

Impacts of land use and geomorphology on some heavy metal concentrations in a part of Zayandehroud dam watershed

Sh. Moradpour¹, M. Entezari^{1*}, Sh. Ayoubi² and S. Naimi²

1. Department of Geography, Faculty of Geographical Sciences, University of Isfahan Isfahan, Iran
2. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: 20 October 2022

Accepted: 17 December 2022

Abstract

Introduction: With the rapid development of industry and urbanization, soil pollution with heavy metals as a result of ecosystem destruction has attracted global attention. Pollutants are considered environmental threats and among pollutants, heavy metals are known for their non-degradability and physiological effects on living organisms even at low concentrations. The close correlation of magnetic properties and heavy metals shows that magnetic measurement is an efficient and cheap tool to detect heavy metal contamination in soils affected by heavy industries and traffic pollution. Magnetic minerals in soil may be inherited from parent rocks (lithogenic origin), pedogenesis (pedogenic origin), or may result from human activities (secondary ferromagnetic materials). The concentration of metals can be influenced by geomorphology and various soil properties such as organic carbon, electrical conductivity. Land use directly or indirectly affects the geochemical behaviors of heavy metals through regulating soil properties. The main objectives of this study were to investigate the effect of land use change on magnetic receptivity and the concentration of some heavy metals including zinc, copper, iron, nickel, chromium, cobalt and manganese in the 20 cm soil surface layers, and to explore spatial distribution of magnetic receptivity and heavy metals under different types of land use and geomorphological units in the studied area.

Materials and Methods: The present research was conducted in Isfahan province in the center of Iran with an area of 227 Km². This area has an average temperature of 9.8 °C and an average annual rainfall of 324 mm and an altitude of 2380 meters a.s.l. Based on Kopen's classification, the climate was classified as semi-arid with cold winters. Geologically, it belongs to the Sanandaj-Sirjan zone, the dominant rocks of the area include limestone, shale limestone, slate and Quaternary sediments. The most important land uses in the region included pasture, rainfed and irrigated agriculture, and in terms of geomorphology, the region comprised river plains and pediments. Soil sampling was done by stratified random method. A total of 100 samples were collected from the surface layer (0-20 cm depth) in the summer of 2021. Magnetic susceptibility was measured at high and low frequencies using Bartington MS2 dual frequency sensor. The concentration of heavy metals including iron, zinc, manganese, nickel, copper, chromium and cobalt were measured by atomic absorption spectroscopy. pH, organic carbon, calcium carbonate,



electrical conductivity were measured in all samples. Spearman's correlation coefficient was used to check the correlation between different parameters. Analysis of variance was applied to evaluate the effects of geomorphology and land use on heavy metals and magnetic susceptibility. Spatial analysis was performed for heavy metals and magnetic susceptibility, and the maps were prepared in ArcGIS v.10.7 software.

Results and Discussion: The results showed that there was a negative and significant correlation between calcium carbonate, heavy metals and geomorphology. There was no significant correlation between organic carbon and heavy metals in land uses. There was a negative correlation in the river plains and alluvium. There was a significant negative correlation between electrical conductivity, copper, manganese, and nickel. In the use of agricultural lands and river plains, there was a positive correlation between low-frequency magnetic susceptibility and high-frequency magnetic receptivity with electrical conductivity. Also, pH showed a significant negative correlation with magnetic susceptibility in pasture land and had no relationship in other land uses. There was a positive correlation between calcium carbonate and frequency-dependent magnetic susceptibility in agricultural land use and river plains.

There was a significant positive correlation between heavy metals and magnetic susceptibility in pediments and some land uses, especially in rainfed lands. The results of analysis of variance showed significant difference ($p < 0.05$) in land use regarding heavy metal concentrations. In this analysis, there was a significant difference between cobalt, nickel and manganese elements according to land use, and the magnetic susceptibility among the studied geomorphic surfaces. According to the results of the test, there was a significant difference for heavy metals in various geomorphic surfaces. The content of iron, chromium, cobalt, nickel and manganese in river plains and pediment had significant differences with hills.

Conclusion: The average of nickel and manganese in the soils of the study area is higher than the normal range, due to parent materials effects and agricultural activities (plowing and irrigation) accelerate the soil formation processes and increase the amount of these elements in the soil. The highest concentrations of cobalt, iron, zinc, copper, nickel and chromium elements were observed in dryland farming. In addition, investigating the spatial distribution of magnetic receptivity values and heavy metals in different places are significantly different. Higher values of magnetic susceptibility were seen in the center of the studied area. Spatial distribution of heavy metals iron and chromium are concentrated in the center of the region and other metals are concentrated in the west and northwest. Probably, parent materials such as shale, dolomite, limestone and sandstone and weathering and release of elements in the soil increase the concentration of these elements in the region.

Keywords: *Geomorphology, land use, LSD test, kriging*

تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر غلظت فلزات سنگین در بخشی از حوضه آبخیز سد زاینده رود

شهره مرادپور^۱، مژگان انتظاری^{۲*}، شمس الله ایوبی^۳ و سلمان نعیمی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان، ایران

۲- دانشیار گروه علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان، ایران

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

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

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

کلمات کلیدی:

کاربری اراضی،

ژئومورفولوژی،

مقایسه میانگین LSD

کریجینگ

چکیده

مطالعات کمی در مورد بررسی تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی روی غلظت فلزات سنگین که فاقد فعالیت‌های صنعتی می‌باشند، انجام شده است. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی روی برخی از ویژگی‌های خاک، غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در بخشی از حوضه آبخیز سد زاینده رود واقع در استان اصفهان انجام شده است. در این پژوهش ۱۰۰ نمونه خاک به صورت تصادفی-طبقه‌بندی شده از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر برداشته شد و غلظت فلزات سنگین، پذیرفتاری مغناطیسی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بین کربنات کلسیم، هدایت الکتریکی و پذیرفتاری مغناطیسی با فلزات سنگین در کاربری‌ها و لندفرم‌های ژئومورفولوژی همبستگی وجود داشت؛ اما بین کربن آلی و فلزات سنگین همبستگی چندانی دیده نمی‌شد که می‌توان به فقر مواد آلی در خاک‌های منطقه ناشی از فرسایش خاک، تغییر کاربری اراضی، کاربرد محدود مواد آلی در خاک و شرایط اقلیمی منطقه نسبت داد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی بیشتر تحت تأثیر سطوح ژئومورفولوژی قرار گرفته و کمتر تحت تأثیر کاربری اراضی قرار گرفته است

*عهده‌دار مکاتبات

Email: m.entezari@geo.ui.ac.ir

مقدمه

خاک از اجزای حیاتی محیط است که از رشد محصولات و گیاهان حمایت می‌کند و مدیریت زمین کلید اصلی کیفیت خاک است (۵). خاک‌ها به طور مداوم توسط فعالیت‌های انسانی مانند توسعه صنعتی، معدن، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، کشاورزی فشرده و همچنین فصولات دام آلوده می‌شوند. اخیراً آلودگی فلزات سنگین در خاک به دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه زیستی آنها در محیط زیست، برای گیاهان، حیوانات و انسان‌ها از طریق آب و زنجیره غذایی مورد توجه گسترده قرار گرفته است (۲۵). برخی از فلزات در غلظت‌های کم برای رشد طبیعی و سلامت موجودات زنده حیاتی است، در حالی که غلظت‌های بالاتر ممکن است باعث مسمومیت شود. اولین تلاش در استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی خاک در علم خاک‌شناسی به حدود دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد (۱۳). پذیرفتاری مغناطیسی^۱ درجه‌ای است که ماده، میدان مغناطیسی شناخته شده و معینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقدار این تأثیر تابع غلظت و نوع کانی‌های مغناطیسی است که در نمونه وجود دارد. عامل ایجاد ویژگی مغناطیسی در خاک بیشتر کانی‌های مگنتیت^۲ و مگهمیت^۳ هستند. غلظت این کانی‌ها در خاک کم است؛ ولی نسبت به دیگر کانی‌های آهن‌دار، شدت پذیرفتاری مغناطیسی خاک را تنظیم می‌کنند (۹). علاوه بر این، پذیرفتاری مغناطیسی با مؤلفه‌های دیامغناطیسی مانند گچ، کوارتز، کلسیت و ماده آلی همبستگی منفی ضعیفی دارد. رس و شن اغلب درجه مغناطیسی بالاتری را نشان می‌دهند در حالی که کربنات‌ها دارای پذیرفتاری مغناطیسی کمتری هستند (۲). وسایل نقلیه مانند رنگ، افزودنی‌های سوخت، تایلر اتومبیل‌ها و گردوغبار حاصل از ترمز وسایل نقلیه همراه با فلزات سنگین، به‌ویژه مس، روی، کادمیم و سرب آزاد و باعث افزایش این فلزات در خاک می‌شوند (۹). مس یک عنصر رایج در یاتاقان‌های تراست خودرو، لنت ترمز و سایر

بخش‌های موتور است. خوردگی باعث سایش فلز در موتور خودرو و انتشار فلزات سنگین به محیط و در نهایت تجمع در خاک سطحی می‌شود. سایش تایلر باعث بارگذاری قابل توجهی از روی به گردوغبار، به‌ویژه به شکل ذرات درشت می‌شود (۱۴).

این تکنیک به طور گسترده‌ای برای رشته‌های مختلف در علم خاک مانند تکامل خاک، تشکیل خاک و آلودگی خاک استفاده شده است (۱). کانی‌های مغناطیسی موجود در خاک ممکن است از سنگ‌های مادر به ارث رسیده باشند (منشأ سنگ‌زایی)، در طی پدوژنز (منشأ پدوژنیک) یا ناشی از فعالیت‌های انسانی (مواد فرومغناطیسی ثانویه) باشند (۶). در برخی از مناطق که به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند، ورودی فلزات سنگین در خاک بسیار بیشتر از ورودی آنها در حالت طبیعی است. خاک‌های مناطق شهری دریافت‌کننده مقادیر زیادی فلزات سنگین هستند که از منابع مختلفی از جمله مواد مادری، زباله‌های صنعتی، سوزاندن زغال‌سنگ و انتشار از وسایل نقلیه، (رنگ، افزودنی‌های سوخت، تایلر اتومبیل‌ها و ...)، باعث افزایش این فلزات در خاک می‌شوند؛ سپس این آلاینده‌ها در اتمسفر حمل می‌شوند و سرانجام بر روی زمین رسوب می‌کنند و این فرایند اغلب مقدار معینی ذرات مغناطیسی را آزاد می‌کند (۷). نوع کاربری زمین یکی از فاکتورهای اصلی تأثیرگذار بر توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در خاک است. همچنین پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مختلف، تحت تأثیر ژئومورفولوژی و خصوصیات آن خاک مانند کربن آلی و هدایت الکتریکی متفاوت هستند. استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها و رسوبات در حال تبدیل شدن به یکی از مهم‌ترین ابزارها برای تخمین آلودگی‌های انسانی است و روشی امیدوارکننده و مفید برای شناسایی مناطق آلوده است. در برخی از شهرهای اروپایی و جنوب آسیا، پارامترهای مغناطیسی به‌عنوان شاخصی برای آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی و رسوبات شهری استفاده شده است (۱، ۲۴، ۲۸). استفاده از اندازه‌گیری‌های مغناطیسی به‌عنوان نماینده آلودگی فلزات سنگین، بر این واقعیت استوار است که فلزات سنگین و ذرات

1- Magnetic Susceptibility

2- Fe_3O_4

3- γFe_2O_3

می‌افند. متوسط روزهای یخبندان بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت در حدود ۲۳ روز است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی متعلق به زون سندج - سیرجان است. ارتفاعات منطقه در جهت شمال شرقی - جنوب شرقی می‌باشد. این کوه‌ها دارای مقادیری درز و شکستگی در امتدادهای مختلف می‌باشد که غالباً با مواد کلسیتی پر شده است. سنگ‌های غالب منطقه شامل آهک، آهک‌های شیبستی، اسلیت و رسوبات کواترنری می‌باشد (۱۵). منطقه مورد مطالعه از نظر کاربری اراضی بر اساس بازدید میدانی و توسط نرم‌افزار ENVI به پنج کاربری: کشاورزی، دیم، مرتع، شهر و روستا همچنین از نظر ژئومورفولوژی بر اساس نقشه ژئومورفولوژی به چهار واحد، پدیمت، دشت‌های رودخانه‌ای، مخروط افکنه و تپه تقسیم شدند (شکل ۲).

در تابستان ۱۴۰۰ با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌بندی شده، ۱۰۰ نمونه خاک از منطقه مورد مطالعه شامل ۴۰ نمونه خاک اراضی کشاورزی، ۲۲ نمونه خاک مرتع، ۳۸ نمونه خاک اراضی دیم جمع‌آوری شد (شکل ۱ ج). در طی نمونه‌برداری، از سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۱ برای ثبت موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری استفاده شد. در هر یک از مکان‌های نمونه‌برداری، چهار نمونه خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) از گوشه‌های یک مربع گرفته و کاملاً مخلوط شد تا نوعی نمونه مرکب ساخته شود. همه این نمونه‌ها در دمای اتاق خشک شدند، سپس ناخالصی‌ها (مانند سنگ، ریشه، برگ، کاه و پوست) استخراج شد. در نهایت، نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری به منظور تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی عبور داده شدند (۲۵).

برای اندازه‌گیری‌های مغناطیسی از یک سنسور فرکانس دو تایی (Bartington MS2) در هر دو فرکانس بالا (4.7KHZ; χ_{hf}) و پایین (0.47 KHZ; χ_{lf}) استفاده شد.

مقدار پذیرفتاری وابسته به فرکانس که وجود اندازه دانه‌های سوپر پارامگنتیک را نشان می‌دهد، از معادله ۱ به دست آمد (۲۹، ۲۲).

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

مغناطیسی به منشأ ژنتیکی مرتبط هستند. همبستگی بسیار معنی‌دار بین پذیرفتاری مغناطیسی و محتوای فلزات سنگین در خاک باعث می‌شود که این خصوصیت به‌عنوان شاخصی برای آلاینده‌ها و توزیع فضایی آنها مورد استفاده قرار گیرد (۱۴). از آنجایی که این روش سریع و مقرون به صرفه است (۲۸، ۲۴)، ثابت شده است که تغییر کاربری زمین به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر موقعیت ژئوشیمیایی فلزات سنگین از طریق تغییر ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارد (۲۵). در کشور ما، مطالعات کمی در مورد بررسی رابطه بین کاربری اراضی بر پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در مناطقی که تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی نباشد، انجام شده است. توجه به نوع کاربری، ژئومورفولوژی منطقه و تأثیرات آنها بر روی غلظت فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی خاک به‌ویژه در حوضه‌های آبخیز بسیار کم‌رنگ است و انجام مطالعاتی در این زمینه ضروری است. اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از: ۱) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت برخی از فلزات سنگین مانند روی، مس، آهن، نیکل، کروم، کبالت و منگنز در لایه‌های سطحی خاک (۲۰ سانتی‌متر) در منطقه مورد مطالعه، ۲) بررسی توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف اراضی و واحدهای ژئومورفولوژیکی در منطقه مورد مطالعه.

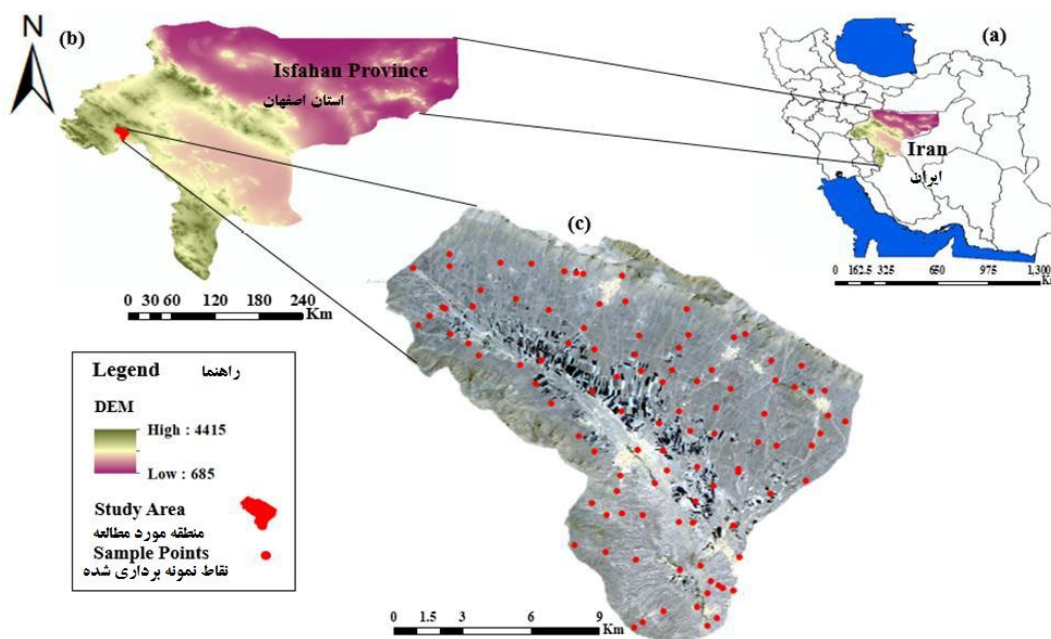
مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی، نمونه‌برداری و آنالیزهای

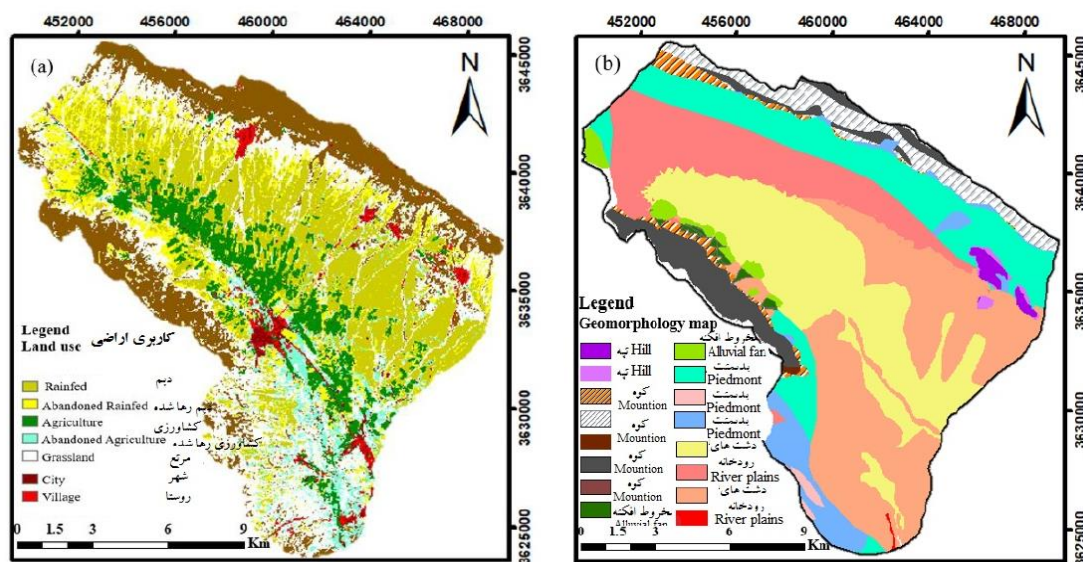
آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه یکی از ۲۸ زیر حوضه سد زاینده‌رود است که در حدود ۱۲۰ کیلومتری از مرکز استان اصفهان فاصله دارد. این منطقه بین طول جغرافیایی $50^{\circ} 16' 7''$ تا $50^{\circ} 40' 12''$ شرقی و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 45' 12''$ تا $32^{\circ} 56' 48''$ شمالی و در غرب استان اصفهان قرار دارد (۱۸). مساحت این حوضه ۲۲۷ کیلومتر مربع است (شکل ۱). بیشترین بارندگی در بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت اتفاق

مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری، استان اصفهان، مرکز ایران
 Figure (1) Location of the study area and the soil sampling points in the Isfahan Province, central Iran



شکل (۲) نقشه کاربری اراضی و (ب) نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان
 Figure (2) Land use map (a) and geomorphology map (b) of the study area in the Isfahan Province.

منگنز، روی، نیکل، مس، کروم، کبالت و پذیرفتاری مغناطیسی تحلیل مکانی انجام شد و نقشه متغیرها در Arc GIS (v 10.8) ترسیم گردید.

نتایج و بحث

آمار توصیفی

نتایج آماری برخی از ویژگی‌های خاک، فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های متفاوت زمین و واحدهای ژئومورفولوژی، در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی ($0/21 \text{ dS/m}$) در منطقه، نشان‌دهنده کم بودن شوری در تمام خاک‌های منطقه مورد مطالعه (جدول ۱) است. با توجه به میانگین پ-هاش ($7/56$)، بیشتر خاک‌های مورد مطالعه کمی خاصیت قلیایی دارند. میانگین کم کربن آلی ($0/70$ درصد) در خاک‌های منطقه نشان‌دهنده فقر ماده آلی در خاک‌های این منطقه است. مقادیر کربنات کلسیم در محدوده ۳ تا ۵۴ درصد متغیر است.

کمترین مقدار کربنات کلسیم در مناطق کشاورزی و بیشترین مقادیر در اراضی مرتع دیده شد (جدول ۱). عزیزی و همکاران^۱ (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای در غرب ایران نشان دادند که کمترین میزان کربنات کلسیم در مناطق کوهستانی با سنگ مادری گرانیت بدون کربنات دیده می‌شود. نتایج آماری مربوط به پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین نشان داد که میانگین χ_{lf} در اراضی کشاورزی $51/39 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1})، مرتع $50/49 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1})، دیم $51/39 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1})، پدیمت $53/27 \text{ kg}^{-1}$ ، $50/84 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1})، دشت رودخانه‌ای $51/12 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1})، مخروط افکنه $64/54 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1})، تپه $53/71 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ (kg^{-1}) می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی کشاورزی و دیم و از نظر ژئومورفولوژی در واحدهای تپه و مخروط افکنه‌ها

از هر نمونه دو تکرار مورد آزمایش قرار گرفت و برای هر تکرار دو قرائت انجام شد، میانگین قرائت‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی پذیرفتاری مغناطیسی هر نمونه گزارش شد. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین، $0/5$ گرم خاک توسط اسید نیتریک ۵ مولار عصاره‌گیری شد و غلظت کل روی، مس، منگنز، آهن، نیکل، کروم و کبالت با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (AAS) تعیین شد (۱، ۹). پ-هاش خاک و قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک با استفاده از روش سوسپانسیون نسبت خاک به آب $2:1/5$ ، کربنات کلسیم با روش تیتراسیون و کربن آلی خاک از روش والکلی - بلاک استفاده شد (۲).

آنالیزهای آماری و زمین آماری

برای درک بهتر توزیع داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS20 حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی برای فلزات سنگین در کاربری‌های اراضی و ژئومورفولوژی محاسبه شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف - اسمیرنوف از ضریب همبستگی اسپیرمن برای بررسی همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی، فلزات سنگین، کاربری اراضی و ژئومورفولوژی استفاده شد (۹). علاوه بر این، برای ارزیابی اثرات ژئومورفولوژی و کاربری اراضی روی فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی از تجزیه و تحلیل مقایسه میانگین به روش LSD استفاده شد.

برای بررسی تغییرات مکانی فلزات و پذیرفتاری مغناطیسی منطقه، در میان انواع مختلف روش‌های زمین‌آماری، روش کریجینگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها در برآورد آماره‌های مکانی گزارش شده است. روش کریجینگ بر اساس تئوری واریوگرافی، تجزیه و تحلیل وابستگی مکانی است همچنین برای داده‌های دارای توزیع مکانی نامنظم کاربرد بیشتری دارد (۲ و ۱۲). در این مطالعه برای آهن،

مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...

میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. متوسط مقدار نیکل در خاک های جهان ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۷). همچنین میانگین غلظت منگنز در خاک های سطحی منطقه مطالعاتی ۱۲۶۱/۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم و حداقل ۵۶۴ و حداکثر ۳۲۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. متوسط مقدار منگنز در خاک های جهان ۵۲۵ - ۲۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۳)؛ بنابراین، متوسط نیکل و منگنز در خاک های منطقه مطالعاتی از دامنه طبیعی بیشتر است که می توان این موضوع را به ماده مادری شیبست در منطقه مورد مطالعه نسبت داد. در همین راستا ایوبی و همکاران^۱ (۲۰۱۹) در غرب کشور بالا بودن میزان نیکل و کروم را به مواد مادری خاک نسبت دادند. لو و همکاران^۲ (۲۰۱۰) غلظت عناصر در خاک های سطحی پکن (چین) به صورت Cr > Cu > Zn > As به دست آوردند که تحت تأثیر ماده مادری بوده اند، فاک چینلی و همکاران^۳ (۲۰۰۱) آتیا و همکاران^۴ (۱۹۹۴) در مطالعاتشان نشان دادند که منشأ اصلی کبالت و نیکل، مواد مادری است (۴، ۱۰). نتایج آماری غلظت فلزات سنگین در کاربری اراضی و ژئومورفولوژی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد میانگین غلظت فلزات روی، مس، نیکل، کروم، کبالت در کاربری دیم و مخروط افکنه، منگنز در کاربری مرنج و آهن در کاربری دیم بیشتر از سایر کاربری ها می باشد و همچنین از نظر ژئومورفولوژی میانگین غلظت فلزات روی، مس، نیکل، کروم، کبالت در مخروط افکنه بیشتر از سایر سطوح ژئومورفولوژی می باشد. سان و همکاران^۵ در مطالعه ای در جنوب غرب چین نشان دادند که غلظت مس و جیوه در مراتع و جنگل ها کمتر از کادمیوم می باشد.

است و کمترین میزان در مراتع و پدیمنت ها دیده می شود در واقع در مناطقی که میزان کربنات کلسیم پایین تری دارند پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری مشاهده شد. بالا بودن پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی دیم احتمالاً به علت غلظت بیشتر آهن (۲۷۹۴۳/۱۵ mg/kg) در این کاربری است. بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی آهن جزء گروه فرومغناطیس می باشد (۹). در کاربری دیم غلظت مس و روی بیشتر از سایر کاربری ها بود که این خود می تواند یکی از علل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در این کاربری باشد (۱۷). طاقدیس و فرپور (۱۳۹۷) در مطالعه خود بیان کردند که میانگین χ_{fd} مشاهده شده به ترتیب در مرتع با پوشش مناسب، مرتع تخریب شده، دیم رها شده و زراعی کاهش یافته است (۲۶). مقدار χ_{fd} تمام کاربری ها کمتر از ۴ درصد ارزیابی شده که بیانگر این موضوع می باشد که مواد مادری تأثیر به سزایی در ذرات مغناطیسی ندارد (جدول ۱). همچنین از لحاظ ژئومورفولوژی، کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تپه ها مشاهده شد. کمترین مقدار کربنات کلسیم در دشت های رودخانه ای و بیشترین مقادیر در پدیمنت دیده شد. نتایج آماری مربوط به پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین نشان داد که میانگین χ_{fd} در پدیمنت ۵۰/۸۴ ($10^{-8} m^3 kg^{-1}$)، دشت رودخانه ای ۵۱/۱۲ ($10^{-8} m^3 kg^{-1}$)، مخروط افکنه ۶۴/۵۴ ($10^{-8} m^3 kg^{-1}$)، تپه ۵۳/۷۱ ($10^{-8} m^3 kg^{-1}$) می باشد. این نتایج نشان می دهد که بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی از نظر ژئومورفولوژی در مناطق تپه و مخروط افکنه ها است و کمترین در پدیمنت ها دیده می شود.

بیشترین غلظت فلزات سنگین در تمام کاربری ها به صورت Fe > Mn > Ni > Zn > Cr > Cu > Co به دست آمد. میانگین غلظت کل آهن ۲۶۷۰۹/۲۳، روی ۶۹/۳۱، مس ۲۵/۴۷، کبالت ۲۰/۳۶، نیکل ۱۰۶/۱۲، منگنز ۱۲۶۱/۹۶ و کروم ۵۴/۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. میانگین غلظت نیکل در خاک های سطحی منطقه مطالعاتی ۱۰۶/۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم و حداقل ۳۸ و حداکثر ۱۵۱

1- Ayoubi *et al.*

2- Luo *et al.*

3- Facchinelli *et al.*

4- Atteia *et al.*

5- Sun *et al.*

جدول (۱) خصوصیات آماری ویژگی‌های لایه سطحی خاک منطقه در کاربری‌های متفاوت در منطقه مورد مطالعه
 Table (1) Descriptive statistics of selected soil properties from the surface layer in different land use of the study are

	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Std.Dev	واریانس Variance	ضریب تغییرات (%) CV (%)	چولگی Skewness	کشدگی Kurtosis
اراضی کشاورزی - Agriculture land (N=40)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	29.77	83.97	51.39	10.80	116.75	21.01	0.71	1.15
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	28.82	68.45	49.30	9.71	94.45	19.69	0.50	0.87
χ_{fd} (%)	0.29	8.80	3.82	1.71	2.95	44.76	1.24	1.92
آهن (Fe) (mg/kg)	9300	52400	26707.27	8804.50	77519257.50	32.96	0.46	0.16
روی (Zn) (mg/kg)	38.30	94.60	65.38	13.38	179.27	20.46	-0.27	-0.47
مس (Cu) (mg/kg)	11	35	24.52	5.09	25.97	20.75	-0.20	0.76
کبالت (Co) (mg/kg)	11	29	19.25	4.02	16.19	20.88	0.33	-0.0
نیکل (Ni) (mg/kg)	38	148	103.61	22.67	514.15	21.88	-0.65	0.90
منگنز (Mn) (mg/kg)	564	2090	1197.36	263.21	69281.81	21.98	0.67	2.35
کروم (Cr) (mg/kg)	0.00	113	53.02	22.75	517.79	42.90	0.12	0.14
اراضی مرتع - Rangeland (N=22)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	24.30	77.57	50.49	16.15	260.82	31.98	0.13	-1.10
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	24.72	74.97	48.85	15.58	242.80	31.89	0.16	-1.13
χ_{fd} (%)	2.36	5.23	3.33	0.72	0.52	21.68	0.74	0.76
آهن (Fe) (mg/kg)	14040	38480	24581.81	7276.96	52954244.15	29.60	0.32	-0.88
روی (Zn) (mg/kg)	48.10	108.80	71.30	19.87	394.82	27.86	0.64	-1.05
مس (Cu) (mg/kg)	15	47	24.54	7.42	55.11	30.23	1.28	2.49
کبالت (Co) (mg/kg)	10	30	20.63	5.39	29.10	26.12	-0.11	-0.46
نیکل (Ni) (mg/kg)	45	139	99	30.38	923.52	30.68	-0.36	-1.20
منگنز (Mn) (mg/kg)	744	3298	1431.72	567.56	322130.77	39.64	1.96	4.73
کروم (Cr) (mg/kg)	0.00	86	49.36	28.75	827.10	58.24	-0.67	-1.03
اراضی دیم - Rainy land (N= 38)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	28.82	107.95	53.27	15.67	245.58	29.41	1.36	3.14
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	27.82	101.12	51.37	14.65	214.85	28.51	1.21	2.63
χ_{fd} (%)	1.77	6.32	3.38	0.99	0.98	29.28	1.36	2.28
آهن (Fe) (mg/kg)	12560	43860	27943.15	8253.44	68119362.73	29.53	0.08	-1.15
روی (Zn) (mg/kg)	44.80	162.4	72.70	21.80	475.59	29.98	1.91	6.44
مس (Cu) (mg/kg)	15	49	27.10	6.61	43.71	24.39	0.95	2.17
کبالت (Co) (mg/kg)	14	33	21.50	4.90	24.04	22.79	0.53	-0.07
نیکل (Ni) (mg/kg)	63	151	113.15	21.88	478.94	19.33	-0.26	-0.59
منگنز (Mn) (mg/kg)	628	1920	1238.47	312.47	97643.55	25.23	0.27	-0.33
کروم (Cr) (mg/kg)	0.00	105	58.60	27.78	772.08	47.40	-0.60	-0.28

مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...

جدول (۲) خصوصیات آماری ویژگی‌های لایه سطحی خاک در سطوح مختلف ژئومورفولوژیک منطقه مورد مطالعه
Table (2) Descriptive statistics of selected soil properties from the surface layer in different geomorphic surfaces in the study area

	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Std.Dev	واریانس Variance	ضریب تغییرات (%) CV (%)	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
پدیمت Pediment (N=40)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	28.30	107.95	50.84	14.64	214.37	28.79	1.47	4.58
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	27.32	101.12	49.10	13.84	191.80	28.18	1.30	3.75
χ_{fd} (%)	0.29	6.32	3.34	0.96	0.93	28.89	0.17	3.50
آهن (Fe) (mg/kg)	15120	40820	27340.97	7505.05	56325919.02	27.44	0.17	-1.10
روی (Zn) (mg/kg)	39.70	108.80	68.97	16.50	272.43	23.92	0.42	-0.34
مس (Cu) (mg/kg)	17	35	25.09	5.24	27.49	20.88	0.24	-0.92
کبالت (Co) (mg/kg)	14	31	20.12	3.80	14.51	18.88	0.94	0.95
نیکل (Ni) (mg/kg)	45	148	108.70	23.78	565.51	21.87	-0.65	0.22
منگنز (Mn) (mg/kg)	762	3298	1283.17	406.60	165326.79	31.68	3.13	14.74
کروم (Cr) (mg/kg)	0.00	113	54.19	27.97	782.76	51.61	-0.54	-0.15
دشت‌های رودخانه‌ای River plains (N=50)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	24.30	88.65	51.12	13.22	174.84	25.86	0.64	0.81
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	24.72	83.27	49.06	12.12	147.02	24.70	0.55	0.69
χ_{fd} (%)	1.73	8.80	3.81	1.55	2.42	40.68	1.65	2.51
آهن (Fe) (mg/kg)	9300	52400	27415.09	9095.61	82730229.31	33.17	0.20	-0.34
روی (Zn) (mg/kg)	38.30	162.40	67.48	19.50	380.46	28.89	2.28	9.71
مس (Cu) (mg/kg)	11	49	25.92	7.16	51.30	27.62	0.93	2.36
کبالت (Co) (mg/kg)	10	33	20.62	5.01	25.16	24.29	0.17	-0.21
نیکل (Ni) (mg/kg)	38	151	103.67	23.98	575.18	23.13	-0.55	0.40
منگنز (Mn) (mg/kg)	564	2362	1200.22	325.57	106001.79	27.12	1.17	3.03
کروم (Cr) (mg/kg)	0.00	105	55.75	24.27	589.26	43.53	-0.21	-0.42
مخروط افکنه Alluvial fan (N=6)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	53.72	77.12	64.54	8.77	76.93	13.58	0.05	-0.85
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	52.35	74.97	62.67	8.54	72.93	13.62	0.07	-0.86
χ_{fd} (%)	2.56	3.28	2.89	0.30	0.09	10.38	0.07	-2.08
آهن (Fe) (mg/kg)	18080	26420	22380	3408.76	11619680	15.23	-0.42	-1.72
روی (Zn) (mg/kg)	79	104.50	92.65	9.26	85.77	9.99	-0.31	-0.76
مس (Cu) (mg/kg)	24	33	28.33	3.01	9.06	10.62	0.24	0.88
کبالت (Co) (mg/kg)	18	31	24.16	4.99	24.96	20.65	0.15	-1.55
نیکل (Ni) (mg/kg)	115	147	131.83	10.88	118.56	8.25	-0.54	0.54
منگنز (Mn) (mg/kg)	1600	1964	1761.66	173.91	30245.46	9.87	0.09	-3.05
کروم (Cr) (mg/kg)	55	85	66.83	12.10	146.56	18.10	0.55	-1.15
تپه Hill (N=4)								
χ_{lf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	41.20	74.02	53.71	14.25	203.15	26.53	1.42	2.33
χ_{hf} ($\times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$)	40.60	70.02	51.73	12.82	164.55	24.78	1.43	2.29
χ_{fd} (%)	1.45	5.39	3.36	1.61	2.59	47.91	0.20	1.44

(Fe) (mg/kg) آهن	15300	18520	17375	1457.06	2123033	8.38	-1.46	1.89
(Zn) (mg/kg) روی	58.20	64.70	62.02	2.93	8.60	4.72	-0.80	-1.0
(Cu) (mg/kg) مس	17	20	19	1.41	2	7.42	-1.41	1.50
(Co) (mg/kg) کبالت	11	16	13.75	2.62	6.91	19.05	-0.12	-5.29
(Ni) (mg/kg) نیکل	58	85	73.50	13.67	187	18.59	-0.28	-4.36
(Mn) (mg/kg) منگنز	966	1388	1113	192.76	37158.66	17.31	1.48	1.91
(Cr) (mg/kg) کروم	7	27	17	8.32	69.33	48.94	0.00	0.39

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

تجزیه و تحلیل همبستگی‌ها

پ-هاش همبستگی معنی‌دار منفی ($P^{**} < 0.01$) با پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی مرتع نشان می‌دهد و هیچ ارتباطی با سایر کاربری‌ها نداشت. بین کرنات کلسیم در کاربری کشاورزی و دشت‌های رودخانه‌ای با پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس همبستگی مثبتی وجود دارد ($P^{**} < 0.01$). بین فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در پدیمت‌ها و برخی از کاربری‌ها به‌خصوص اراضی دیم همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد که احتمالاً به دلیل حضور ذرات با سطح ویژه بالا در خاک پدیمت‌ها باشد. این ذرات خاک تمایل بیشتری برای جذب عناصر سنگین نسبت به بخش درشت خاک نشان می‌دهند (۲). نیکل و کروم از لحاظ کاربری، در مرتع و از لحاظ ژئومورفولوژی در پدیمت با پذیرفتاری مغناطیسی همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند که این را می‌توان به اثر انسانی نسبت داد، همچنین بخشی از تغییرپذیری محتویات فلزات سنگین می‌تواند تابعی از خواص خاک و مواد مادری باشد (ایوبی و همکاران، ۲۰۱۹). گلیسلی و آیدین (۱۹۹۸) تأکید کردند که آلودگی انسانی عامل غالب تأثیرگذار بر پذیرفتاری خاک سطحی است (۸، ۱۱). در مطالعات مختلفی، همبستگی معنی‌داری بین پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در خاک گزارش شده است، مطالعه ایوبی و همکاران (۲۰۱۹) در خاک‌های سطحی دست نخورده در شرق اصفهان نشان داد که ویژگی‌های مغناطیسی خاک بستگی به غلظت و نوع کانی‌های مغناطیسی خاک دارد.

ضریب همبستگی بین پارامترهای خاک‌ها فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن، کرنات کلسیم با فلزات سنگین در تمام کاربری‌ها و ژئومورفولوژی همبستگی منفی و معنی‌داری داشتند ($P < 0.01$). از لحاظ ژئومورفولوژی، منطقه مورد مطالعه عمدتاً در پدیمت‌ها و دشت‌های رودخانه‌ای واقع شده است. طاق‌دیس و فرپور (۱۳۹۷) بیان کردند که کرنات کلسیم، آب، مواد آلی و گچ از جمله مواد دیامغناطیس موجود در خاک هستند. ایوبی و همکاران (۲۰۱۹) عنوان کردند که کرنات کلسیم معادل (CCE) منجر به میل ترکیبی کمتر برای حفظ فلزات در خاک می‌شود. بین کرن آلی و فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف همبستگی معنی‌داری وجود نداشت. فرسایش خاک، تغییر کاربری اراضی، کاربرد محدود مواد آلی در خاک، شرایط اقلیمی، وجود خاک‌های جوان و شرایط نامناسب خاکی عوامل اصلی کمبود کرن آلی در خاک‌های ایران می‌باشند (۱۹). مخروط‌افکنه همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت ($P^{*} < 0.05$).

بین قابلیت هدایت الکتریکی در دشت‌های رودخانه‌ای و دیم با فلزات سنگین مس، منگنز، نیکل همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد ($P^{*} < 0.05$). با توجه به نتایج ارائه شده در جداول ۳ و ۴ در کاربری اراضی کشاورزی و سطح ژئومورفیک دشت رودخانه‌ای، بین پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین و بالا با هدایت الکتریکی همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین

مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...

جدول (۳) همبستگی اسپیرمن بین پارامترهای خاک، فلزات سنگین و پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی در کاربریهای مختلف اراضی

Table (3) Spearman correlation between selected soil properties, heavy metals and magnetic susceptibility parameters in different landuse

	قابلیت هدایت الکتریکی EC(dS/m)	اسیدیته pH	کربنات کلسیم معادل CCE(%)	کربن آلی SOC(%)
اراضی کشاورزی - Agriculture land (N=40)				
آهن (Fe) (mg/kg)	0.08	0.03	-0.26	-0.27
روی (Zn) (mg/kg)	0.10	0.00	-0.23	-0.05
مس (Cu) (mg/kg)	-0.16	0.18	-0.48**	-0.28
کبالت (Co) (mg/kg)	0.06	-0.10	0.05	-0.11
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.11	0.15	-0.29	-0.28
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.11	0.14	-0.51**	-0.12
کروم (Cr) (mg/kg)	-0.03	0.06	-0.05	-0.24
$\chi_{lf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	0.40**	-0.09	0.10	0.26
$\chi_{hf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	0.41**	-0.09	0.08	0.26
$\chi_{fd}(\%)$	0.19	-0.13	0.46**	0.21
اراضی مرتع - Rangeland (N=22)				
آهن (Fe) (mg/kg)	-0.38	0.26	-0.05	-0.32
روی (Zn) (mg/kg)	-0.05	0.00	-0.52*	0.03
مس (Cu) (mg/kg)	-0.32	-0.10	-0.39	-0.32
کبالت (Co) (mg/kg)	-0.16	-0.07	-0.12	-0.24
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.07	-0.33	-0.32	-0.06
منگنز (Mn) (mg/kg)	0.04	-0.24	-0.51*	0.06
کروم (Cr) (mg/kg)	-0.08	0.04	-0.17	-0.00
$\chi_{lf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	0.21	-0.50*	-0.49*	0.36
$\chi_{hf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	0.23	-0.53**	-0.51*	0.38
$\chi_{fd}(\%)$	-0.05	0.38	0.35	-0.08
اراضی دیم - Rainy land (N=38)				
آهن (Fe) (mg/kg)	-0.07	0.13	-0.19	-0.15
روی (Zn) (mg/kg)	-0.10	-0.45**	-0.56**	0.25
مس (Cu) (mg/kg)	-0.34*	-0.13	-0.35*	0.19
کبالت (Co) (mg/kg)	0.14	-0.16	-0.11	0.16
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.12	-0.14	-0.41*	0.31
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.35*	-0.32*	-0.66**	0.24
کروم (Cr) (mg/kg)	-0.19	0.05	-0.48**	-0.12
$\chi_{lf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	-0.11	-0.09	-0.50**	0.18
$\chi_{hf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	-0.11	-0.08	-0.49**	0.18
$\chi_{fd}(\%)$	0.35*	-0.05	0.13	-0.12

جدول (۴) همبستگی اسپیرمن بین فلزات سنگین و پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی با پارامترهای خاک در سطوح مختلف ژئومورفولوژیک

Table (4) Spearman correlation between heavy metals and magnetic susceptibility with soil properties in different geomorphic surfaces

	قابلیت هدایت الکتریکی EC(dS/m)	اسیدیته pH	کربنات کلسیم معادل CCE(%)	کربن آلی SOC(%)
پدیمنت pediment (N= 40)				
آهن (Fe) (mg/kg)	0.12	-0.25	-0.09	0.07
روی (Zn) (mg/kg)	-0.06	-0.04	-0.39*	0.02
مس (Cu) (mg/kg)	-0.16	-0.10	-0.50**	-0.13
کبالت (Co) (mg/kg)	-0.10	-0.15	-0.17	-0.00
نیکل (Ni) (mg/kg)	0.07	-0.27	-0.36*	0.01
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.18	-0.03	-0.61**	0.09
کروم (Cr) (mg/kg)	-0.06	0.06	-0.12	-0.05
$\chi_{lf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	-0.09	-0.12	-0.44**	0.07
$\chi_{hf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	-0.10	-0.12	-0.44**	0.06
$\chi_{fd}(\%)$	0.03	-0.02	0.15	-0.08
River plains دشت رودخانه (N=50)				
آهن (Fe) (mg/kg)	-0.14	0.33*	-0.34*	-0.39**
روی (Zn) (mg/kg)	-0.02	-0.09	-0.50**	-0.05
مس (Cu) (mg/kg)	-0.33*	0.11	-0.41**	-0.24
کبالت (Co) (mg/kg)	-0.00	-0.02	-0.06	-0.14
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.35**	0.19	-0.42**	-0.30*
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.28*	0.04	-0.59**	-0.15
کروم (Cr) (mg/kg)	-0.15	0.09	-0.43**	-0.32*
$\chi_{lf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	0.29*	-0.22	-0.27*	0.28*
$\chi_{hf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	0.27*	-0.21	-0.30*	0.26
$\chi_{fd}(\%)$	0.32*	-0.09	0.42**	0.27*
Alluvial fan - مخروط افکنه (N=6)				
آهن (Fe) (mg/kg)	-0.65	0.33	-0.31	-0.60
روی (Zn) (mg/kg)	-0.77	.24	-0.75	-0.02
مس (Cu) (mg/kg)	-0.66	0.39	0.04	-0.81*
کبالت (Co) (mg/kg)	-0.65	-0.06	0.26	-0.65
نیکل (Ni) (mg/kg)	-0.54	0.43	0.14	-0.88*
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.77	-0.15	-0.63	0.20
کروم (Cr) (mg/kg)	-0.75	0.12	-0.64	-0.20
$\chi_{lf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	-0.08	-0.46	-0.87*	0.71
$\chi_{hf}(\times 10^8 m^3 kg^{-1})$	-0.08	-0.46	-0.87*	0.71
$\chi_{fd}(\%)$	-0.42	-0.30	-0.02	0.31
Hill تپه (N=4)				
آهن (Fe) (mg/kg)	0.00	-0.31	-0.80	-0.31
روی (Zn) (mg/kg)	0.00	-0.31	-0.80	-0.31

مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...

مس (Cu) (mg/kg)	0.10	0.50	-0.31	-1.00**
کبالت (Co) (mg/kg)	0.10	0.50	-0.31	-1.00**
نیکل (Ni) (mg/kg)	0.10	0.50	-0.31	-1.00**
منگنز (Mn) (mg/kg)	-0.20	-0.63	-0.20	0.73
کروم (Cr) (mg/kg)	0.60	-0.63	-1.00**	-0.31
$\chi_{lf}(\times 10^{-8} m^3 kg^{-1})$	0.20	0.63	0.20	-0.73
$\chi_{hf}(\times 10^{-8} m^3 kg^{-1})$	0.20	0.63	0.20	-0.73
$\chi_{fd}(\%)$	0.40	0.31	0.40	-0.21

۵. سان و همکاران (۲۰۱۹) مقدار پذیرفتاری مغناطیسی کمتر را در خاک‌های کشت شده و خاک‌هایی که تحت تأثیر دخالت‌های انسانی قرار می‌گیرند را نسبت به کاربری‌هایی که با پوشش گیاهی طبیعی پوشیده شده‌اند گزارش دادند و دلیل آن را افزایش میزان فرسایش خاک و هدررفت کانی‌های مغناطیسی و تغییر در میزان

بررسی تأثیر ژئومورفولوژی بر فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی

اختلاف معنی‌داری بین پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالادر سطوح ژئومورفیک مختلف وجود دارد. در جدول ۶ اختلاف فواصل اطمینان پذیرفتاری مغناطیسی (فرکانس‌های بالا) که با استفاده از آزمون LSD استخراج شده، نشان داده شده است. پذیرفتاری مغناطیسی بین دو سطح ژئومورفیک مخروط‌افکنه و تپه در فرکانس χ_{hf} ($P < 0.05$) دارای تفاوت معنی‌دار بوده است. این تفاوت معنی‌دار می‌تواند دلایلی از جمله فرسایش و یکسان نبودن ماده مادری داشته باشد. ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها به این صورت می‌باشد که دانه‌های ریز خاک به سمت پایین در واقع به سمت پدیمنت‌ها و دشت‌های رودخانه‌ای روانه می‌شوند و دانه‌های درشت‌تر در رأس باقی می‌مانند. از آنجایی که خصوصیات مغناطیسی با اندازه ذرات خاک و دانه‌بندی آن ارتباط مثبت دارد (۲۱)، باعث اختلاف معنی‌داری مواد دیامغناطیس و عناصر غذایی عنوان نمود (۲۵).

بررسی تأثیر کاربری اراضی بر فلزات سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی

با توجه به نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش LSD، (جدول ۵) عناصر آهن، روی، مس، کبالت و کروم در کاربری‌های مختلف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند اما بین عناصر نیکل و منگنز تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.5$). در عنصر نیکل بیشترین مقادیر بین کاربری کشاورزی ($103/61^{ab}$) و دیم ($113/15^b$) و عنصر منگنز در مرتع ($1431/73^b$)، تفاوت معنی‌داری دیده شد. افزایش (۱۳۹۱) کاربری‌های مختلف را از نظر فلزات سنگین بررسی کرده و بیان نمودند که در مورد نیکل، کاربری‌های کشاورزی دیم و آبی بالاترین میانگین را دارا بوده و در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با کاربری‌های باغ، مرتع و شهری دارند. مواد مادری و فرایندهای خاک‌سازی می‌تواند از عوامل افزایش غلظت نیکل کل در منطقه باشد (۳). شخم زدن و به هم زدن لایه سطحی خاک و آبیاری مداوم باعث تشدید فرایندهای خاک‌سازی شده و باعث افزایش غلظت نیکل کل در این کاربری‌ها می‌شود. عنصر منگنز در کاربری مرتع دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با سایر کاربری‌ها دارد. اکثر عناصر سنگین مورد بررسی تحت تأثیر کاربری اراضی قرار نگرفتند و از آنجا که پذیرفتاری مغناطیسی متأثر از غلظت عناصر سنگین است، بنابر این تفاوت معنی‌داری بین پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌های متفاوت اراضی مشاهده نشد (جدول

جدول (۵) نتایج آزمون LSD برای عناصر سنگین و ویژگی‌های مغناطیسی در کاربری‌های اراضی مختلف منطقه

Table (5) Results of LSD test for heavy metals and magnetic measures in different land uses

Landuse	χ_{lf}	χ_{hf}	χ_{fd}	Fe	Zn	Cu	Co	Ni	Mn	Cr
کشاورزی Agriculture	51.39 ^a	49.30 ^a	3.82 ^a	26707.27 ^a	65.38 ^a	24.52 ^a	19.25 ^a	103.61 ^{ab}	1197.36 ^a	53.29 ^a
دیم Rainy land	53.27 ^a	51.37 ^a	3.38 ^a	27943.1 ^a	72.70 ^a	27.10 ^a	21.50 ^a	113.15 ^b	1238.47 ^a	58.60 ^a
مرتع Rangeland	50.49 ^a	48.85 ^a	3.33 ^a	24581.81 ^a	71.30 ^a	24.54 ^a	20.63 ^a	99 ^a	1431.72 ^b	49.36 ^a

* اختلاف میانگین در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

جدول (۶) نتایج آزمون LSD عناصر سنگین در سطوح ژئومورفولوژیک مختلف

Table (6) LSD test results for selected heavy elements in various geomorphic units

Geomorphic unit	χ_{lf}	χ_{hf}	χ_{fd}	Fe	Zn	Cu	Co	Ni	Mn	Cr
دشت رودخانه‌ای River plains	51.12 ^a	49.06 ^a	3.81 ^a	27415.09 ^b	67.48 ^a	25.92 ^b	20.62 ^b	103.67 ^b	1200.22 ^a	17 ^a
پدیمت pediment	50.84 ^a	49.10 ^a	3.34 ^a	27340.97 ^b	68.97 ^a	25.09 ^b	20.12 ^b	108.70 ^b	1283.17 ^a	54.19 ^b
مخروط افکنه Alluvial fan	64.54 ^a	62.67 ^b	2.89 ^a	22380 ^{ab}	92.65 ^b	28.33 ^b	24.16 ^b	131.83 ^c	1761.66 ^b	66.83 ^b
تپه Hill	53.71 ^a	51.73 ^{ab}	3.36 ^a	17375 ^a	62.02 ^a	19 ^a	13.75 ^a	73.50 ^a	1113 ^a	17 ^a

* اختلاف میانگین در سطح ۰/۰۵ معنی دار است

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ژئومورفولوژی بیشتر از کاربری اراضی روی عناصر تأثیر گذاشته است. میزان آهن، مس، کبالتو نیکل در دشت‌های رودخانه‌ای و پدیمت‌ها تفاوت معنی‌داری داشتند. کمترین مقدار عناصر در تپه‌ها برای عنصر کبالت ۱۳/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیشترین مقدار برای آهن در دشت رودخانه‌ای ۲۷۴۱۵/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. به‌طور کلی می‌توان گفت هنگام حرکت از مناطق مرتفع‌تر به سمت مناطق پست‌تر، شاهد تغییر در

بین مناطق مخروط‌افکنه با دشت‌های رودخانه‌ای و پدیمت‌ها می‌گردد. همچنین پدیمت‌ها دارای بیشترین کربنات کلسیم بودند که رابطه بین کربنات کلسیم و پذیرفتاری مغناطیسی به صورت معکوس می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶، مقدار عناصر سنگین تحت تأثیر سطوح ژئومورفولوژیک قرار گرفته‌اند و میانگین غلظت آنها تفاوت معنی‌داری نشان دادند ($P^* < 0.05$). با توجه به نتایج جدول ۵ و ۶، می‌توان گفت

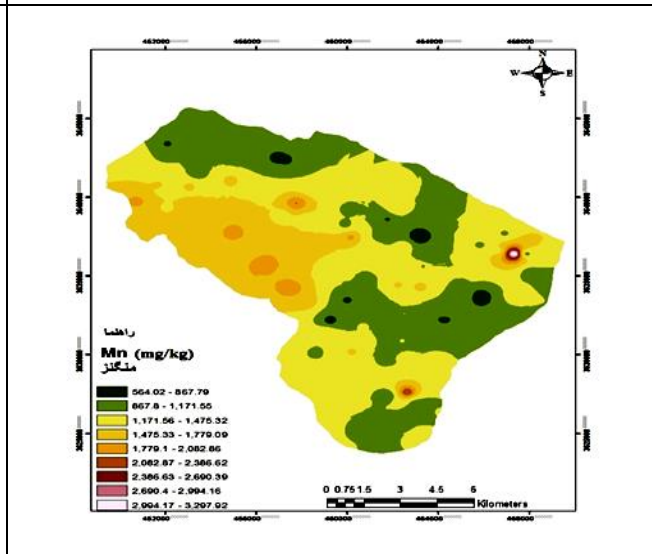
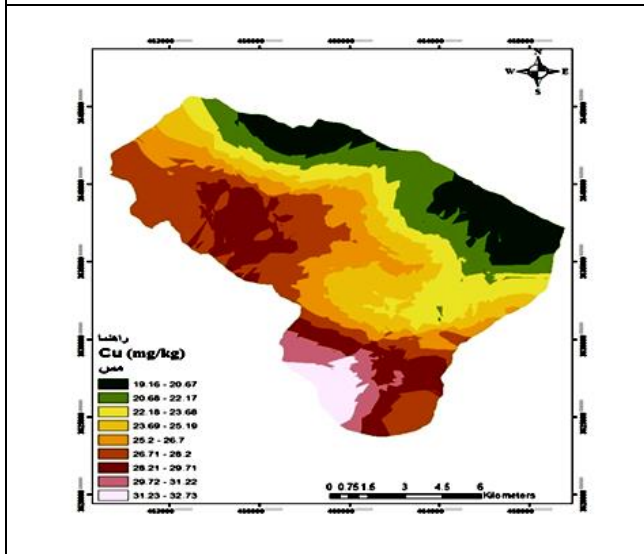
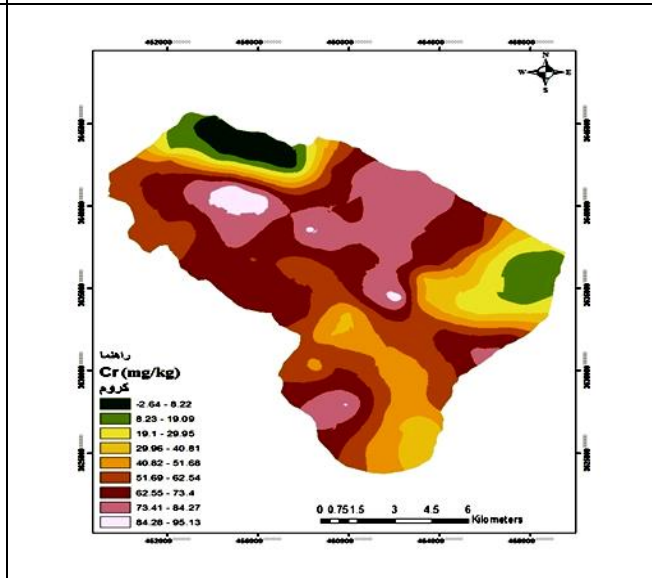
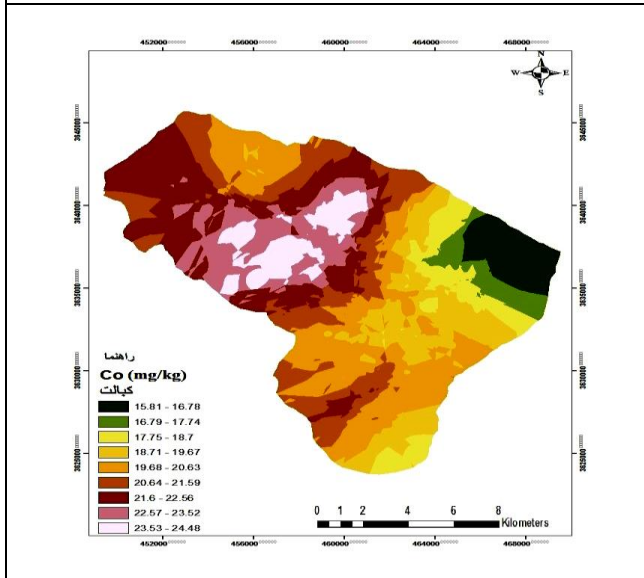
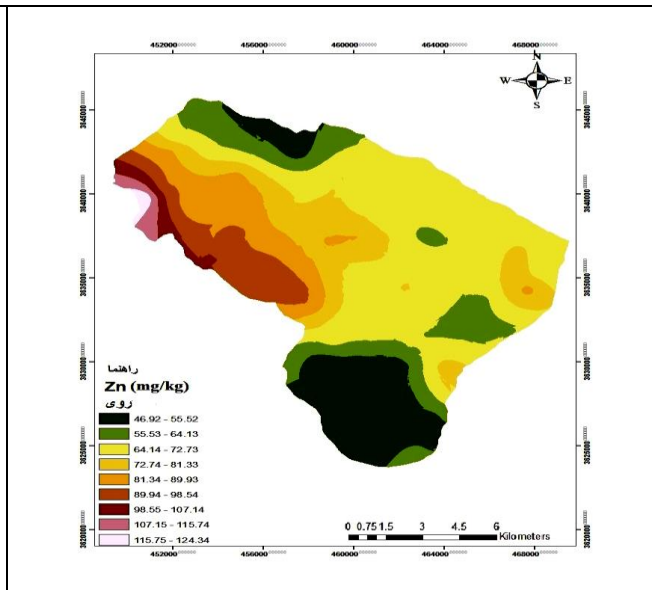
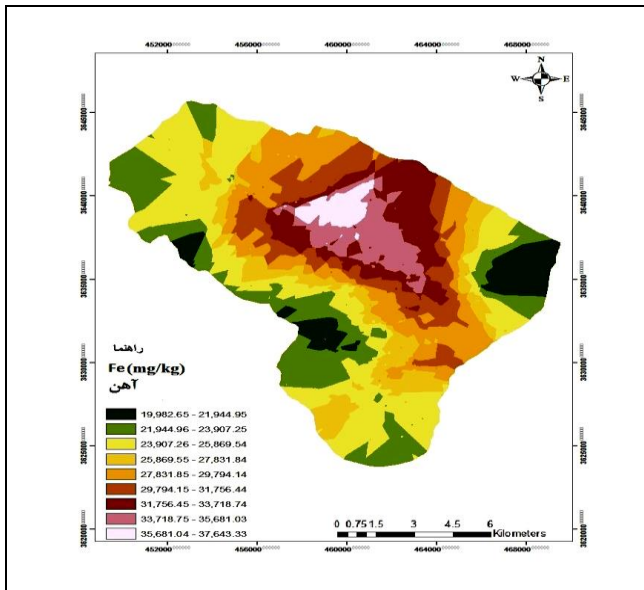
مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...

قسمت‌ها نشان می‌دهد. کروم در کل منطقه پراکندگی دارد و بیشترین غلظت در کاربری دیم می‌باشد. مس در شمال غرب و جنوب غربی منطقه دارای بیشترین غلظت بودند و بیشترین غلظت در کاربری دیم مشاهده شد. منگنز دارای توزیع یکسان در کل منطقه می‌باشد و از نظر کاربری مرتع دارای بیشترین غلظت نسبت به سایر کاربری‌ها می‌باشد. افشاری (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به مقایسه میانگین غلظت منگنز در کاربری‌های مختلف پرداخت و نشان داد که اراضی مرتعی و بعد از آن کشاورزی آبی و باغ دارای بیشترین غلظت منگنز در منطقه می‌باشند. پراکنش مکانی نیکل غرب منطقه دارای بیشترین غلظت می‌باشد و از نظر زمین‌شناسی تحت تأثیر شیل و رسوبات آبرفتی می‌باشد. احتمال دارد که طی سالیان متمادی و در اثر هوادیدگی شیل‌ها، نیکل به خاک اضافه شده باشد، خاک‌های فرسایش یافته از کوه‌های اطراف در طول سالیان متمادی که غالباً ماده مادری‌شان شیل هستند می‌تواند عاملی در افزایش غلظت نیکل در منطقه باشد (۳). از نظر پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی مرکز منطقه دارای بیشترین پراکنش مکانی بود.

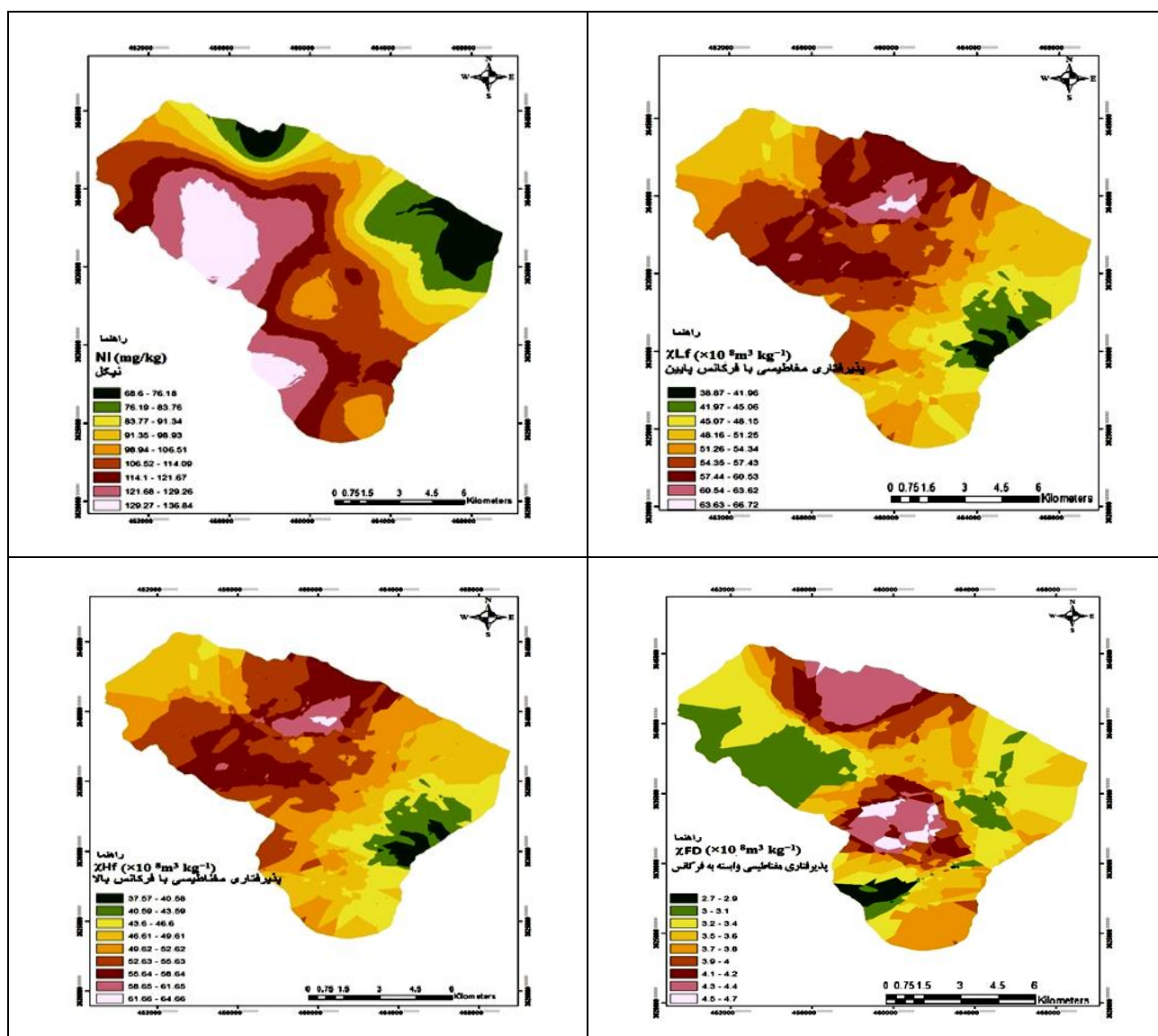
غلظت فلزات سنگین هستیم. در تپه‌ها ذرات رس خاک که بیشتر حاوی عناصر سنگین هستند تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته و در دشت‌های رودخانه‌ای انباشته می‌شوند. همچنین عناصر روی، کبالت، نیکل، آهن، کبالت، مس و منگنز تفاوت معنی‌داری بین مخروط‌افکنه نشان دادند که این تغییرات می‌تواند ناشی از شستشو و فرسایش خاک و انتقال خاک باشد.

بررسی توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین

نقشه‌های توزیع مکانی با استفاده از تکنیک کریجینگ با نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردید. کریجینگ یک تکنیک درون‌یابی خطی است که بهترین تخمین بی‌طرفانه خطی را برای متغیرهای فضایی ارائه می‌دهد (۲۲). که به منظور به دست آوردن یک نمای کلی از توزیع مکانی فلزات سنگین استفاده می‌شود (۱۲). شکل ۳ نشان داده شده است که مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در مکان‌های مختلف به طور قابل توجهی متفاوت هستند. مقادیر بالاتر پذیرفتاری مغناطیسی در مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. پراکندگی مکانی فلزات سنگین، با توجه به نقشه پراکنش مکانی، فلز آهن در مرکز منطقه دارای بیشترین غلظت می‌باشند، عنصر روی در شمال غرب منطقه غلظت بالاتری را نسبت به سایر نقاط نشان می‌دهد. عنصر کبالت در قسمت شمال غرب و مرکز منطقه غلظت بالاتری را نسبت به سایر



مرادپور و همکاران: تأثیر کاربری اراضی و ژئومورفولوژی بر...



شکل (۳) پراکندگی مکانی عناصر سنگین و پذیرفتاری مغناطیسی بر اساس روش کریجینگ

Figure(3) Spatial distribution of heavy metals and Magnetic susceptibility by kriging technique

عناصر کبالت، آهن، روی، مس، نیکل و کروم در کاربری دیم می‌باشد. احتمالاً به دلیل قرارگیری بخشی از اراضی دیم روی مواد مادری شیل و رسوبات آبرفتی از عوامل افزایش فلزات در این کاربری است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین به روش LSD، بین کاربری اراضی با فلزات سنگین نیکل و منگنز تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت اما برای دیگر عناصر بین کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که این موضوع را می‌توان عدم استفاده از کودهای شیمیایی حاوی

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربری اراضی و سطوح ژئومورفیک مختلف بر پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در بخشی از اراضی حوضه آبخیز سد زاینده رود در استان اصفهان انجام پذیرفت. متوسط نیکل و منگنز در خاک‌های منطقه مطالعاتی از دامنه طبیعی بیشتر است، مواد مادری و فعالیت‌های کشاورزی (شخم و آبیاری) باعث تسریع فرایندهای خاک‌سازی شده و مقدار این عناصر را در خاک افزایش می‌دهد. بیشترین غلظت

است. نتایج نشان داد ژئومورفولوژی بیشتر از کاربری اراضی روی عناصر تأثیر گذاشته است. توزیع مکانی مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات سنگین در مکان‌های مختلف منطقه مورد مطالعه به‌طور قابل توجهی متفاوت هستند. مقادیر بالاتر پذیرفتاری مغناطیسی در مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. پراکندگی مکانی فلزات سنگین آهن و کروم در مرکز منطقه و سایر فلزات در سمت غرب و شمال غرب متمرکز هستند. احتمالاً مواد مادری از قبیل شیل، دولومیت، سنگ آهک و ماسه‌سنگ و هوایدگی و آزاد شدن عناصر در خاک باعث افزایش غلظت این عناصر در منطقه می‌شود.

این عناصر در کاربری کشاورزی نسبت داد. از آنجایی که پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به عناصر می‌باشد و عناصر در کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری نداشتند، بنابراین عدم تأثیر پذیرفتاری مغناطیسی از کاربری اراضی در این منطقه را می‌توان این چنین توجیه کرد. اما نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف ژئومورفولوژی برای پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا، باعث اختلاف معنی‌داری شد. به طوری که بین دو قسمت مخروط افکنه و تپه در فرکانس بالا ($P^* < 0.05$) تفاوت معنی‌دار بوده است. عنصر نیکل بیشتر از سایر عناصر تحت تأثیر ژئومورفولوژی منطقه قرار گرفته است و ژئومورفولوژی منطقه تحت تأثیر فرسایش بوده

References

1. 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*.
2. Azizi, K., Ayoubi, S., Nabiollahi, K. 2021. Assessing the effect of land use and geomorphology on spatial variability of heavy metals and magnetic susceptibility Case study: Kurdistan province. *Agricultural Engineering*, 44: 190-209.
3. Afshari, A. 2012. Factors Affecting the Spatial Distribution of Selected Heavy Metals in Surface Soils of Zanjan and Their Profile Variations. Supervisor: Khademi, H, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan. Degree: M.Sc.
4. Atteia, O., Dubois, J. P. and Webster, R. 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in Swiss Jura. *Environ. Pollut*, 86(3): 315-327.
5. Brempong, F., Mariam, Q., Preko, K. 2016. The use of magnetic susceptibility measurements to determine pollution of agricultural soils in road proximity. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9: 263-271.
6. Baghdadi, M., Jakani, KH, Barakat, A., Bay, Y. 2011. Magnetic susceptibility and heavy metal contamination in agricultural soil of Tadla plain. *Environnement et développement durable*, 2 : 513-519.
7. Bo, W., DunSheng, X., Ye, Y., Jia, J., ShuJing, X. 2013. Magnetic records of heavy metal pollution in urban topsoil in Lanzhou, China. *Geography*, 3: 384-395.
8. Canbay, M., Aydin, A., Kurtulus, C. 2010. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 70 : 46-57.
9. Dankob, Z., Khadmi, H., Ayoubi, S, 2011. Magnetic receptivity and its relationship with the concentration of some heavy metals and characteristics of surface soils around Isfahan. *Environmental science*, 3:17-26.
10. Facchinelli, A., Sacchi, E. and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ. Pollut*, 114: 313-324

11. Gelisli, K., Aydin, A. 1998. Investigations of environmental pollution using magnetic susceptibility measurements. *Eur. J. Environ. Eng. Geophys*, (3), 53–61.
12. Ha, H., Olson, J.R., Bian, L., Rogerson, P.A. 2014. Analysis of Heavy Metal Sources in Soil Using Kriging Interpolation on Principal Components, *Environmental Science & Technology*.
13. Le Borgne, E. 1955. Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. *Ann. Geophys*, 11, 399–419.
14. 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. Int*, 171: 568–580.
15. Liaghiti, H., Rahnama, F. 2016. Sediment measurement and investigation of erosion process by regional and direct method and using remote sensing in one of the watershed sub-basins of Parcel B2 of Zayandeh Rood Dam, Isfahan. 4th National Conference of Iran Watershed Science and Engineering, Basin Management Watersheds, Karaj.
16. Lu, S. G., Bai, S. Q., FU, L.X. 2008. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedospher*, 18:479-485.
17. Luo, W., Lu, Y., Zhang, Y., Fu, W., Wang, B., Jiao, W., Wang, G., Tong, X. and Giesy, J. P. 2010. Watershed-scale assessment of arsenic and metal contamination in the surface soils surrounding Miyun Reservoir, Beijing, China. *Journal Environ Manag*, 91: 2599-2607.
18. Mohammadi, Sh., Habashi, Kh., Pourmanafi, S. 2018. Monitoring and prediction land use/ land cover changes and its relation to drought Case study: sub-basin Parsel B2, Zayandeh Rood watershed. *RS & GIS for Natural Resources*, 9: 24-39.
19. Moshiri, F., 2018. Deficiency of organic carbon in agricultural soils of Iran Determining the situation, examining issues and challenges, providing solutions. The annual conference of the Iranian Soil Science Association.
20. Mico, C., Recatalá, L, Peris, M., Sánchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65: 863-872.
21. 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.
22. Naimi, s., Ayoubi, SH. 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.
23. Rodrigue 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 geo-statistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution*, 144: 101–1012.
24. Saleh, A. 2022. Evaluation of heavy metals pollution in the soil of Helwan, Cairo, Egypt using magnetic and chemical analysis techniques. Conference on Future Challenges in Sustainable Urban Planning & Territorial Management.
25. Sun, c., Zhu, s., Zhao, B., Wujiang, l., Xiaoye, G., Xiaodan, w. 2019. Effect of Land Use Conversion on Surface Soil Heavy Metal Contamination in a Typical Karst Plateau Lakeshore Wetland of Southwest China. *Environmental Research and Public Health*, 17, 84 : 1-12 .
26. Taghdis, S., Farpoor, M.H. 2018. Magnetic Susceptibility Related to Soil Properties in Different Land Uses of Bardsir Region, Kerman Province. *Journal of Water and Soil*, 1: 185-197.

27. Xie, Z. M. and Lu, S. M. 2000. Trace elements and environmental quality. In: Wn Q. L., (Ed). Micronutrients and biohealth. Guiyan, China: Guizhou. Sci. Technal. Press, pp. 208-216.
28. Wang, G., Liu, Y., Chen, J., Ren, F., Chen, Y., Ye, F., Zhang, W. 2017. Magnetic evidence for heavy metal pollution of topsoil in Shanghai, China. *Front. Earth Sci.*
29. Zhang, J., Lin, Q., Liu, B., Guan, Y., Wang, Y., Li, D., Zhou, X., Kang, X. 2022. Magnetic Response of Heavy Metal Pollution in Soil of Urban Street Greenbelts. *Environ*, 31: 1923-193.