

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، میکرومورفولوژیکی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های حاوی زئولیت منطقه رفسنجان

نگار یزدانی‌جهرمی^۱، *محمدهادی فرپور^۲ و مصطفی کریمیان‌اقبال^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، آستاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: زئولیت از جمله کانی‌های رسی آلومینوسیلیکات آبدار آنیونی با فرم ساختمانی سه‌بعدی است که کاربردهای فراوانی در رفع آلودگی خاک‌ها، رسوبات و منابع آب از عناصر سنگین دارد. این پژوهش با هدف بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و میکرومورفولوژیکی خاک‌های برش طولی رفسنجان- سرچشمه در قالب یک ردیف پستی‌بلندی و مواد مادری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه از پدیمت‌های پوشیده واقع در جنوب‌غربی رفسنجان شروع و تا ۶۵ کیلومتری جنوب‌غربی این شهر یعنی منطقه سرچشمه امتداد دارد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی منطقه به‌ترتیب اریدیک و مزیک می‌باشند. در این پژوهش ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت، اشکال اراضی و سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه شناسایی شدند. اشکال مختلف اراضی شامل پدیمت پوشیده (خاکرخ ۱)، پدیمت سنگی (خاکرخ‌های ۲ و ۳) و کوه (خاکرخ‌های ۴، ۵، ۶ و ۷) هستند. شکل اراضی پدیمت پوشیده از رسوبات سنگریزه‌ای جوان، پدیمت سنگی از آرکوزها و توف‌ها و کوه از سنگ‌های تراکی‌بازالتیک و دولریتیک تشکیل شده‌اند. در مجموع هفت خاکرخ متأثر از سازندهای مختلف زمین‌شناسی در اشکال اراضی فوق‌الذکر حفر، نمونه‌برداری و تشریح گردید. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و میکرومورفولوژی نمونه‌های خاک تعیین و در نهایت خاک‌ها با استفاده از سیستم‌های رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی رده‌بندی شدند.

یافته‌ها: بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، افق‌های مشخصه کلسیک، ژیبسیک، آرجیلیک و کمبیک در این خاک‌ها شناسایی شدند. زیرگروه‌های تیپیک هاپلوکلسیدز، تیپیک کلسی‌آرجیدز، تیپیک توری‌ارتنتس و تیپیک هاپلوکمبیدز بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی جدا شدند. در سامانه رده‌بندی جهانی، خاک‌ها در گروه‌های مرجع کمبی‌سول، کلسی‌سول و رگوسول جای گرفتند. تشکیل افق Btk در خاکرخ‌های ۴ و ۵ به اقلیم مرطوب گذشته نسبت داده شد. بررسی مقاطع نازک، کانی‌خاکستری زئولیت به شکل کاملاً شعاعی (مخروطی شکل) با خاموشی موازی را نشان داد. عوارض خاک‌ساخت کربنات کلسیم به‌صورت پوشش، پوشش‌های زیرسطحی و نودول، عوارض خاک‌ساخت گچ به‌صورت عدسی شکل و صفحات در هم قفل شده و رس به‌صورت پوشش‌های رسی در مقاطع

* مسئول مکاتبه: farpoor@uk.ac.ir

نازک شناسایی شدند. کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های منطقه مورد مطالعه حاکی از وجود کانی‌های رسی کائولینیت، ایلیت، پالی‌گورسکیت و اسمکتیت می‌باشد. سازندهای حاوی زئولیت منطقه حضور شابازیت با پیک‌های رده اول، دوم و سوم ۰/۶۴، ۰/۵۹ و ۰/۲۹ نانومتر و ناترولیت با پیک‌های رده اول و دوم ۰/۴۲ و ۰/۳ نانومتر را همراه با ناخالصی‌های کلسیت و کوآرتز نشان دادند. زئولیت نوع ناترولیت در خاک‌های منطقه مورد مطالعه شناسایی شد که در خاک نسبت به فاصله از سازند زمین‌شناسی حاوی زئولیت روند کاهشی نشان داد. منشأ کانی زئولیت در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به ارث رسیده از مواد مادری می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نمایانگر نقش مهم پستی‌بلندی و مواد مادری در تغییرپذیری خصوصیات خاک‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم گذشته، ایران مرکزی، پستی‌بلندی و مواد مادری، شابازیت، ناترولیت

مقدمه

زئولیت‌ها گروهی از آلومینوسیلیکات‌های آبدار آنیونی با فرم ساختمانی سه‌بعدی و غیرقابل انعطاف با حفره‌ها و کانال‌های به هم پیوسته هستند. این حفره‌ها و کانال‌ها حاوی کاتیون‌های فلزی قابل تبادل و مولکول‌های آب قابل جایگزین و قابل حذف می‌باشند (۴۳). انواع گوناگون زئولیت نظیر کلینوپتیلولیت، ناترولیت، آنالسیم، مردنیت و شابازیت به صورت طبیعی در نقاط مختلف جهان یافت می‌شود. ایران از جمله کشورهایی است که دارای منابع غنی از زئولیت‌ها می‌باشد که این منابع اغلب در شمال، مرکز و شمال‌غربی کشور متمرکز شده‌اند (۲۳). مرادیان شهربابکی (۱۹۹۰)، محمدی‌دهج (۲۰۰۰) و عبتاتی‌نایینی (۱۹۹۷) بررسی‌های زیادی در مورد انواع زئولیت در مناطق شهربابک و سرچشمه استان کرمان انجام داده‌اند (۱، ۳۵، ۳۶). همه پژوهشگران فوق نوع زئولیت آنالسیم را در این مناطق گزارش کردند (۱، ۳۵، ۳۶). در ضمن، نادری (۲۰۰۹a) زئولیت شابازیت و ناترولیت را نیز در منطقه سرچشمه شناسایی نمود (۳۸).

زئولیت‌ها کانی‌هایی هستند که در تمام محیط‌ها (آذرین، رسوبی و دگرگونی) و زمان‌های زمین‌شناسی در درجه حرارت‌های متفاوت ظاهر می‌گردند (۳۸).

فرآیند زئولیتی شدن معمولاً به سرعت صورت می‌گیرد و به وسیله عواملی نظیر محیط رسوبگذاری، درجه حرارت، سرعت سرد شدن سنگ‌های آتشفشانی، طبیعت و درجه حرارت سیالات درگیر در تشکیل کانی، ترکیب مواد مادری، نفوذپذیری و pH کنترل می‌شود (۱۵، ۳۲).

اوتادا (۲۰۰۱) معتقد است که یکی از محیط‌های تشکیل زئولیت‌های کلسیم‌دار، قوس‌های آتشفشانی و محیط‌های تکتونیزه است (۵۲). نادری (۲۰۰۹a) گزارش کرد که نهشته‌های آتشفشانی با میان لایه‌های آهکی در مناطق رفسنجان و بردسیر استان کرمان، فوران‌های زیردریایی بوده‌اند که به نظر می‌رسد آب دریا سبب زئولیتی شدن آن‌ها گردیده است (۳۸). چگونگی پیدایش زئولیت در منطقه طالقان در شمال باختری کرج به بیش‌تر از ۶۰۰ درجه سلسیوس بودن دمای ماگمایی مولد سنگ‌های قلیایی در هنگام بلوری شدن و از طرف دیگر بالا بودن فشار بخار آب نسبت داده شده که پی‌آمد آن به جای نفلین و لوسیت، آنالسیم بوده است (۳۵). مطالعات انجام شده در حوزه تکتونیکی اقیانوس نئوتتیس نشانگر این است که بیش‌ترین زئولیت‌های موجود در این حوزه، محصول فعالیت شدید آتش‌فشانی در طول دوران اتوسن-لیگوسن هستند که در سنگ‌های آذرآواری دیده می‌شوند (۳۱).

و فرپور (۲۰۰۹) نیز در مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌های منطقه لاله‌زار استان کرمان، عوارض خاک‌ساخت کلسیت را به شکل پوشش، پرشدگی و نودول در افق‌های Btk و Bk مشاهده کردند (۳۴). فرپور و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از روش میکرومورفولوژی اشکال مختلف میکروسکوپی بلورهای گچ را در موقعیت‌های مختلف ژئومورفولوژی شناسایی کردند که شامل اشکال میکروسکوپی صفحه‌ای، عدسی، کرمی شکل و صفحات درهم قفل شده گچ در پدیمت سنگی و بلورهای عدسی و صفحات در هم قفل شده گچ در سطح حد واسط پدیمت و پلایا بوده‌اند (۱۱).

ژئولیت کاربردهای زیادی در پروژه‌های اصلاح خاک دارد؛ به‌عنوان نمونه ژئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده طبیعی برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده می‌شود (۴۶). به‌علاوه، افزایش ژئولیت‌های حاوی کاتیون‌های آمونیوم و پتاسیم به خاک منجر به آزادسازی تدریجی کاتیون‌ها و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (۲۸). همان‌گونه که بررسی منابع نشان می‌دهد انواع گوناگون ژئولیت در نقاط مختلف ایران یافت می‌شوند، اما متأسفانه مطالعات کمی در مورد خاک‌های حاوی این کانی توسط خاک‌شناسان در ایران صورت گرفته است. بنابراین، این پژوهش با اهداف زیر صورت پذیرفت:

- ۱- بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و میکرومورفولوژی خاک‌های حاوی ژئولیت منطقه رفسنجان
- ۲- مطالعه پیدایش و طبقه‌بندی خاک‌ها در طول برش مطالعاتی

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: در این مطالعه خاک‌های برش رفسنجان - سرچشمه در قالب یک ردیف پستی‌بلندی

شناسایی ژئولیت‌ها معمولاً توسط مطالعات پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ نوری صورت می‌پذیرد. مطالعات پراش اشعه ایکس بهترین راه شناسایی ژئولیت‌ها است. کانی‌های ژئولیت معمولاً دارای پیک‌های مشخصی هستند که تشخیص آن‌ها را از سایر کانی‌های رسی موجود در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (۶، ۱۰، ۱۱، ۲۱) امکان‌پذیر می‌سازد. دوایری و همکاران (۲۰۰۹) کانی‌های ژئولیتی فیلیپسیت، شابازیت و آنالسیم را در توف‌های ژئولیتی جنوب اردن به همراه کانی‌های غیرژئولیتی کلسیت، الیون، پلاژیوکلاز، پیروکسن، اسمکتیت، گچ و هماتیت گزارش کردند (۸). بهاتاچاریا و همکاران (۲۰۱۵) برای اثبات حضور ژئولیت‌های غنی از کلسیم در خاک‌های ژئولیتی مناطق نیمه‌خشک هند از مطالعات پراش اشعه ایکس استفاده کردند. آن‌ها کانی‌های رسی اسمکتیت، میکا، کلریت، پالی‌گورسکیت، ورمی‌کولیت و کائولینیت را همراه با ژئولیت مشاهده نمودند (۳).

مطالعات میکروسکوپ نوری در قالب میکرومورفولوژی یکی از تکنیک‌های مهم در شناسایی ژئولیت‌ها و عوارض خاک‌ساخت می‌باشند که توسط اکثر پژوهشگران به‌کار می‌روند. دوایری و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه توف‌های ژئولیتی جنوب اردن توسط میکروسکوپ پلاریزان، کانی‌های ثانویه ژئولیت، کلسیت، گچ و اکسیدهای آهن را گزارش کردند (۸). در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک عوارض خاک‌ساخت کلسیت و گچ از جمله پدیده‌هایی هستند که همراه با ژئولیت در مقاطع نازک شناسایی می‌شوند. منافعی و محمودی (۲۰۰۵) با بررسی ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی اراضی خشک و نیمه‌خشک غرب دریاچه ارومیه، کلسیت سوزنی شکل، نودول کلسیت، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی کلسیت را به‌عنوان بارزترین اشکال تجمع کربنات کلسیم ثانویه شناسایی نمودند (۲۹). معاذاللهی

(شکل ۱). خاک‌ها با استفاده از سیستم‌های رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) و طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۴) رده‌بندی شدند (۱۹، ۴۷).

مطالعات آزمایشگاهی: نمونه‌های هوا خشک شده پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش پیپت (۱۳)، pH گل اشباع توسط دستگاه pHسنج مدل جنوی^۱ و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی مدل جنوی اندازه‌گیری گردید. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۴۰) و اندازه‌گیری گچ به روش تفاضل Ca+Mg در عصاره اشباع و رقیق شده انجام شد (۲۷). ظرفیت تبادل کاتیونی توسط جایگزینی با استات سدیم تعیین شد (۵۰).

نمونه‌های انتخاب‌شده برای کانی‌شناسی رسی، پس از آماده‌سازی به روش کیتیک و هوپ (۱۹۶۳) توسط دستگاه پراش اشعه ایکس Bruker مدل DH8 advance ساخت کشور آلمان واقع در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و جریان ۴۰ میلی‌آمپر آنالیز گردیدند (۲۶). به‌منظور تعیین روند حضور ژئولیت در خاک‌های منطقه، چهار خاکرخ (یک، سه، پنج و شش) با توجه به دوری و نزدیکی به رخنمون ژئولیتی منطقه انتخاب گردیدند. همچنین با توجه به وجود سازندهای ژئولیتی در منطقه، از نزدیک‌ترین افق به مواد مادری برای آنالیز پودری، نمونه‌برداری و طیف پراش اشعه ایکس ($20=2^{\circ}-70^{\circ}$) آن‌ها تهیه شد تا فرضیه به ارث رسیدن ژئولیت از مواد مادری بررسی شود. علاوه بر این، از سنگ ژئولیتی نسبتاً خالص موجود در منطقه (نزدیکی خاکرخ سوم)، نمونه‌برداری و الگوی پراش اشعه ایکس ($20=2^{\circ}-90^{\circ}$) آن تهیه گردید.

جهت انجام مطالعات میکرومورفولوژیکی مقاطع نازک از کلوخه‌های دست‌نخورده از افق Bk خاکرخ ۱،

و مواد مادری در شرایط رطوبتی اریدیک و حرارتی مزیک مورد بررسی قرار گرفتند (۲). منطقه مورد مطالعه از پدیمنت‌های پوشیده واقع در جنوب‌غربی رفسنجان شروع و تا ۶۵ کیلومتری جنوب‌غربی این شهر یعنی منطقه سرچشمه امتداد دارد (شکل ۱). دشت رفسنجان منشأ تکتونیکی داشته و دو واحد مهم زمین‌شناسی ایران که شامل رشته‌کوه‌های جنوب‌غرب (کوهستان سرچشمه) و شمال‌شرق (کوهستان داوران) می‌باشد را از یکدیگر جدا می‌کند. رشته‌کوه‌های جنوب‌غرب عمدتاً از جنس سنگ‌های آواری-آتشفشانی بوده و به زون ارومیه-دختر تعلق دارند و سن آن‌ها عمدتاً ائوسن است. مجموعه آتشفشانی ائوسن این واحد شامل سنگ‌هایی نظیر فلیش، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، کربنات کلسیم و مارل می‌باشد. کمپلکس آتشفشانی در کوهستان سرچشمه شامل واحدهای سنگی آندزیت، بازالت، تراکیت، تراکی آندزیت، توف‌ها، ماسه‌سنگ توفی، آرکوزها و تخریبی‌ها است. همچنین در اثر محلول‌های گرمابی انواع کانی‌های ثانویه مانند ژئولیت، کلسیت، کوارتز و ایدینگزیت در منطقه به‌وجود آمده‌اند (۳۹).

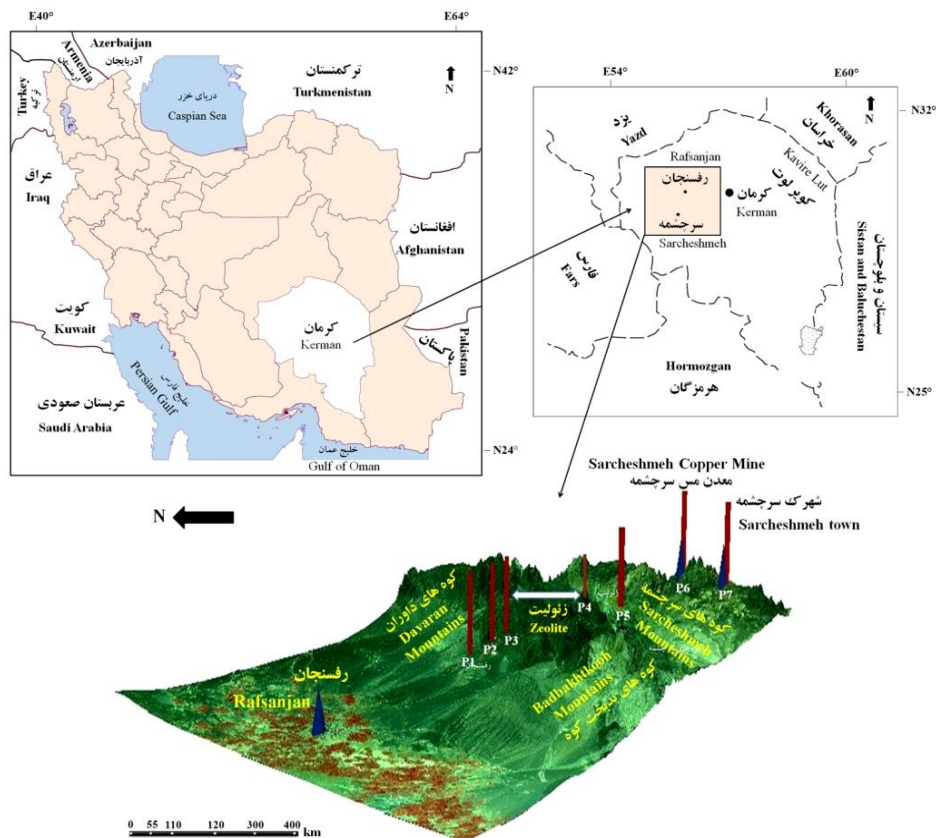
مطالعات صحرایی: در این مطالعه ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰)، نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت، اشکال اراضی و سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه شناسایی شدند. اشکال مختلف اراضی شامل پدیمنت پوشیده (خاکرخ ۱)، پدیمنت سنگی (خاکرخ‌های ۲ و ۳) و کوه (خاکرخ‌های ۴، ۵، ۶ و ۷) هستند. شکل اراضی پدیمنت پوشیده از رسوبات سنگریزه‌ای جوان، پدیمنت سنگی از آرکوزها و توف‌ها و کوه از سنگ‌های تراکی‌بازالتیک و دولریتیک تشکیل شده‌اند. در مجموع هفت خاکرخ متأثر از سازندهای مختلف زمین‌شناسی در اشکال اراضی فوق‌الذکر حفر، نمونه‌برداری و تشریح گردید (۴۵)

داده می‌شود. بیش‌ترین میزان گچ در طول برش مورد بررسی ۹/۱ درصد در افق By خاکرخ ۲ مشاهده شد (جدول ۱). ظرفیت تبادل کاتیونی خاکرخ ۴ روند افزایشی با عمق نشان داد که ناشی از مقادیر زیاد اسمکتیت در افق Bk2 این خاکرخ است (در بخش بعدی بحث خواهد شد). حضور افق Btk در خاکرخ‌های ۴ و ۵ احتمالاً به اقلیم مرطوب گذشته مربوط می‌باشد. با حرکت به سمت کوه‌های سرچشمه به دلیل بارندگی بیش‌تر و تبخیر کم‌تر، شست‌وشوی کربنات کلسیم به افق‌های پایین‌تر بیش‌تر شده است (۹). خاکرخ ۶ در موقعیت ژئومورفولوژیکی کوه سرچشمه حفر گردید. خاک این منطقه تکامل خاکرخی بالایی نداشت و بر اساس کلید رده‌بندی خاک آمریکایی (۲۰۱۴) در رده انتی‌سول (Typic Torriorthents) قرار گرفت (۴۷).

افق By خاکرخ ۲، افق Bw2 خاکرخ ۳ و افق‌های Btk خاکرخ‌های ۴ و ۵ تهیه شد (۳۷) و با استفاده از میکروسکوپ سنگ‌شناسی الیمپوس مدل BH2 مورد مطالعه قرار گرفتند و نهایتاً با استفاده از راهنمای استوپس (۲۰۰۳) مورد تشریح و تفسیر قرار گرفتند (۴۸).

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکوشیمیایی: جدول ۱ برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی انتخاب‌شده و رده‌بندی خاکرخ‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، در طول برش مورد مطالعه، بیش‌ترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در خاکرخ ۲ مشاهده شد و مقدار آن از ۱۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر در افق A به ۱۳/۸ دسی‌زیمنس بر متر در افق C افزایش نشان داد که به شست‌وشوی عمقی در خاکرخ مزبور نسبت



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده محل خاکرخ‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area showing studied pedons.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌ها.

Table 1. Some physicochemical properties of pedons.

بافت خاک Soil texture	ذرات درشت (٪) Coarse fragments	رُس (٪) Clay	سیلت (٪) Silt	شن (٪) Sand	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol.c kg ⁻¹) Cation exchange capacity	گچ (٪) Gypsum	کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent	EC (dS m ⁻¹)	pH	عمق (cm) Depth	افق Horizon
(55° 59' 42" E, 30° 12' 23" N) 1 خاک‌خ											
پدیمت پوشیده Mantled pediment											
Pedon 1											
Sandy-skeletal, Mixed, Mesic Typic Haplocalcids	Eutric Chromic Cambisols (Arenic, Protocalcic)										
لوم رسی شنی SCL	10	20	18	62	-	1.23	12.5	3.21	7.7	0-25	A
لوم شنی LS	30	10	16	74	-	0.58	10	3.96	7.6	25-70	Bk
لوم شنی LS	40	10	10	80	-	0.39	7.5	1.84	7.8	70-95	C1
لوم شنی LS	60	12	10	78	-	0.39	22.5	1.84	7.9	95-110	C2
لوم شنی LS	18	8	4	88	-	0.6	7.5	1.94	7.8	110-130	C3
لوم شنی LS	19	14	6	80	-	1.04	7.5	1.54	7.9	130-150	C4
(55° 58' 39.6" E, 30° 11' 13.6" N) 2 خاک‌خ											
پدیمت سنگی Rock pediment											
Pedon 2											
Coarse-silty, Mixed, Superactive, Mesic Typic Haplocalcids	Haplic Calcisols (Hypocalcic, Loamic)										
لوم شنی SL	9	18	18	64	76.81	1.08	10	10.49	7.3	0-45	A
لوم L	0	14	40	46	6.23	1.22	17.5	4.07	7.8	45-105	Bk
لوم شنی SL	20	18	20	62	6.37	9.1	10	12.2	7.5	105-135	By
لوم L	15	24	38	38	6.95	1.85	15	13.85	7.4	135-150	C
(55° 58' 6.39" E, 30° 10' 26.78" N) 3 خاک‌خ											
پدیمت سنگی Rock pediment											
Pedon 3											
Coarse-loamy, Mixed, Active, Mesic Typic Haplocalcids	Cambic Calcisols (Hypocalcic, Loamic)										
لوم شنی SL	25	18	22	60	8.7	1.27	10	0.45	7.9	0-40	A
لوم شنی SL	22	14	30	56	5.65	0.84	12.5	0.62	8	40-70	Bw1
لوم شنی SL	30	16	20	64	8.55	1.47	12.5	1.18	7.9	70-95	Bw2
لوم شنی SL	53	12	24	64	6.23	0.35	17.5	2.72	7.9	95-140	Bk

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

Fine-silty, Smectitic, Mesic, Typic Calcigrids		Luvic Calcisols (Chromic, Hypocalcic, Loamic)		کوه	Pedon 4		شاخه ۴ (55° 53' 40.36" E, 30° 3' 3.69" N)				
لوم شنئی	20	12	18	70	5.7	0.83	20	0.96	7.8	0-35	A
لوم شنئی	30	10	14	76	4.8	1.04	17.5	0.86	7.9	35-65	Bk
لوم شنئی	9	20	8	72	5.8	1.04	15	1.02	7.9	65-95	Btk
لوم شنئی	30	8	16	76	8.7	0.61	20	1.44	7.9	95-130	Bk1
لوم شنئی	22	16	16	78	9.1	0.86	20	1.29	8.3	130-150	Bk2
Fine loamy, Smectitic, Mesic Typic Calcigrids		Luvic Calcisols (Chromic, Hypocalcic, Loamic)		کوه	Pedon 5		شاخه ۵ (55° 52' 45.84" E, 30° 0' 43.09" N)				
لوم رسی شنئی	19	18	26	56	-	0.4	20	0.94	8.2	0-40	A
لوم رسی شنئی	21	24	24	52	-	0.79	20	3.09	8.1	40-68	Btk1
لوم رسی شنئی	30	30	24	46	-	0.79	20	4.16	7.9	68-90	Btk2
لوم رسی شنئی	29	26	26	48	-	1	22.5	4.58	7.8	90-135	Bk
Loamy-skeletal, Mixed, Semiactive, Mesic Typic Torriorthents		Calcaric Skeletic Regosols (Loamic)		کوه	Pedon 6		شاخه ۶ (55° 51' 28.78" E, 30° 0' 0" N)				
لوم رسی	48	38	20	42	8.26	1.27	7.5	0.45	7.7	0-40	A
لوم رسی	62	32	30	38	10.86	1.02	10	1.5	7.3	40-70	C1
لوم رسی	69	34	34	28	13.33	1.27	20	0.45	7.8	70-110	C2
Loamy-skeletal, Mixed, Semiactive, Mesic Typic Haplocambids		Eutric Skeletic Cambisols (Loamic)		کوه	Pedon 7		شاخه ۷ (55° 47' 2.76" E, 29° 59' 55.59" N)				
لوم رسی شنئی	40	28	24	48	6.08	0.84	7.5	0.43	7.8	0-40	A
لوم رسی شنئی	42	30	24	46	6.52	1.44	7.5	2.05	7.6	40-70	Bw1
لوم رسی شنئی	65	20	8	72	8.26	1.02	7.5	1.92	7.6	70-110	Bw2
لوم رسی شنئی	37	26	24	50	9.42	1.24	10	1.88	7.6	110-125	Bw3

مشاهدات میکرومورفولوژی: برخی خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاکرخ‌ها در جدول ۲ آورده شده است. تصاویر مقطع نازک افق Bk خاکرخ ۱ در شکل ۲ نشان داده شده است. این مقطع، کانی‌های بازالتی میزبان زئولیت از قبیل پلاژیوکلاز (شکل ۲ الف) و کانی خاکستری رنگ زئولیت به شکل کاملاً شعاعی (مخروطی شکل) با خاموشی موازی و فراوانی نسبتاً زیاد را نشان می‌دهد (۸) (شکل ۲ ب). علاوه بر این، همان‌گونه که مشاهده می‌شود عوارض خاک‌ساخت کلسیت ثانویه به صورت پوشش در اطراف ذرات و حفرات قرار گرفته‌اند (شکل ۲ ج و د). پوشش‌های کلسیت در نتیجه رسوب مجدد کربنات‌های آب‌شویی شده از افق‌های بالایی تشکیل می‌گردند (۲۲). هنگامی که محلول خاک از کربنات کلسیم فوق اشباع می‌شود، در نتیجه تبخیر و تعرق و کاهش فشار دی‌اکسیدکربن در سیستم، کلسیت رسوب کرده و کربنات‌های پدوژنیک تشکیل می‌گردند (۵۳). احتمالاً این نوع پوشش‌های کلسیت به دلیل افزایش تدریجی اندازه بلورها و همچنین رسوب‌گذاری و تبلور متوالی از محلول‌های رقیق تشکیل شده‌اند (۳۰).

گچ عدسی شکل و صفحات در هم قفل شده گچ پرکننده خلل و فرج در افق By خاکرخ ۲ مشاهده شدند (شکل ۳). آرایش بلورهای گچ از بافت خاک و اندازه حفرات تبعیت کرده است (۱۴، ۱۶). تشکیل بلورهای عدسی شکل گچ در خاک‌های درشت بافت توسط تومانیان و همکاران (۲۰۰۱) در منطقه اصفهان گزارش شده است (۵۱). آن‌ها بیان داشتند که تبخیر روان‌آب رسوبات ژئولوژیک دلیل تشکیل گچ عدسی شکل است (۵۱). در زمان تبلور گچ در خاک‌های درشت بافت، هندسه حفره‌ها تغییر می‌یابد و در نتیجه بلورها ممکن است در ارتباط با حفره‌ها نبوده و به صورت بلورهای منفرد در زمینه پدیدار گردند. هنگامی که عرض کانال‌ها یا حفرات در زمان رشد

بلورها کاهش می‌یابد، بلورهای گچ به صفحات در هم قفل شده تغییر شکل می‌دهند (۴۱). تشکیل صفحات در هم قفل شده گچ در اثر انحلال و تبلور مجدد بلورهای عدسی شکل گچ در خاک‌های تشکیل شده در زمان پلیستوسن (رطوبت بیش‌تر) منطقه رفسنجان توسط فرپور و همکاران (۲۰۰۳) نشان داده شده است (۱۱). نسبت بالای Ca/SO_4 در محلول خاک و دمای نسبتاً زیاد در زمان رشد بلور توسط روزن و وارن (۱۹۹۸) به‌عنوان شرایط لازم برای تشکیل گچ عدسی شکل گزارش شده است (۴۲). به‌علاوه، ناخالصی‌هایی نظیر مقادیر زیاد کلرور سدیم به‌عنوان یکی از شرایط تشکیل گچ عدسی شکل ذکر شده است (۱۴). کودی (۱۹۷۹) تشکیل بلورهای عدسی شکل گچ را به محیط‌های غنی از مواد آلی اختصاص داد (۵). از سوی دیگر، جعفرزاده و بورنهام (۱۹۹۲) معتقدند که در تمام محیط‌های خاکی امکان تشکیل بلورهای عدسی شکل گچ وجود دارد (۲۰). فرپور و همکاران (۲۰۰۳) تشکیل و میکرومورفولوژی اریدی‌سول‌های گچی و نمکی منطقه نوق رفسنجان را در ارتباط با سطوح ژئومورفولوژی مطالعه نمودند (۱۱). آن‌ها دریافتند که اشکال صفحه‌ای، عدسی، کرمی، چندوجهی و صفحات در هم قفل شده گچ در ارتباط با موقعیت ژئومورفیک می‌باشند. گچ صفحه‌ای، شکل غالب در پدیمنت‌ها بود، در حالی‌که به طرف موقعیت‌های پایین شیب بر میزان بلورهای عدسی و کرمی شکل گچ افزوده شد (۱۱).

پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی رس در اطراف ذرات و حفرات (شکل ۴) و نودول‌های کلسیت (شکل ۵) عوارض خاک‌ساخت غالب افق Btk خاکرخ‌های ۴ و ۵ بودند. به‌طور معمول، کربنات کلسیم پدوژنیک تحت‌تأثیر مواد مادری، اقلیم و پوشش گیاهی است (۵۴). همچنین میزان رطوبت قابل دسترس، درجه حرارت، بافت و میزان کربنات

فعالیت‌های کوه‌زایی اواخر دوره کرتاسه تا میوسن، دریاچه تتیس به چند دریاچه مجزا تقسیم شده است و با تشکیل کانی‌های تبخیری نظیر گچ و کربنات کلسیم، نسبت منیزیم به کلسیم در محیط بالا رفته و شرایط جهت تشکیل کانی پالی‌گورسکیت مهیا شده است (۱۲، ۱۷، ۱۸). خاک‌های گچی و آهکی قادر به ایجاد محیط قلیایی بافر به همراه کاتیون‌ها و آنیون‌های لازم برای تبلور پالی‌گورسکیت می‌باشند، اما ویژگی‌های شیمیایی محلول در خاک‌های گچی در مقایسه با خاک‌های آهکی شرایط مناسب‌تری را برای تشکیل کانی پالی‌گورسکیت ایجاد می‌کند (۴۱).

خاکرخ ۳ که نزدیک‌ترین خاکرخ به محل رخنمون زئولیت می‌باشد، نسبت به خاکرخ ۱، شدت پیک بالاتری از زئولیت نوع ناترولیت در افق Bk را نشان می‌دهد (شکل ۷ الف). دیفرکتوگرام پراش اشعه ایکس افق Btk خاکرخ ۴ کانی‌های رسی اسمکتیت و کائولینیت را که به علت اقلیم خشک منطقه از مواد مادری به ارث رسیده‌اند (۲۵)، نشان می‌دهد (شکل ۶ ب). شدت پیک اسمکتیت در خاکرخ ۴ نسبت به خاکرخ ۱ بیش‌تر است. فرپور و همکاران (۲۰۰۲) اسمکتیت خالص را در سازند مارنی دوران سوم با شوری بسیار بالا در این منطقه یافتند ولی خاک این خاکرخ با شوری کم نمونه جالبی از اسمکتیت خالص می‌باشد (۱۲). در این خاکرخ پیک پالی‌گورسکیت مشاهده نشد که ممکن است به دلیل تغییر در پستی‌بلندی (حدود ۴۰۰ متر اختلاف ارتفاع) و بنابراین افزایش احتمالی بارندگی نسبت به خاکرخ ۱، پالی‌گورسکیت به اسمکتیت تبدیل شده باشد. خرمالی و ابطحی (۲۰۰۳) نشان دادند رابطه معکوسی بین میزان حضور پالی‌گورسکیت و اسمکتیت در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک جنوب ایران وجود دارد (۲۵).

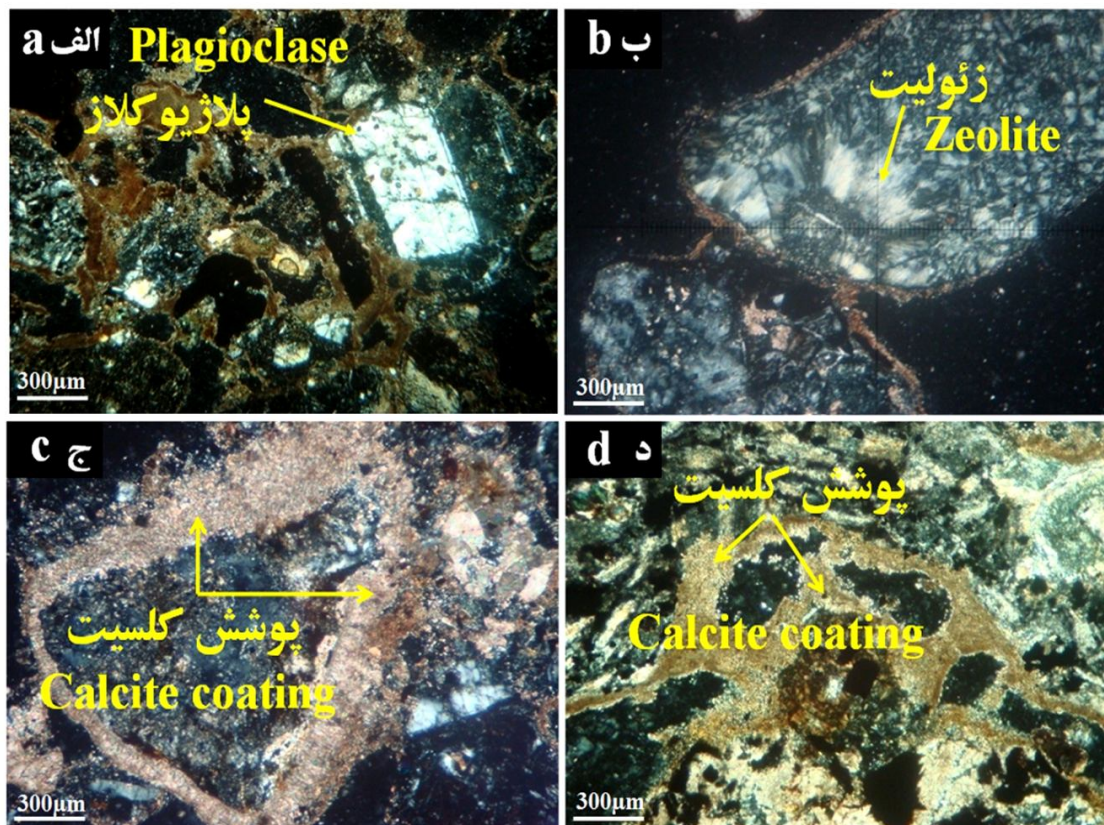
کلسیم در دسترس خاک از جمله عواملی هستند که نوع و مورفولوژی عوارض خاک‌ساخت کلسیت را تعیین می‌نمایند (۲۴). در خاک‌های درشت بافتی که در رژیم رطوبتی اریدیک تشکیل می‌شوند نودول‌های کلسیت فرم غالب عوارض خاک‌ساخت کربنات کلسیم می‌باشند (۲۴). در طول برش مورد مطالعه از رفسنجان (خاکرخ‌های ۱، ۲ و ۳) به سمت سرچشمه (خاکرخ‌های ۴ و ۵) با تغییر در وضعیت پستی‌بلندی، میزان بارندگی افزایش می‌یابد. همچنین آب‌شویی کربنات کلسیم با روند مشابهی افزایش می‌یابد (۳۴) و در نتیجه آن نودول‌های کلسیت تنها در خاکرخ‌های ۴ و ۵ منطقه مطالعاتی مشاهده شدند (شکل ۵) که مؤید نقش پستی‌بلندی در تشکیل و تکامل خاک می‌باشد. نودول‌های میکریتیک کربنات کلسیم در زمینه افق Btk خاکرخ ۵ از انواع معمول کربنات کلسیم پدوژنیک می‌باشند که تحت تأثیر عواملی هم‌چون بافت خاک، فرآیندهای انحلال و تبلور مجدد، غلظت نمک، پایداری خاک و خروج CO₂ خشک‌شدن‌های مکرر قرار دارند (۴۹).

کانی‌شناسی رسی: کانی‌های رسی اسمکتیت، پالی‌گورسکیت، کائولینیت و ایلیت در افق Bk خاکرخ ۱ مشاهده شدند (شکل ۶ الف). علاوه بر این، پیک‌های رده اول و دوم ۰/۴۲ و ۰/۳ نانومتر مربوط به ناترولیت در افق C₄ این خاکرخ مشاهده شد (شکل ۷ الف). بوزا و همکاران (۲۰۰۷) حضور پالی‌گورسکیت به همراه اسمکتیت را در افق کلسیک خاک‌های خشک آرژانتین گزارش کردند (۴). حضور اسمکتیت و پالی‌گورسکیت در خاک‌های ایران مرکزی ناشی از حضور این کانی‌ها در سنگ آهک و مارل‌های الیگومیوسن می‌باشد (۲۵). به علاوه، کانی‌های رسی فیبری همانند پالی‌گورسکیت و سیپولیت در رسوبات سنوزوئیک مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران گزارش شده‌اند (۱۷، ۱۸، ۲۵). در ایران مرکزی با توجه به

جدول ۲- برخی خصوصیات میکرو مورفولوژیکی خاک‌ها.

Table 2. Selected micromorphological properties of pedons.

ساختار میکروسکوپی Microscopic structure	حفرات Voids	بی- فابریک b-fabric	عوارض خاک ساخت Pedofeatures	افق Horizon	خاک Pedon
مکعبی نیمه‌زاویه‌دار Subangular blocky	وگ، کانال Vugh, Channel	نامتمایز، خرد بلوری کلسیتی Undifferentiated, Calcitic crystallitic	پوشش و پرشدگی کلسیت Calcite coating and infilling	Bk	1
مکعبی نیمه‌زاویه‌دار Subangular blocky	وگ، صفحه‌ای، وگ Plane, Vugh	لکه‌ای Speckled	بلورهای عدسی، صفحات درهم قفل شده و پرشدگی گچ Lenticular gypsum crystals, Interlocked plates of gypsum, Gypsum infilling	By	2
مکعبی نیمه‌زاویه‌دار Subangular blocky	وگ، کانال Channel, Vugh	خرد بلوری کلسیتی، ذره محور Calcitic Crystallitic, Granostriated	نودول کلسیت، پوشش رسی Calcite nodule, Clay coating	Btk	4
کانالی Channel	وگ، کانال Vugh, Channel	لکه‌ای موزائیکی، خرد بلوری کلسیتی Mosaic speckled, Calcitic Crystallitic	نودول کلسیت، پوشش رسی Calcite nodule, Clay coating	Btk	5



شکل ۲- تصاویر مقطع نازک (XPL) افق Bk خاکرخ ۱.

Figure 2. Thin section images of Bk horizon, pedon 1 (XPL).



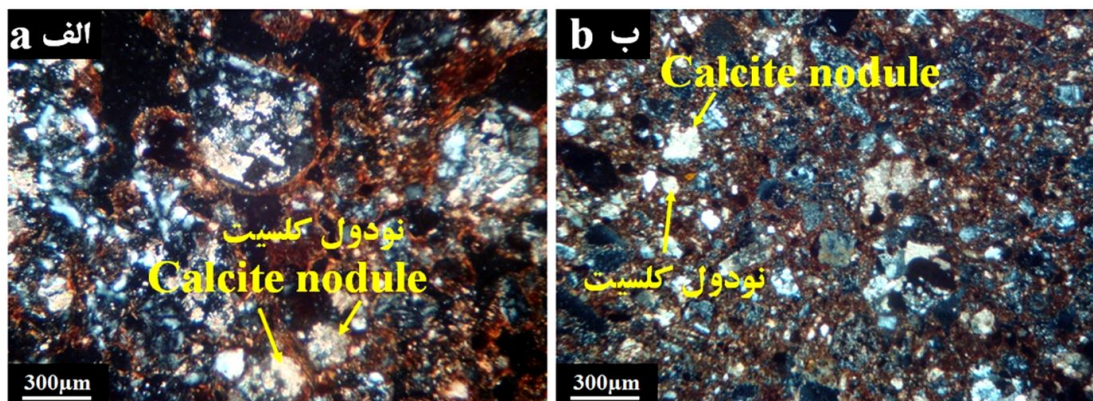
شکل ۳- تصاویر مقطع نازک (XPL) افق By خاکرخ ۲.

Figure 3. Thin section images of By horizon, pedon 2 (XPL).



شکل ۴- تصاویر مقطع نازک (XPL) افق Btk خاکرخ ۵.

Figure 4. Thin section image of Btk horizon, pedon 5 (XPL).



شکل ۵- تصاویر مقاطع نازک (XPL) افق Btk خاکرخ‌های ۴ (الف) و ۵ (ب).

Figure 5. Thin section images of a) Btk horizon, pedon 4 and b) Btk horizon, pedon 5 (XPL).

اسمکتیت به وجود می‌آورد (۴۴). بنابراین احتمال تغییر فرم کانی ایلیت به اسمکتیت در این خاکرخ دور از انتظار نیست.

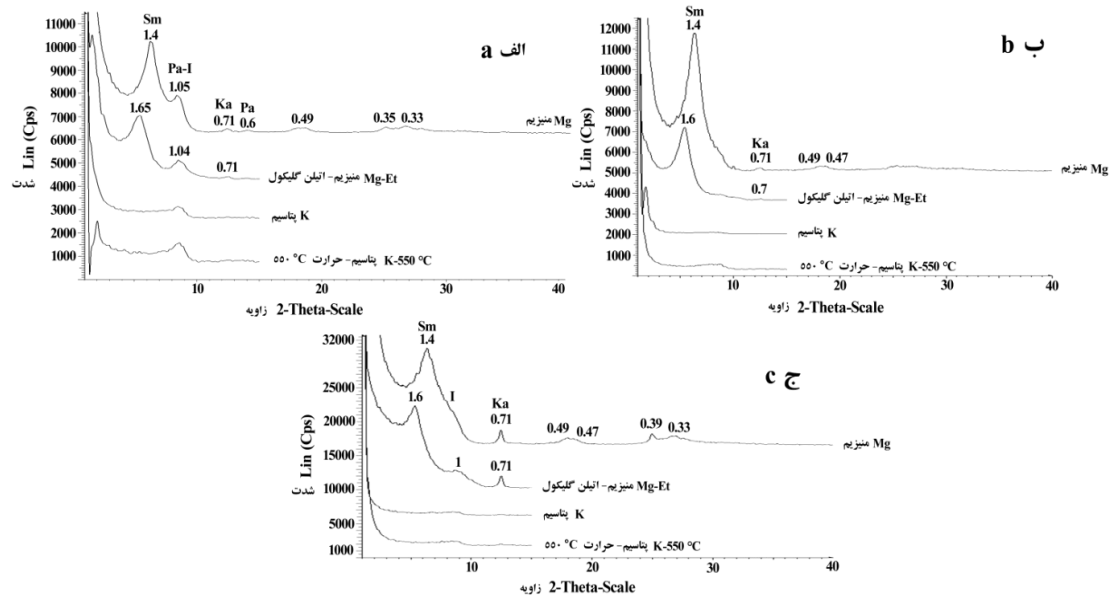
وجود پیک (۰/۴۲ نانومتر) پهن زئولیت با شدت کم در خاکرخ ۶ ممکن است به دلیل تبلور کم یا هوادیدگی این کانی باشد (شکل ۷ د). معمولاً پیک‌های پراش اشعه ایکس زئولیت به صورت تند و نازک می‌باشند، ولی پیک‌های پهن برای زئولیت‌های با تبلور کم گزارش شده است (۷).

سازندهای حاوی زئولیت منطقه حضور شهابزیت با پیک‌های رده اول، دوم و سوم ۰/۶۴، ۰/۵۹ و ۰/۲۹

دیفرکتوگرام پراش اشعه ایکس خاکرخ ۵ که از افق Bk گرفته شد در شکل‌های ۶ ج و ۷ ج نشان داده شده است. نتایج حاصل از آن دال بر حضور کانی‌های رسی اسمکتیت، کائولینیت و ناترولیت می‌باشد. شدت پیک اسمکتیت در این خاکرخ بیش‌تر از شدت پیک این کانی در خاکرخ‌های قبل می‌باشد. در خاکرخ ۵ پیک ایلیت با پیک ۱/۴ نانومتر اسمکتیت پوشیده شده است. در خاک‌های آهکی و گچی انحلال‌پذیری منیزیم و سیلیسیم بالا است. آزاد شدن یون پتاسیم از کانی ایلیت همراه با منیزیم و سیلیسیم بالا در محلول خاک، شرایط مساعدی را برای تشکیل

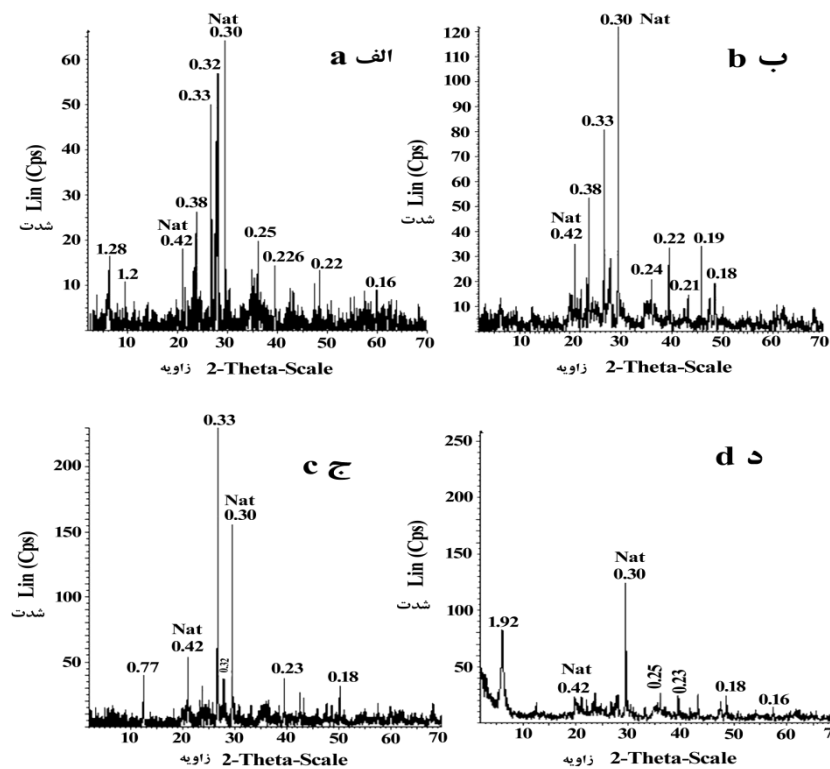
می‌شوند (۳۵). به‌طور کلی سنگ‌های جنوب رفسنجان به‌دلیل وجود گسل‌های متعدد، تکتونیزه شده و محصولات دگرسانی از جمله زئولیت به وفور در این منطقه یافت می‌شود. همچنین گسل‌های حاکم بر منطقه باعث فرسایش سنگ‌ها شده و در نتیجه دگرسانی سنگ‌ها را تسهیل نموده است به‌طوری‌که کانی‌های ثانویه‌ای نظیر زئولیت در سنگ‌ها توسعه یافته‌اند (۳۸). نظر به اینکه در سازند زئولیتی موجود در منطقه کانی‌های شابازیت و ناترولیت و در خاک‌های منطقه مطالعاتی کانی ناترولیت مشاهده گردیده و این کانی در خاک نسبت به فاصله از سازند روند کاهشی نشان می‌دهد بنابراین، به‌نظر می‌رسد که منشأ کانی زئولیت در خاک‌های منطقه مورد مطالعه متأثر از رسوبات ائوسن و کوآترنری و به ارث رسیده از مواد مادری می‌باشد.

نانومتر و ناترولیت با پیک‌های رده اول و دوم ۰/۴۲ و ۰/۳ نانومتر را نشان دادند (شکل ۸). نادری (۲۰۰۹a) و عتباتی‌نائینی (۱۹۹۷) نیز زئولیت موجود در منطقه سرچشمه را از دو نوع شابازیت و ناترولیت شناسایی نمودند (۱، ۳۸). تولید گونه‌های مختلف زئولیت به عواملی چون درجه حرارت، فشار محیط، فشار بخار آب و شرایط محیط شیمیایی اطراف آن‌ها بستگی دارد (۳۳). علاوه بر این، دیفرکتوگرام پراش اشعه ایکس سنگ زئولیت منطقه نشان‌دهنده ناخالصی‌های کلسیت و کوارتز همراه با زئولیت می‌باشد در این نمونه فراوانی کانی کلسیت نسبت به کوارتز بیش‌تر است. زئولیت‌های طبیعی معمولاً همراه با بعضی ناخالصی‌ها از قبیل کلسیت، گچ، کوارتز و هالیت بیش‌تر در اطراف مجاری ولکانیک و یا به‌صورت رسوباتی در چشمه‌های آب گرم یافت می‌شوند. این گونه‌های معدنی در سنگ‌های رسوبی با منشأ بازالتی نیز یافت



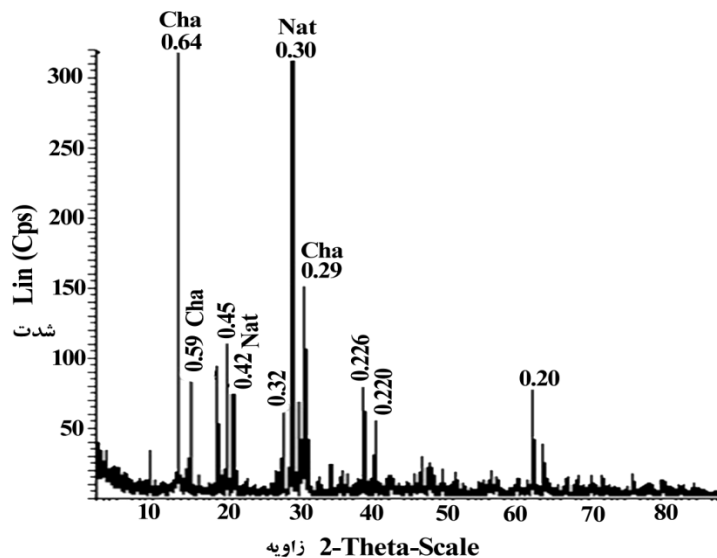
شکل ۶- دیفرکتوگرام پراش اشعه ایکس نمونه‌های سوسپانسیون افق Bk خاکرخ ۱ (الف)، Btk خاکرخ ۴ (ب) و Bk خاکرخ ۵ (ج) (Sm: اسمکتیت، Pa: پالی‌گورسکیت، I: ایلیت و Ka: کائولینیت).

Figure 6. X-Ray diffractograms of the clay fraction, a) Bk horizon of pedon 1, b) Btk horizon of pedon 4, c) Bk horizon of pedon 5. Sm: Smectite, I: Illite, Pa: Palygorskite, Ka: Kaolinite.



شکل ۷- دیفرکتوگرام پراش اشعه ایکس نمونه‌های پودری افق C4 خاکرخ ۱ (الف)، افق Bk خاکرخ ۳ (ب)، افق Bk خاکرخ ۵ (ج) و افق C2 خاکرخ ۶ (د)، (Nat= ناترولیت).

Figure 7. Powder X-Ray diffractograms of a) C4 horizon of pedon 1, b) Bk horizon of pedon 3, c) Bk horizon of pedon 5, d) C2 horizon of pedon 6. Nat: natrollite.



شکل ۸- دیفرکتوگرام پراش اشعه ایکس نمونه پودری سنگ زئولیت منطقه سرچشمه (Chazabazite = Cha و Natrollite = Nat).
Figure 8. Powder X-Ray diffractograms of zeolite rock in Sarcheshmeh area. Cha: chabazite, Nat: natrollite.

نتیجه گیری

در این مطالعه خاک‌های برش طولی رفسنجان-سرچشمه در قالب یک ردیف پستی‌بلندی و مواد مادری بررسی شدند. نتایج نشان داد که آهکی شدن، گچی شدن و تجمع رس از جمله فرآیندهای غالب خاک‌ساز در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه می‌باشند. افق آرجیلیک متشکل از پوشش رس در خاک‌رخ‌های ۴ و ۵ عمدتاً به رطوبت قابل دسترس بیش‌تر در اقلیم گذشته نسبت داده شد. کانی‌های رسی غالب در خاک‌های منطقه مطالعه شده عبارت از کائولینیت، ایلیت، پالی‌گورسکیت و اسمکتیت می‌باشند. علاوه بر این، به‌منظور بررسی روند زئولیت در خاک‌های مورد

مطالعه، از خاک‌ها و سنگ سازند زئولیت طیف اشعه ایکس تهیه و وجود زئولیت از نوع ناترولیت و شابازیت در سنگ زئولیت و ناترولیت در خاک‌ها محرز گردید. عوارض خاک‌ساخت کربنات کلسیم افق کلسیک به‌صورت پوشش، پوشش‌های زیرسطحی و نودول، عوارض خاک‌ساخت گچ افق ژئوسیک به‌صورت عدسی شکل و صفحات در هم قفل شده و عوارض خاک‌ساخت رس افق آرجیلیک به‌صورت پوشش در مقاطع نازک مشاهده گردید. نتایج پژوهش بیانگر نقش مواد مادری و پستی‌بلندی در تشکیل و تکامل خاک‌های منطقه می‌باشد.

منابع

1. Atebati Naini, M. 1997. Identification, structure and adsorption properties of a natural zeolite. M.Sc. thesis of chemistry, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
2. Banaie, M.H. 1998. Soil moisture and temperature regimes map of Iran. Soil and Water Research Institute of Iran.
3. Bhattacharyya, T., Chandran, P., Ray, S.K., Pal, D.K., Mandal, C., and Mandal, D.K. 2015. Distribution of zeolitic soils in India. *Current Science*. 109: 7. 1305-1313.
4. Bouza, P.J., Simon, M., Aguilar, J., del Valle, H., and Rostagno, M. 2007. Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina. *Geoderma*. 139: 38-50.
5. Cody, R.D. 1979. Lenticular gypsum: Occurrence in nature and experimental determinations of effects of soluble green plant material on its formation. *J. Sed. Petrol.* 49: 3. 1015-1028.
6. Deckers, J., Spaargaren, O., and Nachtergaele, F. 2001. Vertisols: Genesis, properties and soils cape management for sustainable development, P 3-20. In: J.K. Syers, F.T. Penning de Vries and P. Nyamudeza (Eds.), *The sustainable management of Vertisols*. CAB International Publishing.
7. Dixon, J.B., and Schulze, D.G. 2002. Soil mineralogy with environmental applications. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 865p.
8. Dwairi, R.A., Houry, H.N., and Ibrahim, K.M. 2009. Mineralogy and authigenesis of zeolitic tuff from Tall-Juhira and Tall Amir, south Jordan. *Jordan J. Earth Environ. Sci.* 2: 1. 72-83.
9. Egli, M., Merkli, C., Sartori, G., Mirabella, A., and Plotze, M. 2008. Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along a Holocene soil toposequence developed on carbonate – rich material. *Geomorphology*. 97: 675-696.
10. Farpoor, M.H. 2007. Physicochemical properties and clay mineralogy of Shahdad yardangs. *Proceeding of the 10th Iranian Soil Science Congress*, Pp: 210-211. (In Persian)
11. Farpoor, M.H., Eghbal, M.K., and Khademi, H. 2003. Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols of Nough area, Rafsanjan related to geomorphic surfaces. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science*. 7: 3. 71-92. (In Persian)
12. Farpoor, M.H., Khademi, H., and Eghbal, M.K. 2002. Genesis and distribution palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces. *Iran Agricultural Research*. 21: 39-60.

13. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, P 388-409. In: A. Klute (Ed.), Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed., Agron. Monogr. ASA and SSSA, Madison, WI.
14. Ghergherechi, S., Khormali, F., and Ayoubi, S. 2010. Genesis and micromorphology of gypsum on loess-derived soils in northern Iran. *J. Sci. Technol. Agric. Natura. Resour. Water and Soil Science*. 14: 51. 87-101. (In Persian)
15. Hall, A. 2000. Large eruptions and large zeolite deposits, P 161-175. In: C. Colella, F.A. Mumpton and A. De Freed (Eds.), Natural zeolites for the third millennium. Naples, Italy.
16. Hashemi, S.S., Baghernejad, M., and Khademi, H. 2011. Micromorphology of gypsum crystals in southern Iranian soils under different moisture regimes. *J. Agric. Sci. Technol*. 13: 273-288.
17. Hojati, S., and Khademi, H. 2011. Genesis and distribution of palygorskite in Iranian soils and sediments, P 201-218. In: E. Galan and A. Singer (Eds.), Developments in palygorskite-sepiolite research: A new look at these nanomaterials. Elsevier, Amsterdam.
18. Hojati, S., Khademi, H., Arocena, J.M., Faz Cano, A., and Ayoubi, S. 2012. Chronostratigraphic distribution and genesis of palygorskite in Tertiary sediments of the Isfahan region, central Iran. *Clay Minerals*. 47: 1. 11-29.
19. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
20. Jafarzadeh, A.A., and Burnham, C.P. 1992. Gypsum crystallization in soils. *J. Soil Sci*. 43: 3. 409-421.
21. Karimi, A., Khademi, H., Kehl, M., and Jalalian, A. 2009. Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran. *Geoderma*. 148: 241-250.
22. Kemp, R.A., Tomas, P.S., Sayago, J.M., Debyshire, E., King, M., and Wagner, L. 2003. Micromorphology OSL dating of the basalt part of the loess-paleosol sequence at La Mesuda in Tucuman Province, northwest Argentina. *Quaternary International*. 106-107: 111-117.
23. Kholghi, M.H. 1990. Zeolite and their occurrences in Iran. Geological Survey of Iran. (In Persian)
24. 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.
25. 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: 511-527.
26. Kitrik, J.A., and Hope, G.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. J*. 96: 312-325.
27. Langerwerff, J.V., Akin, G.W., and Moses, S.W. 1965. Detection and determination of gypsum in soils. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 29: 535-540.
28. Li, J., Wee, C., and Sohn, B. 2013. Effect of ammonium and potassium loaded zeolite on Kale (*Brassica alboglabra*) growth and soil property. *Amer. J. Plant Sci*. 4: 1976-1982.
29. Manafi, S., and Mahmoodi, S. 2005. Micromorphology of secondary calcium carbonate illuviation in soils around Orumieh Lake. *Iran. J. Agric. Sci*. 36: 6. 1399-1411. (In Persian)
30. Manafi, S., Mahmoodi, S., Sarmadian, F., Heidari, A., and Poch, R.M. 2009. Micromorphology of acicular calcite accumulations in arid and semi-arid soils of Ghazvin area. In: Proceeding of the 11th Iranian Soil Science Congress. (In Persian)
31. Marantos, I., Karantassi, S., Perdikatsis, V., and Christidis, G. 2004. Preliminary study of altered Tertiary volcanoclastic rocks in the area of Asproula, Nea Santa, Rodopi prefecture, Thrace, NE Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*. 35: 454-463.
32. Marantos, I., Markopoulos, T., and Christidis, G.E. 2007. Zeolitic alteration in the Tertiary Feres volcano-sedimentary basin, Thrace, NE Greece. *Mineralogical Magazine*. 71: 327-345.
33. Meier, W.M., and Uytterhoeven, J.B. 1973. Molecular sieves. American Chemical Society, Washington, DC.
34. Moazallahi, M., and Farpoor, M.H. 2009. Soil micromorphology and genesis along a climotoposequence in Kerman Province, central Iran. *Austr. J. Basic Appl. Sci*. 3: 4078-4084.

35. Mohammadi Dahaj, A. 2000. Identification and structural investigation of a natural zeolite in Sharebabak area, Kerman and study adsorbition of gasses, organic cations and anions by zeolites. M.Sc. thesis of chemistry, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
36. Moradian Shahrehabaki, A. 1990. Petrology and economic evaluation of feldspatoid igneous rocks in north Shahrehabak (Joozem). M.Sc. thesis of geology, Faculty of Sciences, Tehran University. (In Persian)
37. Murphy, C.P. 1986. Thin section preparation of soils and sediments. AB Academic Publication, Berkhamsted, Herts, UK.
38. Naderi, A. 2009a. Petrography, geochemistry and petrogenesis of Eocene zeolite bearing rocks in the Rafsanjan-Bardsir area, constrains on development of zeolites. M.Sc thesis of geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
39. Naderi, A. 2009b. Report of natural zeolites of Kerman Province, south eastern Iran. In: Proceeding of the 17th Iranian Congress of Crystallography and Mineralogy Association. (In Persian)
40. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum, P 181-196. In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed., Agron. Monogr. ASA and SSSA, Madison, WI.
41. 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: 62-81.
42. Rosen, M.R., and Warren, J.K. 1998. The origin and significance of groundwater-seepage gypsum from Bristol Dry Lake California, U.S.A. *Sedimentology*. 37: 983-996.
43. Salma, T., and Azizi, N. 2009. Recrystallization of zeolite Y to analcime and zeolite P with <SC>d</SC>-methionine as structure-directing agent (SDA). *J. Inorg. Gen. Chem.* 635: 15. 2660-2664.
44. Sanguesa, F.J., Arostegui, J., and Sua´rez-Ruiz, I. 2000. Distribution and origin of clay minerals in the lower Cretaceous of the Alava Block (Basque-Cantabrian, Spain). *Clay Minerals*. 35: 393-410.
45. 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, Natonal Soil Survey Center, Lincoln, NE.
46. Shi, W., Shao, H., Li, H., Shao, M., and Du, S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *J. Hazardous Mater.* 170: 1-6.
47. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th edition. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
48. Stoops, G. 2003. Guidelines for the analysis and description of soil and regolith thin sections. SSSA, Madison, WI.
49. Stoops, G., and Eswaran, H. 1985. Morphological characteristics of wetsoils, P 177-189. In: *Wetland soils: Characterization, classification and utilization: proceeding of a workshop held. Manil, Philipin, IRRI.*
50. Sumner, M.E., and Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficient, P 1201-1229. In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed., Agron. Monogr. ASA and SSSA, Madison, WI.
51. Toomanian, N., Jalalian, A., and Eghbal, M.K. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma*. 99: 199-224.
52. Utada, M. 2001. Zeolites in burial diagenesis and low-grade metamorphic rocks, P 277-304. In: D.L. Bish and D.W. Ming (Eds.), *Reviews in mineralogy and geochemistry.* Mineralogical Society of America and Geochemical Society, Washington, DC.
53. Wang, D., and Anderson, D.W. 1998. Stable carbon isotopes of carbonate pendants from Chernozomic soils of Saskatchewan, Canada. *Geoderma*. 84: 309-322.
54. Wright, V.P. 1987. A micromorphological classification of fossile and recent calcic and petrocalcic microstructures, P 401-407. In: N. Fedoroff, L.M. Bresson and M.A. Courty (Eds.), *Soil micromorphology.* AFES, Paris.



Physicochemical properties, micromorphology and clay mineralogy of soils containing zeolite in Rafsanjan area, Iran

N. Yazdani Jahromi¹, *M.H. Farpoor² and M. Karimian Eghbal³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

²Professor, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Tarbiat Modares University

Received: 02/17/2015; Accepted: 01/10/2016

Abstract

Background and Objectives: Zeolite is a group of anionic hydrated aluminosilicates with a tridimensional structure which has great implications in remediation of water, sediment and soil resources. The present research aims at physicochemical investigation, clay mineralogy and micromorphology of soils along Rafsanjan-Sarcheshmeh lithotoposequence, southeastern Iran.

Materials and Methods: The study area starts from mantled pediments, southern west of Rafsanjan and extends to Sarcheshmeh town. Soil moisture and temperature regimes of the area were aridic and mesic, respectively. Topography and geology maps together with Google Earth images were used to investigate different landforms and geological formations in the area. Mantled pediment (pedon 1), rock pediment (pedons 2 and 3) and mountain (pedons 4, 5, 6 and 7) were among dominant landforms recognized in the area under study. Mantled pediment is composed of younger gravel sediments. On the other hand, arkose and tuff are dominant in rock pediment. Besides, mountain geomorphic surface show high proportion of tracky basaltic and doloritic rocks. Seven pedons affected by geological formations on different landforms were described and sampled. Physicochemical analyses together with clay mineralogy and micromorphological observations performed and Soil Taxonomy and WRB were used for soil classification.

Results: Calcic, gypsic, argillic and cambic diagnostic horizons were identified according to field and laboratory investigations. Soils were classified as Typic Haplocalcids, Typic Calcargids, Typic Torriorthents and Typic Haplocambids using Soil Taxonomy. Cambisols, Calcisols and Regosols were also found according to WRB classification system. Presence of Btk horizon in pedons 4 and 5 was attributed to more available humidity of paleoclimate. Micromorphological observations showed grey radial (fan shape) zeolite crystals with parallel extinction. Calcite coatings, hypocoatings and nodules were among calcium carbonate pedofeatures identified. Lenticular and interlocked plates of gypsum and clay coatings were also observed during micromorphological investigations. Kaolinite, illite, palygorskite and smectite clay minerals were determined. Chabazite with first, second and third order peaks of 0.64, 0.59 and 0.29 nm and natrolite with first and second order peaks of 0.42 and 0.3 nm together with calcite and quartz impurities were investigated in zeolitic geological formations of the area using X-ray diffractometers. Natrolite was the only zeolite found in soils under study and showed a decreasing trend with distance from zeolitic geological formations. Zeolite in soils of the area seems to be inherited from parent material.

Conclusion: Results of the study showed role of topography and parent material on variability of soil properties in the area.

Keywords: Central Iran, Chabazite, Natrolite, Paleoclimate, Lithotoposequence

* Corresponding Authors; Email: farpoor@uk.ac.ir