

عوامل موثر در تشکیل و پراکنش پالیگورسکیت در برخی خاک‌های تشکیل شده بر روی رسوب‌های ترشیاری استان اصفهان

سعید حجتی، حسین خادمی*

گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۱۲، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۲۰)

چکیده: نوع کانی‌های رسی موجود در خاک، بیانگر مرحله‌ی تکاملی خاک است. پالیگورسکیت از جمله کانی‌های رسی فراوان در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک است. این پژوهش با هدف بررسی چگونگی تشکیل و پراکنش کانی پالیگورسکیت در برخی خاک‌های تشکیل شده بر روی رسوب‌های ترشیاری و مواد مادری آن‌ها در استان اصفهان انجام شد. بدین منظور تعداد ۶ نیمرخ خاک بررسی و نمونه‌برداری شدند. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی، با دستگاه پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شدند. بنابر نتایج این بررسی‌ها بیشترین مقدار پالیگورسکیت در افق‌های انباشت گچ و افق‌هایی که در آن‌ها انباشت همزمان گچ و آهک شکل گرفته است وجود دارد. افق‌های انباشت آهک و نمک مقادیر کمتری از کانی پالیگورسکیت را نشان دادند. مقایسه‌ی ترکیب کانی-شناسی مواد مادری مورد بررسی و خاک‌های حاصل از آن‌ها نشان داد که بیشتر کانی‌های موجود در خاک‌های مورد بررسی حاصل مواد مادری است، ولی بخشی از پالیگورسکیت موجود در برخی خاک‌ها دارای خاستگاه خاکزایی است. نتایج حاصل از تجزیه‌ی مولفه-های اصلی نشان داد که نسبت Mg/Ca ، اسیدیته، میزان سیلیس محلول و گچ بیشترین نقش را در تشکیل و پراکنش کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی دارند که بیانگر تشکیل در جای پالیگورسکیت از محلول خاک و در شرایط با تبخیر بالاست.

واژه‌های کلیدی: ترشیاری؛ پالیگورسکیت؛ ماده‌ی مادری؛ تجزیه مولفه‌های اصلی.

مقدمه

شده است [۲]. این فلات طی مزوزوئیک بخشی از دریای قدیمی تتیس بود که در اواخر کرتاسه از اقیانوس جدا شده است [۳]، به طوری که شکل گرفتن اصلی فلات ایران به دوران ترشیاری و به خصوص میوسن نسبت داده می‌شود. با کم شدن ارتباط دریای میوسن با دریای آزاد و پیشروی به مدخل دریای میوسن، دریاچه‌های کم عمق بین کوهی و لاگون‌ها تشکیل و گسترش یافتند. این مناطق کم عمق و با شوری زیاد محیط مناسبی را از نظر شیمیایی برای تشکیل پالیگورسکیت فراهم کرده است [۳].

خاک محصول برهم کنش عوامل خاک‌ساز بر یکدیگر است. عوامل پنج‌گانه‌ی خاک‌سازی، با تعیین شدت و نوع فرآیندهای خاک‌سازی، کنترل کننده‌ی نحوه‌ی تشکیل خاک و به پیروی از آن، کنترل کننده‌ی ویژگی‌های خاک هستند [۱]. به نظر برادی و ویل [۱]، نوع کانی تشکیل شده در خاک تحت تاثیر سه عامل اقلیم، ماده‌ی مادری و شرایط محیطی است. فلات مرکزی ایران گودال وسیعی است که بین رشته کوه-های البرز و زاگرس قرار گرفته و بیشتر از رسوب‌های جوان پر

* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۹۱۳۳۸۳ (۰۳۱۱)، نمابر: ۳۹۱۳۴۷۱ (۰۳۱۱)، پست الکترونیکی: khkhademi@cc.iut.ac.ir

پالیگورسکیت در خاک‌های یاد شده ارائه کرده‌اند. اولیائی و همکاران [۱۰] تشکیل درجای کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های گچی و آهکی جنوب ایران در نتیجه‌ی تهنشینی گچ و آهک در این خاک‌ها گزارش کردند. خرمالی و ابطحی [۱۱] در بررسی‌هایی که در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب ایران انجام دادند، رابطه‌ای منفی بین حضور کانی‌های اسمکتیت و پالیگورسکیت با میزان رطوبت قابل دسترس مشاهده کردند. به‌نحوی که در نسبت‌های P/ET (نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق) بزرگتر از ۰/۴، کانی پالیگورسکیت به کانی اسمکتیت تبدیل می‌شود. همچنین بین مقدار گچ و میزان حضور پالیگورسکیت رابطه‌ی مثبت و معناداری مشاهده شد.

اگرچه تعداد بررسی‌هایی که حضور کانی پالیگورسکیت را در خاک‌ها و رسوب‌های ایران ثابت کرده‌اند کم نیست، ولی تعداد بررسی‌هایی که حضور و تشکیل کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های تشکیل شده روی رسوب‌های ترشیری مورد بررسی قرار داده باشند بسیار اندک است. رسوب‌های ترشیری در ایران مرکزی از گسترش قابل توجهی برخوردار بوده و از جمله مهم‌ترین مواد مادری خاک‌های تشکیل شده در این منطقه محسوب می‌شوند. لذا این پژوهش با هدف بررسی عوامل موثر در تشکیل و پراکنش کانی پالیگورسکیت در برخی از خاک‌های تشکیل شده روی رسوب‌های ترشیری در ایران مرکزی صورت گرفت.

ناحیه‌ی مورد بررسی

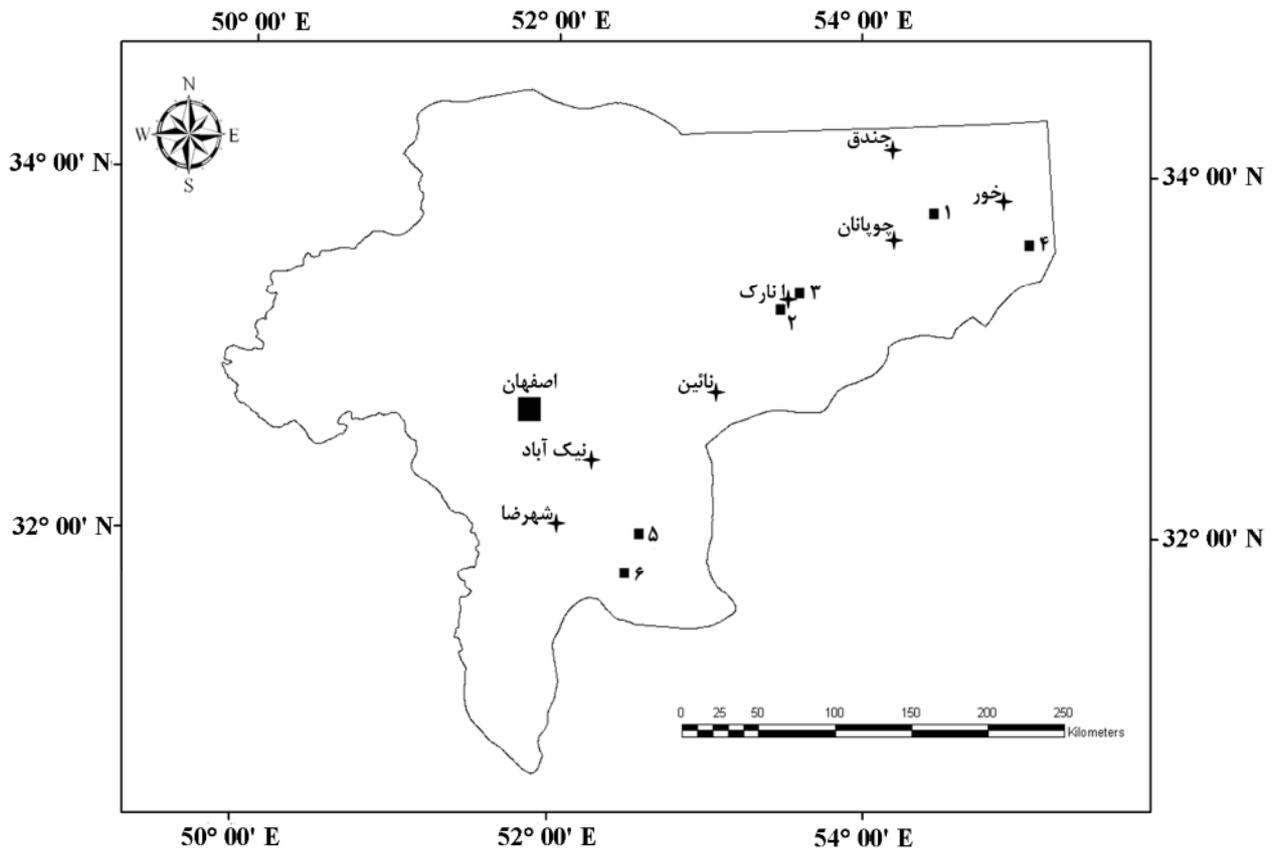
منطقه‌ی مورد بررسی، بیشتر بخش‌های شرقی و جنوبی استان اصفهان را شامل می‌شود. نقاط مورد بررسی به ترتیب در گستره‌ی عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی قرار دارند (شکل ۱). میانگین دمای سالانه در منطقه از ۱۶ تا ۲۱ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی سالانه از ۸۶ تا ۱۹۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. ارتفاع منطقه نیز از سطح دریا از ۸۴۵ متر تا ۱۷۴۵ متر در تغییر است [۱۲]. پوشش گیاهی منطقه بیشتر از نوع پوشش‌های بیابانی و تنک بوده و در مواردی به دلیل شوری بسیار بالا هیچ نوع پوشش گیاهی در منطقه وجود ندارد.

از سوی دیگر کشور ایران از جمله کشورهای کمربند خشک و نیمه خشک دنیاست. در حدود ۸۵ درصد از کل مساحت ایران دارای اقلیم خشک یا نیمه خشک است [۴]. خاک‌های انتی سول، اربیدی سول و اینسپتی سول به ترتیب با ۳۶/۲، ۳۲/۹ و ۲۵/۲ درصد فراوان‌ترین خاک‌های کشور را تشکیل می‌دهند [۴]. پالیگورسکیت از جمله کانی‌های رسی الیافی ۲:۱ است که در خاک‌ها و رسوب‌های ترشیری مناطق خشک و نیمه خشک دنیا به ویژه منطقه‌ی خاورمیانه گسترش زیادی دارد [۵]. هندرسون و رابرتسون [۶]، بارنت و همکاران [۷] اولین افرادی بودند که حضور کانی پالیگورسکیت را در خاک‌ها و رسوب‌های ایران گزارش کردند ولی در بررسی این پژوهشگران به خاستگاه این کانی اشاره‌ای نشده است.

به‌طور کلی دو خاستگاه مهم برای حضور پالیگورسکیت در خاک ارائه شده‌اند: الف) به ارث رسیدن از ماده‌ی مادری، و ب) تشکیل به‌صورت خاکساز. در مورد به ارث رسیدن از ماده‌ی مادری به دو فرایند مهم اشاره می‌شود: اول اینکه کانی پالیگورسکیت در سنگ بستر خاک‌های مورد بررسی وجود دارد و لذا طی فرآیندهای تشکیل خاک از ماده‌ی مادری به ارث می‌رسد، و دیگر اینکه کانی پالیگورسکیت از طریق فرایندهای رسوب‌گذاری آبی یا بادی به نیمرخ خاک اضافه شود. به‌عبارت دیگر در چنین شرایطی، سنگ بستر مورد بررسی فاقد کانی پالیگورسکیت است [۸].

برای تشکیل درجای کانی پالیگورسکیت نیز می‌توان به دو فرایند مهم اشاره کرد: الف) هوادیدگی کانی‌های دیگر مانند میکا، کائولینیت و اسمکتیت و تبدیل آن‌ها به پالیگورسکیت، و ب) تهنشینی از طریق محلول خاک که در مورد اخیر می‌توان از همراهی گسترده‌ی کانی پالیگورسکیت با کانی‌های تبخیری مانند گچ ثانویه و املاح تبخیری دیگر در منابع نام برد [۸].

صالحی و همکاران [۹] تشکیل خاکساز پالیگورسکیت را در خاک‌های استان چهار محال بختیاری گزارش کرده‌اند. عدم وجود پالیگورسکیت در نمونه‌های ماده‌ی مادری (سنگ‌های آهکی کرتاسه)، ریخت کشیده و بلند پالیگورسکیت در ریزنگاشت‌های الکترونی و انباشت هم مکان پالیگورسکیت با کربنات کلسیم ثانویه در افق‌های تحتانی خاک‌های مورد بررسی دلایلی بودند که آن‌ها برای تشکیل خاکساز



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد بررسی و نقاط نمونه برداری شده در استان اصفهان.

روش بررسی

انتخاب اولیه نقاط بر اساس مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی شهرهای خور [۱۳]، انارک [۱۴] و آباد [۱۵] با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ که بوسیله سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده‌اند انجام شد. آنگاه پس از بررسی‌های صحرایی از کلیه افق‌های ژنتیکی تعداد ۶ نیمرخ خاک که روی رسوب‌های ترشیری با سنین ائوسن، الیگوسن، الیگوسن-میوسن، میوسن و پلیوسن

گسترش یافته بودند نمونه‌برداری صورت گرفت [۱۳ تا ۱۵]. نمونه‌برداری از خاک‌ها و مواد مادری به صورت مرکب و ۳ بار تکرار شد. در نهایت در هر یک از نقاط نمونه‌برداری شده نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط و برای بررسی‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ۱ مشخصات زمین‌شناسی نقاط مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ شماره نیمرخ‌ها و سن مواد مادری خاک‌های مورد مطالعه [۱۴ تا ۱۶].

| شماره نیمرخ‌ها | مواد مادری | علامت | نوع رسوب‌های |
|----------------|---------------|-------|--|
| ۱ | ائوسن | Ed | سازند دره انجیر (کنگلومرای خاکستری، ماسه سنگ و مارن) |
| ۲ | الیگوسن | Or | سازند سرخ پائینی (کنگلومرای سرخ، ماسه سنگ و مارن) |
| ۳ | الیگوسن-میوسن | OMq | مارن و آهک |
| ۴ | میوسن | Mr | سازند سرخ بالایی (تناوب مارن، ماسه سنگ و گچ) |
| ۵ | پلیوسن | Pl | مارن‌های خاکستری |
| ۶ | پلیوسن | Pl | مارن‌های سرخ |

چسبانده و با لایه‌ای از طلا پوشش داده شد. این نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی هیتاچی مدل S-3500N در دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنا مورد بررسی قرار گرفتند.

ترسیم نمودارهای پایداری کانی پالیگورسکیت در نمونه‌های مورد بررسی با نرم افزار EXCEL و روابط تعادلی ارائه شده توسط ویور و بک [۱۸] استفاده شد. به منظور بررسی مهم‌ترین پارامترهای موثر در تشکیل و توزیع کانی پالیگورسکیت، تجزیه مولفه‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی برای مقادیر ویژه‌ی بزرگتر از ۱ و با اعمال بیشترین دگرسان پذیری ممکن در محیط نرم افزار SPSS انجام شد.

بحث و بررسی

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و مواد مادری (افق‌های C) مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌شود کلیه مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی آهکی بوده و دارای pH قلیایی هستند. این شرایط حاکی از وجود محیط قلیایی در زمان تشکیل آن‌هاست. میزان گچ و شوری در خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی به ترتیب از ۵/۶ تا ۴۳/۵ درصد و ۴/۷ تا ۹۹/۱ دسی زیمنس بر متر تغییر می‌کند (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهند که خاک‌های مورد بررسی در شرایط با تبخیر بالا و شور ایجاد شده‌اند.

نتایج کانی‌شناسی رس‌ها در نمونه‌های خاک و مواد مادری در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده‌اند. پالیگورسکیت در بررسی‌های پرتو ایکس یک قله‌ی قوی در ناحیه‌ی ۱۰/۴ تا ۱۰/۶ آنگستروم دارد. گرما دادن کانی تا دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد باعث متلاشی شدن کانی و حذف قله‌ی یاد شده می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). همچنین وجود قله‌ی رده دوم ۶/۴ آنگستروم در تیمار منیزیم اشباع نیز تائیدی بر حضور پالیگورسکیت است [۱۶]. شناسایی پالیگورسکیت با استفاده از قله ۱۰/۵ آنگستروم به دلیل نزدیکی با قله ۱۰ آنگستروم میکا مشکل است، به همین دلیل معمولاً از قله‌ی ۶/۴ آنگستروم برای شناسایی پالیگورسکیت استفاده می‌شود [۱۹].

در پراش نگاشت‌های نمونه‌های منیزیم اشباع، قله‌ی ۱۰ آنگستروم که در اثر تیمار اتیلن گلیکول و تیمار پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد تغییری نمی‌کند، نشان دهنده‌ی حضور میکاست. دو قله‌ی ۵/۰ و ۳/۳۳ آنگستروم وابسته به صفحات دوم و سوم کانی نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳).

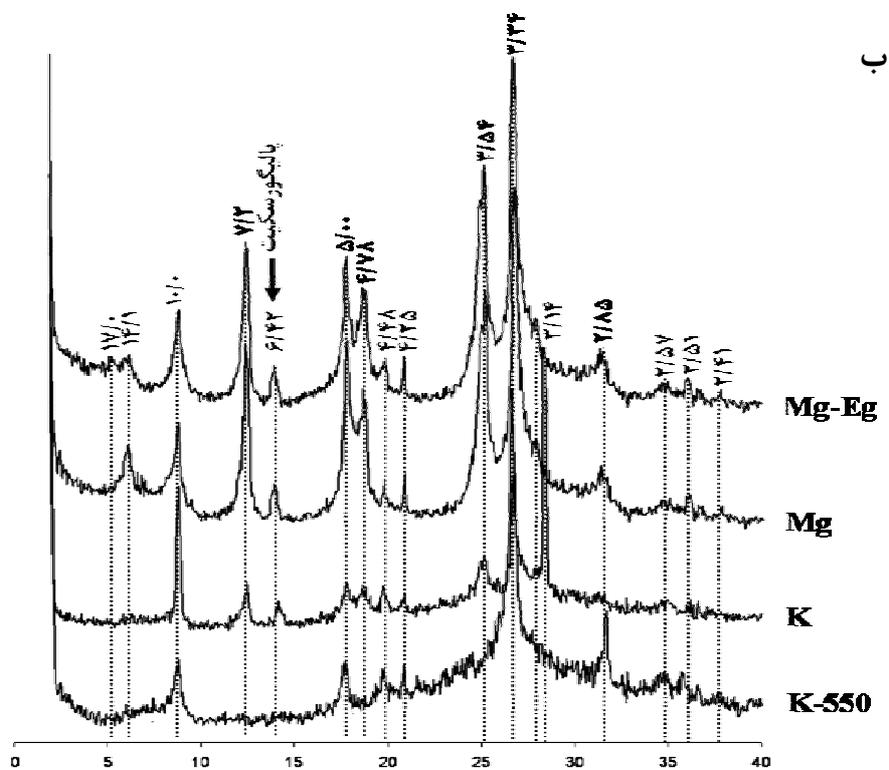
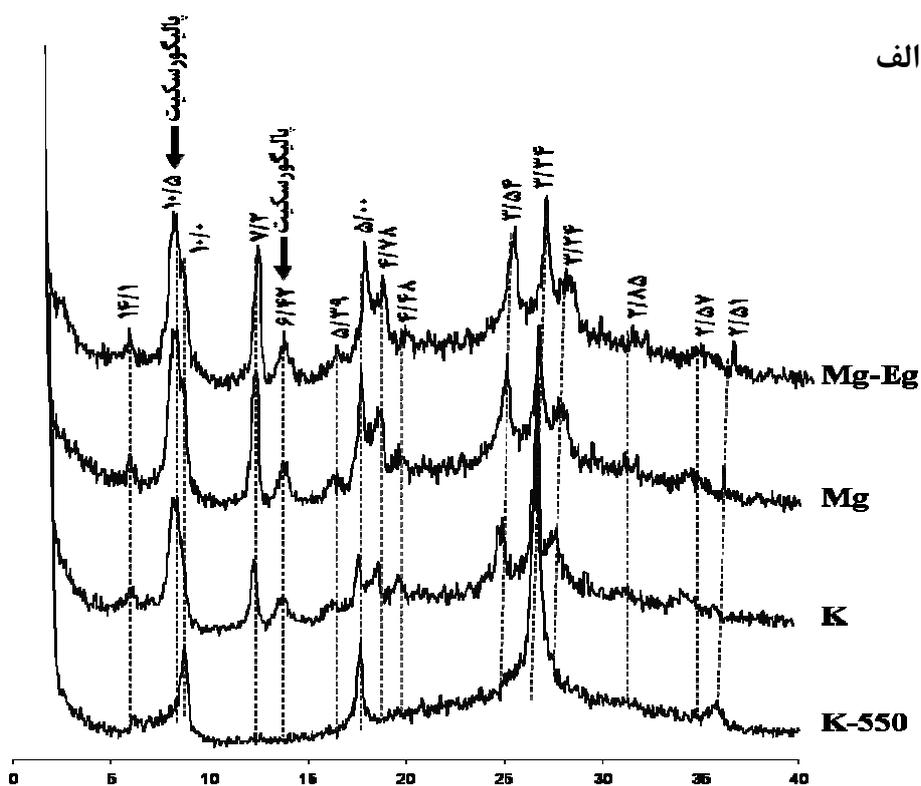
نمونه‌های خاک و مواد مادری پس از جمع آوری و انتقال به آزمایشگاه، نخست از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. سپس در نمونه‌های مورد بررسی کربن آلی به روش اکسایش‌تر، مقدار آهک با استفاده از روش عیارسنجی برگشتی، مقدار گچ با استفاده از روش استون و توزیع اندازه‌ی ذرات (بافت خاک) به روش پیپت تعیین شد [۱۶]. برای تعیین مقادیر کلسیم و منیزیم محلول از روش عیارسنجی با ورسین و برای اندازه‌گیری مقدار سیلیس محلول در نمونه‌ها از روش رنگ‌سنجی و از روی شدت رنگ آبی تولید شده در نمونه‌ها استفاده شد [۱۶]. اندازه‌گیری pH، کلسیم، منیزیم و سیلیس محلول در عصاره‌ی اشباع انجام گرفت.

پیش از بررسی‌های کانی‌شناسی، نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. برای آزمایش‌های کانی‌شناسی در شناسایی رس‌ها، نخست نمونه‌های مورد بررسی پیش تیمار شدند. از استات سدیم با واکنش معادل ۵ برای حذف کربنات‌ها و نمک‌های محلول استفاده شد. گچ موجود در نمونه‌ها با شستشوی مکرر با آب مقطر خارج شد. برای حذف ماده‌ی آلی از آب اکسیژنه ۳۰٪ استفاده شد. حذف اکسیدهای آهن از نمونه‌ها نیز با استفاده از تیمار سترات-بیکربنات-دی انجام شد. پس از آماده سازی‌های اولیه، اجزای مختلف هر نمونه (رس، سیلت و شن) تفکیک شدند و کانی‌شناسی تنها روی بخش رس انجام شد [۱۷]. مقدار ۴۰ میلی گرم از رس هر نمونه به دقت توزین و تحت تیمارهای اشباع سازی با کلرور منیزیم، اشباع سازی با کلرور پتاسیم، اعمال تیمار بخار اتیلن گلیکول روی نمونه‌های اشباع شده از منیزیم و اعمال تیمار گرمایی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد روی نمونه‌های اشباع شده از پتاسیم قرار گرفتند [۱۶]. نمونه‌های تیمار شده با پراش سنچ پرتو ایکس مدل (Bruker AXS, USA) D8 در گستره‌ی ۲ تا ۴۰ درجه و سرعت اسکن ۰/۵ درجه در هر دقیقه در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و شدت جریان ۲۰ میلی آمپر و به وسیله فلز هدف مس در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنا در اسپانیا تجزیه شدند و نمودارهای پراش پرتو ایکس از تیمارهای مختلف هر نمونه تهیه شدند.

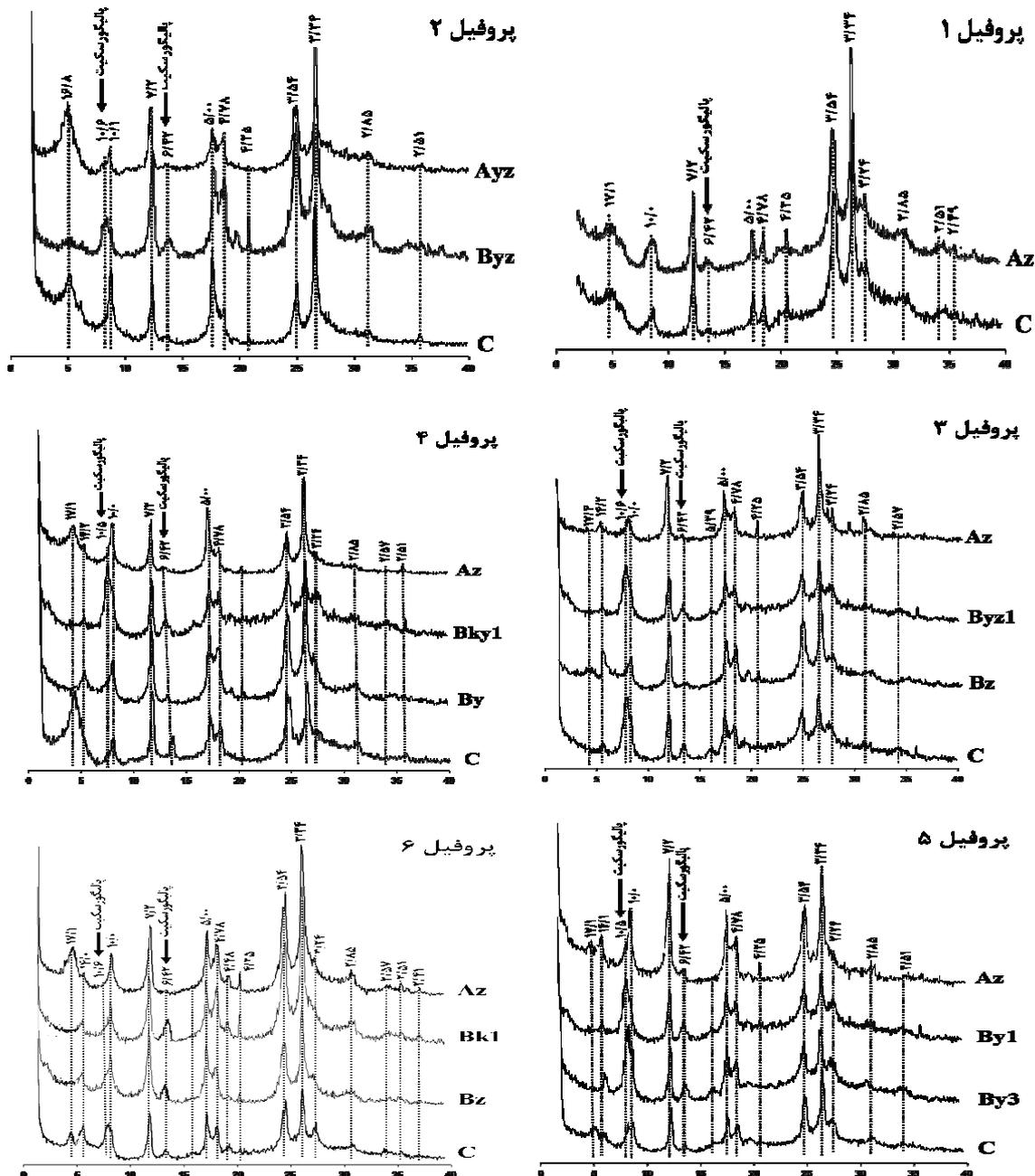
برای مشاهده‌ی ریخت پالیگورسکیت در حالت طبیعی، نمونه‌های خیلی کوچک و دست نخورده از خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی با چسپ کربن روی پایه‌های آلومینیومی

جدول ۲ مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک و مواد مادری بررسی شده .

| نمونه | عمق (سانتیمتر) | pH | EC (dS m ⁻¹) | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ , Ca ²⁺ | H ₄ SiO ₄ | آهک | گچ | کربن آلی شن | سیلت رس | | |
|--|----------------|------|--------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-----|-------------|---------|-----|-----|
| | | | | meq L ⁻¹ | | | | G Kg ⁻¹ | | | | | |
| نیمرخ شماره ۱ (خاک گسترش یافته روی رسوب‌های Ed) | | | | | | | | | | | | | |
| Az | ۰-۱۰ | ۷٫۶۳ | ۸۰٫۴ | ۲٫۸ | ۶٫۴ | ۰٫۴۴ | ۰٫۴۹ | ۲۱۰ | ۵۶ | ۲٫۱ | ۳۷۰ | ۴۰۰ | ۲۳۰ |
| C | +۱۰ | ۷٫۴۱ | ۷۶٫۲ | ۱٫۴ | ۵٫۰ | ۰٫۲۸ | ۰٫۵۶ | ۱۴۰ | ۱۲۵ | ۱٫۹ | ۲۶۰ | ۶۳۰ | ۱۱۰ |
| نیمرخ شماره ۲ (خاک گسترش یافته روی رسوب‌های Or) | | | | | | | | | | | | | |
| Ayz | ۰-۱۰ | ۷٫۶۱ | ۳۹٫۴ | ۴٫۵ | ۶٫۳ | ۰٫۷۱ | ۰٫۸۶ | ۱۵۸ | ۱۰۶ | ۲٫۷ | ۳۰۵ | ۳۹۸ | ۲۹۷ |
| Byz | ۱۰-۳۰ | ۷٫۷۹ | ۲۳٫۵ | ۷٫۲ | ۶٫۸ | ۱٫۰۶ | ۱٫۸۴ | ۲۰۸ | ۲۰۱ | ۲٫۴ | ۲۴۵ | ۳۸۳ | ۳۷۲ |
| C | +۳۰ | ۷٫۴۷ | ۶۷٫۹ | ۳٫۸ | ۶٫۶ | ۰٫۵۸ | ۰٫۹۰ | ۳۳۵ | ۳۱۰ | ۳٫۰ | ۴۶۰ | ۳۶۰ | ۱۸۰ |
| نیمرخ شماره ۳ (خاک گسترش یافته روی رسوب‌های OMq) | | | | | | | | | | | | | |
| Az | ۰-۷ | ۷٫۶۲ | ۱۶٫۴ | ۷٫۴ | ۸٫۲ | ۰٫۸۵ | ۱٫۰۷ | ۲۳۶ | ۱۳۹ | ۱٫۷ | ۳۸۴ | ۳۳۹ | ۲۷۷ |
| Byz1 | ۷-۲۰ | ۷٫۹۱ | ۱۲٫۳ | ۱۱ | ۸٫۶ | ۱٫۲۸ | ۱٫۹۳ | ۲۵۴ | ۲۸۰ | ۱٫۳ | ۴۶۸ | ۲۲۶ | ۳۰۶ |
| Byz2 | ۲۰-۳۶ | ۷٫۸۳ | ۱۰٫۹ | ۷٫۸ | ۸٫۲ | ۰٫۹۵ | ۱٫۶۴ | ۲۶۰ | ۴۱۰ | ۱٫۶ | ۳۹۰ | ۳۴۵ | ۲۶۵ |
| Bz | ۳۶-۵۵ | ۷٫۶۷ | ۵۹٫۹ | ۶٫۲ | ۷٫۴ | ۰٫۸۴ | ۱٫۱۵ | ۱۶۲ | ۷۵ | ۱٫۱ | ۲۱۲ | ۳۷۳ | ۴۱۵ |
| C | +۵۵ | ۷٫۹۷ | ۲۳٫۱ | ۷٫۲ | ۹٫۸ | ۰٫۷۳ | ۱٫۹۵ | ۳۲۰ | ۲۲۵ | ۱٫۵ | ۳۱۷ | ۴۵۸ | ۲۲۵ |
| نیمرخ شماره ۴ (خاک گسترش یافته روی رسوب‌های Mr) | | | | | | | | | | | | | |
| Az | ۰-۱۳ | ۷٫۶۵ | ۳۳٫۳ | ۵٫۴ | ۹٫۸ | ۰٫۵۵ | ۰٫۷۸ | ۱۳۷ | ۸۶ | ۱٫۷ | ۳۴۸ | ۳۹۹ | ۲۵۳ |
| Bky1 | ۱۳-۳۲ | ۷٫۸۷ | ۷٫۱ | ۷٫۲ | ۹٫۸ | ۰٫۷۳ | ۲٫۳۱ | ۲۶۶ | ۲۳۶ | ۲٫۳ | ۲۵۶ | ۳۸۷ | ۳۵۷ |
| Bky2 | ۳۲-۵۸ | ۸٫۱۱ | ۷٫۵ | ۱۲٫۸ | ۹٫۲ | ۱٫۳۹ | ۲٫۵۵ | ۳۱۴ | ۳۰۹ | ۱٫۸ | ۲۹۸ | ۳۸۶ | ۳۵۶ |
| By | ۵۸-۷۷ | ۸٫۰۷ | ۵٫۱ | ۱۰٫۲ | ۸٫۶ | ۱٫۱۹ | ۲٫۰۳ | ۱۷۲ | ۳۹۴ | ۱٫۹ | ۲۷۸ | ۳۴۹ | ۳۷۳ |
| C | +۷۷ | ۸٫۴۴ | ۴۹٫۷ | ۹٫۴ | ۸ | ۱٫۱۸ | ۲٫۶۸ | ۳۱۵ | ۴۳۵ | ۱٫۱ | ۲۹۱ | ۳۱۹ | ۳۹۰ |
| نیمرخ شماره ۵ (خاک گسترش یافته روی رسوب‌های Pl) | | | | | | | | | | | | | |
| Az | ۰-۵ | ۷٫۷۵ | ۱۳٫۳ | ۵٫۵ | ۹٫۳ | ۰٫۵۹ | ۱٫۴۷ | ۳۲۶ | ۲۵۳ | ۲٫۱ | ۳۵۹ | ۳۹۱ | ۲۵۰ |
| By1 | ۵-۲۸ | ۸٫۰۷ | ۵٫۱ | ۱۰٫۲ | ۸٫۶ | ۱٫۱۹ | ۲٫۰۳ | ۱۷۲ | ۳۹۲ | ۱٫۹ | ۳۴۸ | ۴۰۲ | ۲۵۰ |
| By2 | ۲۸-۶۲ | ۷٫۸۳ | ۴٫۹ | ۷٫۸ | ۸٫۶ | ۰٫۹۵ | ۱٫۶۳ | ۱۸۲ | ۴۱۳ | ۲٫۶ | ۳۴۴ | ۳۹۷ | ۲۵۹ |
| By3 | ۶۲-۸۷ | ۷٫۹۱ | ۴٫۷ | ۱۲٫۰ | ۸٫۶ | ۱٫۳۹ | ۱٫۹۳ | ۲۲۳ | ۴۱۰ | ۲٫۶ | ۳۶۹ | ۳۵۹ | ۲۷۲ |
| C | +۸۷ | ۸٫۳۷ | ۳۷٫۲ | ۱۴٫۰ | ۱۰٫۲ | ۱٫۳۷ | ۲٫۷۹ | ۴۵۰ | ۳۵۵ | ۳٫۲ | ۳۹۵ | ۳۴۷ | ۲۵۸ |
| نیمرخ شماره ۶ (خاک گسترش یافته روی رسوب‌های Pl) | | | | | | | | | | | | | |
| Az | ۰-۱۵ | ۷٫۸۹ | ۵٫۴ | ۶٫۶ | ۱۰٫۲ | ۰٫۶۱ | ۱٫۹۳ | ۱۴۷ | ۱۰۲ | ۲٫۶ | ۲۶۵ | ۳۷۹ | ۳۵۶ |
| Bk1 | ۱۵-۲۹ | ۸٫۱۱ | ۷٫۵ | ۱۲٫۸ | ۹٫۲ | ۱٫۳۹ | ۲٫۵۵ | ۳۰۹ | ۱۱۴ | ۲٫۳ | ۲۷۶ | ۳۵۱ | ۳۶۳ |
| Bk2 | ۲۹-۵۲ | ۷٫۹۶ | ۹٫۷ | ۱۰٫۸ | ۹٫۶ | ۱٫۱۳ | ۲٫۳۶ | ۲۹۸ | ۱۲۰ | ۲٫۰ | ۲۸۴ | ۳۷۸ | ۳۳۸ |
| Bz | ۵۲-۷۹ | ۷٫۸۸ | ۳۷٫۵ | ۶٫۲ | ۶٫۸ | ۰٫۹۱ | ۱٫۴۶ | ۱۱۵ | ۹۱ | ۲٫۵ | ۳۰۰ | ۳۹۴ | ۳۰۶ |
| C | +۷۹ | ۸٫۱۸ | ۹۹٫۱ | ۹٫۸ | ۱۱٫۴ | ۰٫۸۶ | ۱٫۹۷ | ۲۸۵ | ۲۹۰ | ۲٫۷ | ۳۱۷ | ۴۵۹ | ۲۲۴ |



شکل ۲ پراش نگاشتهای پرتو ایکس در بخش رس (الف) افق By از نیمرخ شماره ۳) و (ب) افق Bk1 از نیمرخ شماره ۶).
 Mg-Eg = نمونه‌ی اشباع شده با منیزیوم و اتیلن گلیکول، Mg = نمونه‌ی اشباع شده با منیزیوم، K = نمونه‌ی اشباع شده با پتاسیم و
 K-550 = نمونه اشباع شده با پتاسیم پس از گرما دادن تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد. اعداد قله‌ها بر حسب آنگستروم ارائه شده‌اند.



شکل ۳ پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمار "منیزیوم اشباع + اتیلن گلیکول" در بخش رس خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی که نمایانگر فراوانی بیشتر پالیگورسکیت (قله اختصاصی ۶,۴۲ آنگستروم) در افق‌های انباشت گچ (By) در مقایسه با افق‌های انباشت نمک (Az و Bz) می‌باشند. اعداد قله‌ها بر حسب آنگستروم ارائه شده‌اند.

سوم و چهارم کلریت نیز در همه‌ی نمونه‌های مورد بررسی مشاهده می‌شوند. به دلیل همپوشی قله‌های رده‌ی دوم و چهارم کلریت با رده‌ی اول و دوم کائولینیت، برای شناسایی کائولینیت باید از قله رده‌ی سوم کائولینیت (۲,۴ آنگستروم) استفاده کرد. به دلیل عدم وجود قله‌ی یاد شده، حضور

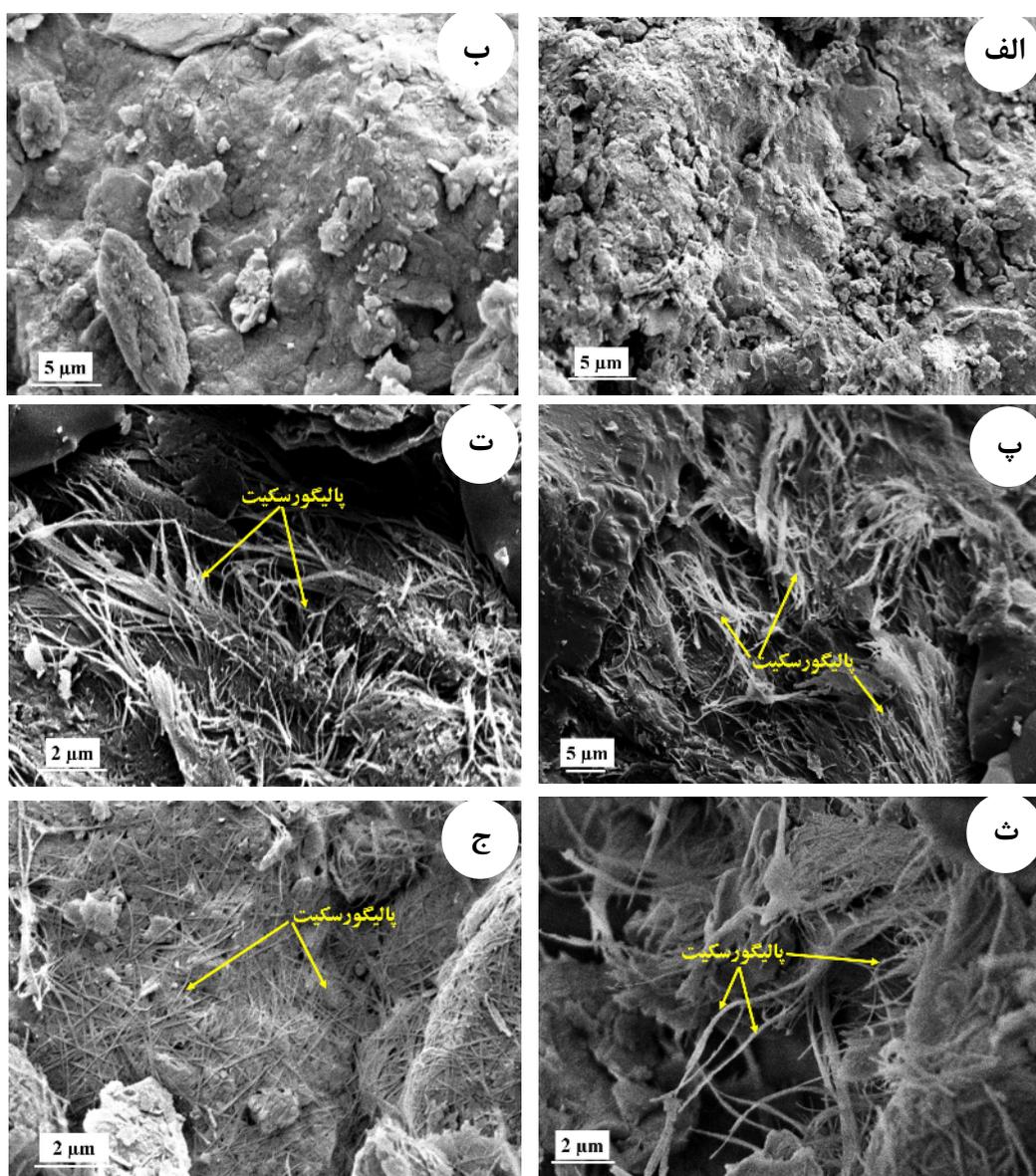
وجود قله‌ی ۱۴ آنگستروم در تیمار منیزیوم اشباع که با تیمار اتیلن گلیکول به ۱۷ آنگستروم تغییر مکان می‌دهد بیانگر وجود اسمکتیت است، ولی عدم تغییر مکان کانی در نتیجه‌ی کاربرد تیمار اتیلن گلیکول نشان دهنده‌ی حضور کلریت است. قله‌های ۷، ۴,۷۸ و ۳,۵۴ آنگستروم وابسته به صفحات دوم،

بر روی رسوب‌های ترشیری در بخشی از ایران مرکزی به دلیل پایداری این کانی‌ها در شرایط خشک و فراوانی آن‌ها در سنگ‌های رسوبی منطقه معرفی می‌کنند.

پالیگورسکیت در پرتو نگاشت‌های پرتو ایکس در مقادیر کم تا فراوان، در همه‌ی خاک‌های مورد بررسی مشاهده شد. ولی در مواد مادری با سنین ائوسن و الیگوسن کانی پالیگورسکیت مشاهده نشد. در مقابل مواد مادری با سنین میوسن و پلیوسن حاوی مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت بودند (شکل‌های ۳ و ۴).

کائولینیت در خاک‌ها و رسوب‌های مورد بررسی اثبات نشد (شکل ۲).

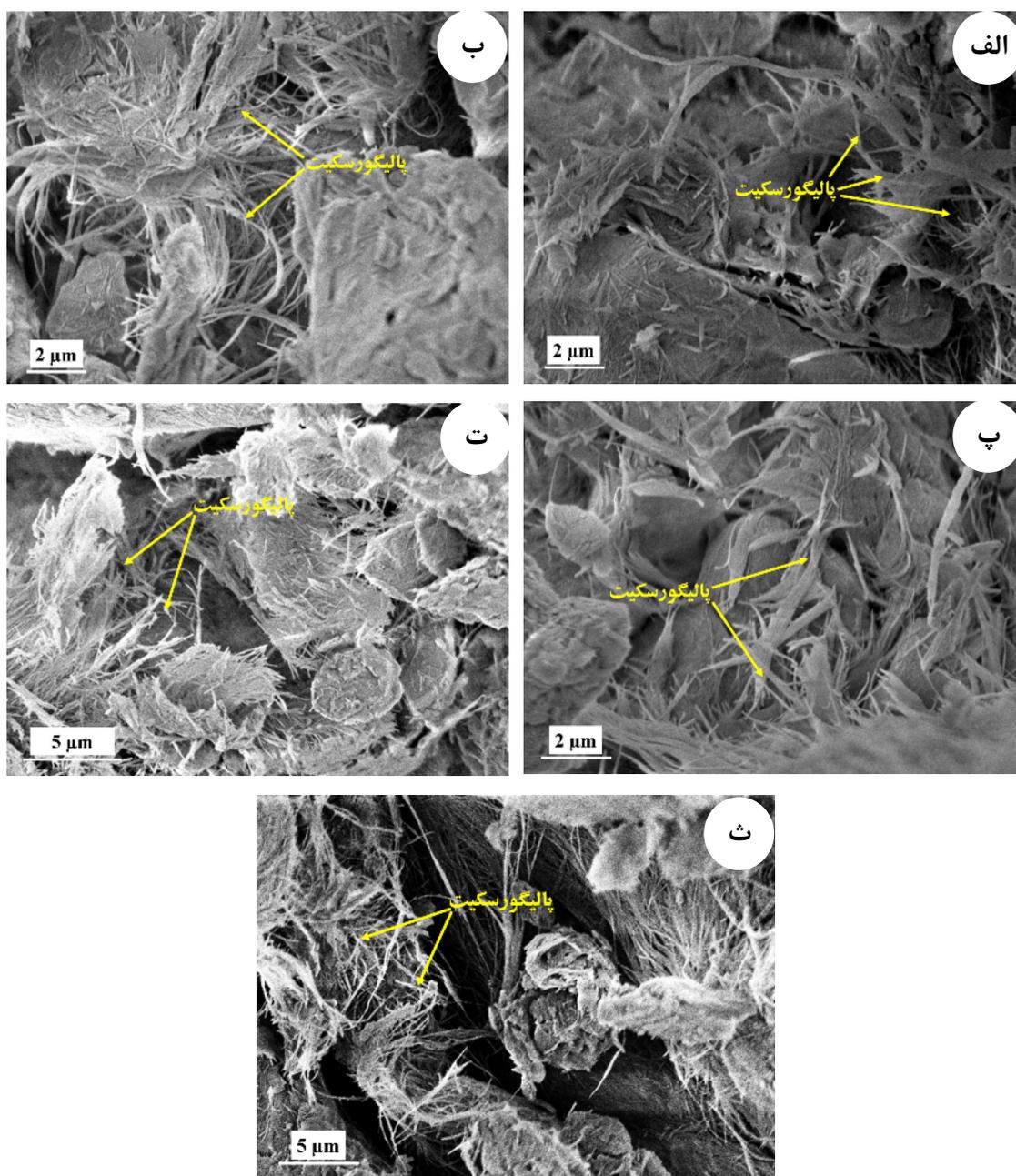
نتایج حاصل از بررسی پرتو نگاشت‌های پرتو ایکس، بیانگر حضور کانی‌های کوارتز، کلریت، اسمکتیت و میکا در همه‌ی خاک‌ها و رسوب‌های مورد بررسی است (شکل ۳). با توجه به حضور این کانی‌ها هم در خاک‌ها و هم در مواد مادری مورد بررسی، به نظر می‌رسد که خاستگاه این کانی‌ها در خاک‌های مورد بررسی توارثی است. خادمی و مرموت [۳] فراوانی حضور کانی‌های یاد شده را در برخی خاک‌های گچی گسترش یافته



شکل ۴ ریز نگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی در مواد مادری با سن ترشیری. تصاویر "الف" و "ب" بیانگر عدم حضور کانی پالیگورسکیت به ترتیب در رسوب‌های ائوسن و الیگوسن (مواد مادری نیمرخ‌های ۱ و ۲) و تصاویر "پ تا ج" نیز حضور این کانی را به ترتیب در رسوب‌های الیگوسن - میوسن، پلیوسن و مواد مادری نیمرخ‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ در منطقه ی مورد بررسی نشان می‌دهند.

درختی و مقادیر زیاد این کانی در خاک‌های مورد نظر (شکل-های ۲ و ۵) این احتمال را که این کانی خاستگاه آواری داشته باشد رد می‌کند [۲۰]. صالحی و همکاران [۹] در خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری، و خادمی و مرموت [۳] نیز در برخی از خاک‌های گچی ایران مرکزی تشکیل خاکساز پالیگورسکیت را گزارش کرده‌اند.

عدم حضور کانی پالیگورسکیت در مواد مادری ائوسن و الیگوسن و حضور مقادیر زیاد این کانی در خاک‌های تشکیل شده بر روی آن‌ها (شکل‌های ۳ و ۴) این ادعا را بازتاب می‌دهد که احتمالاً خاستگاه حضور کانی پالیگورسکیت در این خاک‌ها خاکزاد است. البته این احتمال که حضور کانی یاد شده در خاک‌های مورد بررسی به صورت آواری و در نتیجه انتقال از طریق آب یا باد باشد را نیز نباید نادیده گرفت. ولی مورفولوژی



شکل ۵ ریز نگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی در برخی از خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری ترشیاری. رشته‌های بلند و در هم تابیده پالیگورسکیت در تصاویر "الف تا ث" به تشکیل درجای این کانی به ترتیب در افق‌های Byz (نیمرخ شماره ۲)، Bz (نیمرخ شماره ۳)، Bky2 (نیمرخ شماره ۴)، By1 (نیمرخ شماره ۵) و Bk2 (نیمرخ شماره ۶) دارند.

مانند کلسیت، گچ و کانی‌های تبخیری دیگر دیده می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵). ریخت کشیده و بلند پالیگورسکیت در ریزنگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی که گاهی نیز به صورت کلاف‌های درهم تابیده دیده می‌شوند دلالت بر تشکیل درجای این کانی دارد. کریمی و همکاران [۲۴] نیز وجود رشته‌های بلند کانی پالیگورسکیت را در قاعده‌ی لس‌های عمیق دامنه‌ی گرانبه‌ها در جنوب مشهد نشانه‌ی تشکیل درجای این کانی معرفی کرده‌اند. همراهی پالیگورسکیت و کانی‌های تبخیری حکایت از مساعد بودن شرایط حاکم برای تشکیل این کانی در خاک‌ها و رسوب‌های بخش‌های مرکزی ایران و بویژه نقاط مورد بررسی دارد.

بیشترین مقدار کانی پالیگورسکیت در افق‌های انباشت گچ و افق‌های انباشت همزمان گچ و آهک مشاهده شد. افق‌های سالیک (Az و Bz) و کلسیک (Bk) نسبت به افق‌های ژیبسیک (By) مقادیر کمتری از کانی پالیگورسکیت را نشان دادند (شکل‌های ۳ و ۶). برای تشکیل کانی پالیگورسکیت در محیط خاک به شرایط ژئوشیمیایی ویژه‌ای از قبیل محیط قلیایی، فعالیت بالای H_4SiO_4 و Mg^{2+} نیاز است [۸]. همراهی پالیگورسکیت و افق‌های انباشت گچ و آهک احتمالاً به دلیل شرایطی است که از نظر ژئوشیمیایی در این افق‌ها پس از رسوب کلسیم به شکل‌های آهک و گچ پدید می‌آید. چنین شرایطی با افزایش میزان منیزیم محلول، محیط مناسبی را برای تشکیل کانی پالیگورسکیت فراهم می‌آورد [۸]. واندن هوول در ایالت نیو مکزیکوی آمریکا [۲۵] و میلوت و همکاران در مراکش [۲۶]، با مشاهده مقادیر فراوان کانی پالیگورسکیت در افق‌های کلسیک به خاستگاه پدوژنیک برای حضور این کانی در این خاک‌ها اشاره کرده‌اند.

اولیائی و همکاران [۱۰] تشکیل درجای کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های گچی و آهکی جنوب ایران در نتیجه‌ی رسوب گچ و آهک در این خاک‌ها گزارش کردند. ازواران و برزنجی [۲۷] نیز با بررسی خاک‌های بین‌النهرین در عراق بیشترین میزان حضور کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های گچی گزارش کرده‌اند. خادمی و مرموت [۳] عقیده دارند که رسوب گچ باعث افزایش نسبت Mg/Ca و pH محلول خاک شده و بدین ترتیب شرایط مناسب برای تشکیل پالیگورسکیت ایجاد می‌شود.

به‌منظور بررسی این که کدامیک از پارامترهای اندازه‌گیری شده بیشترین تاثیر را در تشکیل و پراکنش پالیگورسکیت دارند

از سوی دیگر میزان کانی پالیگورسکیت در مواد مادری الیگوسن- میوسن بیشتر از خاک‌های تشکیل شده بر روی آن- هاست (شکل ۳). کمتر بودن میزان کانی پالیگورسکیت در این خاک‌ها و توزیع یکنواخت این کانی در نیمرخ خاک‌های مورد بررسی می‌تواند نشان دهنده‌ی این واقعیت باشد که شرایط تشکیل این کانی در این خاک‌ها فراهم نبوده و حضور کانی پالیگورسکیت بیشتر به ارث رسیده از رسوب‌های ترشیاری است.

مقدار کانی پالیگورسکیت در مواد مادری با سن میوسن و خاک‌های گسترش یافته از آن‌ها تقریباً یکسان بوده و دارای توزیع نیمرخ یکنواخت اند (شکل ۳). لذا با توجه به شرایط یاد شده، پالیگورسکیت موجود در در این خاک‌ها احتمالاً دارای خاستگاه توارثی است. ویانی و همکاران [۲۱] نیز با توجه به دلایلی از قبیل مقدار کم پالیگورسکیت موجود در خاک‌ها، عدم وجود ارتباط بین پالیگورسکیت و چگونگی زهکشی خاک، توزیع یکنواخت آن در نیمرخ و شرایط ژئوشیمیایی حوضه‌ی آبرفت مرکزی کشور عربستان ثابت کردند که پالیگورسکیت موجود در این خاک‌ها از ماده‌ی مادری ریشه گرفته است.

مقایسه‌ی میزان کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های وابسته به دوره‌ی پلیوسن با خاک‌های گسترش یافته بر روی آن‌ها حاکی از غالب بودن میزان کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها نسبت به مواد مادری است. بیشتر بودن حضور کانی پالیگورسکیت نسبت به ماده‌ی مادری نشان می‌دهد که حداقل بخشی از کانی پالیگورسکیت موجود در این خاک‌ها خاستگاه خاکزایی دارد. اباحسین و سابق [۲۲] حضور پالیگورسکیت را در خاک‌های آهکی- باتلاقی دشت ال هاسا در عربستان به ارث رسیده از رسوب‌های با سن میوسن- پلیوسن معرفی می‌کند. اغروی [۲۳] معتقد است که حضور پالیگورسکیت در رسوب‌های دلتایی و دریاچه‌ای- آبرفتی منطقه بین‌النهرین در جنوب کشور عراق هر دو خاستگاه آواری (انتقال یافته از طریق باد و آب) و خود تشکیلی (همراه با دولومیت و گچ) دارند.

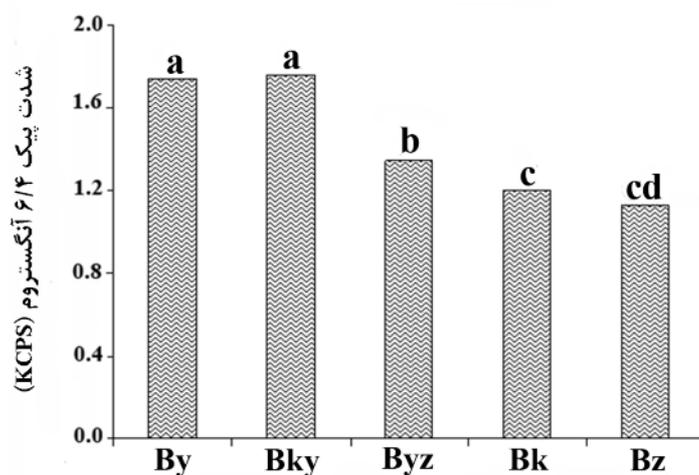
حضور و عدم حضور پالیگورسکیت در مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز بررسی شد. ریزنگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که این کانی بیشتر به صورت رشته‌هایی به طول چند تا بیشتر از ده میکرون و با ریختی کلافی شکل و در هم تابیده (شکل‌های ۴ و ۵) و در بیشتر موارد همراه با کانی‌هایی

یکدیگرند. حال آنکه بین مقدار اسمکتیت، ایلیت و رسانندگی الکتریکی (شاخص شوری) با مقدار پالیگورسکیت در خاک‌ها و مواد مادی ارتباط شدیدی از نوع منفی دیده می‌شود. ارتباط منفی بین شوری و مقدار کانی پالیگورسکیت می‌تواند علت کمتر بودن میزان کانی پالیگورسکیت را خاک‌های شور نسبت به خاک‌های آهکی و گچی توضیح بدهد. همچنین مشاهده می‌شود که ارتباط بین مقدار گچ با مقدار کانی پالیگورسکیت از ارتباط بین این کانی با مقدار آهک شدیدتر است. به عبارت دیگر نقش گچ در تشکیل و حفظ شرایط پایداری کانی پالیگورسکیت بیشتر از نقش آهک است.

از نکات دیگر اینکه، ارتباط مقدار پالیگورسکیت و نسبت Mg/Ca بیشتر از ارتباط بین میزان منیزیم محلول و مقدار کانی پالیگورسکیت است. به عبارت دیگر این نسبت Mg/Ca است که تشکیل و پراکنش کانی پالیگورسکیت را در خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی کنترل می‌کند نه میزان منیزیم محلول به تنهایی. نتایج این بررسی در راستای نتایجی است که پیشتر خادمی و مرموت [۳] برای توجیه ارتباط بین کانی پالیگورسکیت و گچ ارائه کرده بودند. در کل به نظر می‌رسد که تشکیل پالیگورسکیت در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ارتباط نزدیکی با تشکیل افق‌های انباشت کربنات‌ها (کلسیک) و گچ (ژئوسپیک) دارد. به طور کلی به نظر می‌رسد که شرایط ژئوشیمیایی خاک‌ها و رسوب‌های نقش تعیین کننده‌ای در تشکیل یا عدم تشکیل کانی پالیگورسکیت دارد.

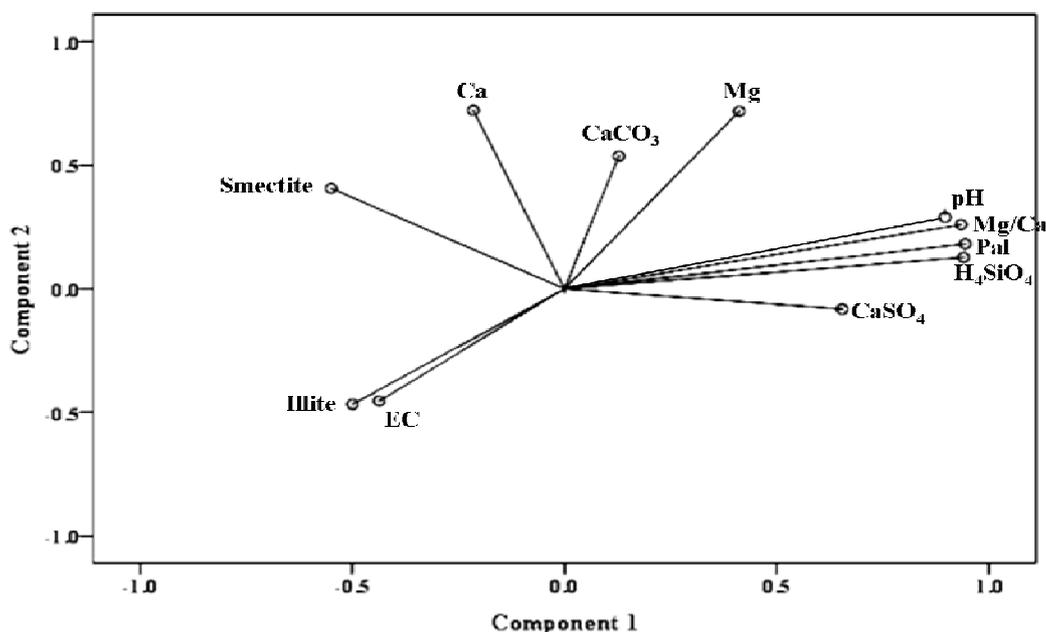
از تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد. در این روش تحلیل اطلاعات، با پارامترهای اندازه‌گیری شده دو فاکتور جدید تعریف می‌شود و این دو فاکتور به صورت دو محور عمود بر هم رسم می‌شوند. متغیرهای اندازه‌گیری شده به صورت بردارهای هم مرکز نمایش داده می‌شوند که راستای این بردارها تعیین کننده‌ی چگونگی تاثیرگذاری هر متغیر بر هر یک از دو فاکتور فرضی است. بنابراین متغیرهایی که راستای آن‌ها یکسان باشند در واقع دارای تاثیرگذاری یکسان بر فاکتورهای فرضی یکسان هستند، لذا می‌توان تصور کرد این متغیرها دارای ارتباط شدیدی با یکدیگرند حال در صورتی که این متغیرها راستای متفاوت داشته باشند دارای ارتباط شدید منفی هستند. هر چه زاویه‌ی بین راستای دو متغیر به ۹۰ درجه نزدیکتر باشد دلالت بر آن دارد که متغیرها دارای عملکرد و تاثیرگذاری متفاوت بوده و لذا دارای ارتباط ضعیفی با یکدیگرند [۲۸].

شکل ۷ ارتباط بین متغیرهای اندازه‌گیری شده را در کلیه خاک‌ها و مواد مادری بررسی شده با فاکتورهای فرضی محاسبه شده در تجزیه مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد. از آنجا که هیچکدام از ویژگی‌های کربن آلی و بافت خاک با پارامترهای اندازه‌گیری شده‌ی دیگر ارتباط معنی داری را نشان ندادند، لذا در تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی از این ویژگی‌ها استفاده نشد. مشاهده می‌شود که نسبت Mg/Ca ، pH، مقدار گچ، میزان سیلیس محلول و مقدار کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی دارای ارتباط شدید و مثبت با



شکل ۶ مقایسه‌ی شدت قله‌ی ۶/۴ آنکستروم پالیگورسکیت در پراش نگاشت‌های پرتو ایکس که بیانگر فراوانی بیشتر این کانی در افق‌های انباشت گچ (By) نسبت به افق‌های انباشت آهک (Bk) و نمک (Bz) است. اعداد مورد استفاده در رسم نمودار بالا میانگین خاک‌های مختلف است. حروف نا مشابه، تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Component Plot in Rotated Space

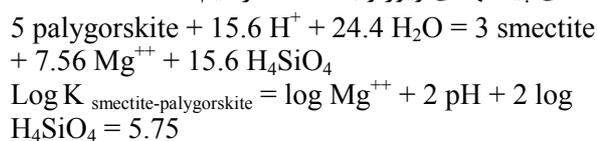


شکل ۷ نمایش تحلیل فاکتورها به روش تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی که بیانگر ارتباط بین پالیگورسکیت و متغیرهای دیگر در مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی است.

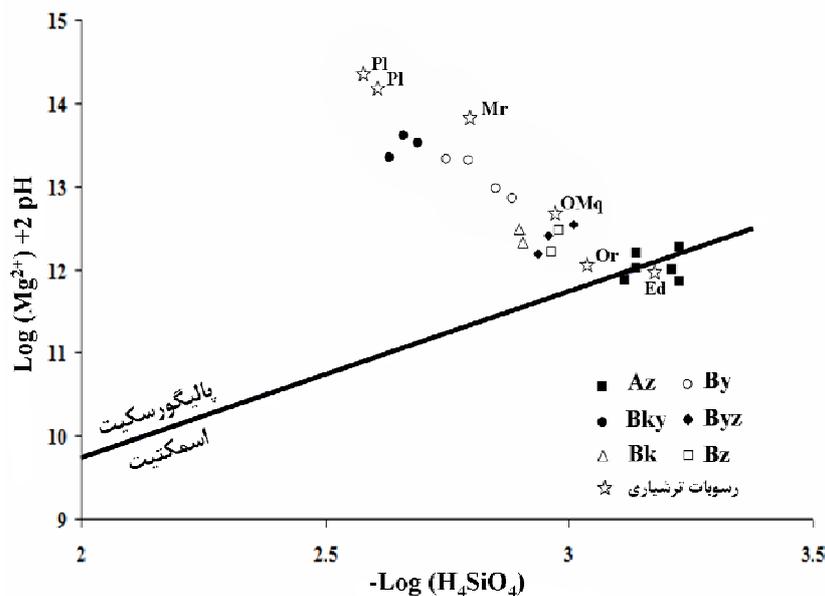
[۲۹] در منطقه‌ی پاتاگونای آرژانتین و مونگر و داورتی [۳۰] در بخش جنوبی ایالت نیومکزیکو با بهره‌گیری از نمودار پایداری اسمکتیت- پالیگورسکیت نشان دادند که شرایط برای تشکیل احتمالی کانی پالیگورسکیت از اسمکتیت در خاک‌های این مناطق مهیاست.

مقایسه‌ی نمودار پایداری کانی پالیگورسکیت در مواد مادری ترشیاری نیز حاکی از پایداری بیشتر کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های پلیوسن و میوسن نسبت به رسوب‌های ائوسن، الیگوسن و الیگوسن-میوسن است (شکل ۸). علیرغم عدم حضور کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های الیگوسن، شرایط ژئوشیمیایی این رسوب‌ها حاکی از پایداری نسبی کانی پالیگورسکیت و تشکیل احتمالی آن از اسمکتیت است. علت این امر به روشنی واضح نیست ولی بنا به عقیده‌ی مونگر و داورتی [۳۰]، یکی از دلایل ناموفق بودن نمودارهای پایداری اسمکتیت- پالیگورسکیت در پیش بینی پایداری و ناپایداری کانی‌های یاد شده کافی نبودن زمان تعادل در استخراج محلول خاک و رسوب برای پیش‌بینی شرایط ژئوشیمیایی خاک‌ها و رسوب‌های قدیمی است.

به‌منظور توجیه ارتباط منفی بین کانی‌های اسمکتیت و پالیگورسکیت و شناخت این مهم که آیا پالیگورسکیت موجود در خاک‌های مورد بررسی از اسمکتیت ایجاد شده است یا خیر، روابط تعادلی بین کانی اسمکتیت- پالیگورسکیت با استفاده از معادله‌ی پیشنهادی ویور و بک [۱۹] ترسیم شد.



نتایج نشان داد که کلیه‌ی خاک‌های مورد بررسی اعم از افق‌های سالیک، کلسیک و ژیبسیک در گستره‌ی پایداری کانی پالیگورسکیت واقع می‌شوند (شکل ۸). به عبارت دیگر در این خاک‌ها این کانی پالیگورسکیت است که پایدارترین فاز را تشکیل می‌دهد، ولی به‌نظر می‌رسد که شرایط پایداری کانی پالیگورسکیت در افق‌های انباشت همزمان گچ و آهک نسبت به خاک‌های دیگر مورد بررسی بیشتر است. حضور همزمان اسمکتیت و پالیگورسکیت در خاک‌های مورد بررسی، احتمال تشکیل کانی پالیگورسکیت را از اسمکتیت تقویت می‌کند، ولی اثبات این ادعا نیازمند اطلاعات بیشتری است. بوزا و همکاران



شکل ۸ نمودار پایداری سیستم پالیگورسکیت-اسمکتیت بر اساس ترکیب شیمیایی نمونه‌های خاک و مواد مادری مورد بررسی که بیانگر پایداری بیشتر پالیگورسکیت در افق‌های انباشت گچ نسبت به افق‌های انباشت آهک و نمک، و ناپایداری نسبی این کانی در برخی افق‌های سطحی و رسوب‌های ائوسن است.

برداشت

دوره‌ی ترشیری همراه با دمای زیاد هوا در طول این دوره، به تدریج منجر به تشکیل گچ شده و بدین ترتیب با افزایش نسبت Mg/Ca شرایط برای تشکیل کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها و رسوب‌های این مناطق فراهم شده‌اند.

قدردانی

هزینه‌های این پژوهش از سوی دانشگاه صنعتی اصفهان تامین شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود. همچنین از همکاری آزمایشگاه‌های XRD و SEM دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنا در انجام آزمایشات مربوطه سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

[1] Brady N. C., Weil R. R., "The Nature and properties of soils. 12th edition", Prentice Hall, New York, (1998) 881 p.

[۲] قبادیان ع، "سیمای فلات ایران"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۶۹).

[3] Khademi H., Mermut A. "Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran", Clay Minerals 33 (1998) 561-578.

[۴] بنایی م. ح، مومنی ع، بای بوردی م، ملکوتی م. ج، "خاک‌های ایران: تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری"، انتشارات سینا، (۱۳۸۴) ۴۸۱ صفحه.

به‌طور کلی در خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت دیده می‌شوند. کانی پالیگورسکیت موجود در این خاک‌ها بیشتر به ارث رسیده از مواد مادری و در مواردی نیز با خاستگاه خاکساز مشاهده شد. مهم‌ترین عوامل موثر در تشکیل کانی پالیگورسکیت در این مناطق نسبت pH ، Mg/Ca ، میزان سیلیس محلول و مقدار حضور کانی‌های گچ، آهک و املاح است. حضور همزمان کانی‌های تبخیری مانند گچ، نمک و آهک با کانی پالیگورسکیت می‌تواند نشان دهنده‌ی تشکیل این کانی در یک محیط تبخیری باشد. ریز نگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز حکایت از تشکیل درجای کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها و رسوب‌های مورد بررسی دارد. ترسیم نمودار پایداری اسمکتیت-پالیگورسکیت نشان دهنده‌ی پایداری پالیگورسکیت در خاک‌های شور، گچی و آهکی مورد بررسی دارد. ولی شرایط ژئوشیمیایی برای پایداری این کانی در خاک‌های گچی بیشتر از خاک‌های شور و آهکی است.

به‌طور کلی به نظر می‌رسد که تشکیل و حضور پالیگورسکیت در خاک‌های مورد بررسی به تاریخچه‌ی زمین-شناسی منطقه نیز وابسته است. وجود شرایط مردابی در اواخر

- in a peri-marine environment", *Sedimentary Geology* 17 (1977) 1-234.
- [19] Farpoor M.H., Khademi H., Eghbal M.K., "Genesis and distributon of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces", *Iranian Agricultural Research* 21 (2002) 39-60.
- [20] Verrecchia E. P., Le Coustumer M. N., "Occurrence and genesis of palygorskite and associated clay minerals in a Pleistocene calcrete complex, Sde Boqer, Negev Desert, Israel", *Clay Minerals* 31 (1996) 183-202.
- [21] Viani B. E., Al-Mashhady A. S., Dixon J. B., "Mineralogy of Saudi Arabian soils: central alluvial basin", *Soil Science Society of America Journal* 47 (1983) 149-157.
- [22] Aba-Husayn M. M., Sayegh A. H., "Mineralogy of Al-Hasa desert soils", *Clays and Clay Minerals* 25 (1977) 138-147.
- [23] Aqrawi A. A. M., "Palygorskite in the recent fluviolacustrine and deltaic sediments of southern Mesopotamia", *Clay Minerals* 28 (1993) 153-159.
- [۲۴] کریمی ع.، جلالیان ا.، خادمی ح.، "تشکیل و توزیع پالیگورسکیت و کانی‌های رسی همراه در خاک‌ها و ته نشست‌های جنوب مشهد"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۴ (۱۳۸۷) ص ۵۴۵-۵۵۸.
- [25] Vanden Huevel R. C., "The occurrence of sepiolite and attapulgite in the calcareous zone a soil near Las Cruces, New Mexico", *Clays and Clay Minerals* 13 (1966) 193-207.
- [26] Millot G., Nahon D., Paquet H., Ruelian A., Tardy Y., "Lepigenie calcaire des roches silicatees dans les encroutements carbonate en pays sub-aride Anti-Atlas, Maroc", *Science of Geology Bulletin* 30 (1977) 129-152.
- [27] Eswaran J., Barzanji A. F., "Evidence for the neoformation of attapulgite in some soils of Iraq" *Proceeding of 10th International Congress of Soil Science, Moscow*, 7 (1974) 154-161.
- [28] Kenkel N., "On selecting an appropriate multivariate analysis", *Canadian Journal of Plant Sciences* 86 (2006) 663-676.
- [29] Bouza P. J., Simon M., Aguilar J., del Valle H., Rostagno M., "Fibrous clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northern Patagonia, Argentina", *Geoderma* 139 (2007) 38-50.
- [30] Monger H. C., Daugherty L. A., "Neoformation of palygorskite in a southern New Mexico Aridisol", *Soil Science Society of America Journal* 55 (1991) 1646-1650.
- [5] Khademi H., Mermut A. R., "Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in selected Iranian Aridisols", *European Journal of Soil Science* 50 (1998) 207-216.
- [6] Henderson S.G., Robertson R.H.S., "A Mineralogical Reconnaissance in Western Iran". Resource Use Ltd. Glasgow, UK (1958).
- [7] Burnett A.D., Fookes P.G., Robertson R.H., "An engineering soil at Kermanshah, Zagros Mountains, Iran", *Clay Minerals* 9 (1972) 329-343.
- [8] Singer A., "Palygorskite and sepiolite group minerals", in: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America. Madison (1989) 829-872.
- [۹] صالحی م. ح.، خادمی ح.، کریمیان اقبال م.، "شناسایی و نحوه تشکیل کانی‌های رسی در خاک‌های منطقه فرخشهر، استان چهارمحال و بختیاری"، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۱ (۱۳۸۲) ص ۷۳-۸۹.
- [10] Owliaei H. R., Abtahi A., Heck R. J., "Pedogenesis and clay mineralogical inverigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran", *Geoderma* 134 (2006) 62-81.
- [11] Khormali F., Abtahi A., "Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran", *Clay Minerals* 40 (2005) 191-203.
- [12] www.irimo.ir/english/statistics/climn/index.asp
- [13] Nabavi M. H., Houshmand-zadeh A., Bakhtiari A., "Anarak geological quadrangle map of Iran no. G7. Scale 1:250000", Ministry of Mines and Metals and Geological Survey of Iran, (1986).
- [14] Nabavi M. H., Houshmand-zadeh A., "Khur geological quadrangle map of Iran no. H7. Scale 1:250000", Ministry of Mines and Metals and Geological Survey of Iran, (1987).
- [15] Amidi S. M., "Abadeh geological quadrangle map of Iran no. G9. Scale 1:250000", Ministry of Mines and Metals and Geological Survey of Iran, (1983).
- [16] USDA-NRCS., "Soil survey laboratory methods manual", Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 3.0 (1996) 693 p.
- [17] Jackson M.L., "Soil chemical analysis advanced course", 2nd edition., 11th Printing, University of Wisconsin, College of Agriculture, Madison, WI, U.S.A. (1979) 991 p.
- [18] Weaver C. E., Beck K. C., "Miocene of S.E. United States: a model for chemical sedimentation