



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

شرایط زیست‌اقليمی و نقش آن در تشکیل کربن غیر آلی در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی بازالت

علیرضا راهب^۱، *احمد حیدری^۲ و شهلا محمودی^۳

^۱دانشجوی دکتری تخصصی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، آدانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران،

^۲استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۹

چکیده

سابقه و هدف: بررسی مقدار کربن خاک اعم از کربن آلی و کربن غیر آلی (کربنات‌ها)، لازمه مدیریت مناسب کربن خاک در مقیاس جهانی است. تعادل میان بخش‌های مختلف منابع کربن از نظر محیط زیست و کیفیت خاک بسیار دارای اهمیت است. با توجه به این که بخش عمده‌ای از ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک فرا گرفته است، منبع کربن غیر آلی خاک می‌تواند در فهم بهتر مباحث علوم خاک بسیار مهم و تأثیرگذار باشد. کربنات‌ها از کانی‌های فراوان در پوسته زمین هستند و تقریباً چهار درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهند. اهمیت کربنات‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای درک پویایی روابط حاکم بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ضروری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ویژگی‌های ماکرومورفولوژیکی و میکرومورفولوژیکی و تشکیل کربنات‌ها بر روی سنگ بستر بازالتی فاقد کربنات تحت شرایط زیست‌اقليمی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات مورفولوژیکی کربنات‌ها در هشت خاکرخ واقع در سه منطقه زیست‌اقليمی خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب شمال غرب ایران تشریح و سپس خصوصیات میکرومورفولوژیکی در ۲۱ مقطع نازک مطالعه شد.

یافته‌ها: نتایج شیمیایی بیانگر افزایش غالب مقدار کربنات کلسیم در هر سه منطقه با افزایش عمق بود و عمق تجمع کربنات کلسیم نیز با افزایش بارندگی بیشتر می‌شود. با توجه به آذین بودن سنگ مادر و موقعیت خاک‌های مورد مطالعه در منظر اراضی (عدم دریافت رسوبات آبی و بادی)، احتمالاً تنها منبع کربنات در این خاک‌ها CO₂ به‌دست آمده از فعالیت زیستی و اتمسفری است که امکان تشکیل کربنات‌ها را فراهم آورده است ولی به‌دلیل محدودیت بارندگی‌ها جابجایی آن‌ها محدود به عمق نفوذ آب بوده و خروج کربنات‌ها از نیمرخ خاک روی نمی‌دهد. عوارض خاک‌ساخت کربنات‌ها براساس خصوصیات میکرومورفولوژیک مقاطع نازک گویای غالبیت پوشش‌های کربناتی < گرهک‌های میکربیتی > پرشدگی‌های آهک میکربیتی و اسپاریتی در حفرات < پوشش‌های زیر سطحی > کلاهک‌ها و آویزه‌ها < پرشدگی توسط کربنات‌های سوزنی‌شکل می‌باشد. اندازه و فراوانی گرهک‌های میکربیتی و پوشش‌های کربناتی از رژیم رطوبتی خشک‌تر (Weak Aridic) به مرطوب‌تر (Typic Xeric) افزایش می‌یابد. بررسی‌های میکروسکوپی وجود تجمعات کلسیت سوزنی‌شکل را تنها در مقاطع نازک تهیه شده از خاکرخ‌های منطقه نیمه‌مرطوب نشان داد. این عوارض خاک‌ساخت در بررسی‌های صحرایی خاک‌های با فعالیت بیولوژیکی بیشتر به‌صورت رگه‌ها و

* مسئول مکاتبه: ahaidari@ut.ac.ir

شبه میسیلیوم‌ها مشاهده شدند. این تجمعات احتمالاً در اثر تجزیه مواد آلی موجود در منافذ و بر جای ماندن ترکیبات کلسیمی موجود در دیواره سلول‌های گیاهی و همچنین از کربناتی شدن ریشه‌های مرده گیاهان به وجود آمده‌اند. نتیجه‌گیری: با توجه به فقدان کربنات در سنگ بستر اولیه، کل کربنات این خاک‌ها پدوژنیک هستند و اسیدی شدن محلول خاک در اثر انحلال CO_2 منجر به هوازدگی سریع‌تر بازالت و فراهمی کاتیون‌های قلیایی خاکی و در نهایت رسوب کربنات‌ها به اشکال مختلف در خاک می‌باشد. کربنات پودری به شکل پوشش‌های نازک و منقطع در بین قلوه‌سنگ‌ها بیانگر مراحل ابتدایی تشکیل کربنات در منطقه خشک است. در حالی که در منطقه نیمه‌خشک وجود گرهک‌های کربنات به مقدار کم در اندازه‌های کوچک مرحله دوم تشکیل کربنات خاک‌ساخت بر طبق مدل گایل را نشان می‌دهد. حضور هم‌زمان کربنات‌های میسیلیومی و گرهک‌های کربناتی به مقدار متوسط تا فراوان و سخت‌لایه‌های کربناتی (افق پتروکلسیک) در منطقه نیمه‌مرطوب می‌تواند بیانگر مراحل نهایی توسعه و تکامل کربنات‌ها در این مناطق باشد.

واژه‌های کلیدی: آهک میکریتی، آهک اسپاریتی، خصوصیات میکرومورفولوژیک، پوشش زیرسطحی

مقدمه

تشکیل خاک بدون تامین منابع ماده آلی توسط موجودات زنده اعم از گیاهان و جانوران که نوع و فراوانی آن‌ها نیز تحت‌تأثیر اقلیم و دیگر شرایط محیطی مانند مواد مادری و پستی و بلندی در طی زمان است، میسر نمی‌باشد (۳۰). اگر سایر شرایط محیطی و دوره زمانی مشابه بوده باشند، میزان ماده آلی خاک به‌طور مستقیم بستگی به شرایط اقلیمی و زیستی خواهد داشت. این شرایط زیست‌اقلیمی بر روی میزان و شکل آلی (SOC) یا غیرآلی (SIC) کربن خاک نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌نماید (۳، ۱۷، ۲۰، ۲۸، ۲۹). خاک یکی از اصلی‌ترین ذخایر کربن در جهان محسوب می‌شود و بخش عمده کربن ذخیره شده در خاک خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌صورت غیرآلی می‌باشد (۳). این نوع کربن حدود یک‌سوم از منابع کربن را به خود اختصاص داده است (۱۲) اما در ارتباط با عوامل دخیل در تشکیل و پویایی کربن غیرآلی و نقش آن در چرخه کربن اطلاعات بسیار اندکی وجود دارد (۳۸).

کربن غیرآلی نقش مهمی در ذخیره درازمدت کربن در خاک دارد (۱۴، ۳۷). از سوی دیگر در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ذخایر کربن غیرآلی ۲ تا

۱۰ برابر بیش‌تر از ذخیره کربن آلی می‌باشد (۱، ۸) و علاوه بر این سرعت تشکیل و تجمع کربن غیرآلی بسیار بیش‌تر از کربن آلی است (۱۵). در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک میزان شستشو و تجمع کربنات‌ها از اهم فرآیندهای خاک‌سازی به حساب می‌آیند. بدین لحاظ شناخت کمیت و کیفیت عوارض ناشی از این فرآیندها مورد توجه پژوهشگران زیادی بوده است. بیش‌تر کربن غیرآلی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک (با متوسط بارندگی سالانه کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌متر) به شکل مخلوطی از نسبت‌های مختلف کربنات‌های کلسیم ($CaCO_3$) و کربنات منیزیم ($MgCO_3$)، دولومیت [$CaMg(CO_3)_2$] و کربنات سدیم Na_2CO_3 می‌باشد. کربنات‌ها را می‌توان به دو کلاس موروثی (لیتوژنیک) و خاک‌ساخت (پدوژنیک) دسته‌بندی کرد (۱، ۴، ۸). کربنات موروثی بدون دخالت فرآیندهای خاک‌سازی ولی کربنات خاک‌ساخت طی فرآیندهای خاک‌سازی و یا از انحلال و رسوب مجدد کربنات‌های موروثی تحت‌تأثیر افزایش فشار دی‌اکسیدکربن به وجود آمده است (۷). مقادیر نسبتاً کم کربنات در خاک در تشکیل خاکدانه، افزایش پایداری، افزایش قابلیت نفوذپذیری آب، افزایش فراهمی و قابلیت جذب برخی عناصر غذایی و تعدیل

ویژگی‌های اقلیمی مانند رطوبت و دمای خاک، پوشش گیاهی و فعالیت بیولوژیکی فاکتورهای مهم تعیین نوع و مورفولوژی عوارض کربناته در ابعاد میکروسکوپی می‌باشند (۱۱، ۲۴). منافی و محمودی (۲۰۰۸) در مطالعه میکرومورفولوژی انباشتگی کربنات کلسیم ثانویه، پنج نوع عوارض شامل کلسیت سوزنی‌شکل، پوشش کلسیت میکریتی، گرهک‌های میکریتی و اسپاریتی، پندانت آهک و پوشش‌های در امتداد سطح آهک را بیان نمودند (۲۱). مرادی و حیدری (۲۰۱۱) در مطالعه خصوصیات میکرومورفولوژیکی کربنات‌ها در برخی خاک‌های اریدی‌سول و اینسپتی‌سول، عوارض میکروسکوپی کربنات‌های خاک‌ساخت موجود در مقاطع نازک را گرهک‌های آهکی، بلورهای اسپاریت، میکریت، بلورهای سوزنی کلسیت، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی و پرشدگی‌های کربناتی گزارش نمودند (۲۴).

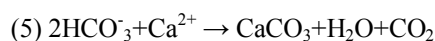
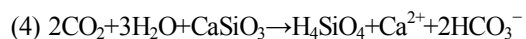
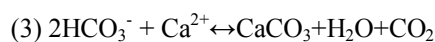
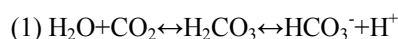
کربن غیرآلی خاک از نظر نقش آن در بسیاری از خصوصیات مدیریتی، مورفولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بسیار مهم و تأثیرگذار می‌باشد. بخش عمده‌ای از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، غنی از کربن غیرآلی هستند ولی نحوه تشکیل آن به اندازه کافی روشن نمی‌باشد.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شرایط زیست‌اقلیم در تشکیل و توزیع کربنات‌های خاک‌ساخت بر روی سنگ مادر بازالت (فاقد کربنات) در اقلیم‌های خشک تا نیمه‌مرطوب به مطالعه تأثیر شرایط نسبتاً مشابه از نظر مواد مادری، پستی و بلندی، پوشش گیاهی و زمان می‌پردازد. تعیین میزان کربنات انباشته‌شده در خاک و میزان تحول و تکامل در ماکرومورفولوژی و میکرومورفولوژی عوارض کربناتی در یک ردیف اقلیمی با رژیم رطوبتی متفاوت از دیگر اهداف این مطالعه می‌باشد.

pH خاک مفید می‌باشد. مقادیر نسبتاً زیاد تا زیاد کربنات‌ها موجب بروز مشکلات متعددی نظیر تخریب ساختمان، ناپایداری خاک، کاهش نفوذپذیری و قابلیت نگهداشت آب و عدم تغذیه مناسب گیاه می‌شود.

شکل‌گیری کربنات خاک‌ساخت شامل فرآیندهای پیچیده‌ای از هوازدگی، انحلال، انتقال و رسوب می‌باشد. بارندگی کافی و تامین آب، پوشش گیاهی و تنفس خاک را افزایش می‌دهد و شرایط اسیدی ایجاد می‌نماید. این اسیدی شدن بسته به وجود یا عدم وجود کربنات در محیط تأثیرات متفاوتی بر جای می‌گذارد (۳۴). در اقلیم‌های خشک یا نیمه‌خشک که خروج این کربنات‌ها از محیط خاک به صورت محلول محدود است، با مطالعه میزان کربن غیرآلی ذخیره شده در خاک می‌توان تا حد زیاد تاریخچه توان اکولوژیک منطقه را برای فعالیت زیستی و ذخیره درازمدت کربن در خاک به دست آورد.

ارائه مبانی درست تشکیل کربنات‌ها در سنگ مادر کربناتی و غیرکربناتی بسیار دارای اهمیت است. به‌طورکلی در محدوده واکنش خشی تا کمی قلیایی خاک، کربنات پدوژنیک (معادله‌های ۲ تا ۵) از واکنش کلسیم با بی‌کربنات حاصل از مجموعه معادله‌های شیمیایی (معادله‌های ۱، ۲ و ۴) حاصل می‌شود. بی‌کربنات از انحلال دی‌اکسیدکربن اتمسفری و یا به‌دست آمده از فعالیت‌های زیستی طی تعادل شیمیایی شماره (۱) حاصل می‌گردد. کلسیم مورد نیاز نیز از انحلال کربنات‌ها (معادله ۲) و یا هوازدگی سیلیکات‌های کلسیم‌دار (معادله ۴) و همچنین گاهی اوقات از منابع بیرونی مثل باران و رسوبات تامین می‌شود (۶، ۱۸، ۲۳، ۳۳).



مواد و روش‌ها

این مطالعه در سه منطقه با کاربری مرتعی (هر کدام با وسعت تقریبی ۵۰۰ هکتار) از یک ردیف اقلیمی واقع در سه زیست‌اقلیم (خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب) با رژیم رطوبتی متفاوت صورت گرفت. بر اساس شاخص دومارتین، منطقه خشک در شهرستان قزوین، استان قزوین، با بارندگی متوسط سالیانه حدود ۱۵۰ میلی‌متر و رژیم رطوبتی اریدیک ضعیف (Weak Aridic) و رژیم حرارتی ترمیک (ارتفاع از سطح دریای آزاد ۱۳۳۰-۱۲۹۷ متر)، منطقه نیمه‌خشک نیز در ارتفاعات شهرستان قزوین استان قزوین، با بارندگی متوسط سالیانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر دارای رژیم رطوبتی زیریک خشک (Dry Xeric) و رژیم حرارتی ترمیک (ارتفاع از سطح دریای آزاد ۲۲۰۰-۲۰۸۰ متر) و منطقه نیمه‌مرطوب در شهرستان رودبار استان گیلان، با بارندگی متوسط سالیانه حدود ۴۰۰ میلی‌متر و رژیم رطوبتی زیریک تیپیک (Typic Xeric) و رژیم حرارتی مزیک (ارتفاع از سطح دریای آزاد ۵۴۶-۲۲۰ متر) واقع می‌باشد (شکل ۱). رژیم حرارتی و رطوبتی مناطق مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار (۲۰۱۲) JNSM^۱ تعیین گردید (۲۵، ۳۶).

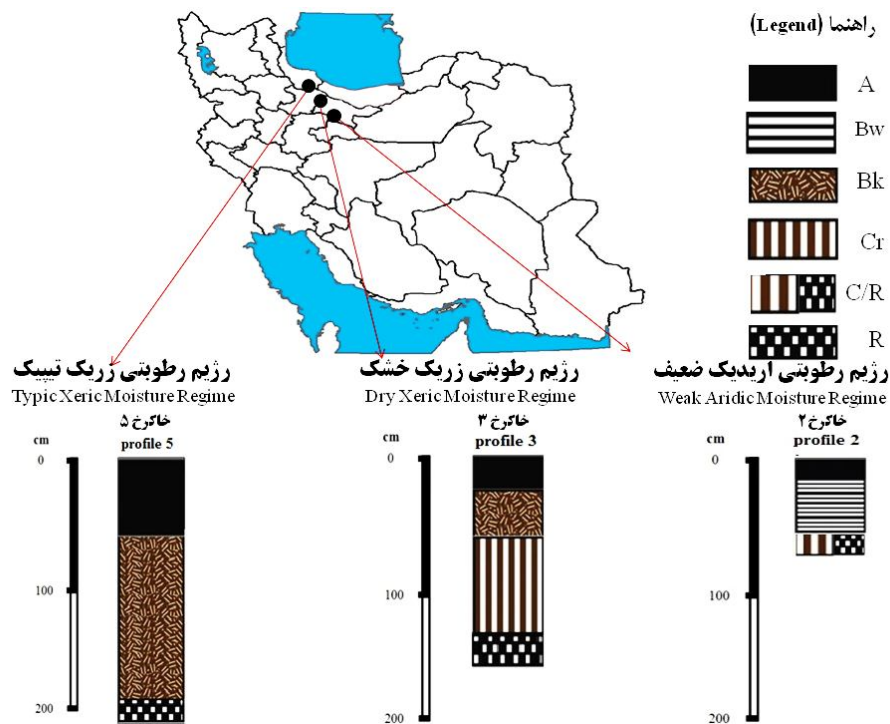
پس از تعیین نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع منطقه با استفاده از DEM و مطابقت آن با زمین‌شناسی منطقه، تعداد ۷ خاکرخ (۲ خاکرخ از هر یک از مناطق خشک و نیمه‌خشک و ۳ خاکرخ از منطقه نیمه‌مرطوب) در کلاس‌های شیب یکسان، بر روی گرده شیب^۲ و در جهت شمالی واحدهای ژئومورفولوژی تپه انتخاب، حفر، تشریح و نمونه‌برداری شد. تمام خاکرخ‌های مورد مطالعه دارای زمین‌شناسی یکسان با سنگ مادر بازالت متعلق به دوره زمین‌شناسی اتوسن (منطقه خشک:

تراکی‌بازالت مگاپورفیری، منطقه نیمه‌خشک: بازالت خاکستری تیره، تراکی‌بازالت و آندزیت‌بازالت و منطقه نیمه‌مرطوب: گدازه‌های بازالتی) بودند (۲۷) و به‌صورت درجا تشکیل شده‌اند. تشریح خاکرخ‌ها براساس روش‌های استاندارد (۳۵) و رده‌بندی خاک‌ها براساس رده‌بندی امریکایی (۳۰) صورت گرفت. نمونه از افق‌های مختلف تهیه و پس از هواخشک کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و آزمایش‌های لازم از جمله بافت به روش هیدرومتر، pH و EC عصاره اشباع با استفاده از pH متر و EC متر الکتریکی، کربن آلی بر مبنای روش اکسیداسیون تر (والکلی- بلاک) و درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) با استفاده از روش کلسیمتری اندازه‌گیری شدند (۳۱).

بررسی میکرومورفولوژی نمونه‌های دست‌نخورده با هدف مطالعه انواع عوارض خاک‌ساخت، خلل و فرج، ساختمان میکروسکوپی و سایر مشخصات انجام گرفت. نمونه‌ها را هوا خشک نموده و سپس با مخلوط رزین پلی‌استر با نسبت ۶۰ به ۴۰، با اضافه نمودن سخت‌کننده و کاتالیست، در دسیکاتور خلاء تلقیح کردیم. پس از سخت شدن، نمونه‌ها برش داده شد و بر روی اسلایدهای شیشه‌ای چسبانده شده و تا حد ۳۰ میکرون نازک گردیدند. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان (BX51) Olympus در دو حالت نور صفحه‌ای (PPL^۳) و نور متقاطع پلاریزه (XPL^۴) مورد بررسی قرار گرفتند و براساس واژگان استوپس (۲۰۰۳) تشریح و تفسیر نتایج بر اساس استوپس و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد (۱۰، ۳۲). برای آنالیز کمی عوارض کربناته از نرم‌افزار Analysis^۵ استفاده شد.

3- Plane polarized light
4- Cross polarized light
5- Soft Imaging System

1- Java Newhall Simulation Model
2- Backslope



شکل ۱- عمق توسعه خاک در برخی از خاک‌های مناطق مورد مطالعه.

Figure 1. Development depth in some pedons of studied regions.

(میانگین سنگریزه در منطقه با رژیم رطوبتی اریدیک، زریک خشک و زریک تیبیک به ترتیب ۳۲، ۱۸ و ۱۰ درصد) است، به عبارت دیگر خاک‌ها دارای تحول و تکامل کم‌تری هستند. منطقه خشک دارای ساختمان مکعبی ضعیف با اندازه‌های کوچک تا متوسط می‌باشد، در حالی که در خاک‌های دو منطقه دیگر با افزایش درصد رس ساختمان با درجه وضوح متوسط مشاهده گردید (جدول ۱). تجمعات کربنات‌ها در منطقه خشک (منطقه ۱) با تباین ضعیف، مقادیر کم (۵-۲ درصد) و اغلب به شکل پودری مشاهده گردید، در صورتی که در منطقه نیمه‌خشک با رژیم رطوبتی زریک خشک تجمعات آهک به شکل پودری ولی با تباین واضح و مقادیر بیشتر (۱۵-۵ درصد) مشاهده گردید. با افزایش مقدار رطوبت در منطقه نیمه‌مرطوب تجمعات کربنات با اشکال مختلف پودری، میسلومی و گرهک در اندازه‌های مختلف و تباین واضح تا آشکار تشخیص داده شد.

نتایج و بحث

مطالعه خاک‌های حفار شده نشان داد که خاک‌های مناطق مورد مطالعه عمدتاً در رده‌های مالی‌سول، اریدی‌سول و اینسپتی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱). عمق کم‌تر خاک، وجود سنگریزه‌های بیش‌تر در توزیع عمودی خاک‌ها و مقادیر کم عوارض ماکرومورفولوژی و میکرومورفولوژی خاک ساخت مانند اشکال مختلف تجمعات کربنات کلسیم ثانویه موید تحول و تکامل کم‌تر در خاک‌های مناطق خشک نسبت به دو منطقه دیگر است (شکل ۱).

جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ماکرومورفولوژی نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در منطقه خشک با رژیم رطوبتی اریدیک به لحاظ دمای بالا (میانگین ۱۵/۶ سانتی‌گراد)، بارندگی کم‌تر (میانگین ۱۵۰ میلی‌متر) و وجود پوشش گیاهی با ریشه‌های کوچک و خیلی کوچک به مقدار کم، نسبت به دو منطقه مورد مطالعه دیگر، خاک‌ها دارای عمق توسعه کم بودند و مقدار سنگریزه در آن بیش‌تر

متر) دارند، در حالی که در منطقه نیمه مرطوب علاوه بر پودری، اشکال میسلیومی و گرهک با مقادیر بالاتر (بیش از ۲۰ درصد) نیز مشاهده گردید که تا اعماق حدود ۲ متر نیز گسترش یافته‌اند. به‌طور کلی نتایج پژوهشگران نشان داده که تجمعات کربنات‌های خاک‌ساخت در خاک به اشکال مختلفی از جمله به‌صورت گرهک‌ها، سخت‌دانه‌ها، توده‌های نرم آهکی، رگه‌ها و پرشدگی درز و ترک‌ها و آویزه در زیرخاکدانه‌ها یا قلوه‌سنگ‌ها قابل مشاهده هستند (۲۲).

گایل و همکاران (۱۹۶۶) مراحل تشکیل افق‌های دارای تجمعات کربنات (کلسیک و پتروکلسیک) را در خاک‌های سنگریزه‌دار و بدون سنگریزه به چهار مرحله تقسیم نمودند (۹)، که این تئوری متعاقباً توسط مچت (۱۹۸۵) به مراحل پنج (V) و شش (VI) که شامل پوسته‌ای شدن^۱ و تشکیل پیزولیت (ساختمان صفحه‌ای) در خاک‌های فوق‌العاده مسن می‌باشد، توسعه یافته است (۱۹). با در نظر گرفتن درجه تکامل خاک‌های مورد مطالعه و همچنین زمان لازم برای تحول افق‌های حاوی کربنات کلسیم، احتمالاً مکانیسم‌های ۴ مرحله‌ای پیشنهادی گایل و همکاران (۱۹۶۶) در تشکیل خاک‌های منطقه مورد مطالعه نقش بیش‌تری داشتند. با توجه با این نظریه منطقه خشک جزو مناطق دارای سنگریزه طبقه‌بندی شده و مشاهده آهک پودری به شکل پوشش‌های نازک و منقطع در بین قلوه‌سنگ‌ها بیانگر مراحل ابتدایی تشکیل کربنات در این منطقه می‌باشد. در حالی که در منطقه نیمه‌خشک که در طبقه‌بندی خاک‌های بدون سنگریزه (یا به مقدار کم) قرار دارد وجود گرهک‌های کربناته به مقدار کم در اندازه‌های کوچک گویای مرحله دوم تشکیل کربنات خاک‌ساخت بر طبق نظریه فوق است. نکته جالب توجه مشاهده هم‌زمان آهک‌های رشته‌ای (میسیلیوم) و گرهک‌های آهکی به مقدار متوسط و فراوان در خاک‌های فاقد سنگریزه (یا به مقدار کم) منطقه نیمه‌مرطوب اشاره

در خاک‌های مورد مطالعه دامنه تغییرات pH در تمام نمونه‌های مورد مطالعه قلیایی و در محدوده ۸/۱-۸/۶ بود. مقادیر EC از حداقل 0.33 dSm^{-1} در افق Bk خاکرخ ۴ منطقه نیمه‌خشک تا 3.38 dSm^{-1} در افق Bk خاکرخ ۳ منطقه نیمه‌خشک متغیر است. مقدار کربن آلی در هر سه منطقه مورد مطالعه در افق‌های سطحی بیش‌تر از افق‌های زیرین بود و با افزایش عمق کاهش می‌یابد و دامنه تغییرات آن در نمونه‌های مورد مطالعه بین حداقل 0.33 تا 1.93 درصد است و حداکثر مقدار آن در افق سطحی خاکرخ ۴ منطقه نیمه‌خشک (رده مالی‌سول) است و حداقل آن در افق‌های تحت‌الارضی خاکرخ ۱ منطقه خشک دارای رده اریدی‌سول اندازه‌گیری شد. مقدار کربنات در هر سه منطقه مورد مطالعه در افق‌های سطحی کم‌تر از افق‌های زیرین بود و با افزایش عمق افزایش می‌یابد و دامنه تغییرات آن در نمونه‌های مورد مطالعه بین مقادیر ناچیز تا ۴۸ درصد (افق تحتانی خاکرخ شماره ۳) متغیر است (جدول ۱).

خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی: نتایج فیزیکوشیمیایی گویای این مطلب است که با افزایش عمق مقدار کربنات‌ها در هر سه منطقه غالباً افزایش می‌یابد. از سوی دیگر جدول ۱ نشان می‌دهند که عمق تجمع کربنات‌ها در اقلیم نیمه‌مرطوب بیش‌تر از مناطق خشک و نیمه‌خشک است. رامشنی و ابطی (۱۹۹۵) در بررسی تأثیر اقلیم در تحول خاک‌ها، نتیجه گرفتند که در صورت برابر بودن میزان تولید ماده آلی، با افزایش بارندگی و کاهش درجه حرارت، خاک‌ها از تکامل پروفیلی و تنوع افق‌های بیش‌تری برخوردار می‌شوند (۲۶). کربنات کلسیم ثانویه در افق‌های زیرسطحی خاکرخ‌ها، به شکل پودری، میسیلیوم و گرهک حضور دارد که تباین آن‌ها در منطقه نیمه‌مرطوب بیش‌تر است. در منطقه خشک و نیمه‌خشک پوشش‌های کربناته اغلب به شکل پودری به مقدار کم (کم‌تر از ۱۵ درصد) بوده و عمق تجمع کم‌تری (حداکثر تا یک

نمود که می‌تواند دلیل توسعه و تکامل بیش‌تر این خاک‌ها بوده و اشاره به وجود هم‌زمان مراحل چهارگانه تشکیل کربنات در این خاک‌ها دارد.

در اثر تنفس ریشه‌های زنده و موجودات خاکزی، فشار دی‌اکسیدکربن در محیط خاک بسیار افزایش یافته و در واکنش با آب موجود در خاک تبدیل به اسید کربنیک و در نهایت بی‌کربنات می‌گردد. از طرف دیگر تولید اسید کربنیک باعث کاهش pH شده و شرایط را برای هوادیدگی سنگ مادر بازالت فراهم می‌آورد. نتیجه هوادیدگی آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی مثل کلسیم و منیزیم است که در واکنش با بی‌کربنات سبب رسوب و انباشت کربنات خاک‌ساخت می‌گردند. علاوه بر انحلال کانی‌های کلسیم‌دار، معدنی شدن مواد آلی می‌تواند سبب افزایش یون‌های کلسیم و کربنات در خاک شود. در خاک‌رخ‌های دارای افق مالیک وجود ماده آلی بالا سبب افزایش فعالیت موجودات خاکزی شده و در نتیجه آن تبدیل ماده آلی به CO₂ سریع‌تر صورت پذیرفته و می‌تواند در کنار تنفس سبب افزایش بیش‌تر فشار دی‌اکسیدکربن در خاک گردد. مقدار بالای کربنات کلسیم معادل در افق تحتانی خاک‌رخ‌های ۳، ۴، ۵ و ۷ دارای رده مالی‌سول بیانگر مکانیسم فوق است (جدول ۱). از جمله فرآیندهای بارز خاک‌سازی پس از تشکیل کربنات خاک‌ساخت در مناطق مورد مطالعه می‌توان به حرکت و آبشویی کربنات‌ها در عمق خاک‌رخ اشاره نمود که در منطقه نیمه‌مرطوب به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. باران مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب به صورت رگبار است و از سوی دیگر کم‌عمق بودن خاک نیز مزید بر علت گشته و آبشویی املاح کلسیم، سدیم و منیزیم صورت نمی‌گیرد، در نتیجه تجمع کربنات‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر نزدیک به سطح (تا یک متر) صورت می‌گیرد. در حالی که بارندگی نسبتاً زیاد و طولانی‌مدت در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب سبب

آبشویی بیش‌تر عناصر و افزایش تجمع کربنات‌های ثانویه در افق‌های تحتانی می‌شود. عمق تشکیل افق کلسیک رابطه مستقیم با میزان بارندگی مؤثر داشته و حداکثر تجمع کربنات به‌طور عمده به محدوده نفوذ مؤثر آب در خاک بستگی دارد که اغلب کم‌تر از عمق نفوذ باران است (۵). به‌طورکلی رطوبت خاک، دمای خاک، بافت خاک، پوشش گیاهی و فراهمی کربنات کلسیم از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل خاک‌ساخت اشکال مختلف کربنات‌ها می‌باشد (۱۳).

وجود عوارض مرکب کربنات پوشانده شده با رس در خاک‌رخ شماره ۴ منطقه نیمه‌خشک بیانگر تشکیل کربنات‌ها و سپس انتقال رس در دوره‌هایی از زمان که کربنات‌ها در لایه‌های فوقانی حضور نداشته‌اند، می‌باشد. وجود کربنات‌ها در لایه‌های فوقانی در حال حاضر بیانگر فرایند تشکیل مداوم آن‌ها در خاک بعد از انتقال رس است. نتایج مرادی و حیدری (۲۰۱۲) نیز تشکیل عوارض خاک‌ساخت مرکب رس و کربنات‌های خاک‌ساخت را در خاک‌های اقلیم نیمه‌خشک گزارش نموده‌اند (۲۴). وجود عوارض مرکب رس و کربنات (شکل ۲) در خاک‌ها می‌تواند بیانگر تاثیرات اقلیم گذشته باشد (۲۸). کربنات‌های رسوب‌یافته بدون انتقال و جابه‌جایی قابل توجه (درجا)، به‌دلیل فوق اشباع شدن محلول خاک بر اثر تبخیر آب خاک، جذب آب توسط ریشه‌ها و یا برخورد با لایه نفوذناپذیر سنگ مادر شروع به رسوب یافتن کرده که منجر به تشکیل افق پتروکلسیک می‌شوند. در این افق تجمع کربنات‌ها آنقدر ادامه یافته که لایه تجمع آهک کاملاً با کربنات مسدود، سیمانی و سخت گردیده است (۹). وجود افق پتروکلسیک در افق‌های تحتانی منطقه نیمه‌مرطوب (خاک‌رخ ۷) نیز اشاره به مرحله چهارم تشکیل کربنات خاک‌ساخت طبق نظریه گایل و همکاران (۱۹۶۶) در این خاک‌ها دارد.

جدول ۱- برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

%CCE	%OC	EC (dS m ⁻¹)	pH	سنگریزه Gravel (%)	درصد ذرات			رنگ		ساختار* Structure	عمق Depth (cm)	افق Horizon
					رسیل Silt	شن Sand	تجمع کربنات‌ها* Carbonate Concentration	مویزب Moist	خشک Dry			
1.7	0.93	0.71	8.2	25	20	26	54	5YR4/3	10YR5/6	1 f sbk	0-14	A
7.6	0.61	0.73	8.3	32	24	28	48	7.5YR4/6	7.5YR6/6	1 m sbk	14-35	Bk1
18.4	0.33	0.48	8.3	38	26	30	44	10YR6/8	7.5YR8/4	1 m sbk	35-80	Bk2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>80	C/R
خاکریخ شماره ۱- منطقه خشک با رژیم رطوبتی اریدیک ضعیف- Typic Haplocalcids												
Pedon No. 1- Arid region with typic aridic moisture regime- Typic Haplocalcids												
Trace	1.02	0.51	8.3	31	36	24	40	5YR3/2	10YR4/3	1 f sbk	0-12	A
Trace	0.71	0.49	8.3	34	36	34	30	5YR4/4	10YR5/6	1 f sbk	12-45	Bw
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>45	C/R
خاکریخ شماره ۲- منطقه خشک با رژیم رطوبتی اریدیک ضعیف- Lithic Haplocalcids												
Pedon No. 2- Arid region with typic aridic moisture regime- Lithic Haplocalcids												
2.1	1.49	1.08	8.1	19	45	29	26	5YR3/3	10YR4/5	1 f sbk	0-26	A
9.2	0.82	3.38	8.1	20	46	29	25	5YR3/4	10YR6/6	2 m sbk	26-57	Bk
48	0.51	0.38	8.3	14	29	28	43	7.5YR5/8	7.5YR8/3	Massive	57-120	Crk
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>120	R
خاکریخ شماره ۳- منطقه نیمه‌خشک با رژیم رطوبتی زریک خشک- Calcic Haploxerolls												
Pedon No. 3- Semi-Arid region with dry xeric moisture regime- Calcic Haploxerolls												
Trace	1.93	0.59	8.5	19	42	32	26	7.5YR3/3	10YR4/3	1 m sbk	0-19	A
3.1	0.84	0.57	8.5	15	58	25	17	7.5YR3/3	2.5YR4/6	2 m sbk	19-45	Bt
18	0.39	0.58	8.5	22	52	30	18	7.5YR4/6	10YR6/4	2 m sbk	45-80	Btk
24	0.37	0.33	8.6	18	49	32	19	5YR5/8	10YR7/3	1 f sbk	80-110	Bk
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>110	R
خاکریخ شماره ۴- منطقه نیمه‌خشک با رژیم رطوبتی زریک خشک- Calcic Argixerolls												
Pedon No. 4- Semi-Arid region with dry xeric moisture regime- Calcic Argixerolls												

ادامه جدول ۱-
Continue Table 1.

*CCE (%)	*OC	EC (dS m ⁻¹)	pH	سنگریزه Gravel (%)	درصد ذرات Particle Percent		تجمع کربنات‌ها ^۱ Carbonate Concentration	رنگ Color		عمق Depth (cm)	افق Horizon
					Moist	Dry		مرطوب Moist	خشک Dry		
Typic Calcixerolls											
Pedon No. 5- Semi-Humid region with typic xeric moisture regime- Typic Calcixerolls											
17	1.11	0.75	8.4	4	48	37	15	7.5YR3/2	7.5YR5/3	0-45	A
17.4	0.79	1.07	8.3	9	48	37	15	5YR3/3	7.5YR6/4	45-120	Bk1
25.9	0.22	0.56	8.3	7	56	32	12	7.5YR4/4	7.5YR6/6	120-200	Bk2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>200	R
Calcic Haploxerepts											
Pedon No. 6- Semi-Humid region with typic xeric moisture regime- Calcic Haploxerepts											
12.5	1.15	1	8.4	8	36	32	32	5YR3/3	10YR5/6	0-21	A
12.5	1	0.51	8.5	12	45	32	23	5YR3/2	10YR6/8	21-90	Bk1
15.4	0.46	0.36	8.4	3	50	29	21	5YR4/4	10YR6/8	90-160	Bk2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>160	R
Typic Calcixerolls											
Pedon No. 7- Semi-Humid region with typic xeric moisture regime- Typic Calcixerolls											
5.6	0.89	1.06	8.4	12	39	31	30	5YR3/2	7.5YR3/4	0-21	A
23.3	0.42	0.52	8.5	16	32	29	39	5YR3/3	7.5YR5/4	21-32	Bk1
24.6	0.36	0.36	8.2	19	29	32	39	7.5YR6/3	7.5YR7/3	32-95	Bk2
38	0.34	0.88	8.2	8	44	30	26	5YR7/1	7.5YR8/0	95-160	Bkm
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>160	R

* کربنات کالسیوم معادل (CCE)، کربن آلی خاک (OC)
 * کلاس‌های ساختمان خاک: درجه وضوح: ۱: ضعیف، ۲: متوسط - اندازه: f: کوچک، m: متوسط - نوع: abk: بلوکی زاویه‌دار، sbk: بلوکی بدون زاویه، gr: دان‌های کلاس‌های تجمعات کربنات: اندازه: ۱: کوچک، ۲: متوسط، ۳: بزرگ - فراوانی: f: کم (کمتر از ۲٪)، c: متوسط (۲-۲۰٪)، m: زیاد (بیشتر از ۲۰٪) - شکل: SS: آهک پودری، SF: آهک سیلیسی، N: گرهک.

* Calcium Carbonate Equivalent (CCE), Soil Organic Carbon (OC)
 * Soil structure classes: Grade- 2: moderate, 1: weak. Size- f: fine, m: medium. Type- abk: angular blocky, sbk: subangular blocky, gr: granular- carbonate concentration classes: m: many (>20%), c: common (2-20%), f: few (<2%). Size- 1: fine, 2: medium, 3: coarse. shape- SS: powdery calcite, SF: pseudomycelium calcite, N: nodule.

مقاطع نازک تهیه شده از تمام خاکرخ‌ها به جز خاکرخ ۲ منطقه خشک با رژیم رطوبتی اریدیک ضعیف و برخی افق‌های سطحی سایر خاکرخ‌ها مشاهده شدند.

عوارض خاک‌ساخت کربنات ثانویه براساس خصوصیات میکرومورفولوژیک موجود در مقاطع نازک مناطق مورد مطالعه نشان داد که تجمعات کربنات موجود در این مقاطع غالباً به صورت انواع پوشش (پوشش تیپیک، پوشش زیرسطحی^۶، کلاهک^۷، آویزه^۸، کراست^۹)، انواع گرهک‌های میکریتی و اسپاریتی در ابعاد مختلف و انواع پرشدگی‌های حفرات توسط اشکال میکروسکوپی کربنات (میکریت، ماکریت و سوزنی‌شکل) می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴).

انواع پوشش‌های کربنات‌کلسیم شامل پوشش‌های تیپیک، پوشش زیرسطحی، کراست، آویزه و کلاهک در متن خاک، خاکدانه و بر روی سطوح ذرات اولیه و همچنین در اطراف حفرات و قطعات سنگی مشاهده شد (شکل ۳- الف و ب). نتایج نشان داد که پوشش‌های تیپیک کربناتی در مقاطع نازک اکثر خاکرخ‌های مورد مطالعه و در تمامی اعماق مشاهده شدند. فراوانی این پوشش‌ها با افزایش عمق و از مناطق دارای رژیم رطوبتی اریدیک به زیرک افزایش یافته است (جدول ۲). منافی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در بررسی میکرومورفولوژی پوشش‌های کربنات خاک‌ساخت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک البرز جنوبی هم‌چنین روندی را مشاهده نمودند (۲۱). تریدول و مک‌فادن (۲۰۰۰) اعتقاد

خصوصیات میکرومورفولوژی: برای بررسی دقیق عوارض کربناتی تعداد ۲۱ مقطع نازک از نمونه خاک‌های مناطق مورد مطالعه تهیه گردید. براساس مشاهدات میکرومورفولوژیکی الگوی توزیع نسبی ذرات درشت به ذرات ریز (c/f) در بیش‌تر مقطع‌های مورد مطالعه پورفیریک^۱ می‌باشد (جدول ۲). ساختمان میکروسکوپی در افق‌های سطحی مکعبی زاویه‌دار و در برخی دانه‌ای و اسفنجی می‌باشد در حالی‌که در افق‌های زیرین اکثراً مکعبی زاویه‌دار و نیمه‌زاویه‌دار و در برخی نمونه‌ها کانالی هست. درجه تفکیک ساختمان میکروسکوپی از منطقه خشک به منطقه نیمه‌مرطوب تقویت شده و اندازه آن‌ها بزرگ‌تر گشته است. مقادیر نسبتاً زیاد بخش درشت (بیش‌تر از ۳۰ درصد در مناطق با رژیم رطوبتی زیرک) در نسبت c/f نیز گویای وجود ذرات اولیه شیشه آتشفشانی، کوارتز و فلدسپار و قطعات سنگی ناشی از هواپدگی است. هوازدگی زیاد از نوع خطی نامنظم و متقاطع، نقطه‌ای و کمپلکس با درجه متوسط و زیاد، قطعات سنگی و کانی‌های اولیه و حضور مقدار زیادی کلسیت میکریتی (بیش از ۵ درصد سطح) در ریزتوده این خاک‌ها، باعث ایجاد بی-فابریک خرده بلوری^۲ در مقاطع مورد بررسی شده است. ولی در برخی نمونه‌ها بی-فابریک‌های لکه‌ای منقوطة‌ای^۳ (ماتریکس طلایی رنگ شکل ۴- ج) و نامتمایز^۴ و خطی حفره محور^۵ نیز تشخیص داده شد. در مطالعات میکروسکوپی تجمعات کربنات ثانویه در

- 1- Porphyric
- 2- Crystallitic b-Fabric
- 3- Stipple Speckled b-fabric
- 4- Undifferentiated b-fabric
- 5- Porostriated b-fabric

- 6- Hypo-coating
- 7- Capping
- 8- Pendant
- 9- Crust

دارند پوشش‌های کامل کربنات در جایی تشکیل می‌شوند که هدایت هیدرولیکی خاک به دلیل وجود مقادیر فراوان مواد ریز کاهش می‌یابد (۳۴). به نظر می‌رسد کربنات خاک‌ساخت تشکیل یافته تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن اتمسفری و یا به دست آمده از تنفس موجودات زنده و هوادیدگی سنگ مادر بازالت (معادله‌های ۴ و ۵) در افق‌های 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 حاصل ضرب حلالیت کربنات کلسیم، رسوب آهک به شکل انواع پوشش‌ها در این مکان‌ها صورت می‌گیرد. پوشش کربناتی میکربیتی و اسپاریتی نیز در مناطق مورد مطالعه با افزایش رطوبت و بارندگی در منطقه نیمه‌خشک و منطقه نیمه‌مرطوب مشاهده شد (جدول ۲). در نمونه‌های مورد مطالعه پوشش کلسیت میکربیتی دارای توالی رنگ تیره و روشن بوده (شکل ۴-الف) در حالی که پوشش کلسیت اسپاریتی دارای رنگ روشن‌تر می‌باشد (شکل ۴-ب و ج). رنگ‌های تیره می‌تواند بیانگر حضور ناخالصی‌هایی از قبیل هوموس یا سایر ذرات در پوشش کربنات باشد. بر طبق گزارش منافی و همکاران (۲۰۰۸) به نقل از پوستویتوف (۲۰۰۲) پوشش‌های کربنات به رنگ روشن، از کربنات نسبتاً خالص به وجود آمده‌اند و می‌توانند بیانگر دوره‌های خشکی باشند که برای فعالیت‌های بیولوژیکی چندان مساعد نبوده‌اند (۲۱). در حالی که انواع تیره رنگ دارای مقادیر فراوانی ذرات تخریبی و مقادیر جزئی هیف‌های قارچی هستند که بیانگر بهبود شرایط اقلیمی و فعالیت بیولوژیکی هستند.

اندازه و فراوانی گرهک‌های^۱ کلسیت از رژیم رطوبتی اریدیک به زیریک افزایش می‌یابد. خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) به نتیجه مشابهی در مطالعات خود در مناطق خشک و نیمه‌خشک استان فارس دست یافتند (۱۳). گرهک‌های کربناتی موجود در مقاطع مورد مطالعه گرهک‌های برجا بوده که دارای مرز واضح و پخشیده می‌باشند که بیانگر منشأ خاک‌ساخت این عوارض است (شکل ۲-ب، شکل ۳-الف و شکل ۴-الف). گرهک‌های کربناتی میکربیتی به طور معمول از نوع کلسیت خاک‌ساخت می‌باشند. تشکیل و مورفولوژی این گرهک‌ها توسط فاکتورهای زیادی از قبیل فرآیندهای حل شدن و تبلور مجدد، غلظت نمک، هیدرومورفیسیم، بافت خاک و سرعت رسوب‌گذاری کربنات تعیین می‌گردد (۱۳).

نتایج آنالیز تصویر گرهک‌های کربناتی نشان داد که ابعاد گرهک‌های میکروسکوپی موجود در منطقه خشک و نیمه‌خشک کوچک‌تر از گرهک‌های مشاهده شده در منطقه نیمه‌مرطوب می‌باشد (جدول ۲). شکل‌گیری سریع کربنات‌ها باعث کوچک شدن اندازه بلورهای کربنات می‌گردد.

جدول ۲- برخی خصوصیات میکرومورفولوژیک مقاطع نازک خاک‌های مورد مطالعه.

Table 2. Some micromorphological properties of the studied soils thin sections.

عوارض خاک‌ساخت کربناته و درصد فراوانی *	بی-فابریک* b-Fabric	الگوی توزیع نسبی (c/f _{10μ}) c/f related distribution pattern	نوع حفرات* Voids	ساختمان میکروسکوپی* Microscopic structure	عمق (cm) Depth (cm)	افق Horizon
خاکرخ شماره ۱ (Pedon No. 1)						
typ (5%)	cry	en (20/80)	pv, pn, chm	sp, bk	8-12	A
typ, n, inf, (5%)	und	po, en (30/70)	pv, pn	sp, bk	25-30	Bk1
typ, n, ca, pe, inf, (25%)	cry	po (20/80)	chn, pn	bk, ch, sp	55-65	Bk2
خاکرخ شماره ۲ (Pedon No. 2)						
n (< 2%)	und, cry	po (2/80)	pn, chm, chn, vu	bk, ch, sp	5-12	A
n (< 5%)	und	po, en (15/85)	pn, chm	bk, chm, sp	32-40	Bw
خاکرخ شماره ۳ (Pedon No. 3)						
typ (mic), n, inf, (5%)	ssp	en (30/70)	pv, pn, chm	sp, bk	15-20	A
h.c.k, n, inf, (25%)	ssp, cry	po (35/65)	pv, pn, chm	Bk	41-49	Bk
typ (mic/spc), n, ca, pe, inf, (50%)	ssp, cry	po (15/85)	chn, chm	bk, chn	105-115	Cr
خاکرخ شماره ۴ (Pedon No. 4)						
Not determined	cry	po (30/70)	pn, pv, chn	bk, chn	8-15	A
Not determined	ssp	po (30/70)	pn, pv, chn	bk, chn	22-27	Bt
typ, h.c.k, n, cr, ca, inf, (12%)	ssp, pos	po (35/65)	pn, chn	bk, chn	60-70	Btk
typ (mic/spc), h.c.k, n, pe, inf, (23%)	und	po (30/70)	pn, chn	bk, chn	87-95	Bk
خاکرخ شماره ۵ (Pedon No. 5)						
typ (mic/spc), n, inf, (30%)	ssp, cry	po (10/90)	pn, chn, chm, vu	Bk	25-35	A
typ, nfc, n, inf, (30%)	ssp, cry	po (8/92)	chn, pn, chm	Bk	78-85	Bk1
typ (spc), nsc, n, inf, (40%)	ssp, cry	po (8/92)	chm pn, chn,	Bk	145-155	Bk2
خاکرخ شماره ۶ (Pedon No. 6)						
n (< 10%)	und, cry	po (30/70)	pn, chn, vu	Bk	8-15	A
n (< 10%)	und	po (25/75)	pn, chn, chm	Bk	60-68	Bk1
typ (spc), h.c.k, n, pe, nsc, inf, (12%)	und	po (15/85)	pn, chn	Bk	110-120	Bk2
خاکرخ شماره ۷ (Pedon No. 7)						
typ (mic/spc), n, inf, (15%)	ssp, cry	po (35/65)	pn, chn, chm, vu	bk, chn	10-18	A
typ (mic/spc), h.c.k, pe, n, nsc, inf, (35%)	ssp, cry	po (45/55)	pn, chn	Bk	60-70	Bk2
typ (mic/spc), h.c.k, pe, n, nsc, inf, (> 50%)	ssp, cry, und	po (10/90)	chn, chm	Massive	118-125	Bkm

* ساختمان میکروسکوپی (Microscopic structure): bk بلوکی (blocky)، sp اسفنجی (spongy)، ch کانالی (channel)، chm حجره‌ای (Chamber) - حفرات (Voids): Chn کانالی (Channel)، chm حجره‌ای (Chamber)، pn صفحه‌ای (Planar)، vu وگی (Vugh)، pv (Packing void) - الگوی توزیع نسبی ذرات (c/f related distribution pattern): po پورفیریکی (porphyric)، en انولیک (enaulic)، ch کیتونیک (chitonic) - بی - سفابریک (b-Fabric): ssp لکه‌ای منقوطه‌ای (stipple Speckled)، pos خطی حفره محور (porostriated)، und نامتمایز (Undifferentiated)، cry خرده بلوری (crystalitic) - عوارض خاک‌ساخت کربناته (Carbonate pedofeatures): typ پوشش تیبیک (tyic coating)، h.c.k پوشش زیرسطحی (hypo-coating)، q.c.k پوشش در امتداد سطح (quasi-coating)، cr کرامت (crust)، inf پرشدگی (infilling)، n گرهک (nodule)، pe آویزه (pendent)، ca کلاهک (capping)، nsc آهک سوزنی‌شکل (needle shape calcite)، mic آهک میکریتی (micritic calcite)، spc آهک اسپاریتی (sparitic calcite).

جدول ۳- مقایسه نتایج آنالیز کمی تصاویر گرهک‌های کربناتی در مناطق مورد مطالعه.

Table 3. Comparison the image analysis quantitative results of carbonatic nodules in studied regions.

فراوانی (%) Abundance (%)	حداقل اندازه Minimum Size	حداکثر اندازه Maximum Size	میانگین اندازه Mean Size	اندازه گرهک کربناته (μm) Carbonate Nodule size (μm)
4.2	69.3	511.3	233.4	منطقه خشک (Arid Region)
14.3	84.5	1200.6	449.8	منطقه نیمه‌خشک (Semi-Arid Region)
25.2	276.6	1790.2	695.5	منطقه نیمه‌مرطوب (Semi-Humid Region)

تحتانی آن‌ها به وجود می‌آیند (۱۶). کلاهک‌های کلسیتی نیز نمونه‌ای دیگر از پوشش‌های مشاهده شده در نمونه‌های مورد مطالعه بود که از نظر مورفولوژی شبیه آویزه بوده ولی برخلاف آن‌ها صرفاً در قسمت فوقانی ذرات درشت قرار گرفته‌اند (شکل ۳- الف). بر خلاف پوشش‌های تپیک و آویزه‌ها، کلاهک‌ها روند خاصی را با تغییر رژیم رطوبتی نشان نداده و بیش‌تر در مناطق نیمه‌خشک مشاهده می‌شوند.

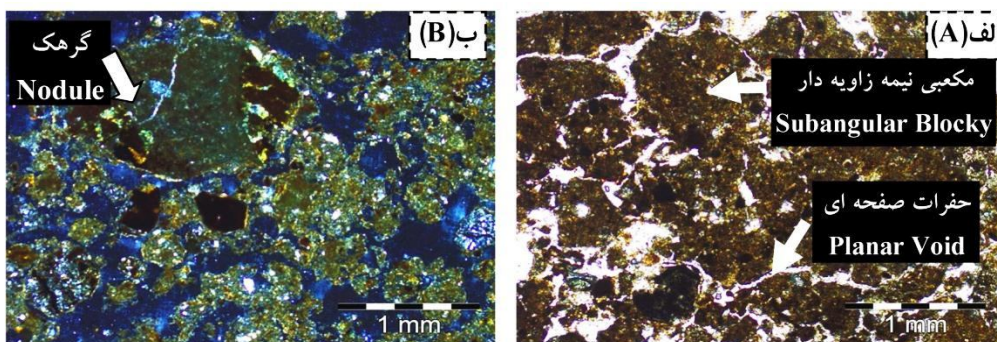
از نکات بارز بررسی‌های میکروسکوپی، مشاهده تجمعات کلسایت سوزنی شکل^۱ فقط در مقاطع خاک‌رخ‌های منطقه نیمه‌مرطوب بود. این عوارض اغلب در داخل منافذ درشت به شکل پوشش زیرسطحی، خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی حضور دارند و در برخی موارد فضای منافذ را پر می‌کنند (شکل ۴- د). منافی و محمودی (۲۰۰۵) این تجمعات را همان پوشش‌ها، رگه‌ها و میسیلیوم‌های مشاهده شده در بررسی‌های صحرایی دانسته‌اند. 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) به وجود آمده‌اند و به تعبیری فراوانی آن‌ها در ارتباط مستقیم با فعالیت بیولوژیک بوده است (۲۰). بک‌زدیک و همکاران (۱۹۹۷) نیز معتقدند که منشأ

آویزه یکی دیگر از اشکال تجمع کربنات‌ها در مقاطع نازک هر دو منطقه مورد بررسی بود (شکل ۳، ج). طول آویزه‌ها در خاک‌های مختلف متغیر بوده و با افزایش عمق به صورت نامنظم به مقدار آن‌ها افزوده شده و فراوانی آن‌ها از رژیم رطوبتی اریدیک به زیریک افزایش می‌یابد (جدول ۳). خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) وجود آویزه‌های موجود در اقلیم خشک را به آثار یک اقلیم مرطوب‌تر گذشته نسبت داده‌اند (۱۳). به‌طور معمول این شکل‌های کربنات توسط نفوذ آب خاک که حاوی کلسیم و بی‌کربنات است، تشکیل شده و هدایت الکتریکی و سرعت تنفس میکروبی نیز بر شکل ظاهری آویزه‌های کربناتی بسیار مؤثر است (۳۴). هنگامی که محلول خاک حاوی کربنات به دلیل مواجه شدن با ذرات سخت غیرمتخلخل متوقف می‌شود، تبخیر صورت گرفته و تدریجاً کربنات در زیر ذرات درشت رسوب می‌کند. از طرف دیگر احتمالاً افت فشار CO_2 در فضای خالی زیر سنگ‌های مادری در خاک‌های مورد مطالعه یکی دیگر از دلایل تجمع کربنات‌ها در زیر قطعات سنگی به شکل آویزه می‌باشد. لوین و هندریکس (۱۹۹۰) نیز در مطالعات خود آویزه‌های نسبتاً خالص کربنات را در زیر قطعات سنگ مشاهده نموده و بیان نموده‌اند که این عوارض در اثر انحلال کربنات کلسیم در داخل خاک و حرکت آن در اطراف و کناره‌های قطعات درشت، در قسمت

1- Needle shaped calcite

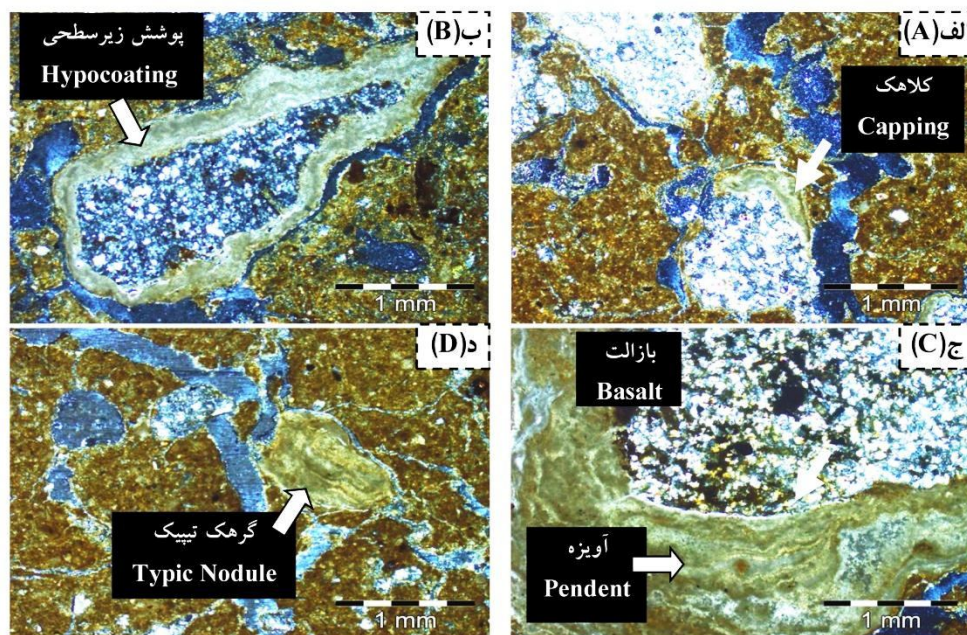
نیمه‌مرطوب گویای افزایش فعالیت میکروبی از اقلیم خشک‌تر به سمت اقلیم مرطوب‌تر می‌باشد. وجود تجمعات سوزنی کربناتی بیانگر این امر در منطقه نیمه‌مرطوب است.

کلسایت سوزنی‌شکل به بیومینرالیزاسیون قارچی در مجموعه‌های میسیلیومی مربوط است که پس از تجزیه مواد آلی دیواره‌های سلولی قارچ‌ها آزاد می‌شوند (۲). وجود خاک‌های با تکامل بیشتر، رطوبت و بارندگی بالاتر و عمق بیشتر تجمع کربنات در منطقه



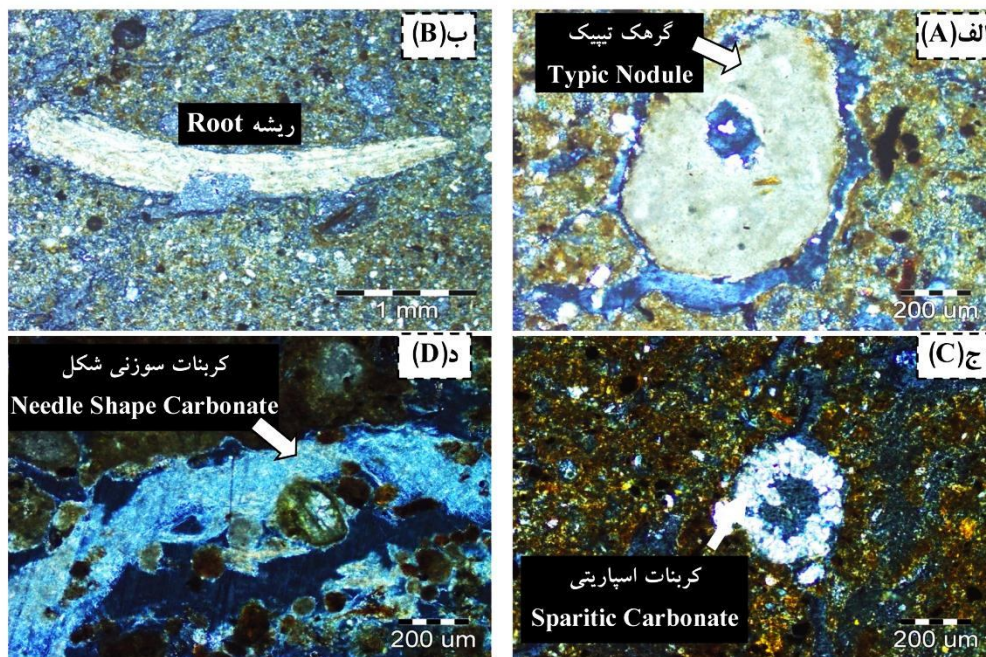
شکل ۲- برخی عوارض کربناته در مقاطع نازک منطقه خشک: الف- حفرات صفحه‌ای و آرایش و خاکدانه‌های مکعبی نیمه‌زاویه‌دار با تفکیک ضعیف تا متوسط، افق A خاکرخ شماره ۲ (PPL)، ب- گرهک کربناته در متن خاک، افق Bw خاکرخ شماره ۲ (XPL).

Figure 2. Some carbonatic features in thin sections from arid region- A: planar and packing voids and moderate to weakly developed subangular blocky aggregates, pedon No. 2; A horizon (PPL), B: carbonate nodule in soil matrix, pedon No. 2; Bw horizon (XPL).



شکل ۳- برخی عوارض کربناته در مقاطع نازک منطقه نیمه‌خشک: الف- کلاهک کربناته بر روی سطح شیشه آتشفشانی، افق Btk خاکرخ شماره ۴ (XPL)، ب- پوشش زیرسطحی کربناته بر روی سطح شیشه آتشفشانی، افق Bk خاکرخ شماره ۳ (XPL)، ج- آویزه بزرگ کربناته بر روی سطح بازالت هوا دیده، افق Bk خاکرخ شماره ۴ (PPL)، د- گرهک تپیک کربناته در متن خاک، افق Bk خاکرخ شماره ۴ (XPL).

Figure 3. Some carbonatic features in thin sections from Semi-Arid region- A: carbonate capping on the surface of volcanic glass, Btk horizon of pedon No. 4 (XPL), B: hypocointing carbonate on the surface of volcanic glass, Bk horizon of pedon No. 3 (XPL), C: carbonate pendent on the surface of weathered basalt, Bk horizon of pedon No. 4 (PPL), D: carbonate typic nodule on soil matrix, Bk horizon of pedon No. 4 (XPL).



شکل ۴- برخی عوارض کربناته در مقاطع نازک منطقه نیمه مرطوب الف- گرهک تیبیک کربناتی میکریتی در متن خاک، افق A خاکرخ شماره ۵ (XPL)، ب- ریشه کربناتی شده در متن خاک، افق Bk1 خاکرخ شماره ۵ (XPL)، ج- پرشدگی متراکم ناقص حفرات توسط کربنات اسپاریتی، افق A خاکرخ شماره ۷ (XPL)، د- پوشش زیر سطحی کربنات سوزنی شکل، افق Bk2 خاکرخ شماره ۷ (XPL).

Figure 4. Some carbonatic features in thin sections from Semi-Humid region - A: typic carbonate micritic nodule on soil micromass, A horizon of pedon No. 5 (XPL), B: Carbonated root on soil micromass, Bk1 horizon of pedon No. 5 (XPL), C: void dense incomplete infilling with sparitic calcite, A horizon of pedon No. 7 (XPL), D: hypocoating needle shape carbonate, Bk2 horizon of pedon No. 7 (XPL).

منیزیم موجود در مواد مادری بازال تحت تأثیر فشار دی‌اکسیدکربن و هوازدگی سیلیکات اشاره نمود. تبدلات اتمسفری و تنفس ریشه‌های زنده و موجودات خاکزی، سبب افزایش فشار دی‌اکسیدکربن در محیط خاک شده و مقدمات تشکیل بی‌کربنات را فراهم می‌کند. نتیجه هوازدگی آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی مثل کلسیم و منیزیم بوده که در واکنش کلسیم آزاد شده از هوازدگی سنگ مادر با بی‌کربنات سبب رسوب و انباشت کربنات خاک‌ساخت در خاک‌های مورد مطالعه می‌گردد (معادله‌های ۴ و ۵). با در نظر گرفتن مراحل تشکیل کربنات ارائه شده توسط گایل و همکاران (۱۹۶۶) مشاهده آهک پودری به شکل پوشش‌های نازک و منقطع در بین قلوه‌سنگ‌ها در منطقه خشک بیانگر مراحل ابتدایی تشکیل کربنات

نتیجه‌گیری کلی

تجمعات کربنات‌های خاک‌ساخت در خاک‌های مورد مطالعه به اشکال مختلفی از جمله به صورت گرهک، سخت‌دانه‌ها، توده‌های نرم آهکی، میسیلیوم و پرشدگی درز و ترک‌ها قابل مشاهده بوده و فراوانی و تجمع آن‌ها در منطقه خشک و نیمه‌خشک کم‌تر از منطقه نیمه‌مرطوب است. نتایج شیمیایی نیز بیانگر افزایش مقدار کربنات با افزایش عمق در هر دو منطقه بوده و عمق تجمع کربنات نیز با افزایش بارندگی بیشتر می‌شود. به‌طورکلی در محیط‌های فاقد کربنات اولیه نظیر سنگ‌های آذرین مثل بازالت موضوع انحلال و انتقال کربنات‌ها مطرح نمی‌باشد. در چنین محیط‌هایی از مهم‌ترین فرآیندها و منابع تشکیل کربنات خاک‌ساخت، می‌توان به آزاد شدن کلسیم و

مهم‌ترین عوارض کربناتی را تشکیل می‌دهند. به‌طوری‌که در بررسی آنالیز تصویر با استفاده از نرم‌افزار تخصصی گرهک‌های کربناته در منطقه نیمه‌مرطوب درصد فراوانی بیش‌تر (۲۵/۲) و ابعاد بزرگ‌تری (۲/۱۷۹۰-۶/۲۷۶۶ میکرومتر) نسبت به منطقه نیمه‌خشک با رژیم رطوبتی زیرک خشک با فراوانی ۱۴/۳ درصد و ابعاد (۶/۱۲۰۰-۵/۸۴ میکرومتر) و منطقه خشک با فراوانی ۴/۲ درصد و ابعاد حداقل ۶۹/۳ تا حداکثر ۵۱۱/۳ میکرومتر دارند. آهک سوزنی‌شکل غالباً در منطقه نیمه‌مرطوب که خاک تکامل بیش‌تری داشته و فعالیت بیولوژیکی آن بالاتر است و بیش‌تر در درون خلل و فرج که اکسیداسیون و تجزیه و تخریب ماده آلی به سهولت انجام می‌پذیرد مشاهده گردیده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نهایت تقدیر و تشکر را از قطب علمی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران (بهبود کیفیت خاک به‌منظور تغذیه بهینه گیاه) که بخشی از هزینه انجام این پژوهش را تامین نمودند، به‌عمل می‌آوریم.

(مرحله اول خاک‌های دارای سنگریزه) می‌باشد. در حالی‌که در منطقه نیمه‌خشک وجود گرهک‌های کربناته به مقدار کم در اندازه‌های کوچک گویای مرحله دوم تشکیل کربنات خاک‌ساخت بوده و مشاهده هم‌زمان آهک‌های میسیلیومی و گرهک‌های آهکی به مقدار متوسط و فراوان و سخت‌لایه‌های آهکی (افق پتروکلسیک) در منطقه نیمه‌مرطوب می‌تواند دلیل توسعه و تکامل بیش‌تر این خاک‌ها بوده و اشاره به‌وجود هم‌زمان مراحل چهارگانه تشکیل کربنات در این خاک‌ها دارد. یکی از دلایل تجمع بیش‌تر کربنات در اقلیم نیمه‌مرطوب می‌تواند هوادیدگی بیش‌تر سنگ مادر بازالت باشد که در ساختار خود دارای کلسیم و منیزیم بالایی بوده و با مصرف دی‌اکسیدکربن اتمسفر و ذخیره آن به شکل کربنات در نگهداشت کربن در خاک مؤثر می‌باشد. وجود انواع پوشش‌های آهکی که احتمالاً در اثر تغلیظ محلول خاک به سبب تبخیر ایجاد گردیده است، به‌عنوان عوارض غالب خاک‌های با تحول پروفیلی کم در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده گردیده است با افزایش عمق خاک و تحول بیش‌تر خاک در مناطق مرطوب‌تر، علاوه بر افزایش ضخامت این‌گونه پوشش‌ها، با پر شدن تدریجی منافذ خاک، گرهک‌های تیپیک

منابع

1. Batjes, N.H. 2004. Soil carbon stocks of Jordan and projected changes upon improved management of croplands. *Geoderma*. 20: 40-47.
2. Becze-Deace, J., Langohr, R., and Verrecchia, E.P. 1997. Small scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction. *Geoderma*. 76: 221-252.
3. Berhongaray, G., Alvarez, R., De Paepe, J., Caride, C., and Cantet, R. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. *Geoderma*. 192: 97-110.
4. Birkeland, P.W. 1999. *Soils and Geomorphology*, third ed. Oxford University Press, New York, 430p.
5. Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., and McDaniel, P.A. 2011. *Soil genesis and classification*. 6th edition. Blackwell Publishing Company. Ames. Iowa., 543p.
6. Chang, R., Fu, B., Liu, G., Wang, S., and Yao, X. 2012. The effects of afforestation on soil organic and inorganic carbon: A case study of the Loess Plateau of China. *Catena*. 95: 145-152.

7. Drees, L.R., Wilding, L.P., and Nordt, L.C. 2001. Reconstruction of soil inorganic and organic carbon sequestration across broad geoclimatic regions. P 155-172, In: R. Lal (Ed.), Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect: Soil Science Society American Spec. Publ., Madison, WI.
8. Eswaran, H., Reich, P.F., Kimble, J.M., Beinroth, F.H., Padmanabhan, E., and Moncharoen, P. 2000. Global carbon sinks. P 15-26, In: R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart (Eds.), Global Climate Change and Pedogenic Carbonates. CRC/Lewis Press, Boca Raton, Florida.
9. Gile, L.H., Peterson, F.F., and Grossman, R.B. 1966. Morphological and genesis sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science*. 101: 210-215.
10. Heidari, A., and Sahebjalal, E. 2011. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith thin Section, (by Stoops, G), University of Tehran Press, 278p. (In Persian)
11. Heidari, A. 2014. Soil genesis and classification according to world reference base for soil resources, 2014. University of Tehran Press, 606p. (In Persian)
12. Hirmas, D.R., Amrhein, C., and Graham, R.C. 2010. Spatial and process-based modeling of soil inorganic carbon storage in an arid piedmont. *Geoderma*. 154: 486-494.
13. Khormali, F., Abtahi, A., and Stoops, G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*. 132: 31-46.
14. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123: 1-22.
15. Landi, A., Mermut, A.R., and Anderson, D.W. 2003. Origin and rate of pedogenic carbonate accumulation in Saskatchewan soils, Canada. *Geoderma*. 117: 143-156.
16. Levine, S.J., and Hendricks, D.M. 1990. Carbonate forms in residual horizons of limestone derived soils in northern Arizona. P 373-380, In: L.A. Douglas (Ed.), Soil Micromorphology: A basic and applied Science. Developments in soil science 19. Elsevier.
17. Liang, B.C., Campbell, C.A., McConkey, B.G., Padbury, G., and Collas, P. 2005. An empirical model for estimating carbon sequestration on the Canadian prairies. *Can. J. Soil Sci.* 85: 549-556.
18. Liu, W., Wei, J., and Li, W. 2014. Profile distribution of soil inorganic carbon along a chronosequence of grassland restoration on a 22-year scale in the Chinese Loess Plateau. *Catena*. 121: 321-329.
19. Machette, M.N. 1985. Calcic soils of the southwestern United States. P 1-21, In: D.L. Weide (Ed.), Soils and quaternary geology of the southwestern United States. Geological Society of America, Special paper.
20. Manafi, Sh., and Mahmoodi, Sh. 2005. Micromorphology of pedogenic calcium carbonate accumulation in the part of lands, around Lake Urmia. *Iran. J. Agric. Sci.* 36: 6. 1399-1411. (In Persian)
21. Manafi, Sh., Mahmoodi, Sh., Sarmadian, F., Heidari, A., and Mariapoch, R. 2008. Micromorphology of Secondary Calcium Carbonate Coatings in Some Arid and Semiarid Soils in Southern Alborz, Takestan-Iran. *Iran. J. Soil Water Res.* 39: 1. 57-75. (In Persian)
22. Miller, J.J., Dudas, M.J., and Arnaud, F.J. ST. 1985. The effect of ground water on soil formation in a morinal landscape in Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 65: 293-307.
23. Monger, H.C., and Martinez-Rios, J.J. 2001. Inorganic carbon sequestration in grazing lands. P 87-117, In: R.F. Follett, J.M. Kimble and R. Lal (Eds.), The Potential of US Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. CRC/Lewis, Boca Raton, FL.
24. Moradi, Z., and Heidari, A. 2011. Micromorphological and Mineralogical Properties of Carbonates in Some Aridisols and Inceptisols. *Iran. J. Soil Water Res.* 42: 2. 279-289. (In Persian)
25. Newhall, F., and Berdanier, C.R. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Natural Resources Conservation Service, Soil Survey Investigation Report, No. 46, 13p.
26. Rameshni, Kh., and Abtahi, A. 1995. Effect of climate and topography on the formation of the soils of Kuhgiluyeh area. 4th Congress of Soil Science. Isfahan University of Technology. (In Persian)

27. Sahandi, M.R., and Soheili, M. 2005. Geological map of Iran: scale 1:1000000. Geological Survey of Iran, Tehran.
28. Schulp, C.J.E., Nabuurs, G.J., and Verburg, P.H. 2008. Future carbon sequestration in Europe effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 127: 251-264.
29. Shi, Y., Baumann, F., Ma, Y., Song, C., Kuhn, P., Scholten, T., and He, J.S. 2012. Organic and inorganic carbon in the topsoil of the Mongolian and Tibetan grasslands: pattern, control and implications. *Biogeosciences*. 9: 2287-2299.
30. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. 12nd Ed. NRCS, 372p.
31. Sparks, D.L. 1996. Method of soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. American Society of Agronomy, 1390p.
32. Stoops, G., Marcelino, V., and Mees, F. 2010. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, SSSA. Madison, WI, 752p.
33. Tan, W.F., Zhang, R., Cao, H., Huang, C., Yang, Q., Wang, M., and Koopal, L. 2014. Soil inorganic carbon stock under different soil types and land uses on the Loess Plateau region of China. *Catena*. 121: 22-30.
34. Treadwell-Steitz, C., and McFadden, L.D. 2000. Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravelly soils. Palo Duro Wash, New Mexico. *Geoderma*. 94: 1-22.
35. USDA-NRCS. 2012a. Field Book for Describing and Sampling Soils. Version 3.0, National Soil Survey Center, 300p.
36. USDA-NRCS. 2012b. jNSM: Java Newhall Simulation Model. Version 1.6.0. User guide-part 1. National Soil Survey Center.
37. Wang, Y., Li, Y., Ye, X., Chu, Y., and Wang, X. 2010. Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: From forest to desert. *Science of the Total Environment*. 408: 1925-193.
38. Wu, H., Guo, Z., Gao, Q., and Peng, C. 2009. Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 129: 413-421.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Bioclimatic condition and its effect on the genesis of inorganic carbon in soils developed on basalt

A.R. Raheb¹, *A. Heidari² and Sh. Mahmoudi³

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran,

²Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran,

³Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran

Received: 11/22/2015; Accepted: 05/29/2016

Abstract

Background and Objectives: Study of soil carbon, including organic and inorganic carbon (carbonates), is essential for the proper management of soil carbon on a global scale. It is too important the balance between different parts of carbon sources in the environment and soil quality. Much of Iran is covered by arid and semi-arid regions, source of inorganic carbon of soil could be very important and effective to better understanding of the topics of the soil sciences. Carbonates are abundant mineral in the Earth's crust and include four percent of it. Carbonates importance especially in arid and semi-arid regions is essential to understand the dynamics of relations in the morphological, physical, chemical and biological soil characteristics.

Materials and Methods: In this study macro and micro morphological characteristics and carbonates genesis has been done on basaltic bedrock without carbonate under different bioclimatic conditions. Morphological characteristics of carbonates described in eight profiles located in three bioclimatic regions arid, semi-arid and semi-humid of northwest of Iran and micromorphological properties were studied in 21 thin sections.

Results: Chemical results indicated that prevailing increase the amount of calcium carbonate in all three regions with increasing depth and the depth of the accumulation of calcium carbonate becomes more with the increase of precipitation. According to the igneous parent rock and position of the studied soil in the landscape (lack of wind and water sediments) probably the only source of carbon in these soils is CO₂ from biological activity and atmospheric, which provides the possibility of genesis of carbonates, but due to precipitation restrictions their movement is limited to water depth of penetration and does not happen the carbonate complete withdrawal on the soil profile. The micromorphologic properties of pedogenic carbonates in the studied thin sections revealed the calcite coating> micritic nodule> pores infilling with micritic and sparitic carbonate> hypo-coating> capping and pendant> coating and infilling with needle fiber calcite trend. Size and frequency of micritic nodules and calcite coatings increase from drier moisture regime (Weak Aridic) to the wettest moisture regime (Typic Xeric). Microscopic studies showed that the needle shaped calcite concentrations were present in semi humid regions only. These pedofeatures also were observed as veins and mycelia in field studies of soils with higher biological activity. These concentrations probably are the result of decomposition of in voids plant residues and of settlement of the Ca-containing components of cell walls, and also of the calcification of dead plant roots.

Conclusion: Due to the lack of carbonate in primary bedrock, total carbonate of these soils was pedogenic and acidification of soil solution by the dissolution of CO₂ leads to more rapid weathering of basalts and cations availability for combination and eventually carbonates deposition with various forms in soil. Powdery carbonates in the arid region were observed as thin discontinuous coatings that represents primary stage of carbonate formation. While in the semi-arid region, existence of few fine carbonate nodules refers to the second stage of the carbonates pedogenesis according to Gile's model. Simultaneous presence of common to many calcite pseudomyceliums and nodules and carbonatic hard layers (petrocalcic horizons) in semi-humid region represent extreme stages of carbonates formation and accumulation.

Keywords: Micritic carbonate, Sparitic carbonate, Micromorphic features, Profile, Hypo-coating

* Corresponding Author; Email: ahaidari@ut.ac.ir

