیک می‌توانند فلزات سمی را حمل کنند. ونگ و کویین (2115) نشان دادند که در خاک‌های سطحی کنار جاده‌ای در شهر زو در چین بین مقدار برم در خاک و پارامتر مغناطیسی  $\chi_{lf}$  ( $r=1/6$ ) همبستگی قوی و مثبتی وجود دارد. این همبستگی بالا نشان می‌دهد که می‌توان از پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان روشی سریع و کم‌هزینه برای بررسی آلودگی فلزات سنگین متأثر از فعالیت‌های انسانی و صنعتی استفاده کرد.

جدول 2- همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و عناصر مورد مطالعه.

Ln Zn	Ln Cu	Pb	Ln $\chi_{lf}$
1/51**	1/31**	1/68**	

\*\* در سطح 1 درصد معنی دار است.

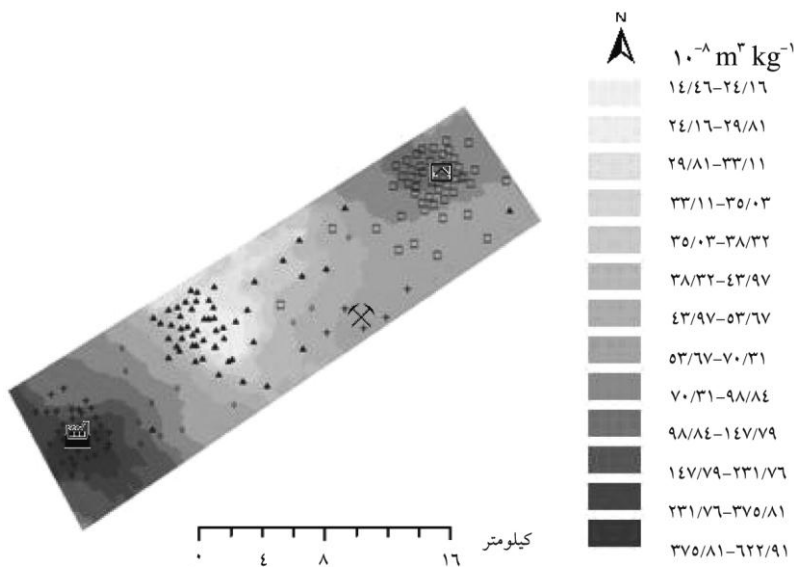
توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه: در این مطالعه کریجینگ به شکل بلوکی در مورد متغیرهای مورد بررسی انجام گرفت. شکل 4 نقشه پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین که از کریجینگ بلوکی به دست آمده است را نشان می دهد. با توجه به شکل 4 بیش ترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در بخش های جنوب غربی و شمال شرقی ناحیه مورد مطالعه متمرکز شده که شامل نواحی شهری و صنعتی می شوند. با توجه به نقشه زمین شناسی و نقشه پراکنش مکانی  $\chi_{lf}$ ، ذوب آهن یکی از عوامل اصلی افزایش  $\chi_{lf}$  در منطقه مورد مطالعه می باشد. این افزایش را می توان به منشأ انسانی پذیرفتاری مغناطیسی نسبت داد. افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک در اطراف کارخانجات صنعتی را می توان به دلیل رسوب و ته نشینت گرد و غبار به دست آمده از فعالیت های صنعتی دانست و علت این افزایش را در کاربری شهری گرد و غبار اتمسفری و دود به دست آمده از آگروز وسایل نقلیه بیان کرد. هوفمن و همکاران (1999) در مطالعه خود در ناحیه توپینگن در آلمان نشان دادند که آلودگی خاک های کنار جاده ای با ترافیک وسایل نقلیه همبستگی بالایی نشان می دهد.

هلر و همکاران (1998) نیز بالاترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی را در نواحی صنعتی در منطقه مورد مطالعه خود در لهستان مشاهده کردند. لو و همکاران (2118) افزایش پذیرفتاری مغناطیسی را در خاک های کنار جاده ای شهر هانگزو در چین گزارش نمودند و این افزایش را به فعالیت های انسانی از جمله دود به دست آمده از آگروز وسایل نقلیه نسبت دادند.

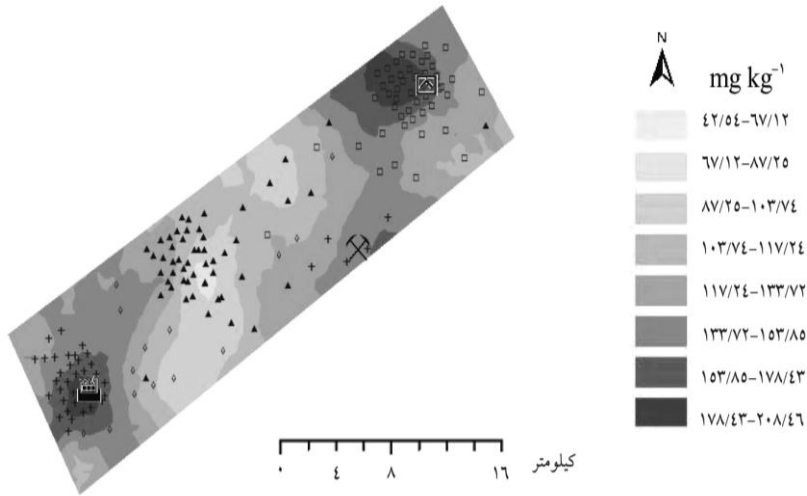
شکل 5 نقشه پراکنش مکانی سرب را در منطقه مطالعاتی نشان می دهد. با توجه به شکل، کاربری های شهری و صنعتی بیش ترین غلظت سرب را دارا می باشند. علاوه بر آن در قسمت های جنوب غربی اصفهان نیز غلظت سرب بالا است که به دلیل فعالیت های معدن باما می باشد. معدن باما معدن استخراج سرب و روی است. اتیلن دی هالیدها (اتیلن دی برمید و دی کلرید) معمولاً همراه با ترکیبات تترا آلکیل سرب به بنزین اضافه می شوند تا سرب را از موتورهای احتراق داخلی حذف کنند.

در نتیجه انتشارات از وسایل نقلیه به‌طور عمده دارای کلرویرمیدسرب هستند و با گذشت زمان می‌توانند باعث آلودگی خاک شوند (لو و همکاران، 2115).

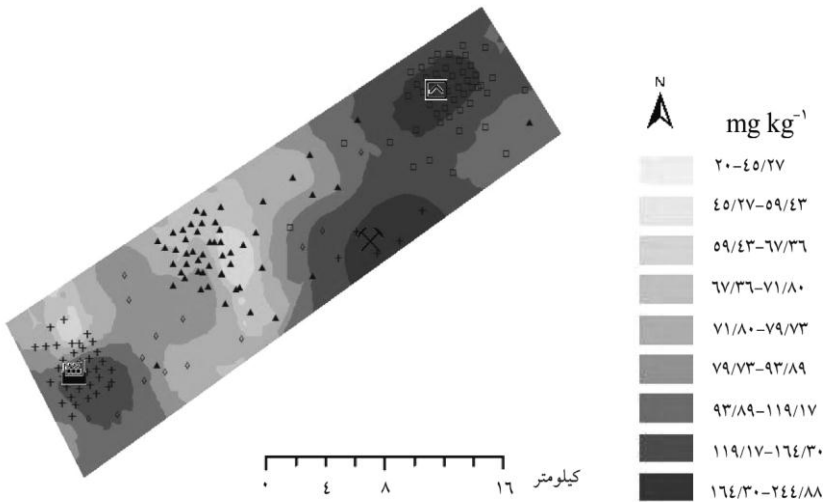
شکل 6 نقشه پراکنش مکانی روی کل را نشان می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین غلظت روی در کاربری شهری و بعد از آن در کاربری صنعتی مشاهده شد که می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند آلودگی‌های ترافیکی، دود ناشی از آگروز اتومبیل‌ها و سایش تیر اتومبیل‌ها با سطح جاده و فعالیت‌های صنعتی در منطقه باشد (لو و همکاران، 2115). علاوه‌بر تأثیر نوع کاربری در افزایش غلظت روی در منطقه، وجود معدن سرب و روی باما در افزایش غلظت روی در این منطقه بی‌تأثیر نبوده است و همان‌طور که در شکل نشان داده شده است در ناحیه معدن باما نیز غلظت روی بالا می‌باشد. هویک و همکاران (1981) بیان کردند که کادمیم، سرب، مس و روی در بنزین، روغن، اجزاء وسایل نقلیه، انتشارات صنعتی و خاک‌های کنار جاده‌ای نزدیک محل‌های ترافیک سنگین وجود دارند و می‌توانند سبب آلودگی خاک به فلزات سنگین شوند.



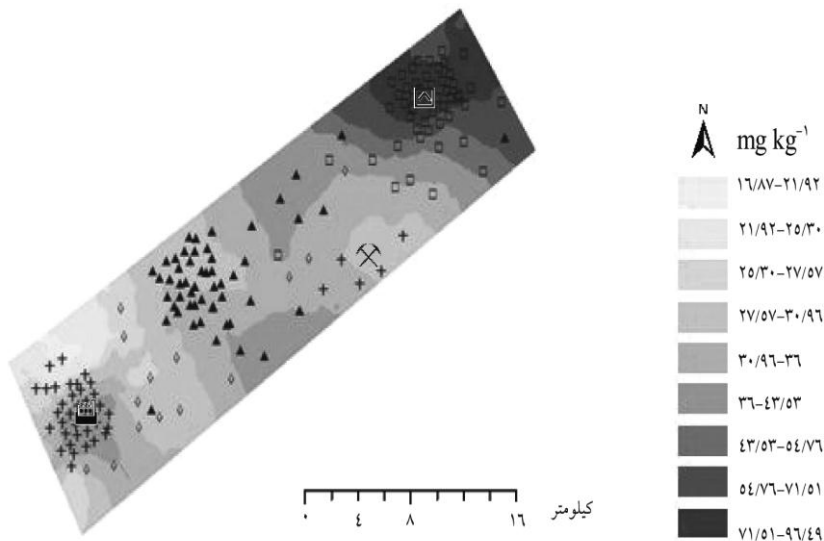
شکل 4- پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین ( $91^{-8}$  مترمکعب بر کیلوگرم) به‌دست آمده از کریجینگ بلوکی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.



شکل 5- پراکنش مکانی سرب کل (میلی گرم بر کیلوگرم) به دست آمده از کریجینگ بلوکی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.



شکل 6- پراکنش مکانی روی (میلی گرم بر کیلوگرم) کل به دست آمده از کریجینگ بلوکی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.



شکل 7- پراکنش مکانی مس کل (میلی گرم بر کیلوگرم) به دست آمده از کریجینگ بلوکی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.

شکل 7 نقشه پراکنش مس را در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از کریجینگ بلوکی به دست آمده است. با توجه به شکل 7 کاربری شهری دارای بیش‌ترین غلظت مس است و دلیل آن را می‌توان انتشارات دود آگزوز وسایل نقلیه و همچنین کمپوست مورد استفاده در اصلاح فضای سبز و بلوارهای شهر ذکر کرد. عناصر سرب، روی و مس منبع آلودگی یکسانی را مانند انتشارات صنعتی و دود به دست آمده از آگزوز وسایل نقلیه نشان می‌دهند (هوپیک و همکاران، 1981؛ لو و همکاران، 2118). با توجه به نقشه پراکنش پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که توزیع مکانی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی الگوی مشابهی در منطقه مورد مطالعه نشان دادند. مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین اغلب در کاربری‌های شهری و صنعتی در مقایسه با دیگر کاربری‌ها مشاهده شد. همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و مس، روی و سرب می‌تواند به دلیل وارد شدن این فلزات به داخل شبکه ساختمانی کانی‌های فری‌مگنتیک، در طی فرآیندهای مربوط به تشکیل کانی‌های فری‌مگنتیک و خروج دود از آگزوز اتومبیل‌ها و یا جذب این فلزات بر روی سطح کانی‌های فری‌مگنتیک باشد، که طی گذشت زمان وارد محیط می‌شوند (ونگ و کوپین، 2115).

## نتیجه گیری

مقایسه میانگین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های مختلف نشان داد که کاربری صنعتی و شهری دارای پذیرفتاری مغناطیسی بالاتری نسبت به کاربری‌های مرتعی و کشاورزی هستند که می‌توان این افزایش را در نتیجه منشأ آنتروپوژنیک پذیرفتاری مغناطیسی در این کاربری‌ها دانست. پذیرفتاری مغناطیسی در مراتع به دلیل نزدیکی به مراکز صنعتی مقادیر بالاتری را نسبت به کاربری کشاورزی نشان داد. نقشه‌های به دست آمده از کریچینگ بلوکی پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه نشان داد که بیشترین مقادیر پارامترهای مغناطیسی در نواحی شهری و صنعتی مشاهده شد که نشان‌دهنده غنی شدن ذرات فری‌مگنتیک در این کاربری‌ها است. این افزایش را می‌توان به منشأ آنتروپوژنیک کانی‌های مغناطیسی ناشی از رسوب و ته‌نشست گرد و غبار به دست آمده از فعالیت‌های صنعتی، گرد و غبار اتمسفری و دود به دست آمده از آگزوز وسایل نقلیه نسبت داد. بررسی نقشه پراکنش مکانی فلزات مورد مطالعه نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سرب، مس و روی در منطقه در کاربری‌های شهری و صنعتی وجود دارد. از دلایل افزایش غلظت این فلزات می‌توان فعالیت‌های صنعتی، دود به دست آمده از آگزوز وسایل نقلیه، استهلاک وسایل نقلیه و سایش تایر اتومبیل‌ها را ذکر نمود. نقشه پراکنش پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین مورد مطالعه نشان داد که توزیع مکانی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی الگوی مشابهی در منطقه مورد مطالعه دارند و مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی و بیش‌تر فلزات سنگین که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند، اغلب در کاربری‌های شهری و صنعتی مشاهده شدند. نتایج نشان داد که تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی که روشی سریع و غیرمخرب است، می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای شناسایی، ارزیابی و نقشه‌برداری خاک‌های آلوده و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

1. Ajayi, A., and Kamson, O.F. 1983. Determination of lead in roadside dust in Lagos City by atomic absorption spectrophotometry. *Environ. Int.* 9: 397-400.
2. Ayoubi, S., Jalalian, A., and Eghball, M.K. 2002. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two Aridisols from Isfahan, central Iran, P 49-50. In: Angel Faz, R. Ortiz and A.R. Metmut (eds), International Conference of SUMASS.
3. Canbay, M., Aydin, A., and Kurtulus, C. 2010. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and

- IZAYTAS (Turkey). *J. Appl. Geophys.* 70: 46-57.
- 4.Chen, T.B., Wong, J.W.C., Zhou, H.Y., and Wong, M.H. 1997. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environ. Pollut.* 96: 61-68.
- 5.Davis, J.C. 2002. *Statistics and data analysis in geology.* John Wiley and sons, New York, 638p.
- 6.Dearing, J.A., Hay, K.L., Baban, S.M.J., Huddleston, A.S.E., Wellington, M.H., and Loveland, P.J. 1996. Magnetic susceptibility of soil: An evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophys. J. Int.* 127: 728-734.
- 7.Flanders, P.J. 1994. Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment (invited). *J. Appl. Phys.* 75: 5931-5936.
- 8.Flanders, P.J. 1999. Identifying fly ash at a distance from fossil fuel power stations. *Environ. Sci. Technol.* 33: 528-532.
- 9.Geological Survey of Iran. 1977. Geological quadrangle map of Iran, NO D 6: 1:250000. Offset Press Inc. Tehran. (In Persian)
- 10.Heller, F., Strzyszcz, Z., and Magiera, T. 1998. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. *J. Geophys. Res-Sol. Ea.* 103: 17767-17774.
- 11.Hoffmann, V., Knab, M., and Appel, E. 1999. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. *J. Geochem. Exp.* 66: 313-326.
- 12.Hopke, P.K., Lamb, R.E., and Natusch, D.F.S. 1980. Multielemental characterization of urban roadway dust. *Environ. Sci. Technol.* 14: 164-172.
- 13.Lu, S. 2000. Lithological factors affecting magnetic susceptibility of subtropical soils, Zhejiang Province, China. *Catena.* 40: 359-373.
- 14.Lu, S.G., Bai, S.Q., Cai, J.B., and Xu, C. 2005. Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates. *Zhejiang Univ. Sci. B.* 6: 731-735.
- 15.Lu, S.G., and Bai, S.Q. 2006. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China. *J. Appl. Geophys.* 60: 1-12.
- 16.Lu, S.G., Bai, S.Q., and Fu, L.X. 2008. Magnetic Properties as Indicators of Cu and Zn Contamination in Soils. *Pedosphere.* 18: 479-485.
- 17.Magiera, T., Strzyszcz, Z., Kapicka, A., and Petrovsky, E. 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma.* 130: 299-311.
- 18.Moreno, E., Sagnotti, L., Dinares-Turell, J., Winkler, A., and Cascella, A. 2003. Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmos. Environ.* 37: 2967-2977.
- 19.Mullins, C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. *J. Soil Sci.* 28: 223-246.



20. Nayfeh, M.H., and Brussel, M.K. 1985. Electricity and magnetism. John Wiley and Sons, Inc. 626p.
21. Ormsby, T. 2008. Getting To Know Arc Gis Desktop 2ND Edition 9.3, ESRI Press, 592p.
22. Petrovsky, E., and Ellwood, B.B. 1999. Magnetic monitoring of air-land-and water-pollution, P 279-322. In: Maher, B.A. and R. Thompson (eds.), Quaternary climates, Environments and magnetism. 8, Cambridge University Press, Cambridge.
23. Strzyszcz, Z. 1989. Ferromagnetic properties of forest soils being under influence of industrial pollution. Air pollution and Forest Decline, P 201-207. In: Proc. 14<sup>th</sup> Int. Meeting for Specialist in Air Pollution Effects on Forest Ecosystem. IUFRO, Interlaken, Switzerland.
24. Thompson, R., and Oidfield, F. 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin Publishers Ltd, UK. 227p.
25. Wang, X.S., and Qin, Y. 2005. Correlation between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoil: a case study from the city of Xuzhou, China. Environ. Geol. 49: 10-18.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(4), 2013*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Spatial variability of magnetic susceptibility and the concentration of Zn, Cu and Pb in surface soils of the Isfahan region**

**Z. Dankoub<sup>1</sup>, \*Sh. Ayoubi<sup>2</sup> and H. Khademi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 03/01/2011; Accepted: 02/14/2012

### **Abstract**

In recent years, urban development and industrialization have caused the accumulation of heavy metals in soil. Pollution of soils significantly reduces the environmental quality and affects the human health. Using chemical methods to evaluate soil pollution is both difficult and time consuming. In many recent studies, magnetic susceptibility measurements have been employed for pollution monitoring as a non-destructive and fast technique. The objective of this research was to determine the spatial variability of magnetic susceptibility and the concentration of selected heavy metals and the effect of land use on their variations in surface soils of the Isfahan region. A total of 158 composite surface soil samples (0-5 cm) were taken from an area of about 700 km<sup>2</sup>. Magnetic susceptibility was measured at low frequency (0.46 kHz) using a Bartington MS2 dual frequency sensor. The concentration of total lead (Pb), zinc (Zn) and copper (Cu) were measured in all the soil samples. The spatial variability of these variables was examined by kriging. No significant difference was found between uncultivated and agricultural lands. The concentration of Cu, Zn and Pb are positively correlated with magnetic susceptibility ( $\chi_f$ ). It appears that the major factor controlling the enhancement of magnetic susceptibility in the study area is anthropogenic activities. It appears that the concentration of Pb, Cu and Zn has been affected by anthropogenic sources such as traffic emissions and industrial activities. The results also suggest that magnetic methods could be used to estimate the heavy metal contamination from anthropogenic sources in soils.

**Keywords:** Anthropogenic activities, Heavy metal, Magnetic susceptibility, Soil pollution, Spatial variability

---

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