



Mineralogy, Micromorphology and Magnetic Susceptibility Affected by Soils Evolution and Genesis, Northern Kerman

Elham Soleimani Sardoo^{*1}, Mohammad Hady Farpoor², Majid Mahmoodabadi³, Azam Jafari⁴

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: elhamsoleimani@agr.uk.ac.ir
2. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: farpoor@uk.ac.ir
3. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: mahmoodabadi@uk.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: a.jafari@uk.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 05.01.2023

Revised: 09.25.2023

Accepted: 09.25.2023

Keywords:

Central Iran,
Clay coating,
Geology,
Iron forms,
Soil classification

ABSTRACT

Background and Objectives: Mineralogical composition, soil morphological properties, and magnetic susceptibility were affected along soil evolution in soils. That is why micromorphology helps in performing soil classification and evolution studies, as well as making soil management practices much more efficient. Clay mineralogy is a useful tool that helps in better understanding soil forming factors and processes. Soil magnetic properties are complex reflections of chemical, geological, and biological soil characteristics. Thus, knowledge about factors affecting magnetic susceptibility can help in better understanding and interpreting the results obtained in an area. Assessment of soil magnetic behavior might be used in pedology, soil mapping, investigation of soil process variations, parent material composition, sedimentary processes, soil drainage conditions, soil pollution, and separation and identification of soil unit boundaries. The present study was performed to investigate the effects of magnetic susceptibility, clay mineralogy, and micromorphology on soil characteristics, genesis, and evolution.

Materials and Methods: Seven representative pedons were selected in sedimentary and igneous sections in uncultivated land use and physiographic units: hill, piedmont plain, alluvial plain, and lowland. Physicochemical properties measurements were performed on the collected samples from representative pedons using standard methods. The pedogenic (Fed) and amorphous (Feo) iron concentrations of the extracts were determined using a Vario Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) instrument. Undisturbed soil samples were selected for micromorphology studies and thin section preparation. Additionally, three soil samples were used for X-ray diffraction (XRD) analyses after carbonates, organic matter, and Fe were removed using Jackson (1965) and Kittrik and Hope (1963) procedures. Finally, the mass-specific magnetic susceptibility of soil samples was determined using a Bartington MS2 meter equipped with the MS2B Dual Frequency sensor, capable of taking measurements at both low (χ_{lf} at 0.46 kHz) and high (χ_{hf} at 4.6 kHz) frequencies.

Results: Salinization, leaching, and illuviation processes of gypsum and carbonates were observed in the studied pedons. The soils were classified

as Aridisols (Soil Taxonomy system) and Solonchaks, Solonetz, Gypsisols, and Calcisols RSGs (WRB system) due to the presence of calcic, gypsic, salic, argillic, and natric diagnostic horizons. The presence of gypsum, carbonates, salt, clay accumulation, and argillic horizon reduces χ_{lf} values. The calcite coating located on the clay coating could probably be attributed to the presence of a climate with more available humidity in the past. The range of soil magnetic susceptibility was from 4.3×10^{-8} to $1264 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Gypsum infillings, different forms of gypsum, clay accumulation and coatings, and weathered calcite crystals were among the dominant micromorphological features observed in the studied pedons. Montmorillonite, chlorite, illite, kaolinite, quartz, and vermiculite minerals were observed in the studied pedons. Chlorite and Illite minerals were dominant in the clay fraction of the studied soils, whereas a portion of these minerals was probably converted to vermiculite. Discontinuities observed in pedon 2 could be accounted for as proof of more available humidity in the past compared to the present time periods. Moisture has caused the removal of potassium and transformation of Illite and chlorite to vermiculite. The dominance of Illite and chlorite can be proof of initial weathering and evolution in the other studied pedons.

Conclusion: The χ_{lf} variations was related to depth trend and physicochemical properties. The χ_{lf} values showed a noticeable negative correlation with argillic horizon, gypsum content, carbonate calcium, and salinity. It seems that most of the clay minerals originated from the parent material in the present study, and pedogenic source has rarely taken place. Besides, the χ_{lf} and Fe contents were directly correlated. In general, the results indicated young soils with primary development stages in the area under study. Pedon 2 with buried polygenetic soils is an exception.

Cite this article: Soleimani Sardoo, Elham, Farpoor, Mohammad Hady, Mahmoodabadi, Majid, Jafari, Azam. 2024. Mineralogy, Micromorphology and Magnetic Susceptibility Affected by Soils Evolution and Genesis, Northern Kerman. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (4), 75-96.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21316.2099

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



کانی‌شناسی، میکرومورفولوژی و پذیرفتاری مغناطیسی متأثر از تشکیل و تحول خاک در شمال کرمان

الهام سلیمانی ساردو^{۱*}، محمدهادی فرپور^۲، مجید محمودآبادی^۳، اعظم جعفری^۴

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: elhamsoleimani@agr.uk.ac.ir
۲. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: farpoor@uk.ac.ir
۳. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mahmoodabadi@uk.ac.ir
۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: a.jafari@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: تغییر و تحول خاک‌ها در طول تکامل آن‌ها بر ترکیبات کانی‌شناسی، خصوصیات میکرومورفولوژیکی و میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها تأثیر می‌گذارد. بنابراین به‌منظور تکمیل مطالعات مورفولوژی و تکامل خاک‌ها بهره‌گیری از مطالعات میکرومورفولوژی برای مطالعه رده‌بندی و مدیریت خاک ضروری می‌باشد. بررسی کانی‌شناسی برای فهم چگونگی تشکیل خاک نیز امری ضروری است. ویژگی‌های مغناطیسی خاک، بازتابی از برهم‌کنش‌های پیچیده شیمیایی، زمین‌شناسی و زیستی موجود در آن می‌باشند؛ بنابراین آگاهی از عوامل مؤثر بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک به درک و تفسیر هرچه بهتر نتایج کمک می‌کند. بررسی پذیرفتاری مغناطیسی به پدولوژی، نقشه‌برداری خاک، تغییرات فرایندهای خاک، تأثیر مواد مادری، فهم فرایندهای رسوبی، شرایط زهکشی خاک، آلودگی خاک، تفکیک و شناسایی محدوده‌های خاک خدمت کند. مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات میزان پذیرفتاری مغناطیسی، کانی‌شناسی رس و میکرومورفولوژی متأثر از تشکیل و تحول خصوصیات خاک انجام گرفته است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳	
واژه‌های کلیدی: ایران مرکزی، پوشش رسی، رده‌بندی خاک، زمین‌شناسی، شکل‌های آهن	
	مواد و روش‌ها: تعداد هفت خاکرخ در منطقه مطالعاتی، در کاربری بایر و واحدهای فیزیوگرافی تپه، دشت دامنه‌ای، دشت آبرفتی و اراضی پست در دو بخش مواد مادری آذرین و رسوبی حفر و تشریح شدند. پس از نمونه‌برداری از افق‌های ژنتیکی هر کدام از خاکرخ‌ها، اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد انجام شد. غلظت آهن پدوژنیک (Fed) و بی‌شکل (Feo) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Vario AAS) تعیین گردید. همچنین، کلوخه‌های دست‌نخورده خاک برای تهیه مقاطع نازک و

مطالعات میکرومورفولوژی انتخاب شدند. از طرف دیگر، سه نمونه خاک برای آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) تهیه گردید. برای تعیین نوع کانی‌های رسی از روش‌های جکسون (۱۹۷۵) و کیتریک و هوپ (۱۹۶۳) به منظور حذف املاح محلول، کربنات‌ها، مواد آلی و آهن و جداسازی ذرات رس استفاده گردید. در نهایت، پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه Bartington MS2 dual frequency sensor و حسگر MS2B در دو فرکانس بالا (χ_{HF} در ۴/۶ کیلوهرتز) و پایین (χ_{LF} در ۰/۴۶ کیلوهرتز) اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: در خاک‌های مورد مطالعه، فرایندهای شور شدن، انتقال مکانیکی مواد و آبشویی و تجمع گچ و کربنات‌ها مشاهده گردید. با توجه به حضور افق‌های مشخصه کلسیک، ژپسیک، سالیک، آرچلیک و ناتریک، خاک‌ها در رده اریدی سول (سامانه رده‌بندی خاک امریکایی) و گروه‌های مرجع سولونچاک، سولونتز، کلسی سول و ژپسی سول (سامانه WRB) قرار می‌گیرند. حضور گچ، کربنات‌ها، شوری، تجمع رس و مشاهده افق آرچلیک، سبب کاهش χ_{LF} می‌شود. توالی‌های مشاهده شده از پوشش رس و کربنات‌ها در حاشیه حفرات می‌تواند دلیل وجود توالی دوره‌های ترسالی و خشکسالی از زمان گذشته باشد. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها از ۴/۳ تا $۱۲۶۴ \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \times 10^{-4}$ متغیر می‌باشد. در بررسی مقاطع نازک نیز فراوانی اشکال مختلف و پرشدگی گچ، پوشش‌ها و تجمعات رسی و کربنات‌های در حال تجزیه غالب می‌باشد. کانی‌های مونت‌موریلونیت، کلریت، ایلیت، کائولینیت، کوارتز و ورمیکولیت در خاک‌های مورد مطالعه مشاهده شد. کلریت و ایلیت کانی غالب بخش رس این خاک‌ها می‌باشند. با توجه به انقطاع‌های مشاهده شده در خاک‌خ ۲، احتمال وجود دوره مرطوب در گذشته، دور از انتظار نخواهد بود. رطوبت سبب خروج پتاسیم و تبدیل کانی‌های ایلیت و کلریت به ورمیکولیت می‌شود. غالبیت ایلیت و کلریت در سایر خاک‌های مطالعاتی می‌تواند شاهی بر احتمال آغاز هوادیدگی و تکامل خاک‌ها باشد.

نتیجه‌گیری: تغییر در مقادیر χ_{LF} با تغییر عمق و همسو با تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی مشاهده گردید؛ به طوری که مقادیر χ_{LF} در حضور افق آرچلیک، مقادیر گچ، کربنات کلسیم و شوری کاهش محسوسی نشان داد. منشأ اغلب کانی‌های رسی موجود، موروثی و به‌ندرت حاصل فرایندهای خاکساز می‌باشد. هم‌چنین، بین مقادیر χ_{LF} و آهن، رابطه مستقیم مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج بیانگر جوانی و آغاز مراحل تکامل خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد که خاک‌خ ۲ با وجود خاک چندتشکیلی و افق‌های مدفون قدیمی، یک مورد استثنا می‌باشد.

استناد: سلیمانی ساردو، الهام، فرپور، محمدهادی، محمودآبادی، مجید، جعفری، اعظم (۱۴۰۲). کانی‌شناسی، میکرومورفولوژی و پذیرفتاری مغناطیسی متأثر از تشکیل و تحول خاک در شمال کرمان. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۳ (۴)، ۹۶-۷۵.

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21316.2099



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه روش‌های مختلفی برای بررسی فرایندهای تشکیل و تکامل خاک‌ها استفاده می‌شود. مواد مادری یکی از مهم‌ترین عوامل خاکساز در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تأثیر معنی‌داری روی ویژگی‌های خاک‌ها و توسعه آن‌ها دارد. مطالعه توسعه و تکامل خاک، یکی از روش‌های شناخت مواد مادری است که می‌تواند برای بررسی تاریخچه تغییر و تحول آن مفید باشد. نقش ماده مادری در ترکیب کانی‌های رسی خاک تابع عواملی مانند اقلیم (۱) و نوع کاربری (۲) است. پیشگیر و جعفری (۲۰۱۴) حضور کانی‌های کائولینیت با منشأ مواد مادری و ایلیت و کلریت را در خاک‌های خوزستان گزارش کردند (۳). پالی‌گورسکایت، ایلیت، کلریت، کائولینیت و اسمکتیت کانی‌های رسی اصلی در خاک‌ها و رسوبات مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند (۴). جعفری و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تحول کانی‌های رسی در آبرفت‌های حاشیه رودخانه کارون پرداختند. نتایج بیانگر کاهش شدت کانی‌های ایلیت و کلریت در افق‌های سطحی و روند کاهش کانی‌های ایلیت و یا ورمیکولیت از سطح به عمق خاک‌ها بود (۵). غفارپور (۲۰۱۲) در منطقه مبارک‌آباد و آق‌بند به مقایسه درجه تکامل افق‌های جدید و قدیمی اقدام نمودند. نتایج نشان‌دهنده درجه تکامل بالاتر در افق آرچیلیک خاک‌های قدیمی بود (۶). رس‌های موجود در خاک، ضمن تأثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از جمله نگهداری رطوبت، تراکم خاک، پایداری خاکدانه‌ها، هدایت آبی، نفوذپذیری، تبادل کاتیونی، انقباض و انبساط، تثبیت پتاسیم و سایر عناصر، بیانگر مراحل تکامل خاک می‌باشند (۷). بنابراین بررسی کانی‌شناسی برای فهم چگونگی تشکیل خاک، امری ضروری است. هم‌چنین برای تکمیل مطالعات تکامل خاک‌ها بهره‌گیری از مطالعات میکرومورفولوژی برای مطالعه رده‌بندی و

مدیریت خاک ضروری می‌باشد (۸). یکی از تکنیک‌های مهم و حتی شاید ضروری در مطالعه خاک‌ها که توسط اکثر پژوهش‌گران (۱، ۲، ۴، ۹) استفاده شده است، مطالعات میکرومورفولوژی می‌باشد. فرپور و همکاران (۲۰۰۳) نحوه تشکیل و میکرومورفولوژی اریدی‌سول‌های گچی و نمکی منطقه نوق رفسنجان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده وجود آویزه‌های گچی و اشکال میکروسکوپی صفحه‌ای، عدسی، کرمی‌شکل و صفحات درهم قفل‌شده گچی و بلورهای پالیگورسکایت در واحد ژئومورفیک پدیمت سنگی بود. با تغییر شیب از پایین به بالا از میزان گچ و اندازه آویزه‌ها کاسته شده و بر اشکال عدسی و کرمی‌شکل افزوده شد. هم‌چنین ارتباط نزدیکی بین مورفولوژی گچ و موقعیت ژئومورفولوژی در منطقه مشاهده شد (۹).

ویژگی‌های مغناطیسی خاک، بازتابی از برهم‌کنش‌های پیچیده شیمیایی، زمین‌شناسی و زیستی موجود در آن می‌باشند. بنابراین آگاهی از عوامل مؤثر بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک به درک و تفسیر هرچه بهتر نتایج کمک می‌کند. پذیرفتاری مغناطیسی، شاخصی کمی است، که نشان‌دهنده درجه مغناطیسی شدن مواد در یک میدان مغناطیسی می‌باشد. در مطالعات خاک، به‌طور معمول از پذیرفتاری مغناطیسی ویژه یا جرمی استفاده می‌شود (رابطه ۱):

$$\chi_{\text{mass}} = \kappa / \rho \quad (1)$$

که در این معادله، χ_{mass} پذیرفتاری مغناطیسی جرمی ویژه بر حسب $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ ، κ پذیرفتاری مغناطیسی حجمی (بدون واحد) و ρ جرم مخصوص ظاهری نمونه بر حسب kg m^{-3} می‌باشد (۱۰). در دهه‌های اخیر اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی به‌دلیل فهم خاک و فرایندهای سیمای اراضی، مورد توجه

به طوری که در مناطق با خاک تکامل یافته تر، کربنات کلسیم خاکساز بیش تر است (۳۶). معمولاً سنگ های آذرین، به ویژه سنگ های مافیک^۲ و اولترامافیک^۳، بیش ترین و سنگ های رسوبی دارای مواد دیامغناطیس (مانند کربنات ها، گچ و کوارتز)، کم ترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی را دارند (۱۰). کریمی و خادمی (۲۰۱۲) اهمیت مواد مادری و مواد دیامغناطیس متحرک گچ و کربنات ها را بر مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی خاک های مناطق خشک اثبات نمودند (۳۷).

در مورد بررسی کانی شناسی، میکرومورفولوژی و پذیرفتاری مغناطیسی خاک های شمال کرمان، پژوهش های جامعی انجام نشده است. از این رو مطالعه حاضر با هدف ارزیابی فرایندهای خاکساز، میکرومورفولوژی، کانی شناسی، مقادیر آهن و پذیرفتاری مغناطیسی، به عنوان ویژگی های مؤثر بر تغییرات خاک های موجود در این منطقه و مقایسه نحوه تکامل خاک های تشکیل شده در دو بخش مواد مادری آذرین و رسوبی، انجام شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در محدوده ۵۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی شهرستان کرمان قرار دارد. میانگین، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی منطقه به ترتیب برابر با ۳۹/۶، ۳۲ و ۴۷ درصد می باشد. میانگین سالانه دما و بارندگی آن نیز به ترتیب، ۱۹/۳ درجه سلسیوس و ۱۲۹ میلی متر است (۳۸). رژیم رطوبتی خاک منطقه، اریدیک و رژیم حرارتی آن، مزیک می باشد. از مهم ترین ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه می توان به ساختارهای

خاک شناسان قرار گرفته است (۱۰، ۱۱، ۱۲). بررسی پذیرفتاری مغناطیسی در مطالعات وسیعی از علوم خاک شامل پدولوژی (۱۳)، نقشه برداری خاک (۱۴، ۱۵)، کانی شناسی (۱۶، ۱۷)، بررسی تغییرات فرایندهای خاک و شرایط اکولوژیکی غالب (۱۸)، مطالعه تأثیرات مواد مادری (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳)، فهم فرایندهای رسوبی (۲۴)، شرایط زهکشی خاک (۲۵، ۲۶، ۲۷)، آلودگی خاک (۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴) و تفکیک و شناسایی محدوده های خاک (۱۴) مورد استفاده قرار گرفته است. در میان عوامل طبیعی مواد مادری، هوادبگی و فرایندهای خاکساز بیش ترین تغییرات در مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی را سبب می شوند. مقبلی و همکاران (۲۰۲۱) طی مطالعه لیتولوژی، ژئومورفولوژی و فرایندهای خاک بر ویژگی های پذیرفتاری مغناطیسی خاک در طول یک ردیف ارتفاعی سنگی^۱ در یک منطقه خشک از جنوب ایران، نشان دادند که فرایندهای افزایشی، کاهش، انتقال و تبدیل بر اجزای مغناطیسی خاک تأثیر به سزایی در توزیع عمودی و مکانی مقادیر χ_{LF} در خاک ها دارند (۲۱). سنگ ها و رسوبات بر اساس ترکیبات کانی شناسی خود، دارای مقادیر و انواع متفاوتی از ترکیبات مغناطیسی می باشند. بنابراین محدوده وسیعی از مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی دارا می باشند. ترکیبات کانی شناسی سنگ ها و رسوبات تشکیل دهنده خاک ها، به عنوان ویژگی های اصلی متأثر از خصوصیات مغناطیسی خاک ها می باشند (۳۴). باربوسا و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه تغییرات مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در مقیاس ملی در برزیل پرداختند. نتایج بیانگر وابستگی شدید مقادیر χ_{LF} به مقدار آهن و رس و رنگ قرمز خاک می باشد (۳۵). رسوب اشکال مختلف کربنات کلسیم در مناطق خشک و نیمه خشک از فرایندهای متداول می باشد؛

2- Mafic

3- Ultramafic

1- Lithosequence

شکل‌های آهن آلی و بی‌شکل که به‌وسیله استخراج اگزالات آمونیوم در تاریکی در $\text{pH}=3$ (۴۶) اندازه‌گیری شد. غلظت آهن در عصاره با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) Vario تعیین گردید.

تعداد ۱۲ کلوخه دست‌نخورده خاک از افق‌های مختلف در خاک‌های مورد مطالعه (شامل خاک‌های ۱ افق‌های Bk و Bkyz، خاک‌های ۲ افق‌های 2Btk و Btnkyz، خاک‌های ۳ افق‌های Bkzn، Btnz2، خاک‌های ۴ افق‌های Btnkyz، Btnkz2، خاک‌های ۵ افق Bky2، خاک‌های ۶ افق Bw و خاک‌های ۷ افق‌های Bkn و Bkzn)، برای تهیه مقاطع نازک و بررسی میکرومورفولوژی انتخاب شدند. به این منظور از رزین سه جزئی برای اشباع کردن نمونه‌های خاک استفاده گردید. نمونه‌ها پس از گذشت تقریباً ۱۰ روز، در شرایط هوای آزاد سخت و خشک شدند. نمونه‌های اشباع و خشک شده برای تهیه مقطع نازک آماده گردید. به دلیل وجود گچ و مواد انحلال‌پذیر در نمونه‌ها از نفت برای سایش مقاطع نازک استفاده شد. در نهایت با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل BK-POL-TB در دو حالت نور پلاریزان صفحه‌ای (PPL) و متقاطع (XPL) بر اساس راهنمای استوپس (۲۰۰۳) تشریح و عکس‌برداری از مقاطع انجام شد (۲۲).

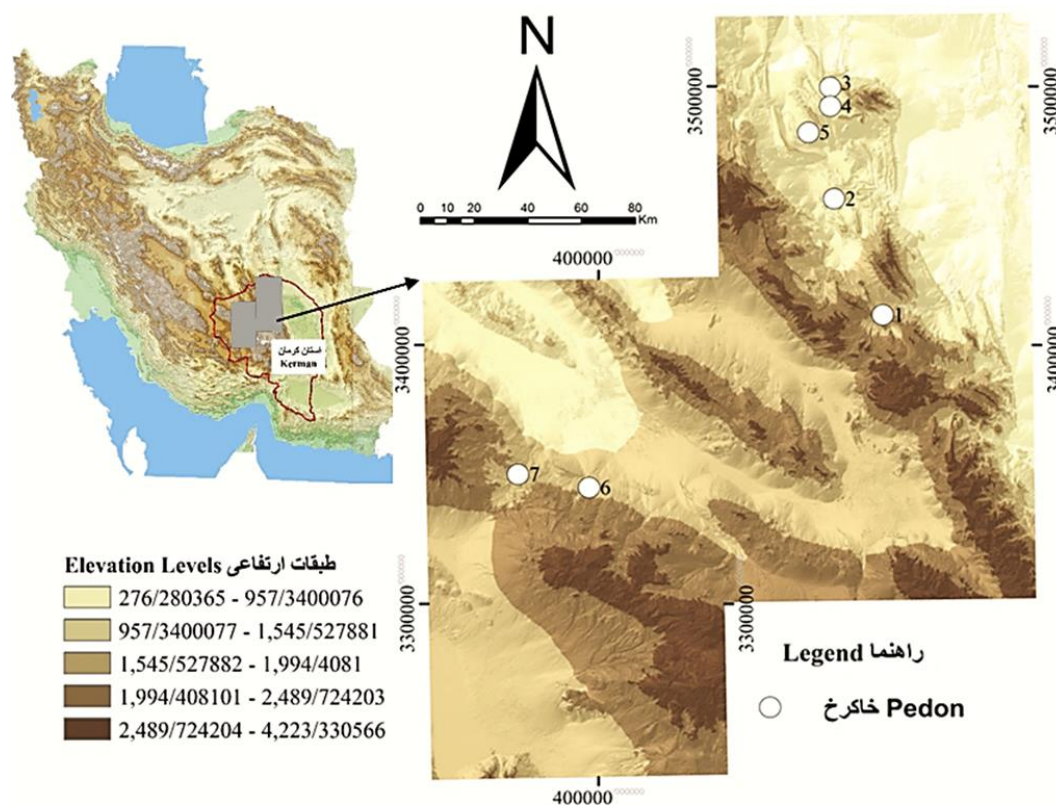
برای تعیین نوع کانی‌های رسی از روش‌های جکسون (۱۹۷۵) و کیتربک و هوپ (۱۹۶۳) به‌منظور حذف املاح محلول، کربنات‌ها، مواد آلی و آهن و جداسازی ذرات رس استفاده گردید و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس بر روی هر یک از نمونه‌ها اعمال گردید (۴۷، ۴۸). بنابراین برای مشاهده اشکال مختلف گچ، کربنات‌ها و رس، افق‌های Bk در خاک‌های ۱، 2Btk و Btnkyz در خاک‌های ۲، Bkzn

گسلی، چین‌خوردگی‌ها و راندگی‌ها اشاره کرد. از لحاظ زمین‌شناسی خاک‌های مطالعاتی بر روی سازندهای ژوراسیک و کرتاسه قرار داشته و در بخش رسوبی شامل واحدهای سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ، شیل آهکی، مارل، شیل گچی، سنگ گچی و فلیش و در بخش آذرین شامل ترکیبات آندزیتی می‌باشند (۳۹). پس از بررسی منطقه مورد مطالعه روی تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های زمین‌شناسی (مقایس ۱:۲۵۰۰۰۰)، تعداد هفت خاک‌های بر اساس تغییرات مورفولوژیکی و زمین‌شناسی منطقه انتخاب گردید. خاک‌های ۱ در واحد فیزیوگرافی تپه، خاک‌های ۲ در اراضی پست، خاک‌های ۴ در واحد دشت آبرفتی و سایر خاک‌ها در واحد دشت دامنه‌ای حفر شدند. از لحاظ کاربری اراضی، خاک‌ها در کاربری بایر قرار دارند (جدول ۲). خاک‌های ۱ تا ۵ در مجاورت تاقدیس‌ها و ناودیس‌های رسوبی و خاک‌های ۶ و ۷ در بخش آذرین حفر شده‌اند. سازندهای زمین‌شناسی منطقه به دوران‌های ژوراسیک و کرتاسه برمی‌گردند. هر کدام از خاک‌ها بر مبنای راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌های مرکز ملی حفاظت خاک آمریکا تشریح شدند (۴۰). بنابراین تعداد ۴۰ نمونه خاک از تمامی افق‌های ژنتیکی خاک‌های مطالعاتی جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH در خمیر اشباع (به‌وسیله pH متر Jenway)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع (توسط EC متر مدل Jenway)، بافت خاک به روش پیپت (۴۱)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۴۲)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بی‌کرومات پتاسیم باقی‌مانده توسط فروآمونوم سولفات (۴۳)، درصد گچ به روش استون (۴۴)، اکسید آهن آزاد کل (آهن پدورنیک) (Fed)، شامل شکل‌های آهن آلی، بلورین و بی‌شکل که توسط سیترات بیکربنات دی‌تیونات (CBD) (۴۵) و آهن بی‌شکل (Feo)، شامل

$$\% \chi_{fd} = \frac{\chi_{lf} - \chi_{hf}}{\chi_{lf}} \times 100 \quad (2)$$

همچنین به بررسی همبستگی پذیرفتاری مغناطیسی خاک در ارتباط با ویژگی‌های آهن و سایر ویژگی‌های شیمیایی خاک پرداخته شد. بررسی همبستگی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 23 انجام شد. نمودار مربوط به تغییرات آهن (g kg^{-1}) در ارتباط با تغییرات χ_{LF} نیز در نرم‌افزار Graphpad Prism ترسیم گردید.

در خاکرخ ۳، Btkn در خاکرخ ۴، Bky2 در خاکرخ ۵، Bw در خاکرخ ۶ و Bkn و Bkyzn در خاکرخ ۷ برای بررسی کانی‌های رسی به آزمایشگاه کانی‌شناسی سازمان زمین‌شناسی تبریز ارسال و با استفاده از دستگاه XRD مدل Siemens D5000 ساخت کشور آلمان، پراش‌نگارهای پرتو ایکس نمونه‌ها تهیه شد. پذیرفتاری مغناطیسی تمامی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه Bartington MS2 dual frequency sensor و حسگر MS2B در دو فرکانس بالا (χ_{HF}) و پایین (χ_{LF}) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه ۲ مقادیر پذیرفتاری وابسته به فرکانس ($\% \chi_{fd}$) محاسبه گردید (رابطه ۲):



شکل ۱- منطقه مطالعاتی و موقعیت خاکرخ‌های مورد مطالعه در استان کرمان.
Figure 1. Study area and location of representative pedons in Kerman Province.

نتایج و بحث

جدول ۱ نشانگر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه است. وجود آهن و گچ در افق‌های مورد مطالعه می‌تواند متأثر از سازندهای با سنگ‌شناسی آهنی و تبخیری متعلق به دوران‌های ژوراسیک و کرتاسه باشد. بخش تبخیری واحدهای کرتاسه از ترکیبات گچ و نمک تشکیل شده است. واحد کربناتی بر روی بخش تبخیری قرار دارد و شامل آهن‌های کرتاسه می‌باشد. رسوبات ژوراسیک نیز نهشته‌های به نسبت ضخیمی هستند که از سازندهای شمشک، هجدک، بیدو، رخساره‌های گچ و آهن پکتندار و در پایان شیل و ماسه‌سنگ قرمز رنگ پدیدار شده است. این رسوبات در یک حوضه کم‌عمق ولی پرجنبش بر جای گذاشته شده‌اند (۳۹). حداکثر میزان گچ در خاک‌های ۲ و ۴ مشاهده شد (جدول ۱). نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی نشان‌دهنده تجمع رس در توالی با افق‌های کربناتی در خاک‌ها می‌باشد.

فرایندهای خاکسازي در ارتباط با تجمع و نقل و انتقالات املاح محلول، گچ، کربنات‌ها و رس در افق‌های مشخصه کلسیک، ژیبسیک، سالیک، آرچیلیک و ناتریک و به میزان کم‌تر افق کمبیک در خاک‌های مورد مطالعه مشاهده شد. حضور افق‌های آرچیلیک پیشرفته با پوسته‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، حاکمیت دوره‌های مرطوب گذشته را اثبات می‌کند (خاک‌های ۲ و ۳). سنجری و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) نیز در بررسی خاک‌های جنوب استان کرمان (در خاک‌های منطقه جیرفت و رودبار جنوب) با مشاهده پوشش رس و به تبع آن

افق آرچیلیک در خاک‌های منطقه، وجود شرایط اقلیمی مرطوب در گذشته را اثبات کردند. وجود افق‌های ناتریک و آرچیلیک در خاک‌های مطالعاتی، فرایند انتقال مکانیکی مواد را نشان می‌دهد (۴۹، ۵۰). مطالعه میکرومورفولوژی افق‌های آرچیلیک و ناتریک، انواع متفاوتی از پوسته‌های رسی را در خاک‌های شور و سدیمی نشان می‌دهد. این نوع پوسته‌ها از نوع رس درشت و ویژه افق ناتریک می‌باشند که در اثر حضور یون سدیم، حرکت و تجمع می‌یابند (۴). در خاک‌های مورد مطالعه فرایندهای شور شدن، انتقال مکانیکی مواد و آبشویی و تجمع گچ و کربنات‌ها مشاهده گردید. بنابراین خاک‌ها بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) و WRB (۲۰۱۵) به ترتیب در رده اریدی‌سول و گروه‌های مرجع سولونچاک، سولونتر، کلسی‌سول و ژیبسی‌سول قرار می‌گیرند (۵۱، ۵۲) (جدول ۲). مشاهده درصد بالای سدیم و به تبع آن تشکیل افق ناتریک در خاک‌های مطالعاتی، نقش مهمی در تصمیمات مدیریتی خواهد داشت. طی بررسی نامگذاری در سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴ و ۲۰۲۲) مشخص شد که در سطوح گروه بزرگ و زیرگروه در شرایط حضور هم‌زمان افق‌های ناتریک، ژیبسیک و سالیک در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری سطح خاک، نامگذاری مناسب وجود ندارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور مدیریت بهتر منطقه، افق ناتریک به نامگذاری در سطح زیرگروه رده‌های خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک اضافه شود (۵۳، ۵۴، ۵۵).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Selected physicochemical characteristics of representative pedons.

Feo/ Fed	Fed-Feo (gkg ⁻¹)	Feo (gkg ⁻¹)	Fed (gkg ⁻¹)	XFD (%)	Xif (10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	CEC (Cmol ⁺ kg ⁻¹)	کربن آلی OC (%)	SAR	گچ Gypsum (%)	EC (dSm ⁻¹)	معدل CCE (%)	کرینات کلسیم Depth (cm)	افق Horizon	خاک‌رخ Pedon
0.02	11	0.23	11.2	0.9	44.8	27.6	10.8	61.6	6.9	0.7	7.7	3.5	8.1	18.5	0-30	A	
0.05	5.8	0.3	6.1	2.9	6.8	10.4	32.6	57	7.8	0.7	0.3	5.1	27.7	26.2	30-45	Bky	
0.06	8.5	0.6	9.07	1.7	13.8	12.6	25.4	62	8.7	0.7	6.5	5	42	22.5	45-75	Bkyz	1
0.04	12.1	0.53	12.6	0.4	20.5	9.6	12.8	77.6	7.1	0.6	38.8	2.3	25.8	18.2	75-105	Bkn1	
0.04	10.6	0.46	11.1	0	24.3	13.6	15.4	71	5.8	0.4	19.9	1.2	11.1	23.2	105-130	Bkn2	
0.02	11.4	0.34	11.7	1.8	32.5	7.6	33.4	59	7.6	0.4	23.9	1.4	13.3	19.5	130-150	C	
0.02	9.95	0.22	10.1	1.1	117.1	13.6	17.4	69	5.3	0.7	275	5.2	68	24.2	0-25	A	
0.05	9.4	0.5	9.9	0.7	108.7	21.6	24.6	53.8	5.1	0.7	424	9.5	96	29.5	25-55	Btkyz	
0.05	7.6	0.4	7.9	0.8	161.7	12.6	17.8	69.6	4	0.7	168	8.7	43.3	29.7	55-70	2C	
0.1	4.8	0.6	5.4	0.4	65.5	21.6	22.8	55.6	5.8	0.7	114	8.2	44.4	13.7	70-90	2Btky	2
0.04	9.4	0.47	9.9	0.2	49.5	16.6	31.8	51.6	6.1	0.7	56.2	4	22	25	90-135	2Btk	
0.04	9.3	0.47	9.7	1.2	57.1	14.6	20.4	65	1.3	0.6	3.9	2.5	2.7	23.7	135-145	3C	
0.01	9.9	0.15	10.1	0.6	62.9	16.6	28.8	54.6	4.4	0.4	7.7	1.5	6	30	145-165	3Bk	
0.01	11.1	0.2	11.3	0	25.1	25.6	28.8	45.6	6.7	0.8	283	3.8	109	0.5	0-10	A	
0.04	10.7	0.51	11.2	0	22.9	13.6	29.4	57	6.7	0.7	307	1.3	115	18	10-40	Bkzn	
0.03	10.8	0.4	11.3	2.8	14.3	43.6	30.8	25.6	8.9	0.7	112	1.2	65	0.2	40-70	Btzn1	
0.04	11.7	0.52	12.2	0.7	14.7	42	38.4	19.6	8.9	0.7	182	0.8	74.2	10.5	70-115	Btzn2	3
0.04	10.3	0.46	10.8	2.9	13.7	35.6	39.4	25	8.9	0.7	157	1	62.5	0.7	115-145	Btzn3	
0.02	11.1	0.26	11.3	0	13.8	46	36	18	8.5	0.7	164	0.7	66.3	9	145-180	Btzn4	
0.02	10.6	0.38	11	0	14.7	37.6	36.8	25.6	8.9	0.4	47.9	1.1	72.5	0.7	180-215	C	
0.04	9.35	0.45	9.8	0	14.2	10.4	20.6	69	7.1	0.5	156	5.1	82.4	22.7	0-10	A	
0.04	8.75	0.36	9.12	0	19	14.4	21.6	64	5.3	0.5	881	9.5	130	23	10-40	Bkyzn	4
0.1	8.18	1.67	9.8	1.3	29.7	22.4	25	52.6	2.6	0.4	126	8.4	68.7	49	40-70	Btkyz	
0.06	8.5	0.57	9.14	3.3	21.1	18.4	20.6	61	2.2	0.3	119	4.1	51.3	46.7	70-100	Btkz1	
0.02	8.7	0.2	8.96	0.3	32.5	22.4	24.6	53	3.1	0.3	118	2.1	57.6	45.2	100-155	Btkz2	

ادامہ جدول ۱-

Continue Table 1.

Feo/ Fed	Fed-Feo (gkg ⁻¹)	Feo (gkg ⁻¹)	Fed (gkg ⁻¹)	XFD (%)	Xif (10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	CEC (Cmol ⁺ kg ⁻¹)	کربن آلی OC (%)	SAR	گچ Gypsum (%)	EC (dSm ⁻¹)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	ضخامت Depth (cm)	افق Horizon	خاکرخ Pedon
0.02	9.34	0.21	9.56	1.8	64.7	18.4	24.6	61	7.1	0.6	4.1	3.4	3.7	48.7	0-30	A	
0.12	3.5	0.5	4.03	3.5	8.6	10	19	71	6.2	0.6	5.9	5	7.1	48.7	30-60	Bky1	
0.07	3.3	0.26	3.5	0	4.3	8.4	20.6	71	7.6	0.6	12.7	5	11	48.5	60-115	Bky2	5
0.11	4.7	0.6	5.3	1.8	11	6.4	18	75.6	7.1	0.3	19.8	4.1	15.4	47.7	115-150	C1	
0.14	2.6	0.42	3.01	5.3	7.5	8.4	28.6	63	4.9	0.3	11.8	4.3	45	49.2	150-200	C2	
0.03	8.31	0.25	8.5	0.8	1026	12.4	22.6	65	15	0.6	2.7	0.5	1.8	18	0-10	A	
0.05	9	0.56	9.6	0.5	1172	14.4	32.6	53	15	0.7	13.1	0.4	16.2	20.5	10-35	Bkn	
0.21	8.66	2.41	11.1	1.2	1264	12.4	20.6	67	18	0.3	13.2	1.2	10.9	12.5	35-65	Bw	6
0.05	9.5	0.57	10	0.7	940	12.4	22.6	65	16	0.3	7.5	0.5	2.3	16.2	65-95	Bk	
0.04	10.5	0.47	11	1.1	806.8	6.4	20.6	73	16	0.3	20.5	0.6	13.3	14.2	95-135	C	
0.05	10.6	0.6	11.2	0.8	92.8	18.4	29	52.6	8.5	0.5	54	3.8	36.8	29.5	0-10	A	
0.06	7.5	0.5	8.03	0.8	79.3	11.4	48.5	40.1	9.6	0.5	44.5	5.3	31	28.3	10-45	Bkzrn	
0.14	3.4	0.6	3.4	1.8	27.2	6.4	71.6	22	12	0.3	40	2.9	20.2	24.2	45-85	Bkn	7
0.13	4.7	0.7	5.4	0	58	20.4	59	20.6	13	0.1	14.2	1.2	18	19.5	85-120	Btk1	
0.13	3.21	0.5	3.68	3	30	30.4	57	12.6	13	0.1	37	1.4	22.2	31.2	120-150	Btk2	

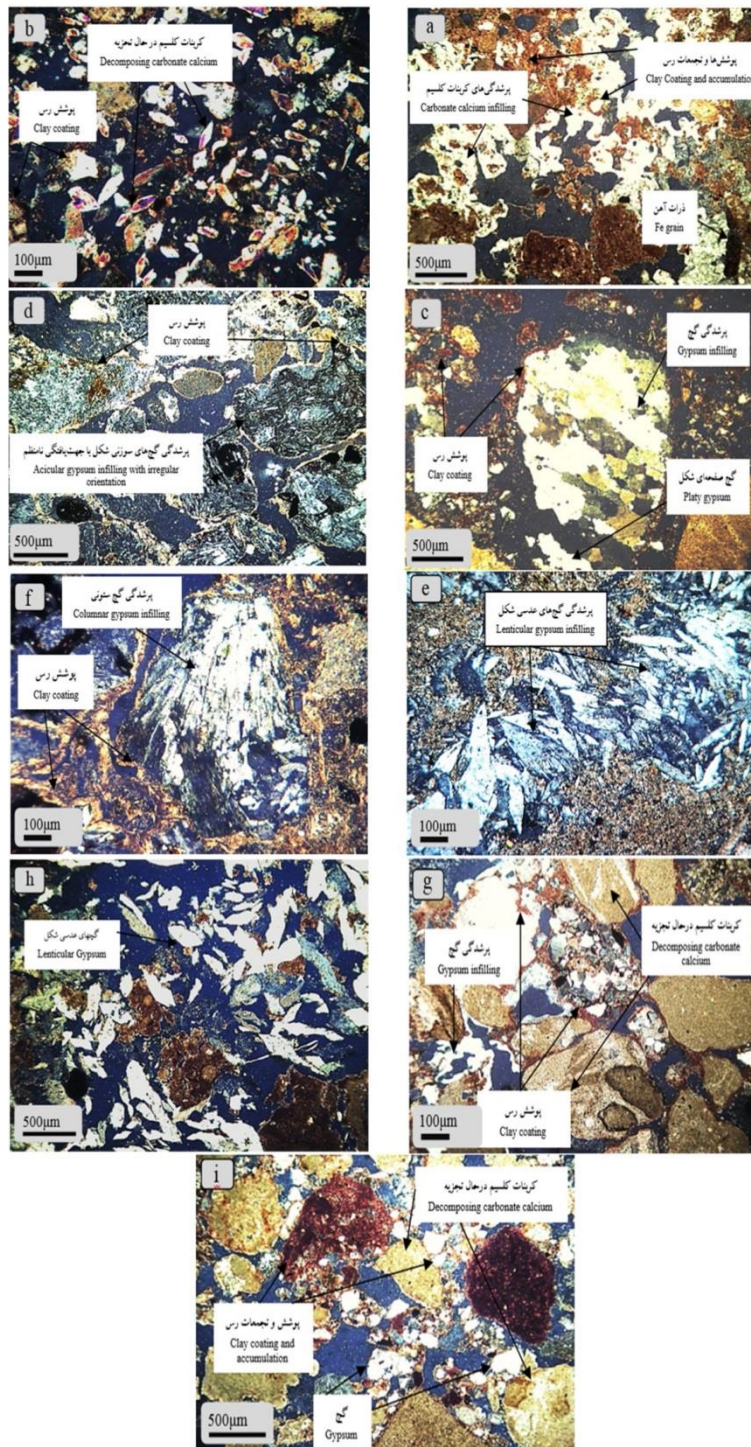
جدول ۲- موقعیت و رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 2. Location and classification of studied pedons.

سامانه‌های طبقه‌بندی خاک Soil Classification Systems		مختصات جغرافیایی utm		فیزیوگرافی Physiography	کاربری Landuse	خاک‌رخ Pedon No.
WRB	ST	Y	X			
Katocalcic Amphigypsic Endosodic Solonchacks (Amphihypersalic, Katoloamic)	Gypsic Haplosalids	3411623.97	505933.1433	تپه Hill	بایر Uncultivated	1
Calcic Amphigypsic Pantosalic Solonetz (Cutanic, Katoloamic)	Gypsic Haplosalids	3456529.526	487822.7975	اراضی پست Lowland	بایر Uncultivated	2
Endocalcic Katosalic Abruptic Solonetz (Katoclayic, Cutanic)	Calcic Haplosalids	3499601.303	486385.6647	دشت دامنه‌ای Piedmont Plain	بایر Uncultivated	3
Katocalcic Amphigypsic Katosalic Solonetz (Cutanic, Katoloamic)	Gypsic Haplosalids	3492303.409	486364.2211	دشت آبرفتی Alluvial Plain	بایر Uncultivated	4
Katocalcic Gypsisols (Pantoloamic)	Typic Calcigypsisols	3482147.595	478207.2637	دشت دامنه‌ای Piedmont Plain	بایر Uncultivated	5
Cambic Calcisols (Katoloamic, Amphiosodic)	Sodic Haplocalcids	3344904.495	396476.5391	دشت دامنه‌ای Piedmont Plain	بایر Uncultivated	6
Katocalcic Epigypsic Katosalic Solonetz (Amphiloamic)	Gypsic Haplosalids	3349972.003	369991.2709	دشت دامنه‌ای Piedmont Plain	بایر Uncultivated	7

مطرح گردد (۵۶، ۵۷، ۲۶). نقش فرایندهای خاکسازایی روی افزایش پذیرفتاری مغناطیسی اثبات شده است (۵۸، ۱۰). در خاک‌های ۱ و ۵ مقدار χ_{LF} در افق‌های سطحی با اختلاف زیادی با افق‌های زیرین خود می‌باشد که می‌تواند به دلیل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در افق‌های سطحی تحت تأثیر فرایندهای خاک‌سازی باشد. نتایج مطالعه سسار د ملو و همکاران (۲۰۲۰) بیانگر تأثیر قوی زمین‌شناسی بر پذیرفتاری مغناطیسی، به‌ویژه در خاک‌های حاصل از دیاباز (نوعی سنگ آذرین نفوذی حاصل سرد شدن سریع ماگمای مذاب در نزدیکی سطح زمین) بود. در خاک‌های کم‌تر توسعه‌یافته، پذیرفتاری مغناطیسی، بیش‌تر تحت تأثیر لیتولوژی می‌باشد و در خاک‌های بیش‌تر تکامل‌یافته، پدورنز سبب افزایش پذیرفتاری مغناطیسی شده، اما فرایندهای Argilluviation و Ferralinitization کاهش آن را به دنبال دارند (۱۹).

تجمع رس و مشاهده افق آرجیلیک سبب کاهش χ_{LF} می‌شود (۱۹) که احتمالاً مربوط به تأثیر نوع ماده مادری، حاکمیت اقلیم خشک کنونی، نوع و مقدار مواد دیامغناطیس در خاک‌های مورد مطالعه باشد. مشاهده کاهش χ_{LF} در افق‌های آرجیلیک خاک‌های ۲، ۳ و ۷ نسبت به دیگر افق‌های این خاک‌ها، می‌تواند دلیلی بر تأیید این ادعا باشد (شکل ۲ قسمت‌های a، b، c، d و e). افزایش مقادیر χ_{LF} در خاک‌های ۶ احتمالاً به‌واسطه کاهش درصد رس باشد (شکل ۲ قسمت f). در تأمین پذیرفتاری مغناطیسی، تغییرات رس اهمیت فراوانی دارند. انتقال رس می‌تواند یکی از دلایل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در افق‌های قدیمی نیز باشد، بنابراین افزایش χ_{LF} در بعضی افق‌های خاک‌های ۲ می‌تواند مرتبط با انتقال، تجمع و جهت‌یافتگی رس باشد. میزان افزایش پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند در کنار سایر عوامل به‌عنوان شاخصی از میزان تأثیر فرایندهای خاکسازایی



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک در حالت نور متقاطع (XPL). a: خاکرخ ۲ در عمق ۹۰-۱۳۵ سانتی‌متر (2Btk), b: خاکرخ ۲ در عمق ۲۵-۵۵ سانتی‌متر (Btkyz), c: خاکرخ ۳ در عمق ۱۰-۴۰ سانتی‌متر (Bkzn), d: خاکرخ ۷ در عمق ۴۵-۸۵ سانتی‌متر (Bkn), e: خاکرخ ۷ در عمق ۱۰-۴۵ سانتی‌متر (Bkyzn), f: خاکرخ ۶ در عمق ۳۵-۶۵ سانتی‌متر (Bw), g: خاکرخ ۵ در عمق ۶۰-۱۱۵ سانتی‌متر (Bky2), h: خاکرخ ۱ در عمق ۳۰-۴۵ سانتی‌متر (Bk), i: خاکرخ ۴ در عمق ۴۰-۷۰ سانتی‌متر (Btk).

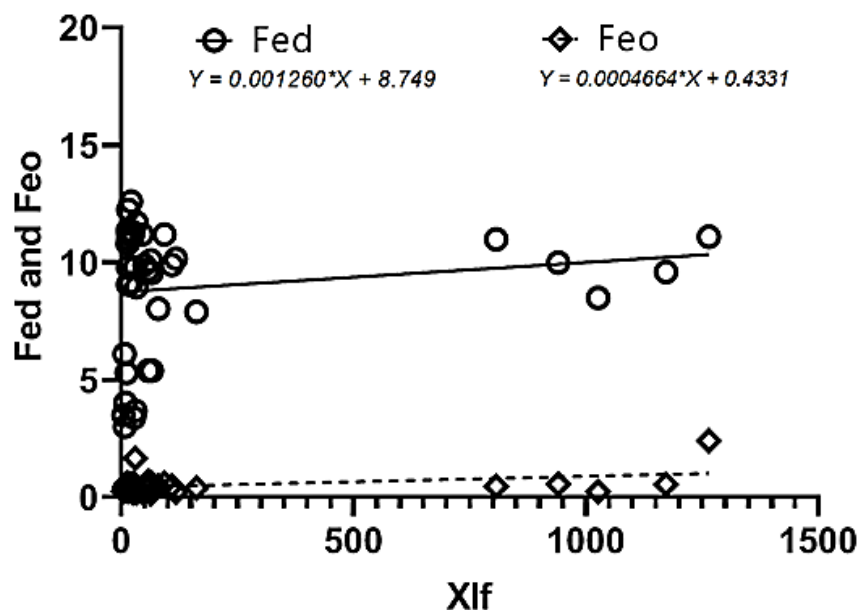
Figure 2. Microscopic thin sections (XPL). a: Pedon 2, depth: 90-135 (2Btk); b: Pedon 2, depth: 25-55 (Btkyz); c: Pedon 3, depth 10-40 (Bkzn); d: Pedon 7, depth 45-85 (Bkn); e: Pedon 7, depth 10-45 (Bkyzn); f: Pedon 6, depth: 35-65 (Bw); g: Pedon 5, depth: 60-115 (Bky2); h: Pedon 1, depth: 30-45 (Bk); i: Pedon 4, depth: 40-70 (Btk).

خود در غرب استرالیا نشان داد که افزایش گچ به‌عنوان ماده دیامغناطیس، باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌شود (۶۲). آب، مواد آلی و کربنات‌ها پذیرفتاری مغناطیسی بسیار پایینی دارند. همچنین تجمع نمک در افق‌های سطحی، به‌عنوان یک جسم پارامگنتیت، احتمالاً سبب کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می‌شود (۶۳). خاک‌رخ‌های ۳ و ۴ با مقادیر بالای EC، کاهش میزان χ_{LF} را نشان دادند (جدول ۱). با استفاده از تکنیک‌های پذیرفتاری مغناطیسی می‌توان انقطاع لایه‌های مختلف در خاک را بررسی و مشخص نمود. به‌عبارت دیگر، پذیرفتاری مغناطیسی یکی از پارامترهایی است که برای تعیین یکنواختی خاک‌رخ مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶۴). در خاک‌رخ ۲ وجود انقطاع و تغییر ناگهانی بافت خاک، سبب تغییرات نامنظم مقدار χ_{LF} با تغییر عمق شده است.

شکل‌های مختلف آهن در بررسی میزان توسعه و تکامل خاک اهمیت دارند؛ به‌طوری‌که Fed-Feo معیاری از مقدار ترکیبات متبلور و نسبت آهن فعال یا Feo/Fed معیاری از درجه بلوری اکسیدهای آهن می‌باشند که تحت تأثیر فرایندهای پدوژنیک، میزان توسعه و سن نسبی خاک تغییر می‌کند (۶۵). بالاترین میزان میانگین وزنی نسبت آهن فعال در خاک‌رخ‌های ۷ (۰/۱۱)، ۵ (۰/۰۹) و ۶ (۰/۰۸) مشاهده شد. میانگین مقادیر Fed، Feo، آهن بلوری و فعال در نمونه‌های مورد مطالعه به‌ترتیب برابر با ۰/۵، ۸/۹۶، ۸/۴۵ گرم بر کیلوگرم و ۰/۰۵ می‌باشد.

شکل ۳ نتایج بررسی همبستگی موجود بین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک را ارائه می‌دهد. به‌دلیل عدم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، برای بررسی همبستگی از آزمون اسپیرمن استفاده شد. بین پذیرفتاری مغناطیسی با Fed همبستگی معنادار

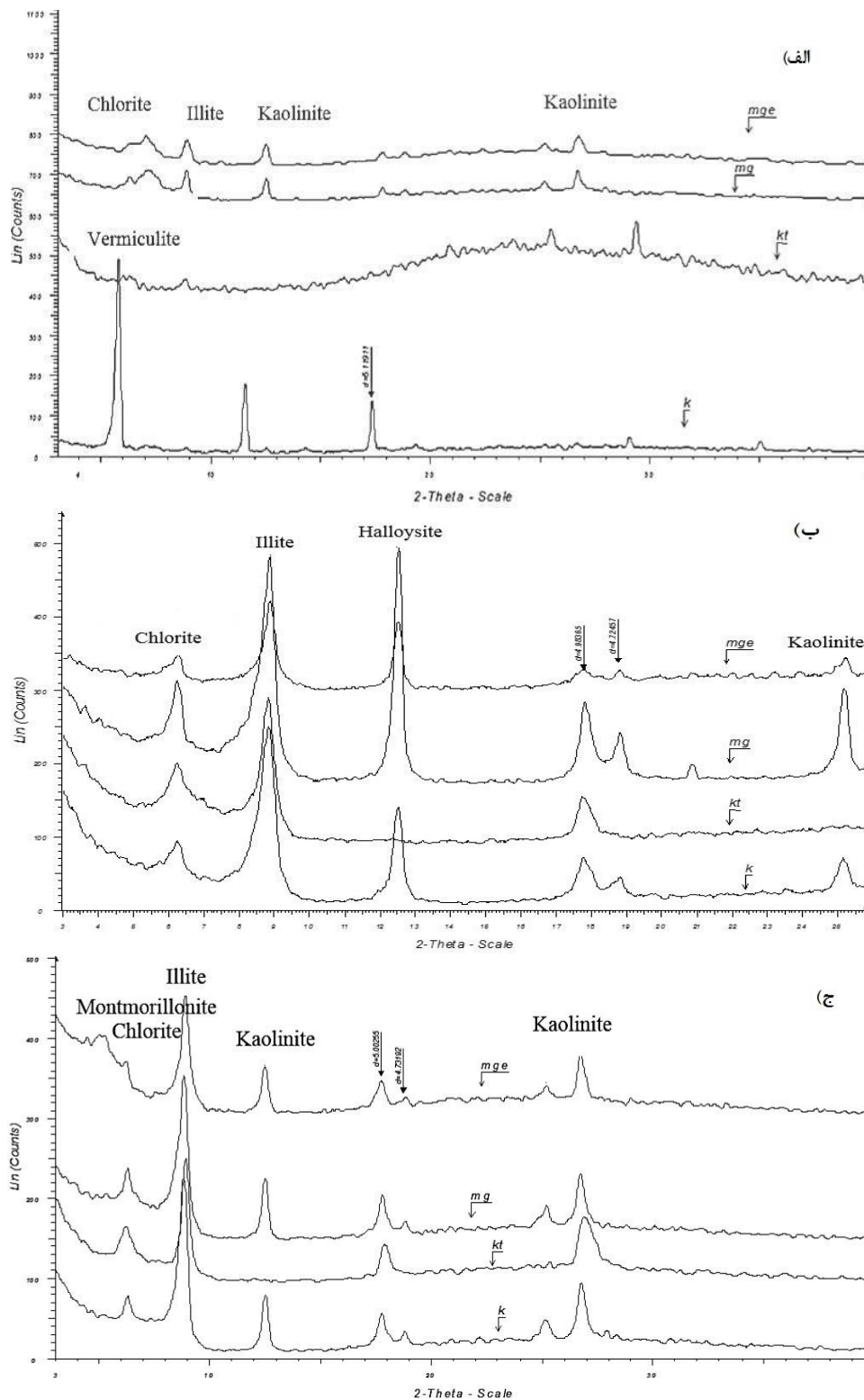
آبشویی کربنات‌ها و گچ و تجمع ماده آلی در سطح خاک، یا سایر تغییرات شدید در توده خاک می‌تواند میزان پذیرفتاری مغناطیسی در یک افق را نسبت به افق‌های دیگر تغییر دهد که این موضوع مربوط به افزایش یا کاهش غلظت ترکیبات مغناطیسی در خاک می‌باشد. در بین مواد دیامغناطیس، گچ و کربنات‌ها به‌دلیل تحرکی که در خاک دارند در جریان فرایندهای خاکساز، باعث رقیق شدن تأثیر مواد مغناطیسی می‌شوند و تأثیر فرایندهایی که سبب تغییر پذیرفتاری مغناطیسی می‌شوند را کم‌رنگ می‌کند (۵۹). تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در افق‌های سطحی و زیرسطحی می‌تواند مربوط به جابه‌جایی گچ و کربنات‌ها و تشکیل افق‌های ژپسیک و کلسیک باشد. کاهش χ_{LF} در خاک‌رخ ۵ و افق‌های میانی خاک‌رخ ۱ احتمالاً در ارتباط با افزایش مقدار کربنات کلسیم باشد (شکل ۲ قسمت‌های g و h). در برخی نمونه‌های خاک، توالی مشاهده شده از پوشش رس و کربنات‌ها می‌تواند به‌دلیل وجود تناوب دوره‌های ترسالی و خشکسالی باشد؛ به‌طوری‌که در دوره‌های ترسالی، شسته شدن و تجمع رس و به دنبال بروز دوره خشکسالی، تشکیل پوشش کربنات‌های رخ می‌دهد (شکل ۲ قسمت‌های c، d، f، g و i). تشکیل افق‌های مرکب کلسیک-آرجیلیک نشانه‌ای از چندتشکیلی بودن خاک است که در نتیجه تغییر اقلیم از مرطوب به خشک حاصل می‌شود (۶۰). در خاک‌رخ ۴ افزایش χ_{LF} با افزایش عمق مشاهده شد که می‌تواند ناشی از افزایش گچ با کاهش عمق باشد (شکل ۲ قسمت i). به‌طور کلی بالا بودن پذیرفتاری مغناطیسی افق‌های آب‌شسته (سطحی) نسبت به افق‌های تجمعی (زیرسطحی) می‌تواند سبب افزایش χ_{LF} در افق‌های سطحی گردد (۶۱). مارویک (۲۰۰۵) نیز در مطالعه



شکل ۴- تغییرات آهن (g kg^{-1}) در ارتباط با تغییرات χ_{LF} ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه.
Figure 4. Fe content (g kg^{-1}) related to χ_{LF} ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) variations in studied pedons.

اولیه تکامل خاک می‌باشد (شکل ۵). بیات و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی کانی‌شناسی خاک‌های سطحی شرق اصفهان منشأ توارثی را برای کائولینیت و ایلیت در نظر گرفتند. رس‌های گروه اسمکتیت در افق‌های سطحی با شدت کم‌تر مشاهده شدند که به احتمال زیاد، حاصل تشکیل درجای این کانی‌ها در خاک می‌باشند (۷۱). نائل و همکاران (۲۰۱۴) طی مطالعه منشأ کربنات‌ها در جنگل‌های البرز غربی، منشأ اسمکتیت و ایلیت را توارثی و منشأ کائولینیت را پدوژنیک می‌دانند (۷۲). کانی ورمیکولیت فقط در خاک‌رخ ۲ مشاهده شد که می‌تواند به دلیل مهیا بودن شرایط هوادیدگی و تکامل در محیط خاک‌رخ ۲ و تبدیل بخشی از کلریت یا ایلیت به ورمیکولیت باشد. خاک‌رخ ۲ با وجود افق‌های مدفون قدیمی فرضیه احتمال بروز دوره‌های مرطوب گذشته را تقویت می‌کند؛ به طوری که رطوبت سبب خروج پتاسیم از فضای بین لایه‌ای کانی‌های ایلیت و کلریت و تبدیل آن به ورمیکولیت می‌گردد (۷۰).

شناخت منشأ و فراوانی کانی‌های رسی در مطالعات تکامل و تحول خاک، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد؛ به طوری که افزایش میزان رس و مشاهده کانی‌های هوادیده‌تر با میزان تکامل خاک، رابطه مستقیم دارد. مطالعات کانی‌شناسی حضور کانی‌های مونت‌موریلونیت، ورمیکولیت، ایلیت، کلریت، کوارتز و کائولینیت را نشان داد. نمونه‌های XRD از افق‌های سطحی و عمقی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که کانی کائولینیت در افق‌های سطحی و به میزان کم وجود دارد. شرایط اسیدی، فعالیت متوسط Si و اندک بودن کاتیون‌های قلبایی برای نوتشکلی کائولینیت لازم می‌باشد (۶۹)، بنابراین با شرایط خاک‌های مورد مطالعه دلیل حضور این کانی منشأ توارثی این خاک‌ها می‌باشد. حضور ایلیت و کلریت در همه خاک‌رخ‌های مطالعاتی یکسان است. این کانی‌ها در مناطقی که تشکیل خاک محدود است مشاهده می‌شوند، بنابراین حضور آن‌ها عمدتاً در نتیجه حضورشان در مواد مادری است (۷۰). غالبیت کانی ایلیت در تمام خاک‌رخ‌های مورد مطالعه، حاکی از جوانی و مراحل



شکل ۵- پراش‌نگارهای کانی‌شناسی رس در افق 2C خاکرخ ۲ (الف)، افق Btnz1 خاکرخ ۳ (ب) و افق Bkynz خاکرخ ۷ (ج).
 ک: اشباع با پتاسیم، kt: اشباع با پتاسیم و تیمار حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس. mg: تیمار اشباع با منیزیم، mge: اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن گلیکول.

Figure 5. X ray diffractograms of 2C horizon from pedon 2, Btnz1 horizon from pedon 3, Bkynz horizon from pedon 7.

k: k-saturated treatment, kt: k-saturated and heated up to 550 °C, mg: Mg-saturated treatment, mge: Mg-saturated treated by ethylene glycol.

نتیجه‌گیری کلی

پذیرفتاری مغناطیسی مینروژیک نیز پرداخته شود. در مطالعات میکرومورفولوژی خاکرخ‌های مورد مطالعه کانی‌های اکسید آهن، ذرات عدسی شکل ستونی و صفحات درهم قفل شده گچ، کربنات‌های در حال تجزیه و پوشش‌های رسی مشاهده شد. شرایط خشک حاکم بر منطقه مورد مطالعه و توالی‌های متفاوت مشاهده شده از پوشش‌های رس و کربنات‌کلسیم در مقاطع نازک می‌تواند شاهدی بر تناوب دوره‌های ترسالی و خشکسالی در طول زمان باشد. مشاهده درصد بالای ذرات در اندازه رس، تأکید بر شدت فرایندهای خاکساز در گذشته دارد. کائولینیت، ایلیت و کلریت کانی‌های غالب در خاکرخ‌های مطالعاتی می‌باشند. کانی‌های موجود در بخش رس خاک اغلب منشأ توارثی و به‌ندرت منشأ خاکساز دارند. به‌طور کلی، نتایج بیانگر جوانی و مراحل ابتدایی تکامل در خاکرخ‌های مورد مطالعه (به استثنای خاکرخ ۲) می‌باشند.

مطالعه حاضر با هدف بررسی تکامل و تحول خاک‌های شمال کرمان با توجه به تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی، پذیرفتاری مغناطیسی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رس انجام شده است. نتایج نشان داد که مقادیر χ_{LF} در افق‌های مختلف تحت تأثیر وجود افق آرچلیک، و مقادیر گچ، نمک و کربنات کلسیم کاهش محسوسی نشان داده و با تغییر مقادیر آهن (Feo و Fed) رابطه مستقیم دارد؛ به‌طوری‌که بالاترین ($1264 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) و پایین‌ترین ($4/3 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) مقادیر χ_{LF} در خاکرخ‌های ۶ و ۵ مشاهده شد که به‌ترتیب متأثر از مواد مادری آذرین و رسوبی می‌باشند. توزیع عمودی مقادیر χ_{LF} بیانگر اهمیت نقش فرایندهای خاکساز بر افق‌های سطحی و مواد مادری بر افق‌های پایینی می‌باشد. با توجه به تأثیر بالای نوع و مقادیر مواد دیامغناطیس (گچ و کربنات‌ها) بر مقادیر χ_{LF} خاک به‌ویژه در مناطق خشک، پیشنهاد می‌شود به اندازه‌گیری

منابع

1. Khormali, F., Ghergherechi, S., Kehl, M., & Ayoubi, S. (2012). Soil formation in loess-derived soils along a subhumid to humid climate gradient, Northeastern Iran. *Geoderma*, 179, 113-122.
2. Khormali, F., & Ajami, M. (2011). Pedogenetic investigation of soil degradation on a deforested loess hillslope of Golestan Province, Northern Iran. *Geoderma*, 167, 274-283.
3. Pishgir, M., & Jafari, S. (2014). Comparison between potassium an ammonium fixation by clays in different agriculture systems. *Journal of water and soil science, Isfahan university of Technology*, fall, year, 18, (69). [In Persian]
4. Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, S., & Stoops, G. (2003). Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena*, 53, 273-301.
5. Jafari, F., & Khademi, H. (2016). Variability of magnetic susceptibility and its correlation with selected heavy metals in atmospheric dust of Kerman. *journal of water and soil conservation*, 23 (1). [In Persian]
6. Ghafarpour, A. (2012). Comparison of the degree of evolution and characteristics of modern soils with old clay soils under different climatic conditions in Golestan Province. M.Sc. Thesis, Gorhan Agriculture Science and Natural Resources University. [In Persian]
7. Aliolad, J., Mahmoodi, S. h., Zarinkafsh, M., & Abtahi, A. (2005). Investigation and study of some forest soil mineralogical properties Kheyroud Kenar Nowshahr (Mazandaran province). Proceedings of the 9th Iranian Soil Science Congress. Tehran, Iran. pp. 136-142. [In Persian]

8. Stoops, G. (2003). Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. *Soil Science Society of America*. Inc. Madison, Wisconsin. 184p.
9. Farpoor, M. H., Eghbal, M. K., & Khademi, H. (2003). Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols of Nough area, Rafsanjan related to geomorphic surfaces. *journal of science and technology of agriculture and natural resources. Water and Soil Science*, 63, 71-92. [In Persian]
10. Mullins, C. E. (1977). Magnetic Susceptibility of the soil and its significant in soil science a review. *Journal of Soil Science*, 28, 223-246.
11. De Jong, E., Heck, R. J., & Ponamarenko, E. V. (2005). Magnetic susceptibility of soil separates of gleysolic and chernozemic soils. *Canadian journal of soil science*, 85, 233-243.
12. Thompson, R., & Oldfield, F. (1986). Environmental magnetism. Allen and Unwin, London, UK. 227 p.
13. Vilela, E. F., Inda, A. V., & Zinn, Y. L. (2019). Soil genesis, mineralogy and chemical composition in a steatite outcrop under tropical humid climate in Brazil. *Catena*, 183, 104234. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104234>.
14. Grimley, D. A., Arruda, N. K., & Bramstedt, M. W. (2004). Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the midwestern USA. *Catena*, 58, 183-213. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2004.03.001>.
15. Ramos, P. V., Inda, A. V., Barrón, V., Teixeira, D. D. B., & Marques Júnior, J. (2020). Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in southern Brazil. *Soil Science Society of America Journal*. <https://doi.org/10.1002/saj2.20164>.
16. Chaparro, M. A., del Pilar Moralejo, M., Böhm, H. N., & Acebal, S. G. (2020). Iron oxide mineralogy in Mollisols, Aridisols and Entisols from southwestern Pampean region (Argentina) by environmental magnetism approach. *Catena*, 190, 104534. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104534>.
17. Singer, M. J., Verousb, K. L., Fine, P., & Tenpas, J. (1996). A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soils. *Quaternary International*, 34, 243-248.
18. Bonfatti, B. R., Demattê, J. A. M., Marques, K. P. P., Poppiel, R. R., Rizzo, R., de Mendes, S. W., Silvero, N. E. Q., & Safanelli, J. L. (2020). Digital mapping of soil parent material in a heterogeneous tropical area. *Geomorphology*, 107305. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107305>.
19. César de Mello, D., Demattê José, A. M., Silvero Nélide, E. Q., Di Raimo Luis, A. D. L., Poppiel Raul, R., Mello Felipe, A. O., Souza Arnaldo, B., Safanelli José, L., Resende Maria, E. B., & Rizzo, R. (2020). Soil magnetic susceptibility and its relationship with naturally occurring processes and soil attributes in pedosphere, in a tropical environment. *Geoderma*, 372.
20. Karimi, R., Haghnia, Gh. H., Ayoubi, Sh., & Safari, T. (2017). Impacts of geology and land use on magnetic susceptibility and selected heavy metals in surface soils of Mashhad plain, northeastern Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 138, 127-134.
21. Moghbeli, Z., Owliaie, H. R., Adhami, E., Najafi-Ghiri, M., & Sanjari, S. (2021). Pedogenesis and spatial distribution of soil magnetic properties along a lithotoposequence in an arid region of Southern Iran. *Catena*, 198.
22. Shengao, L. (2000). Lithological factors affecting magnetic susceptibility of subtropical soils, Zhejiang Province, China. *Catena*, 40, 359-373. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00092-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00092-8).
23. Caitcheon, G. G. (1993). Applying environmental magnetism to sediment. In: Peters, N., Hoehn, E., Leibundgut, C., Tase, N., & Walling, D. (1993). editors. Tracers in hydrology. Proceedings of an International Symposium Held at Yokohama, Japan;

- Jul 21–23; Wallingford: International Association of Hydrological Science, IAHS publication no, 215, 285-292.
24. Kravchenko, A. N., Bollero, G. A., Omonode, R. A., & Bullock, D. G. (2002). Quantitative mapping of soil drainage classes using topographical and soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 235-243.
 25. Mathe, V., & Leveque, F. (2003). High resolution magnetic survey for soil monitoring: detection of drainage and soil tillage effects. *Earth and Planetary Science Letters*, 212, 241-251.
 26. Owliaie, H. R., Heck, R. J., & Abtahi, A. (2006). Distribution of magnetic susceptibility in Kohgilouye Boyerahmad soils, southwestern Iran. Proceeding of 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia, Pennsylvania. USA.
 27. Barbosa, J. Z., Poggere, G. C., Teixeira, W. W. R., Motta, A. C. V., Prior, S. A., & Curi, N. (2020). Assessing soil contamination in automobile scrap yards by portable X-ray fluorescence spectrometry and magnetic susceptibility. *Environmental Monitoring and Assessment*. 192, 46. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8025-8>.
 28. Blundell, A., Dearing, J. A., Boyle, J. F., & Hannam, J. A. (2009). Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales. *Earth-Science Reviews Journal*, 95, 158-188.
 29. Karimi, R., Ayoubi, S., Jalalain, A., Sheikh-Hosseni, 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.
 30. Liu, D., Ma, J., Sun, Y., & Li, Y. (2016). Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng City, China. *Catena*, 139, 53-60.
 31. Oudeika, M. S., Figen Altinoglu, F., Akbay, F., & Aydin, A. (2020). The use of magnetic susceptibility and chemical analysis data for characterizing heavy metal contamination of topsoil in Denizli city, Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 183. DOI: [10.1016/j.jappgeo.2020.104208](https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104208).
 32. Rachwał, M., Kardel, K., Magiera, T., & Bens, O. (2017). Application of magnetic susceptibility in assessment of heavy metal contamination of Saxonian soil (Germany) caused by industrial dust deposition. *Geoderma*, 295, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.007>.
 33. Yurtseven-Sandker, A., & Cioppa, M. T. (2016). Tracking the Historical Traces of Soil Pollution from an Iron-Sintering Plant by Using Magnetic Susceptibility in Wawa, Ontario.
 34. Ayoubi, S., Abazari, P., & Zeraatpisheh, M. (2018). Soil great groups discrimination using magnetic susceptibility technique in a semi-arid region, central Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3941-4>.
 35. Barbosa, J. Z., Poggere, G. C., Godinho Silva, S. H., Mancini, M., Motta, A. C. V., Marques, J. J. G. M., & Curi, N. (2021). National-scale spatial variations of soil magnetic susceptibility in Brazil. *Journal of south American earth science*, 108, 103191.
 36. Stoops, G., Marcelino, V., & Mees, F. (2010). Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regolith's, first ed. Elsevier Science, 752 p.
 37. Karimi, A., & Khademi, H. (2012). Effects of Parent Materials, Gypsum and Carbonates on the Magnetic Susceptibility of Soils in Southern Mashhad. *Journal of Water and Soil Science*, Vol 16, Issue 61. [In Persian]
 38. www.climate-data.org.
 39. Iran Geology Organization. (1995). Kerman, Ravar and Rafsanjan Map 1:250000 and Shahr-e-Babak Map 1:100000. Tehran Map Publication, Tehran, Iran. [In Persian]
 40. Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Soil Survey Staff. (2012). Field Book for 20 Describing and Sampling Soils, Version 3. Natural Resources Conservation Service, National 21 Soil Survey Center, Lincoln, NE.

41. Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America*, Madison, WI, 383-411, <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c1>.
42. Page, A., Miller, R., & Keeney, D. (1982). *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and microbiological properties* 2nd edition Madison, Wisconsin, USA
43. Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A. L., Page, R. H., Miller & Keeney, D. R. (Eds). *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, 539-577, <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>.
44. Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. In: A. L., Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney, (Eds), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, 181-196. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c11>.
45. Mehra, O., & Jackson, P. (1958). Iron oxide removal from soils and clays in a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium. *Clay Mineralogy*, 7, 317-327.
46. Schwertmann, U. (1973). Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Canadian Journal Soil Science*, 53, 244-246.
47. Jackson, M. L. (1975). *Soil Chemical Analysis-advanced Course*. Univ. of Wisconsin College of Agricultural, Department of Soils Science, Madison, WI.
48. Kittrik, J. A., & Hope, E. W. (1963). A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 96, 312-325.
49. Sanjari, S., Barkhori, S., & Boroumand, N. (2014). Study Micromorphology Properties of Soils on Different Geomorphic Surfaces in South Roudbar Playa (Part of the Jazmoryan). *Journal of water and soil*, 28 (2), 373-382. [In Persian]
50. Sanjari, S., Farpoor, M. H., Karimian Eghbal, M., & Efandiarpoor Boroujeni, I. (2011). Genesis, Micromorphology and Clay Mineralogy of Soils Located on Different Geomorphic Surfaces in Jiroft Area. *Journal of water and soil*, 25 (2), 411-425. [In Persian]
51. Soil Survey Staff. (2014) & (2022). *Keys to Soil Taxonomy*. Twelfth Edition. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
52. IUSS Working Group. (2015). *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy.
53. Sanjari, S., Farpoor, M. H., Mahmoodabadi, M., & Barkhori, S. (2020). Comparison of Soil Taxonomy (2014) and WRB (2015) in Classification of Soils in Iranshahr and Dalghan Regions, Sistan and Baloochestan Provinc. *Journal of Water and Soil*, 34 (5), 1081-1091. [In Persian]
54. Sanjari, S., Farpoor, M. H., Mahmoodabadi, M., & Barkhori, S. (2021). Soil Taxonomy and WRB comparison to classify soils with different climatic conditions in Kerman province. *Agricultural Engineering. Scientific Journal of Agriculture*, 43 (4). DOI:10.22055/AGEN.2021.34266.1575. [In Persian]
55. Rasooli, N., Farpoor, M. H., Mahmoodabadi, M., & Esfandiarpoor Boroujeni, I. (2021). Capability of Soil Taxonomy (2014) compared to updated WRB (2015) in describing Lut Desert soils. *Desert*, 26, 219-235. DOI:10.22059/jdesert.2021.318248.1006804.
56. Hu, X., Xu, L., & Shen, M. (2009). Influence of the aging of Fe oxides on the decline of magnetic susceptibility of the Tertiary red clay in the Chinese Loess Plateau. *Quaternary International*, 209, 22-30.
57. Ortize, I., Simon, M., Dorronsoro, C., Martin, F., & Garcia, I. (2002). Soil evolution over the Quaternary period in a Mediterranean climate (SE Spain). *Catena*, 48, 131-148.

58. De Jong, E., Nestor, P. A., & Pennock, D. J. (1997). The use of magnetic susceptibility to measure 5 long-term soil redistribution. *Catena*, 32, 23-35.
59. Dearing, J. A., Lees, J. A., & White, C. (1995). Mineral magnetic properties of acid gleyed soils under Oak and Corsican Pine. *Geoderma*, 68, 309-319.
60. Montakhabi Kalajahi, V., Jafarzadeh, A. A., & Rezaei, H. (2016). Comparison of different soils evolution based on Argillic horizon development. *Journal of Water and Soil Science*, 27 (1), 253-265. [In Persian]
61. Fine, P., Singer, M. J., & Verosub, K. L. (1992). Use of magnetic susceptibility measurements in 27 assessing soil uniformity in Chrono sequences studies. *Soil science society America journal*, 56, 1195-1199. <https://doi.org/sssaj.1992.03615995005600040032x>
62. Marwick, B. (2005). Element concentration and magnetic susceptibility of Anthrosols: indicator of prehistoric human occupation in the inland Pilbara, Western Australia. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1357-1368.
63. Nortcliff, S. (2002). Standardization of soil quality attributes. *Agric. Ecosyst. International Journal of Environmental Research*, 88, 161-168.
64. Cerdan, O., Govers, G., le Bissonnais, Y., & Van Oost, K. (2010). Rates and spatial variation of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geology*, 122, 167-177.
65. Kampf, N., Scheinost, A. C., & Schuze, D. G. (1999). Oxide minerals. In: S. Malcom (ed), *Handbook of soil science*, CRC Press, Washington, DC.
66. De Jong, E., Kozak, L. M., & Rostad, H. P. W. (2000a). Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewan soils. *Canadian Journal Soil Science*, 80, 135-142.
67. De Jong, E., Pennock, D. J., & Nestor, P. A. (2000b). Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. *Catena*, 40, 291-305.
68. Dankoub, Z., Ayoubi, S., Khademi, H., & Sheng-Gao, L. U. (2012). Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use. *Pedosphere*, 22, 33-47.
69. Khormali, F., & Abtahi, A. (2003). Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars province, south Iran. *Clay Mineralogy*, 38, 511-527.
70. Jafari, S., Bandehelahi, F., & Khalil Moghadam, B. (2016). The study of clay and soil development that effected by drainage and land use on the Karoon River. *Iranian journal of soil and water research*, 47 (1), 1-12. [In Persian]
71. Bayat, O., Karimzadeh, H., & Karimi, A. R. (2017). Paleoenvironment of geomorphic surfaces of an alluvial fan in the eastern Isfahan, Iran, in the light of micromorphology and clay mineralogy. *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (9). DOI 10.1007/s12517-017-2848-9.
72. Nael, M., Khademi, H., Jalalian, A., & Sotohian, F. (2014). Soil-parent material relationship in forest ecosystems of western Alborz: Clay mineralogy. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21 (3), 101-122. [In Persian]