



پراکنش و تشکیل کانی پالیگورسکیت در برخی از رسوبات ترشیاری ایران مرکزی

حسین خادمی*، سعید حجتی

گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۸/۱/۱۸، نسخه نهایی: ۸۸/۷/۱۵)

چکیده: پالیگورسکیت از جمله کانی‌های رسی فیبری فراوان در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک و رسوب‌های ترشیاری به ویژه در منطقه‌ی خاورمیانه است. این کار پژوهشی با هدف بررسی حضور کانی پالیگورسکیت در برخی از رسوب‌های ترشیاری در ایران مرکزی و ایجاد ارتباط بین رسوب‌های حاوی این کانی‌ها و زمین‌شناسی و جغرافیای دیرین این منطقه انجام شده است. بدین منظور بر پایه‌ی مشاهدات صحرایی و آگاهی‌های ارائه شده در نقشه‌های زمین‌شناسی از رسوب‌های وابسته به دوره‌های مختلف ترشیاری شامل پالئوسن، ائوسن، الیگوسن، الیگوسن-میوسن، میوسن و پلیوسن در ۱۲ نقطه نمونه‌برداری به صورت مرکب انجام شد. نمونه‌های گرفته شده پس از آماده‌سازی، با دستگاه پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی عبوری و روبشی بررسی شدند. نتایج حاصل نشان داد که کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های با سن پالئوسن، ائوسن و الیگوسن مشاهده نمی‌شود در حالیکه رسوب‌های با سن میوسن و پلیوسن حاوی مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت هستند. اسمکتیت فروانترین کانی همراه با پالیگورسکیت تشخیص داده شد. رسم نمودار پایداری کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های مورد بررسی نشان داد که در رسوب‌های با سنین میوسن و پلیوسن پالیگورسکیت در مقایسه با کانی اسمکتیت پایداری بیشتری دارد و در این رسوب‌ها شرایط برای تشکیل کانی پالیگورسکیت از اسمکتیت محتمل به نظر می‌رسد. حضور پالیگورسکیت در رسوب‌های دوران سوم این مطلب را تأیید می‌کند که یکی از منابع اصلی حضور پالیگورسکیت در خاک‌های ایران مرکزی و با احتمال زیاد نقاط دیگر کشور با شرایط مشابه این است که پالیگورسکیت از مواد مادری به ارث می‌رسد. به نظر می‌رسد که شرایط ژئوشیمیایی دریای تتیس طی ترشیاری و با حرکت از پالئوسن به پلیوسن به تدریج برای تشکیل کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های ترشیاری ایران مرکزی فراهم شده و شرایط خشک حاکم بر بخش زیادی از اراضی مرکزی، جنوبی و شرقی کشور باعث پایداری بعدی این کانی‌ها در خاک‌های تشکیل شده از این رسوب‌ها شده است.

واژه‌های کلیدی: ترشیاری، پالیگورسکیت، اسمکتیت دریای تتیس، ایران مرکزی.

مقدمه

گذشته راه گشا باشد [۱]. اهمیت شناسایی کانی‌های رسی در خاک به حدی است که به اعتقاد برادی و ویل [۲] نوع کانی-های موجود در خاک بیانگر مرحله‌ی هوازدهی خاک است. پالیگورسکیت و سیپولیت از جمله کانی‌های رسی الیافی ۲:۱

تشکیل کانی‌های رسی نیازمند شرایط فیزیکوشیمیایی و اقلیمی ویژه‌ای است، لذا آگاهی از حضور کانی‌ها در خاک‌ها و رسوب‌ها می‌تواند در بازسازی شرایط اقلیمی و جغرافیایی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۹۱۳۰۷۸ (۰۳۱۱)، نمابر: ۳۹۱۳۴۷۱ (۰۳۱۱)، پست الکترونیکی: hkhademi@cc.iut.ac.ir

این کار پژوهشی با هدف: الف) شناسایی کانی پالیگورسکیت در برخی از رسوب‌های ترشیاری استان اصفهان به عنوان نمونه-های بارزی از ایران مرکزی، ب) تغییر پذیری حضور کانی‌های فیبری و به طور عمده پالیگورسکیت در رسوب‌ها و سنگ‌های با سنین مختلف ترشیاری و ج) ایجاد ارتباط بین رسوب‌های حاوی پالیگورسکیت و زمین‌شناسی و جغرافیای دیرینه ایران مرکزی صورت گرفت.

ناحیه‌ی مورد بررسی

موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است. منطقه‌ی مورد بررسی از نظر اقلیمی خشک با تابستان‌های گرم است. میانگین دمای سالیانه در این منطقه از ۱۶ تا ۲۱ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی در سال از ۸۶ تا ۱۹۵ میلیمتر تغییر می‌کند [۲۰].

روش بررسی

بر اساس بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی، از ۱۲ نقطه در استان اصفهان نمونه برداری شد، و از هر نقطه سه نمونه به صورت مرکب برداشت شد. در نهایت در هر یک از نقاط نمونه‌برداری نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط شدند و برای بررسی‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. مواد مادری مورد بررسی، رسوب‌های با سنین پالئوسن، ائوسن، الیگوسن، الیگومیوسن، میوسن و پلیوسن بوده‌اند. جدول ۱ مشخصات زمین‌شناسی رسوب‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد [۲۱-۲۴].

نمونه‌های رسوب پس از جمع‌آوری و انتقال به آزمایشگاه، نخست با الک ۲ میلیمتری الک شدند. نمونه‌های سنگ نیز نخست با آسیاب خرد شده و سپس با الک ۲ میلیمتری غربال شدند. پیش از بررسی‌های کانی‌شناسی، نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. برای آزمایش‌های کانی‌شناسی رسی، نخست نمونه‌های مورد بررسی پیش تیمار شدند. بدین معنی که از استات سدیم با واکنش معادل ۵ برای حذف کربنات‌ها و نمک‌های محلول استفاده شده و گچ موجود در نمونه‌ها با شستشوی مکرر با آب مقطر خارج شد. برای حذف ماده‌ی آلی آب اکسیژنه ۳۰٪ مورد استفاده قرار گرفت. حذف اکسیدهای آهن از نمونه‌ها نیز با استفاده از تیمار سیترات-بیکربنات-دی تیونات صورت گرفت. پس از آماده سازی‌های اولیه، اجزای مختلف هر نمونه (رس، سیلت و ماسه) تفکیک شدند و کانی‌شناسی تنها روی بخش رس انجام گرفت [۲۵].

هستند که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک گسترش زیادی دارند [۳]. اعتقاد بر این است که تشکیل کانی‌های رسی الیافی در طول دوره‌های اقلیمی گرم، مانند ترشیاری، و در محیط‌های آبی کم عمق مانند لاگون‌های تبخیری تسریع می‌شود [۴].

فلات مرکزی ایران بخشی از مسیر عبور دریای قدیمی تتیس بوده است [۵] که در اواخر کرتاسه از اقیانوس اصلی جدا شده [۶] و به دنبال آن در طول دوره‌ی ترشیاری تعداد زیادی حوضه‌های کم عمق و شور تشکیل شده است [۷]. اعتقاد بر این است که این حوضه‌ها محیط مناسبی برای تشکیل کانی‌های الیافی مانند پالیگورسکیت و سپیولیت هستند [۸].

بررسی‌ها نشان داده است که بخش رس بسیاری از خاک‌ها و رسوب‌های جوانتر از کرتاسه در منطقه‌ی خاورمیانه غنی از کانی پالیگورسکیت است [۹-۱۲]. هندرسون و رابرتسون [۱۳] و بارت و همکاران [۱۴] اولین افرادی بودند که حضور کانی پالیگورسکیت را در خاک‌ها و رسوب‌های ایران گزارش کرده‌اند. خادمی و مروت [۸] وجود کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های گچی و برخی رسوب‌های ایران مرکزی ثابت کردند و این کانی را به عنوان کانی غالب سیلیکاتی موجود در این خاک‌ها و رسوب‌های آهکی وابسته به دوره‌ی الیگوسن-میوسن در این منطقه معرفی کردند. در این کار پژوهشی نشان داده شد که شیل‌های ژوراسیک و آهک‌های کرتاسه حاوی مقادیر بسیار کمی از کانی پالیگورسکیت هستند. خرمالی و همکاران [۱۵] وجود کانی پالیگورسکیت را در رسوب‌های اواخر پالئوسن در جنوب ایران گزارش کردند. فرپور و همکاران [۱۶] نیز کانی پالیگورسکیت را در رسوب‌های نئوژن کویر لوت شناسایی و گزارش کردند. اگر چه تعداد بررسی‌هایی که وجود کانی پالیگورسکیت را در رسوب‌های و سنگ‌های دوران سنوزوئیک ایران ثابت کردند، کم نیست [۸، ۱۵ و ۱۶] ولی تعداد بررسی‌هایی که به صورت جامع وجود کانی پالیگورسکیت را در طیف گسترده‌ای از رسوب‌ها و سنگ‌های ترشیاری در ایران مورد بررسی قرار داده باشند بسیار اندک است. رسوب‌های یاد شده از جمله مهمترین مواد مادری خاک‌های تشکیل شده در منطقه‌ی ایران مرکزی هستند که در نقاط دیگر کشور نیز گزارش شده‌اند [۱۷-۱۹]. همچنین تعداد بررسی‌هایی که تغییر پذیری و پراکنش کانی‌های فیبری را در رسوب‌ها و سنگ‌های با سنین مختلف ترشیاری در نظر گرفته باشند اندک است. لذا

مقدار ۴۰ میلی گرم از بخش رس مربوط به هر نمونه به دقت توزین و تحت تیمارهای اشباع سازی با کلرور منیزیم، اشباع با کلرور پتاسیم، تیمار با بخار اتیلن گلیکول روی نمونه‌های اشباع شده از منیزیم و تیمار گرمایی در ۵۵۰ درجه سانتیگراد روی نمونه‌های اشباع شده از پتاسیم قرار گرفتند [۲۶]. نمونه‌های تیمار شده با دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Bruker (D8, USA) با ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و جریان ۲۰ میلی آمپر و با فلز هدف کبالت در آزمایشگاه پراش پرتو ایکس دانشگاه

بریتیش کلمبیای شمالی کانادا تجزیه شد، و نمودارهای پراش پرتو ایکس تیمارهای مختلف هر نمونه تهیه شدند.

پس از تفکیک بخش رس و پیش از خشک کردن نمونه‌ها، یک قطره از محلول موجود روی شبکه‌های مسی چکانده شد و سپس با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری هیتاچی مدل H7000 دانشگاه آلبرتا (کشور کانادا) مورد بررسی و مشاهده قرار گرفت.



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی و نقاط نمونه برداری شده.

جدول ۱ سن و نوع رسوب‌های مورد بررسی [۲۱ تا ۲۴].

نمونه	سن رسوبها	نوع رسوبها
۱	پالئوسن - آئوسن	سازند چوپانان (سنگ آهک ماسه‌ای)
۲	آئوسن	کنگلومرای خاکستری، ماسه سنگ و مارن (سازند دره انجیر)
۳	الیگوسن	سازند قرمز پائینی (کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و لای سنگ)
۴	الیگوسن	سازند قرمز پائینی (کنگلومرای قرمز، مارن، ماسه سنگ، شیل، رس سنگ و گچ)
۵	الیگوسن-میوسن	سازند قم (سنگ آهک، مارن و کانی‌های تبخیری)
۶	الیگوسن - میوسن	مارن و آهک
۷	میوسن	سازند قرمز بالایی (مارن خاکستری گچ دار)
۸	میوسن	سازند قرمز بالایی (مارن قرمز گچ دار)
۹	میوسن	سازند قرمز بالایی (مارن خاکستری)
۱۰	پلیوسن	مارن‌های خاکستری رنگ
۱۱	پلیوسن	مارن‌های قرمز رنگ
۱۲	پلیوسن	مارن‌های درون ماسه سنگ و کنگلومرا (سازند هزار دره)

اسیدیته نمونه‌ها از ۷/۳۱ تا ۸/۷۶ در تغییر است. این شرایط حاکی از وجود محیط کمی قلیایی در زمان تشکیل رسوب‌های مورد بررسی است.

نتایج کانی شناسی رس‌ها در نمونه‌های وابسته به دوره‌های مختلف ترشیاری در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند. پراش نگاشت‌های پرتو ایکس حاکی از حضور کانی‌های کوارتز (0.426 نانومتر)، میکا (0.1 ، 0.498 و 0.333 نانومتر)، اسمکتیت (0.142 نانومتر)، کلریت (0.713 و 0.473 نانومتر) و پالیگورسکیت (1.056 و 0.644 نانومتر) در نمونه‌های مورد بررسی است (جدول ۲ و شکل ۲). به دلیل همپوشانی قله‌های رده‌ی دوم و چهارم کلریت با رده‌ی اول و دوم کائولینیت، برای شناسائی کائولینیت باید از قله‌ی رده‌ی سوم کائولینیت (0.24 نانومتر) استفاده کرد [۲۸]. به دلیل عدم وجود قله‌ی یاد شده، کائولینیت تشخیص داده نشد. قله‌های 0.644 و 1.056 نانومتر نشان دهنده‌ی وجود پالیگورسکیت است. شناسائی پالیگورسکیت با استفاده از قله‌ی 1.056 نانومتر به دلیل نزدیکی با قله‌ی ۱ نانومتر میکا مشکل است، به همین دلیل معمولاً از قله‌ی 0.644 نانومتر برای شناسائی پالیگورسکیت استفاده می‌شود. نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس حضور پالیگورسکیت را فقط در بعضی از نمونه‌ها تأیید می‌کند که نشان دهنده‌ی شرایط ویژه برای تشکیل این کانی است.

برای مشاهده‌ی ریخت‌شناختی پالیگورسکیت در حالت طبیعی، نمونه‌های خیلی کوچک و دست نخورده با چسب کربن روی پایه‌های آلومینیومی چسبانده و با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند. این نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلپس مدل XLS 30 در دانشگاه بریتیش کلمبیای شمالی (کشور کانادا) مورد بررسی قرار گرفتند. میزان حضور کانی پالیگورسکیت با استفاده از روش آنالیز تصویر روی تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی عبوری برآورد شد [۲۶].

مقدار آهک در نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از روش تیتراسیون برگشتی تعیین شد. برای تعیین مقادیر کلسیم و منیزیم محلول از روش تیتراسیون با ورسین استفاده شد. مقدار سیلیس محلول در نمونه‌ها نیز با استفاده از روش رنگ سنجی و از روی شدت رنگ آبی تولید شده در نمونه‌ها تعیین شد [۲۶]. اسیدیته (pH)، کلسیم، منیزیم و سیلیس محلول در عصاره اشباع نیز اندازه‌گیری شد.

برای رسم نمودارهای پایداری کانی پالیگورسکیت در نمونه‌های مورد بررسی از نرم افزار EXCEL و روابط تعادلی ارائه شده توسط ویور و بک [۲۷] استفاده شد.

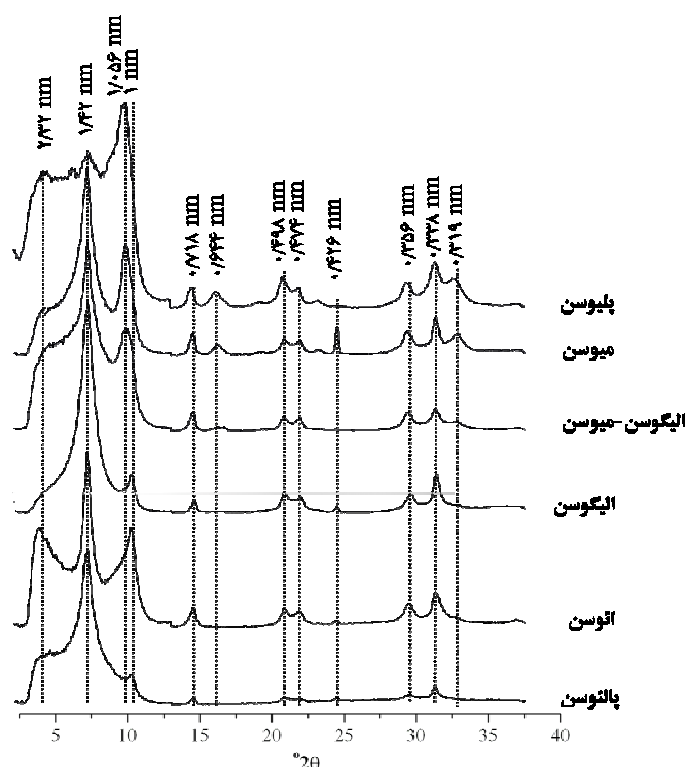
بحث و بررسی

برخی از ویژگی‌های نمونه‌های مورد بررسی در جدول‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌شود کلیه نمونه‌های مورد بررسی دارای مقادیر متوسط تا زیاد آهک بوده و

جدول ۲ ترکیب شیمیایی و فراوانی نسبی کانی پالئوگروسکیت در بخش رس فاقد کربنات در رسوب‌های مورد بررسی.

آهک	Mg ⁺⁺	H ₄ SiO ₄	pH	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	فراوانی	نمونه
mg Kg ⁻¹	(mmol _(c) L ⁻¹)			mg Kg ⁻¹									
۸۳۰	۰٫۵۱	۰٫۳۷	۷٫۵۱	۷٫۵	۳٫۲	۱٫۶	۴۲٫۸	۴۵٫۵	۱۶۹٫۵	۲۵٫۹	۴۲۱	-	۱
۱۷۵	۰٫۴۵	۰٫۳۱	۷٫۳۲	۵٫۶	۴٫۸	۱٫۳	۷۱٫۸	۸۸٫۵	۱۹۴٫۵	۴۷٫۵	۳۸۶	-	۲
۲۴۵	۰٫۶۱	۰٫۴۱	۷٫۶۵	۷٫۹	۴٫۸	۱٫۲	۴۶٫۰	۶۱٫۰	۱۸۰٫۸	۵۵٫۶	۴۵۲	-	۳
۲۶۵	۰٫۴۷	۰٫۴۶	۷٫۳۱	۵٫۶	۱٫۸	۰٫۱	۵۶	۶۷	۱۶۱٫۶	۳۳٫۴	۳۹۶	-	۴
۳۲۰	۱	۰٫۶۶	۸٫۳۷	۷٫۶	۴٫۶	۱٫۲	۴۳٫۸	۵۸٫۲	۱۷۲٫۵	۵۳	۴۳۱	xx	۵
۲۸۰	۲٫۸	۱٫۲۵	۸٫۷۶	۷٫۵	۲٫۰	۰٫۷	۴۰٫۰	۹۰٫۵	۱۷۳٫۱	۶۴٫۰	۴۰۷	xxxxxx	۶
۲۹۰	۳٫۰	۱٫۴۳	۸٫۵۳	۷	۵٫۳	۱٫۶	۳۵٫۶	۵۸٫۸	۱۷۲٫۰	۶۶٫۲	۴۳۸	xxxxxx	۷
۳۲۰	۰٫۵۶	۰٫۷۶	۷٫۴۱	۵٫۴	۲٫۶	۰٫۳	۵۵٫۰	۶۶٫۷	۱۷۴٫۰	۵۵٫۸	۴۲۳	x	۸
۱۴۵	۱٫۸	۰٫۹۹	۸٫۵۳	۶٫۰	۳٫۲	۱٫۳	۵۲٫۸	۸۱٫۲	۱۶۶٫۲	۷۵٫۰	۳۹۸	xxx	۹
۲۷۰	۰٫۸۰	۰٫۷۱	۸٫۲۷	۷٫۲	۴٫۵	۱٫۸	۵۳٫۶	۸۴٫۰	۱۷۹٫۴	۷۴٫۰	۴۰۴	xxx	۱۰
۴۱۰	۳٫۲	۳٫۷	۸٫۵۴	۸٫۷	۳	۲٫۵	۳۳٫۴	۱۱۱٫۲	۱۶۲٫۵	۷۹٫۶	۳۸۳	xxxxxxx	۱۱
۳۲۰	۱٫۴	۰٫۸۲	۸٫۳۸	۵٫۴	۱٫۳	۰٫۱	۴۱٫۰	۷۳٫۵	۱۶۴٫۷	۵۶٫۶	۳۷۸	xxx	۱۲

١) فراوانی، نسبی، کانه، بالگو، سکتیت: $\leq 70\%$ = xxxxxxxx, $70-85\%$ = xxxxx, $85-90\%$ = xxx, $90-95\%$ = xx, $95-100\%$ = x, ND = غیر قابل تشخیص.

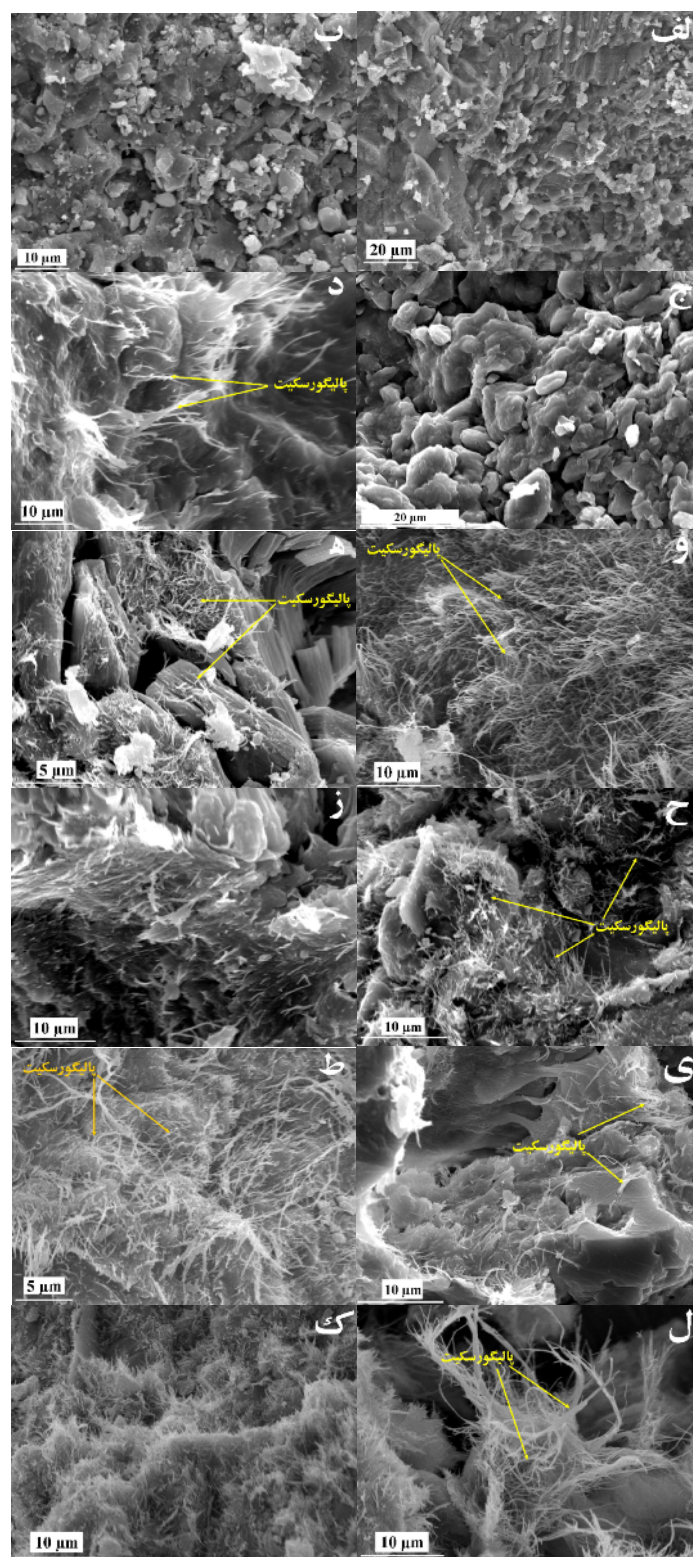


شکل ۲ پراش نگاشت‌های پرتو ایکس تیمار منیزیم اشباع در نمونه‌های شاهد مربوط به دوره‌های مختلف ترشیری. عدم حضور کانی پالیگورسکیت در نمونه‌های وابسته به پالئوسن، اتوسن و الیگوسن بر اساس قله‌های ۰۶۴۴ و ۱۰۵۶ نانومتر، مقدار کم این کانی رسی در الیگوسن-میوسن و افزایش آن در میوسن و پلیوسن کاملاً مشخص است.

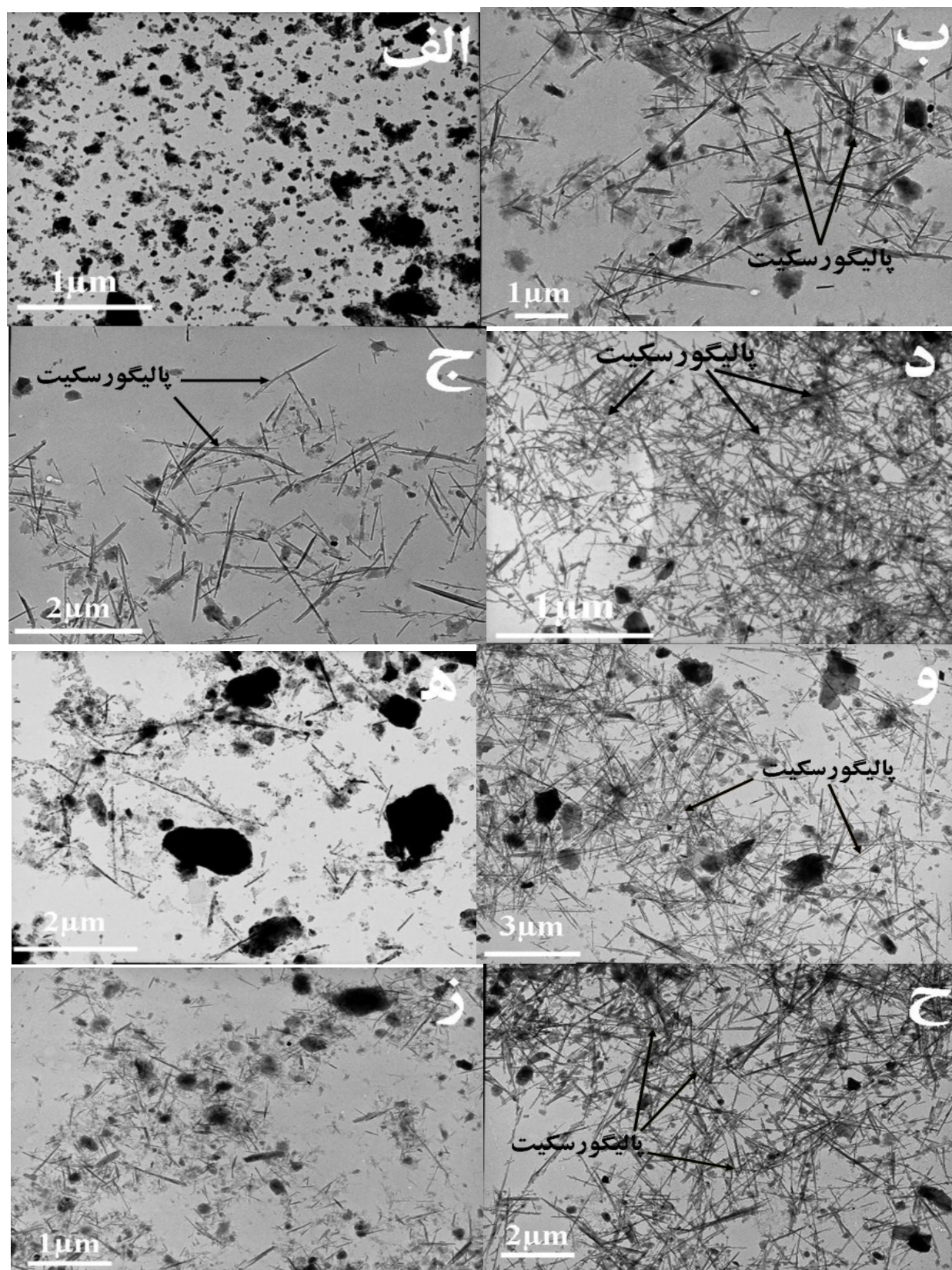
بخش‌های مختلف دریای تیس الگوهای مختلفی از توزیع کانی پالیگورسکیت را نشان می‌دهند به نظر می‌رسد که در ایران مرکزی شرایط تشکیل کانی پالیگورسکیت تا اواخر الیگوسن فراهم نبوده است. خادمی و مرموت [۸] وجود کانی پالیگورسکیت و سیپولیت در بخش رس سنگ آهک‌های الیگومیوسن ایران مرکزی را ثابت کردند.

در رسوب‌های جوانتر از الیگوسن مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت دیده می‌شود [شکل‌های ۳ و ۴]. با جوانتر شدن رسوب‌ها بر میزان کانی پالیگورسکیت افزوده می‌شود به طوریکه در رسوب‌های پلیوسن بیشترین میزان کانی پالیگورسکیت دیده می‌شود. لی و همکاران [۳۰] مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت را در سنگ آهک‌های میوسن- پلیوسن و خاک‌های وابسته در بخش‌های شرقی عربستان گزارش کردند. ابا حسین و ساق [۳۱] نیز حضور کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های آهکی دشت الهاسا نتیجه به ارث رسیدن از رسوب‌های میو پلیوسن همجوار گزارش کردند.

در نمونه‌های وابسته به دوره‌های پالئوسن، ائوسن و الیگوسن شواهدی از حضور کانی پالیگورسکیت دیده نشد. این نتایج تا حدودی با برخی از بررسی‌هایی هماهنگ است که عدم حضور کانی پالیگورسکیت را در رسوب‌های با سن پالئوسن در مناطقی که به عنوان قلمرو دریای تتیس تصور می‌شود، گزارش کرده‌اند. در منطقه‌ی نیجو فلسطین اشغالی تشکیل کانی پالیگورسکیت از اواسط پالئوسن آغاز شده است [۱] در حالی که در بخش‌های جنوبی تونس و مصر شرایط برای تشکیل کانی پالیگورسکیت تا اوایل دوره‌ی ائوسن فراهم نبوده است. جاموسی و همکاران [۲۹] احتمال حضور پالیگورسکیت را در رسوب‌های قاره‌ای دوره‌ی ائوسن در کشور تونس مورد بررسی قرار دادند و حضور مقادیر زیادی از پالیگورسکیت را در آن‌ها گزارش کردند [۲۹]. در بخش رس این رسوب‌ها، علاوه بر پالیگورسکیت کانی‌های دیگری مانند ایلیت، کائولینیت، اسمکتیت‌های منیزیم‌دار و آلومینیوم‌دار (همراه با کانی‌های کربناتی مانند کلسیت یا دولومیت)، کوارتز، گچ و فلدسپار نیز مشاهده شد [۲۹]. گرچه از اواخر پالئوسن تا اوایل ائوسن



شکل ۳ ریز نگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌های وابسته به دوره‌های مختلف ترشیاری. تصاویر "الف تا ج" عدم حضور بلورهای رشته-ای شکل کانی پالیکورسکیت را به ترتیب در نمونه‌های وابسته به دوره‌های پالئوسن، ائوسن و الیگوسن، تصاویر "د تا ل" فراوانی کانی پالیکورسکیت در رسوب‌های جوانتر از الیگوسن-میوسن، میوسن و پلیوسن و شکل "ی" خود زایی کانی پالیکورسکیت را نشان می‌دهد. حروف "الف" تا "ل" به ترتیب به نمونه‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ که در جدول ۱ ارائه شده‌اند اشاره دارد.



شکل ۴ ریز نگاشت میکروسکوپ الکترونی عبوری در نمونه‌های وابسته به دوره‌های مختلف ترشیری نمایانگر عدم حضور بلورهای رشته‌ای شکل کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های الیگوسن (الف) و فراوانی آن در رسوب‌های جوانتر از الیگوسن (تصاویر ب تا ح). حروف "الف" تا "ح" به ترتیب به نمونه‌های ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ که در جدول ۱ ارائه شده‌اند اشاره دارد.

حضور کانی‌های فیبری در رسوب‌های مورد بررسی با میکروسکوپ الکترونی عبوری و روبشی نیز ثابت شد. کانی پالیگورسکیت و سپیولیت هر دو دارای ریخت‌شناسی فیبری بوده و تشخیص آن‌ها با میکروسکوپ الکترونی مشکل است [۳۲] لذا برای تشخیص اینکه آیا ریخت‌های فیبری مشاهده شده در نمونه‌های مورد مطالعه سپیولیت هستند یا پالیگورسکیت، از اطلاعات شیمیایی وابسته به بخش رس نمونه‌ها کمک گرفته شد. کانی سپیولیت در مقایسه با پالیگورسکیت حاوی مقادیر بسیار کمی آلومینیوم و مقادیر قابل توجهی منیزیم است [۳۲، ۹]. با توجه به اینکه میزان آلومینیوم موجود در نمونه‌ها در مقایسه با میزان منیزیم در آن‌ها بیشتر است، لذا ریخت‌های فیبری مشاهده شده در تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری و روبشی پالیگورسکیت تشخیص داده شدند. در رسوب‌های حاوی پالیگورسکیت، این کانی به صورت رشته‌هایی با طول چند تا بیشتر از ده میکرون و با ریخت‌شناسی درختی و کلاف مانند (شکل ۳) و در بیشتر موارد همراه با کانی‌هایی مانند کلسیت، گچ و کانی‌های تبخیری دیگر دیده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴). همراهی پالیگورسکیت و کانی‌های تبخیری نیز حکایت از مساعد بودن شرایط حاکم در تشکیل این کانی در بخش مرکزی ایران و به ویژه نقاط مورد بررسی دارد.

زاهدی [۷] شواهدی از یک پیشروی دریایی را در الیگوسن بالایی ارائه کرد که این پیشروی تا اوایل میوسن ادامه داشته است و منجر به تشکیل سازند قم شده است. در اواخر میوسن تحتانی دریای یاد شده شروع به پس روی کرده و در طول دوره‌ی پلیوسن همچنان پس رفت داشته است، به طوریکه در چند نقطه از استان اصفهان منجر به ایجاد حوضه‌های بین کوهی شده است. زاهدی حضور مارن‌های گچ دار را در منطقه‌ی مورد بررسی به عنوان آخرین آثار دریای میوسن-پلیوسن معرفی می‌کند.

ترکیب شیمیایی بخش رس نمونه‌های بررسی شده در جدول ۲ نمایش داده شده است. اطلاعات ارائه شده در این جدول تأیید کننده نوع کانی‌های معرفی شده در بررسی کانی شناسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس است.

برای تشکیل کانی پالیگورسکیت به شرایط ژئوشیمیایی ویژه‌ای از قبیل محیط قلیایی، فعالیت بالای H_4SiO_4^0 و Mg^{2+} نیاز است [۳۲]. جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 در رسوب‌های با سنین مختلف تقریباً ثابت بوده و تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد. این درحالی است که مقدار MgO در طول دوره‌های مختلف ترشیاری تغییر می‌کند به نحوی که در پالئوسن کمترین و در پلیوسن بیشترین مقدار است. تغییر در مقدار MgO با فراوانی کانی پالیگورسکیت در طول دوره‌های مختلف ترشیاری کاملاً هماهنگ بوده و نشان دهنده‌ی مناسب شدن شرایط برای تشکیل کانی پالیگورسکیت از اواخر الیگوسن در منطقه‌ی مورد بررسی است. رابطه‌ی مثبتی بین مقدار pH و فعالیت منیزیم و سیلیس محلول طی انتقال از پالئوسن به پلیوسن دیده می‌شود به طوریکه با کاهش سن رسوب‌ها، تغییر در مقدار pH و مقدار منیزیم و سیلیس حل شده با یکدیگر همخوانی داشته و به میزان کانی پالیگورسکیت وابسته است. خادمی و مرموت [۸] معتقدند در ترشیاری، آب کم عمق و دمای بالا باعث افزایش pH و در نتیجه افزایش حلالیت سیلیس شده است. از طرف دیگر مارن‌ها در این منطقه، دارای گچ فراوان نیز هستند. در موقع ته‌نشینی گچ، به دلیل خارج شدن کلسیم از محیط، نسبت Mg/Ca افزایش یافته و سبب افزایش فعالیت منیزیم می‌شود.

همراهی پالیگورسکیت و اسمکتیت در بسیاری از بررسی‌ها گزارش شده است [۳۲-۳۶]. همراهی اسمکتیت و پالیگورسکیت در نمونه‌های با سن کمتر از الیگوسن می‌تواند نشان دهنده‌ی افزایش در میزان خشکی در طول دوره‌هایی باشد که این کانی‌ها ایجاد شده‌اند. خرمالی و همکاران [۱۵] حضور همزمان پالیگورسکیت و اسمکتیت را در رسوب‌های جوان‌تر از ائوسن در جنوب ایران به افزایش در میزان خشکی هوا نسبت می‌دهند که باعث پایداری این کانی‌ها شده است.

از آنجا که فراوان ترین کانی رسی همراه با پالیگورسکیت در رسوب‌های ترشیاری مورد بررسی، اسمکتیت است (شکل ۲)، و به منظور بررسی این مسئله که آیا محیط ته‌نشینی برای تشکیل کانی پالیگورسکیت از اسمکتیت و پایداری بعدی این کانی در طول دوران سنوزوئیک فراهم بوده است یا خیر، روابط

است تقویت کند. ولی اثبات این ادعا نیازمند اطلاعات بیشتری است. بوزا و همکاران [۳۷] نیز با استفاده از نمودار پایداری اسمکتیت-پالیگورسکیت شرایط مناسب برای پایداری و تشکیل کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های منطقه‌ی پاتاگونیا‌ی آرژانتین تعیین کردند. نتایج بررسی ایشان نیز حاکی از تشکیل احتمالی کانی پالیگورسکیت از اسمکتیت است.

برداشت

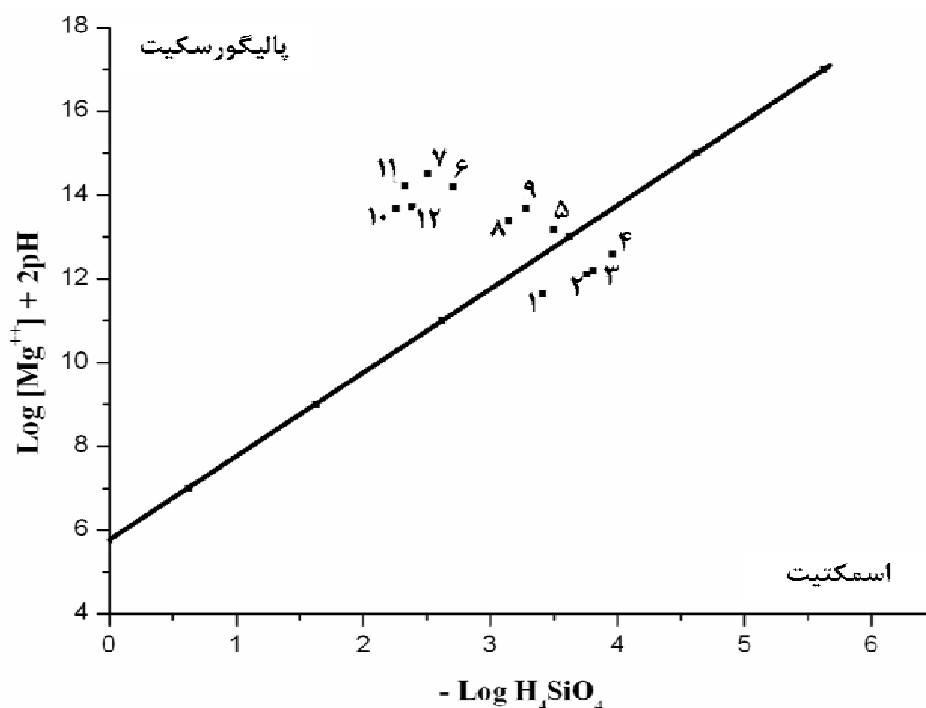
در منطقه‌ی مورد بررسی در رسوب‌های با سنین پالتوسن، ائوسن و الیگوسن، کانی پالیگورسکیت مشاهده نمی‌شود در حالیکه در رسوب‌های با سن الیگوسن-میوسن، میوسن و پلیوسن مقادیر زیادی پالیگورسکیت دیده می‌شود. باید توجه داشت که دریای تتیس در اواخر ترشیاری کم عمق می‌شود و با حرکت به سمت اواخر ترشیاری و با افزایش دمای هوا و ایجاد شرایط لاگونی در منطقه‌ی مورد بررسی، بر مقدار کانی‌های تبخیری، مانند گچ و کربنات‌ها، افزوده شده است. افزایش

تعدادی بین کانی اسمکتیت-پالیگورسکیت با استفاده از معادله‌ی پیشنهادی ویور و بک [۲۷] ترسیم شد.

$$5 \text{ palygorskite} + 15.6 \text{ H}^+ + 24.4 \text{ H}_2\text{O} = 3 \text{ smectite} + 7.56 \text{ Mg}^{++} + 15.6 \text{ H}_4\text{SiO}_4$$

$$\text{Log } K_{\text{smectite-palygorskite}} = \log \text{Mg}^{++} + 2 \text{ pH} + 2 \log \text{H}_4\text{SiO}_4 = 5.75$$

نتایج نشان داد که رسوب‌های غنی از پالیگورسکیت (جوانتر از الیگوسن) در گستره‌ی پایداری کانی پالیگورسکیت قرار می‌گیرند در حالی که رسوب‌های با سن پالتوسن، ائوسن و الیگوسن در گستره‌ی پایداری اسمکتیت هستند (شکل ۵). به عبارت دیگر در رسوب‌های با سنین الیگوسن-میوسن، میوسن و پلیوسن کانی پالیگورسکیت پایدارتر بوده و در رسوب‌های جوانتر از الیگوسن این کانی اسمکتیت است که پایدارترین فاز را تشکیل می‌دهد. لذا حضور همزمان پالیگورسکیت و اسمکتیت در رسوب‌های با سنین الیگوسن-میوسن، میوسن و پلیوسن و در گستره‌ی پایداری کانی پالیگورسکیت، می‌تواند این احتمال را که کانی پالیگورسکیت از اسمکتیت ایجاد شده



شکل ۵ نمودار پایداری سیستم پالیگورسکیت-اسمکتیت بر اساس ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی نمایانگر ناپایداری اسمکتیت در نمونه‌های وابسته به رسوب‌های جوانتر از الیگوسن و پایداری آن در رسوب‌های پالتوسن، ائوسن و الیگوسن. بیشتر اعداد ارائه شده در نمودار در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

شمالی و آزمایشگاه TEM دانشگاه آلبرتا در کانادا سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] Bolle M. P., Adatte T., "Palaeocene – early Eocene climatic evolution in the Tethyan realm: clay mineral evidence", Clay Minerals 36 (2001) 249-261.
- [2] Brady N. C., Weil R. R., "The Nature and Properties of Soils. 12th edition", Prentice Hall, New York, (1998) 881 p.
- [3] 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.
- [4] Zabboub N., Abdeljaouad S., López-Galindo A., "Origin of fibrous clays in Tunisian Paleogene continental deposits", Journal of African Earth Sciences, 43 (2005) 491-504.
- [5] Krinsley D. B., "A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran", Geological Survey, United States Department of Interior. Washington DC. (1970) 329 p.
- [6] Sengör A. M. C., Altiner D., Cin A., Ustaömer T., Hsü K. J., "Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land", in: Audley-Charles M.G., Hallam A., (Eds.) "Gondwana and Tethys". Geological Society of London Special Publication 37 (1988) 119-181.
- [7] Zahedi M., Explanatory Text of the Esfahan Quadrangle Map 1:250000. Geological Survey of Iran (1976).
- [8] Khademi H., Mermut A., "Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran", Clay Minerals 33 (1998) 561-578.
- [9] Singer A., "The texture of palygorskite from the Rift valley, southern Israel", Clay Minerals 16 (1981) 415 - 419.
- [10] Shadfan H., Dixon J. B., "Occurrence of palygorskite in the soils and rocks of the Jordan Valley" in: Singer A., Galán E., (Eds.) "Palygorskite-Sepiolite: Occurrences, Genesis and Uses" editors). Developments in Sedimentology Amsterdam 37 (1984) 187-198.

کانی‌های تبخیری منجر به افزایش نسبت منیزیوم به کلسیم شده، pH محیط و در نتیجه میزان سیلیس محلول را افزایش می‌دهد. این شرایط برای تشکیل کانی پالیگورسکیت مناسب بوده و در نتیجه احتمال حضور کانی پالیگورسکیت افزایش می‌یابد. الگوی توزیع کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های ایران مرکزی نشان می‌دهد که تا اوایل الیگوسن شرایط مناسب برای تشکیل کانی پالیگورسکیت ایجاد نشده است.

نتایج این بررسی حاکی از آن است که پراکنش و تشکیل کانی پالیگورسکیت در منطقه‌ی مورد بررسی بیشتر تحت تاثیر شرایط فیزیکوشیمیایی و اقلیمی بوده و از این رو می‌توان به این نتیجه رسید که کانی پالیگورسکیت بیشتر به صورت خود زا تشکیل شده است. همچنین با توجه به تاثیرپذیری شدید کانی پالیگورسکیت از شرایط اقلیمی و ژئوشیمیایی می‌توان از این کانی در بازسازی شرایط اقلیمی و جغرافیای دیرینه ایران مرکزی استفاده کرد. حضور پالیگورسکیت در رسوب‌های دوران سوم این مطلب را تأیید می‌کند که یکی از منابع اصلی حضور پالیگورسکیت در خاک‌های ایران مرکزی و با احتمال زیاد نقاط دیگر کشور با شرایط مشابه، به ارث رسیدن پالیگورسکیت از مواد مادری است. شرایط خشک حاکم بر بخش اعظم اراضی مرکزی، شرقی و جنوبی ایران که دارای مواد مادری با سن ترشیاری هستند و مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت در آن‌ها دیده می‌شوند، علت اصلی پایداری این کانی در خاک‌های این مناطق است. به نظر می‌رسد حضور و عدم حضور کانی پالیگورسکیت در نمونه‌های مورد بررسی با تغییرات زمین‌شناسی که ایران مرکزی در طول دوره‌ی ترشیاری تجربه کرده است هماهنگ بوده و شرایط ژئوشیمیایی دریای تتیس در زمان تهنشینی سازندهای مختلف و پس از آن در کنار شرایط اقلیمی حاکم در دوران سنوزوئیک نقش تعیین کننده‌ای در تشکیل کانی پالیگورسکیت دارند.

قدردانی

هزینه‌های این کار پژوهشی از سوی معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان (طرح پژوهشی شماره 1AGB791) تامین شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود. همچنین از همکاری آزمایشگاه‌های XRD و SEM دانشگاه بریتیش کلمبیای

- [24] Emami M. H., "Qom geological quadrangle map of Iran no. E6. Scale 1:250000", Ministry of Mines and Metals and Geological Survey of Iran, (1986).
- [25] Jackson M. L., "Soil Chemical Analysis Advanced Course", 2nd ed., 11th Printing, University of Wisconsin, College of Agriculture, Madison, WI, U.S.A. (1979) 991 p.
- [26] USDA-NRCS., "Soil Survey Laboratory Methods Manual", Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 3.0 (1996) 693 p.
- [27] Weaver C. E., Beck K. C., "Miocene of S.E. United States: a model for chemical sedimentation in a peri-marine environment". *Sedimentary Geology*. 17 (1977) 1-234.
- [28] Farpour 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.
- [29] Jamoussi F., Ben Aboud A., Lopez-Galindo A., "Palygorskite genesis through silicate transformation in Tunisian continental Eocene deposits", *Clay Minerals* 38(2003): 187-199.
- [30] Lee S. Y., Dixon J. B., Aba-Husayn M. M., "Mineralogy of Saudi Arabian soils: eastern region", *Soil Science Society of America Journal* 74 (1983) 321 - 326.
- [31] Aba-Husayn M. M., Sayegh A. H., "Mineralogy of Al-Hasa desert soils", *Clays and Clay Minerals* 25 (1977) 138-147.
- [32] 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.
- [33] Bouza P., Simón M., Aguilar J., Rostagno M., del Valle, H., "Genesis of some selected soils in the Valdés Peninsula, NE Patagonia, Argentina" In: Faz Cano, A., Ortiz, R., Mermut, A. R. (Eds.), *Advances in Geo Ecology*, Catena Verlag GMBH, Reiskirchen (2005) 1-12.
- [34] Watts N. L., "Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis", *Sedimentology* 27 (1980) 661-686.
- [35] Badraoui M., Bloom P. R., Bouabid R., "Palygorskite-smectite in a Xerochrept of the high
- [11] Shadfan H., Mashhady A. S., "Distribution of palygorskite in sediments and soils of eastern Saudi Arabia", *Soil Science Society of America Journal*, 49 (1985) 243 - 250.
- [12] Aqrawi A. A. M., "Palygorskite in the recent fluviolacustrine and deltaic sediments of southern Mesopotamia", *Clay Minerals* 28 (1993) 153-159.
- [13] Henderson S. G., Robertson R. H. S., "A Mineralogical Reconnaissance in Western Iran". Resource Use Ltd. Glasgow UK (1958).
- [14] Burnett A. D., Fookes P. G., Robertson R. H., "An engineering soil at Kermanshah, Zagros Mountains, Iran", *Clay Minerals* 9 (1972) 329-343.
- [15] Khormali F., Abtahi A., Owliaei H. R., "Late Mesozoic-Cenozoic clay mineral successions of southern Iran and their palaeoclimatic implications", *Clay Minerals* 40 (2005) 191-203.
- [16] Farpour M. H., Krouse H. R. "Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of soils and sediments in Loot Desert, central Iran", *Geoderma* 146 (2008) 283-290.
- [17] Zahedi M., "Shahrekord geological quadrangle map of Iran no. E8. Scale 1:250000", Ministry of Industry and Mines and Geology Survey of Iran (1993).
- [18] Ilwellyn P. G., "Dezful geological compilation map no. 20507. Scale 1:250000", Geological and Exploration Division, National Iranian Oil Operating Companies (1973).
- [19] Samadian A., "Chabahar geological quadrangle map of Iran no. 8140. Scale 1:100000", Ministry of Industry and Mines and Geology Survey of Iran (1996).
- [20] www.irimo.ir/english/statistics/climn/index.asp
- [21] 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).
- [22] 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).
- [23] 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).

[37] 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.

Chaouia region of Morocco", Soil Science Society of American Journal 56 (1992) 1640-1646.

[36] Sancho C., Mehlenes A., Signes M., Batisda J., "*Chemical and mineralogical characteristics of Pleistocene caliche deposits from the central Ebro basin, NE Spain*", Clay Minerals 27 (1992) 293-308.