

توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در ارتباط با ترکیبات آهن در برخی

خاک های انتخابی استان فارس

حمیدرضا اولیائی^{۱*}، ابراهیم ادهمی، سیروس جعفری، مجید رجائی و رضا قاسمی فسائی

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج؛ h_owliaie@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج؛ eadhami@gmail.com

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی رامین، خوزستان؛ siroosjafari@yahoo.com

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس؛ mrajaie2001@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز؛ ghasemireza2000@yahoo.com

چکیده

توزیع پذیرفتاری مغناطیسی (χ) و میزان ترکیبات آهن مربوط به ۱۴ نیمرخ خاک در دامنه نسبتاً گسترده ای از شرایط اقلیمی، کاربری و کلاس زهکشی در استان فارس، مورد مطالعه قرار گرفت. پذیرفتاری مغناطیسی در هر دو مبنای خاک خشک شده در آن (χ^{nd}) و مینروژنیک (χ^m)، (به منظور جبران مواد دیامگنتیک پویا مانند کربنات ها و گچ) اندازه گیری شد. در اکثر خاک ها، پذیرفتاری مغناطیسی افق های الویال بیشتر از افق های ایلوویال بوده است. این افزایش احتمالاً به آبخوئی مواد دیامگنتیک از افق های سطحی و همچنین تشکیل پدوژنیک فری-مگنتیت ها در سطح خاک مربوط بوده است. خاک های با زهکشی ضعیف و نسبتاً ضعیف دارای پذیرفتاری مغناطیسی به مراتب کمتری نسبت به خاک های با زهکشی مناسب بوده است. رابطه مثبت و معنی داری ($P < 0.01$) میان آهن پدوژنیک متبلور ($Fe_d - Fe_o$) و پذیرفتاری مغناطیسی در خاک ها مشاهده گردید. رابطه مشابهی بین میانگین بارندگی سالانه و پذیرفتاری مغناطیسی خاک ها نیز مشاهده شد.

واژه های کلیدی: پذیرفتاری مغناطیسی، ترکیبات آهن، خاک آهکی، کلاس زهکشی، بارندگی

مقدمه

واحد است. پذیرفتاری مغناطیسی می تواند بر حسب واحد جرمی نیز بیان گردد که بر این اساس به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\chi_{mass} = \kappa / \rho$$

در این معادله ρ وزن مخصوص ظاهری جسم بر حسب χ_{mass} ، kg/m^3 پذیرفتاری مغناطیسی جرمی بر حسب m^3/kg می باشد (Mullins, ۱۹۷۷).

اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی یک روش

پذیرفتاری مغناطیسی^۲ درجه ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی با شدت معینی را تحت تأثیر قرار می دهد (Mullins, ۱۹۷۷). این کمیت به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\kappa = M/H$$

در معادله بالا M میزان مغناطیس پذیری جسم و H شدت میدان مغناطیسی (هر دو بر حسب آمپر بر متر) و κ پذیرفتاری مغناطیسی حجمی است. در این معادله κ بدون

۱- نویسنده مسئول، آدرس: یاسوج، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

* دریافت: ۸۶/۸/۲۰ و پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

Mullins (۱۹۷۷) دی هیدراسیون لپیدوکروسیت (γ FeOOH) در خاک های با زهکشی ضعیف را به دو مکانیسم قبلی اضافه نمود. مقدار افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک بستگی به میزان فرایند های خاک سازی و همچنین عوامل ناگهانی مانند آتش سوزی دارد (Mullins, ۱۹۷۷).

Fine و همکاران (۱۹۹۲) گزارش نمودند که تکامل متوالی خاک منجر به پیشگویی یک الگوی توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در نیمرخ خاک می شود. از آن جایی که پذیرفتاری مغناطیسی افق های الویال بیشتر از افق های ایلویال می باشد، بنابراین میزان افزایش پذیرفتاری مغناطیسی می تواند به عنوان شاخصی از میزان فرایند های خاک سازی مطرح گردد (Singer و Fine, ۱۹۸۹؛ Fine و همکاران, ۱۹۹۲؛ Owliaie و همکاران, ۲۰۰۶, a, b).

افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک ها اساساً به دلیل تشکیل پدوژنیک کانی های فری-مگنتیت می باشد که به میزان زیادی به عوامل خاک ساز شامل ماده مادری، آب و هوا، پستی و بلندی و پوشش گیاهی بستگی دارد (Feng و Johnson, ۱۹۹۵). فرضیه مطرح در مورد افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، بیشتر اشاره به تغییر شکل در جای آهن غیر مغناطیسی، به ریز بلورهای مگنتیت و مگهمیت دارد (Mullins, ۱۹۷۷).

آبشویی کربنات ها و گچ و همچنین تجمع ماده آلی در سطح خاک و یا سایر تغییرات شدید در توده خاک می تواند میزان پذیرفتاری مغناطیسی در یک افق را نسبت به سایر افق ها تغییر دهد که این امر مربوط به افزایش یا کاهش غلظت ترکیبات مغناطیسی در خاک می باشد. تغییرات ناشی از انتقال ترکیبات آهن در نیمرخ خاک و یا آزاد سازی اکسیدها از داخل سیلیکات های حاوی آهن به عنوان تغییرات مطلق در نظر گرفته می شوند (Minerogenic basis).

مقدار این عوامل مطلق به راحتی با حذف اثرات مواد دیامگنتیک مانند آهک، گچ و ماده آلی در محاسبه، مطابق معادله زیر بدست می آید (Blume و Schwertmann, ۱۹۶۹).

$$\chi_{\text{minero}} = (\chi_{\text{oven dry}} \times 100) / [(100 - (\text{OM} + \text{CCE} + \text{gypsum}))]$$
 در معادله بالا χ_{minero} میزان پذیرفتاری مغناطیسی بر مبنای مینروژنیک (مطلق)، $\chi_{\text{oven dry}}$ میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک خشک شده در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد، OM درصد ماده آلی، CCE درصد کربنات کلسیم معادل و gypsum درصد گچ در نمونه خاک مورد نظر می باشند.

سریع، غیر مخرب، ساده و نسبتاً ارزان می باشد که در دامنه گسترده ای از مطالعات مربوط به خاک و سنگ کار بررد دارد (Mullins, ۱۹۷۷؛ Thompson و Oldfield, ۱۹۸۶). رفتارهای مغناطیسی در اجسام به ۵ دسته تقسیم می شوند که بر حسب میزان پذیرفتاری مغناطیسی و به ترتیب نزولی شامل فرومگنتیسم^۱ (مانند آهن خالص)، فری مگنتیسم^۲ (مانند مگنتیت و مگهمیت)، کتند آنتی فرومگنتیسم^۳ (مانند هماتیت و گوئیت)، پارامگنتیسم^۴ (مانند لپیدوکروسیت) و دیامگنتیسم^۵ (مانند کوارتز، آهک، گچ و ماده آلی) می باشد (مالینز، ۱۹۷۷). منبع اصلی پذیرفتاری مغناطیسی در غالب خاک ها کانی های فری مگنتیک مانند مگنتیت (Fe_3O_4) و مگهمیت ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) می باشند.

اکسید های آهن خصوصاً گوئیت، هماتیت، لپیدوکروسیت، مگهمیت و مگنتیت فراوان ترین اکسیدهای فلزی در اکثر خاک ها می باشند. این اکسیدها در خاک های مناطق مختلف آب و هوایی در یک یا چند شکل و به مقادیر مختلف وجود دارند (Schwertmann و Taylor, ۱۹۸۹).

منبع اصلی پذیرفتاری مغناطیسی در غالب خاک ها کانی های فری-مگنتیت مانند مگنتیت (Fe_3O_4) و مگهمیت ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) می باشند. محیط های پدوژنیک بر پایداری و تبادلات این کانی ها در خاک تأثیر می گذارد (Schwertmann و Taylor, ۱۹۸۹). خصوصیات فیزیکی کانی های مغناطیسی تابعی از نوع کانی، شکل بلور، اندازه آن و سایر عوامل می باشد (Mullins, ۱۹۷۷).

Le Borgne (۱۹۵۵) اولین محقق بود که افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک ها را مربوط به تغییر و تبدیل در جای اکسید آهن غیر مغناطیسی مانند هماتیت (α Fe_2O_3) یا گوئیت (α FeOOH) به فرم فری-مگنتیک مگهمیت (γ Fe_2O_3) می دانست. نامبرده دو مکانیسم را مسئول این کار معرفی کرد:

۱) یک فرایند احیاء کانی هایی نظیر هماتیت در محیط غیر هوایی و در پی آن اکسیداسیون مجدد به ماگهمیت در شرایط هوایی

۲) احیاء هماتیت به مگنتیت در طول احتراق مواد آلی و تبدیل به ماگهمیت در طول مدت سرما و نفوذ هوا به داخل خاک.

- 1- Ferromagnetism
- 2- Ferrimagnetism
- 3- Canted antiferromagnetism
- 4- Paramagnetism
- 5- Diamagnetism
- 6- In situ

مغناطیسی و ارتباط آن با ترکیبات مختلف آهن در خاک های مورد مطالعه.

مواد و روش ها

استان فارس با وسعت ۱۳۳ هزار کیلومتر مربع، بین طول ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی واقع شده و ۸٪ وسعت کشور را به خود اختصاص می دهد. ارتفاع این استان از حدود ۵۰۰ تا ۳۹۰۰ متر از سطح دریا در نوسان می باشد. میانگین بارندگی سالانه استان از حدود ۵۰ تا ۸۵۰ میلی متر و میانگین دمای سالانه هوا از ۱۲ تا ۲۳ درجه سانتیگراد می باشد. بر طبق نقشه رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک های ایران (بنائی، ۱۳۷۸) خاک های این استان دارای رژیم های رطوبتی زیریک، یوستیک و اریدیک و رژیم های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می باشند. نیم رخ های خاک بر اساس راهنمای Soil Survey Manual (۱۹۹۳) تشریح و سپس بر مبنای Keys to Soil Taxonomy (۲۰۰۶) طبقه بندی گردیدند.

۱۴ نیم رخ خاک در مناطق مختلف اقلیمی استان فارس انتخاب (شکل ۱) و از افق های مشخصه به مقدار لازم نمونه خاک برداشته و به آزمایشگاه منتقل گردید. توزیع اندازه ای ذرات توسط روش پی-پت (Day, ۱۹۶۵) اندازه گیری گردید. اندازه گیری هدایت الکتریکی بر روی عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی و پ هاش خاک در خمیر اشباع در آب مقطر توسط دستگاه پ هاش متر اندازه گیری گردید (U. S. Salinity Laboratory Staff, ۱۹۵۴). ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات خاک با استات سدیم یک نرمال در پ هاش ۸/۲ به روش Chapman (۱۹۶۵) اندازه گیری گردید.

اندازه گیری میزان کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک با عصاره جمع آوری شده انجام یافت (Richards, ۱۹۵۴). کربن آلی از طریق اکسایش با اسید کرومیک و تیتراسیون با سولفات آهن آمونیاکی به روش Jackson (۱۹۷۵) اندازه گیری شد. مقدار گچ در نمونه ها نیز از روش استون اندازه گیری گردید (Richards, ۱۹۵۴).

اندازه گیری ترکیبات آهن بی شکل و آلی (Fe_o) توسط عصاره گیری بوسیله آمونیوم اگزالات اسیدی در پ هاش ۳ در تاریکی صورت گرفت (Day and McKeague, ۱۹۶۶). ترکیبات آهن متبلور، بی شکل و آلی (Fe_a) بوسیله عصاره گیری توسط سیترات-بی کربنات-دی تیونات (CBD) استخراج گردید (Holmgren, ۱۹۷۶). آهن کل خاک (Fe_t) نیز به وسیله عصاره گیری توسط اسید نیتریک

و همکاران (۱۹۸۹) پیشنهاد کردند که مقدار بیشتر مواد آلی و ریز موجودات هتروتروف در نزدیک سطح خاک می تواند تشکیل کانی های فری-مگنتیت را افزایش دهند. خاک های با زهکشی خوب معمولاً دارای پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به خاک های با زهکشی ضعیف بوده اند. شرایط بی هوازی منجر به عدم تبدیل کانی های پارامگنتیک و کنتد آنتی فرومگنتیک (مانند لپیدوکروسیت و گوئیت) به کانی های فری مگنتیک (مانند مگنتیت و مگهمیت) می شود (De Jong و همکاران، ۲۰۰۰؛ Grimley و همکاران، ۲۰۰۴؛ اولیائی و همکاران، ۱۳۸۴).

بر طبق نظر Maher (۱۹۸۶) آبیگری لپیدوکروسیت، حرارت شدید هماتیت و چرخه های اکسید و احیاء از عوامل تبدیل فرم های کمتر مغناطیسی اکسید آهن به اشکال بیشتر مغناطیسی آن می باشد. اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی برای ارزیابی نیم رخ های خاک در مطالعه ردیف زمانی مناسب و مفید می باشد. با استفاده از این تکنیک تفاوت در مواد مادری و انقطاع موجود در خاک های غیر یکنواخت قابل شناسایی است (Singer و Fine, ۱۹۸۹؛ Fine و همکاران، ۱۹۹۲).

اکسید ها و هیدروکسیدهای آهن در دامنه ای از ترکیبات بی شکل تا ترکیبات کاملاً متبلور وجود دارند (Thomasson و Bullock, ۱۹۷۵). در خاک ها میزان اکسید آهن (III) بی شکل به وسیله اگزالات آمونیم اسیدی (Fe_o) اندازه گیری می شود، در حالی که مقدار کل ترکیبات آهن پدورژنیک (Fe_a) به وسیله سیترات-بیکربنات - دی تیونات (CBD) عصاره گیری می شود. بنابراین ($Fe_a - Fe_o$) معیاری از میزان ترکیبات پدورژنیک متبلور آهن و نسبت (Fe_o/Fe_a) معیاری از اکسیدهای آهن فعال می باشند (Munch و Ottow, ۱۹۸۳).

در خاک های با شرایط هیدرومورفیک، توسط مکانیسم احیاء میکروبی، $Fe(III)$ نامحلول موجود در کانی فری-مگنتیت، به فرمهای محلول $Fe(II)$ تبدیل می شود (Maher, ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸).

مطالعات بسیار ناچیزی بر روی پذیرفتاری مغناطیسی خاک های ایران صورت گرفته است. به همین دلیل مطالعه حاضر می تواند اطلاعات مفیدی در مورد نحوه توزیع و عوامل مؤثر بر پذیرفتاری مغناطیسی و ارتباط آن با اشکال مختلف آهن در خاک های استان فارس در دامنه اقلیمی نسبتاً گسترده ای را ارائه نماید. بر این اساس اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱) مطالعه توزیع ترکیبات مختلف آهن و ۲) بررسی توزیع پذیرفتاری

وجود این شرایط، تشکیل ترکیبات متبلور آهن را با اشکال مواجه می نماید. با افزایش عمق خاک میزان آهن آلی و بی شکل کاهش می یابد که به دلیل کاهش میزان مواد آلی و افزایش میزان کربنات کلسیم و گچ در غالب نیم رخ ها می باشد. میزان Fe_e در دامنه ۰/۱۱ در افق Byk3 نیم رخ ۱۴ تا حداکثر ۲/۹۲ درصد در افق Bt نیم رخ ۱۲ در منطقه مرتفع جنگلی دشتک سپیدان در نوسان بوده است. عمده آهن عصاره گیری شده با CBD در خاک های غیر هیدرو مورفیک، مربوط به آهن متبلور بوده که میزان این آهن به دلیل پدوژنیک بودن رابطه مستقیمی با درجه تکاملی خاک دارد. مقدار Fe_e (شامل آهن بی شکل، آلی، متبلور و آهن موجود در ساختار کانی ها) نیز در دامنه ۰/۳۵ در افق Byk3 نیم رخ ۱۴ تا حداکثر ۴/۱۸ درصد در افق Bt نیم رخ ۱۲ متغیر بوده است.

همچنین میزان $(Fe_e - Fe_o)$ در دو مبنای ذکر شده، بیانگر میزان آهن متبلور (با منشاء پدوژنیک) می باشد. این میزان بر مبنای خاک خشک شده در آون از حداقل ۰/۱ در افق Byk3 نیم رخ ۱۴ تا حداکثر ۲/۸۸ درصد در افق Bt نیم رخ ۱۲ و بر مبنای مینروژنیک از حداقل ۰/۲۸ در افق By2 نیم رخ ۱۰ تا حداکثر ۳/۶ درصد در افق Bt نیم رخ ۱۲ متغیر بوده است. به نظر می رسد که حضور مواد پویائی مانند کربنات کلسیم و گچ در خاک که در اثر فرایند آبشویی میزان آنها در افق های سطحی کاهش می یابد، در افزایش فرم های مختلف آهن (که پویائی کمتری دارند) در سطح خاک ها عامل مهمی می باشند، هر چند که به نظر می رسد که خروج ترکیبات آهن از داخل ترکیبات معدنی خاک در اثر هوا دیدگی نیز، در افزایش میزان آهن متبلور نقش دارد.

پذیرفتاری مغناطیسی خاک ها در این دو مبنای $(\chi_{if}^m / \chi_{if}^{od})$ و نسبت میان آنها $(\chi_{if}^m / \chi_{if}^{od})$ که بیانگر اثر حضور مواد دیامگنتیک و پویای کربنات کلسیم، گچ و ماده آلی می باشد نیز، اندازه گیری گردیده است (جدول ۳). بر اساس این نتایج حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک در افق Bt نیم رخ ۱۲ به مقدار ۱۳۲/۴ و حداقل آن در افق C نیم رخ ۱ به مقدار ۹/۹ مشاهده گردید. حداکثر نسبت $\chi_{if}^m / \chi_{if}^{od}$ در افق Bky3 نیم رخ ۱۴ به میزان ۶/۱۲ و حداقل آن به میزان ۱/۲۴ در افق Ap نیم رخ ۴، مشاهده گردیده است. بالاتر بودن این نسبت بیانگر بیشتر بودن مجموع کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی در این خاک ها بوده است.

بحث

با توجه به نتایج به دست آمده در نیم رخ های مطالعه شده (به جز نیم رخ های ۷، ۸، ۱۱ و ۱۲) با افزایش

۴ نرمال اندازه گیری گردید (Sposito و همکاران، ۱۹۸۲). میزان آهن موجود در عصاره ها توسط دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA 670 پس از رقیق کردن به میزان لازم اندازه گیری گردید.

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه های پودری خاک بوسیله دستگاه MS2 Meter, Bartington Dual Frequency در فرکانس ۰/۴۶ KHz اندازه گیری گردید. برای این منظور حدود ۱۰ گرم خاک خشک شده در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد) در ظروف پلاستیکی کوچک با قطر ۲/۲ سانتی متر ریخته تا ارتفاع آن به حدود ۲cm برسد. قرائت های شاهد بر روی ظروف خالی در ابتدا و انتهای قرائت نمونه خاک، جهت تصحیح اثرات احتمالی ظرف بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی انجام گرفت. واحد پذیرفتاری مغناطیسی جرمی $m^3 kg^{-1}$ می باشد که به دلیل بزرگ بودن واحد، معمولاً اعداد به دست آمده در ضریب 10^{-8} ضرب و گزارش می شوند. تجزیه و تحلیل آماری داده ها با برنامه کامپیوتری SPSS انجام گرفت.

نتایج

برخی مشخصات عمومی نیم رخ های خاک مطالعه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. بر این اساس نیم رخ های خاک مورد مطالعه در ۵ راسته اتی سول، اینسپتی سول، الفی سول، مالی سول و اریدیسول قرار می گیرند. این نیم رخ ها در کلاس های زهکشی بسیار ضعیف تا خوب و کاربری های زراعی، جنگل و مرتع قرار می گیرند. جدول ۲ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک های مورد آزمایش (۵۵ نمونه) را نشان می دهد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان رس در نمونه خاک ها از ۱۳ تا ۵۱ درصد، پ هاش از ۷/۱ تا ۸/۴ هدایت الکتریکی از ۰/۱ تا ۶۱/۲ دسی زیمنس بر متر، ظرفیت تبادل کاتیونی از ۳/۳ تا ۳۴/۵ سانتی مول در کیلوگرم خاک، کربن آلی از مقادیر ناچیز تا ۲/۱ درصد، میزان کربنات کلسیم معادل از ۱۳/۳ تا ۶۴/۵ درصد و میزان گچ از مقادیر ناچیز تا ۴۲ درصد در نوسان بوده است.

جدول ۳ میزان ترکیبات مختلف آهن (Fe_e , Fe_o) و (Fe_e) را بر مبنای وزن خاک خشک شده در آون و همچنین بر مبنای مینروژنیک نشان می دهد. بر این اساس میزان Fe_o (بر مبنای خاک خشک شده در آون) در دامنه ۰/۰۱ تا ۰/۲۷ درصد بوده است که میزان حداکثر، در افق Btg نیم رخ شماره ۹ بوده است که دارای شرایط هیدرومورفیک بوده و در مقابل حداقل میزان Fe_o در مواد مادری خاک های غیر هیدرومورفیک بوده است. در شرایط هیدرومورفیک، میزان ترکیبات آهن بی شکل و آلی حداکثر بوده است.

مجموعه این معادلات بیانگر این مطلب است که نحوه توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در خاک های مطالعه شده تا حدود زیادی متأثر از تغییرات غلظت این مواد بوده است و تغییرات اشکال کمتر مغناطیسی آهن (مانند هماتیت و لپیدوکروسیت) به اشکال بیشتر مغناطیسی آن (مانند مگنیت و مگنتیت)، اهمیت کمتری در ارتباط با افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک داشته است. بنابراین افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در افق های سطحی تا حدود زیادی به آبشویی این مواد و کاهش آنها در سطح خاک مرتبط می گردد.

بر خلاف سایر نیم رخ ها، حداکثر میزان پذیرفتاری مغناطیسی در افق B نیم رخ های ۷، ۸، ۱۱ و ۱۲ مشاهده گردید (جدول ۳). به نظر می رسد آبشویی ذرات بسیار ریز فری- مگنتیت و انتقال آنها از افق سطحی به افق B خصوصاً در خاک های 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، می تواند عاملی برای عدم یکنواختی کاهش پذیرفتاری مغناطیسی با عمق باشد (Oades, ۱۹۶۳).

شرایط زهکشی خاک از عواملی است که به میزان زیادی بر توزیع پذیرفتاری مغناطیسی تأثیر دارد. در خاک های با شرایط احیاء، کانی های فری- مگنتیت در نتیجه فعالیت ریز موجودات در اثر احیاء Fe(III) به Fe(II)، به فرم های محلول تر تبدیل می شود (Maher, ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸).

نیم رخ شماره ۹ (Typic Endoaqualfs) در منطقه دشت ارژن دارای شرایط هیدرومورفیک با زهکشی بسیار ضعیف بوده است. خاک های این نیم رخ به رغم بارندگی نسبتاً مناسب، میزان زیاد رس و تکامل خاک، دارای پذیرفتاری مغناطیسی اندکی می باشد. شرایط بی هوازی منجر به عدم تبدیل کانی های پارامگنتیک و کنتد آنتی فرومگنتیک مانند لپیدوکروسیت و گوئیت (به کانی های فری مگنتیک (مانند مگنتیت و مگنیت) می شود (De Jong و همکاران، ۲۰۰۰؛ Grimley و همکاران، ۲۰۰۴؛ اولیائی و همکاران، ۲۰۰۶).

کاهش میزان تشکیل اکسید های بلورین آهن در خاک های با زهکشی ضعیف، منجر به افزایش نسبت Fe_0/Fe_d می گردد. در خاک های مورد مطالعه این نسبت از ۰/۰۱ تا ۰/۵۶ متغیر بوده است. مقادیر حداکثر این نسبت نیز در نیم رخ شماره ۹ با شرایط هیدرومورفیک مشاهده گردید. بر طبق نظر McKeague و Day

عمق، میزان پذیرفتاری مغناطیسی کاهش یافته است (جدول ۳). به طور کلی تغییرات عمودی پذیرفتاری مغناطیسی در طول نیم رخ خاک به میزان زیادی به تبدیل در جای اکسیدهای غیر مغناطیسی آهن به بلور های بسیار ریز فری- مگنتیت بستگی دارد. محلول شدن Fe^{+2} و متعاقب آن رسوب مجدد به صورت فرم های مغناطیسی تر از عوامل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک می باشد (Fine و همکاران، ۱۹۸۹). بر طبق نظر Grimley و همکاران (۲۰۰۴) افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در لایه های سطح خاک به میزان زیادی به تبدیل در جای اکسید های آهن غیر مغناطیسی و اکسی هیدروکسیدهای آهن به ریز بلورهای فری مگنتیک بستگی دارد. میزان افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک به میزان فرایندهای خاک سازی و اتفاقات ناگهانی نظیر آتش سوزی بستگی دارد (Fine و Singer, ۱۹۸۹).

افزایش میزان ماده آلی در سطح خاک، خصوصاً در مناطق مرطوب تر و خنک تر عاملی در جهت افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در سطح خاک بوده است. فعالیت میکرو ارگانیسم ها عاملی در جهت افزایش انحلال اکسیدهای آهن غیر مغناطیسی به اکسیدهای مغناطیسی آن می باشد (Dearing و همکاران، ۱۹۸۵). Oades (۱۹۶۳) زهکشی مناسب و مقدار زیاد ماده آلی را جهت افزایش پذیرفتاری مغناطیسی مناسب توصیف نموده است.

نتایج به دست آمده در مورد پذیرفتاری مغناطیسی خاک های مطالعه شده و اشکال مختلف آهن (جدول ۳) ارتباط معنی داری را میان χ_{if}^{od} و $(Fe_d-Fe_0)^{od}$ در این خاک ها بر اساس معادله زیر نشان می دهد:

$$\chi_{if}^{od} = 32.6 (Fe_d-Fe_0)^{od} + 0.44 \quad n=55, R^2=0.77, P<0.01$$

ارتباط میان χ_{if}^m و $(Fe_d-Fe_0)^m$ در خاک های مطالعه شده نیز از نظر آماری معنی دار بوده است. معادله این ارتباط نیز به صورت زیر می باشد:

$$\chi_{if}^m = 18.7 (Fe_d-Fe_0)^m + 14.9 \quad n=55, R^2=0.46, P<0.01$$

کاهش میزان ضریب تبیین از ۰/۷۷ به ۰/۴۶ نشان دهنده اثر کاهش دهنده مواد مانند کربنات کلسیم، گچ و مواد آلی در خاک (ترکیبات دیامگنتیک) بر میزان پذیرفتاری مغناطیسی می باشند. نتایج نشان می دهد که رابطه ای منفی و معنی دار میان χ_{if}^{od} و درصد مجموع آهک، گچ و ماده آلی در خاک وجود دارد. این ارتباط به وسیله معادله زیر بیان می گردد:

$$\chi_{if}^{od} = -0.53 (CCE+Gypsum+OM) + 44.3, n=55, R^2=0.24, P<0.01$$

مناسب، آبشویی نسبتاً زیاد کربنات کلسیم و تکامل زیاد می باشند (جدول های ۱ و ۲).

افزایش بارندگی (رطوبت) علاوه بر افزایش میزان سرعت هواپدگی و آب شویی مواد، موجب آزاد سازی بیشتر ترکیبات آهن از ساختار کانی ها و افزایش نسبی آنها در نیم رخ خاک می گردد. به علاوه بیشتر بودن بارندگی موجب افزایش تراکم پوشش گیاهی و ازدیاد فعالیت میکروارگانیسم ها و تشکیل بیشتر کانی های فرو مگنتیک و در مجموع افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک ها می گردد.

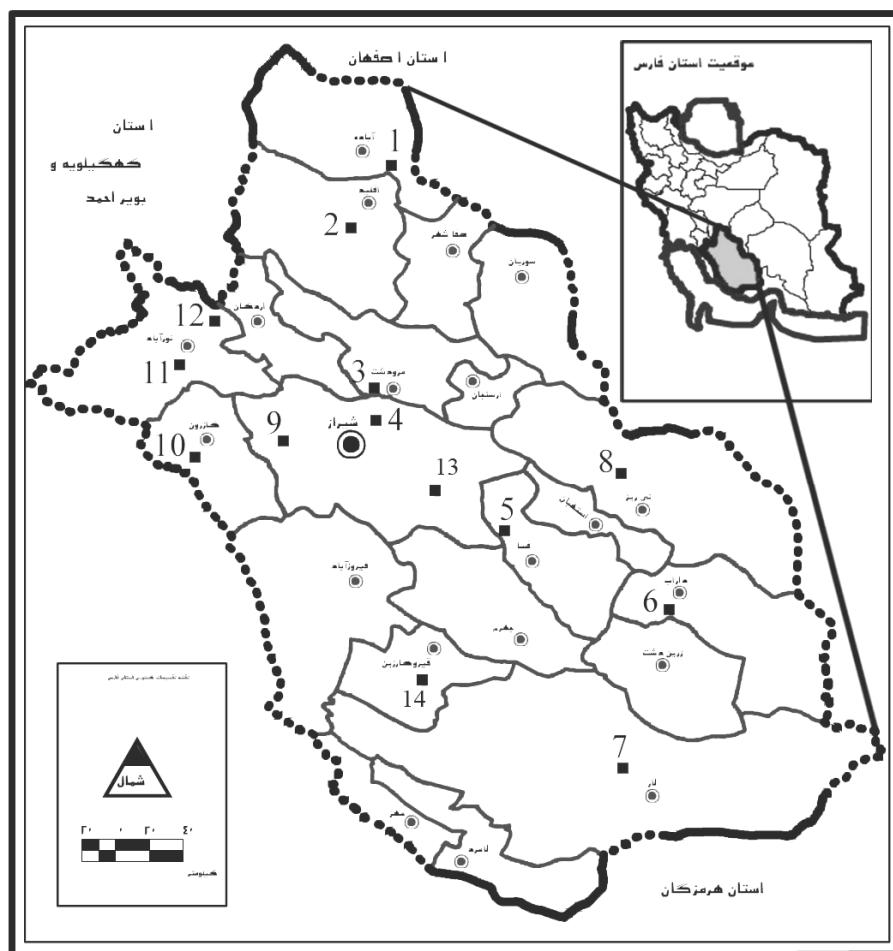
رابطه میان میانگین بارندگی سالانه و پذیرفتاری مغناطیسی خاک های مطالعه شده نیز رابطه ای مثبت و معنی دار به صورت زیر می باشد:

$$\chi_{ir}^{od} = 0.08 (\text{rainfall}) - 9.50 \quad n=55, \quad R^2=0.54, \quad P<0.01$$

(۱۹۶۶) نسبت های بالاتر از ۰/۳۵ بیانگر خاک های هیدرومورفیک می باشد.

شرایط اقلیمی مدیترانه ای که در آن دو فصل کاملاً متمایز خشک و مرطوب وجود دارد، شرایط را برای تبدیل اکسیدهای آهن کمتر مغناطیسی به اکسید های فری مگنتیک فراهم نموده است که این امر منجر به ایجاد چرخه های اکسید و احیاء در خاک می گردد. به نظر می رسد که آبیاری اراضی موجب کاهش دوره های خشک و مرطوب بودن خاک و در نتیجه کاهش تبدیل اشکال غیر مغناطیسی به مغناطیسی آهن می گردد. Dearing و همکاران (۱۹۹۶) در مطالعه خاک های انگلیس پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری را در مراتع نسبت به اراضی زراعی مشاهده نمودند.

بیشترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در نیم رخ ۱۲ در منطقه دشتک سپیدان مشاهده گردید. عواملی که موجب این افزایش گردیده شده است از جمله شامل بارندگی زیاد، کاربری جنگل (عدم آبیاری)، پایداری ژئومورفیک (فیزیوگرافی دشت مرتفع)، ماده آلی نسبتاً زیاد در سطح خاک، زهکشی



شکل ۱- موقعیت نیم رخ های خاک مطالعه شده در استان فارس

جدول ۱- برخی مشخصات عمومی نیم رخ های مطالعه شده

نیمرخ	منطقه	رژیم رطوبتی و حرارتی خاک	میانگین بارندگی سالانه (میلی متر)	میانگین دمای سالانه (°C)	فیزیوگرافی	کاربری زمین	کلاس زهکشی	طبقه بندی USDA (2006)
۱	آباده	اریدیک - مزیک	۱۵۰	۱۳/۶	دشت مرتفع	زراعی (آیش)	خوب	Typic Haplocalcids
۲	اقلید	زریک - مزیک	۲۳۰	۱۲/۳	دشت مرتفع	زراعی (گندم برداشت شده)	خوب	Calcic Haploxeralfs
۳	مرودشت	زریک - ترمیک	۳۳۰	۱۵/۹	دشت رسوبی رودخانه ای	زراعی (ذرت برداشت شده)	نسبتاً خوب	Calcic Haploxeralfs
۴	باجگاه	زریک - ترمیک	۴۰۵	۱۳/۵	دشت دامنه ای	زراعی (آیش)	خوب	Typic Calcixerpts
۵	فسا (میان جنگل)	زریک - ترمیک	۳۴۵	۱۵/۷	دشت مرتفع	مرتع	خوب	Typic Calcixerpts
۶	داراب	اریدیک یوستیک - هایپر ترمیک	۳۵۰	۲۱/۵	دشت سیلگیر	فاقد پوشش	ضعیف	Typic Aquisalids
۷	لارستان	اریدیک یوستیک - هایپر ترمیک	۲۰۰	۲۳/۳	دشت رسوبی دامنه ای	زراعی (شخم خورده)	خوب	Aridic Calcustepts
۸	نیریز	اریدیک-ترمیک	۲۲۰	۱۵/۸	دشت سیلگیر	مرتع	نسبتاً ضعیف	Gypsic Haplosalids
۹	دشت ارژن	زریک - مزیک	۴۵۰	۱۳/۱	اراضی پست	مرتع	بسیار ضعیف	Typic Endoaqualfs
۱۰	کازرون	اریدیک یوستیک - هایپر ترمیک	۵۶۰	۲۲/۲	دشت مرتفع	زراعی (شخم خورده)	نسبتاً خوب	Gypsic Calcustepts
۱۱	ممسنی	یوستیک - هایپر ترمیک	۵۲۰	۲۱/۰	دشت رسوبی دامنه ای	زراعی (شخم خورده)	خوب	Typic Argiustolls
۱۲	دشتک سپیدان	زریک - مزیک	۸۶۰	۱۰/۴	دشت مرتفع	جنگل	خوب	Calcic Argixerolls
۱۳	سروستان	زریک - ترمیک	۲۸۰	۱۸	دشت رسوبی دامنه ای	زراعی (گندم برداشت شده)	نسبتاً ضعیف	Calcic Haploxeralfs
۱۴	قبر و کارزین	یوستیک - هایپر ترمیک	۳۲۰	۲۲/۵	دشت رسوبی دامنه ای	مرتع	نسبتاً خوب	Gypsic Calcustepts

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیم رخ های مطالعه شده

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

ادامه جدول ۲-

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

ادامه جدول ۲-

گنج	کربنات کلسیم معادل ----- % -----	کربن الی	ظرفیت تبادل کاتیونی cmol _c kg ⁻¹	هدایت الکتریکی dSm ⁻¹	پ هاش	درصد توزیع ذرات خاک			عمق (cm)	افق
						رس	سیلت	شن		
<u>نیم رخ ۱۳- Calcic Haploxeralfs</u>										
۰/۷	۳۹/۳	۰/۵	۱۳/۴	۰/۸	۷/۸	۳۳	۴۷	۲۰	۰-۲۵	Ap
۱/۱	۴۴/۱	۰/۳	۱۷/۱	۱/۳	۸/۱	۴۹	۴۲	۹	۲۵-۵۰	Btk
۱۱/۹	۳۵/۵	۰/۲	۱۴/۷	۳/۳	۸/۲	۳۴	۳۶	۳۰	۵۰-۸۰	Byk
۱۹/۲	۳۴/۶	۰/۱	۱۱/۱	۴/۶	۷/۹	۲۴	۴۴	۳۲	۸۰-۱۳۰	By
<u>نیم رخ ۱۴- Gypsic Calcustepts</u>										
۲۵/۰	۴۱/۳	۱/۴	۱۱/۷	۴/۴	۷/۵	۲۳	۵۰	۲۷	۰-۲۰	Ap
۳۶/۳	۴۵/۰	۰/۷	۱۵/۹	۸/۳	۸/۰	۴۲	۳۶	۲۲	۲۰-۴۰	Byk 1
۴۲/۰	۴۰/۰	۰/۵	۱۱/۷	۱۱/۵	۸/۱	۴۴	۲۰	۳۶	۴۰-۸۰	Byk 2
۴۱/۰	۴۲/۵	۰/۱	۱۲/۶	۱۲/۷	۸/۲	۵۱	۲۳	۲۶	۸۰-۱۲۰	Byk 3

جدول ۳- غلظت ترکیبات مختلف آهن و میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک های مطالعه شده.*

$\chi_{lr}^m / \chi_{lr}^{od}$	χ_{lr}^m	χ_{lr}^{od}	$(Fe_d - Fe_o)_m$	$(Fe_d - Fe_o)_{od}$	$(CCE+Gyps+OM)^{\#}$	$Fe_{t(m)}$	$Fe_{d(m)}$	$Fe_{o(m)}$	$Fe_{t(od)}$	$Fe_{d(od)}$	$Fe_{o(od)}$	افق
	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$		----- % -----									
<u>نیم رخ ۱- Typic Haplocalcids</u>												
۱/۷۲	۲۰/۶	۱۲	-/۶۷	-/۳۹	۴۱/۸	۲/۶۸	-/۷۱	-/۰۳	۱/۵۶	-/۴۱	-/۰۲	Ap
۱/۶۰	۱۱/۲	۷	-/۶۷	-/۴۲	۳۷/۴	۲/۶۵	-/۷۰	-/۰۳	۱/۶۶	-/۴۴	-/۰۲	Bk
۱/۹۷	۹/۹	۵	-/۸۳	-/۴۲	۴۹/۲	۳/۵۳	-/۸۷	-/۰۴	۱/۷۹	-/۴۴	-/۰۲	C
<u>نیم رخ ۲- Calcic Haploxerafs</u>												
۱/۴۸	۴۵/۸	۳۱	۱/۴۳	-/۹۷	۳۲/۲	۳/۴۳	۱/۴۸	-/۰۴	۲/۳۲	۱/۰	-/۰۳	Ap
۱/۶۴	۵۰/۹	۳۱	۲/۰۵	۱/۲۵	۳۹/۰	۴/۳۰	۲/۱۳	-/۰۸	۲/۶۲	۱/۳	-/۰۵	Bt
۱/۸۰	۴۸/۶	۲۷	۱/۵۷	-/۸۷	۴۴/۴	۳/۶۳	۱/۶۰	-/۰۴	۲/۰۲	-/۸۹	-/۰۲	Btk1
۲/۱۹	۵۴/۷	۲۵	۱/۹۵	-/۸۹	۵۴/۲	۳/۹۴	۱/۹۹	-/۰۴	۱/۸۰	-/۹۱	-/۰۲	Btk2
<u>نیم رخ ۳- Calcic Haploxerafs</u>												
۱/۶۰	۴۰/۰	۲۵	۱/۷۳	۱/۰۸	۳۷/۵	۴/۲۰	۱/۸۳	-/۱۰	۲/۶۲	۱/۱۴	-/۰۶	Ap
۱/۶۵	۳۷/۹	۲۳	۱/۹۶	۱/۱۹	۳۹/۲	۴/۰۵	۲/۰۴	-/۰۸	۲/۴۶	۱/۲۴	-/۰۵	Bt
۱/۶۷	۳۱/۷	۱۹	۲/۰۲	۱/۲۱	۳۹/۹	۴/۷۳	۲/۱۲	-/۱۰	۲/۸۴	۱/۳۷	-/۰۶	Btk1
۱/۷۷	۳۰/۱	۱۷	۱/۶۷	-/۹۴	۴۳/۵	۲/۶۰	۱/۷۰	-/۰۴	۱/۴۷	-/۹۶	-/۰۲	Btk2
۱/۸۳	۱۸/۳	۱۰	۱/۲۸	-/۷۰	۴۵/۳	۲/۱۶	۱/۳۰	-/۰۲	۱/۱۸	-/۷۱	-/۰۱	C

ادامه جدول ۳-

$\chi_{lr}^m / \chi_{lr}^{od}$	χ_{lr}^m	χ_{lr}^{od}	$(Fe_d - Fe_o)_m$	$(Fe_d - Fe_o)_{od}$	$(CCE+Gyps+OM)$	$Fe_{t(m)}$	$Fe_{d(m)}$	$Fe_{o(m)}$	$Fe_{t(od)}$	$Fe_{d(od)}$	$Fe_{o(od)}$	افق
	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$		----- % -----									
<u>نیم رخ ۴- Typic Calcixerepts</u>												
۱/۲۴	۲۸/۴	۲۳	-/۴۴	-/۳۶	۱۹/۰	۱/۶۶	-/۵۳	-/۰۹	۱/۳۴	-/۴۳	-/۰۷	Ap
۱/۴۱	۲۶/۸	۱۹	-/۴۷	-/۳۳	۲۹/۱	۲/۳۴	-/۵۴	-/۰۷	۱/۶۶	-/۳۸	-/۰۵	Bk1
۱/۴۵	۲۰/۲	۱۴	-/۴۳	-/۳۰	۳۰/۸	۲/۲۱	-/۴۸	-/۰۴	۱/۵۳	-/۳۳	-/۰۳	Bk2
۱/۶۰	۱۶/۰	۱۰	-/۴۳	-/۲۷	۳۷/۶	۱/۹۴	-/۴۵	-/۰۲	۱/۲۱	-/۲۸	-/۰۱	C
<u>نیم رخ ۵- Typic Calcixerepts</u>												
۱/۴۸	۲۸/۰	۱۹	-/۴۴	-/۳۰	۳۲/۲	۱/۵۶	-/۴۷	/۰۳	۱/۰۶	-/۳۲	-/۰۲	A
۱/۷۲	۲۷/۷	۱۶	-/۵۴	-/۳۱	۴۲/۱	۲/۳۹	-/۵۷	-/۰۳	۱/۳۸	-/۳۳	-/۰۲	Byk
۱/۷۸	۲۴/۹	۱۴	-/۶۲	-/۳۵	۴۳/۷	۲/۲۲	-/۶۶	-/۰۴	۱/۲۵	-/۳۷	-/۰۲	Bk1
۱/۹۸	۲۱/۸	۱۱	-/۵۴	-/۲۷	۴۹/۵	۱/۹۲	-/۵۶	-/۰۲	-/۹۷	-/۲۸	-/۰۱	Bk2
<u>نیم رخ ۶- Typic Aquisalids</u>												
۱/۳۳	۲۱/۲	۱۶	-/۴۴	-/۳۳	۲۴/۵	۲/۱۵	-/۵۸	-/۱۵	۱/۶۲	-/۴۴	-/۱۱	Az
۱/۳۵	۱۷/۵	۱۳	-/۴۵	-/۳۳	۲۵/۸	۲/۵۶	-/۶۱	-/۱۶	۱/۹۰	-/۴۵	-/۱۲	Bz1
۱/۴۹	۱۷/۹	۱۲	-/۷۹	-/۵۳	۳۲/۸	۳/۰۴	۱/۰۳	-/۲۴	۲/۰۴	-/۶۹	-/۱۶	Cz1
۱/۵۶	۱۸/۸	۱۲	-/۴۷	-/۳۰	۳۶/۱	۱/۹۷	-/۶۶	-/۱۹	۱/۲۶	-/۴۲	-/۱۲	Cz2
۱/۷۲	۱۵/۵	۹	-/۴۵	-/۲۶	۴۱/۸	۱/۹۶	-/۵۸	-/۱۴	۱/۱۴	-/۳۴	-/۰۸	C

ادامه جدول ۳-

$\chi_{if}^m / \chi_{if}^{od}$	χ_{if}^m	χ_{if}^{od}	$(Fe_d - Fe_o)_m$	$(Fe_d - Fe_o)_{od}$	(CCE+Gyps+OM)	$Fe_{t(m)}$	$Fe_{d(m)}$	$Fe_{o(m)}$	$Fe_{t(od)}$	$Fe_{d(od)}$	$Fe_{o(od)}$	افق
	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$		----- % -----									
<u>Aridic Calcustepts - ۷ رخ نم</u>												
۱/۸۵	۳۱/۴	۱۷	۱/۴۸	-/۸۰	۴۵/۸	۲/۳۳	۱/۵۵	-/۰۷	۱/۲۶	-/۸۴	-/۰۴	Ap
۲/۴۰	۲۸/۸	۱۲	۱/۷۳	-/۷۲	۵۸/۳	۲/۸۸	۱/۸۰	-/۰۷	۱/۲۰	-/۷۵	-/۰۳	Bk1
۲/۴۸	۲۷/۳	۱۱	۱/۸۱	-/۷۳	۵۹/۶	۳/۱۰	۱/۸۸	-/۰۷	۱/۲۵	-/۷۶	-/۰۳	Bk2
۲/۸۳	۲۵/۵	۹	۱/۹۲	-/۶۸	۶۴/۶	۲/۷۵	۲/۰۱	-/۰۸	-/۹۷	-/۷۱	-/۰۳	C
<u>Gypsic Haplosalids - ۸ رخ نم</u>												
۱/۴۴	۱۸/۸	۱۳	-/۴۳	-/۳۰	۳۰/۷	۲/۰۸	-/۴۸	-/۰۴	۱/۴۴	-/۳۳	-/۰۳	Az
۱/۷۹	۳۰/۵	۱۷	-/۷۷	-/۴۳	۴۴/۲	۳/۱۶	-/۸۳	-/۰۵	۱/۷۶	-/۴۶	-/۰۳	By1
۱/۷۶	۱۷/۶	۱۰	-/۶۵	-/۳۷	۴۳/۰	۲/۸۶	-/۷۰	-/۰۵	۱/۶۳	-/۴۰	-/۰۳	By2
۱/۶۴	۱۶/۴	۱۰	-/۶۷	-/۴۱	۳۹/۱	۲/۶۳	-/۷۱	-/۰۳	۱/۶۰	-/۴۳	-/۰۲	By3
<u>Typic Endoaqualfs - ۹ رخ نم</u>												
۲/۲۵	۲۴/۸	۱۱	۱/۲۶	-/۵۶	۵۵/۵	۳/۷۴	۱/۸۵	-/۵۹	۱/۶۶	-/۸۲	-/۲۶	Ap
۲/۲۳	۲۰/۱	۹	-/۵۶	-/۲۵	۵۵/۲	۳/۸۴	۱/۱۶	-/۶۰	۱/۷۲	-/۵۲	-/۲۷	Btg
۲/۹۶	۲۳/۷	۸	-/۵۱	-/۵۱	۶۶/۲	۴/۲۳	۲/۱۶	-/۶۵	۱/۴۳	-/۷۳	-/۲۲	Bg

ادامه جدول ۳-

$\chi_{lf}^m / \chi_{lf}^{od}$	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$		$(Fe_d - Fe_o)_m$	$(Fe_d - Fe_o)_{od}$	(CCE+Gyps+OM)	$Fe_{t(m)}$	$Fe_{d(m)}$	$Fe_{o(m)}$	$Fe_{t(od)}$	$Fe_{d(od)}$	$Fe_{o(od)}$	افق
	χ_{lf}^m	χ_{lf}^{od}										
<u>Gypsic Calciustepts - ۱۰ نیم رخ</u>												
۲/۲۴	۶۲/۷	۲۸	۰/۵۷	۰/۵۷	۵۵/۳	۲/۹۶	۱/۳۲	۰/۰۴	۱/۳۲	۰/۵۹	۰/۰۲	Ap
۲/۲۶	۵۶/۶	۲۵	۰/۴۰	۰/۴۰	۵۵/۸	۲/۰۶	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۹۱	۰/۴۱	۰/۰۱	Byk
۲/۸۳	۵۶/۶	۲۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۶۴/۶	۲/۲۱	۰/۸۲	۰/۰۳	۰/۷۸	۰/۲۹	۰/۰۱	By1
۲/۷۸	۴۷/۲	۱۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۶۳/۹	۱/۷۵	۰/۹۴	۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۳۴	۰/۰۱	By2
<u>Typic Argiustolls - ۱۱ نیم رخ</u>												
۱/۱۹	۴۶/۴	۳۹	۱/۱۹	۱/۰	۱۵/۹	۳/۲۱	۱/۲۶	۰/۰۷	۲/۷۰	۱/۰۶	۰/۰۶	Ap
۱/۲۵	۵۸/۸	۴۷	۲/۱۸	۱/۷۴	۲۰/۰	۳/۳۵	۲/۲۳	۰/۰۵	۲/۶۸	۱/۷۸	۰/۰۴	Bt
۱/۴۱	۴۳/۶	۳۱	۰/۷۶	۰/۵۴	۲۸/۹	۲/۲۹	۰/۸۰	۰/۰۴	۱/۶۳	۰/۵۷	۰/۰۳	Btk
<u>Calcic Argixerolls - ۱۲ نیم رخ</u>												
۱/۳۳	۷۴/۳	۵۶	۳/۰۲	۲/۲۸	۲۴/۶	۴/۸۸	۳/۰۸	۰/۰۵	۳/۶۸	۲/۳۲	۰/۰۴	A
۱/۲۵	۱۳۲/۴	۱۰۶	۳/۶۰	۲/۸۸	۲۰/۰	۵/۲۲	۳/۶۵	۰/۰۵	۴/۱۸	۲/۹۲	۰/۰۴	Bt
۱/۳۸	۱۰۷/۳	۷۸	۳/۳۳	۲/۳۲	۳۷/۳	۵/۲۴	۳/۳۷	۰/۰۴	۳/۸۱	۲/۴۵	۰/۰۳	Btk
۲/۲۴	۴۰/۳	۱۸	۳/۳۱	۱/۴۸	۵۷/۳	۵/۷۳	۳/۳۶	۰/۰۴	۲/۵۶	۱/۵۰	۰/۰۲	C
<u>Calcic Haploxeralfs - ۱۳ نیم رخ</u>												
۱/۶۹	۴۷/۳	۲۸	۰/۶۳	۰/۳۷	۴۰/۹	۲/۶۹	۰/۶۶	۰/۰۳	۱/۵۹	۰/۳۹	۰/۰۲	Ap
۱/۸۴	۴۷/۸	۲۶	۰/۷۲	۰/۳۹	۴۵/۶	۳/۱۸	۰/۷۵	۰/۰۴	۱/۷۳	۰/۴۱	۰/۰۲	Btk
۱/۹۲	۴۰/۳	۲۱	۰/۷۹	۰/۴۱	۴۷/۸	۳/۰۱	۰/۸۲	۰/۰۴	۱/۵۷	۰/۴۳	۰/۰۲	Byk
۲/۲۱	۳۵/۴	۱۶	۰/۷۱	۰/۳۱	۳۵/۴	۳/۲۷	۰/۷۳	۰/۰۲	۱/۴۸	۰/۳۳	۰/۰۱	By

ادامه جدول ۳-

$\chi_{lf}^m / \chi_{lf}^{od}$	$10^{-8} m^3 kg^{-1}$		$(Fe_d - Fe_o)_m$	$(Fe_d - Fe_o)_{od}$	(CCE+Gyps+OM)	$Fe_{t(m)}$	$Fe_{d(m)}$	$Fe_{o(m)}$	$Fe_{t(od)}$	$Fe_{d(od)}$	$Fe_{o(od)}$	افق
	χ_{lf}^m	χ_{lf}^{od}										
<u>Gypsic Calciustepts - ۱۴ نیم رخ</u>												
۳/۳۰	۳۹/۶	۱۲	۰/۶۶	۰/۲	۶۹/۷	۲/۱۸	۰/۷۳	۰/۰۷	۰/۶۶	۰/۲۲	۰/۰۲	Ap
۵/۶۲	۵۰/۶	۹	۰/۹۶	۰/۱۷	۸۲/۲	۳/۲۶	۱/۰۷	۰/۱۱	۰/۵۸	۰/۱۹	۰/۰۲	Byk 1
۵/۸۳	۴۶/۷	۸	۰/۷۰	۰/۱۲	۸۲/۹	۳/۱۵	۰/۷۶	۰/۰۶	۰/۵۴	۰/۱۳	۰/۰۱	Byk 2
۶/۱۲	۳۶/۷	۶	۰/۶۱	۰/۱۰	۸۳/۷	۲/۱۴	۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۰۱	Byk 3

* (Oven Dry) od کمیت مورد نظر بر مبنای وزن خاک خشک شده، (Minerogenic) m کمیت مورد نظر بر مبنای مینروژنیک (بدون در نظر گرفتن مواد دیامگنتیک مانند آهک، گچ و ماده آلی)،

مجموع کربنات کلسیم معادل، گچ و ماده آلی، χ_{lf} پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پائین، Gyps میزان گچ، OM میزان ماده آلی.

فهرست منابع:

۱. اولیائی، حمیدرضا، ابطحی، علی و هک، ریچارد، ج. ۱۳۸۴. نقش فرایندهای پدوژنیکی در توزیع قابلیت مغناطیسی خاک های استان کهگیلویه و بویر احمد. خلاصه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه تهران. ص ۳۴۷-۳۴۸.
۲. بنائی، محمد حسن. ۱۳۷۸. نقشه رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک های ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، وزارت جهاد کشاورزی، ایران.
3. 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.
4. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. p. 891-901. *In: C.A. Black (ed.), Methods of soil analysis, part 2.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
5. Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. *In: p. 545-567.* C.A. Black (ed.), *Methods of Soil Analysis, part 1.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Holmgren, G.G.S. 1976. A rapid citrate-dithionate extractable iron procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 210-211.
12. Jackson, M.L. 1975. Soil chemical analysis-advanced course. Univ. of Wisconsin, College of Agric., Dept. of Soil Sci., Madison, WI.
13. Maher, B.A. 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic Paleosols: Paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 137: 25-54.
14. Maher, B.A. 1986. Characterization of soils by mineral magnetic measurements. *Phys. Earth Planet. Inter.* 42: 76-92.
15. 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.
16. Mullins, C.E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-A review. *J. Soil Sci.* 28: 223-246.
17. Munch, J.C., and J.C.G. Ottow. 1983. Reductive transformation mechanism of ferric oxides in hydromorphic soils." *Environ. Biogeochem. Ecol. Bull. (Stockholm)*, 35: 383-394.
18. Le Borgne, E. 1955. Susceptibilite magnetique anormale du sol superficial. *Annales de Geophysique*, 11: 399-419.
19. Oades, J.M. 1963. The nature and distribution of iron compounds in soils. *Soils and Fert.* 26: 69-80.
20. Owliaie, H.R., R.J. Heck, and A. Abtahi. 2006a. The magnetic susceptibility of soils in Kohgiluyeh, Iran. *Canadian J. Soil Science*, 86: 97-107.

21. 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.
22. Richards, L.A. (ed.). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handb. No. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
23. Schwertmann, U., and R.M. Taylor. 1989. Iron oxides. P. 379-438. *In*: Dixon, J.B. and S.B. Weed, (eds.), Minerals in soil environment. Soil Science Society of America, Madison, USA.
24. Singer, M.J., and P. Fine. 1989. Pedogenic factors affecting magnetic susceptibility of California soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1119-1127.
25. Soil Survey Staff, 1993. Soil Survey Manual. USDA. Handbook No. 18. Washington, DC.
26. Soil Survey Staff, 2006. Keys to Soil Taxonomy. USDA, NRCS. Washington, DC
27. Sposito, G., L.J. Lund, and A.C. Chang. 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 Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
28. Thomasson, A.J., and P. Bullock. 1975. Pedology and hydrology of some surface water gley soils. *Soil Sci.* 119: 339-348.
29. Thompson, R., and F. Oldfield. 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin, London. 227 p.
30. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1945. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Handbook 60, Washington D.C.