

## استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی در پیش بینی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری اصفهان و شهرهای اطراف

زهرة محمودی<sup>۱</sup>، حسین خادمی<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان z.mahmoodi@ag.iut.ac.ir

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۰

### چکیده

ذرات گرد و غبار موجود در اتمسفر سلامت انسان‌ها را به مخاطره می‌اندازد. در این پژوهش به منظور تعیین کارایی روش پذیرفتاری مغناطیسی در تشخیص گرد و غبار آلوده به فلزات سنگین تعداد ۳۶ نقطه در شهرهای اصفهان، خمینی شهر، فلاورجان، مبارکه و زرین شهر انتخاب و گرد و غبار این مناطق طی ۵ ماه و در ۴ مرحله جمع‌آوری شد. غلظت کل فلزات  $\text{Cr}$ ،  $\text{Co}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Cd}$ ،  $\text{Zn}$ ،  $\text{Pb}$  و  $\text{Mn}$  در نمونه‌ها پس از عصاره‌گیری با اسید نیتریک با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. غلظت آهن از طریق عصاره‌گیری با اسید آمونیوم اکسالات اندازه‌گیری شد. مشخصه‌های مغناطیسی شامل پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین  $(\chi_{lf})$ ، بالا  $(\chi_{hf})$  و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس  $(\chi_{fd})$  در گرد و غبار با استفاده از حسگر MS2B تعیین شد. در این مطالعه بالاترین پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا و کمترین پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در منطقه صنعتی به دست آمد و به طور میانگین به ترتیب دارای مقادیر  $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  و  $529/9$  و  $0/8\%$  بود. این نتایج در مقایسه با خاکهای منطقه و خاکهای طبیعی حاکی از آلوده شدن گرد و غبار منطقه از طریق فعالیت‌های انسانی است. مشخصه‌های مغناطیسی از میان فلزات مورد مطالعه تنها با فلزات  $\text{Mn}$  و  $\text{Fe}$  همبستگی نشان دادند ( $r^2$  به ترتیب  $0/9$  و  $0/54$ ). بنابراین، از این روش فقط می‌توان برای شناسایی گرد و غبار آلوده به این دو فلز استفاده کرد. همچنین همبستگی معنی‌داری بین  $\chi_{fd}$  و  $\chi_{lf}$  به دست آمد که نشان می‌دهد ذرات چند حوزه‌ای و تک حوزه‌ای پایدار ناشی از فعالیت‌های آنتروپوژنیک در گرد و غبار غالب هستند.

### کلید واژه

پذیرفتاری مغناطیسی، فلزات سنگین، گرد و غبار، آلودگی هوا

### سر آغاز

گرد و غبار تحت تأثیر فلزات سنگین، همراه گرد و غبار قرار می‌گیرند. تخمین زده شده است که در محیط‌های شدیداً گرد و غباری، روزانه بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم گرد و غبار می‌خورند. معمولاً کودکان به دلیل جنب و جوش و فعالیت، نسبت به بزرگسالان، بیشتر در معرض گرد و غبار قرار دارند.

تماس با سطوح بالای فلزات سنگین می‌تواند باعث مسمومیت شدید و مزمن مانند آسیب به سیستم عصبی مرکزی و ثانوی، ترکیب خون، شش‌ها، کلیه‌ها، کبد و حتی مرگ شود (Leung, et al., 2008). آلاینده‌های فلزی معمولاً از بین نمی‌روند و سازوکارهای خودپایداری<sup>۱</sup> در آنها مشهود است. بنابراین، سطح بالای فلز سنگین می‌تواند زندگی موجودات زنده را تهدید کند. این فلزات می‌توانند در بافت‌های چربی بدن تجمع کنند و سیستم

امروزه گرد و غبار اتمسفری یکی از منابع مهم فلزات سنگین است که بویژه در محیط زیست شهری و صنعتی بررسی می‌شود (Meza-Figueroa, et al., 2007 و Preciado & Li, 2006). فلزات سنگین با اتصال به ذرات گرد و غبار قادرند در مقیاس وسیعی منتشر شوند (Doung & Lee, 2011). بنابراین، شمار زیادی از مطالعات، غلظت فلزات سنگین در فرونشست اتمسفری را مورد مطالعه قرار داده‌اند (Modaihsh, 1997). بخش اعظم این مطالعات در کشورهای پیشرفته با پیشینه طولانی صنعت انجام شده و تعداد کمتری در کشورهای در حال توسعه صورت گرفته است (Shinggu, et al., 2009 و Modaihsh, 1997; Wedyan, et al., 2009). انسان‌ها از طریق خوردن، تنفس و جذب پوستی ذرات

عصبی مرکزی بدن را تحت تأثیر قرار دهند، یا حتی می‌توانند در سیستم گردش خون در بدن رسوب کنند و رفتارهای طبیعی ما را مختل کنند. همچنین، فلزات سنگین می‌توانند به عنوان کوفاکتور در سایر بیماری‌ها عمل کنند (Zheng, et al., 2010).

روشهای متعدد و مرسوم برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک، گرد و غبار، آب، رسوبات و به طور کلی محیط زیست وجود دارد که عمده این روشها بر تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و اساساً هضم با اسید استوارند (Chen & Ma, 1998; Hay, et al., 1997; Maher, 1998; Rashed, 2008; Tokalioglu & Yi, et al., 2006 و Kartal, 2006; Wei & Yan, 2010). امروزه محققان به دنبال روشهایی هستند که پیچیدگی و آلودگی روشهای شیمیایی را نداشته باشند. استفاده از روشی سریع، مؤثر و ارزان برای تشخیص آلودگی گرد و غبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از این روشها مغناطیس سنجی<sup>۲</sup> بویژه استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی<sup>۳</sup> است که به آسانی قابل اندازه‌گیری است (Goddu, et al., 2004). همبستگی قوی بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت کل فلزات سنگین در گرد و غبار می‌تواند برای ارزیابی سریع غلظت و نحوه توزیع فلزات سنگین استفاده شود (Loppert & Inskip, 1996).

در سالهای اخیر پذیرفتاری مغناطیسی روشی مورد قبول برای توزیع مکانی آلودگی، تعیین منابع آلاینده، ایجاد جایگزینی برای تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی متداول مورد قبول جوامع علمی است، زیرا این روش سریع، کم هزینه، غیر مخرب، حساس و حاوی اطلاعات مفید است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پذیرفتاری مغناطیسی ابزاری بسیار مفید در تشخیص آلاینده‌های صنعتی، ترافیکی و سایر آلاینده‌های اتمسفری است (Hay, et al., 1997; Maher, 1998; Reynolds and Goldstein, 2010). امروزه استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی در حال تبدیل به ابزاری مهم برای تخمین آلودگی انسان زاد است و در موارد بسیاری در مورد خاکها (Wei & Yang, 2010)، برگ گیاهان (Gautam, et al., 2005)، گرد و غبار جاده‌ای (Tokalioglu & Kartal, 2006) و Rashed, 2008)، رسوبات دریایی، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها (Maher, 1998) با موفقیت به کار رفته است. استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان معیاری از آلودگی فلزات سنگین بر این پایه استوار است که منشاء فلزات سنگین و ذرات مغناطیسی به طور ژنتیکی به هم مرتبط هستند. مطالعات مغناطیسی محیط زیست رابطه بین مقدار فلزات

سنگین و خواص مغناطیسی در خاکها، ذرات هوازاد<sup>۴</sup> قابل تنفس و گرد و غبار خیابان را بیان می‌دارد (Lu, et al., 2007).

پذیرفتاری مغناطیسی درجه‌ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی با شدت معینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (McBride, 1986). رفتارهای مغناطیسی در اجسام به ۵ دسته تقسیم می‌شود که بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی و به ترتیب نزولی شامل فرومگنتیسم<sup>۵</sup> (مانند آهن خالص)، فریمگنتیسم<sup>۶</sup> (مانند مگنتیت و مگهمیت)، کنتدآنتیفرومگنتیسم<sup>۷</sup> (مانند هماتیت و گوئتیت)، پارامگنتیسم<sup>۸</sup> (مانند لپیدوکروسیت) و دیامگنتیسم<sup>۹</sup> (مانند کوارتز، آهک، گچ و ماده آلی) است (اولیایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Dearing, 1999; McBride, 1986). اساس این روش بر این حقیقت استوار است که بسیاری از آثار انسانی بر محیط زیست (نظیر آثار نیروگاه برق، سوختن سوخت‌های فسیلی، صنایع فلزی، کارخانه‌های ذوب، ترافیک جاده‌ها) باعث پخش ذرات شدیداً مغناطیسی می‌شوند که باعث افزایش پذیرفتاری مغناطیسی می‌شود (Goddu, et al., 2004). پذیرفتاری مغناطیسی زیاد اولین نشانه غلظت کانی‌های فری‌مگنتیک در گرد و غبار است. از این رو اندازه‌گیری مغناطیس گرد و غبار می‌تواند به عنوان ابزار مکمل برای روشهای ژئوشیمیایی معمول استفاده شود (Lu, et al., 2007). میزان پذیرفتاری مغناطیسی ترکیب تحت تأثیر مشخصه‌هایی مانند نوع کانی، میزان غلظت فلزات، میزان آب، ماده آلی، کربنات‌ها و گچ است. معمولاً اکسیدهای آهن مانند مگنتیت، هماتیت و گوئتیت موجود در خاکها از فرآیندهای طبیعی و آنتروپوژنیک منشاء می‌گیرند (El-Hasan, et al., 2009). پذیرفتاری مغناطیسی یک ترکیب در محیط زیست مجموعه‌ای از پذیرفتاری مغناطیسی ترکیبات فری‌مگنتیک، کنتدآنتی فری‌مگنتیک، پارامگنتیک و دیامگنتیک است. بنابراین ذرات دیامگنتیک تأثیر منفی و نسبتاً کوچکی بر مجموع سه ترکیب دیگر داشته و قابل چشم‌پوشی هستند (Dearing, 1999). از طرفی حضور آنها در تمام نمونه‌ها تأثیر مشابهی داشته و بنابراین مانع جدی برای انجام این آزمایش‌ها نیست. اندازه بلورهای مغناطیسی به میزان زیادی بر پذیرفتاری مغناطیسی آنها اثر دارد. حوزه<sup>۱۰</sup> اصطلاحی است برای نامیدن حجمی از ذرات که دارای خواص مغناطیسی یکسان و یکنواخت است و این حجم تحت تأثیر اندازه بلورهای مغناطیسی است (Loppert & Inskip, 1996). ذرات مغناطیسی آنتروپوژنیک منابع متفاوتی دارند. مطالعات بیان کرده‌اند که این ذرات غالباً به صورت چند حوزه‌ای<sup>۱۱</sup> (MD) و تک

عصبی مرکزی بدن را تحت تأثیر قرار دهند، یا حتی می‌توانند در سیستم گردش خون در بدن رسوب کنند و رفتارهای طبیعی ما را مختل کنند. همچنین، فلزات سنگین می‌توانند به عنوان کوفاکتور در سایر بیماری‌ها عمل کنند (Zheng, et al., 2010).

روشهای متعدد و مرسوم برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک، گرد و غبار، آب، رسوبات و به طور کلی محیط زیست وجود دارد که عمده این روشها بر تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و اساساً هضم با اسید استوارند (Chen & Ma, 1998; Hay, et al., 1997; Maher, 1998; Rashed, 2008; Tokalioglu & Yi, et al., 2006 و Kartal, 2006; Wei & Yan, 2010). امروزه محققان به دنبال روشهایی هستند که پیچیدگی و آلودگی روشهای شیمیایی را نداشته باشند. استفاده از روشی سریع، مؤثر و ارزان برای تشخیص آلودگی گرد و غبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از این روشها مغناطیس سنجی<sup>۲</sup> بویژه استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی<sup>۳</sup> است که به آسانی قابل اندازه‌گیری است (Goddu, et al., 2004). همبستگی قوی بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت کل فلزات سنگین در گرد و غبار می‌تواند برای ارزیابی سریع غلظت و نحوه توزیع فلزات سنگین استفاده شود (Loppert & Inskip, 1996).

در سالهای اخیر پذیرفتاری مغناطیسی روشی مورد قبول برای توزیع مکانی آلودگی، تعیین منابع آلاینده، ایجاد جایگزینی برای تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی متداول مورد قبول جوامع علمی است، زیرا این روش سریع، کم هزینه، غیر مخرب، حساس و حاوی اطلاعات مفید است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پذیرفتاری مغناطیسی ابزاری بسیار مفید در تشخیص آلاینده‌های صنعتی، ترافیکی و سایر آلاینده‌های اتمسفری است (Hay, et al., 1997; Maher, 1998; Reynolds and Goldstein, 2010). امروزه استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی در حال تبدیل به ابزاری مهم برای تخمین آلودگی انسان زاد است و در موارد بسیاری در مورد خاکها (Wei & Yang, 2010)، برگ گیاهان (Gautam, et al., 2005)، گرد و غبار جاده‌ای (Tokalioglu & Kartal, 2006) و Rashed, 2008)، رسوبات دریایی، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها (Maher, 1998) با موفقیت به کار رفته است. استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان معیاری از آلودگی فلزات سنگین بر این پایه استوار است که منشاء فلزات سنگین و ذرات مغناطیسی به طور ژنتیکی به هم مرتبط هستند. مطالعات مغناطیسی محیط زیست رابطه بین مقدار فلزات

شد که هر یک از این مناطق با توجه به نوع فعالیت عمده در آنها فلزات سنگین خاصی را به اتمسفر شهری وارد می‌کنند. شکل شماره (۱) نقاط نمونه برداری و شیوه توزیع نقاط در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این پژوهش به منظور جمع‌آوری گرد و غبار از تله مورد استفاده توسط حجتی و همکاران (Hojati, et al., 2012) استفاده شد. نمونه‌ای از تله مورد استفاده در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. برای جمع‌آوری گرد و غبار تعداد ۲ تله بر بالای پشت بام منازل یک طبقه بالاتر از سطح قرار داده شد. ذرات فرونشسته بر سطح تله‌ها در هر دوره پس از جدا کردن مش سطحی با استفاده از کاردک جمع‌آوری و در هر دوره سطح تله و مش پلاستیکی شسته و تله مجدداً نصب شد. به طور کلی گرد و غبار طی یک دوره ۵ ماهه از مرداد تا آذر ۱۳۸۹، طی ۴ مرحله از ۳۶ نقطه جمع‌آوری و در مجموعاً ۱۴۴ نمونه گرد و غبار از این مناطق مورد مطالعه قرار گرفت.

در این پژوهش مجموعه‌ای از مشخصه‌های مغناطیسی شامل پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین ( $\chi_{lf}$ )، پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا ( $\chi_{hf}$ ) و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ) به منظور بررسی وضعیت آلودگی ناشی از فلزات سنگین و فعالیت‌های صنعتی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مشخصه‌های پذیرفتاری مغناطیسی، نمونه‌ها درون ظروف پلاستیکی ریخته شده و با حسگر MS2B و با استفاده از دستگاه Bartington MS2 Dual Frequency Sensor در دو فرکانس ۰/۴۶ و ۴۶ کیلو هرتز قرائت شد.

برای تعیین غلظت فلزات سنگین مقدار ۰/۵ گرم از نمونه‌های گرد و غبار با اسید نیتریک ۶۰٪ هضم و پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۰/۵ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شده، سپس با استفاده از کاغذ واتمن ۴۲ صاف شدند و در پایان با اسید نیتریک ۱٪ به حجم ۲۵ میلی لیتر رسیدند (Meza-Figueroa, et al., 2007). غلظت کل فلزات Zn, Mn, Ni, Co, Cu و Cr با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer 3030 و Pb و Cd با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Analyst 200 تعیین شد. الحسن و همکاران (۲۰۰۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مشخصه‌های مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین به‌دست آوردند. آنها نشان دادند که مگنتیت اصلی‌ترین کانی مغناطیسی است که احتمالاً از طریق منابع گوناگون انسانی، بویژه فعالیت‌های مرتبط با ترافیک و صنایع فلزی در محیط توزیع می‌شوند (El-Hasan, et

حوزه‌ای پایدار<sup>۱۳</sup> (SSD) وجود دارند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که ذرات مغناطیسی تولید شده به وسیله فرایندهای صنعتی دارای قطر بیش از ۲ میکرومتر بوده اما ذرات منتشر شده توسط وسایل نقلیه نسبتاً ریزتر و در اندازه ۲/۵ میکرومتر هستند. در حالی که کانی‌های فری مگنتیک که طی فرآیندهای پدوژنیک تولید می‌شوند، با اندازه کمتر از ۰/۲ میکرومتر بیشتر به صورت سوپراپارامگنتیک<sup>۱۴</sup> (SP) هستند. حضور ذرات SP با کمیتی به نام پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ) قابل اندازه‌گیری است که از معادله ۱ قابل محاسبه است.

$$\% \chi_{fd} = ((\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf}) \times 100 \quad \text{معادله ۱}$$

که در آن  $\chi_{fd}$ : پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس،  $\chi_{lf}$ : پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین و  $\chi_{hf}$ : پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالاست (Dearing, 1999).

هر چه اختلاف پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا و پایین بیشتر باشد نشان‌دهنده دخالت بیشتر ذرات مغناطیسی کوچکتر از ۰/۲ میکرومتر که بیشتر منشأ پدوژنیک دارند است. اگر  $\chi_{fd}$  کمتر از ۴٪ باشد ذرات MD و SSD غالب می‌شوند (Dearing, et al., 1996; Hay, et al., 1997; Maher, 1998).

گوتام و همکاران (۲۰۰۵) پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار موجود بر روی برگ گیاهان کنار خیابان را به عنوان شاخص آلودگی به فلزات سنگین ناشی از ترافیک مورد مطالعه قرار دادند و به وجود رابطه معنی‌دار خطی بین میزان فلزات سنگین و میزان پذیرفتاری مغناطیسی اشاره کردند. مطالعات آنها مبین همبستگی خوب بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار است (Gautam, et al., 2005).

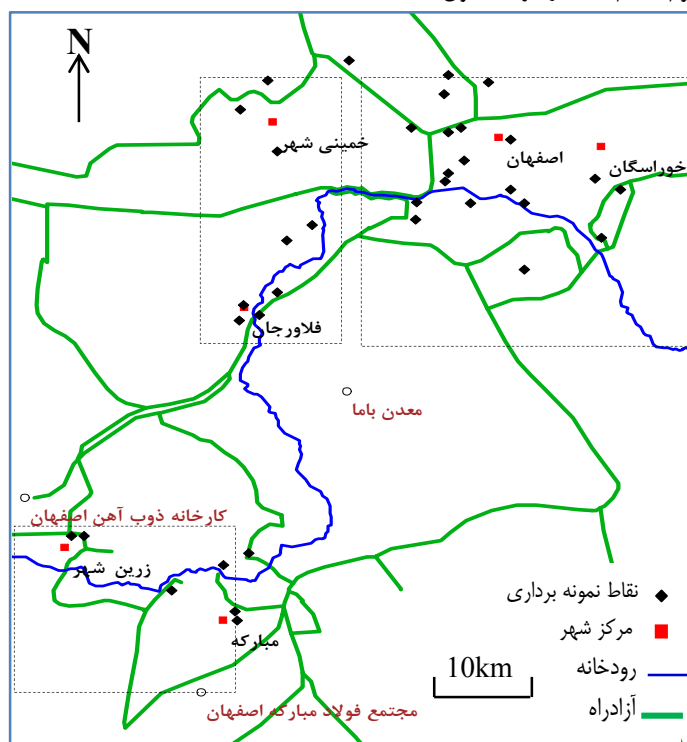
با توجه به وضعیت صنعتی و ترافیکی کلانشهر اصفهان غلظت بالای فلزات سنگین در اتمسفر منطقه قبل پیش‌بینی است. اما اندازه‌گیری این فلزات در اتمسفر به صرف هزینه و زمان زیادی نیاز دارد. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی نیروی روش پذیرفتاری مغناطیسی در ارزیابی آلودگی گرد و غبار اتمسفری به فلزات سنگین در نقاط شهری اصفهان و شهرهای مجاور است.

## مواد و روشها

این مطالعه در سه منطقه شهری صنعتی شامل شهرهای مبارکه و زرین‌شهر (n=7)، شهری با ترافیک سنگین شامل شهر اصفهان (n=20) و شهری با ترافیک کم و غیر صنعتی شامل شهرهای خمینی شهر و فلاورجان (n=9) بر اساس این فرض انجام

منظور حذف کربنات‌ها از محلول بافر استات آمونیوم با pH معادل ۵/۵ استفاده شد. به سبب جلوگیری از واکنش نوری عصاره‌گیری با اُکسالات آمونیوم در تاریکی (شب) انجام شد. غلظت آهن در عصاره با دستگاه اتمیک مدل Analyst 200 تعیین شد (Loppert & Inskeep, 1996). داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و سطح معنی‌داری ۵٪ انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ رسم شد.

al., 2009). شرتمن (۱۹۷۳) بیان داشت کانی مگنتیت انحلال زیادی در روش عصاره‌گیری با اُکسالات آمونیوم اسیدی نشان می‌دهد (Loppert & Inskeep, 1996). کانی‌های مغناطیسی در اتمسفر اساساً از فرایندهای سوختن مانند صنایع، انتشارات خانگی و نقلیه‌ای یا از فرسایش محصولاتی مانند آسفالت و سیستم ترمز اتومبیل‌ها مشتق می‌شوند. بویژه کانی‌های مغناطیس در آئروسول با فلزات سنگین مانند روی، کادمیوم و کُرْم همراه می‌شوند (Lu, et al., 2007). بنابراین برای تعیین میزان این کانی اندازه‌گیری آهن قابل عصاره‌گیری با اُکسالات آمونیوم انجام شد. در مرحله اول به



شکل شماره (۱): منطقه مورد مطالعه و نحوه توزیع نقاط نمونه برداری



شکل شماره (۲): تله مورد استفاده جهت جمع آوری گرد و غبار

**نتایج و بحث**

در جدول شماره (۱) پاره‌ای از خصوصیات آماری غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه و مشخصه‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده آورده شده است. بر پایه اطلاعات این جدول، بالاترین غلظت فلز در گرد و غبار به ترتیب مربوط به آهن < منگنز < روی < سرب < نیکل < مس < کبالت < کرم < کادمیوم است. نتایج تحقیقات قبلی (Shaheen, et al., 2005) نشان می‌دهد در مواردی که غلظت فلز در محیط زیست تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است توزیع غلظت این فلزات از روند نرمال تبعیت نمی‌کند. با توجه به جدول شماره (۱) در این تحقیق نیز توزیع غلظت اکثر فلزات مورد مطالعه نرمال نبوده و مؤید نقش بارز انسان‌ها در ورود این فلزات به اتمسفر است. بر اساس جدول شماره (۲) ضریب همبستگی اسپیرمن بین  $\chi_{hf}$  با  $\chi_{fd}$  و  $\chi_{fd}$  به ترتیب  $0/77$  و  $-0/78$  به دست آمد. به سبب همبستگی بالای  $\chi_{hf}$  با  $\chi_{fd}$  از بین این دو مشخصه یکی ( $\chi_{fd}$ ) انتخاب و در ادامه پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. همبستگی معنی‌دار بین  $\chi_{fd}$  و  $\chi_{hf}$  به این مطلب اشاره می‌کند که

ذرات چند حوزه‌ای و تک حوزه‌ای پایدار ناشی از فعالیت‌های آنتروپوژنیک در گرد و غبار غالب هستند (Jiang, et al., 2010). بالاترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی مربوط به گرد و غبار منطقه صنعتی بوده و تغییرات این مشخصه در مناطق مختلف در سطح  $5\%$  معنی‌دار است (شکل شماره ۳). بالا بودن پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه صنعتی حاکی از غلظت بالای ذرات مغناطیسی در این منطقه است که از فعالیت‌های صنعتی غالب در منطقه ناشی می‌شود. جیانگ و همکاران (Jiang, et al., 2010) نیز در تحقیقی بالاترین مقادیر  $\chi_{fd}$  را در خاکهای مناطق صنعتی به میزان  $10^{-8} \times 1127$  مترمکعب بر کیلوگرم و حداقل مقدار این مشخصه را در خاکهای کشاورزی به میزان  $10^{-8} \times 18$  مترمکعب بر کیلوگرم گزارش کردند. همچنین لو و همکاران (Lu, et al., 2007, 2008) در مطالعه گرد و غبار اطراف جاده و برخی خاکها در چین دریافتند که گرد و غبار تحت تأثیر فعالیت‌های آنتروپوژنیک سیگنال مغناطیسی بالاتر از نمونه شاهد طبیعی نشان می‌دهد.

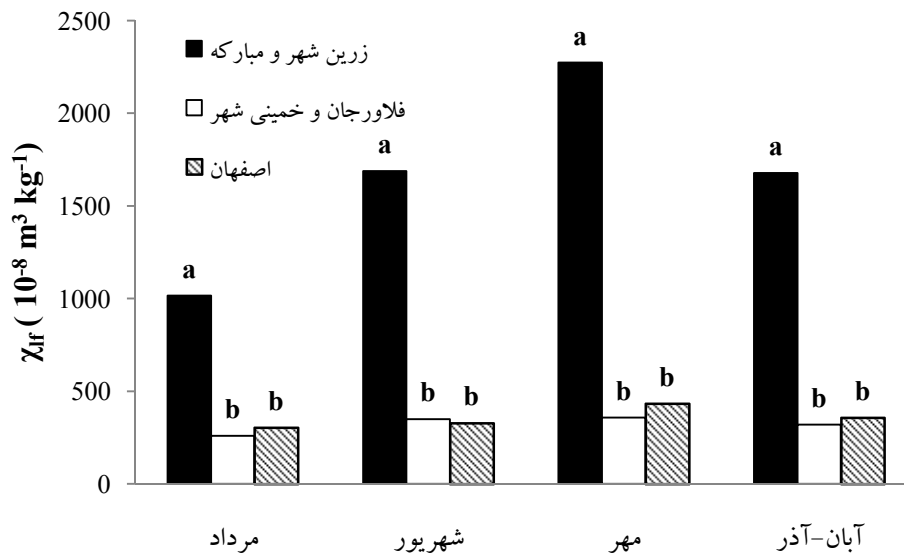
**جدول شماره (۱): برخی خصوصیات آماری مشخصه‌های مغناطیسی و فلزات سنگین نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه**

مشخصه	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (%)	چولگی	کشیدگی
$\chi_{fd}$	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$	۶۰۳/۶	۱۲۵/۴	۳۱۶۹/۱	۱۰۷/۸	۲/۷	۷/۳
$\chi_{hf}$	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$	۶۰۱/۴	۱۲۴/۳	۳۱۶۳/۸	۱۰۸/۱	۲/۶	۷/۳
$\chi_{fd}$	%	۰/۷	۰/۲	۱/۵	۴۴/۶	-۰/۱	-۰/۷
Cu	$mg kg^{-1}$	۷۰/۹	۴۲/۴	۱۲۰/۸	۲۹/۵	۰/۸	۰/۱
Mn	"	۵۴۰/۰	۳۶۵/۰	۱۳۱۷/۵	۳۹/۶	۲/۲	۵/۲
Ni	"	۸۲/۰	۵۸/۹	۱۳۵/۵	۲۰/۶	۰/۹	۱/۳
Zn	"	۴۷۰/۳	۱۴۰/۸	۲۱۳۳/۸	۸۹/۷	۲/۸	۸/۳
Pb	"	۲۲۳/۵	۱۱۵/۸	۷۵۴/۳	۶۶/۰	۲/۵	۵/۷
Cd	"	۳/۵	۲/۳	۹/۹	۵۲/۵	۲/۵	۵/۵
Co	"	۲۶/۵	۲۱/۱	۸۰/۴	۳۵/۸	۵/۵	۳۲/۵
Cr	"	۲۴/۴	۲۰/۲	۳۰/۶	۱۰/۱	۰/۹	۰/۵
Fe	"	۴۵۲۵/۹	۱۸۸۴/۰	۱۵۷۵۹/۰	۷۰/۶	۲/۵	۶/۰

**جدول شماره (۲): ضریب همبستگی اسپیرمن بین فلزات سنگین و مشخصه‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده در گرد و غبار**

	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Mn	Co	Cr	Fe	$\chi_{fd}$	$\chi_{hf}$	
$\chi_{fd}$	۰/۲۹۱	۰/۲۹۹	۰/۱۵۳	-۰/۰۷۷	-۰/۲۱۵	۰/۴۷۰**	۰/۲۹۷	-۰/۰۸۶	۰/۷۸۴**	۱		
$\chi_{fd}$	-۰/۲۰۱	-۰/۱۱۵	-۰/۲۶۹	۰/۲۵۳	۰/۳۹۳*	-۰/۳۵۵*	-۰/۲۸۲	۰/۰۲۱	-۰/۸۴**	-۰/۷**	۱	
$\chi_{hf}$	۰/۲۶۸	۰/۱۸	۰/۲۵۵	-۰/۱۸۹	-۰/۲۷۴	۰/۴۸۴**	۰/۲۴۸	-۰/۰۷۵	۰/۸۸۳**	-۰/۷۶۸**	-۰/۷۷۶**	۱

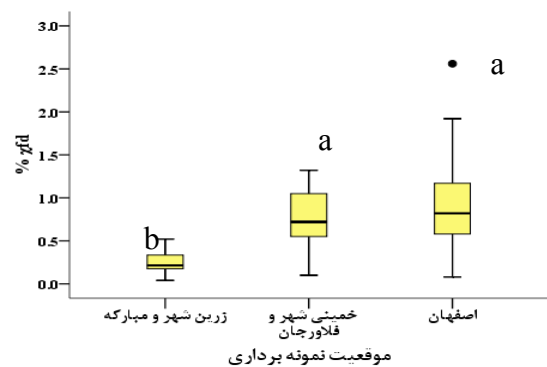
(\* معنی‌دار در سطح ۵٪، \*\* معنی‌دار در سطح ۱٪)



شکل شماره (۳): تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین با زمان و در مکان‌های مختلف نمونه برداری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ماه در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی دار ندارند)

جیانگ و همکاران (2010) بالاترین  $\chi_{fd}$  را در خاکهای کشاورزی و کمترین مقدار آن را در خاکهای صنعتی گزارش کردند. این نتیجه بر این مطلب اشاره دارد که ذرات SP پدوژنیک در خاک سطحی منطقه صنعتی توزیع کمی داشته و بیشتر ذرات MD، SSD و کانی‌های فری مگنتیک در این خاکها حضور دارند که از طریق فعالیت‌های صنعتی، انتشارات اتومبیل و ذرات فرونشست اتمسفری تولید می‌شوند. میانگین  $\chi_{fd}$  در منطقه اصفهان بالاتر از میانگین خمینی شهر و فلاورجان به دست آمد اما اختلاف این دو منطقه در سطح ۵٪ آزمون دانکن معنی دار نشد. میانگین مقادیر  $\chi_{if}$  و  $\chi_{fd}$  در منطقه مورد مطالعه به ترتیب  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 6.03$  و  $0.7$ ٪ به دست آمد (جدول شماره ۱). کریمی و همکاران (Karimi, et al., 2011) در مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی خاکهای شهری اصفهان میانگین  $\chi_{if}$  را  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 74/3$  و میانگین  $\chi_{fd}$  را  $3/96$  درصد گزارش کردند. تفاوت زیاد پذیرفتاری مغناطیسی فرکانس پایین نمونه‌های گرد و غبار و خاک حاکی از حضور بیشتر ذرات مغناطیسی در گرد و غبار نسبت به خاک است. نامبردگان بیان داشتند که میانگین  $\chi_{fd}$  به دست آمده کمتر از عدد به دست آمده در خاکهای طبیعی شرق اصفهان (Ayoubi, et al., 2002) است با توجه به میانگین پایین  $\chi_{fd}$  آنها به این نتیجه رسیدند که خاک سطحی شهر اصفهان حاوی ذراتی است که بزرگتر از اندازه SP هستند. بر این پایه با مقایسه این مقادیر با مقادیر به دست آمده در

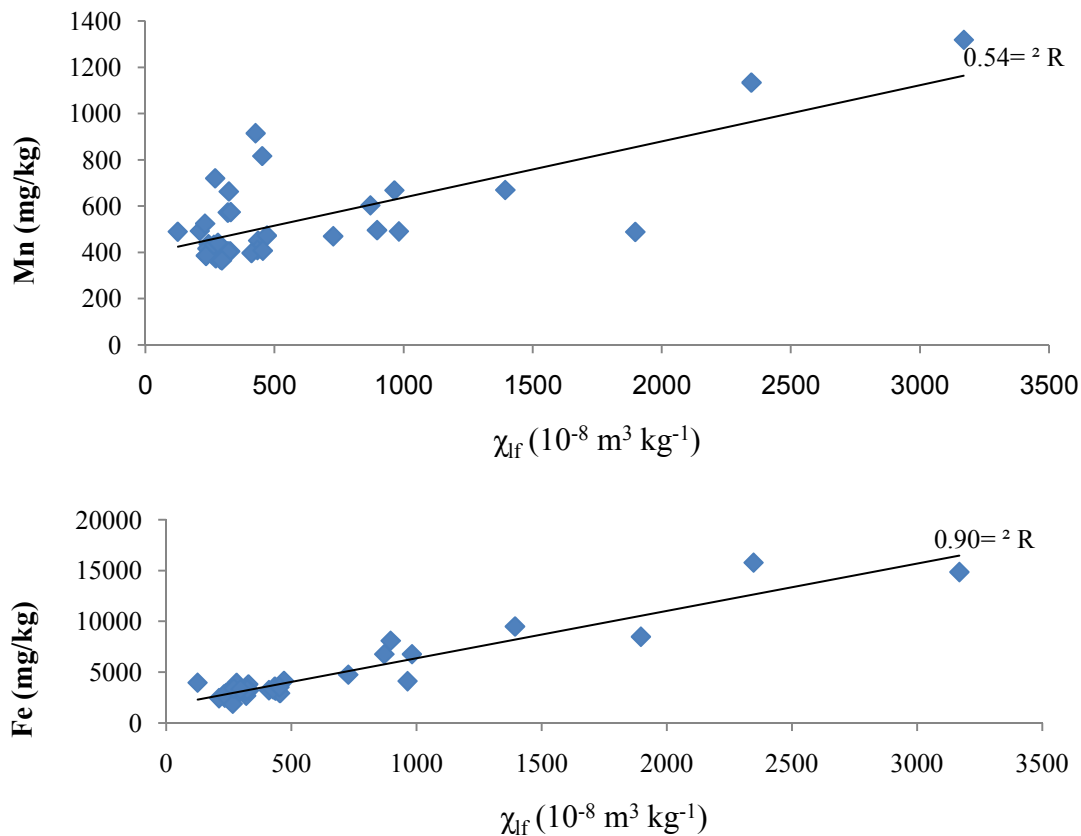
پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در ارتباط با ترکیبات سوپرپارامگنتیک است (Dearing, 1999). هرچه اختلاف پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا و پایین زیاد باشد نشانگر دخالت بیشتر ذرات مغناطیسی با منشاء پدوژنیک است (Dearing, et al., 1996). بر اساس شکل شماره (۴) در پژوهش حاضر کمترین  $\chi_{fd}$  در زرین شهر و مبارکه مشاهده شد و این منطقه از این نظر با دو منطقه دیگر اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ نشان داد. بدین معنی که گرد و غبار این منطقه در مقایسه با مناطق دیگر بیشتر از ذرات مغناطیسی‌ای تشکیل شده است که منشاء انسان‌زاد دارد.



شکل شماره (۴): نمودار جعبه‌ای تغییرات درصد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در موقعیت‌های مختلف نمونه برداری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند)

همبستگی خوبی با مشخصه‌های مغناطیسی نشان دادند. به طوری که ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بین غلظت منگنز و آهن با پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۹۰ به دست آمد (شکل شماره ۵).

گرد و غبار انتظار می‌رود ذرات گرد و غبار اتمسفری سخت تحت تأثیر فعالیت‌های انسان‌ها باشند. جدول شماره (۲) ضریب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین و مشخصه‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد. از بین فلزات مورد مطالعه فقط فلزات آهن و منگنز



شکل شماره (۵): همبستگی خطی میانگین غلظت آهن عصاره‌گیری شده با آمونوم اکسالات و غلظت منگنز کل با

#### پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین در نمونه‌های گرد و غبار

روندی مشابه را بین مناطق مختلف نشان می‌دهد. آهن و منگنز موجود در گرد و غبار می‌توانند از فرایندهای صنعتی فولادسازی، فرسایش بخش‌های فلزی متحرک اتومبیل، سوزاندن سوخت فسیلی و همچنین خاک منشاء بگیرند (Rashed, 2008).

اختلاف معنی‌دار بین غلظت این فلزات در مناطق مختلف بیانگر تفاوت در منابع تولید آنها است. یعنی فلزات سنگین از منابع آنتروپوژنیک یکسان حاصل نشده‌اند و شاید فعالیت صنایع ذوب آهن و فولاد مبارکه مهمترین عامل ورود این فلزات در این منطقه به اتمسفر است.

بنابراین، پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند روشی مناسب برای تشخیص مناطق آلوده به منگنز و کانی‌های مغناطیسی (بی‌ویژه مگنتیت) استفاده شود. نگ و همکاران (Ng, et al., 2003) همبستگی بالای بین فلزات و مشخصه‌های مغناطیسی را به تمایل این فلزات به کانی‌های مغناطیسی نسبت دادند. با توجه به جدول شماره (۲) همبستگی بالا و مثبت بین آهن و منگنز به سبب منابع مشابه تولید این فلزات است.

با توجه به شکل شماره (۶) بیشترین غلظت فلزات منگنز و آهن در گرد و غبار منطقه صنعتی شامل شهرهای مبارکه و زرین-شهر وجود داشته است و مقادیر غلظت در سطح ۵٪ آزمون دانکن با مناطق دیگر معنی‌دار است. تغییرات غلظت آهن با تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق مختلف هماهنگی داشته و تغییرات

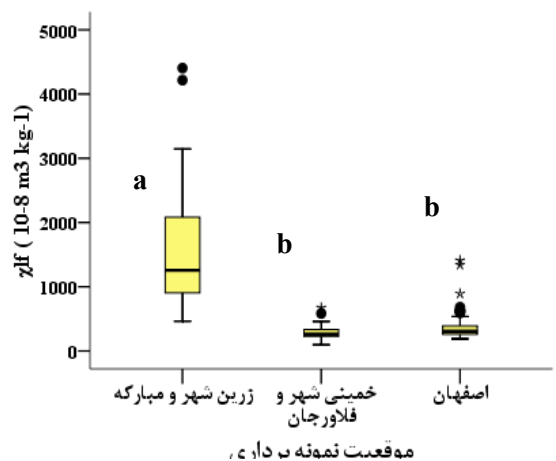
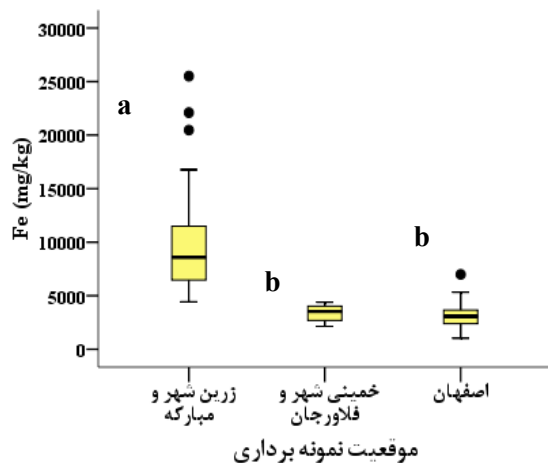
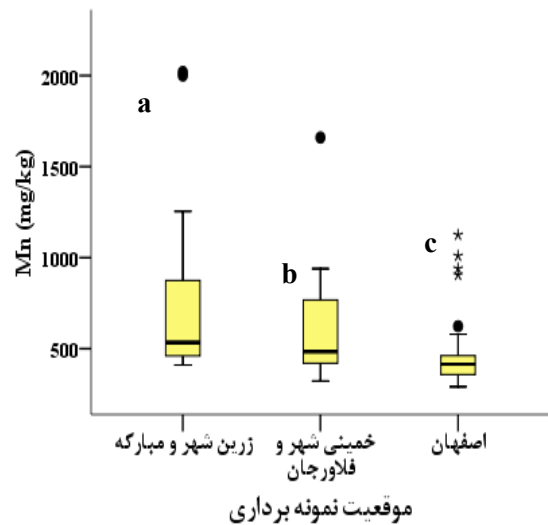
### نتیجه گیری

مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ٪) در گرد و غبار نسبت به خاکهای منطقه پایین تر است و به این مطلب اشاره می کند که ذرات سوپرپارامگنتیک پدوژنیک در گرد و غبار منطقه صنعتی توزیع کمی داشته اند و بیشتر ذرات چند حوزه ای، تک حوزه ای پایدار و کانی های فری مگنتیک در گرد و غبار این مناطق حضور دارند که طی فعالیت های آنتروپوژنیک به محیط وارد شده اند. همبستگی معنی دار بین  $\chi_{fd}$ ٪ و  $\chi_{lf}$ ٪ نیز مؤید این مطلب است. از بین مناطق مورد مطالعه نیز مشخصه  $\chi_{fd}$ ٪ در منطقه صنعتی پایین تر به دست آمد که مبین فعالیت بیشتر منابع انسانی در تولید ذرات مغناطیسی در این منطقه است.

میزان پذیرفتاری مغناطیسی از میان فلزات اندازه گیری شده فقط با فلزات آهن و منگنز همبستگی مثبت و معنی داری نشان می دهد. این بدین معنی است که این روش می تواند در شناسایی مناطق آلوده به این دو فلز راهگشا باشد، اما بتهایی ابزار مناسبی برای تعیین وضعیت آلودگی کل فلزات سنگین در گرد و غبار نیست.

### یادداشت ها

- 1-Hemostasis
- 2-Magnetometry
- 3-Magnetic Susceptibility
- 4-Airborne
- 5-Ferromagnetism
- 6-Ferrimagnetism
- 7-Cantedantiferromagnetic
- 8-Paramagnetism
- 9-Diamagnetism
- 10-Domain
- 11-Multi Domain
- 12-Stable Single Domain
- 13-Super paramagnetic



شکل شماره (۶): نمودار جعبه ای تغییرات غلظت کل فلزات آهن و منگنز اندازه گیری شده و میزان پذیرفتاری مغناطیسی در نمونه های گرد و غبار جمع آوری شده از موقعیت های مختلف (میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ ندارند.)



**منابع مورد استفاده**

- اولیائی، ح. ر. و همکاران. ۱۳۸۸. توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در ارتباط با ترکیبات آهن در برخی خاکهای انتخابی استان فارس. مجله پژوهش‌های خاک علوم خاک و آب. ۲۳ (۲): ۱۹۱-۲۰۴.
- دنکوب، ز. ۱۳۸۹. ارتباط مکانی پذیرفتاری مغناطیسی با غلظت کل برخی فلزات سنگین در خاکهای سطحی منطقه اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- Ayoubi, S., A., Jalalian, M.K., Eghbal. 2002. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two Aridisols from Isfahan, central Iran. PP. 49-50. In: Faz, A., R. Ortiz and A. R. Mermut (Eds.). International Conference of SUMASS. Spain.
- Chen, M., L.Q., Ma. 1998. Comparison of four USEPA digestion methods for trace metal analysis using certified and Florida soils. J. Environ. Qual. 27: 1294-1330.
- Dearing, J.A. 1999. Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 system. Chi Publishing, England. PP. 54.
- Dearing, J.A., et al. 1996. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. Geophys. J. Int. 127: 728-734.
- Duong, T.T.T., B.K., Lee. 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. J. Environ. Manag. 92: 554-562.
- El-Hasan, T., A. Al-Nawiseh, M.S., Lataifeh. 2009. Environmental Magnetism: Heavy metal concentrations in soils as a function of magnetic materials content. Jordan J. Earth Environ. Sci. 2: 38-49.
- Gautam, P., U., Blaha, E., Appel. 2005. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal. Atmos. Environ. 39: 2201-2211.
- Goddu, S.R., et al. 2004. Magnetic properties of road dust from Visakhapatnam (India) relationship to industrial pollution and road traffic. Phys. Chem. Earth 29: 985-995.
- Hay, K.L., et al. 1997. A preliminary attempt to identify atmospherically derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. Phys. Chem. Earth 22: 207-210.
- Hojati, S., et al. 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains. Catena 88: 27-36.
- Jiang, Q., et al. 2010. Magnetic properties of urban topsoil in Baoshan district, Shanghai and its environmental implication. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Karimi, R., et al. 2011. Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran. J. App. Geophys. 74: 1-7.
- Leung, A.O.W., et al. 2008. Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and human health implications in Southeast China. Environ. Sci. Technol. 42: 2674-2680.
- Loppert, R.H., W.P., Inskeep. 1996. Iron. PP. 639-664. In: Sparks, D. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am.
- Lu, S.G., S.Q., Bai, Q.F., Xue. 2007. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China. Geophys. J. Int. 171: 568-580.

- Lu,S.G., Y.W.,Zheng , S.Q.,Bai. 2008. A HRTEM/EDX approach to identification of the source of dust particles on urban tree leaves. *Atmos. Environ.* 42: 6431-6441.
- Maher,B.A. 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessicpaleosols: paleoclimatic implications. *Paleoecology* 137: 25-54.
- McBride, M. B. 1986. Magnetic Methods. PP. 219-270. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part1, Physical and Mineralogical Methods.* 2<sup>nd</sup> ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
- Meza-Figueroa,D., M.D.,O-Villanueva , M.L.D.,Parra. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmos. Environ.* 41: 276-288.
- Modaihsh,A.S. 1997. Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. *J. Arid Environ.* 36: 211-223.
- Ng,S., et al. 2003. Heavy metal contents and magnetic properties of playground dust in Hong Kong. *Environ. Monit. Assess.* 89: 221-232.
- Preciado,H.F. , L.Y.,Li. 2006.Evaluation of metal loadings and bioavability in air, water and soil along two highways of British Columbia, Canada.*Water Air Soil Pollut.* 172: 81-108.
- Rashed,M.N. 2008.Total and extractable heavy metals in indoor, outdoor and street dust from Aswan city, Egypt. *Clean J.* 36: 850-857.
- Reynols,R.L. , H.L.,Goldstein. 2010. Atmospheric mineral dust in dryland ecosystems: Applications of environmental magnetism. *Geochem.Geophys.Geosystems* 11: 1-20.
- Shinggu,D.Y., et al. 2007. Analysis of street dust for heavy metal pollutants in Mubi, Adamawa, Nijeria. *Int. J. Phys. Sci.* 2: 290-293.
- Shaheen,N., M.H.,Shah , M.,Jaffar. 2005. A study of airborne selected metals and particle size distribution in relation to climatic variables and their source identification. *Water Air Soil Pollut.* 164: 275-294.
- Tokalioglu,S. , S.,Kartal. 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District a Kayseri (Turkey). *Atmos. Environ.* 40: 2797-2805.
- Wedyan,M., K.I.,Altaif , S.,Aladaileh. 2009. Heavy metals in wet deposition of south of Jordan. *European J. Sci. Res.* 4: 554-560.
- Wei,B. , L.,Yang. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 94: 99-107.
- Yi,,S., et al. 2006. Atmospheric dry deposition of trace elements measured around the urban and industrially impacted NY–NJ harbor. *Atmos. Environ.* 40: 6626-6637.
- Zheng,N., et al. 2010. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, northeast of China. *Sci. Total Environ.* 408: 726-733.