

Research Article

Agricultural Engineering., 44(2) (2021)189-208

DOI: 10.22055/AGEN.2021.37731.1609_

ISSN (E): 2588-526X

ISSN (P): 2588-5944

Assessing the effect of land use and geomorphology on spatial variability of heavy metals and magnetic susceptibility (Case study: Kurdistan province)

K. Azizi¹, Sh. Ayoubi² and K. Nabiollahi^{3*}

1. Ph.D.Student, Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
2. Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
3. Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture, University of Kurdistan, Iran.

Received: 13 June 2021

Accepted: 28 July 2021

Abstract

Introduction: The parent material and geology have a significant contribution to heavy metal contents and magnetic susceptibility in soils. Magnetic susceptibility is known as the extent of a material's impact on the magnetic field, which depends on the concentration and the type of magnetic minerals in the soil. Magnetic susceptibility measurement is fast, easy, economically convenient, and non-destructive. Mass magnetic susceptibility and frequency-dependent magnetic susceptibility are among the conventionally used parameters. The type of land use is among the main factors influencing magnetic susceptibility distribution in soil. Besides, soil magnetic susceptibility is affected by slope position and different soil properties such as soil organic matter and carbonates. A variety of relationships have been observed between heavy metal concentrations and magnetic susceptibility across various types of soil, parent material and climatic regimes. Generally, magnetic properties have positively correlated with the type and concentration of magnetic minerals as well as the particle size of soil fractions. Besides, magnetic susceptibility has a weak negative correlation with diamagnetic components such as quartz, gypsum, calcite, and organic materials. The main objectives of this study were to i) determine the relationships between magnetic susceptibility (MS) and concentration of some heavy metals such as copper, iron, zinc, and manganese in the surface soils and ii) explore the impacts of land use and geomorphological units on the variability of heavy metals and MS in a semi-arid region in the west of Iran.

Materials and Methods: The present study was conducted in Kurdistan province located in western Iran, the area is about 110,000 ha and mean altitude of 2277m above sea level. The area has an average annual temperature of 10.20 °C and an average annual rainfall of 369.8 mm, which dominantly occurs in spring and winter. Besides, the area has soil moisture and temperature regimes of Xeric and Mesic, respectively. The lithological setting of the studied area includes reddish of sandy marls and marl sandstone, river deposits, alluvium-cultivated land, and granite. The studied area was divided into different parts in terms of geomorphology and land use. Soil sampling was done using the stratified random sampling approach. A total of 347 samples were collected from the surface layers (0-30 cm depth) of the studied area. Magnetic



susceptibility at both high and low frequencies was measured using a Bartington MS2 dual-frequency sensor. The amounts of all the selected heavy metals including iron, zinc, manganese, copper, and nickel were measured using atomic absorption spectrophotometer. Soil particle sizes, acidity, SOC, CCE and electrical conductivity were measured in all soil samples. The concentration factor and Tomlinson's Pollution Load Index were calculated. The Spearman correlation coefficient was used to examine the correlation between different parameters. The analysis of variance was used to evaluate the effects of geomorphology and land use on heavy metals and magnetic susceptibility. Spatial analysis was done conducted for some variables (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, and χ_{lf}) and the map of variables were created in ArcGIS v.13 software.

Results and Discussion: The results showed that the positive significant correlations were observed between heavy metals and silt content and negative significant correlations were observed between heavy metals and sand content. Fine soil fraction compared with coarse fraction has the higher specific surfaces and more susceptible to attract heavy metals. Moreover, positive and significant correlations were obtained between the SOC and heavy metals across various land use types and geomorphic units. Organic matters have a high cation exchange capacity, therefore they adsorb heavy metals and hold them on their surfaces. pH and CCE showed negative and significant correlations with heavy metals and magnetic susceptibility. The positive correlation between heavy metals and magnetic susceptibility in agricultural land, piedmont, and river plains units observed. Also, PLI and CF have a positive correlation with magnetic susceptibility. The t-test showed that a significant difference between agricultural lands and non-agricultural land types and ANOVA results in various geomorphic units of the study area indicated that the magnetic susceptibility between piedmont and mountainous areas were significantly different.

Conclusion: Results indicated a significant correlation between magnetic susceptibility and heavy metals. Besides, the magnetic properties of the soil are influenced by its physical and chemical properties that have large impacts on reducing or improving its magnetic field. Significant differences were observed between agricultural lands and non-agricultural lands as well as mountainous and piedmont areas that had different parent materials. These results indicate the great impact of parent materials constituting the soil on the absence or presence of diamagnetism in the region.

Keywords: *Pollution, parent material, agricultural and range lands, kirging*

ارزیابی اثر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر توزیع مکانی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی (مطالعه موردی: استان کردستان)

کامران عزیزی^۱، شمس الله ایوبی^۲ و کمال نبی اللهی^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

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

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>تاکنون مطالعات کمی در مورد بررسی رابطه بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در مناطقی که تحت تأثیر فعالیت-های صنعتی نباشد، انجام شده است. این مطالعه بررسی کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر برخی از ویژگی‌ها خاک، غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در استان کردستان انجام شده است. ۳۴۷ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بر اساس روش نمونه-برداری طبقه‌بندی تصادفی گرفته شد و پذیرفتاری مغناطیسی، غلظت کل فلزات سنگین و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی و همچنین بین کربن آلی خاک، کربنات کلسیم معادل، pH با پذیرفتاری مغناطیسی وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های اراضی مختلف، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵٪ می‌باشند. علاوه بر این از لحاظ ژئومورفولوژی، در فرکانس‌های بالا، پذیرفتاری مغناطیسی در سطح آماری ۱٪ و در فرکانس‌های پایین، در سطح آماری ۵٪ بین پیدمنت و کوه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، اما تفاوت معنی‌داری بین پیدمنت - آبرفت‌های رودخانه‌ای و کوه‌ها- آبرفت‌های رودخانه‌ای مشاهده نشد که می‌تواند به علت تغییر در ماده مادری و افزایش مقادیر مواد دیامگناطیس و همچنین کاهش در مقادیر فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف منطقه مطالعاتی باشد. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی از مناطق مرتفع‌تر (کوهستانی و مرتعی) به سمت مناطق پست‌تر (پیدمنت و کشاورزی) روند کاهشی داشت. نتایج تأثیر کاربری و ژئومورفولوژی را بر حضور یا عدم حضور مواد دیامگناطیس در منطقه تأیید کرد و توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی برای منطقه مورد مطالعه انجام شد.</p>	<p>دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶</p> <p>کلمات کلیدی: آلودگی، مواد مادری، اراضی کشاورزی و مرتعی، کریجینگ</p> <p>* عهده دار مکاتبات Email: k.nabiollahi@uok.ac.ir</p>

مقدمه

در خاک‌های کشاورزی علاوه بر مواد مادری منطقه، استفاده از کودها و سموم دفع آفات به‌عنوان منبع آلودگی فلزات شناسایی شده‌اند. آلاینده‌ها تهدیدات زیست محیطی محسوب می‌شوند و در میان آلاینده‌ها، فلزات سنگین به‌دلیل تجزیه‌ناپذیری و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده حتی در غلظت‌های کم تأثیرپذیر شناخته شده‌اند. این عناصر دارای خواص و ویژگی‌هایی همچون سمیت، پتانسیل سرطان‌زایی و جهش‌زایی زیاد، ماندگاری بسیار طولانی و تجمع‌پذیری بالا در سطوح مختلف زنجیره غذایی هستند (۲). در نتیجه آگاهی از نحوه توزیع مکانی این عناصر در خاک کاری اصولی در پیشگیری از آلودگی زمین با هدف مدیریت زراعی بهتر و تولید محصولات کشاورزی سالم متر است. همچنین عناصر سنگین با پذیرفتاری مغناطیسی در یک منطقه در ارتباطند. پذیرفتاری مغناطیسی^۱ میزان تأثیر ماده بر یک میدان مغناطیسی شناخته شده و خاص است. میزان این اثر به غلظت و نوع ماده معدنی مغناطیسی موجود در نمونه بستگی دارد (۳۲). اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی ساده، سریع، غیر مخرب و اقتصادی است. پذیرفتاری مغناطیسی جرمی و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس^۲ معمولاً از ویژگی‌های مورد استفاده در این راستا محسوب می‌شوند (۱۵). نوع کاربری زمین یکی از فاکتورهای اصلی تأثیرگذار بر توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در خاک است. همچنین پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مختلف، تحت تأثیر موقعیت شیب و خصوصیات مختلف خاک مانند بافت خاک متفاوت هستند (۲۵).

خاصیت مغناطیسی در اجسام به پنج دسته تقسیم می‌شوند که بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی و به ترتیب نزولی شامل فرومگنتیسم (مانند آهن خالص)،

فری مگنتیسم (مانند مگنتیت و مگهمیت)، آنتی فرومگنتیسم (مانند هماتیت و گوتیت)، پارامغناطیس (مانند لپیدوکروسیت) و دیامغناطیس (مانند کوارتز، کربنات‌ها، گچ و ماده آلی) می‌باشند (۲۶). کانی‌های فری مگنتیت مانند مگنتیت^۳ و مگهمیت^۴ اغلب علت خواص مغناطیسی در خاک هستند. غلظت این مواد معدنی در خاک کم است، با این حال، در مقایسه با سایر مواد معدنی آهن‌دار، در تنظیم شدت حساسیت مغناطیسی خاک تأثیر بیشتری دارند (۱۷). پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مختلف با ویژگی‌های متفاوت، همبستگی‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. به‌طور کلی، خصوصیات مغناطیسی با غلظت و نوع مواد معدنی مغناطیسی و همچنین اندازه ذرات خاک و دانه‌بندی آن ارتباط مثبت دارد (۲۵). علاوه بر این، پذیرفتاری مغناطیسی با مؤلفه‌های دیامغناطیسی مانند گچ، کوارتز، کلسیت و ماده آلی همبستگی منفی ضعیفی دارد (۱۴). رس و شن اغلب درجه مغناطیسی بالاتری را نشان می‌دهند در حالی که کربنات‌ها دارای حساسیت مغناطیسی کمتری هستند (۹). پذیرفتاری مغناطیسی در مطالعات مربوط به سنگ مادر (۵)، موقعیت زهکشی خاک (۳)، آلودگی فلزات سنگین خاک، رسوبات (۸) و رژیم‌های رطوبتی مختلف خاک (۳۶) دارای نتایج قانع‌کننده‌ای بوده است. همچنین، چندین مطالعه در مورد اندازه‌گیری فلزات سنگین و ارتباط آن‌ها با پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق صنعتی و شهری گزارش شده است (۶، ۷، ۱۲ و ۱۴). با این حال، در کشور ما، مطالعات کمی در مورد بررسی رابطه بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در مناطقی که تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی نباشد، انجام شده است. اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از: ۱- تعیین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت برخی از فلزات سنگین از

3- Fe₃O₄
4- γFe₂O₃

1- Magnetic Susceptibility
2- Dependent Magnetic Susceptibility

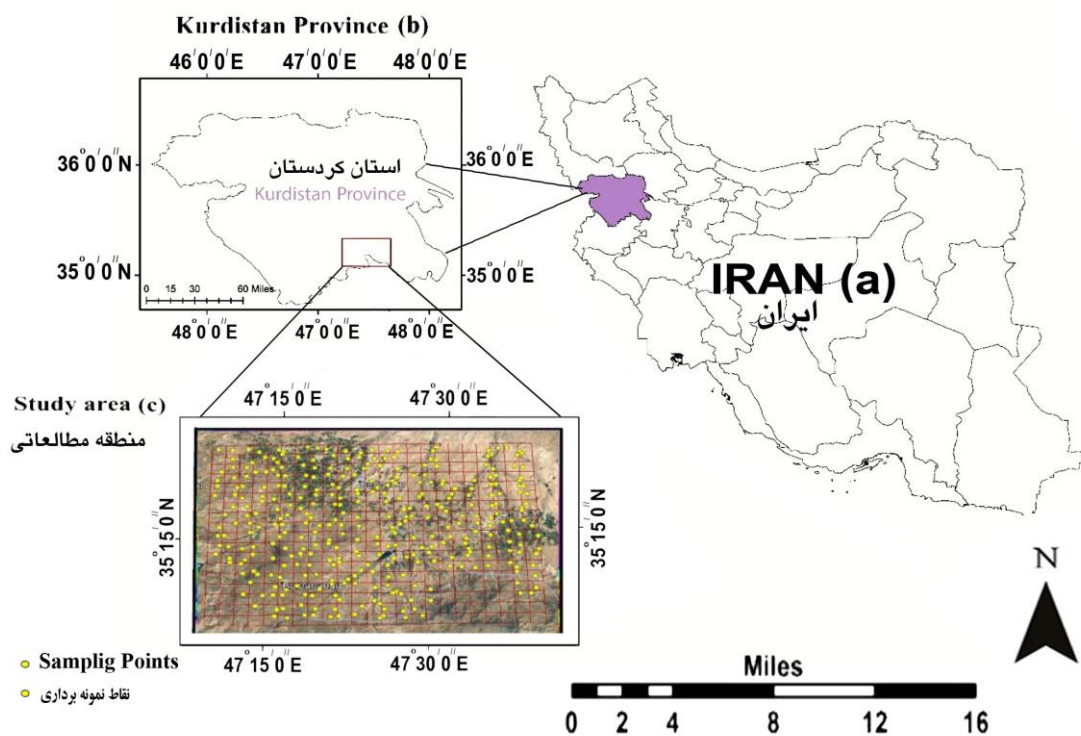
(شکل ۱). مساحت منطقه حدود ۱۱۰۰۰۰ هکتار و میانگین ارتفاع ۲۲۷۷ متر است. میانگین دمای سالانه ۱۰/۲۰ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه ۳۶۹/۸ میلی‌متر است (از ابتدای مهر ۹۸ تا پایان شهریور ۹۹) که حدود ۷۰ درصد آن در زمستان و بهار اتفاق می‌افتد.

جمله روی، مس، آهن و منگنز در لایه‌های سطحی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) منطقه مورد مطالعه، ۲- بررسی توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین مورد مطالعه تحت انواع مختلف کاربری اراضی و واحدهای ژئومورفولوژیکی در منطقه مورد مطالعه.

مواد و روش

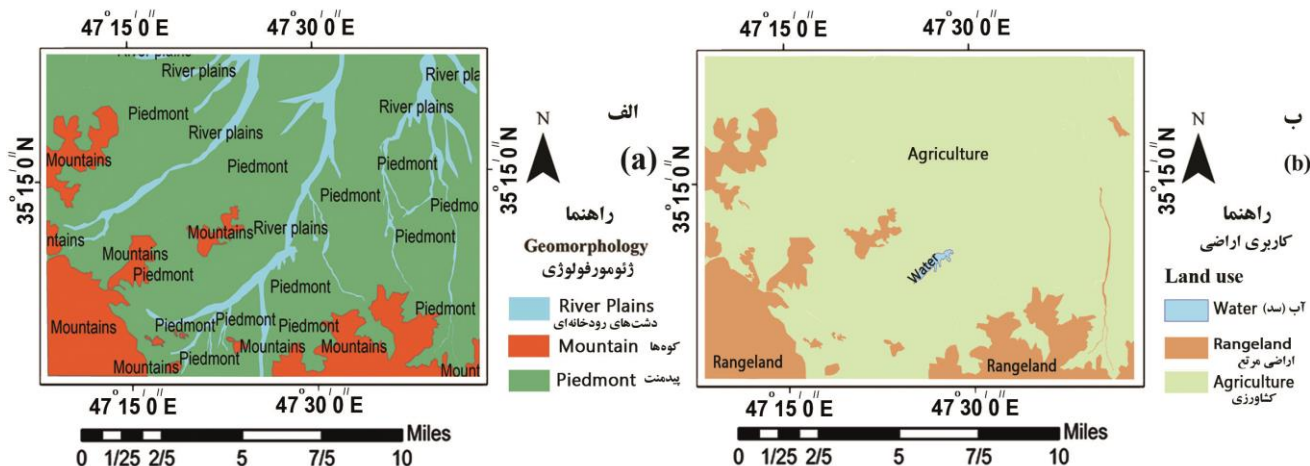
محدوده مطالعاتی، نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

این پژوهش در استان کردستان، غرب ایران، در حد فاصل $35^{\circ}05'00''$ تا $35^{\circ}20'00''$ متر عرض شمالی و $47^{\circ}12'59''$ تا $47^{\circ}39'17''$ متر طول شرقی واقع شده است



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری، استان کردستان، غرب ایران

Figure (1) Location of the site studied and the soil sampling in Kurdistan Province, west Iran



شکل (۲) قسمت‌های مختلف منطقه مطالعاتی در تقسیم‌بندی‌های کاربری اراضی و ژئومورفولوژی
 Figure(2) Different parts of study area in terms of land use and geomorphology

جهانی^۶ ثبت شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل، هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و برای تجزیه‌های آزمایشگاهی استفاده شدند.

پذیرفتاری مغناطیسی در هر دو فرکانس بالا (4.7 kHz; χ_{hf}) و پایین (0.47 kHz; χ_{lf}) با یک سنسور فرکانس دوتایی (Bartington MS2) اندازه‌گیری شد (۵). مقدار حساسیت وابسته به فرکانس از معادله ۱ به‌دست آمد که این نوع اندازه‌گیری برای تشخیص حضور ذرات بسیار ریز سوپرارامگنتیک (کوچکتر از ۰/۰۳ میکرومتر) در خاک می‌باشد (۳۵).

$$\chi_{fd}(\%) = \left[\frac{\chi_{lf} - \chi_{hf}}{\chi_{lf}} \right] * 100 \quad (1)$$

با افزایش مقادیر ذرات بسیار ریز، تفاوت بیشتری بین قرائت‌ها در دو فرکانس بالا و پایین مشاهده می‌شود. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین، ۰/۵ گرم خاک توسط اسید نیتریک ۵ مولار عصاره‌گیری شد (۱) و مقادیر کل فلزات سنگین انتخاب شده شامل آهن، منگنز، روی، نیکل و مس با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی (مدل پرکین المر AA200) اندازه‌گیری شدند (۱). واکنش

علاوه بر این، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب زیریک^۱ و مزیک^۲ هستند مجموعه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل مارن‌های ماسه‌ای مایل به قرمز و ماسه سنگ مارن^۳، نهشته‌های رودخانه^۴ و زمین‌های آبرفتی تحت کشت^۵ و گرانیب است. منطقه مورد مطالعه از نظر کاربری اراضی به دو قسمت کشاورزی و مرتع همچنین از نظر ژئومورفولوژی بر اساس تفسیر چشمی، نقشه‌های توپوگرافی، شیب و عکس‌های هوایی با سه معیار ارتفاع، شیب و نمای توپوگرافی به سه واحد کوه، پیدمنت و دشت‌های رودخانه‌ای تقسیم شدند که در شکل ۲ نشان داده شده است. نمونه- برداری از خاک با استفاده از روش نمونه‌گیری شبکه‌ای تصادفی شده انجام شد (شکل ۱ ج). با توجه به عدم دسترسی و غیر قابل عبور بودن برخی از مکان‌ها در الگوی شبکه طراحی شده، تعداد ۳۴۷ نمونه از لایه‌های سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) منطقه مورد مطالعه برداشت شد (شکل ۱ ج). مختصات مکانی هر نمونه با استفاده از سیستم موقعیت یاب

- 1- Xeric
- 2- Mesic
- 3- Reddish sandy marls and marl sandstone
- 4- River deposits
- 5- Alluvium-cultivated land

برآورد شده با مقادیر واقعی انتخاب شد. با استفاده از تابع عددی معادله ۲، مقدار متغیر محاسبه می شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{a=1}^{n-h} [z(x_a) - z(x_a+h)]^2 \quad (2)$$

که در آن $Z(x_a)$ مقدار نمونه در نقطه (x_a) است که متغیر منطقه‌ای نیز نامیده می شود $Z(x_a+h)$ مقدار نمونه در نقطه (x_a+h) است، $\gamma(h)$ مقدار واریوگرام برای فاصله h بین نمونه‌های $Z(x_a)$ ، $Z(x_a+h)$ است و N تعداد جفت نقاط اندازه گیری شده در فاصله h می باشد. در این مطالعه، برای آهن، منگنز، روی، نیکل، مس و پذیرفتاری مغناطیسی تحلیل مکانی انجام شد و نقشه متغیرها در ArcGIS (V 13) ترسیم شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی

نتایج آماری برخی از خصوصیات خاک در بخش-های مختلف کاربری زمین و ژئومورفولوژی در جدول ۱ ارائه شده است میانگین قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m) ۰/۱۹ در منطقه، نشان‌دهنده کم بودن شوری در تمام منطقه مورد مطالعه (جدول ۱) است. همچنین کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در زمین‌های مرتعی واقع در کوهستان‌ها بوده است. با توجه به میانگین اسیدیته (۷/۲۶) (جدول ۱)، بیشتر خاک‌های مورد مطالعه بازی بودند. نتایج گزارش شده در جدول ۱، نشان می‌دهد که مقدار میانگین کربن آلی خاک (۰/۹) کم است. نتایج مطالعه ایوبی و دهقان (۶) نشان داد که کشت و زراعت متداوم منجر به اکسیداسیون و تخریب ماده آلی خاک می‌شود. در نتیجه کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. مقادیر کربنات کلسیم در محدوده وسیعی بود که از ۰ تا ۴۳ درصد متغیر بود. کمترین میزان کربنات کلسیم در مناطق کوهستانی منطقه با سنگ‌های مادری گرانیت بدون کربنات می‌باشد. ایوبی و همکاران^۴ (۷) در مطالعه‌ای در غرب ایران نشان دادند که کمترین میزان کربنات کلسیم

خاک^۱ و قابلیت هدایت الکتریکی^۲ نمونه‌های خاک از سوسپانسیون نسبت خاک به آب ۱:۲/۵ اندازه‌گیری شد. کربنات کلسیم معادل^۳ با روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد (۱۱). برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک از روش والکل-بلاک (۳۷) استفاده شد. همچنین، اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس) با استفاده از روش هیدرومتریکی (۱۶) تعیین شد.

بررسی‌های آماری و زمین‌آمار

در این مطالعه، پس از حذف داده‌های پرت با استفاده از نرم افزار SPSS و Box-Plot، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، میانگین، حداقل و حداکثر برای هر متغیر فیزیکی-شیمیایی و فلزات سنگین محاسبه شد. از ضریب همبستگی اسپیرمن برای بررسی همبستگی بین هر یک از پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی با خصوصیات مختلف فیزیکی-شیمیایی و فلزات سنگین استفاده شد. علاوه بر این، برای ارزیابی اثرات ژئومورفولوژی و کاربری اراضی بر روی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی از تجزیه و تحلیل واریانس استفاده شد. مقایسه میانگین با استفاده از روش دانکن (۳۴) برای ژئومورفولوژی و آزمون t (۲۹) برای اثرات کاربری اراضی انجام شد. تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری در SPSS v.20 پیاده‌سازی و اجرا شده است.

برای بررسی تغییرات مکانی فلزات و پذیرفتاری مغناطیسی منطقه، واریوگرافی انجام شد. در میان انواع مختلف روش‌های زمین‌آمار، روش کریجینگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها در برآورد آماره‌های مکانی گزارش شده است (۱۸). روش کریجینگ بر اساس تئوری واریوگرافی، تجزیه و تحلیل وابستگی مکانی است همچنین برای داده‌های دارای توزیع مکانی نامنظم کاربرد بیشتری دارد (۲۲). مناسب‌ترین مدل سمی واریوگرام و کوواریانس با آزمون و خطا برای بررسی اعتبار مدل‌ها و مقایسه مقادیر

-
- 1- pH
 - 2- EC
 - 3- CCE

مناطق کوهستانی $121/01 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ، در آبرفت‌های رودخانه‌ای $97/81 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ و در پیدمنت‌ها $87/61 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ بود. اگر مقدار χ_{fd} بیشتر از ۴ درصد باشد بیانگر حضور ذرات درشت مغناطیسی که منشا طبیعی ذرات مغناطیسی را در منطقه مطالعاتی تأیید می‌کند (۲۰). از آنجایی که منطقه مورد مطالعه دارای χ_{fd} بالاتر از ۴ و حتی در بعضی از مناطق بالاتر از ۸ درصد است (جدول ۲)، به نظر می‌رسد که ذرات مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه غالباً از مواد مادری به ارث رسیده‌اند. علاوه بر این، در برخی موارد χ_{fd} کمتر از ۴ است (جدول ۲). که بیانگر شرایط مناسب برای فرآیندهای پدوژنیک و تشکیل ذرات مغناطیسی در برخی از مناطق می‌باشد.

برای سنگ‌های آذرین است. نتایج آماری مربوط به پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه، در تقسیم‌بندی‌های متفاوت در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در کاربری‌های متفاوت و تقسیم‌بندی ژئومورفولوژی منطقه متفاوت است به نحوی که در مناطق مرتعی بیشتر از کاربری کشاورزی، همچنین در مناطق کوهستانی بیشتر از آبرفت‌های رودخانه‌ای و پیدمنت می‌باشد. این نتایج را می‌توان به تفاوت کربنات کلسیم در این کاربری‌ها نسبت داد. مناطقی که دارای میانگین کربنات کلسیم پایین هستند، پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری دارند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توزیع پذیرفتاری در درجه اول به توزیع کربنات‌ها وابسته است (۲۸). میانگین χ_{lf} در زمین‌های کشاورزی $86/24 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ بود، در حالی که میانگین مقدار این پارامتر در کاربری مرتعی $111/01 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ بود. همچنین در

جدول (۱) خصوصیات آماری پارامترهای لایه‌های سطحی خاک منطقه مورد مطالعه

Table(1) Descriptive statistics of selected soil properties from the surface layer of the study area

کشیدگی	چولگی	ضریب تغییرات (%)	واریانس	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
Kurtosis	Skewness	CV (%)	Variance	Std.Dev	Mean	Maximum	Minimum
Agriculture land (N=257) - اراضی کشاورزی							
0.65	- 0.01	27.65	8.41	70.89	30.45	14.4	54.4
(Sand) (%)							
- 0.57	0.91	12.19	6.16	38.01	50.57	22	64
(Silt) (%)							
0.76	- 0.28	23.61	4.47	20.05	18.97	9	30
(Clay) (%)							
0.29	- 0.45	49.49	9.52	90.73	19.24	0	43
کربنات کلسیم معادل (CCE) (%)							
1.92	5.74	36.18	0.32	0.10	0.90	0.31	2.69
(SOC) (%)							
3.37	16.13	34.31	0.07	0.00	0.22	0.10	0.74
قابلیت هدایت الکتریکی (EC) (dS/m)							
0.35	- 0.51	2.41	0.17	0.03	7.39	6.93	7.80
(pH) اسیدیته							
Rangeland (N=35) - اراضی مرتع							
0.42	- 0.36	27.20	9.78	95.8	35.99	18.40	60.28
(Sand) (%)							
- 0.17	- 0.81	15.13	7.15	51.16	47.26	32.72	59
(Silt) (%)							
0.09	- 0.15	25.37	4.24	18.02	16.73	7	25.60
(Clay) (%)							
1.56	2.57	110.2	4.41	19.45	4	0	18
(CCE) کربنات کلسیم معادل (%)							
0.36	- 0.49	36.57	0.40	0.16	1.09	0.39	1.96
(SOC) (%)							

قابلیت هدایت الکتریکی								
(EC) (dS/m)	0.25	0.10	0.17	0.00	0.03	21.2	- 0.15	- 0.30
اسیدیته (pH)	7.70	6.67	7.13	0.04	0.21	3.03	0.87	0.40
پیدمنت - Piedmont (N=218)								
شن (Sand) (%)	50.28	14.4	29.40	60.93	7.80	26.55	0.07	0.66
سیلت (Silt) (%)	64	36	51.18	33.11	5.75	11.24	- 0.37	- 0.25
رس (Clay) (%)	30	8.6	19.41	19.53	4.42	22.77	- 0.11	0.06
کربنات کلسیم معادل (CCE) (%)	43	0	20.06	89.40	9.44	47.12	- 0.56	0.18
کربن آلی (SOC) (%)	1.85	0.37	0.84	0.05	0.22	26.67	2.30	1.00
قابلیت هدایت الکتریکی								
(EC) (dS/m)	0.74	0.12	0.21	0.00	0.06	30.17	23.97	3.86
اسیدیته (pH)	7.8	7.06	7.39	0.02	0.17	2.3	- 0.53	0.48
دشت‌های رودخانه‌ای - River plains (N=39)								
شن (Sand) (%)	60.28	15.4	35.48	102.9	10.14	28.59	0.10	0.34
سیلت (Silt) (%)	58	32.72	48.07	45.37	6.73	14.01	- 0.65	- 0.37
رس (Clay) (%)	26.6	7	16.44	23.38	4.83	29.4	- 0.28	0.25
کربنات کلسیم معادل (CCE) (%)	30	2	15.37	45.91	6.77	44.08	- 0.19	0.19
کربن آلی (SOC) (%)	2.69	0.33	1.09	0.28	0.53	48.89	0.62	0.99
قابلیت هدایت الکتریکی								
(EC) (dS/m)	0.69	0.15	0.25	0.01	0.10	42.2	7.20	2.49
اسیدیته (pH)	7.78	7.02	7.38	0.04	0.20	2.76	- 1.02	0.32
کوه‌ها - Mountains (N=30)								
شن (Sand) (%)	52.4	23.4	36.74	80.02	8.94	24.34	- 1.15	0.28
سیلت (Silt) (%)	59	35	47.31	49.15	7.01	14.82	- 1.04	- 0.04
رس (Clay) (%)	23.6	9.6	15.94	12.59	3.54	22.25	- 0.36	0.16
کربنات کلسیم معادل (CCE) (%)	8	0	2.70	6.88	2.62	96.93	- 0.91	0.53
کربن آلی (SOC) (%)	1.89	0.58	1.08	0.13	0.36	33.34	- 0.43	0.47
قابلیت هدایت الکتریکی								
(EC) (dS/m)	0.23	0.09	0.17	0.00	0.03	22.21	- 0.36	- 0.58
اسیدیته (pH)	7.39	6.67	7.07	0.03	0.18	2.62	- 0.27	- 0.37

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که در منطقه مطالعاتی بیشترین میانگین عناصر سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی مربوط به مناطق مرتعی است که عمدتاً شامل مناطق کوهستانی می‌باشد.

مختاری کارچگانی و همکاران^۱ (۲۵) در منطقه لردگان ایران با شرایط مشابه، نوتشکیلی^۲ ذرات مغناطیسی را گزارش کردند.

1 - Karchegani *et al.*

2- Neofornation

همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک و فلزات سنگین را با پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس و پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین را نشان می‌دهد. درصد شن خاک با پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در هر دو کاربری اراضی، همچنین کوهستان و پیدمنت ارتباط معنی‌دار منفی ($P^{**} < 0.01$) نشان داد. رس و سیلت دارای ارتباط معنی‌دار مثبت با پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در بخش‌های مختلف منطقه مطالعاتی بودند. با توجه به اینکه رس و سیلت دارای ذرات کوچکتر و سطح تماس و قدرت جذب بیشتری هستند، باعث حفظ عناصر و در نتیجه افزایش مغناطیس خاک می‌شوند (۱۹). همچنین می‌توان گفت حضور ترکیبات مگنتیت در رس و سیلت بیشتر از شن می‌باشد (۲۴).

قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی قابل ملاحظه‌ای با پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس به جز در مناطق کوهستانی نشان نداد و این موضوع احتمالاً به دلیل عدم تفاوت قابل ملاحظه این پارامتر در منطقه مورد مطالعه بود. همچنین اسیدیته همبستگی معنی‌دار منفی ($P^{**} < 0.01$) با پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی کشاورزی، آبرفت‌های رودخانه‌ای و پیدمنت داشت و هیچ ارتباط معنی‌داری در مناطق کوهستانی و مرتعی نداشت که دلیل آن را می‌توان عدم تفاوت اسیدیته در مناطق کوهستانی که عمدتاً مرتعی هستند عنوان کرد در سایر مناطق افزایش کربنات کلسیم منجر به افزایش اسیدیته خاک شده است که روابط منفی آن با پذیرفتاری مغناطیسی را توجیه می‌کند. کربن آلی خاک دارای رابطه مثبت با پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس بود که دلیل آن را می‌توان به همبستگی مثبت با عناصر سنگین، ظرفیت تبدلی کاتیونی بالا و ماده آلی دانست (۳۰).

کربنات کلسیم با پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مطالعاتی دارای ارتباط معنی‌دار منفی ($P^{**} < 0.01$) بود که این امر به دلیل خاصیت دیامغناطیس آن است (۷).

با توجه به تفاوت در مواد مادری که منشأ تفاوت در عناصر سنگین و مواد دیامغناطیس محسوب می‌شود و نیز تأثیر کاهنده مواد دیامغناطیس^۱ و تأثیر مثبت عناصر سنگین (۶) بر پذیرفتاری مغناطیسی، این نتایج دور از انتظار نیست (۶، ۷ و ۱۵).

تجزیه و تحلیل همبستگی‌ها

جدول ۳ ضریب همبستگی بین پارامترهای خاک و فلزات سنگین را نشان می‌دهد. بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن در زمین‌های کشاورزی که از لحاظ ژئومورفولوژی هم عمدتاً پیدمنت هستند رابطه معنی‌دار مثبت بین مقادیر سیلت ($P^{**} < 0.01$)، رس ($P^{**} < 0.05$ و $P^{**} < 0.01$) و رابطه معنی‌دار منفی بین شن ($P^{**} < 0.01$) با فلزات سنگین مشاهده شد. نگهداری و جذب فلزات سنگین در خاک تابع نیروی الکتروستاتیک مرتبط با بار منفی موجود در سطح ذرات خاک می‌باشد بخش ذرات ریز خاک دارای سطح ویژه بالا تمایل بیشتری برای جذب عناصر سنگین نسبت به بخش درشت خاک نشان می‌دهند (۱۰). بین کربن آلی خاک و فلزات سنگین در تقسیم‌بندی‌های متفاوت کاربری و ژئومورفولوژی همبستگی مثبت ($P^{**} < 0.01$) و معنی‌داری وجود دارد. این نتایج تأیید کرد که کربن آلی خاک عامل مهم و تأثیرگذاری در مقادیر فلزات سنگین خاک می‌باشد (۳۱). ماده آلی دارای ظرفیت تبدلی کاتیونی بالایی هستند، فلزات سنگین را جذب و روی سطح خود نگه می‌دارند و یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده تجمع، تحرک و دسترسی زیستی فلزات سنگین محسوب می‌شوند (۳۱) همچنین می‌توان به واکنش‌های تبدلی و جذب شیمیایی ماده آلی، با فلزات سنگین و تشکیل کمپلکس‌ها اشاره کرد (۳۶). اسیدیته و کربنات کلسیم با فلزات سنگین همبستگی منفی ($P^{**} < 0.01$) و معنی‌داری داشتند. طبق برخی مطالعات گزارش شده توسط نعیمی و همکاران^۲ (۲۷)، کریمی و همکاران^۳ (۲۱) و ایوبی و همکاران (۷) مقادیر بالای کربنات کلسیم معادل منجر به کاهش سطح قابل تبادل خاک می‌شود که توانایی جذب فلزات سنگین را دارد. جدول ۴ ضرایب

1- Diamagnetic

2- Naimi et al.

3- Karimi et al.

جدول (۲) خصوصیات آماری پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی و عناصر سنگین لایه‌های سطحی خاک منطقه مورد مطالعه
 Table (2) Descriptive statistics of magnetic susceptibility parameters and heavy metals of the surface layers of the study area.

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	ضریب تغییرات	چولگی	کشدگی
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev	Variance	CV	Skewness	Kurtosis
اراضی کشاورزی - Agriculture land (N=257)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	28.82	387.22	86.24	47.49	2255.82	55.07	2.44	8.78
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	27.72	382.87	83.73	46.60	2172.09	55.66	2.49	9.22
χ_{fd} (%)	0.682	8.79	3.02	1.41	1.99	46.71	0.98	1.62
آهن (Fe) (mg/kg)	5080	21260	11016	3753.88	14091636	34.08	0.14	-0.78
روی (Zn) (mg/kg)	20	58	30.95	6.81	46.46	22.02	1.23	2.42
منگنز (Mn) (mg/kg)	424	1588	934.1	227.13	51588.18	24.31	0.30	-0.51
مس (Cu) (mg/kg)	8	35	21.19	5.87	34.54	27.73	-0.04	-0.79
نیکل (Ni) (mg/kg)	43	153	93.15	23.80	566.65	25.55	0.16	-0.80
اراضی مرتع - Rangeland (N=35)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	47.57	348.22	111.0	77.66	6032.10	69.96	1.89	2.94
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	45.25	344.55	107.9	77.45	5998.92	71.74	1.90	2.95
χ_{fd} (%)	0.972	8.440	3.47	1.76	3.13	50.88	0.51	0.29
آهن (Fe) (mg/kg)	6660	26860	16466	4810.61	23141971	29.21	0.34	-0.19
روی (Zn) (mg/kg)	22	58	33.31	7.40	54.81	22.22	1.21	2.35
منگنز (Mn) (mg/kg)	618	2212	1280.1	435.56	189719.2	34.01	0.79	-0.45
مس (Cu) (mg/kg)	14	41	25.74	6.74	45.49	26.2	0.51	-0.15
نیکل (Ni) (mg/kg)	49	127	95.20	18.05	325.98	18.97	-0.41	-0.05
پیدمنت - Piedmont (N=218)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	34.07	387.22	87.61	49.72	2472.83	56.76	2.50	8.51
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	33.20	382.87	85.29	49.25	2426.12	57.75	2.54	8.70
χ_{fd} (%)	0.77	8.79	2.902	1.21	1.48	41.96	0.99	2.43
آهن (Fe) (mg/kg)	5080	21260	11065	3698.81	13681196	33.43	0.15	-0.71
روی (Zn) (mg/kg)	20	54	30.49	6.42	41.30	21.07	1.07	1.82
منگنز (Mn) (mg/kg)	490	1588	930.3	220.25	48511.47	23.67	0.33	-0.42
مس (Cu) (mg/kg)	8	35	21.38	5.83	34.07	27.3	-0.09	-0.74
نیکل (Ni) (mg/kg)	43	153	96.36	23.77	565.09	24.67	0.01	-0.76
دشت‌های رودخانه‌ای - River plains (N=39)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	32.32	265.32	97.81	49.24	2425.45	50.35	1.16	2.10
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	31.67	251.45	94.50	46.64	2175.43	49.36	1.12	1.99
χ_{fd} (%)	0.682	8.59	3.007	2.05	4.21	68.3	1.24	1.05
آهن (Fe) (mg/kg)	5440	14860	10410	3055.35	9335197	29.35	-0.24	-1.56
روی (Zn) (mg/kg)	20	42	29.58	5.03	25.30	17	0.36	-0.25
منگنز (Mn) (mg/kg)	424	1438	881.8	228.62	52267.87	25.93	0.41	0.32

(Cu) (mg/kg) مس	10	30	19.23	4.96	24.65	25.82	0.04	- 0.89
(Ni) (mg/kg) نیکل	49	100	75.25	14.37	206.66	19.1	- 0.11	- 0.81
Mountains (N=30) - کوه‌ها								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	47.57	366.37	127.0	94.60	8951.00	74.49	1.52	1.14
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	45.25	363.12	124.0	94.42	8916.13	76.14	1.52	1.14
χ_{fd} (%)	0.88	6.16	3.23	1.61	2.59	49.78	0.20	- 0.89
(Fe) (mg/kg) آهن	11100	28040	17185	4760.64	22663711	27.7	0.90	- 0.18
(Zn) (mg/kg) روی	22	48	32.48	6.42	41.33	19.79	0.58	- 0.31
(Mn) (mg/kg) منگنز	752	2212	1302	428.06	183241	32.86	0.82	- 0.44
(Cu) (mg/kg) مس	14	41	26.17	6.13	37.64	23.44	0.56	0.37
(Ni) (mg/kg) نیکل	64	127	94.68	17.04	290.50	18	- 0.22	- 0.72

χ_{lf} = پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین، χ_{hf} = پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس χ_{lf} = پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا

χ_{lf} = magnetic susceptibility at low frequency; χ_{hf} = magnetic susceptibility at high frequency; χ_{fd} = Frequency dependent magnetic susceptibility

صفر نمی‌شود و تفاوت معنی‌دار ($P^* < 0.05$) بین دو کاربری مختلف را نشان می‌دهد.

بررسی تأثیر ژئومورفولوژی بر پذیرفتاری مغناطیسی

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی در جدول ۷ نشان داد که اختلاف معنی‌داری برای پذیرفتاری مغناطیسی در هر دو فرکانس بالا ($P^{**} < 0.05$) و پایین ($P^{**} < 0.01$) وجود دارد. در شکل ۴ اختلاف فواصل اطمینان پذیرفتاری مغناطیسی (فرکانس‌های بالا و پایین) که با استفاده از آزمون توکی از آزمون ANOVA استخراج شده است، نشان داده شده است. پذیرفتاری مغناطیسی بین دو قسمت پیدمنت و کوهستان در فرکانس‌های بالا ($P^* < 0.05$) و پایین ($P^{**} < 0.01$) دارای تفاوت معنی‌دار است. این تفاوت معنی‌دار می‌تواند دلایلی از جمله یکسان نبودن ماده مادری، کاربری‌های مختلف، شرایط مدیریتی، فرسایش و پراکندگی متفاوت مواد دیامگناطیس در مناطق مختلف داشته باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت هنگام حرکت از مناطق مرتفع‌تر (کوهستانی) به سمت مناطق پست‌تر (پیدمنت) شاهد تغییر در ماده مادری، افزایش مقادیر ماده-های دیامگناطیس و همچنین کاهش در مقادیر فلزات هستیم.

روابط منفی به‌دست آمده بین کرنات کلسیم و پذیرفتاری مغناطیسی با یافته‌های دیگر پژوهشگران هم‌خوانی دارد (۲۵، ۱۳، ۲۷). با توجه به جدول ۵ همبستگی مثبت پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس با فلزات سنگین را نشان می‌دهد. عدم همبستگی در مناطق مرتفع‌تر به دلیل کمتر بودن ماده‌های ریز پارامگناطیسی است که دارای منشأ طبیعی و به دلیل مواد مادری متفاوت است (۲۰). همبستگی بین فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در پژوهش‌های ایوبی و همکاران (۴، ۵، ۶، ۷) و لو و همکاران (۲۳) مورد بررسی و تأیید شده است.

بررسی تأثیر کاربری اراضی بر پذیرفتاری مغناطیسی

نتایج آزمون t در جدول ۶ که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($P^* < 0.05$) پذیرفتاری مغناطیسی در دو فرکانس (بالا و پایین) بین دو کاربری مختلف است. نمودار CI (شکل ۳) تفاوت بین میانگین‌های پذیرفتاری مغناطیسی (فرکانس‌های بالا و پایین) را در دو بخش کاربری اراضی نشان می‌دهد که توسط تجزیه و تحلیل آزمون t به‌دست آمده است. در این نمودار اگر فاصله اطمینان شامل نقطه صفر باشد، تفاوت معنی‌داری بین دو قسمت وجود ندارد. طبق نمودار در هر دو فرکانس پذیرفتاری مغناطیسی، فاصله اطمینان شامل نقطه

جدول (۳) همبستگی اسپیرمن بین پارامترهای خاک و عناصر سنگین

Table (3) Spearman correlation between selected soil properties and heavy metals.

	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی SOC (%)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)
Agriculture land (N=257) - اراضی کشاورزی							
آهن (Fe) (mg/kg)	-0.30**	0.34**	0.14*	-0.02ns	-0.70**	0.29**	-0.52**
روی (Ln Zn) (mg/kg)	-0.27**	0.28**	0.15*	0.14*	-0.23**	0.25**	-0.27**
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.32**	0.34**	0.18**	-0.04ns	-0.53**	0.31**	-0.57**
مس (Cu) (mg/kg)	-0.43**	0.45**	0.24**	0.05ns	-0.60**	0.32**	-0.46**
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.56**	0.52**	0.34**	0.02ns	-0.50**	0.23**	-0.35**
Rangeland (N=35) - اراضی مرتع							
آهن (Fe) (mg/kg)	0.07ns	-0.07ns	-0.00ns	-0.15ns	-0.21ns	-0.11ns	-0.11ns
روی (Ln Zn) (mg/kg)	-0.03ns	-0.07ns	0.17ns	-0.09ns	-0.24ns	-0.17ns	-0.01ns
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.42*	0.40*	0.29ns	-0.19ns	-0.51**	0.33ns	-0.27ns
مس (Cu) (mg/kg)	0.17ns	-0.15ns	-0.18ns	0.04ns	0.06ns	-0.19ns	0.07ns
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.58**	0.53**	0.40*	0.45**	-0.03ns	0.39*	0.22ns
Piedmont (N=218) - پیدمنت							
آهن (Fe) (mg/kg)	-0.28**	0.30**	0.12ns	-0.01ns	-0.67**	0.19**	-0.47**
روی (Ln Zn) (mg/kg)	-0.28**	0.27**	0.16*	0.15*	-0.18**	0.21**	-0.29**
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.34**	0.34**	0.18**	-0.03ns	-0.47**	0.25**	-0.58**
مس (Cu) (mg/kg)	-0.40**	0.40**	0.21**	0.04ns	-0.57**	0.24**	-0.47**
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.50**	0.48**	0.26**	0.05ns	-0.54**	0.22**	-0.41**
River Plains (N=39) - دشت‌های رودخانه‌ای							
آهن (Ln Fe) (mg/kg)	-0.29ns	0.39*	0.02ns	0.35*	-0.72**	0.63**	-0.58**
روی (Zn) (mg/kg)	-0.31ns	0.37*	0.16ns	0.23ns	-0.05ns	0.34*	-0.01ns
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.31*	0.37*	0.08ns	0.26ns	-0.48**	0.49**	-0.35*
مس (Cu) (mg/kg)	-0.48**	0.57**	0.19ns	0.46**	-0.56**	0.73**	-0.35*
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.65**	0.69**	0.35*	0.38*	-0.36*	0.49**	-0.11ns
Mountains (N=30) - کوه‌ها							
آهن (Fe) (mg/kg)	0.33*	-0.24ns	-0.34*	-0.22ns	-0.25ns	-0.36*	-0.25ns
روی (Zn) (mg/kg)	0.01ns	-0.07ns	0.04ns	0.07ns	-0.12ns	-0.11ns	0.04ns
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.26ns	0.28ns	0.05ns	-0.27ns	-0.53**	0.20ns	-0.36*
مس (Cu) (mg/kg)	0.26ns	-0.19ns	-0.32*	-0.03ns	0.03ns	-0.37*	-0.06ns
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.62**	0.58**	0.41**	0.58**	0.19ns	0.37*	0.33*

** معنی داری در سطح ۹۹ درصد. * معنی داری در سطح ۹۵ درصد. ns معنی دار نیست.

** Correlation is significant at the 0.01 level. *Correlation is significant at the 0.05 level. ns Non significant

جدول (۴) همبستگی اسپیرمن بین پارامترهای خاک و پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی
 Table (4) Spearman correlation between selected soil properties with magnetic susceptibility parameters.

	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی SOC (%)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)
پیدمنت - Piedmont (N=218)							
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.20**	-0.18**	-0.03ns	-0.15*	-0.28**	-0.06ns	-0.43**
Ln χ_{fd} (%)	0.42**	0.43**	0.18**	0.10ns	-0.24**	0.36**	-0.15*
دشت‌های رودخانه‌ای - River plains (N=39)							
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.43**	-0.33*	-0.47**	0.09ns	-0.44**	0.36*	-0.48**
Ln χ_{fd} (%)	0.20ns	0.38*	-0.13ns	0.25ns	-0.50**	0.74**	-0.15ns
کوه‌ها Mountain (N=30)							
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.30ns	-0.31ns	-0.18ns	-0.35ns	-0.20ns	-0.32ns	-0.23ns
Ln χ_{fd} (%)	-0.69**	0.63**	0.47**	0.47**	0.22ns	0.57**	0.35ns
اراضی کشاورزی - Agriculture land (N=257)							
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.14*	-0.12*	-0.03ns	-0.09ns	-0.30**	0.08ns	-0.46**
Ln χ_{fd} (%)	-0.35**	0.42**	0.10ns	0.11ns	-0.30**	0.42**	-0.16**
اراضی مرتع - Rangeland (N=35)							
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.18ns	-0.13ns	-0.19ns	-0.42**	-0.25ns	-0.17ns	-0.43**
Ln χ_{fd} (%)	-0.69**	0.57**	0.58**	0.48**	0.05ns	0.66**	0.32ns

** معنی داری در سطح ۹۹ درصد. * معنی داری در سطح ۹۵ درصد. ns معنی دار نیست.

** Correlation is significant at the 0.01 level. * Correlation is significant at the 0.05 level. ns Non significant

مکانی ضعیف برای روی و وابستگی مکانی متوسط برای پارامترهای آهن، مس، منگنز و پذیرفتاری مغناطیسی وجود دارد. با بررسی ضریب تبیین هر یک از مدل‌ها می‌توان به دقت محاسبه درجات وابستگی مکانی بین داده‌ها دست یافت. بر اساس یافته‌ها، توزیع مکانی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی با الگوهای مشخص شده توسط روش کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار Arc Map ترسیم شد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در مکان‌های مختلف به‌طور قابل توجهی متفاوت هستند. مقادیر بالاتر پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در قسمت‌های جنوبی، به‌ویژه در جنوب‌غربی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین را در این مناطق می‌توان به مواد مادری آذرین

بررسی توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و

فلزات سنگین

نسبت اثر قطعه‌ای^۱ به حد آستانه^۱ شاخصی از قدرت ساختار مکانی متغیرها است (۳۳). نسبت کمتر از ۲۵ درصد، نشان دهنده وابستگی شدید مکانی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد وابستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد وابستگی مکانی ضعیف را نشان می‌دهد (۱۲). نسبت‌های مختلفی از اثر قطعه‌ای به سقف (حد آستانه) در جدول ۸ برای مقادیر فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی قابل مشاهده است. میزان وابستگی مکانی بهترین مدل‌های برازش شده کریجینگ ساده و عمومی نشان داد که وابستگی مکانی شدیدی برای نیکل و همچنین وابستگی

1- Nugget

2- Sill

برخوردار است زیرا این سنگ مادر غنی از آهن است و مواد فری مغناطیس تولید شده از طریق هوازدگی این سنگ‌ها منجر به غنی شدن مغناطیس خاک می‌شود. مغناطیس طبیعی، یک ماده بسیار پایدار در خاک است. بنابراین غلظت آن در لایه‌های خاک منجر به افزایش مغناطیس خاک می‌شود (۷) که در نقشه‌های تولید شده نشان داده شده است. همچنین می‌توان به تأثیر فعالیت انسان (کشاورزی) و ژئومورفولوژی بر پارامترهای ذکر شده اشاره کرد (۳۶).

(عمدتاً گرانیت) زمین شناسی منطقه و عدم وجود یا مقدار بسیار کم کربنات کلسیم نسبت داد. قسمت‌های شمالی منطقه مطالعاتی با مواد مادری مارن نسبت به سایر قسمت‌ها دارای مقادیر بیشتری از کربنات کلسیم هستند و به تبع آن مقادیر فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی کمتری دارند. علاوه بر این، مقادیر بیشتری از فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در پایین منطقه مورد مطالعه که شامل کوه‌هایی با مواد گرانیت و اراضی زراعی آبرفتی بود، مشاهده شد. خاک تشکیل شده روی سنگ مادر گرانیت از پذیرفتاری مغناطیسی بالایی

جدول (۵) همبستگی اسپیرمن بین عناصر سنگین و پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی
Table (5) Spearman correlation between and heavy metals with magnetic susceptibility parameters.

	آهن Fe (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	منگنز Mn (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	نیکل Ni (mg/kg)
پیدمنت					
Piedmont (N=218)		(Ln Zn)			
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.23**	0.01ns	0.11ns	0.21**	0.09ns
Ln χ_{fd} (%)	0.39**	0.29**	0.53**	0.41**	0.50**
دشت‌های رودخانه‌ای					
River plains (N=39)					
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.35*	0.00ns	0.26ns	0.24ns	0.00ns
Ln χ_{fd} (%)	0.58**	0.39*	0.55**	0.67**	0.50**
کوه‌ها					
Mountains (N=30)					
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.04ns	0.09ns	0.06ns	0.15ns	-0.52**
Ln χ_{fd} (%)	-0.22ns	-0.08ns	0.02ns	-0.30ns	0.70**
اراضی کشاورزی					
Agriculture land (N=257)		(Ln Zn)			
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.30**	0.11ns	0.17**	0.26**	0.11ns
Ln χ_{fd} (%)	0.42**	0.27**	0.50**	0.47**	0.48**
اراضی مرتعی					
Rangeland (N=35)		(Ln Zn)			
Ln χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	0.10ns	0.05ns	0.22ns	0.20ns	-0.36**
Ln χ_{fd} (%)	0.02ns	0.06ns	0.14ns	-0.07ns	0.63**

** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد. * معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد. ns معنی‌دار نیست.

** Correlation is significant at the 0.01 level. * Correlation is significant at the 0.05 level. ns Non significant

عزیزی و همکاران: ارزیابی اثر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی...

جدول (۶) نتایج آزمون T بین اراضی کشاورزی و غیر کشاورزی

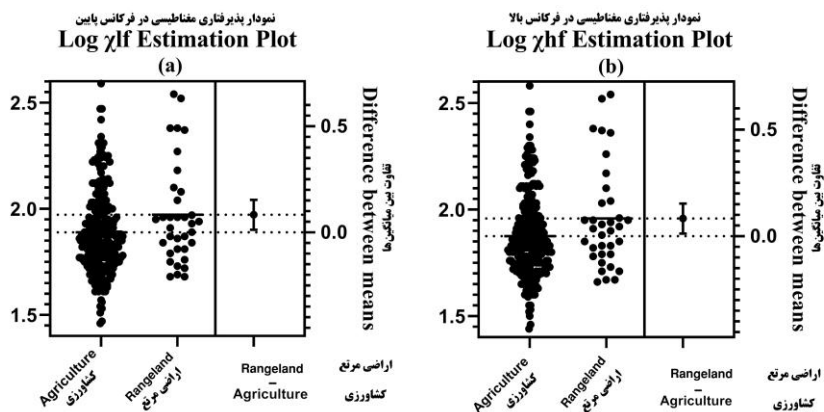
Table(6) T test result between agriculture land and uncultivated land.

	Log χ_{hf}			Log χ_{lf}		
	t	df	Sig. (2-tailed)	t	df	Sig. (2-tailed)
Equal variances assumed	-2.27	290	0.02	-2.34	290	0.02

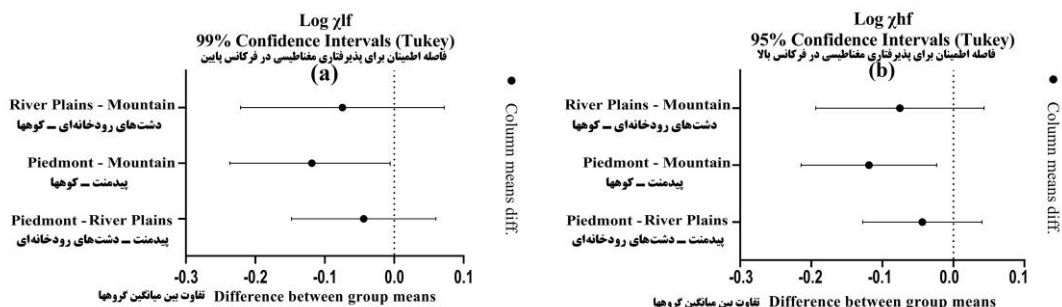
جدول (۷) نتایج آزمون ANOVA بین واحد های مختلف ژئومورفولوژی

Table(7) ANOVA test in different parts of geomorphology.

	Log χ_{hf}					Log χ_{lf}				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.388	2	0.194	4.6	0.011	0.397	2	0.199	4.8	0.009
Within Groups	11.914	283	0.042			11.716	283	0.041		
Total	12.301	285				12.113	285			



شکل (۳) نمودار CI تفاوت میانگین های پذیرفتاری مغناطیسی (فرکانس های بالا و پایین) Fig(3) Graph CI of difference between mean in Log χ_{hf} in Log χ_{lf}

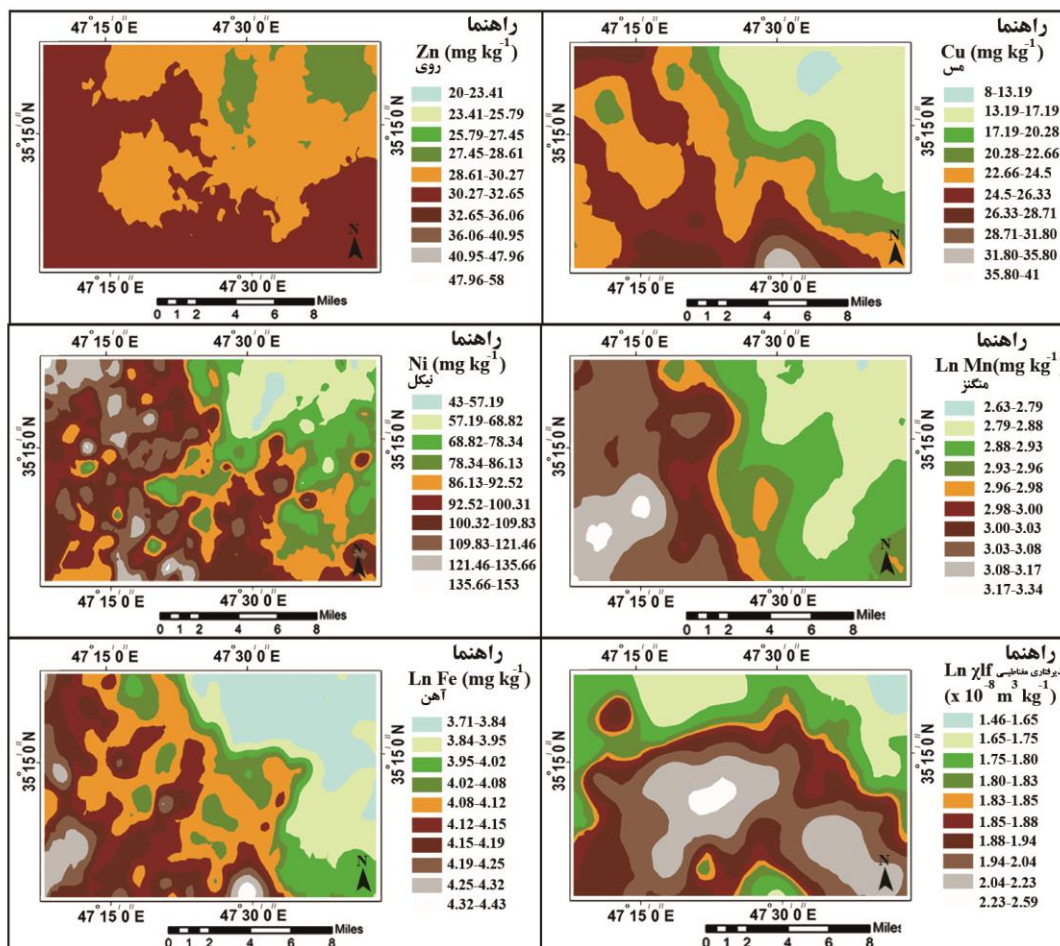


شکل (۴) اختلاف فواصل اطمینان پذیرفتاری مغناطیسی (فرکانس های بالا و پایین) Figure(4) Graph confidence intervals differences in Log χ_{hf} in Log χ_{lf}

جدول (۸) نتایج بهترین مدل برای توزیع مکانی.

Table(8) result of the best model of The Spatial behaviors.

متغیرها Variable	کریجینگ Kriging Type	مدل Model Type	اثر قطعه‌ای Nugget	حد آستانه Sill	دامنه (m) Range	ضریب تبیین R ²	وابستگی مکانی Spatial dependency
آهن (LnFe)	عمومی Universal	کروی Spherical	0.003	0.006	33	0.97	متوسط Moderate
مس (Cu)	ساده Simple	کروی Spherical	0.343	0.640	107	0.75	متوسط Moderate
روی (Zn)	ساده Simple	کروی Spherical	0.915	0.084	168	0.19	ضعیف Weak
منگنز (LnMn)	عمومی Universal	کروی Spherical	0.005	0.003	65	0.72	متوسط Moderate
نیکل (Ni)	عمومی Universal	کروی Spherical	0	314	21	0.99	شدید Strong
پذیرفتاری مغناطیسی Ln χ lf	ساده Simple	کروی Spherical	0.363	0.636	16	0.77	متوسط Moderate



شکل (۵) پراکندگی مکانی عناصر سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی بر اساس روش کریجینگ

Figure(5) spatial distribution of heavy metals and χ lf identified by kriging method

نتیجه گیری

در این پژوهش اثر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین عناصر سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی همبستگی معنی دار وجود دارد و خاصیت مغناطیسی خاک تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک می باشد که تا حد زیادی بر میزان کاهش اثر میدان مغناطیسی یا تقویت آن تأثیر گذار می باشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که واحدهای

کاربری اراضی و ژئومورفولوژی دارای اختلاف معنی دار از لحاظ پذیرفتاری مغناطیسی می باشند. علاوه بر این بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی نشان داد بیشترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در قسمت های جنوبی، به ویژه در جنوب غربی منطقه وجود دارد که می تواند به دلیل وجود مواد مادری آذرین (عمدتا گرانیت) منطقه و عدم وجود یا مقدار بسیار کم کربنات کلسیم نسبت داد شود.

References

1. Ajayi, A., Kamson, O.F. 1983. Determination of lead in roadside dust in Lagos City by atomic absorption spectrophotometry. *Environment International*, 9: 397–400.
2. Al-Taani, A.A., Batayneh, A.T., El-Radaideh, N. 2015. Spatial distribution and pollution assessment of trace metals in surface sediments of Ziqlab Reservoir, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 20- 32
3. Asgari, N., Ayoubi, S., Dematte, J.A.M. 2018. Soil drainage assessment by magnetic susceptibility measures in western Iran. *Geoderma Regional*, 13: 35–42.
4. Ayoubi, S., Adman, V., Yousefifard, M. 2019. Efficacy of magnetic susceptibility technique to estimate metal concentration in some igneous rocks. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5: 1743–1750
5. Ayoubi, S., Adman, V., Yousefifard, M. 2019. Use of magnetic susceptibility to assess metals concentration in soils developed on a range of parent materials. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168: 138–145.
6. Ayoubi, S., and Dehaghani, S. M. 2020. Identifying impacts of land use change on soil redistribution at different slope positions using magnetic susceptibility. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(426): 2-11
7. Ayoubi, S., Jababri, M., Khademi, H., 2018. Multiple linear modeling between soil properties, magnetic susceptibility and heavy metals in various landuses. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4: 579–589.
8. Bourliva, A., Kantiranis, N., Papadopoulou, L., Aidona, E., Christophoridis, C., Kollias, P., Evgenakis, M., Fytianos, K., 2018. Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dusts of Thessaloniki city, Greece: a one-year monitoring period. *Science of the Total Environment*, 639, 417–427.
9. Boyko, T., Scholger, R., Stanjek, H., MAGPROX Team. 2004. Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring: repeatability of in situ measurements. *Journal of Applied Geophysics*, 55: 249–259.
10. Bradl, H. B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277: 1–18.

11. Burt, R. 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. USDA-Natural Resources Conservation Service, Lincoln.
12. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Koropaka, A.E. 1994. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils, Soil Science Society of America Journal, 58(5): 1501-1511.
13. Dankoub, Z., Ayoubi, S., Khademi, H., Lu, S.G. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, central Iran. *Pedosphere*, 22: 33-47.
14. Dearing, J. A. 1999. Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System. 2nd ed. Chi Publishing Ltd., London.
15. Ding, Z., Zhang, Z., Li, Y., Zhang, L., Zhang, K. 2020. Characteristics of magnetic susceptibility on cropland and pastureland slopes in an area influenced by both wind and water erosion and implications for soil redistribution patterns. *Soil & Tillage Research*, 199: 1-12.
16. Gee, G., Bauder, J., 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute(ed.) *Methods of soil analysis*, Part 1. Agron. Monogr. 9. American Statistical Association and Soil Science Society of America, Madison, WI.
17. Goddu, S. R., Appel, E., Jordanova, D., 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(13): 985-995.
18. Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89: 1-45.
19. Hanesch, M., Scholger, R. 2002. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environmental Geology*, 42(8): 857-870.
20. Hu, X. F., Su, Y., Ye, R., Li, X. Q., Zhang, G. L. 2007. Magnetic properties of the urban soils in Shanghai and their environmental implications. *Catena*, 70(3): 428-436.
21. Karimi, R., Ayoubi, S., Jalalian, A., Sheikh-Hosseini, A. R., Afyuni, M. 2011. Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 74: 1-7.
22. Lin, Z.H., Renxizi, R., Shenliang, Ch. Ping, D. 2014. Spatial Variability of Surface Sediment Basis on Geostatistical Analysis in the Littoral Area of Yellow River Delta, China, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43(4): 463-472.
23. Lu, S.G., Bai, S.Q., Xue, Q.F. 2007. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China. *Geophysical Journal International*, 171:568-580.
24. Maher, B. 1986. Characterization of soils by mineral magnetic measurements. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 42(1): 76-92
25. Mokhtari Karchegani, P., Ayoubi, S., Lu, S.G., Honarju, N. 2011. Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. *Journal of Applied Geophysics*, 75: 227-236.
26. Mullins, C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. *Journal of Soil Science*, 86: 97-107.
27. Naimi, S., Ayoubi, S. 2013. Vertical and horizontal distribution of magnetic susceptibility and metal contents in an industrial district of central Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 96: 55-66.

28. Owliaie, H.R., Heck R.J., Abtahi, A. 2006. The magnetic susceptibility of soils in Kohgilouye, Iran. Canadian
29. Pearson, K. 1895. Contributions to the Mathematical Theory of Evolution. II. Skew Variation in Homogeneous Material. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 186: 343–414 (374).
30. Qishlaqi, A., Moore, F. 2007. Statistical analysis of accumulation and sources of heavy metals occurrence in agricultural soils of Khoshk River banks, Shiraz, Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 2: 565–573.
31. Rodrguez Martn, J.A., Lpez Arias, M., GrauCorb, J.M. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geoestatistical methods to study spatial variations. Environmental Pollution, 144: 101–1012.
32. Sadiki, A., Faleh, A., Navas, S., Bouhlassa, S. 2007. Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco. Short Title: Magnetic susceptibility to assess soil degradation, 1-38.
33. Schabenberger, O., Gotway, C.A. 2005. Statistical Methods for Spatial Data Analysis, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 140p., Malaysia, Journal of Science Asia, 7-12.
34. Swan, A.R.H., Sandilands, M. 1995. Introduction to geological data analysis. Blackwell Science, Oxford.
35. Thompson, R., Oldfield, F. 1986. Environmental Magnetism. a review of controlling factors and implications for soil quality. Progress in Physical Geography, 30: 443–466.
36. Valaee, M., Ayoubi, S., Khormali, F., Gao Lu, S., Karimzadeh, H.R. 2016. Using magnetic susceptibility to discriminate between soil moisture regimes in selected loess and loess-like soils in northern Iran. Journal of Applied Geophysics, 127: 23–30.