تأثیر مواد مادری، گچ و کربنات‌ها بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های جنوب مشهد

علیرضا کریمی[۱*] و حسین خادمی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۱۱)

چکیده

پذیرفتاری مغناطیسی، یک شیوه ساده و سریع برای تعیین ویژگی‌های خاک و رسوبات و تشریح فرآیندهای خاک‌سازی است. تفسیر داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی خاک، نیازمند آگاهی از عوامل مؤثر بر آن است. به منظور شناخت تأثیر مواد مادری و مواد دیامغناطیس گچ و کربنات‌ها، ۴۲ نمونه از افق‌های خاک‌های تشکیل‌شده روی مواد مادری لسی، آبرفتی، گرانیتی و مارنی جنوب مشهد برداشت شد. گچ نمونه‌ها توسط شست‌وشوی متوالی با آب مقطر و کربنات‌ها توسط اسید کلریدریک رقیق حذف شدند. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های اصلی (χ^{lf}_{bulk})، نمونه‌های عاری از گچ (χ^{lf}_{Gf})، نمونه‌های عاری از گچ و کربنات‌ها (χ^{lf}_{GCf}) و نمونه‌های عاری ازگچ، کربنات‌ها و شن (χ^{lf}_{GCSf}) اندازه‌گیری شد. نتایج، نشان‌دهندهٔ یک همبستگی قوی ۱:۱ بین مقدار اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده χ^{lf}_{Gf} و χ^{lf}_{GCf} بود. χ^{lf}_{bulk} خاک مارنی با وجود مقدار زیاد کربنات‌ها و گچ، آشکارا از خاک‌های دیگر بیشتر بود و تا $۱۲۲/۷\times۱۰^{-۸}$ $m^3\ kg^{-1}$ می‌رسید. در مقابل، χ^{lf}_{bulk} ساپرولیت گرانیتی کمتر از $۱۰/۴\times۱۰^{-۸}$ $m^3\ kg^{-1}$ بود. χ^{lf}_{bulk} خاک‌های لسی و آبرفتی حالت حدواسط داشت. χ^{lf}_{bulk} همه نمونه‌ها (به جز خاک مارنی) با مقدار شن همبستگی منفی داشتند که افزایش پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف شن، مؤید این مطلب بود؛ ولی کاهش پذیرفتاری مغناطیسی خاک مارنی پس از حذف شن، نشان‌دهندهٔ طبیعت متفاوت در مقایسه با دیگر خاک‌ها بود. مقدار سیلت و رس با χ^{lf}_{bulk} همبستگی مثبت داشت؛ ولی مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی به تغییرات رس حساس‌تر بودند که نشان‌دهندهٔ اهمیت بیشتر رس در تأمین پذیرفتاری مغناطیسی است. به‌طورکلی، نتایج پژوهش حاضر بیانگر اهمیت مواد مادری و مواد دیامغناطیس متحرک گچ و کربنات‌ها بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌باشند و لازم است که نقش آنها در تفسیر نتایج پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: پذیرفتاری مغناطیسی، گچ، کربنات‌ها، مارن، گرانیت، لس

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: karimi-a@um.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

مقدمه

در چند دهۀ گذشته، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی (Magnetic susceptibility) به‌دلیل این‌که روشی سریع و ارزان است به‌صورت گسترده در مطالعات خاک، مانند توصیف فرآیندهای خاک‌سازی و تکامل خاکرخ (۹، ۱۲، ۲۰، ۲۱ و ۲۳)، تفسیر اقلیم گذشته (۱۹ و ۲۲) و آلودگی خاک (۷ و ۱۴) استفاده شده است. پذیرفتاری مغناطیسی، شاخصی است که نشان‌دهندۀ میزان مغناطیسی شدن مواد در یک میدان مغناطیسی است. اگر میزان مغناطیسی شدن براساس حجم بیان شود، پذیرفتاری مغناطیسی عبارت است از (۲۳):

$$k = M / H \qquad [۱]$$

که M میزان مغناطیسی شدن حجمی جسم، H شدت میدان مغناطیسی و κ میزان پذیرفتاری مغناطیسی حجمی است. κ بدون واحد است. در مطالعات خاک، به‌طور معمول از پذیرفتاری مغناطیسی ویژه یا جرمی استفاده می‌شود که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$c = k / r \qquad [۲]$$

که χ پذیرفتاری مغناطیسی جرمی و ρ جرم حجمی است. واحد χ، عکس واحد جرم حجمی می‌باشد و در سامانۀ متریک، m^3kg^{-1} است. عامل اصلی وجود پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها، ترکیبات آهن است زیرا میزان آهن در پوسته زمین، ۴۰ برابر مجموع عناصر مغناطیسی دیگر است (۸). در جدول ۱ تقسیم‌بندی مواد براساس شدت مغناطیس‌پذیری نشان داده شده‌اند. در بیشتر خاک‌ها، مگنتیت و مگهمیت عوامل اصلی ایجاد پذیرفتاری مغناطیسی هستند (۲۳).

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی اگرچه ساده می‌باشد ولی تفسیر نتایج آن مهم‌تر بوده و به‌طور معمول پیچیده است. بنابراین لازم است قبل از هر گونه تفسیری، عوامل مؤثر در ایجاد و تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی شناخته شوند (۲۴). عواملی مانند مقدار و نوع مواد دیامغناطیس، نوع مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مؤثر هستند که نقش هر یک از این عوامل باید در تفسیر نتایج در نظر گرفته شود (۱۱، ۱۳ و ۲۷). در بین مواد دیامغناطیس، گچ و کربنات‌ها به دلیل تحرکی که در خاک دارند در جریان فرآیندهای خاک‌سازی، باعث رقیق شدن تأثیر مواد مغناطیسی می‌شوند و تاثیر فرآیندهایی که سبب تغییر پذیرفتاری مغناطیسی می‌شوند را کم‌رنگ می‌کنند. مواد آلی که از بیرون سامانۀ خاک، به‌ویژه به سطح خاک اضافه می‌شوند و هم‌چنین رطوبت موجود در خاک نیز تاثیر مشابهی دارند. به همین دلیل برای حذف اثر این مواد و مقایسۀ واقعی تغییرات صورت‌گرفته، پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک (Minerogenic) براساس معادلۀ ۳ محاسبه می‌شود (۱۰).

$$\chi \min ero = \chi bulk \times \frac{100}{(100 - \%water - \%Organic\ matter - \%Carbonates)} \qquad [۳]$$

که χ_{bulk} پذیرفتاری مغناطیسی نمونۀ خاک هواخشک و χ_{minero} پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک است.

در ایران مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی خاک، بسیار کم و به چند مطالعۀ انگشت‌شمار محدود می‌گردند (۱، ۲ و ۳) و اطلاعات دربارۀ تاثیر نوع مواد مادری و نوع مواد دیامغناطیس بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک بسیار کم است. این درحالی است که اکثر خاک‌های ایران به‌ویژه خاک‌های قدیمی در مرکز و شرق ایران، مقدار زیادی کربنات‌ها و گچ دارند و وجود این مواد حتی در افق‌های قدیمی آرجیلیک این مناطق معمول است. از طرف دیگر، برای محاسبۀ پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک (معادلۀ ۳)، به گچ توجه نشده است. با توجه به این‌که معادلۀ ۳ برای استفاده در خاک‌های مناطق مرطوب توسعه پیدا کرده است عدم توجه به گچ قابل درک می‌باشد. حال، این پرسش مطرح می‌شود که آیا افزایش گچ مانند مواد دیامغناطیس دیگر به‌صورت خطی باعث رقیق شدن تأثیر مواد مغناطیسی و کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می‌شود؟ از سوی دیگر، اگرچه گچ و کربنات‌ها دیامغناطیس هستند، آیا مقدار زیاد آنها در خاک‌های مناطق خشک که در برخی از موارد به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد، تأثیری بر شدت یا ضعف بروز ویژگی‌های مواد مغناطیسی دارد و می‌توان برای محاسبۀ پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک، اثر آنها را حذف کرد؟ در جنوب مشهد، در منطقه‌ای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

جدول ۱. تقسیم‌بندی مواد براساس رفتار مغناطیسی (۱۶)

ویژگی مغناطیسی	مثال (پذیرفتاری مغناطیسی برحسب $10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$)
فرومغناطیس	آهن (۵۰۰۰۰)
فری‌مغناطیس	مگنتیت (۲۰۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰۰)، مگهمیت (۴۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰)
آنتی‌فرومغناطیس	هماتیت (۱۰ تا ۷۶۰)، گئوتیت (۲۶ تا ۲۸۰)
پارامغناطیس	لپیدوکروسیت (۴۰ تا ۷۰)، بیوتیت (۵۲ تا ۹۸)
دیامغناطیس	گچ (۰/۵- تا ۱/۳)، کربنات کلسیم (۰/۳- تا ۱/۴)، کوارتز (۰/۵- تا ۰/۶)

با وسعت کم، خاک‌ها بر روی مواد مادری گوناگون شامل سنگ‌های گرانیتی، رسوبات مارنی، رسوبات آبرفتی و رسوبات لسی تشکیل شده‌اند. خاک‌های تشکیل‌شده دارای افق‌های گوناگون شامل کمبیک، کلسیک، ژیپسیک و آرجیلیک هستند. خاک‌های تشکیل‌شده از نظر بافت و مقدار گچ و کربنات‌ها، تنوع مناسبی دارند و برای مطالعهٔ پذیرفتاری مغناطیسی مناسب هستند. بنابراین، اهداف این مطالعه را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات مختلف و بررسی چگونگی تأثیر کربنات‌ها و گچ بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی ۲. بررسی تأثیر مواد مادری بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی

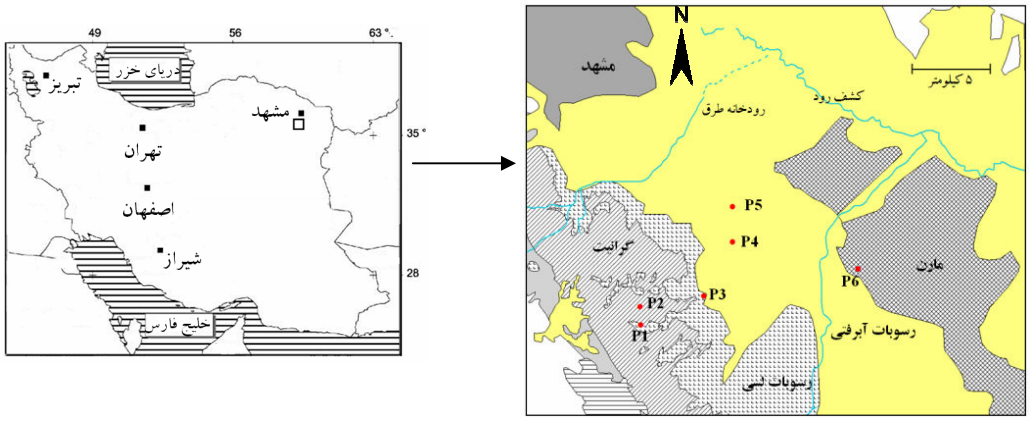
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه در جنوب مشهد به مرکزیت طول جغرافیایی ″۴۲ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۰ °۳۶ شمالی قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه از غرب به شرق، تپه‌ماهورهای گرانیتی، دامنه تپه‌ماهورهای گرانیتی، دشت دامنه‌ای و تپه‌ماهورهای مارنی قرار دارند. رسوبات لسی با ضخامت کم و پراکنده، بخش‌های مسطح تپه‌ماهورهای گرانیتی و رسوبات لسی با ضخامت بیش از ۱۰ متر، دامنهٔ این تپه‌ها را پوشانده‌اند. دشت دامنه‌ای از رسوبات آبرفتی ارتفاعات دگرگونی و رسوبات لسی منتقل‌شده از تپه‌ماهورهای گرانیتی پوشیده شده است. تپه‌ماهورهای مارنی از مارن‌های قرمز سرشار از گچ تشکیل شده‌اند. خاک‌های این منطقه از نظر توزیع اندازهٔ ذرات، مقدار گچ و کربنات‌ها از تنوع مناسبی برخوردار هستند (۱۸). دو خاکرخ بر روی تپه‌ماهورهای گرانیتی شامل خاک متشکل از رسوبات لسی بر روی ساپرولیت گرانیتی و خاک گرانیتی تشکیل‌شده به‌صورت درجا، دو خاکرخ در دشت دامنه‌ای و یک خاکرخ بر روی تپه‌ماهورهای مارنی به همراه یک مقطع عمیق لسی در دامنهٔ تپه‌ماهورهای گرانیتی، مطالعه شدند و از افق‌های مختلف آن‌ها تعداد ۴۲ نمونه برداشت گردید. توزیع اندازهٔ ذرات توسط روش پیپت، مقدار کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی و گچ به روش حرارتی تعیین شد (۲۸). برای سهولت، در ادمه، واژهٔ کربنات‌ها به‌جای کربنات کلسیم معادل استفاده خواهد شد.

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها در چند مرحله شامل نمونه‌های اصلی (χ^{lf}_{bulk})، نمونه‌های عاری از گچ (χ^{lf}_{Gf})، نمونه‌های عاری از گچ و کربنات‌ها (χ^{lf}_{GCf}) و نمونه‌های عاری ازگچ، کربنات‌ها و شن (χ^{lf}_{GCSf}) توسط دستگاه MS2 Bartington در فرکانس پایین (0.47 kHz) اندازه‌گیری شد. گچ، توسط شست‌وشوی متوالی با آب مقطر از نمونه‌ها حذف شد. ته‌نشین نشدن رس در سوسپانسیون به‌علت خروج الکترولیت‌ها نشانه‌ای ازحذف گچ می‌باشد. برای اطمینان از خروج گچ از تست کلرید باریم استفاده شد (۲۵). کربنات‌های نمونه‌ها که قبلاً گچ آنها حذف شده بود، با توجه به مقدار کربنات‌ها، با استفاده از مقدار مناسب اسیدکلریدریک رقیق حذف شد. برای اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی، در هر مرحله نمونه‌ها هواخشک شدند. لازم به توضیح است که به‌دلیل این‌که بخش زیادی از آب تبلور گچ در درجه حرارت ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس خارج می‌شود؛ برای آنالیز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مطالعاتی به‌همراه محل حفر خاکرخ‌ها و انواع مواد مادری

(P1: خاکرخ لسی بر روی ساپرولیت گرانیتی، P2: خاکرخ گرانیتی، P3: مقطع لسی، P4 و P5: خاکرخ‌های آبرفتی و P6: خاک مارنی)

نمونه‌های دارای گچ، نباید از درجه حرارت‌های بیشتر از ۴۰ درجهٔ سلسیوس استفاده شود (۲۵).

علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم پذیرفتاری مغناطیسی توسط دستگاه، معادلات ۴ و ۵ برای محاسبهٔ تئوریک پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های عاری از گچ (χ^{lf}_{Gf}) و عاری از گچ و کربنات‌ها (χ^{lf}_{GCf})، پیشنهاد شدند. پس از حذف گچ، درصد نسبی کربنات‌ها در خاک افزایش پیدا می‌کند که این افزایش در مقدار نسبی کربنات‌ها در معادلهٔ ۴ مد نظر قرار گرفته است. مقایسهٔ مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده، دقت معادلات در برآورد پذیرفتاری مغناطیسی را نشان خواهد داد. در این معادلات، فرض شده است که درصد مواد آلی و رطوبت خاک هواخشک در برابر درصد گچ و کربنات‌ها قابل صرف نظر کردن است.

$$\chi lfGF = \chi lfbulk_k \times \frac{100}{(100 - \%Gypsum) + (\frac{\%Carbonates}{100 - \%Gypsum} - \%Gypsum)} \quad [۴]$$

$$\chi lfGCF = \chi lfbulk_k \times \frac{100}{(100 - \%Carbonates - \%Gypsum)} \quad [۵]$$

نتایج و بحث

تأثیر گچ و کربنات‌ها بر پذیرفتاری مغناطیسی

نتایج اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی به همراه نتایج درصد شن، سیلت، رس، گچ و کربنات‌ها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. به دلیل تشابه، فقط نتایج ۴ خاکرخ آورده شده است. بیشترین مقدار گچ در خاک‌های مارنی و ساپرولیت گرانیتی است که مقدار آن به بیش از ۴۵ درصد می‌رسد و مجموع مقدار گچ و کربنات‌ها در خاک مارنی تا ۶۷ درصد هم می‌رسد. برخی از پارامترهای آماری و ویژگی‌های خاک در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. اطلاعات این جدول نشان می‌دهد که خاک‌ها از نظر حداقل، حداکثر و پراکنش ویژگی‌های مؤثر بر پذیرفتاری مغناطیسی از تنوع لازم برخوردار هستند. شکل ۲ الف و ب نشان‌دهندهٔ همبستگی بالای بین پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری و محاسبه شده پس از حذف گچ (χ^{lf}_{Gf}) و حذف گچ و کربنات‌ها (χ^{lf}_{GCf}) است. تجمع داده‌ها در اطراف خط Y=X نشان‌دهندهٔ دقت زیاد برآورد توسط معادلات ۵ و ۶ می‌باشد. میزان پذیرفتاری مغناطیسی گچ و کربنات‌ها $۰/۵\times۱۰^{-۸}$ تا $۱/۵\times۱۰^{-۸}$ $m^3\ kg^{-1}$ (جدول ۱) است که باعث مقداری تفاوت بین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری و محاسبه‌شده می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت که مقدار زیاد گچ و کربنات‌ها بر بروز ویژگی مواد مغناطیسی اثری نداشته‌اند و فقط باعث رقیق شدن اثر آنها می‌شوند. بنابراین، χ^{lf}_{GCf} محاسبه‌شده را می‌توان برابر با χ^{lf}_{minero} در نظر گرفت.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

جدول ۲. توزیع اندازهٔ ذرات، گچ، کربنات‌ها و مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری شدهٔ خاک در تیمارهای گوناگون

افق	عمق	شن	سیلت	رس	گچ	کربنات کلسیم معادل (کربنات‌ها)	χ^{lf}_{bulk}	χ^{lf}_{Gf}	χ^{lf}_{GCf}	χ^{lf}_{GCSf}
	cm			%			$10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$			
خاک لسی بر روی ساپرولیت گرانیتی										
Ap	۰–۱۵	۱۵/۳	۷۳/۱	۱۱/۶	۶/۵	۲۷	۸۱/۱	۸۵/۷	۱۱۲	۱۲۰/۳
Bk	۱۵–۴۰	۱۷/۱	۶۶/۸	۱۶/۱	۵/۴	۴۲	۷۳	۸۱/۴	۱۰۰/۹	۱۲۲/۲
2Btk	۴۰–۸۵	۴۰/۶	۴۲/۵	۱۶/۹	۵/۳	۳۱	۴۳/۸	۴۳/۵	۵۲/۳	۱۲۷/۳
2Cry1	۸۵–۱۲۰	۹۴/۲	۲/۹	۲/۹	۴۵	۴	۱۰/۴	۱۷/۷	۲۰/۴	۷۰/۶
2Cry2	۱۲۰–۱۵۰	۸۹/۸	۸/۳	۱/۹	۱۰/۳	۱۲	۵/۲	۵/۷	۸/۳	۱۳/۴
خاک گرانیتی										
Ap	۰–۳۰	۶۰/۴	۳۲/۳	۷/۴	۴/۳	۱۹	۶۷/۴	۶۵/۸	۷۵/۹	۱۲۲/۱
Bk	۳۰–۶۵	۴۳/۷	۴۵/۳	۱۱	۴/۷	۴۰	۴۲/۷	۴۸/۶	۵۷/۵	۱۱۳/۶
Cry1	۶۵–۱۰۰	۶۶/۲	۲۷/۳	۶/۵	۴۵	۱۴	۶/۶	۱۲/۵	۱۴/۳	۳۱/۸
Cry2	۱۰۰–۱۳۰	۷۰	۲۵	۵	۳۶/۸	۸	۸	۱۳/۱	۱۳	۳۲/۴
خاک آبرفتی										
Ap	۰–۳۰	۶۴/۱	۶۴/۱	۱۶/۳	۴/۲	۱۱	۵۸/۴	۷۰/۱	۶۵/۶	۸۲/۸
Bk	۳۰–۵۰	۷۰/۳	۷۰/۳	۱۳/۵	۲/۹	۱۳	۵۹/۹	۶۱/۸	۷۲/۳	۸۳
C	۵۰–۷۰	۵۴/۶	۵۴/۶	۲۱/۶	۴/۳	۱۹	۵۸/۶	۶۱/۳	۶۸/۷	۸۸
Cy	۷۰–۱۰۰	۵۸/۴	۵۸/۴	۲۵	۷/۱	۱۸	۵۰/۵	۵۴/۱	۶۴/۹	۷۵/۷
خاک مارنی										
Ap1	۰–۱۵	۲۶/۳	۶۰/۷	۱۳	۹/۴	۲۸	۱۲۲/۷	۱۳۵/۷	۱۷۷	۱۶۲
Ap2	۱۵–۴۰	۱۱/۶	۶۸/۳	۲۰/۱	۱۶/۲	۱۰	۱۱۳/۴	۱۳۲/۲	۱۶۵/۸	۱۵۰/۶
Cy1	۴۰–۶۰	۵۴/۸	۳۸/۴	۶/۸	۴۷/۲	۱۹	۴۲/۹	۸۰/۳	۱۲۱/۸	۱۱۱/۸
Cy2	۶۰–۹۰	۵۰/۸	۴۳/۶	۵/۶	۴۸/۷	۱۹	۵۷/۴	۱۰۳/۵	۱۶۷/۷	۱۵۶/۱
Cr1	۹۰–۱۱۰	۴۹	۴۳/۸	۷/۲	۴۷/۵	۱۶	۵۷	۱۰۴/۶	۱۵۸/۱	۱۵۷/۲
Cr2	۱۱۰–۱۴۰	۵۹/۶	۳۶	۴/۴	۴۷/۸	۲۹	۷۸/۶	۱۳۸/۶	۱۷۰/۳	۱۵۲/۵

χ^{lf}_{bulk}: پذیرفتاری مغناطیسی هواخشک، χ^{lf}_{Gf}: پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف گچ، χ^{lf}_{GCf}: پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف گچ و کربنات‌ها و χ^{lf}_{GCSf}: پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف گچ، کربنات‌ها و شن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

جدول ۳. پارامترهای آماری ویژگی‌های خاک

	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
گچ (٪)	۴۲	۲/۹	۴۸/۷	۱۳/۵	۱۵/۰۵
کربنات‌ها (٪)	۴۲	۴	۴۲	۱۹/۳	۷/۸
شن (٪)	۴۲	۵/۸	۹۴/۲	۲۸/۳	۲۳/۳
سیلت (٪)	۴۲	۲/۹	۷۸/۵	۵۷/۸	۱۹/۷
رس (٪)	۴۲	۱/۹	۲۵	۱۳/۹	۶/۲
χ^{lf}_{bulk}	۴۲	۵/۲	۱۲۲/۷	۵۳/۴	۲۳/۰
χ^{lf}_{Gf}	۴۲	۵/۷	۱۳۸/۶	۶۳/۴	۲۹/۴
χ^{lf}_{GCf}	۴۲	۸/۳	۱۷۷	۷۹/۷	۴۱/۵
χ^{lf}_{GCSf}	۴۲	۱۳/۴	۱۶۲	۹۲/۰	۳۳/۵

واحد مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی $m^3\ kg^{-1}\ 10^{-8}$ است.

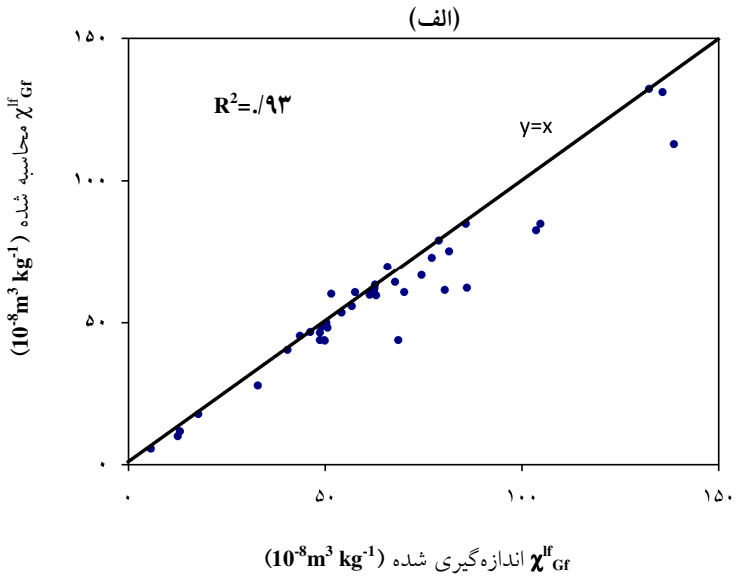
پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها

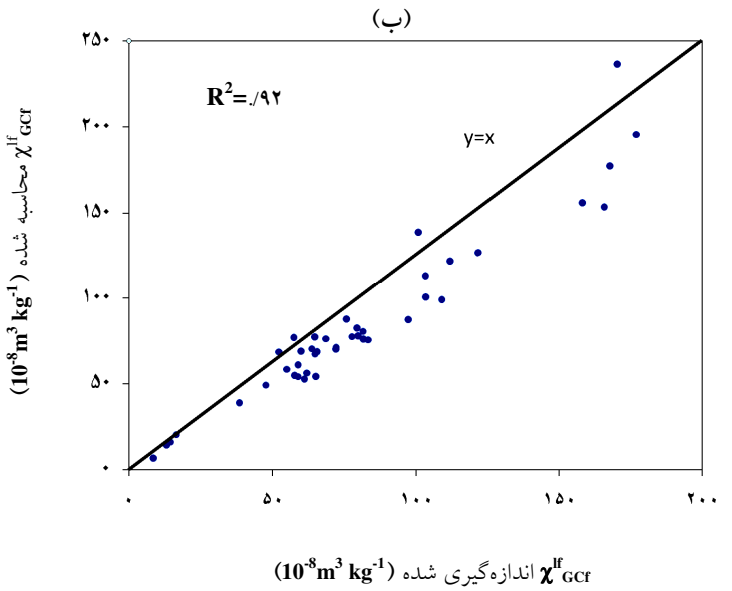
لس، گرانیت، مارن و رسوبات آبرفتی چهار نوع مادهٔ مادری اصلی تشکیل‌دهندهٔ خاک‌های این منطقه می‌باشند. کمترین و بیشترین مقدار χ^{lf}_{bulk} به‌ترتیب $5/2\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ مربوط به ساپرولیت گرانیتی در زیر خاک لسی (2Cry2) و $122/7\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$، مربوط به افق سطحی خاک مارنی (Ap1) است (جدول ۲). با حذف گچ و کربنات‌ها، حداقل، حداکثر و انحراف معیار پذیرفتاری مغناطیسی افزایش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ تأثیر زیاد این دو ماده بر پذیرفتاری مغناطیسی است (جدول ۳). χ^{lf}_{bulk} و χ^{lf}_{GCf} رسوبات لسی و آبرفتی، حد واسط خاک‌های مارنی و ساپرولیت گرانیتی است. مقدار χ^{lf}_{bulk} رسوبات لسی و خاک‌های آبرفتی به‌ترتیب $40/9\times10^{-8}$ تا $81/1\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ و $26/3\times10^{-8}$ تا $59/9\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ و مقدار χ^{lf}_{GCf} آنها به‌ترتیب 59×10^{-8} تا $112\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ و $38/5\times10^{-8}$ تا $72/3\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ است. اختلاف پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های با مواد مادری گوناگون، دور از ذهن نیست؛ زیرا شرایط تشکیل، نوع مواد تشکیل‌دهنده و به دنبال آن، نوع و مقدار مواد مغناطیسی مواد مادری، متفاوت است. گچ و کربنات‌ها بیش از ۵۰ درصد افق‌های خاک مارنی (به‌جز دو افق سطحی) را تشکیل می‌دهند؛ با این حال مقادیر χ^{lf}_{bulk}، در مقایسه با خاک‌های دیگر زیاد می‌باشند. مقادیر χ^{lf}_{GCf}، به‌دلیل حذف شدن گچ و کربنات‌ها، تأثیر مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی را آشکارتر می‌کنند. χ^{lf}_{GCf} تمامی افق‌های خاک مارنی نسبت به سایر خاک‌ها بسیار زیاد بوده و تا $177\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ در افق سطحی می‌رسد (جدول ۲). پذیرفتاری انواع سنگ‌ها (رسوبی، دگرگونی و آذرین) به ترکیب کانی‌شناسی آنها وابسته است و حتی پذیرفتاری یک نوع سنگ بسته به شرایط تشکیل، تفاوت زیادی دارد. این تفاوت‌ها به حدی است که χ^{lf}_{bulk} خاک مارنی جنوب مشهد نسبت به خاک‌های تشکیل‌شده از مواد مادری رسوبی در ژیانگ چین (۲۷) و اتریش (۱۳) بیشتر است.

این نتایج نشان می‌دهند که شرایط تشکیل مارن‌ها در جنوب مشهد منحصر به‌فرد بوده و مواد مغناطیسی یا در آنها تشکیل شده‌اند یا از یک منبع با مواد مغناطیسی قابل توجه تأمین گردیده‌اند. مارن‌های جنوب مشهد بر روی نقشهٔ زمین‌شناسی به‌عنوان مارن‌های قرمز معرفی شده‌اند (۴) که قرمز بودن آنها احتمالاً به‌دلیل وجود ترکیبات آهن مغناطیسی است. مقدار χ^{lf}_{bulk} خاک مارنی در سطح زیاد است که دلیل اصلی آن کم شدن گچ در افق‌های سطحی به دلیل شست‌وشوی گچ می‌باشد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]





شکل ۲. ارتباط مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده (الف) پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف گچ (χ^{lf}_{Gf}) و (ب) پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف گچ و کربنات‌ها (χ^{lf}_{GCf})

ولی تفاوت کم مقادیر χ^{lf}_{GCf} در افق‌های خاک مارنی، نشان‌دهندهٔ تکامل کم در این خاک بوده و عمدهٔ فرآیند خاک‌سازی، حل و رسوب گچ است. زیادتر بودن جزئی χ^{lf}_{bulk} در افق‌های سطحی این خاک و خاک‌های دیگر، به‌طور عمده به دلیل مناسب بودن شرایط هوادیدگی در سطح است (۶ و ۲۷).

χ^{lf}_{GCf} خاک‌های لسی نیز نسبتاً زیاد است و در افق‌های لسی با تحول کم (مانند افق Ap خاک لسی)، بیشتر از $۱۰۰\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ است. کریمی و همکاران (۱۸) نشان دادند

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

که رسوبات مارنی منشأ اصلی رسوبات لسی بوده و به همین دلیل، زیاد بودن پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های لسی قابل توجیه است. χ^{lf}_{GCf} افق آرجیلیک (Btk) مقطع لسی (اطلاعات نشان داده نشده‌اند) از افق‌های مجاور آنها بیشتر است که می‌تواند به دلیل فرآیندهای خاک‌سازی و شرایط هوادیدگی مناسب در زمان تشکیل آنها باشد. مطالعات سن‌یابی نیز نشان داده‌اند که این افق در شرایط گرم و مرطوب آخرین دورهٔ بین‌یخچالی تشکیل شده است (۱۷). کم بودن مقدار χ^{lf}_{GCf} افق 2Btk خاک لسی (جدول۲) که در شرایط مشابه افق آرجیلیک مقطع لسی تشکیل شده است در دید اول ممکن است غیرعادی باشد. این افق، ترکیبی از لس و گرانیت است و مقدار χ^{lf}_{GCf} پس از حذف شن که غالباً از کوارتز و فلدسپار حاصل از هوادیدگی گرانیت تشکیل شده است به شدت افزایش پیدا کرده و از افق‌های مجاور بیشتر شده است.

انواع گرانیت از سه کانی اصلی کوارتز، فلدسپار و میکا تشکیل شده‌اند و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی آنها از صفر تا $۱۹۰۰\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ است (۱۶). شنگائو (۲۷) در مطالعه‌ای در ژیانگ چین نشان داد که مقدار χ^{lf}_{bulk} ساپرولیت گرانیتی تا $۱۲۰\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ می‌رسد؛ درحالی‌که حتی مقدار χ^{lf}_{GCf} ساپرولیت‌های گرانیتی در جنوب مشهد، کمتر از $۱۷\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ بوده است و با خاک‌های تشکیل‌شده بر روی گرانیت در اتریش (۱۳) مشابه است. پذیرفتاری مغناطیسی ساپرولیت گرانیتی لایهٔ 2Cry1 در زیر خاک لسی (جدول ۲) پس از حذف گچ، کربنات‌ها و شن در مقایسه با ساپرولیت‌های گرانیتی دیگر، افزایش زیادی را نشان می‌دهد. از آنجا که پذیرفتاری مغناطیسی کوارتز و فلدسپارکوارتز نزدیک به صفر می‌باشد نوع میکا تعیین‌کنندهٔ میزان پذیرفتاری مغناطیسی گرانیت است. میکای ساپرولیت گرانیتی لایهٔ 2Cry1 بیوتیت می‌باشد. پذیرفتاری مغناطیسی بیوتیت ۵۲×۱۰^{-۸} تا $۹۸\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ (جدول ۱) است. بنابراین با حذف شن که بیشتر آن را کوارتز و فلدسپار تشکیل می‌دهد بیشتر بودن χ^{lf}_{GCSf} لایهٔ 2Cry1 قابل درک است.

پذیرفتاری مغناطیس خاک آبرفتی از ساپرولیت‌های گرانیتی بیشتر است و پس از حذف کربنات‌ها، گچ و شن، تغییر قابل توجهی را نشان نمی‌دهد که که بیان‌گر این است که بخش رس و سیلت این خاک پذیرفتاری مغناطیسی کمی داشته و همان‌گونه که از مرفولوژی خاک پیدا می‌باشد (جدول ۲) فرآیند خاک‌سازی قابل توجهی در آن رخ نداده است.

نکتهٔ دیگر، زیاد بودن مقدار χ^{lf}_{bulk} دو افق سطحی خاک گرانیتی (Ap و Bk) نسبت به ساپرولیت گرانیتی می‌باشد و این اختلاف بین مقادیر χ^{lf}_{GCf} نیز بیشتر شده است (جدول ۲). مطالعهٔ قبلی (۵) در منطقه نشان داده است که این دو افق، حد واسط رسوبات لسی و خاک‌های درجا هستند که اضافه شدن رسوبات بادآورده به افق‌های سطحی باعث افزایش زیاد پذیرفتاری مغناطیسی این دو افق نسبت به ساپرولیت گرانیتی شده است (۵). افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک سطحی به‌دلیل اضافه شدن مواد با پذیرفتاری مغناطیسی بیشتر توسط گرد و غبار، به‌عنوان یکی از عوامل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، گزارش شده است (۱۰).

جدول ۴ همبستگی χ^{lf}_{bulk} و اجزای تشکیل‌دهندهٔ خاک (شن، سیلت، رس، گچ و کربنات‌ها) را نشان می‌دهد. به‌دلیل تفاوت ماهیتی خاک‌های مارنی که در بالا به آن اشاره شد، همبستگی‌ها با و بدون مشارکت خاک مارنی محاسبه شد. به دلیل این‌که مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی خاک مارنی به‌صورت قابل توجهی با دیگر خاک‌ها متفاوت است؛ همبستگی‌ها با حذف خاک مارنی، افزایش قابل توجهی دارند (جدول ۴). از سوی دیگر، با توجه به این‌که پس از حذف گچ و کربنات‌ها، درصد نسبی شن، سیلت و رس تغییر می‌کند همبستگی‌های مشابه برای χ^{lf}_{GCf} محاسبه نشد. همبستگی بین مقدار گچ و کربنات‌ها با χ^{lf}_{bulk} کم می‌باشد؛ زیرا خاک‌های با گچ مشابه، χ^{lf}_{bulk} متفاوت دارند. همبستگی منفی بین شن و χ^{lf}_{bulk} حاکی از آن است که بخش شن نسبت به کل خاک دارای مواد مغناطیسی کمی است. افزایش پذیرفتاری مغناطیسی پس از حذف شن، دلیلی بر این ادعا است (جدول ۴). برخلاف نتایج این مطالعه، دجنگ و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

جدول ۴. همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و ویژگی‌های خاک

	گچ + کربنات‌ها (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
χ^{lf}_{bulk}	-۰/۰۹	-۰/۵۲**	۰/۴۸**	۰/۴۴**
[a] χ^{lf}_{bulk}	-۰/۳۶**	-۰/۷۵**	۰/۶۸**	۰/۶۳**

[a]: پذیرفتاری مغناطیسی منهای خاک مارنی، واحد مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی $10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ است.

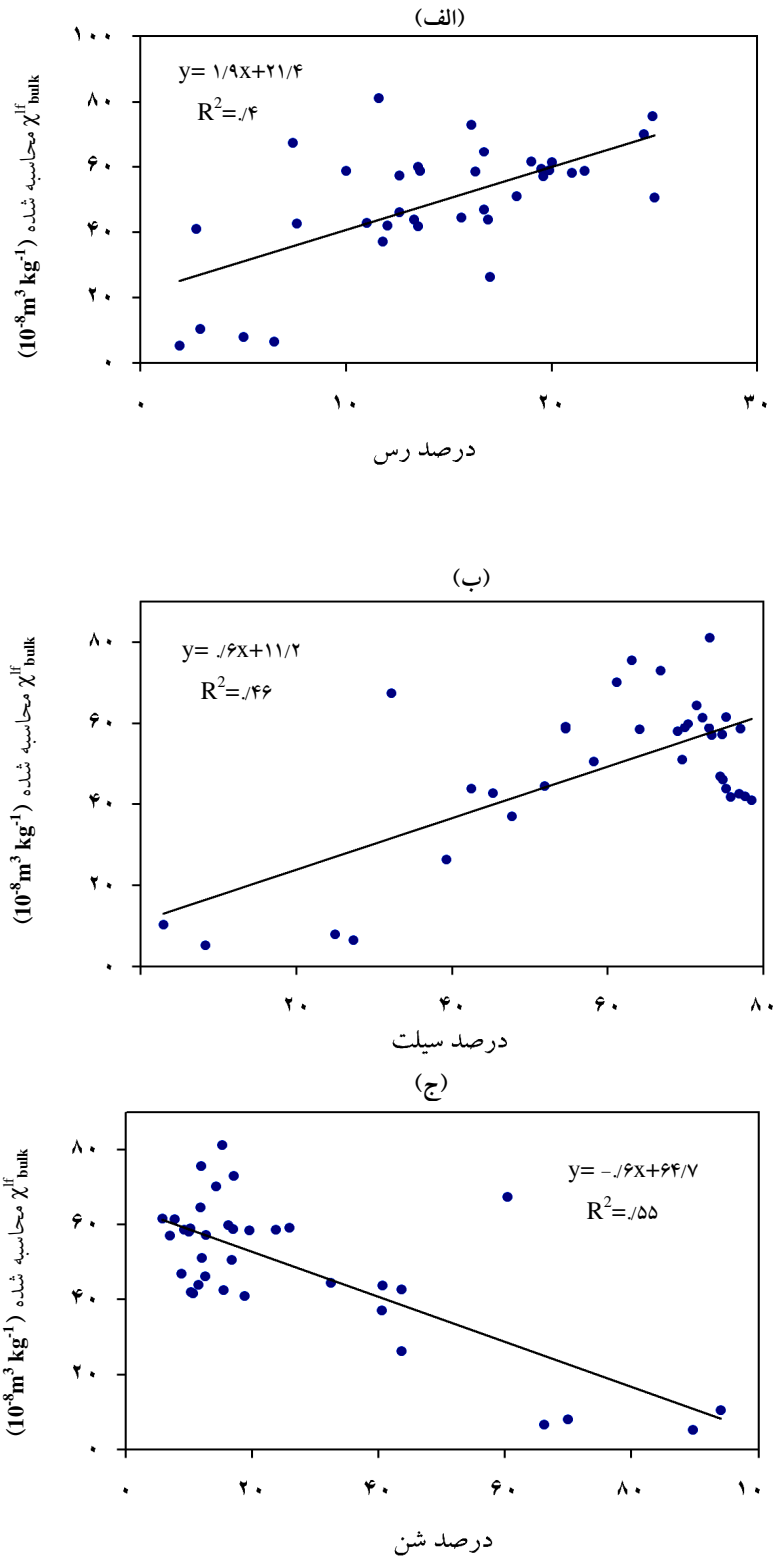
همکاران (۱۱) نشان دادند که در خاک‌های ساسکاچوان هر چه بافت درشت‌تر شود پذیرفتاری مغناطیسی افزایش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ تجمع مواد مغناطیسی در بخش شن است. از آنجا که شن معمولاً، کمتر تحت تأثیر هوادیدگی قرار می‌گیرد، می‌تواند منعکس‌کنندهٔ وضعیت مواد مادری باشد. حذف شن در خاک‌های مارنی باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی شده است (جدول ۲) که بیانگر این واقعیت است که در این خاک، برخلاف خاک‌های دیگر این منطقه و مشابه با خاک‌های ساسکاچوان (۱۱)، شن نقش مهمی در پذیرفتاری مغناطیسی دارد. اهمیت تأثیر شن در پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مارنی وقتی بیشتر آشکار می‌شود که بدانیم بخش بیشتر شن در این خاک‌ها از گچ تشکیل شده است و در موقع حذف گچ، از خاک خارج شده است و درصد شن افق‌های خاک مارنی پس از حذف کربنات‌ها و گچ کاهش می‌یابد. این مسأله نیز مجدداً تأکیدی بر تفاوت در ماهیت مغناطیسی خاک‌های مارنی است.

بیشترین مقدار همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی و مقدار سیلت مشاهده گردید. مقدار رس نیز در مرتبهٔ دوم از نظر میزان همبستگی با پذیرفتاری مغناطیسی قرار داشت. همبستگی مثبت بین پذیرفتاری مغناطیسی و سیلت و رس نشان‌دهندهٔ تأثیر هر دو جزء در پذیرفتاری مغناطیسی است. به‌عنوان یک قانون کلی، در خلال فرآیندهای خاک‌سازی، معمولاً عامل اصلی افزایش پذیرفتاری مغناطیس مربوط به بخش رس است. آلکسی‌یو و همکاران (۶) نشان دادند که سهم اجزای شن، سیلت و رس خاک‌های کمبی‌سول در پذیرفتاری مغناطیسی یکسان بوده ولی در خاک‌های فائوزم (Phaeozems)، سهم رس بیشتر است. در خاک‌های منطقه مورد مطالعه، سیلت بسیار بیشتر از رس است (جدول ۲) ولی براساس معادلات در (شکل‌های ۳ - الف و ب)، شیب خط معادله مربوط به رابطهٔ رس و سیلت با پذیرفتاری مغناطیسی به‌ترتیب ۱/۹۲ و ۰/۶۳ است که با وجود مقدار بیشتر سیلت در خاک‌های مورد مطالعه، اهمیت رس در مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی خیلی بیشتر از سیلت است. شکل ۳ - ج هم تأثیر منفی مقدار شن را در پذیرفتاری مغناطیسی نشان می‌دهد که به غالب بودن کوارتز، فلدسپار و گچ در بخش شن مربوط می‌باشد. به هر حال برای روشن شدن تأثیر فرآیندهای خاک‌سازی و عوامل دیگر ایجاد کنندهٔ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی جداگانهٔ شن، سیلت و تعیین کانی‌های مغناطیسی هر کدام از اجزا به‌عنوان مطالعات تکمیلی پیشنهاد می‌شود.

در مطالعات زیادی از پذیرفتاری مغناطیسی برای نشان‌دادن میزان تکامل خاک‌های قدیمی و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی استفاده شده است (۱۵، ۲۲ و ۲۶). از مهم‌ترین آنها مطالعات انجام‌شده روی توالی‌های لس- خاک قدیمی در چین است (۲۶). در این توالی‌ها مواد مادری یکسان بوده و تغییرات گچ و کربنات‌ها در آنها در حدی نیست که بتواند تأثیر فرآیندهای خاک‌سازی را بپوشاند. ولی در مطالعهٔ حاضر علاوه بر این‌که مقدار گچ و کربنات‌ها مواد مادری خاک‌ها متفاوت است، حتی در خاکرخ‌های لسی روی ساپرولیت گرانیتی و خاکرخ گرانیتی، مواد مادری یکنواخت نمی‌باشند و تغییرات پذیرفتاری

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]



شکل ۳. ارتباط بین χ^{lf}_{bulk} و (الف) درصد رس، (ب) درصد سیلت و (ج) درصد شن، (نمونه‌های خاک مارنی در نظر گرفته نشده‌اند).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

مغناطیسی بدون در نظر گرفتن این موارد غیرمنطقی به نظر می‌رسد. بنابراین، لازم است که نقش مواد مادری و گچ و کربنات‌ها در تفسیر نتایج پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

پذیرفتاری مغناطیسی، یک شاخص مناسب برای بررسی ویژگی‌های خاک و رسوبات است. ترکیب مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی، باعث تغییر در پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها می‌شوند. به‌همین دلیل، برای جلوگیری از هرگونه اشتباه در تفسیر نتایج پذیرفتاری مغناطیسی، باید تأثیر نوع ماده مادری، مواد دیامغناطیس متحرک و فرآیندهای خاک‌سازی بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی شناخته شود. مطالعهٔ حاضر با هدف روشن کردن عوامل مؤثر بر پذیرفتاری مغناطیسی و نه تفسیرتوضیح مکانیزم‌های تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های جنوب مشهد انجام شد.

این مطالعه به خوبی تأثیر مواد دیامغناطیس مهم مناطق خشک (گچ و کربنات‌ها) و مواد مادری را بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک نشان داد. نتایج نشان می‌دهد که گچ و کربنات‌ها به نسبت سهمی که از خاک اشغال می‌کنند باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می‌شوند و تأثیر عومل ایجادکننده یا تغییردهندهٔ پذیرفتاری مغناطیسی را می‌پوشانند. به‌سادگی می‌توان براساس مقدار گچ و کربنات‌ها در خاک و در نظر گرفتن پذیرفتاری مغناطیسی معادل صفر برای گچ و کربنات‌ها، اثر آنها را حذف کرد. به‌دلیل ناچیز بودن مقدار مواد آلی و رطوبت هواخشک در مقابل گچ و کربنات‌ها، نیازی به در نظر گرفتن تأثیر این دو ماده در مناطق خشک نیست. به عبارت دیگر، می‌توان χ^{lf}_{GCf} محاسبه‌شده را معادل χ^{lf}_{minero} در نظر گرفت. مقایسهٔ پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها با مواد مادری متفاوت نشان داد که صرف‌نظر از مکانیسم‌هایی که باعث تغییر در پذیرفتاری مغناطیسی می‌شوند، نوع مواد مادری به‌شدت بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مؤثر است. در منطقه مورد مطالعه، خاک‌های حاصل از مارن‌های قرمز با مقدار $۵/۲\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ و گرانیت با مقدار $۱۲۲/۷\times۱۰^{-۸}\ m^3\ kg^{-1}$ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار χ^{lf}_{bulk} را دارا می‌باشند و خاک‌های لسی و آبرفتی حد واسط این دو قرار دارند. بخش شن تأثیر کاهنده و سیلت و رس اثر افزاینده در مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مورد مطالعه را دارند. البته در مورد خاک مارنی، حذف شن باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می‌شود که این ویژگی به‌همراه پذیرفتاری مغناطیسی بالای خاک مارنی سبب تمایز آن از سایر خاک‌ها می‌شود. در پژوهش‌های آتی، کانی‌شناسی ترکیبات آهن و آزمایش‌های شیمیایی برای روشن کردن شدت تأثیر مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، به‌دلیل تأمین هزینه انجام این پژوهش در قالب طرح مصوب شماره ۲۴۴پ، مورخ ۸۸/۷/۶، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. اولیائی، ا.، ا. ادهمی، م. چاکرحسینی، م. رجایی و ع. کسرائیان. ۱۳۸۸. ارزیابی منشأ پذیرفتاری مغناطیسی با استفاده از تیمار CBD و تصاویر میکروکت اسکن در برخی خاک‌های استان فارس. مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۶: ۷۷۳-۷۷۸.

۲. ایوبی، ش. ۱۳۸۱. مطالعهٔ شواهد پدوژنیکی تغییر اقلیم در خاک‌های قدیمی دو منطقهٔ اصفهان و امام‌قیس چهارمحال و بختیاری. رسالهٔ دکترای خاک‌شناسی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. ترابی گل سفیدی، ح. و م. کریمیان اقبال. ۱۳۸۱. مطالعه و بررسی تکامل خاک با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی در حاشیهٔ رودخانهٔ سفیدرود در گیلان. مجلهٔ علوم خاک و آب ۱۶: ۲۰۶-۲۱۳.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]

۴. طاهری، ج. ۱۳۷۳. نقشهٔ زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مشهد. وزارت معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۵. کریمی ع.، ح. خادمی و ا. جلالیان. ۱۳۸۷. شناسایی خاک‌های لسی و تفکیک آنها از سایر خاک‌ها در جنوب مشهد. علـوم و فنـون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۴: ۱۸۵-۲۰۰.

6. Alekseev A., T. Alekseeva, Z. Sokolowska and M. Hajnos. 2002. Magnetic and mineralogical properties of different granulometric fractions in the soils of the Lublin Upland Region. Intl. Agrophys. 16:1-6.
7. Blaha U., E. Appel and H. Stanjek. 2008. Determination of anthropogenic boundary depth in industrially polluted soil and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility. Environ. Pollut. 156: 278-289.
8. Coey I. M. D. 1988. Magnetic properties of iron in soil iron oxides and clay minerals. *In:* Stucki, J. W., B. A. Goodman and U. Schwertmann (Eds.), Iron in Soils and Clay Minerals. Reidel Pub., Dordrecht.
9. Dearing J. A., K. L. Hay, S. M. J. Balsan, A. S. Huddleston, E. M. H. Wellington and P. J. Loveland. 1996. Magnetic susceptibility of soil: An evaluation of contributing theories using a national data set. Geophys. J. Intl. 127: 728-734.
10. Dearing J. A., J. A. Lees and C. White. 1995. Mineral magnetic properties of acid gleyed soils under Oak and Corsican Pine. Geoderma 68: 309-319.
11. de Jong E., L. M. Kozak and H. P. W. Rostad. 2000. Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewn soils. Can. J. Soil Sci. 80: 135-142.
12. Fontes M. P. F., T. S. de Oliveira L. M. da Costa and A. A. G. Campos. 2000. Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian soils from different parent materials. Geoderma 96: 81-99.
13. Hanesch M. and R. Schloger. 2005. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured through soil profiles. Geophys. J. Intl. 161: 50-56.
14. Hanesch M., G. Rantitsch, S. Hemetsberger and S. Scholger. 2007. Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. Sci. Tot. Environ. 382: 351-363.
15. Heller F. and T. S. Liu. 1986. Paleoclimatic and sedimentary history from magnetic susceptibility of loess in China. Geophys. Res. Lett. 13: 1169-1172.
16. Hunt C. P., B. M. Moskowitz and S. K. Banejee. 1995. Magnetic properties of rocks and minerals. PP. 189-204. *In:* Ahrens, T. J. (Ed.), Rock Physics and Relations, a Handbook of Physical Constant. American Geophysical Union, Washington DC, USA.
17. Karimi A., M. Frechen, H. Khademi, M. Kehl and A. Jalalian. 2009. Chronostratigraphy of loess deposits from northeast Iran. Qat. Intl. 234: 124-132.
18. Karimi A., H. Khademi, M. Kehl and A. Jalaian. 2009. Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in Northeast Iran. Geoderma 148: 241-250**.**
19. Lu S. G. 2000. Characterization of magnetism and iron oxide minerals of Quaternary red earth and its paleoenvironmental implication. Acta Ped. Sin. 37: 182-191.
20. Lu S. G., Q. F. Xue, L. Zhu and J. Y. Yu. 2008. Mineral magnetic properties of a weathering sequence of soils derived from basalt in eastern China. Catena 73: 23-33.
21. Maher B. A. 1986. Characterization of soils by mineral magnetic measurements. Phys. Earth Planet. Intl. 42: 76-92.
22. Maher B. A., M. Y. Roberts and A. G. Wintel. 2003. Holocene loess accumulation and soil development in the western edge of the Chinese Loess Plateau: implication for magnetic proxies of paleorainfall. Quat. Sci. Rev. 22: 445-451
23. Mullins C. E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: a review. J. Soil Sci. 28: 223-246.
24. Oldfield S. 1991. Environmental magnetism- a personal perspective. Quqt. Sci. Rev. 10: 73-85.
25. Porta, J. 1998. Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soil: A review. Geoderma 87: 31-46.
26. Rutter N. W., Z. L. Ding, M. E. Evans and T. S. Liu. 1991. Baoji-type pedostratigraphic section, Loess Plateau, north-central China. Quat. Sci. Rev. 10: 1-22.
27. Shenggao, L. 2000. Lithological factors affecting magnetic susceptibility of subtropical soils, Zhejiang Province, China. Catena 40: 359-373.
28. Soil Survey Staff. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, No. 42.Version 3.0, USDA-NRCS., 693 p.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.19.6]