



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی و همبستگی آن با برخی فلزات سنگین در گرد و غبار شهر کرمان

فریبا جعفری^۱ و *حسین خادمی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: فرونشست گرد و غبار به‌طور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان اتفاق می‌افتد. به‌دلیل این‌که ذرات گرد و غبار دارای اندازه ریز هستند، جذب سطحی بالا و در نتیجه امکان انتقال آلودگی بالایی دارند. بنابراین فلزات سنگین با اتصال به آن‌ها، می‌توانند در مقیاس وسیعی منتشر شوند. گرد و غبار در مناطق شهری خسارات فراوانی به ساکنین آن‌ها وارد می‌نماید. هدف از این مطالعه، بررسی توزیع زمانی و مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و همبستگی آن با برخی فلزات سنگین در گرد و غبار شهر کرمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های گرد و غبار به‌وسیله تله‌های شیشه‌ای نصب شده بر روی پشت‌بام ساختمان‌های یک طبقه در ۳۵ نقطه شهر کرمان به‌صورت ماهانه طی اردیبهشت تا پایان آبان ۱۳۹۱ (مجموعاً ۲۴۵ نمونه) جمع‌آوری شد. همچنین پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های گرد و غبار با استفاده از حسگر MS2B تعیین گردید. غلظت کل فلزات سرب، روی، منگنز، نیکل و مس بعد از هضم با اسید نیتریک ۶ نرمال توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید.

یافته‌ها: توزیع زمانی پذیرفتاری مغناطیسی نشان داد که بیش‌ترین آن در آبان ($3.89 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) و کم‌ترین آن مربوط به تیر ($2.69 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) و مرداد ($2.61 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) است که با روند تغییرات زمانی غلظت فلزات سنگین مس، سرب و روی همخوانی دارد. همچنین بررسی پراکنش مکانی نشان داد که بیش‌ترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی مربوط به غرب کرمان است که از تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین مس، سرب و روی پیروی می‌کند. **نتیجه‌گیری:** توپوگرافی نقش مهمی در افزایش غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار در نیمه غربی کرمان ایفا می‌نماید. با توجه به نقش اقدامات انسانی در افزایش غلظت آلاینده‌ها در کرمان لازم است اقدامات مدیریتی مناسب در راستای کاهش آلودگی صنایع مختلف این شهر صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: پذیرفتاری مغناطیسی، شهر کرمان، فلزات سنگین، گرد و غبار اتمسفری

* مسئول مکاتبه: hkhademi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم جوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، گرد و غبار می‌باشد که از جمله مهم‌ترین مسایل زیست‌محیطی در این مناطق محسوب می‌شود (۱۳). ذرات گرد و غبار اغلب دارای اندازه ریز (رس و سیلت) می‌باشند و می‌توانند به فواصل بسیار دور انتقال یابند و در نهایت به صورت خشک و یا مرطوب ترسیب شوند. بنابراین تأثیر آن‌ها تنها محدود به محل وقوع آن‌ها نیست و می‌توانند در مناطق دورتر نیز اثرات سوء خود را بر جای گذارند. ذرات رس موجود در گرد و غبار به دلیل داشتن جذب سطحی بالاتر برای جذب مواد آلی و معدنی، خطرناک‌تر از ذرات سیلت عمل می‌نمایند و احتمال آلودگی ذرات گرد و غبار با مواد شیمیایی، بیولوژیکی و رادیواکتیو بسیار بالاست؛ به طوری که مقدار عناصر سنگین مانند اورانیوم، توریم، آرسنیک، سرب، روی، نیکل و کبالت در این نمونه‌ها بالاتر از حد طبیعی می‌باشد (۱۱). این عناصر معمولاً غیرقابل تجزیه بوده و سطوح بالای آن‌ها محیط زیست را آلوده و زندگی موجودات زنده را تهدید می‌کند (۳۰).

آلاینده‌های صنعتی و ترافیک، از جمله مشکلات جدی برای کشورهای در حال توسعه می‌باشند. بنابراین، برای تشخیص آلودگی‌های زیست‌محیطی، روش‌های سریع و مقرون به صرفه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. یکی از این روش‌ها، روش مغناطیس‌سنجی^۱ به‌ویژه روش پذیرفتاری مغناطیسی^۲ است که روشی سریع، نسبتاً ارزان و غیرمخرب است. آلاینده‌های با منشأ انسانی همواره همراه با ذرات مغناطیسی می‌باشند که اثر قابل‌توجهی بر شدت مغناطیسی می‌گذارند (۶). پذیرفتاری مغناطیسی در علوم زمین و علوم زیست‌محیطی و به‌طور گسترده

جهت بررسی آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های مختلف از جمله برگ درختان کنار جاده، ذرات معلق و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳).

رفتارهای مغناطیسی اجسام در ۵ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که شامل فرومگنتیسم^۳ (مانند آهن خالص با حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی)، فری‌مگنتیسم^۴ (مانند مگنتیت و مگهمیت)، کتند آنتی‌فرومگنتیسم^۵ (مانند هماتیت و گئوتیت)، پارامگنتیسم^۶ (مانند لپیدوکروسیت) و دیامگنتیسم^۷ (مانند کوارتز، آهک، گچ و ماده آلی با حداقل پذیرفتاری مغناطیسی) می‌باشند (۲۱). اولین نشانه غلظت کانی‌های فری‌مگنتیک در گرد و غبار پذیرفتاری مغناطیسی بالا می‌باشد. از این‌رو، اندازه‌گیری مغناطیس گرد و غبار می‌تواند به‌عنوان ابزار مکمل برای روش‌های ژئوشیمیایی معمول به‌کار گرفته شود (۱۶). پذیرفتاری مغناطیسی، تابع ویژگی‌های جسم از جمله کانی‌شناسی، غلظت، اندازه ذرات، شکل و کشیدگی و روش اندازه‌گیری (درجه حرارت و فرکانس‌های مختلف) می‌باشد (۱۸).

همبستگی بالای بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت کل فلزات سنگین در گرد و غبار می‌تواند برای ارزیابی سریع غلظت و نحوه توزیع فلزات سنگین به‌کار برده شود (۱۶). پژوهشگران طی مطالعات خود به این نتیجه رسیده‌اند که ذرات مغناطیسی در گرد و غبار خیابانی، به‌طور عمده از فعالیت‌های انسانی از جمله حمل و نقل، سایش لاستیک، کارخانه سیمان و مصالح ساختمانی سرچشمه می‌گیرند (۲۴). دنکوب و همکاران (۲۰۱۲) طی بررسی پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت برخی فلزات سنگین خاک‌های

3- Ferromagnetism
4- Ferrimagnetism
5- Antiferromagnetic
6- Paramagnetism
7- Diamagnetism

1- Magnetometry
2- Magnetic Susceptibility

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، منطقه شهری کرمان بوده است که در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰۱ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی قرار گرفته است. معادن و کارخانجات بسیار زیادی در محدوده شهر کرمان قرار دارند که از آن جمله می‌توان به معدن زغال‌سنگ کرمان در شمال، گروه صنعتی لاستیک بارز در جنوب، کارخانه سیمان کرمان، سیمان ممتازان و معدن مس شهید باهنر کرمان در جنوب‌غرب و نیسان بتن کرمان در غرب اشاره کرد (شکل ۱). کرمان دارای آب و هوای خشک با بارندگی متوسط سالانه ۱۴۲ میلی‌متر می‌باشد. اطراف کرمان را کوه‌های مرتفع از جمله کوه بادامویه در غرب، پلوار در شرق و جوپار در جنوب در بر گرفته است.

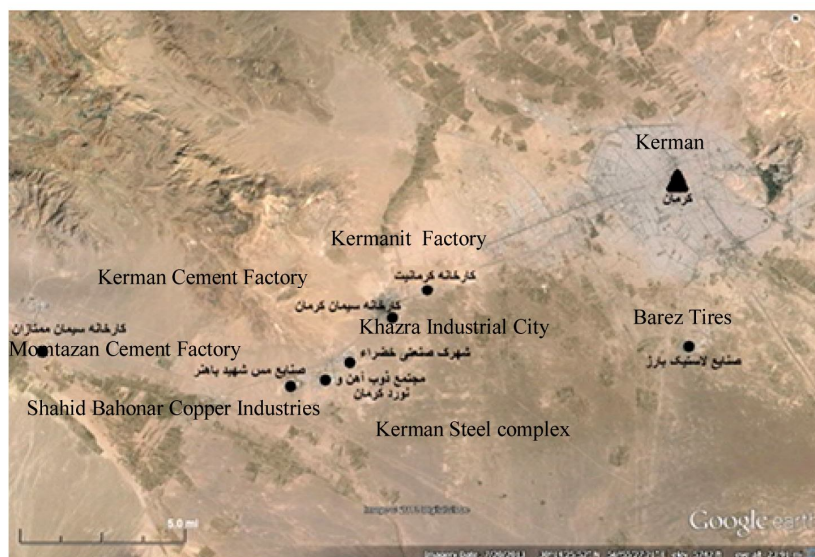
نمونه‌برداری گرد و غبار: نمونه‌برداری گرد و غبار مجموعاً در ۳۵ نقطه مختلف شهر کرمان صورت گرفت. توزیع نقاط نمونه‌برداری به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد که موقعیت‌های متفاوت شهری (مرکز و حاشیه‌ها) را در بر گیرد (شکل ۲). امروزه برای برآورد غبار ریزشی دو روش محاسبات تئوری و اندازه‌گیری آزمایشگاهی وجود دارد. در روش آزمایشگاهی، برای جمع‌آوری غبار از نمونه‌گیر و تله‌های رسوبگیر استفاده می‌شود (۲۹). تله‌های نمونه‌گیر گرد و غبار مورد استفاده در این مطالعه، متشکل از صفحات شیشه‌ای مربعی شکل با ابعاد ۱×۱ متر و یک مش پلاستیکی با منافذ ۲×۲ میلی‌متر بوده و جهت به دام انداختن گرد و غبار موجود در هوا مش پلاستیکی به‌وسیله ۸ پیچ به آن متصل گردید (۹). به‌منظور نمونه‌گیری، در هر نقطه بر روی پشت بام ساختمان‌های یک طبقه (دارای ارتفاع حدود ۳ متر از سطح زمین) تعداد ۲ عدد تله رسوبگیر نصب گردید (شکل ۳).

سطحی اطراف اصفهان بیان کردند که غلظت فلزات مس، روی، سرب، آهن و منگنز همبستگی مثبت و معنی‌داری با پذیرفتاری مغناطیسی دارد و علت آن را انتشار آلودگی‌های حاصل از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی در منطقه مطالعاتی دانستند (۱). گاتام و همکاران (۲۰۰۵) طی پژوهشی در نپال، بر روی پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار موجود بر روی برگ گیاهان کنار خیابان به‌عنوان شاخص آلودگی به فلزات سنگین، به وجود رابطه معنی‌دار خطی بین غلظت فلزات سنگین و میزان پذیرفتاری مغناطیسی اشاره کردند. ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین و میزان پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار برای آهن، کُرْم و روی بیش از ۰/۸، برای مس و منگنز بیش از ۰/۷ و برای سرب و نیکل بیش‌تر از ۰/۶ به‌دست آمد که نشان‌دهنده همبستگی خوب بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت این فلزات در گرد و غبار می‌باشد (۴). همچنین وانگ و همکاران (۲۰۰۸) طی بررسی تنوع زمانی و مکانی خواص مغناطیسی گرد و غبار خیابانی در لاندزوی چین گزارش کردند که بیش‌ترین غلظت مواد مغناطیسی در بهار و زمستان و همچنین از نظر پراکندگی مکانی، متناسب با صنایع سنگین، تراکم ترافیک و منازل بوده است (۳۳).

با توجه به این‌که کرمان از شهرهای مهم صنعتی ایران می‌باشد و کارخانجات مختلفی در اطراف آن قرار دارد اما تاکنون مطالعه جامعی بر روی آلاینده‌های گرد و غبار این شهر صورت نگرفته است. بنابراین این پژوهش، به بررسی توزیع زمانی و مکانی پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار و همچنین همبستگی آن با غلظت فلزات سنگین گرد و غبار شهر کرمان می‌پردازد.

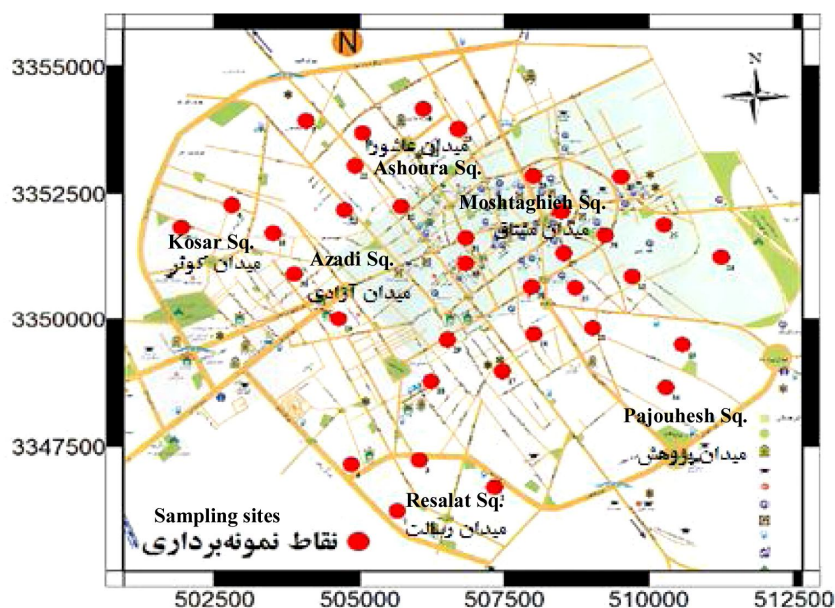
مهر و آبان طوری جمع‌آوری شدند که بارش باران در آن خللی ایجاد نکرد. پس از هر بار نمونه‌برداری، تله‌ها شسته شده و نمونه‌ها درون ظروف دربسته پلاستیکی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. با توجه به عدم تداخل بارندگی با نمونه‌گیری، همه نمونه‌های برداشت شده رسوب خشک تلقی می‌شوند.

نمونه‌های گرد و غبار در طی ۷ دوره از اردیبهشت تا آبان ماه ۱۳۹۱ جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری بدین صورت انجام پذیرفت که در ماه اردیبهشت به دلیل احتمال بارندگی در دو نوبت (اواسط و پایان ماه) و در دیگر ماه‌ها (خرداد تا آبان) فقط در یک نوبت در پایان ماه صورت گرفت. نمونه‌های گرد و غبار در ماه‌های



شکل ۱- برخی از مراکز صنعتی اطراف شهر کرمان.

Figure 1. Selected industrial manufacturers around the city of Kerman.



شکل ۲- نحوه توزیع نقاط نمونه‌برداری گرد و غبار در شهر کرمان (مقیاس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰).

Figure 2. Distribution of dust sampling sites in Kerman (scale 1: 250,000).



شکل ۳- تله مورد استفاده جهت نمونه‌گیری گرد و غبار.

Figure 3. The sampler used for dust collection.

فرکانس پایین و $\chi_{hf} =$ پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا.

هرچه اختلاف پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا و پایین بیشتر باشد، نشانگر دخالت بیش‌تر ذرات مغناطیسی کوچک‌تر از $0.2 \mu\text{m}$ (میکرومتر) غالباً منشأ طبیعی) می‌باشد (۲). χ_{lf} نشان‌دهنده سهم کل مواد مغناطیسی قوی، فری‌مگنتیک (مگنتیت و مگهمیت) است (۲۲).

توصیف آماری داده‌ها: برای توصیف نتایج آزمایشگاهی و تهیه خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. همچنین برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های دارای توزیع نرمال، از ضریب پیرسون استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل‌های مکانی: برای پهنه‌بندی نتایج به‌دست آمده از روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله^۱ استفاده شد. درون‌یابی عبارت است از برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند

بررسی‌های آزمایشگاهی: پس از جمع‌آوری نمونه‌های گرد و غبار، غلظت کل فلزات سنگین روی، منگنز، نیکل و مس بعد از هضم با اسید نیتریک ۶ نرمال (۲۰) توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکین‌المر ۳۰۳۰ و سرب به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Analyst 200 اندازه‌گیری شد.

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های گرد و غبار با استفاده از دستگاه Bartington MS2 Dual-Frequency Sensor و حسگر MS2B در دو فرکانس 0.46 و $4/6$ کیلوهرتز اندازه‌گیری شد. به‌منظور کاهش مقدار خطای آزمایش، برای هر نمونه سه قرائت انجام و در نهایت میانگین قرائت‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی پذیرفتاری مغناطیسی هر نمونه گزارش شد. پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\chi_{fd} = 100(\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \quad (1)$$

که در آن، $\chi_{fd} =$ پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (درصد)، $\chi_{lf} =$ پذیرفتاری مغناطیسی در

1- Inverse Distance Weighting

با توجه به شکل ۴ مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در ماه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بیش‌ترین پذیرفتاری مغناطیسی مربوط به ماه آبان و کم‌ترین میزان مربوط به ماه‌های تیر و مرداد است. بنابراین بیش‌ترین تفاوت معنی‌دار، بین این ماه‌ها وجود دارد که علت آن را می‌توان ناشی از تنوع ورود مواد مغناطیسی به گرد و غبار دانست و در مقایسه روند تغییرات زمانی χ_{hf} با روند تغییرات زمانی غلظت فلزات سنگین (شکل ۵) دیده می‌شود که تغییرات χ_{hf} از روند مشابه فلزات مس، سرب و روی پیروی می‌کند و با افزایش غلظت این فلزات میزان پذیرفتاری مغناطیسی نیز افزایش یافته است. محمودی (۲۰۱۲) طی ۵ ماه پژوهش بر روی پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار اتمسفری شهر اصفهان گزارش کرد که بیش‌ترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا و پایین مربوط به منطقه صنعتی و در دوره آبان- آذر بوده است. وی علت این موضوع را به افزایش غلظت فلزات سنگین ناشی از وارونگی دما نسبت داد. در حقیقت سردی هوا و به‌ویژه غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار در نزدیکی سطح زمین در مناطق شهری افزایش می‌یابد که علت آن عدم تحرک توده هوای سرد می‌باشد (۱۹).

کیم و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند به دلیل تنوع ورود مواد مغناطیسی ناشی از فعالیت‌های انسانی، پذیرفتاری مغناطیسی از نظر غلظت و اندازه ذرات در طی فصول مختلف (حداکثر در زمستان و حداقل در تابستان) متفاوت می‌باشد (۱۲). لو و همکاران (۲۰۰۵) در چین خواص مغناطیسی و غلظت کل فلزات سنگین مس، کادمیوم، سرب و آهن را بر روی نمونه‌های ذرات خروجی از اتومبیل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر حضور ذرات مغناطیسی و میزان قابل توجهی فلزات سنگین در ذرات منتشر شده از اتومبیل بود. در این پژوهش رابطه مثبت و

(۵)، که به دو شیوه کلی می‌باشد. روش اول مطلق بوده که در آن درون‌یابی براساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله IDW) یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی) صورت می‌گیرد. روش دوم درون‌یابی زمین‌آمار است که کریجینگ نامیده می‌شود و براساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده می‌باشد (۷). در روش وزن‌دهی عکس فاصله از رابطه ۲ استفاده می‌شود.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n Z_i W_i / \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

که در آن، فواصل بین نقاط به‌عنوان وزن (W_i) مدل به‌کار می‌رود. معمولاً از توان دوم معکوس فواصل ($W_i = 1/d_i^2$) استفاده می‌شود. اما به هر حال توان بهینه با محاسبه حداقل مربع خطای پیش‌بینی (RMSPE)^۱ به‌دست خواهد آمد (۳۴).

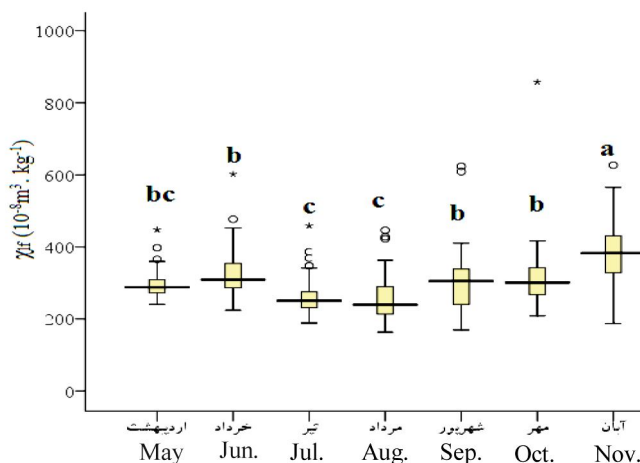
نتایج و بحث

پراکنش زمانی پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین گرد و غبار اتمسفری: در این پژوهش، میزان همبستگی مثبت و معنی‌دار بین χ_{hf} با χ_{fd} و به ترتیب ۹۹/۹۷٪ و ۵۲/۰- به‌دست آمد (جدول ۱). به دلیل همبستگی بالای χ_{hf} با χ_{fd} از بین این دو پارامتر χ_{hf} انتخاب و در ادامه پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. همبستگی معنی‌دار بین χ_{hf} و χ_{fd} به این مطلب اشاره می‌کند که ذرات چندحوزه‌ای (MD) و تک‌حوزه‌ای پایدار (SSD) ناشی از فعالیت‌های آنتروپوژنیک در گرد و غبار غالب می‌باشند (۱۰). در شکل ۴ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داده شده است.

1- Root Mean Square Predication Error

اساس این پژوهشگران اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی را شاخص اولیه مناسبی جهت تشخیص آلودگی مس و سرب دانستند (۱۷).

معنی‌داری بین غلظت کل آهن، مس و سرب با پارامترهای مغناطیسی مشاهده گردید. پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی به‌صورت خطی با افزایش غلظت فلزات مس و سرب افزایش نشان دادند. بر این

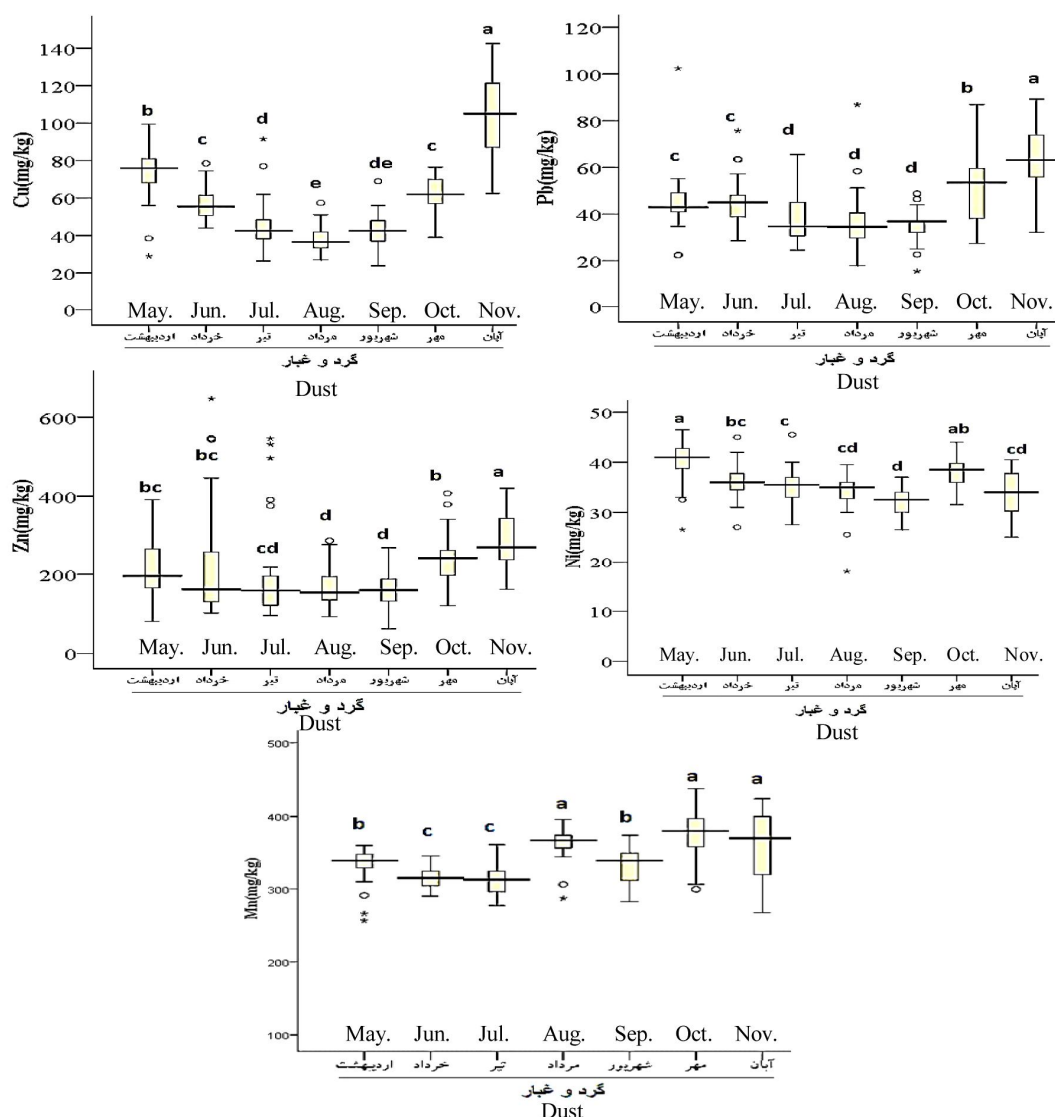


شکل ۴- نمودار جعبه‌ای پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین در گرد و غبار ماه‌های مختلف (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 4. Box-plot of low-frequency magnetic susceptibility of dust in different months (Means with similar letters are not significantly different at $P < 0.05$ based on Duncan's test).

از آن عبور کرده‌اند و نیز شرایط جوی متفاوت است، بنابراین گرد و غبار شهری شاخص خوبی برای سطح و نحوه توزیع آلاینده‌ها در محیط زیست می‌باشد (۳). طی پژوهشی بر روی توزیع زمانی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار در پاکستان مشخص شد که مقدار گرد و غبار و غلظت کلسیم، آهن، پتاسیم، منیزیم، منگنز و نقره موجود در آن با درجه حرارت، سرعت باد و تبخیر رابطه مستقیم و با میزان رطوبت رابطه عکس دارد، در حالی‌که سرب، روی، کبالت و کادمیوم موجود در گرد و غبار همبستگی مثبت و قابل توجهی با میزان رطوبت و همبستگی منفی با درجه حرارت و سرعت باد دارند (۲۸).

همچنین با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود تغییرات زمانی غلظت فلزات مس، روی و سرب بدین صورت می‌باشد که میزان غلظت در اردیبهشت ماه زیاد بوده است، سپس با آغاز فصل تابستان کاهش یافته و دوباره در فصل پاییز افزایش یافته است. بنابراین با در نظر گرفتن شرایط دمایی در ماه‌های مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که بین غلظت فلزات سنگین مس، روی و سرب و دما رابطه عکس وجود دارد. با توجه به این‌که این روند تغییر غلظت در مورد دو عنصر نیکل و منگنز صدق نمی‌کند، می‌توان احتمال داد که به دلیل تفاوت در منشأ این دو گروه فلز باشد. مطالعات نشان می‌دهد که ترکیب فلزات سنگین موجود در گرد و غبار اتمسفری با توجه به مناطقی که

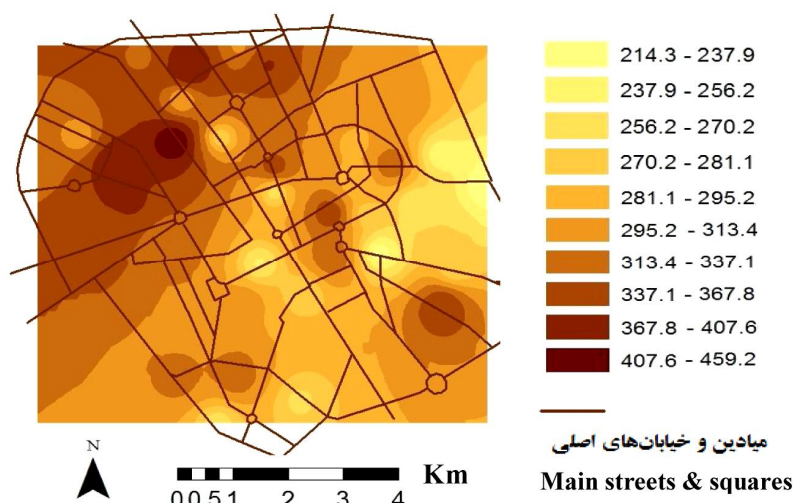


شکل ۵- نمودار جعبه‌ای تغییرات غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه، موجود در نمونه‌های گرد و غبار (میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند).

Figure 5. Box plot of the concentration of heavy metals in dust samples (Means with similar letters are not significantly different at $P < 0.05$).

پراکنش غلظت سه عنصر مس، سرب و روی پیروی می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که تغییرات مکانی غلظت سه عنصر مس، روی و سرب مشابه بوده و متفاوت از پراکنش مکانی دو عنصر نیکل و منگنز است. بنابراین، این نتیجه که احتمالاً منشأ این دو گروه از فلزات سنگین متفاوت می‌باشد را بیش‌تر تأیید می‌نماید.

پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین گرد و غبار اتمسفری: الگوی پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در شکل ۶ نشان داده شده است. این الگو بیانگر آن است که بیش‌ترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در نیمه غربی شهر کرمان تمرکز یافته است که در بررسی پراکنش مکانی غلظت عناصر مورد مطالعه (شکل ۷) نیز دیده می‌شود از



شکل ۶- الگوی پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی (χ_{lf}) گرد و غبار اتمسفری شهر کرمان طی ۷ ماه نمونه‌برداری (موقعیت‌ها مشابه شکل ۲).

Figure 6. Spatial distribution pattern of magnetic susceptibility (χ_{lf}) of atmospheric dust in Kerman during the 7-month sampling (locations similar to Figure 2).

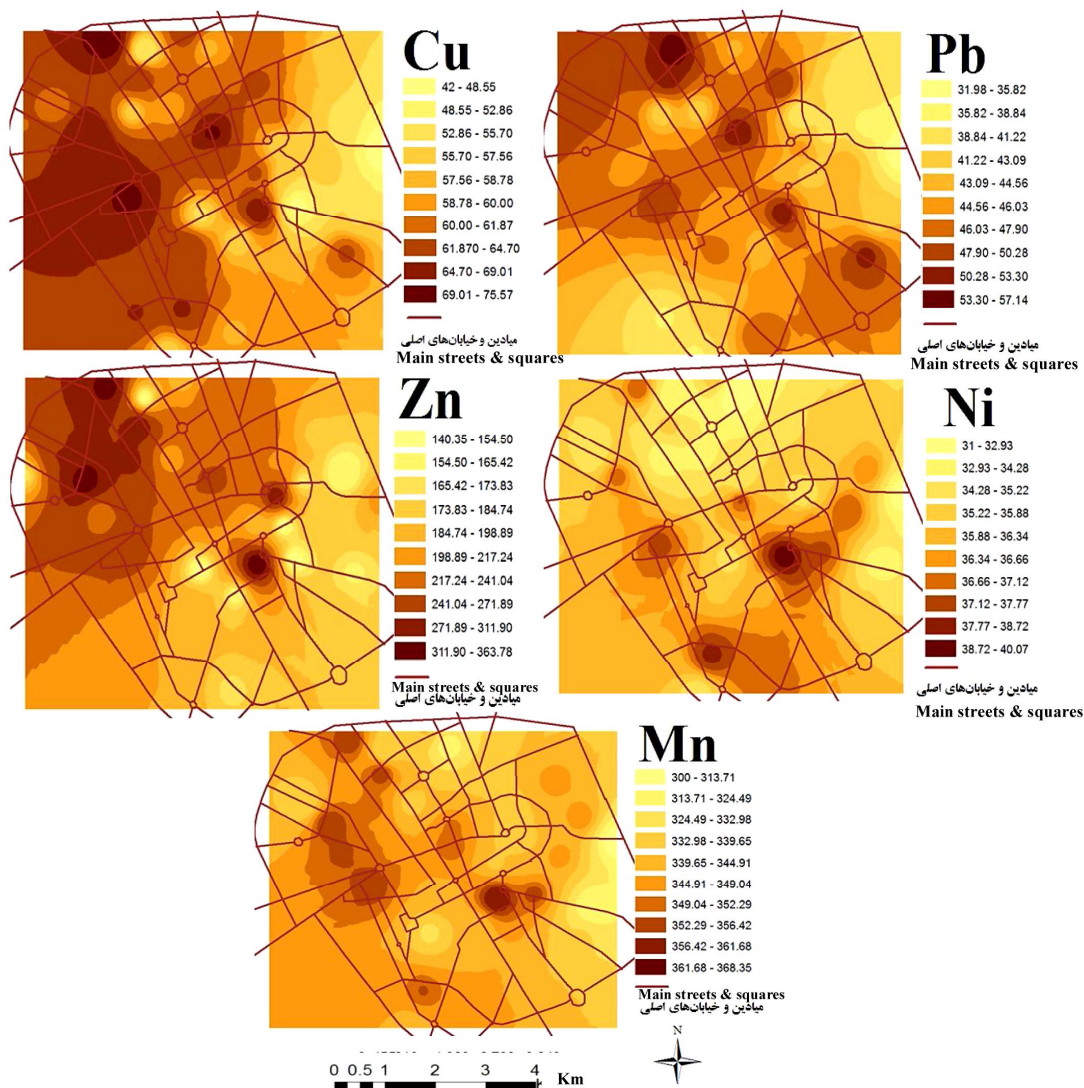
ذرات فری‌مگنتیک در مناطق شهری و سایت‌های مستقر در مسیر باد مراکز صنعتی اشاره کرده‌اند (۸، ۳۷). مواد معدنی مغناطیسی اغلب به‌عنوان مخزن فلزات سنگینی هم‌چون مس، سرب، روی، کادمیوم و کروم محسوب می‌شوند (۴). آلودگی حاصل از فعالیت‌های صنعتی و معادن بسیار گسترده و خطرناک است. غبار اتمسفری ذوب‌کننده‌ها و معادن سهم زیادی در آلودگی عناصر سنگین موجود در گرد و غبار دارند (۲۵).

طی پژوهشی در چین، بر روی توزیع مکانی گرد و غبار بیان شد که الگوی توزیع مکانی مس، سرب، کروم و روی یکسان بوده و جاده‌های اصلی با تراکم ترافیک زیاد، دارای غلظت زیاد می‌باشند. همچنین نیکل و منگنز دارای توزیع مکانی مشابهی بودند که به حضور مناطق صنعتی در آن ناحیه نسبت داده شد (۳۵). محمودی (۲۰۱۲) در بررسی گرد و غبار اتمسفری اصفهان، منطقه مورد مطالعه را به سه بخش شامل، منطقه شهری صنعتی شامل زرین‌شهر و مبارکه

همچنین می‌توان نتیجه گرفت که عمدتاً تجمع غلظت فلزات سنگین در نیمه غربی کرمان است که مربوط به مناطق کوهستانی اطراف شهر و همچنین فعالیت بیشتر معادن و کارخانجات صنعتی در نیمه غربی می‌باشد. اطراف کرمان را به‌جز در قسمت‌های شمال و جنوب‌غرب، مناطق کوهستانی تشکیل داده است و همچنین بیش‌تر کارخانه‌های صنعتی در جنوب‌غربی کرمان واقع شده‌اند. بنابراین، کوه‌های واقع در غرب و جنوب کرمان موجب کانالیزه شدن باد شده و در نتیجه آلاینده‌های ناشی از فعالیت کارخانجات به راحتی توسط باد به داخل شهر منتقل می‌شوند. بنابراین می‌توان احتمال داد که فلزات مس، سرب و روی عمدتاً مشتق شده از منابع صنعتی و ترافیک می‌باشند و نیکل و منگنز از منابع طبیعی سرچشمه گرفته‌اند. هر چند که مطالعات متعددی (۱۹، ۲۲)، افزایش غلظت نیکل در گرد و غبار شهری را نیز به منابع انسانی نسبت داده‌اند. پژوهش‌های فراوانی به افزایش قابل‌توجه گرد و غبار و خاک به

(۲۰۱۲) در بررسی گرد و غبار شهری تهران، منابع فلزات سنگین را فعالیت‌های انسانی از جمله ترافیک سنگین خودروها، احتراق سوخت‌های فسیلی، مواد افزودنی به سوخت خودروها، خوردگی سطوح فلزی اتومبیل‌ها و مصالح ساختمانی دانستند (۲۶).

(حداکثر غلظت آهن و منگنز)، منطقه شهری با ترافیک سنگین شامل شهر اصفهان (حداکثر غلظت مس و نیکل) و منطقه شهری با ترافیک کم شامل فلاورجان و خمینی شهر (حداکثر غلظت سرب، روی و کادمیوم) تفکیک کرد (۱۹). سلمان‌زاده و همکاران



شکل ۷- نقشه‌های پراکنش متوسط غلظت فلزات سنگین موجود در فرونشست اتمسفری (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در طی ۷ ماه نمونه‌برداری در سطح شهر کرمان بر اساس وزن‌دهی عکس فاصله (موقعیت‌ها مشابه شکل ۲).

Figure 7. Distribution maps of the mean concentrations of heavy metals in atmospheric dust (mg.kg^{-1}) in seven months of sampling in Kerman based on IDW (locations similar to Figure 2).

همبستگی پارامترهای مغناطیسی با فلزات سنگین: همبستگی بالای بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت کل فلزات سنگین در گرد و غبار، می‌تواند برای ارزیابی سریع غلظت و نحوه توزیع فلزات سنگین به‌کار برده شود (۱۶). ضرایب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مغناطیسی و غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در متوسط ۷ ماه نمونه‌برداری گرد و غبار در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱، نتیجه گرفته می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مس، سرب و روی با χ_{fd} وجود دارد. همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و مس، سرب و روی احتمالاً می‌تواند ناشی از وارد شدن این فلزات به داخل شبکه بلوری کانی‌های فری‌مگنتیک، طی فرآیندهای مربوط به تشکیل کانی‌های فری‌مگنتیک و خروج دود از وسایل نقلیه و صنعت یا جذب سطحی این فلزات بر روی سطح کانی‌های فری‌مگنتیک باشد (۱۴). لو و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه گرد و غبار اطراف جاده در چین دریافتند که گرد و غبار تحت تأثیر فعالیت‌های آنتروپوژنیک سیگنال مغناطیسی بالاتر از نمونه شاهد طبیعی نشان داد. از میان هفت فلز سنگین مورد مطالعه در این پژوهش آهن، منگنز و مس همبستگی خیلی بالایی با پارامترهای مغناطیسی نشان دادند. کُرْم، سرب و روی نیز همبستگی معنی‌داری با پذیرفتاری مغناطیسی نشان دادند که نشانگر آنتروپوژنیک بودن ذرات مغناطیسی است، یعنی ذرات مغناطیسی و فلزات سنگین با همدیگر در گرد و غبار حضور دارند. این رابطه همچنین می‌تواند به دلیل این حقیقت باشد که فلزات سنگین درون ساختمان شبکه فری‌مگنتیک در طی فرآیند سوختن تثبیت شده‌اند یا این‌که این فلزات بر سطح کانی‌های

فری‌مگنتیک در محیط زیست جذب می‌شوند. بنابراین پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند روش مناسبی جهت تشخیص مناطق آلوده به این فلزات به‌کار رود (۱۶). لو و همکاران (۲۰۰۸) همبستگی بالایی را بین χ_{fd} و غلظت فلزات روی و مس در نمونه‌های خاک گزارش کردند (۱۵). یانگ و همکاران (۲۰۱۱) همبستگی بالایی بین فلزات سنگین با خواص مغناطیسی گرد و غبار جاده‌ای در چین گزارش کردند. همچنین آن‌ها غلظت بالای عناصر مس، نیکل و آهن را به ترافیک خودرو، که منبع اصلی ذرات چندحوزه‌ای می‌باشند، نسبت دادند (۳۶).

همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بین فلزات مورد مطالعه تنها نیکل با χ_{fd} همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) طی پژوهشی بر روی همبستگی فلزات سنگین با خواص پذیرفتاری مغناطیسی گرد و غبار شهری در چین، گزارش کردند که اغلب χ_{fd} همبستگی ضعیف و منفی معنی‌داری به‌جز با عناصر تیتانیوم و عناصر پر مصرف مثل پتاسیم داشته است (۳۲). طی پژوهشی در هند بیان شد غلظت عناصر در گرد و غبار تحت تأثیر فاکتورهای هواشناسی، شرایط جغرافیایی و منابع تولید ذرات مانند منابع صنعتی، ترافیک، فعالیت‌های کشاورزی و منابع طبیعی تولید گرد و غبار می‌باشد (۳۱). فلزات سنگینی از قبیل سرب، روی، مس و کادمیوم شاخص‌های خوبی جهت شناسایی آلاینده‌های گرد و غبار شهری می‌باشند، زیرا این عناصر در صنایع، بنزین، اجزاء ماشین، روغن‌های روان‌کننده و مواد حاصل از سوزاندن زباله‌ها وجود دارند (۲۷).

جدول ۱- ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مغناطیسی با غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در گرد و غبار اتمسفری شهر کرمان طی ۷ ماه نمونه‌برداری.

Table 1. Pearson's correlation matrix between magnetic susceptibility and heavy metal concentration in atmospheric dust in Kerman during the 7-month sampling period.

%	$10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$		$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$						
	χ_{fd}	χ_{hf}	χ_{lf}	Mn (منگنز)	Ni (نیکل)	Zn (روی)	Pb (سرب)	Cu (مس)	
								1	Cu
								0.51**	Pb
						1	0.37*	0.58***	Zn
				1	0.11 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.48**		Ni
			1	0.8***	0.32 ^{ns}	0.31*	0.56***		Mn
		1	0.18 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.34*	0.41*	0.43**		χ_{lf}
	1	0.99***	0.18 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.34*	0.41*	0.43**		χ_{hf}
1	-0.53**	-0.52**	0.16 ^{ns}	0.44**	0.14 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	0.13 ^{ns}		χ_{fd}

نتیجه‌گیری

سنگین و در نتیجه افزایش پذیرفتاری مغناطیسی پی برده می‌شود و لازم است به شکل بهتری اقدامات مدیریتی در این زمینه صورت پذیرد. با توجه به این‌که بین غلظت فلزات سنگین و دما رابطه عکس وجود دارد، پیشنهاد می‌گردد که فعالیت صنایع ذکر شده در فصول سرد سال با کنترل بیش‌تری صورت پذیرد.

همچنین بررسی پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین، بیانگر آن است که تمرکز آلاینده‌ها در نیمه غربی کرمان بیش‌تر می‌باشد و در نتیجه پذیرفتاری مغناطیسی نیز در این نواحی بیش‌تر است.

نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد این است که موقعیت جغرافیایی شهر کرمان از یک طرف و اقدامات اشتباه انسانی از طرف دیگر، مهم‌ترین نقش را در بالابردن آلاینده‌های فلزی شهر کرمان داشته‌اند. زیرا اطراف کرمان را به جز قسمت‌های شمالی و جنوب‌غربی، کوهستان‌های مرتفع تشکیل داده است. توپوگرافی اطراف کرمان سبب شده که تمرکز

نتایج حاصل از پذیرفتاری مغناطیسی در ماه‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین فصول تابستان و پاییز وجود دارد. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان مربوط به آبان‌ماه و کم‌ترین آن مربوط به ماه‌های تیر و مرداد می‌باشد. همخوانی روند تغییرات زمانی χ_{lf} با روند تغییرات زمانی غلظت فلزات سنگین، به خوبی نشان می‌دهد که با افزایش غلظت فلزات سنگین، میزان پذیرفتاری مغناطیسی نیز افزایش می‌یابد. این موضوع به‌خصوص در مورد فلزات مس، سرب و روی بیش‌تر مشاهده می‌شود. به‌طور یقین، فعالیت کارخانجات صنعتی اطراف کرمان به‌خصوص صنعت مس شهید باهنر (۱۲ کیلومتری جنوب‌غرب کرمان) نقش به‌سزایی در افزایش غلظت فلزات سنگین (به‌عنوان مثال فلز مس) داشته‌اند. همچنین وجود سرب در سوخت سامانه حمل و نقل، باعث افزایش آلاینده‌هایی از قبیل سرب و روی می‌گردد. بنابر آنچه گفته شد، به نقش انسان در افزایش غلظت فلزات

کارخانجات صنعتی در جنوب غربی آن باشد. این امر سبب شده تا به راحتی همراه با باد، آلاینده‌ها وارد شهر کرمان شوند. در واقع دلیل تمرکز بیش‌تر فلزات سنگین در نیمه غربی همین موضوع می‌باشد. بنابراین انتخاب نامناسب محل صنایع در شهر کرمان یکی از علل اصلی آلودگی این شهر است که ایجاب می‌نماید در توسعه شهرهای بزرگ دیگر ایران و یا احداث شهرک‌های صنعتی به آن توجه شود.

منابع

1. Dankoub, Z., Khademi, H., and Ayoubi, S. 2012. Magnetic susceptibility and its relationship with the concentration of selected heavy metals and soil properties in surface soils of the Isfahan region. *J. Environ. Stud.* 38: 17-26. (In Persian)
2. Davila, A.F., Rey, D., Mohamed, K., Rubio, B., and Guerra, A.P. 2006. Mapping the sources of urban dust in a coastal environment by measuring magnetic parameters of *Platanus hispanica* leaves. *Environmental Science & Technology.* 40: 3922-3928.
3. Duzgoren-Aydin, N.S., Wong, C.S.C., Song, Z.G., Aydin, A., Li, X.D., and You, M. 2006. Fate of heavy metal contaminants in road and gully sediments in Guangzhou, SE China: A chemical and mineralogical assessment. *Human and Ecological Risk Assessment.* 12: 374-389.
4. Gautam, P., Blaha, U., and Appel, E. 2005. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal. *Atmospheric Environment.* 39: 2201-2211.
5. Ghahroudi Talley, M. 2005. *The Dissection of Three-Dimensional Geographic Information Systems.* Jihad University Press. (In Persian)
6. Goddu, S.R., Appel, E., Jordanova, D., and Wehland, F. 2004. Magnetic properties of road dust from Visakhapatnam (India)-Relationship to industrial pollution and road traffic. *Physics and Chemistry of the Earth.* 29: 985-995.
7. Habashi, H., Hosseini, M., Shetabi, S., and Mohammadi, J. 2006. Assessing the accuracy of interpolation methods for the estimation of total nitrogen in soils using GIS. *Third Conference on Geographic Information Systems, National Mapping Agency, Qeshm.* (In Persian)
8. Hanesch, M., Scholger, R., and Rey, D. 2003. Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves. *Atmospheric Environment.* 37: 5125-5133.
9. Hojati, S., Khademi, H., Cano, A.F., and Landi, A. 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between Central Iran and the Zagros mountains. *Catena.* 88: 27-36.
10. Jiang, Q., Hu, X., Wei, J., Li, S., and Li, Y. 2010. Magnetic properties of urban topsoil in Baoshan district, Shanghai and its environmental implication. *19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia.* Published on DVD.
11. Keramat, A., Marivani, B., and Samsam, M. 2011. Climatic change, drought and dust crisis in Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 57: 10-13.
12. Kim, W., Doh, S.J., and Park, Y.H. 2007. Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment.* 41: 7627-7641.
13. Kuitel, H., and Furman, T. 2003. Dust storms in the Middle East, source of origin and their temporal characteristics. *Indoor and Built Environment.* 12: 419-426.
14. Kukier, U., Ishak, C.F., Summer, M.E., and Miller, W.P. 2003. Composition and element solubility of magnetic and non-magnetic fly ash fraction. *Environmental Pollution.* 123: 255-266.
15. 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.

16. Lu, S.G., Bai, S.Q., and Xue, Q.F. 2007. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: A case study from the city of Luoyang, China. *Geophysic. J. Inter.* 171: 568-580.
17. Lu, S.G., Bai, S.Q., Cai, J.B., and Xu, C. 2005. Magnetic properties and metal contents of automobile emission particulates. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 8: 731-735.
18. Maher, B.A. 2011. The magnetic properties of Quaternary aeolian dusts and sediments and their palaeoclimatic significance. *Aeolian Research.* 3: 87-144.
19. Mahmoodi, Z. 2012. Geochemical and Mineralogical Properties of Atmospheric Dust in Isfahan. M.Sc. Thesis in Soil Science, Isfahan University of Technology. (In Persian)
20. Meza-Figueroa, D., O-Villanueva, M.D., and Parra, M.L.D. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmospheric Environment.* 41: 276-288.
21. Mullins, C.E. 1997. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. *J. Soil Sci.* 28: 223-246.
22. Peters, C., and Dekkers, M.J. 2003. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size. *Physics and Chemistry of the Earth.* 28: 659-667.
23. Qian, P., Zheng, X., Zhou, L., Jiang, Q., Zhang, G., and Yang, J. 2011. Magnetic properties as indicator of heavy metal contaminations in roadside soil and dust along G312 highways. *Procedia Environmental Sciences.* 10: 1370-1375.
24. Qingsheng, L., Qingi, Z., Yang, T., Ning, Q., and Lungsang, C. 2009. Magnetic properties of street dust from Chibi city, Hubei Province, China, Its implications for urban environment. *J. Earth Sci.* 20: 848-857.
25. Rodriguez Martin, J.A., Lopez Arias, M., and Grau Corbi, J.M. 2006. Heavy metal contents in agricultural topsoils in the Ebro Basin (Spain), Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution.* 144: 1001-1012.
26. Salmanzadeh, M., Saeedi, M., and Nabi Bidhendi, G. 2012. Heavy metals pollution in street dusts of Tehran and their ecological risk assessment. *J. Environ. Stud.* 38: 1. 9-18. (In Persian)
27. Sezgin, N., Ozcan, H.K., Demir, G., Nemlioglu, S., and Bayat, C. 2003. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International.* 29: 979-985.
28. Shah, M.H., and Shaheen, N. 2008. Annual and seasonal variations of trace metals in atmospheric suspended particulate matter in Islamabad, Pakistan. *Water Air and Soil Pollution.* 190: 13-25.
29. Sow, M., Goosens, D., and Rajot, J. 2006. Calibration of the MDCO dust collector and of four versions of the inverted frisbee dust deposition sampler. *Geomorphology.* 82: 360-375.
30. Tong, S.T.Y., and Lam, K.C. 2000. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong. *Science of the Total Environment.* 256: 115-123.
31. Verma, S.K., Deb, M.K., Suzuki, Y., and Tsai, Y.I. 2010. Ion chemistry and source identification of coarse and fine aerosols in an urban area of eastern Central India. *Atmospheric Research.* 95: 65-76.
32. Wang, G., Oldfield, F., Xia, D., Chen, F., Liu, X., and Zhang, W. 2012. Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China. *Atmospheric Environment.* 46: 289-298.
33. Wang, G., Xia, D.S., Liu, X.M., Chen, F.H., Yu, Y., Yang, L.P., Chen, J.H., and Zhou, A.F. 2008. Spatial and temporal variation in magnetic properties of street dust in Lanzhou city, China. *Chinese Science Bulletin.* 53: 1913-1923.
34. Ware, C., Knight, W., and Wells, D. 1991. Memory intensive algorithms for multibeam bathymetric data. *Computers & Geosciences.* 17: 985-993.
35. Wei, B., Jiang, F., Li, X., and Mu, S. 2009. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchem. J.* 93: 147-152.

36. Yang, T., Zeng, Q., Liu, Z., and Liu, Q. 2011. Magnetic properties of the road dusts from two parks in Wuhan city, China: Implications for mapping urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 177: 637-648.
37. Yang, X., Zhu, B., Wang, X., Li, C., Zhou, Z., Chen, J., Wang, X., Yin, J., and Lu, Y. 2008. Late Quaternary environmental changes and organic carbon density in the Hunshandake sandy land, eastern Inner Mongolia, China. *Global and Planetary Change*. 61: 70-78.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Variability of magnetic susceptibility and its correlation with selected heavy metals in atmospheric dust of Kerman

F. Jafari¹ and *H. Khademi²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

²Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 04/03/2014; Accepted: 12/15/2014

Abstract

Background and Objectives: Dust deposition widely occurs in arid to semiarid areas of the world. Since dust particles are fine-sized, they have a high adsorption potential and; therefore, can easily carry the contaminants. Therefore, heavy metals could be distributed in large scales by adsorbing into airborne dust particles. Dust causes great damages to humans in urban regions. The objective of this research was to assess the temporal and spatial distribution of magnetic susceptibility (MS) and its correlation with selected heavy metals in atmospheric dust of Kerman.

Materials and Methods: Dust samples were taken monthly for a period of 7 months from 35 locations distributed over the city of Kerman from April 20 to November 20, 2012 (a total of 245 samples) using glass traps installed on the roof of one-story buildings. The magnetic susceptibility of dust samples was determined using a MS2B sensor. Also, the total concentration of Mn, Pb, Ni, Cu and Zn was determined using an atomic absorption spectrometer following the sample extraction with 6N HNO₃.

Results: Temporal distribution of magnetic susceptibility showed that the highest MS values belonged to October ($389 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) and the least values to July ($269 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) and August ($261 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) and these values followed the same trend as the temporal variability of Cu, Pb and Zn concentrations. Also, the spatial patterns of variables indicated that the highest MS was found in dust samples collected from the western sites of Kerman city where the concentration of Cu, Pb and Zn in dust was also high.

Conclusion: Topography appears to play a significant role on the distribution of heavy metals and MS values in dust, particularly in the western areas of Kerman city. Considering the role of human activities in increasing pollutants concentration in Kerman, proper management practices should be exercised to reduce air pollution resulting from various industries.

Keywords: Magnetic susceptibility, Kerman city, Heavy metals, Dust deposition

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