

## خصوصیات فیزیکوشیمیایی، میکرومورفولوژیکی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های منطقه بردسیر متأثر از سازندهای زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اقلیم

امیر بیات<sup>۱</sup> - محمد هادی فرپور<sup>۲\*</sup> - اعظم جعفری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۲۴

### چکیده

تشکیل و تکامل خاک‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک شدیداً تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه می‌باشد. نهشته‌های جوان کواترنری، مارن‌های نتوژن و کرتاسه از مهم‌ترین و گسترده‌ترین سازندهای زمین‌شناسی در منطقه بردسیر می‌باشند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و همچنین اقلیم و سطوح ژئومورفولوژی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک‌های منطقه می‌باشد. در این مطالعه ۱۱ خاکرخ متأثر از این سازندها و در رژیم‌های رطوبتی اریدیک، مرز اریدیک-زریک و زریک و بر روی سطوح ژئومورفیک پدیمنت پوشیده و سنگی، دشت‌های سیلابی و دامنه‌ای، سطوح حدواسط، باهادا و تراس‌ها حفر شد. حداکثر مقدار گچ در خاک‌های واقع بر سازندهای کواترنری و مارن‌های کرتاسه و حداکثر مقدار کربنات کلسیم در سازندهای نتوژن مشاهده شد. خاک‌های متکامل مانند آلفی‌سول‌ها در رژیم رطوبتی زریک و سطوح ژئومورفولوژی دشت دامنه‌ای و خاک‌های انتی‌سول در رژیم رطوبتی اریدیک و سطوح ژئومورفولوژی پدیمنت سنگی تشکیل شده‌اند. کانی‌های رسی مشاهده شده در این منطقه شامل اسمکتیت، ورمی کولیت، ایلیت، کائولینیت و کلریت می‌باشد که با حرکت از رژیم رطوبتی اریدیک به زریک نسبت اسمکتیت به ایلیت افزایش یافت. مطالعات میکرومورفولوژیکی نیز نشان داد با حرکت از رژیم رطوبتی اریدیک به زریک از بلورهای گچ کاسته شده و یا اثری از آن‌ها دیده نمی‌شود و بالعکس بر ضخامت پوشش‌های رس و بلورهای کلسیت افزوده شد. همچنین این مطالعات نشان داد عوارض خاک‌ساخت گچی عمده عوارض مشاهده شده در سازندهای کرتاسه و انواع عوارض خاک‌ساخت آهکی عمده عوارض مشاهده شده در سازندهای نتوژن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آرگیلیک، ایران مرکزی، ردیف مواد مادری اقلیمی

### مقدمه

مقادیر فراوان نمک، گچ و آهک در آن‌هاست. گچ یکی از معمول‌ترین کانی‌های سولفاته است که به عنوان جزء اصلی خاک‌های گچی (۱۹)، در رسوبات ژئولوژیکی رخ می‌دهد (۲۴). بویادگیف (۵) بیان کرد که خاک‌های دارای بیش از ۱۵ درصد گچ دارای ساختمان ناپایداری هستند و خاک‌های شامل ۳۵-۱۰ درصد گچ نشست‌پذیر می‌باشند و برای ساختن کانال‌های آبیاری نامناسب هستند. اولیایی و همکاران (۲۴) در مطالعات خود در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها را کاملاً تابع سنگ مادر آهکی آن می‌دانند که به مرور زمان تحت تأثیر هوازدگی شیمیایی و فیزیکی قرار گرفته و خاک‌هایی غنی از آهک را به وجود می‌آورد.

کربن آلی، مقدار و نوع رس، رنگ، وجود یا عدم وجود کربنات کلسیم، حالیت بیشتر نمک‌ها و عمق آب‌شویی در خاک‌ها ارتباط تنگاتنگی با اقلیم دارد (۲). در یک ردیف اقلیمی در مناطق خشک،

تفاوت در ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکی و ژئوشیمیایی خاک‌ها، بازتابنده تفاوت در ترکیب شیمیایی مواد مادری است (۱۱). شکل‌آبادی (۳۱) بیان کرد کمترین مقدار آهک در خاک‌های حاصل از سازندهای آذرین و حداکثر آن در خاک‌های حاصل از سازندهای آهکی و دولومیتی وجود دارد. مارن‌ها در نواحی خشک به عنوان مواد مادری با حساسیت زیاد به فرسایش و منشأ تولید رسوبات محسوب می‌شوند. در نتیجه میزان تکامل افق‌ها و عمق خاک در این تشکیلات پایین است. ویژگی بارز اراضی مارنی دوران سوم وجود

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و استادیار علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(Email: farpoor@uk.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آهکی دوره‌ی کرتاسه بیشتر حاوی افق تجمع آهک، یعنی افق کلسیک و پتروکلسیک هستند، در حالی که در مناطق مرطوب‌تر افق تجمع رس تشکیل گردیده است (۲۶). آب‌شویی، تجمع رس، کربنات‌ها و نمک از جمله فرآیندهای خاک‌سازی در حوضه ازرق در شمال شرقی اردن بوده‌اند (۱۷). در خاک‌های منطقه ازرق فرآیند تجمع رس در زمان مرطوب‌تر گذشته منجر به افزایش رس در افق‌های زیرین و در نتیجه تشکیل افق آرجیلیک شده است. در ضمن، وضعیت کانی‌شناسی افق‌های خاک برآیند تشکیل، تغییر و تخریب رس‌ها است. اگلی و همکاران (۷) نشان دادند که هوادیدگی خاک‌ها شدیداً در ارتباط با اقلیم بوده و هوادیدگی زیاد کانی‌های تری‌اکتاهدال مانند میکا و کلریت را به کانی‌های دی‌اکتاهدال مثل اسمکتیت تبدیل کرده است. معاذالهی و فرپور (۲۰) در مطالعات خود در منطقه کرمان بیان نمودند که خصوصیات خاک و بسیاری از ویژگی‌های پدوژنیک درون خاک مانند تشکیل و ته‌نشست کربنات کلسیم به آب و هوا وابسته می‌باشد.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک انواع عوارض خاک‌ساخت آهکی و گچی در مطالعات میکروسکوپی مشاهده می‌شود. تجمع کربنات کلسیم پدوژنیک از ویژگی‌های معمولی و یک فرآیند خاک‌ساختی خیلی مهم در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۱۰). کربنات کلسیم خاک‌ساخت در نتیجه فرآیندهای پیچیده‌ای از انحلال، انتقال، رسوب و تجمع مجدد کربنات‌هایی که یا در مواد مادری خاک‌ها حضور دارند و یا از منابع خارجی به خاک اضافه شده‌اند، در خاک به وجود می‌آیند (۳). در خاک‌های با تکامل بیشتر و همچنین در عمق خاک‌ها شکل عدسی گچ غالب است چرا که تشکیل این بلورها به مدت زمان طولانی‌تری نیاز دارد. فرپور و همکاران (۹) نیز در مطالعات خود در منطقه نوق رفسنجان، وجود اشکال عدسی‌شکل و صفحات درهم قفل شده گچ را در خاک‌های این مناطق گزارش نمودند.

با توجه به متغیر بودن اقلیم، حضور گسترده سازندهای کواترنری، نئوژن و کرتاسه و همچنین سطوح مختلف ژئومورفیک در منطقه بردسیر، این پژوهش برای دستیابی به اهداف زیر صورت پذیرفت:

- ۱- بررسی تأثیر مواد مادری، اقلیم و موقعیت ژئومورفیک بر نحوه تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه
- ۲- مطالعه کانی‌شناسی رسی خاک‌های متأثر از مواد مادری و اقلیم متفاوت در سطوح مختلف ژئومورفیک
- ۳- بررسی میکرومورفولوژی خاک‌های متأثر از مواد مادری و اقلیم متفاوت در سطوح مختلف ژئومورفیک

## مواد و روش‌ها

شهرستان بردسیر در مختصات جغرافیایی  $۵۶^{\circ}۰۱'$  تا  $۵۷^{\circ}۱۸'$

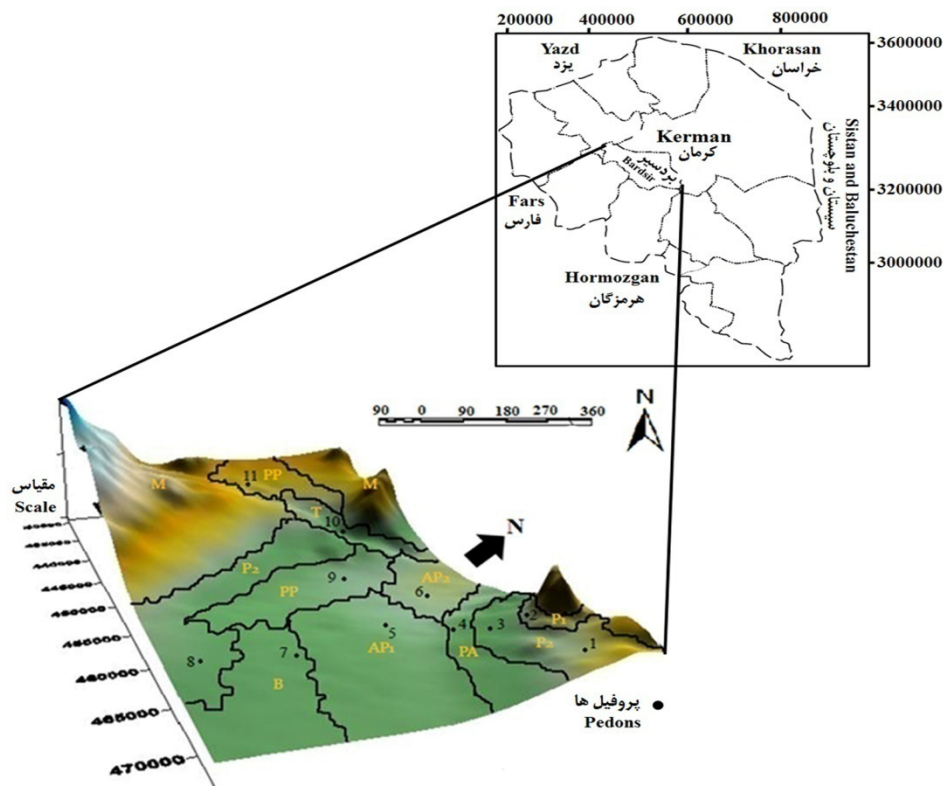
طول شرقی و  $۲۹^{\circ}۲۳'$  تا  $۳۰^{\circ}۱۳'$  عرض شمالی واقع شده است. وسعت منطقه مورد مطالعه ۲۵ هزار هکتار می‌باشد که از بردسیر شروع شده و تا ارتفاعات خانه‌سرخ در مرز شهرستان سیرجان امتداد دارد. سطوح ژئومورفولوژی شناسایی شده در منطقه شامل پدیمت پوشیده و سنگی، دشت‌های آبرفتی، دشت‌های دامنه‌ای، حدواسط دشت آبرفتی و پدیمت و تراس‌های رودخانه‌ای می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه و محل حفر خاک‌ها در سطوح مختلف ژئومورفولوژی را نشان می‌دهد. هوای منطقه مورد مطالعه گرم و نیمه‌خشک است و در مناطق کوهستانی و دامنه ارتفاعات حالت بیلاقی پیدا می‌کند (۲۱). بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ مؤسسه تحقیقات آب و خاک (۱) بخش اعظم منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی مزیک بوده ولی با حرکت به سمت غرب و جنوب‌غرب و با افزایش ارتفاع، آب و هوای کوهستانی غالب بوده و رژیم رطوبتی منطقه زیریک می‌شود. غالب نواحی این منطقه متشکل از سازندهای کواترنری، نئوژن و کرتاسه است که بیشتر فعالیت‌های کشاورزی و انسانی در این بخش‌ها واقع شده است. ابتدا به کمک نرم‌افزار گوگل ارت و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ محدود مورد مطالعه شناسایی و تعداد ۱۵ خاک‌حفر در سازندهای مختلف زمین‌شناسی کواترنری، نئوژن و کرتاسه حفر شد و سپس با توجه به سطوح مختلف ژئومورفولوژی و رژیم‌های رطوبتی از بین آن‌ها ۱۱ خاک‌حفر به عنوان شاهد انتخاب شد. پس از تشریح خاک‌ها بر اساس راهنمای سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (۲۹)، از بین آن‌ها ۱۱ خاک‌حفر به عنوان شاهد انتخاب شد. از سیستم رده‌بندی آمریکایی (۳۲) تا سطح فامیل و سیستم طبقه‌بندی جهانی (۱۲) برای طبقه‌بندی خاک‌ها استفاده شد.

پس از هوا خشک کردن نمونه‌های خاک و عبور دادن آن‌ها از الک دو میلیمتری آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی آن‌ها انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (۴)، اندازه‌گیری pH گل اشباع با دستگاه pH سنج مدل Jenwey، هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ خاک به آب توسط هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenwey، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم یک نرمال (۳۴) و اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون برگشتی (۲۵) صورت گرفت. همچنین گچ به روش ترسیب با استون (۲۲)، ماده آلی به روش اکسایش تر (۲۳)، سدیم محلول توسط دستگاه نشر اتمی مدل Jenwey اندازه‌گیری شد.

برای مطالعه دقیق‌تر نحوه تشکیل و تکامل خاک‌ها، ۵ نمونه خاک شامل افق Bk2 خاک‌حفر شماره ۴، افق Bk1 خاک‌حفر شماره ۱۰ و افق‌های Btk1، Bt1 و 2Bt خاک‌حفر شماره ۱۱ جهت بررسی کانی‌شناسی رسی انتخاب شدند. برای خروج کربنات‌ها روش جکسون (۱۳) و کیتریک و هوپ (۱۸) ملاک عمل قرار گرفت. پس از جداسازی رس با سانتیفیوژ، نمونه‌ها توسط دستگاه پراش پرتو ایکس

گرفت. منبع فلز در این دستگاه مس بوده که در زوایای بین ۲ تا ۴۱ درجه با زمان روبش ۱ ثانیه و با سرعت ۰/۰۲ درجه انجام گردید.

موجود در دانشگاه تهران که دارای مدل Siemens D5000 می‌باشد با ولتاژ ۳۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر مورد آنالیز قرار



شکل ۱- سطوح ژئومورفیک شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه. P1: پدیمنت پوشیده، P2: پدیمنت سنگی، PA: اراضی حدواسط پدیمنت و دشت آبرفتی، AP1: سطح ناپایدار دشت آبرفتی، AP2: سطح نسبتاً ناپایدار دشت آبرفتی، PP: دشت دامنه‌ای، T: تراس‌های رودخانه‌ای، B: باهادا، M: کوه

Figure 1- Geomorphic surfaces investigated in the study area. P1: Mantled pediment, P2: Rock pediment, PA: Intermediate of pediment and alluvial plain, AP1: Unstable surface of alluvial plain, AP2: Relatively unstable surface of alluvial plain, PP: Piedmont plain, T: River terraces, B: Bajada, M: Mountain

## نتایج و بحث

جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شاهد را نشان می‌دهد. خاک شماره ۱ که بر روی نهشته‌های جوان کواترنری و بر روی سطوح ژئومورفولوژی پدیمنت پوشیده حفر شده است دارای افق‌های کلسیک و ژپسیک می‌باشد. این سطح از منطقه پوشیده از ذرات درشت است که شاهدهی بر فرسایش و رسوب‌گذاری و اثرات به جامانده از آن می‌باشد. عمق این خاک نسبتاً زیاد و دارای تکامل خوبی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان کاتیون‌ها، کربنات کلسیم و گچ با افزایش عمق رابطه مستقیم داشته و افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده فرآیند آب‌شویی و تجمع املاح است. میزان گچ و کربنات کلسیم در این خاک بالا بوده و مقدار آن در افق By1 به حداکثر مقدار خود می‌رسد و به ترتیب برابر ۴/۴۰ و ۵/۳۶ درصد می‌باشد. این خاک بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی به صورت

به‌منظور مطالعات میکرومورفولوژی، نمونه‌های دست‌نخورده از افق‌های By4 خاک شماره ۳، Bk3 خاک شماره ۴، Bk خاک شماره ۵، Btk3 خاک شماره ۹ و Bt1 خاک شماره ۱۱ تهیه شد. پس از هوا خشک شدن، تلقیح نمونه‌ها توسط رزین پلی‌استر و استایرین صورت گرفت. قبل از تلقیح به ۱۰۰ سی‌سی مخلوط استایرین و رزین، ۵ قطره سخت‌کننده اسید استئاریک و حدود سه قطره هم استات کبالت به عنوان کاتالیزور اضافه شد. نمونه‌ها پس از گذشت تقریباً ۲۰ روز سخت شدند و توسط دستگاه برش، بریده شدند. سپس با پودرهای کاربراندوم با درجات مش متوسط و ریز (۴۰۰ تا ۱۰۰۰) ضخامت نمونه‌ها به حدود ۲۵ تا ۳۰ میکرومتر رسانده شدند. مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه و تفسیر قرار گرفت (۳۳).

شده را پدید آورده است. خامی و مرموت (۱۴) نیز به وجود اشکال صفحات درهم قفل شده گچ در ایران مرکزی اشاره کرده‌اند.

خاکرخ شماره ۴ متأثر از سازندهای کنگلومرای نئوژن بر روی سطح حدواسط پدیمت و دشت آبرفتی حفر شده است. یکی از بارزترین فرآیندهای خاک‌ساز که در خاکرخ شماره ۴ مشاهده می‌شود تجمع بالای کربنات کلسیم ثانویه است که به صورت سخت‌دانه و پودری در خاک تجمع یافته است. در بین خاکرخ‌های شاهد بیشترین مقدار تجمع آهک مربوط به این خاکرخ است که در عمق بین ۱۰۰-۷۰ سانتی‌متری به حداکثر مقدار خود یعنی ۴۴ درصد می‌رسد (جدول ۱). به علت شیب کم این اراضی و در نتیجه عمق بالای نفوذ آب در خاک، گچ از افق‌های فوقانی شستشو یافته و مقدار آن از سطح به عمق افزایش و در اعماق پایین خاک افق ژئوسپیک را به وجود آورده است. بافت خاک در طول کل خاکرخ نسبتاً سنگین بوده که نشان‌دهنده کاهش قدرت سیلاب‌ها در این اشکال اراضی و برجای گذاشتن ذرات ریز در اندازه رس می‌باشد. نام این خاک تا حد زیرگروه به صورت Typic Haplocalcids طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۲). مطالعات کانی‌شناسی رس افق Bk2 خاکرخ شماره ۴ با استفاده از پراش پرتو ایکس، وجود کانی‌های کلریت، اسمکتیت و کائولینیت را نشان می‌دهد (شکل ۴-الف). وجود پیک ۱/۸۱ نانومتر نشان‌دهنده وجود کانی اسمکتیت است که در اثر تیمار اتیلن‌گلیکول منبسط شده است. حضور پیک ۱ نانومتر با شدت بالا در تیمار حرارت نشان‌دهنده مقادیر زیادی ایلیت است که در نتیجه خروج پتاسیم از بین لایه‌های اسمکتیت و تبدیل آن به ایلیت ناشی شده است. با توجه به وجود پیک ۰/۷ نانومتر در سه تیمار پتاسیم، منیزیم و اتیلن‌گلیکول و از بین رفتن آن در تیمار حرارت، احتمال وجود کانی کائولینیت نیز به اثبات می‌رسد. همچنین وجود پیک ۱/۴ نانومتر در همه تیمارها نشان‌دهنده مقادیر کم کلریت در این خاک است که منشأ توارثی دارد زیرا برای تشکیل این کانی‌ها شرایط اقلیمی گرم و مرطوب مورد نیاز است که با توجه به اقلیم منطقه امکان تشکیل آن‌ها وجود ندارد. کانی غالب در این خاک همان طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود اسمکتیت، ورمی‌کولیت و ایلیت است. با توجه به اینکه در تیمار اشباع با پتاسیم پیک ۱/۲۲ مشاهده گردیده، لذا به نظر می‌رسد که کانی ورمی‌کولیت در نمونه خاک وجود داشته که در اثر تیمار پتاسیم و سپس حرارت به ایلیت تبدیل شده است. البته منشأ به ارث رسیدگی ایلیت در این خاک با توجه به آهکی بودن مواد مادری نیز دور از انتظار نمی‌باشد. به‌منظور تشکیل پدوژنیک اسمکتیت از ایلیت غلظت کم پتاسیم در خاک و در نتیجه خروج پتاسیم از بین لایه‌ها لازم است (۸) که با توجه به غلظت کم پتاسیم در این خاک (جدول ۱) این احتمال تقویت می‌شود. مشاهدات میکروسکوپی از مقطع افق Bk3 خاکرخ شماره ۴ نشان‌دهنده انواع عوارض خاک‌ساخت آهکی شامل پرشدگی‌ها و پوشش‌های کلسیت بلوری می‌باشد (شکل ۲-ب). در این مقطع

Typic Calcigypsid طبقه‌بندی می‌شود. جدول ۲ خصوصیات سازندها، رژیم‌های حرارتی و رطوبتی و همچنین رده‌بندی خاکرخ‌های شاهد را براساس سیستم طبقه‌بندی جهانی (۱۲) و سیستم رده‌بندی آمریکایی (۳۲) نشان می‌دهد.

خاکرخ‌های شماره ۲ و ۳ با وجود اینکه هر دو متأثر از مارن‌های کرتاسه بوده و دارای رژیم رطوبتی و حرارتی اریدیک-مزیک می‌باشند اما از نظر تکاملی تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند که دلیل آن سطح ژئومورفیک متفاوت آن‌هاست. خاکرخ شماره ۲ بر روی سطح ژئومورفولوژی پدیمت سنگی حفر شده است. این خاک حداقل تکامل را داشته و دارای یک افق سطحی اکریک به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر است. اشکال ثانویه گچ و آهک نیز در مطالعات صحرایی در این خاک مشاهده نشد. مهم‌ترین عامل عدم تکامل این خاک سطح ژئومورفولوژیکی ناپایدار و حساس بودن سازندهای متشکل از مارن آن می‌باشد که باعث شستشو و فرسایش یافتن این سطح و جلوگیری از تکامل بیشتر آن شده است. این خاک در زیرگروه Lithic Thorriorthents طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۲). خاکرخ شماره ۳ که بر روی سطح پدیمت پوشیده حفر شده است از تکامل متوسطی برخوردار بوده و دارای افق‌های تجمع گچ است که در مطالعات صحرایی به صورت آویزه‌های بزرگ در خاک مشاهده شد. منشأ گچ موجود در این خاک را می‌توان ناشی از مواد مادری آن دانست که در نتیجه فرآیندهای خاک‌ساز هوادیده شده و بعد از آب‌شویی به صورت ثانویه در خاک‌های این منطقه تجمع پیدا کرده است. رده‌بندی این خاک بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی Typic Haplogypsid می‌باشد (جدول ۲). مطالعات مقطع نازک از افق By4 در عمق ۱۵۰-۱۱۰ سانتی‌متر خاکرخ شماره ۳ که بر روی سازندهای مارنی کرتاسه و رژیم رطوبتی اریدیک قرار دارد نشان‌دهنده اشکال عدسی شکل گچ، پرشدگی‌ها و صفحات درهم قفل شده گچ می‌باشد (شکل ۲-الف). کودی و کودی (۶) علت تشکیل اشکال عدسی شکل گچ را در نتیجه حضور و آزاد سازی کلسیم از مواد مادری آهکی و یا انحلال گچ که باعث افزایش نسبت کلسیم به سولفات می‌شود، نسبت دادند. همچنین در این افق وجود عوارض خاک‌ساخت گچی که به صورت صفحات درهم قفل شده و پرشدگی است، مشاهده می‌شود. یکی از دلایل وجود صفحات درهم قفل شده گچی و فرم‌های آویزه‌ای گچ در این خاکرخ را می‌توان به وجود سنگریزه و بافت درشت این خاکرخ نسبت داد. همچنین پوشش‌های رس مشاهده شده در این خاک مربوط به اقلیمی با رطوبت قابل دسترس بیشتر در این منطقه است که می‌توان نتیجه گرفت این خاک پلی‌ژنیک است یعنی چندین دوره اقلیمی را پشت سر گذاشته است. تشکیل صفحات درهم قفل شده گچ در این خاک احتمالاً مربوط به دوران چهارم که رطوبت بالا بوده و در نتیجه فرآیند آب‌شویی به طور مؤثر عمل کرده است می‌باشد که باعث حل شدن بلورهای عدسی شکل گچ شده و صفحات درهم قفل

فعالیت جانوران و ریشه‌های گیاهی در این خاک نسبت داد. میزان ماده آلی بالا در این خاک نیز مؤید این موضوع است.

خاکرخ شماره ۷ نیز بر روی نهشته‌های کواترنری و بر روی اشکال اراضی پدیمت پوشیده حفر شده است. این سطح از اراضی با سنگفرش‌های بیابانی پوشیده شده و در سرتاسر عمق خاک حاوی قلوه‌سنگ‌های فراوانی است. درصد سنگریزه در این خاک از ۵ تا ۵۵ درصد تغییر می‌کند. این خاکرخ در بین خاکرخ‌های شاهد حاوی حداکثر تجمع گچ بوده که میزان آن در افق Cy به ۴۴/۷ درصد می‌رسد که با افزایش عمق، روند افزایشی را نشان می‌دهد. این خاک شوری متوسطی دارد که دلیل آن را می‌توان به بر جای گذاشتن املاح در نتیجه سیلاب‌های موقتی در این اراضی نسبت داد. با توجه به جدول ۲ رده‌بندی این خاک تا حد زیرگروه به صورت Typic Haplogypsid می‌باشد.

خصوصیات خاکرخ شماره ۸ به دلیل مشابه بودن به خاکرخ شماره ۴ در جدول ۱ آورده نشده است. این خاکرخ نیز مانند خاکرخ شماره ۴ عمدتاً دارای تجمعات آهک ثانویه بوده که به شکل سخت‌دانه و پودری در افق‌های مختلف آن دیده می‌شود و در افق‌های زیرین نیز دارای تجمع ضعیف گچ ثانویه می‌باشد. این خاکرخ بر روی پدیمت پوشیده قرار دارد و بنابراین از پایداری کمتری نسبت به سطح ژئومورفیک خاکرخ شماره ۴ برخوردار بوده به همین دلیل عمق خاک آن نسبت به خاکرخ شماره ۴ کمتر و همچنین دارای بافت سبک‌تری می‌باشد. این خاک همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود به صورت Typic Haplocalcids نام‌گذاری می‌شود.

خاکرخ‌های شماره ۹ و ۱۰ به ترتیب بر روی سطوح ژئومورفیک دشت دامنه‌ای و تراس‌های قدیمی رودخانه‌ای و هر دو بر روی سازندهای کنگلومرای نئوژن و رژیم رطوبتی مرزی اریدیک-زریک حفر شده‌اند. آنچه در خاکرخ شماره ۹ مشهود است تجمع رس و تشکیل افق آرجیلیک است که زمان تشکیل آن مربوط به اقلیم مرطوب گذشته می‌باشد که باعث حرکت رس از افق‌های فوقانی و تجمع آن در افق‌های زیرین شده است. این خاک دارای گچ بسیار ناچیز در عمق‌های پایینی بوده که شکل ثانویه آن در صحرا مشاهده نشد که علت آن را می‌توان به عدم وجود سازندهای تولیدکننده گچ و آب‌شویی بالا و خارج شدن گچ از این خاکرخ نسبت داد.

مطالعات مقطع نازک در خاکرخ شماره ۹ از افق Btk3 در عمق ۱۵۰-۱۰۰ وجود پوشش‌های رس به همراه پرشدگی‌ها و پوشش‌های میکرواسپاریتی کلسیت را نشان می‌دهد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود پوشش‌های رسی بر روی ذرات و دیواره حفرات مشاهده می‌شود که در نتیجه حرکت و انتقال رس از افق‌های فوقانی تشکیل شده است. محققان مختلفی (۹، ۲۸) تشکیل افق‌های آرجیلیک در استان کرمان را گزارش کرده‌اند و تشکیل آن را به اقلیم‌های مرطوب ایران مرکزی نسبت داده‌اند. این خاک به صورت

بلورهای گچ به ندرت دیده می‌شود و عمدتاً بلورهای کلسیت به صورت پوشش و پرشدگی مشاهده می‌شوند. تجمع کربنات کلسیم پدوژنیک از ویژگی‌های معمول و یک فرآیند خاک‌ساختی مهم در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۱۳) و نیز در اکثر نقاط کشور اتفاق می‌افتد. تشکیل این پوشش‌ها در نتیجه حل شدن آهک از افق‌های فوقانی و حرکت عمقی آن به همراه آب به اعماق خاک است که در نهایت این عمل منجر به تجمع آهک و تشکیل افق کلسیک در این خاک شده است.

خاکرخ‌های شماره ۵ و ۶ بر روی دشت‌های آبرفتی کواترنری حفر شده‌اند و خصوصیات نسبتاً مشابهی دارند. به همین دلیل به ارائه خصوصیات خاکرخ شماره ۶ در جدول ۱ اکتفا شده است. خاکرخ شماره ۵ بر روی سطح ناپایدار دشت آبرفتی حفر شده است. در این سطح از اراضی رسوبات به صورت لایه لایه با مرزبندی مشخص روی همدیگر قرار گرفته‌اند و رسوب‌گذاری پی‌درپی مانع از تکامل آن‌ها شده است. این خاکرخ دارای خاکی عمیق می‌باشد ولی فاقد تکامل و فرآیندهای خاک‌سازی مشهودی بوده و عمدتاً دارای ساختمان توده‌ای بوده و فاقد سنگریزه می‌باشد. تکامل خاکرخ شماره ۶ به دلیل قرار گرفتن بر روی سطوح نسبتاً پایدار دشت آبرفتی بیشتر بوده و حاوی افق تجمع کربنات کلسیم در عمق ۱۵۰-۱۱۰ سانتیمتری می‌باشد. واکنش این خاک نسبت به سایر خاکرخ‌های حفر شده در منطقه بالا و بین ۷/۴ تا ۸/۰۴ متغیر است. یکی از مهمترین خصوصیات این خاک همان‌طور که انتظار می‌رود مقادیر بالای املاح و کاتیون‌ها است که در طول زمان از اراضی ناپایدار بالادست توسط فرآیندهای انتقال و رسوب به این خاک اضافه شده است. نسبت جذب سدیم در این خاکرخ بالا و بین ۲/۲۷ تا ۲۹/۲ متغیر است و خصوصیات این خاک را تا حد فامیل تحت تأثیر قرار داده است. بافت این خاک نسبتاً سنگین و فاقد ذرات درشت بوده و دارای ساختمان توده‌ای در طول خاکرخ است. با کمی دقت در خصوصیات فیزیکیوشیمیایی این خاکرخ مشاهده می‌شود که مقادیر املاح کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و کربنات کلسیم با افزایش عمق روند کاهشی را نشان می‌دهد که دلیل آن را می‌توان به بافت سنگین و در نتیجه هدایت هیدرولیکی پایین و شستشوی ضعیف املاح نسبت داد. این خاک تا حد زیرگروه به صورت Sodic Haplocambids رده‌بندی شد (جدول ۲). مطالعه مقطع نازک از افق Bk در عمق ۱۵۰-۱۱۰ سانتیمتری خاکرخ شماره ۶ که بر روی اراضی کشاورزی حفر شده است وجود حفرات فراوان جانوری به شکل کانال، وگ‌های ستاره‌ای و منظم، حجره و وزیکول را نشان می‌دهد که باعث تشکیل میکروساختمان اسفنجی در این خاک شده است (شکل ۲-ج). این حفرات فراوان به خصوص کانال‌ها علی‌رغم سنگین بودن نسبی بافت این خاک می‌توانند باعث زهکشی و افزایش هدایت هیدرولیکی شوند. وجود این حفرات را می‌توان به فعالیت کشاورزی و در نتیجه افزایش

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شاهد

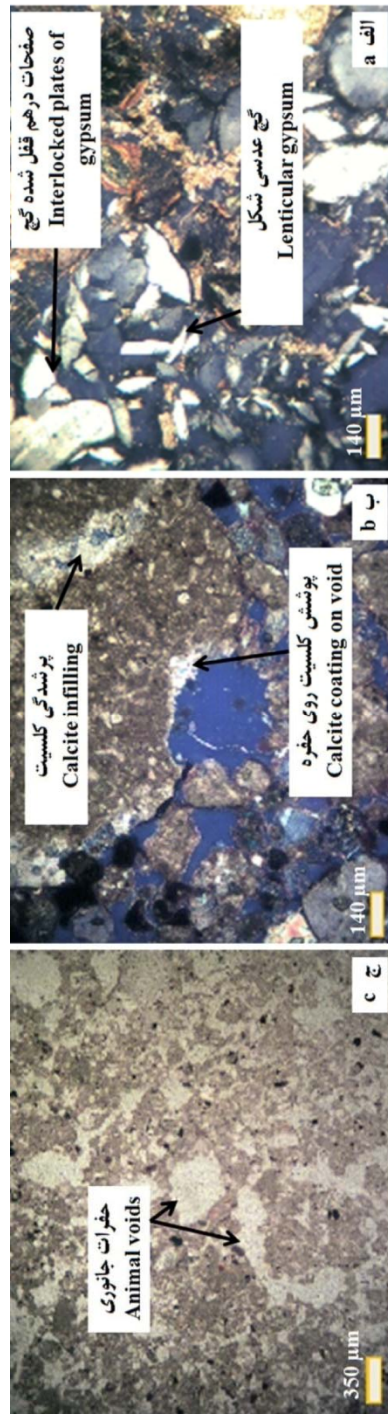
Table 1- Some physiochemical properties of representative pedons															
CEC (Cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> )	OC %	CCE %	Gypsum %	SAR (mmol(±)L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	Na (Cmol <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )	K (Cmol <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )	EC (dSm <sup>-1</sup> )	pH	Texture	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %	Depth (cm)	افق Horizon
Mantled pediment - پوشیده - پدیمنت															
8.61	0.67	24	2.36	1.39	1.39	1.06	0.84	7.8	SL	21	66.4	20.4	13.2	0-10	خاک شماره ۱-۱ A
6.51	0.8	21	2.07	1.46	1.46	0.71	0.99	7.8	SL	36.5	73.2	15.8	11	10-25	Bk
5.71	0.06	22	3.82	1.79	1.79	0.08	2.15	7.4	LS	37	77.2	15.6	7.2	25-40	Cy
8.2	0.06	36.5	40.5	1.33	1.33	0.44	2.71	7	LS	40	82.8	8.6	8.6	40-55	By1
5.11	0.1	18.25	12.3	2.33	2.33	0.17	3.2	7.2	LS	20.6	76.7	15.3	8	55-95	By2
3.72	0.2	23.5	16.6	1.35	1.35	0.17	2.87	7.2	LS	45	87.2	4	8.8	95-150	C'y
Rock pediment - پدیمنت سنگی															
18.5	0.13	32	3.2	9.93	9.93	1.15	3.8	6.9	L	8.5	41.2	33.6	25.2	0-20	خاک شماره ۲-۲ A
3.5	0.2	21.5	4.05	6.12	6.12	0.35	1.07	7.7	LS	65	85	7.7	7.3	20-80	C
Mantled pediment - پوشیده - پدیمنت															
25.2	0.26	28	3.49	0.42	0.91	0.62	0.58	7.7	L	23	43.2	37.6	19.2	0-30	خاک شماره ۳-۳ A
5.27	0.2	36.5	27.8	0.55	1.47	0.18	2.39	7	SL	60	64.2	17.6	18.2	30-60	By1
7.6	0.06	31	5.2	2.22	2.38	0.08	2.7	7.2	LS	43.3	81.2	9.6	9.2	60-90	By2
4.78	-	33	43.4	1.06	2.59	0.08	2.7	7.2	LS	31	85.2	6.6	8.2	90-110	By3
10.27	0.13	10	5.2	10.6	10.8	0.08	3.6	7.2	LS	15	85.2	7.6	7.2	110-115	By4
Intermediate surface of pediment and alluvial plain - دشت آبرفتی - دشت آبرفتی															
31	0.06	31	-	1.03	2.3	0.35	0.82	7.7	CL	13	45	21.2	33.8	0-20	خاک شماره ۴-۴ A
17.9	0.34	41	1.03	1.9	2.69	0.12	0.72	7.4	SCL	46	56.1	16.1	27.8	20-70	Bk1
16	0.47	44	4.9	2.5	4.95	0.08	2.3	7.1	SCL	48	71.2	8	20.8	70-100	Bk2
19.9	0.2	40.5	-	2.33	7	0.08	2.8	7.4	SCL	45	63.2	14.8	22	100-130	Bk3
14.1	0.13	35	40.3	3.2	5.6	0.08	2.9	7	SL	50	73.2	10	16.8	130-180	By
Alluvial plain - دشت آبرفتی															
7.6	1.4	12.5	-	6.26	17.9	1.15	3.2	7.8	L	2	35.6	38	26.4	0-20	خاک شماره ۶-۶ Ap
17.9	0.73	18.5	-	16.5	30.5	1.3	5.1	7.8	CL	-	23.7	44.3	32	20-60	Bw1
17.2	1.6	25	-	29.2	29.2	1.24	4	7.9	CL	-	27.8	40.2	32	60-110	Bw2
9.63	0.47	29	-	6.47	6.47	0.53	0.7	8.1	L	-	43.8	40.2	16	110-150	Bk
6.51	-	13.5	-	2.27	2.27	0.44	0.63	7.7	CL	-	67.6	18.4	14	150-190	C
Mantled pediment - پوشیده - پدیمنت															
19.8	0.06	14.5	-	10	35.9	1.95	8.5	7	SCL	5	54	16	30	0-15	خاک شماره ۷-۷ A
8.6	0.2	9	16.7	8	32.8	0.98	6.4	7.1	SL	25	64	20	16	15-35	By1
6.6	0.06	0.5	17.7	0.8	27.8	0.53	6.6	7.6	SL	53	73.6	12.4	14	35-50	By2



جدول ۲ - رژیم‌های رطوبتی، نوع سازندهای زمین‌شناسی و طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی  
 Table 2- Moisture regimes, type of geologic formations and soil classification using Soil Taxonomy and WRB systems

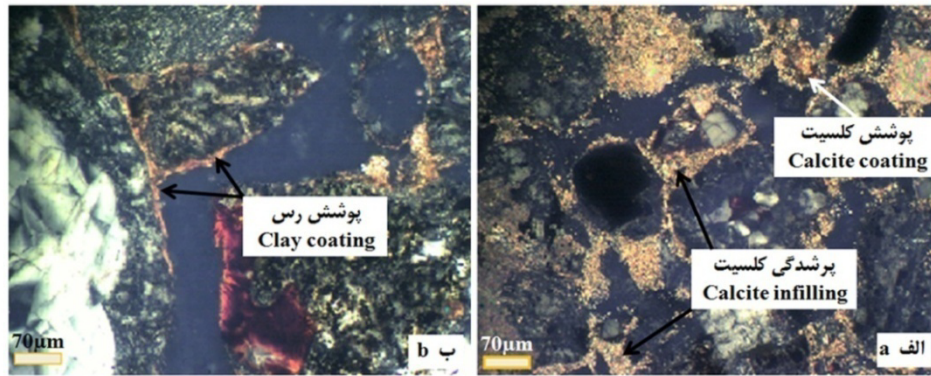
شماره خاک Pedon no.	رژیم رطوبتی Moisture regime	سازند زمین‌شناسی Geological formation	طبقه‌بندی جهانی (2015) WRB (2015)	رده‌بندی آمریکایی (2014) Soil Taxonomy (2014)
1	اریدیک	کواترنری	Calcic Gypsisol (Arenic, Hypogypsic, Ochric)	Sandy, Gypsic, Mesic Typic Calcigypsisols
2	اریدیک	کرتاسه	Eutric Skeletic Leptic Regosol (Arenic, Aridic)	Sandy Skeletal, Mixed, Mesic Lithic Thorriorthents
3	اریدیک	کرتاسه	Skeletic Gypsisol (Endoaerenic, Hypogypsic, Anoloamic, Ochric)	Sandy Skeletal, Gypsic, Mesic Typic Haplogypsisols
4	اریدیک	نئوژن	Skeletic Calcisol (Aridic, Loamic)	Loamy Skeletal, Carbonatic, Mesic Typic Haplocalcids
5	اریدیک	کواترنری	Fluvic Cambisol (Aridic)	Sandy, Mixed, Mesic Typic Thorrifluvents
6	اریدیک	کواترنری	Eutric Sodic Irragic Cambisol (Loamic, Ochric, Transportic)	Fine silty, Mixed, Active, Mesic Sodic Haplocambids
7	اریدیک	کواترنری	Skeletic Gypsisol (Aridic, Hypogypsic, Loamic)	Loamy Skeletal, Gypsic, Mesic Typic Haplogypsisols
8	اریدیک	نئوژن	Haplic Calcisol (Arenic, Aridic, Hypocalcic)	Coarse Loamy, Mixed, Active, Mesic Typic Haplocalcids
9	اریدیک در مرز زریک	نئوژن	Haplic Luvisol (Hypereutric, Loamic, Ochric)	Fine Loamy, Mixed, Superactive, Mesic Typic Calcigrids
10	اریدیک در مرز زریک	نئوژن	Haplic Calcisol (Hypocalcic, Loamic, Ochric)	Fine Loamy, Smectitic, Active, Mesic Xeric Haplocalcids
11	اریدیک: Xeric	نئوژن	Endocalcic Lamellic Luvisol (Differentic, Hypereutric, Loamic, Ochric)	Fine silty, Smectitic, Active, Mesic Lamellic Haploxerafls





شکل ۲- اشکال عدسی شکل و صفحات درهم قفل شده گچ در افق B۴ خاک شماره ۳ در حالت XPL (الف). پوشش‌ها و پرشدگی‌های کلسیت افق Bk۳ خاک شماره ۴ در حالت XPL (ب). حفرات فراوان و تشکیل میکروساختمان اسفنجی افق Bk خاک شماره ۶ در حالت PPL (ج).

Figure 2- a) Lenticular and interlocked plates of gypsum in By4 horizon, pedon 4 (XPL), b) Calcite coating and infilling in Bk3 horizon, pedon 3 (XPL), c) Void types and spongy microstructure in Bk horizon, pedon 6 (PPL)

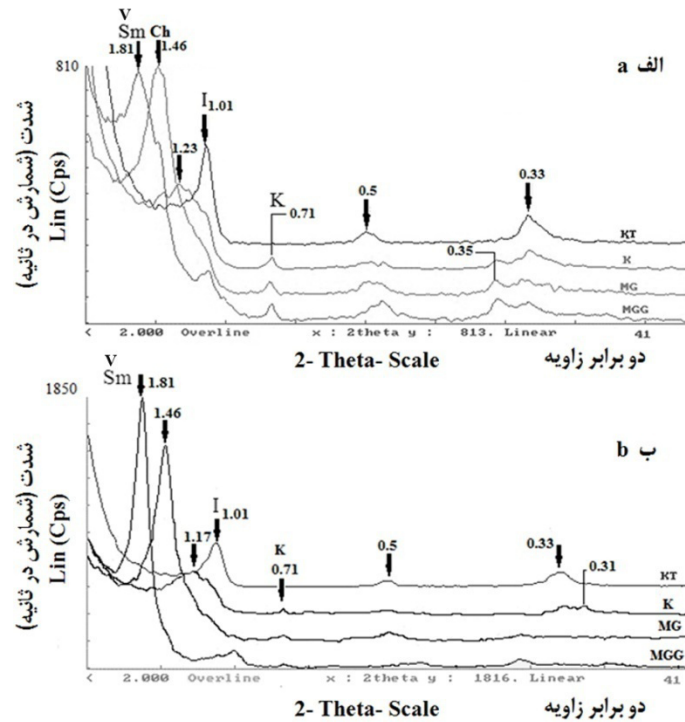


شکل ۳- پوشش‌ها و پرشدگی‌های کلسیت بلوری (الف) و پوشش‌های رس از افق Btk3 خاکرخ شماره ۹ (ب) هر دو در حالت XPL  
Figure 3- a) Calcite coating and infilling (XPL), b) Clay coating (XPL) in Btk3 horizon, pedon 9

همین دلیل رژیم رطوبتی و حرارتی این خاک به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. به دلیل پایداری این سطح از اراضی، تکامل این خاک بالا بوده و دارای خاک عمیقی است. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای خاک‌ساز در این خاک تجمع ذرات رس در افق‌های زیرسطحی و در نتیجه تشکیل افق آرچیلیک است. میزان کربنات کلسیم در افق سطحی این خاک دارای حداقل مقدار و برابر ۱ درصد و حداکثر مقدار آن در افق Bk برابر ۱۵ درصد است که به صورت میسلیم و سخت‌دانه تجمع یافته و نشان‌دهنده شستشوی بالا و تخلیه آهک از افق‌های فوقانی است. این خاک فاقد تجمع گچ در تمامی افق‌ها است که دلیل آن بارندگی بالا و آب‌شویی گچ از طول خاکرخ می‌باشد. همچنین میزان کربن آلی این خاک با توجه به پوشش گیاهی و بارندگی نسبتاً خوب در این منطقه بالا بوده که بیشترین مقدار آن در افق A به ۰/۷۸ درصد می‌رسد که روند خاصی را با افزایش عمق نشان نمی‌دهد. خاکرخ شماره ۱۱ بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی به صورت Lamellic Haploxeralfs طبقه‌بندی شد. بررسی مقطع نازک افق Bt1 این خاکرخ وجود پوشش‌های رسی گسترده به همراه عوارض خاک‌ساخت میکرواسپاریتی آهک را به اثبات رساند (شکل ۵). پوشش‌های رسی در خاک شواهدی از انتقال رس از افق‌های فوقانی به افق‌های تحتانی در نتیجه نفوذ آب هستند. با توجه به تخلیه آهک از افق‌های فوقانی خاکرخ در نتیجه آب‌شویی بالا و به دنبال آن از بین رفتن عامل هم‌آوری ذرات خاک، حرکت رس از افق‌های فوقانی به سهولت رخ داده و در نتیجه باعث تشکیل پوشش‌های رسی شده است. خرمالی و همکاران (۱۶) در مطالعه‌ای بر روی خاک‌های آهکی جنوب استان فارس بیان داشتند که فرآیند آهک‌زدایی فاکتور غالب در تکامل آن دسته خاک‌های آهکی بوده که افق آرچیلیک دارند. در این مقطع انواع عوارض خاک‌ساخت رسی شامل پوشش‌ها و پرشدگی‌ها مشاهده شد که نشان‌دهنده آب‌شویی شدید و در نتیجه توسعه‌یافتگی بالای افق آرچیلیک است (شکل ۵).

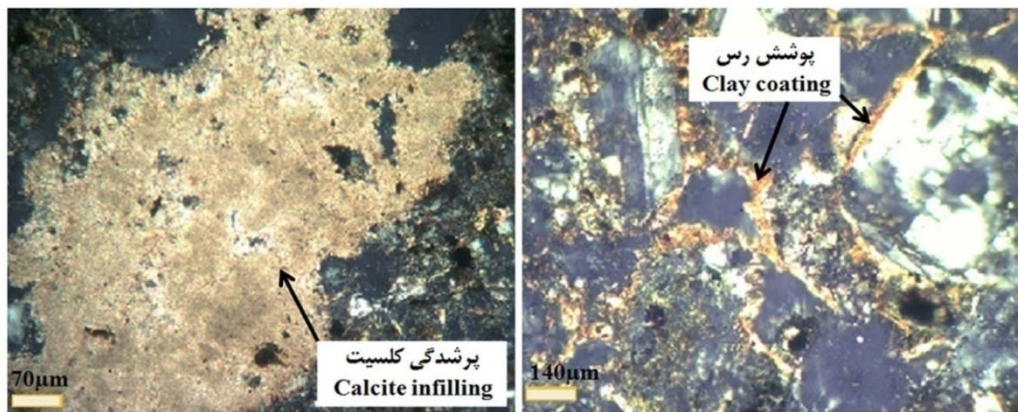
خاکرخ شماره ۱۰ دارای خاکی عمیق بوده و همانند خاکرخ شماره ۹ دارای تجمع کربنات کلسیم به شکل سخت‌دانه و پودری می‌باشد، با این تفاوت که عمق تجمع آن پایین‌تر است. میزان سدیم در افق سطحی این خاک بالا و بین ۱/۵ تا ۲۷/۶ سانتی‌مول بر لیتر متغیر است که با افزایش عمق کاهش می‌یابد. به همین دلیل دارای بیشترین مقدار pH در بین خاکرخ‌های شاهد بوده که در برخی افق‌ها به ۸/۱ می‌رسد. بافت بیشتر افق‌های این خاک لومی بوده و در برخی از افق‌ها سنگین و حاوی رس بالایی است که به دلیل شیب کم این سطح از اراضی و در نتیجه برجای گذاشتن رسوبات ریز توسط رودخانه مجاور قابل توجه است. نام این خاک تا حد زیر گروه با توجه به جدول (۲) Xeric Haplocalcids می‌باشد. مطالعات پراش نگاشت پرتو ایکس از افق Bk1 خاکرخ شماره ۱۰ (شکل ۴-ب) وجود کانی‌های اسمکتیت و ایلیت را نشان می‌دهد که در مقادیر بالا در این خاک حضور دارند.

کانی اسمکتیت کانی غالب در این خاک است. منابع موجود حضور این کانی در مناطق خشک و بیابانی را به طور قابل ملاحظه‌ای به مواد مادری نسبت می‌دهند. اگرچه از مواد مادری این خاک نمونه تفرق اشعه ایکس تهیه نگردیده، اما مشاهده مقادیر زیاد اسمکتیت در این خاک احتمالاً ناشی از هوادیدگی ایلیت و یا به ارث رسیده از مواد مادری باشد. صالحی و همکاران (۲۷) با بررسی مواد مادری و خاک‌های منطقه فرخ‌شهر استان چهارمحال و بختیاری، منشأ اسمکتیت موجود در این خاک‌ها را پدوژنیکی و توارثی عنوان کردند ولی برای کانی‌های ایلیت، کلریت و کائولینیت تنها منشأ توارثی در نظر گرفتند. خاکرخ شماره ۱۱ بر روی سازندهای تشکیل شده از سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و مارن دوران نئوژن حفر شده است. این خاکرخ در ارتفاع ۲۵۴۰ متری از سطح دریا و بر روی سطح ژئومورفولوژی دشت دامنه-ای حفر شده است. به دلیل افزایش ارتفاع و کوهستانی بودن این بخش از منطقه میزان بارندگی بالا و دمای هوا نیز پایین است به



شکل ۴- پراش‌نگاشت‌های رس. الف) افق Bk2 خاکرخ شماره ۴، ب) افق Bk1 خاکرخ شماره ۱۰، MGG: اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، MG: اشباع با منیزیم، K: اشباع با پتاسیم، KT: اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، Sm: اسمکتیت، V: ورمی‌کولیت، Ch: کلریت، K: کائولینیت، I: ایلیت

Figure 4- X-Ray diffractograms of the clay fraction, a) Bk2 horizon of pedon 4, b) Bk1 horizon of pedon 10, MGG= Mg saturated with Ethylene glycol; MG= Mg saturated; K=K saturated; KT=K saturated and heated to 550 °C, Sm: Smectite, V: Vermiculite, Ch: Chlorite, K: Kaolinite, I: Illite

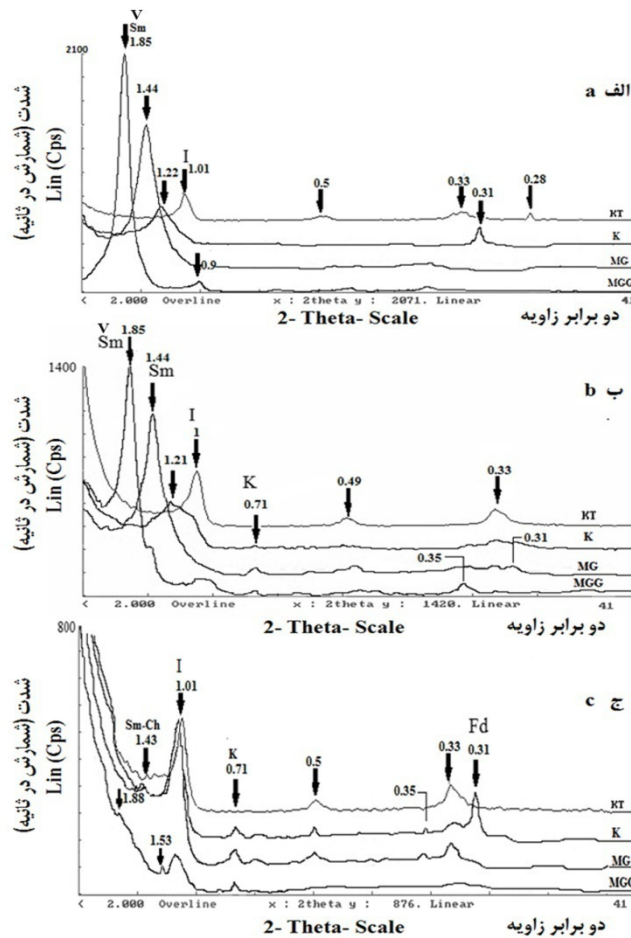


شکل ۵- پوشش‌های رس و پرشدگی کلسیت بلوری (میکرواسپاریت) افق Bt1 خاکرخ شماره ۱۱ در حالت XPL  
Figure 5- Clay coating and calcite infilling (XPL) in Bt1 horizon, pedon 11

مربوط به افق Btk1 که در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری قرار دارد در شکل ۶-الف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این خاک تنها کانی رسی مشاهده شده اسمکتیت است و پیک آن دارای شدت بسیار زیادی است و به عنوان کانی غالب در این افق حضور دارد. ظاهر شدن پیک ۱/۲۲ نانومتر در تیمار پتاسیم نشان‌دهنده کانی شبه‌ایلیت است که در اثر گرفتن پتاسیم در بین

پرشدگی‌های کلسیت بلوری نیز یکی دیگر از عوارض خاک‌ساخت مشاهده شده در این مقطع می‌باشد که منافذ بسیاری را در این خاک پر کرده است (شکل ۵). شانکر و اکیوتان (۳۰) وجود پرشدگی‌ها و هیپوکوتینگ‌های کلسیت را در مناطق رسوبی مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که فرآیند تبخیر و تعرق باعث تشکیل فرم‌های پخشیده بلورهای کلسیت می‌شود. پراش‌نگاشت پرتو ایکس

لایه‌ها ضخامت آن به تدریج کم شده و در حال تبدیل شدن به ایلیت است که در نهایت در تیمار پتاسیم همراه با حرارت به ایلیت تبدیل شده است.



شکل ۶- پراش نگاشت‌های رس. الف) افق Btk1 خاکرخ شماره ۱۱، ب) افق Bt1 خاکرخ شماره ۱۱، ج) افق 2Bt خاکرخ شماره ۱۱، MGG: اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، MG: اشباع با منیزیم، K: اشباع با پتاسیم، KT: اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، Sm: اسمکتیت، V: ورمی کولیت، Ch: کلریت، K: کائولینیت، I: ایلیت، Fd: فلدسپار

Figure 6- X-Ray diffractograms of the clay fraction, a) Btk1 horizon of pedon 11, b) Bt1 horizon of pedon 11, MGG= Mg saturated with Ethylene glycol; MG= Mg saturated; K=K saturated and heated to 550 °C, Sm: Smectite, V: Vermiculite, Ch: Chlorite, K: Kaolinite, I: Illite, Fd: Feldspar

بوده که در مقادیر زیادی در این افق حضور دارد. همچنین با حرکت از سطح خاک به سمت افق‌های زیرین از مقادیر کانی اسمکتیت کاسته شده و مقدار کانی ایلیت افزایش یافته است که نشان‌دهنده این موضوع است که مقادیر بالای اسمکتیت در افق‌های فوقانی که شرایط برای هوادیدگی مهیا است ناشی از هوادیدگی ایلیت است. ولی با توجه به اینکه در افق‌های زیرین به دلیل کاهش اکسیژن و ضعیف شدن شرایط بیولوژیکی فرآیندهای هوادیدگی ضعیف عمل کرده، باعث پایداری ایلیت شده است. بنابراین مهم‌ترین نتیجه‌ای که از این روند می‌توان گرفت این است که منشأ غالب اسمکتیت موجود در این خاک از هوادیدگی ایلیت است و منشأ ایلیت نیز که با افزایش عمق

در افق Bt1 پراش نگاشت‌های پرتو ایکس (شکل ۶-ب) وجود کانی‌های اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت را نشان می‌دهد. پیک ۱/۴۴ نانومتر مربوط به کانی اسمکتیت بوده و در اثر انبساط با اتیلن گلیکول به ۱/۸۵ نانومتر انبساط یافته است. در افق 2Bt در عمق ۱۹۰-۲۱۰ نیز کانی‌های اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت حضور دارند (شکل ۶-ج). همان‌طور که مشاهده می‌شود کانی غالب در این افق بر خلاف دو افق فوقانی ایلیت بوده که در مقادیر زیادی در این افق حضور دارد. وجود پیک‌های ۱/۴۳ و ۱/۸۸ نانومتر نشان‌دهنده وجود اسمکتیت است. با توجه به نتایج به دست آمده از سه افق این خاک مشاهده می‌شود که کانی غالب در این افق بر خلاف دو افق فوقانی ایلیت

و تکامل خاک‌های منطقه بردسیر هستند. خاک‌های گچی در این منطقه عمدتاً متأثر از سازندهای کواترنری و کرتاسه و خاک‌های آهکی اغلب متأثر از سازندهای نئوژن می‌باشند. مطالعات میکرومورفولوژیک نیز این نکته را مورد تأیید قرار داد به طوری که در برخی از خاک‌های واقع بر رژیم‌های رطوبتی مشابه و اریدیک اشکال مختلف گچ مشاهده شد در حالی که در برخی دیگر اثری از گچ دیده نشد و عوارض خاک‌ساخت آهکی غالب بودند.

بلورهای گچ عمده عوارض خاک‌ساخت مشاهده شده در سازندهای کرتاسه بوده و عوارض خاک‌ساخت آهکی عمدتاً در سازندهای نئوژن مشاهده می‌شوند. به طور کلی در این تحقیق میزان بلورهای کلسیت و پوشش‌های رس از رژیم رطوبتی اریدیک به زیریک افزایش یافت و از بلورهای گچ کاسته شد یا اثری از آن دیده نشد. همچنین کمترین مقدار بلورهای گچ در مقاطع نازک در سازندهای نئوژن مشاهده شد.

در رژیم رطوبتی اریدیک خاک‌ها عمدتاً دارای تکامل پایین و افق تجمع گچ بوده و در صورت داشتن افق کلسیک عمق تجمع آن‌ها نزدیک سطح بوده در حالی که با حرکت به سمت غرب و مرطوب‌تر شدن منطقه علاوه بر خارج شدن گچ از خاک‌رخ به علت شستشوی بالا، حرکت مکانیکی ذرات رس از افق‌های فوقانی نیز رخ داده و باعث تشکیل افق آرچیلیک در این بخش از منطقه شده‌است. پوشش‌های رسی در مقاطع نازک نیز به وضوح این فرآیند را نشان می‌دهند. همچنین نتایج کانی‌شناسی رس نشان داد که اسمکتیت، ورمی‌کولیت، ایلیت، کلریت و کاتولینیت کانی‌های عمده در این منطقه می‌باشد. در این ردیف اقلیمی با مرطوب شدن اقلیم نسبت اسمکتیت به ایلیت افزایش یافته که این امر نشان‌دهنده پدوژنیک بودن منشأ عمده اسمکتیت است که از هوادیدگی ایلیت ناشی شده است.

روند افزایشی دارد تواری می‌باشد. همچنین به دلیل نبود کاتولینیت در افق فوقانی و روند افزایشی آن از سطح به عمق، منشأ تواری بودن آن از مواد مادری اثبات می‌شود. وجود مقادیر کم کلریت در عمق ۲۱۰-۱۹۰ و عدم وجود آن در افق‌های بالایی نیز نشان‌دهنده موروثی بودن آن از مواد مادری است. صالحی و همکاران (۲۷) نیز در مطالعات خود در منطقه چهارمحال و بختیاری به نتایج مشابه دست یافتند.

به طور کلی با توجه به خصوصیات کانی‌شناسی و کانی‌های مشاهده شده در این ردیف مواد مادری اقلیمی می‌توان نتیجه گرفت که از رژیم رطوبتی اریدیک به رژیم رطوبتی زیریک و با افزایش بارندگی شرایط برای هوادیدگی کانی‌ها بیشتر مهیا شده و مقادیر بیشتری از کانی ایلیت به کانی اسمکتیت تبدیل شده است، به طوری که در رژیم رطوبتی اریدیک نسبت کانی ایلیت به اسمکتیت بیشترین مقدار و در رژیم رطوبتی زیریک کمترین مقدار است که این روند احتمال تشکیل اسمکتیت از هوادیدگی ایلیت را تقویت می‌کند و ضریب تبدیل آن در رژیم رطوبتی اریدیک کمترین مقدار و در رژیم رطوبتی زیریک بیشترین مقدار را دارا است. خرمالی و ابطحی (۱۵) رابطه معنی‌داری بین P/ET (نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق) و مقدار اسمکتیت در استان فارس یافتند. با افزایش رطوبت قابل استفاده خاک، pH قلیایی و آب‌شویی متوسط خاک تا حدی که یون‌های پتاسیم بین‌لایه‌ای ایلیت خارج شود محیط برای تشکیل اسمکتیت فراهم می‌شود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد سه عامل ماده مادری، اقلیم و فرآیندهای ژئومورفولوژی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر تشکیل

## منابع

- 1- Banaie M.H. 1998. Soil Moisture and Temperature Regimes Map of Iran. Soil and Water Research Institute of Iran, Iran.
- 2- Birkeland P.W. 1999. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, New York.
- 3- Blank R.R., and Fosberg M.A. 1990. Micromorphology and classification of secondary calcium carbonate accumulations that surround or occur on the underside of coarse fragments in Idaho (U.S.A.). p. 341-346. In L.A. Douglas (ed.) Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science. Developments in Soil Science. Part 19. Elsevier, Amsterdam.
- 4- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54:464-465.
- 5- Boyadgiev T.G. 1974. Contribution to the Knowledge of Gypsiferous Soils. AGON/SF/SYR/67/522. FAO, ROM.
- 6- Cody R.D., and Cody A.M. 1988. Gypsum nucleation and crystal morphology in analog saline terrestrial environments. Journal of Sedimentary Petrology, 58:247-255.
- 7- Egli M., Merkli Ch., Sartori G., Mirabella A., and Plotze M. 2008. Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along a Holocene soil toposequence developed on carbonate-rich materials. Geomorphology, 97:675-696.
- 8- Fanning D.S., Keramids V.Z., and El-Desokey M.A. 1992. Micas. p. 552-634. In J.B. Dixon and S.B. Weed (ed.) Minerals in Soil Environments. SSSA Book Ser. L. SSSA, Madison, WI.

- 9- Farpoor M.H., Eghbal M.K., and Khademi H. 2003. Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols on different geomorphic surfaces in Nough area, Rafsanjan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 7(3):71-93. (in Persian with English abstract)
- 10- Gunal H., and Ransom M.D. 2006. Genesis and micromorphology of loess-derived soils from central Kansas. *Catena*, 65:222-236.
- 11- Irmak S., Surucu A.K., and Aydogdu I.H. 2007. Effects of different parent material characteristics of soils in the arid region of Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10:528-536.
- 12- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- 13- Jackson M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis Advanced Course*. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soil Science, Madison, WI.
- 14- Khademi H., and Mermut A.R. 1999. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in Iranian Aridisols. *European Journal of Soil Science*, 50:207-216.
- 15- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals*, 38:511-527.
- 16- 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*, 53:273-301.
- 17- Khresat S.A., and Qudah E.A. 2006. Formation and properties of aridic soils of Azraq Basin in northeastern Jordan. *Journal of Arid Environments*, 64:116-136.
- 18- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for x-ray diffraction analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 96:312-325.
- 19- Mahmoodi S., Moghiseh E., and Heidari A. 2006. Morphology of gypsum and halite in some gypsum rich soils of Bam region (southeast Iran). *Geophysical Research Abstracts*, 8:23-61.
- 20- Moazallahi M., and Farpoor M.H. 2009. Soil micromorphology and genesis along a climotoposequence in Kerman Province, central Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4):4078-4084.
- 21- Nameless. 2003. Gazetteer Settlements of Kerman Province, Bardsir City. Geography Organization of the Ministry of Defense and Armed Forces Logistics of Iran, 3:1-40. (in Persian)
- 22- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. p. 181-196. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 23- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-577. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 24- Owliaie H.R., Abtahi A., and Heck R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials on transect, southwestern Iran. *Geoderma*, 134:62-81.
- 25- Page S.E., Wust R.A.J., Wriss D., Rieley J.O., Shotyky W., and Limins S. 2004. A record of late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and implication for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science*, 19:625-635.
- 26- Rabenhonst M.C., and Wilding L.P. 1986. Pedogenesis on the Edwards plateau, Texas: formation and occurrence of diagnostic subsurface horizons in a climosequence. *Soil Science Society of America Journal*, 50:684-692.
- 27- Salehi M.H., Khademi H., and Karimian Eghbal M. 2003. Identification and genesis of clay minerals soils from Farrokhsahr area, Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 7(1):73-90. (in Persian with English abstract)
- 28- Sanjari S., Farpoor M.H., Eghbal M.K., and Esfandiarpour Boroujeni I. 2011. Genesis, micromorphology and clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Jiroft area. *Journal of Water and Soil*, 25(2):411-425. (in Persian with English abstract)
- 29- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. 2012. *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- 30- Shankar M., and Achyuthan H. 2007. Genesis of calcic and petrocalcic horizons from Coimbatore, Tamil Nadu: micromorphology and geochemical studies. *Quaternary International*, 175:140-154.
- 31- Sheklabadi M. 2000. Relative Erodibility of Soils Affected by some Geological Formations and its Relationship with some Physical and Chemical Properties of Soils in the Golabad Watershed. M.Sc. Thesis of Soil Science, Isfahan University of Technology. (in Persian with English abstract)
- 32- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th edition. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- 33- Stoops G. 2003. *Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. SSSA, Madison, WI.
- 34- Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. p. 1201-1229. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Agron. Monogr. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.

## Physicochemical Properties, Micromorphology and Clay Mineralogy of Soils Affected by Geological Formations, Geomorphology and Climate

A. Bayat<sup>1</sup> - M. H. Farpoor<sup>2\*</sup> - A. Jafari<sup>3</sup>

Received: 10-03-2014

Accepted: 12-04-2016

**Introduction:** Soil genesis and development in arid and semi-arid areas are strongly affected by geological formations and geomorphic surfaces. Various morphological, physical, and geochemical soil properties at different geomorphic positions are usually attributed to different soil forming factors including parent material and climate. Due to variations in climate, geological formations (Quaternary, Neogene and Cretaceous) and geomorphology, the aim of the present research was the study of genesis, development, clay mineralogy, and micromorphology of soils affected by climate, geology and geomorphology in Bardsir area, Kerman Province.

**Materials and Methods:** The study area, 25000 ha, starts from Bardsir and extends to Khanesorkh elevations close to Sirjan city. The climate of the area is warm and semi-arid with mean annual temperature and precipitation of 14.9 °C and 199 mm, respectively. Soil moisture and temperature regimes of the area are aridic and mesic due to 1:2500000 map, provided by Soil and Water Research Institute. Moving to west and southwest, soil moisture regime of the area changes to xeric with increasing elevation. Using topography and geology maps (1:100000) together with Google Earth images, geomorphic surfaces and geologic formations of the area were investigated. Mantled pediment (pedons 1, 3, 7, and 8), rock pediment (pedon 2), semi-stable alluvial plain (pedon 6), unstable alluvial plain (pedon 5), piedmont plain (pedons 9 and 11), intermediate surface of alluvial plain and pediment (pedon 4), and old river terrace (pedon 10) are among geomorphic surfaces investigated in the area. Mantled pediment is composed of young Quaternary sediments and Cretaceous marls. Rock pediments are mainly formed by Cretaceous marls. Quaternary formations are dominant in alluvial plains. Alluvial terraces and intermediate surface of alluvial plain and pediment are dominated by Neogene conglomerates. Siltstone, sandstone, and Neogene marls together with Neogene conglomerates are among dominant geological formations of piedmont plain. Eleven pedons affected by young Quaternary sediments, Neogene and Cretaceous marls in aridic, aridic border to xeric, and xeric moisture regimes on above-mentioned geomorphic surfaces were described and sampled using Natural Resources Conservation Service (2012) guideline. Physicochemical properties, clay mineralogy, and micromorphology of soil samples investigated and soils were classified by Soil Taxonomy (2014) and WRB (2015) systems.

**Results and Discussion:** Calcic, gypsic, argillic, and cambic diagnostic horizons investigated after field and laboratory studies. Typic Calcigypsid, Lithic Torriorthent, Typic Haplogypsid, Typic Haplocalcid, Typic Torrifluvent, Sodic Haplocambid, Typic Calciargid, and Xeric Haplocalcid subgroups were found using Soil Taxonomy (2014) system. Gypsisols, Calcisols, Luvisols, Cambisols, and Regosols reference soil groups identified by WRB (2015) classification system. Developed Alfisols, formed on piedmont plain geomorphic surface in xeric moisture regime. On the other hand, Entisols formed on rock pediments with aridic moisture regime. Soils in aridic moisture regimes were little developed with gypsic horizon, and where calcic horizon was formed, it was near the surface. Moving to the west with increasing humidity, gypsum was leached from the pedon and clay illuviation caused argillic horizon to be formed. Formation of Btk horizon in pedon 9 was attributed to a more paleoclimate. The maximum gypsum content of 44.7 % (gypsic soils) was found in soils affected by Quaternary formations and Cretaceous marls, but the maximum calcium carbonate (44 %, calcareous soils) was investigated in soils formed on Neogene conglomerate formations. Moreover, the maximum sodium adsorption ratio (SAR) content (29.2 (mmol(±) L<sup>-1</sup>)<sup>0.5</sup>) was determined for soils on unstable surface of alluvial plain. Smectite, vermiculite, illite, kaolinite, and chlorite clay minerals were investigated and smectite to illite ratio increased moving from aridic to xeric moisture regimes that prove the pedogenic source of smectite from weathering of illite. Coating and infilling of calcium carbonate, lenticular and interlocked plates and infillings of gypsum, and clay coatings were observed during micromorphological investigations.

1, 2 and 3- MSc student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

(\*-Corresponding Author Email: farpoor@uk.ac.ir)

Micromorphological observations also showed that gypsum crystals decreased and calcite crystals and thickness of clay coatings increased from aridic to xeric moisture regimes. The minimum amount of gypsum crystals was found in Neogene formations. The results also showed that gypsum pedofeatures are dominant in Cretaceous formations, but calcium carbonate pedofeatures are the main features of Neogene formations. Due to presence of animal voids (channel, regular and star-shaped vughs, chamber, and vesicles), spongy microstructure was formed in agricultural lands.

**Conclusion:** Results of the research showed the important role of parent material, climate, and geomorphic surface on genesis and development of soils in Bardsir area.

**Keywords:** Argillic, Central Iran, Climolitosequence