



بررسی چگونگی تشکیل، کانی شناسی رسی و ریز ریخت شناسی خاک‌های قدیمی واقع بر مخروط آبرفتی گیودری رفسنجان

محمد هادی فرپور^{*}، مهدی ایران نژاد

بخش مهندسی خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت مقاله: ۸۹/۸/۲۹، نسخه نهایی: ۸۹/۱۱/۱۰)

چکیده: خاک‌های قدیمی به خصوص در مناطق خشک اطلاعات ارزشمندی از اقلیم گذشته حاکم بر منطقه در اختیار قرار می‌دهند. این خاک‌ها در ایران مرکزی معمولاً به صورت مدفون یافت می‌شوند. در بررسی خاک‌های قدیمی، از مخروط آبرفتی گیودری جنوب شهرستان رفسنجان استفاده شد. رژیم‌های رطوبتی و گرمایی منطقه به ترتیب اریدیک و مزیک است. براساس معیارهای شناسایی خاک‌های دیرینه، تعداد چهار لایه خاک قدیمی در عمق‌های ۱۵، ۲۰، ۴۵ و ۵۰ متری از سطح زمین در دره‌ی حاصل از رودخانه‌ی گیودری مورد شناسایی قرار گرفتند. در پراش پرتو ایکس نمونه‌ها کانی‌های رسی پالیگورسکیت، ایلیت، اسمکتیت، کلریت و کائولینیت مشاهده شدند. در خاک قدیمی شماره ۴ کانی رسی پالیگورسکیت دیده نشد که به شرایط مرطوب‌تر زمان تشکیل این خاک قدیمی و بنابراین عدم تشکیل و یا تغییر شکل این کانی به اسمکتیت نسبت داده می‌شود. رسانندگی الکتریکی ۶۰ دسی زیمنس بر متر در خاک قدیمی ۳ به همراه ۵٪ گچ و نیز مقادیر زیاد کانی پالیگورسکیت در ریز نگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی حاکی از وجود اقلیم خشک‌تر در زمان تشکیل این خاک در مقایسه با خاک‌های قدیمی دیگر است. نتایج این پژوهش نشانگر تاثیر میزان سنگریزه بر درصد خلل و فرج خاک طی بررسی‌های ریز ریخت‌شناختی است.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های قدیمی؛ مخروط آبرفتی گیودری؛ پالیگورسکیت؛ اقلیم گذشته؛ رفسنجان.

مقدمه

وابسته بوده و متفاوت از شرایط فعلی تشکیل شده باشند. میزان فرسایش در این خاک‌ها از زمان تشکیل شدن تا کنون ناچیز بوده است. تفسیر شرایط اقلیمی وابسته به خاک‌های قدیمی باقی‌مانده (Exhumed Paleosols) با مشکلاتی همراه است، چرا که در طول زمان تغییر اقلیمی رخ داده و این خاک‌ها ممکن است چندین اقلیم را تجربه کرده باشند. لذا نمی‌توان به طور دقیق اقلیم اولیه‌ای را که خاک در آن تشکیل شده است بازسازی کرد، و در اینکه کدامیک از دوره‌های اقلیمی تأثیرگذارتر بوده است، ابهام وجود دارد [۲]. در

خاک‌های قدیمی، خاک‌هایی هستند که در شرایط متفاوت از شرایط فعلی روی دیرین زمین‌نماها (Paleo Landscapes) تشکیل شده‌اند. برخی از این خاک‌های قدیمی که چندین دوره‌ی خاکسازي و تغییر اقلیم را تجربه کرده‌اند، دارای شواهد خاکسازي هستند که همدیگر را متاثر کرده و گاهی اثرهای آنها به صورت مضاعف در خاک به‌جای مانده‌اند، که این خاک‌ها با عنوان خاک‌های پلی‌ژنتیک شناخته می‌شوند [۱].

نتلتون و همکاران (۱۹۹۸) خاک‌های قدیمی پایدار را با عنوان خاک‌هایی معرفی کردند که به پلیستوسن و یا قدیمی‌تر

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۴۱۳۲۰۲۶۵۶، نمابر: ۰۳۴۱۳۲۲۲۰۴۳، پست الکترونیکی: farpoor@mail.uk.ac.ir

بررسی کردند [۱۲].

پژوهشگران مختلفی با استفاده از کانی شناسی خاک‌های قدیمی، شرایط گذشته را بازسازی کرده‌اند. مثلاً ضمن بررسی خاک‌های قدیمی مدفون در لس‌های هلند، به روش پراش-سنجی پرتو ایکس نشان داد که افق‌های مدفون دارای کانی‌های هوادیده بیشتری نظیر مونت‌موریلونیت، ورمیکولیت و کائولینیت نسبت به لایه‌ی لس بالایی هستند [۱۳]. پیترو همکاران (۲۰۰۹) در بررسی کانی‌شناسی افق‌های مدفون شده قدیمی، به این نتیجه رسیدند که افق آرچلیک قدیمی نسبت به افق آرچلیک جوانتر، کائولینیت بیشتر و اسمکتیت کمتری دارد، که نشان‌دهنده‌ی این است که خاک‌های قدیمی تحت تأثیر شرایط بسیار مرطوب‌تر و هوادیدگی بیشتری قرار داشته‌اند [۱۴].

برونگر و سدوف (۲۰۰۳) در خاک‌های شمال غربی مراکش به خاک‌هایی دست یافتند که دوره‌های سرد یخچالی را سپری کرده‌اند. این دوره‌ها در منطقه‌ی یاد شده، با شرایط مرطوب‌تر همراه بوده و با توجه با اینکه در مواد مادری اثری از کائولینیت دیده نشده، حضور و فراوانی زیاد کائولینیت به دوره‌های مرطوب گذشته نسبت داده شده است [۱۵]. به‌رحال بررسی-های کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی نیز همچون خاک‌های زمان کنونی، به منظور بررسی شرایط و خاستگاه تشکیل آنها ضروری است. لذا نوع و میزان کانی‌های رسی بیانگر بسیاری از ویژگی‌های وابسته به تشکیل و تکامل خاک‌ها در زمان گذشته و اقلیم دیرینه است [۱۶].

شواهد وابسته به وجود اقلیم مرطوب‌تر از زمان ما، در گذشته‌ی ایران مرکزی طی بررسی‌های خاک‌شناسی مختلفی گزارش شده‌اند [۶]. نظر به اینکه لایه‌های مختلف خاک و رسوب در دره‌ی قرار گرفته بر مخروط آبرفتی گیودری رفسنجان با پی جویی‌های اولیه شناسایی شدند، لذا این پژوهش در راستای بررسی تأثیر اقلیم گذشته بر خاک‌های منطقه‌ی رفسنجان به عنوان بخش جنوب شرقی زون ایران مرکزی و امکان تشکیل خاک‌های قدیمی منطقه‌ی یاد شده، پایه ریزی شد. برای رسیدن به این هدف، چگونگی تشکیل، کانی‌شناسی رسی، ویژگی‌های ریز ریخت‌شناسی، و میکروسکوپ الکترونی خاک‌های قدیمی واقع بر مخروط آبرفتی گیودری رفسنجان در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

مناطق با حرکت‌های زمین‌ساختی نیز معمولاً خاک‌های قدیمی و مدفون وجود دارند به‌طوری‌که ضخامت این خاک‌ها به شدت به زمین‌ساختی وابسته‌اند [۳-۵].

فرپور و همکاران (۱۳۷۹) در بررسی خاک‌های اقلیم خشک سپاهان‌شهر، به این نتیجه رسیدند که افق‌های رسی که از عمق ۸۰ سانتیمتری شروع می‌شود، نمی‌تواند در زمان کنونی انباشت شده باشد، زیرا در این صورت می‌بایستی این افق‌ها را در خاک‌های جدید نیز داشته باشیم. در این بررسی‌ها که در منطقه‌ی خشک شرق اصفهان انجام گرفت معلوم شد که به دلیل خشکی بیش از حد هوا امکان تشکیل افق آرچلیک در زمان ما وجود ندارد و وجود این افق به اقلیم مرطوب‌تر گذشته نسبت داده می‌شود [۶].

قازانچایی و همکاران (۱۳۸۴) پس از پی جویی‌های صحرائی و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی؛ از جمله رنگ خاک، ساختار، درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در رسوب‌های لس-خاک قدیمی در منطقه‌ی ناهارخوران گرگان، نشان دادند که خاک‌های قدیمی به دلیل فرایندهای خاکسازي به تکامل بیشتری نسبت به لایه‌های لس رسیدند، و احتمالاً شرایط آب‌وهوایی مناسب، در گسترش و تکامل آنها نقش بسزایی داشته است [۷].

یکی از شواهد ریز ریخت‌شناسی خاک‌های قدیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، پوشش‌های رسی روی خاکدانه‌ها و ذرات شن می‌باشد که به‌عنوان ابزاری مهم برای تفسیر شرایط بوم-شناسی گذشته قابل استفاده است [۸، ۹]. با استفاده از روش ریز ریخت‌شناسی در بازسازی تغییرات محیطی گذشته در خاک‌های قدیمی، بررسی‌های گسترده‌ای صورت نگرفته است. سریواستاوا (۲۰۰۱) در نواحی خشک و نیمه‌خشک غرب آفریقا وجود پوشش‌های رسی را به حضور دوره‌های مرطوب‌تر اقلیمی در پلیستوسن و اوائل هولوسن وابسته دانسته است [۱۰]. مونگر (۲۰۰۲) در بررسی‌های ریز ریخت‌شناسی در خاک‌های نیومکزیکو، با بررسی انباشت چندگانه‌ی آهک‌های ثانویه نشان داد که در طول ۵۰۰ هزار سال گذشته، این خاک‌ها چندین دوره‌ی مرطوب‌تر از حال را سپری کرده‌اند [۱۱]. اقبال و ساتارد (۱۹۹۳) با بررسی خاک‌های غرب بیابان ماهاولی روی مخروط‌های آبرفتی فرسایش‌یافته، با استفاده از روش ریز ریخت‌شناسی، علاوه بر تفسیر شرایط اقلیم گذشته، توالی فرایندهای خاکسازي نظیر انباشت آهک، رس و سیلیس را

وضعیت عمومی منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی بر روی رسوب‌های آبرفتی مخروط‌افکنه رودخانه‌ی گیودری (شاهزاده علی‌عباس) در جنوب شهرستان رفسنجان قرار دارد و از جنوب به کوه‌های سرچشمه محدود می‌شود (شکل ۱). منطقه‌ی مورد بررسی از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ۵۶° ۰۵' تا ۵۶° ۱۵' و عرض‌های ۳۰° ۱۴' تا ۳۱° ۱۴' واقع شده‌است.

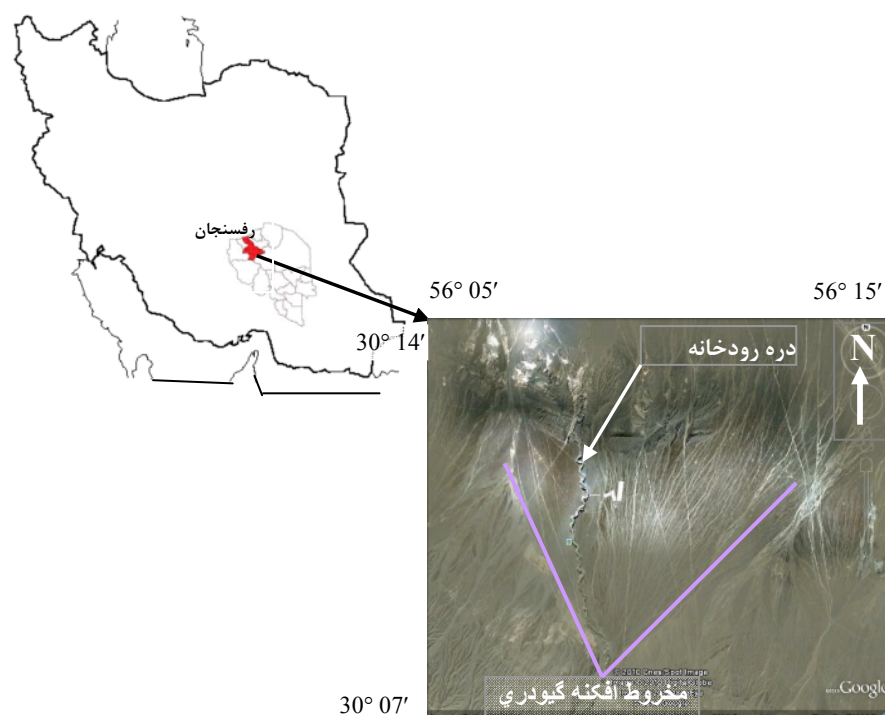
مخروط آبرفتی گیودری ۱۸۳/۷ کیلومتر مربع وسعت دارد. ارتفاع مخروط آبرفتی از سطح دریا در نواحی مرتفع‌تر جنوبی حدود ۲۰۰۰ متر و در نواحی شمالی ۱۶۰۰ متر است [۱۷] و شعاع متوسط آن (فاصله راس تا قاعده) حدود ۲۹ کیلومتر و شیب متوسط آن ۲/۸ درصد است. رودخانه‌ی گیودری (شاهزاده علی‌عباس) که مخروط آبرفتی یاد شده را به وجود آورده است در حوضه‌ای به وسعت ۴۳۴/۵ کیلومتر مربع در دامنه‌ی شمالی کوه‌های سرچشمه و به سمت شمال (دشت رفسنجان) جریان دارد [۱۸]. شکل ۲ شمایی از مقطع رودخانه را نشان می‌دهد که موقعیت خاک‌های قدیمی در آن مشخص شده‌است.

آب و هوا یکی از عوامل مهمی است که در نوع و فرایندهای تشکیل خاک تاثیرگذار است. برای بررسی چگونگی آب و هوای منطقه از آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان رفسنجان استفاده

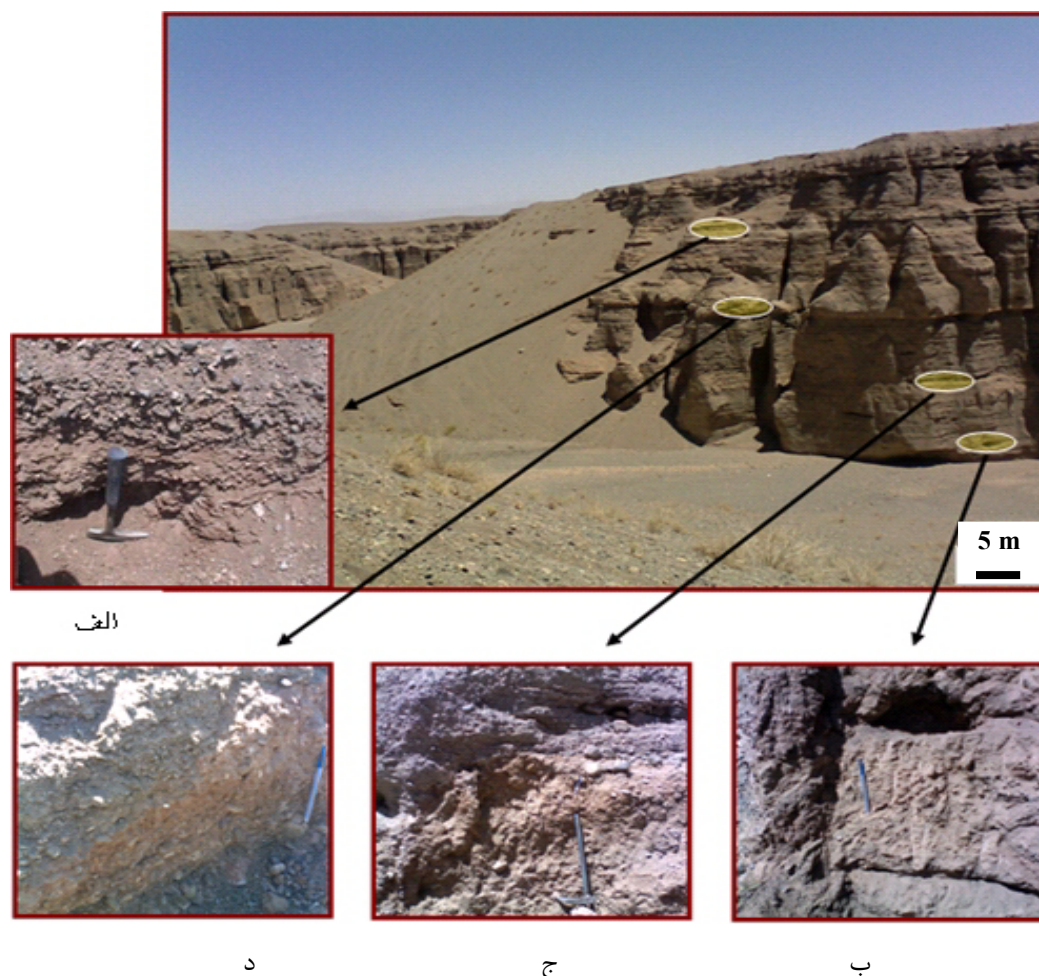
شده‌است. میانگین بارش در منطقه ۹۴/۷ میلیمتر در دوره‌ی زمانی ۸۵-۱۳۷۰ بوده و میانگین دمای سالانه ۱۸/۴ درجه سانتیگراد گزارش شده است (سازمان هواشناسی استان کرمان، ۸۵-۱۳۷۰). رژیم گرمایی و رطوبتی منطقه به ترتیب مزیک و اریدیک است [۱۹].

از نظر زمین‌شناسی، منطقه شامل پادگانه‌های پست، مخروط آبرفت‌های جوان و قدیمی و نیز پهنه‌های رس و سیلت به صورت محلی نمکی وابسته به کواترنری (پلئستوسن و هولوسن) است. کنگلومرا، برش، ماسه سنگ وابسته به پالئوسن و الیگومیوسن و نیز میکروکنگلومرا و ماسه سنگ‌های قرمز مارنی در منطقه دیده می‌شوند [۲۰].

در دره‌ای به عمق حدود ۷۵ متر، چهار لایه با رنگ و بافت متفاوت که معرف چهار خاک دیرینه بودند، در دیواره‌ی این دره شناسایی شدند. این خاک‌ها از گسترش نسبتاً خوبی برخوردارند، ولی ضخامت و عمق آنها در طول دره یکسان نیست. به منظور بررسی خاک‌های قدیمی، از چهار لایه‌ی مدفون نمونه‌برداری شد. به علاوه نمونه‌های دست نخورده‌ای برای بررسی‌های ریز ریخت‌شناسی و میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی نشانگر مخروط آبرفتی و رودخانه گیودری واقع در جنوب شهرستان رفسنجان (منبع از Google Earth).



شکل ۲ شمای کلی از مقطع رودخانه که موقعیت خاک‌های قدیمی در آن نشان داده شده است:

الف) خاک قدیمی ۱ در عمق ۱۵ متری از سطح زمین، ب) خاک قدیمی ۲ در عمق ۲۰ متری از سطح زمین، ج) خاک قدیمی ۳ در عمق ۴۵ متری از سطح زمین، د) خاک قدیمی ۴ در عمق ۵۰ متری از سطح زمین.

بررسی‌های آزمایشگاهی

پس از خشک کردن نمونه‌ها با هوا و کوبیدن آنها، درصد سنگریزه را پس از الک کردن با الک ۲ میلی‌متر به صورت حجمی تعیین نموده و آزمایش‌های معمول فیزیکی-شیمیایی روی آنها انجام گرفت.

توزیع اندازه‌ی ذرات به روش پیپت [۲۱]، قدرت اسیدی و رسانندگی الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک با استفاده از اسیدسنج و رسانندگی مدل Jenway تعیین شدند [۲۲]. اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی و اندازه‌گیری گچ خاک به روش استون انجام گرفت [۲۳].

برای بررسی‌های کانی شناسی رسی، حذف املاح محلول و مواد سیمانی کننده به روش جکسون (۱۹۷۵) و کیتربک و

هوپ (۱۹۶۳) انجام شد [۲۵، ۲۴]. پس از جداسازی بخش رس با یک دستگاه مرکز گریز، هر نمونه را به دو بخش تقسیم کردیم و سپس یکی از آنها را با کلرید منیزیم نرمال و دیگری را با کلرید پتاسیم نرمال اشباع کردیم [۲۴]. پس از اشباع نمونه‌های رس با Mg و K ، چهار تیمار اشباع با منیزیم، تیمار اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم، و تیمار گرمایی در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد روی اسلایدهای اشباع شده با پتاسیم اعمال شدند. نمودارهای پراش پرتو ایکس با استفاده از پراش سنج پرتو ایکس بروکر مدل D8 Advance با فلز هدف مس در ولتاژ ۴۰ kV و شدت جریان ۳۰ mA در مرکز پیشرفته‌ی علوم محیطی کرمان تهیه شدند. برای اشباع کردن نمونه‌ها طی بررسی‌های ریز ریخت-

شناسی از رزین سه جزئی وستاپول استفاده شد. مقاطع نازک تهیه شده (با ضخامت ۲۰-۳۰ میکرون) با استفاده از میکروسکوپ سنگ شناسی مدل Olympus BH2 مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس اصول و واژگان استوپس (۲۰۰۳) تشریح و تفسیر شد [۲۶] و در نهایت بخش‌های مورد نظر با دوربین رقمی عکسبرداری شدند.

برای بررسی با میکروسکوپ الکترونی روبشی، نمونه‌های خاک خشک شده با هوا را با چسب کربنی روی پایه‌های آلومینیومی نصب کردیم و سپس با لایه‌ای از طلا پوشش دادیم. از میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلیپس مدل XL30 ESEM آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشگاه کلگری کانادا برای مشاهده‌ی نمونه‌ها استفاده شد.

بحث و بررسی

ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی و ریخت شناسی

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی چهار لایه خاک قدیمی مدفون در دره ی گیودری را نشان می‌دهد. چنانکه در جدول دیده می‌شود، رسانندگی الکتریکی خاک‌های شماره‌ی ۱ و ۲ و ۴ کم بوده و از حدود ۰/۵ تا ۳/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر تغییر می‌کند. از سوی دیگر، رسانندگی الکتریکی در خاک قدیمی شماره‌ی ۳ به ۶۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد. با توجه به اینکه خاک قدیمی شماره‌ی ۳ نسبت به خاک‌های قدیمی ۲ و ۴ میزان شن بیشتر و رس کمتری دارد لذا در صورت وجود رطوبت، بیشتر از دو خاک دیگر می‌توانست مورد شست‌وشوی پروفیلی قرار گیرد. لذا وجود شوری بیشتر در این خاک می‌تواند به وجود اقلیم خشک‌تر زمان تشکیل این خاک در مقایسه با خاک‌های ۲ و ۴ نسبت داده شود. واکنش خمیر اشباع خاک (pH) در تمام خاک‌های قدیمی همواره بالاتر از ۷ و از ۷/۵ تا ۸/۵ متغیر است (جدول ۱) که کم و بیش با pH تعادل کربنات کلسیم در حضور گچ و مقادیر متوسط املاح هم‌خوانی دارد. مقدار گچ اندازه‌گیری شده در خاک قدیمی شماره‌ی ۳ از همه بیشتر است (جدول ۱) که می‌تواند موید وجود اقلیم خشک‌تر در زمان تشکیل این خاک باشد. میزان سنگریزه و بافت خاک در لایه‌های مختلف موجود در دره تغییرات زیادی را نشان می‌دهد (جدول ۱) که حاکی از رسوب‌گذاری‌های وابسته به زمان‌های مختلف و احتمالاً رژیم‌های رطوبتی متفاوت و نیز رسوب مواد آواری مختلف از بالا دست (کانال تغذیه کننده‌ی مخروط

آبرفتی) در دوره‌های پی در پی در طول تشکیل دره گیودری است. در بررسی‌های صحرایی انجام شده، معلوم شد که خاک قدیمی شماره ۱ (در عمق ۱۵ متری از سطح زمین) دارای پاکت‌های پودری آهک ثانویه بوده و بافت لوم شنی به میزان ۵۵ درصد سنگریزه دارد. از سوی دیگر، بافت خاک در لایه‌ی دوم (در عمق ۲۰ متری از سطح) سنگین‌تر شده (لوم رسی) و میزان سنگریزه به ۳۰ درصد کاهش یافته است. لایه‌ی سوم واقع در عمق ۴۵ متری دوباره درشت بافت شده (لوم شنی) و میزان سنگریزه آن ۳۵ درصد است. لایه‌ی چهارم واقع در عمق ۵۰ متری دارای بافت لوم بوده و میزان سنگریزه در آن تنها با میزان ۲ درصد اندازه‌گیری شده است. گرچه ممکن است ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های قدیمی در طول زمان ثابت و پایدار باقی نماند و با وجود تغییر بسیاری از ویژگی‌ها با گذشت زمان نتوان شرایط گذشته‌ی تشکیل خاک‌ها را دقیقاً بررسی کرد، ولی در کنار نتایجی چون ریز ریخت‌شناسی، میکروسکوپ الکترونی و پراش پرتو ایکس می‌توان به نتایج مطمئن‌تری دست یافت. لازم به یادآوری است که پاکت‌های پودری آهک و پوشش‌های رسی در کلیه‌ی لایه‌های چهارگانه بررسی شده مشاهده می‌شوند. به علاوه، مقادیر زیاد گچ ثانویه در لایه‌ی سوم همراه با ویژگی‌های ریز ریخت‌شناسی، کانی‌شناسی رسی و میکروسکوپ الکترونی که در بخش‌های بعد به آنها پرداخته می‌شود همگی نشانگر وجود رژیم رطوبتی خشک در زمان تشکیل خاک شماره‌ی ۳ است.

نظر به اینکه دره‌ی رودخانه گیودری حدود ۶۰ متر عمق دارد و از لایه‌های مختلف رسوب تشکیل شده است، لذا امکان نمونه برداری از کلیه لایه‌ها و بنابراین تجزیه‌های فیزیکی- شیمیایی در این زمینه مقدور نبوده است. بنابراین به دلیل نداشتن برخی ویژگی‌ها مثل میزان رس لایه‌های بالایی، امکان نام‌گذاری افق‌ها وجود نداشت و به همین دلیل از رده بندی- های معمول در خاک‌شناسی (تاکسونومی خاک امریکایی و WRB) برای نام‌گذاری خاک‌ها استفاده نشد. از سوی دیگر، مک و همکاران (۱۹۹۳) برای رده‌بندی خاک‌های دیرینه و مدفون، رده‌بندی ساده‌ای ارائه کرده‌اند که بیشتر در زمین- شناسی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷]. بر این اساس خاک‌های قدیمی ۱ و ۲، پالئوپروتوسول، خاک ۳ به صورت پالئوژیپسی سول، و خاک ۴ به عنوان پالئوکلسی سول رده بندی شدند.

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های قدیمی مورد بررسی.

خاک قدیمی	pH	SAR	رسانندگی الکتریکی (dS/m)	گچ (%)	آهک (%)	سنگریزه (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت
PL _۱	۸٫۵۶	۱۵	۱٫۱۳	۱٫۷	۱۲	۵۵	۸۰	۸	۱۲	SL
PL _۲	۸٫۲۲	۹٫۵	۳٫۲۵	۱٫۷	۱۳	۳۰	۴۴	۲۲	۳۴	CL
PL _۳	۷٫۵	۵٫۷	۶۰٫۶	۵٫۱	۱۵	۳۵	۶۴	۲۶	۱۰	SL
PL _۴	۸٫۳۱	۱۲٫۴	۰٫۵۳	۱٫۷	۱۶٫۵	۲	۴۶	۳۴	۲۰	L

ویژگی‌های ریز ریخت شناسی

جدول ۲ خلاصه‌ای از ویژگی‌های ریز ریخت‌شناسی لایه‌های مختلف خاک قدیمی را نشان می‌دهد. مقطع نازک خاک قدیمی شماره‌ی ۱ نشانگر پوشش‌های رس و کلسیت روی سطوح خارجی اجزای درشت خاک و نیز دیواره‌ی داخلی خلل و فرج به عنوان خاکسیمای غالب است (شکل ۳ الف). میزان خلل و فرج‌های این خاک حدود ۳۰ درصد بود (جدول ۲) که با مقدار زیاد سنگریزه‌های (۵۵ درصد) موجود در این خاک و نقشی که سنگریزه در ساختار خاک دارند، همخوانی دارد. گرانو و پورواستریت بی‌فابریک^۱ نیز در این خاک دیده می‌شوند.

خاک قدیمی شماره ۲ علاوه بر پوشش‌های رس و کلسیت به‌عنوان خاکسیمای غالب، دارای بلورهای یوهدرال گچ نیز البته به میزان اندک می‌باشد (شکل ۳ ب). میزان خلل و فرج در این مقطع به ۱۰ درصد کاهش یافته که با روند کاهشی در میزان سنگریزه در این خاک نسبت به خاک شماره ۱ همخوانی دارد. بی‌فابریک موجود در این خاک از نوع گرانواستریت است.

مقطع نازک خاک شماره‌ی ۳ همچون دو خاک قبلی دارای پوشش‌های رس و آهک بود (شکل ۳ ج) ولی بر خلاف خاک‌های قبل، مقدار بلورهای گچ در این خاک زیاد است، به‌طوری‌که جیپسیک کریستالیتیک بی‌فابریک^۲ را بوجود آورده است (شکل ۳ د). از آنجا که مقدار رس موجود در لایه‌های بالایی هر یک از خاک‌های قدیمی اندازه‌گیری نشد، لذا امکان تفکیک افق آرجیلیک و بنابراین رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سیستم رده‌بندی امریکایی (۲۰۱۰) وجود ندارد. ولی وجود پوشش‌های رسی درمقاطع نازک نشانگر تشکیل افق آرجیلیک در خاک‌های قدیمی ۱، ۲، و ۳ است. وجود مقادیر زیاد بلورهای گچ در خاک شماره‌ی ۳ همراه با ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی دیگر در این خاک که در پیش از این گفته شد، همگی بر وجود رژیم رطوبتی خشک‌تر پس از تشکیل خاک ۳ دلالت دارند. به

نظر می‌رسد که پس از تشکیل افق آرجیلیک، همراه با خشکی اقلیم، گچ به این خاک اضافه شده است.

شکل ۳ - ه - مقطع نازک وابسته به خاک قدیمی شماره ۴ را نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود، این خاک دارای کلسیتیک کریستالیتیک بی‌فابریک^۳ بوده و پوشش‌ها و پرشدگی‌های کلسیت، خاکسیمای غالب را تشکیل داده‌اند. خلل و فرج تنها ۵ درصد سطح مقطع را تشکیل می‌دهد (جدول ۲) که با میزان اندک سنگریزه (۲ درصد) و بافت خاک (جدول ۱) همخوانی دارد. لازم به توضیح است که میزان درصد خلل و فرج در خاک‌های با بافت لوم بایستی بیش از مقدار گزارش شده در این پژوهش (۵ درصد) باشد ولی به دلیل اینکه همه‌ی خاک‌های مورد بررسی در این پژوهش مدفون شده‌اند، لذا بین میزان سوراخ‌ها و بافت خاک ارتباطی همچون خاک‌های نامدفون وجود ندارد و به نظر می‌رسد که میزان سنگریزه با تاثیر بر روی ساختار خاک، تاثیر بیشتری بر روی خلل و فرج ایجاد کرده است.

علی‌رغم اینکه در طی بررسی‌های صحرایی خاک شماره‌ی ۴ علائمی از افق آرجیلیک مشاهده شد، ولی مقطع نازک وابسته به این خاک هیچ نوع پوشش رسی را نشان نداد. انبساط حاصل از کانی اسمکتیت به عنوان عامل تخریب پوسته‌های رسی توسط پژوهشگران گزارش شده است [۲۸]. به نظر می‌رسد که علت عدم تشکیل و یا بهتر از آن تخریب پوسته های رسی در این خاک به دلیل وجود کانی اسمکتیت باشد که در بخش بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت. عدم وجود کانی گچ در این خاک نیز که در بررسی‌های صحرایی و ریزریخت- شناسی اثبات شد، دلیلی دیگر بر وجود اقلیم مرطوب تر در زمان تشکیل خاک ۴ در مقایسه با خاک‌های روئی است که با نتایج کانی‌شناسی رسی نیز همخوانی دارد و در بخش بعد به آن می‌پردازیم.

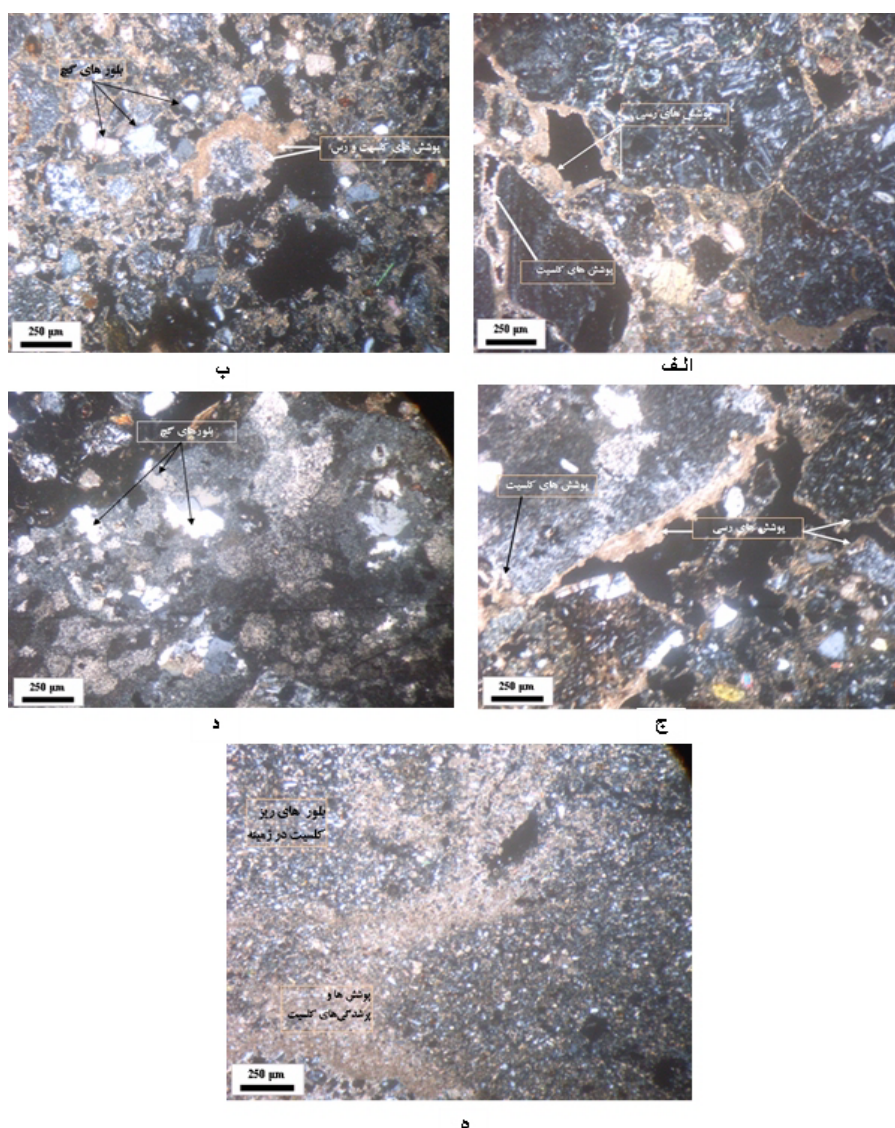
1 - Grano and Poro Striated b fabric

2- Gypsic crystalitic b fabric

3- Calcitic crystalitic b fabric

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های ریزریخت‌شناسی خاک‌های قدیمی مورد بررسی.

Pedo features	Micromass	c/f-related distribution pattern	Frequency of voids (%)	Paleosol
Calcite coating and hypocoating	Grano and porostriated b-fabric	Single spaced fine enaulic	30	PL1
Calcite and clay coating, clay infilling, lenticular gypsum crystals	Granostriated b-fabric	Single spaced fine enaulic	10	PL2
Calcite and clay coatings, lenticular gypsum crystals	Gypsic crystallitic b-fabric	Single spaced porphyric	20	PL3
Calcite crystals	Calcite crystallitic b-fabric	Closed fine enaulic	5	PL4

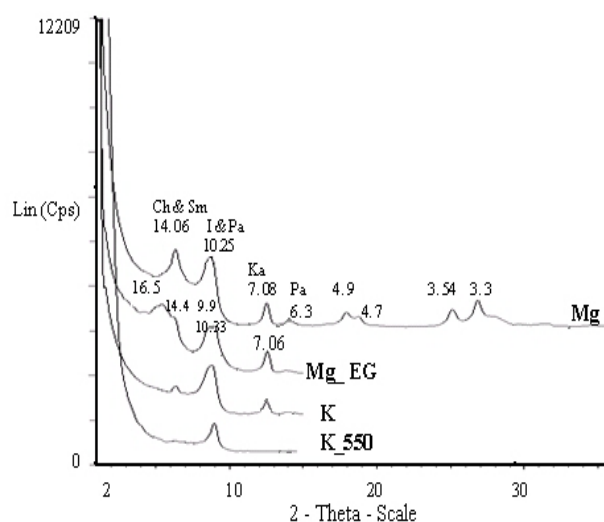


شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی (XPL) از خاک‌های قدیمی: الف) پوشش‌های کلسیت و رس درون حفره‌ها و اطراف اجزای درشت در خاک قدیمی شماره ۱ ب) پوشش‌های کلسیت و رس درون حفره‌ها و اطراف اجزای درشت و بلورهای عدسی شکل گچ در خاک قدیمی شماره ۲ ج) پوشش‌های کلسیت و رس درون حفره‌ها و اطراف اجزای درشت در خاک قدیمی شماره ۳ د) بلورهای گچ به میزان فراوان در خاک قدیمی شماره ۴ در فابریک گچی ه) بلورهای ریز کلسیت در زمینه و پوشش‌ها و پرشدگی‌های کلسیت به میزان فراوان اطراف ذرات در خاک قدیمی شماره ۴.

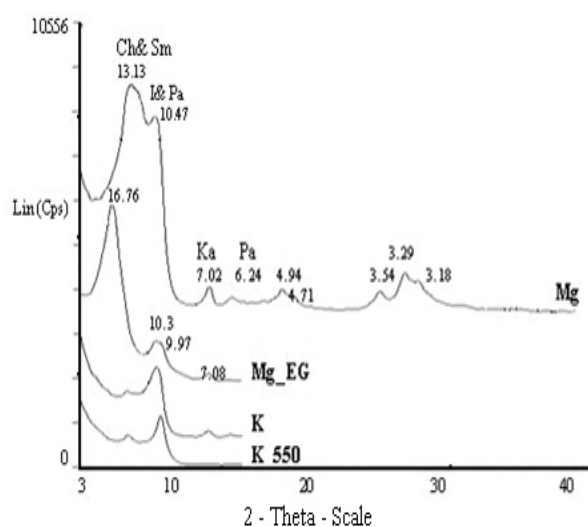
کانی‌شناسی رسی‌ها

کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی نشان می‌دهد که کانی‌های اسمکتیت، کلریت، پالیگورسکیت، ایلیت و کائولینیت در خاک‌های ۱، ۲ و ۳ غالب‌اند (شکل ۴ الف، ب، و ج). کانی‌شناسی رسی خاک قدیمی شماره ۴ همانند خاک‌های قبل بوده با این تفاوت که شدت قله‌ی اسمکتیت در این خاک بسیار بالاتر از ایلیت است و از سوی دیگر، اثری از کانی پالیگورسکیت دیده

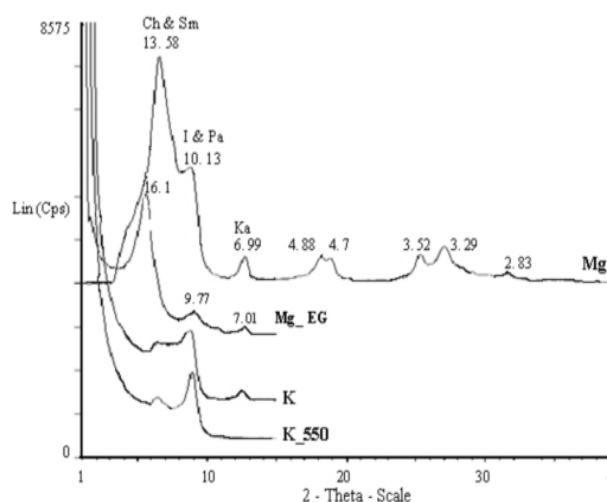
نمی‌شود (شکل ۴ د). نظر به اینکه کانی پالیگورسکیت در اقلیم‌های مرطوب تشکیل نشد، و یا در اثر رطوبت حاصل از تغییرات اقلیمی ناپایدار شده و به اسمکتیت تبدیل می‌شود [۱۱، ۲۹]، لذا عدم وجود پالیگورسکیت در خاک ۴ به شرایط اقلیمی مرطوب‌تر در زمان تشکیل این خاک نسبت داده می‌شود که موید نتایج ریزریخت‌شناسی وابسته به این خاک نیز خواهد بود.



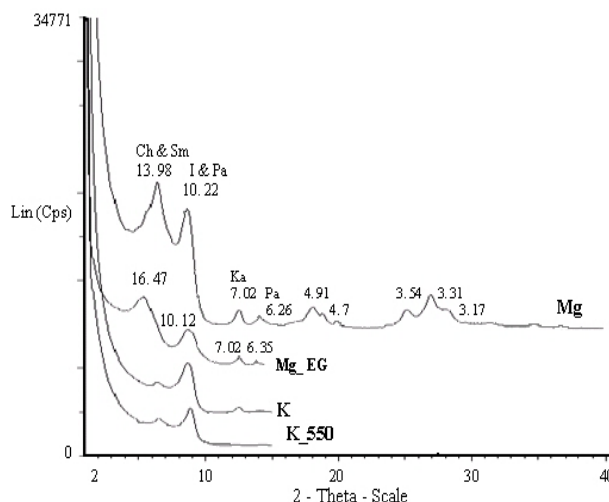
ب



الف



د



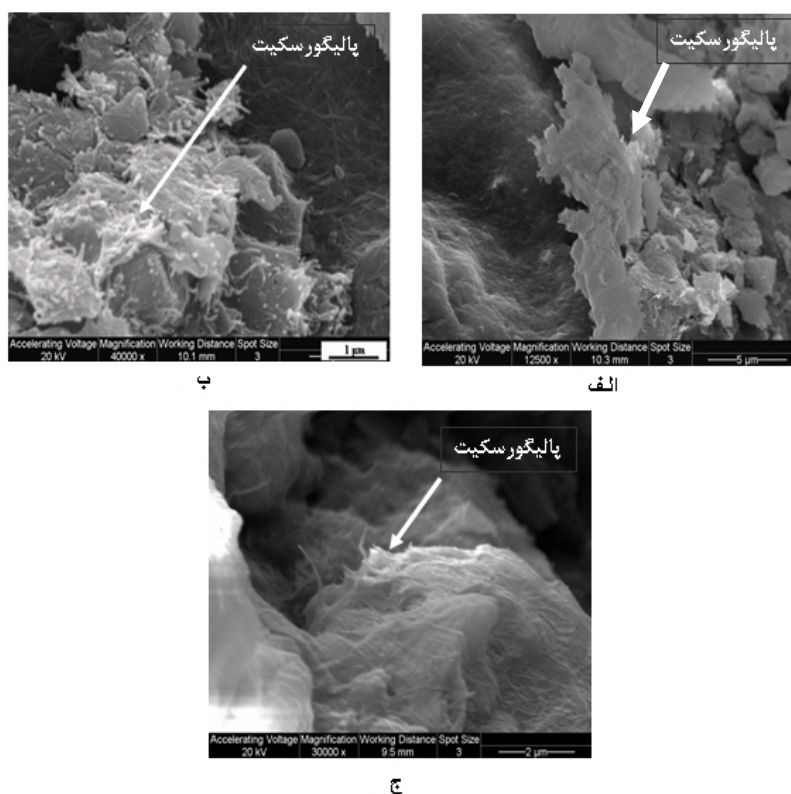
ج

شکل ۴ نمودار پراش پرتو ایکس، الف) خاک قدیمی شماره ۱، ب) خاک قدیمی شماره ۲، ج) خاک قدیمی شماره ۳، د) خاک قدیمی شماره ۴، Mg: اسلاید اشباع با منیزیم، Mg-EG: اسلاید اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، K: اسلاید اشباع با پتاسیم، K-550: اسلاید اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد، Sm: اسمکتیت، Ch: کلریت، I: ایلیت، Pa: پالیگورسکیت، Ka: کائولینیت.

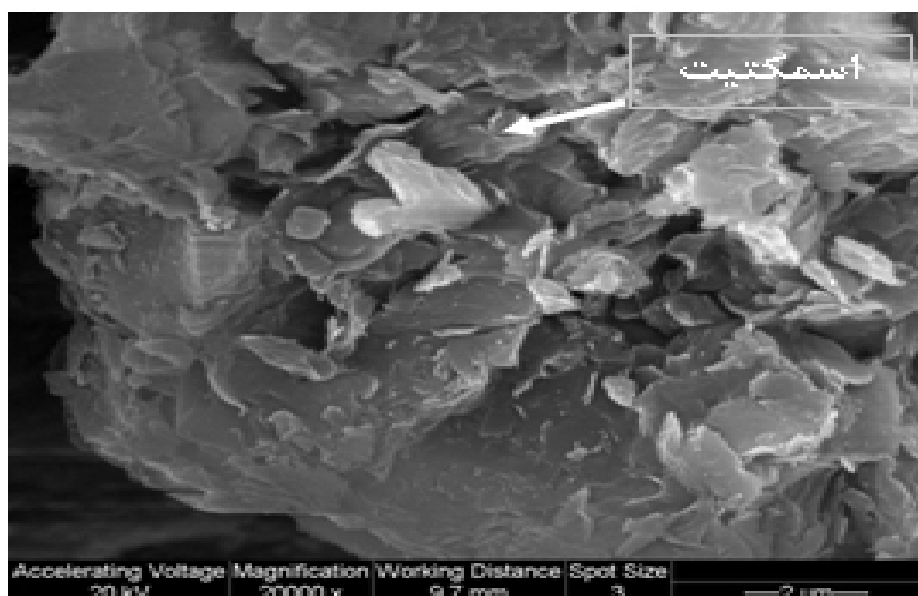
نشانگر عدم وجود پالیگورسکیت بوده و تنها رس اسمکتیت به چشم می‌خورد که به شرایط مرطوب‌تر در زمان تشکیل این خاک قدیمی مربوط بوده و با نتایج XRD نیز هم‌خوانی خوبی دارد. به نظر می‌رسد که به دلیل وجود رطوبت بیشتر، کانی پالیگورسکیت به اسمکتیت تبدیل شده باشد که با نتایج پژوهشگران دیگر مطابقت دارد [۳۱، ۹]. شکل ۶ ب نتیجه‌ی تجزیه عنصری (EDS) وابسته به بلورهای اسمکتیت را در خاک شماره ۴ نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود یک آلومینوسیلیکات با نسبت بیشتری از آلومینیوم نسبت به منیزیم نشانگر کانی اسمکتیت بوده و حضور پالیگورسکیت منتفی است. رمضان پور و جلالیان (۱۳۸۱) نیز در بررسی‌های ناحیه‌ی چلگرد، تغییر اقلیم را به دلیل فعال تر بودن حرکت-های زمین‌ساختی زمین و ناپایداری واحدهای فیزیوگرافی دانسته، و به عامل توپوگرافی اهمیت بیشتری داده‌اند که احتمالاً باید در تشکیل افق‌های مدفون و خاک‌های قدیمی نقش داشته باشد [۳۲]. بیرکلند (۱۹۹۹) معتقد است که سرعت تشکیل رس‌های انبساط‌پذیر با افزایش رطوبت زیاد شده و بیشترین میزان رس در محیط مرطوب و گرم ایجاد می‌شود [۲۹، ۱۱].

شکل ۵ (الف و ب) ریزنمودارهای میکروسکوپ الکترونی روبشی وابسته به خاک‌های قدیمی ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌گردد رس پالیگورسکیت در اطراف بلورهای گچ قرار گرفته است. از سوی دیگر، در نمونه‌های تهیه شده از خاک قدیمی شماره ۳ (شکل ۵ ج) مقادیر زیادی از رس پالیگورسکیت در اطراف بلورهای گچ مشاهده شدند. ریزنمودارهای میکروسکوپ الکترونی و نیز نتایج تجزیه‌های شیمیایی، وجود شرایط خشک زمان گذشته در این خاک قدیمی را توجیه می‌کند که با نتایج بررسی‌های پراش پرتو ایکس نیز هم‌خوانی دارد. به طور کلی نوع و میزان کانی‌های رسی بیانگر بسیاری از ویژگی‌های وابسته به تشکیل و تکامل خاک‌ها در زمان گذشته و اقلیم دیرینه است [۱۶].

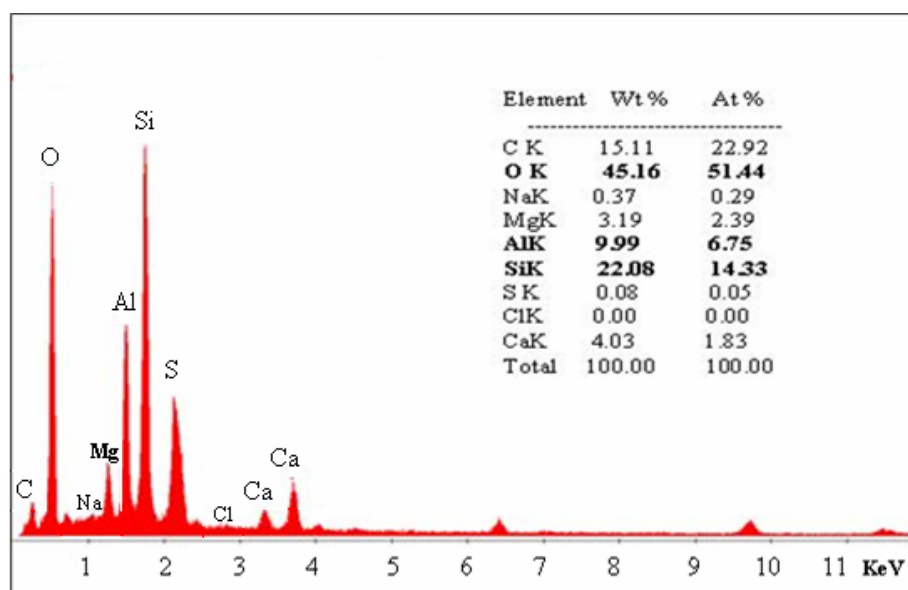
در اغلب خاک‌ها و رسوب‌ها اسمکتیت و پالیگورسکیت همراه هم دیده می‌شوند و این در حالی است که معمولاً اسمکتیت نسبت به پالیگورسکیت، آلومینیم بیشتری دارد. همچنین بررسی‌های روابط پایداری و انرژی آزاد کانی‌ها نشان می‌دهد که تشکیل پالیگورسکیت با افزایش در هر یک از غلظت‌های H_4SiO_4 ، Mg^{2+} و یا افزایش pH نسبت به اسمکتیت ترجیح داده می‌شود [۹ و ۳۰]. ریزنمودار میکروسکوپ الکترونی از خاک قدیمی شماره ۴ (شکل ۶ الف)



شکل ۵ ریزنمودارهای میکروسکوپ الکترونی روبشی از خاک‌های قدیمی: الف، ب، و ج) نشانگر رس پالیگورسکیت به عنوان کانی غالب در اطراف بلورهای گچ به ترتیب در خاک‌های قدیمی ۱، ۲، و ۳.



الف



ب

شکل ۶ الف) ریزنمودار میکروسکوپ الکترونی روبشی و ب) تجزیه عنصری (EDS) از خاک قدیمی ۴.

برداشت

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که دره‌ی گیودری و به پیروی از آن، منطقه‌ی رفسنجان در گذشته با تغییرات اقلیمی روبرو بوده و وجود خاک‌های قدیمی با ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، ریزریخت‌شناسی، و کانی‌شناسی رسی متفاوت موید آن است. خاک قدیمی شماره‌ی ۳ واقع در عمق ۴۵ متری از سطح زمین نسبت به خاک‌های قدیمی دیگر، اقلیم خشک تری را در گذشته تجربه کرده است زیرا مقادیر شوری، گچ، و کانی

پالئورسکیت در این خاک بیشتر از خاک‌های ۱، ۲، و ۴ بوده است. عدم وجود کانی پالئورسکیت در خاک قدیمی ۴ به اقلیم مرطوب‌تر گذشته در زمان تشکیل این لایه خاک و بنابراین تغییر شکل این کانی به اسمکتیت نسبت داده شد.

قدردانی

از بخش خاکشناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان به دلیل فراهم کردن امکان انجام بررسی‌های فیزیکی- شیمیایی، از بخش زمین شناسی و بخصوص سرکار خانم مهندس مهدوی به دلیل

[12] Eghbal M. K., Southard R. J., "Stratigraphy and genesis of Durorthids and Haplargids on dissected alluvial fans, western Mojave Desert, California", *Geoderma* 59 (1993) 151-174.

[13] Kemp R. A., "Pre-flandrian Quaternary soils and pedogenic processes on Britain". pp: 242-257. In: V. P Wright (Ed), *Paleosols*. Bulkema Pub., the Netherland (1986).

[14] Peter M.J., Konen M.E., Curry B.B., "Pedogenesis of a catena of the Farndale-Sangamon Geosol complex in the north central United States", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 282 (2009) 119-132.

[15] Bronger A, Sedov S. N., "Vetusols and paleosols: natural versus man-induced environmental change in the Atlantic coastal region of Morocco", *Quaternary International*, Volumes 106-107 (2003) 33-60.

[16] Fernandez Sanjurjo M. J., Corti G., Ugolini F. C., "Chemical and mineralogical changes in a polygenetic soil of Galicia, NW Spain", *Catena* 43 (2001) 251-265.

[۱۷] سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح "نقشه توپوگرافی ۵۰۰۰۰: ۱ کرمان"، (۱۳۸۲).

[۱۸] عباس نژاد ا، "بررسی نوزمین ساختمی مخروط افکنه های ناحیه کرمان"، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ۲۶-۲۵ (۱۳۷۶)، ص ۳۸-۴۷.

[۱۹] بنایی، م.ح. "نقشه رژیم های رطوبتی و حرارتی ۱:۲۵۰۰۰۰، ایران"، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۸۲).

[۲۰] سهندی، م.ر. "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمان"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۰).

[21] Gee G., Bauder W., "Particle Size Analysis. P. 388-409. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*", Part I. 2nd ed. Agron. Monograr, No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI (1986).

[22] Rhoads J. D., "Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids". P. 417-436. In: D. L. Sparks et al. (ed.) *Method of soil Analysis*. Part III. 3rd Ed. AM. Soc. Agron., Medison. WI (1996).

[23] Page A. L., Miller R.H., Kenney D.R., "Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Mineralogical Properties". Second ed. SSSA Pub. Madison (1992) 1159 P.

[24] Jackson M. L., "Soil Chemical Analysis - Advanced Course", Univ. of Wisconsin, College of Agric. Dept of Soils Sci. Madison, WI (1975).

همکاری در بررسی های ریز ریخت شناسی و نیز از آقای دکتر کراوز از دانشگاه کلگری کانادا بخاطر حمایت مالی در انجام بررسی هایی که با میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گردیده است، قدردانی می شود.

مراجع

[1] Paul V., "Paleosols Their recognition and interpretation", Blackwell scientific publication Oxford, London (1986), 315 pp.

[2] Nettleton W. D., Brasher, B. R., Benham, E. C., Ahrens, R.J., "A classification system for buried paleosols", *Quaternary International* 5 1/52 (1998) 175-183.

[3] Buol S. W., Hole F.D., McCracken R. J., "Soil genesis and classification", 3th ed., Iowa State University Press Ames, Iowa 50010 (1989), 440 pp.

[4] Gerrard J., "Soil geomorphology, an integration of pedology and geomorphology", Chapman and Hall, London (1992), 269pp.

[5] Retallack G. J., "Soils of the past. An introduction to paleopedology", Boston, Unwin Hyman, London (2001) 404 pp.

[۶] فرپور م. ه.، ایوبی ش.، کریمیان اقبال م.، "روش های مطالعه اقلیم گذشته زمین"، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با خشکسالی (۱۳۷۹)، جهاد دانشگاهی استان کرمان.

[۷] قازانچایی ر.، پاشایی اول ع.، ایوبی ش.، خرمالی ف.، "بررسی میکرومورفولوژیکی رسوبات لس - پائوسول در منطقه ناهارخوران گرگان، (۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

[8] Kemp R. A., "Soil micromorphology as a technique for reconstructing paleoenvironmental change", pp: 41-71. In: A. S. Singh Vi and E. Derbyshire (Eds.), *Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands*. Balkema Pub., Netherlands (1999).

[9] Thompson M. L., "Morphology and mineralogy of pre Wisconsinan paleosol in Iowa", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 (1986) 981-987.

[10] Srivastava P. M., "Paleoclimatic implications of pedogenic carbonates in Holocene soils of the Genetic Plains", *India Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 172 (2001) 207-222.

[11] Monger C., "Pedogenic carbonate: Link between biotic and abiotic CaCO_3 ", 17th WCSS, Thailand (2002).

- [30] Singer A., "*Palygorskite and sepiolite group minerals*". pp. 829-872. In: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), *Minerals in soil environment*. SSSA Madison, WI (1989).
- [31] Khademi H., Mermut A.R., "*Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran*", *Clay Minerals* 33 (1998) 561-575.
- [۳۲] رمضان پور ح.، جلالیان ا.، "*تغییرات خاک در ردیف ارضی زمانی دو منطقه اقلیمی در زاگرس مرکزی*"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم شماره اول (۱۳۸۱)، ص ۱۴۶-۱۳۰.
- [25] Kittrick J. A., Hope E.W., "*A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis*", *Soil Sci Soc Am. J* 96 (1963) 312-325.
- [26] Stoops G., "*Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section*", *Soil Sci. Soc. Am. J.* (2003), Madison, Wisconsin.
- [27] Mack G. H., James, W. C., Monger, H. C., "*Classification of paleosols*", *Geological Society of America Bulletin* 105 (1993) 129-136.
- [28] Khormali F., Abtahi, A., "*Origin and distribution of clay minerals in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran*", *Clay Minerals* 53 (2003) 273-301.
- [29] Birkland P. W., "*Soils and geomorphology*". Oxford University Press, New York (1999).