

Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in soils and sediments of southern Mashhad

A. Karimi, H. Khademi and A. Jalalian

Dept. of Soil Sci., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran
E-mail: aikarimi@sepahan.iut.ac.ir

(Received: 28/8/2007, in revised form: 17/5/2008)

Abstract: The occurrence of palygorskite and its formation conditions in soils and sediments were studied along a transect covering granitic hilly lands to marly hilly lands in southern Mashhad. Based on formation conditions, amount and morphology, three kinds of palygorskite including high-amount palygorskite with long fibers in gypsiferous marl and basal part of deep loess deposits with high salinity, moderate-amount palygorskite which was mostly transported in association with carbonates and gypsum during calcic and gypsic horizon formation, and small-amount aeolian transported detrital palygorskite in non-altered loess deposits were distinguished. Palygorskite occurrence in Miocene marl is in line with the former investigations in central Iran. It shows similar conditions prevailing in this region and central and southeastern Iran and the formation of shallow and saline lakes and lagoons following the disappearance of the Tethyan seaway. Similar investigations around the world confirm that Tertiary sediments are the major source of palygorskite in the world.

Keywords: *Palygorskite, Loess, Clay minerals, Paleoclimate, Granite.*



تشکیل و توزیع پالئوگورسکایت و کانی‌های رسی همراه در خاک‌ها و تهنشست‌های جنوب مشهد

علیرضا کریمی، احمد جلالیان، حسین خادمی

دانشگاه صنعتی اصفهان، گروه خاکشناسی
پست الکترونیکی: a-karimi@sepahan.iut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۵/۷، نسخه نهایی: ۱۳۸۷/۲/۲۸)

چکیده: وجود پالئوگورسکایت و شرایط تشکیل آن در خاک و تهنشست‌های زمین‌شناسی در راستای برشی، از تپه‌ماهورهای گرانیتی تا تپه‌ماهورهای مارنی جنوب مشهد بررسی شدند. بر پایه شرایط تشکیل، مقدار، و ریخت‌شناسی، سه نوع پالئوگورسکایت، شامل پالئوگورسکایت فراوان با الیاف بلند در مارن‌های گچی میوسن و قاعده لس‌های عمیق با شوری زیاد، مقدار متوسط پالئوگورسکایت که بیشتر به همراه کربنات‌ها و گچ در زمان تشکیل افق‌های کلسیک و ژئوسپیک انبوه شده‌اند، و مقدار کم پالئوگورسکایت آواری منتقل شده با باد، در بادرفت‌های بدون تغییر شناسائی شدند. وجود پالئوگورسکایت در مارن میوسن با پژوهش‌های قبلی در ایران مرکزی، هماهنگ بوده و نشان دهنده شرایط مشابه این منطقه، جنوب خاوری ایران و ایران مرکزی پس از محو شدن دریای تتیس و تشکیل دریاچه‌های کم عمق و شور است. بررسی‌های مشابه در دیگر نقاط جهان، نشان می‌دهد که تهنشست‌های دوران سوم خاستگاه اصلی پالئوگورسکایت در دنیا هستند.

واژه‌های کلیدی: پالئوگورسکایت، لس، کانیهای رسی، دیرینه اقلیم، گرانیت.

مقدمه

پالئوگورسکایت در مواد مادری ایران مرکزی را به بالا آمدن فلات ایران و جدا شدن دریای تتیس از اقیانوس اصلی در اواخر کرتاسه و تشکیل دریاچه‌های کم عمق و فوق‌العاده شور و مناسب برای تشکیل رس‌های الیافی نسبت می‌دهند [۷]. ۲- خاستگاه آواری، به وسیله باد [۱۰] یا تهنشست‌های آبرفتی [۶]. ۳- تشکیل در خاک؛ در این حالت پالئوگورسکایت به دلیل نوسانهای سفره آب زیرزمینی [۱۱، ۱۲]، در اثر تغییر شکل اسمکتایت به ویژه اسمکتایت غنی از منیزیم [۱۳، ۱۴] یا از محلول خاک [۱۵-۱۷] تشکیل می‌شود.

تشکیل پالئوگورسکایت در خاک‌های مناطق خشک رابطه نزدیکی با تشکیل افق‌های تجمع آهک (افق کلسیک)، انبوهه

پالئوگورسکایت از گروه رس‌های الیافی، کانی غالب بخش رس بسیاری از خاک‌ها و تهنشست‌های مناطق خشک است. وجود این کانی در خاک‌ها و تهنشست‌های ایران برای اولین بار توسط هندرسون و ربرتسون در سال ۱۹۵۸ [۱] و بارنت و همکاران در سال ۱۹۷۲ [۲] گزارش شد. پس از آن مهجوری [۳]، ابطی [۴]، قرائی و مهجوری [۵]، خادمی و مرموت [۶ و ۷]، اولیائی و همکاران [۸]، و کریم‌زاده و همکاران [۹]، وجود پالئوگورسکایت را در نقاط مختلف ایران گزارش کردند.

نتایج بررسی‌های انجام شده، سه فرضیه برای توجیه وجود پالئوگورسکایت در خاک را به اثبات رسانده است: ۱- به ارث رسیده از مواد مادری؛ خادمی و مرموت (۱۹۹۹) وجود

سه نوع گرانیته مختلف در این منطقه وجود دارند که با علامت‌های g^{r1} ، g^{r2} و g^{r3} روی نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ نشان داده شده‌اند. گسترش گرانیته‌های پورفیروئیدی (g^{r1}) بیش از انواع دیگر است و در آن فلدسپات‌های پتاسیم‌دار سه سانتی‌متری نیز دیده می‌شود. توده لوکوگرانیته (g^{r2}) به ابعاد ۱۰ در ۱۵ کیلومتر، در درون g^{r1} تزیق شده و جوان‌تر از آن است. g^{r1} نسبت به g^{r2} به علت فراوانی بیوتیت و برونوم‌های مختلف، تیره و پورفیروئید است. در حالیکه g^{r2} ، کانی‌های هم اندازه، دانه متوسط و روشن داشته و نیز دارای سیلیس بیشتری است. g^{r3} نسبت به دو نوع دیگر گسترش کمتری دارد. در سمت مقابل گرانیته‌ها، مارن‌های سرخ گچی مربوط به میوسن ($M^{r.m}$) و انواع سنگ های تهنشستی دوره ژوراسیک وجود دارند [۱۹، ۲۱].

این منطقه شامل واحدهای زمین‌ریختی تپه‌ماهورهای گرانیته‌ای، و مارنی، و نیز تهنشست‌های ژوراسیک، دامنه تپه‌ماهورهای گرانیته‌ای و دشت دامنه‌ای است. روی تپه‌ماهورهای گرانیته‌ای دو سطح متفاوت وجود دارند، یکی خاک‌های تشکیل شده در جا روی گرانیته‌ها و دیگری خاک‌های در جا که با تهنشست‌های لسی پوشیده شده‌اند. در دامنه تپه‌ماهورهای گرانیته‌ای، تهنشست‌های لسی با ضخامت زیاد وجود دارند که نشانه‌های خاک‌سازی در آنها قابل مشاهده است. دشت دامنه‌ای بر پایه اینکه از تهنشست‌های لسی دامنه گرانیته‌ها یا تهنشست‌های دیگر تغذیه شود، از خاک‌های متنوع‌تر و البته با تکامل کم‌تر تشکیل شده است.

برای بررسی کانی‌های رسی در طول برشی از تپه‌ماهورهای گرانیته‌ای تا تپه‌ماهورهای مارنی، ۲۳ نیمرخ خاک، حفر و بررسی شدند. همچنین یک مقطع طبیعی از تهنشست‌های عمیق بادرقتی در دامنه تپه‌ماهورهای گرانیته‌ای نیز مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۱). بر پایه ریخت‌شناسی و موقعیت زمین‌ریختی نیمرخ‌های مورد بررسی ۱۲ نیمرخ خاک و مقطع طبیعی بادرقت به طور کامل مورد کانی‌شناسی قرار گرفتند.

بررسیهای آزمایشگاهی

برای شناسایی کانی‌های رسی، نمونه‌های خشک شده در هوا کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های دارای گچ و نمکهای محلول به دفعات با آب مقطر تا حصول اطمینان

گچ (افق ژئوپسیک) و کالکریت دارد. خامی و مرموت (۱۹۹۷) عقیده دارند که تهنشینی گچ، باعث افزایش نسبت Mg/Ca و pH شده و شرایط مناسب برای تشکیل پالیکورسکایت ایجاد می‌شود [۶]. واتز (۱۹۸۰) نشان داد که منیزیوم آزاد شده در اثر تبدیل کلسیت با منیزیوم بالا به کلسیت با منیزیوم پایین و نیز pH بالا، شرایط را برای تشکیل پالیکورسکایت فراهم می‌آورد [۱۸].

در مناطق مختلف ایران به ویژه ایران مرکزی، بررسیهای زیادی در مورد پالیکورسکایت در مواد مادری و خاکها انجام شده است. حق‌نیا نیز کانی‌های رسی دشت مشهد را مورد بررسی قرار داد و به حضور پالیکورسکایت در این خاکها اشاره کرده است [۱۵]. اگرچه حضور پالیکورسکایت در دشت مشهد ثابت شده است، ولی تنوع شرایط تشکیل و وجود آن در دیگر لندفرم‌ها و مواد مادری و ارتباط آن با دیگر نقاط مطالعه شده در ایران بررسی نشده است. در جنوب مشهد وجود سه نوع گرانیته و سنگ‌های تهنشستی دوران‌های مختلف و تهنشست‌های آبی و بادی و خاک‌های تشکیل شده بر لندفرم مختلف، شرایط مناسبی را برای مطالعه کانی‌شناسی فراهم آورده است. این کار پژوهشی به منظور الف) شناسایی کانی پالیکورسکایت در خاک‌ها و مواد مادری مختلف، ب) چگونگی تشکیل پالیکورسکایت در خاک و مواد مادری و ارتباط آن با شرایط اقلیمی، و ج) بررسی همبستگی از نظر زمین‌شناسی و شرایط خاک‌سازی بین ایران مرکزی و شمال خاوری ایران بر پایه کانی‌شناسی خاک و مواد مادری آنها، انجام گرفته است.

معرفی منطقه مورد بررسی و نحوه نمونه برداری

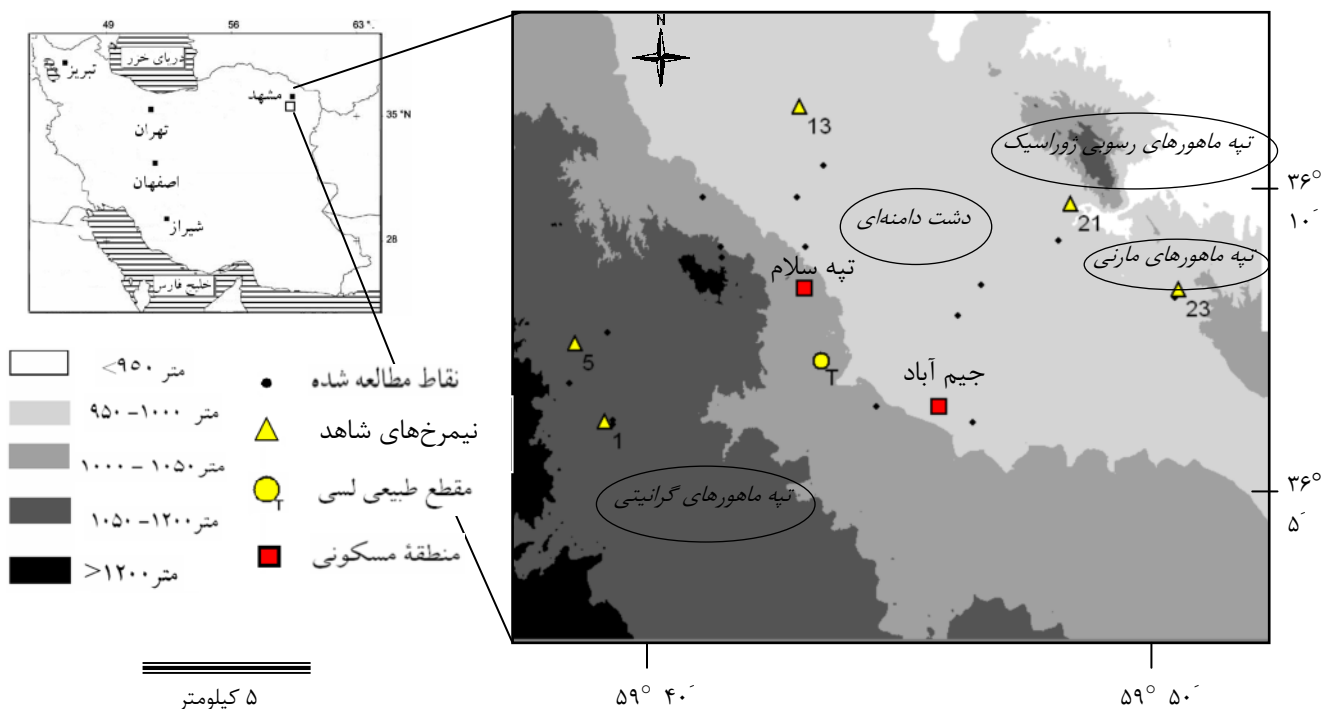
منطقه مورد بررسی در بخش جنوب خاوری و انتهائی کوه‌های بینالود واقع در جنوب مشهد، با طول جغرافیائی $32^{\circ} 59'$ خاوری و عرض جغرافیائی $36^{\circ} 50'$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). پهنه بینالود، در ادامه البرز و ایران مرکزی قرار دارد و به دلیل شباهت با دوبخش یاد شده، به آن پهنه انتقالی می‌گویند. پهنه کپه‌داغ به موازات پهنه بینالود بوده و دشت مشهد بین این دو قرار می‌گیرد [۱۹]. میانگین بارندگی در ایستگاه هواشناسی مشهد، ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین دما $13/7$ درجه سانتی‌گراد است [۲۰].

گرفتند. بخش رس برخی از خاک‌ها و ته‌نشست‌ها برای بررسی دقیق‌تر پالیگورسکایت، به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips CM30 بررسی شدند. EC و pH آنها به ترتیب در عصاره اشباع و گل اشباع اندازه‌گیری شد. توزیع اندازه ذرات با پیپت، مقدار کربنات کلسیم به روش عیارسنجی برگشتی و گچ به روش گرمایی تعیین شد [۲۳].

توصیف خاک‌ها

بر پایه ریخت‌شناسی و موقعیت زمین‌ریختی و نتایج آزمایشگاهی، تعدادی از نیمرخ‌های مورد بررسی به عنوان شاهد انتخاب شدند که برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آنها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. خاک‌های تشکیل شده روی گرانیت‌ها، شامل خاک‌های درجا و خاکهای با پوشش نازک تا ضخیم لسی روی خاک‌های درجا را تشکیل می‌دهند. خاک‌های درجا، روی سه نوع گرانیتی که در بخش پیش شرح داده شد، تشکیل شده و شامل دو دسته کلی هستند. دسته اول به طور کامل از هوازدگی گرانیت به وجود آمده‌اند و دارای عمق کم و شن زیادند و حداکثر تکامل آنها وجود یک افق کمبیک (افق B با کم‌ترین تکامل) است (شکل ۲ و نیمرخ شماره ۵).

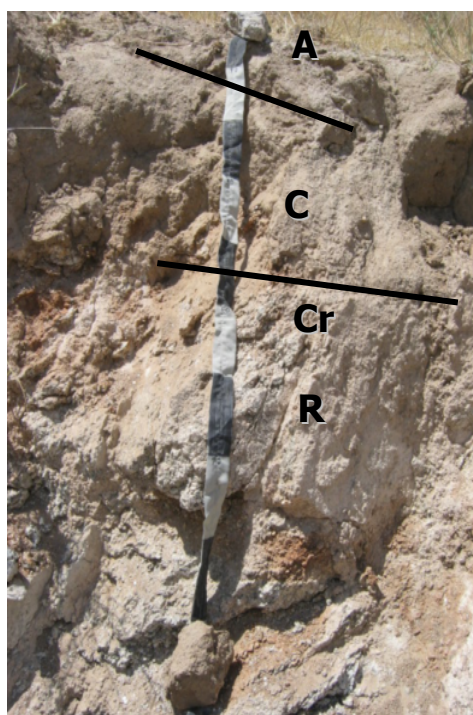
از حل و خارج شدن گچ، شسته شدند. مواد سیمان کننده شامل مواد آلی، کربنات‌ها و اکسیدهای آهن آزاد، به ترتیب با آب اکسیژنه ۳۰ درصد، استات سدیم ۱ نرمال ($pH = 5$) و بافر دی‌تیونات - سیترات - بی‌کربنات ($pH = 7.3$) حذف شدند [۲۲]. بخش رس با استفاده از یک مرکز گریز جدا و خشک شد. دو نمونه ۴۰ میلی گرمی رس به ترتیب با پتاسیم و منیزیم اشباع شدند [۲۳]. هر کدام از آنها را روی اسلایدهای شیشه‌ای به مساحت 5×2 سانتی‌متر مربع، و ضخامت یکنواخت قرار دادیم. برای هر نمونه پنج تیمار شامل اشباع از پتاسیم، اشباع از پتاسیم و تیمارهای گرمایی با دماهای ۳۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع با منیزیم، و اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، صورت گرفت. سپس با یک دستگاه پراش سنج با پرتو ایکس مدل Shimadzu DX-10 دارای تکفام ساز و تابش Cu-K α زیر اثر جریانی به شدت ۴۰ میلی آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلو ولت تجزیه شدند. برای مشاهده ریخت‌شناسی پالیگورسکایت در حالت طبیعی نمونه‌های خیلی کوچک و دست نخورده با چسپ کربن روی پایه‌های آلومینیومی چسبانده و با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند. این نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips مورد بررسی قرار



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه، واحدهای زمین ریختی و نقاط نمونه برداری.

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نیمرخ‌های شاهد.

افق	عمق (cm)	pH	EC (dSm ⁻¹)	گچ (%)	آهک (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
نیمرخ شماره ۱: خاک در جا با پوشش لسی روی تپه‌ماهورهای گرانیتی								
Ap	۰-۱۵	۷٫۹	۳	۶٫۵	۲۷	۱۵٫۳	۷۳٫۱	۱۱٫۶
Bk	۱۵-۴۰	۷٫۹	۳٫۱	۵٫۴	۴۲	۱۷٫۱	۶۶٫۸	۱۶٫۱
2Btk	۴۰-۸۵	۸	۳٫۱	۵٫۳	۳۱	۴۰٫۶	۴۲٫۵	۱۶٫۹
2Cry1	۸۵-۱۲۰	۷٫۸	۲٫۴	۴۵	۴	۷۹٫۴	۱۷٫۷	۲٫۹
2Cry2	۱۲۰-۱۵۰	۷٫۵	۲٫۴	۱۰٫۳	۱۲	۸۹٫۸	۸٫۳	۱٫۹
نیمرخ شماره ۵: خاک در جای تشکیل شده روی تپه‌ماهورهای گرانیتی								
A	۰-۱۰	۸٫۲	۱٫۸	۲٫۶	۱۵	۶۰٫۴	۳۲٫۵	۷٫۱
C	۱۰-۳۰	۷٫۹	۱٫۷	۳٫۳	۱۸	۴۶٫۳	۴۰٫۵	۱۳٫۲
Cr	+۳۰	-	-	-	-	-	-	-
نیمرخ شماره ۱۳: خاک آبرفتی دشت دامنه‌ای								
Ap	۰-۳۰	۸٫۵	۲٫۸	۴٫۲	۱۱	۱۹٫۶	۶۴٫۱	۱۶٫۳
Bw1	۳۰-۵۰	۸٫۲	۱٫۸	۲٫۹	۱۳	۱۶٫۲	۷۰٫۳	۱۳٫۵
Bw2	۵۰-۷۰	۸٫۴	۰٫۹	۴٫۳	۱۹	۲۳٫۸	۵۴٫۶	۲۱٫۶
2Bkb	۷۰-۱۰۰	۸٫۵	۰٫۷	۷٫۱	۱۸	۱۶٫۶	۵۸٫۴	۲۵
نیمرخ شماره ۲۱: خاک واقع بر دامنهٔ تنه‌شست‌های ژوراسیک								
Ap	۰-۳۰	۷٫۶	۱۴٫۷	۳	۱۳	۲۵٫۹	۵۴٫۶	۱۹٫۵
By1	۳۰-۶۰	۷٫۷	۱۹٫۷	۶٫۱	۱۸	۳۲٫۵	۵۱٫۹	۱۵٫۶
By2	۶۰-۹۰	۸٫۶	۳۰٫۵	۱۰	۱۵	۴۰٫۵	۴۷٫۷	۱۱٫۸
2Bw	۹۰-۱۳۰	۸٫۶	۲۹٫۸	۷٫۷	۲۵	۴۳٫۷	۳۹٫۳	۱۷
نیمرخ شماره ۲۳: خاک در جای تشکیل شده روی مارن								
Ap1	۰-۱۵	۸	۳	۹٫۴	۲۸	۲۶٫۳	۶۰٫۷	۱۳
Ap2	۱۵-۴۰	۸	۲٫۷	۱۶٫۲	۱۰	۱۱٫۶	۶۸٫۳	۲۰٫۱
Cy1	۴۰-۶۰	۷٫۹	۲٫۴	۴۷٫۲	۱۹	۵۴٫۸	۳۸٫۴	۶٫۸
Cy2	۶۰-۹۰	۸٫۱	۳	۴۸٫۷	۱۹	۵۰٫۸	۴۳٫۶	۵٫۶
Cr1	۹۰-۱۱۰	۸٫۱	۱۳٫۴	۴۷٫۵	۱۶	۴۹	۴۳٫۸	۷٫۲
Cr2	۱۱۰-۱۴۰	۸	۱۴	۴۷٫۸	۲۹	۵۹٫۶	۳۶	۴٫۴
بخش قاعدهٔ مقطع طبیعی بادرفتی در دامنهٔ گرانیت‌ها								
6 C1	۳۷۰-۴۰۰	۸٫۶	۱۹٫۳	۵٫۶	۱۷	۹٫۳	۷۷٫۱	۱۳٫۶
6 C2	۴۰۰-۴۳۰	۸٫۹	۴۹٫۵	۶٫۶	۷	۸٫۸	۷۴٫۵	۱۶٫۷
6 C3	۴۳۰-۴۶۰	۸٫۸	۱۰٫۴	۵٫۸	۱۷	۱۱٫۵	۷۵٫۲	۱۳٫۳
6 C4	۴۶۰-۴۹۰	۸٫۴	۲۲٫۶	۶٫۱	۱۸	۱۰٫۷	۷۵٫۸	۱۳٫۵
6 C5	۴۹۰-۵۲۰	۸٫۴	۱۳٫۳	۵٫۱	۱۸	۱۰٫۳	۷۷٫۷	۱۲
6 C6	۵۲۰-۵۵۰	۸٫۲	۱۰٫۹	۵٫۲	۱۳	۱۲٫۶	۷۴٫۸	۱۲٫۶
6 C7	۵۵۰-۵۸۰	۸٫۱	۳۷٫۷	۶٫۲	۲۰	۱۲٫۷	۷۴٫۷	۱۲٫۶



شکل ۲ نیمرخ شماره ۵، نوع اول خاک‌های درجا تشکیل شده روی گرانیت نوع g^2 .

بیش از 100 dSm^{-1} می‌رسد. به دلیل عمق زیاد این مقطع، فقط ویژگی‌های بخش پائینی آن که شرایط آن برای تشکیل پالیگورسکایت مناسب است در جدول ۱ آورده شده‌اند. خاک‌های دشت دامنه‌ای (نیمرخ شماره ۱۳) و خاک‌های تشکیل شده روی دامنه‌های تهنشین‌های ژوراسیک (نیمرخ شماره ۲۱)، غالباً دارای افق کمبیک و در بعضی موارد افق کلسیک است. ویژگی‌های شیمیایی این خاک‌ها، مشابه خاک‌های گرانیتی است با این تفاوت که میزان گچ در آنها کمتر است. خاک‌های تشکیل شده روی مارن‌ها دارای گچ فراوانند. در بخش‌های عمیق این خاک‌ها تکه‌های مارن هوازده، با بیش از ۴۸ درصد گچ وجود دارند. رسانندگی الکتریکی این خاک‌ها نیز کمتر از 3 dSm^{-1} است ولی مواد مادری آنها (مارن‌ها) دارای رسانندگی الکتریکی بیش از 10 dSm^{-1} است.

در خاک‌های لسی تپه‌ماهورهای گرانیتی (نیمرخ شماره ۱) و در بخش بالائی مقطع طبیعی بادرستی در دامنه تپه‌ماهورهای گرانیتی، یک افق انبوه شده رس و کربنات‌ها (Btk) به رنگ سرخ وجود دارد. رنگ زمینه خاک این افق‌ها 10YR است ولی رنگ زمینه لایه بالائی آنها 7.5YR بوده است که یک

دسته دوم خاک‌های درجا، دارای افق کلسیک (افق تجمع کربنات‌های ثانویه) و ژپسیک (افق تجمع گچ ثانویه) هستند که آهک و گچ از طریق باد وارد آنها شده و در بعضی از موارد گچ حتی در ساپرولیت آنها نیز دیده می‌شود. به دلیل اضافه شدن سیلت از طریق باد، افق‌های سطحی این خاک‌ها نسبت به خاک‌های دسته اول، سیلیت بیشتری دارد. نوع دوم خاک‌های تپه‌ماهورهای گرانیتی، خاک‌های درجا با پوشش نازک تا ضخیم لسی هستند. افق‌های سطحی این خاک‌ها دارای سیلیت فراوان با خاستگاه بادرستی است در حالی که افق‌های زیرین، ویژگی‌های خاک‌های درجا را نشان می‌دهند (نیمرخ شماره ۱). بر پایه نتایج حاصل از بررسی‌های نیمرخ‌های مورد بررسی، خاک‌های تپه‌ماهورهای گرانیتی دارای ۴۱-۴ درصد آهک، ۴۵-۵ درصد گچ، $7.5-8.2 \text{ pH}$ و رسانندگی الکتریکی $1-3 \text{ dSm}^{-1}$ هستند. در دامنه گرانیت‌ها تهنشست‌های عمیق بادرستی وجود دارند که وجود افق‌های کلسیک و ژپسیک همراه با لایه‌های سرشار از سیلیت نشان از تناوب تهنشینی و خاک‌سازی دارد. مقطع طبیعی لسی بررسی شده دارای ۳۲-۷ درصد آهک، ۱۷-۳ درصد گچ و 8 pH بالای ۸ است. رسانندگی الکتریکی به ویژه در اعماق این مقطع بالا است که حتی به

ترتیب تا نزدیک ۱/۴ و ۱/۸ نانومتری منبسط می‌شوند حاکی از وجود میکا- اسمکتایت و اسمکتایت است. نزدیک شدن تدریجی این قله‌ها به قله ۱ نانومتر و افزایش شدت این قله در تیمار اشباع با پتاسیم نیز تایید دوباره‌ای بر حضور این دو کانی است. کانی‌شناسی خاک‌های نوع اول درجا، مشابه لایه‌های ساپرولیتی است ولی قله ۶۴ نانومتر در افق کلسیک و حتی در ساپرولیت خاک‌های نوع دوم درجا وجود دارد (شکل ۵) و الیاف کوتاه پالیگورسکایت در تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز به سختی قابل مشاهده است (شکل ۶- الف). در لایه‌های لسی عاری از نشانه‌های خاک‌سازی، به عنوان مثال افق Ap نیمرخ شماره ۱، نشانه‌ای از پالیگورسکایت در پراش‌نگاشت پرتو ایکس و تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده نشد (شکل ۳ و شکل ۶- ب).

در افق‌های کلسیک مقطع لسی بررسی شده در دامنه تپه‌ماهورهای گرانیته نیز پالیگورسکایت وجود دارد. افق انبوهه رس و کربناته‌های سرخ رنگ این ته نشست‌های که به نظر می‌رسد با افق انبوهه رس و کربناته‌های سرخ رنگ نیمرخ ۱ از نظر زمان همبستگی دارند، قله مربوط به پالیگورسکایت در پراش‌نگاشت پرتو ایکس مشاهده نشد. قاعده این مقطع لسی از نظر ریخت‌شناسی با بخش‌های بالائی متفاوت بوده و دارای ظاهر یکنواخت با استحکام زیاد است. رسانندگی الکتریکی عصاره اشباع آن نیز زیاد است. در این بخش قله ۶۴ نانومتر پالیگورسکایت به خوبی نمایان است (شکل ۵). در تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۶- ج و ۶- د)، الیاف بلند و در هم تنیده پالیگورسکایت به طول ۵ تا ۱۰ میکرون، به مقدار زیادی مشاهده می‌شود.

در مارن‌ها و خاک‌های تشکیل شده روی آنها نیز پالیگورسکایت به مقدار زیاد وجود دارد و الیاف آن در تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۵، شکل ۶- ه و شکل ۶- و). ته‌نشست‌های بادرفتی بدون تغییر و افق تجمع رس و کربناته‌های سرخ رنگ که با آنالیز پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی، نشانه‌ای از حضور پالیگورسکایت در آنها مشاهده نشد؛ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری مورد مطالعه قرار گرفتند. الیاف کوتاه پالیگورسکایت در هر دو نمونه از ته‌نشست-

افق کلسیک است و تنها پدیده خاک‌سازی قابل مشاهده در آنها تجمع کربنات‌هاست.

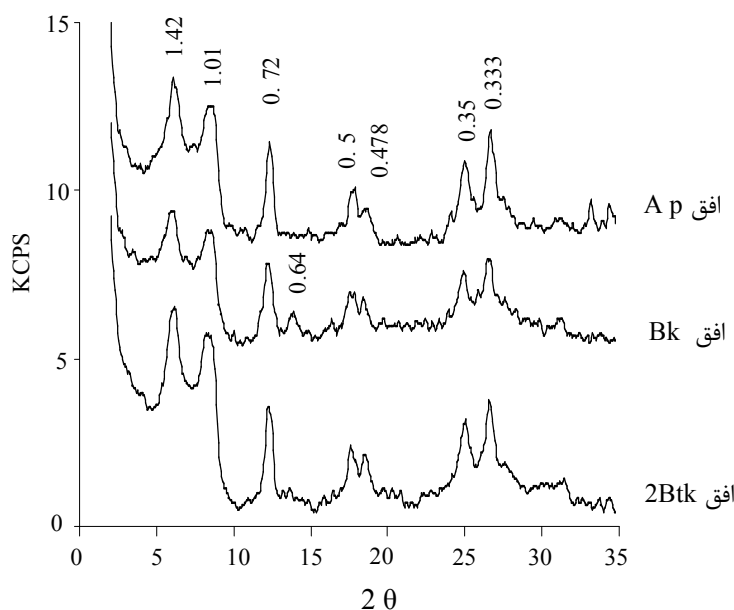
کانی‌شناسی رسی خاکها

اسمکتایت، ایلایت، میکا- اسمکتایت، فلدسپار پتاسیم‌دار و کوارتز در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده شدند. به دلیل همپوشی رده دوم و چهارم، کلرایت با رده اول، و دوم قائلولینیت، برای شناسائی قائلولینیت باید از قله رده سوم قائلولینیت (۲۴ نانومتر) استفاده کرد [۲۴]. به دلیل عدم وجود قله یادشده، قائلولینیت تشخیص داده نشد. قله‌های ۶۴ و ۱۰۵ نانومتر در تیمار منیزیم اشباع نشان دهنده وجود پالیگورسکایت است. شناسائی پالیگورسکایت با استفاده از قله ۱۰۵ نانومتر به دلیل نزدیکی با قله ۱ نانومتر ایلایت مشکل است، به همین دلیل معمولاً از قله ۶۴ نانومتر برای شناسائی پالیگورسکایت استفاده می‌شود. پالیگورسکایت فقط در بعضی از نمونه‌ها وجود داشت که نشان دهنده شرایط ویژه برای تشکیل آن است.

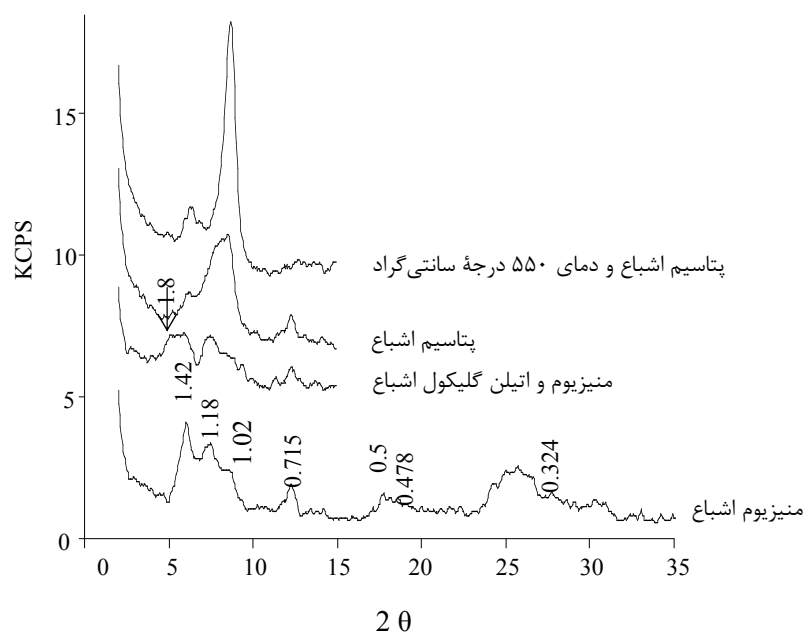
در افق سطحی خاک در جا با پوشش لسی (نیمرخ شماره ۱)، تمامی کانی‌های یاد شده به غیر از پالیگورسکایت مشاهده شد. چنانکه اشاره شد این افق لسی بوده و از نظر کانی‌شناسی مشابه افق‌های بادرفتی دیگر در منطقه است با این تفاوت که افق‌های بادرفتی روی گرانیته‌ها، اسمکتایت بیشتری دارند. افق کلسیک این نیمرخ، دارای مقدار زیادی پالیگورسکایت است (شکل ۳). وجود پالیگورسکایت در افق کلسیک در مناطق خشک معمول است [۷ و ۲۵]. نکته جالب عدم وجود قله ۶۴ پالیگورسکایت در پراش‌نگاشت پرتو ایکس در افق انبوهه رس و آهک سرخ رنگ پائینی است (شکل ۳). تفاوت رنگ دو افق نشان می‌دهد که افق انبوهه رس و آهک شرایط گرم‌تر و مرطوب‌تری را گذرانده و در نتیجه شرایط پایداری پالیگورسکایت فراهم نبوده است. در این خاک دو لایه ساپرولیتی نیز وجود دارند که شکل ظاهری گرانیته را حفظ کرده‌اند ولی به راحتی خرد می‌شوند. بر پایه نتایج پراش‌نگاشت‌های بخش رس این دو لایه (شکل ۴)، پدیده روشن، هوازگی میکا و تبدیل آن به اسمکتایت و تشکیل کانی حد واسط میکا- اسمکتایت است. وجود قله‌های ۱/۱۸ و ۱/۴۲ نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم که با تیمار اتیلن گلیکول به

لس‌ها را تشکیل می‌دهد (شکل ۹) و بیانگر این است که در اثر هودایدگی گرانیت، مقدار زیادی از کوارتز وارد جزء سیلت می‌شود. در منابع نیز به قابلیت گرانیت برای تولید کوارتز در حد سیلت اشاره شده [۲۶ و ۲۷] که می‌تواند خاستگاه سیلت کوارتزی لس‌های منطقه باشد. کانی غالب بادرفتها که ته‌نشست‌های با سیلت زیاد هستند، کوارتز است [۲۸].

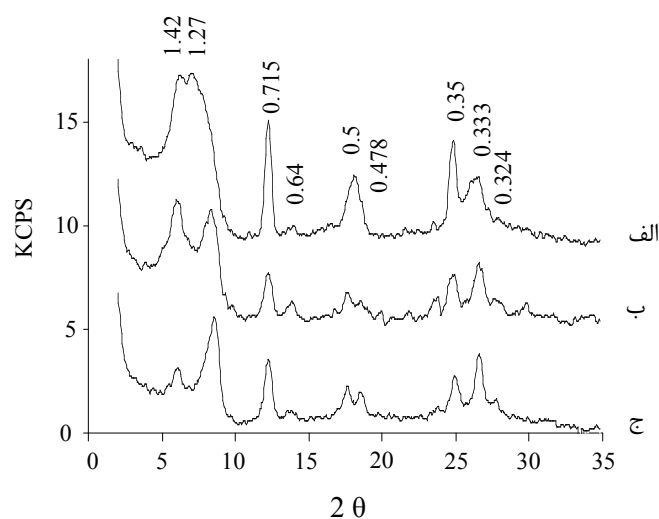
ها مشاهده شدند (شکل ۷-الف و شکل ۷-ب). خاک‌های تشکیل شده در دامنه میکروکنگلومراهای ژوراسیک (نیمرخ شماره ۲۱) دارای تکامل کم و ویژگی‌های آن به مواد مادری نزدیک است. در این خاک‌ها بخش بزرگ رس را ایلایت تشکیل می‌دهد. پالیگورسکایت دیده شد و اسمکتایت نیز در حد بسیار کم نسبت به بقیه خاکها وجود دارد (شکل ۸). کوارتز، کانی غالب بخش سیلت ساپرولیت گرانیت‌ها و



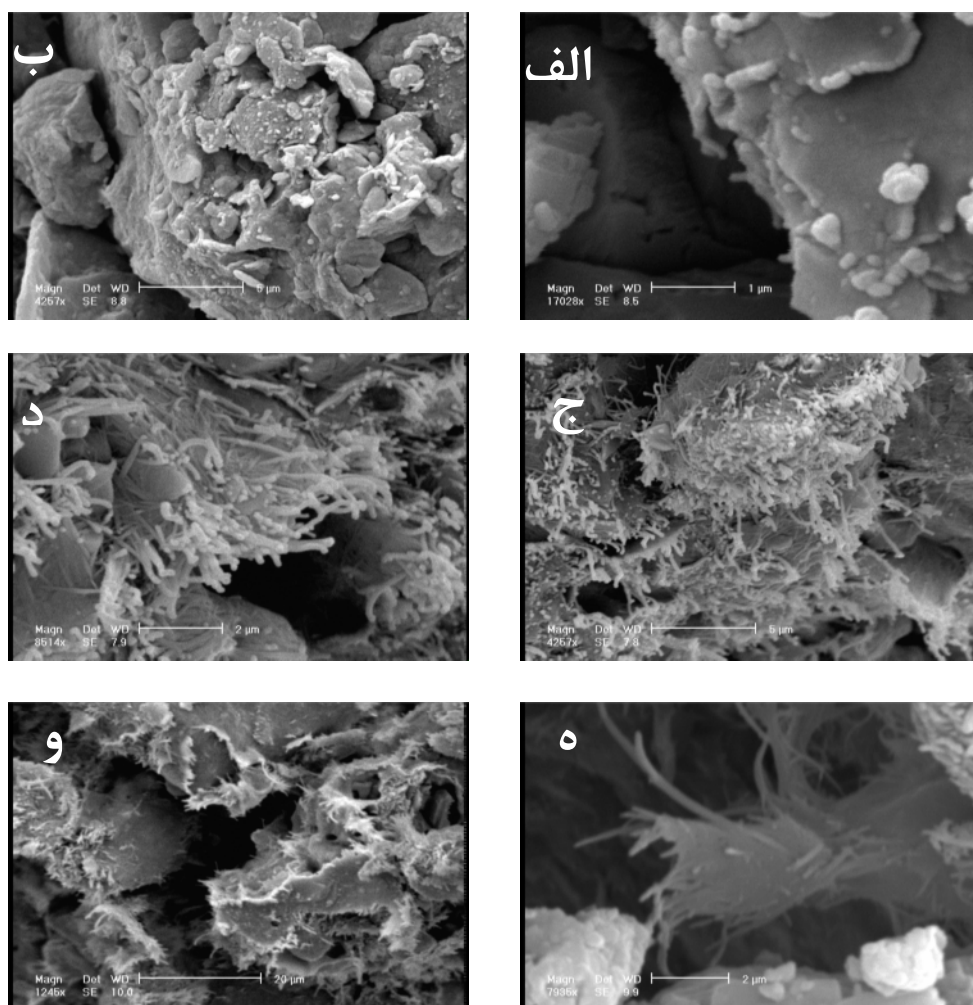
شکل ۳ طرح پراش پرتو ایکس تیمار اشباع با منیزیم بخش رس افق‌های نیمرخ شماره ۱، قله ۶۴، نانومتر فقط در افق کلسیک (Bk) وجود داشته ولی در افق انبوه رس و کربناتها (2Btk) مشاهده نمی‌شود.



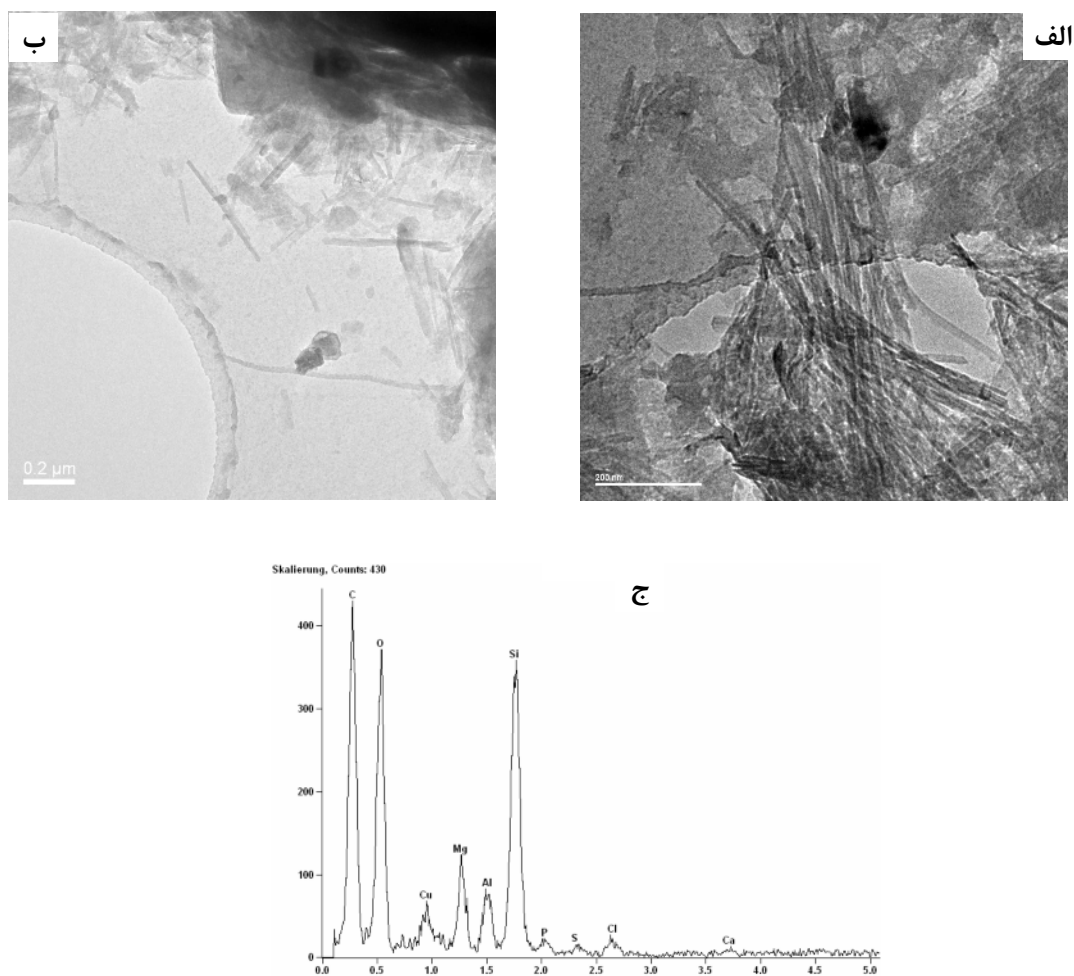
شکل ۴ طرح پراش پرتو ایکس تیمارهای مختلف بخش رس ساپرولیت (2Cr2) نیمرخ شماره ۱، گرانیت نوع g^{r1}.



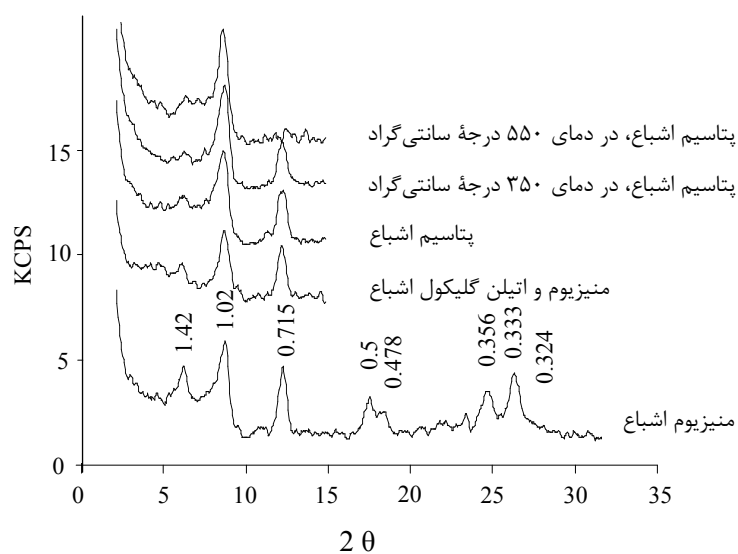
شکل ۵ طرح پراش پرتو ایکس تیمار منیزیم اشباع بخش رس خاک‌های سه نوع افق حاوی پالیگورسکایت، الف) ساپرولیت گرانیتی (Cry) دسته دوم خاکهای درجا، ب) لایه Cr2 مارن هوادیده میوسن، نیمرخ ۲۳، ج) لایه 6C7 قاعده مقطع طبیعی بادرفتی.



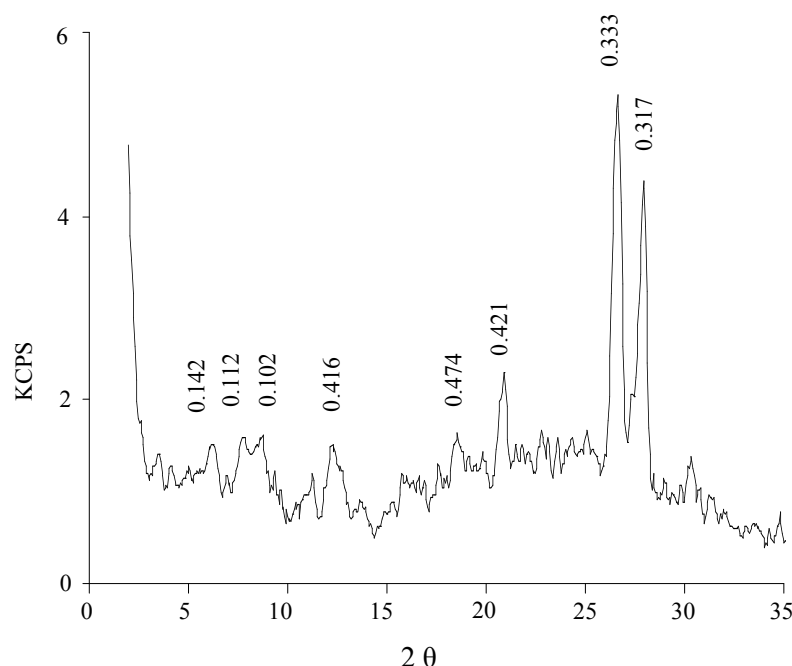
شکل ۶ تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی لایه‌های الف) ساپرولیت گرانیتی (Cry) دسته دوم خاکهای درجا، ب) افق Ap نیمرخ ۱، ج) و د) لایه 6C7 قاعده مقطع طبیعی بادرفتی، ه) و و) لایه Cr2 مارن هوازده میوسن، نیمرخ ۲۳.



شکل ۷ تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی عبوری لایه‌های الف) افق 2Btk نیمرخ شماره ۱، ب) افق Ap نیمرخ شماره ۱ و ج) بیناب سنج پرتو ایکس الیاف پالیگورسکایت افق 2Btk نیمرخ شماره ۱.



شکل ۸ طرح پراش پرتو ایکس تیمارهای مختلف بخش رس افق Ap نیمرخ ۲۱.



شکل ۹ طرح پراش پرتو ایکس نمونه پودری بخش سیلت ساپرولیت (2Cr2) نیمرخ شماره ۱.

بحث و برداشت

نتایج ارائه شده در بخش قبل، وجود سه نوع پالیکورسکایت را بر پایه شرایط تشکیل، مقدار، و ریخت‌شناسی در خاک‌ها و ته-نشست‌های منطقه نشان می‌دهد. این سه نوع پالیکورسکایت عبارتند از: پالیکورسکایت فراوان با الیاف بلند و درهم تنیده موجود در مارن‌های گچی میوسن و قاعده لس‌های عمیق با شوری بالا، میزان متوسط پالیکورسکایت که بیشتر به همراه آهک و گچ در زمان تشکیل افق‌های کلسیک و ژپسیک انبوه شده‌اند و مقدار کم پالیکورسکایت آواری منتقل شده به وسیله باد در ته‌نشست‌های لسی بدون دگرگونی.

کرینزلی (۱۹۷۰) معتقد است که مرکز ایران بخشی از دریای تتیس قدیمی بوده است [۲۹]. در کرتاسه زیرین این بخش ایران از دریای اصلی جدا می‌شود و در نتیجه در دوران سوم زمین‌شناسی دریاچه‌های کم عمق و شور تشکیل شده‌اند [۳۰]. تفاوت ترکیب ایزوتوپی گوگرد ته‌نشست‌های الیگومیوسن ایران مرکزی با دریاچه‌های آزاد هم‌زمان با این ته‌نشست‌ها نیز مؤید جدا شدن ایران از دریای قدیمی و تشکیل دریاچه‌های داخلی است [۳۱]. این دریاچه‌ها از نظر شیمیائی، محیط‌های بسیار مناسبی برای تشکیل رس‌های الیافی هستند. بررسی‌های خادمی و مرموت (۱۹۹۷) وجود مقادیر فراوان پالیکورسکایت در ته‌نشست‌های الیگومیوسن در ایران مرکزی،

این فرضیه‌ها را تأیید می‌کند [۶]. وجود پالیکورسکایت فراوان در مارن سرخ گچی در این منطقه نشان دهنده شرایط محیطی مشابه با ایران مرکزی در دوران سوم زمین‌شناسی است. الیاف با طول ۱۰-۵ میکرون و در هم تنیده پالیکورسکایت (شکل ۳۲-ه و ۳۲-و) نشان از تشکیل درجای پالیکورسکایت است [۳۲] و [۳۳]. در اینگونه محیط‌ها، شرایط ژئوشیمیائی برای تشکیل پالیکورسکایت مناسب بوده است. شرایط قلیائی و فعالیت بالای H_4SiO_4^0 و Mg^{2+} برای تشکیل پالیکورسکایت نیاز است [۳۴]. خادمی و مرموت (۱۹۹۸) معتقدند که در ترشیاری، آب کم عمق و دمای بالا موجب افزایش pH و در نتیجه افزایش حلالیت سیلس شده است. از طرف دیگر مارن‌ها در این منطقه، دارای گچ فراوان نیز هستند. در موقع ته نشینی گچ، به دلیل خارج شدن کلسیم از محیط، نسبت Mg/Ca افزایش می‌یابد که سبب افزایش فعالیت منیزیم می‌شود [۶]. وجود پالیکورسکایت در این منطقه، ایران مرکزی [۶ و ۷]، مراکش [۳۲، ۳۳ و ۳۵] و عربستان [۳۶]، نشان دهنده شرایط مشابه در دوران سوم در این مناطق بوده و می‌توان گفت که ته‌نشست‌های دوران سوم، خاستگاه اصلی رس‌های الیافی در دنیا هستند.

الیاف بلند پالیکورسکایت در قاعده لس‌های عمیق دامنه گرانیت‌ها (شکل ۳۲-ج و ۳۲-د)، مشابه با پالیکورسکایت موجود

در مارن‌ها، حاکی از تشکیل درجای این رس الیافی است. در این لایه‌ها اثری از افق کلسیک وجود ندارد ولی گچ به مقدار کم به صورت بلورهای ثانویه دیده می‌شود. به نظر می‌رسد غلظت بالای الکترولیت و pH مناسب، شرایط را برای تشکیل پالیگورسکایت فراهم آورده است.

پالیگورسکایت در این منطقه همراه با افق‌های کلسیک و ژپسیک مشاهده شد. رابطه نزدیکی بین تشکیل افق کلسیک و ژپسیک و تشکیل پالیگورسکایت گزارش شده است [۱۳، ۱۸، ۳۵ و ۳۷]. تشکیل آهک یا گچ در خاک، مشابه شرایط تشکیل مارن‌های این منطقه نیز، سبب افزایش نسبت Mg/Ca می‌شود. از طرف دیگر تشکیل آهک و گچ سبب افزایش pH نیز شده است. افزایش pH، فعالیت سیلیس و آلومینیم را افزایش داده و شرایط ژئوشیمیایی لازم برای تشکیل پالیگورسکایت فراهم می‌شود. خادمی و مرموت (۱۹۹۹) معتقدند که انتقال پالیگورسکایت به همراه آهک در زمان تشکیل افق کلسیک، سبب غنی شدن افق‌های کلسیک از پالیگورسکایت در ایران مرکزی است [۷]. با توجه به مقدار فراوان پالیگورسکایت در افق‌های کلسیک و ژپسیک در این منطقه، و عدم مشاهده الیاف بلند پالیگورسکایت با میکروسکوپ الکترونی روبشی، می‌توان گفت که همانند ایران مرکزی، انتقال پالیگورسکایت به همراه آهک و گچ عامل اصلی انبوه شدن مقدار زیاد پالیگورسکایت در افق‌های کلسیک و ژپسیک است. نکته قابل ذکر مقدار کم پالیگورسکایت در افق انبوه رس و کربنات‌های سرخ رنگ خاک‌های لسی است که فقط با میکروسکوپ الکترونی روبشی قابل شناسایی است (۷-الف). رنگ سرخ در این افق‌ها به دلیل انبوه شدن اکسیدهای آهن آزاد در خاک است. در شرایط گرم و مرطوب، آهن در اثر هوازدگی کانی‌های اولیه آزاد شده و به صورت اکسید در خاک جمع می‌شوند و باعث ایجاد رنگ سرخ خاک خواهند شد [۳۸]. بنابراین رنگ سرخ نشان دهنده شرایط گرم‌تر و مرطوب‌تر زمان تشکیل این افق نسبت به زمان حال و عدم وجود شرایط مناسب برای تشکیل و پایداری پالیگورسکایت بوده است. همچنین در شرایط بارندگی سالیانه بیش از ۳۰۰ میلی‌متر، پالیگورسکایت ناپایدار بوده و به کانی‌های دیگر مانند اسمکتایت تبدیل می‌شود [۱۳]. بنابراین با وجود بارندگی سالیانه ۲۵۶ میلی‌متری فعلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افق یادشده در اقلیم با بارندگی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر در سال تشکیل شده

است. افق انبوه رس و کربنات‌های سرخ رنگ دارای پالیگورسکایت در مرکز ایران نیز گزارش شده است [۶ و ۳۸] که نشان می‌دهد در این مناطق پس از یک دوره گرم و مرطوب، آهکی شدن دوباره خاک، شرایط را برای تشکیل پالیگورسکایت فراهم کرده است ولی در منطقه مورد مطالعه، احتمالاً به دلیل سرعت اضافه شدن سیلت به سطح خاک، شرایط برای تشکیل یا انبوه شدن دوباره پالیگورسکایت در افق‌های زیرین ایجاد نشده است. در این منطقه پالیگورسکایت فقط در افق‌های ژپسیک که نشانه‌هایی از حل و ته‌نشست، و انتقال دارند، دیده شد. به همین دلیل پالیگورسکایت حتی در ساپرولیت گرانیته به دلیل حل و ته‌نشینی گچ وارد شده با باد مشاهده شد؛ ولی در لایه‌هایی که گچ با باد آورده شده و بدون هیچ تغییری انبوه شده‌اند، نشانه‌ای از قله ۶۴ نانومتر نبوده است و پالیگورسکایت تنها در تصاویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی عبوری قابل مشاهده است. نوع دیگر پالیگورسکایت، شکل آواری آن است که به مقدار کمتر ته‌نشست‌های بادرفتی بدون تغییر و نیز در لایه‌های با گچ زیاد بین ته‌نشست‌های بادرفتی، با میکروسکوپ الکترونی عبوری مشاهده شد (شکل ۷-ب) ولی به دلیل مقدار کم آن با پراش پرتو ایکس قابل شناسایی نیست. این نوع پالیگورسکایت همراه با سیلت در زمان تشکیل لسی، با باد وارد منطقه شده است. شکل ۷-ج نیز بیناب نگاشت الیاف پالیگورسکایت را نشان می‌دهد. پالیگورسکایت ممکن است از تغییر شکل اسمکتایت نیز حاصل شود [۱۸]. ولی بر پایه نتایج پراش‌نگاشت پرتو اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی، هیچ شاهده‌ای برای این تغییر یافت نشد.

کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های تشکیل شده در دامنه میکروکنگلومراهای ژوراسیک در مقایسه با مارن‌ها، شرایط متفاوتی را نشان می‌دهد. چنانکه گفته شد مارن‌های مربوط به دریاچه‌های کم عمق داخلی و شور است که شرایط تشکیل پالیگورسکایت در آنها فراهم بوده است [۶]، به دلیل وجود ته‌نشست‌های در صورتی که رسوبات ژوراسیک مربوط به دریای نسبتاً عمیق است که شرایط تشکیل پالیگورسکایت فراهم نبود، و حتی اسمکتایت در آنها نیز بسیار اندک بوده و میکا کانی غالب در بخش رس است. پدیده کانی‌شناسی مهم دیگر در این منطقه تبدیل میکا به اسمکتایت و تشکیل کانی حد واسط میکا-اسمکتایت در سه نوع گرانیته موجود در منطقه است.

[12] Abtahi A., "Effect of a saline and alkaline ground water on soil genesis in semi-arid southern Iran", Soil Sci. Soc. Am. J. 41 (1977) 583–588.

[13] 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.

[14] Farpoor M.H., Khademi H., Eghbal M.K., "Genesis and distributon of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces", Iran Agric. Res. 21 (2002) 39-60.

[۱۵] حق‌نیا غ، "بررسی کانیه‌های رسی برخی از خاکهای دشت مشهد با استفاده از اشعه ایکس"، مجله علوم کشاورزی ایران ۱، ۲، ۳ و ۴ (۱۳۶۱) ص ۱-۱۶.

[16] Singer A., Norrish K., "Pedogenic palygorskite occurrences in Australia", Am. Miner. 59 (1974) 508–517.

[17] Monger H.C., Daugherty L.A., "Neoformation of palygorskite in a southern New Mexico Aridisols", Soil Sci. Soc. Am. J. 55 (1991) 1646–1650.

[18] Watts N.L., "Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis", Sedimentology 27 (1980) 661–686.

[۱۹] درویش‌زاده ع، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ دوم، انتشارات امیرکبیر (۱۳۸۰) ۹۰۱ صفحه.

[۲۰] صاحب جمع ع. ا، "گزارش نهائی مطالعات تفصیلی دقیق خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی طر- استان خراسان"، نشریه فنی ۱۱۴۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۸۱) ۶۲ صفحه.

[۲۱] شهرابی م، "شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش مشهد، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳) ۱۰۶ صفحه.

[22] Jackson M.L., "Soil Chemical Analysis Advanced Course", 2nd ed., 11th Printing, Published by the Author, Madison, WI, U.S.A. (1979) 991 p.

[23] Soil survey staff, USDA-NRCS., "Soil Survey Laboratory Methods Manual", Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 3.0 (1996) 693 p.

تشکیل اسمکتایت و کانی‌های حدواسط از میکای موجود در سنگهای آذرین مانند میکا معمول است [۳۹].

مراجع

[1] Henderson S.G., Robertson R.H.S., "Mineralogical reconnaissance in western Iran", Resource Use Ltd., Glasgow, UK. (1958).

[2] Burnett A.D., Fookes P.G., Robertson R.H., "An engineering soil at Kermanshah, Zagros mountains, Iran", Clay Miner. 9 (1972) 329-343.

[3] Mahjoory R.A., "The nature and genesis of some salt-affected soils in Iran", Soil Sci. Soc. Am. J. 43 (1979) 1019-1024.

[4] Abtahi A., "Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent material under semiarid conditions of Iran", Soil Sci. Soc. Am. J. 44 (1980) 329-336.

[5] Gharaee H.A., Mahjoory R.A., "Characteristics and geomorphic relationship of some representative Aridisols in southern Iran", Soil Sci. Soc. Am. J. 48 (1984) 1115-1119.

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

[7] Khademi H., Mermut A.R., "Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonate and associated palygorskite in Iranian Aridisols", Eur. J. Soil Sci. 50 (1999) 207-216.

[8] Owliaie H.R., Abtahi A., Heck R.J., "Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran", Geoderma 134 (2005) 62-81.

[۹] کریم‌زاده ح، جلالیان ا، خادمی ح، "مطالعه کانیه‌های رسی خاکهای گچی زمین‌ریخته‌های مختلف در منطقه شرق اصفهان"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱ (۱۳۸۳) ص ۷۳-۹۳.

[10] Coudé-Gaussen C., "Observation au MEB de fibres de palygorskite transportée en grains par le vent", In: Federoff, N., Bresson, L.M., Courty, M.A. (Eds.), Micromorphologie des Sols. Association Française pour l' Étude du Sol, Paris (1987) 199–205

[11] Pimentel N.L.V., "Pedogenic and early diagenetic processes in Palaeogene alluvial fan and lacustrine deposits from the Sado Basin (S Portugal)", Sediment. Geol. 148 (2002) 123–138.

- [33] Tateo F., Sabbadinvi R., Morandi N., "Palygorskite and sepiolite occurrence in Pliocene lake deposits along the River Nile: evidence of an arid climate", J. Afric. Earth Sci. 31 (2000) 633-645.
- [34] Singer, A., "Palygorskite and sepiolite group minerals", In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am. Madison (1989) 829-872.
- [35] Badraoui M., Bloom P.R., Bouabid R., "Palygorskite-smectite in a Xerochrept of the high Chaouia region of Morocco", Soil Sci. Soc. Am. J. 56 (1992) 1640-1646.
- [36] Shadfan H., Mashhady A.S., Dixon J.B., Hussein A.A., "Palygorskite from Tertiary formations of eastern Saudi Arabia", Clays Clay Miner. 33 (1985) 451-457.
- [37] Sancho C., Mehlandes A., Signes M., Batisda J., "Chemical and mineralogical characteristics of Pleistocene caliche deposits from the central Ebro basin, NE Spain", Clay Miner. 27 (1992) 293-308.
- [۳۸] ایوبی ش.، "مطالعه شواهد پدوژنیکی تغییر اقلیم در خاکهای قدیمی دو منطقه اصفهان و امام قیس چهار محال و بختیاری"، رساله دکتری خاکشناسی دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۱) ۲۷۱ صفحه.
- [39] Tonui E., Eggleton T., Taylor G., "Micromorphology and chemical weathering of a K-rich trachyandesite and an associated sedimentary cover (Parkes, SE Australia)", Catena 53 (2003) 181-207.
- [24] Moore D.M., Reynolds R.C., "X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals", 2nd ed., Oxford Univ. Press, New York, NY. (1997) 378p.
- [25] Bouza P.J., Simon M., Aguilar J., Valle H., Rostage M., "Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina", Geoderma 139 (2007) 38-50.
- [26] Assallay A. M., Rogers C. D. F., Smalley I. J., Jefferson I. F., "Silt: 2-62 mm, 9-4 Φ ", Earth-Sci. Rev. 45 (1998) 61-88.
- [27] Wright J.S., "Desert versus glacial loess: quartz silt formation, source area and sediment pathways in the formation of loess deposits", Geomorph. 36 (2001) 231-256.
- [28] Okhravi R., Amini A., "Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in northeast Iran", Global and Planetary Change 28 (2001) 11-22.
- [29] Krinsley D.B., "A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran", Geological Survey, US Department of Interior, Washington DC. (1970).
- [30] Zahedi M., "Explanatory text of the Isfahan quadrangle map 1:250000", Geological Survey of Iran (1976).
- [31] Khademi H., Mermut A.R., Krouse R.H., "Sulfur isotope geochemistry of gypsiferous soils from central Iran", Geoderma 80 (1997) 195-209.
- [32] Daoudi L., "Palygorskite in the uppermost Cretaceous-Eocene rocks from Marrakech High Atlas, Morocco", J. Afric. Earth Sci. (2004) 353-358