Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۴
http://ejsms.gau.ac.ir

مقایسه شاخص‌های مختلف تکامل خاک در برش طولی کرمان- بافت

سمیه‌السادات حسینی[۱]، *عیسی اسفندیارپور بروجنی[۲]، محمدهادی فرپور[۳] و علیرضا کریمی[۳]
[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، [۴]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱

چکیده

سابقه و هدف: پژوهشگران علوم خاک، به‌منظور سازمان‌دهی داده‌های خاک، معادله‌ها و شاخص‌های ریاضی مختلفی را ابداع نموده‌اند تا بتوانند درجه تکامل خاک را به‌صورت یک مقدار عددی بیان کنند. در طول تغییر و تحول خاک، ویژگی‌های خاک نسبت به ماده مادری تغییر پیدا می‌کند که تغییرات برخی از آن‌ها را می‌توان در قالب روابط ریاضی به‌عنوان شاخص‌هایی از تکامل خاک استفاده کرد. در این راستا، خصوصیات ریخت‌شناسی خاک و داده‌های آزمایشگاهی، مد نظر برخی از پژوهشگران قرار گرفته‌اند. همچنین توجه به میکرومرفولوژی خاک به‌عنوان روشی که می‌تواند شواهد مرتبط با توالی رویدادهای خاک‌ساز و فرایندهایی که از داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی قابل تشخیص نیستند را در اختیار قرار دهد، شاخص‌های تکاملی دیگری را فراهم نمود. به‌علاوه، مقدار و توزیع شکل‌های قابل استخراج آهن در خاک‌رخ، بیانگر مرحله و درجه تکامل خاک می‌باشند. هدف اصلی این پژوهش، مقایسه شاخص‌های مختلف تکامل خاک (شامل اشکال و نسبت‌های آهن، پذیرفتاری مغناطیسی، شاخص‌های رنگ و شاخص هاردن اصلاح‌شده) در رابطه با خاک‌های مختلف موجود در برش طولی کرمان- بافت بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور انجام مطالعات صحرایی، تعداد هشت خاک‌رخ در واحدهای ژئومرفیک مختلف یک ردیف پستی و بلندی سنگی اقلیمی از کرمان تا بافت، حفر و تشریح شد. سپس از همه افق‌های پیدایشی هر خاک‌رخ، نمونه خاک تهیه و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم و نیز مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی به آزمایشگاه منتقل گردیدند. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های آماده‌شده در دو فرکانس بالا (χ_{hf}) و پایین (χ_{lf})، به‌وسیله دستگاه مغناطیس‌سنج موجود در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان مدل بارتینگتن قرائت گردید. در نهایت، درصد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ($\chi fd\%$) محاسبه شد. به‌علاوه، از تعدادی از افق‌ها به‌منظور مطالعات میکرومورفولوژی خاک، نمونه دست‌نخورده گرفته شد که با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل HP، مقاطع نازک آماده‌شده برای مطالعات میکرومورفولوژی خاک، براساس راهنمای استروپس، مورد مطالعه و تفسیر قرار گرفتند.

یافته‌ها: با توجه به این‌که در برش طولی مورد مطالعه، از سمت کرمان به طرف بافت، با افزایش ارتفاع از سطح دریا، اقلیم مرطوب‌تر می‌شود و به تبع آن، شدت فرایندهای خاک‌ساز افزایش می‌یابد؛ اشکال و نسبت‌های آهن بدون در نظر گرفتن شرایط موضعی، این روند تکاملی را به خوبی نشان دادند. با توجه به تأثیر سنگ‌شناسی مواد مادری بر

* مسئول مکاتبه: esfandiarpoor@vru.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک خاک‌ها، این ویژگی ارتباط معنی‌داری با شاخص‌های تکامل خاک نشان نداد. رابطه همبستگی بین سه شاخص رنگ هارست، تورنت و الکساندر با انواع اشکال آهن، نشان داد که شاخص هارست برای منطقه مورد مطالعه، بهتر از دو شاخص دیگر عمل نموده است. به‌علاوه، شاخص هاردن اصلاح‌شده به‌دلیل یکسان نبودن ماده مادری خاک‌رخ‌ها، با روند تکاملی خاک در منطقه مطابقت نداشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به ارتباط بین تکامل و سن خاک با شکل‌های مختلف آهن، افزایش اکسیدهای آهن متبلور از خاک‌رخ ۱ (اقلیم خشک‌تر) به‌سمت خاک‌رخ ۸ (اقلیم مرطوب‌تر)، نشان‌دهنده تکامل بیش‌تر خاک‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: پذیرفتاری مغناطیسی، تکامل خاک، ردیف پستی و بلندی اقلیمی، شاخص رنگ

مقدمه

تشکیل خاک‌ها در سطح زمین، نتیجه برهمکنش عوامل پنج‌گانه خاک‌ساز (اقلیم، پوشش گیاهی، ماده مادری، پستی و بلندی و زمان) می‌باشد که شدت و ضعف هر یک از این عوامل، سبب تشکیل خاک‌هایی با خصوصیات و افق‌های مختلف می‌گردد (۲۰). با این وجود، تغییرات برخی از خصوصیات خاک در طول زمان، قابل پیش‌بینی است که می‌تواند باعث افزایش توانایی ما نسبت به کشف و درک روابط میان تغییر خصوصیت مورد نظر و مطالعات تشکیل خاک، مرفولوژی خاک، ژئومرفولوژی، بازسازی آب و هوای دیرینه، چینه‌شناسی زمانی و تعیین سن نسبی خاک‌ها شود (۱۵). به دیگر سخن، با توجه به خصوصیات مزبور و با شناخت دقیق از نحوه تغییر آن‌ها در خاک می‌توان نحوه وقوع تغییرات محیطی و تکامل خاک‌ها را بررسی نمود (٤).

با توجه به‌شمار زیاد خصوصیات خاک، تجزیه و تحلیل تمامی آن‌ها برای ارزیابی میزان تکامل خاک دشوار است. بر همین اساس، پژوهشگران علوم خاک، شاخص‌های ریاضی مختلفی را ابداع نموده‌اند تا بتوانند تکامل خاک را با استفاده از داده‌های مختلف خاک، به‌صورت یک مقدار عددی بیان کنند (١٤). از جمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص‌های ریخت‌شناسی و صحرایی، شاخص‌های آزمایشگاهی، شاخص‌های تعادل جرمی خاک، شاخص‌های میکرومرفولوژیکی، نسبت کانی‌های مقاوم به کانی‌های قابل هوادیدگی و مطالعه انواع شکل‌های آهن در خاک اشاره کرد.

یکی از نخستین ویژگی‌هایی که توجه خاک‌شناسان را برای سنجش میزان تکامل خاک‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر به خود معطوف نمود، ریخت‌شناسی خاک بود؛ زیرا اعتقاد بر این بود که ریخت‌شناسی یک خاک می‌تواند نشان‌دهنده مجموعه تغییرات انجام‌شده بر روی مواد مادری باشد (۸). در این میان، شاخص‌های رنگ، از جمله شاخص‌های ریختی ساده و در عین‌حال بسیار مفید برای تکامل خاک هستند. در اغلب موارد، رنگ با ویژگی‌های مختلف خاک در ارتباط است و تابع عواملی مانند مقدار ماده آلی، نوع کانی‌ها، زهکشی و اقلیم می‌باشد (۱۲). یکی از اولین شاخص‌های رنگ، شاخص بانتلی- وستین[1] (BW) (۷) است. این شاخص برای مالی‌سول‌ها تکامل پیدا کرده است و هیو در این شاخص، به یک مقدار عددی تبدیل می‌شود. بر مبنای این شاخص، هیوی قرمز، بالاترین عدد را به خود اختصاص می‌دهد؛ زیرا قرمزی بیش‌تر خاک، اغلب نشان‌دهنده افزایش هوادیدگی و تکامل خاک است (۷). اما از آن‌جا که بسیاری از خاک‌ها و رگولیت‌ها

1- Buntley-Westin index

www.SID.ir

Archive of SID

با افزایش سن، قرمزتر می‌شوند (۲۸) و این قرمزی معمولاً به مقدار کانی‌های آهن (به‌ویژه هماتیت) نسبت داده می‌شود، شاخص‌هایی براساس رابطه رنگ خاک و مقدار کانی‌های آهن توسعه داده شده‌اند. اولین موفقیت در مورد پیدا کردن ارتباطی منسجم بین رنگ و مقدار اکسید آهن آزاد توسط زمین‌شناسی به‌نام هارست برای استفاده در ساپرولیت بود (۱۸). در این شاخص نیز مانند شاخص BW، هیو به یک مقدار عددی تبدیل شده است و با افزایش مقدار آهن، شاخص قرمزی[1]، کاهش پیدا می‌کند. تورنت و همکاران (۱۹۸۳) و الکساندر (۱۹۸۵) شاخص هارست را اصلاح کردند و نشان دادند که مقادیر این شاخص با افزایش مقدار اکسید آهن و هماتیت، افزایش پیدا می‌کنند (۲ و ۳۸).

بیلزی و سیالکوف (۱۹۷۷) تکامل خاک را با کاربرد تعدادی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی خاک، به‌عنوان تابعی از زمان (سن خاک) بررسی کردند و تفسیرهای به‌دست آمده از بررسی‌های میدانی را به داده‌های آماری تبدیل نمودند و ارتباط هر کدام از ویژگی‌های موجود در افق‌های خاک را با ماده مادری ارزیابی کردند (۵). هاردن (۱۹۸۲) شاخص بیلزی و سیالکوف را اصلاح کرد و تعدادی از ویژگی‌هایی که بین افق‌های خاک و ماده مادری مقایسه شده بودند را حذف نمود و ویژگی‌های دیگری را جانشین آن‌ها کرد و این شاخص را در ردیف زمانی رودخانه مرکر در کالیفرنیا مورد آزمایش قرار داد. نتایج حاصل، همبستگی رضایت‌بخشی را با سن خاک‌های این منطقه نشان داد (۱۵). همچنین هاردن و تیلور (۱۹۸۳) با اضافه کردن دو خصوصیت پریدگی رنگ[2] (هیو و کرومای خشک و مرطوب) و روشنی رنگ[3] (ولیوی خشک و مرطوب) این شاخص را اصلاح کردند تا در خاک‌های مناطق خشک قابل استفاده باشد. در واقع، طراحی این شاخص به‌نحوی است که سایر پژوهشگران می‌توانند خصوصیاتی را به آن اضافه و یا آن‌هایی را که کاربردی ندارند حذف کنند (۱۶).

برخی از پژوهشگران، از جمله تورنت و همکاران (۱۹۸۰)، دولی و برا (۲۰۰۱) و زیلهرفر (۲۰۰۹) اعتقاد دارند با توجه به این‌که در طول هوادیدگی مواد مادری حاوی کانی آهن، این عنصر آزاد می‌شود و در خاک به‌صورت اکسید، هیدروکسید و یا اکسی‌هیدروکسید آهن، مجدداً رسوب می‌کند؛ بنابراین مقدار و توزیع آهن استخراج‌شده با اگزالات و دی‌تیونات و مقایسه این دو نوع آهن با یکدیگر می‌تواند نشان‌دهنده درجه تکامل خاک باشد (۱۱، ۳۷ و ۴۳). همچنین، امروزه بحث پذیرفتاری مغناطیسی به‌دلیل این‌که روشی سریع، غیرمخرب، ساده و نسبتاً ارزان در دامنه گسترده‌ای از مطالعات مربوط به خاک و سنگ محسوب می‌شود، در رابطه با بحث تکامل خاک‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این روش به‌عنوان یکی از شاخص‌های سنجش تکامل خاک‌رخ، متأثر از عوامل خاک‌ساز است که در فهم بسیاری از فرآیندهای خاک‌ساز، مفید و مؤثر می‌باشد (۱۷، ۲۴ و ۲۶).

با توجه به این‌که برش طولی کرمان تا بافت، یک ردیف پستی و بلندی اقلیمی است که از سمت کرمان به طرف بافت، اقلیم مرطوب‌تر می‌شود و نظر به این‌که پستی و بلندی، اقلیم و ماده مادری از عوامل مؤثر بر خاک‌سازی هستند و نیز با تغییر آن‌ها نحوه تشکیل و تکامل خاک می‌تواند تغییر یابد، بنابراین، هدف از این پژوهش مقایسه شاخص‌های مختلف تکامل خاک در برش طولی کرمان تا بافت می‌باشد.

1- Redness index
2- Color paling
3- Color lightening

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی، شامل بخشی از اراضی استان کرمان، واقع در جنوب‌شرقی ایران است که یک ردیف پستی و بلندی سنگی اقلیمی[1] از کرمان تا بافت را در بر می‌گیرد. این مسیر شامل شهرهای کرمان، لاله‌زار و بافت می‌باشد (شکل ۱). در این منطقه، از سمت کرمان به طرف لاله‌زار، میانگین ارتفاع از سطح دریا افزایش می‌یابد و به تبع آن، اقلیم نیز مرطوب‌تر می‌شود. تغییرات میانگین بارش سالانه منطقه در دشت کرمان و ارتفاعات لاله‌زار به‌ترتیب بین ۱۵۱ و ۲۲۷ میلی‌متر می‌باشد. دمای هوای منطقه از ۱۵/۷ °C در دشت کرمان به ۹/۷ °C در ارتفاعات لاله‌زار متغیر است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در دشت کرمان، به‌ترتیب، اریدیک ضعیف و ترمیک می‌باشند، که به زریک خشک و مزیک در ارتفاعات لاله‌زار تغییر می‌یابند. از نقطه‌نظر زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه متعلق به زون سنندج- سیرجان و کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر است (۲۳) و مواد مادری غالب منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های آذرین (مانند بازالت، آندزیت و اغلب گرانودیوریت)، سنگ‌های رسوبی (سنگ آهک، دولومیت، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلت‌استون و مارن) و مواد مادری آبرفتی دوره کواترنری می‌باشند (۱۳ و ۲۳).

مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری خاک: به‌منظور انجام مطالعات صحرایی، تعداد هشت خاک‌رخ در واحدهای ژئومورفولوژیکی شناسایی‌شده (شامل دشت، دامنه و اراضی پست) حفر شدند که مختصات جغرافیایی خاک‌رخ‌ها و ارتفاع آن‌ها از سطح دریا در جدول ۱ آورده شده‌اند. لازم به ذکر است که کاربری غالب تمامی واحدها مرتع بود. همچنین، خاک‌رخ ۱ (خاک‌رخ P1 در شکل ۱) در نزدیکی کارخانه لاستیک‌سازی قرار گرفته بود. خاک‌رخ‌های حفرشده براساس روش‌های ارایه‌شده در راهنمای شناسایی و تشریح خاک‌ها در صحرا (۳۳) تشریح شدند و مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۳٤) و طبقه‌بندی جهانی (۱۹) رده‌بندی گردیدند. سپس از همه افق‌های پیدایشی هر خاک‌رخ، نمونه خاک تهیه و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم و نیز مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی به آزمایشگاه منتقل گردیدند. به‌علاوه، از تعدادی از افق‌ها به‌منظور مطالعات میکرومورفولوژی خاک، نمونه دست‌نخورده گرفته شد.

مطالعات آزمایشگاهی: پس از هواخشک نمودن نمونه‌های برداشت‌شده و عبور آن‌ها از الک ۲ میلی‌متری، تجزیه‌های آزمایشگاهی لازم بر روی آن‌ها انجام شد. برای این منظور، واکنش خاک در خمیر اشباع با دستگاه پ‌هاش‌متر و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (۳۱)، بافت خاک به روش هیدرومتری (٦)، درصد ذرات درشت به روش حجمی و با استفاده از الک، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۳۲)، ظرفیت کاتیون تبادلی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (۹)، گچ به روش ترسیب با استون (۳۰)، ماده آلی با روش والکلی و بلاک (٤۱)، سدیم محلول با روش شعله‌سنجی و کلسیم و منیزیم محلول به‌ترتیب با استفاده از روش‌های کمپلکسومتری و تیتراسیون (۲۵) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول، مقدار عددی نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) محاسبه گردید. اندازه‌گیری آهن متبلور به‌علاوه غیرمتبلور به روش استخراج با عصاره‌گیر سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات (CBD) و اندازه‌گیری آهن آمورف (غیرمتبلور) با استفاده از عصاره‌گیر اکسالات آمونیوم (۲۸) انجام شد.

1- Climolithotoposequence

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مختصات جغرافیایی خاک‌رخ‌های مطالعاتی به‌همراه ارتفاع آن‌ها از سطح دریا.

Table 1. Coordinates of the studied soil profiles with their elevation above sea level.

شماره خاک‌رخ	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
Soil profile No.	Elevation (m)	Longitude	Latitude
1	1960	57° 01′ 44″	30° 05′ 21″
2	2200	56° 58′ 18″	29° 54′ 10″
3	2270	56° 52′ 26″	29° 51′ 60″
4	2200	56° 47′ 30″	29° 49′ 19″
5	2230	56° 46′ 48″	29° 45′ 42″
6	2830	56° 45′ 50″	29° 31′ 40″
7	2900	56° 37′ 24″	29° 28′ 19″
8	3000	56° 37′ 20″	29° 27′ 18″

به‌منظور اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی، ابتدا حدود ۱۰ تا ۲۰ گرم خاک ۲ میلی‌متر هواخشک به‌طور کامل پودر شد؛ به‌گونه‌ای که خاک پودرشده از الک ۶۰ مش عبور کند. سپس، پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های آماده‌شده در دو فرکانس بالا (χ_{hfbulk}) و پایین (χ_{lfbulk})، به‌وسیله دستگاه مغناطیس‌سنج موجود در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان مدل بارتینگتن[1] قرائت گردید. در نهایت، درصد پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ($\%\chi fd$) به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$\%\chi fd = 100\left(\frac{\chi_{hfbulk} - \chi_{lfbulk}}{\chi_{lfbulk}}\right) \qquad (۱)$$

به‌منظور حذف اثر گچ، کربنات‌ها و ماده آلی بر روی مقدار پذیرفتاری مغناطیسی از رابطه زیر استفاده شد:

(۲)

$$\chi_{lf\,minero} = \chi_{lf\,bulk} \cdot \frac{100}{\left[100 - (\%OC + \%Carbonates + \%Gypsum)\right]}$$

که در آن، χ_{lfbulk}، پذیرفتاری مغناطیسی نمونه خاک هواخشک و $\chi_{lfminero}$، پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک است.

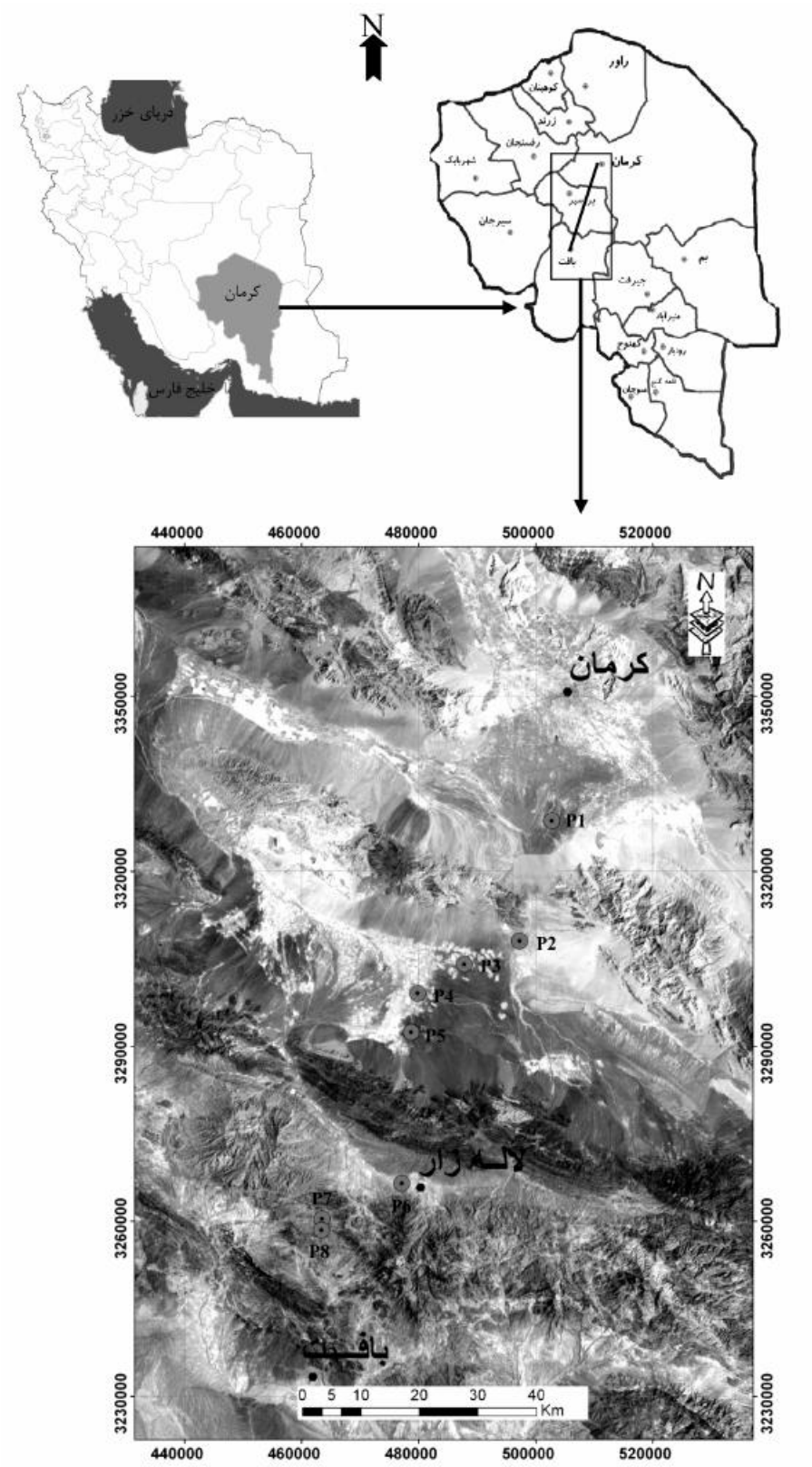
همچنین با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل HP، مقاطع نازک آماده‌شده برای مطالعات میکرومورفولوژی خاک، با استفاده از راهنمای ارایه‌شده توسط استوپس (۲۰۰۳) مورد مطالعه و تفسیر قرار گرفتند (۳۵). لازم به ذکر است که از مطالعات میکرومورفولوژی خاک به‌منظور تعیین مرحله تجمع کربنات‌ها و نیز حضور پوشش رسی در برخی از افق‌های خاک استفاده شد (جدول ۲).

در نهایت، براساس نتایج آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی، شاخص‌های رنگ هارست (۱۹۷۷)، تورنت و همکاران (۱۹۸۳)، الکساندر (۱۹۸۵) و شاخص تکامل هاردن اصلاح‌شده (۴۳) محاسبه شدند (۲، ۱۸ و ۳۸).

1- Bartington MS2

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه به‌همراه هشت خاکرخ مطالعاتی در آن (P1 تا P8).

Figure 1. Location of the study area along with eight soil profiles (P1 to P8).

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیکوشیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک‌رخ‌ها: جدول ۲ نشان‌دهنده برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیکوشیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک‌های تشکیل‌شده بر روی ردیف پستی و بلندی سنگی اقلیمی کرمان- بافت می‌باشد.

هیو در تمام خاک‌رخ‌ها در محدوده YR قرار دارد که حد واسط رنگ‌های زرد و قرمز می‌باشد. به‌طور کلی، افق‌های حاوی گچ، ولیوهای خشک بالای ۵ را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، کم‌ترین مقدار ولیو و کروما در خاک‌رخ ۷ که یک هیستوسول می‌باشد، وجود دارد. در هر حال، رنگ غالب خاک‌های منطقه مورد مطالعه، از خانواده قهوه‌ای (مانند قهوه‌ای روشن، قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای کم‌رنگ و قهوه‌ای پررنگ) می‌باشد. توجه به اجزای مکانیکی خاک‌ها نشانگر بالا بودن درصد نسبی شن در آن‌ها می‌باشد؛ به‌طوری‌که در اکثر خاک‌رخ‌ها بافت خاک از نوع شنی، شن لومی و یا لوم شنی می‌باشد. هر چند اغلب خاک‌رخ‌ها دارای ماده آلی کم‌تر از یک درصد بودند، اما درصد ماده آلی افق O موجود در خاک‌رخ ۷، تا ٤٦ درصد اندازه‌گیری شد. دامنه تغییرات گچ در خاک‌رخ‌های مطالعه‌شده از صفر تا ٦٩ درصد (افق Byy) و دامنه تغییرپذیری کربنات کلسیم معادل در آن‌ها از ۱ تا ٤٧ درصد (افق Bkm) متغیر بود (جدول ۲).

عوارض خاکی آهکی غالب در برش طولی مورد مطالعه شامل کوتینگ[1]، هایپوکوتینگ[2]، نادول‌های کربنات[3] و پرشدگی منافذ[4] می‌باشند (شکل ۲).

خاک‌رخ ۱ در رژیم اریدیک، دارای پوشش‌های آهکی[5] می‌باشد. این پوشش‌ها نتیجه رسوب مجدد کربنات‌های آبشویی‌شده از افق‌های بالایی خاک‌رخ می‌باشند. از خاک‌رخ ۲ به بعد، نادول‌های آهکی شامل انواع تیپیک[6] و ژئودیک[7] در تمامی خاک‌رخ‌ها به‌جزء خاک‌رخ ۷ مشاهده شدند. نادول‌های آهکی در نتیجه فرایندهای انحلال، انتقال و رسوب آهک در خاک به‌وجود می‌آیند. تشکیل نادول‌های آهکی به رطوبت بیش‌تری نسبت به پوشش‌های آهکی نیاز دارد (۲۲). همچنین پوسته‌های رسی ضعیفی در برخی مقاطع نازک مشاهده گردید. پوشش رسی، ناشی از شست‌وشوی رس و حرکت مکانیکی آن از افق بالایی و تجمع آن در اطراف حفره‌های زیرین می‌باشد (۲۱).

به‌طور کلی، در برش طولی مورد مطالعه، از سمت کرمان به طرف بافت، هرچه از کرمان (اقلیم خشک‌تر) به‌سمت بافت (اقلیم مرطوب‌تر) پیش می‌رویم مقدار شوری، نسبت جذب سطحی سدیمی، درصد شن و واکنش خاک‌ها کاهش می‌یابند. از سوی دیگر، درصد سیلت و رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد ماده آلی آن‌ها افزایش می‌یابند.

با توجه به نتایج جدول ۲ طبقه‌بندی خاک‌های مطالعه‌شده براساس دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و جهانی، به‌شرح جدول ۳ تعیین گردید.

1- Coating
2- Hypocoating
3- Carbonate nodules
4- Infilling
5- Calcic coating
6- Typic
7- Geodic

www.SID.ir

جدول ۲- برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیکوشیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک‌رخ‌های مطالعاتی.

Table 2. Some of the most important morphological, physicochemical and micromorphological properties of the studied soil profiles.

SAR	CEC (cmol+ kg^{-1})	Organic matter (%) ماده آلی (درصد)	Gypsum (%) گچ (درصد)	Total carbonates (%) کل کربنات‌ها (درصد)	Sand (%) شن (درصد)	Silt (%) سیلت (درصد)	Clay (%) رس (درصد)	Carbonates stage مرحله کربنات‌ها	Clay film پوشش رسی	Coarse fragments (%) درصد ذرات درشت	Structure ساختمان	Dry color رنگ خشک	Boundary مرز افق	Depth (cm) عمق (cm)	Horizon افق	Profile No. شماره خاک‌رخ
موقعیت ژئومورفیک: دشت (Plain)																
10	8	0.29	0	17	80	12	8	-	-	72	Sg	7/5YR4/3	as	0-15	C	1
10	7	0.59	0	14	90	6	4	II	v1nco	81	2copl	7/5YR5/2	aw	15-40	2Bk	
10	7	0.61	42	9	89	1	10	-	v1nco	78	sg	7/5YR6/3	cw	40-85	2ByC	
13	4	0.66	19	10	89	3	8	II	-	80	sg	10YR4/2		85-120	2C	
موقعیت ژئومورفیک: دامنه (Piedmont)																
5	3	0.61	0	12	97	2	1	-	-	87	sg	7/5YR6/3	as	0-10	A	2
3	6	0.42	0	9	92	6	2	II	-	85	m	5YR5/3	cs	10-22	C	
17	6	0.64	0	12	92	6	2	I	-	84	2mabk	10YR5/3	vs	22-80	2BkC	
26	16	0.81	31	14	60	33	7	II	-	55	2mabk	10YR6/3	cs	80-100	3Bk	
22	14	0.67	45	8	79	15	6	-	-	73	1fabk	10YR6/3	cs	100-123	3By	
29	16	0.78	42	11	54	46	1	II	-	50	2mabk	10YR6/3	cs	123-153	3Bky1	
35	18	1.1	32	16	15	72	13	I	-	13	3coabk	7/5YR6/4	as	153-200	3Bky2	
31	16	0.6	0	9	78	20	2	II	-	71	m	10YR5/3		200-220	3C	

علایم مربوط به ساختمان و مرز افق براساس منبع شوئنبرگر و همکاران (۳۳): ساختمان: sg= ذرات منفرد، gr= دانه‌ای، pl= صفحه‌ای، abk= بلوکی زاویه‌دار، sbk= بلوکی بدون زاویه، m (به‌صورت مجزا)= توده‌ای، ۱= درجه ضعیف، ۲= درجه متوسط، ۳= درجه قوی، f= اندازه ریز، m (همراه با اعداد)= اندازه متوسط، co= اندازه درشت؛ مرز افق: v= خیلی آشکار، a= آشکار، c= واضح، g= تدریجی، s= صاف، w= موجی، i= نامنظم.

علایم مربوط به پوشش رسی براساس منبع زیلهوفر و همکاران (۴۳) عبارتند از: v1: خیلی‌کم، n: نازک، co: رس‌های جهت‌دار به‌صورت پوشش ذرات.

علایم مربوط به مرحله کربنات‌ها براساس منبع ماچت (۲۷) عبارتند از: I= رشته‌ها و پوشش‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار خیلی‌کم)، II= گره‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار کم)، III= پرشدگی اغلب حفرات با رسوب کربنات کلسیم.

Symbols related to structure and boundary of a horizon based on Schoeneberger et al. (33): Structure: sg= single grains, gr= granular, pl= platey, abk= angular blocky, sbk= subangular blocky, m= massive, 1= weak grade, 2= moderate grade, 3= strong grade, f= fine size, m= moderate size, co= coarse size, Horizon boundary: v= very abrupt, a= abrupt, c= clear, g= gradual, s= smooth, w= wavy, i= irregular.

Symbols related to clay coating based on Zielhofer et al. (43): V1= very low, n= thin, co= oriented clays.

Symbols related to carbonates stage based on Machette (27): I= myceliums and calcium carbonate coatings, II= calcium carbonate nodules, III= calcium carbonate infillings.

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

SAR	CEC (emol+ kg^{-1})	Organic matter (%) ماده آلی (درصد)	Gypsum (%) گچ (درصد)	Total carbonates (%) کل کربنات‌ها (درصد)	Sand (%) شن (درصد)	Silt (%) سیلت (درصد)	Clay (%) رس (درصد)	Carbonates stage مرحله کربنات‌ها	Clay film پوشش رسی	Coarse fragments (%) درصد ذرات درشت	Structure ساختمان	Dry color رنگ خشک	Boundary مرز افق	Depth (cm) عمق (cm)	Horizon افق	Profile No. شماره خاکرخ
موقعیت ژئومورفیک: دامنه (Piedmont)																
4	12	0.81	0	14	78	14	8	-	-	72	sg	7/5YR6/3	as	0-8	A	3
5	14	0.59	0	16	76	20	4	II	-	70	2fabk	7/5YR5/3	as	8-28	Bw	
5	7	0.76	48	12	77	12	11	-	-	71	1fabk	10YR6/3	aw	28-61	Bky	
14	9	0.78	69	5	80	11	9	-	-	73	2msbk	10YR7/3	as	61-102	Byy	
15	9	0.76	38	6	79	14	7	II	-	72	m	10YR5/2		102-120	Cy	
موقعیت ژئومورفیک: دامنه (Piedmont)																
18	5	0.92	23	15	69	19	11	-	-	63	1fgr	7/5YR4/2	cs	0-14	A	4
19	8	0.61	33	16	50	41	9	II	v1nco	45	1fsbk	7/5YR4/2	cs	14-42	Bk	
16	10	0.65	35	15	49	40	11	II	-	45	2mabk	10YR6/3	gw	42-90	Bky	
15	6	0.71	48	14	69	14	17	II	-	64	sg	10YR6/3	cs	90-130	By	
15	7	0.78	30	11	35	55	10	II	-	32	m	10YR4/2		130-150	C	

علایم مربوط به ساختمان و مرز افق براساس منبع شوئنبرگر و همکاران (۳۳): ساختمان: sg= ذرات منفرد، gr= دانه‌ای، pl= صفحه‌ای، abk= بلوکی زاویه‌دار، sbk= بلوکی بدون زاویه، m (به‌صورت مجزا)= توده‌ای، ۱= درجه ضعیف، ۲= درجه متوسط، ۳= درجه قوی، f= اندازه ریز، m (همراه با اعداد)= اندازه متوسط، co= اندازه درشت؛ مرز افق: v= خیلی آشکار، a= آشکار، c= واضح، g= تدریجی، s= صاف، w= موجی، i= نامنظم.

علایم مربوط به پوشش رسی براساس منبع زیلهوفر و همکاران (۴۳) عبارتند از: v1: خیلی‌کم، n: نازک، co: رس‌های جهت‌دار به‌صورت پوشش ذرات.

علایم مربوط به مرحله کربنات‌ها براساس منبع ماچت (۲۷) عبارتند از: I= رشته‌ها و پوشش‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار خیلی‌کم)، II= گره‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار کم)، III= پرشدگی اغلب حفرات با رسوب کربنات کلسیم.

Symbols related to structure and boundary of a horizon based on Schoeneberger et al. (33): Structure: sg= single grains, gr= granular, pl= platey, abk= angular blocky, sbk= subangular blocky, m= massive, 1= weak grade, 2= moderate grade, 3= strong grade, f= fine size, m= moderate size, co= coarse size, Horizon boundary: v= very abrupt, a= abrupt, c= clear, g= gradual, s= smooth, w= wavy, i= irregular.

Symbols related to clay coating based on Zielhofer et al. (43): V1= very low, n= thin, co= oriented clays.

Symbols related to carbonates stage based on Machette (27): I= myceliums and calcium carbonate coatings, II= calcium carbonate nodules, III= calcium carbonate infillings.

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

Profile No. شماره خاکرخ	Horizon افق	Depth (cm) عمق (cm)	Boundary مرز افق	Dry color رنگ خشک	Structure ساختمان	Coarse fragments (%) درصد ذرات درشت	Clay film پوشش رسی	Carbonates stage مرحله کربنات‌ها	Clay (%) رس (درصد)	Silt (%) سیلت (درصد)	Sand (%) شن (درصد)	Total carbonates (%) کل کربنات‌ها (درصد)	Gypsum (%) گچ (درصد)	Organic matter (%) ماده آلی (درصد)	CEC (cmol+ kg^{-1})	SAR
موقعیت ژئومورفیک: دامنه (Piedmont)																
5	A	0-4	cw	7/5YR4/4	1fgr	29	-	-	10	57	33	6	0	0.88	6	9
	C	4-16	aw	7/5YR4/6	sg	13	-	II	8	76	16	6	0	0.81	7	6
	2Bk1	16-60	cw	10YR5/3	1fabk	18	-	II	10	22	68	10	0	0.47	6	15
	2Bk2	60-85	as	10YR3/6	1fabk	6	v1nco	II	10	8	82	19	0	0.56	5	21
	2Bkm	85-130	as	10YR6/2	m	31	-	III	10	36	54	47	0	0.56	10	19
	2Ck	130-185		10YR6/2	m	50	-	-	5	22	58	29	22	0.61	10	12
موقعیت ژئومورفیک: دشت (Plain)																
6	Ap	0-10	as	7.5 YR 5/4	1fgr	51	-	-	14	29	57	10	0	0.91	11	1
	Bk1	10-24	aw	10 YR 5/4	2msbk	47	-	-	22	24	54	14	0	0.83	11	1
	Bk2	24-50	cw	7.5 YR 4/4	2msbk	39	-	-	22	34	44	18	0	0.61	9	2
	Bk3	50-70	aw	10 YR 4/3	1msbk	50	-	II	20	22	56	12	0	0.64	9	1
	C	70-120		10 YR 4/3	sg	57	-	II	6	20	64	4	0	0.52	11	1

علایم مربوط به ساختمان و مرز افق براساس منبع شوئبرگر و همکاران (۳۳): ساختمان: sg= ذرات منفرد، gr= دانه‌ای، pl= صفحه‌ای، abk= بلوکی زاویه‌دار، sbk= بلوکی بدون زاویه، m (به‌صورت مجزا)= توده‌ای، ۱= درجه ضعیف، ۲= درجه متوسط، ۳= درجه قوی، f= اندازه ریز، m (همراه با اعداد)= اندازه متوسط، co= اندازه درشت؛ مرز افق: v= خیلی آشکار، a= آشکار، c= واضح، g= تدریجی، s= صاف، w= موجی، i= نامنظم.

علایم مربوط به پوشش رسی براساس منبع زیلهوفر و همکاران (۴۳) عبارتند از: v1: خیلی‌کم، n: نازک، co: رس‌های جهت‌دار به‌صورت پوشش ذرات.

علایم مربوط به مرحله کربنات‌ها براساس منبع ماچت (۲۷) عبارتند از: I= رشته‌ها و پوشش‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار خیلی‌کم)، II= گره‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار کم)، III= پرشدگی اغلب حفرات با رسوب کربنات کلسیم.

Symbols related to structure and boundary of a horizon based on Schoeneberger et al. (33): Structure: sg= single grains, gr= granular, pl= platey, abk= angular blocky, sbk= subangular blocky, m= massive, 1= weak grade, 2= moderate grade, 3= strong grade, f= fine size, m= moderate size, co= coarse size, Horizon boundary: v= very abrupt, a= abrupt, c= clear, g= gradual, s= smooth, w= wavy, i= irregular.

Symbols related to clay coating based on Zielhofer et al. (43): V1= very low, n= thin, co= oriented clays.

Symbols related to carbonates stage based on Machette (27): I= myceliums and calcium carbonate coatings, II= calcium carbonate nodules, III= calcium carbonate infillings.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

SAR	CEC (cmol+ kg^{-1})	Organic matter (%) (درصد) مواد آلی	Gypsum (%) (درصد) گچ	Total carbonates (%) (درصد) کل کربنات‌ها	Sand (%) (درصد) شن	Silt (%) (درصد) لای	Clay (%) (درصد) رس	Carbonates stage مرحله کربنات‌های ثانویه	Clay film پوشش رسی	Coarse fragments (%) (درصد) قطعات درشت	Structure ساختمان	Dry color رنگ خشک	Boundary مرز افق	Depth (cm) (cm) عمق	Horizon افق	Profile No. شماره پروفیل
موقعیت ژئومورفیک: اراضی پست (Low land)																
1	15	46	0	6	36	50	14	-	-	32	1msbk	10 YR 3/2	cw	0-30	O1	
1	15	26.9	0	3	28	42	30	-	-	24	1msbk	10 YR 3/2	gw	30-60	O2	
1	11	19.4	0	3	5	52	43	-	-	4	m	10 YR 3/1	gw	60-90	Bg1	7
1	9	9.9	0	1	32	35	33	-	-	29	m	10 YR 3/1	gi	90-120	Bg2	
1	9	10.4	0	1	28	46	26	-	-	25	m	10 YR 3/1		120-150	Cg	
موقعیت ژئومورفیک: دشت (Plain)																
1	9	1.35	0	7	72	26	2	-	-	64	1fgr	7.5 YR 5/4	as	0-5	A	
1	9	2.61	0	7	74	24	2	-	-	65	1fsbk	7.5 YR 5/6	cw	5-20	Bw1	
1	12	1.1	0	5	73	24	3	I	-	65	2cosbk	10 YR 5/4	cw	20-40	Bw2	8
1	11	1.54	0	5	72	26	2	II	-	66	2msbk	10 YR 4/4	cw	40-70	Bw3	
3	10	0.87	0	6	76	22	2	II	-	73	sg	10 YR 4/3		70-120	C	

علایم مربوط به ساختمان و مرز افق براساس منبع شوئبرگر و همکاران (۳۳): ساختمان: sg= ذرات منفرد، gr= دانه‌ای، pl= صفحه‌ای، abk= بلوکی زاویه‌دار، sbk= بلوکی بدون زاویه، m (به‌صورت مجزا)= توده‌ای، ۱= درجه ضعیف، ۲= درجه متوسط، ۳= درجه قوی، f= اندازه ریز، m (همراه با اعداد)= اندازه متوسط، co= اندازه درشت؛ مرز افق: ۷= خیلی آشکار، a= آشکار، c= واضح، g= تدریجی، s= صاف، w= موجی، i= نامنظم.

علایم مربوط به پوشش رسی براساس منبع زابلوفر و همکاران (۴۳) عبارتند از: v1: خیلی کم، n: نازک، co: رس‌های جهت‌دار به‌صورت پوشش ذرات.

علایم مربوط به مرحله کربنات‌ها براساس منبع ماچت (۲۷) عبارتند از: I= رشته‌ها و پوشش‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار خیلی کم)، II= گره‌های کربنات کلسیم (دارای مقدار کم)، III= پرشدگی اغلب حفرات با رسوب کربنات کلسیم.

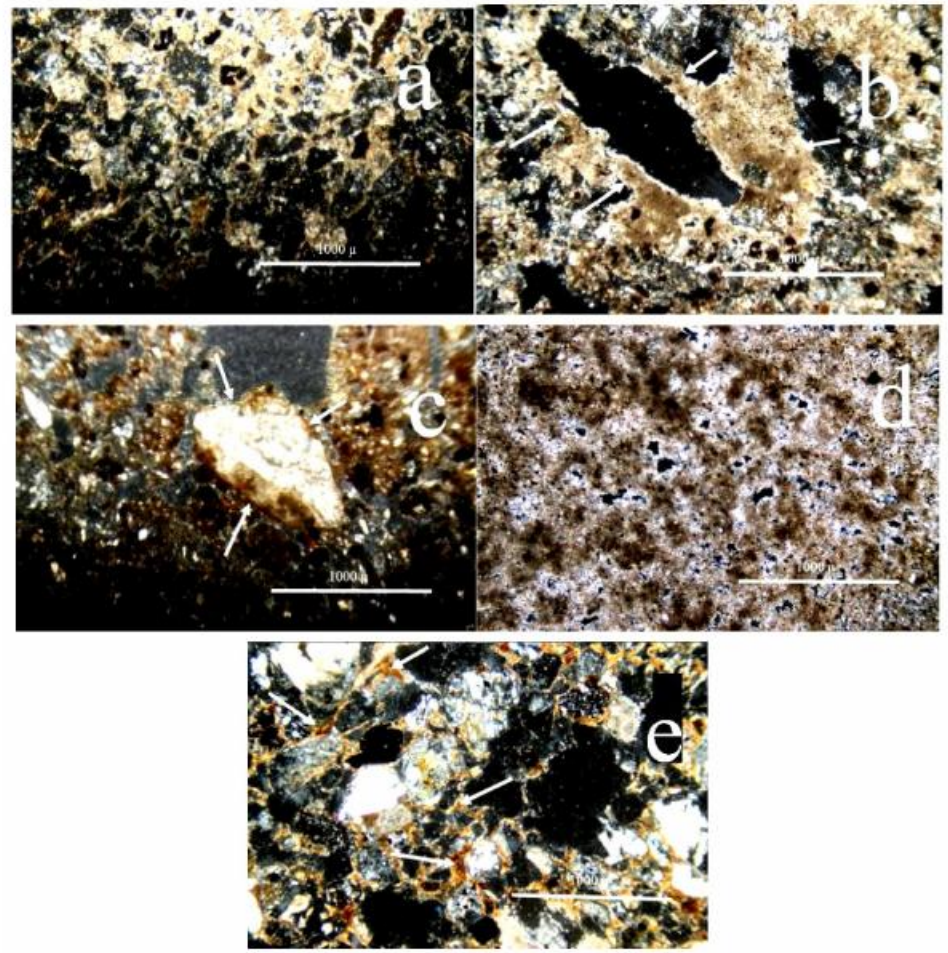
Symbols related to structure and boundary of a horizon based on Schoeneberger et al. (33): Structure: sg= single grains, gr= granular, pl= platey, abk= angular blocky, sbk= subangular blocky, m= massive, 1= weak grade, 2= moderate grade, 3= strong grade, f= fine size, m= moderate size, co= coarse size, Horizon boundary: v= very abrupt, a= abrupt, c= clear, g= gradual, s= smooth, w= wavy, i= irregular.

Symbols related to clay coating based on Zielhofer et al. (43): V1= very low, n= thin, co= oriented clays.

Symbols related to carbonates stage based on Machette (27): I= myceliums and calcium carbonate coatings, II= calcium carbonate nodules, III= calcium carbonate infillings.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقاطع نازک نشان‌دهنده: (a و e) کوتینگ آهک و پوسته‌های رسی در افق 2Bk خاکرخ ۱ (XPL)؛ (b) هایپوکوتینگ آهک در افق C خاکرخ ۲ (XPL)؛ (c و d) نادول و پرشدگی آهک در افق Bky خاکرخ ٤ (XPL).

Figure 2. Thin sections: (a and e) carbonate coating and clay films in 2Bk horizon of soil profile No. 1 (XPL); (b) carbonate hypocoating in C horizon of soil profile No. 2 (XPL); (c and d) nodule and carbonate infilling in Bky horizon of soil profile No. 4 (XPL).

جدول ۳- طبقه‌بندی خاکرخ‌های مورد مطالعه براساس دو سامانه مختلف.

Table 3. Classification of the studied soil profiles based on two different systems.

ردهبندی آمریکایی (۲۰۱۰)	طبقهبندی جهانی (۲۰۰۷)	شماره خاکرخ
Soil Taxonomy (2010)	WRB (2007)	Soil profile No.
Sandy-skeletal, Gypsic,Thermic Typic Calcigypsids	Pisocalcic Gypsisols (Ruptic, Endoskeletic, Arenic)	1
Sandy, Mixed, Superactive, Thermic Typic Calcigypsids	Pisocalcic Gypsisols (Ruptic, Endosodic, Arenic)	2
Coarse-gypseous, Hypergypsic, Thermic Typic Calcigypsids	Pisocalcic Hypergypsic Gypsisols (Endoarenic)	3
Coarse-loamy, Gypsic, Thermic Typic Calcigypsids	Calcic Gypsisols (Sodic)	4
Coarse-loamy, Mixed, Active, Thermic Calcic Petrocalcids	Hypocalcic Endopetric Calcisols (Ruptic, Sodic)	5
Fine-loamy, Mixed, Active, Mesic Typic Calcixerepts	Hypocalcic Calcisols (Endoskeletic)	6
Euic, Mesic Typic Haplohemists	Hemic Histosols (Calcaric, Eutric)	7
Sandy, Mixed, Mesic Fluventic Haploxerepts	Fluvic Cambisols (Calcaric, Episkeletic)	8

www.SID.ir

Archive of SID

ارتباط تکامل خاک‌ها با اشکال مختلف آهن: پژوهشگران مختلف (مانند: لیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ هو و همکاران، ۲۰۰۹؛ کوماراول و همکاران، ۲۰۱۰) از شکل‌ها و نسبت‌های مختلف آهن برای بررسی میزان تکامل خاک و تعیین سن نسبی آن استفاده کرده‌اند. در روش‌های استخراج آهن، روش اگزالات آمونیوم، عصاره‌گیری اکسیدهای آهن غیرمتبلور و یا با تبلور ضعیف (عمدتاً فری‌هیدرات‌ها) و پیوند خورده با ماده آلی که به‌صورت کلی اکسیدهای آهن بی‌شکل[1] نامیده می‌شوند را انجام می‌دهد و روش سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات برای عصاره‌گیری کل اکسیدهای آهن، به‌علاوه بخش زیادی از آهن پیوند خورده با ماده آلی، استفاده می‌شود. آهن استخراج‌شده با سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات، اکسید آهن آزاد خاک نامیده می‌شود. از طرفی، اختلاف بین اکسیدهای آهن استخراج‌شده توسط اگزالات و سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات (Fe_d-Fe_o)، نشان‌دهنده مقدار اکسیدهای آهن با تبلور خوب می‌باشد که با افزایش میزان تکامل و سن خاک، افزایش می‌یابد. مقدار این اکسیدهای آهن به‌صورت (Fe_d-Fe_o/Fe_d) استاندارد می‌شود (۱۷، ۲٤ و ۲٦).

به‌طورکلی، مقدار میانگین وزنی اکسیدهای آهن آزاد (Fe_d)، اکسیدهای آهن با تبلور خوب (Fe_d-Fe_o) و نسبت استاندارد شده آن (Fe_d-Fe_o/Fe_d)، از خاک‌رخ ۱ (اقلیم خشک‌تر) به‌سمت خاک‌رخ ۸ (اقلیم مرطوب‌تر)، افزایش یافتند. همچنین کاهش نسبت (Fe_o/Fe_d)، از خاک‌رخ ۱ (اقلیم خشک‌تر) به‌سمت خاک‌رخ ۸ (اقلیم مرطوب‌تر) نشان‌دهنده تبدیل اکسیدهای آهن غیرمتبلور (عمدتاً فری‌هیدرات‌ها) به اکسید آهن با تبلور خوب بود که با افزایش میزان تکامل خاک، افزایش می‌یابد (جدول ٤). از سوی دیگر، حضور شرایط موضعی (مانند شرایط اکوییک) در خاک، تغییرات شدیدی را در مقدار و نسبت‌های آهن منجر شد که به گستردگی عوامل تأثیرگذار بر روند تکاملی خاک اشاره دارد.

خاک‌رخ ۷، یک هیستوسول می‌باشد که دارای شرایط زهکشی ضعیف است. بنابراین مقدار اکسیدهای آهن آزاد (Fe_d) در آن می‌تواند کم‌تر از حد انتظار باشد. دلیل این موضوع احیای دوره‌ای خاک و حذف آهن محلول‌شده در هنگام بالا آمدن آب زیرزمینی می‌باشد (۳٦). خاک‌رخ ۷، مقادیر بالای آهن استخراج‌شده توسط اگزالات آمونیوم را نیز دارا می‌باشد. روش اگزالات آمونیوم، اکسیدهای آهن غیرمتبلور (عمدتاً فری‌هیدرات‌ها) و پیوند خورده با ماده آلی را استخراج می‌کند. بنابراین افزایش ماده آلی و مناسب نبودن شرایط تبلور، از دلایل افزایش این بخش از آهن خاک محسوب می‌شود. در واقع، حضور ماده آلی باعث می‌شود که اکسیدهای آهن نتوانند به‌صورت آزاد در خاک حضور داشته باشند؛ بلکه به‌وسیله گروه‌های عامل موجود در ماده آلی به‌صورت آبدار نگه‌داری می‌شوند.

1- Amorphous iron oxides

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- نتایج مربوط به پذیرفتاری مغناطیسی جرمی و درصد آهن خاک‌های مطالعاتی.

Table 4. Results of mass magnetic susceptibility and iron percentage of the studied soils.

χ^{lf}_{bulk}	χ^{lf}_{bulk}	χ^{lf}_{m}	$\%\chi^{fd}$	$Fe_d - Fe_o / Fe_d$	Fe_o/Fe_d	Fe_d-Fe_o	Fe_o	Fe_d	عمق (cm)	افق	شماره خاک‌رخ
$10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$							(٪)		Depth	Horizon	Profile No.
391.5	389.1	468.9	0.62	0.67	0.34	0.46	0.24	0.7	0-15	C	1
597	595.5	687.2	0.25	0.75	0.25	0.61	0.21	0.83	15-40	2Bk	
627.1	624.9	1346.4	0.35	0.89	0.10	0.76	0.09	0.85	40-85	2ByC	
671.9	669.5	940.1	0.36	0.80	0.20	0.45	0.11	0.57	85-120	2C	
600.3	598	684.1	0.38	0.69	0.31	0.40	0.18	0.57	0-10	A	2
582.9	581	638.8	0.33	0.86	0.13	0.61	0.10	0.41	10-22	C	
709.5	708.4	806.2	0.15	0.85	0.15	0.60	0.11	0.71	22-80	2BkC	
327.2	325.2	570.9	0.62	0.74	0.26	0.50	0.18	0.68	80-100	3Bk	
335.2	333	743.2	0.65	0.86	0.14	0.65	0.11	0.76	100-123	3By	
220.6	219.1	466.7	0.70	0.85	0.14	0.72	0.13	0.85	123-153	3Bkyl	
134.8	133.2	257.2	0.16	0.80	0.20	0.63	0.16	0.79	153-200	3Bky2	
206.2	204.8	226.6	0.70	0.96	0.04	0.76	0.03	0.79	200-220	3C	
320.6	318.5	373.3	0.66	0.85	0.15	0.70	0.13	0.82	0-8	A	3
253.6	252.7	301.9	0.35	0.85	0.15	0.65	0.12	0.77	8-28	Bw	
169.8	169.6	360.5	0.11	0.80	0.20	0.46	0.12	0.58	28-61	Bky	
196.8	195.0	1021.3	0.93	0.86	0.14	0.73	0.12	0.86	61-102	Byy	
230.7	229.2	414.6	0.66	0.92	0.08	0.88	0.07	0.94	102-120	Cy	
391.4	389.7	623.3	0.45	0.83	0.17	0.60	0.12	0.72	0-14	A	4
220.3	219.8	420.8	0.22	0.88	0.12	0.88	0.12	1.00	14-42	Bk	
172.5	171.1	348.9	0.81	0.86	0.14	0.75	0.12	0.88	42-90	Bky	
206.1	204.9	556.1	0.62	0.90	0.10	0.74	0.08	0.83	90-130	By	
234.2	232.9	387.8	0.58	0.91	0.09	0.60	0.06	0.66	130-150	C	
259.6	256.6	276.6	1.17	0.85	0.13	0.74	0.11	0.86	0-4	A	5
274.1	271.2	290.4	1.03	0.87	0.12	0.73	0.11	0.83	4-16	C	
351.0	348.6	391.1	0.68	0.90	0.10	0.83	0.09	0.92	16-60	2Bk1	
345.6	344.3	382.5	0.38	0.85	0.14	0.63	0.11	0.73	60-85	2Bk2	
71.3	70.6	134.8	1.02	0.59	0.41	0.12	0.08	0.20	85-130	2Bkm	
230.4	229.3	469.1	0.50	0.81	0.18	0.58	0.13	0.71	130-185	2Ck	
403.1	400.9	449.1	0.54	0.90	0.09	1.23	0.13	1.35	0-10	A	6
415.3	414.0	482.3	0.32	0.82	0.18	0.72	0.16	0.87	10-24	Bk1	
420.5	418.3	513.6	0.51	0.85	0.15	0.72	0.13	0.85	24-50	Bk2	
473.3	471.6	513.8	0.37	0.88	0.12	0.95	0.13	1.09	50-70	Bk3	
475.8	473.8	496.3	0.43	0.88	0.12	0.95	0.13	1.08	70-120	C	

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ٤-

Continue Table 4.

χ^{lf}_{bulk}	χ^{hf}_{bulk}	χ^{lf}_{m}	$\%\chi^{fd}$	$Fe_d - Fe_o / Fe_d$	Fe_o/Fe_d	Fe_d-Fe_o	Fe_o	Fe_d	عمق (cm)	افق	شماره خاکرخ
$10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$							(%)		Depth	Horizon	Profile No.
70.1	68.9	145.2	1.56	0.33	0.66	0.12	0.21	0.32	0-30	O_1	
95.4	94.7	135.2	0.78	0.39	0.60	0.24	0.37	0.61	30-60	O_2	
162.4	161.4	207.9	0.63	0.39	0.61	0.23	0.37	0.60	60-90	Bg_1	7
168.6	167.5	190.8	0.65	0.40	0.59	0.34	0.50	0.84	90-120	Bg_2	
160.6	167.0	181.3	0.65	0.40	0.60	0.29	0.43	0.71	120-150	Cg	
296.5	294.1	354.6	0.84	0.91	0.09	1.29	0.12	1.41	0-5	A	
320.2	318.7	366.5	0.46	0.90	0.10	1.17	0.13	1.29	5-20	Bw_1	
341.7	338.8	397.4	0.87	0.93	0.06	1.62	0.11	1.74	20-40	Bw_2	8
371.5	369.4	423.3	0.56	0.93	0.06	1.68	0.11	1.79	40-70	Bw_3	
347.0	345.1	391.5	0.55	0.90	0.12	0.95	0.13	1.08	70-120	C	

Fe_d- آهن استخراج‌شده توسط سیترات، Fe_o- آهن استخراج‌شده توسط اگزالات، χ^{lf}_{bulk}- پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های اصلی با فرکانس پایین، χ^{hf}_{bulk}- پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های اصلی با فرکانس بالا، χ^{lf}_{m}- پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک، $\%\chi^{fd}$- پذیرفتاری مغناطیسی جرمی وابسته به فرکانس.

Fe_d= Iron extracted by citrate, Fe_o=Iron extracted by oxalate, χ^{lf}_{bulk}=mass magnetic susceptibility of samples with low frequency, χ^{hf}_{bulk}=mass magnetic susceptibility of samples with high frequency, χ^{lf}_{m}=minerogenic magnetic susceptibility, $\chi^{fd}\%$=frequency-dependent mass magnetic susceptibility.

ارتباط تکامل خاک‌ها با پذیرفتاری مغناطیسی: به‌طورکلی، مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک خاک‌های منطقه، بسیار بالاست و از $134\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ تا $1346\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ متغیر می‌باشد (جدول ٤) که می‌تواند متأثر از ماده مادری باشد. این موضوع با توجه به زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی، منطقی به‌نظر می‌رسد. یو و لو (1991) مقدار پذیرفتاری مغناطیسی جرمی نمونه‌های اصلی خاک‌های تشکیل‌شده بر روی سنگ‌های آذرین بازی (مانند بازالت و آندزیت) را بیش‌تر از $1000\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی جرمی χ_{lfbulk} خاک‌های تشکیل‌شده بر روی گرانیت و سایر سنگ‌های آذرین اسیدی و نیز سنگ‌های آذرین خنثی را در حدود $100\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ تا $250\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ گزارش کردند (٤٢). افشاری و همکاران (٢٠١٣)، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی جرمی χ_{lfbulk} خاک‌های تشکیل‌شده بر روی سنگ‌های آذرین (مانند گرانیت، بازالت، آندزیت، پورفیریت و توف آتشفشانی) واقع در اطراف زنجان را در حدود $68\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ تا $1382\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ گزارش کرده‌اند (١). در منطقه مورد مطالعه، آندزیت و گرانودیت، دو سنگ آذرین حد واسط غالب هستند که مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های تشکیل‌شده بر روی این نوع مواد مادری را از $250\ m^3\ kg^{-1}$ تا حدود $700\times10^{-8}\ m^3\ kg^{-1}$ گزارش شده که بسیار مشابه با نتایج حاصل از این پژوهش می‌باشد. به‌طور

www.SID.ir

Archive of SID

کلی، تأثیر ماده مادری بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک در خاک‌های مشتق‌شده از سنگ‌های آذرین، بسیار بیش‌تر از سنگ‌های رسوبی بود و پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک در این خاک‌ها ارتباط مثبتی با شاخص‌های تکامل خاک نشان نداد.

جدول ۵، نشانگر رابطه همبستگی بین پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های اصلی در فرکانس پایین (χ_{lfbulk})، پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های اصلی در فرکانس بالا (χ_{lhbulk})، پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک (χ_{lfm}) و درصد پذیرفتاری وابسته به فرکانس (χ_{fd}٪) با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه است. پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک، همبستگی مثبت قوی با درصد شن و همبستگی منفی با درصد سیلت داشت. این روند منعکس‌کننده اهمیت مواد مغناطیسی به ارث رسیده از ماده مادری در حد و اندازه شن و در نتیجه، نشان‌دهنده تأثیر سنگ‌شناسی مواد مادری بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک می‌باشد. دجانگ و همکاران (۱۹۹۹) نیز در مطالعه مشابهی اثر اقلیم و مواد مادری را بر پذیرفتاری مغناطیسی مطالعه کردند و نشان دادند که خاک‌های با بافت درشت‌تر، پذیرفتاری مغناطیسی بیش‌تری دارند و آن را به مواد مادری نسبت دادند (۱۰).

براساس اطلاعات جدول ۵، رابطه معنی‌داری بین پذیرفتاری مغناطیسی جرمی مینروژنیک و آهن دی‌تیونات (Fe_d) دیده نشد که دلیل احتمالی آن می‌تواند مربوط به تفاوت در مواد مادری باشد. دجانگ و همکاران (۱۹۹۹) نیز نبودن رابطه بین این دو پارامتر را به تفاوت مواد مادری نسبت دادند. اما رابطه معنی‌دار مثبت، بین پذیرفتاری مغناطیسی جرمی مینروژنیک و نسبت آهن (Fe_d-Fe_o/Fe_d) و رابطه معنی‌دار منفی با (Fe_o/Fe_d) دیده شد و از طرفی این‌ها با یکدیگر نسبت عکس داشتند. افزایش نسبت آهن (Fe_d-Fe_o/Fe_d) و کاهش نسبت آهن (Fe_o/Fe_d) نشان‌دهنده افزایش میزان تکامل خاک و سن نسبی خاک می‌باشد (۱۰)، اما در این پژوهش مقدار پایین پذیرفتاری مغناطیسی جرمی و مقدار بالای نسبت (Fe_o/Fe_d) در خاک‌رخ ۷ باعث معنی‌دار شدن رابطه پذیرفتاری مغناطیسی جرمی مینروژنیک و نسبت آهن (Fe_d-Fe_o/Fe_d) و نسبت (Fe_o/Fe_d) شده است؛ به‌طوری‌که وقتی اطلاعات این خاک‌رخ از محاسبات مربوط به ماتریس همبستگی پذیرفتاری مغناطیسی جرمی با ویژگی‌های خاک حذف شود، رابطه مزبور دیگر معنی‌دار نمی‌باشد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). جالب توجه است که پذیرفتاری مغناطیسی جرمی پدوژنیک خاک‌رخ ۷ در تمامی افق‌ها، از سایر خاک‌رخ‌ها کم‌تر است (جدول ٤). این کاهش شدید در مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را می‌توان به وجود شرایط احیایی و بی‌ثباتی کانی‌های فری‌مگنتیت و تجزیه آن‌ها و همچنین عدم تبدیل کانی‌های پارامغناطیس و آنتی پارامغناطیس (مانند لپیدوکروسایت و گئوتیت) به کانی‌های فری‌مگنتیت (مانند مگنتیت و مگهمیت) در شرایط زهکشی ضعیف نسبت داد. به‌طورکلی می‌توان گفت که خصوصیات مغناطیسی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه، به خوبی رخدادهای محیطی را آشکار ساخته‌اند. همچنین، مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی جرمی، مرز افق‌ها را با توجه به انقطاع موجود در خاک‌های غیریکنواخت و به دنبال آن، پوشیده شدن خاک با رسوبات جدید، به خوبی نشان داده‌اند. به‌علاوه، خاک‌های احیایی منطقه، به خوبی توسط مقدار پذیرفتاری مغناطیسی جرمی مشخص شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- ماتریس همبستگی پذیرفتاری مغناطیسی با برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مطالعاتی.

Table 5. Correlation matrix between magnetic susceptibility and some physicochemical properties of the studied soils.

	χ^{lf}_{bulk}	χ^{lf}_{m}	χ^{fd}%	Fe_d	Fe_o	Fe_d-Fe_o/Fe_d	Fe_o/Fe_d	Fe_d-Fe_o	Fe_o	Fe_d	χ^{lf}_{m}%	χ^{lf}_{bulk}	Gypsum (%)	Calcium carbonate (%)	Organic matter (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Fe_d/Fe_d	Fe_d-Fe_o/Fe_d	Fe_o	Fe_d-Fe_o	Fe_o/Fe_d	Fe_d-Fe_o/Fe_d	درصد رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	ماده آلی (%)	کربنات کلسیم (%)	گچ (%)
χ^{lf}_{bulk}	1																													
χ^{lf}_{m}	0.71**	1																												
χ^{fd}%	-0.61**	-0.43**	1																											
Fe_d	0.16 ns	0.02 ns	-0.09 ns	1																										
Fe_o	-0.25 ns	-0.33 °	0.09 ns	-0.17 ns	1																									
Fe_d-Fe_o	0.22 ns	0.11 ns	-0.11 ns	0.96**	-0.41**	1																								
Fe_d-Fe_o/Fe_d	0.36**	0.38**	-0.30*	0.54**	-0.82**	0.71**	1																							
Fe_o/Fe_d	-0.36**	-0.38**	0.30*	-0.54**	0.82**	-0.71**	-1**	1																						
Fe_d/Fe_d	0.61**	0.62**	-0.53**	0.15 ns	-0.43**	0.24 ns	0.44**	-0.26 ns	0.26 ns	0.61**	1																			
Clay (%)	-0.33*	-0.30*	0.09 ns	-0.13 ns	0.20 ns	-0.17 ns	-0.26 ns	-0.61**	-0.44**	0.51**	0.34*	1																		
Silt (%)	-0.60**	-0.60**	0.59**	-0.13 ns	0.20 ns	-0.17 ns	-0.26 ns	-0.61**	-0.44**	0.51**	-0.65**	0.17 ns	-0.17 ns	-0.09 ns	1															
Sand (%)	-0.43**	-0.38**	0.47**	-0.01 ns	-0.28 ns	-0.29 ns	-0.09 ns	0.33*	0.68**	-0.51**	0.44**	-0.51**	0.008 ns	0.22 ns	-0.31*	0.06 ns	-0.02 ns	-0.17 ns	0.008 ns	0.22 ns	-0.22 ns	1								
Organic matter (%)	-0.10 ns	0.04 ns	0.03 ns	-0.39*	-0.28 ns	-0.29 ns	-0.09 ns	0.33*	0.68**	-0.51**	-0.44**	0.26 ns	0.008 ns	-0.22 ns	-0.30*	-0.02 ns	-0.91**	0.29 ns	0.51**	-0.22 ns	1									
Calcium carbonate (%)	-0.22 ns	0.44 ns	-0.01 ns	-0.58 ns	-0.25 ns	-0.08 ns	-0.08 ns	-0.09 ns	-0.24 ns	-0.39**	0.24 ns	-0.17 ns	0.20 ns	-0.26 ns	-0.61**	-0.04 ns	-0.02 ns	-0.17 ns	-0.09 ns	-0.04 ns	-0.09 ns	0.07 ns	-0.18 ns	0.08 ns	1					
Gypsum (%)	0.22 ns	0.44 ns	-0.01 ns	-0.58 ns	-0.25 ns	-0.08 ns	-0.08 ns	-0.09 ns	-0.24 ns	-0.39*	0.24 ns	-0.17 ns	0.20 ns	-0.26 ns	-0.61**	-0.04 ns	-0.02 ns	-0.17 ns	-0.09 ns	-0.04 ns	-0.09 ns	0.07 ns	-0.18 ns	0.08 ns	1					

°، *، ** به‌ترتیب، بیانگر معنی‌دار بودن در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ می‌باشند. ns بیانگر معنی‌دار نبودن رابطه همبستگی مورد نظر می‌باشد. χ^{lf}_{bulk}= پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های اصلی با فرکانس پایین، χ^{lf}_{m}= پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک، χ^{fd}%= پذیرفتاری مغناطیسی جرمی وابسته به فرکانس، Fe_d= آهن استخراج‌شده توسط سیترات، Fe_o= آهن استخراج‌شده توسط اگزالات.

* and **, significant at 95 and 99 precent confidence levels, respectively. ns non-significant. χ^{lf}_{bulk}= magnetic susceptibility of samples with low frequency, χ^{lf}_{m}= minerogenic magnetic susceptibility, χ^{fd}%= frequency-dependent mass magnetic susceptibility, Fe_d= Iron extracted by citrate, Fe_o= Iron extracted by oxalate.

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های رنگ: با توجه به این‌که اشکال و نسبت‌های مختلف آهن در منطقه مورد مطالعه توانسته‌اند روند تکاملی خاک‌ها را به خوبی نشان دهند، همبستگی بالاتر هر کدام از شاخص‌های رنگ با آن‌ها می‌تواند گویای عملکرد بهتر شاخص مورد نظر در منطقه باشد.

در بررسی رابطه همبستگی بین سه شاخص رنگ هارست، تورنت و الکساندر با انواع اشکال آهن خاک‌های مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار شاخص رنگ هارست و الکساندر با مقدار آهن دی‌تیونات (Fe_d)، (Fe_d-Fe_o) و (Fe_d-Fe_o/Fe_d) بود (جدول ٦). طبق نظر هارست (۱۹۷۷) ولیوی خاک، رابطه عکس و کروما، رابطه مستقیم با مقدار آهن خاک دارد. بنابراین طبق معادله شاخص هارست (۱۹۷۷)، رابطه معکوس با مقدار آهن پیدا کرده است (۱۸).

جدول ٦- ماتریس همبستگی شاخص‌های رنگ با اشکال و نسبت‌های مختلف آهن.

Table 6. Correlation matrix between color indices, and shapes and different ratios of iron.

	HI	T	Rr	Fe_d	Fe_d-Fe_o	Fe_d-Fe_o/Fe_d	Fe_o/Fe_d
HI	1						
T	0.48**	1					
Rr	-0.81**	0.53**	1				
Fe_d	-0.46**	0.13 ns	0.33*	1			
Fe_d-Fe_o	-0.50**	0.15 ns	0.36**	0.96**	1		
Fe_d-Fe_o/Fe_d	-0.40**	0.21 ns	0.30*	0.55**	0.71**	1	
Fe_o/Fe_d	0.40**	-0.21 ns	-0.30*	-0.55**	-0.71**	-1	1

* و ** به‌ترتیب، در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. ns بیانگر معنی‌دار نبودن رابطه همبستگی مورد نظر می‌باشد.
HI- شاخص رنگ درجه‌بندی قرمزی هارست، T- شاخص رنگ درجه‌بندی قرمزی تورنت، Rr- شاخص رنگ درجه‌بندی قرمزی الکساندر

* and **, significant at 95 and 99 precent confidence levels, respectively. ns non-significant.
HI= Hurst redness index, T= Torrent redness index, Rr= Alexander redness index.

شاخص تکامل خاک‌رخ هاردن: شاخص تکامل خاک‌رخ هاردن (و سایر شاخص‌های توسعه‌یافته براساس آن)، بر پایه مقایسه عددی بین برخی ویژگی‌های افق‌های خاک (که با فرآیندهای تکامل خاک تغییر می‌کنند) با ماده مادری استوار می‌باشد. در این پژوهش نیز افق C هر خاک‌رخ به‌عنوان ماده مادری آن در نظر گرفته شد و مقدار شاخص خاک‌رخ و میانگین وزنی آن برای هر خاک‌رخ به‌صورت جداگانه محاسبه شد (جدول ۷).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- نتایج شاخص هاردن اصلاح‌شده برای خاک‌رخ‌های مطالعاتی.

Table 7. Results of modified Harden index for the studied soil profiles.

شماره خاک‌رخ	شاخص خاک‌رخ	میانگین وزنی شاخص خاک‌رخ
profile No.	profile index	Weighted mean of the profile index
1	32.78	0.38
2	37.25	0.19
3	25.20	0.24
4	59.59	0.46
5	16.54	0.12
6	17.22	0.24
7	23.23	0.19
8	21.29	0.30

همان‌طورکه قبلاً بیان شد، در برش طولی مورد مطالعه، هرچه از کرمان (اقلیم خشک‌تر) به‌سمت بافت (اقلیم مرطوب‌تر) پیش می‌رویم شدت فرایندهای خاک‌ساز افزایش می‌یابد. اما براساس اطلاعات جدول ۷، شاخص هاردن اصلاح‌شده با روند تکاملی خاک در منطقه، مطابقت ندارد و نشان‌دهنده روند تکاملی خاصی نیز نمی‌باشد. در هر حال، نتایج این پژوهش با نتایج تورن‌باخ و ایوانز (۱۹۹٤) تا حدودی مطابقت دارند. این پژوهشگران مقدار شاخص هاردن را برای چهار ردیف پستی و بلندی موجود در شیب‌های شمالی، شرقی، جنوبی و غربی منطقه کربن کانتی وایومینگ محاسبه کردند و آخرین افق هر خاک‌رخ (افق Bw یا Cr) را به‌عنوان ماده مادری آن خاک‌رخ در نظر گرفتند. ایشان همچنین خاک‌های مدفون را به‌عنوان خاک‌رخ جداگانه در نظر گرفتند. نتایج حاصل، نه تنها نشان‌دهنده روند تکاملی خاصی برای خاک‌های مطالعاتی آن‌ها نبود؛ بلکه در برخی موارد خاک‌رخ‌های با تکامل کم‌تر، اعداد بالاتری را به خود اختصاص داده بودند! اما زمانی که از یک ماده مادری مشخص و ثابت برای محاسبه شاخص هاردن استفاده نمودند، مشاهده کردند که اعداد به‌دست آمده به خوبی نشان‌دهنده روند تکامل خاک‌ها بودند (۳۹). پژوهشگران دیگر (مانند: ویدیک، ۱۹۹۸؛ آلونسو و همکاران، ۱۹۹٤) نیز به اهمیت یکسان بودن ماده مادری در محاسبه شاخص هاردن اشاره نموده‌اند (۳ و ٤۰). بنابراین، شاید تفاوت در مواد مادری برش طولی کرمان- بافت را بتوان از دلایل اصلی عدم دست‌یابی به یک نتیجه مطلوب در رابطه با روند تکاملی خاک‌ها از طریق محاسبه این شاخص بیان نمود. در صورتی که بتوان منشأ رسوبات و مواد مادری موجود در هشت خاک‌رخ مورد مطالعه را شناسایی نمود، آن‌گاه این احتمال وجود دارد که استفاده از شاخص هاردن اصلاح‌شده در منطقه بتواند مفید واقع شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به ارتباط بین تکامل و سن خاک با شکل‌های مختلف آهن، افزایش اکسیدهای آهن متبلور، از خاک‌رخ ۱ (اقلیم خشک‌تر) به‌سمت خاک‌رخ ۸ (اقلیم مرطوب‌تر)، نشان‌دهنده تکامل بیش‌تر خاک‌ها می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که سنگ‌شناسی مواد مادری تأثیر آشکاری بر میزان

www.SID.ir

Archive of SID

پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک دارد و پذیرفتاری مغناطیسی مینروژنیک، ارتباط مثبتی با شاخص‌های تکامل پدوژنیکی نشان نمی‌دهد. اما در بررسی رابطه همبستگی بین سه شاخص رنگ هارست، تورنت و الکساندر با انواع اشکال آهن خاک‌های مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار مثبت شاخص رنگ هارست و الکساندر با مقدار آهن دی‌تیونات (Fe_d)، (Fe_d-Fe_o)، (Fe_d-Fe_o/Fe_d) و (Fe_o/Fe_d) بود. به‌علاوه، شاخص هارست، عکس شاخص الکساندر بود و با کاهش مقدار آهن، افزایش یافت. همچنین، شاخص هارست برای منطقه مورد مطالعه، بهتر از دو شاخص دیگر عمل نمود؛ چرا که ضرایب همبستگی بالاتری را با اشکال و نسبت‌های مختلف آهن دارا بود. شاخص هاردن اصلاح‌شده نیز با روند تکاملی خاک در منطقه، مطابقت نداشت و نشان‌دهنده روند تکاملی خاصی نبود.

منابع

1. Afshari, A., Khademi, H., Ayyoobi, SH., Delavar, M.A., and Mousavi, A. 2013. Vertical distribution of magnetic parameters and total iron concentrations and their relationship with soil parent material lithology around Zanjan. 13th Iranian Soil Science Congress, 8-10 April, Ahvaz.
2. Alexander, E.B. 1985. Estimating relative ages from iron-oxide/total-iron ratios of soils in the western Po Valley, Italy: a discussion, Geoderma, 35: 257-259.
3. Alonso, P., Serra, C., Ortega, E., and Dorronsoro, C. 1994. Soil development indices of soils developed on fluvial terraces (Penaranda de Bracamonte, Salamanca, Spain). Catena, 23: 295-308.
4. Bayati Khatibi, M. 2007. Effect of variabilities of soil physical and chemical properties along the hillsides on soil erosion of mountain soils (with an emphasis on gully): Northwest slopes of Sabalan (from Ahar to Meshkinshar), Human Sciences MODARES, 14: 21. 33-56.
5. Bilzi, A.F., and Ciolkosz, E.J. 1977. A field morphology rating scale for evaluating pedological development. Soil Science, 124: 45-49.
6. Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy, 43: 434-438.
7. Buntley, G.J., and Westin, F.C. 1965. A comparative study of developmental color in a Chestnut–Chernozem–Brunizem soil climosequence. Soil Sci. Soc. Amer. J. 29: 579-582.
8. Busacca, A.J. 1987. Pedogenesis of a chronosequence in the Sacramento Vally, California, U.S.A., I. Application of a Soil Development Index. Geoderma, 41: 123-148.
9. Chapman, S.L., and Horn, M.E. 1968. Parent material uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on zirconium–titanium contents. Soil Sci. Soc. Amer. J. 32: 265-271.
10. De Jong, E., Kozak, L.M., and Rostad, P.W. 1999. Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewan soils. Can. J. Soil Sci. 1: 135-142.
11. Dolui, A.K., and Bera, R. 2001. Relation between iron forms and pedogenic processes in some alfisols of Orissa, India. Agrochimica., XLV: 5-6.
12. Fernandez, R.N., Schulze, D.G., Coffin, D.L., and Vanssoyoc, G.E. 1988. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil-landscape. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52: 1023-1026.
13. Geological survey of Iran, 1995. Geological Quadrangle Map. NoI11. Geology Organization of Iran.
14. Goodman, A.Y., Rodbell, D.T., and Seltzer, G.O. 2001. Subdivision of glacial deposits in southeastern Peru based on pedogenic development and radiometric ages. Quaternery Research, 56: 31-50.

www.SID.ir

Archive of SID

15.Harden, J.W. 1982. A quantitative index of soil development from field descriptions examples from a chronosequence in central California. Geoderma, 28: 1-28.
16.Harden, J.W., and Taylor, E.M. 1983. A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes, Quaternary Research, 20: 342-359.
17.Hu, X., Xu, L., and Shen, M. 2009. Influence of the aging of Fe oxides on the decline of magnetic susceptibility of the Tertiary red clay in the Chinese Loess Plateau. Quaternary International, 209: 1-9.
18.Hurst, V.J. 1977. Visual estimation of iron in saprolite. Geology Society of America Bulletin, 88: 174-176.
19.IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
20.Jenny H. 1941. Factors of Soil Formation. McGraw-Hill Book Co., New York.
21.Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, S., and Stoops, G. 2003. Ar'gillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. Catena, 53: 273-301.
22.Khormali, F., Abtahi, A., and Stoops, G. 2006. Micromorphology of calcic pedofeatures in highly calcareous soils of Fars province, Southern Iran. Geoderma. 132: 31-46.
23.Kiani, R. 1999. Petrological and geochemical study of volcanic Bidkhan Bardsir (Kerman). College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, 21p.
24.Kumaravel, V., Sangode, S.J., Siva Siddaiah, N., and Kumar, R. 2010. Interrelation of magnetic susceptibility, soil color and elemental mobility in the Pliocene-Pleistocene Siwalik paleosol sequences of the NW Himalaya, India. Geoderma, 154: 267-280.
25.Lanyon, L.E., and Heald, W.R. 1982. Magnesium, calcium, strontium and barium, P 247-260. In: A.L., Page et al. (Eds.), *Methods of Spil Analysis*. Part II, Agron. Monogar., ASAand SSSA, Madison, WI.
26.Liua, Q., Dengb, C., Torrentc, J., and Zhub, R. 2007, Review of recent developments in mineral magnetism of the Chinese loess, Quaternary Science Reviews, 26: 368-385.
27.Machette, M.N. 1985. Calcic soils of the southwestern United States. In: Weide, D.L. (Ed.), Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States. Geological Society of America Special Paper, 203: 1-21.
28.McFadden, L.D., and Hendricks, D.M. 1985. Changes in the content and composition of pedogenic iron oxyhydroxides in a chronosequence of soils in southern California. Quaternary Research, 23: 189-204.
29.Moazallahi, M., and Farpoor, M.H. 2009. Soil Micromorphology and Genesis along a Climotoposequence in Kerman Province, Central Iran. Austr. J. Bas. Appl. Sci. 3: 4. 4078-4084.
30.Nelson, R.E. 1982. WI Carbonate and gypsum, P 181-196. In: A.L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis (2nd ed). Part 2, Agron. Monogar. No: 9. ASA and SSSA. Madison.
31.Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved soils, P 417-435. In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soils Analysis, Part 3: Chemical Methods. SSSA Book series Number 5, Soil Science Society of America, Madison, WI.
32.Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline-Alkali Soils. U.S.D.A. Hand book, 60. Washington, D.C., U.S.A.
33.Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., and Benham, E.C. (eds.). 2011. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
34.Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy (11th ed.). NRCS, USDA, USA.
35.Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. SSSA, Madison, WI.
36.Thanachit, S., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I., and Gilkes, R.J. 2005. The geochemistry of soils on a catena on basalt at Khon Buri, northeast Thailand. Geoderma, 135, 81-96.

www.SID.ir

Archive of SID

37. Torrent, J., Schwertmann, U., and Schulze, D.G. 1980. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. Geoderma, 23: 191-208.
38. Torrent, J., Schwertmann, U., Fechter, H., and Alferez, F. 1983. Quantitative relationships between soil color and hematite content. Soil Science, 136: 354-358.
39. Turnbaugh, S.J.L., and Evans, C.V. 1994. A determinative soil development index for pedo-stratigraphic studies, Geoderma, 61: 39-59.
40. Vidic, N.J. 1998. Soil-age relationships and correlations: comparison of chronosequences in the Ljubljana Basin, Slovenia and USA. Catena, 34: 113-129.
41. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degetiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.
42. Yu, J.Y., and Lu, S.G. 1991. Soil Magnetism. Jingxi Science & Technnology Press, Nanchang.
43. Zielhofer, C., Espejo, J.M.R., Granados, M.A.N., and Faust, D. 2009. Durations of soil formation and soil development indices in a Holocene Mediterranean floodplain. Quaternary International, 209: 44-65.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(2), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Comparsion of different soil development indices along Kerman-Baft transect

S.S. Hosseini[1], *I. Esfandiarpour Borujeni[2], M.H. Farpoor[3] and A.R. Karimi[4]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, [3]Professor, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman, [4]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 05/30/2014; Accepted: 09/23/2014

Abstract

Background and Objectives: Soil scientists have developed different mathematical equations and indices to be able to quantify soil development and to organize soil data. Soil properties will change during the soil development, which some changes can be made in the form of mathematical relationships as soil development indices. In this regard, soil morphological characteristics and laboratory data; have been considered by some researchers. Besides, attention to soil micromorphology as a method which can be associated with evidence relating to the sequence of pedogenic events and the processes which are not detectable by laboratory and field data, provided other developmental indices. The amount and distribution of extractable forms of iron in the soil profile are also indicated the stage and degree of soil development. The main objective of the present research was the comparison of different soil development indices (including forms and ratios of iron, magnetic susceptibility, color indices and modified Harden Index) related to different soils located on Kerman-Baft transect.

Materials and Methods: Eight pedons on different geomorphic surfaces were selected during field studies. All genetic horizons of selected pedons were sampled and were transported to the laboratory for physical and chemical tests as well as magnetic susceptibility studies. The magnetic susceptibility of prepared samples in both high (χhfbulk) and low (χlfbulk) frequencies was measured by a Bartington magnetometer in soil science laboratory of Isfahan University of Technology. Finally, the percentage of frequency-dependent magnetic susceptibility ($\%\chi_{fd}$) was measured. In addition, undisturbed samples were taken from a number of horizons for soil micromorphological studies. The thin sections prepared for soil micromorphological studies were studied and interpreted based on Stoops guidline (2003) using a HP polarizing microscope.

Results: Moving from Kerman toward Baft in the studied transect, due to increasing trend of elevation, more humidity was observed. That is why, pedogenic processes were also increased and iron forms and ratios showed this development trend regardless of local conditions. Due to effect of parent material lithology on soil minerogenic magnetic susceptibility, no significant relationship between this property and soil development indices was found. Correlation of various forms of Iron with three color indices of Harst, Torent and Alexunder showed that Harst Index was better than the other two indices for the study area. Moreover, since the parent materials of different pedons were not the same, the modified Harden Index was not adopted with soil development trend.

Conclusion: Regarding the relationship between evolution and the age of the soil with various forms of iron, increasing the crystalline iron oxides from soil profile number 1 (dry climate) to soil profile number 8 (moist climate), represents a further evolution of soils.

Keywords: Magnetic susceptibility, Soil development, Climotoposequence, Color index

* Corresponding Authors; Email: esfandiarpoor@vru.ac.ir

www.SID.ir