

میکرومورفولوژی پوششهای کربنات کلسیم پدوژنیک در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک البرز جنوبی، تاکستان- ایران

شهرام منافی*^۱، شهلا محمودی^۲، فریدون سرمدیان^۳، احمد حیدری^۴ و رزا ماریا پوک^۵
 ۱، دانشجوی سابق دوره دکتری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
 ۲، ۳، ۴، استاد، دانشیار و استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
 ۵، استاد خاکشناسی دانشگاه Lleida اسپانیا
 (تاریخ دریافت: ۸۶/۱۰/۲۳ - تاریخ تصویب: ۸۷/۸/۱)

چکیده

در این مطالعه پوششهای کربنات ثانویه در مقاطع نازک خاکهای منطقه تاکستان مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نقشه‌های توپوگرافی و مشاهدات صحرایی اولیه، ترانسکتی متشکل از ۱۰ پروفیل خاک انتخاب گردید. این پروفیلها طبق استانداردهای USDA تشریح و نمونه‌برداری شدند. نمونه‌های دست‌خورده مورد تجزیه‌های فیزیکوشیمیای قرار گرفتند و مقاطع نازک نیز از نمونه‌های دست‌نخورده و جهت‌دار تهیه شدند. بر اساس مطالعات میکرومورفیک، فرمهای مختلف پوششهای کربنات پدوژنیک در این خاکها به گروههای زیر تقسیم گردیدند: (۱) گروه اول، پوششهای تیپیک هستند که در اثر فوق اشباع شدن محلول خاک از کربناتها و عمدتاً در قسمت زیرین ذرات اسکلتی و خاکدانه‌ها و سطوح منافذ تجمع می‌یابند. این گروه در مقاطع مورد مطالعه به سه دسته تقسیم گردیدند: الف) دسته اول پوششهای کلسایتی تک لایه‌ای، به رنگ روشن که از کلسایت مایکرایتی تشکیل شده‌اند و سرتاسر ذرات را می‌پوشانند. ب) دسته دوم پوششهای دو یا چند لایه‌ای که همانند دسته اول تمام سطوح ذرات را می‌پوشانند و دارای توالی رنگهای تیره و روشن می‌باشند. ج) دسته سوم پوششهای دو یا چند لایه‌ای که در زیر ذرات درشت، جائیکه هدایت هیدرولیکی خاک به دلیل وجود مقادیر فراوان ذرات ریز کاهش می‌یابد، تشکیل می‌شوند. (۲) گروه دوم، پندانت‌های آهکی هستند که به صورت توده‌های برجسته تا کوزه‌ای شکل شبه استالاکتیتی در قسمت زیرین ذرات درشت تشکیل شده‌اند. پندانتها لایه‌لایه بوده و دو تا پنج لایه تیره و روشن در آنها دیده می‌شود. (۳) گروه سوم، پوششهای کلسایت سوزنی شکل می‌باشند که عمدتاً در افقهای نزدیک به سطح یا قسمت فوقانی افقهای کلسیک حضور دارند و احتمالاً در اثر تجزیه مواد آلی موجود در منافذ و بر جای ماندن ترکیبات کلسیمی موجود در دیواره سلولهای گیاهی و همچنین از آهکی شدن ریشه‌های مرده گیاهان به وجود آمده‌اند و نهایتاً (۴) گروه چهارم، کلاهکهای آهکی می‌باشند که دارای مورفولوژی شبیه پندانتها بوده، ولی برخلاف آنها در قسمت فوقانی ذرات تشکیل شده‌اند. پوششهای تیپیک و پندانت‌های متشکل از توالی لایه‌های تیره و روشن، به دلیل شرایط اقلیمی متفاوت مورد نیاز جهت تشکیل آنها، احتمالاً بازگو کننده نوسانات اقلیمی می‌باشند. احتمال داده می‌شود لایه‌های روشن موجود در اینگونه عوارض که از کلسایت نسبتاً خالص تشکیل شده‌اند، در دوره‌های اقلیمی خشک رسوب یافته باشند. درحالیکه، لایه‌های تیره متشکل از کلسایت و ناخالصی‌های هموسی، در دوره‌های اقلیمی نسبتاً مرطوبتر که شرایط برای فعالیتهای بیولوژیک مساعدتر بوده است،

تشکیل شده‌اند. لذا توالی این لایه‌های تیره و روشن می‌تواند به عنوان ابزاری سودمند جهت بازشناخت تغییرات اقلیم گذشته مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم دیرین، آهک سوزنی شکل، پندانت، تاکستان، کلسایت، مایکرایت.

مقدمه

تجمعات کربنات پدوژنیک در خاکها در صورتیکه با روشهای صحیح و دقیق مطالعه و اندازه‌گیری شوند، معیارهای مطمئنی برای شناسایی خاکها به شمار می‌آیند. در اقلیم خشک و نیمه خشک شستشو و تجمع کربناتها (carbonatation) از اهم فرایندهای خاکسازی به حساب می‌آیند. بدین لحاظ، شناخت کیفیت و کمیت عوارض ناشی از اینگونه فرایندها تحقیقات زیادی را به خود اختصاص داده است (۲۷).

انواع و مقادیر مختلف کربناتهای ثانویه به تشخیص انواع مختلف خاکها به‌ویژه در اقلیم خشک و نیمه خشک کمک نموده و در اغلب سیستم‌های طبقه‌بندی (از قبیل WRB، Soil Taxonomy، سیستم روسی، استرالیایی و غیره) معیار مناسبی جهت شناسایی خاکها می‌باشد. عمق و میزان تجمع کربنات و اشکال مورفولوژیکی کربناتهای ثانویه نتیجه‌گیری درباره ژنز خاک و گاهی اوقات نتیجه‌گیری درباره مراحل تحول خاک تحت شرایط اقلیمی متفاوت گذشته را ممکن می‌سازد (۲۴).

پوششهای کربناتی ثانویه عمدتاً در خاکهای تحول یافته در اقلیم خشک و نیمه خشک (با رژیمهای رطوبتی یوستیک، اریدیک و زیریک) تجمع می‌یابند (۹، ۲۶، ۳۱). در خاکهای اقلیم مرطوب کربناتهای موجود در خاک به دلیل وجود مقادیر بالای رطوبت انحلال یافته و از سلوم خاک خارج شده و به داخل آبهای زیرزمینی شسته می‌شوند. با وجود این، تجمعات کربناتهای پدوژنیک در مناطق مرطوب نیز گزارش شده‌اند ولی این قبیل پوششها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به اعتقاد شاتزل و همکاران (۱۹۹۶) تجمعات پوششهای کربنات ثانویه در مناطق مرطوب ویژگی متداول خاکهای تحول یافته در این گونه مناطق نبوده، بلکه اغلب به دلیل شرایط خاص محلی نظیر مواد مادری مازنی در یک محیط مرطوب، تغییرات میکروتوپوگرافی و یا جریان رو به

بالای آب زیرزمینی کربنات تشکیل می‌شوند. پوستوویتوف (۲۰۰۲) نیز معتقد است که در خاکهای متشکله بر سنگ آهک یا مواد مادری غنی از کربنات، پوششهای کربنات پدوژنیک می‌توانند در اقلیم مرطوب نیز وجود داشته باشند. پوششهای کربنات ثانویه در اغلب موارد در زیر قطعات درشت واقع می‌شوند (۱۴، ۲۷، ۳۹، ۴۰). ولی استثنائاتی نیز در رابطه با مکان تشکیل آنها گزارش شده است. آموندسن و همکاران (۱۹۹۷) توجه‌شدگی پوششهای کربناتی در خاکهای باجا-کالیفرنیا را در طول گردابان بارندگی زمستانه - تابستانه مطالعه نموده و مشاهده کردند که پوششهای کربناتی در نقاطی که بارندگی غالب در زمستان رخ می‌دهد، در زیر سنگریزه‌ها تشکیل شده‌اند. ولی در نقاطی که بارندگی غالب در تابستان یا ابتدای پاییز صورت می‌گیرد، پوششها در قسمت فوقانی سنگریزه‌ها تجمع حاصل نموده‌اند. این محققان اظهار نمودند که ماهیت شیب حرارتی خاک در طول دوره‌های وقوع بارندگی عمده، ممکن است حلالیت کربنات و نتیجتاً مکان هندسی تجمع کربنات را تحت تأثیر قرار دهد. به عبارتی به دلیل رژیمهای اقلیمی بسیار خاص در نواحی با حداکثر بارندگی در فصل تابستان، پوششهای کربنات در سطوح فوقانی ذرات تشکیل می‌گردند.

ضخامت پوششهای کربناتی مشاهده شده در خاکها از یک تا چند میلی‌متر متغیر می‌باشد (۱، ۹، ۱۰، ۳۰، ۳۱، ۴۰). پوششهای کربناتی در خاکهای بیابانی پلیستوسن فوقانی-هولوسن ممکن است کمتر از ۰/۵mm ضخامت داشته باشند، در حالیکه در خاکهای بیابانی قدیمی‌تر به ضخامت ۳۰-۱۰۰mm نیز می‌رسند (۱، ۱۴، ۴۰). ضخامت پوششهای کربناتی معمولاً با افزایش اندازه ذرات و سنگریزه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین ضخامت این پوششها در روی قطعات و ذرات سنگ آهک بیشتر از سایر ذرات است (۲۶، ۳۱، ۴۰).

خودشان را به عنوان یک پدیده عام در هر زون حرارتی نشان می‌دهند، لذا دارای نشانه‌هایی هستند که آنها را به عنوان یک ابزار جهانی جهت تحقیقات محیطهای دیرین مطرح می‌سازد (۳۱). خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) در جنوب ایران پوششهای کلسایت میکرایتی را در طول کانالها و پندانههای کلسایتی را در زیر سنگریزه‌ها گزارش نموده و اظهار داشته‌اند که پیدایش پندانههای کلسایتی در پدونههای مورد مطالعه آنها می‌توانند به عنوان نشانه‌ای از تشکیل این عوارض در طول یک اقلیم گذشته با خشکی کمتر در نظر گرفته شوند. خوخلووا و همکاران (۲۰۰۱) نیز روسیه به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. با توجه به آنچه ذکر گردید، اهداف این تحقیق بررسی میکرومورفیک پوششهای کربنات پدوژنیک و مکانسیم احتمالی تشکیل آنها و همچنین امکان استاده از این عوارض جهت بازشناخت تغییرات اقلیمی در قسمتی از البرز جنوبی می‌باشند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دشت قزوین و در منطقه‌ای به مساحت ۱۲۰۰۰ هکتار انجام گرفت. ناحیه مورد مطالعه در هشت کیلومتری شمال شرقی شهر تاکستان، حدوداً در مرکز دشت قزوین، در عرض جغرافیایی $48^{\circ} 41' 09''$ تا $48^{\circ} 12' 25''$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ} 41' 08''$ تا $49^{\circ} 57' 23''$ شرقی واقع شده است. ارتفاع این ناحیه از سطح دریای آزاد بین ۱۲۳۳ تا ۱۳۸۰ متر متغیر است. از نظر فیزیوگرافی منطقه تاکستان متشکل از چهار واحد تپه‌ها، فلاتها و تراسهای فوقانی، دشتهای دامنه‌ای و اراضی پست می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی دشت قزوین از شمال به رشته کوههای البرز، از جنوب به کوههای مرکزی ایران و از شرق و غرب به دو برآمدگی از رشته کوههای البرز محدود می‌شود که یک حوضه بسته را به وجود می‌آورد که بعداً به وسیله آبرفت پر شده است. رشته کوههای البرز در شمال منطقه مورد مطالعه اساساً متشکل از سنگهای آذرین و رسوبی آهکی است که در حدفاصل بین ژوراسیک و ترشیاری فوقانی تشکیل شده‌اند.

میانگین بارندگی سالیانه و میانگین درجه حرارت سالیانه ایستگاه تاکستان به ترتیب ۳۰۶ میلی‌متر و ۱۳/۸

سرعت افزایش ضخامت پوششهای کربناتی می‌تواند به عنوان معیاری جهت تفسیر تاریخچه محیط دیرین سودمند باشد با توجه به اینکه ثابت شده است که سرعت رشد پوششهای کربناتی تابعی از سن خاک است، اگر سرعت رشد یک پوشش کربناتی تعیین شود، ضخامت پوشش می‌تواند به عنوان شاخصی از طول مدت تشکیل پوشش باشد (۱۴، ۴۰). لکن به نظر می‌رسد فاکتورهای متعددی سرعت رشد پوششهای کربنات را کنترل می‌کنند که عبارتند از: اقلیم، مقدار کربنات مواد مادری، عمق (فاصله از سطح خاک)، اندازه ذرات، وزن مخصوص ظاهری و مقدار کربنات موجود در پوششها (پوستوویتوف ۲۰۰۲). سرعت رشد پوششهای کربناته در اقلیم غیر خشک بیشتر از اقلیم خشک است. در این مورد نقش درجه حرارت خیلی مشهود نیست ولی اقلیم گرمتر جهت تشکیل این قبیل پوششها مساعدتر می‌باشند. میزان سرعت رشد پوششها در خاکهای متشکله بر روی مواد مادری غنی از کربناتها بالاتر است. همچنین ضخامت پوششهای کربنات پدوژنیک به اندازه ذراتی که روی آنها تشکیل می‌شوند، بستگی دارد و هرچه ذرات بزرگتر باشند، سرعت رشد این پوششها نیز بیشتر می‌باشد (۴۰، ۳۱).

کورتی و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعه‌ای راجع به ژن و اهمیت محیطی پندانههای کلسایتی دریافتند که پوششهای کربناته و پندانهها لایه‌لایه و از لایه‌های متعددی با رنگهای تیره و روشن تشکیل شده‌اند. بیشتر پوششهای روشن شفاف و مایکرولامینیتد (ریز لایه‌دار) محتوی کربناتهای مایکرو اسپارایتی نسبتاً خالص‌اند، در حالیکه انواع تیره رنگ از مایکرایت تشکیل شده و دارای مقادیر فراوانی ذرات تخریبی و مقادیر جزئی هیفهای قارچی بوده‌اند.

تحقیقات انجام گرفته روی پوششهای کربنات پدوژنیک واقع در زیر قطعات درشت نشان می‌دهند که این قبیل پوششها قابلیت ثبت و نگهداری پیشینه محیطهای قدیمی را دارا می‌باشند. مطالعات متعددی از قبیل چادویک و همکاران (۱۹۸۹)، کورتی و همکاران (۱۹۹۴) و پوستوویتوف (۲۰۰۲) قابلیت پوششهای کربناتی را به عنوان ابزاری جهت مطالعات اقلیم و محیطهای دیرین مورد تأکید قرار داده‌اند. از آنجائیکه کوتانه‌های کربنات پدوژنیک

کلسیم و منیزیم محلول خاک در عصاره اشباع خاک و به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند. سدیم و پتاسیم محلول خاکها در عصاره اشباع خاک و با استفاده از دستگاه فلیم-فتومتر تعیین گردیدند. آنیونهای کربنات و بیکربنات در عصاره اشباع خاک به روش تیتراسیون با اسید سولفوریک و آنیون کلر نیز در عصاره اشباع خاک به روش تیتراسیون با نترات نقره اندازه‌گیری گردیدند (۲۲، ۴۱). جهت آماده‌سازی نمونه‌های دست‌نخورده برای مطالعات میکرومورفولوژیک، پس از خشکانیدن نمونه‌ها در آزمایشگاه، نمونه‌ها با مخلوط استون و رزین پلی‌استر کریستیک با نسبت ۶۰ به ۴۰ به اضافه چهار قطره سخت کننده اکتوات کبالت و هشت قطره کاتالیست و اعمال مکش ناشی از پمپ خلأ در دستگاه دسیکاتور خلأ تلقیح گردیده (۴، ۲۹) و در دمای آزمایشگاه سخت گردیدند. کاهش حجم استون و رزین پلی‌استر با افزایش مجدد آن جبران گردید. پس از سخت شدن نمونه‌ها که حدوداً سه ماه به طول انجامید، نمونه‌ها را توسط دستگاه برش از وسط بریده و در صورت مشاهده اشباع ناقص مجدداً روی سطح نمونه مورد نظر را با رزین تلقیح کردیم و بعد از خشک شدن، با دستگاه سایش سطح نمونه‌ها را کاملاً صاف و صیقلی می‌کنیم. سپس سطوح صاف شده را روی لام‌های شیشه‌ای کاملاً تمیز با ابعاد $۱۲ \times ۵ \times ۰/۲$ سانتی‌متر که قبلاً جهت سطح تماس بیشتر مات شده‌اند، می‌چسبانیم. بعد از چسباندن نمونه روی لام، آن را بوسیله دستگاه برش به صورت صفحاتی با ضخامت حدود یک میلی‌متر بریده و نمونه چسبیده شده به شیشه را به کمک دستگاه سایش و پودرهای کاربراندرم با درجات متفاوت (۱۰۰۰-۶۰۰)، ضخامت نمونه‌ها را به حدود ۳۰-۲۵ میکرون می‌رسانیم. مقاطع نازک پس از آماده شدن با استفاده از میکروسکوپ پولاریزان Olympus در دو حالت نور پولاریزه ساده (PPL) و نور پولاریزه متقاطع (XPL) مورد مطالعه قرار گرفته و بر اساس اصول و واژگان استوپس (۲۰۰۳) و بولاک و همکاران (۱۹۸۵) تشریح و تفسیر شدند و نهایتاً از عوارض مورد نظر عکسبرداری شد (۴، ۲۹). تهیه مقاطع نازک و همچنین مطالعات میکروسکوپی در آزمایشگاه میکرومورفولوژی دانشگاه ییدا (لیدیا) اسپانیا انجام گرفت.

درجه سانتیگراد و در ایستگاه بوئین زهرا به ترتیب ۲۳۸ میلی‌متر و ۱۸/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. براساس نقشه رژیمهای رطوبتی و حرارتی ایران (بنائی ۱۹۹۸) و همچنین داده‌های هواشناسی ۵۱ ساله (۲۰۰۳-۱۹۵۲) (سازمان هواشناسی کشور)، رژیمهای رطوبتی و حرارتی بخشهای فوقانی ناحیه مورد نظر به ترتیب Dry Xeric و Mesic و در بخشهای پایینی به ترتیب Weak Aridic و Thermic می‌باشد.

ترانسکت خاک و مطالعات صحرائی

بر اساس نقشه‌های توپوگرافی و مشاهدات صحرائی اولیه، ترانسکتی متشکل از ۱۰ پروفیل خاک که در برگیرنده تغییرات فیزیوگرافی، کاربری اراضی و مواد مادری در ناحیه تاکستان می‌باشد، انتخاب گردید. موقعیت پروفیلها در واحدهای مختلف فیزیوگرافی بدین شرح می‌باشد: پروفیل شماره ۱ در واحد تپه، پروفیلهای شماره ۲، ۳ و ۴ در واحد فلات و پروفیلهای شماره ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ در واحد دشتهای دامنه‌ای. این پروفیلها طبق استانداردهای USDA تشریح و طبق روشهای استاندارد (موسسه خاکشناسی امریکا ۲۰۰۳) نمونه‌برداری شدند.

تجزیه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکرومورفولوژیکی

ابتدا تمام نمونه‌ها هوا خشک و کوبیده شده و جهت حذف ذرات درشت‌تر از ۲mm، الک شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (دای ۱۹۶۵، ASTM, ۱۹۸۵d) تعیین گردید. در پروفیلهای ۲، ۵ و ۷، به منظور جلوگیری از فلوکوله شدن ناشی از حضور گچ، ابتدا گچ موجود در نمونه‌ها از طریق انحلال حذف گردید. کربن آلی به روش ولکلی بلاک اندازه‌گیری شد. کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری تعیین گردید. گچ خاک با استفاده از ترسیب به-وسیله استون، هدایت الکتریکی خاک (EC) در عصاره اشباع خاک و با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاکها (CEC) با استفاده از استات آمونیوم ($\text{NH}_4 \text{OAC}$) در $\text{pH}=۸/۲$ (چاپمن ۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. pH خاکها در عصاره اشباع و درصد اشباع آب خاک (%SP) در گل اشباع خاک تعیین شد. درصد رطوبت وزنی خاک (%W/W) نیز در خاک هوا خشک و خاک خشک شده در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

نتایج

در این مطالعه ترانسکتی متشکل از ۱۰ پروفیل خاک مورد مطالعه قرار گرفت که برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها در جدول ۱ و خصوصیات میکرومورفولوژیکی و همچنین عوارض کربناتی مشاهده شده در مطالعات صحرایی تعدادی از آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. در حالت کلی رنگ خاکهای مورد مطالعه در حالت خشک تغییرات کمی دارد که از قهوه‌ای متمایل به زرد روشن (7.5YR5.5/6) تا قهوه‌ای شدید متغیر است. طبق گزارشات موسسه خاکشناسی آمریکا (۱۹۹۳)، کربن آلی خاک و اکسیدهای آهن و منگنز نقش مهمی در تعیین رنگ خاک ایفا می‌کنند. بعلاوه تمام خاکهای مورد مطالعه آهکی هستند. حضور مقادیر زیاد کربنات (جدول ۱) می‌تواند رنگ خاک را تحت تأثیر قرار دهد و تغییرات رنگ خاک را محدود نماید. لذا تغییرات موجود در رنگ خاکهای مورد مطالعه ناشی از تغییرات مقادیر کربن آلی و میزان کربناتهای خاک می‌باشد. نتایج دالگرن و همکاران (۱۹۹۷)، فلورا و ال‌جوما (۱۹۹۸) و منافی و محمودی (۲۰۰۶a) نیز چنین روندی را نشان می‌دهد.

خاکهای منطقه مورد مطالعه دارای ساختمان مکعبی زاویه‌دار متوسط تا ریز با درجه وضوح ضعیف تا متوسط و همچنین دارای ساختمان توده‌ای و تکدانه‌ای می‌باشند (جدول ۱). تنها افقهای Ap دارای ساختمان کروی (گرانولار) هستند که می‌تواند به مقادیر بیشتر کربن آلی موجود در افقهای Ap در مقایسه با افقهای B یا C نسبت داده شود. عموماً اکثر خاکها بافت متوسط تا ریز (جدول ۱) دارند، بجز افقهای C که متشکل از مواد شنی می‌باشند. مقادیر pH خاکهای مورد مطالعه از ۷/۰۹ تا ۸/۱۲ متغیر است (جدول ۱). با توجه به مقادیر نسبتاً زیاد کربنات کلسیم در این خاکها، به نظر می‌رسد که واکنش خاکهای مورد مطالعه توسط کربنات کلسیم کنترل می‌شود و قدرت بافری حاصل از حضور مقادیر بالای کربنات کلسیم تغییرات واکنش خاکها را محدود می‌کند. نتایج فوق با گزارشات وست و همکاران (۱۹۹۸a و ۱۹۹۸b)، دالگرن و همکاران (۱۹۹۷)، فلورا و ال‌جوما (۱۹۹۸)، موسسه خاکشناسی

امریکا (۲۰۰۳) و منافی و محمودی (۲۰۰۶a) همخوانی دارد.

تمام خاکها غیر شور هستند ($EC < 4 dsm^{-1}$)، بجز افقهای Ap و Bw پروفیل ۱۰ و افقهای 2Bkyb، 2Bckb1 و 2Bckb2 پروفیل ۷ (جدول ۱). مقادیر بالای EC در افقهای Ap و Bw پروفیل ۱۰ (به ترتیب ۷/۱ و $6/11 dsm^{-1}$) طبق اطلاعات محلی (مصاحبه با کشاورزان) ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و احتمالاً آبیاری با آبهای نامناسب است که منجر به تجمع املاح در افقهای فوقانی و بروز شوری ثانوی گردیده است. هدایت الکتریکی خاکها عموماً با افزایش عمق کاهش می‌یابد. مقادیر کربن آلی خاکها نسبتاً پایین است و از ۰/۱۲ تا ۱/۲۴٪ متغیر است که با عمق کاهش می‌یابد. روند کاهش کربن آلی خاک در بیشتر پروفیلها نامنظم بوده و می‌تواند به رویدادهای رسوبگذاری متوالی نسبت داده شود که منجر به بروز ویژگیهای Fluventic در خاکها می‌گردد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاکها نسبتاً کم است و از ۴/۳ تا $29/2 cmolkg^{-1}$ تغییر می‌کند (جدول ۱). در حالت کلی ظرفیت تبادل کاتیونی خاکها متأثر از کانیهای رسی (نوع و مقدار) و کربن آلی خاک است و تغییرات این دو جزء مقادیر کربن آلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین تغییرات CEC در خاکهای مورد مطالعه اخیر می‌تواند به تغییرات در نوع و مقدار رس و تغییرات مقادیر مواد آلی خاک نسبت داده شود.

در بررسی‌های صحرایی، فرمهای ماکرومورفیک تجمعات کربنات کلسیم ثانوی در تمامی پروفیلها به غیر از پروفیل شماره ۱ شناسایی گردیدند. بر اساس مشاهدات میکرومورفیک (جدول ۲)، الگوی توزیع ذرات درشت نسبت به ذرات ریز در بیشتر خاکهای مورد مطالعه به جز افقهای C پورفیریک می‌باشد. c/f افقهای C در خاکهای مختلف کیتونیک (chitonic)، گفوریک (gefuric)، انولیک (enaolic)، کیتو-گفوریک (chito-grfuric) و یا ترکیبی از دو یا تعداد بیشتری از اینها می‌باشد. ریز ساختمان متداول در افقهای A گرانولار و تا حدی مکعبی زاویه‌دار می‌باشد. در حالیکه در افقهای زیرین و همچنین در افقهای مدفون

افقهای مدفون می‌باشند. در مطالعات میکروسکوپی تجمعات کربنات کلسیم ثانوی در مقاطع نازک تهیه شده از تمام پروفیلها به جز پروفیل ۱ که واحد اراضی تپه واقع شده است، مشاهده شدند. فرمهای میکرومورفیک کربنات کلسیم ثانوی در مقاطع نازک مطالعه شده عبارتند از: نودولها (nodules)، پرشدگی‌ها (infillings) و انواع پوششهای کربناته (coatings)، که در این تحقیق فقط انواع پوششهای کربناته مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مکعبی زاویه‌دار است. به دلیل حضور مقدار زیادی کلسایت مایکرایتی در توده ریز (ground mass) این خاکها، بی-فابریک خاکهای مورد مطالعه عمدتاً کریستالیتیک است ولی در نواحی تخلیه کلسایت که آهک از توده ریز خاکها و احتمالاً در ارتباط با اقلیم مرطوبتر گذشته خارج شده است، بی-فابریکهای گرانواستریتد (granostriated) و مونواستریتد (monostriated) حضور دارند. عوارض تخلیه کلسایت از جمله عوارض پدولوژیکی عمده در اعماق پایین و

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاکهای مورد مطالعه

Horizon	Depth (cm)	Color		Structure*	Particle size distribution (%)			pH	EC** (dsm ⁻¹)	CEC** (cmolckg ⁻¹)	OC** (%)	CCE** (%)	Gypsum (%)
		Dry	Moist		Sand	Silt	Clay						
P2: Typic Calcixerepts													
Ap	0-10	10YR6/4	10YR4/4	flgr	42.8	30	27.2	7.7	0.44	18.62	0.22	12.33	-
Bw	10-30	7.5YR5.5/6	7.5YR4.5/4	m2abk	35.8	27	37.2	7.34	0.36	20.57	0.66	17.03	-
Bk	30-89	7.5YR6/4	7.5YR5/4	m2abk	39.8	23	37.2	7.06	0.62	16.45	1.68	32.12	-
2Bkb1	89-130	10YR6/4	10YR4/4	m1abk	11.8	31	57.2	7.63	0.35	19.27	0.54	31.23	-
3Bkb2	130-180	10YR6/4	10YR5/6	m1abk	36.8	28	35.2	7.76	1.05	19.92	0.32	19.5	-
3Bkyb	180-200	10YR6/4	10YR5/6	m1abk	17.2	40	42.8	7.7	2.04	15.15	0.22	15.84	9.96
4Bkb	200-220	10YR6/4	10YR4/4	m1abk	36	22	42	7.3	2.13	21.87	0.15	13.22	-
P3: Fluventic Haploxerepts													
Ap	0-10	10YR6/4	10YR4/4	m1gr	38.7	38	23.3	7.66	0.58	16.66	0.29	4.86	-
Bw	10-30	10YR6/4	10YR4/4	m2sbk	40.9	29.9	29.2	7.48	0.5	15.36	1.05	2.99	-
Bk1	30-60	10YR6/4	10YR4/4	m2abk	46.8	21	32.2	7.31	0.25	15.14	0.71	11.24	-
Bk2	60-86	7.5YR5/6	7.5YR4/4	m1abk	44.8	14	41.2	7.09	0.37	16.88	0.51	12.55	-
Bk3	86-110	10YR6/4	10YR5/6	m1abk	42.8	16	41.2	7.54	0.46	19.05	0.46	13.9	-
2Bkb	110-156	10YR6.5/4	10YR5/6	m1abk	70.8	10	19.2	7.39	0.48	11.24	0.34	7.73	-
2Cb	156-175	10YR6.5/4	10YR5/6	m1abk	83.6	6.4	10	7.75	0.42	8.42	0.32	4.86	-
3Bkb	175-210	10YR6/4	10YR4/4	m1abk	53.6	24.4	22	7.46	0.49	11.89	0.2	21.29	-
P4: Typic Calcixerepts													
Ap	0-17	10YR5/4	10YR4/4	flgr clsbk	34.8	29	36.2	7.58	0.51	20.14	0.2	0	-
Bw	17-36	7.5YR5/6	7.5YR4/4	clsbk c2abk	46.8	16	37.2	7.5	0.51	17.1	0.85	4.78	-
Bk	36-89	10YR6/4	10YR5/6	m2abk	50.8	12	37.2	7.66	0.39	18.18	0.56	11.43	-
2Bkb1	89-120	7.5YR6/4	7.5YR5/6	m2abk	31.8	15	53.2	7.6	0.4	17.45	0.49	34.74	-
2Bkb2	120-160	7.5YR5/4	7.5YR4/4	m2abk	42.8	18	39.2	7.69	0.45	14.28	0.37	32.65	-
2Bkb3	160-200	10YR7/4	10YR5/6	m2abk	26.8	26	47.2	7.71	0.64	14.93	0.27	41.84	-
P6: Typic Calcixerepts													
Ap	0-30	7.5YR5/4	7.5YR4/4	flgr	43.4	27	29.6	7.61	0.04	16.88	0.29	2.76	-
2Bk	30-67	7.5YR5.5/4	7.5YR4.5/4	m2abk	19	39	42	7.77	0.49	18.4	0.63	16.4	-
3C	67-111	7.5YR5.5/6	7.5YR5/4	sg	75.8	5	19.2	7.44	0.92	9.72	0.51	9.82	-
4Bkb	111-143	10YR7/4	10YR5/6	m2abk	34.8	20	45.2	7.2	1.6	14.06	0.39	31.6	-
5Cb1	143-180	7.5YR5/6	7.5YR4.5/4	sg	82.8	3	14	7.63	1.1	7.12	0.37	5.49	-
5Cb2	180-190	7.5YR5/6	7.5YR4.5/4	sg	81.8	3	15.2	7.7	1.08	8.64	0.17	1.49	-
6Bkb1	190-200	7.5YR4/4	7.5YR4/4	m1abk	44.8	22	33.2	7.41	1.23	11.46	0.12	17.8	-
6Bkb2	200-240	7.5YR4/4	7.5YR4/4	m1abk	22.8	33	44.2	7.34	1.27	16.01	0.2	19.13	-
6BCb	240-280	7.5YR4/4	7.5YR4/4	flabk	30.8	32	37.2	7.44	0.97	14.28	0.24	12.4	-

ادامه جدول ۱

Horizon	Depth (cm)	Color		Structure	Particle size distribution (%)			pH	EC (dsm ⁻¹)	CEC (cmolckg ⁻¹)	OC (%)	CCE (%)	Gypsum (%)
		Dry	Moist		Sand	Silt	Clay						
P9: Xeric Haplocalcids													
Ap	0-20	10YR6/4	10YR4/4	m2gr	22	26	52	7.64	0.93	19.7	1.24	14.42	-
Bw	20-45	10YR7/4	10YR5/6	m1sbk	28	12	50	7.87	2.18	16.88	0.78	14.57	-
Bk	45-67	10YR6/4	10YR5/6	m2abk	25	37	38	7.78	0.84	12.11	0.56	18.9	-
2C1	67-100	10YR5/6	10YR5/6	sg	84	4	12	7.82	0.7	5.6	0.37	12.4	-
2C2	100-150	10YR6/4	10YR5/6	sg	94	3	3	7.61	0.53	4.3	0.17	8.22	-
3Bkb1	150-170	10YR7/4	10YR5/6	m1abk	16	44	40	7.14	0.95	14.71	0.39	24.65	-
3Bkb2	170-200	10YR7/4	10YR5/6	m1abk	11	37	52	7.8	0.87	17.31	0.22	17.03	-
3BCb	200-230	10YR6/4	10YR5/6	flabk	9	37	54	7.2	0.8	18.62	0.46	24.95	-
P10: Xeric Haplocambids													
Ap	0-20	10YR6/4	10YR4.5/4	flgr c2abk	58	20	22	8.12	7.21	9.72	0.68	12.03	-
Bw	20-80	10YR6/4	10YR4/4	m2abk	47	21	32	7.35	6.11	11.02	0.41	10.46	-
2Bk	80-100	10YR7/4	10YR4/4	m2abk	18	38	44	7.35	2.58	15.36	0.32	25.7	-
3Bwb	100-140	10YR6/4	10YR4/4	m2abk	27	29	44	7.32	2.07	13.19	0.32	23.68	-
3Bkb	140-180	10YR6/4	10YR5/4	c2abk	34	15	51	7.46	1.46	13.63	0.22	19.27	-
4Bwb	180-230	10YR6/4	10YR5/6	m2abk	44	12	44	7.36	1.62	16.45	0.27	12.33	-
4Bkb	230-250	10YR5/4	10YR4/4	abk	48	13	39	7.61	1.72	13.19	0.45	11.34	-

*علایم اختصاری این جدول از کارکنان مساحی خاک (۲۰۰۳) اقتباس شده‌اند.

** pH: soil reaction, EC: Electrical conductivity, CEC: Cation exchange capacity, OC: Organic carbone, CCE: Calcium carbonate equivalent.

جدول ۲- برخی خصوصیات میکرومورفیک خاکها و مورفولوژی کربنات کلسیم پدوژنیک در خاکهای مورد مطالعه

افق	عمق (cm)	c/f ratio	R.d. Pattern	Microstructure	b. fabric	عوارض کربناتی			
						میکرومورفولوژی		ماکرومورفولوژی	
						فرمهای میکرومورفیک	فراوانی (%)	فرمهای ماکرومورفیک	فراوانی (%)
P2: Typic Calcixerepts									
Ap	0-10	30:70	Po	m.s.Gr, Vu	Ss	C (Pe, Ca) N (Ty)	<1 <1	-	-
Bw	10-30	30:70	Po	Vu	Ss	N (Ty, Ge)	5	-	-
Bk	30-89	20:80	Po	m.s.abk, Vu	Cr, Ss	N (Ty, Nu) Inf (Df) C (Pe) NFC	5 <1 3 2	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	7
2Bkb1	89-130	10:90	Po	m.s.abk, w.s.abk, Chn	Cr, Ss	N (Ty, Ge, Nu) Inf (Di) C (Pe, Ca)	10 <1 1	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	15
3Bkb2	130-180	5:95	Po	h.s.abk, m.s.abk	Cr, Ss	N (Ty) Inf C (Pe, Ty)	5 5 1	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	15
3Byb	180-200	5:95	Po	m.s.abk, h.s.abk	Cr, Ss	N (Ty)	2	-	-
4Bkb	200-220	10:90	Po	m.s.abk	Mos, Cr, Gs	N (Ty, Ge) Inf (Di) C (Ty)	6 <1 10	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	10

ادامه جدول ۲

افق	عمق (cm)	c/f ratio	R.d. Pattern	Microstructure	b. fabric	عوارض کربناتی			
						میکرومورفولوژی		ماکرومورفولوژی	
						فرمهای میکرومورفیک	فراوانی (%)	فرمهای ماکرومورفیک	فراوانی (%)
P3: Fluventic Haploxerepts									
Ap	0-10	10:90	Po	w.s.Gr, m.s.Gr	Mos	-	-	-	-
Bw	10-30	30:70	Po	m.s.Gr, m.s.abk, Ve	Mos, Gs	Nfc	5	-	-
Bk3	86-110	40:60	Po	w.s.abk, m.s.abk, Vu	Mos, Gs	C (Ty, Pe, Ca) N (Ty)	3 3	توده‌های پودری نرم	5
2Bkb	110-156	95:5	Ch-Ge	Ch-Ge	Mos, Gs	C (Pe, Ca) N (Ty, Nu) Inf (Di)	3 5 1	توده‌های پودری نرم	5
3Bkb	175-210	40:60	Po	Vu	Ss	C (Pe) N (Ty) Inf (Di)	2 1 1	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	5
P4: Typic Calcixerepts									
Ap	0-17	30:70	Po	m.s.Gr, Vu	Mos, Gs, Pos	-	-	-	-
Bw	17-36	25:75	Po	Vu	Gs, Pos	-	-	-	-
Bk	36-89	25:75	Po	Chn, Vu	Ss, Cr	N (Ty, Nu, Ge) Inf (Df) C (Pe, Ty, Ca)	5 <1 3	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	7
2Bkb1	89-120	40:60	Po	h.s.abk	Cr, Mos, Gs, Pos	N (Ty) C (Pe, Ca)	7 2	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	30
2Bkb2	126-160	80:20	Po	m.s.abk, w.s.abk, Vu, Ve	Cr, Mos, Gs, Pos	N (Ty) Inf C (Pe, Ca)	10 5 5	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	30
2Bkb3	160-200	25:75	Ch, Ch-Ge	w.s.abk m.s.abk, Vu	Cr, Mos, Gs	N (Ty)	15	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	30
P6: Typic Calcixerepts									
Ap	0-30	25:75	Po	h.s. Gr	Mos, Gs	C (Pe, Ca)		-	-
2Bk	30-67	30:70	Po	m.s.abk, w.s.abk, Ve	Cr, Mos, Gs	C (Ca) N (Ty) Inf	1 10 2	توده‌های پودری نرم	10
3C	67-111	90:10	Ch, Ch-Ge, En	Ch, Ch-Ge, En	Gs, Mos	C (Pe, Ca) N (Ty)	10 5	-	-
4Bkb	111-143	40:60	Po	m.s.abk	Cr, Gs	C (Pe,) N (Ty)	4 5	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	20
5Cb1	143-180	65:35	Po, Ch, Ch-Ge	Vu, w.s.abk, Ch-Ge	Cr, Gs	C (Pe, Ty) N (Ty, Nu)	2 3	-	-
6Bkb1	190-200	70:30	Po, Mo	h.s.abk, w.s.abk, Vu, Ve	Cr, Gs	C (Pe, Ca) N (Ty, Nu)	2 3	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	10
6Bkb2	200-240	30:70	Po	m.s.abk, Vu	Cr, Gs, Mos	C (Pe, Ty, Ca) N (Ty)	3 3	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	5
6BCb	240-280	35:65	Po	m.s.abk, w.s.abk, Vu, Fi	Cr, Gs	C (Pe, Ty,) N (Ty) Inf	1 1 2	-	-

ادامه جدول ۲

افق	عمق (cm)	c/f ratio	R.d. Pattern	Microstructure	b. fabric	عوارض کربناتی			
						میکرومورفولوژی		ماکرومورفولوژی	
						فرمهای میکرومورفیک	فراوانی (%)	فرمهای ماکرومورفیک	فراوانی (%)
P9: Typic Haplocalcids									
Ap	0-20	15:85	Po	Sp, Vu, m.s.abk	Cr	C (Ty, Pe)	2	-	-
Bw	20-45	30:70	Po	m.s.abk, Vu	Cr, Gs	C (Pe, Ty, Ca) N (Ty)	2 1	-	-
Bk	45-67	40:60	Po	w.s.abk, Vu	Cr, Mos, Gs	C (Pe, Ca, Ty) N (Ty)	7 7	توده‌های پودری نرم	15
2C1	67-100	98:2	Mo, Ch-Ge	Sg	Gs	C (Pe, Ca, Ty)	10	-	-
2C2	100-150	90:10	Ch-Ge	Sg	Cr	C (Pe, Ca, Ty)	7	-	-
3Bkb1	150-170	50:50	Po	m.s.abk, Vu	Un	N (Ty)	2	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	10
3Bkb2	170-200	20:80	Po	m.s.abk, Vu, Fi	Ss, Cr	C (Ty) N (Ty)	2 2	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	10
3BCb	200-230	50:95	Po	m.s.abk, Ve	Un	-	-	-	-
P10: Typic Haplocalcids									
Bw	20-80	40:60	Po	Vu, w.s.abk	Cr, Gs	C (Ty, Ca) N.F.C	5 1	-	-
2Bk	80-100	20:80	Po	m.s.abk, Vu	Cr	N (Ty)	5	توده‌های پودری نرم	7
3Bwb	100-140	40:60	Po	Vu, m.s.abk	Cr, Gs	N (Ty)	2	-	-
3Bkb	140-180	20:80	Po	m.s.abk, Fi	Cr, Mos, Gs	N (Ty)	2	توده‌های پودری نرم	5
4Bwb	180-230	25:75	Po	h.s.abk, m.s.abk, Fi	Cr, Gs	N (Ty) C (Ca)	<1 <1	-	-
4Bkb	230-250	80:20	Ch-Ge, Po	h.s.abk, Ch-Ge	Mos	N (Ty)	2	توده‌های پودری نرم	5

* علایم اختصاری این جدول از بولاک و همکاران ۱۹۸۵ اقتباس شده‌اند که شرح آنها در جدول ۳ ارائه گردیده‌اند.

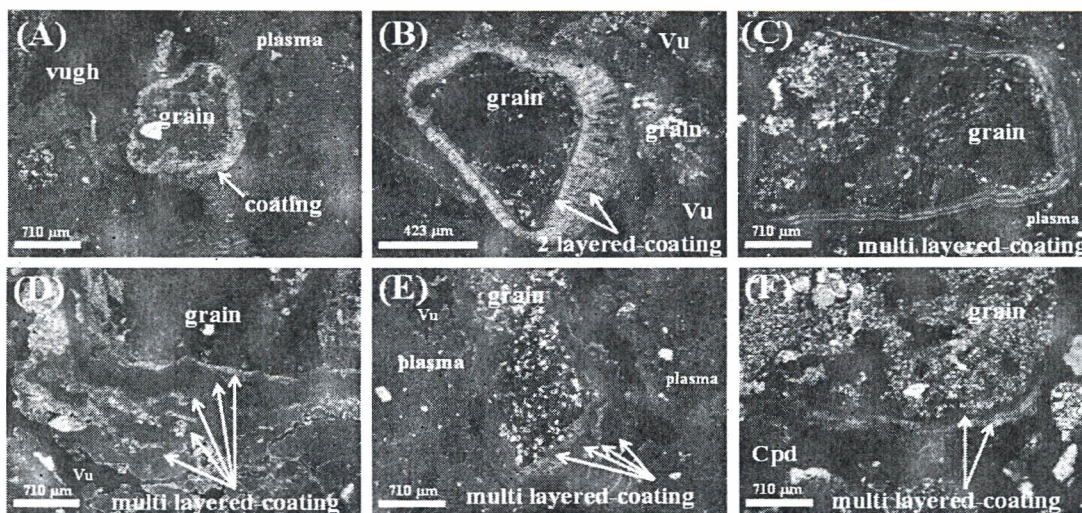
جدول ۳- شرح علایم اختصاری به کار رفته در جدول ۱، اقتباس از بولاک و همکاران (۱۹۸۵)

R.d pattern	Po: porphyric, En: enaulic, Ch: chitonic, Mo: monic, Ge: gefuric, Ch-Ge: chito-gefuric
Microstructure	m.s.gr: moderately separated granular, m.s.abk: moderately separated angular blocky, w.s.abk: weakly separated angular blocky, h.s.abk: highly separated angular blocky, w.s.gr: weakly separated granular, Vu: vughy, Fi: fissure, Ch-Ge: chito-gefuric
b. fabric	Ss: Stipple speckled, Gs: Granostriated, Pos: Porostriated, Mos: Monostriated, Cr: Crystallitic, Un: Undifferentiated
Pedofeature	C: Coatings, Inf: Infillings, N: Nodules, Pe: Pendant, Ca: Capping, NFC: Needle fiber calcite, Ty: Typic, Ge: Geodic, Nu: Nucleic, Di: Dense incomplete

مورد بررسی قرار می‌گیرند که عبارتند از: پوشش‌های تیپیک (Typic coatings)، پندانتها (Pendants)، پوشش‌های کلسایت سوزنی شکل (Neddle fiber calcite) و کلاهکهای آهکی (Cappings).

بحث

همانطور که در جدول ۲ آمده است، انواع مختلفی از عوارض ثانوی کربناته در پروفیل‌های مورد مطالعه شناسایی شدند که از بین آنها فرمهای مختلف پوششهای کربناتی



شکل ۱- انواع پوششهای تیپیک کربنات کلسیم پدوژتیک در خاکهای مورد مطالعه: ۱A: پوشش تیپیک تک لایه‌ای پیرامون یک ذره اسکلتی، افق 5Cb1 پروفیل ۶ (۱۴۳-۱۸۰ cm)، ۱B: پوشش تیپیک دو لایه‌ای پیرامون یک ذره اسکلتی، افق 3Bkb1 پروفیل ۹ (۱۵۰-۱۷۰ cm)، ۱C: پوشش تیپیک چند لایه‌ای پیرامون یک ذره اسکلتی، افق 6Bb2 پروفیل ۶ (۲۰۰-۲۴۰ cm)، ۱D: پوشش تیپیک چند لایه‌ای زیر ذره اسکلتی، افق Bk پروفیل ۲ (۳۰-۸۹ cm)، ۱E: پوشش تیپیک چند لایه‌ای زیر ذره اسکلتی، افق 2Bkb1 پروفیل ۲ (۸۹-۱۳۰ cm) و ۱F: پوشش تیپیک چند لایه‌ای زیر ذره اسکلتی، افق 2C1 پروفیل ۹ (۶۷-۱۰۰ cm). نور مورد استفاده نور پولاریزه متقاطع (XPL) می‌باشد.
Vu: Vugh, Cpd: Compound packing void.

پوششهای تیپیک (Typic Coatings of Calcite)

پوششهای کربنات کلسیم از متداولترین عوارض پدولوژیکی گزارش شده در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک هستند و بصورت عوارض ناشی از غلیظ شدن پلاسما بر روی سطوح ذرات اسکلتی، خاکدانه‌ها و همچنین دیواره‌های منافذ تشکیل می‌شوند. در واقع این مکانها نقاطی هستند که بیشترین تجمع و تبلور مواد پلاسما در آنجا صورت می‌گیرد.

پوششهای تیپیک در مقاطع نازک تمام پروفیل‌های مورد بررسی مشاهده شدند. این پوششها در سطح ذرات اسکلتی بیشترین ضخامت را داشته و ضخامت آنها در خاکهای مختلف به ۵-۵۰۰ μm می‌رسد و با افزایش عمق به صورت نامنظم افزایش می‌یابند. این پوششها در پروفیل‌های واقع در واحد فلات با رژیم رطوبتی زیریک بیشترین فراوانی را دارند و با تغییر تیپ اراضی از فلات به دشتهای دامنه‌ای و رژیم رطوبتی از زیریک به اریدیک از فراوانی آنها کاسته می‌شود. مطالعات خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) در خاکهای جنوب ایران نیز چنین روندی را نشان می‌دهد. طبق مشاهدات میکرومورفیک، پوششهای کربناتی روی سطوح زیرین ذرات

اسکلتی به سه دسته تقسیم شدند. دسته اول به صورت پوسته نازکی تمام سطوح ذرات را احاطه می‌کنند (شکل ۱A). این پوششها تک‌لایه‌ای و به رنگ روشن بوده و متشکل از کلسایت مایکرایتی می‌باشند. بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) این پوششها را حواشی کربناته (Calcium carbonate rinds) نامیده‌اند. آنان به نقل از کاهل (۱۹۷۷) احتمال داده‌اند که این پوششها تحت فرایندهایی نظیر انحلال و افزایش ابعاد بلورهای کربناته (sparmicritization) بوجود آمده‌اند. از طرفی احتمالاً این دسته از پوششها در اثر خشک شدن سریع به وجود آمده‌اند. زیرا طبق اظهارات چادویک و همکاران (۱۹۸۹)، خشک شدن سریع خاک تنها اجازه رشد کریستال در دوره‌های کوتاه را می‌دهد که حاصل آن نسبتهای کوچک طول به عرض و آرایش فشرده کریستالهای هم‌بعد مایکرایت می‌باشد. طبق گزارشات پوستوویتوف (۲۰۰۲) پوششهای کربناتی به رنگ روشن، از کربنات کلسیم نسبتاً خالص به وجود آمده‌اند و می‌توانند بیانگر دوره‌های خشکی در منطقه باشند که برای فعالیتهای بیولوژیکی چندان مساعد نبوده‌اند. در این مطالعه نیز به نظر می‌رسد پوششهای مذکور که

غالباً متشکل از کربنات کلسیم خالص می‌باشند و طی یک دوره خشکی در منطقه به وجود آمده باشند و در مقایسه با سایر انواع پوشش‌های موجود، نسبتاً جدیدتر بوده و منعکس کننده اقلیم خشک و نیمه خشک فعلی می‌باشند. حواشی کربنات‌ه توسط منافی و محمودی (۲۰۰۶b) نیز در خاک‌های ارومیه گزارش شده است. دسته دوم پوشش‌های تیپیک کربنات کلسیم بصورت پوسته‌های دو یا چند لایه‌ای می‌باشند. این گروه نیز همانند دسته اول تمام سطح ذرات را احاطه می‌کنند و از کلسایت میکرواسپارایتی تشکیل شده‌اند (شکل ۱B,C).

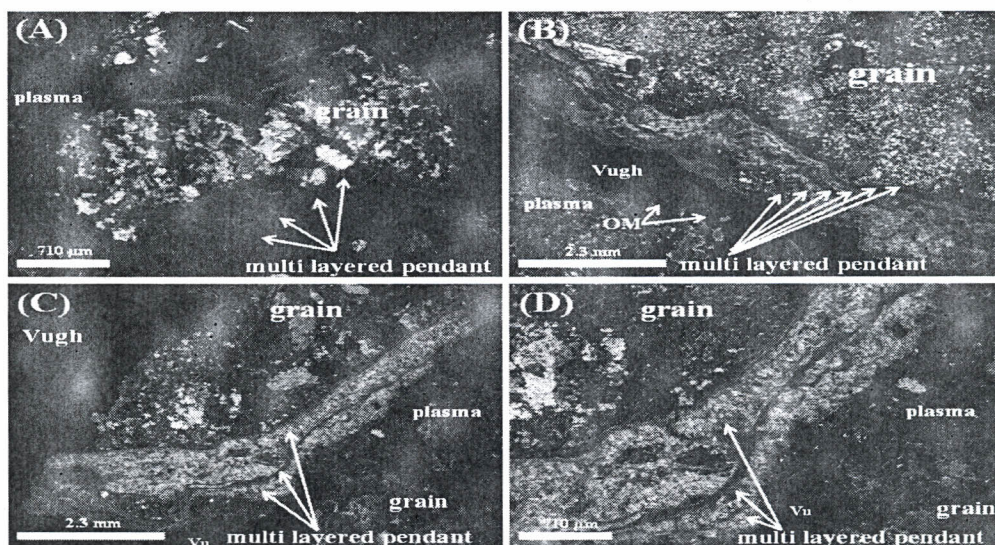
احتمال می‌رود این پوشش‌ها در ارتباط با پوشش‌های نوع اول و افزایش تدریجی اندازه بلورها و همچنین رسوبگذاری و تبلور متوالی از محلول خاک تشکیل شده باشند. این پوشش‌ها دارای توالی رنگ‌های تیره و روشن بوده و نشانگر دوره‌های متوالی خشکی و رطوبی می‌باشند. تریدول و مک فادن (۲۰۰۰) معتقدند پوشش‌های کامل کربنات در جایی تشکیل می‌شوند که هدایت هیدرولیکی خاک به دلیل وجود مقادیر فراوان مواد ریز کاهش می‌یابد. مشاهده پوشش‌های کامل کربنات در روی سنگریزه‌ها و ذرات اسکلتی احاطه شده توسط ماتریکس خاک یا به عبارت دیگر در فصل مشترک ذرات درشت و ریز موید این مطلب می‌باشد (شکل ۱B,C). دسته سوم پوشش‌های تیپیک کربنات، پوشش‌هایی هستند که در زیر ذرات درشت، جائیکه جریان رو به پایین کربنات کلسیم در اثر تماس با ماتریکس خاک محدود می‌شود، تشکیل می‌یابند (شکل ۱D,E,F). این فرم پوشش متشکل از کلسایت میکرایتی و میکرواسپارایتی است و همانند پوشش‌های دسته دوم توالی رنگ‌های تیره و روشن از خود نشان می‌دهد. رنگ‌های تیره بیانگر حضور ناخالصی‌هایی از قبیل هوموس در ترکیب کربنات می‌باشد. سطوح زیرین این پوشش‌ها صاف تا موجدار و فرو رفته می‌باشند. این پوشش‌ها اغلب لایه لایه (Laminated) بوده و از لایه‌های تیره و روشن تشکیل شده‌اند. درونی‌ترین لایه، یعنی لایه‌ای که در مجاورت سطح ذره اسکلتی قرار دارد، به موازات سطح ذره تشکیل شده و لایه‌های بعدی به تبعیت از لایه اول و بر روی آن رسوب یافته و حالت لایه‌لایه را به وجود آورده‌اند. بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) واژه پوسته کربنات (Calcium

کورتی و همکاران (۱۹۹۴) با مطالعه میکرومورفولوژیکی پوشش‌های کربنات در اسپیتس‌برگن در شمال نروژ دریافتند که بیشتر پوشش‌های کربناتی روشن، لیمپید و میکرولامینیتد محتوی کلسایت میکرواسپارایتی نسبتاً خالص هستند. درحالی‌که انواع تیره رنگ از میکرایت تشکیل شده‌اند و دارای مقادیر فراوانی ذرات تخریبی و مقادیر جزئی هیف‌های قارچی هستند. میکرولامین‌های تیره دوره‌های فعالیت باکتری‌های خاک و بهبود شرایط اقلیمی را نشان می‌دهند. پوستوویتوف و همکاران (۲۰۰۲) نیز معتقدند که وجود میکرولامین‌های روشن پوشش‌های کربناتی، حاوی کربنات کلسیم خالص‌تر، با کریستال‌های کامل‌تر و با توجه به شستگی موازی می‌توانند نمایانگر دوره‌های خشکی باشند که برای فعالیتهای بیولوژیکی خیلی مساعد نبوده‌اند (دوره‌های داغ در اقلیم گرم و دوره‌های سردتر در اقلیم خنک). حضور مقادیر بیشتر ناخالصی‌ها، کریستال‌های ناقص و توجیه‌شدگی تصادفی بلورها احتمالاً دوره‌های مرطوب‌تری را نشان می‌دهند که شرایط مساعدتر اقلیمی را از نظر فعالیتهای بیولوژیکی نشان می‌دهد.

قندیلها یا پندانت‌های آهکی (Pendants)

دومین فرم پوشش‌های کربناتی، قندیلها یا پندانت‌های آهکی هستند که در افق‌های سطحی و زیرسطحی تمامی پروفیل‌های مورد مطالعه مشاهده شدند. پندانتها همراه با پوشش‌های تیپیک متداولترین نوع پوشش‌های کربناته در پروفیل‌های خاکهای این منطقه می‌باشند. ضخامت پندانتها در خاکهای مختلف از ۲۵/۶۱mm - ۲۵۰µm متغیر است و با عمق به مقدار آنها به صورت نامنظم افزوده می‌شود (جدول ۲) و همچنین ضخامت این عوارض با افزایش عمق افزایش می‌یابد. فراوانی پندانتها نیز همانند پوشش‌های تیپیک، از واحدهای اراضی فلات به دشتهای دامنه‌ای و همچنین از رژیم رطوبتی زیریک به اریدیک کاهش می‌یابد. مختلف می‌همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، پندانتها به صورت توده‌های برجسته (mamillary) تا کوزه‌ای شکل شبیه استالاکتیت هستند که یا از پوشش‌های کربناتی (calcium carbonate coats) (گروه سوم پوشش‌های تیپیک ذکر شده در قسمت قبل) سرچشمه می‌گیرند، یا مستقیماً در زیر قطعات درشت تشکیل می‌شوند. پندانتها جایی تشکیل می‌شوند که جریان رو به پایین آب حاوی کربنات در اثر تماس با ماتریکس خاک محدود نمی‌شود. پندانتها معمولاً به صورت لایه‌لایه (lamminated) بوده و از کلسایت میکرایتی و میکرواسپارایتی و در برخی نقاط از کلسایت اسپارایتی تشکیل شده‌اند. در زیر پندانتها

فضاهای خالی ناشی از پوسیدگی ریشه‌ها یا فعالیت جانوران خاکزی مشاهده می‌شود. بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) وجود این فضاهای خالی را برای رسوب نامحدود کربنات کلسیم جهت تحول قندیلها لازم دانسته‌اند. به نظر می‌رسد این فضاهای خالی مکان مورد نیاز برای تبخیر و نتیجتاً رسوب کربنات و تحول پندانتها را فراهم می‌کند. هنگامیکه محلول خاک حاوی کربنات به دلیل مواجه شدن با مواد غیر متخلخل متوقف می‌شود، در اثر تبخیر یا جذب آب توسط گیاهان یا میکروارگانیسمها، غلظت یونهای Ca^{2+} و CO_3^{2-} از حاصلضرب حلالیت کربنات کلسیم تجاوز نموده و منجر به فوق اشباع شدن محلول خاک نسبت به کربنات و نتیجتاً رسوب کربنات و تشکیل پندانت می‌گردد. لوین و هندریکس (۱۹۹۰) در آریزونا پندانت‌های نسبتاً خالص و سیمانی شده کربنات را در زیر قطعات سنگ آهک مشاهده نموده و اظهار داشته‌اند که این عوارض در نتیجه انحلال $CaCO_3$ در داخل خاک و حرکت آن در اطراف و کناره‌های قطعات درشت، و نتیجتاً ترسیب در قسمت تحتانی قطعات تشکیل می‌شوند. این دانشمندان مقاطع نازک افقی از پندانتها تهیه کرده و مشاهده نمودند که قسمت داخلی پندانت‌های مورد مطالعه آنها متشکل از نودول‌های میکرایتی متراکم و تیره رنگ می‌باشند. پندانت‌های مذکور دارای یک لایه منفرد بوده‌اند.



شکل ۲- پندانت‌های کربنات کلسیم پدوژنیک در خاکهای مورد مطالعه: ۲A: پندانت لایه لایه در زیر یک قطعه سنگ کوارتزیت، افق 6Bkb2 پروفیل ۶ (۲۴۰-۲۰۰ cm)، ۲B: افق 2Bkb2 پروفیل ۴ (۱۶۰-۱۲۰ cm)، ۲C و ۲D: پندانت سه لایه در زیر یک قطعه سنگ کوارتزیت در دو بزرگنمایی مختلف، افق Bk3 پروفیل ۳ (۸۶-۱۱۰ cm). Vu: Vugh, OM: organic matter.

در نظر گرفته‌اند.

کلسایت سوزنی شکل

سومین فرم پوشش‌های کربنات پدوژنیک، کلسایت سوزنی شکل (Needle Fiber Calcite) می‌باشد که در پروفیل‌های ۲ (افق BK، ۸۹-۳۰ cm) و ۳ (افق Bw، cm) (۳۰-۱۰) و ۱۰ (افق Bw، ۸۰-۲۰ cm) مشاهده گردید (شکل ۳ و جدول ۱). همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، این فرم کلسایت در افق‌های نزدیک به سطح یا قسمت فوقانی افق‌های کلسیک حضور دارد ولی بارزترین فرم کلسایت در این افق‌ها نمی‌باشد. کلسایت سوزنی شکل در پروفیل‌های واقع در واحد اراضی فلات با رژیم رطوبتی زیریک، پروفیل‌های ۲ و ۳ به ترتیب با ۲ و ۵ درصد، بیشترین فراوانی را داراست و در پروفیل‌های واقع در واحد دشتهای دامنه‌ای با رژیم رطوبتی اریدیک، تنها در پروفیل ۱۰ و به میزان ۱ درصد حضور دارد. طبق مطالعات خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) در جنوب ایران، کلسایت سوزنی شکل در خاک‌های مورد مطالعه آنها عمدتاً در نواحی با رژیم رطوبتی یوستیک با پوشش گیاهی متراکم مشاهده شده است، درحالی‌که در نواحی زیریک این عوارض شیوع کمتری داشته‌اند. پوشش‌های کلسایت سوزنی شکل عمدتاً در داخل منافذ درشت تشکیل می‌شوند و به صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ درشت، خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی حضور دارند و در برخی موارد فضای منافذ را کاملاً پر کرده‌اند (شکل ۳).

بک‌زدیک و همکاران (۱۹۹۷) کلسایت سوزنی شکل را به دو نوع MA و MB تقسیم کرده‌اند. سوزن‌های فرم MA طویل و صاف هستند و از تعداد محدودی فیبرهای کلسایتی تشکیل شده‌اند که در اغلب موارد دو عدد می‌باشند. میانگین طول سوزن‌های فرم MA ۲۰-۱۵ میکرون و قطر آنها کمتر از یک میکرون (بطور میانگین ۰/۰۵ میکرون) می‌باشد. سوزن‌های فرم MB دارای لبه‌ها و حاشیه‌های دندان‌دندانه هستند. از نظر طول مشابه فرم MA ولی ضخیم‌تر هستند (تا بیش از دو میکرون ضخامت دارند). در مقاطع نازک پروفیل‌های مورد مطالعه این دو فرم کلسایت سوزنی شکل در مجاورت همدیگر بصورت شبکه‌ای با آرایش تصادفی مشاهده شدند. البته بخش اعظم شبکه مذکور را سوزن‌های فرم MA تشکیل داده‌اند.

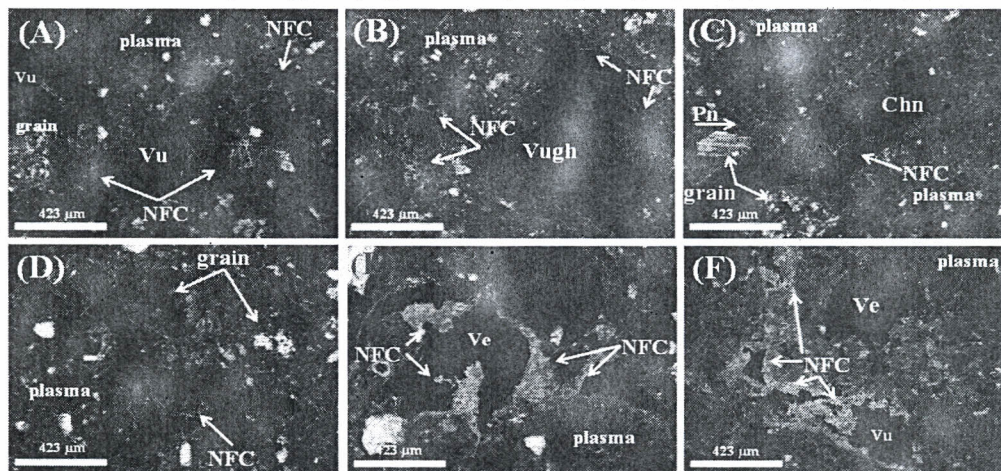
محققان دیگر نیز پیدایش پندانت‌های کلسایتی در بخش زیرین قطعات درشت در نقاط مختلفی از دنیا از قبیل نواحی مرتفع شمالی، نواحی معتدل اطلسی، مناطق نیمه-خشک مدیترانه‌ای و همینطور نواحی اقلیمی مختلف در غرب ایالات متحده گزارش کرده‌اند. بیشتر مطالعات فوق نشان داده‌اند که پندانت‌های کلسایتی لایه‌بندی مرکبی از خود نشان می‌دهند که می‌تواند از اضافه شدن متوالی و پیوسته به وجود آمده باشد. چادویک و همکاران (۱۹۸۹) و بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) تغییرات مورفولوژی کریستال را به عنوان یکی از فاکتورهای مسبب لامیناسیون شناخته‌اند. با وجود این وجود نوارها و حاشیه‌های تیره رنگ در پندانت‌ها معمولاً بیانگر غنی‌شدگی با مواد آلی می‌باشد. کورتی و همکاران (۱۹۹۴) به نقل از حالت (۱۹۷۶) و دوکلاکس و همکاران (۱۹۸۴) اظهار داشته‌اند که رسوب کربنات در ابتدا به صورت آمورف است که بعداً جهت تشکیل کریستال‌های بزرگ، متبلور می‌شود. در این خصوص پیشنهاد شده است که تغییرات رژیم هیدرولیکی و شیمیایی خاک بایستی توجیه‌کننده تفاوت‌های مورفولوژی کریستال باشد. چادویک و همکاران (۱۹۸۹) نقش مهم خشک شدن را بر سرعت رشد کریستال در هر فاز رسوبی نشان داده و فرض کرده‌اند که پوشش‌های کلسایتی ممکن است نوسانات اقلیم کوتاه‌تر را ثبت کرده باشند.

همانطور که پیشتر اشاره شد، ضخامت پندانت‌های کلسایتی مورد مطالعه از ۰/۲۵mm تا ۲۵/۶mm متغیر است که به صورت لایه‌های (لامیناهای) واضحی تشکیل شده و رنگ آنها از روشن (لیمپید) تا قهوه‌ای تیره متغیر می‌باشد. لایه‌بندی عمدتاً به موازات سطح زیرین قطعات می‌باشد. تعداد لامیناها نیز از دو تا پنج لامینا در هر پندانت متغیر است. کورتی و همکاران (۱۹۹۴) ضمن مطالعه پندانت‌های کلسایتی در نواحی مرتفع شمالی اشاره کرده‌اند که پندانت‌های مذکور لایه‌لایه بوده و هر کدام از لایه‌ها نیز از لایه‌های فرعی‌تری (میکرولامیناها) تشکیل شده‌اند. این محققان نتیجه گرفته‌اند که توالی میکرولامیناها نوسانات جزئی اقلیمی و تغییرات بین لامیناهای مجاور، تغییرات اقلیمی عمده را نشان می‌دهند. خوخلووا و همکاران (۲۰۰۱) و خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) حضور پندانت‌ها در اقلیم خشک را به عنوان بقایای یک اقلیم مرطوب‌تر گذشته

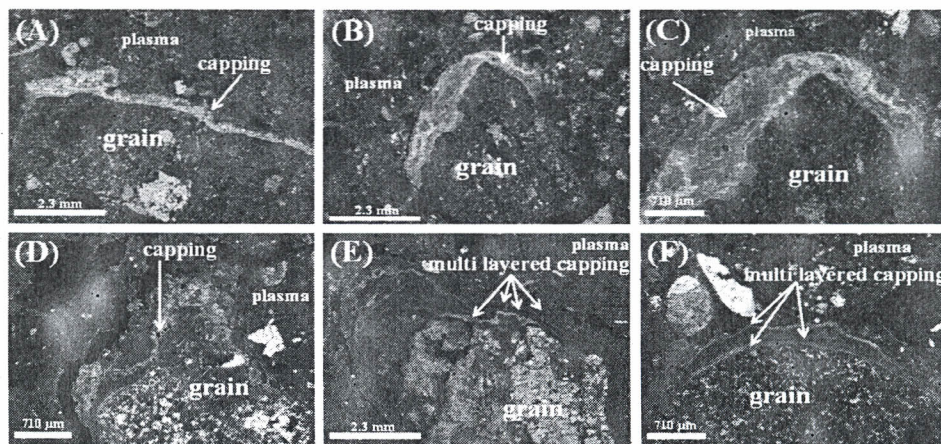
ریشه‌های مرده گیاهان تشکیل شده‌اند. از طرفی همانطور که در شکل‌های ۳E و ۳F نشان داده شده است، در منافذی که پوشش‌های کلسایت سوزنی شکل به صورت فشرده و متراکم قرار گرفته‌اند، این سوزنها در اثر فشارهای حاصله از تراکم سوزنها و فشارهای ناشی از رشد کریستال در حال تبدیل شدن به مایکرایت هستند. رابن‌هارست و ویلدینگ (۱۹۸۴) نیز این وضعیت را در خاکهای تگزاس گزارش کرده و اظهار داشته‌اند که گذشت زمان و فشارهای ناشی از رشد کریستال سبب تبدیل سوزنها به مایکرایت می‌شود. آنان همچنین معتقدند که بلورهای کلسایت سوزنی شکل در منافذ رشد یافته و توجیه می‌شوند. وست و همکاران (۱۹۸۸) در تگزاس و منافی و محمودی (۲۰۰۶b) در ارومیه نیز این مورد را گزارش کرده‌اند و معتقدند که کلسایت سوزنی شکل همان رگه‌ها و میسیلیومهای مشاهده شده در صحرا هستند.

کایله‌آئو و همکاران (۲۰۰۵) در خاکهای سوئیس کلسایت سوزنی شکل را گزارش نموده و بر اساس مورفولوژی آنها را به چهار گروه تقسیم و تشکیل این عوارض را به فعالیت‌های قارچی نسبت داده‌اند. خادکیکار و همکاران (۲۰۰۰) نیز کلسایت سوزنی شکل را در خاکهای گوجرات هند گزارش کرده و اظهار نمودند که رسوب کلسایت سوزنی شکل ممکن است در اثر خروج سریع گاز CO₂ که از درجات بالای فوق اشباع محلول خاک حاصل می‌شود، صورت گیرد.

بک‌زدیک و همکاران (۱۹۹۷) معتقدند که منشأ کلسایت سوزنی شکل MA به بیومینرالیزاسیون قارچی در مجموعه‌های میسیلیومی مربوط است که پس از تجزیه مواد آلی دیواره‌های سلولی قارچها آزاد می‌شوند. گفته می‌شود که کلسایت سوزنی شکل از طریق بیومینرالیزاسیون ساپروفیتی تشکیل می‌گردد. کوبینا (۱۹۳۸) نیز آهکهای سوزنی شکل را در خاکهای اتریش و مجارستان گزارش کرده و اظهار داشته است که مواد آلی شرایط مناسب برای تشکیل این فرم پوشش‌های کلسایتی را فراهم می‌کند. منافی و محمودی (۲۰۰۶b) پوشش‌های آهکی سوزنی شکل را در خاکهای ارومیه گزارش نموده و با توجه به وجود آثار و بقایای مواد آلی تجزیه و تخریب یافته در منافذ حاوی کلسایت سوزنی شکل، آهکی شدن ریشه‌ها و مواد آلی را به عنوان عامل اصلی تشکیل این پوششها ذکر کرده‌اند. با توجه به اینکه در مقاطع نازک پروفیل‌های مورد مطالعه اخیر پوشش‌های کلسایت سوزنی شکل در افق‌های نزدیک به سطح- که از نظر مواد آلی نیز نسبت به افق‌های دیگر غنی‌تر می‌باشند- مشاهده شدند، و از طرفی با توجه به وجود بقایای مواد آلی تجزیه و تخریب یافته در درون برخی حفرات حاوی کلسایت سوزنی شکل، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً این نوع پوششها در اثر تجزیه مواد آلی موجود در منافذ و بر جای ماندن ترکیبات کلسیمی موجود در دیواره اسکلتی سلولهای گیاهی از قبیل پکتات کلسیم، اکتات کلسیم و اگزالات کلسیم و همچنین آهکی شدن



شکل ۳- پوشش‌های کلسایت سوزنی شکل در خاکهای مورد مطالعه: ۳A، ۳B، ۳C و ۳D: پوشش‌های کلسایت سوزنی شکل در سطوح منافذ درشت، افق Bw پروفیل ۳ (۱۰-۳۰ cm)، ۳E و ۳F افق Bk پروفیل شماره ۲ (۸۹-۳۰ cm) پوشش‌های سوزنی شکل در حال تبدیل به مایکرایت. NFC: needle fiber calcite، Chn: channle، Pn: plannar void و Vu: vugh.



شکل ۴- کلاهکهای کربنات کلسیم پدوژنیک در خاکهای مورد مطالعه: ۴A: افق Bk3 پروفیل ۳ (۸۶-۱۱۰ cm)، ۴B و ۴C: افق 2Bkb پروفیل ۳ (۱۱۰-۱۵۶ cm)، ۴D: افق Bk پروفیل ۲ (۳۰-۸۹ cm)، ۴E: کلاهک چند لایه روی یک قطعه سنگ آهک، افق 2Bk1 پروفیل ۲ (۸۹-۱۳۰ cm)، ۴F: کلاهک چند لایه روی یک قطعه سنگ کوارتزیت، افق Bw پروفیل ۱۰ (۲۰-۸۰ cm).

کایله‌آئو و همکاران (۲۰۰۵) به نقل از کالوت و همکاران (۱۹۸۵a,b)، ورشیا و ورشیا (۱۹۹۴)، نیومن و همکاران (۱۹۹۶)، لوسی و همکاران (۱۹۹۹) و مونگر و گالگوس (۲۰۰۰) اشاره کرده‌اند که کلسایت سوزنی شکل می‌تواند دارای یک منشأ بیولوژیک مستقیم باشد. خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) نیز اظهار داشته‌اند کلسایت سوزنی شکل در نواحی با بارندگی نسبتاً بیشتر، درجه حرارت بیشتر و پوشش گیاهی متراکمتر تشکیل می‌شود که این امر منشأ بیولوژیکی این فرم تجمعات را ثابت می‌کند.

کلاهکهای کلسایتی (Cappings)

فرم نهایی پوششها در این مطالعه، کلاهکهای کلسایتی یا (Cappings) هستند که از نظر مورفولوژی شبیه پوششهای تیپیک و پندانته‌ها بوده ولی برخلاف آنها صرفاً در قسمت فوقانی ذرات درشت قرار گرفته‌اند (شکل ۴). ضخامت کلاهکها در پروفیل‌های مختلف از ۲۵ μm تا ۱mm متغیر است. فراوانی کلاهکها با عمق به صورت نامنظم کاهش می‌یابد (جدول ۲). بر خلاف پوششهای تیپیک، پندانته‌ها و کلسایت سوزنی شکل، فراوانی کلاهکها روند خاصی با تغییرات تیپهای اراضی و رژیم‌های رطوبتی نشان نمی‌دهند. کلاهکها نیز همانند پندانته‌ها عمدتاً از کلسایت مایکرایتی و در برخی موارد از کلسایت مایکرایتی و میکرواسپارایتی تشکیل شده‌اند. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، کلاهکها در تمام پروفیل‌های مطالعه شده حضور دارند

در رابطه با منشأ آلی یا معدنی کلسایت سوزنی شکل بحث‌های متعددی وجود دارد. چادویک و همکاران (۱۹۸۹) جایگزینی یون Ca^{2+} توسط Mg^{2+} در شبکه بلور کربنات را یکی از عوامل تشکیل کلسایت سوزنی شکل با منشأ معدنی می‌دانند. این افراد به نقل از محققان دیگر اظهار داشته‌اند که شعاع یونی کوچکتر و انرژی هیدراتاسیون بیشتر Mg^{2+} نسبت به Ca^{2+} ، ساختار شبکه فشرده‌تری را ایجاد می‌کند که ممکن است رشد بلور در طول محورهای a و b را بیشتر از رشد بلور در طول محور c باز دارد. این امر منجر به تشکیل کریستالهای سوزنی شکل می‌گردد. همچنین مقادیر بیشتر $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ نسبت به HCO_3^- در محلول خاک نیز ممکن است عامل طولیل شدن کریستال باشد. خادکیکار و همکاران (۲۰۰۰) و کایله‌آئو و همکاران (۲۰۰۵) نیز معتقدند که کلسایت سوزنی شکل با منشأ معدنی ممکن است از ترسیب از محلولهای فوق‌العاده فوق اشباع در اثر تبخیر سریع حاصل آید. این نوع ترسیب منجر به ایجاد کریستالهایی با اشکال غیر تیپیک نظیر کریستالهای دندانمانند، سوزنی شکل و مو مانند می‌شود. البته محلولهای شدیداً فوق اشباع می‌توانند به صورت موضعی در حین فعالیتهای ریشه و میکروارگانیسمها و تبادلات انجام گرفته در ریزوسفر بین سلولهای ریشه و محلولهای خاک نیز ایجاد شوند. این نوع فوق اشباع شدن نیز رسوب کریستالهای کلسایت با اشکال طولیل (سوزنی شکل) را میسر می‌سازد.

قدمت خاک، بازسازی اقلیم دیرین و نهایتاً رده‌بندی و کاربری اراضی می‌باشند. در مطالعات میکرومورفیک مهم-ترین فرمهای تجمعات کربناته شامل انواع نودولها، پرشدگی‌ها (infillings) و پوششهای کربناته یا کالکانها (coatings) می‌باشند که در مطالعه اخیر پوششهای کربناته مورد بررسی قرار گرفتند. پوششهای کربناته پدوژنیک در پروفیل‌های مورد مطالعه به چهار گروه پوششهای تیپیک، پندانت‌های کلسایتی، پوششهای کلسایت سوزنی شکل و کلاک‌های آهکی تقسیم شدند. پوششهای تیپیک که به صورت عوارض ناشی از غلیظ شدن پلاسمای خاک و عمدتاً در سطوح زیرین ذرات اسکلتی، خاکدانه‌ها و دیواره‌های منافذ تشکیل می‌شوند، به سه دسته تقسیم شدند. دسته اول پوششهای کلسایتی تک لایه‌ای و به رنگ روشن که از مایکرایت تشکیل شده و در اثر خشک شدن سریع خاک به وجود آمده‌اند و تمام سطوح ذرات را می‌پوشانند. دسته دوم پوششهای دو یا چند لایه‌ای که همانند دسته اول تمام سطوح ذرات را می‌پوشانند و از کلسایت مایکرواسپارایتی تشکیل شده و دارای توالی رنگهای روشن و تیره می‌باشند. دسته سوم نیز به صورت پوششهای دو تا پنج لایه‌ای با لایه‌های تیره و روشن بوده و در قسمت زیرین ذرات درشت که هدایت هیدرولیکی خاک به دلیل وجود مقادیر فراوان ذرات ریز کاهش می‌یابد، تشکیل می‌شوند. گروه دوم پندانت‌های آهکی هستند که به صورت توده‌های برجسته (mamillary) تا کوزه‌ای شکل شبه استالاکتیتی در قسمت زیرین ذرات درشت قرار گرفته و معمولاً لایه‌لایه (lamminated) بوده و از لایه‌های تیره و روشن که تعداد آنها معمولاً از دو تا پنج متغیر است، تشکیل شده‌اند. گروه سوم، کلسایت سوزنی شکل می‌باشد که عمدتاً در افق‌های نزدیک به سطح یا قسمت فوقانی افق‌های کلسیک حضور دارند و اغلب در منافذ درشت تشکیل می‌شوند. پوششهای کلسایت سوزنی شکل احتمالاً در اثر تجزیه مواد آلی موجود در منافذ و بر جای ماندن ترکیبات کلسیمی دیواره اسکلتی سلول‌های گیاهی و همچنین آهکی شدن ریشه‌های مرده گیاهان به وجود آمده‌اند. گروه چهارم، کلاک‌های آهکی هستند که دارای مورفولوژی یکسانی با پوششهای تیپیک و پندانت‌ها بوده ولی در سطوح فوقانی ذرات و سنگریزه‌ها

و تقریباً در تمام طول پروفیل مشاهده می‌شوند. از طرفی با مراجعه به جدول ۲ می‌توان دریافت که کلاک‌ها تقریباً بیشتر در قسمت‌های فوقانی پروفیل متمرکز هستند و با افزایش عمق و نزدیک شدن به نقاط انقطاع سنگی تقریباً ناپدید می‌شوند. در افق‌هاییکه بلافاصله در زیر انقطاع سنگی واقع شده‌اند، مجدداً کلاک‌ها ظاهر می‌شوند و با افزایش عمق مجدداً به تدریج از حضور آنها کاسته می‌شود.

در منابع اشاره چندان به کلاک‌های آهکی نشده است و توجه محققان بیشتر به پوششهای تیپیک و پندانت‌ها بوده است. زیرا در شرایط عادی اغلب پوششهای کربناتی در قسمت زیرین ذرات و قطعات درشت واقع می‌شوند.

پوستوویتوف (۲۰۰۲) این وضعیت را یک حالت استثنایی ذکر کرده است. وست و همکاران (۱۹۹۸) نیز اشاره کرده‌اند که کلاک‌های لایه‌لایه می‌توانند در مرز تغییرات بافت خاک که آب تجمع یافته و تبخیر می‌گردد، تشکیل گردند. به طور کلی فرایندهای مسبب توجیه شدن لایه‌های کربنات پدوژنیک در سطح فوقانی سنگریزه‌های خاک به طور گسترده‌تری مورد توجه قرار نگرفته‌اند. در یکی از موارد مطالعه شده در این مورد، آموندسن و همکاران (۱۹۹۷) توجیه‌شدگی پوششهای سطحی کربناتی در خاک‌های سنگریزه‌ای را در یک شیب بارش زمستان-تابستان در کالیفرنیا بررسی نموده و تشکیل پوششهای کربناتی در سطوح فوقانی سنگریزه‌ها را به رژیم اقلیمی خاص منطقه یعنی شیب بارش زمستانه-تابستانه نسبت داده و اظهار داشتند که در نقاطی که بارندگی غالب در تابستان و ابتدای پاییز است، پوششهای کربناتی در سطوح فوقانی ذرات و سنگریزه‌ها تشکیل می‌گردند. این دانشمندان نتیجه گرفتند که اگر پوششهای واقع بر قسمت فوقانی ذرات تنها با بارش تابستانه مرتبط باشند، توزیع زمانی و مکانی آنها می‌تواند یک نشانه مهم اقلیم دیرین باشد که می‌تواند به شناخت بهتر چرخه‌ها و الگوهای بلند مدت بارندگی منطقه کمک کند. با وجود این شناخت دقیق شرایط و مکانیسم تشکیل این کلاک‌ها یا شناخت منشأ آنها نیازمند مطالعات بیشتری است.

نتیجه‌گیری

تجمعات کربناته پدوژنیک در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از معیارهای مهم در ارزیابی درجه تحول خاک،

شمالی و دشتهای گنگ اظهار داشتند که تشکیل پوششهای کربنات پدوژنیک در خاکهای مزبور نشانه تغییرات اقلیم از مرطوب به نیمه‌خشک می‌باشد که به دنبال آن مجدداً فازهای مرطوبتر با ایلویشن رس ایجاد شده‌اند. با توجه به مشاهدات میکرومورفیک که نشان دهنده توالی لایه‌های تیره و روشن در پوششهای کربناتی می‌باشند، می‌توان اظهار داشت که منطقه مورد مطالعه تغییرات اقلیمی متعددی را شاهد بوده است که در دوره‌های خشکتر منجر به تشکیل پوسته‌هایی به رنگ روشن، متشکل از کلسایت مایکرواسپارایتی گردیده است. در دوره‌های خشکتر شرایط زیستی خاک چندان مطلوب نبوده و ناخالصی‌های هوموسی در ترکیب کربنات پوششها کم است. درحالیکه در دوره‌های مرطوبتر، پوسته‌های تیره رنگ متشکل از کلسایت مایکرایتی تشکیل شده‌اند. در دوره‌های مرطوبتر شرایط زیستی خاک بهبود یافته و سبب تولید مواد آلی شده است که ترکیبات هوموسی حاصله در اثر آمیختگی با کربناتها، سبب تیرگی رنگ پوششها گردیده است.

تشکیل شده‌اند. پوششهای تیبیک، پندانتهای کلسایتی و پوششهای کلسایت سوزنی شکل در واحد فلات با رژیم رطوبتی زیرک بیشترین فراوانی را دارند و به ترتیب با تغییر واحد اراضی و رژیم رطوبتی به دشتهای دامنه‌ای و اریدیک، از فراوانی آنها کاسته می‌شود.

مطالعات متعددی از قبیل چادویک و همکاران (۱۹۸۹)، فدروف و همکاران (۱۹۹۰)، کورتی و همکاران (۱۹۹۴)، کمپ (۱۹۹۸)، خادکیکار و همکاران (۲۰۰۰)، پوستوویتوف (۲۰۰۲) و گونال و رنسام (۲۰۰۶) قابلیت پوششهای کربناتی را به عنوان ابزاری جهت مطالعه اقلیم و محیطهای دیرین مورد تأکید قرار داده و نشان داده‌اند که این پوششها قابلیت ثبت و نگهداری پیشینه محیطهای دیرین را دارا می‌باشند و می‌توانند به عنوان شواهد تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرند. خادکیکار و همکاران (۲۰۰۰) قابلیت پوششهای کربناتی را جهت تفسیر اقلیم دیرین بررسی نموده و اظهار داشتند که پوششهای کربناتی منعکس کننده رویدادهای نیمه‌خشک در تاریخ زمین هستند. سرباستاوا و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه میکرومورفیک پالتوسولهای

REFERENCES

- Amundsen, R., R. C. Graham, & E. F. Viz caino 1997. Orientation of carbonate laminations in gravelly soils along a winter/summer precipitation gradient in Baja California –Mexico. Soil Science. Vol. 162. No. 12.
- Banaei, M.H., 1998. Soil moisture and temperature regim map of Iran. Soil and water Research Institute. Ministry of Agriculture. Tehran. Iran.
- Becze- Deace, J., R. Langohr, & E.P. Verrecchia. 1997. Small-scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction. Geoderma vol. 76: 221- 252.
- Benyarku C. A., & G. Stoops, 2005. Guidelines for preparation of rock and soil thin sections and polished sections. Departament de medi ambient I ciencias Del sol. UNIVERSITATE DE LLEIDA.
- Blank. R. R. & M. A. Fosberg. 1990. Micromorphology and classification of secondary calcium carbonate accumulations that surround or occur on the underside of coarse fragments in IDAHO (U.S.A). In: Douglas(Ed) L. A., soil micromorphology: A basic and applied science. Developments in soil science 19. Elsevies.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. Jhon Willy and Sons. Inc.
- Bullock, P. N. Federoff, A. Johngerus. G. Stoops, T. Tursina, & V. Babel. 1985. Hand book for thin section description. 1st published. WAINE research publications.
- Cailleau, G., O. Braissant, C. Dupraz, M. Aragno, & E. P. Verrecchia. 2005. Biologically induced accumulations of CaCO₃ in orthox soils of Biga, Ivoru Coast. Catena. Vol. 59: 1-17.
- Chadwick O. A., J. M. Sowers, & R. G. Amundson, 1989, Morphology of calcite crystals in clast coatings from four soils in the Mojave Desert region. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 52: 211-219.
- Courty M. A., C. Marlin, L. D.ever, P. Tremblay, & P. Vachier. 1994. The properties, genesis and environmental significance of calcite pendants from high Arctic (Spitsbergen). Geoderma. Vol. 61: 71-102.

11. Dahlgren, Q.A., J.L. Boettinger., G.L. Montington, & R.G. Amondson. 1997. Soil development along elevational transect in Western Sierra Nevada, California. *Geoderma*. 78: 207-236.
12. Federoff, N., M. A. Courty, & M. L. Thompson., 1990. Micromorphological evidence of paleoenvironmental change in pleistocene and Holocene paleosols. In Douglas(Ed) L. A., soil micromorphology: A basic and applied science. *Developments in soil science* 19. Elsevier.
13. Florea, N. & Kh. Al-Jumaa. 1998. Genesis and classification of gypsiferous soils of the Middle Euphrates Floodplain, Syria. *Geoderma* 87: 67-85.
14. Gile. L. H., F.F. Peterson, & R.B. Grossman. 1966. Morphological and genetic sequence of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science*. Vol. 101. No. 5
15. Gile. L. H., F.F. Peterson, & R. B. Grossman. 1965. The K horizon: A master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Science*. Vol. 99, No. 2.
16. Gunal H. & M. D. Ransom. 2006. Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. *Geoderma*. Vol. 68: 59-69.
17. Kemp, R. A. Role of micromorphology in paleopedological research. *Quaternary International*. Vols 51/52: 133-141.
18. Khadkikar, A. S., L. S. Chamyal, & R. Ramesh. 2000. The character and genesis of calcrete in Late Quaternary alluvial deposits, Gujarat, western India, and its bearing on the interpretation of ancient climates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 162: 239-261.
19. Khokhlova, O.S., S.N. Sedov, A.A. Golyeva, & A.A. Khokhlov. 2001. Evolution of Chernozems in the Northern Caucasus, Russia during the second half of the Holocene: carbonate status of paleosols as a tool for paleoenvironmental reconstruction. *Geoderma* 104: 115-133
20. Khormali, F., A. Abtahi, & G. Stoops. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*. 132: 31-46.
21. Kleber, A. 2000. Compound soil horizons with mixed calcic and argillic properties-examples from the northern Great Basin, USA. *Catena*. 41: 111-131.
22. Klute, A.(ed). 1986. *Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. Nounber 9 (part I) in the series agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Soil science society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA.
23. Kubiena. W. L. 1938. *Micropedology*. Collegiate press. INC. AMES. IOWA.
24. Kuzyakov Y., E. Shevatzova, & K. Pustovoytov, 2006, Carbonate re-crystallization in soil revealed by ¹⁴C labeling: Experiment, model and significance for paleo-environmental reconstructions. *Geoderma*, Vol. 131: 45-58.
25. Levine. S. J. & D. M. Hendricks. 1990. Carbonate forms in residual horizons of limestone derived soils in northern Arizona. In: Douglas(Ed). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. *Developments in soil science* 19. Elsevier.
26. Manafi. Sh. & Sh. Mahmoodi. 2006. The effect of toposequence on physicochemical properties and classification of soils in Jolbar region, Urmia. Iran. In: Yazar A. 2006. *Soil and water management for sustainable irrigated agriculture*. Conference Proceeding. Cukorua University of Adana. Adana. Turkey.
27. Manafi, Sh. & Sh. Mahmodi. 2006. Micromorphology of secondary calcium carbonate accumulations in some soils around Urmia Lake. *Iranian Journal of agricultural science*. Vol: 26. No. 6. 1399-1411.
28. Ministry of road and transportation, Iranian Meteorological organization. 1995-2005. *Meteorological year book*. Published by: Data processing and computer services center.
29. Morphy. C. P. 1986. *Thin section preparation of soils and sediments*. A.B. Academic publishers.
30. Pustovoytov K. E. 1998. Pedogenic carbonate cutans as a record of history of Holocene history of relic tundra-steppes of the upper Kolyma valley (North-Eastern Asia). *Catena*. Vol. 34: 185-195.
31. Pustovoytov K. E. 2002. Pedogenic carbonate cutans on clasts in soils as a record of history of grassland ecosystems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 177: 199-214.
32. Rabenhorst. M.C., L. P. Wilding, & L.T. West. 1984. Identification of pedogenic carbonates using stable carbon isotope and microfabric analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 48.

33. Schaet – ZI Randall J. William G. feredric, & Lawrence Tornes. 1996. Secondary carborates in three fine and fine- loamy Alfisols in Michigan. Soil sci. soc. Am. J. Vol. 60.
34. Sobecki. T. M. & L.P. Wilding. 1982. Calcic horizons distribution and foil classification in selected soils of Texas coast prairie. Soil. Scil Soc. Am. J. vol. 46.
35. Soil Survey staff. 1999. Soil Taxonomy. 2nd Edition. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA. NRCS.
36. Soil Survey staff. 2003. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Dept of Ariculture. Handbook 18.
37. Soil Survey staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th Edition. USDA. NRCS.
38. Srivastava, P., A. Kumar Sing, B. Parkash, A. K. Singh, & M. K. Rajak. 2007. Paleoclimatic implications of micromorphic features of Quaternary paleosols of NW Himalayans and polygenetic soils of the Gangtic Plains- A comparative study. Catena, Vol. 70: 169-184.
39. Stoops, G. 2003. Guidelines for analysis and description of soils and regolith thin sections. Published by Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
40. Treadwell – Steitz. C. & L. D. Mc Fadden. 2000 Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravelly soils. Palo Duro Wash, New Mexico. Geoderma. Vol. 94:1-22.
41. USDA. NRCS. 1996 Soil survey laboratoary methods manual. Soil survey investigation report no. 42 version 3.0.
42. West. L. T., L.P. Wilding, & C. T. Hallmark. 1988. Calciustolls in central Texas: Genesis of calcic and petrocalcic horizons. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 52.