ارزیابی منشاء پذیرفتاری مغناطیسی با استفاده از تیمارCBD و تصاویر میکروکت اسکن در برخی از خاک‌های استان فارس

حمیدرضا اولیائی[۱*]، ابراهیم ادهمی[۱]، محمدرضا چاکرحسینی[۲]، مجید رجائی[۳] و علی کسرائیان[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۴/۱)

چکیده

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی (χ) به طور گسترده‌ای جهت ارزیابی تکامل نیمرخ خاک به کار رفته است. ۱۴ نیمرخ خاک در دامنه نسبتاً گسترده‌ای از شرایط اقلیمی در استان فارس مورد مطالعه قرار گرفتند. عصاره‌گیر سیترات - بی کربنات - دی تیونات (CBD) و تصاویر میکرو کت اسکن جهت ارزیابی منشاء پذیرفتاری مغناطیسی استفاده گردیدند. نتایج نشان داد که نمونه‌های خاک، ۲۳ تا ۹۱ درصد از پذیرفتاری مغناطیسی خود را پس از تیمارCBD از دست دادند که بیانگر اختلاف در منشاء (پدوژنیک یا لیتوژنیک) پذیرفتاری مغناطیسی بوده است. کاهش پذیرفتاری مغناطیسی به مقدار زیادتری در خاک‌های با تکامل پروفیلی بیشتر و هم‌چنین در سطح خاک غالباً مشاهده گردید. کاهش پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χfd) پس از تیمار CBD، ۲۲ تا ۸۹ درصد بوده است. رابطه مثبت و معنی‌داری میان میزان کاهش پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در خاک‌های مطالعه شده مشاهده گردید. تصاویر میکرو کت اسکن با قدرت تفکیک فضایی ۳۳ میکرومتر، حضور ذرات اکسید مغناطیسی آهن (مگنتیت) لیتوژنیک را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پذیرفتاری مغناطیسی خاک، تکامل خاک، اکسید آهن، پدوژنیک، میکرو کت اسکن، استان فارس

مقدمه

پذیرفتاری مغناطیسی(Magnetic susceptibility) یا قابلیت مغناطیسی شدن کمیتی است که میزان مغناطیده شدن یک جسم در یک میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد (۲۱). این کمیت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\kappa = M/H$$

در معادله بالا M میزان مغناطیس‌پذیری جسم، H شدت میدان مغناطیسی و κ پذیرفتاری مغناطیسی حجمی است. در این معادله κ بدون واحد است. پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند برحسب واحد جرمی نیز بیان گردد که بر این اساس به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\chi mass = \kappa/\rho$$

در این معادله ρ جرم مخصوص ظاهری جسم بر حسب kg/m^3، χmass پذیرفتاری مغناطیسی جرمی برحسب m^3/kg می‌باشد (۲۰). اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی روشی سریع، غیر تخریبی، ساده و نسبتاً ارزان می‌باشد که در دامنهٔ گسترده‌ای

۱. استادیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۲. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، شهرکرد
۳. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز
۴. عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: owliaie@mail.yu.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

از مطالعات مربوط به خاک و سنگ کار برد دارد (۲۰ و ۳۱). رفتارهای مغناطیسی در اجسام به ۵ دسته تقسیم می‌شوند که بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی و به ترتیب نزولی شامل فرومگنتیسم(Ferromagnetism) (مانند آهن خالص با حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی)، فری مگنتیسم(Ferrimagnetism) (مانند مگنتیت و مگهمیت)، کنتد آنتی فرومگنتیسم(Cantedantiferromgnetism) (مانند هماتیت وگوئتیت)، پارامگنتیسم(Paramagnetism) (مانند لپیدوکروسیت) و دیامگنتیسم(Diamagnetism) (مانند کوارتز، آهک، گچ و ماده آلی با حداقل پذیرفتاری مغناطیسی و حتی منفی) می‌باشند (۲۰).

منبع اصلی پذیرفتاری مغناطیسی در غالب خاک‌ها کانی‌های فِرّی-مگنتیت مانند مگنتیت (Fe_3O_4) و مگهمیت (γFe_2O_3) می‌باشند. محیط‌های پدوژنیکی بر پایداری و تبادلات این کانی‌ها در خاک تأثیر می‌گذارد (۲۶).

تکامل متوالی خاک منجر به ارزیابی یک الگوی توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در نیمرخ خاک می‌شود. از آن‌جایی که غالباً پذیرفتاری مغناطیسی افق‌های الوویال(Eluvial) بیشتر از افق‌های ایلوویال(Illuvial) می‌باشد، بنابراین میزان افزایش پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند در کنار سایر عوامل به عنوان شاخصی از میزان تأثیر فرایندهای خاک‌سازی مطرح گردد (۱۱، ۲۳، ۲۴ و ۲۷). افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها اساساً به دلیل تشکیل پدوژنیک کانی‌های فری- مگنتیت می‌باشد که به میزان زیادی به عوامل خاک‌ساز شامل ماده مادری، آب و هوا، پستی و بلندی و پوشش گیاهی بستگی دارد (۹). فرضیه مطرح در مورد افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، بیشتر اشاره به تغییر شکل در جای آهن غیر مغناطیسی، به ریز بلورهای مگنتیت و مگهمیت دارد (۲۰).

آبشویی کربنات‌ها و گچ و هم‌چنین تجمع ماده آلی در سطح خاک و یا سایر تغییرات شدید در توده خاک می‌تواند میزان پذیرفتاری مغناطیسی در یک افق را نسبت به سایر افق‌ها تغییر دهد که این امر مربوط به افزایش یا کاهش غلظت ترکیبات مغناطیسی در خاک می‌باشد. تغییرات ناشی از انتقال ترکیبات آهن در نیمرخ خاک و یا آزادسازی اکسیدها از داخل سیلیکات‌های حاوی آهن به عنوان تغییرات مطلق در نظر گرفته می‌شوند (Minerogenic basis). مقدار این عوامل به راحتی با حذف اثرات مواد دیامگنتیک مانند آهک،گچ و ماده آلی در محاسبه، مطابق معادله زیر به دست می‌آید (۴).

$$\chi_{minero}= (\chi_{oven\ dry} \times 100)/[(100 - (OM+CCE+Gypsum)]$$

در معادلهٔ بالا χ_{minero} میزان پذیرفتاری مغناطیسی بر مبنای مینروژنیک (مطلق)، $\chi_{oven\ dry}$ میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک خشک شده در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد، OM درصد مادهٔ آلی، CCE درصد کربنات کلسیم معادل و Gypsum درصد گچ در نمونهٔ خاک مورد نظر می‌باشند.

فاین و همکاران (۱۰) پیشنهاد کردند که مقدار بیشتر مواد آلی و ریز موجودات هتروتروف در نزدیک سطح خاک می‌تواند تشکیل کانی‌های فری- مگنتیت را افزایش دهند. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی برای ارزیابی نیم‌رخ‌های خاک در مطالعهٔ ردیف زمانی مناسب و مفید می‌باشد. با استفاده از این تکنیک تفاوت در مواد مادری و انقطاع موجود در خاک‌های غیر یکنواخت قابل شناسایی است (۱۱ و ۲۷). بسیاری از محققین معتقدند که تیمار سیترات- بیکربنات - دی تیونات(CBD) قادر به استخراج آهن موجود در اکسیدهای آزاد پدوژنیک می‌باشد، اما قادر به استخراج آهن از کانی‌های اکسید آهن با درجه تبلور بالا و کانی‌های اولیه آن نیست (۱۸، ۱۹ و ۳۴). بنابراین اندازه‌گیری مجدد پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD می‌تواند نقش فرایندهای پدوژنیک را در حضور اکسیدهای آهن فرومگنتیک در خاک را نشان دهد (۱۲ و ۳۳).

ترابی گل سفیدی و کریمیان اقبال (۳) در مطالعهٔ تکامل خاک با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی در حاشیه رودخانه سفیدرود در گیلان کاهش ۸ تا ۴۱ درصد در میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مورد مطالعه را پس از حذف اکسیدهای آهن آزاد (پدوژنیک) به وسیلهٔ تیمار CBD مشاهده نمودند. نامبردگان دلیل کمتر بودن کاهش در پذیرفتاری مغناطیسی پس از این تیمار نسبت به سایر مطالعات مشابه را وجود کانی‌های

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

اولیه اکسید آهن مغناطیسی در خاک‌ها دانسته‌اند که این تیمار توانایی خروج آنها را نداشته است.

اندازه بلورهای مغناطیسی به میزان زیادی بر پذیرفتاری مغناطیسی آنها اثر دارد. ذرات با قطر بیشتر از ۱۱۰ میکرومتر را چند خاکدانه‌ای (Multi Domain)(MD) می‌نامند که دارای بیش از یک خاکدانه هستند. ذرات کمتر از ۰/۲ میکرومتر فقط دارای خاکدانه منفرد پایدار (Stable Single Domain)(SSD) می‌باشند. ذرات با اندازه ۰/۲ تا۱۱۰ میکرومتر به اندازه کافی بزرگ هستند که بیش از یک خاکدانه داشته باشند، اما رفتار مغناطیسی خاکدانه منفرد پایدار را نشان می‌دهد. این گروه را شبه خاکدانه منفرد (Pseudo- Single Domain)(PSD) می‌نامند (۷).

ذرات بسیار ریز(Ultrafine) کوچک‌تر از ۰/۰۳میکرو متر جزء SSD محسوب می شوند، اما ویژگی‌های منحصر به فردی را نشان می دهند که به آن رفتار سوپر پارامگنتیک (Superparamagnetic)(SP) گفته می‌شود. میزان پذیرفتاری مغناطیسی این ذرات زیاد، اما خواص مغناطیسی آنها پس از حذف میدان مغناطیسی به سرعت کاسته می‌شود. رفتار ویژه مغناطیسی این ذرات بسیار ریز بستگی به فرکانس میدان مغناطیسی دارد. در فرکانس کم میدان مغناطیسی، این ذرات رفتار SP را نشان داده و در فرکانس زیاد میدان مغناطیسی مشابه ذرات SSD عمل می‌نمایند (۷).

حضور مواد SP به وسیله کمیتی به نام پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ($\chi_{fd}\%$) قابل اندازه‌گیری است که به صورت زیر تعریف می‌گردد :

$$\%\chi_{fd}=100(\chi_{lf}-\chi_{hf})/\chi_{lf}$$

که در آن $\chi_{fd}\%$ ، درصد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس، χ_{lf} پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پائین (KHz ۰/۴۶)، χ_{hf} پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس زیاد (KHz ۴/۶) می‌باشد. هر چه اختلاف میان پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس‌های زیاد و کم یک خاک بیشتر باشد نشان‌دهنده دخالت بیشتر ذرات مغناطیسی کوچک‌تر از ۰/۲ میکرومتر (عمدتاً پدوژنیک) می‌باشند. کاهش میزان پذیرفتاری مغناطیسی بعد از تیمار CBD با پارامتر χ_{fd} رابطه مستقیم دارد (۷ و ۱۱).

مطالعات بسیار اندکی روی پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های ایران صورت گرفته است. به همین دلیل هدف از مطالعه حاضر بررسی تعیین منشاء پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های مناطق مختلف استان فارس با استفاده از عصاره‌گیری اکسیدهای پدوژنیک آهن و تصاویر سه بعدی میکرو کت اسکن بوده است.

مواد و روش‌ها

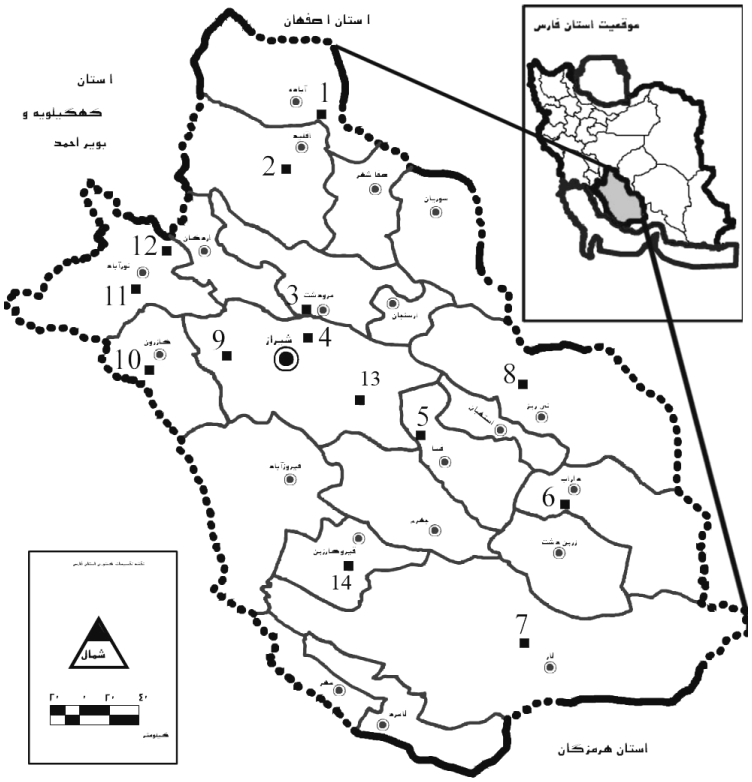
استان فارس با وسعت ۱۳۳ هزار کیلومتر مربع، بین طول۵۰ درجه و۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقهٔ شمالی واقع شده و ۸% وسعت کشور را به خود اختصاص می‌دهد. ارتفاع این استان از حدود ۵۰۰ تا ۳۹۰۰ متر از سطح دریا در نوسان می‌باشد. میانگین بارندگی سالانهٔ استان از حدود ۵۰ تا ۸۵۰ میلی متر و میانگین دمای سالانهٔ هوا از $^{\circ}C$ ۱۲ تا $^{\circ}C$ ۲۳ می‌باشد. بر طبق نقشهٔ رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (۲) خاک‌های این استان دارای رژیم‌های رطوبتی زریک، یوستیک و اریدیک و رژیم‌های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می‌باشند. نیم‌رخ‌های خاک بر اساس راهنمای شناسایی خاک (۲۸) تشریح و سپس بر مبنای کلید تاکسونومی خاک (۲۹) طبقه‌بندی گردیدند.

۱۴ نیم‌رخ خاک در مناطق مختلف اقلیمی استان فارس انتخاب (شکل ۱) و از افق‌های مشخصه به مقدار لازم نمونهٔ خاک برداشته و به آزمایشگاه منتقل گردید. توزیع اندازه‌ای ذرات توسط روش پی‌پت (۶) اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی روی عصارهٔ گل اشباع توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی و pH گِل اشباع توسط دستگاه pH متر اندازه‌گیری گردید (۳۲). ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات خاک با استات سدیم یک نرمال در pH ۸/۲ به روش چاپمن (۵) اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری میزان کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]



شکل ۱. موقعیت نیم‌رخ‌های خاک مطالعه شده در استان فارس

برگشتی اسید کلریدریک با عصاره جمع‌آوری شده انجام یافت (۲۵). کربن آلی از طریق اکسایش با اسید کرومیک و تیتراسیون با سولفات آهن آمونیاکی به روش جکسون (۱۶) اندازه‌گیری شد. مقدار گچ در نمونه‌ها نیز با روش استون اندازه‌گیری گردید (۲۵).

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های پودری خاک به‌وسیله دستگاه Bartington Dual Frequency ، MS2 Meter در فرکانس‌های ۰/۴۶ KHz و ۴/۶ KHz اندازه‌گیری گردید. برای این منظور حدود ۱۰ گرم خاک خشک شده در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) در ظروف پلاستیکی کوچک با قطر ۲/۲ سانتی‌متر ریخته تا ارتفاع آن به حدود ۲cm برسد. قرائت‌های شاهد روی ظروف خالی در ابتدا و انتهای قرائت نمونه خاک، جهت تصحیح اثرات احتمالی ظرف بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی انجام گرفت (۷). پس از عصاره‌گیری نمونه‌های خاک توسط سیترات- بی‌کربنات- دی تیونات (CBD) پذیرفتاری مغناطیسی مجدداً اندازه‌گیری گردید (۱۴). واحد پذیرفتاری مغناطیسی جرمی (m^3kg^{-1}) می‌باشد که به دلیل بزرگ بودن واحد، اعداد به دست آمده در ضریب 10^{-8} ضرب و گزارش گردیدند. ارتباط داده‌ها با استفاده از رگرسیون خطی با برنامهٔ کامپیوتری SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

دستگاه میکرو کت اسکن اشعه ایکس(X-Ray Micro CT-Scan) امکان عکس‌برداری سه بعدی نمونه‌های خاک را با قدرت تفکیک فضائی ۵ تا ۴۰ میکرومتر فراهم می‌نماید. با استفاده از تصویرهای به دست آمده که شامل تعداد بسیار زیادی مقاطع قابل حرکت در سه بعد می‌باشد، الگو و آرایش سه بعدی پدیده‌های درون خاک از جمله کریستال‌های آهک، گچ، اکسیدهای آهن، مواد آلی و حفرات قابل بررسی می‌باشند. به این منظور نمونه‌های خاک دست نخورده درون ظروف پلی اتیلنی خاص قرار داده شده و جهت استاندارد مقایسه‌ای یک لوله پلاستیکی کوچک حاوی آب مقطر کنار نمونه خاک قرار داده می‌شود. اساس کار دستگاه تفاوت در تراکم یا دانسیته مواد مختلف می‌باشد، به این صورت که هر چه دانسیته مواد بیشتر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

باشد، میزان کاهش انرژی(Attenuation) پرتوایکس ساطع شده از منبع توسط جسم بیشتر خواهد بود و در این صورت تصویر حاصل زمینه روشن‌تری در یک مقیاس خاکستری خواهد داشت (۱۷).

جهت مقایسه تراکم مواد از شاخصی به نام HU(Hounsfield Unit) استفاده می‌گردد (۱۵). بر این اساس از موادی با تراکم مشخص به عنوان استاندارد استفاده می‌گردد. این استانداردها که در مرحله بارزسازی تصاویر (Image enhancement) به کار می‌روند، آب خالص و هوا می‌باشند. این مقدار برای هوا ۱۰۰۰- و برای آب صفر می‌باشد. دستگاه میکروکت اسکن مورد استفاده دراین تحقیق، مدل EVS MS-8 MicroCT بود که جهت قدرت تفکیک ۳۳ میکرومتر در ولتاژ ۱۰۰ کیلو ولت و شدت جریان ۸۰ میلی آمپر تنظیم گردید. جهت انجام تصحیحات و بارزسازی تصویری و مشاهده سه بعدی تصاویر از نرم‌افزارهای Microview و NIH ImageJ استفاده گردید.

نتایج و بحث

برخی پارامترهای اقلیمی و مشخصات عمومی نیم‌رخ‌های خاک مطالعه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. بر این اساس نیم‌رخ‌های خاک مورد مطالعه در ۵ راستهٔ انتی سول، اینسپتی سول، الفی سول، مالی سول و اریدیسول قرار می‌گیرند. این نیم‌رخ‌ها در کلاس‌های زه‌کشی بسیار ضعیف تا خوب و کاربری‌های زراعی، جنگل و مرتع قرار می‌گیرند. جدول ۲ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش (۵۵ نمونه) را نشان می‌دهد.

مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها در مبنای خاک خشک شده در آون (χ_{lf}^{od}) و مینروژنیک (χ_{lf}^{m}) که بیانگر اثر حضور مواد دیامگنتیک و پویای کربنات کلسیم، گچ و مادهٔ آلی می‌باشد در جدول۳ نشان داده شده است. بر این اساس، حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی بر مبنای خاک خشک شده در آون و مینروژنیک در افق Bt نیم‌رخ ۱۲ به ترتیب ۱۰۶ و۱۳۲/۴ و حداقل آن در افق C نیم‌رخ ۱ ، به ترتیب ۵ و ۹/۹ مشاهده گردید.

نسبت میان $\chi_{lf}^{m}/\chi_{lf}^{od}$ بیانگر اثر حضور مواد دیامگنتیک و پویای کربنات کلسیم، گچ و مادهٔ آلی می‌باشد. حداکثر نسبت $\chi_{lf}^{m}/\chi_{lf}^{od}$ در افق Bky3 نیم‌رخ ۱۴ به میزان ۶/۱ و حد اقل آن به میزان ۱/۲ در افق Ap نیم‌رخ ۱۱، مشاهده گردیده است. بالاتر بودن این نسبت بیانگر بیشتر بودن مجموع کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی در این خاک‌ها می‌باشد.

در اکثر نیم‌رخ‌های مطالعه شده (به جز نیم‌رخ‌های ۷، ۸، ۱۱ و ۱۲) با افزایش عمق، میزان پذیرفتاری مغناطیسی کاهش یافته است (جدول ۳). به طور کلی تغییرات عمودی پذیرفتاری مغناطیسی در طول نیم‌رخ خاک به میزان زیادی به تبدیل در جای اکسیدهای غیر مغناطیسی آهن به بلورهای بسیار ریز فری- مگنتیت بستگی دارد. محلول شدن Fe^{+2} و متعاقب آن رسوب مجدد به صورت فرم‌های مغناطیسی‌تر از عوامل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک می‌باشد (۱۰). بر طبق نظر گریملی و همکاران (۱۳) افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در لایه‌های سطح خاک به میزان زیادی به تبدیل در جای اکسیدهای آهن غیر مغناطیسی و اکسی هیدروکسیدهای آهن به ریز بلورهای فری مگنتیک بستگی دارد.

در سایر نیم‌رخ‌هایی که حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی در افق B مشاهده گردید، به نظر می‌رسد که آبشوئی ذرات بسیار ریز فری- مگنتیت و انتقال آنها از افق سطحی به افق B، خصوصاً در خاک‌های الفی سول، دلیل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی بوده است. گاهی نیز عواملی مانند انقطاع سنگی، پوشیده شدن خاک با رسوبات جدید و یا اختلاط خاک به صورت طبیعی یا تحت تأثیر دخالت انسان، می‌تواند عاملی برای عدم یکنواختی کاهش پذیرفتاری مغناطیسی با عمق باشد (۲۲).

خاک‌های هیدرومورفیک با زه‌کشی ضعیف منجر به ایجاد شرائط بی هوازی و عدم تبدیل کانی‌های پارامگنتیک و کنتد آنتی فرومگنتیک (مانند لپیدوکروسیت و گوئتیت) به کانی‌های

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

جدول۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیم‌رخ‌های مطالعه شده

افق	عمق (cm)	درصد توزیع ذرات خاک: شن	سیلت	رس	pH	هدایت الکتریکی dSm^{-1}	ظرفیت تبادل کاتیونی $cmol_c\ kg^{-1}$	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل (%)	گچ
					نیم رخ ۱- Typic Haplocalcids					
Ap	۰-۲۵	۳۹	۳۴	۲۷	۷/۹۰	۲/۹	۱۲	۰/۵	۴۱/۰	-
Bk	۲۵-۶۰	۴۳	۲۱	۳۶	۸/۰	۱/۰	۱۴	۰/۲۵	۳۷/۰	-
C	۶۰-۱۰۰	۵۷	۱۷	۲۶	۸/۲	۰/۸	۹	۰/۱۵	۴۹/۰	-
					نیم رخ ۲- Calcic Haploxeralfs					
Ap	۰-۲۰	۳۱	۴۷	۲۲	۷/۶	۰/۴	۱۷/۳	۰/۷۵	۳۱/۰	-
Bt	۲۰-۷۵	۲۷	۴۶	۲۷	۷/۷	۰/۳	۲۰/۸	۰/۴۵	۳۸/۳	-
Btk1	۷۵-۱۰۰	۲۱	۴۵	۳۴	۷/۷	۰/۳	۲۵/۲	۰/۳	۴۳/۹	-
Btk2	۱۰۰-۱۳۵	۲۴	۴۱	۳۵	۷/۸	۰/۲	۳۰/۰	۰/۱۵	۵۴/۰	-
					نیم رخ ۳- Calcic Haploxeralfs					
Ap	۰-۳۰	۱۱	۵۰	۳۹	۷/۴	۱/۲۵	۱۶/۲	۰/۹	۳۶/۰	-
Bt	۳۰-۵۵	۱۰	۳۹	۵۱	۷/۷	۰/۹۵	۱۴/۹	۰/۶	۳۸/۲	-
Btk1	۵۵-۹۰	۷	۴۸	۴۵	۷/۷	۰/۷۰	۱۳/۵	۰/۵	۳۹/۱	-
Btk2	۹۰-۱۱۵	۸	۵۰	۴۲	۷/۸	۰/۴	۱۲/۳	۰/۵	۴۲/۷	-
C	۱۱۵-۱۴۰	۱۲	۶۲	۲۶	۷/۹	۰/۵	۱۱/۱	۰/۲	۴۵/۰	-
					نیم رخ ۴- Typic Calcixerepts					
Ap	۰-۳۰	۳۵	۳۵	۳۰	۸/۰	۰/۵۹	۲۲/۴	۱/۲	۱۷/۰	-
Bk1	۳۰-۵۵	۲۱	۳۹	۴۰	۸/۰	۰/۵۲	۲۱/۳	۰/۶۵	۲۸/۰	-
Bk2	۵۵-۱۱۰	۱۹	۴۶	۲۵	۸/۱	۰/۵۰	۱۵/۶	۰/۲۵	۳۰/۴	-
C	۱۱۰-۱۶۰	۳۳	۵۱	۱۶	۸/۴	۰/۵۵	۱۳/۳	۰/۱	۳۷/۵	-
					نیم رخ ۵- Typic Calcixerepts					
A	۰-۱۵	۳۴	۴۴	۲۲	۷/۷	۰/۷۴	۱۶/۸	۱/۳	۲۹/۰	۱/۰
Byk	۱۵-۴۵	۳۰	۳۲	۳۸	۸/۱	۰/۳۵	۲۰/۷	۰/۶۷	۳۶/۰	۵/۱
Bk1	۴۵-۷۰	۲۹	۳۲	۳۹	۸/۱	۰/۲۷	۱۹/۳	۰/۴۱	۴۲/۰	۱/۳
Bk2	۷۰-۱۴۰	۴۰	۳۱	۲۹	۸/۲	۰/۴۳	۱۷/۱	۰/۳۴	۴۸/۰	۰/۷
					نیم رخ ۶- Typic Aquisalids					
Az	۰-۲۰	۵۴	۲۶	۲۰	۷/۲۵	۴۶/۳	۴/۵	۰/۶	۲۳/۰	۰/۵
Bz1	۲۰-۴۵	۵۹	۲۵	۱۶	۷/۴	۶۱/۲	۴/۱	۰/۴	۲۴/۵	۰/۷
Cz1	۴۵-۶۵	۶۲	۲۱	۱۷	۷/۷	۵۵/۵	۳/۹	۰/۲	۳۲/۳	۰/۲
Cz2	۶۵-۹۰	۶۷	۱۸	۱۵	۸/۰	۴۸/۳	۴/۴	-	۳۶/۱	-
C	۹۰-۱۳۰	۷۷	۱۰	۱۳	۸/۰	۵۴/۲	۳/۳	-	۴۱/۸	-

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

ادامه جدول ۲.

افق	عمق (cm)	درصد توزیع ذرات خاک: شن	سیلت	رس	پ هاش	هدایت الکتریکی dSm^{-1}	ظرفیت تبادل کاتیونی $cmol_c\ kg^{-1}$	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل (%)	گچ
					نیم رخ ۷- Aridic Calciustepts					
Ap	۰-۳۰	۲۳	۵۱	۲۶	۷/۸	۰/۶	۱۴/۵	۰/۵	۴۵/.	-
Bk1	۳۰-۶۵	۱۶	۵۴	۳۰	۸/۱	۰/۴	۱۶/۰	۰/۲	۵۸/۰	-
Bk2	۶۵-۱۰۰	۲۰	۵۳	۲۷	۸/۲	۰/۳	۱۶/۵	۰/۱	۵۹/۵	-
C	۱۰۰-۱۴۰	۲۲	۵۰	۲۸	۸/۱	۰/۳	۱۳/۸	۰/۱	۶۴/۵	-
					نیم رخ ۸- Gypsic Haplosalids					
Az	۰-۱۵	۳۰	۴۶	۲۴	۷/۳	۱۸۹	۱۱/۲	۱/۲۵	۲۶/۶	۲/۲
By1	۱۵-۴۵	۳۳	۳۰	۳۷	۷/۶	۲۵	۱۳/۳	۰/۵	۲۳/۴	۱۹/۷
By2	۴۵-۷۰	۳۲	۳۲	۳۶	۷/۷	۲۲	۱۱/۶	۰/۲	۲۵/۷	۱۶/۶
By3	۷۰-۱۴۰	۲۳	۴۷	۳۰	۷/۹	۲۳	۱۰/۲	۰/۱	۲۴/۰	۱۴/۸
					نیم رخ ۹- Typic Endoaqualfs					
Ap	۰-۲۰	۲۲	۴۶	۳۲	۷/۴	۰/۶	۲۳/۱	۱/۶	۵۲/۸	-
Btg	۲۰-۷۰	۱۴	۴۵	۴۱	۷/۵	۰/۵	۲۶/۷	۱/۳	۵۳/۰	-
Bg	۷۰-۱۱۵	۴۳	۲۹	۲۸	۷/۶	۰/۴	۱۸/۱	۱/۰	۶۴/۵	-
					نیم رخ ۱۰- Gypsic Calciustepts					
Ap	۰-۳۰	۲۷	۵۷	۱۶	۷/۶	۱/۲	۹/۹	۰/۵	۴۶/۵	۷/۶
Byk	۳۰-۵۵	۳۲	۵۲	۱۶	۷/۸	۱/۰	۱۱/۷	۰/۳	۴۷/۳	۸/۲
By1	۵۵-۱۱۰	۳۵	۴۴	۲۱	۷/۵	۲/۷	۱۰/۴	۰/۲	۴۴/۳	۱۹/۹
By2	۱۱۰-۱۶۰	۳۴	۴۹	۱۷	۷/۹	۳/۲	۸/۷	۰/۱	۳۵/۸	۲۷/۶
					نیم رخ ۱۱- Typic Argiustolls					
Ap	۰-۳۰	۲۳	۵۲	۲۵	۷/۶	۰/۷	۱۶/۹	۱/۵	۱۳/۳	-
Bt	۳۰-۷۰	۱۲	۴۵	۴۳	۷/۸	۰/۷	۱۹/۴	۰/۶	۱۹/۰	-
Btk	۷۰-۱۲۰	۱۷	۳۹	۴۴	۷/۸	۰/۵	۱۸/۳	۰/۲	۲۸/۶	-
					نیم رخ ۱۲- Calcic Argixerolls					
A	۰-۲۰	۳۰	۳۸	۳۲	۷/۱	۰/۳	۲۹/۳	۲/۱	۲۱/۰	-
Bt	۲۰-۴۵	۲۰	۳۴	۴۶	۷/۳	۰/۲	۳۴/۵	۱/۴۳	۱۷/۵	-
Btk	۴۵ -۸۰	۲۵	۳۴	۴۱	۷/۵	۰/۲	۲۷/۹	۰/۶	۲۶/۳	-
C	۸۰-۱۲۰	۴۲	۳۰	۲۸	۷/۶	۰/۱	۲۶/۶	۰/۲	۵۵/۰	

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

ادامه جدول ۲.

افق	عمق (cm)	درصد توزیع ذرات خاک: شن	سیلت	رس	pH	هدایت الکتریکی dSm^{-1}	ظرفیت تبادل کاتیونی $cmol_c\ kg^{-1}$	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل %	گچ
نیم رخ ۱۳- Calcic Haploxeralfs										
Ap	۰-۲۵	۲۰	۴۷	۳۳	۷/۸	۰/۸	۱۳/۴	۰/۵	۳۹/۳	۰/۷
Btk	۲۵-۵۰	۹	۴۲	۴۹	۸/۱	۱/۳	۱۷/۱	۰/۳	۴۴/۱	۱/۱
Byk	۵۰-۸۰	۳۰	۳۶	۳۴	۸/۲	۳/۳	۱۴/۷	۰/۲	۳۵/۵	۱۱/۹
By	۸۰-۱۳۰	۳۲	۴۴	۲۴	۷/۹	۴/۶	۱۱/۱	۰/۱	۳۴/۶	۱۹/۲
نیم رخ ۱۴- Gypsic Calciustepts										
Ap	۰-۲۰	۲۷	۵۰	۲۳	۷/۵	۴/۴	۱۱/۷	۱/۴	۴۱/۳	۲۵/۰
Byk1	۲۰-۴۰	۲۲	۳۶	۴۲	۸/۰	۸/۳	۱۵/۹	۰/۷	۴۵/۰	۳۶/۳
Byk2	۴۰-۸۰	۳۶	۲۰	۴۴	۸/۱	۱۱/۵	۱۱/۷	۰/۵	۴۰/۰	۴۲/۰
Byk3	۸۰-۱۲۰	۲۶	۲۳	۵۱	۸/۲	۱۲/۷	۱۲/۶	۰/۱	۴۲/۵	۴۱/۰

فری مگنتیک (مانند مگنتیت و مگهمیت) می‌شود. چنین شرائطی در نیم‌رخ شماره ۹ در منطقه دشت ارژن مشاهده گردید که به رغم بارندگی نسبتاً مناسب، میزان زیاد رس و تکامل خاک، دارای پذیرفتاری مغناطیسی اندکی می‌باشد. کاهش میزان تشکیل اکسیدهای بلورین آهن در خاک‌های با زه‌کشی ضعیف، منجر به افزایش نسبت میزان ترکیبات آهن بی شکل و آلی به ترکیبات بلورین آهن می‌شود (۸، ۱۳، ۲۳ و ۲۴).

بیشترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در میان خاک‌های مطالعه شده در نیم‌رخ ۱۲ در منطقهٔ دشتک سپیدان مشاهده گردید. عواملی که احتمالاً موجب این افزایش گردیده است از جمله شامل بارندگی زیاد، پایداری ژئومورفیک (فیزیوگرافی دشت مرتفع)، مادهٔ آلی نسبتاً زیاد در سطح خاک، زه‌کشی مناسب، آبشوئی نسبتاً زیاد کربنات کلسیم از سطح و تکامل نسبتاً زیاد می‌باشند (جدول های ۱ و ۲).

افزایش بارندگی (رطوبت) علاوه بر افزایش میزان سرعت هوادیدگی و آبشوئی مواد، موجب آزاد سازی بیشتر ترکیبات آهن از ساختار کانی‌ها و افزایش نسبی آنها در نیم‌رخ خاک می‌گردد. به علاوه بیشتر بودن بارندگی موجب افزایش تراکم پوشش گیاهی و ازدیاد فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تشکیل بیشتر کانی‌های فرو مگنتیک و در مجموع افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها می‌گردد (۷).

میزان کاهش پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD بین ۲۳% در افق Byk3 نیم‌رخ ۱۴ تا ۹۱/۱% در افق Bt نیم‌رخ ۱۲ متغیر بوده است. همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید شرایطی مانند

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

جدول ۳. برخی خصوصیات پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مطالعه شده*

افق	χ_{lf}^{od}	χ_{lf}^{m}	$\chi_{lf}^{m}{}_{(CBD)}$	$\%\Delta\chi_{lf}$	$^{x}\%\chi_{fd}$	$\%\chi_{fd(CBD)}$	$\%\Delta\chi_{fd}$
نیم رخ ۱- Typic Haplocalcids							
Ap	۱۲	۲۰/۶	۹/۴	۵۴/۵	۲/۹	۰/۹	۶۹/۰
Bk	۷	۱۱/۲	۵/۸	۴۸/۳	۲/۲	۰/۹	۵۷/۷
C	۵	۹/۹	۶/۱	۳۸/۶	۱/۱	۰/۶	۴۴/۱
نیم رخ ۲- Calcic Haploxeralfs							
Ap	۳۱	۴۵/۸	۱۵/۵	۶۶/۱	۵/۶	۱/۶	۷۱/۱
Bt	۳۱	۵۰/۹	۲۰/۴	۵۹/۹	۴/۳	۱/۷	۶۰/۷
Btk1	۲۷	۴۸/۶	۲۶/۹	۴۴/۷	۳/۸	۲/۰	۴۷/۱
Btk2	۲۵	۵۴/۷	۳۳/۲	۳۹/۲	۳/۳	۲/۳	۲۹/۲
نیم رخ ۳- Calcic Haploxeralfs							
Ap	۲۵	۴۰/۰	۲۰/۲	۴۹/۵	۲/۹	۱/۳	۵۵/۵
Bt	۲۳	۳۷/۹	۱۹/۶	۴۸/۱	۲/۷	۱/۳	۵۰/۱
Btk1	۱۹	۳۱/۶	۱۹/۷	۳۷/۶	۲/۷	۱/۶	۴۰/۴
Btk2	۱۷	۳۰/۱	۱۸/۶	۳۸/۳	۲/۵	۱/۶	۳۵/۷
C	۱۰	۱۸/۳	۱۱/۸	۳۵/۵	۱/۷	۱/۲	۲۷/۲
نیم رخ ۴- Typic Calcixerepts							
Ap	۲۳	۲۸/۴	۱۶/۱	۴۳/۲	۲/۷	۱/۶	۳۹/۳
Bk1	۱۹	۲۶/۸	۱۶/۴	۳۸/۸	۲/۶	۱/۶	۳۹/۶
Bk2	۱۴	۲۰/۲	۱۳/۸	۳۱/۷	۲/۲	۱/۵	۳۳/۲
C	۱۰	۱۶/۰	۱۱/۷	۲۷/۲	۲/۰	۱/۵	۲۵/۴
نیم رخ ۵- Typic Calcixerepts							
A	۱۹	۲۸/۰	۱۷/۳	۳۸/۳	۱/۳	۰/۷	۴۶/۲
Byk	۱۶	۲۷/۷	۱۷/۲	۳۷/۷	۱/۳	۰/۸	۳۹/۱
Bk1	۱۴	۲۴/۹	۱۶/۴	۳۳/۹	۱/۲	۰/۸	۳۵/۲
Bk2	۱۱	۲۱/۸	۱۴/۶	۳۳/۳	۰/۹	۰/۸	۳۰/۰
نیم رخ ۶- Typic Aquisalids							
Az	۱۶	۲۱/۲	۱۳/۵	۳۶/۳	۱/۴	۰/۸	۴۰/۸
Bz1	۱۳	۱۷/۵	۱۲/۴	۲۹/۴	۱/۲	۰/۸	۳۰/۲
Cz1	۱۲	۱۷/۹	۱۳/۰	۲۷/۱	۱/۰	۰/۷	۲۵/۱
Cz2	۱۲	۱۸/۸	۱۳/۴	۲۸/۸	۱/۱	۰/۸	۲۶/۸
C	۹	۱۵/۵	۱۱/۴	۲۶/۴	۰/۷	۰/۵	۲۲/۶

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

ادامه جدول ۳.

افق	χ_{lf}^{od}	χ_{lf}^{m}	χ_{lf}^{m} (CBD)	$\%\Delta\chi_{lf}$	$^{x}\%\chi_{fd}$	$\%\chi_{fd(CBD)}$	$\%\Delta\chi_{fd}$
نیم رخ ۷- Aridic Calciustepts							
Ap	۱۷	۳۱/۴	۱۹/۴	۳۸/۱	۱/۳	۰/۷	۴۴/۹
Bk1	۱۲	۲۸/۸	۱۸/۲	۳۶/۹	۱/۴	۰/۸	۴۰/۰
Bk2	۱۱	۲۷/۳	۱۸/۵	۳۲/۲	۱/۱	۰/۷	۳۵/۹
C	۹	۲۵/۵	۱۸/۳	۲۸/۲	۰/۶	۰/۴	۳۱/۴
نیم رخ ۸- Gypsic Haplosalids							
Az	۱۳	۱۸/۸	۱۳/۲	۲۹/۹	۱/۰	۰/۷	۲۹/۴
By1	۱۷	۳۰/۵	۲۲/۹	۲۵/۰	۱/۲	۰/۹	۲۷/۶
By2	۱۰	۱۷/۶	۱۳/۲	۲۴/۷	۰/۹	۰/۶	۲۸/۰
By3	۱۰	۱۶/۴	۱۲/۵	۲۴/۱	۰/۵	۰/۴	۲۴/۷
نیم رخ ۹- Typic Endoaqualfs							
Ap	۱۱	۲۴/۸	۷/۲	۷۱/۰	۱/۲	۰/۵	۵۹/۳
Btg	۹	۲۰/۱	۵/۰	۷۵/۳	۰/۸	۰/۳	۶۴/۳
Bg	۸	۲۳/۷	۸/۳	۶۵/۱	۰/۵	۰/۳	۴۲/۹
نیم رخ ۱۰- Gypsic Calciustepts							
Ap	۲۸	۶۲/۷	۲۸/۷	۵۴/۲	۲/۱	۰/۸	۶۱/۱
Byk	۲۵	۵۶/۶	۲۸/۳	۵۰/۰	۱/۵	۰/۷	۵۴/۷
By1	۲۰	۵۶/۶	۳۶/۱	۳۶/۲	۰/۶	۰/۴	۳۸/۴
By2	۱۷	۴۷/۲	۳۰/۶	۳۵/۱	۰/۶	۰/۴	۳۲/۲
نیم رخ ۱۱- Typic Argiustolls							
Ap	۳۹	۴۶/۴	۱۶/۷	۶۴/۰	۴/۸	۲/۰	۵۷/۳
Bt	۴۷	۵۸/۸	۲۲/۹	۶۱/۱	۴/۷	۲/۲	۵۲/۴
Btk	۳۱	۴۳/۶	۲۲/۱	۴۹/۴	۲/۹	۱/۶	۴۳/۳
نیم رخ ۱۲- Calcic Argixerolls							
A	۵۶	۷۴/۳	۱۰/۳	۸۶/۱	۸/۷	۱/۸	۷۹/۵
Bt	۱۰۶	۱۳۲/۴	۱۱/۸	۹۱/۱	۱۰/۷	۱/۲	۸۸/۸
Btk	۷۸	۱۰۷/۳	۱۸/۲	۸۳/۰	۶/۹	۱/۴	۸۰/۱
C	۱۸	۴۰/۳	۱۹/۶	۵۱/۴	۶/۱	۲/۹	۵۲/۳
نیم رخ ۱۳- Calcic Haploxeralfs							
Ap	۲۸	۴۷/۳	۲۷/۷	۴۱/۵	۱/۹	۱/۱	۴۴/۴
Btk	۲۶	۴۷/۸	۲۸/۷	۴۰/۰	۱/۴	۰/۸	۴۴/۳
Byk	۲۱	۴۰/۳	۲۶/۹	۳۳/۳	۱/۰	۰/۷	۳۱/۰
By	۱۶	۳۵/۴	۲۴/۴	۳۱/۱	۰/۶	۰/۵	۲۴/۹

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

ادامه جدول ۳.

افق	χ_{lf}^{od}	χ_{lf}^{m}	$\chi_{lf}^{m}{}_{(CBD)}$	$\%\Delta\chi_{lf}$	$^{x}\%\chi_{fd}$	$\%\chi_{fd(CBD)}$	$\%\Delta\chi_{fd}$
نیم رخ ۱۴- Gypsic Calciustepts							
Ap	۱۲	۳۹/۶	۲۸/۱	۲۹/۱	۱/۲	۰/۸	۳۰/۲
Byk1	۹	۵۰/۶	۳۷/۱	۲۶/۶	۰/۴	۰/۳	۲۵/۰
Byk2	۸	۴۶/۷	۳۴/۴	۲۶/۳	۰/۳	۰/۲	۲۴/۱
Byk3	۶	۳۶/۷	۲۸/۳	۲۳/۰	۰/۱	۰/۱	۲۲/۲

بارندگی مناسب، میزان کافی مواد آلی، فیزیوگرافی پایدار و زه‌کشی خوب از جمله مواردی هستند که احتمالاً در منطقه دشتک سپیدان منجر به افزایش تشکیل ذرات آهن مغناطیسی پدوژنیک گردیده است. در مقابل نیز در اغلب مناطق با بارندگی اندک و تکامل پروفیلی کمتر، تغییرات میزان پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD به حداقل رسیده است. فنگ و جانسون (۹) و مالینز (۲۰) ارتباط برخی عوامل خاک ساز به ویژه اقلیم را بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی خاک بررسی نموده‌اند و گزارش‌های مشابهی را ارائه نموده‌اند. اولیائی و همکاران (۱) در مطالعه منشاء پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مناطق مختلف اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد، ۲۶ تا ۹۳ درصد کاهش در میزان پذیرفتاری مغناطیسی را پس از تیمار CBD، مشاهده نمودند. در مطالعه نامبردگان، مقادیر بیشتر کاهش، در خاک‌های با تکامل پروفیلی بیشتر و عمدتاً در سطح خاک گزارش گردیده است.

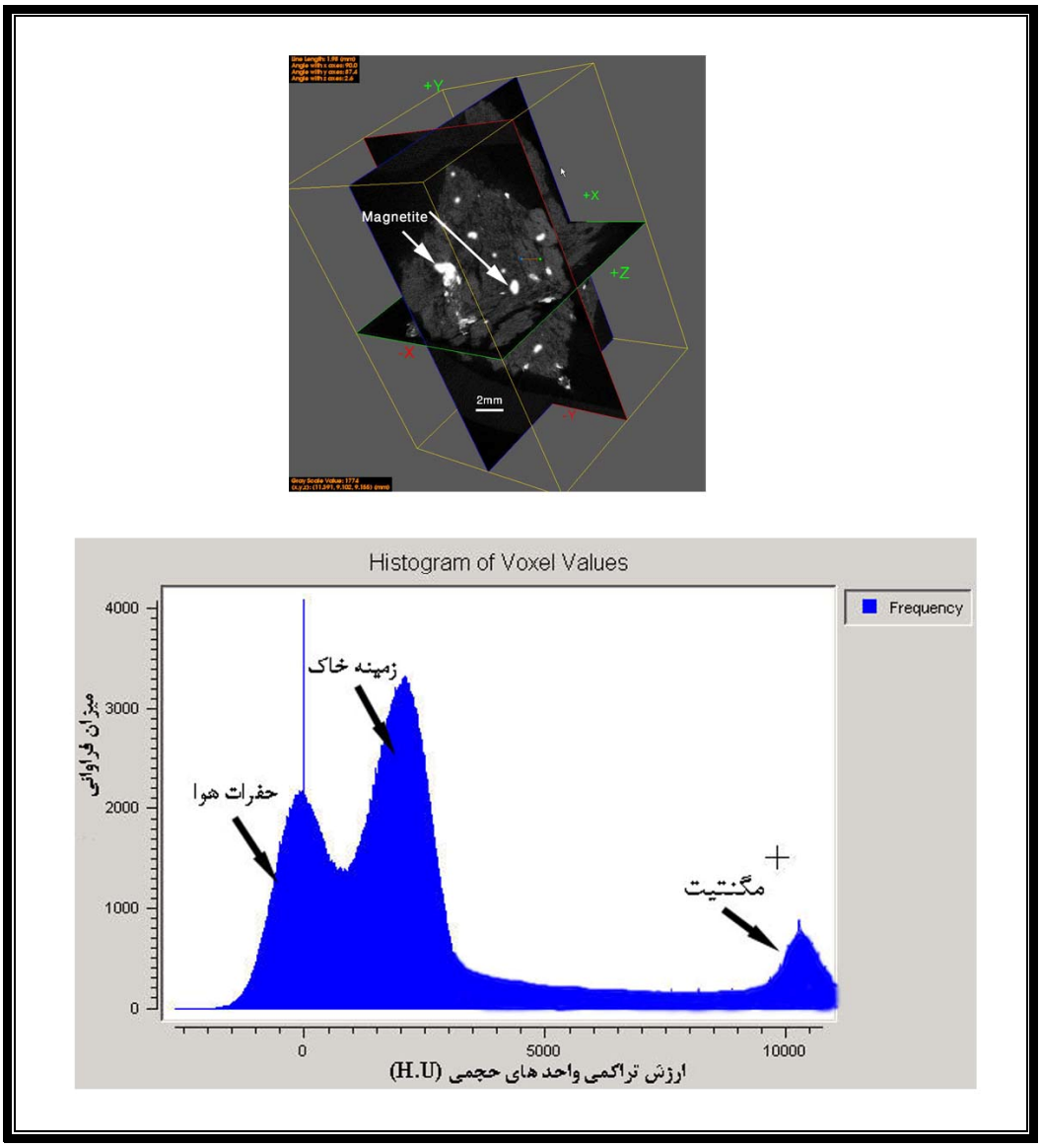
در تمامی نیم‌رخ‌ها به جز نیم‌رخ‌های ۹ و ۱۲ با افزایش عمق درصد کاهش پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD کاهش یافته است که نشان‌دهنده بیشتر بودن تأثیر فرایندهای هوادیدگی در سطح خاک می‌باشد که موجب آزاد سازی بیشتر ترکیبات آهن از داخل کانی‌های خاک و تشکیل پدوژنیک آنها گردیده است. مطالعات مشابه در کهگیلویه و بویراحمد نتائج نسبتاً مشابهی را نشان داده است (۱ و ۲۳).

نیم‌رخ‌های ۹ و ۱۲ نیز در مناطق نسبتاً پر باران می‌باشند که احتمالاً بارندگی زیاد موجب آبشوئی ترکیبات آهن پدوژنیک تشکیل شده در سطح خاک به افق B گردیده است. درصد نسبتاً بالای کاهش میزان پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD در نیم‌رخ ۹ که دارای شرائط زه‌کشی ضعیف می‌باشد، احتمالاً به دلیل زیاد بودن ترکیبات بی شکل و آلی آهن می‌باشد که هر دوی این ترکیبات توسط تیمار CBD از خاک خارج می‌شوند. این میزان کاهش در نیم‌رخ ۶ که به میزان کمتری دارای شرایط اکوئیک بوده، کمتر بوده است. بر طبق نظریات فنگ و جانسون (۹) و گریملی و همکاران (۱۳) خاک‌های با زه‌کشی مناسب معمولاً دارای پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به خاک‌های با زه‌کشی ضعیف می‌باشند. بر طبق نظر نامبردگان شرائط بی‌هوازی منجر به عدم تبدیل کانی‌های پارامگنتیک و کنتد آنتی فرومگنتیک (مانند لپیدوکروسیت و گوئتیت) به کانی‌های فری مگنتیک (مانند مگنتیت و مگهمیت) می‌شود.

مقدار پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در دامنه ۰/۱ در افق Byk3 نیم‌رخ ۱۴ تا ۱۰/۷ در افق Bt نیم‌رخ ۱۲ متغیر بوده است. همان‌گونه که در قسمت قبلی بیان گردید، بیشتر بودن این عامل نشان دهنده نقش بیشتر ذرات مغناطیسی کوچک‌تر از ۰/۰۳ میکرومتر (عمدتاً پدوژنیک) در پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشد. درصد کاهش پذیرفتاری مغناطیسی وابسته

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]



شکل ۲ (بالا). تصویر سه بعدی میکروکت اسکن (توان تفکیک ۳۳ میکرومتر) نشان‌دهنده آرایش اجزاء نمونه دست نخورده خاک افق Byk2 نیم رخ ۱۴، نقاط سفید رنگ مربوط به حضور مگنتیت با درجه تراکم بسیار بیشتر از زمینه خاک می‌باشد. (پائین)- هیستوگرام توزیع تراکمی واحدهای حجمی (voxel) موجود در این خاک براساس شاخص تراکمی HU.

به فرکانس پس از تیمار CBD نیز در دامنه ۲۲/۲ تا ۸۸/۸ در صد بوده است.

نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار میان در صد کاهش پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD (χ_{fd}%) و در صد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ_{fd}%) در خاک‌های مطالعه شده وجود دارد. این ارتباط به وسیلهٔ معادلهٔ زیر بیان می‌گردد:

$$\%\Delta\chi_{lf} = 0.09\ (\%\chi_{fd}) - 1.91\ ,\ n=55\ ,\ R^2=0.58\ ,\ P<0.01$$

این رابطه بیان گر این مطلب است که ترکیبات مغناطیسی پدوژنیک عمدتاً در دامنه اندازه ای کوچک‌تر از ۰/۰۳ میکرومتر می‌باشند، چرا که خروج آنها به میزان زیادی بر روی پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس تأثیر گذار بوده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

است. موارد مشابهی توسط سایر محققان در خاک‌های استان کهگیلویه و بویر احمد گزارش شده است (۲۳). نیم‌رخ‌های خاک شماره ۸، ۱۰ و ۱۴ روی رسوبات گچی سازند های گچساران، رازک و آغاجاری تشکیل شده‌اند. این سازندها متشکل از رسوبات تبخیری ضخیم و گسترده همراه با لایه‌های ژیپس با میان لایه‌های مارن قرمز و خاکستری و اکسید مغناطیسی آهن (مگنتیت با فرمول شیمیایی Fe_3O_4) می‌باشند.

ترکیبات پدوژنیک فری مگنتیک از جمله مگهمیت از نظر اندازه بسیار کوچک‌تر از فری مگنتیک‌های توارثی از جمله مگنتیت می‌باشند(۲۶). این ذرات مگنتیت عمدتاً در ابعاد سیلت، شن و درشت‌تر بوده و به راحتی به وسیله آهن ربا از خاک و یا سنگ مادر هوا دیده خارج می‌شوند. تیمار CBD توانایی انحلال و خروج این ترکیب اکسید آهن را از خاک ندارد، به همین دلیل تیمار CBD کمترین اثر را بر کاهش پذیرفتاری مغناطیسی این خاک‌ها داشته است .

تصاویر به دست آمده توسط میکروکت اسکن حضور این ترکیبات را که دارای تراکم و دانسیته بسیار زیادتری نسبت به زمینه خاک داشته‌اند را نشان می‌دهد (شکل ۲ بالا). به طور کلی درجه تراکم زمینه خاک‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص H.U. در دامنه تقریبی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ بوده است در حالی که این شاخص برای ذرات مگنتیت در دامنه ۱۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ بوده است که بسیار بیشتر از زمینه خاک می‌باشد. هیستوگرام توزیع تراکمی نمونه خاک دست نخورده نیم‌رخ شماره ۱۴ حاوی مگنتیت، حضور این ماده را نشان می‌دهد (شکل ۲ پایین).

همچنین عدم مشاهده نقاط متراکم و با دانسیته بالا در خاک‌های با حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی توسط این دستگاه حتی با قدرت تفکیک ۱۰ میکرومتر، نشان دهنده کوچک‌تر بودن اندازه این ترکیبات از توان تفکیک دستگاه می‌باشد. با افزایش فن آوری در ساخت دستگاه‌های میکروکت اسکن و افزوده شدن به قدرت تفکیک تصاویر به دست آمده از آن می‌توان مستقیماً حضور ترکیبات مغناطیسی پدوژنیک را در خاک مشاهده نمود. نتایج مشابهی در خاک‌های گچی استان کهگیلویه و بویراحمد نیز گزارش شده است (۱ و ۲۴).

نتیجه‌گیری

نتائج این پژوهش نشان داد که تکامل بیشتر خاک در نتیجه تأثیر عوامل خاک‌ساز به ویژه اقلیم، عامل مهمی در تغییرات میزان اکسیدهای مغناطیسی آهن فری مگنتیک از نوع پدوژنیک بوده است. بر این اساس میزان کاهش پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD در خاک‌های تکامل یافته تر نسبت به خاک‌های کمتر تکامل یافته و همچنین در افق‌های سطحی نسبت به افق‌های زیرین، بیشتر بوده است. به علاوه کاهش پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس که بیانگر اهمیت نسبی ذرات بسیار ریز مغناطیسی پدوژنیک می‌باشد، پس از تیمار CBD روند نسبتاً مشابهی را با پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مورد مطالعه نشان داد. رابطه ای مثبت و معنی‌دار میان در صد کاهش پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD و در صد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در خاک‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. تصاویر به دست آمده از میکرو کت اسکن با قدرت تفکیک ۳۳ میکرومتر امکان مشاهده ترکیبات اکسید آهن مغناطیسی لیتوژنیک را در مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده روی سازندهای گچی استان فراهم نمود. با توجه به مزایای نسبی اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی که در مقدمه بر شمرده شد و مطالعات اندک انجام شده بر روی خاک‌های ایران، نیاز به تحقیق بیشتر در مورد عوامل مؤثر بر تغییرات این عامل ضروری به نظر می‌رسد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

منابع مورد استفاده

۱. اولیائی، ح.، ع. ابطحی و ر. ج. هک. ۱۳۸۴. بررسی منشاء و اثرات تیمارهای حرارتی بر قابلیت مغناطیسی خاک‌های استان کهگیلویه و بویر احمد. خلاصه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه تهران. صفحه ۳۴۶-۳۴۷.

۲. بنائی، م. ح. ۱۳۷۸. نقشهٔ رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، وزارت جهاد کشاورزی، ایران.

۳. ترابی گل سفیدی، ح. و م. کریمیان اقبال. ۱۳۸۱. مطالعه و بررسی تکامل خاک با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی در حاشیه رودخانه سفیدرود در گیلان. مجله علوم خاک و آب ۱۶ (۲): ۲۰۶-۲۱۳.

4. Blume, H.P. and U. Schwertmann. 1969. Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe and Mn oxides. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 438-444.
5. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In*: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. PP. 545-567. *In*: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI.
7. 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. Intern. 127: 728-734.
8. De Jong, E., D.J. Pennock and P.A. Nestor. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. Catena 40: 291-305.
9. Feng, Z.D. and W.C. Johnson. 1995. Factors affecting the magnetic susceptibility of a loess-soil sequence, Barton County, Kansas, USA. Catena 24: 25-37.
10. Fine, P., M.J. Singer, R. Laven, K. Verosub and R.J. Southard. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. Geoderma 44: 287- 306.
11. Fine, P., M.J. Singer and K.L. Verosub. 1992. The use of magnetic susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1195-1199.
12. Fine, P., K.L. Verosub and M.J. Singer. 1995. Pedogenic and lithogenic contributions to the magnetic susceptibility record of the Chinese loess paleosol sequence. Geophysical Journal International. 122: 97-107.
13. Grimley, D.A., N.K. Arruda and M.W. Bramstedt. 2004. Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the Midwestern USA. Catena 58: 183-213.
14. Holmgren, G.G.S. 1976. A rapid citrate-dithionate extractable iron procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 210-211.
15. Hounsfield, G.N. 1973. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. description of system, Br. J. Radiol. 46: 1016-1022.
16. Jackson, M.L. 1975. Soil chemical analysis-advanced course. Univ. of Wisconsin, College of Agric., Dept. of Soil Sci. Madison, WI.
17. Ketchman, R. and W.D. Carlson. 2001. Acquisition, optimization and interpretation of X-ray tomographic imagery: application to geosciences. Comp. Geosci. 27: 381-400.
18. McKeague, J.A. and J.H. Day. 1966. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. Can. J. Soil Sci. 46: 13-22.
19. McKeague, J. A., J.E. Brydon and N.M. Miles. 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 38-53.
20. Mullins, C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. J. Soil Sci. 28: 223-246.
21. Nafeh, M.H. and M.K. Brussel. 1985. Electricity and magnetism. John Wiley & Sons Pub., New York.
22. Oades, J.M. 1963. The nature and distribution of iron compounds in soils. Soils and Fert. 26: 69-80.
23. Owliaie, H.R., R.J. Heck and A. Abtahi. 2006a. The magnetic susceptibility of soils in Kohgilouye, Iran. Canadian J. Soil Sci. 86: 97-107.
24. Owliaie, H.R., R.J., Heck and A. Abtahi. 2006b. Distribution of magnetic susceptibility in Kohgilouye Boyerahmad soils, southwestern Iran. Proceeding of 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia, Pennsylvania. USA.
25. Richards, L.A. (ed.). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handb. No. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
26. Schwertmann, U. and R.M. Taylor. 1989. Iron oxides. PP. 379-438. *In*: Dixon, J.B. and S.B. Weed, (Eds.), Minerals in soil environment. Soil Science Society of America, Madison, USA.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]

27. Singer, M.J. and P. Fine. 1989. Pedogenic factors affecting magnetic susceptibility of California soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1119-1127.
28. Soil Survey Staff, 1993. Soil Survey Manual. USDA. Handbook No. 18. Washington, DC.
29. Soil Survey Staff, 2006. Keys to Soil Taxonomy. USDA, NRCS. Washington, DC.
30. Thomasson, A.J. and P. Bullock. 1975. Pedology and hydrology of some surface water gley soils. Soil Sci. 119: 339-348.
31. Thompson, R. and F. Oldfield. 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin, London.
32. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1945. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Handbook 60, Washington D.C.
33. Verosub, K.L., P. Fine, M.J. Singer and J. TenPas. 1993. Pedogenesis and paleoclimate: Interpretation of the magnetic susceptibility record of Chinese loess-paleosol sequences. Geology 21: 1011-1014.
34. Walker A.L. 1983. The effects of magnetite on oxalate- and dithionite-extractable iron. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1022-1026.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.57.6]