میکرومورفولوژی تحول خاک در کاربری‌های مختلف در اراضی لسی منطقه آق سو، استان گلستان

سمیه شمسی محمودآبادی* و فرهاد خرمالی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۸/۱۰)

چکیده

به‌منظور مطالعه تأثیر کاربری‌های مختلف بر تحول و تکامل خاک، اراضی لسی شرق استان گلستان منطقه آق‌سو انتخاب شد. تعداد ۶ پروفیل در کاربری‌های مرتع، جنگل طبیعی بلوط، جنگل مصنوعی سرو و زراعی حفر شد و مورد مطالعه قرار گرفت و از افق‌های مختلف تعدادی نمونه جهت مطالعات فیزیکوشیمیایی و تعدادی جهت مطالعات میکروسکوپی برداشته شد. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مهم همچون وزن مخصوص ظاهری ((BD، میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)، کربن آلی (OC)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، کربنات کلسیم معادل (CCE) و فسفر قابل دسترس (P) در کاربری‌ها مقایسه شد. OC، CEC و MWD در کاربری زراعی خیلی پایین‌تر بودند. میزان مواد آلی در منطقه جنگلی و مرتعی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از اراضی زراعی بود. مطالعه تکامل پروفیل خاک نشان داد که خاک‌های جنگلی تکامل یافته‌ترند، به‌طوری که خاک‌های مناطق جنگل طبیعی تحت عنوان کلسیک آرجی زرالز طبقه‌بندی شدند و پایداری اراضی بیشتر سبب به‌وجود آمدن افق آرجیلیک با بی فابریک لکه‌ای و کریستالی در افق کلسیک زیرین شده است. ولی خاک‌های زراعی دارای تکامل کمتری بودند و تحت عنوان تیپیک کلسی زرپتز طبقه‌بندی شدند. بی فابریک خاک‌های زراعی در تمام افق‌ها کریستالیتیک بوده و نشان‌دهنده عدم آبشویی کافی کربنات و متعاقب آن عدم انتقال رس است و به دلیل فرسایش شدید افق‌های سطحی، افق غنی از آهک زیرین رخنمون نموده و مانع تکامل پروفیل شده است. خاک‌های جنگل مصنوعی و مرتع نیز دارای افق مالیک و طبقه‌بندی تیپیک کلسی زرالز بودند و از تکامل متوسطی برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، میکرومورفولوژی خاک، لس، تکامل خاک

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shamsisomaye@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

عدم استفاده صحیح از منابع طبیعی و اعمال روش‌های نادرست مدیریتی سبب تخریب منابع و در نتیجه باعث کاهش تولید محصول خواهد شد. ارشد و همکاران (۲) بیان داشته‌اند که بهره‌برداری از سیستم‌های کشاورزی، بدون توجه به نتایج تخریب خاک در مناطقی که به‌طور متراکم و پیوسته زیر کشت می‌روند، پیامدهای ناخوشایندی را به‌دنبال دارد. برای جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و حفظ پتانسیل تولید آن، بایستی روش‌های صحیح مدیریتی اعمال گردد. مطالعه تحول و تکامل خاک‌ها به‌علت بررسی فرایندهای خاکی دارای اهمیت ویژه‌ای است. تغییرات ایجاد شده توسط انسان به‌منظور تغییر کاربری اراضی، تحول و تکامل خاک‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. خصوصیات میکرومورفولوژی خاک می‌تواند در بررسی تغییرات تحول خاک، تحت کاربری‌های مختلف کمک نماید. میکرومورفولوژی، شاخه‌ای از علم خاک‌شناسی است که به تشریح، تفسیر و تا حد زیادی اندازه‌گیری اجزا، عوارض و فابریک خاک‌ها در بعد میکروسکوپی، یعنی ماورای آنچه که به راحتی با چشم غیر مسلح دیده می‌شود، می‌پردازد. اهمیت میکرومورفولوژی به‌ویژه در علم ژنز خاک به‌حدی است که سیستم تاکسونومی خاک از آن به‌عنوان یک روش مطمئن برای شناسایی آسان یک سری فرایندهای خاک‌سازی استفاده می‌کند. امروزه غالب مطالعات میکرومورفولوژی خاک از دو دیدگاه بروئر و بولاک بررسی می‌شود. از بررسی نیمه‌کمی و کمی مشخصه‌های میکرومورفولوژی، می‌توان در تشخیص افق‌های مشخصه مانند کلسیک و آرجیلیک، تشخیص افق‌های مدفون شده، شبیه‌سازی رسوب‌گذاری لس‌ها، پیش‌بینی تغییرات اقلیم و دوره‌های خشک و تر گذشته، فرآیند رسوب‌گذاری و فرسایش، زمین لغزش، شرایط زه‌کشی، علت به‌هم‌خوردگی خاک توسط فرایندهای رسوبی و نتیجتاً درجه تحول خاک‌ها بهره گرفت. حضور افق آرجیلیک، گواهی بر تجمع رس در پروفیل خاک است (۲۱). افق آرجیلیک ناشی از شستشو و تجمع ذرات ریز رس در پروفیل جنگل طبیعی که دلیلی بر توسعه خاک است، با این تکنیک تشخیص داده شد. وجود افق کلسیک در اعماق خاک نیز مؤید آهک‌زدایی و شست‌وشوی شدید آهک در پروفیل خاک است. آهک‌زدایی هنگامی رخ می‌دهد که آب و دی‌اکسیدکربن موجود باشد. عملیات زراعی موجب می‌شود تا دی‌اکسید کربن کافی در محیط خاک تولید نشده و شرایط مناسب برای شست‌وشوی آهک و مهاجرت رس فراهم نشود. خرمالی و همکاران (۱۳) اظهار داشتند طی شرایط مرطوب، آهک‌زدایی اتفاق افتاده و سپس با شست‌وشوی متعاقب رس، افق آرجیلیک تکوین خواهد یافت. پروفیل واقع در کاربری جنگل به‌دلیل استقرار بر لندفرم پایدار از تکامل قابل توجهی برخوردار بوده به‌طوری‌که شست‌وشوی آهک و انتقال آن به اعماق پروفیل خاک و مهاجرت متعاقب رس، موجب تشکیل افق آرجیلیک شده است (۱). رطوبت قابل دسترس به همراه پوشش گیاهی، تنفس بالای خاک و شرایط اسیدیته شدید، انحلال و رسوب کربنات کلسیم را در خاک‌ها کنترل می‌کنند (۲۴). شرایط محیطی مانند کاربری از طریق تغییر در مقدار مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی توانسته‌اند بر مشخصه‌های میکرومورفولوژیک همچون نوع حفرات، میکروساختمان، بی‌فابریک و فرم‌های پوشش رسی اثر گذارند. در خاک‌های توسعه یافته بی‌فابریک غالب مشاهده شده، بی‌فابریک لکه‌ای است. این بی‌فابریک در نتیجه آبشویی بخشی از آهک به اعماق تحتانی و خاصیت بی‌رفرنژانسی رس ایجاد شده است (۷). بی‌فابریک کریستالیتیک در اثر فراوانی ذرات ریز کلسیت میکریتیک حاصل شده است (۱۰). بی‌فابریک نامشخص را می‌توان به اشباع ماتریکس خاک توسط اکسیدهای آهن نسبت داد (۷). ساختمان خاک به توزیع اندازه ذرات خاک، مواد آلی، فرایندهای انتقال و میکروارگانیزم‌ها وابسته است. کودسوا و همکاران (۱۵) بیان کردند که پوشش‌های رسی ناشی از انتقال و تجمع ذرات ریز رس و تجمع آهک می‌تواند در بهبود و پایداری ساختمان خاک مؤثر باشد. تشخیص شدت، توالی و به کمیت در آوردن فرآیندهای خاک‌ساز که اساس درجه‌بندی افق‌ها به‌شمار می‌آید، نیازمند عدم

www.SID.ir

دست‌خوردگی نمونه‌ها و بررسی توزیع مکانی آنهاست که فقط به‌وسیله آنالیز میکروسکوپی قابل ارزیابی است. در این تحقیق با استفاده از تکنیک میکرومورفولوژی خاک، روند تکامل و پیدایش خاک در کاربری‌های متفاوت، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات کلی منطقه

منطقه مورد بررسی، حوزه آبخیز آق‌سو، با مساحت ۱۲۴۹۷/۷۸ هکتار در محدوده طول شرقی ″۲۷ ′۲۷ °۵۵ تا ″۴۲ ′۴۲ °۵۵ و عرض شمالی ″۰۲ ′۲۲ °۳۷ تا ″۴۵ ′۲۹ °۳۷ در بالادست شهر کلاله در شرق استان گلستان واقع شده است. به‌طور کلی این منطقه دارای آب و هوای نیمه‌مرطوب با میانگین بارندگی ۶۳۵ میلی‌متر بوده، درجه حرارت سالیانه آن به‌طور متوسط ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد است. این حوزه مطالعاتی شامل تپه‌های لسی بوده که دارای شیب متوسط کلی ۱۵ تا ۲۰ درصد بوده و دارای پوشش گیاهی طبیعی جنگل بلوط، مصنوعی سرو، مرتع و زراعی می‌باشد، کاربری زراعی ۷۰ درصد و کاربری جنگل و مرتع حدود ۳۰ درصد مساحت منطقه را پوشش داده است. حدود ۴۰ سال پیش، جنگل طبیعی بلوط مورد تخریب قرار گرفت و قسمتی از آن برای اراضی زراعی در نظر گرفته شد. پس از گذشت ۱۰ سال، قسمتی از جنگل تخریب شده، در طرح جنگل‌داری، تحت پوشش جنگل مصنوعی سرو مورد بازسازی قرار گرفت (۸). منطقه دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی ترمیک است.

مطالعات و اندازه‌گیری صحرایی و نمونه‌برداری خاک

تعداد ۶ پروفیل در منطقه حفر (در کاربری جنگل طبیعی بلوط و جنگل مصنوعی سرو هر کدام یک پروفیل و در کاربری مرتع و زراعی هر کدام دو پروفیل زده شد) و طبق روش تاکسونومی خاک آمریکایی (۲۲) تشریح شد. چهار کاربری اراضی متفاوت در این منطقه بررسی شد که عبارت‌اند از ۱- جنگل طبیعی بلوط ۲- جنگل مصنوعی سرو ۳- مرتع ۴- زراعی. یک نمونه از افق‌های مختلف هر کاربری (در مجموع ۲۰ نمونه) برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک برداشت گردید. پس از انجام آزمایشات معمول فیزیکی و شیمیایی، مقاطع نازک تهیه شده و به‌وسیله میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

توزیع اندازه ذرات پس از انحلال کربنات به‌وسیله اسید کلریدریک ۲ نرمال و تجزیه مواد آلی با آب اکسیژنه ۳۰ درصد به‌دست آمد. وزن مخصوص ظاهری خاک به‌روش کلوخه تعیین شد. پایداری خاکدانه‌ها به روش الک مرطوب اندازه‌گیری و کمیت آن به عنوان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، محاسبه گردید (۱۲). اسیدیته خاک در حالت گل اشباع و با استفاده از دستگاه pH متر دارای الکترود شیشه‌ای اندازه‌گیری شد. قابلیت هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی تعیین گردید (۱۹). آهک به‌روش خنثی کردن مواد خنثی‌شونده با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود انجام شد (۱۹). ظرفیت تبادلی کاتیونی به‌روش چاپمن (۶) و با استات آمونیوم تعیین شد. اکسیداسیون کربن آلی توسط دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ انجام گرفته و توسط آمونیوم فروسولفات نیم نرمال در مجاورت معرف فنانترولین با روش تیتراسیون، مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شد (۱۸). نمونه‌های دست‌نخورده به‌وسیله جعبه کوبینا از هر افق برداشته شد. نمونه‌ها با مخلوط استن و رزین پلی‌استر به نسبت ۴۰ به ۶۰ و با افزودن کاتالیست و سخت‌کننده در شرایط خلاء در دیسکاتور اشباع شده و در هوای آزاد طی چند هفته سخت شدند. بلوک‌ها پس از برش و سایش و نصب روی لام، با سمباده‌های مختلف و در نهایت با پودر کاربوراندوم ۶۰۰ به ضخامت مطلوب رسانده شدند. مقاطع با میکروسکوپ پلاریزان در نور پلاریزه عادی (ppl) و نور پلاریزه متقاطع(xpl) و بر اساس روش استوپس (۲۳) و

Archive of SID

www.SID.ir

روش بولاک و همکاران (۵) توسط میکروسکوپ پلاریزان Euromex بررسی شدند. تصاویر توسط میکروسکوپ زایس دریافت شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و مورفولوژیک و رده‌بندی خاک‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و مورفولوژیک و رده‌بندی خاک‌های مطالعه شده در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. جنگل طبیعی در گروه بزرگ آرجی زرالز طبقه‌بندی می‌شود. خاک تحت پوشش جنگل طبیعی از تکامل پروفیلی قابل توجهی برخوردار بوده و شست‌وشوی آهک و مهاجرت متعاقب رس در پروفیل خاک، سبب تشکیل افق آرجیلیک شده است. وجود افق کلسیک در اعماق خاک نیز مؤید آهک‌زدایی و شست‌وشوی شدید آهک در پروفیل خاک است. خرمالی و همکاران (۱۳) در رابطه با تشکیل افق آرجیلیک بیان داشتند، طی شرایط مرطوب، آهک‌زدایی اتفاق افتاده و سپس با شست‌وشوی متعاقب رس، افق آرجیلیک تکوین خواهد یافت. اجرای عملیات زراعی در این منطقه، خاک را در گروه بزرگ کلسی زرپتز قرار داده است. عملیات زراعی ۴۰ ساله در خاک‌های لسی شیب‌دار توانسته است افق Bt را که در عمق ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر تشکیل شده است، در اثر فرسایش خاک از بین ببرد. اجزای آلی نیز در خاک زراعی بسیار کم است و همگی نشان‌دهنده کاهش کیفیت خاک در این منطقه می‌باشد. خاک جنگل مصنوعی سرو در گروه بزرگ کلسی زرالز طبقه‌بندی می‌شود و با توجه به تاریخچه منطقه به‌نظر می‌رسد پس از جنگل‌تراشی جنگل طبیعی، مدتی (حدود ۱۰ سال) منطقه تحت عملیات شخم و زراعت قرار گرفته و در این مدت افق سطحی و Bt خاک از بین رفته است. با اجرای طرح جنگل‌کاری (۳۰ سال) و تثبیت خاک توسط جنگل سرو، مقداری ماده آلی در سطح تجمع یافته که شرایط را برای تشکیل افق مالیک مهیا کرده است. لیکن فرصت کافی برای تشکیل افق آرجیلیک که نیاز به زمان زیاد برای شست و شوی رس دارد، در این مدت کم به لحاظ خاک‌سازی فراهم نشده است. خاک مرتع ۱ در گروه بزرگ کلسی زرالز و مرتع ۲ در گروه بزرگ هاپلو زرالز طبقه‌بندی می‌شود. مقادیر قابل توجه ماده آلی و رنگ قهوه‌ای مایل به سیاه خاک، مؤید کیفیت مناسب خاک تحت پوشش مرتع می‌باشد. شست‌وشوی آهک از سطح خاک به اعماق نیمرخ، تحت پوشش مرتع صورت گرفته که نودول‌های آهک در افق عمقی خاک (کلسیک) نشان‌دهنده تجمع آهک است.

تغییرات بافت

تغییر مقدار رس بر حسب عمق در نیمرخ خاک جنگل طبیعی، ابتدا روند افزایشی و سپس کاهش نشان داده است. این روند افزایشی مقدار رس بر حسب عمق، بیانگر فرایند شست‌وشو و حرکت ذرات ریز رس در پروفیل خاک بوده است. مقدار رس نیمرخ خاک زراعی، به‌طور کلی کمتر از جنگل بوده و توزیع نسبتاً یکنواختی را با عمق نشان می‌دهد (شکل ۱، الف). هدر رفت خاک در اثر فرسایش در منطقه تحت کشت، موجب از بین رفتن افق Bt و مقدار زیادی ذرات ریز رس شده است. رس و سیلت تغییرات معکوسی را نسبت به هم در هر دو کاربری نشان می‌دهند (شکل ۱، ب).

تغییرات آهک

به‌طور کلی در اعماق مختلف پروفیل‌ها، آهک خاک زراعی بیشتر از آهک خاک تحت پوشش جنگل است. زیر و رو شدن خاک بر اثر عملیات خاک‌ورزی موجب توزیع آهک در پروفیل خاک زراعی شده است. عملیات خاک‌ورزی موجب انتقال کربنات کلسیم از عمق‌های پایین‌تر به سطح خاک شده، بنابراین کربنات کلسیم خاک سطحی اراضی کشاورزی، بیشتر از سایر کاربری‌هاست. فراهم بودن رطوبت بیشتر در خاک جنگل همراه با دی اکسید کربن ناشی از فعالیت‌های بیولوژیکی، باعث شده تا کربنات کلسیم حل شده و با تجمع در اعماق خاک جنگلی سبب تشکیل افق کلسیک گردد، به‌طوری که مطالعه

www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات مورفولوژیکی خاک‌های مورد بررسی

کاربری اراضی	افق	عمق (cm)	رنگ	بافت	ساختمان	پایداری	واکنش با اسید
مرتع ۱	A	۰-۲۰	10YR 3/1	SiCL	3fgr	vfr	+
	Bk1	۲۰-۵۵	10YR 5/4	SiCL	2mabk	vfr	+
	Bk2	۵۵-۹۵	10YR 6/4	SiL	1fabk	vfr	+
	Ck	۹۵-۱۳۰	10YR 5/5	SiL	m	vfr	+
مرتع ۲	A	۰-۲۰	10YR 1/1	SiCL	3mgr	vfr	no
	Bk	۲۰-۳۲	10YR 3/2	SiCL	3mgr	vfr	+
	Cr	>۳۲		SiL	m	fr	++
جنگل طبیعی بلوط	A	۰-۲۳	10YR 2/2	SiCL	1fgr	vfr	no
	Bt	۲۳-۶۰	10YR4/4	SiC	2mabk	vfr	no
	Bk	۶۰-۹۰	10YR5/6	SiL	1mabk	vfr	+
	BCk	۹۰-۱۱۵	10YR6/6	SiL	1fabk	vfr	+
جنگل مصنوعی سرو	A	۰-۱۸	10YR 3/2	SiCL	2mgr	vfr	+
	Bk1	۱۸-۶۳	10YR 4/6	SiCL	1fsbk	vfr	++
	Bk2	۶۳-۱۱۰	10YR 5/6	SiL	1fsbk	vfr	++
زراعی ۱	A	۰-۱۵	10YR 4/6	SiL	1fsbk	vfr	+
	Bk	۱۵-۷۰	10YR 4/6	SiL	1fsbk	vfr	+
	Ck	۷۰-۱۳۰	10YR 5/6	SiL	m	fr	+
زراعی ۲	A	۰-۳۲	10YR 4/3	SiL	1fsbk	vfr	+
	Bk	۳۲-۷۳	10YR 4/6	SiL	1fsbk	vfr	+
	Ck	>۷۳	10YR 5/6	SiL	m	fr	+

خاک سطحی نشان می‌دهد، مقدار آهک در کاربری جنگل با اختلاف زیادی کمتر از خاک زراعی است (شکل ۱، ج).

بررسی میکرومورفولوژیک خاک‌ها

حفره‌ها

حفره‌ها از نوع کانال در کلیه پروفیل‌ها مشاهده شده و شکل غالب محسوب می‌شود، ولی به‌تدریج از کاربری مرتع تا کاربری زراعی، حفره‌های کانالی چه از نظر اندازه و چه مقدار کاسته شده و بر حفره‌های صفحه‌ای افزوده شده است (شکل ۲ و جدول ۳). وجود حفره‌های کانالی در افق‌ها نشان‌دهنده رشد و نفوذ ریشه گیاهان در خاک و فعالیت بیولوژیکی موجودات زنده است (۱۷ و ۱۱). وجود حفره کانالی در این کاربری‌ها را می‌توان به این شکل توجیه نمود که در کاربری مرتع و جنگل به‌دلیل ماده آلی زیاد (۳-۲%) و بقایای ریشه (بیش از ۲۰%)، فعالیت جانوری بیشتر، فشردگی خاک کمتر، حفرات از نوع کانال بیشتر بوده و این امر در تهویه خاک اثر خود را نشان داده است که همگی مؤید کیفیت مناسب خاک تحت پوشش مرتع و جنگل می‌باشد. در مقابل در کاربری زراعی، عملیات کشاورزی اثر مهمی روی پارامترهای فیزیکی خاک از قبیل تخلخل، نفوذ آب و وزن مخصوص ظاهری خاک گذاشته است (۹) که مشاهده حفره‌های نوع صفحه‌ای در این کاربری نشان‌دهنده این تغییرات می‌باشد (شکل ۳، ب). مشاهده این‌گونه حفره‌ها همراه

Archive of SID

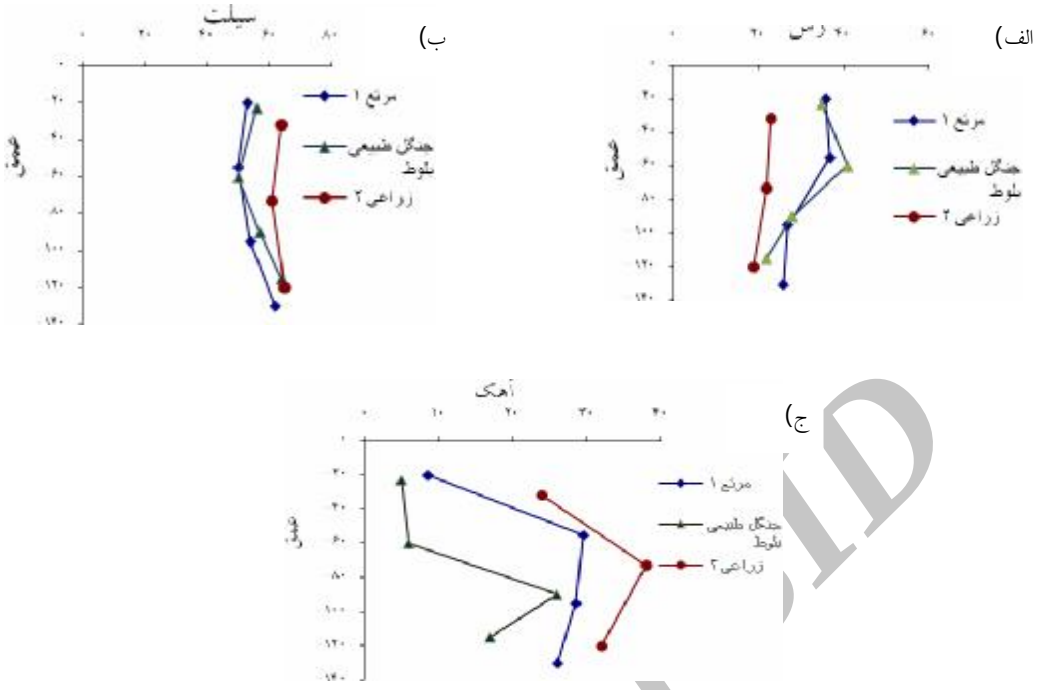
www.SID.ir

جدول۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها

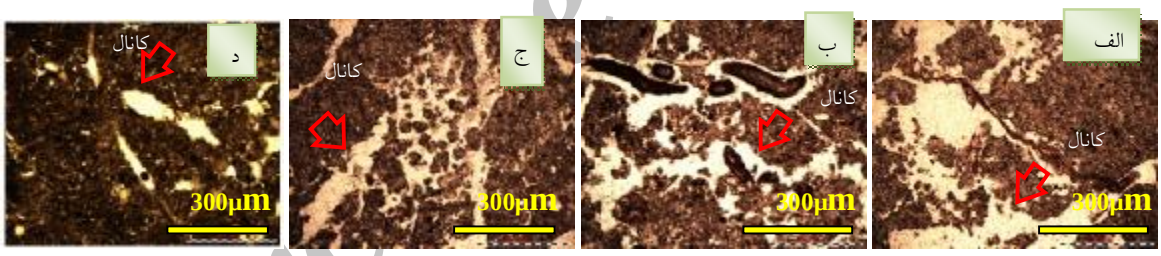
کاربری	افق	عمق (cm)	pH	EC dSm^{-1}	رطوبت اشباع (%)	آهک (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	BD gcm^{-3}	MWD (mm)	کربن آلی (%)	فسفر ppm	CEC $Cmol\ kg^{-1}$
Fine-silty, mixed, superactive, thermic, Typic Calcixerolls														
مرتع ۱	A	۰-۲۰	۷/۱	۱/۲	۶۲/۲	۸/۵	۳۶	۵۳	۱۱	۱/۴	۲	۲/۲	۱۰	۵۶
	Bk1	۲۰-۵۵	۷/۲	۰/۹	۴۶/۹	۲۹/۵	۳۷	۵۰	۱۳	۱/۴	۱/۶	۰/۹	۲	۳۴
	Bk2	۵۵-۹۵	۷/۷	۰/۳	۴۳/۲	۲۸/۵	۲۷	۵۴	۱۹	۱/۴	۰/۵	۰/۷	۲/۵	۲۹
	Ck	۹۵-۱۳۰	۷/۸	۰/۲	۴۰/۹	۲۶	۲۶	۶۲	۱۲	۱/۵	۰/۳	۰/۱	۵/۵	۲۸
Fine-silty, mixed, superactive, thermic, Typic Haploxerolls														
مرتع ۲	A	۰-۲۰	۶/۹	۰/۸	۶۵/۳	۵	۳۶	۵۴	۱۰	۱/۴	۲	۳	۱۱	۵۸
	Bk	۲۰-۳۲	۷/۲	۰/۶	۶۴/۱	۱۴	۳۷	۵۱	۱۲	۱/۵	۱/۳	۲	۲/۵	۳۴
	Cr	>۳۲	۷/۷	۰/۵	۵۶	۱۰	۲۵	۶۰	۱۵	۱/۵	۰/۴	۰/۱	۶/۵	۲۹
Fine, mixed, superactive, thermic, Calcic Argixerolls														
جنگل	A	۰-۲۳	۶/۳	۱/۵	۶۵	۲	۳۵	۵۶	۹	۱/۵	۲/۴	۲/۲	۱۲	۵۹
طبیعی	Bt	۲۳-۶۰	۵/۹	۰/۶	۶۹	۳	۴۱	۵۰	۹	۱/۵	۱/۶	۰/۹	۱۰	۵۲
بلوط	Bk	۶۰-۹۰	۷/۴	۰/۵	۵۰	۲۶	۲۸	۵۷	۱۵	۱/۶	۱	۰/۸	۱/۲	۳۹
	BCk	۹۰-۱۱۵	۷/۸	۰/۳	۴۳/۴	۱۷	۲۲	۶۴	۱۴	۱/۶	۰/۵	۰/۵	۶	۳۶
Fine-loamy, mixed, superactive, thermic, Typic Calcixerolls														
جنگل	A	۰-۱۸	۶/۸	۱/۲	۶۲/۳	۷/۵	۳۲	۵۷	۱۱	۱/۲	۲/۲	۲/۷	۴/۵	۵۴
مصنوعی	Bk1	۱۸-۶۳	۷/۸	۰/۵	۴۸/۲	۲۰/۵	۳۳	۵۴	۱۳	۱/۴	۱/۲	۰/۹	۰/۸	۳۴
سرو	Bk2	۶۳-۱۱۰	۷/۸	۰/۳	۴۴	۲۰	۲۷	۵۸	۱۵	۱/۵	۰/۲	۰/۵	۲/۴	۳۱
Fine-silty, mixed, superactive, thermic, Typic Calcixerepts														
زراعی	A	۰-۱۵	۷/۷	۰/۵	۴۲/۱	۲۵	۲۴	۶۳	۱۳	۱/۴	۰/۵	۰/۹	۱۵/۴	۳۸
۱	BK1	۱۵-۷۰	۷/۷	۰/۴	۴۴/۷	۳۲/۵	۲۳	۶۰	۱۷	۱/۵	۰/۴	۰/۴	۲/۵	۳۳
	CK	۷۰-۱۳۰	۷/۹	۰/۳	۴۱	۳۰	۲۰	۶۴	۱۶	۱/۶	۰/۲	۰/۱	۸/۲	۳۱
Fine-loamy, mixed, superactive, thermic, Typic Calcixerepts														
زراعی	A	۰-۳۲	۷/۶	۰/۶	۴۳	۲۴	۲۳	۶۴	۱۳	۱/۵	۰/۶	۰/۶	۱۵	۳۴
۲	BK1	۳۲-۷۳	۷/۸	۰/۴	۴۵	۳۸	۲۲	۶۱	۱۷	۱/۶	۰/۵	۰/۴	۲/۱	۳۲
	CK	>۷۳	۷/۹	۰/۳	۴۲	۳۲	۱۹	۶۵	۱۶	۱/۷	۰/۵	۰/۲	۸	۲۶

Archive of SID

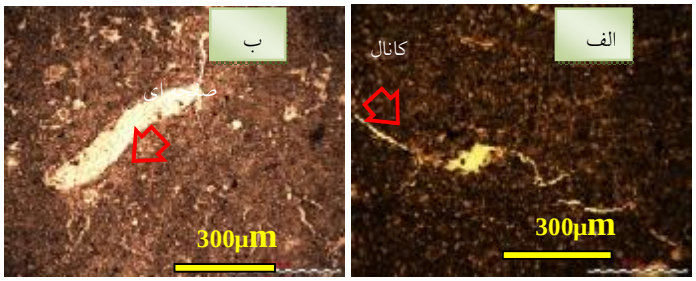
www.SID.ir



شکل ۱. تغییرات رس، سیلت و آهک در عمق نیمرخ خاک و تحت سه کاربری مرتع، جنگل طبیعی و زراعی



شکل ۲. حفره‌های کانالی الف: افق A خاک‌های مرتع ،ب: افق A جنگل طبیعی بلوط ،ج: افق A جنگل مصنوعی سرو د: افق A زراعی (در نور PPL)



شکل ۳. حفره‌های مشاهده شده در افق‌های عمقی خاک الف: حفره‌های کانالی افق Bk مرتع، ب: حفرات صفحه‌ای در افق Ck زراعی (در نور PPL)

www.SID.ir

با مقادیر ناچیز اجزای آلی در خاک زراعی (کمتر از ۱%)، نشان‌دهنده کاهش کیفیت در ناحیه کشت و کار است.

میکروساختمان

میکروساختمان مشاهده شده در خاک‌ها، توده‌ای تا مکعبی زاویه‌دار و بدون زاویه با تمایز خوب را شامل شده است (شکل‌های ۴ و ۵). ساختمان خوب به توزیع ذرات خاک، مواد آلی، فرایندهای انتقال و میکروارگانیزم‌ها وابسته است. مشاهده میکرومورفولوژیکی خاک جنگل نشان می‌دهد، قرار گرفتن خاک تحت پوشش طبیعی، موجب تشکیل ساختمان متخلخل در سطح خاک شده است. استوپس (۲۳) وجود این‌گونه ساختمان در خاک را با فعالیت‌های بیولوژیک مرتبط می‌داند. در مقابل، وجود ساختمان از نوع مکعبی لبه‌مدور در سطح و توده‌ای در عمق کاربری زراعی، نشان از تخریب خاک طبیعی و فشردگی آن به‌دلیل اجرای عملیات در منطقه است. وجود ساختمان به مقدار سیلت خاک نیز ارتباط داشته است. با توجه به نتایج فیزیکی و شیمیایی در نیمرخ خاک زراعی، افق شامل میکروساختمان توده‌ای، بیشترین مقدار سیلت را داراست و به‌طور کلی مقدار سیلت در این افق‌ها بیش از ۵۰ درصد بود. میکروساختمان مکعبی بدون زاویه با تمایز متوسط و خوب، بیشترین فراوانی را در کاربری‌های مرتع، جنگل طبیعی بلوط و جنگل مصنوعی سرو دارد. وجود این نوع ساختمان را می‌توان به مقدار رس و نوع رس نسبت داد. به‌طوری که افق توسعه یافته آرجیلیک دارای ساختمان مکعبی زاویه‌دار با تمایز خوب است که بیان‌کننده تکامل این افق است. کودسوا و همکاران (۱۵ و ۱۶) با تکیه بر مطالعه‌ای میکرومورفولوژیک بر خاک‌های لسی لوویسولز نشان دادند که پوشش‌های رسی ناشی از انتقال و تجمع ذرات ریز رس و تجمع آهک، می‌توانند در بهبود و پایداری ساختمان خاک مؤثر باشند.

بی‌فابریک

بی‌فابریک غالب مشاهده شده در کاربری جنگل طبیعی بلوط و جنگل مصنوعی سرو، لکه‌ای بود (شکل ۶، الف و ب). بی‌فابریک لکه‌ای در نتیجه آبشویی بخشی از آهک به اعماق تحتانی و خاصیت بی‌رفرنژانسی رس می‌شود (۷). در افق‌های توسعه یافته آرجیلیک، بی‌فابریک از نوع لکه‌ای است، زیرا در این افق‌ها هم فرایند تخلیه آهک رخ داده است. تغییر بی‌فابریک لکه‌ای به کریستالیتیک - لکه‌ای در افق‌های Bt و Bk از پروفیل جنگل طبیعی نیز بیانگر فرایند تخلیه و تجمع آهک است. علاوه بر بی‌فابریک لکه‌ای در افق سطحی این دو کاربری، بی‌فابریک نامشخص نیز دیده شد. رطوبت قابل دسترس، هوادیدگی شدید و اکسایش مواد آلی و آهن در ماتریکس، موجب تغییر بی‌فابریک به حالت نامشخص می‌گردد (۷). نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد، مقدار مواد آلی در این افق‌ها برابر با ۳ درصد و نسبتاً بالا است.

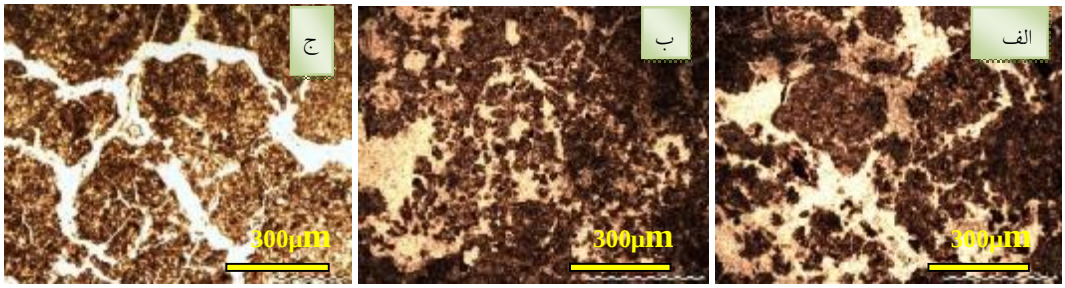
اما در کاربری زراعی، بی‌فابریک غالب کریستالیتیک است (شکل ۶، ج). تشکیل بی‌فابریک نوع کریستالیتیک در سرتاسر پروفیل خاک زراعی نشان می‌دهد، آهک به‌دلیل عملیات شخم در طول پروفیل خاک توزیع شده و فرصتی برای شست‌وشو به عمق پیدا نکرده است. بی‌فابریک کریستالیتیک در اثر فراوانی ذرات ریز کلسیت میکریتیک حاصل می‌شود و رسوب از محلول خاک و فرایند آبشویی افق‌های فوقانی در بروز این بی‌فابریک مؤثر هستند (۱۰).

پدوفیچرها

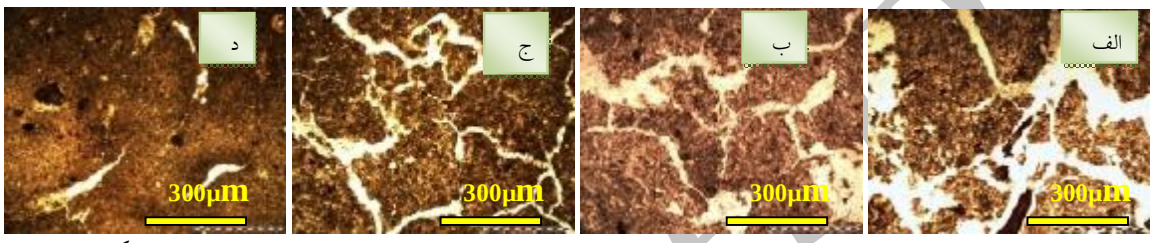
پدوفیچرهای ناشی از فعالیت‌های بیولوژیک

از نشانه‌های وجود فعالیت بیولوژیک و جانوری در پروفیل‌های مرتع و جنگل طبیعی بلوط و جنگل مصنوعی سرو، وجود میکروساختمان‌های کروی، پدوفیچرهای بقایای جانوری و بقایای ریشه‌های گیاهی در داخل حفره‌هاست (۱۰). فراوانی میکروساختمان کروی و پدوفیچرهای ناشی از بقایای جانوری در این پروفیل‌ها، نشان‌دهنده شرایط مناسب محیطی برای

www.SID.ir



شکل ۴. الف: میکروساختمان متخلخل در افق A جنگل بلوط، ب: میکروساختمان دانه‌ای در افق A جنگل سرو، ج: میکروساختمان مکعبی بدون زاویه در افق A زراعی (در نور PPL).



شکل ۵. الف: میکروساختمان مکعبی زاویه‌دار در افق Bk مرتع، ب: میکروساختمان مکعبی زاویه‌دار در افق Bt جنگل بلوط، ج: میکروساختمان مکعبی زاویه‌دار در افق Bk2 جنگل سرو، د: میکروساختمان توده‌ای در افق Ck زراعی (در نور PPL).

فعالیت بیولوژیک بوده و کم بودن آن در پروفیل زراعی، محدودیت فعالیت جانوری را آشکار می‌سازد. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین فراوانی پدوفیچرهای بقایای جانوری در افق‌های آهکی بود که بیانگر نیاز جانوران تولید کننده این پدوفیچرها به آهک است. این امر می‌تواند نشانگر این باشد که جانوران تولید کننده این پدوفیچرها، جهت فعالیت خود نیاز به شرایط آهکی و یا pH قلیایی دارند. با توجه به نتایج فوق، حضور این ویژگی در پروفیل‌های مرتع، جنگل طبیعی بلوط و جنگل مصنوعی سرو، شاهدی بر وجود فعالیت بیولوژیک بیشتر و شرایط مساعد زیستی است (شکل ۷).

پدوفیچرهای کربنات کلسیم

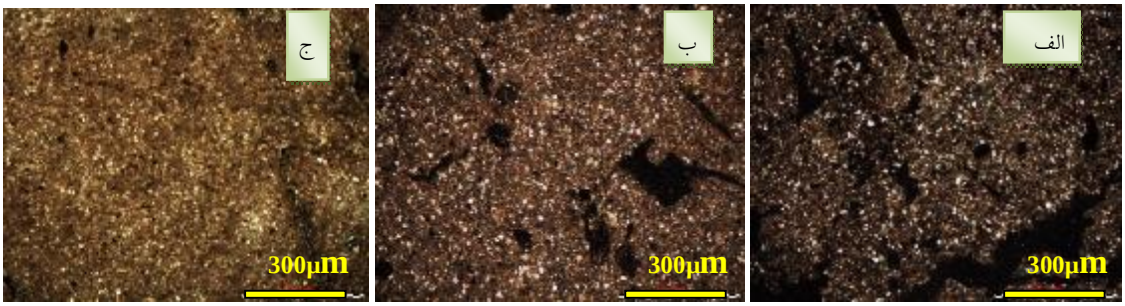
کربنات کلسیم پدوژنیک به‌طور اساسی به‌وسیله مواد مادری، اقلیم و پوشش گیاهی کنترل می‌شود (۲۷). تشکیل کربنات پدوژنیک، نتیجه فرایند مرکب شامل انحلال (هوادیدگی)، انتقال و ترسیب می‌باشد (۱۴). بسته به فرایندهای فیزیکی و شیمیایی و فعالیت جانوری در خاک، تجمع کربنات کلسیم می‌تواند فرم‌های مختلفی را در خاک به‌وجود آورد (۱۰).

کربنات کلسیم از ویژگی‌های ثانویه لس‌ها به‌شمار می‌آید. در مطالعه میکرومورفولوژیک حاضر، دامنه وسیعی از فرم‌های کربنات کلسیم نظیر هیپوکوتینگ، ندول، کلسیت سوزنی‌شکل و آهک سیتومورفیک دیده شد.

کوتینگ و هیپوکوتینگ‌های کربنات کلسیم

هیپوکوتینگ کربنات کلسیم در تمامی پروفیل‌ها دیده شده است. بروئر و اسلیمن (۴) تشکیل هیپوکوتینگ آهکی را تحت تأثیر دو پروسه پخشیدگی و حرکت تعلیقی می‌دانند. طی فرایند پخشیدگی، پلاسمای آهکی از بی‌فابریک خاک به‌طرف سطوح نظیر حفره‌ها و خاکدانه‌ها حرکت می‌کند. در حرکت تعلیقی، محلول حاوی کربنات از منافذ به‌داخل بی‌فابریک خاک حرکت کرده و مواد آهکی را روی سطوح به جای می‌گذارد (۲۰). مواد آلی و بقایای ریشه، ترسیب کربنات کلسیم را تسریع می‌نمایند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶. الف: بی‌فابریک لکه‌ای در جنگل بلوط، ب: بی‌فابریک لکه‌ای در جنگل سرو، ج: بی‌فابریک کریستالیتیک در کاربری زراعی (در نور XPL)

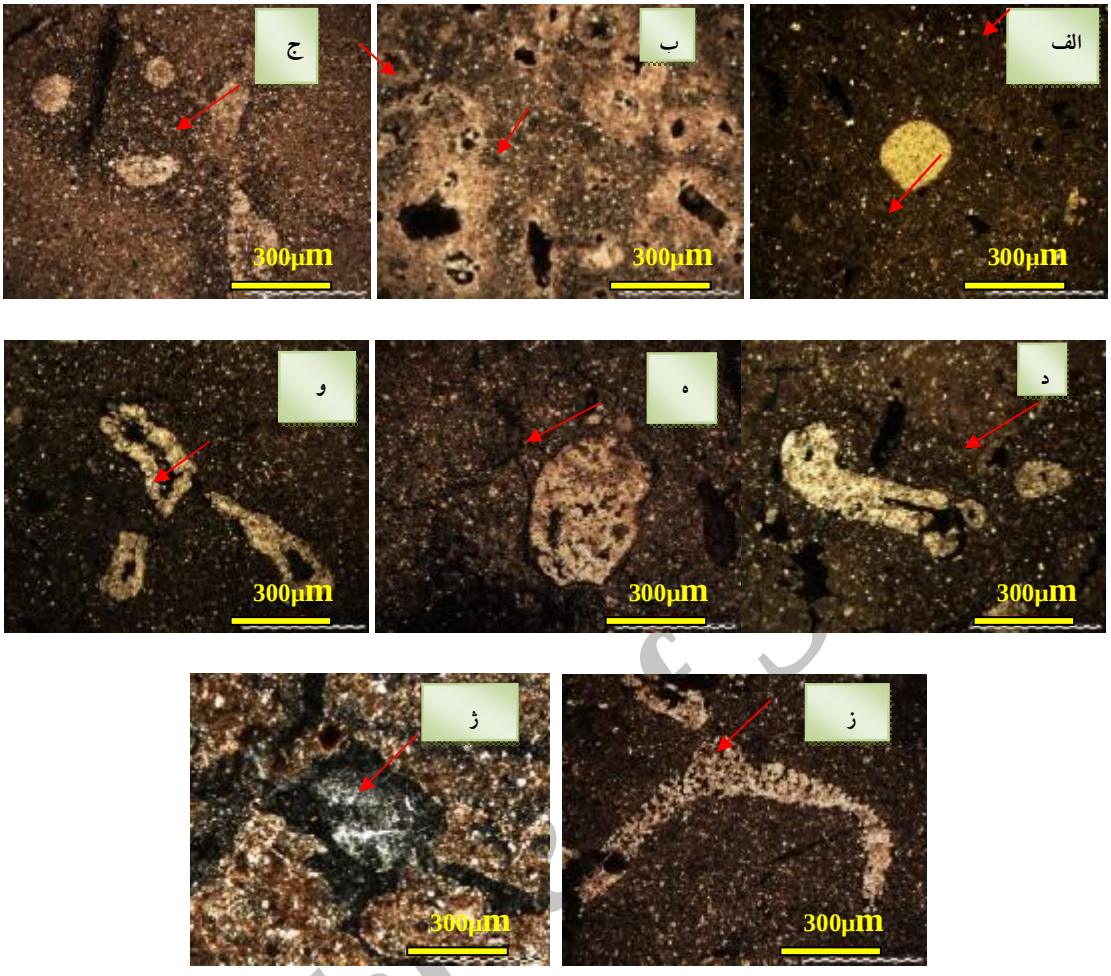
شکل ۷. پدوفیچرهای بقایای جانوری (Excremental) الف: افق Bk مرتع، ب: افق Bk جنگل طبیعی بلوط، ج: افق Bk1 جنگل مصنوعی سرو (در نور PPL).

با توجه به نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک، در پروفیل‌های مذکور، هیپوکوتینگ‌ها با مواد آلی و بقایای ریشه همراه بود. به‌هم‌خوردگی خاک طبیعی بر اثر عملیات شخم و زیر و رو شدن خاک، فرصت کافی برای شسته شدن آهک در سرتاسر نیمرخ خاک را فراهم نیاورده و باعث توزیع آهک عمقی در سرتاسر نیمرخ شده که پوشش‌های آهکی در حفره‌های افق سطحی کاربری زراعی قابل مشاهده است. ولی مشاهده کوتینگ‌های آهک در عمق خاک جنگل، نشانه تجمع آهک شسته شده و شست‌وشوی آن از سطح خاک است، زیرا پوشش گیاهی طبیعی از یک طرف رطوبت مطلوب را برای خاک تأمین کرده و از طرفی تنفس میکروبی قابل توجه، شرایط مناسبی برای حرکت آهک در پروفیل خاک، فراهم می‌کند (شکل۸، الف).

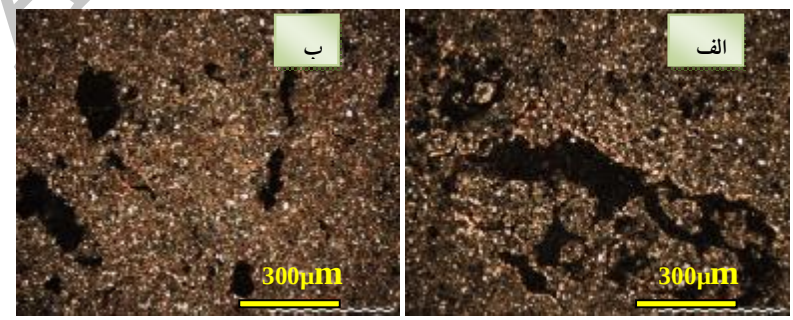
ندول آهک

ندول‌های کلسیت میکریت، غالب‌ترین نوع کربنات‌های پدوژنیک هستند. تشکیل و مورفولوژی این ندول‌ها به‌وسیله فاکتورهای زیادی شامل فرایندهای انحلال و کریستاله شدن، غلظت نمک، بافت خاک (۲۶)، پایداری خاک و شرایط هیدرومورفیسم (۲۰) و شرایط مناسب برای رسوب کربنات کلسیم تعیین می‌شود. نتایج میکرومورفولوژی نشان داد که در تمامی پروفیل‌ها ندول آهک وجود داشته دارد، ولی اندازه و مقدار آن از پروفیل مرتع به زراعی کاهش می‌یابد. در شرایط طبیعی خاک جنگل، به‌دلیل پایدار بودن اراضی و شدت نفوذ عمقی آب به خاک، ترکیبات آهک به اشکال مختلف از جمله ندول در خاک، تجمع پیدا می‌کند و به‌طور کلی شرایط برای تکامل و رشد چنین عوارضی در خاک کاملاً مهیا است. ولی در شرایط خاک زراعی، به دلایل متعدد از جمله استفاده از

www.SID.ir



شکل ۸. الف: هیپوکوتینگ آهک در افق Bk جنگل طبیعی بلوط، ب: ندول آهک در افق Bk2 مرتع، ج: ندول آهک در افق BCK جنگل طبیعی بلوط، د: ندول آهک در افق Bk1 جنگل سرو، ه: آهک سیتومورفیک در افق Ck مرتع، و: آهک سیتومورفیک در افق BCK جنگل طبیعی بلوط، ز: آهک سیتومورفیک در افق BK2 جنگل سرو (در نور XPL)، ژ: آهک سوزنی شکل در افق Bk جنگل طبیعی بلوط (در نور XPL).



شکل۹. الف و ب: کوتینگ رس افق Bt جنگل طبیعی بلوط (در نور XPL)

www.SID.ir

جدول ۳. تشریح میکرومورفولوژیک افق‌ها در کاربری‌های مختلف خاک

کاربری اراضی	افق	ساختمان	حفرات	بی - فابریک	پدوفیچر	c/f	رنگ
مرتع ۱	A	دانه‌ای	کانال	کریستالی	-	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای تیره
	Bk	مکعبی زاویه‌دار خوب	کانال	کریستالی	نودول آهک (تیپیک)	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای مایل به زرد
	Ck	مکعبی لبه مدور	کانال	کریستالی	کوتینگ آهک - آهک سیتومورفیک	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای مایل به زرد
جنگل طبیعی بلوط	A	متخلخل	کانال، حجره‌ای	لکه ای(۷۰ درصد) و نامشخص(۳۰درصد)	پدوفچرهای ناشی از موجودات زنده	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای تیره
	Bt	مکعبی زاویه‌دار خوب	کانال، حجره‌ای	لکه‌ای - خطی	کوتینگ رس	پورفیریک دو فاصله	قهوه‌ای
	Bk	مکعبی زاویه‌دار متوسط	کانال	کریستالی(۷۰ درصد)- لکه ای(۳۰ درصد)	کوتینگ آهک(سوزنی)، نودول آهک(گئودیک)، آهک سیتومورفیک - پدوفچرهای ناشی از موجودات زنده	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای مایل به زرد
	BCk	مکعبی لبه مدور ضعیف	کانال	کریستالی(۹۰ درصد)- لکه ای(۱۰ درصد)	آهک سیتومورفیک - نودول آهک(تیپیک)- کوتینگ آهک	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای مایل به زرد
جنگل مصنوعی سرو	A	متخلخل	کانال	لکه ای(۶۰ درصد) و نامشخص(۴۰درصد)	پدوفچرهای ناشی از موجودات زنده	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای خیلی تیره
	Bk1	مکعبی زاویه‌دار متوسط	کانال	کریستالی(۷۰ درصد)- لکه ای(۳۰ درصد)	نودول آهک - کوتینگ آهک	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای مایل به خاکستری
	Bk2	مکعبی زاویه‌دار ضعیف	کانال	کریستالی(۹۰ درصد)- لکه ای(۱۰ درصد)	نودول آهک - آهک سیتومورفیک	پورفیریک تک فاصله	قهوه‌ای روشن
زراعی ۱	Ap	مکعبی لبه مدور، توده-ای	کانال	کریستالی	نودول آهک (تیپیک)	پورفیریک	قهوه‌ای روشن
	Bk	مکعبی لبه مدور متوسط	کانال، حجره‌ای	کریستالی		پورفیریک	قهوه‌ای مایل به زرد
	Ck	توده‌ای	کانال	کریستالی	کوتینگ آهک	پورفیریک	قهوه‌ای روشن

Archive of SID

www.SID.ir

ماشین‌آلات کشاورزی و فشرده‌شدن خاک و هم‌چنین عدم حضور دائمی پوشش گیاهی، نفوذپذیری خاک (نفوذ عمقی آب در خاک) در مقایسه با شرایط طبیعی کاهش یافته و از تجمع ترکیبات آهک و شکل‌گیری و تکامل این عوارض پدوژنتیکی در خاک ممانعت به‌عمل می‌آید. هم‌چنین زیرورو شدن خاک تحت عملیات خاک‌ورزی ممکن است بر این مسئله اثر منفی داشته باشد (شکل۸، ب، ج، د). قطر ندول‌های مشاهده شده در مقاطع بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میکرون، دارای مرز مشخص، بی‌فابریک داخلی کریستالیتیک و از نوع تیپیک می‌باشد. این ندول‌ها در نتیجه ترسیب مجدد کربنات ثانویه ناشی از فرایند آبشویی حاصل شده است.

کلسیت سیتومورفیک

این نوع کلسیت در پروفیل‌های مرتع، جنگل طبیعی بلوط و جنگل مصنوعی سرو مشاهده شد (شکل۸، هـ، و، ز). مکانیسم تشکیل این نوع کلسیت را چنین بیان می‌کنند که کربنات کلسیم در ماتریکس خاک، توسط ترشح اسیدهای آلی از ریشه، حل شده و با جذب یون کلسیم توسط سلول‌های ریشه، در داخل واکوئل‌ها به‌صورت کربنات کلسیم تجمع می‌یابد (۲۵). خرمالی و همکاران (۱۴) بیان می‌دارند که شرایط محیطی خاصی برای تشکیل این کلسیت نیاز است، از جمله بارش نسبتاً زیاد، دمای مناسب و پوشش گیاهی متراکم که سبب افزایش فعالیت بیولوژیک می‌شوند. در کاربری زراعی به‌دلیل نبودن پوشش گیاهی پایدار، شرایط برای تشکیل این نوع کلسیت فراهم نشده است.

کلسیت سوزنی شکل

کلسیت سوزنی شکل در افق Bk جنگل طبیعی بلوط دیده شد (شکل ۸، ژ). نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی وجود مواد آلی بالا (جدول ۱) و بقایای مواد آلی و ریشه را در این افق نشان داد. خرمالی و همکاران (۱۴) معتقدند که کلسیت سوزنی شکل در مناطقی با بارندگی و دمای خاک نسبتاً بالاتر و رشد گیاهی متراکم‌تر یافت می‌شوند که این فاکتورها سبب تقویت منشأ بیولوژیک کلسیت سوزنی شکل می‌شوند. بژدک و همکاران (۳) وجود این فرم را بیان کننده رطوبت کافی در خاک و حضور مواد آلی تجزیه‌پذیر دانسته‌اند، به همین دلیل این فرم را در کاربری‌های دیگر نمی‌توان دید. این پژوهشگران هم‌چنین بیان داشتند که تشکیل این فرم به بیومینرالیزاسیون در درون میسیلیوم قارچ‌ها ارتباط دارد و اشباع بودن محلول خاک با کاتیون Ca^{2+} در حفظ این فرم در خاک مؤثر است. بنابراین در کاربری جنگل طبیعی بلوط، به دلیل فعالیت قارچ‌ها در این شرایط، وجود کلسیت سوزنی شکل توجیه می‌شود.

فرم‌های خاک‌ساز رسی

شواهد میکرومورفولوژی موجود در مقاطع نازک از جمله کوتینگ بر حفره‌های کانالی و حجره‌ای (پروفیل جنگل طبیعی) نشان‌دهنده حرکت ذرات رس در طول پروفیل به‌وسیله آبشویی بوده که در طول شکاف‌ها و کانال‌ها به افق‌های زیر سطحی انتقال پیدا کرده و آرایش یافته است (شکل ۹). در افق‌های تکامل یافته آرجیلیک (افق Bt پروفیل جنگل طبیعی) کوتینگ‌های لایه‌ای با تمایز بالا در اطراف حفره‌ها مشاهده شد. شواهد میکروسکوپی نشان داد که کوتینگ‌های رسی همراه با بی‌فابریک غالب لکه‌ای دیده می‌شوند.

سپاسگزاری

در پایان از جناب آقای دکتر عاکف استادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه گیلان به خاطر همکاری در تهیه تصاویر از مقاطع، کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

۱. عجمی، م. ۱۳۸۵. تأثیر تغییر کاربری اراضی و موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک بر پارامترهای کیفیت خاک، میکرومورفولوژی و

Archive of SID
www.SID.ir

کانی شناسی رس در اراضی لسی شرق استان گلستان، حوزه آبخیز آق‌سو. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه گرگان.

2. Arshad, M. A., A. J. Franzluebbers and R. H. Azooz. 1999. Component of surface soil structure under conventional and no-tillage in northern Canada. Soil Till Res. 53:41-47.
3. Becze- Deak, J., R. Langhor and E. P. Verrechia. 1997. Small scale secondary CaCO3 accumulations in selected section of the European loess belt. Geoderma 76: 221-252.
4. Brewer, R. and J. R. Sleeman. 1960. Soil structure and fabric: definition, classification and interpretation. J. Soil Sci. 11: 172-185.
5. Bullock, P., N. Federoff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina and U. Babel. 1985. Handbook for soil thin section Description. Wainer Research Pub., Wolverhampton, U. K.
6. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. *In*: Black, C. A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
7. Fitzpatrick, E. A. 1993. Soil Microscopy and Micromorphology. John Wiley andSons. Chichester, 304pp.
8. Forest, Rangeland and Watershed Management Organization. 1999. Detailed survey on the management of renewable resources. (In Farsi)
9. Katswario, T., J. W. Cox and H. Van Es. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical properties. Agron. J. 94: 299-304.
10. Kemp, R. A., P. S. Toms, J. M. Sayago, E. Derbyshire, M. King and L. Wagoner. 2003. Micromorphology and OSL Dating of the basal part of the loessosol sequence at La Mesada in Tucuman province, Northwest Argentina, Quarter. Intl. 106: 111-117.
11. Kemp, R. A., P. S. Toms, M. King and D. M. Krohling. 2004. The pedosedimentry evolution and chronology of Tortugas, a Late Quaternary type-site of northern Pampa, Argentina. Quarter. Intl. 114: 101-112.
12. Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. PP. 425-442. *In*: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part I, Physical Analysis. SSSA. Madison, WI.
13. Khormali, F., A. Abtahi, S. Mahmoodi and G. Stoops. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. Catena 53: 273-301.
14. Khormali, F., A. Abtahi and G. Stoops. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. Geoderma 132: 31-46.
15. Kodesova, R., V. Kodes, A. Zigova and J. Simanek. 2006. Impact of plant roots and soil organisms on micromorphology and soil hydraulic properties. Biologia, Bratislava 61(19): 339-343.
16. Kodesova, R., L. Pavlu, V. Kodes, A. Zigova and A. Nikodem. 2007. Impact of spruce forest and grass vegetation cover on soil micromorphology and soil hydraulic properties. Biologia, Bratislava 62(5): 565- 568.
17. Koiistra, M. J. 1978. Soil development in recent marine sediments of the interdal zone in the Oosterschelde, Netherlands: a soil micromorphological approach. Soil survey papers 14, Netherlands Soil Survey Institute, Wagenibgen.
18. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. *In*: Page, A. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
19. Page, M. C., D. L. Sparks, M. R. Noll and G. J. Hendricks. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 51: 1460-1465.
20. Segal, J. L. and G. Stoops. 1972. Pedogenic calcic accumulation in arid and semiarid region of the Indo-Gangetic alluvial plain of the erstwhile Punjab (India). Their morphology and origin. Geoderma 8: 59-72.
21. Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil Taxonomy. U. S. Department of Agriculture, NRCS
22. Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed., U. S. Department of Agriculture.
23. Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. SSSA. Madison, WI.
24. Treadwell-Steitz, C. and L. D. McFadden. 2000. Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravely soils, Palo Duro Wash, New Mexico. Geoderma 94: 1-22.
25. Verrecchia, E. P. and K. E. Verrecchia. 1994. Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification. J. Sediment. Res., Sect. A Sediment. Pet. Proc. 64: 650-664.
26. Wider, M. and D. H. Yaalon. 1982. Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. Geoderma 28: 203-220.
27. Wright, V. P. 1987. A micromorphological classification of fossile and recent calcic and petrocalcic microstructures. PP. 401-407. *In*: Fedoroff, N., L. M. Bresson, M. A. Courty. (Eds.), Soil Micromorphology. AFES, Paris.

www.SID.ir