

## مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های یک ردیف پستی و بلندی

### مطالعه موردی: دشت بشار، استان کهگیلویه

محمود انجوی نژاد<sup>۱</sup> - حمیدرضا اولیایی<sup>۲\*</sup> - ابراهیم ادهمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۱

### چکیده

پذیرفتاری مغناطیسی ( $\chi$ ) به میزان گسترده‌ای جهت ارزیابی تکامل خاک‌ها استفاده می‌شود. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی روشی سریع، غیر تخریبی، ساده و نسبتاً ارزان می‌باشد و در مطالعات مرتبط با پیدایش خاک کاربرد زیادی دارد. از سوی دیگر توالی پستی و بلندی نیز می‌تواند بیانگر تکامل خاک در واحدهای مرتبط با آن باشد. بنابراین به منظور اطلاع از ارتباط بین پذیرفتاری مغناطیسی خاک با میزان تکامل خاک در یک ردیف پستی و بلندی، ۱۱ خاک‌ها در واحدهای مختلف فیزیوگرافی در دشت بشار یاسوج حفر و نمونه‌برداری انجام شد. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های خاک در فرکانس‌های ۴۶ و ۴/۶ کیلوهرتز اندازه‌گیری شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که پستی و بلندی، وضعیت زهکشی و کاربری از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه بوده‌اند. در اغلب خاک‌های مطالعه‌شده مقدار  $\chi$  با افزایش عمق کاهش می‌یابد و در برخی خاک‌ها میزان  $\chi$  به دلیل انتقال ذرات ریز فرومگنتیک به همراه ذرات رس در افق B حداکثر بوده‌است. بیشترین مقدار پذیرفتاری (به میزان  $52.7 \times 10^{-8}$  SI) به طور عمده در خاک‌هایی واقع بر سطوح پایدارتر، شرایط زهکشی بهتر و تکامل نسبی بیشتر مشاهده شد. توزیع آهن پدوژنیک ( $Fe_d$ ) به میزان زیادی در خاک‌ها با توزیع پذیرفتاری همبستگی نشان داد ( $R^2=0.61$ ). رابطه مثبت و معنی داری بین  $\chi$  و  $Fe_d$  و همچنین با آهن عصاره‌گیری‌شده با اسید نیتریک ( $Fe_n$ ) یا آهن شبه‌کل مشاهده شد. شرایط اکوییک در خاک‌های مورد مطالعه موجب کاهش پذیرفتاری، میزان  $Fe_d$  و نسبت  $Fe_d/Fe_n$  به ترتیب به میزان ۴۳، ۴۴ و ۶۵ درصد شده‌است. این شرایط تفاوت محسوس بر میزان آهن شبه‌کل نداشته‌است.

واژه‌های کلیدی: اکسید آهن، تکامل خاک، شرایط اکوییک، کاربری اراضی

### مقدمه

بلندی اشاره به پیکره‌بندی سطح زمین دارد که شامل تفاوت در ارتفاع موقعیت‌ها و شکل کلی سطح زمین می‌باشد. این ویژگی‌ها بطور غیرمستقیم با تأثیر بر چگونگی آب و هوا، چگونگی تابش خورشید، بارش، باد و توسعه خاک اثر می‌کند (۳۷). همچنین پستی و بلندی، یکی از عوامل منطقه‌ای است که در قالب ارتفاع، موقعیت، جهت و درصد شیب و زهکشی طبیعی تأثیر مستقیم و غیر مستقیمی بر فرایندهای تشکیل، تکامل و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله رنگ، درصد رس، مواد آلی، واکنش خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم و کانی‌شناسی و حتی عناصر غذایی مانند فسفر و آهن دارد (۴۲). محسوس‌ترین اثر پستی و بلندی در تشکیل خاک در نواحی کوهستانی مشاهده می‌شود. در این مناطق فرسایش، فرآورده‌های حاصل از هوازدگی شیب‌ها را برداشت و در اراضی مسطح پایین‌دست به جا می‌گذارد و بدین ترتیب منجر به افزایش عمق خاک خواهد شد (۳۳). در مطالعات انجام شده توسط بولینگ و همکاران (۳) درباره اثر موقعیت پستی و بلندی بر خصوصیات خاک، هیدرولوژی و محصول اراضی دیم و پست تحت کشت برنج، واقع در

خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی، جایگاه ویژه‌ای را در اکوسیستم کره زمین عهده‌دار است. بررسی و مطالعه خاک‌های هر منطقه از جمله کارهای اساسی و زیربنایی هر پروژه کشاورزی و تحقیقاتی می‌باشد. خاک یک عامل مهم در تولید محصولات کشاورزی بوده و یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور محسوب می‌شود و در بارور نمودن اقتصاد هر کشور بسیار موثر است. بررسی چگونگی تکوین و تکامل خاک به عنوان مطالعه بنیادین و پایه مطرح گردیده است.

پستی و بلندی یکی از عوامل تأثیرگذار بر تحول خاک شناخته شده و در بسیاری از مدل‌های خاکسازي منظور گردیده است. پستی و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج

\* - نویسنده مسئول:

(Email: Owliaie@yu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v31i2.53341

یک یا چند شکل و به مقادیر مختلف وجود دارند (۳۲). رفتارهای مغناطیسی در اجسام به پنج دسته تقسیم می‌شوند که بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی و به ترتیب نزولی شامل فرومگنتیسم (مانند آهن خالص)، فری‌مگنتیسم (مانند مگنتیت و مگهمیت)، کنتد آنتی فرومگنتیسم (مانند هماتیت و گوئیت)، پارامگنتیسم (مانند لپیدوکروسیت) و دیامگنتیسم (مانند کوارتز، آهک، گچ و ماده آلی) می‌باشد (۲۰). منبع اصلی پذیرفتاری در اغلب خاک‌ها کانی‌های فری‌مگنتیک مانند مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) و مگهمیت ( $\gamma Fe_2O_3$ ) می‌باشند. محیط‌های پدوژنتیکی بر پایداری و تبادلات این کانی‌ها در خاک تاثیر می‌گذارد (۳۲). خصوصیات فیزیکی کانی‌های مغناطیسی تابعی از نوع کانی، شکل بلور، اندازه آن و سایر عوامل می‌باشد (۲۰).

افزایش پذیرفتاری خاک اساساً به دلیل تشکیل پدوژنتیک کانی‌های فری‌مگنتیک می‌باشد که به میزان زیادی به عوامل خاک‌ساز شامل ماده مادری، آب وهوا، پستی و بلندی و پوشش گیاهی بستگی دارد (۱۳). پستی و بلندی با توجه به افزایش میزان پذیرفتاری مغناطیسی مهم است، زیرا ارتباط تنگاتنگی با زهکشی خاک و انتقال ذرات خاک دارد. مطالعات پذیرفتاری بر روی یک کاتنا، بر اساس اینکه کدام اندازه ذره بر بخش مغناطیسی تاثیر دارد، ارتباط‌های مختلفی را نشان می‌دهند. معمولاً میزان پذیرفتاری در پایین شیب به دلیل تحول در ماده مادری افزایش می‌یابد که این موضوع مرتبط با تغییرات بخش ریز خاک است (۱۱ و ۴۰). با این حال کاهش میزان پذیرفتاری به دلیل وجود پوشش روی ذرات درشت‌تر و در اندازه ذرات شن که حامل مواد پدوژنتیکی دارای قابلیت مغناطیسی است نیز مشاهده شده است (۱۲). کامارگو و همکاران (۵) در مطالعه ارتباط میان پذیرفتاری مغناطیسی در سطوح ژئومورفیک بر روی یک ترانسکت ۵۰۰ هکتاری در یک خاک اکسی‌سول در کشور برزیل مقادیر بالاتر پذیرفتاری مغناطیسی و اکسیدهای آهن را در سطوح قدیمی‌تر مشاهده نمودند. نامبردگان از ویژگی‌های مکانی مقادیر بالاتر پذیرفتاری مغناطیسی و اکسیدهای آهن جهت مرزبندی واحدها استفاده نمودند. سیکویرا و همکاران (۳۵) در مطالعه تغییرات مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و برخی عوامل خاکساز در یک چشم‌انداز در کشور برزیل، ارتباط معنی‌داری را میان برخی متغیرها از جمله میزان رس، طول موج رنگ خاک، شاخص پوشش گیاهی با پذیرفتاری مغناطیسی در واحدهای مختلف ژئومورفیک مشاهده نمودند. نتایج این تحقیق یک راهکار جدید برای نقشه‌برداری اراضی با الگوهای متفاوت از میزان اکسیدهای آهن پدوژنتیک ارائه نموده‌است.

فاین و همکاران (۱۵) گزارش نمودند که تکامل متوالی خاک منجر به پیشگویی یک الگوی توزیع پذیرفتاری در خاکرخ می‌شود. از آن جایی که پذیرفتاری افق‌های آبسته (الوویال) بیشتر از افق‌های ته‌نشستی (ایلوویال) می‌باشد، بنابراین میزان افزایش پذیرفتاری می‌تواند به عنوان شاخصی از میزان فرایندهای خاک‌سازی مطرح

جنوب شرق آسیا، مشخص شد که به دلیل شرایط ژئومورفیک، میزان رس در اراضی بالادست کمتر از اراضی پایین‌دست است، پتاسیم قابل تبادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی از بالای شیب به سمت پایین افزایش می‌یابد، در حالی که چگالی ظاهری از بالا به پایین کاهش می‌یابد، همچنین پهاش خاک در بالای شیب نسبت به وسط شیب کمتر است. سایر خصوصیات در قسمت‌های مختلف ردیف پستی و بلندی مشابه بودند.

استفاده از شاخص میزان آهن آزاد در خاک یکی از عوامل مناسب برای تعیین درجه تکامل خاک می‌باشد. در طی فرایند هودایدگی و تکامل خاک، آهن از مواد معدنی (کانی‌های اولیه) آزاد می‌گردد و این مواد ممکن است از خاک‌رخ خارج شده (در اثر آبشویی) و یا به شکل‌های مختلف در خاک باقی بمانند (۱). مقدار اکسیدهای آهن بلوری آزاد از اختلاف بین آهن متیلور (عصاره‌گیری شده با سیترات بیکربنات دی‌تیونات) و مقدار آهن بی‌شکل (عصاره‌گیری شده با اگزالات آمونیوم) بدست می‌آید که بصورت پدوژنتیکی تشکیل شده که با سن خاک افزایش می‌یابد (۳۹).

پذیرفتاری مغناطیسی یا قابلیت مغناطیسی شدن کمی است که میزان مغناطیسی شدن یک جسم در یک میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد و میزان این تاثیر تابع مقدار و نوع کانی‌های مغناطیسی است که در نمونه وجود دارد. این کمیت به صورت معادله زیر تعریف می‌شود:

$$K = \frac{H}{H_0} \quad (1)$$

در معادله فوق  $M$ ، میزان مغناطیس‌پذیری جسم،  $H$ ، شدت میدان مغناطیسی (هر دو برحسب آمپر بر متر) و  $K$  پذیرفتاری مغناطیسی حجمی است. پذیرفتاری خاک نیز می‌تواند برحسب جرمی نیز بیان گردد که به صورت معادله زیر می‌باشد:

$$\chi_{mas} = \frac{K}{\rho} \quad (2)$$

در معادله بیان شده  $\rho$ ، جرم مخصوص ظاهری برحسب  $kg\ m^{-3}$ ،  $\chi_{mas}$ ، پذیرفتاری مغناطیسی جرمی برحسب  $m^3\ kg^{-1}$  می‌باشد.

پذیرفتاری مغناطیسی به طور فزاینده‌ای در طیف گسترده‌ای از مطالعات خاک نظیر ردیابی منابع رسوبات در حوضه مخزن و آبخوان‌ها (۷ و ۹)، شناسایی اثرات آتش‌سوزی بر اکسیدهای مغناطیسی در خاک‌ها و رسوبات دریاچه (۲۳ و ۴۰) تشریح و تشخیص یکنواختی مشخصات مواد مادری و ردیف زمانی خاک‌ها (۱۳، ۴۱ و ۴۳) و تشریح فرایندهای تشکیل خاک و درک محیط‌های خاک‌ساز (۲، ۱۹، ۳۴ و ۴۴) استفاده می‌شود.

اکسیدهای آهن خصوصاً گوئیت، هماتیت، لپیدوکروسیت، مگهمیت و مگنتیت فراوان‌ترین اکسیدهای فلزی در اکثر خاک‌ها می‌باشند. این اکسیدها در خاک‌های مناطق مختلف آب و هوایی در

گردد (۱۵، ۲۴، ۲۵ و ۳۴).

## مواد و روش‌ها

دشت بشار یاسوج با ارتفاع ۱۷۵۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد واقع گردیده است. میانگین دما و بارندگی سالانه در این منطقه به ترتیب ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد و ۸۱۷ میلی‌متر می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک این دشت به ترتیب زیرک و ترمیک می‌باشد (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی دشت بشار یاسوج از رسوبات آبرفتی-آهکی دوران چهارم تشکیل شده است.

در این مطالعه در یک فاصله تقریبی ۷ کیلومتری تعداد ۱۱ خاک‌رخ بر روی یک ردیف پستی و بلندی حفر شد (شکل ۲). پس از تشریح خاک‌رخ‌ها بر اساس راهنمای تشریح خاک‌رخ (۳۶) از افق‌های مشخصه به میزان لازم نمونه خاک برداشته و پس از انتقال به آزمایشگاه، خاک‌ها هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

به منظور انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، ابتدا آزمایش توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (۴) انجام پذیرفت. پهاش و هدایت الکتریکی در تعلیق ۱:۵ (آب: خاک) انجام گرفت (۳۰). کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با دی‌کرومات (۲۲)، کربنات کلسیم معادل به وسیله تیتراسیون با اسید (۳۱) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم نرمال (۶) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های پودری خاک به‌وسیله دستگاه Bartington Dual Frequency MS2 Meter اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها را در ظرف پلاستیکی با قطر و ارتفاع مشخص قرار داده شد و پس از توزین، به منظور تعیین چگالی ظاهری، میزان پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس ۰/۴۶KHz و ۴/۶KHz اندازه‌گیری شد. قرائت‌های شاهد بر روی ظروف خالی در ابتدا و انتها نمونه‌های خاک، جهت تصحیح اثرات احتمالی ظرف بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی انجام پذیرفت (۱۰). ترکیبات آهن متبلور، بی‌شکل و آلی (Fe<sub>d</sub>) بوسیله عصاره‌گیری توسط سیترا- بی کربنات- دی تیونات (CBD) استخراج گردید (۱۷). آهن شبه‌کل خاک (Fe<sub>n</sub>) نیز به وسیله عصاره‌گیری توسط اسید نیتریک ۴ نرمال اندازه‌گیری گردید (۳۸). میزان آهن موجود در عصاره‌ها توسط دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA 670 پس از رقیق کردن به میزان لازم اندازه‌گیری گردید. در انتها داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS<sub>16</sub> از نظر آماری تجزیه و تحلیل شدند.

## نتایج و بحث

جدول ۱ مشخصات عمومی خاک‌رخ‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. بر این اساس خاک‌های مورد مطالعه بر مبنای طبقه‌بندی WRB در گروه‌های مرجع کاستانوزم، رگوسولز، گلی‌سولز، لووی‌سولز،

شاخص دیگر پذیرفتاری، اندازه‌گیری پذیرفتاری وابسته به فرکانس می‌باشد که مرتبط با پذیرفتاری در میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده در دو فرکانس مختلف ۰/۴۶ و ۴/۶ کیلوهرتز می‌باشد. این نوع اندازه‌گیری برای تشخیص حضور کانی‌های بسیار ریز سوپراپارامگنتیک (>۰/۰۳ میکرومتر) که به عنوان بلورهای که تا حد زیادی توسط فرآیندهای پدوژنیک در خاک تولید می‌شوند، استفاده می‌شود.

در نمونه‌های حاوی مقدار نسبتاً زیاد کانی‌های بسیار ریز تفاوت بیشتری بین قرائت‌ها در دو فرکانس مشاهده می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}$ ) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\chi_{fd} = 100(\chi_{df} - \chi_{hf}) / \chi_{df} \quad (۳)$$

که در آن  $\chi_{fd}$  پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس بر حسب درصد،  $\chi_{df}$  پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پائین (۰/۴۶KHz) و  $\chi_{hf}$  پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا (۴/۶KHz) می‌باشد. هر چه اختلاف میان پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس زیاد و کم یک خاک بیشتر باشد، نشان‌دهنده دخالت بیشتر ذرات مغناطیسی با اندازه کوچکتر از ۰/۰۳ میکرومتر که عمدتاً پدوژنیک هستند، می‌باشند (۸).

اولیایی و نجفی (۲۸) در مطالعه پذیرفتاری خاک‌های دشت مادوان مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس را در دامنه ۰/۵ تا ۵ درصد گزارش نمودند. نامبردگان مقادیر بالاتر این شاخص را در افق‌های تجمع رس و نزدیک‌تر به سطح و در خاک‌های با زهکشی خوب گزارش نمودند. کوئیچانو و همکاران (۲۹) با بررسی اراضی کشت شده در شمال شرق اسپانیا اعلام کردند که پذیرفتاری مغناطیسی تحت تاثیر ارتفاع و شیب قرار گرفته به طوری که بیشترین میزان پذیرفتاری در بالادست شیب و کمترین میزان در پایین‌دست شیب مشاهده شد. اولیایی و همکاران (۲۵) نیز در مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد حداکثر مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی را در موقعیت‌های پایدار ژئومورفولوژیک مشاهده نمودند.

همانگونه که ذکر شد، پذیرفتاری مغناطیسی از ویژگی‌هایی است که در زمان کوتاهی قابل اندازه‌گیری است. مطالعات نشان داده است که این ویژگی ارتباط خوبی با برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، تکاملی و شرایط زهکشی و در برخی موارد کاربری خاک دارد. تحقیقات چندانی در ارتباط با خصوصیات مغناطیسی و ارتباط آن با اشکال آهن، شرایط پستی و بلندی و اثر کاربری بر خصوصیات مغناطیسی در خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد صورت نگرفته است. لذا این مطالعه به منظور بررسی اثر شرایط پستی و بلندی بر برخی ویژگی‌های خاک در دشت بشار یاسوج در جنوب شرق استان کهگیلویه و بویر احمد صورت پذیرفت.

فصول متمایز خشک و مرطوب، منجر به تشکیل افق آرجیلیک همراه با تشکیل پوسته‌های رسی بر روی سطوح خاکدانه و واحدهای ساختمانی شده و راسته آلفی سولز را ایجاد نموده‌است. خاک‌های ۱ و ۱۰ به دلیل عدم انجام فعالیت زراعی و پوشش نسبتاً خوب جنگل و مرتع و خاک‌های ۵ به دلیل زهکشی ضعیف خاک، شرایط برای تجمع ماده آلی در سطح فراهم و اپی‌پدون مالیک (راسته مالی سولز) را تشکیل داده‌است. در مجموع شرایط پستی و بلندی، وضعیت زهکشی و کاربری اراضی عوامل اصلی تاثیرگذار بر تکامل خاک‌های این منطقه می‌باشند.

همانگونه که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد در اکثر خاک‌ها، حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی در افق سطحی مشاهده می‌شود. بطور کلی تغییرات عمودی پذیرفتاری مغناطیسی در طول خاک‌ها 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 شکل‌های مغناطیسی تر از عوامل اصلی افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک می‌باشد (۱۴). طبق نظر گرمی و همکاران (۱۶) افزایش پذیرفتاری مغناطیسی افق‌های سطحی خاک به میزان زیادی به تبدیل درجای اکسیدهای آهن غیر مغناطیسی و اکسی هیدروکسیدهای آهن به ریز بلورهای فری مگنتیک بستگی دارد.

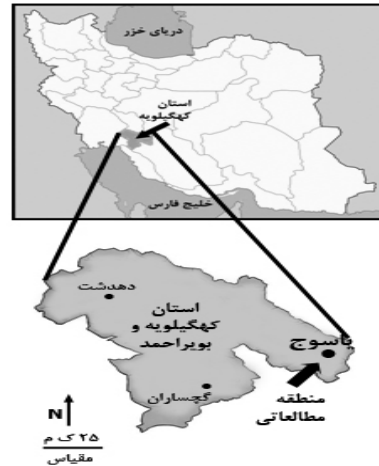
در خاک‌های ۲، ۳ و ۷ حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی در افق B مشاهده گردید. به نظر می‌رسد که آبشویی ذرات بسیار ریز فری-مگنتیت و انتقال آنها از افق سطحی به افق B، خصوصاً در خاک‌های الفی سول، دلیل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی بوده است. گاهی نیز عواملی مانند انقطاع سنگی، پوشیده شدن خاک با رسوبات جدید و یا اختلاط خاک به صورت طبیعی یا تحت تأثیر دخالت انسان، می‌تواند عاملی برای عدم یکنواختی کاهش پذیرفتاری مغناطیسی با عمق باشد (۲۱). خاک‌های ۴ با توجه به حداقل شرایط تکاملی در بین خاک‌های مطالعه شده، مقدار زیاد کربنات کلسیم و شرایط اکوییک پایین‌ترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی را دارا می‌باشد.

در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک با مواد مادری آهکی با توجه به دیامگنتیک بودن این ترکیب و مقادیر اندک پذیرفتاری آن توزیع پذیرفتاری در خاک در درجه اول به توزیع این ماده بستگی دارد (۲۴). رابطه منفی و معنی‌داری بین پذیرفتاری مغناطیسی و میزان کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مورد مطالعه بدست آمد:

$$\chi_{lf} = -0.14 CCE + 54.4 \quad n=34, \quad R^2=0.55, \quad P<0.01$$

کریمی و همکاران (۱۸) در مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های لس شمال شرق ایران اظهار داشتند که مقادیر زیاد آهک و گچ در خاک‌های مناطق خشک ممکن است به دلیل اثر رقت، ویژگی‌های مغناطیسی این خاک‌ها را پوشش دهند. بنابراین نامبردگان پیشنهاد نمودند که مطالعه این ویژگی‌ها بهتر است با حذف اثر این ترکیبات

فلووی سولز و کمبی سولز و بر اساس طبقه‌بندی تاکسونومی در راسته‌های انتی سولز، اینسپتی سولز، آلفی سولز و مالی سولز قرار گرفتند. خاک‌های ۳، ۵ و ۷ دارای کاربری شالیزاری، خاک‌های ۲، ۴، ۶ و ۹ کاربری زراعی (غیر شالیزاری) داشته‌اند و خاک‌های ۱، ۸، ۱۰ و ۱۱ کاربری غیرزراعی (جنگل-مرتع) داشته‌اند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد و ایران

Figure 1- Map of the study area and its location in Kohgiluyeh Province and Iran

وضعیت زهکشی خاک‌ها در دامنه خوب تا بسیار ضعیف بوده است. جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد که بر این اساس، مقدار رس، سیلت و شن به ترتیب در دامنه‌های ۶۲/۲-۱۴/۲، ۵۹/۸-۵/۸ و ۸۰-۶ درصد بوده است. همچنین میزان پهاش بین ۷/۸-۷/۲، کربنات کلسیم معادل در دامنه ۸۹/۸-۱۵ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی در دامنه ۴۴/۳-۱/۲ سانتی مول بر کیلوگرم خاک و هدایت الکتریکی اشباع بین مقادیر ۰/۲-۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شدند. در اکثر خاک‌ها به ویژه در سطوح پایدارتر افق سطحی به میزان نسبتاً زیادی از کربنات کلسیم تخلیه شده‌اند. آبشویی کربنات‌ها از افق‌های سطحی می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله تبدیل کربنات به بی‌کربنات کلسیم با حلالیت بالاتر در نتیجه واکنش با اسید کربنیک و یا در اثر اسیدهای آلی آزاد شده از تجزیه مواد آلی در سطح خاک و یا عوامل دیگر باشد. در خاک‌های ۴ به دلیل قرار گرفتن در موقعیت تراس پایینی رودخانه و رسوبگذاری متوالی، امکان آبشویی کربنات‌ها فراهم نبوده‌است و افق سطحی دارای حدود ۸۰ درصد کربنات کلسیم معادل می‌باشد. در خاک‌های ۲، ۳ و ۷ انتقال رس از افق‌های سطحی و تجمع در افق زیرین، ناشی از بارش نسبتاً خوب منطقه و

صورت پذیرد. بیشترین میزان پذیرفتاری جرمی به ترتیب مربوط به افق Bt و خاکرخ ۲ و افق A خاکرخ ۱ (به ترتیب به میزان ۵۲/۷، ۵۱/۶ و ۴۸/۴ متر مکعب بر کیلوگرم) بوده است. در خاکرخ ۲ پایداری و تکامل بالای خاکرخ و زهکشی مناسب از عوامل اصلی افزایش پذیرفتاری در این خاک می‌باشند. افق سطحی خاکرخ ۱ نیز به رغم قرار گرفتن در واحد فیزیوگرافی تپه به دلیل پوشش بسیار متراکم گیاهی (اپی‌پدون مالیک) شرایط مناسبی برای پایداری خاک سطحی و مصون ماندن آن از فرسایش ایجاد شده است. حضور مواد آلی خود موجب افزایش درجای پذیرفتاری مغناطیسی می‌شود. فاین و همکاران (۱۴) اعلام کردند که مقدار بیشتر مواد آلی و ریز موجودات هتروتروف در نزدیک سطح خاک می‌تواند تشکیل کانی‌های فرّی-مگنتیت را افزایش دهند.

کمترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نیز به ترتیب در افق-های Cg و Cg خاکرخ ۴ و افق C خاکرخ ۲ (به ترتیب به میزان

$$Fe_d = 0.14 \chi_{If} + 1.8 \quad n=34, R^2=0.61, P<0.01$$

$$Fe_n = 0.11 \chi_{If} + 6.0 \quad n=34, R^2=0.48, P<0.01$$

شرایط زهکشی خاک از عواملی است که به میزان زیادی بر توزیع پذیرفتاری مغناطیسی تأثیر دارد. در خاک‌های با شرایط احیاء کانی‌های فرّی-مگنتیت در نتیجه فعالیت ریز موجودات در اثر احیاء Fe(III) به Fe(II)، به شکل‌های محلول‌تر تبدیل می‌شود (۱۶) و (۲۸).

جدول ۱- مشخصات عمومی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه

Table 1- General characteristics of the studied pedons

شماره خاکرخ Prof. No.	کاربری Land use	شیب (درصد) Slope (%)	واحد فیزیوگرافی Physiographic Unit	مختصات Location	کلاس زهکشی Drainage Class	رده‌بندی مرجع جهانی	رده‌بندی
						۲۰۱۴ WRB 2014	۲۰۱۴ Soil taxonomy 2014
1	جنگل -مرتع Forest-pasture	10-12	تپه Hill	30 39' 09" N 5 35' 34" E	خوب Good	Haplic Kastanozems	Typic Haploxerolls
2	زراعی Crop	3-4	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	30 39' 14" N 5 35' 13" E	متوسط Moderate	Calcic Luvisols	Calcic Haploxeraalfs
3	شالیزار Rice	2-3	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	30 39' 03" N 5 35' 16" E	ضعیف Weak to very weak	Luvic Gleysols	Typic Epiaqualfs
4	کشت دیم غلات Rainfed cereal	1-2	دشت رسوبی رودخانه‌ای River alluvial plain	30 38' 53" N 5 35' 04" E	ضعیف weak	Gleyic Fluvisols	Aquic Xerofluvents
5	شالیزار Rice	1-2	تراس میانی رودخانه River middle trace	30 38' 23.7" N 5 35' 1.2" E	ضعیف weak	Gleyic Kastanozems	Fluvaquentic Epiaquolls
6	گندم-ذرت Wheat-corn	1-2	تراس پایینی رودخانه River lower trace	30 38' 18.02" N 5 34' 54.08" E	متوسط Moderate	Haplic Fluvisols	Fluventic Haploxerepts
7	شالیزار Rice	1-2	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	30 37' 36" N 5 33' 52.7" E	ضعیف تا متوسط Weak to moderate	Calcic Gleysols	Calcic Epiaqualfs
8	مرتع Pasture	2-3	تراس میانی رودخانه River middle trace	30 37' 11" N 5 33' 48.5" E	متوسط Moderate	Fluvisols	Fluventic Haploxerepts
9	گندم-ذرت Wheat-corn	2-3	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	30 37' 59.2" N 5 33' 13.4" E	متوسط Moderate	Endogleyic Cambisols	Aquic Haploxerepts
10	مرتع Pasture	5-6	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	30 37' 26.3" N 5 32' 46.6" E	متوسط Moderate	Calcic Kastanozems	Typic Calcixerolls
11	جنگل -مرتع Forest-pasture	10-15	تپه Hill	30 38' 39" N 5 32' 19.6" E	خوب Good	Haplic Regosols	Typic Xerorthents

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه  
Table 2- Physio-chemical characteristics of the studied pedons

افق Horizon	عمق Depth (cm)	کلاس بافت Textural class	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	کربن آلی OC (%)	آهک معادل CCE (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol <sub>(c)</sub> kg <sup>-1</sup> )	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	پ‌هاش pH
<u>Profile 1 (Typic Haploxerolls)</u>										
A	0-20	Loam	38.2	26.0	35.8	5.8	22.3	34.5	0.7	7.4
C	20-100	Clay	50.2	16.0	33.8	1.0	50.0	39.0	0.2	7.8
<u>Profile 2 (Calcic Haploxeralfs)</u>										
Ap	0-25	Clay loam	38.0	24.0	38.0	0.6	36.3	28.2	0.5	7.5
Bt	25-55	Clay	42.0	24.0	34.0	0.4	41.5	24.2	0.5	7.4
Btk1	55-90	Clay	46.0	18.0	36.0	0.2	47.5	23.2	0.4	7.6
Btk2	90-120	Clay	52.0	18.0	30.0	0.1	48.8	30.4	0.4	7.5
C	20-150	Sandy clay loam	30.0	48.0	22.0	0.1	80.0	19.6	0.5	7.5
<u>Profile 3 (Typic Epiaqualfs)</u>										
Ap	0-30	Clay	50.2	20.0	29.8	1.6	21.0	37.3	0.4	7.6
Bg	30-50	Clay	52.2	10.0	37.8	1.0	23.2	34.5	0.3	7.7
Btkg <sub>1</sub>	50-80	Clay	56.2	20.0	23.8	0.8	24.8	34.9	0.3	7.7
Btkg <sub>2</sub>	80-130	Clay	53.4	14.0	32.6	1.0	29.6	29.1	0.3	7.8
<u>Profile 4 (Aquic Xerofluvents)</u>										
Apg	0-20	Silty loam	26.2	14.0	59.8	3.8	79.9	3.8	0.8	7.4
Cg	20-80	Sandy clay	14.2	80.0	5.8	1.2	89.8	1.2	0.4	7.7
<u>Profile 5 (Fluvaquentic Epiaquolls)</u>										
Apg	0-25	Clay loam	46.2	17.3	36.6	2.6	29.5	35.3	0.7	7.5
Btg	25-70	Loam	38.2	24.0	37.8	0.8	48.8	18.0	0.3	7.7
Bt	70-130	Clay	52.2	12.0	35.8	1.0	70.0	44.3	0.3	7.8
<u>Profile 6 (Fluventic Haploxerepts)</u>										
Ap	0-25	Clay loam	48.7	8.7	42.6	1.1	27.8	40.6	0.4	7.8
Bw	25-75	Clay	54.2	7.3	38.6	1.4	28.8	25.0	0.3	7.6
C	75-125	Clay	62.2	12.0	25.8	1.2	47.0	41.4	0.4	7.6
<u>Profile 7 (Calcic Epiaqualfs)</u>										
Apg	0-25	Silty clay	42.0	16.0	42.0	0.8	32.3	28.2	0.6	7.4
Btg	25-65	Clay	50.0	14.0	36.0	0.9	42.5	22.3	0.5	7.5
Btkg	65-95	Clay	54.0	10.0	36.0	0.2	48.0	22.3	0.5	7.5
C	95-135	Clay	44.0	18.0	38.0	0.2	50.8	28.2	0.4	7.5
<u>Profile 8 (Fluventic Haploxerepts)</u>										
A	0-25	Clay loam	28.0	23.3	48.7	0.8	43.0	28.2	0.9	7.2
Bw	25-80	Clay loam	34.0	26.0	40.0	0.6	47.0	22.3	0.5	7.5
C	80-130	Clay loam	38.0	22.0	40.0	0.6	53.8	22.3	0.5	7.5
<u>Profile 9 (Aquic Haploxerepts)</u>										
Ap	0-25	Clay	50.2	16.0	33.8	1.2	41.8	21.7	0.5	7.4
Bg1	25-55	Clay loam	45.4	22.0	32.6	1.6	56.0	21.3	0.4	7.5
Bg2	55-120	Clay loam	42.2	23.3	34.6	1.0	60.0	23.8	0.3	7.6
<u>Profile 10 (Typic Calcixerolls)</u>										
A	0-20	Clay	54.2	12.0	33.8	1.2	51.6	28.3	0.5	7.6
Bw	20-60	Clay loam	48.2	19.8	32.0	1.1	69.8	32.4	0.4	7.5
Bk	60-100	Clay	52.2	13.3	34.6	1.0	69.0	29.8	0.3	7.7
<u>Profile 11 (Typic Xerorthents)</u>										
A	0-15	Clay	52.2	6.0	41.8	2.0	15.0	41.8	0.4	7.4
C	15-100	Clay loam	42.7	22.0	32.3	1.1	37.5	25.0	0.3	7.7

خاک‌های منطقه مطالعاتی شده است. ضمن این که این شرایط تفاوت محسوسی بر میزان آهن عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک نداشته‌است (۹/۵۴ در برابر ۹/۳۸ گرم بر کیلوگرم) (جدول ۳). به نظر می‌رسد که شرایط اکویک تاثیر بیشتری بر میزان شکل‌های آهن و

شرایط اکویک در خاک‌های مورد مطالعه موجب کاهش میانگین پذیرفتاری جرمی از ۳۵/۱ به ۲۴/۵ (کاهش ۴۳ درصدی)، کاهش میزان Fe<sub>d</sub> از ۷/۲ به ۵ گرم در کیلوگرم خاک (کاهش ۴۴ درصدی) و کاهش نسبت Fe<sub>d</sub>/Fe<sub>n</sub> از ۰/۷۶ به ۰/۴۶ (کاهش ۶۵ درصدی) در

لیپدوکروسیت و گوئیتیت) به کانی‌های فری‌مگنتیک (مانند مگنتیت و مگهمیت) می‌شود (۱۲، ۱۶ و ۲۵).

نسبت میان آنها نسبت به میزان آهن عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک داشته‌است. نتایج مشابهی توسط اولیایی و همکاران (۲۶ و ۲۷) در خاک‌های استان فارس نیز گزارش شد. شرایط بی‌هوازی منجر به عدم تبدیل کانی‌های پارامگنتیک و کنتد آنتی فرومگنتیک (مانند

جدول ۳- میزان پذیرفتاری مغناطیسی و شکل‌های آهن در خاک‌رخ‌های مطالعاتی

Table 3- Magnetic susceptibility and Fe Forms of the studied pedons

افق Horizon	$\kappa_{ir}$ (SI*10 <sup>-8</sup> )	$\chi_{ir}$ (SI*10 <sup>-8</sup> )	% $\chi_{fd}$	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>n</sub>	Fe <sub>d</sub> (gkg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>n</sub> (gkg <sup>-1</sup> )
<u>Profile 1 (Typic Haploxerolls)</u>						
A	49.8	48.4	5.83	0.80	3.9	8.9
C	32.1	35.8	2.91	0.67	2.3	5.9
<u>Profile 2 (Calcic Haploxeralfs)</u>						
Ap	54.8	51.6	4.17	0.88	7.1	9.4
Bt	52.1	52.7	4.82	0.83	7.6	10.8
Btk1	42.4	41.0	3.46	0.94	7.4	10
Btk2	48.6	46.3	5.81	0.87	7.7	11.1
C	9.0	8.0	1.22	0.72	4.1	5.7
<u>Profile 3 (Typic Epiaqualfs)</u>						
Ap	39.5	32.4	1.88	0.38	4.5	11.8
Bg	38.3	35.5	2.93	0.43	5.2	12.1
Btkg <sub>1</sub>	35.4	30.3	2.89	0.48	4.8	13.1
Btkg <sub>2</sub>	31.7	30.1	2.04	0.44	4.7	10.8
<u>Profile 4 (Aquic Xerofluvents)</u>						
Apg	11.3	13.3	0.00	0.09	0.41	4.8
Cg	2.8	2.2	0.00	0.08	0.25	3.1
<u>Profile 5 (Fluvaquentic Epiaquolls)</u>						
Apg	40.3	38.9	3.93	0.49	5.4	11.1
Btg	31.6	28.1	3.24	0.58	5.6	9.7
Bt	23.4	26.4	0.94	0.45	4	8.8
<u>Profile 6 (Fluventic Haploxerepts)</u>						
Ap	48.8	45.6	3.85	0.78	8.8	11.3
Bw	45.2	40.3	2.48	0.83	9.7	11.7
C	38.3	41.9	1.22	0.80	8.2	10.2
<u>Profile 7 (Calcic Epiaqualfs)</u>						
Apg	32.3	28.7	3.58	0.62	8.8	11.7
Btg	36.2	34.8	3.72	0.49	9	12.5
Btkg	25.6	22.4	2.57	0.49	7.8	10.7
C	23.1	24.7	2.65		6.8	9.4
<u>Profile 8 (Fluventic Haploxerepts)</u>						
A	31.2	30.1	3.71	0.72	5.5	7.6
Bw	29.4	25.2	2.31	0.77	5.3	6.9
C	25.4	23.3	2.28	0.70	4.2	6
<u>Profile 9 (Aquic Haploxerepts)</u>						
Ap	22.6	23	3.43	0.62	6.1	9.9
Bg1	11.1	10.3	1.93	0.49	4.1	8.3
Bg2	10.6	11.3	1.56	0.49	3.9	7.9
<u>Profile 10 (Typic Calcixerolls)</u>						
A	37.8	36	4.43	0.68	7	11.7
Bw	10.8	10.1	1.20	0.65	6.2	9.5
Bk	10.1	9.9	0.20	0.55	5	9.1
<u>Profile 11 (Typic Xerorthents)</u>						
A	42.2	39.5	3.78	0.73	4.9	9.4
C	36.2	34.6	2.84	0.69	3.3	7.7
خاک‌رخ‌های اکوییک Aquic soils						
	26.1	24.5	2.3	0.46	5.0	9.5
خاک‌رخ‌های غیر اکوییک Non-aquic soils						
	38.4	35.1	3.2	0.76	7.2	9.4

مثبت و معنی‌داری میان  $\chi$  و برخی خصوصیات خاک از جمله  $Fe_d$ ، میزان رس و  $\chi_{fd}\%$  توسط آنها گزارش شد. همچنین در مواردی که کاربری اراضی شالیزاری بوده است، لایه‌های سطحی به دلیل گلخراپی یا پادلینگ، شرایط اکوییک را به میزان بیشتری نشان داده‌اند (خاکرخ‌های ۳، ۵ و ۷)؛ اما در مواردی که کلاس زهکشی ضعیف ناشی از بالا بودن سطح آب زیر زمینی و یا مجاورت با رودخانه است (خاکرخ‌های ۴ و ۹)، در افق‌های زیرین به دلیل شرایط اشباع و بی-هوازی طولانی‌تر، شرایط اکوییک قابل توجه‌تری مشاهده می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که پستی و بلندی در کنار وضعیت زهکشی و کاربری از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه بوده‌اند. در اغلب خاکرخ‌های مطالعه شده مقدار  $\chi$  با افزایش عمق کاهش می‌یابد و در برخی خاک‌ها میزان  $\chi$  به دلیل انتقال ذرات ریز فرومگنتیک به همراه ذرات رس در افق B حداکثر بوده‌است. در خاک‌های مورد مطالعه توزیع پذیرفتاری به دلیل آهکی بودن مواد مادری به میزان زیادی تابع توزیع کربنات کلسیم در خاکرخ بوده‌است. رابطه منفی و معنی‌داری بین این دو عامل مشاهده شد. بیشترین مقدار پذیرفتاری به طور عمده در خاکرخ‌های واقع بر سطوح پایدارتر، شرایط زهکشی بهتر و تکامل نسبی بیشتر مشاهده شد. توزیع  $Fe_d$  به میزان زیادی در خاک‌ها با توزیع پذیرفتاری همبستگی نشان داد. رابطه مثبت و معنی‌داری بین  $\chi$  و  $Fe_d$  و همچنین با  $Fe_n$  مشاهده شد. شرایط زهکشی خاک و رژیم رطوبتی نیز به میزان زیادی بر پذیرفتاری مغناطیسی و توزیع  $Fe_d$  موثر بوده‌است. در مجموع شرایط اکوییک در خاک‌های مورد مطالعه موجب کاهش پذیرفتاری، میزان  $Fe_d$  و نسبت  $Fe_d/Fe_n$  به ترتیب به میزان ۴۳، ۴۴ و ۶۵ درصد شده‌است. این شرایط تفاوت محسوسی بر میزان آهن کل نداشته‌است. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}\%$ ) رابطه مثبت و معنی‌داری با پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها داشته‌است. شرایط اکوییک نیز موجب کاهش ۳۹ درصدی این مشخصه در خاک‌های مورد مطالعه شده‌است.

مقدار بیشتر مواد آلی و ریز موجودات هتروتروف در نزدیک سطح خاک می‌تواند تشکیل کانیهای فرّی-مگنتیت را افزایش دهند. خاک‌های با زهکشی خوب معمولاً دارای پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به خاکهای با زهکشی ضعیف بوده‌اند. (۱۲).

کاهش میزان تشکیل اکسیدهای بلورین آهن در خاکهای با زهکشی ضعیف، منجر به کاهش نسبت  $Fe_d/Fe_n$  می‌گردد. در خاک‌های مورد مطالعه این نسبت از ۰/۰۸ تا ۰/۹۴ متغیر بوده‌است. مقدار حداکثر این نسبت نیز در افق Btk1 خاکرخ شماره ۲ (Calcic Haploxeralfs) با شرایط تکاملی بالا، زهکشی خوب و پایداری زیاد مشاهده گردید. بسیاری از محققین معتقدند که تیمار سترات-بیکربنات - دیتونات (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. بنابراین اندازه‌گیری مجدد پذیرفتاری مغناطیسی پس از تیمار CBD می‌تواند نقش فرایندهای پدوژنیک را در حضور اکسیدهای آهن فرومگنتیک در خاک را نشان دهد (۲۶).

مقدار پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ( $\chi_{fd}\%$ ) که بیانگر حضور ذرات مغناطیسی کوچکتر از ۰/۰۳ میکرو متر (عمدتاً پدوژنیک) می‌باشد، در دامنه صفر در افق‌های خاکرخ ۴ تا ۵/۸۳ درصد در افق A خاکرخ ۱ متغیر می‌باشد. بالا بودن این مشخصه بیانگر شرایط بالاتر هوادیدگی خاک و تشکیل بیشتر ذرات مغناطیسی مگمیت و مگنتیت با پذیرفتاری بالا در نتیجه فرایندهای خاکی در شرایط زهکشی مناسب می‌باشد. رابطه مثبت و معنی‌داری نیز بین این مشخصه با پذیرفتاری به صورت زیر بدست آمد:

$$\% \chi_{fd} = 7.5 \chi_{fr} + 8.9 \quad n=34, R^2=0.57 \quad P<0.01$$

شرایط اکوییک خاک عامل بازدارنده‌ای در تشکیل ذرات پدوژنیک مغناطیسی آهن می‌باشد. در خاک‌های مورد مطالعه نیز شرایط اکوییک موجب کاهش پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس از ۳/۲ درصد به ۲/۳ درصد شده‌است (جدول ۳). اولیایی و نجفی قیری (۲۹) در مطالعه مشابهی اظهار داشتند که شرایط زهکشی ضعیف مانند آنچه در کاربری شالیزاری است موجب کاهش ۱/۷ برابری در  $Fe_d$ ، ۱/۶ برابری  $\chi_{fd}$  و ۳/۱ برابری در پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های مورد مطالعه آنها شده‌است. همچنین ارتباط

### منابع

- Alexander E.B., and Holowaychuk N. 1983. Soil on terraces along the Cauca river Colombia: Chronosequence characteristics. Soil Science Society of America Journal, 47: 721-727.
- Ayoubi Sh., Amiri S., and Tajik S. 2014. Lithogenic and anthropogenic impacts on soil surface magnetic susceptibility in an arid region of Central Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, 60(10): 1467-1483.
- Boling A.A., Tuong T.P., Suganda H., Konboon Y., Harnpichitvitaya D., Bouman B.A.M., and Franco D.T. 2008. The effect of toposequence position on soil properties, hydrology, and yield of rainfed lowland rice in Southeast



- Asia. *Field Crops Research*, 106: 22–33.
- 4- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
  - 5- Camargo L.A., Júnior J.M., Pereira J.T., Rabelo A.S. and Bahia D.S. 2014. Clay mineralogy and magnetic susceptibility of Oxisols in geomorphic surfaces. *Scientia Agricola*, 71(3): 244-256.
  - 6- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (ed.), *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI. 2: 891-901.
  - 7- Crockford R.H., and Fleming R.M., 1998. Environmental magnetism as a stream sediment tracer: an interpretation of the methodology and some case studies. *Australian Journal of Soil Research*, 36: 167–184.
  - 8- Dearing J.A. 1999. Environmental magnetic susceptibility, using the Bartington MS2 System. Kenilworth, UK: Chi Publ. 54 pp.
  - 9- Dearing J.A., Morton R.I., Price T.W., and Foster, I.D.L., 1986. Tracing movements of top soil by magnetic measurements: two case studies. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 42: 93–104.
  - 10- Dearing J.A., Hay K.L. Balsan S.M.J. and Huddleston A.S., Wellington E.M.H. and Loveland P.J. 1996. Magnetic susceptibility of soil: An evaluation of contributing theories using a national data set. *Geophysical Journal International*, 127: 728-734.
  - 11- De Jong E., Nestor P.A., and Pennock D.J. 1998. The use of magnetic susceptibility to measure long-term soil redistribution. *Catena*, 32: 23–35.
  - 12- De Jong E., Pennock D.J., and Nestor P.A. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. *Catena*, 40: 291-305.
  - 13- Feng Z.D. and Johnson W.C. 1995. Factors affecting the magnetic susceptibility of a loess-soil sequence, Barton County, Kansas, USA. *Catena*, 24: 25-37.
  - 14- Fine P., Singer M.J., Laven R. Verosub K., and Southard R.J. 1989. Role of pedogenesis in distribution of magnetic susceptibility in two California chronosequences. *Geoderma*, 44: 287- 306.
  - 15- Fine P., Singer M.J. and Verosub K.L. 1992. The use of magnetic susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 1195-1199.
  - 16- Grimley D.A., Arruda N.K., and 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.
  - 17- Holmgren G.G.S. 1976. A rapid citrate-dithionate extractable iron procedure. *Soil Science Society of American Proceeding*, 31: 210-211.
  - 18- Karimi A., Khademi H., and Ayoubi Sh. 2013. Magnetic susceptibility and morphological characteristics of a loess-paleosol sequence in northeastern Iran. *Catena*, 101: 56–60.
  - 19- Mokhtari Karchegani P., Ayoubi Sh., Gao Lu Sh., and Honarjo N. 2011. Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. *Journal of Applied Geophysics*, 75: 227–236.
  - 20- Mullins C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. *Journal of Soil Science*, 28: 223-246.
  - 21- Nafeh M. H. and Brussel M. K. 1985. *Electricity and magnetism*. John Wiley, New York, NY.
  - 22- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 53: 9-579.
  - 23- Oldfield F. 1991. Environmental magnetism - personal perspective. *Quaternary Science Reviews*, 10: 73–83.
  - 24- Owliaie H.R., Heck R.J. and Abtahi A. 2006a. The magnetic susceptibility of soils in Kohgilouye, Iran. *Canadian Journal of Soil Science*, 86: 97-107.
  - 25- Owliaie H.R., Heck R.J. and Abtahi A. 2006b. Distribution of magnetic susceptibility in Kohgilouye Boyerahmad soils, southwestern Iran. *Proceeding of 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Science*. Philadelphia, Pennsylvania. USA.
  - 26- Owliaie H.R., Adhami E., Chakerollhosseini M.R. Rajaie M., and Kasraian A. 2008. Source Evaluation of Magnetic Susceptibility Using CBD Treatment and Micro CT-Scan Images in Some Soils of Fars Province. *Journal of Soil and Water Science*, 46: 773-787. in Persian with English abstract.
  - 27- Owliaie H.R., Adhami E. Jafari S. Rajaie M., and Ghasemi Fasaei R. 2010. Distribution of magnetic susceptibility in relation to iron compounds in some selected soils of Fars Province. *Iranian Research of Water and Soil*, 41: 147-159. in Persian with English abstract.
  - 28- Owliaie H.R., and Najafi Ghiri M. 2014. Effect of topography and land use on the soil magnetic susceptibility, Case study: Madvan Plain, Kohgilouye Province. *Journal of Soil and Water Science*, 40: 159-169. in Persian with English abstract.
  - 29- Quijano L., Gaspar L., López-Vicente M., Chaparr A.E., Machín J., Navas A. 2011. Soil magnetic susceptibility and surface topographic characteristics in cultivated soils. *Latinmag Letters*, Volume 1, Special Issue, D10, 1-6. *Proceedings Tandil*, Argentina.
  - 30- Rhodes J.D. 1996. Salinity: Electrical: conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3: chemical methods SSSA*. Madison, WI.
  - 31- Richards L.A. (ed.). 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handb. No. 60. U.S. Gov.

- 32- Schwertmann U. and Taylor R.M. 1989. Iron oxides. PP. 379-438. In: Dixon J.B. and Weed S.B. (Eds.), Minerals in soil environment. Soil Science Society of America, Madison, USA.
- 33- Shakeri S. and Owliaie H.R. 2011. Effect of topography on soil formation of Izadkhash region. Proceeding of the 12<sup>th</sup> Iranian Soil Congress. Tabriz Univ. pp.131-132.
- 34- Singer M.J., and Fine P. 1989. Pedogenic factors affecting magnetic susceptibility of California soils. Soil Science Society of America Journal, 53: 1119-1127.
- 35- Siqueira D.S., Marques J. Pereirab G.T. Teixeiraa D.B. and Vasconcelosc V. 2015. Detailed mapping unit design based on soil-landscape relation and spatial variability of magnetic susceptibility and soil color. Catena, 135: 145-162.
- 36- Soil Survey Staff, 1993. Soil Survey Manual.USDA. Handbook No. 18.Washington, DC.
- 37- Spector, C. 2001. Soil Forming Factors : The Story of Rocks and Soil . NASAS Goddard Space Flight Center.
- 38- Sposito G., Lund L.J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260-264.
- 39- Stucki J.W. 1988. Structural iron in smectites. In: Stucki J.W. (ed.), Iron in Soils and Clay Minerals. D. Reidel Publishing Co. Dordrecht, Holland, 1988, 625-675.
- 40- Thompson R., and Oldfield F. 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin, London. 227p.
- 41- Vidic N.J., and Verosub K.L. 1999.Magnetic properties of soils of the Ljubjana Basin chronosequences, Slovenia. Chin. Sci. Bull. 44:75-80.
- 42- Wang S.P., Shou G.S., Gao S.H. and Guo J.P. 2005. Soil organic carbon and labile carbon along a precipitation gradient and their responses to some environmental changes. Pedosphere, 15(5): 676-680.
- 43- Williams R.D., and Cooper J.R., 1990. Locating soil boundaries using magnetic susceptibility. Soil Science, 150 (6): 889-895.
- 44- Yu J.Y.and Lu S.G., 1991. Soil Magnetism. Jingxi Science and Technology Press, Nanchang.



## Study of Magnetic Susceptibility of the Soils of a Toposequence Case Study: Beshar Plain, Kohgilouye Province

M. Enjavinejad<sup>1</sup>- H.R. Owliaie<sup>2\*</sup>- E. Adhami<sup>3</sup>

Received: 10-02-2016

Accepted: 10-05-2016

**Introduction:** Magnetic susceptibility measurements can serve a variety of applications including the determination of changes in soil-forming processes, the study of parent material effects, understanding sedimentation processes, soil drainage conditions, and even the separation and identification of soil delineations. The technique is especially attractive since it is relatively rapid, non-destructive, and can be applied to both intact and disturbed samples of soils. Magnetic susceptibility is defined as the ratio of the total magnetization induced in a sample relative to the intensity of the magnetic field that produces the magnetization. Iron oxides are the most abundant of the metallic oxides in most soils; they are present in all climatic regions, in several mineral forms, and at variable concentrations. Typically, selective dissolution techniques are used to quantify the relative proportion of Fe oxides. Due to the large contribution of iron-bearing minerals to magnetic susceptibility, their presence in most soils, and the effects of the biophysical environment on them, pedologists have been paying growing attention to magnetic susceptibility as a means to understand soil and landscape processes. The effects of topography on  $\chi$  were studied for example by many workers. They found that soil susceptibility changes with the position of a soil profile on a slope. Texture and drainage class assumed to be the main reasons. The soils of the Beshar Plain formed on the relatively same parent materials and are mainly affected by topography and land use. The objective of this study was to examine the role of topography and land use on pedogenic processes and their relation to soil  $\chi$ , as well as, profile distribution of secondary Fe oxides, and the  $\chi$  profiles.

**Materials and Methods:** This study was conducted on the Beshar Plain, Kohgilouye Province, in southwest of Iran. Physiographically this plain comprises hill, piedmont plain, river traces, and plateau. Eleven representative pedons were dug along a transect crossing the main physiographical units. Five pedons demonstrated aquic soil moisture regime. The mean annual temperature and precipitation at the site was 14.7°C and 800 mm, respectively. Soil moisture and temperature regimes of the study area were xeric and thermic, respectively. The soils were classified according to soil taxonomy and WRB. The soil pH was measured in a saturation paste and electrical conductivity (EC) in a saturation extract. Cation exchange capacity (CEC) was determined using sodium acetate (NaOAc) at a pH of 8.2. Soil texture was determined using the pipette method. Calcium carbonate equivalent (CCE) was measured by acid neutralization. Organic carbon was determined by wet oxidation method. Pedogenic Fe ( $Fe_o$ ) and pseudo-total Fe ( $Fe_n$ ) were extracted with the CBD method and  $HNO_3$ , respectively. The magnetic susceptibility of bulk samples was determined using a Bartington MS2 meter equipped with the MS2B Dual Frequency sensor, capable of taking measurements at both low ( $\chi_{lf}$  at 0.46 kHz) and high ( $\chi_{hf}$  at 4.6 kHz) frequencies.

**Results and Discussion:** The soils were classified as taxonomic orders of Entisols, Mollisols, Inceptisols and Alfisols, according to the world reference base for soil resources (WRB) as reference soil groups of Kastanozems, Regosols, Gleysols, Luvisols, Fluvisols and cambisols. The dominant pedogenic processes in the soils were the accumulation of organic matter, the leaching of carbonates, and formation of calcic horizons, the mobilization of clay and development of argillic horizons. The results indicated that the soils are affected mainly by topography, drainage class and land use. Most pedons exhibited maximum of  $\chi$  at the soil surface, suggesting preferential loss of diamagnetic components, as well as more pedogenic formation of antiferromagnetic minerals. Magnetic measurements showed that the  $\chi$  values of aquic soils were much lower than those of non-aquic soils (43%). The highest value of  $\chi$  was noted in pedons which are located on stable physiographic units and the lowest belong to those which are located on river lower terraces.  $Fe_d$  and  $Fe_n$  was also positively correlated with  $\chi$  in the soils studied. Aquic condition also decreased  $Fe_d$  and  $Fe_d/Fe_n$ , 44 and 65 percent, respectively with no clear effect on  $Fe_n$ . Low to medium amounts of  $\chi_{fd}$  in the studied soils indicated that superparamagnetic gains are not too dominant in the soils. Higher values of  $\chi_{fd}$  were typically observed in the A horizons than at depth,

1, 2 and 3-Former M.Sc. student and Associate Professors of Soil Science, Yasouj University  
(\*- Corresponding Author Email: Owliaie@yu.ac.ir)

suggesting a greater proportion of ultrafine grains at soil surface. A positive correlation existed between  $\chi_{fd}$  and  $\chi$  in the soils.

**Keywords:** Aquic condition, Fe oxide, Land use, Soil evolution