

مطالعه میکرومورفولوژی اشکال گچ و کربنات کلسیم و کانی‌شناسی رس در خاک‌های با مواد مادری مختلف در جنوب استان گیلان

مستانه رحیمی مشکله^۱، حسن رمضانپور^{۲*}، نفیسه یغماییان مهابادی^۳، مهدی نوروزی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۵)

چکیده

خاک‌های گچی و آهکی بخش مهمی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک جنوب استان گیلان را شامل می‌شود. این مطالعه به منظور بررسی اشکال گچ و آهک در خاک‌های اراضی تپه ماهوری منطقه علی‌آباد استان گیلان توسط مقاطع نازک میکروسکوپی خاک انجام شد. نمونه‌برداری خاک به صورت کلوخه دست نخورده و هوا خشک از مواد مادری گچی-نمکی و آهکی، با سه تکرار از دو موقعیت شیب (شیب‌پستی و پای‌شیب) و عمق سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) و زیرسطحی (۴۰-۲۰ سانتی‌متر) انجام گرفت. نتایج نشان داد که خاک‌های گچی-نمکی کلاس بافتی سنگین‌تری در مقایسه با خاک‌های آهکی داشتند. تعداد حفرات کانال و محفظه و فضولات حیوانی در خاک‌های آهکی بیشتر است که به علت وجود حفرات درشت‌تر و فعالیت بیولوژیکی بیشتر است. عوارض میکرومورفولوژیک در خاک‌های گچی-نمکی شامل اشکال صفحات در هم قفل شده گچ، بلورهای عدسی شکل، پندانت گچی، پُرشدگی گچ به صورت متراکم کامل و غیرکامل و غیرپیوسته پراکنده در حفرات و هایپوکوتینگ آهن و منگنز و در خاک‌های آهکی شامل فضولات جانوری، نودول آهن هالو، قطعات سنگی (لیتورلیکت)، نودول آهک میکریتیک، مخلوط گچ و آهک به صورت پندانت و انواع اشکال پدوژنیک کلسیت به صورت ستونی، خوشه‌ای، سوزنی و اسپاریتیک می‌باشد. بخش ریز در هر دو خاک عمدتاً دارای بی‌فابریک کریستالیتیک و گاهی استیپل اسپیکلت و نامشخص (ایزوتیک) می‌باشد. شاخص تکاملی میکرومورفولوژی خاک (مسیکا) نیز موید این مطلب است که هر دو نوع خاک دارای تکامل ضعیف بودند. نتایج کانی‌شناسی نیز حضور کانی‌های غالب کلریت، ایلیت، ورمیکولیت، اسمکتیت و کانی‌های مخلوط را در هر دو نوع ماده مادری تایید نمود. همچنین حضور کانی پالی‌گورسکایت در خاک‌های گچی-نمکی از موارد اختلاف بین این دو خاک است.

واژه‌های کلیدی: بی‌فابریک کریستالیتیک، پالی‌گورسکایت، پندانت گچی، شاخص مسیکا، نودول میکریتیک

رحیمی مشکله م، رمضانپور ح، یغماییان مهابادی ن، نوروزی م. ۱۳۹۸. مطالعه میکرومورفولوژی اشکال گچ و کربنات کلسیم و کانی‌شناسی رس در خاک‌های با مواد مادری مختلف در جنوب استان گیلان. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۷ شماره ۱. ص: ۱۳۲-۱۴۷.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه زنجان

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان (مکاتبه کننده)

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۴- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

* پست الکترونیک: hasramezanpour@yahoo.com

مقدمه

یکنواختی مواد مادری یک پیش فرض برای ارزیابی فرآیندهای پدوژنیک است، از این رو کانی‌های وابسته به آن با فعالیت کم و مقاومت بالا به هوادیدگی شیمیایی در خاک‌ها اساس اختلافات مختلف افق‌ها در پروفیل‌های خاک است (Mahmoodi *et al.*, 2016). تنوع و فراوانی که در طبیعت سنگ‌ها وجود دارد سبب می‌شود که خاک‌های حاصله از آن‌ها نیز ویژگی‌های مختلفی داشته باشند (Ramezanzpour, 2012). امروزه روش‌های مختلفی جهت بررسی فرآیندهای تشکیل و تکامل خاک‌ها استفاده می‌شود. به منظور تکمیل مطالعات مورفولوژی و تکامل خاک‌ها، بهره‌گیری از مطالعات میکرومورفولوژی برای مطالعه رده‌بندی و مدیریت خاک ضروری است (Stoops, 2003).

یکی از پارامترهای مؤثر بر تجمع گچ در افق‌ها شرایط آب و هوایی است. اثر عامل عمق نیز بر روی محتوای گچ در خاک‌ها بسته به شرایط اقلیمی رایج در منطقه است (Stoops & Illaiwi, 1981). نوع بلورهای گچ، میزان و درجه تبلور آن‌ها و همچنین عمق لایه‌های گچی می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌عنوان محیطی برای رشد گیاه اثرگذار باشد (Poch & Verplancke, 1997). نتایج باک و ون هوسن (Buck & Van Hoesen, 2002) نشان دادند که تجمعات گچ در خاک با گذر زمان دارای رفتاری مشابه کربنات کلسیم است با این تفاوت که گچ با شکل‌های متنوعی تحت شرایط محیطی متفاوت تشکیل می‌گردد. نتایج پژوهش مقیسه و حیدری (Moghiseh & Heidari, 2012) نشان داد که در خاک‌های گچی - نمکی، گچ به صورت پوشش روی ذرات شن قرا می‌گیرد و حفرات شبکه‌ای به وسیله هالیت پُر می‌شود و بلوری شدن در آن‌ها هنگامی که اقلیم بیشتر خشک می‌شود اتفاق می‌افتد. تشکیل تجمعات کربناته در مناطق خشک و نیمه‌خشک در اثر انحلال، انتقال و رسوب مجدد کربنات‌هایی می‌تواند انجام گیرد که یا در مواد مادری خاک‌ها حضور دارند و یا منتقل شده از واحدهای دیگر هستند (Eftekhari & Mahmoodi, 2002). تجمع آهک در خاک‌ها، معیار مطمئنی برای شناسایی خاک‌ها به شمار می‌آید. همچنین ارتباط تنگاتنگ بین تکامل خاک و انواع نمودهای خاک‌ساختی اثبات شده است (Jafarzadeh, 1996). در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، شستشو و تجمع آهک از مهم‌ترین فرآیندهای خاک‌ساختی به‌شمار

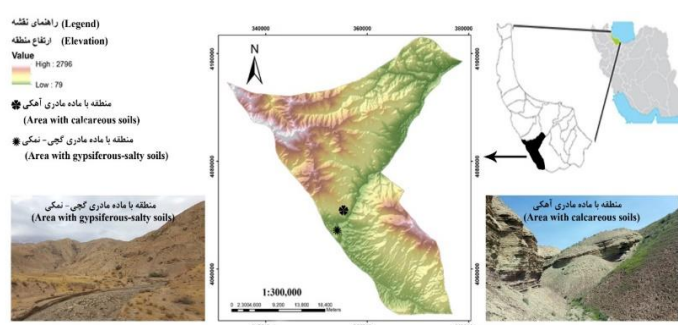
می‌آیند (Manafi & Mahmoudi, 2004). کمی‌سازی مطالعات میکروسکوپی خاک و استفاده از شاخص‌های میکرومورفولوژیک می‌تواند در بررسی تکامل خاک و تعیین فاصله تاکسونومی خاک‌ها مؤثر باشد (Montakhabi, 2016). خرمالی و همکاران (Khormali *et al.*, 2003) شاخص میکرومورفولوژی برای تکامل خاک در شرایط خشک و نیمه خشک با آهک بالا بنام MISECA را ارائه کردند که همبستگی خوبی با تکامل خاک در شرایط مرطوب و نیمه مرطوب نشان داد (Ghergherechi *et al.*, 2009). در این شاخص، چندین پارامتر میکرومورفولوژیک از قبیل ریز ساختمان، بی فابریک، پوشش رسی، ناحیه تخلیه آهک، اکسیدهای آهن و منگنز و درجه تغییر دانه‌های معدنی برای درجه تکامل خاک استفاده شده است. مقادیر شاخص MISECA از صفر برای خاک‌های بدون تکامل تا ۲۴ برای خاک‌های متکامل درجه بندی شده است. اطلاعات کانی‌شناسی برای فهم چگونگی تشکیل خاک‌ها امری ضروری و پُر اهمیت به نظر می‌رسد. رس‌های موجود در خاک‌ها، ضمن تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله نگهداری رطوبت، تراکم خاک، پایداری خاکدانه‌ها، هدایت آبی، نفوذ پذیری، تبادل کاتیونی، انقباض و انبساط، تثبیت پتاسیم و سایر عناصر بیانگر مراحل تکامل خاک می‌باشند (Aliolad *et al.*, 2005). از آن‌جا که نحوه توزیع کانی‌های رسی در خاک غالباً تابع نوع مواد مادری آن منطقه بوده و خاک‌زایی و هوادیدگی نیز تغییراتی را در نوع و میزان این کانی‌ها سبب می‌شود. لذا تعیین مشخصات کانی‌های خاک و نحوه تغییر و تبدیل آن‌ها به یکدیگر به درک خواص شیمیایی و منشأ حاصلخیزی خاک کمک می‌کند (Willding *et al.*, 1983). رمضانپور و جلالیان (Ramezanzpour & Jalalian, 2002) با بررسی خواص و تکامل خاک‌های آهکی در دو ناحیه اقلیمی شهرکرد و چلگرد به این نتیجه رسیدند که شرایط قلیایی و زهکشی ضعیف، میزان هیدرولیز و تخریب کانی‌ها را محدود می‌نماید و تجمع اسیدهای آلی و تناوب اکسید و احیا موجب تغییر در کانی‌شناسی افق سطحی می‌شود. پژوهش حاضر به منظور بررسی خاک‌های جنوب استان گیلان با رژیم حرارتی و رطوبتی متفاوت‌تر نسبت به سایر بخش‌های استان، انجام گرفت. از این رو، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی خاک‌ها

گذاشته شده که ژئوپس و انیدریت، حوضه نمکی و معادن نمک در زمان‌های انتهایی تبخیر با شدت بیشتر در منطقه مورد مطالعه تشکیل شده است. بواسطه وجود این تشکیلات فرسایشی و نیز شرایط اقلیمی خاص منطقه و همچنین به دلیل عدم پوشش گیاهی، انواع اشکال فرسایشی شامل فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای، بدلدند (هزاردره) و تونلی (پایپینگ) است. حوضه فوق در یک منطقه کوهستانی با شیب زیاد و در اقلیم نیمه خشک با میزان بارندگی ۳۰۰-۴۰۰ میلی‌متر قرار گرفته است. فرآیندهای ژئومورفولوژیکی متنوع به خصوص زمین لغزش‌ها، ریزش‌ها، خزش‌ها و آب بردگی‌ها در منطقه فراوان است. سالیانه حدود ۵۰۰ میلیون تن رسوب وارد دریاچه سد می‌شود که نزدیک ۶۰٪ از رسوب تولید شده را این سازندها تشکیل می‌دهند. ابتدا از طریق مطالعه نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، منطقه مورد نظر شناسایی و پس از انجام کنترل صحرایی لندفرم‌های تپه ماهوری دارای مواد مادری گچی-نمکی و آهکی مشخص شد و سپس نمونه‌برداری خاک از لندفرم‌های گچی-نمکی و آهکی با جهت و شیب یکسان، از بالادست (شیب-پشتی) و پایین دست (پای‌شیب) در عمق سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) و زیرسطحی (۴۰-۲۰ سانتی‌متر) انجام شد. در مجموع ۲۴ نمونه خاک تهیه و نمونه‌ها پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلیمتری عبور داده شده تا بر روی آن‌ها آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام گیرد.

مطالعه شد و انتظار می‌رود که اطلاعات و نتایج سودمند حاصل از آن در آینده نزدیک مورد استفاده و مدیریت بهینه و پایدار این اراضی که عموماً بدون استفاده است، قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

تشریح وضعیت منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری: منطقه مورد مطالعه در روستای علی‌آباد از توابع بخش مرکزی شهرستان رودبار است که در دو رأس عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۳۹۶ متر از سطح دریا در جنوب استان گیلان واقع شده است. با توجه به اطلاعات هواشناسی منطقه میانگین بارندگی سالانه ۲۶۱ میلیمتر و میانگین دما ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین بر اساس اطلاعات بدست آمده، این منطقه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی ترمیک است (Soil & Water Research Institute. 2002). منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبخیز سپیدرود است. این منطقه جزئی از زون تبخیری نئوژن و میوسن و از سازندهای دامنه جنوبی البرز است. مساحت کل حوضه آبخیز سد سپیدرود ۵۶۰۰۰۰۰ هکتار بوده که بسیار فرسایش‌پذیر می‌باشد. اواخر دوره نئوژن این حوضه شروع به بسته‌شدن کرده و نهشته‌های تبخیری همراه با نمک در حوضه بر جای



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه با دو ماده مادری مختلف

Figure 1. The study area with two different parent materials

و سایش مقاطع از الک استفاده شد. مطالعه مقاطع نازک بوسیله میکروسکوپ پلاریزان ZEISS زیر نور پلاریزه (XPL) و نور معمولی (PPL) و تشریح و تفسیر آن نیز با توجه به دستورالعمل ارائه شده توسط بولاک و همکاران (Bullock, 1985) و استوپس (Stoops, 2003)

مطالعه میکروسکوپی: مطابق با روش مورفی (Murphy, 1986) آماده‌سازی نمونه‌های مقاطع نازک خاک در چهار مرحله خشک کردن، تلقیح، برش و چسباندن نمونه‌ها روی لام و در نهایت سایش و تهیه برش نازک انجام شد. به دلیل حلال بودن نوع ماده مادری در آب، برای شستشو

نازک تهیه شده، مواد درشت و ریز معدنی، نسبت C/F، مواد درشت آلی، گراندمس و میکرومس، عوارض خاکساختی، بی فابریک، الگوی توزیع نسبی ذرات مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شاخص تکاملی MISECA^۱ با توجه به ویژگی‌های میکرومورفولوژیک و پردازش تصویر برای همه عمق‌ها در دونوع ماده مادری محاسبه شد (جدول ۲). مطالعات میکرومورفولوژیکی خاک‌های گچی- نمکی نشان داد که خاکدانه‌ها در این نوع ماده مادری عمدتاً دانه‌ای^۲ (شکل ۲- الف)، قطعه‌ای^۳ و گاهی به صورت بلوکی لبه مدور^۴ (شکل ۲- ب) است. در خاک‌های آهکی نیز خاکدانه‌های دانه‌ای، قطعه‌ای و متخلخل^۵ و ریزساختمان بلوکی لبه مدور (شکل ۳- الف)، توده‌ای^۶ و کمی اسفنجی- دانه‌ای (شکل ۳- ب)، مشاهده شد. حفرات در ماده مادری گچی- نمکی عمدتاً از نوع وُگ^۷ (Vugh) (شکل ۲- پ)، کمی کانال و محفظه^۸ و صفحه‌ای^۹ (شکل ۲- ت) و در خاک آهکی عمدتاً از نوع وُگ، کانال و محفظه (شکل ۳- پ) و حفرات بسته مرکب^{۱۰} (شکل ۳- ت) می‌باشد. دلیل تشکیل حفرات از نوع بسته مرکب را می‌توان ۱- منشأ فضولات جانوری و ۲- سیستم ترک‌های حاصل از انقباض و انبساط ذکر کرد (Brewer, 1976). با توجه به فعالیت جانوری بیشتر در سطح این خاک‌ها، عامل اول منطقی‌تر به نظر می‌رسد. تشکیل حفرات صفحه- ای ناشی از انقباض و انبساط مواد خاکی در طی عمل خشک و مرطوب شدن است زیرا عمل انقباض، باعث می‌شود که مواد خاکی، تحت کشش قرار گرفته و در نتیجه با کاهش حجم پلاسم، موجب بروز سیستم درز و شکاف یا حفرات صفحه‌ای شود. همچنین تشکیل حفرات صفحه- ای را می‌توان به مقدار رس نسبت داد (Brewer, 1976). تشکیل بیشتر حفرات از نوع کانال و محفظه (Channel & Chamber) در خاک آهکی را می‌توان به فعالیت جانوران نسبت داد.

صورت گرفت. به منظور تکمیل مطالعات میکروسکوپی و بررسی کمی مقاطع نازک از شاخص مسیکا ارائه شده توسط خرمالی و همکاران (Khormali *et al.*, 2003) و برای محاسبه پارامترهای آن از نرم افزار پردازش تصویر ImageJ استفاده شد. این شاخص بر اساس نمودهای میکرومورفولوژیک از قبیل ریزساختار، بی فابریک، پوشش، ندول و درجه تغییر و تحول ذرات معدنی با استفاده از جدول مربوطه (Khormali *et al.*, 2003) محاسبه می‌شود. در این روش به هر یک از پارامترهای میکرومورفولوژیک از نظر کیفی و کمی، وزنی اختصاص داده شده و سپس با در نظر گرفتن محدوده ای از مقدار تجمعی شاخص مذکور، درجه توسعه خاک ها تعیین می‌شود.

مطالعه کانی شناسی: پس از حذف کربنات‌ها، نمک‌های محلول، مواد آلی، پوشش‌ها یا اکسیدهای آهن و تفکیک اجزاء و تهیه تیمارهای اشباع با پتاسیم (تیمار K)، اشباع با پتاسیم در حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس (تیمار Kt)، اشباع با منیزیم (تیمار Mg) و اشباع با منیزیم و بخار اتیلن گلیکول (تیمار Mge)، آنالیز نمونه‌ها در عمق‌های سطحی با تفرق اشعه X (XRD) مدل Siemens D5000 در سازمان زمین شناسی شمال غرب کشور انجام شد (Kittrick & Hope, 1971).

نتایج و بحث

بررسی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه: برخی از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد که خاک‌های با ماده مادری گچی- نمکی بافت سنگین تری در مقابل خاک‌های با ماده مادری آهکی دارند. مقدار pH در دو نوع ماده مادری تفاوت چندانی نداشت هرچند که مقدار آن در ماده مادری آهکی بیشتر بود. مقدار EC، کربن آلی، CEC و گچ در ماده مادری گچی- نمکی بیشتر از آهکی است. مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک با ماده مادری آهکی بیشتر از گچی- نمکی است. خاک‌های منطقه گچی- نمکی با وجود شرایط نامناسب (EC بالا) دارای کربن آلی بیشتری نسبت به خاک‌های گچی است که این امر به علت عدم فعالیت باکتری‌های تجزیه کننده ماده آلی خاک در شرایط شوری زیاد است.

بررسی ویژگی‌های میکرومورفولوژی خاک‌های مورد مطالعه: براساس مطالعات میکروسکوپ نوری در مقاطع

1- Micromorphological index of soil evolution calcareous arid condition
2- Granular
3- Fragmental
4- Subangular blocky
5- Spongy
6- Massive
7- Vugh
8- Channel & Chamber
9- Plane
10- Compound Packing Void

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های مورد مطالعه
Table 1. Some of soil physico-chemical properties in study area

Parent material	Slope position	Depth	Particle size distribution (%)			pH ¹	EC ² (dS.m ⁻¹)	OC ³ (%)	CEC ⁴ (Cmol ⁺ .kg ⁻¹)	Gypsum	CCE ⁵
			clay	Silt	Sand					(%)	
Gypsiferous -salty soils	Back slope	Surface	37.8a	50a	12.2c	7.25a	22.7a	0.69a	18.09a	22.7a	4.7c
		Subsurface	36.7a	48.3ab	15.1c	7.34a	24.8a	0.45b	17.8a	24.8a	2.8c
	Foot slope	Surface	37.8a	55.1a	7.2d	7.24a	23.8a	0.78a	19.5a	23.8a	2.8c
		Subsurface	35.6a	55.6a	8.8cd	7.34a	27.7a	0.49b	19.5a	27.7a	3.6c
Calcareous soils	Back slope	Surface	17.17b	39.2b	43.6a	7.63a	9.1b	0.34bc	8.7c	9.06b	13.8b
		Subsurface	16.5b	33.7b	49.8a	7.5a	11.9b	0.16c	12.1b	12b	17.7a
	Foot slope	Surface	17.4b	44.7ab	37.8ab	7.54a	10.8b	0.56ab	9.8bc	10.8b	14.5ab
		Subsurface	21.3b	42.3b	36.3b	7.58a	11.6b	0.39bc	11.6b	11.6b	15.1a

۱- pH- واکنش خاک در عصاره گل اشباع خاک، ۲- EC- قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع، ۳- OC- کربن آلی خاک، ۴- CEC- ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، ۵- CCE- کربنات کلسیم معادل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

1993). نسبت C/f در خاک‌های گچی تفاوتی در شیب پستی و پای شیب ندارد در حالی که در خاک‌های آهکی در قسمت شیب پستی این نسبت کمتر از پای شیب است. البته این اختلاف در عمق سطحی مشاهده شد. در خاک‌های گچی - نمکی عوارض خاکزایی از جمله پُرشدگی گچ به صورت کامل و ناقص (شکل ۲- ج)، کلسیتان (شکل ۲- چ)، هایپوکوتینگ آهن و منگنز (شکل ۲- ح)، صفحات در هم قفل شده گچ^۵ (شکل ۲- خ)، رشد بلورهای گچ به صورت پندانت گچ (شکل ۲- د)، بلورهای گچ عدسی شکل (شکل ۲- ذ)، تجمع گچ (شکل ۲- ر)، تخریب گچ (شکل ۲- ز)، رشد بلورهای گچی روی کلسیت به صورت over growth (شکل ۲- ژ)، رشد بلورهای گچی در اطراف دیواره منفذ (شکل ۲- س) و عوارض آمورف (شکل ۲- ش) می‌باشند. پرشدگی کامل یا ناقص بخشی از حفرات به وسیله کریستال‌های عدسی شکل نشان‌دهنده حضور گچ پدوژنیک می‌باشد (Carter & Inskip, 1988). با توجه به حلالیت ۲/۵۴ گرم در لیتر گچ، رطوبت کم در منطقه مطالعاتی، برای حل شدن و رسوب گچ در دیواره کافی بوده است. تشکیل پوشش‌های آهن و منگنز در ارتباط با رطوبت خاک، شرایط اکسید و احیایی، واکنش خاک، مواد مادری، پستی و بلندی و عوامل دیگر می‌باشد که نتایج تحقیقات رمضانپور (Ramezanpour, 1997) نیز این امر را تأیید می‌کند. اگر شدت رطوبت و خشکی ضعیف و سرعت تغییر این شرایط سریع باشد، آهن و منگنز از هم جدا نشده و تشکیل پوشش‌های آهن و منگنز را می‌دهد (Brewer, 1976). عوارض خاکزایی در خاک‌های آهکی شامل فضولات جانوری (شکل ۳- ج)، نودول آهن هالو (شکل ۳- چ)، نودول آهک میکریتیک (شکل ۳- ح)، مخلوط گچ و آهک به صورت پندانت (شکل ۳- خ)، کوتینگ آهک اطراف حفره یا کلسیتان (شکل ۳- د)، باقیمانده صدف‌های آهکی (شکل ۳- ذ)، لیتورلیکت و پدورلیکت (شکل ۳- ر)، حضور کلسیت به صورت ستونی^۶ (شکل ۳- ز)، خوشه‌ای^۸ (شکل ۳- ژ)، کلسیت و گچ ستونی در اندازه اسپاریتیک^۹ (شکل ۳- س) و سوزنی^{۱۰} (شکل ۳- ش) می‌باشند. نودول‌های میکریتیک کربنات کلسیم از

این محفظه‌ها در انتهای حفرات یا کانال‌های کرم‌خاکی ایجاد می‌شود و یا توسط مورچه‌ها یا موریانه‌ها حاصل می‌شود (Brewer & Sleeman, 1960). به اعتقاد بروئر (Brewer, 1976) منافذ کانالی در اثر تجزیه ریشه گیاهان و همچنین فعالیت‌های جانوران خاکزی مانند کرم‌های خاکی ایجاد می‌شوند. تجمع رس به همراه اتصال ذرات به یکدیگر موجب تشکیل حفرات وگ می‌گردد. وجود حفرات وگ در این عمق‌ها در اثر تفاوت در هوادیدگی کانی‌ها و یا خروج کامل محصولات ناشی از هوادیدگی توسط آبشویی می‌باشد. چاخرلو و همکاران (Chakherloo et al., 2014) نیز با مطالعه خاک‌های شور - سدیمی غرب دریاچه ارومیه دریافتند که حفرات از نوع وگی بیشترین فراوانی را در این خاک‌ها دارند که نشان‌دهنده تفاوت در هوادیدگی کانی‌ها و آبشویی آن‌ها می‌باشد و با توجه به مقادیر فراوان رس و کربنات کلسیم در این خاک‌ها، احتمالاً منافذ وگی در اثر تجمع و اتصال ذرات رس و آهک تشکیل شده‌اند. عاکف و همکاران (Akef et al., 2004) و شریفی‌گرمدره (Sharifi Garmdare, 2011) نیز در مطالعات خود گزارش‌های مشابهی داشته‌اند. الگوی توزیع نسبی در دو نوع خاک از نوع پورفیریک^۱ و بی‌فابریک کریستالیتیک^۲ (شکل ۲- ث و ۳- ث) تا استیپل اسپیکلت^۳ و کمی نامشخص^۴ یا ایزوتیک است. بی‌فابریک کریستالیتیک به‌طور عموم در خاک‌هایی دیده می‌شود که از مخلوط رس و کلسیت ریزبلور تشکیل شده‌اند. این نوع فابریک در اثر انحلال و انتقال کربنات کلسیم و رسوب دوباره آن در عمق‌های زیرین ایجاد شده است (Chakherloo et al., 2014). عاکف و همکاران (Akef et al., 2004) در منطقه فومنات گیلان و منافعی (Manafi, 2010; Manafi, 2013) در منطقه ارومیه نیز نشان دادند که شستشوی آهک از سطح خاک به اعماق خاکرخ باعث ایجاد بی‌فابریک کریستالیتیک شده است. حضور بی‌فابریک Stipple Speckled (معادل Insepic بروئر) به وجود دومین‌های (حوزه) غالب آن ایزوتروپ بصورت مجزا مربوط می‌شود و ناشی از نوع رس‌های منطقه می‌باشد. بی‌فابریک نامشخص (معادل ایزوتیک بروئر) را می‌توان به اشباع ماتریکس خاک توسط اکسیدهای آهن نسبت داد (Fitzpatrick,

5- Gypsum interlocked plates

6- Lenticular gypsum

7- Tubular

8- Cluster

9- Sparitic

10- Acicular

1-Porphyric

2-Crystallitic

3-Stipple Speckled

4-Undifferentiated

انواع معمول کربنات کلسیم پدوژنیک می‌باشند که تحت-تأثیر عواملی همچون بافت خاک، فرآیندهای انحلال و تبلور مجدد، غلظت نمک، پایداری خاک، خروج CO₂ و خشک‌شدن‌های مکرر قرار دارند (Stoops, 1985). این نودول‌ها در اثر رسوب در جای کربنات در توده ریز خاک تشکیل شده‌اند (Chakherloo et al., 2014). نودول‌های هالو از تجمع ضعیف برخی از بخش‌های پلاسما در اطراف عوارض گلابیولار خیلی بارز تشکیل شده و دارای فابریک غیرمتماز و مرزهای پخشیده هستند و فابریک غیرمتماز نشان‌دهنده تغییر در شرایط شکل‌گیری هالو می‌باشد. بنابراین نودول‌های هالو به صورت درجا تشکیل شده‌اند (Brewer, 1976). قطعات سنگی (لیتورلیکت) از عوارض مشاهده شده در عمق سطحی خاک آهکی است که دارای مقادیر زیادی از آهن و منگنز بودند که نشان از شرایط اکسید و احیایی است. قطعات خاکدانه‌ها (پدورلیکت) از عوارض مشاهده شده در خاک گچی-نمکی است که به دلیل کمبود پوشش گیاهی در شانه‌شیب شرایط برای حرکت مواد و برجای ماندن برخی مواد از نقطه بالادست فراهم می‌شود. در خاک گچی-نمکی اشکال بی شکل (آمورف) آلی مشاهده شد که منشأ تشکیل این عوارض را می‌توان به تجزیه بقایای گیاهی مرتبط دانست (Bardy & Fritsch, 2008). بلورهای عدسی شکل و صفحات در هم قفل شده گچ از عوارض خاکزایی مشاهده شده در ماده مادری گچی-نمکی است. هنگامی که عرض کانال‌ها یا حفرات در زمان رشد بلورها کاهش می‌یابد، بلورهای گچ به صفحات در هم قفل شده تغییر شکل می‌دهند. تغییر اندک در شرایط محیطی در طول زمان تشکیل بلور در رابطه با تکامل خاک، شکل‌های عدسی و ریزبلور را ایجاد می‌کند (Owliaie et al., 2006). بلورهای گچی عدسی شکل و نامنظم، تکامل خیلی ضعیف را که به علت بارندگی کم، تبخیر زیاد و زیادی نمک است را نشان می‌دهد (Abbaslou & Abtahi, 2009). ناخالصی‌هایی نظیر مقادیر زیاد کلرورسدیم به‌عنوان یکی از شرایط تشکیل گچ عدسی شکل است (Ghergherechi et al., 2009). ثروتی و همکاران (Servati et al., 2011) با مطالعه برخی خاک-های جنوب شهرستان اهر، انواع تجمعات آهکی به‌صورت پوشش‌های کربناتی، نودول آهک و بلورهای سوزنی آهک را مشاهده کردند. اشکال سوزنی شکل کلسیت طی سالیان مختلف در مطالعات زیادی بررسی شده‌اند، از این رو دو

منشأ برای آن در نظر گرفته‌اند. ۱- منشأ فیزیکی-شیمیایی خالص ۲- به صورت مستقیم و غیر مستقیم از منشأ بیولوژیکی (Durand et al., 2010). از آنجاییکه پوشش گیاهی منطقه بسیار ضعیف و شرایط آب و هوایی منطقه بسیار خشک است تصور می‌شود که تشکیل این اشکال سوزنی از منشأ اول یعنی منشأ فیزیکی-شیمیایی باشد. فرم‌های مختلف کلسیت پدوژنیک از جمله میکریتیک و اسپارتیک در انواع خاک‌ها به خصوص خاک-های آهکی به وفور مشاهده شد. تشکیل آهک به صورت بلور و به شکل اسپارتیک نیاز به زمان بیشتری دارد، در حالی که تشکیل آهک به صورت میکریتیک یا ریز بلور به مدت زمان کمتری نیاز دارد (Khormali et al., 2003; Manafi, 2010; Manafi, 2012). پُرشدگی‌های گچ (Gypsum infiling) به صورت ناقص و کامل از عوارض مشاهده شده است که مربوط به آبشویی گچ ثانویه است. محققین بسیاری دریافتند که پُرشدگی‌های نمکی فضای داخل منافذ کانالی و وُگی را به‌صورت جزئی یا کامل پُر کرده‌اند و مورفولوژی و اندازه آن‌ها تابع شکل و اندازه منافذ میزبان می‌باشد. به‌نظر می‌رسد تبخیر و رسوب تدریجی نمک در این منافذ منجر به تشکیل این فرم تجمع‌ها گردیده است (Abbaslou & Abtahi, 2009). Chakherloo et al., 2014) شاخص تکاملی MISECA به طور کلی مقادیر کمی را در هر دو نوع موقعیت شیب در هر دو نوع ماده مادری نشان داد. هرچند که مقادیر آن در خاک آهکی بیشتر از خاک گچی-نمکی است. مطالعات میکرومورفولوژیکی نشان داد که خاکدانه‌دانه‌ای بیشتر در خاک آهکی مشاهده شد که نشان از فعالیت بیولوژیکی بیشتر است. در برخی موارد خاکدانه‌های مکعبی لبه‌مدور نیز مشاهده شد. ریزساختمان توده‌ای در عمق‌های سطحی و زیرسطحی در دو خاک نیز مشاهده شد، که گواهی بر تخریب ساختمان خاک در اثر ریزش طبقات فوقانی و تراکم عمق‌های زیرسطحی است. تفاوت در ویژگی‌های ذاتی (مقدار رس) خاک‌های گچی-نمکی و آهکی باعث اختلاف در مقدار تجمع کانی گچ در اعماق مختلف می‌شود و بر سیستم تبلور و آرایش میکروسکوپی و ماکروسکوپی کریستال‌های گچ در خاک اثر مستقیم می‌گذارد (Fazeli et al., 2009).

جدول ۲- برخی خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک در مواد مادری مختلف
Table 2. Some of soil micromorphologic properties in different parent materials

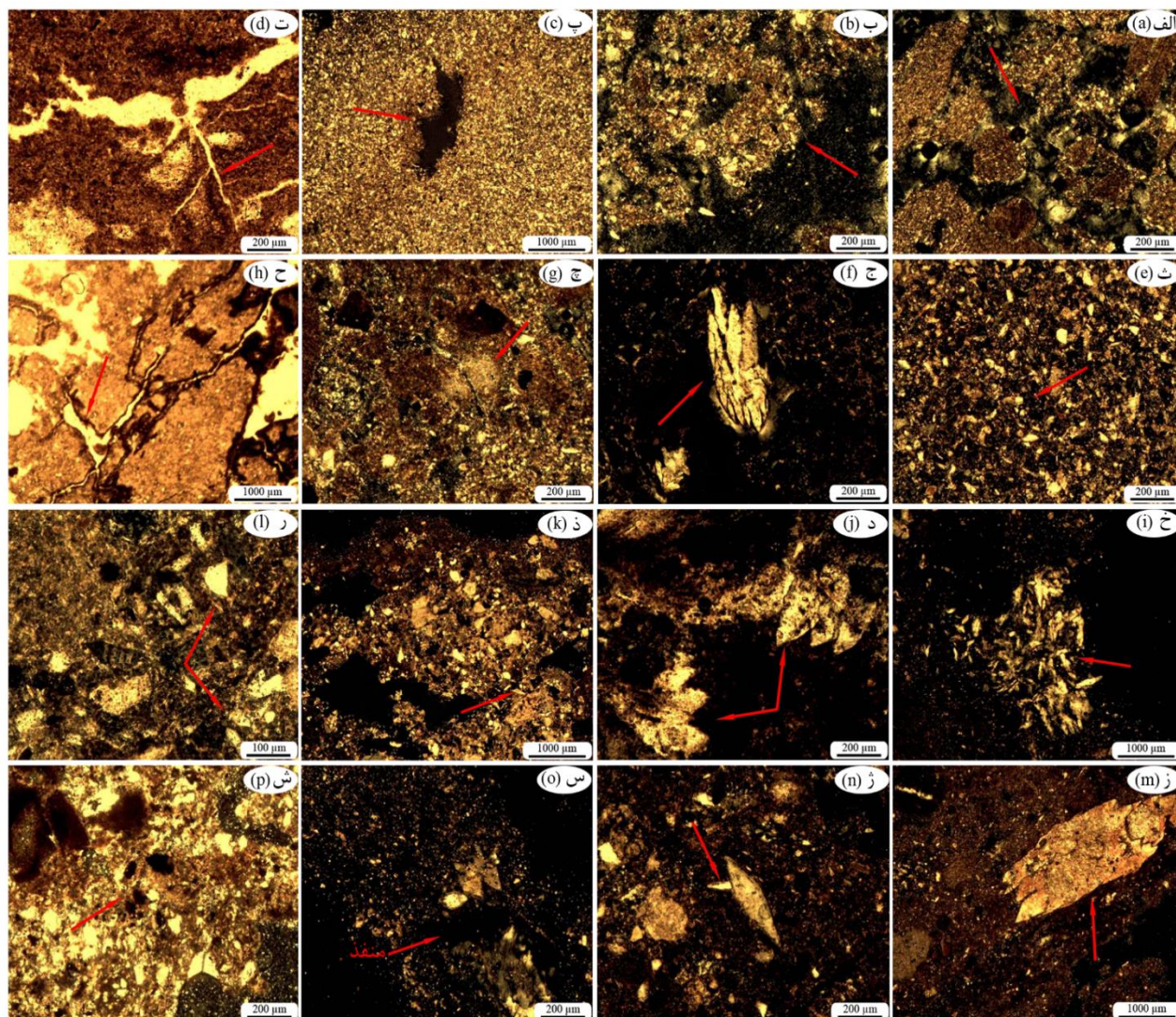
Type of parent material	Slope position	Depth (cm)	Microstructure			Mineral component ⁴	Related Distribution ⁵	B-fabric ⁶	C/F (10μ) ⁷	Pedofeatures	MISECA
			Aggregates ¹	Grade of pedality ²	Voids ³						
gypsiferous-salty soils	back slope	surface	Gr, Cr	M	Pn, Chm, chn, Vu	F, Pl, Gy, Ca, Ch	Po	Cr, Ss, Un	60/40	Gypsum loose and complete infilling, Pedorelict, Gypsum interlocked plates, Amorphous materials, Calcitan, Fe/Mn oxide hypo-coating.	5, weakly developed
		subsurface	Sbk	W	Chm, chn, Vu	F, Pl, Gy	Po	Cr, Ss, Un	60/40	Amorphous materials gypsum along with feldspar, over growth Organic matter hypo-coating.	4, weakly developed
	foot slope	surface	Sbk	M	Vu	F, Pl, Gy, Ca	Po	Cr	60/40	Gypsum pendant, gypsum over growth on calcite, micritic calcite nodules, Lenticular gypsum, Gypsum interlocked plates.	5, weakly developed
		subsurface	Fr, Gr	W	Vu	F, Pl, Ca, Ch	Po	Cr	60/40	Gypsum interlocked plates, Gypsum accumulation, Gypsum destruction, gypsum over growth on calcite, gypsum over growth around pore walls, Opac materials.	5, weakly developed

۱- Sbk- بلوکی، Gr- دانه‌ای، Fr- قطعه‌ای، Sp- اسنجی، Cr- متخلخل؛ ۲- M- متوسط، W- قوی، S- ضعیف؛ ۳- Chn- کانال، Chm- محفظه، Vu- وگ و Pn- صفحه‌ای، Cdp- حفرات بسته مرکب (Compound Packing Void)؛ ۴- F- فلدسپار، Pl- پلاژیوکلاز، Gy- گچ، Ca- کلسیت، Ch- کلریت، Se- سلنیت؛ ۵- Po- پورفیریک؛ ۶- Cr- کریستالیتیک، Ss- استیپل اسپکلت و Un- نامشخص یا ایزوتیک؛ ۷- C/F- نسبت ذرات ریز به درشت

جدول ۲ (ادامه) - برخی خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک در مواد مادری مختلف
 Table 2 (continue). Some of soil micromorphologic properties in different parent materials

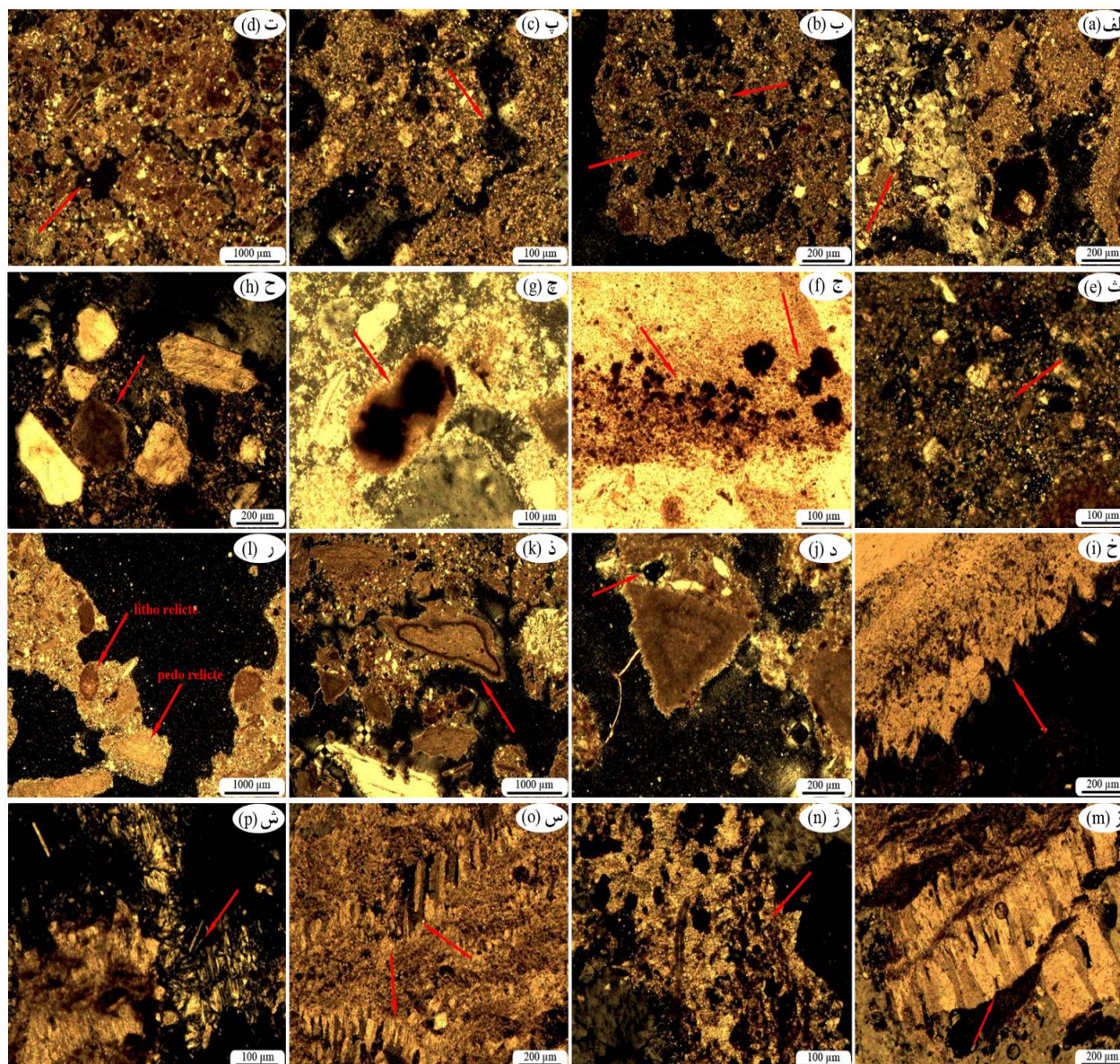
Type of parent material	Slope position	Depth (cm)	Microstructure			Mineral component ⁴	Related Distribution ⁵	B-fabric ⁶	C/F (10 μ) ⁷	Pedofeatures	MISECA
			Aggregates ¹	Grade of pedality ²	Voids ³						
Calcareous soils	back slope	surface	Sbk, Gr	W	Vu, Chm, Ch, Cdp	F, Pl, Gy, Ca	Po	Cr, Un	50/50	Excrements, halo iron nodules, residual of calcareous shell, gypsum and calcite pendant, Micritic calcite nodules, gypsum infilling Gypsum interlocked plates, Calcitan.	6, weakly developed
		subsurface	Fr, Gr	W	Vu, Chm, Ch, Pn	Ca, Gy	Po	Cr-Ss, Un	60/40	Crystalline gypsum, gypsum infilling, residual of calcareous shell, Fe/Mn oxide coatings around void.	6, weakly developed
	foot slope	surface	Fr, Gr	M-W	Vu, Chm, Ch	Ca, Gy, Ch, Se	Po	Cr, Ss, Un	80/20	Lithorelict and pedorelict, Excrements, Pedogenic calcite (Tubular, Cluster, Sparitic and Acicular, Calcitan.	7, weakly developed
		subsurface	Gr, Cr	M-S	Vu, Chm, Ch, Cdp	Ca, Gy, F	Po	Cr-Ss, Un	60/40	Fe/Mn oxide hypo-coating, Gypsum loose infilling, residual of calcareous shell, Excrements, micritic calcite nodules.	7, weakly developed

۱- Sbk - بلوکی، Gr - دانه‌ای، Fr - قطعه‌ای، Sp - اسنجی، Cr - متخلخل؛ ۲- M - متوسط، W - قوی، S - ضعیف؛ ۳- Chn - کانال، Chm - محفظه، Vu - وگ و Pn - صفحه‌ای، Cdp - حفرات بسته مرکب (Compound Packing Void)؛ ۴- F - فلدسپار، Pl - پلاژیوکلاز، Gy - گچ، Ca - کلسیت، Ch - کلریت، Se - سلنیت؛ ۵- Po - پورفیریک؛ ۶- Cr - کریستالینیک، Ss - استیپل اسپکت و Un - نامشخص یا ایزوتیک؛ ۷- C/F - نسبت ذرات ریز به درشت



شکل ۲- برخی از اشکال میکرومورفولوژیک در ماده مادری گچی - نمکی (الف) ریز ساختمان دانه‌ای-توده‌ای (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پشتی، (ب) ریز ساختمان بلوکی (XPL) عمق زیرسطحی خاک در شیب پشتی، (پ) منفذ از نوع وگ (XPL) عمق زیرسطحی خاک در پای شیب، (ت) حفره از نوع صفحه‌ای (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پشتی، (ث) بی‌فابریک کریستالینیک (XPL) عمق زیرسطحی خاک در پای شیب، (ج) پرشدگی گچ به صورت ناقص (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پشتی، (چ) پرشدگی گچ به صورت کامل (XPL) عمق زیرسطحی خاک در شیب پشتی، (ح) هایپوکوتینگ اکسید آهن و منگنز (PPL) عمق سطحی خاک در شیب پشتی، (خ) صفحات در هم قفل شده گچ (XPL) عمق زیر سطحی خاک در پای شیب، (د) رشد بلورهای گچ به صورت پندانت (XPL) عمق سطحی خاک در پای شیب، (ذ) بلورهای گچ عدسی شکل (XPL) عمق سطحی خاک در پای شیب، (ر) تخریب گچ (XPL) عمق زیرسطحی خاک در پای شیب، (ز) تجمع گچ (XPL) عمق زیرسطحی پای شیب، (ز) رشد بلورهای گچ روی کلسیت (XPL) عمق سطحی خاک در پای شیب، (س) رشد بلورهای گچ در اطراف دیواره منفذ (XPL) عمق زیرسطحی خاک در پای شیب، (ش) عوارض آمورف (XPL) عمق زیرسطحی خاک در شیب پشتی.

Figure 2. Some of micromorphologic features in from gypsiferous-salty soils (a) Granular and Massive micro-structure (XPL) in surface soil depth of back slope, (b) Blocky micro-structure (XPL) in subsurface soil depth of back slope, (c) Vugh void (XPL) in subsurface soil depth of foot slope, (d) Planar void (XPL) in surface soil depth of back slope, (e) Crystallitic b-fabric (XPL) in subsurface soil depth of foot slope, (f) Gypsum loose infiling (XPL) in surface soil depth of back slope, (g) Gypsum complete infiling (XPL) in surface soil depth of back slope, (h) Fe/Mn oxide hypo-coating (PPL) in surface soil depth of back slope, (i) Gypsum interlocked plates (XPL) in subsurface soil depth of foot slope, (j) Gypsum pendant (XPL) in surface soil depth of foot slope, (k) Lenticular gypsum (XPL) in surface soil depth of foot slope, (l) Gypsum destruction (XPL) in subsurface soil depth of foot slope, (m) Gypsum accumulation (XPL) in subsurface soil depth of foot slope, (n) Gypsum over growth on calcite (XPL) in surface soil depth of foot slope, (o) Gypsum over growth around pore walls (XPL) in subsurface soil depth of foot slope, (p) Amorphous materials (XPL) in subsurface soil depth of back slope.



شکل ۳- برخی از اشکال میکرومورفولوژیک در ماده مادری آهکی (الف) ریز ساختمان بلوکی (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (ب) ریز ساختمان اسفنجی- دانه‌ای (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (پ) حفره از نوع کانال و محفظه (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (ت) حفره از بسته مرکب (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (ث) بی‌فابریک کریستالیتیکی (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (ج) فضولات جانوری (PPL) عمق سطحی خاک در پای شیب، (چ) نودول آهن هالو به صورت دو قلو (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (ح) نودول آهک میکریتیکی (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (خ) مخلوط گچ و آهک به صورت پندانت (XPL) عمق سطحی خاک در شیب پستی، (ز) باقیمانده صدف‌های آهکی (XPL) عمق سطحی شیب پستی، (ر) پدورلیکت و لیتورلیکت (XPL) عمق سطحی پای شیب، (ز) کلسیت ستونی (XPL) عمق سطحی خاک در پای شیب، (ز) کلسیت خوشه‌ای (XPL) عمق سطحی پای شیب، (س) کلسیت و گچ ستونی در اندازه اسپاریتیکی (XPL) عمق سطحی خاک در پای شیب، (ش) کلسیت سوزنی (XPL) عمق سطحی خاک در پای شیب.

Figure 3. Some of micromorphologic features in calcareous soils (a) Blocky micro-structure (XPL) in surface soil depth of back slope, (b) Spongy and granular micro-structure (XPL) in surface soil depth of back slope, (c) Channel-Chamber void (XPL) in surface soil depth of back slope, (d) Compound packing void (XPL) in surface soil depth of back slope, (e) Crystallitic b-fabric (XPL) in surface soil depth of back slope, (f) Excrements (PPL) in surface soil depth of foot slope, (g) Halo iron nodules (XPL) in surface soil depth of back slope, (h) Micritic calcite nodules (XPL) in surface soil depth of back slope, (i) Gypsum and calcite pendant (XPL) in surface soil depth of back slope, (j) Calcite coatings around void (XPL) in surface soil depth back slope, (k) Residual of calcareous shell (XPL) in back slope surface depth, (l) Lithorelict and pedorelict (XPL) in surface soil depth of foot slope, (m) Tubular calcite (XPL) in surface soil depth of foot slope, (n) Cluster calcite (XPL) in foot slope surface depth, (o) Sparitic calcite and gypsum (XPL) in soil surface depth of foot slope, (p) Acicular calcite (XPL) in surface soil depth of foot slope.

ویژگی‌های کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه

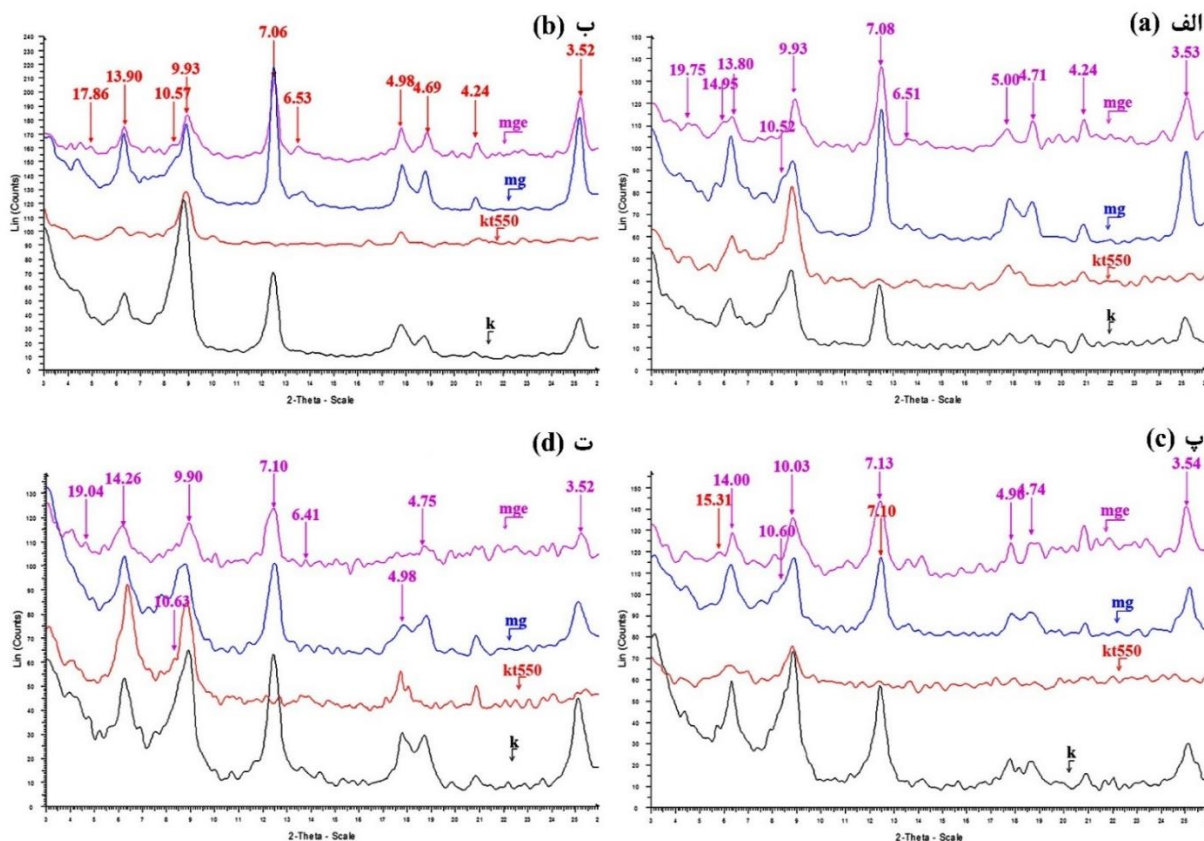
کانی‌شناسی خاک‌های گچی نمکی: در موقعیت شیب پشتی حضور قله $9/93A^\circ$ در تیمار Mg و پایداری آن در تیمار Mge، تیمار K و تیمار Kt می‌تواند مبین حضور میکا باشد. حضور قله $10/5A^\circ$ در تیمار Mg و ناپدید شدن آن در تیمار Kt احتمالاً نشان‌دهنده مقداری پالی-گورسکایت است. حضور قله حدود $14A^\circ$ در تیمار Mg و پایداری آن در تمام تیمارها نشان‌دهنده کلریت بوده ولی حضور قله $14/95A^\circ$ در تیمار Mg و تغییر آن به $10A^\circ$ در تیمار Kt و افزایش شدت آن نشان‌دهنده مقداری کم از ورمیکولایت است. حضور قله $7A^\circ$ در تیمار Mg و تخریب آن در تیمار K550 نشان‌دهنده حضور کائولینیت است (شکل ۴- الف). در موقعیت پای‌شیب حضور قله $10/5A^\circ$ در تیمار Mg و تخریب آن در تیمار K550 نشان‌دهنده حضور احتمالی پالی‌گورسکایت است. کاهش شدت قله $14A^\circ$ در تیمار Mg و تغییر آن به $17/8A^\circ$ نشان‌دهنده حضور اسمکتیت (به مقدار کم) است. همچنین مقداری کم از کائولینیت، کلریت و نیز مقداری از کانی‌های مخلوط منظم و نامنظم میکا-ورمیکولیت و میکا-کلریت وجود دارد (شکل ۴- ب).

کانی‌شناسی خاک‌های آهکی: کانی‌های موجود در موقعیت شیب پشتی شامل مقداری میکا، کلریت، ورمیکولیت، کائولینیت و مقداری از کانی‌های مخلوط منظم و نامنظم میکا-ورمیکولیت و کلریت-ورمیکولیت وجود دارد (شکل ۴- پ). در موقعیت پای شیب افزایش شدت قله $14A^\circ$ در تیمار K550 و افزایش شدت قله A° در تیمار K احتمالاً حضور ورمیکولیت را نشان می‌دهد. کاهش شدت قله $14A^\circ$ و پیدایش قله کوچک حدود $16A^\circ$ و $19A^\circ$ در تیمار Mge و تغییر نسبی آن در تیمار K550 احتمالاً حضور یک کانی منبسط شونده مانند اسمکتیت (به مقدار خیلی کم) را نشان می‌دهد. همچنین مقداری کانی کلریت، میکا و کائولینیت همراه با مقداری از کانی‌های مخلوط منظم و نامنظم میکا-ورمیکولیت و کلریت-ورمیکولیت دیده شد (شکل ۴- ت). به طور کلی، مقایسه ویژگی‌های کانی‌شناسی در دو ماده مادری گچی-نمکی و آهکی نشان داد که ترتیب حضور کانی‌های رسی در شیب پشتی خاک گچی-نمکی به صورت ایلیت - کلریت < ورمیکولیت < پالی‌گورسکایت < اسمکتیت و در

پای شیب به صورت ورمیکولیت < ایلیت < کلریت < پالی‌گورسکایت < اسمکتیت می‌باشد که احتمالاً بخشی از کلریت در پایین دست به اسمکتیت و پالی‌گورسکایت تبدیل شده است. همچنین ترتیب حضور کانی‌های رسی در شیب پشتی خاک آهکی به ایلیت < ورمیکولیت < کلریت و در پای شیب به صورت کلریت < میکا- ایلیت < ورمیکولیت < اسمکتیت است احتمالاً تخریب بیشتری در کلریت صورت گرفته و به ورمیکولیت تبدیل شده است. حضور احتمالی کانی پالی‌گورسکایت در خاک گچی-نمکی از موارد اختلاف بین این دو ماده مادری است. ورمیکولیت در خاک از هوادیدگی میکاها و کلریت به وجود می‌آید. هوادیدگی میکا به ورمیکولیت به وسیله جانشینی پتاسیم با کاتیون‌های تبادلپذیر هیدراته است (Schulze, 1989). کائولینیت نیز از کانی‌های رسی متداول مناطق حاره‌ای و شبه حاره‌ای است که از هوادیدگی فلدسپات‌ها و میکاها در شرایط فعالیت پایین یون K^+ و فعالیت زیاد یون H^+ نیز به وجود می‌آید و به‌طور کلی حضور آن در خاک‌های مناطق خشک منشأ اثری دارد. (Khormali & Tazikeh, 2010). ایلیت کانی غالب تمام خاک‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد و وجود مقادیر قابل توجهی از ایلیت حکایت از جوانی و مراحل اولیه تکامل خاک‌های منطقه دارد. پژوهشگران به حضور توارثی ایلیت در خاک‌های ایران اشاره داشته‌اند (Khormali et al., 2006; Khormali & Abtahi, 2003). وجود شرایط آبشویی برای کاهش غلظت K^+ در محیط برای این امر ضروری است که نبودن این شرایط در این خاک‌ها موجب شده است که ایلیت موجود تغییر و تحول و هوادیدگی چندانی نداشته باشد (Khormali & Tazikeh, 2010). کلریت نیز وضعیتی مانند ایلیت دارد. حضور کانی کلریت در خاک‌های ایران مرکزی (که رژیم رطوبتی مشابه با خاک‌های جنوب استان گیلان دارد)، به وجود آن در سنگ مادر و پایداری آن در شرایط تشکیل در محیط خاک نسبت داده شده است (Khademi & Mermut, 1998). پالی‌گورسکایت از گروه رس‌های الیافی، کانی غالب بخش رس بسیاری از خاک‌ها و ته نشست‌های مناطق خشک است. حضور کانی پالی-گورسکایت در خاک‌های مناطق خشک ایران در بعضی موارد به فرآیند خاکساز (Abtahi, 1980) و در بعضی موارد به مواد مادری (Farpoor et al., 2002; Khademi & Mermut, 1998) نسبت داده شده است. افزایش

به همراه کاتیون‌ها و آنیون‌های لازم برای تبلور پالی-گورسکایت می‌باشند، اما ویژگی‌های شیمیایی محلول در خاک‌های گچی در مقایسه با خاک‌های آهکی شرایط مناسب‌تری را برای تشکیل کانی پالی‌گورسکایت ایجاد می‌کند (Owliaie *et al.*, 2006)

اسمکتیت، کاهش کلریت و پالی‌گورسکایت در سطح خاک، احتمالاً به آثار موضعی اسیدهای آلی، تناوب اکسید و احیا و یا شدت هیدرولیز در اقلیم گذشته مرطوب‌تر مربوط می‌شود (Ramezanpour & Jalalian, 2002). خاک‌های گچی و آهکی قادر به ایجاد محیط قلیایی بافر



شکل ۴- پراش نگاشت اشعه X خاک‌های مورد مطالعه، الف- موقعیت شیب پشتی ماده مادری گچی- نمکی، ب- موقعیت پای شیب ماده مادری گچی- نمکی، پ- موقعیت شیب پشتی ماده مادری آهکی، ت- موقعیت پای شیب ماده مادری آهکی

Figure 4. X-ray diffractogram in a) the back slope of gypsiferous-salty soils, b) the foot slope of gypsiferous-salty soils, c) the back slope of calcareous soils and d) the foot slope of calcareous soils

مشاهده شد. به‌طورکلی عدم تعادل خاک و بی‌نظمی در جذب آب و عدم قابلیت نگهداری آب و پوشش گیاهی پراکنده و ضعیف در خاک‌های گچی- نمکی و آهکی باعث فعالیت کم موجودات زنده در خاک‌ها شده است. به علت تداخل بیشتر فعالیت موجودات زنده در خاک‌های آهکی بیشتر است. تشکیل کانی پالی‌گورسکایت در منطقه که یک حوضه بسته است در ماده مادری گچی- نمکی مشاهده شد. به‌طورکلی با توجه به شاخص تکامل میکرومورفولوژیکی مسیکا، خاک‌های منطقه دارای تکامل ضعیف هستند.

نتیجه‌گیری کلی

مناطق خشک جنوب استان گیلان دارای وسعت زیادی از خاک‌های گچی و آهکی است که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است، از این رو شناسایی ویژگی‌های این خاک‌ها جهت بهره‌برداری آینده یک نیاز اساسی است. بسیاری از ویژگی‌های میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه تحت تأثیر گچ و آهک است. نوع اقلیم منطقه، مقدار نمک، عمق خاک، مقدار و نوع رس روی نوع و شکل بلورهای تشکیل یافته از گچ تأثیرگذار است. به‌طوری‌که در خاک گچی- نمکی اشکال متنوع‌تری از گچ

References

- Abbaslou H., and Abtahi A. 2009. Mineralogy and micromorphology investigation of soils on calcareous, gypsiferous and saline material in Bakhtegan Lake margin, Fars Province. *Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress. Gorgan, Iran*, pp. 456-457. (In Persian)
- Abtahi A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid condition in Iran. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 329-336.
- Akef M., Mahmoudi Sh., Karimian Eghbal M., and Sarmadian F. 2004. Physico-chemical and micro-morphological changes in paddy soils converted from in forest in Foomanat region, Gilan. Iran. *Journal of Natural Resource*, 56(4): 407-423. (In Persian)
- Aliolad J., Mahmoodi S.h., Zarinkafsh M., and Abtahi A. 2005. Investigation and study of some forest soil mineralogical properties Kheyroud Kenar Nowshahr (Mazandaran province). *Proceedings of the 9th Iranian Soil Science Congress. Tehran, Iran*. pp. 136-142. (In Persian)
- Bardy M., and Fritsch E. 2008. Micromorphology and spectroscopic characteristics of organic matter in waterlogged podzols of the upper Amazon basin. *Geoderma*, 145: 222-230.
- Brewer R. 1976. Fabric and Mineral Analysis of Soils. Robert E. Krieger Pub. Co, New York. 482p.
- Brewer R., and Sleeman J.R. 1960. Soil structure and fabric. *European Journal of Soil Science*, 11(1): 172-185.
- Buck B.J., and Van Hoesen J. G. 2002. Snowball morphology and SEM analysis of pedogenic gypsum, southern New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*, 51(4):469-487.
- Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., and Tursina T. 1985. Handbook for Soil thin Section Description. Waine Research Pub.152p.
- Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis, 2nd Ed, CRC Press, 1224 p.
- Carter B.J. and Inskeep W.P. 1988. Accumulation of pedogenic gypsum in western Oklahoma soils. *Soil Science Society of America Journal*, 5: 1107-1113.
- Chakherloo S., Manafi S. and Heidari A. 2014. Genesis and micromorphological properties of some saline-sodic soils of the west of Urmia Lake. *Journal of Soil Management Sustainable Production*, 4(3): 87-111. (In Persian)
- Durand Nicolas H., Curtis Monger M., and Canti G. 2010. Calcium Carbonate Features. In: Stoops, G., Marcelino, V. and Mees, F. (Eds.), Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, Elsevier, Amsterdam, pp. 149-194.
- Eftekhari K., and Mahmoodi S., 2002. Genesis, Classification and mineralogic composition of selected calcareous and gypsiferous soils in the Salafchegan Plain, Qom Province, Iran. *Journal Soil and water Science* (special issue), pp. 120-138. (In Persian)
- Farpoor H., Khademi H., and Eghbal M.K. 2002. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces. *Iranian Agricultural Research*. 21:39-60. (In Persian)
- Fazeli S., Abtahi A., and Maria Poch R. 2009. Micromorphological study of gypsiferous profiles in Joyum region of Larestan, Fars Province. *Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress. Gorgan, Iran*, pp. 480-482. (In Persian)
- Fitzpatrick E.A. 1993. Soil Microscopy and Micromorphology. John Wiley & Sons Inc. Chichester, 304p.
- Ghergherechi S.h., Khormali F., Mahmoodi S., and Ayoubi, S. 2009. Micromorphology of argillic horizon development in loess derived soils of humid and subhumid regions of Golestan Province, Iran. *Journal of Soil and Water Research*, 40: 130-138. (In Persian)
- Jafarzadeh A.A. 1996. Formation and classification of gypsiferous soils. *Water and Soil Science*, 6(1): 65-97. (In Persian)
- Khademi H., and Mermut A. R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. *Clay Minerals*, 33(4): 561-578.
- 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.
- Khormali F., Abtahi A., Mahmoodi S., and Stoops G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena*, 53(3): 273-301.
- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals*, 38(4): 511-527.

- Khormali F., and Tazikeh H. 2010. Evolution of clay minerals in saline-sodic soils as influenced by topography and ground water table in northern Atrak watershed. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 17(2): 107-123. (In Persian)
- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1971. A procedure for particle size separations of soils for X-Ray diffraction. *Soil Science Society of America Proceeding*, 35: 621-626.
- Mahmoodi M., Khormali F., Amini A., and Ayoubi S. 2016. Weathering and soils formation on different parent materials in Golestan province, northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 13(5): 870-881.
- Manafi Sh. 2010. Calcium carbonate pendants as a record of climate change in semiarid soils of Rashkan region, Urmia, Iran. *Pochvoznanie, Agrokhimiya i Ekologiya*, 44(4): 11-16.
- Manafi Sh. 2012. Micromorphic evidences of climate change in some arid and semi-arid soils in the west of Urmia Lake, Western Azerbaijan, Iran. *Proceedings of the 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology*. Lleida, 8(14).
- Manafi Sh. 2013. The study of micromorphology of some semiarid soils in the Rashakan region in the south of Urmia. *Proceedings of the National Congress on Soil and Sustainable Agriculture*. Malayer, Iran. 8 March. pp. 124-130.
- Manafi Sh., and Mahmodi S. 2004. Micromorphology of secondary calcium carbonate accumulations in some soils around Urmia Lake. In *Soil micromorphology. Proceedings of the 12th International Conference on Soil Micromorphology*. Cukurova University of Adana, Turkey. September, 20-26.
- Moghiseh E., and Heidari A. 2012. Polygenetic saline gypsiferous soils of the Bam region, Southeast Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(4): 729-746.
- Montakhabi Kalajahi V., Jafarzadeh A.A. and Rezaei H. 2016. Comparison of different soils evolution based on Argillic horizon development. *Journal of Water and Soil Science*, 27(1): 253-265. (In Persian)
- Murphy C.P. 1986. *Thin Section Preparation of Soils and Sediments*. A and B Academic Publ, Berkhamsted. 149p.
- Owliaie H. R., Abtahi A., and Heck R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. *Geoderma*, 134(1): 62-81.
- Poch R.M., and Verplancke H. 1997. Penetration resistance of gypsiferous horizons. *European Journal of Soil Science*, 48(3): 535-543.
- Ramazanpour H., and Jalalian A. 2002. Soil Variability along a chrono- toposequence in two climatic zones of Central Zagros. *Journal of Water and Soil Science*, 6(1):131-147. (In Persian)
- Ramezanpour H. 1997. The relationship between the soil and the formation and evolution of soils in four different climatic region on the part of the central Zagros. PhD Thesis of Soil Science, College of Agriculture. University of Tarbiat Modares, 396 p. (In Persian)
- Ramezanpour H. 2012. *General Soil Science*. Haghshenas Press. Rasht, Iran. 170p. (In Persian)
- Schulze D.G. 1989. An Introduction to Soil Mineralogy, In: Dixon J.B. and Weed S.B. (Ed.), *Minerals in Soil Environments*.: Soil Science Society of America: Madison, WI. pp. 1-34.
- Servati M., Jafarzadeh A.A., Heydari A. and Shahbazi F. 2011. Evolution of gypsum and its pedofeatures in soils on pediment and flood-plain, south of Ahar region, East Azerbaijan, Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 21(1): 43-55. (In Persian)
- Sharifi Garmdare J. 2011. Study of some of physicochemical, micromorphological and mineralogical soil properties on three slope position in Chelgerd region in Chaharmahal and Bakhtiari province. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Guilan. 98p. (In Persian)
- Soil and Water Research Institute. 2002. *The map of soils moisture and temperature regimes of Iran*. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Ministry of Agriculture Iran.
- Stoops G. 2003. *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin. 184p.
- Stoops G., and Ilaiwi M. 1981. Gypsum in arid soils, morphology and genesis. In *Proceeding of the Third International Soil Classification Workshop*. Damascus, Syria. pp. 175-185.
- Wilding L.P., Smeck N.E., and Hall G.F. 1983. *Pedogenesis and Soil Taxonomy, Part II: Soil Orders*. Elsevier, New York, 410p.
- Yurong H., Peng C., Chaolin L., Baohua Z., and Yu Z. 2006. Micromorphology of landslide soil. *Journal of Mountain Science*, 3(2):147-157.

Micromorphological Study of Gypsum and Calcium Carbonate Features and Clay Mineralogy in Soils with Different Parent Material in South of Guilan Province

Mastaneh Rahimi Mashkaleh¹, Hassan Ramezanpour^{2*}, Nafiseh Yaghmaeian Mahabadi³, Mehdi Norouzi⁴

(Received: June 2017

Accepted: December 2017)

Abstract

Gypsiferous and calcareous soils comprise important parts of soil resources in arid and semiarid areas of south of Guilan province. This study was conducted in order to investigate gypsum and lime in the soils of hilly lands of Aliabad region in Guilan province using soil thin sections. Soil samples were taken as air-dried undisturbed clods from gypsiferous-salty and calcareous parent materials with three replicates at two slope positions (back slope and foot slope) from surface (0-20 cm) and subsurface (20-40 cm) depths. Results showed that the soils with gypsiferous-salty parent material had heavier textural class than the calcareous soils. The results of micromorphological studies showed that the number of channel and chamber voids and excrements is higher in calcareous soil due to the presence of larger pores and more biological activity. Micromorphological pedofeatures of gypsiferous-salty soils include the forms of gypsum interlocked plates, gypsum lenticular crystals, gypsum pendant, infilling of gypsum as dense complete and incomplete, and loose discontinuous in voids and channel walls and hypo-coating of iron and manganese and in calcareous soils include excrements, hallow iron and micritic nodules, rock fragments, gypsum and calcite pendant and different forms of pedogenic calcite as columnar, cluster, needle, micritic and sparitic. The fine fraction in both soils were mainly crystallitic b-fabric and locally stipple speckled and undifferentiated b-fabric. The micromorphological index for soil evolution (MISECA) showed that both soils had weak development. Results of clay mineralogical study showed that chlorite, illite, vermiculite, smectite and hydroxyl-interlayer minerals were prominent in both soils. Palygorskite was found only in the soils with gypsiferous-salty parent material.

Keywords: Crystallitic b-fabric, Gypsum pendant, Micritic nodule, MISECA index, Palygorskite

Rahimi Mashkaleh M., Ramezanpour H., Yaghmaeian Mahabadi N. and Norouzi M. 2019. Micromorphological study of gypsum and calcium carbonate features and clay mineralogy in soils with different parent material in south of Guilan province. *Applied Soil Research*, 7(1): 132-147.

1- Ph.D Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran

2- Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Iran

4- Former Ph.D student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

* Corresponding Author Email: hasramezanpour@yahoo.com