



دانشگاه گیلان، دانشکده زمین‌شناسی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴

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

## فاکتورهای زمین‌زاد و انسان‌زاد مؤثر بر خصوصیات مغناطیسی خاک‌های آهکی اطراف زنجان

\* علی افشاری<sup>۱</sup>، حسین خادمی<sup>۲</sup> و شمس‌اله ایوبی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان،

<sup>۲</sup>دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۰

### چکیده

**سابقه و هدف:** خصوصیات مغناطیسی خاک‌ها بازتابی از تأثیرات متفاوت کانی‌شناسی خاک است. کانی‌های موجود در خاک دارای منشأ طبیعی (لیتوژنیک، پدوژنیک) یا انسانی (کانی‌های فرومغناطیس ثانویه) و یا هر دو هستند. این مطالعه برای برآورد تأثیر فعالیت‌های انسانی و مواد مادری مختلف بر پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های آهکی استان زنجان انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** در کل تعداد ۲۴۱ نمونه خاک سطحی (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) از منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر مربع که دارای مواد مادری و کاربری اراضی مختلفی بود برداشت گردید و تجزیه‌های آزمایشگاهی بر روی آن‌ها انجام گرفت.

**یافته‌ها:** میانگین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در نمونه‌های خاک سطحی  $10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \times 377/9$  به دست آمد. بالاترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی شهری با میانگین  $10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \times 67/13$  مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** فعالیت کارخانه‌های صنعتی مخصوصاً کارخانه سرب و روی، سوخت‌های فسیلی و ترافیک ماشین می‌توانند از عوامل مستقیم ورودی ذرات فری‌مغناطیس با منشأ انسانی در منطقه باشند. سهم جزء مغناطیسی مواد مادری (لیتوژنیک) بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های مشتق شده از سنگ‌های آذرین خیلی بیش‌تر است و پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های تشکیل شده از سنگ‌های آذرین ارتباط مثبت معنی‌دار با شاخص‌های توسعه پدوژنیک نشان نمی‌دهند. خاک‌های مشتق شده از سنگ‌های رسوبی میزان پذیرفتاری مغناطیسی به نسبت کم‌تری دارند (بین ۴۲ تا  $10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \times 158$ ). افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌هایی با مواد مادری رسوبی بیش‌تر به علت تشکیل پدوژنز و درجای مواد فرومغناطیس است.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای مغناطیسی، سنگ‌های مادری، کاربری اراضی، آلودگی انسانی

\* مسئول مکاتبه: [a.afshari66@yahoo.com](mailto:a.afshari66@yahoo.com)

## مقدمه

از خصوصیات مغناطیسی خاک‌ها در علوم مختلف (از جمله علوم خاک و زمین‌شناسی) استفاده می‌شود (3). پذیرفتاری مغناطیسی درجه‌ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی شناخته شده و معینی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و مقدار این تأثیر تابع غلظت و نوع کانی‌های مغناطیسی است که در نمونه وجود دارد (22, 8). تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی آسان، سریع، غیرمخرب و حساس است که با هزینه و زمان اندک در دامنه وسیع و زیاد انجام می‌شود و در سال‌های اخیر استفاده از آن روز به روز در حال افزایش بوده است (6, 12, 15, 18, 19, 21, 23, 26). پذیرفتاری مغناطیسی خاک، شاخص مهمی برای مطالعات محیطی می‌باشد و می‌تواند برای جدا کردن منابع مختلف آلودگی استفاده شود (10, 15). بسیاری از اثرات انسانی در ایجاد آلودگی محیط، به‌وسیله رهاسازی ذراتی است که به‌شدت مغناطیسی هستند و این امر باعث افزایش مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌گردد. تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی برای ردیابی آلودگی عناصر سنگین در خاک‌ها، رسوبات و گرد و غبار با منشأ آنتروپوژنیک (6, 12, 13, 17, 19) استفاده شده است. همچنین اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی برای تهیه نقشه‌هایی با مقیاس بزرگ برای برآورد خطر آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های انسانی مفید گزارش شده است (6, 12, 13, 14, 15). از تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی برای توضیح فرآیندهای پدوژنیک و تشکیل خاک (21, 23, 26)، توسعه و تکامل خاک، کمک به طبقه‌بندی خاک، شناسایی اکسیدهای آهن در خاک، اندازه‌گیری کمیت کانی‌های مغناطیسی در خاک‌ها (8, 11, 18) و فهم شرایط خاک‌سازی<sup>۱</sup> و ردیف زمانی<sup>۲</sup> (10, 11, 16, 21, 26) می‌توان کمک گرفت.

1- Pedogenic environments  
2- Chronosequence

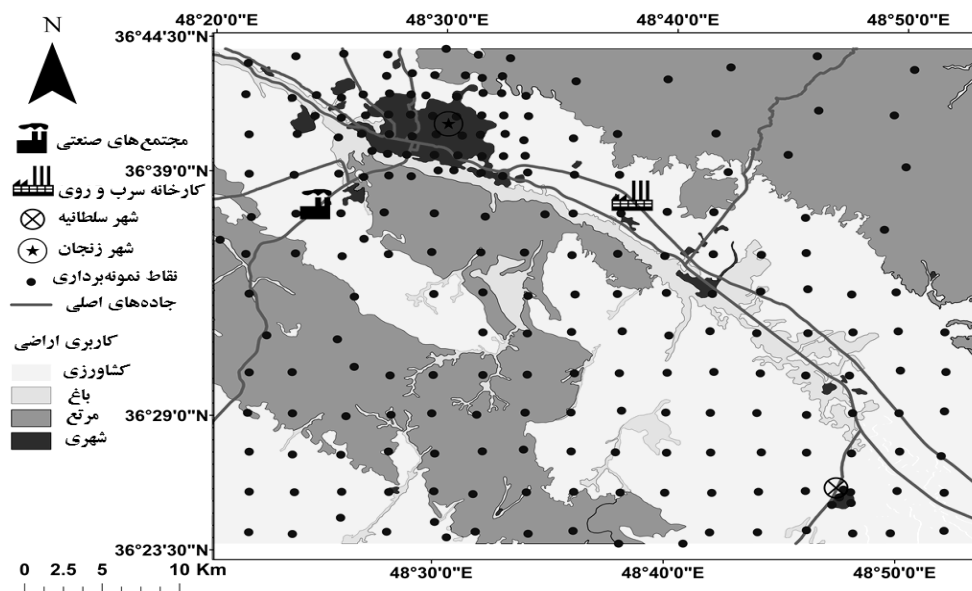
مطالعات متعددی در ایران با استفاده از تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی برای برآورد آلودگی زیست‌محیطی انجام گرفته است. دنکوب و همکاران (2012) منطقه وسیعی از اصفهان و مناطق اطراف را مورد مطالعه قرار دادند (۱۵۸ نمونه و عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متر) و میزان  $\chi_f$  را بین  $14/5$  تا  $2544/0$  و میانگین  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 158/5$  گزارش کردند و عامل افزایش آن را فعالیت‌های انسانی (شهری و صنعتی) نسبت دادند (6). کریمی و همکاران (2011) در شهر اصفهان با ۱۱۳ نمونه (عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر)، میزان  $\chi_f$  را بین  $26/5$  تا  $123/2$  و میانگین  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 74/3$  گزارش کردند که ذرات فری‌مغناطیس خروجی از وسایل نقلیه را مهم‌ترین عامل افزایش  $\chi_f$  در مناطق شهری دانستند (17). با توجه به این‌که هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد آلودگی عناصر سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی و توزیع آن در خاک‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و طبیعی (مراتع) در اطراف شهر زنجان وجود ندارد، این مطالعه به‌منظور بررسی الگوی پراکنش پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مهمی از شمال‌غرب ایران و همچنین تفسیر منشأ انسانی یا طبیعی پذیرفتاری مغناطیسی انجام گرفت. از سوی دیگر این پژوهش با هدف تعیین عوامل مؤثر بر توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌هایی با شرایط و مواد مادری متفاوت و تفکیک سهم انسانی و لیتوژنیک در افزایش پذیرفتاری مغناطیسی انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری:** منطقه مورد مطالعه قسمتی از اراضی مرکزی استان زنجان (شمال‌غرب ایران) است. استان زنجان از نظر طبیعی منطقه‌ای کوهستانی است که فلات زنجان نیز نامیده می‌شود. میانگین ارتفاع استان بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است. تعداد روزهای یخبندان در طول سال ۱۱۵ روز

می‌باشد. نمونه‌برداری براساس روش شبکه‌بندی و کاملاً تصادفی در دو مرحله انجام گرفت. در اراضی شهری و اطراف آن، که دارای فعالیت‌های انسانی بالایی هستند، در شبکه‌های  $1/5 \times 1/5$  کیلومتر مربع و در اراضی کشاورزی و مراتع در شبکه‌های  $3 \times 3$  کیلومتر مربع نمونه‌برداری انجام شد. در کل تعداد ۲۴۱ نمونه مرکب خاک سطحی (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر)، در کاربری‌های اراضی و دارای زمین‌شناسی مختلف در مردادماه سال ۱۳۹۰ برداشت شد (شکل ۱).

و متوسط بارندگی سالانه ۳۳۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه با مساحتی بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومترمربع است که بین مدارهای ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. بیش‌ترین وسعت کاربری به‌ترتیب کاهشی شامل اراضی کشاورزی، مراتع، شهری و صنعتی می‌باشد. قسمت شمالی منطقه مورد دارای رژیم رطوبتی Typic Xeric و رژیم حرارتی Frigid و شهر زنجان و قسمت‌های پایین‌تر دارای رژیم رطوبتی Dry Xeric و رژیم حرارتی Mesic



شکل ۱- منطقه مطالعاتی، موقعیت نمونه‌برداری و کاربری‌های اراضی.

Figure 1. Land use types sampling location map of the area studied.

دستگاه جذب اتمی مدل AA 200 Perkin-Elmer و غلظت کادمیم اندازه‌گیری شده با اسید نیتریک ۵ نرمال با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل Rayleigh: WF-1E تعیین شد. هدایت الکتریکی و pH در نمونه‌های خاک در عصاره ۱:۲ خاک به آب، درصد رس، سیلت و شن (روش پیت)،

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی و تجزیه‌های آزمایشگاهی: نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند. سپس عناصر Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu و Cr با استفاده از اسید نیتریک ۵ نرمال عصاره‌گیری شدند (25). غلظت عناصر اندازه‌گیری شده با اسید نیتریک ۵ نرمال توسط

تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 صورت گرفت.

**محاسبه شاخص بار آلودگی:** شاخص بار آلودگی<sup>۳</sup> (PLI) تعداد دفعاتی که غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه افزایش یافته است و همچنین خلاصه‌ای از وضعیت سمیت فلزات مورد بررسی را در نمونه‌های خاک نشان می‌دهد (2). شاخص PLI با ریشه n ام فاکتور آلودگی<sup>۴</sup> (CF<sub>HM</sub>) هر یک از عناصر براساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود که در آن CF<sub>HM</sub> نسبت غلظت هر فلز به مقدار زمینه آن فلز (C<sub>background</sub>) (رابطه ۳) می‌باشد. در این مطالعه، میانه غلظت هر فلز از میان کل نمونه‌های خاک سطحی به‌عنوان مقدار زمینه برای آن فلز در نظر گرفته شده است (24).

$$PLI = \sqrt[n]{CF_{HM1} \times CF_{HM2} \times \dots \times CF_{HMn}} \quad (2)$$

$$CF_{HM} = C_{HM} / C_{background} \quad (3)$$

### نتایج

**پارامترهای مغناطیسی و غلظت عناصر سنگین در خاک سطحی:** توصیف آماری پارامترهای مغناطیسی و غلظت عناصر سنگین (Ni, Co, Cr, Cu, Cd, Zn, Pb, Mn) و نیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک سطحی در جدول ۱ نشان داده شده است. منطقه مورد مطالعه، منطقه وسیعی است و سازندهای زمین‌شناسی و کاربری‌های اراضی مختلف را شامل می‌شود. بنابراین تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه در دامنه وسیعی قرار گرفته است و دامنه تغییرات آن بین ۲۱/۲ تا ۱۹۴۷/۸ و میانگین ۳۷۷/۹ × 10<sup>-۸</sup> m<sup>۳</sup>kg<sup>-۱</sup> می‌باشد که میانگین بسیار بالایی است. میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در این منطقه از

مواد آلی (روش والکی-بلاک)، کربنات کلسیم معادل (تیتراسیون اسید و باز) و ظرفیت تبادل کاتیونی (روش عصاره‌گیری با استات سدیم ۱ نرمال) در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد (4).

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پذیرفتاری مغناطیسی Bartington MS2 dual frequency sensor در نمونه‌های خاک در دو فرکانس کم (۴۷/۰، ۴۷/۰ kHz) و فرکانس زیاد (۴۷/۰، ۴۷/۰ kHz) اندازه‌گیری شد. هر نمونه برای چهار بار آنالیز و مقدار میانگین به‌دست آمد. همچنین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ<sub>fd</sub>) مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید (7):

$$\chi_{fd} (\%) = \frac{(\chi_{lf} - \chi_{hf})}{\chi_{lf}} \times 100 \quad (1)$$

آمار توصیفی شامل میانگین، حداقل، حداکثر، میانه، انحراف معیار، ضریب تغییرات، دامنه، چولگی و کشیدگی داده‌ها تعیین شد. پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، آزمون کولموگروف-اسمیرنف<sup>۱</sup> به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. متغیرهایی که از توزیع نرمال پیروی نداشتند برای محاسبه‌های زمین‌آماري، با استفاده از تبدیل لگاریتم طبیعی نرمال شدند. مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین و پارامترهای مغناطیسی در مواد مادری و کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن<sup>۲</sup> در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت. همبستگی بین ویژگی‌های خاک و غلظت عناصر سنگین و پارامترهای مغناطیسی براساس ضریب همبستگی پیرسون (برای داده‌هایی با توزیع طبیعی) و اسپیرمن (داده‌هایی با توزیع غیرطبیعی) بررسی شد. نقشه توزیع مکانی پارامترها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و براساس روش کریجینگ تهیه شد. همه تجزیه و

3- Pollution load index  
4- Contamination factors

1- Kolmogrov-smirnov test  
2- Duncan

پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی نشان می‌دهد که این پارامترها در منطقه تحت‌تأثیر عوامل و ویژگی‌های مختلف و غیریکنواختی می‌باشند (5). گسترش روز افزون شهرنشینی و تردد وسایل نقلیه، فعالیت کارخانه‌های بزرگ صنعتی و از طرف دیگر وجود مواد مادری متنوع با میزان پذیرفتاری مغناطیسی متفاوت از عوامل دخیل بر ضریب تغییرات بالای پارامترهای مغناطیسی در منطقه مطالعاتی می‌تواند باشد.

میانگین غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک سطحی برای سرب (۸۹/۶)، روی (۱۸۷/۰)، مس (۴۰/۳)، کادمیم (۰/۹۷)، نیکل (۳۸/۳)، کروم (۲۳/۶)، کبالت (۲۴/۶) و منگنز (۶۳۷/۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. نتایج آزمون کولموگراف-اسمیرنوف نشان داد که غلظت سرب، روی، مس و کادمیم از تابع توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند که با استفاده از لگاریتم طبیعی داده‌ها به حالت نرمال تبدیل شدند. غلظت برخی از فلزات مانند سرب، روی، مس و کادمیم در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در ایران (1, 6, 17) به‌نسبت بالاست. غلظت‌های بالای عناصر سنگین (به‌خصوص سرب و روی) در نمونه‌های خاک سطحی معمولاً شاهدهی بر تجمع آلودگی عناصر سنگین در اثر ترافیک و یا فعالیت‌های صنعتی است (6, 17). همچنین میانگین pH ۷/۳۷، کربنات کلسیم ۱۹۰/۰ گرم بر کیلوگرم، CEC معادل ۱۹ سانتی‌مول بر کیلوگرم، EC بین ۰/۱ تا ۴/۲ و میانگین ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار ماده آلی بین ۳/۹ تا ۶۸/۰ و میانگین ۱۶/۴ گرم بر کیلوگرم می‌باشد که می‌تواند سهم مهمی در توزیع غلظت کل فلزات سنگین داشته باشد. بیش‌ترین مقادیر مواد آلی و EC در مناطق شهری دیده شد که استفاده از کودهای حیوانی در فضای سبز شهری می‌تواند باعث افزایش مقادیر فوق بشود (1). همچنین میانگین میزان سیلت (۴۱۸/۰)، شن (۳۸۷/۰) و رس (۱۹۴/۰) گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد.

میانگین‌های گزارش شده در شهر اصفهان معادل  $10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \times 74/34$  (17) و منطقه شهری و صنعتی اصفهان معادل  $10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \times 158/5$  (6) خیلی بالاتر می‌باشد. بنابراین، مقدار بالای پذیرفتاری مغناطیسی مشاهده شده در خاک سطحی منطقه مورد مطالعاتی به‌طور عمده از ذرات فری‌مغناطیس<sup>۱</sup> حاصل از فعالیت‌های انسانی و کانی‌های مغناطیسی موجود در مواد مادری می‌تواند باشد (5, 8, 20). لو و همکاران (2007) نشان دادند که پذیرفتاری مغناطیسی در خاک سطحی مناطق طبیعی غیرآلوده به پنج عامل اصلی تشکیل‌دهنده خاک شامل مواد مادری، اقلیم، پستی و بلندی، موجودات زنده و زمان وابسته است (20). همچنین مطالعات مختلف به منابع ورودی ذرات مغناطیسی آتروپوژنیک اشاره دارند (6, 8, 17, 10, 20, 22).

پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ) مربوط به ذرات سوپرپارامغناطیس می‌باشد (7, 19). دیرینگ (1999)، بین  $\chi_{fd}(\%)$  و ذرات پارامغناطیس ارتباط مثبت گزارش کردند (7). پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ) یک پارامتر لازم برای نشان دادن مقدار زمینه پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که با توجه به آن ذرات فری‌مغناطیس ورودی حاصل از فعالیت انسانی و یا افزایش طبیعی کانی‌های مغناطیسی در خاک را می‌توان تشخیص داد (5, 7, 12). مقدار  $\chi_{fd}$  در خاک سطحی منطقه مورد مطالعاتی بین ۰/۱ تا ۷ درصد و میانگین ۱/۴ درصد به‌دست آمد. مقادیر پایین  $\chi_{fd}$  در نمونه‌های خاک سطحی نشان می‌دهد که تأثیر منشأ پدوژنیک و همچنین ذرات سوپرپارامغناطیس در نمونه‌های خاک پایین می‌باشد و ذرات فری‌مغناطیس حاصل از فعالیت‌های انسانی غالب است و بیش‌تر ذرات چندحوزه‌ای بزرگ<sup>۲</sup> به‌جای ذرات پارامغناطیس شرکت می‌کنند (5, 20, 22). ضریب تغییرات بالای

1- Ferrimagnetites

2- Coarse multidomain grains

جدول ۱- توصیف آماری پذیرفتاری مغناطیسی، غلظت کل عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های سطحی در منطقه مطالعاتی.

**Table 1. Descriptive statistics of magnetic parameters, heavy metal contents and soil properties in the area studied.**

متغیر VARIABLE	واحد Unity	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	S.D	چولگی Skew	کشیدگی Kurt	CV (%)
$\chi_f$	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$	21.2	1947.8	377.9	331.4	1.7	4.0	88
$\chi_{fd}$	%	0.1	7.0	1.4	1.2	1.7	3.5	85
روی Zn	$mg kg^{-1}$	83.3	1353.8	187.0	156.8	4.3	23.0	84
سرب Pb	$mg kg^{-1}$	40.0	1357.5	89.6	99.6	9.3	111.1	111
مس Cu	$mg kg^{-1}$	11.3	352.5	40.3	31.1	5.4	44.9	77
کادمیم Cd	$mg kg^{-1}$	0.24	4.11	0.97	0.81	1.8	2.9	84
نیکل Ni	$mg kg^{-1}$	12.8	86.8	48.3	14.3	0.3	-0.4	30
کروم Cr	$mg kg^{-1}$	7.0	67.7	23.6	9.2	1.4	3.2	39
کبالت Co	$mg kg^{-1}$	17.0	35.7	24.6	3.5	0.3	0.2	14
منگنز Mn	$mg kg^{-1}$	338.7	1761.2	637.7	169.7	0.5	0.0	24
pH	-	6.92	7.80	7.37	0.19	-0.3	-0.3	2
EC	$dS m^{-1}$	0.12	4.24	0.47	0.69	3.9	16.4	146
CEC	$cmol(+) kg^{-1}$	8.8	27.3	19.0	4.4	-0.1	-0.7	22
ماده آلی OM	$g/kg$	0.39	6.80	1.64	1.39	2.2	4.4	84
آهک CaCO <sub>3</sub>	$g/kg$	1.9	44.9	19.0	9.3	0.4	0.3	49
سیلت Silt	$g/kg$	20.0	74.0	41.8	12.6	0.4	-0.4	30
شن Sand	$g/kg$	8.3	73.4	38.7	16.3	0.1	-0.9	42
رس Clay	$g/kg$	2.0	37.0	19.5	8.3	0.0	-0.7	42

CV: ضریب تغییرات، SD: انحراف معیار.

خاک سطحی را نشان می‌دهد. ترافیک بالای ماشین و فعالیت کارخانجات صنعتی در منطقه می‌تواند در افزایش ذرات فری مغناطیس و غلظت برخی عناصر سنگین نقش داشته باشد (5, 6, 17). بنابراین انتظار

همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی و عناصر سنگین: جدول‌های ۲ و ۳ ضرایب همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی ( $\chi_{fd}$  و  $\chi_f$ ) و غلظت عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های

می‌رود که بین غلظت برخی عناصر سنگین با منشأ انسانی و پذیرفتاری مغناطیسی همبستگی خوب و قوی دیده شود. بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت عناصر سرب ( $r=0/290$ )، کادمیم ( $r=0/236$ )، روی ( $r=0/355$ ) و درصد شن ( $r=0/563$ ) ارتباط مثبت و معنی‌دار دیده می‌شود. همچنین بین پذیرفتاری مغناطیسی و عناصر نیکل ( $r=-0/544$ )، کروم ( $r=-0/515$ )، درصد سیلت ( $r=-0/460$ ) و درصد رس ( $r=-0/363$ ) همبستگی منفی و معنی‌دار دیده می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ) با نیکل ( $r=0/383$ )، کروم ( $r=0/322$ )، درصد سیلت

درصد رس ( $r=0/232$ ) و ظرفیت تبادل کاتیونی ( $r=0/282$ ) رابطه مثبت و معنی‌دار نشان داد. دنکوب و همکاران (2012) در مطالعه خود بر روی خاک‌های منطقه اصفهان، بین پذیرفتاری مغناطیسی با ماده آلی ( $r=-0/05$ )، کربنات کلسیم معادل ( $r=0/003$ )، هدایت الکتریکی خاک ( $r=-0/48$ )،  $P>0/01$  و pH ( $r=-0/10$ ) به‌دست آوردند و اشاره کردند که همبستگی منفی و معنی‌دار EC و پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند به این دلیل باشد که افزایش نمک‌های محلول در خاک باعث رقیق شدن کانی‌های مغناطیسی در خاک می‌شوند.

جدول ۲- ضریب همبستگی بین غلظت کل عناصر سنگین و پارامترهای مغناطیسی در خاک‌های منطقه مطالعاتی.

**Table 2. Correlation coefficient between magnetic parameters and heavy metals in the surface soils of the area.**

Mn	Co	Cr	Ni	Cd	Cu	Pb	Zn	
-0.04	-0.22	-0.52**	-0.54**	0.24*	-0.04	0.29*	0.36**	$\chi_{ff}$
0.19	0.14	0.32**	0.38**	-0.15	-0.01	-0.19	-0.08	$\chi_{fd}$

\* معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی در خاک‌های سطحی منطقه مطالعاتی.

**Table 2. Correlation coefficient between magnetic parameters and soil physicochemical properties in the surface soils of the area.**

رس	شن	سیلت	ماده آلی	CEC	EC	آهک	pH	
Clay	Sand	Silt	OM			CCE		
-0.36**	0.56**	-0.46**	0.01	-0.05	0.17	-0.15	0.01	$\chi_{ff}$
0.23*	-0.52**	0.53**	0.12	0.28*	0.06	0.13	-0.02	$\chi_{fd}$

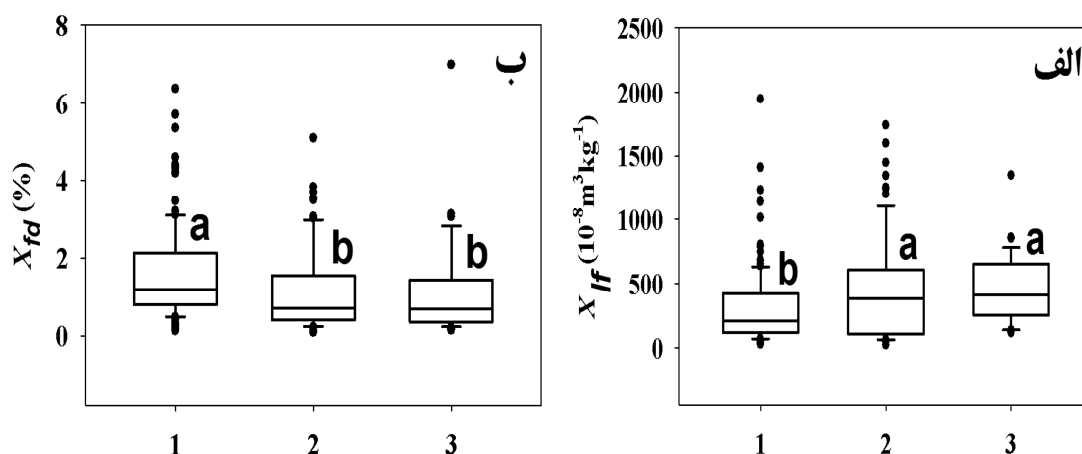
\* معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪.

با کاربری شهری و مراتع می‌باشد. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های سطحی مراتع بین ۲۱/۲ تا ۱۷۴۰/۹ و میانگین  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 464/4$  و شهری بین ۱۱۶ تا ۱۳۴۸ و میانگین  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 467/1$  می‌باشد (شکل ۲- الف). گستردگی شهرک‌های بزرگ صنعتی و کارخانه‌های فعال، تراکم جاده‌های ارتباطی و ترافیک

پارامترهای مغناطیسی در کاربری اراضی مختلف: کاربری اراضی متفاوت بر توزیع پذیرفتاری مغناطیسی تأثیر می‌گذارد و یقیناً در خصوصیات آن منعکس خواهد شد (22). مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری اراضی کشاورزی بین ۲۷/۸ تا ۱۹۴۷/۸ و میانگین  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 305/7$  است و دارای اختلاف معنی‌دار

به مطالعات دیگر از جمله (22) بالاتر باشد. همچنین قرار گرفتن بخش اعظم مراتع در خاک‌های حاصل از سنگ‌های آذرین مانند بازالت و گرانیت که دارای مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی بالایی هستند (21, 18) و این مطالعه، از منابع لیتوژنیک افزایش کانی‌های فری مغناطیس در منطقه می‌تواند باشد. میانگین  $\chi_{fd}$  در خاک‌های سطحی شهری ۱/۲، مراتع ۱/۲ و کشاورزی ۱/۶ درصد به دست آمد (شکل ۲-ب).

بالای آن‌ها و گسترش فزاینده شهرنشینی و فعالیت‌های حاصل از آن می‌تواند از مهم‌ترین منابع ورودی ذرات فری مغناطیس آنتروپوژنیک در منطقه مطالعاتی به‌خصوص در اراضی شهری و خاک‌های اطراف مناطق باشد که باعث تجمع کانی‌های فری مغناطیس در خاک سطحی شده و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را افزایش می‌دهند. از سوی دیگر قرار گرفتن اراضی کشاورزی اطراف جاده‌ها، شهرها و مناطق صنعتی باعث شده تا مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در این کاربری‌ها هم نسبت



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای پذیرفتاری مغناطیسی (الف) و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (ب)، در کاربری‌های اراضی ۱- کشاورزی (n=۱۳۷) -۲ مراتع (n=۷۷) -۳ شهری (n=۲۷).

Figure 2. Box plot of (a) magnetic susceptibility and (b) magnetic susceptibility dependent on frequency in different land use, 1- farmland (n=137), 2- pastures (n=77), 3- urban (n=27).

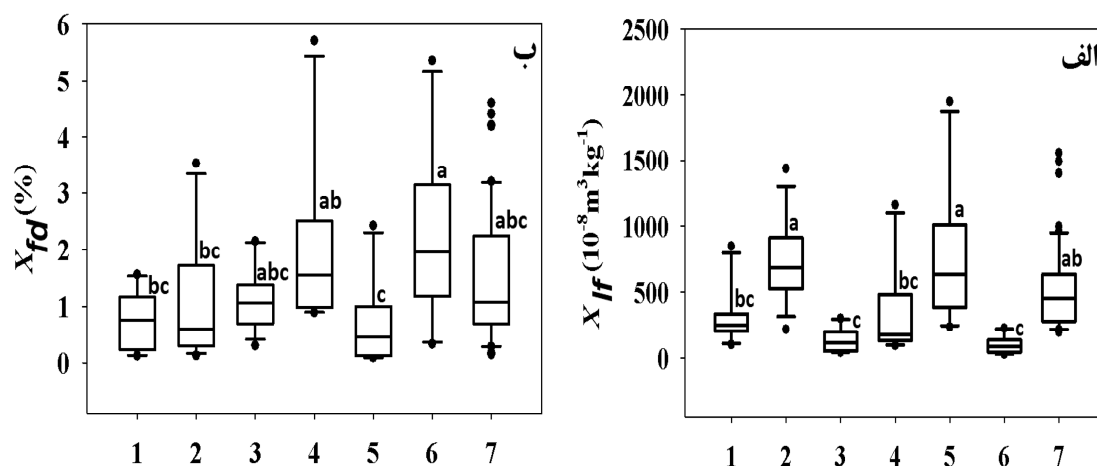
دلیل  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 531/8$  می‌باشد (شکل ۳- الف). دلیل بالا بودن مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های آبرفتی علاوه بر تحت‌تأثیر قرار گرفتن از مواد مادری مجاور (سنگ‌های آذرین) که دارای کانی‌های مغناطیسی بیشتری هستند (21, 18) و این مطالعه، بیش‌تر تحت‌تأثیر ذرات فری مغناطیس با منشأ آنتروپوژنیک می‌باشند. از آن‌جا که این خاک‌ها به‌خاطر نداشتن ناهمواری (دشت سلطانیه)، خاک‌های عمیق و قابل کشت و حاصلخیز بوده و فعالیت‌های

پارامترهای مغناطیسی در خاک‌های مشتق شده از مواد مادری مختلف: شکل ۳ میزان پذیرفتاری مغناطیسی و  $\chi_{fd}$  را در نمونه‌های خاک سطحی در مواد مادری مختلف نشان می‌دهد. بالاترین میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در خاک مشتق شده از سنگ‌های گرانیت (10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> × 797/8) و بازالت (10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> × 727/6) دیده می‌شود که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ با دیگر خاک‌ها نشان می‌دهد. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های سطحی آبرفتی برابر



مغناطیسی یکسانی دارند. کمترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های تشکیل شده از مواد مادری رسوبی می‌باشد و ماسه سنگ ( $\chi_{fd} = 136/95$ ) و شیل ( $\chi_{fd} = 100/94$ ) کمترین مقدار را داشته و دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰.۵٪ با سایر خاک‌ها می‌باشند. هانسچ و همکاران (2007) گزارش کردند که نوع (تیپ) خاک و زمین‌شناسی تأثیر آشکاری بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی دارند (13). مقادیر  $\chi_{fd}$  در خاک‌های سطحی با مواد مادری مختلف برای گرانیت (۰/۶۵)، آندزیت (۰/۹۹)، بازالت (۱/۰۳)، ماسه‌سنگ (۱/۱۳)، آبرفتی (۱/۵۴)، توف (۲/۱۶)، شیل (۲/۲۲) درصد به‌دست آمد (شکل ۳-ب).

انسانی مانند محل ایجاد شهرها، جاده‌ها و حمل و نقل، ایجاد مراکز صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی بر روی این خاک‌ها متمرکز شده است. در نتیجه بالاترین تجمع ورودی ذرات فری مغناطیسی با منشأ فعالیت‌های آنتروپوژنیک در بخش سطحی این نوع خاک‌ها دیده می‌شود. مگنیرا و همکاران (2006) نتایج مشابهی را گزارش کردند (22). از سوی دیگر این خاک‌ها بیشترین وسعت را در منطقه دارند. به‌نظر می‌رسد خاک‌های سطحی آبرفتی در منطقه بیش‌تر تابع نوع کاربری هستند و مواد مادری تأثیر کمتری دارد. خاک‌های سطحی با ماده مادری توف و آندزیت به‌ترتیب با متوسط پذیرفتاری مغناطیسی ۳۸۵/۵ و ۳۶۵/۰ تقریباً میانگین پذیرفتاری



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای پذیرفتاری مغناطیسی (الف) و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (ب)، در مواد مادری مختلف ۱- آندزیت (n=۴) ۲- بازالت (n=۶) ۳- ماسه‌سنگ (n=۸) ۴- توف (n=۵) ۵- گرانیت (n=۴) ۶- شیل (n=۹) و ۷- آبرفتی (n=۳۱).

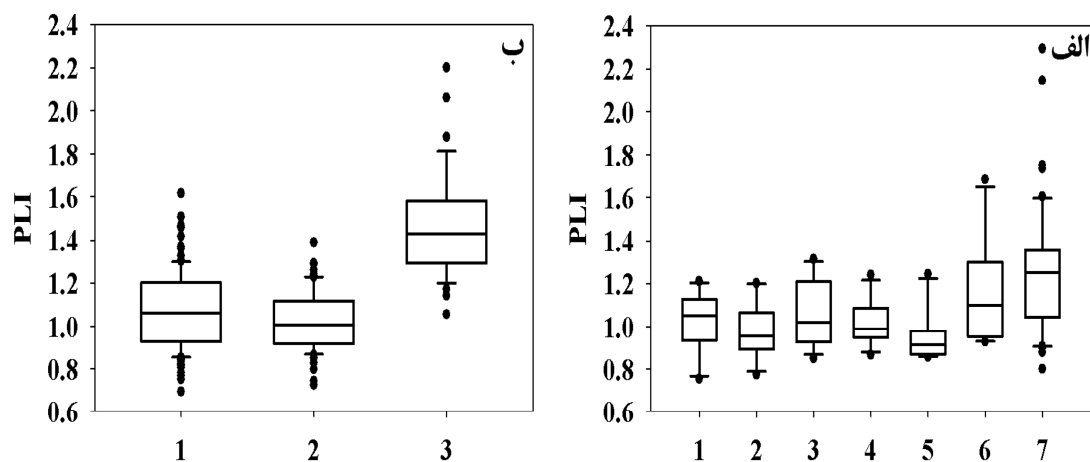
**Figure 3. Box plot of (a) magnetic susceptibility and (b) magnetic susceptibility dependent on frequency in parent materials, 1- Andesite (n=4), 2- Basalt (n=6), 3- Sandstone (n=8), 4- Tuff (n=5), 5- Granite (n=4), 6- Shale (n=9), 7= Alluvium (n=31).**

محاسبه و ارائه شده است (شکل ۴). بیش‌ترین مقدار PLI در مواد مادری آبرفتی ۱/۲۵ دیده می‌شود. ضریب همبستگی بین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی و PLI در نمونه‌های خاک سطحی تشکیل شده بر روی

شاخص بار آلودگی (PLI): برای تعیین سهم هر یک از ساختارهای زمین‌شناسی و نوع کاربری اراضی در افزایش غلظت عناصر سنگین و آلودگی آن در محیط، PLI به‌صورت مجزا برای خاک‌های هر کدام

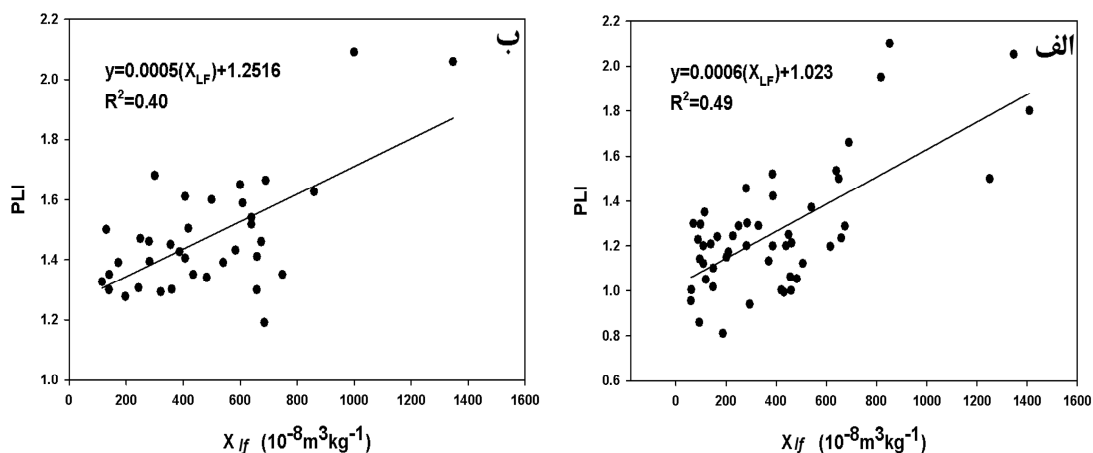
۰/۹۹، بازالت ۰/۹۸ و گرانیت ۰/۹۶ می‌باشند. شکل ۴-ب PLI را در کاربری اراضی مختلف نشان می‌دهد که در آن کاربری اراضی شهری و نقاط اطراف مناطق صنعتی بیش‌ترین مقدار (۱/۴۶) را دارند و بعد از آن کاربری اراضی کشاورزی (۱/۱۰) و مراتع (۱/۰۲) قرار گرفتند. همچنین همبستگی خطی و معنی‌داری بین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی با PLI در نمونه‌های خاک سطحی شهری (r=۴۰) و مواد مادری آبرفتی (r=۴۹) به‌دست آمد (شکل ۵). شکل ۶ نقشه PLI و مواد مادری مختلف و کاربری شهری تأثیرگذار بر افزایش آن را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، هم‌پوشانی بین کاربری شهری و مواد مادری آبرفتی و شیل در جنوب‌غربی منطقه مطالعاتی با مقدار بالای PLI به خوبی دیده می‌شود. هر جا که فعالیت‌های آنتروپوژنیک بالاست، شاخص PLI هم بالاست.

مواد مادری آبرفتی (r=۰/۴۹) به‌دست آمد (شکل ۴-الف). همان‌طور که قبلاً اشاره شد مواد مادری آبرفتی بیش‌ترین وسعت را دارند و همچنین بیش‌ترین تأثیرپذیری را از فعالیت‌های انسانی (فعالیت‌های صنعتی، شهرسازی و کشاورزی) می‌بینند در نتیجه غلظت عناصر سنگین در خاک سطحی حاصل از مواد آبرفتی با توجه به فعالیت‌های آنتروپوژنیک بالا می‌رود (6, 17). در مرتبه دوم مقدار PLI برای خاک‌های حاصل از شیل و ماسه‌سنگ به‌ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۱۰ به‌دست آمد که از سنگ‌های رسوبی می‌باشند و میزان عناصر سنگین به‌نسبت بالایی دارند و در اثر فرآیندهای خاک‌سازی مقدار بیش‌تری عناصر را آزاد کرده و موجب غنی‌شدگی غلظت فلزات سنگین در سطح خاک می‌شوند (9). کم‌ترین مقدار PLI در خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آذرین دیده می‌شود که شامل سنگ‌های آندزیت ۱/۰۲، توف



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای PLI (الف) مواد مادری مختلف ۱- آندزیت (n=۴) ۲- بازالت (n=۶) ۳- ماسه‌سنگ (n=۸) ۴- توف (n=۵) ۵- گرانیت (n=۴) ۶- شیل (n=۹) و ۷- آبرفتی (n=۳۱)، (ب) کاربری‌های اراضی مختلف ۱- کشاورزی (n=۱۳۷) ۲- مرتع (n=۷۷) و ۳- شهری (n=۲۷).

Figure 4. Box plot of PLI; a: different parent materials, 1- Andesite (n=4), 2- Basalt (n=6), 3- Sandstone (n=8), 4- Tuff (n=5), 5- Granite (n=4), 6- Shale (n=9), 7= Alluvium (n=31), b: different land use, 1- farmland (n=137), 2- pastures (n=77), 3- urban (n=27).



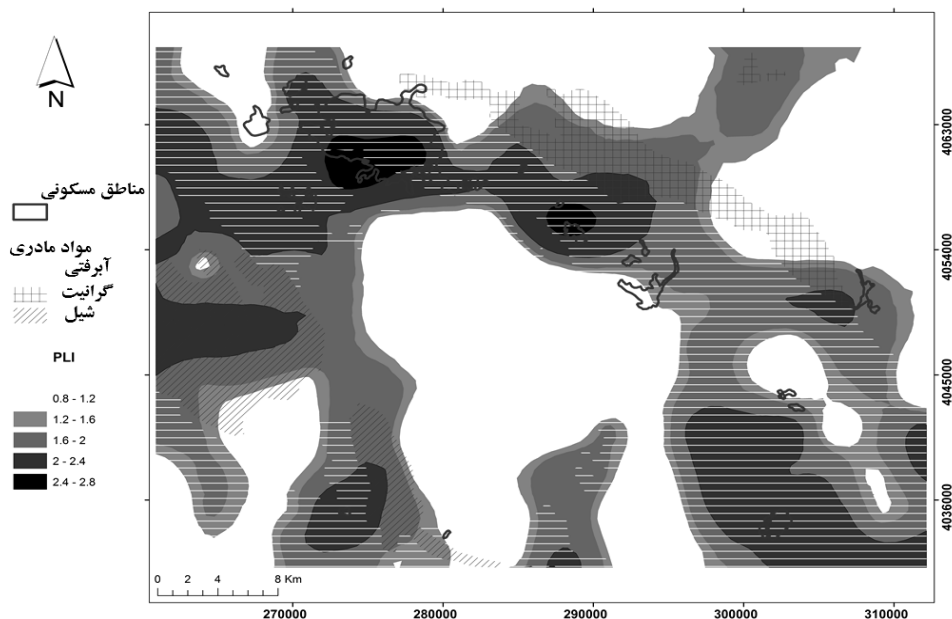
شکل ۵- ارتباط بین PLI و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در نمونه‌های خاک‌های سطحی مواد مادری آبرفتی (الف) و شهری (ب).

**Figure 5. Correlation between PLI and magnetic susceptibility in samples of surface soil on parent material Alluvial (a) and Urban (b).**

مغناطیسی همراه با افزایش غلظت برخی عناصر سنگین می‌باشد (20, 22, 5). از سوی دیگر بیش‌ترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت برخی عناصر سنگین در نمونه خاک‌های شهری و اطراف مراکز صنعتی دیده می‌شود و با توجه به وجود  $\chi_{fd}$  پایین و غلظت بالای پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های سطحی شهری و مناطق صنعتی می‌توان گفت ذرات فری مغناطیس منتشره از فعالیت‌های انسانی در منطقه مهم‌ترین عامل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک سطحی شهری و مناطق اطراف مراکز صنعتی می‌باشند (20, 12). منبع مشترک بین عناصر سنگین و میزان پذیرفتاری مغناطیسی (منابع آلودگی انسانی) می‌تواند غنی‌شدگی عناصر سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی را در خاک‌های سطحی شهری توجیه کند (19).

### بحث

پذیرفتاری مغناطیسی و کاربری اراضی: نتایج پژوهش انجام شده نشان داد که پارامترهای مغناطیسی در منطقه تحت‌تأثیر عوامل مختلف (انسانی و لیتوژنیک) می‌باشند. بسیاری از اثرات ناشی از فعالیت‌های انسانی روی محیط که به‌طور معنی‌داری باعث پخش ذرات فری مغناطیس و در نتیجه باعث افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک سطحی می‌شود ناشی از فرونشست ذرات گرد و غبار حاصل از فعالیت کارخانه‌های صنعتی (به‌خصوص کارخانه سرب و روی و مجتمع کارخانه‌های صنعتی)، سوختن سوخت‌های فسیلی و تردد اتومبیل و سایر فعالیت‌های شهری (عمران، ساختمان و جاده‌سازی) در منطقه می‌باشد. همچنین غلظت بالای سرب، روی، مس و کادمیم در خاک‌های سطحی شهری شاید بیش‌تر تحت‌تأثیر عوامل ذکر شده باشد زیرا افزایش پذیرفتاری



شکل ۶- نقشه توزیع شاخص بار آلودگی فلزات سنگین (PLI) در منطقه مطالعاتی.

Figure 6. Map showing the distribution of pollution load index (PLI) of heavy metals in area studied.

پذیرفتاری مغناطیسی و مواد مادری: نوع مواد مادری بر مقدار و توزیع ویژگی‌های مغناطیسی خاک‌ها تأثیر می‌گذارد. تغییرات پارامترهای مغناطیسی در خاک‌های حاصل از مواد مادری مختلف بازتابی از تفاوت قابل‌توجه در کانی‌های مغناطیسی از نظر غلظت و اندازه ذرات مگهمیت<sup>۱</sup> و هماتیت<sup>۲</sup> می‌باشد (16, 18, 22, 23). پذیرفتاری مغناطیسی تقریباً غلظت کل کانی‌های فری‌مگنتیک (مگنتیت<sup>۳</sup> و ماگهمیت) را نشان می‌دهد و تابع اندازه ذرات و کانی‌شناسی ذرات مغناطیسی است و با  $\chi_{fd}$  به‌طور مشترک می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های توسعه فرآیندهای خاک‌سازی استفاده شوند. با توسعه پدوژنیکی، ذرات سوپرپارامغناطیس<sup>۴</sup> (SP) و حوزه منفرد پایدار<sup>۵</sup> (SSD) به‌تدریج تشکیل می‌شوند که باعث افزایش  $\chi_{fd}$  می‌شوند (8, 15, 18).

پدوژنیکی خاک وجود ندارد (21). کانی‌های فری‌مغناطیس پدوژنیکی ایجاد شده بیش‌تر در اندازه کم‌تر از ۰/۰۲ میکرومتر (ذرات سوپرپارامغناطیس) تا ۰/۰۲-۰/۰۴ میکرومتر (ذرات حوزه منفرد پایدار) غالب هستند (23). البته الگوی ثابتی برای ارتباط بین پذیرفتاری مغناطیس و توسعه پدوژنیکی خاک وجود ندارد (21). نتایج مربوط به آنالیز نمونه‌های خاک در مواد مادری مختلف نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های مشتق شده از سنگ‌های آذرین دارای مقادیر بالایی است و در دامنه وسیع (۲۰۰ تا  $1400 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ ) قرار گرفته است. هر چند فرآیندهای خاک‌سازی روی افزایش پذیرفتاری مغناطیسی اثر دارند، اما با توجه به میزان بالای کانی‌های مغناطیسی در نمونه سنگ‌ها، در سنگ‌های آذرین تأثیر لیتوژنیکی مواد مادری بر فرآیندهای تشکیل خاک بیش‌تر است (11, 18, 23, 26). در حالی که مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های

۱- Maghemite  
 2- Hematite  
 3- Magnetite  
 4- Superparamagnetic  
 5- Stable single domain

### نتیجه گیری

تجمع ذرات فری مغناطیسی با منشأ آنتروپوژنیک در خاک سطحی منطقه مطالعاتی می تواند ناشی از فعالیت کارخانه های صنعتی به خصوص کارخانه سرب و روی و سوختن سوخت های فسیلی باشد که باعث افزایش میزان پذیرفتاری مغناطیسی در اطراف مناطق صنعتی و شهری شده است. می توان از پذیرفتاری مغناطیسی در برآورد آلودگی انسانی به عنوان یک تکنیک سریع، دقیق و کم هزینه استفاده کرد و با توجه به این که پذیرفتاری مغناطیسی ارتباط بالایی با غلظت عناصر سنگین با منشأ انسانی دارد می تواند معرف پراکنش مکانی غلظت عناصر سنگین در خاک سطحی به خصوص در مناطق شهری و صنعتی باشد. در مطالعات گسترده، علاوه بر تأثیر فعالیت های انسانی به ساختارهای زمین شناسی و دیگر عوامل محیطی (فرآیندهای تشکیل خاک و فاکتورهای خاک سازی) هم باید توجه نمود. افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در صورت لزوم همراه با افزایش آلودگی با منشأ انسانی نیست. در مواقعی تأثیر لیتوژنیک و پدوژنیک بر افزایش پذیرفتاری مغناطیسی بسیار بالاتر از تأثیر انسانی است. البته مطالعه موردی در مناطق شهری و صنعتی که به طور مستقیم تحت تأثیر فعالیت های انسانی هستند، می تواند افزایش پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان شاخصی از آلودگی ایجاد شده توسط فعالیت های انسانی باشد. نوع زمین شناسی و کاربری اراضی، هر یک تأثیر آشکاری بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی دارند. کاربری های مختلف خاک و مهم تر از آن سنگ های مادری (لیتولوژی) متفاوت، دو فاکتور نزدیک و وابسته به هم می باشند که تغییرات مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را توجیه می کنند و در بعضی موارد قابل تفکیک آشکار نیستند. شاخص بار آلودگی (PLI) تابع کاربری اراضی (فعالیت های انسانی) و غلظت عناصر در سنگ مادری و میزان هوادیدگی آن می باشد.

مشتق شده از سنگ های رسوبی بین ۱۰ تا  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 150$  می باشد. این نتیجه بازتاب تشکیل پدوژنیک کانی های فری مغناطیس است و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در این خاک ها بیش تر به عوامل تشکیل خاک وابسته می باشد تا خود مواد مادری (16, 19, 21). با توجه به نتایج مطالعه صورت گرفته می توان پذیرفتاری مغناطیسی در خاک های با مواد مادری آبرفتی را به علت فرآیندهای پدوژنیک، تأثیر مواد مادری مجاور و مهم تر از همه نوع مدیریت دانست.

برای تعیین علت پذیرفتاری مغناطیسی بالا، که حاصل منابع ورودی خارجی (آنتروپوژنیک) است اصولاً مقایسه با مقدار زمینه انجام می گیرد که از کانی های پدوژنیک یا لیتوژنیک ناشی می شود، که این کار همیشه درست نیست (15). برای مثال مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در بعضی خاک های شهری (اصفهان)  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 74/34$  (17) یا منطقه صنعتی (لویانگ چین)  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 313/0$  (20) و (هانگزو چین)  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 321/0$  (19) گزارش شده است، در حالی که مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در خاک های تشکیل شده از آندزیت و گرانودیوریت  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 250/0$ ، بازالت  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 1000/0$  (18) و یا برای خاک های مشتق شده از گرانیت  $10^{-8} m^3 kg^{-1} \times 797/0$  (این مطالعه) می باشد که مقادیر بسیار بالاتر از مقدار پذیرفتاری مغناطیسی ناشی از فعالیت های انسانی در بعضی مناطق است. بنابراین برای دسته بندی مناسب آلودگی ها با تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی لازم است بین مشخصه پذیرفتاری مغناطیسی که حاصل از فعالیت های انسانی است و مقدار زمینه که از کانی های پدوژنیک یا لیتوژنیک ناشی می شود تبعیض قائل شد (14).

### منابع

1. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C., and Schulin, R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Sci. Total Environ.* 347: 64-77.
2. Angulo, E. 1996. The Tomlinson pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: A useful index to assess coastal pollution. *Sci. Total Environ.* 187: 19-56.
3. Blundell, A., Dearing, J.A., Boyle, J.F., and Hannam, J.A. 2009. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales. *Earth-Sci. Rev.* 95: 158-188.
4. Burt, R. 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations, Report No. 42, Version 4.0, USDA, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, USA. 735p.
5. 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.
6. Dankoub, Z., Ayoubi, S., Khademi, H., and Sheng-Gao, L.U. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use. *Pedosphere.* 22: 33-47.
7. Dearing, J.A. 1999. Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System. Chi Publishing, Kenilworth, England. 54p.
8. Dearing, J.A., Dann, R.J.L., Hay, K., Lees, J.A., Loveland, P.J., Maher, B.A., and O'Grady, K. 1996. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J. Inter.* 124: 228-240.
9. Ferguson, J.E. 1990. Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, Oxford. 614p.
10. Fine, P., Singer, M.J., La Ven, R., Verosub, K.L., and Southard, R.J. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. *Geoderma.* 44: 287-306.
11. Fine, P., Singer, M.J., and Verosub, K.L. 1992. Use of magnetic susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1196-1199.
12. Hanesch, M., and Scholger, R. 2002. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environ. Geol.* 42: 857-870.
13. Hanesch, M., Rantitsch, G., Hemetsberger, S., and Scholger, R. 2007. Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. *Sci. Total Environ.* 382: 351-363.
14. Hoffmann, V., Knab, M., and Appel, E. 1999. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. *J. Geochem. Explor.* 66: 313-326.
15. Hu, X.F., Su, Y., Ye, R., Li, X.Q., and Zhang, G.L. 2007. Magnetic properties of the urban soils in Shanghai and their environmental implications. *Catena.* 70: 428-436.
16. Jelenska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kadzialko-Hofmokl, M., Sukhorada, A., Bondar, K., and Matviishina, Z.H. 2007. Magnetic iron oxides occurring in Chernozem soil from Ukraine and Poland. *Stud. Geophys. Geol.* 52: 255-270.
17. Karimi, R., Ayoubi, S., Jalalian, A., Sheikh-Hosseini, A.R., and Afyuni, M. 2011. Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran. *J. Appl. Geophys.* 74: 1-7.
18. Lu, S.G. 2000. Lithological factors affecting magnetic susceptibility of subtropical soils, Zhejiang Province, China. *Catena.* 40: 359-373.
19. 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.
20. 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. *Geophys. J. Inter.* 171: 568-580.

21. Lu, S.G., Xue, Q.F., Zhu, L., and Yu, J.Y. 2008. Mineral magnetic properties of a weathering sequence of soils derived from basalt in Eastern China. *Catena*. 73: 23-33.
22. Magiera, T., Strzyszc, Z., Kapicka, A., and Petrovsky, E. 2006. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*. 130: 299-311.
23. Maher, B.A. 1986. Characterization of soils by mineral magnetic measurements. *Phys. Earth Plant. Inter.* 42: 76-92.
24. Perez-Sirvent, C., Martinez-Sanchez, M.J., Garcia-Lorenzo, M.L., Molina, J., and Tudela, M.L. 2009. Geochemical background levels of zinc, cadmium and mercury in anthropically influenced soils located in a semi-arid zone (SE, Spain). *Geoderma*. 148: 307-317.
25. Sposito, G., Land, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in air-dry field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
26. Thompson, R., and Oldfield, F. 1986. *Environmental Magnetism*. Allen & Unwin, London.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Lithological and anthropogenic factors affecting magnetic properties of calcareous soils in Zanjan**

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

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

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

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

Received: 11/03/2013; Accepted: 05/10/2014

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Soils magnetic properties reflect different effects of soil mineralogy. Soil minerals originate from natural (lithogenic and pedogenic) or anthropogenic (secondary ferromagnetic minerals) origins or both sources. The present study was carried out to evaluate the effect of anthropogenic activities and parent materials on magnetic behaviours in calcareous soils of Zanjan.

**Materials and Methods:** A total number of 241 soil samples (0-10 cm depth) were taken from an area of 2000 km<sup>2</sup> having different land uses and parent materials and analysed in the lab.

**Results:** Mean magnetic susceptibility (MS) of the soil samples was  $377.9 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ . The highest MS was obtained for urban soils (mean of  $467.13 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ ).

**Conclusion:** Industrial activities particularly the Pb and Zn melting factories and traffic and fossil fuels appear to be among the important sources of anthropogenic ferromagnetic particles. The contribution of lithogenic sources (parent materials) to MS in soils derived from igneous rocks is very high. The MS in such soils is not positively correlated with pedogenic development. Soils developed on sedimentary rocks have relatively low MS (42 to  $158 \cdot 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ ). Higher MS in soils with sedimentary parent materials seems to be mainly due to pedogenic and in situ formation of ferromagnetic materials.

**Keywords:** Magnetic parameters, Parent materials, Land uses, Anthropogenic pollution

---

\* Corresponding Author; Email: a.afshari66@yahoo.com