

## میکرومورفولوژی انباشتگی کربنات کلسیم ثانوی در قسمتی از زمینهای پیرامون دریاچه ارومیه

شهرام منافی<sup>۱</sup> و شهلا محمودی<sup>۲</sup>

۱، ۲، دانشجوی دوره دکتری و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۱۲/۲۵

### خلاصه

در مناطق خشک و نیمه خشک تجمع ترکیبات کربنات کلسیم یکی از معیارهای مهم در ارزیابی درجه تحول خاک، قدمت خاک و نهایتاً رده بندی و کاربری اراضی است. هرچند که تشخیص اینگونه عوارض در مواد اولیه غیرآهکی معمولاً با سهولت انجام می‌گیرد، ولی با توجه به فراوانی ترکیبات کربنات در غالب مناطق خشک، لاجرم تشخیص کربناتهای اولیه و ثانویه در صحرا غالباً با سهولت میسر نبوده و استفاده از تکنیکهای دقیق‌تر آزمایشگاهی جهت اطمینان از منشأ آنها ضروری است و در موارد بسیاری نکاتی را نیز در رابطه با مکانیسم تشکیل آنها آشکار می‌سازد. مطالعه اخیر از اولین مطالعاتی است که در رابطه با ویژگیهای میکرومورفولوژیکی کربناتها و مکانیسم احتمالی تشکیل آنها در اراضی خشک و نیمه خشک غرب دریاچه ارومیه بر روی مواد مادری آهکی و غیرآهکی صورت پذیرفته است. در این مطالعه ویژگیهای اینگونه عوارض از طریق مطالعه مقاطع نازک با میکروسکوپ پولاریزان مورد مطالعه قرار گرفته است و تجمعات کربنات کلسیم ثانویه بر اساس خصوصیات میکرومورفیک به شرح زیر تقسیم گردیدند: الف) تجمعات کلسایت سوزنی شکل که در داخل منافذ درشت و سطوح ذرات اسکلتی و خاکدانه‌ها تشکیل شده‌اند. این فرم کلسایت به فرم MA تجمع یافته است. سوزن‌های فرم MA طویل و صاف بوده و از تعدادی فیبرهای کلسایتی تشکیل شده‌اند. ب) پوشش‌های کربنات کلسیم مایکرایتی (کالکانه) که با ضخامت متفاوت بر روی سطوح ذرات اسکلتی و خاکدانه‌ها تشکیل شده‌اند و خود به سه گروه تقسیم شدند: یک دسته به صورت پوسته نازک و تک‌لایه‌ای تمام سطوح ذرات را احاطه می‌کنند و به نام حواشی کربنات معروف می‌باشند. دسته دوم پوشش‌هایی هستند که به صورت دو یا چند لایه‌ای تمام سطوح ذرات اسکلتی بویژه قطعات سنگ آهک را احاطه می‌کنند و دسته سوم پوشش‌هایی هستند که در زیر ذرات درشت، یعنی جاییکه جریان رو به پایین آب حاوی کربنات کلسیم در اثر تماس با ماتریکس خاک محدود می‌شود، تشکیل می‌یابند. ج) فرم سوم انباشتگی کربنات کلسیم، نودول‌ها می‌باشند که از کلسایت مایکرایتی و مایکرواسپارایتی و در مواردی از کلسایت اسپارایتی تشکیل شده‌اند. انواع نودول‌های شناسایی شده عبارتند از: نودول تیپیک، نودول نوکلئیک و نودول ژئودیک. د) فرم چهارم تجمعات کربنات کلسیم پندانتهای آهکی هستند که به صورت توده‌های شبه استلاکتیتی در زیر پوشش‌های کربناتی و یا مستقیماً در زیر قطعات درشت تشکیل می‌شوند. و ه) نهایتاً فرم پنجم هاپوکوتینکهای کربناتی می‌باشند که به صورت عوارض ناشی از تلقیح‌شدگی ماتریکس خاک حاشیه منافذ توسط کربنات، قابل تشخیص هستند و از کریستالهای کلسایت مایکرایتی تشکیل شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** ارومیه، اسپارایت، کربنات کلسیم ثانویه، مایکرایت و میکرومورفولوژی

## مقدمه

تجمع کربنات کلسیم در خاکها در صورتیکه با روشهای صحیح و دقیق اندازه‌گیری شوند، معیارهای مطمئنی برای شناسایی خاکها به شمار می‌آیند. در اقالیم خشک و نیمه خشک شستشو و تجمع کربناتها (Carbonatation) از اهم فرایندهای خاکسازی به حساب می‌آیند. بدین لحاظ شناخت کمیت و کیفیت عوارض ناشی از اینگونه فرایندها تحقیقات زیادی را به خود اختصاص داده است. در مطالعات میکرومورفیک با توجه به دست‌نخورده بودن نمونه‌های مورد مطالعه و حفظ ساختار طبیعی اجزاء و عوارض مهم خاک نسبت به هم، تعیین کمیت و کیفیت عوارض ثانویه از اهمیت بسیار زیادی نسبت به سایر روشهای شناسایی برخوردار است. بعلاوه مشاهده اشکال متفاوت عوارض نسبت به پدیده‌های مختلف خاک، این امکان را فراهم می‌نماید تا پیشنهاداتی را نیز در رابطه با مکانسیم‌های احتمالی تشکیل این عوارض ارائه نمود.

تشکیل تجمعات کربناتهای ثانویه عمدتاً در خاکهای تحول یافته در اقالیم خشک و نیمه خشک (با رژیم‌های رطوبتی یوستیک، زریک و اریدیک) صورت می‌گیرد. در خاکهای تحول یافته در اقالیم مرطوب کربناتهای موجود در خاک به دلیل وجود مقادیر زیاد رطوبت انحلال یافته و از خاک فعال<sup>۱</sup> خارج شده و به داخل آبهای زیرزمینی شسته می‌شوند. با وجود این تجمعات ثانویه کربناتهای پدوژنیک در مناطق مرطوب نیز گزارش شده‌اند ولی این تجمعات کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. زیرا تجمعات ثانویه کربناتی تشکیل شده در مناطق مرطوب نه تنها معمول خاکهای تحول یافته در اینگونه مناطق نیستند، بلکه اغلب به دلیل شرایط خاص محلی نظیر مواد مادری مارل<sup>۲</sup> در یک محیط مرطوب، تغییرات میکروتوپوگرافی و یا جریان رو به بالای آب زیرزمینی کربنات تشکیل می‌شوند (۱۶).

در مورد مکانسیم تشکیل انباشتگی‌های کربنات در مناطق خشک و نیمه خشک اعتقاد بر این است که این عوارض در اثر انحلال، انتقال و رسوب مجدد کربناتهایی که یا در مواد مادری خاکها حضور دارند و یا از منابع خارجی به خاک اضافه شده‌اند، تشکیل می‌گردند (۳).

تاکنون انواع مختلفی از فرمهای ماکرومورفیک کربناتها در مشاهدات صحرایی توسط دانشمندان شناسایی و گزارش شده‌اند. دانشمندان در مطالعاتشان به اشکال رشته‌ای یا میسیلومی، پوسته‌های آهکی بر روی خاکدانه‌ها یا سنگریزه‌ها، قندیل‌های آهکی (پندانتها)، آهک پودری، چشمان سفید، گره‌های آهکی<sup>۳</sup>، سخت دانه‌های آهکی<sup>۴</sup>، افقهای سیمانی شده و پوششهای ورقه‌ای اشاره داشته‌اند (۳، ۶، ۷، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۰). در برخی منابع دو مورد آخر، افقهای سیمانی شده و پوششهای ورقه‌ای، با اسامی از قبیل کالیچ، کالکرت و کروت‌کالکر نیز نامیده شده‌اند (۸). فرمهای میکرومورفیک کربناتها نیز تا حدود زیادی شناخته شده و نامگذاری گردیده‌اند. انواع فرمهای کربنات که به طریقه میکرومورفیک شناسایی شده‌اند عبارتند از: پوششهای کلسایت سوزنی شکل در سطوح منافذ، خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی، پوششهای کلسایت میکرایتی و میکرواسپارایتی در سطوح منافذ، خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی، گره‌های کربناتی شامل انواع تیپیک، ژئودیک، نوکلئیک و غیره، سخت دانه‌های متشکل از کلسایت میکرایتی، نئوکلسیتانها، کریستالاریا، لامیناها، هایپوکوتینگها و پندانتها (۲، ۳، ۶، ۷، ۱۶، ۱۵، ۱۲، ۲۰، ۲۳).

تشخیص انباشتگی‌های کربنات از نظر کمی، عمق تجمع و ضخامت خاک محتوی این گونه عوارض، ملاک معتبری جهت تشخیص برخی از فرایندهای خاکسازی و در نتیجه شناسایی افقهای مشخصه (افقهای کلسیک و پتروکلسیک) می‌باشد که اساس رده‌بندی جامع آمریکایی قرار دارد (۱۵ و ۲۱). بک‌زدیک و همکاران (۱۹۹۷) اعتقاد دارند این تجمعات بسته به فرایندهای فیزیکوشیمیایی و فعالیتهای بیولوژیکی، می‌توانند بخشی از تاریخچه پدولوژیکی مجموعه‌های خاک-رسوبات لسی را نشان دهند. گایل (۱۹۹۵، ۱۹۹۳) معتقد است مراحل تجمع کربنات ثانویه در بسیاری از خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک شاخص‌های عمده سن خاک هستند و مقدار کلی کربنات ثانویه در این خاکها دارای پتانسیلی به عنوان یک ابزار معتبر جهت تخمین سن واقعی خاکهای ویژه و زمین نماهای<sup>۵</sup> مربوطه می‌باشد. در این زمینه ترید-ول و مک‌فادن (۲۰۰۰) نیز اظهار

3. Nodule  
4. Concentration  
5. Landscape

1. Soil solum  
2. Marl

نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، مجموعاً موقعیت ۱۲ پروفیل تعیین و پس از حفر و تعیین خصوصیات مورفولوژیکی آنها (۲۱)، تعداد ۵۸ نمونه دست‌خورده و ۳۶ نمونه دست‌نخورده تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های دست‌خورده پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و بر روی آنها آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی به شرح زیر انجام پذیرفت: بافت خاک با روش هیدرومتری، تفکیک ذرات شن به روش غربال مرطوب، وزن مخصوص ظاهری به روش پارافین، درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشار، درصد رطوبت وزنی و درصد رطوبت اشباع به روش وزنی، کربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتری، اسیدپخته خاک در عصاره گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، کربن آلی به روش اکسایش تر، کاتیونها و آنیونهای محلول در عصاره گل اشباع ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و رس به روش باور (۱۹۵۲)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (۱۰).

جهت آماده‌سازی نمونه‌های دست‌نخورده برای مطالعات میکرومورفولوژیکی نیز، پس از خشکانیدن نمونه‌ها در هوای آزاد، نمونه‌ها با مخلوط استون و رزین پلی‌استر کریستیک با نسبت ۶۰ به ۴۰ با چهار قطره هاردنر و هشت قطره کاتالیست در دستگاه دسیکاتور خلأ تلقیح (۱۳) و در دمای آزمایشگاه خشک و سخت گردیدند و با استفاده از دستگاه برش و سایش و پودرهای کاربراندوم با درجات مختلف، مقاطع نازک با ضخامت حدود ۳۰-۲۵ میکرون جهت مطالعات میکروسکوپی تهیه گردیدند. مقاطع نازک با استفاده از میکروسکوپ پولاریزان Olympus مورد مطالعه قرار گرفته و بر اساس اصول و واژگان بولاک و همکاران (۱۹۸۵) و در مواردی بروئر (۱۹۶۴) تشریح و تفسیر شدند. در برخی از مقاطع آهک موجود در نمونه‌ها حذف گردید و میکروفابریک خاکها پس از حذف آهک مورد مطالعه قرار گرفت و نهایتاً از عوارض مورد نظر عکسبرداری به عمل آمد.

### نتایج و بحث

در این مطالعه ۱۲ پروفیل مورد مطالعه قرار گرفت که رده‌بندی آنها تا سطح فامیل در جدول ۱ ارائه شده است. جدول

داشته‌اند که افزایش ضخامت پوشش‌های کربناتی با زمان کاربرد آنها را در مطالعات زمان‌سنجی ممکن می‌سازد. همچنین بنا به اعتقاد شاتزل و همکاران (۱۹۹۶) در خاکهای خیلی تحول‌یافته مناطق خشک، کلاهکهای لایه‌لایه، کالیچ و کالکرت به‌عنوان مشخصه کربنات انتقال یافته به حساب می‌آیند. بدین جهت شناسایی و کمی نمودن دقیق این گونه عوارض بویژه در مواردی که عواملی در خاک تشخیص آنها را دچار ابهام و اشکال می‌کند، از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به مکانیسم شناخته شده و پذیرفته شده تجمع کربناتهای ثانویه که در بالا بدان اشاره شد، در برخی خاکها صرفاً وجود سنگریزه‌های آهکی هوادیده درجا می‌توانند عوارض ماکرومورفولوژیکی مشابهی نظیر آهک ایلویال (گره‌ها و سخت دانه‌ها) نشان دهند (۱۶). همچنین شناسایی این گونه عوارض در مواد مادری غنی از آهک همواره با اشکال مواجه است. از دیگر عواملی که در شناسایی چنین عوارضی در صحرا می‌تواند نقش داشته باشد، بافت خاک است. بطوریکه تشخیص این عوارض در خاکهای درشت بافت یا سنگریزه‌دار بسیار آسانتر و در مراحل اولیه قابل تشخیص است (۷).

بدین جهت تعیین مقادیر کمی و کیفی اینگونه عوارض در خاکهای آبرفتی شکل گرفته بر روی مواد مادری آهکی در غرب دریاچه ارومیه با استفاده از مطالعات دقیق میکروسکوپی، ضمن اندازه‌گیری مقادیر کمی اینگونه انباشتگی‌ها، اشکال مختلف بلورها نیز تشریح و ضمن مقایسه با یافته‌های دیگران و شرایط محتمل تشکیل، ارزیابی گردیده است.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در استان آذربایجان غربی در حد فاصل شهرهای ارومیه و محمدیار و در ضلع غربی دریاچه ارومیه انجام گرفت. برای بررسی وضعیت آب و هوایی منطقه از آمار هواشناسی ۲۲ ساله (۱۹۹۷-۱۹۷۵) نزدیکترین ایستگاه هواشناسی (ارومیه) استفاده گردید (۱). میانگین دمای سالانه طبق آمار ۲۲ ساله ۱۰/۸۳ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۴۵/۳۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. جهت تعیین رژیم‌های رطوبتی و حرارتی از آمار ایستگاه هواشناسی ارومیه و برنامه کامپیوتری نیوهال استفاده شد. رژیم رطوبتی این منطقه Dry Xeric و رژیم حرارتی Mesic تعیین گردیدند. در این مطالعه بر اساس

جدول ۱ - رده‌بندی خاکهای مورد مطالعه بر اساس سیستم رده‌بندی جامع آمریکایی تا حد فامیل خاک و عوارض کربناتی مشاهده شده در مطالعات صحرایی و در مقاطع نازک.

شماره پروفیل و رده بندی آن	افق	عمق (cm)	عوارض کربناته			
			میکرومورفولوژی		ماکرومورفولوژی	
			فرمهای میکرومورفیک	فراوانی (%)	فرمهای ماکرومورفیک	فراوانی (%)
1. Fine mixed active mesic Typic Calcixerepts	Ap	۰-۱۵	Nodules (Ty, Co) of calcite Coatings (Ty) of calcite	2 1	-	-
	Bw	۱۵-۵۶	Nodules (Ty, Co, Nu, Ge) of calcite Coatings (Ty) of calcite	3 1	-	-
	Bk	۵۶-۱۵۴	Nodules (Ty, Co, Nu, Ge) of calcite Hypocoatings (Ty) of calcite Coatings of Acicular calcite on peds and voids	5 2 1	رگه‌ها و توده‌های نرم	۱۰
2. Very fine mixed active mesic Typic Calcixerepts	AB	۲۷-۴۰	Nodules (Ty, Nu, Ge) of Micritic calcite Coatings (Ty) of Acicular and Micritic calcite	2 1	-	-
	Bk1	۴۰-۷۳	Nodules (Ty, Co, Nu, Ge) of calcite Coatings (Ty) of calcite	5 3	رگه‌ها، پوششها و توده‌های پودری نرم	۵
	Bk2	۷۳-۱۳۰	Nodules (Ty, Nu, Ge) of calcite Coatings (Ty) of Micritic calcite	10 3	توده‌های پودری نرم	۱۰
4. Fine mixed active mesic Fluventic Haploxerepts	Bw	۱۲-۱۰۴	Nodules (Ty, Ge, Nu) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite	2 1	-	-
	Bk1	۱۰۴-۱۵۶	Nodules (Ty, Ge, Nu) of calcite Coatings (Hypo, Pe, Ty) of calcite	10 2	توده‌های پودری نرم	۵-۱۰
	Bk2	۱۵۶-۲۳۸	Nodules (Ty, Co, Nu, Ge) of calcite Coatings (Hypo, Ty, Pe) of calcite	15 5	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	۱۵
5. Fine mixed active mesic Typic Calcixerepts	Bw	۱۲-۶۰	Nodules (Ty, Nu) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite Coatings of Acicular calcite	2 1 2	-	-
	Bk1	۶۰-۱۰۰	Nodules (Ty) of calcite Coatings (Hypo, Ty) of calcite Coatings of Acicular calcite	5 5 10	رگه‌ها، پوششها و توده‌های پودری نرم	۵-۱۰
	Bk2	۱۰۰-۱۶۰	Nodules (Ty, Ge, Nu) of calcite Coatings (Ty, Hypo) of calcite	15 3	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	۱۵
6. Fine mixed active mesic Typic Calcixerepts	Bw	۱۱-۵۵	Nodules (Ty, Nu) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite Coatings of Acicular calcite in voids	2 1 1	-	-
	Bk1	۵۵-۷۱	Nodules (Ty) of calcite Coatings (Ty, Pe) of Micritic and Acicular calcite Fillings of Acicular calcite in voids	5 3 2	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	۵-۱۰
	Bk2	۷۱-۱۴۶	Nodules (Ty, Nu) of calcite Coatings (Ty, Hypo, Pe) of calcite	10 2	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	۱۰
8. Fine mixed active mesic Typic Calcixerolls	AB	۱۰-۱۸	Nodules (Ty, Ge, Nu) of calcite Coatings (Ty) of calcite	2 1	-	-
	Bk1	۱۸-۹۴	Nodules (Ty, Ge, Nu) of calcite Coatings (Hypo, Ty) of Micritic calcite	7 2	توده‌های پودری نرم	۵
	Bk2	۹۴-۱۱۷	Nodules (Ty, Ge) of calcite Coatings (Hypo, Ty) of Micritic calcite	10 2	توده‌های پودری نرم	۱۵-۲۰
	Bk3	۱۱۷-۱۸۲	Nodules (Ty, Ge) of calcite Coatings (Hypo, Ty) of Micritic calcite	20 5	توده‌های پودری نرم	>۲۰
9. Fine montmorillonitic active mesic Typic Haploxeralfs	Ap	۰-۲۵	Nodules (Ty) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite on grains	2 2	-	-
	Btk1	۲۵-۷۶	Nodules (Ty) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite on grains	15 2	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	۱۰
	Btk2	۷۶-۹۳	Nodules (Ty) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite on grains	50 5	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	۲۰

## ادامه جدول ۱

10. Coarse silty superactive mesic Typic Haploxerepts	Ap	۰-۳۱	Nodules (Ty, Nu, Ge) of calcite Coatings (Ty, Pe) of calcite on grains	1 1	-	-
	Bw	۳۱-۱۴۰	Nodules (Ty) of calcite Coatings (Ty) of calcite	2 2	-	-
11. Fine mixed superactive mesic Inceptic Haploxeralfs	Bk	۲۳-۶۸	Nodules (Ty, Ge) of calcite Coatings (Ty) of calcite	2 1	رگه‌ها و توده‌های پودری نرم	<۵
	Btk1	۶۸-۱۲۳	Nodules (Ty, Ho, Ge) of calcite Coatings (Ty) of Acicular calcite	2 1	توده‌های پودری نرم	<۵
	Btk2	۱۲۳-۱۴۷	Nodules (Ty, Ho) of calcite Coatings (Ty, Hypo, Pe) of micritic calcit on grains Coatings (Ty) of Acicular calcite	10 2 1	توده‌های پودری نرم و پندانته‌ها	۱۰

Remarks: Co: Concentric, Hypo: Hypocoating, Ge: Geodic, Nu: Nucleic, Pe: Pendant, Ty: Typic

مشاهده هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ماتریکس پروفیل‌های خاکهایی که از آنها مقاطع نازک تهیه شده بود (به استثنای پروفیل شماره ۱۰ و ۶) فابریک K مشاهده گردید. در فابریک K کربنات اتوزن ریزدانه بصورت یک محیط پیوسته می‌باشد. فابریک K سنگریزه‌های اسکلتی و ذرات شن و سیلت را پوشانده و یا اینکه در فواصل ذرات مذکور قرار گرفته و آنها را سیمانی می‌نماید.

فابریک K که توسط گایل و همکاران (۱۹۶۵) ارائه شده است، توسط محققین قبل و بعد از ایشان، با عبارات مختلفی بیان شده است. بروئر (۱۹۶۴) نام این فابریک را فابریک پلاسمایی کریستیک<sup>۳</sup> گذاشته است و معتقد است در این فابریک پلاسم معمولاً انیزوتروپ و شامل کریستالهای قابل تشخیص می‌باشد که عمدتاً از اجزای محلول پلاسم بویژه کربناتها تشکیل شده‌اند. بولاک و همکاران (۱۹۸۵) این فابریک را کریستالیتیک بی- فابریک<sup>۴</sup> نام نهاده‌اند و معتقدند این فابریک ناشی از حضور کریستالهای بی‌رفرنژانس<sup>۵</sup> و بسیار ریز کلیست هستند که سبب ایجاد رنگهای تداخلی<sup>۶</sup> در جزء نرم (ریز) خاک می‌شوند. کریستالیتیک بی فابریک عموماً در خاکهایی دیده می‌شود که از مخلوط رس و کلسایت میکروکریستالین تشکیل شده‌اند. مالدرز نیز فابریک کلسی‌سپیک<sup>۷</sup> را جهت تشریح مواد متشکل از رس و کلسایت

۱ عوارض کربناتی مشاهده شده در مطالعات صحرائی و میکرومورفولوژیکی را نیز نشان می‌دهد. در بررسی‌های صحرائی، فرمهای ماکرومورفیک تجمعات کربنات کلسیم ثانویه در تمامی پروفیلها به غیر از پروفیلهای شماره ۷، ۱۰ و ۱۲ شناسایی گردیدند. در مطالعات میکروسکوپی نیز این تجمعات در مقاطع نازک تهیه شده از تمام پروفیلها مشاهده شدند. در پروفیل شماره ۱۰ علیرغم عدم مشاهده تجمعات کربنات در صحرا، تجمعات مذکور در مقاطع نازک تهیه شده از این پروفیل شناسایی شدند، ولی فراوانی آنها کمتر از حد پنج درصد مورد نیاز جهت احراز شرایط افق کلسیک بود و در نتیجه این پروفیل بدون افق کلسیک در نظر گرفته شد.

غالباً کربناتهای ثانویه در ابعاد و بلورهای ریز مایکرایتی به صورت پخشیده<sup>۱</sup> در زمینه خاک و یا به صورت تجمع یافته<sup>۲</sup> به اشکال مختلف در خاکها دیده می‌شوند و در صورتیکه به فرم پخشیده باشند در مراحل اولیه تجمع به راحتی قابل تشخیص نمی‌باشند. ولی هنگامیکه میزان آن به حد قابل توجه زیاد باشد، رنگ زمینه خاک را بطور محسوسی روشن می‌نماید که از افقهای روبین و زیرین قابل تفکیک می‌باشد. در این صورت بخش اعظم زمینه خاک و خلل و فرج از بلورهای ریز مایکرایتی کلسیت تشکیل گردیده است که اصطلاحاً به فابریک K گایل و همکاران (۱۹۶۵) معروف می‌باشد.

در مشاهدات میکروسکوپی میکروفابریک خاکها و تجمعات کربنات کلسیم در ابعادی کوچکتر از آنچه که در صحرا قابل

3. Crystic plasmic fabric  
4. Crystalitic b-fabric  
5. Briefrengence  
6. Interference color  
7. Clacisepic fabric

1. Dessiminated  
2. Segregated



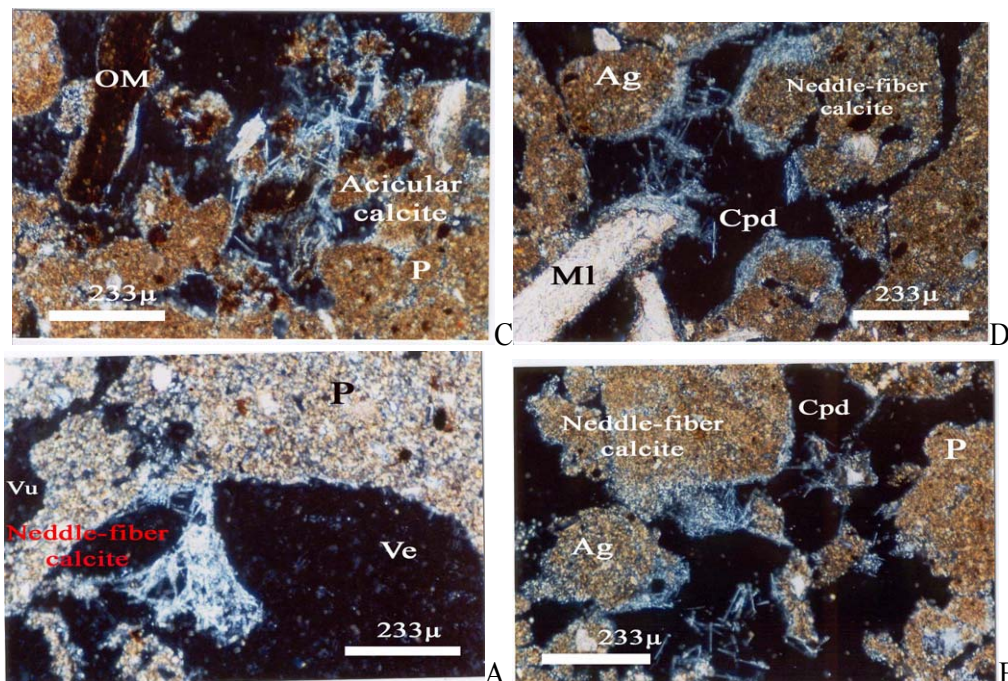
طبق مشاهدات میکرومورفیک عوارض ناشی از تجمعات کربنات کلسیم ثانویه و همچنین عوارض ناشی از تخلیه کربنات در خاکهای این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

-

شکل ۱ نمونه‌های بارزی از اینگونه تجمعات را در این خاکها نشان می‌دهد. این فرم کلسایت بارزترین فرم کربنات در قسمتهای فوقانی افقهای کلسیک پروفیل‌های شماره ۲، ۵، ۶ و ۱۱ (جدول ۱) می‌باشد. این نوع کلسایت عمدتاً در داخل منافذ درشت تشکیل می‌یابد. تجمعات کلسایت سوزنی شکل بصورت پوششها و هایپوکوتینگهایی در سطوح منافذ درشت، خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی حضور دارند و در برخی موارد فضای منافذ را کاملاً پر کرده‌اند. این تجمعات همان پوششها و رگه‌های مشاهده شده در بررسی‌های صحرایی هستند (پروفیل‌های ۱، ۲، ۵ و ۱۱ جدول ۱).

ریز بکار برده است (نقل از منبع شماره ۵). سابکی و ویلدینگ (۱۹۸۲) نیز در خاکهای تگزاس فابریک K را گزارش نموده‌اند. کربناتهای مشاهده شده در عوارض پدولوژیکی و اس ماتریکس<sup>۱</sup> این خاکها بصورت مایکریتی با کریستالهای  $< 5 \mu\text{m}$  حضور دارند. در افقهای کلسیک تحتانی (Bk2 و Bk3) فابریک کربناتها متنوع‌تر می‌شود و بطور کلی اندازه کریستالهای کربنات در اس ماتریکس و عوارض پدولوژیکی افزایش می‌یابد و عمدتاً بصورت مایکرواسپارایت<sup>۲</sup> ( $4-50 \mu\text{m}$ ) بروز می‌نماید. فابریک k مایکریتی و متراکم افقهای کلسیک فوقانی (Bk1) شرایط مناسب برای ترسیب سریع کربنات نظیر خشکی مکرر، خروج سریع  $\text{CO}_2$  از محلول خاک و یا هر دو را نشان می‌دهد. تغییر مورفولوژی کربنات با عمق که منجر به بروز کریستالهای بزرگ می‌گردد، بیانگر ترسیب آهسته‌تر از محلولهای رقیق می‌باشد.

1. S-matrix
2. Microsparite



شکل ۱- کلسایت سوزنی شکل فرم MA در داخل حفرات، سطوح خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی.

(A) خوشه‌ای از کلسایت سوزنی شکل در داخل یک وزیکول. تصویر مربوط به افق Bk<sub>1</sub> از یک خاک Typic Calcixercepts (پروفیل ۶). (B) کلسایت سوزنی شکل در داخل منافذ و سطوح خاکدانه‌ها. تصویر مربوط به افق Bk<sub>1</sub> از یک خاک Typic Calcixercepts (پروفیل ۲). (C) کلسایت سوزنی شکل در حضور ماده آلی. تصویر مربوط به افق Bk<sub>1</sub> از یک خاک Typic Calcixercepts (۲). (D) کلسایت سوزنی شکل در داخل منافذ، سطوح خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی. تصویر مربوط به افق Bk<sub>1</sub> از یک خاک Typic Calcixercepts (پروفیل ۲).  
 OM: Plasma, Li: Lithorelict, Ag: Aggregate, Cpd: Compound packing void, Vu: Vugh, Ve: Vesicle. نور مورد استفاده، نور پولاریزه متقاطع (XPL) می‌باشد.

شده است. این افراد نیز معتقدند کلسایت سوزنی شکل همان رگه‌ها و میسیلیومهای مشاهده شده در صحرا هستند. به هر حال با توجه به وجود آثار مواد آلی تجزیه و تخریب یافته در درون تعداد زیادی از حفرات حاوی کلسایت سوزنی شکل (شکل ۱-C)، احتمالاً آهکی شدن ریشه‌ها و مواد آلی عامل اصلی تشکیل این نوع میکروفابریک در این خاکها می‌باشد.

-

شکل ۲، انواع پوششهای کربنات کلسیم میکرایتی را بر روی سطوح ذرات اسکلتی و خاکدانه‌ها و منافذ خاک نشان می‌دهد. ضخامت این پوششها از سطح خاک به عمق افزایش منظمی نشان می‌دهد. این پوششها در سطح ذرات اسکلتی بیشترین ضخامت را داشته و ضخامت آنها به  $650 \mu\text{m}$  می‌رسد. ضخامت این پوششها در داخل حفرات خاک  $325 \mu\text{m}$  و در روی سطوح خاکدانه‌ها به  $170 \mu\text{m}$  می‌رسد.

پوششهای کربنات کلسیم از متداولترین عوارض پدولوژیکی گزارش شده در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک هستند و بصورت عوارض ناشی از غلیظ شدن اجزای محلول پلاسما در روی سطوح ذرات اسکلتی، خاکدانه‌ها و همچنین دیواره‌های منافذ تشکیل می‌شوند. در واقع این مکانها نقاطی هستند که بیشترین نوتریتی<sup>۱</sup> پلاسما در آنها صورت می‌گیرد.

گروهی از این پوششها، پوششهای کلسایت میکرایتی هستند که در سطوح منافذ خاک تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد غلیظ شدن و تبخیر آب محتوی کربناتها در منافذ خاک، سبب رسوب کربناتها در سطوح منافذ و تشکیل این تجمعات گردیده است (شکل ۲-C).

پوششهای کربنات روی سطوح ذرات اسکلتی که در اینجا مورد بررسی قرار گرفتند خود سه دسته‌اند. یک دسته به صورت پوسته نازکی تمام سطوح ذرات را احاطه می‌کنند. این پوششها تک‌لایه‌ای هستند و متشکل از کلسایت میکرایتی می‌باشند (شکل ۲-B). بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) این پوششها را حواشی

احتمالاً این نوع تجمعات در اثر تجزیه مواد آلی موجود در منافذ و بر جای ماندن ترکیبات کلسیمی موجود در دیواره اسکلتی سلولهای گیاهی (پکتات و اکتات کلسیم) بوجود آمده‌اند و به تعبیری فراوانی آنها در قسمتهای فوقانی افقهای کلسیک که از نظر میزان مواد آلی و ریشه‌ها غنی تر می‌باشد نیز به این مسئله مربوط است.

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 تعدادی فیبرهای کلسایتی تشکیل شده‌اند. میانگین طول سوزنهای فرم MA ۱۵-۲۰ میکرون و قطر آنها کمتر از یک میکرون (بطور میانگین  $0.05$  میکرون) می‌باشد. در نمونه‌های خاکهای مورد مطالعه بلورهای کلسایت سوزنی شکل در مجاورت همدیگر بصورت شبکه‌ای با آرایش تصادفی مشاهده شدند که بخش اعظم شبکه مذکور را سوزنهای فرم MA تشکیل داده‌اند. 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 کلسایت را فراهم می‌کند. رایت (۱۹۹۰) نیز بر وجود میکرواستراکچر نوع بتا (عوارض بیوژنیکی کربنات) بویژه در مواد مادری آهکی تاکید نموده است. رابن‌هارست و ویل‌دینگ (۱۹۹۰) در خاکهای تگزاس که کم و بیش دارای شرایطی مشابه خاکهای مطالعه شده اخیر می‌باشند، فرمهای کلسایت سوزنی شکل را گزارش کرده و اظهار داشته‌اند که گذشت زمان و فشارهای ناشی از رشد کریستال سبب تبدیل سوزنها به میکرایت می‌شود. آنان همچنین اظهار می‌دارند بلورهای کلسایت سوزنی شکل در منافذ رشد یافته و بصورت ترجیحی توجیه می‌شوند. در خاکهای مطالعه شده این تحقیق نیز این موارد مشاهده می‌شوند. در تگزاس موارد اخیر توسط وست و همکاران (۱۹۸۸) نیز گزارش

اظهار نموده‌اند که قطر این پوسته‌ها در زیر سنگریزه‌های آهکی بیشتر است. چنین روندی در خاکهای مورد مطالعه نیز مشاهده گردید. احتمالاً دلیل این امر انحلال آهک در قسمت‌های فوقانی سنگریزه‌های آهکی و رسوب آن در قسمت زیرین این سنگریزه‌ها می‌باشد.

-

فرم سوم تجمعات کربنات کلسیم نودولها می‌باشند که از کلسایت میکرایتی یا میکرواسپارایتی و در برخی موارد از اسپارایت ( $>50 \mu m$ ) تشکیل شده‌اند. قطر نودولهای مشاهده شده بین چهار میکرون تا  $7/1$  میلی‌متر متغیر بوده و قطر و فراوانی آنها با عمق افزایش نشان می‌دهد. انواع مختلف نودولهای شناسایی شده در خاکهای مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشند:

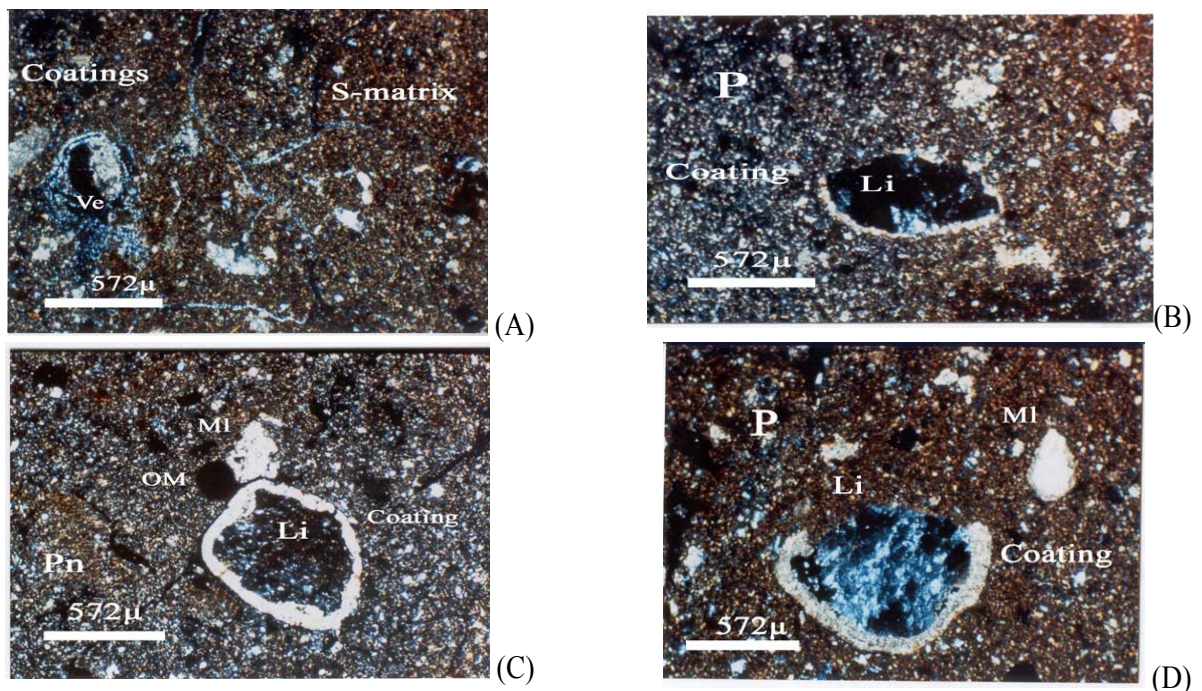
#### (Typic Nodules : شکل‌های ۳-A و ۳-B نودولهای

تیپیک را نشان می‌دهند. این نودولها به صورت توده‌های سه بعدی کم و بیش برآمده و کروی با ابعاد یکسان یا کشیده هستند. دارای مرز پخشیده بوده و فابریک داخلی آنها مشابه ماتریکس خاک می‌باشد. این فرم در اقله‌های  $Bk_2$  و  $Bk_3$  (جدول ۱) خاکهای مطالعه شده غالبترین فرم تجمع کربنات می‌باشد. نودولهای تیپیک خود به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول نودولهای تیپیک پدوژنیک که در اثر فرایندهای خاکسازی و به صورت درجا تشکیل شده‌اند و به واسطه داشتن مرز پخشیده و فابریک مشابه با ماتریکس خاک شناسایی می‌شوند. دسته دیگر نودولهای تیپیک موروثی هستند. این نودولها دارای مرز ناگهانی بوده و فابریک داخلی آنها با فابریک مواد خاکی در برگیرنده آنها متفاوت است. با توجه به شباهت مواد داخلی این نودولها با مواد اقله‌های رویین و یا زیرین ممکن است از این اقله‌ها منتقل شده باشند یا اینکه در همان محل تشکیل شده‌اند ولی به دلیل به هم خوردگی خاک از طریق عملیات شخم و کشت و کار یا فعالیتهای جانوران خاکزی از محل اصلی خود جدا شده و در داخل ماتریکس خاک قرار گرفته‌اند. به نظر می‌رسد نودولهای تیپیک غالباً همان توده‌های پودری مشاهده شده در صحرا هستند.

کربناته<sup>۱</sup> نامیده‌اند. آنان به نقل از کاهل (۱۹۷۷) احتمال داده‌اند که این پوششها تحت فرایندهایی نظیر انحلال و افزایش ابعاد بلورهای کربناته<sup>۲</sup> بوجود آمده‌اند. دسته دوم بصورت پوسته‌های دو یا چند لایه‌ای هستند که همانند دسته اول تمام سطح ذرات، بویژه قطعات سنگ آهک را احاطه می‌کنند و متشکل از کلسایت میکرواسپارایتی می‌باشند (شکل ۲-C). احتمالاً این پوششها در ارتباط با پوششهای نوع اول و افزایش تدریجی اندازه بلورها و همچنین رسوبگذاری و کریستالیزاسیون متوالی از محلولهای رقیق تشکیل شده‌اند. تردول و مک‌فادن (۲۰۰۰) اعتقاد دارند پوششهای کامل کربنات در جایی تشکیل می‌شوند که هدایت هیدرولیکی خاک به دلیل وجود مقادیر فراوان مواد ریز کاهش می‌یابد. نهایتاً دسته سوم 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 ۲-D). بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) واژه پوسته کربناته (Calcium Carbonate coats) را برای این عوارض پیشنهاد کرده‌اند. این فرم تجمع کربنات متشکل از کلسایت میکرایتی و میکرواسپارایتی می‌باشد. سطوح زیرین این پوششها صاف تا موجدار، فرو رفته و در برخی موارد لایه لایه (Laminated) می‌باشد. به طور کلی به نظر می‌رسد که آهک در اقله‌های فوقانی توسط آبهای نفوذی انحلال یافته و آب محتوی کربنات کلسیم در اثر تماس با قطعات سنگی به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی متوقف شده و به تدریج با افزایش غلظت کربناتها تا مقادیر بیش از حاصلضرب حلالیت کربنات کلسیم، رسوب آهک در این مکانها صورت می‌گیرد. وجود مکانهای تخلیه شده از کلسایت در قسمت‌های فوقانی خاکها نیز مؤید این مطلب می‌باشد. تردول و مک‌فادن (۲۰۰۰) با مطالعه خاکهای نیومکزیکو که تقریباً مشابه خاکهای مورد نظر در این تحقیق هستند، اظهار داشته‌اند که ضخامت این پوششها با افزایش قطر ذرات اسکلتی افزایش می‌یابد. ایشان همچنین

1. Calcium carbonate rinds
2. Sparmicritization





شکل ۲ - پوشش‌های کربنات کلسیم مایکرایتی در سطوح منافذ و ذرات اسکلتی.

(A) پوشش‌های کلسایت مایکرایتی در سطوح منافذ خاک. تصویر مربوط به افق Bw از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴). (B) پوشش‌های کلسایت مایکرایتی در سطح یک ذره اسکلتی. تصویر مربوط به افق Bw از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴). (C) پوشش‌های کلسایت مایکرایتی در سطح یک ذره اسکلتی. تصویر مربوط به افق Bk<sub>2</sub> از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴). (D) پوشش‌های کلسایت مایکرایتی در زیر یک ذره اسکلتی. تصویر مربوط به افق Bw از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴).  
 Vesicle :Ve و Plannar void :Pn و Micritic limestone :MI, Organic matter :OM Lithorelict :Li, Plasma :P. نور مورد استفاده، نور پولاریزه متقاطع (XPL) می‌باشد.

-

شکل ۴ تجمعات کربنات‌ها به فرم پندانت یا قندیل‌ها را نشان می‌دهد. اینگونه قندیل‌های آهکی بصورت توده‌های برآمده و شبه استالاکتیتی هستند که یا از پوشش‌های کربناتی (Calcium carbonate coats) سرچشمه می‌گیرند یا اینکه مستقیماً در زیر قطعات درشت تشکیل می‌شوند. قندیل‌ها جایی تشکیل می‌شوند که جریان رو به پایین آب حاوی کربنات در اثر تماس با ماتریکس خاک محدود نمی‌شود. ضخامت پندانت‌ها در خاکهای مورد بررسی در محدوده ۷۲۵ میکرون تا ۱۳/۶۱ میلی متر متغیر می‌باشد. این عوارض بصورت لایه‌لایه بوده و از کلسایت مایکرایتی و میکرواسپارایتی و در برخی نقاط از کلسایت اسپارایتی تشکیل شده‌اند. در زیر قندیل‌ها فضاهای خالی ناشی از پوسیدگی ریشه‌ها یا فعالیت جانوران خاکزی مشاهده می‌شود. بلانک و فاسبرگ (۱۹۹۰) وجود این فضاهای

### ( Nucleic Nodules )

این نودول‌ها مشابه فرم قبلی هستند ولی برخلاف آن دارای یک هسته مرکزی سفت و سخت می‌باشند. ظاهراً این فرم یک نودول است که در اطراف یک نودول دیگر و محاط بر آن تشکیل شده است. و یا در اثر هوازگی در جای قطعات سنگ آهک و کریستالیزاسیون مجدد قسمتهای هوادیده تشکیل شده است. در صحرا احتمال اشتباه این نودول‌ها با نودول‌هایی که در اثر آبشویی و تجمع تشکیل یافته‌اند، بسیار زیاد می‌باشد (شکل ۳- C و جدول ۱).

### ( Geodic Nodules )

این نوع نودول نیز مشابه فرم اولی می‌باشد. ولی برخلاف آن قسمت مرکزی این عارضه توخالی است که به احتمال قوی در اثر سخت و سیمانی شدن کالکانهای حاشیه حفرات کوچک ایجاد گردیده است (شکل ۳- D و جدول ۱).

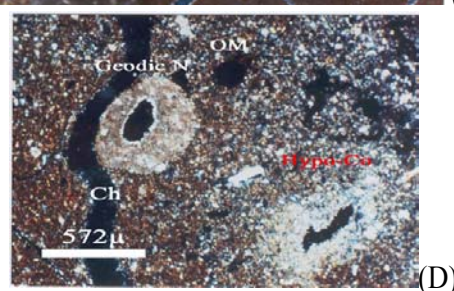
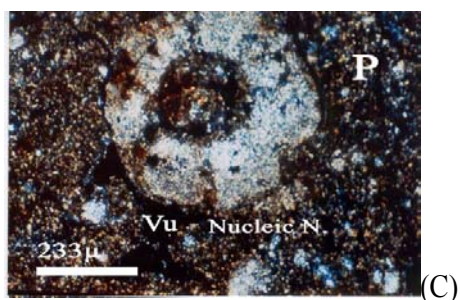
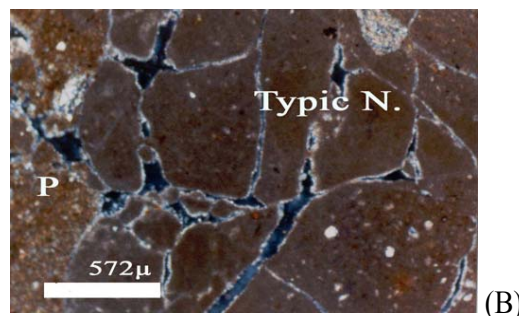
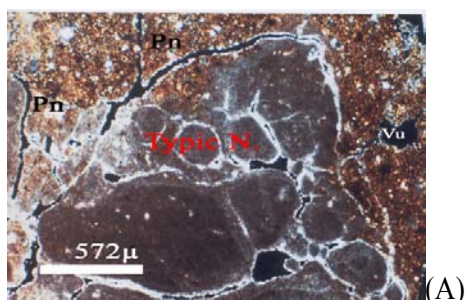
نودولهای مایکرایتی متراکم و تیره رنگ می‌باشند. پندانت‌های مذکور دارای یک لایه منفرد بوده‌اند.

-

پنجمین فرم تجمع کربنات کلسیم ثانویه در خاکهای مورد مطالعه، هایپوکوتینگهای کربناتی می‌باشند. پرشدگی ماتریکس خاک موجود در حاشیه منافذ توسط کربنات، در مقاطع نازک تهیه شده از اغلب افقهای کلسیک، مشاهده شد. ضخامت این نواحی تلقیح شده با کربنات در افقها و پروفیل‌های مختلف در محدوده  $0.025-0.325 \mu\text{m}$  متغیر است. این عوارض بیشتر در حاشیه منافذ کروی (وزیکولها) و حفرات کشیده (کانال‌ها و پلانرها) تشکیل شده‌اند. مشاهدات میکروسکوپی مقاطع نازک نشان می‌دهند که این نواحی تلقیح یافته با کربنات، از کریستالهای کلسایت مایکرایتی تشکیل شده‌اند.

خالی را برای رسوب نامحدود کربنات کلسیم جهت تحول قندیلها لازم دانسته است. به نظر می‌رسد که این فضاهای خالی سطح مورد نیاز ( فضای مورد نیاز ) برای تبخیر سریع و در نتیجه رسوب کربنات و تحول پندانتها را فراهم می‌کند.

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 اثر انحلال کربنات کلسیم در داخل خاک و حرکت آن در اطراف و کناره‌های قطعات درشت، در قسمت تحتانی آنها بوجود می‌آیند. هنگامیکه محلول خاک حاوی کربنات به دلیل مواجه شدن با افق سنگ بستر غیر متخلخل متوقف می‌شود، تبخیر صورت گرفته و تدریجاً کربنات در زیر ذرات درشت رسوب می‌کند. آنان همچنین مقاطع نازک افقی از پندانتها تهیه کرده و مشاهده نمودند که قسمت داخلی پندانت‌های مورد مطالعه متشکل از



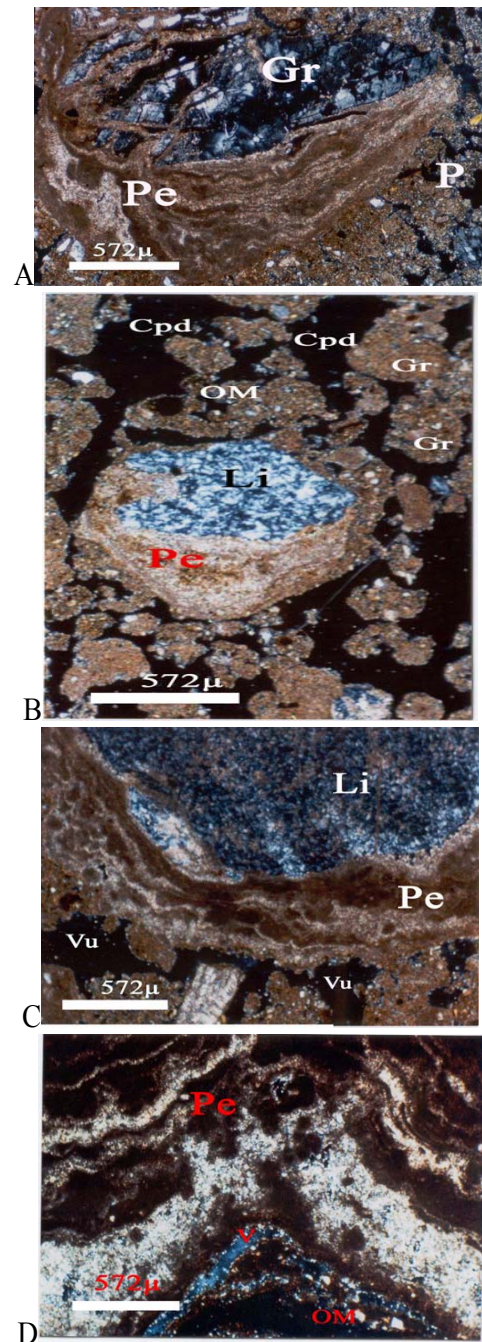
شکل ۳- انواع نودول‌های کربنات کلسیم.

(A) یک نودول تیپیک (Typic Nodule) کربنات کلسیم، مربوط به افق  $Bk_1$  از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴). (B) یک نودول تیپیک کربنات کلسیم، مربوط به افق  $Bk_3$  از یک خاک Typic Calcixerolls (پروفیل ۸). در شکل (C) در مرکز تصویر یک نودول نوکلئیک (Nucleic Nodule) دیده می‌شود. تصویر مربوط به افق  $Bw$  از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴). در شکل (D) در قسمت مرکز تصویر یک نودول ژئودیک (Geodic Nodule) و در قسمت پایین سمت راست یک هایپوکوتینگ (Hypocoating) کلسایتی قرار دارد. تصویر مربوط به افق  $Bk_2$  از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل ۴).

P: Plasma, Pn: Plannar void, Vu: Vugh, Ve: Vesicle و OM: Organic matter



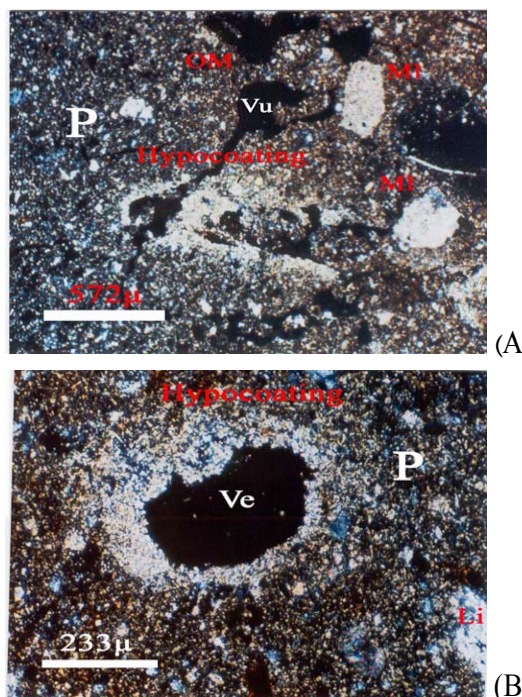
طبق اظهارات ویدر و یالون (۱۹۸۲) هایپوکوتینگها نتیجه رسوب سریع کربنات از محلول خاک هستند که این امر به دلیل خشک شدن و مکش آب در اثر فعالیتهای متابولیکی ریشه به وقوع می‌پیوندد. این فرضیه بر این اساس مطرح شده است که هایپوکوتینگها به وفور در ارتباط با بقایای ریشه مشاهده شده‌اند. بروئر (۱۹۶۴) دو فرضیه برای تشکیل هایپوکوتینگهای کربنات کلسیم پیشنهاد کرده است. یکی اینکه هایپوکوتینگها در نتیجه تبخیر محلول غنی از کربنات کلسیم موجود در ماتریکس خاک حاصل می‌شوند و دیگر اینکه در نتیجه رسوب از محلول خاک که در امتداد منافذ به خاک نفوذ می‌کند یا وارد ماتریکس خاک می‌شود، بوجود می‌آیند. بکزدیک و همکاران (۱۹۹۷) اظهار می‌دارند که فرضیه دوم بروئر توسط محققان دیگر نیز پیشنهاد شده است. تامپسون و همکاران (۱۹۹۱) هایپوکوتینگهای میکرایتی موجود در دیواره‌های منافذ را نتیجه چندین چرخه خشکی و رطوبی می‌دانند. بکزدیک و همکاران (۱۹۹۷) هایپوکوتینگها را در حضور کلسایت سوزنی شکل گزارش کرده و نقش پوشش گیاهی را در تشکیل این عوارض موثر و مهم دانسته‌اند. زیرا بنا به یافته‌های این افراد کلسایت سوزنی شکل به کربناتی شدن رشته های قارچی که مصرف کننده مواد آلی هستند، نسبت داده می‌شود. این محققان به نقل از دانشمندان مختلف، هایپوکوتینگهای کربنات کلسیم را در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک و در نواحی که سطح ایستابی آب زیرزمینی نوسان دارد و همچنین در نقاط مختلف دنیا از قبیل آرژانتین، چین، کانادا و هلند گزارش کرده‌اند. در کل با توجه به مطالب ذکر شده و با توجه به اینکه هایپوکوتینگهای مشاهده شده در خاکهای مورد مطالعه اخیر هم در منافذ حاوی بقایای مواد آلی و هم در مجاورت تجمعات کلسایت سوزنی شکل مشاهده گردیده‌اند، احتمالاً پیدایش قسمتی از این عوارض به پوشش گیاهی و فعالیتهای ریشه مربوط است. علاوه بر این برخی از هایپوکوتینگها در این خاکها در حاشیه منافذ عاری از مواد آلی و کلسایت سوزنی و همچنین در ماتریکس خاک مشاهده گردیدند و به نظر می‌رسد فرضیه دوم بروئر در پیدایش این گروه از هایپوکوتینگها موثر بوده است.



شکل ۴: پندانه‌های کربنات کلسیم.

شکل (A) مربوط به افق Ap از یک خاک Typic Haploxeralfs (پروفیل ۹) می‌باشد. شکل‌های (B) و (C) مربوط به افق Ap از یک خاک Typic Haploxerepts (پروفیل ۱۰) می‌باشند. شکل (D) مربوط به افق Bw از یک خاک Typic Clcixerepts (پروفیل ۶) می‌باشد. نور مورد استفاده، نور پولاریزه متقاطع (XPL) می‌باشد.  
Gr :Granite .Li :Lithorelict .P :Plasma .Pe :Pendant .  
OM :Organic matter .Vu :Vugh .Cpd :Compound packing void  
و V :Void.

آلی بالاست و در درون خلل و فرج که اکسیداسیون و تجزیه و تخریب ماده آلی به سهولت انجام می پذیرد مشاهده گردیده است. حضور توأم ماده آلی با اینگونه بلورها همانگونه که محققین دیگر نیز تفسیر نموده اند، می تواند دلیلی بر بیومینرالیزاسیون ماده آلی و تشکیل کلسایت سوزنی شکل باشد. وجود پوسته های آهکی تک لایه که احتمالاً در اثر تغلیظ محلول خاک به سبب تبخیر ایجاد گردیده است نیز غالباً در افق های سطحی و یا در خاکهای با تحول پروفیلی کم مشاهده گردیده است که به هرحال با افزایش عمق خاک و تحول بیشتر خاک، علاوه بر افزایش ضخامت اینگونه پوسته ها، با پر شدن تدریجی منافذ خاک، نودولهای تیبیک مهمترین عوارض کربناته را تشکیل می دهند. به طوریکه میزان اینگونه نودولها در تحول یافته ترین خاکهای منطقه ( پدونهای ۸ و ۹ به ترتیب Calcic Haploxerepts و Typic Calcixerolls) به میزان ۵۰ و ۲۰ درصد می رسد. در حالیکه در سایر خاکها مقدار این نوع کربنات از حد اکثر ۱۰ تا ۱۵ درصد تجاوز نمی کند. افزایش نودولهای کربناته با عمق در اغلب خاکها علائم تجمع کربناتها را نشان می دهد که مقدار آن از سطح به عمق در پروفیلهای مختلف بین ۲ درصد در سطح تا ۵-۵۰ درصد در اعماق خاک بر حسب درجه تحول پروفیلی نوسان دارد.



شکل ۵- هایپوکوتینگهای کربنات کلسیم.

شکلهای (A) و (B) هایپوکوتینگهای تجمع کلسایت در افق Bw از یک خاک Fluventic Haploxerepts (پروفیل شماره ۴) را نشان می دهند. نور مورد استفاده، نور پولاریزه متقاطع (XPL) می باشد.

OM: Organic matter, P: Plasma, MI: Micritic limestone, Ve: Vesicle, Vu: Vugh و V: Void.

آهک سوزنی شکل غالباً در افق های سطحی که عمدتاً ماده

## REFERENCES

## منابع مورد استفاده

- مدیریت خدمات ماشینی و کامپیوتر در هواشناسی (۱۹۹۷-۱۹۷۵). سالنامه آماری هواشناسی. انتشارات سازمان هواشناسی کشور.
- Becze- Deace, J., R. Langohr & E.P. Verrecchia. 1997. Small scale secondary CaCO<sub>3</sub> accumulations in selected sections of European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction., Geoderma vol. 76: 221- 252.
- 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) Soil micromorphology: A basic and applied science. Developments in soil science 19. Elsevier.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Willy and Sons. Inc.
- Bullock, P. N. Federoff, A. Johngerus. G. Stoops, T. Tursina & V. Babel. 1985. Hand book for thin section description. 1<sup>st</sup> Published. WAINE Research Publications.
- 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.
- 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

8. Gile. L. H. 1993. Carbonate stages in sandy soils of Leasburge surface. Southern New Mexico. Soil Science. Vol. 156. No.2.
9. Gile. L. H. 1995. Pedogenic carbonate in soils of Issacks Ranch surface, Southern New Mexico. Soil. Sci. Soc. Am. J. Vol. 59: 501-508.
10. Klute, A. (ed). 1986. Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> (ed). Nnumber 9 ( part I) in the series AGRONOMY. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wiscansian USA.
11. Kubiena. W. L. 1938. Micropedology. Collegiate press. INC. Ames. Iowa.
12. 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.
13. Morphy. C. P. 1986. Thin section preparation of soils and sediments. A.B. Academic publishers.
14. 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.
15. Ransom. M. D & O. W. Bidwell. 1990 . Clay movement and carbonate accumulation in Ustolls of central Kansas. In: Douglas(ed). Soil Micromorphology: A basic and applied science. Developments in soil science 19. Elsevier.
16. Schaet – zl Randall J. William G. Frederic & L. Tornes. 1996. Secondary carbonates in three fine and fine-loamy Alfisols in Michigan. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 60.
17. Sobecki T.M. & L. P. Wilding 1983. Formation of calcic and argillic horizons in sleeted soils of Texas coast prairie. Soil Sci Soc. Am. J. Vol. 47.
18. Sobecki. T. M. & L.P. Wilding. 1982. Calcic horizons distribution and soil classification in selected soils of Texas coast prairie. Soil. Scil Soc. Am. J. vol. 46.
19. Thompson, T. L., L. R. Hossner & L. P. Wilding. 1991. Micromorphology of calcium carbonate in bauxite processing waste. Geoderma, 48: 31-42.
20. Treadwell – Steitz. C. & L. D. McFadden. 2000. Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravelly soils. Palo Duro Wash, New Mexico. Geoderma. Vol. 94:1-22.
21. USDA, NRCS. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2<sup>nd</sup> ed. USDA. SCS. Agrc. U.S. Gov. Print Office. Washington. D. C.
22. Wider, M. & D. H. Yaalon. 1982. Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. Geoderma. 28: 203-220.
23. Wright. V. P. 1990. A micromorphological classification of fossil and recent calcic and petrocalcic microstructures In: Douglas(ed). Soil Micromorphology: A basic and applied science. Developments in Soil Science 19. Elsevier.