



بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نهشته‌های کانی رسی منطقه‌ی کلاته نو (شمال غرب گناباد)

صدیقه زیرجانی‌زاده^{*}، محمدحسن کریم‌پور، خسرو ابراهیمی

گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۱/۳/۱۹، نسخه نهایی: ۹۱/۹/۱۹)

چکیده: گستره‌ی مورد بررسی در استان خراسان رضوی و شمال غرب گناباد، قرار گرفته است. این گستره از نظر ساختاری جزء پهنه‌ی بلوك لوت محسوب می‌شود. واحدهای سنگی در منطقه شامل انواع سنگ‌های آتشفسانی و توده‌های سابولکانیک است. زون‌های دگرسانی سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سرسیتیک و کوارتز-سرسیت-پیریت در منطقه شناسایی شدند. کانی‌سازی کلاته نو، در نتیجه‌ی نفوذ گرمابهای توده‌ی مونزودیوریت پورفیری و دگرسانی سنگ‌های مسیر خود بوجود آمده است. این نهشته حاوی کوارتز، فازهای آهن‌دار (پیریت و هماتیت)، ایلیت، موسکویت، مونتموریونیت، آلبیت، ارتوکلاز و ژیپس است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که میزان SiO_2 در منطقه معدن کلاته نو با میانگین 66.97% نسبتاً بالا بوده و میانگین اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) 17.67% است. درنتیجه شستشو به وسیله‌ی آبهای جوی و فرو رو و گرمابهای بالارو، رس‌های برونا و در بخش‌های عمیق تر رس‌های گرمابی شکل گرفته است.

واژه‌های کلیدی: توفهای اسیدی؛ کلاته نو؛ کوارتز.

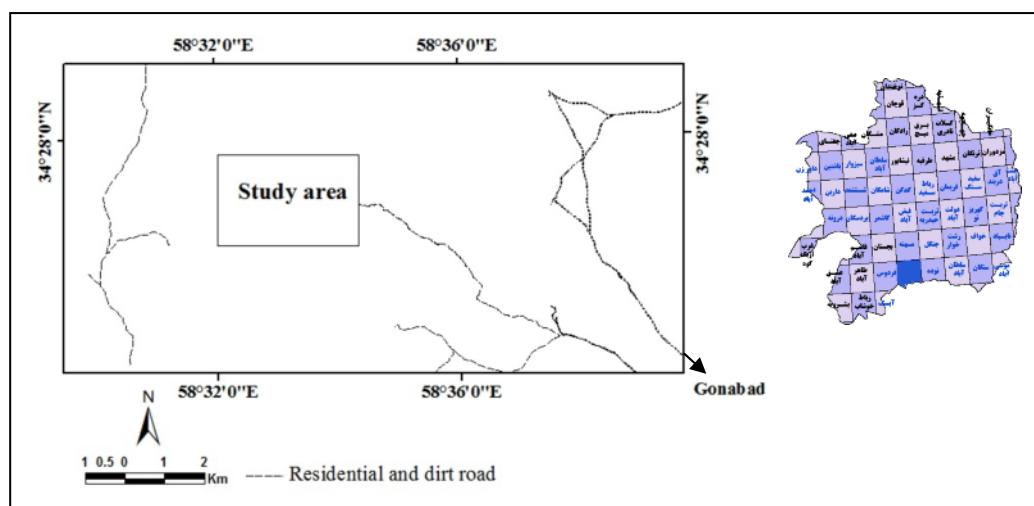
سازی کائولن دارد (شکل ۲) [۳]. پیدایش کائولن در محیط اسیدی امکان‌پذیر است و این موجب می‌شود تا قلیایی‌های حاصل از تجزیه سنگ و به خصوص اکسیدهای سدیم و پتاسیم آن خارج شوند.

اگر مواد قلیایی به‌طور کامل خارج شوند، کائولینیت و چنانچه مقداری از آن خارج شود، مونتموریونیت و ایلیت تشکیل می‌شود که میزان خروج مواد قلیایی امر مهمی است [۴]. بررسی فرایند شکل‌گیری رس‌ها که بوسیله کانی‌های همراه و ویژگی‌های ژئوشیمیایی قابل تشخیص است، می‌تواند برای امر پی جویی مفید واقع شود، [۶۵]. این مقاله ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کانی‌شناسی نهشته‌ی کلاته نو را که تا کنون هیچ بررسی علمی در مورد این ناحیه‌ی پی جویی صورت نگرفته است، به منظور شناخت بهتر ژئو آن توصیف می‌کند.

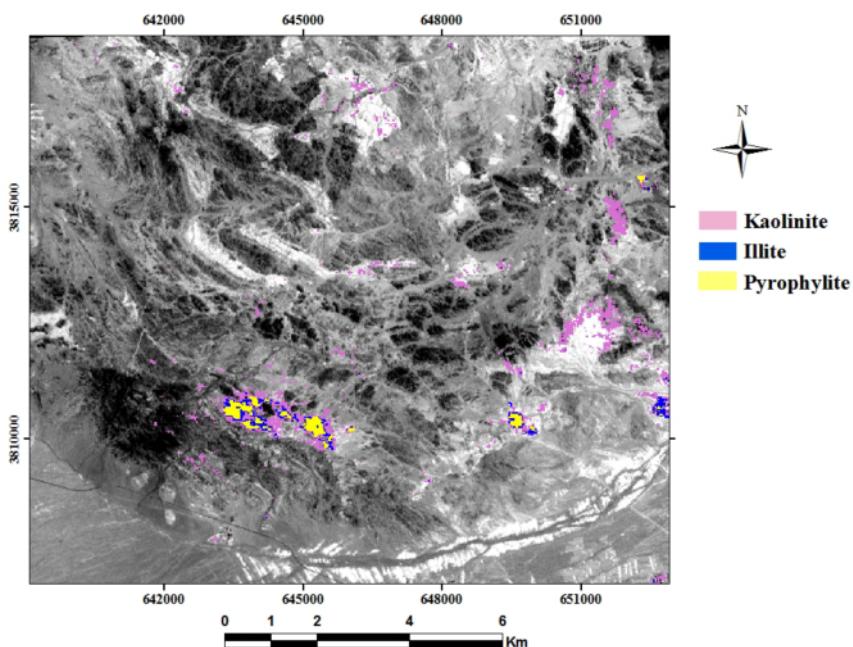
مقدمه

گستره‌ی مورد بررسی در استان خراسان رضوی و در شمال غرب شهرستان گناباد، در حدفاصل $32^{\circ} ۵۸' ۳۴''$ تا $۳۴^{\circ} ۲۶' ۲۸''$ طول-های شرقی و $۳۴^{\circ} ۲۶' ۲۸''$ تا $۳۴^{\circ} ۲۸' ۳۴''$ عرض‌های شمالی قرار می‌گیرد (شکل ۱). منطقه شمال غرب گناباد با توجه به تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوی-ساختاری مهم ایران [۱] در شمال شرقی خرد قاره‌ی ایران مرکزی قرار دارد. بر اساس زیرپهنه‌های ایران مرکزی [۲] منطقه‌ی مورد بررسی در بلوك لوت واقع شده است. منطقه‌ی شمال غرب گناباد منطقه‌ای غنی از نظر کانی سازی خاک رس کائولینیتی است. دو معدن مهم کائولن رخ‌سفید و باغ سیاه از جمله مهم‌ترین آنها هستند و منطقه‌ی معدنی یاسمینا نیز در حد فاصل این دو معدن قرار دارد. معدن کائولن کلاته نو در شمال این معدان واقع شده است. علاوه بر این شمال غرب گناباد پتانسیل پی جویی نشده‌ی بالایی برای کانی-

* نویسنده مسئول، تلفن-نامبر: ۰۹۱۵۳۵۹۸۵۹۶، پست الکترونیکی: zirjani38@yahoo.com



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۲ کانی‌های رسی منطقه شمال غرب گناباد، که به روش نقشه‌برداری زاویه‌ی طیفی، منطبق بر زون‌های کائولینیتی موجود در منطقه پردازش شده است به خوبی نشان می‌دهد [۳].

۳. بررسی‌های سنگشناسی و دگرسانی ۴۰ مقطع نازک و ۴ مقطع نازک‌صیقلی

۴. به منظور بررسی زئوژیمی و کانی‌شناسی، از کانسارهای کائولن و خاک صنعتی موجود در منطقه در هر قسمتی که تغییری در ترکیب آن مشاهده می‌شد، نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها به صورت خردمندگی و مخلوط برداشته شد، به این صورت که کائولن از دیواره‌ی ترانشه تراشیده شده است. نمونه‌ها پس

روش بررسی

بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده در منطقه شامل مراحل زیراند:

۱. پردازش داده‌های ماهواره‌ای Aster به منظور شناسایی کانی‌های خاص معرف مناطق کائولینیتی شده در مقیاس

۱:۱۰۰۰۰ از منطقه‌ای به وسعت حدود ۲ کیلومتر مربع

۲. برداشت حدود ۴۰ نمونه‌ی سنگی به منظور بررسی‌های سنگشناسی و دگرسانی

مواد آهن‌دار بوده است، زیرا بلورهای کشیده اسپکیولاریت [۷] و گاهی بلورهای درشت‌تر و چند وجهی کدر تا 0.5 mm ، به صورت اولیه و پراکنده در متن، در سنگ‌ها حضور دارند.

برشهای آتشفشاری: این واحد که در جنوب منطقه رخمنون دارد (شکل ۳)، از برش‌های آتشفشاری و آگلومرا تشکیل شده و اجزای اصلی سازنده‌ی آن قطعات زاویه‌دار تا نیمه زاویه‌دار کوارتز و سنگ‌های آتشفشاری اسیدی - حدواسط است که در یک زمینه‌ی سیلیسی قرار گرفته‌اند. این قطعات بسیار درشت (۳-۵ سانتی‌متر) هستند.

تراکی آندزیت: بافت این واحد پورفیری است. فنوکریست‌ها شامل پلاژیوکلاز تا ۲۵٪ (به ابعاد 0.1 mm)، قطعات هورنبلند با حاشیه‌ی سوخته ۵٪ (به ابعاد 0.6 mm) و فلدسپات قلیایی سرسیتی شده ۱٪ دیده می‌شوند. زمینه شامل میکروولیت‌های پلاژیوکلازهای ریز بلور 30 mm تا 35 mm و کانی‌سازی کدر 10 mm است (شکل ۴-الف). کربنات‌ها هم داخل پلاژیوکلاز، و هم در زمینه تا ۲۵٪، و نیز کلریت به صورت پراکنده کمتر از 0.3 mm دیده می‌شوند (شکل ۳).

تراکیت: ویژگی این واحد وجود بافت تراکیتی آن است (شکل ۴-ب). پلاژیوکلازهای ریز بلور از نوع سانیدین تا ۹٪ سنگ را شامل می‌شوند. هورنبلند با حاشیه‌ی سوخته که قالب آنها توسط کربنات‌پرشده بین 3 mm تا 5 mm (به ابعاد 0.3 mm) دیده می‌شود، ضمن اینکه کوارتز کمتر از ۱٪ قابل مشاهده است. در این توده کربنات به صورت رگچه‌های بسیار ظریف (به ابعاد کمتر از 0.1 mm) و در زمینه تا ۲٪ دیده می‌شود (شکل ۳).

ریوداسیت: از دیگر سنگ‌های آتشفشاری منطقه ریوداسیت است (شکل ۳). بافت گلومرپورفیری بافت اصلی ریوداسیت‌های این منطقه است. فنوکریست‌های موجود در این سنگ‌ها شامل بلورهای خودریخت و کوارتز با اندکی خود ریختی ۲ تا ۳ mm (در ابعاد $0.1-0.5\text{ mm}$)، پلاژیوکلاز 7 mm تا 10 mm (در ابعاد $0.2-0.8\text{ mm}$ ، بیوتیت سوخته ۱٪ و هورنبلند سوخته ۵٪) است. بخش بیشتر سانیدین دگرسان و تا ۱۵٪ به کانی‌های رسی تبدیل است.

مونزو دیوریت پورفیری: این واحد که رخمنون آن تنها در دیواره‌ی یکی از ترانشه‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳)، کانی‌های پلاژیوکلاز ۷-۵٪ (در ابعاد $0.1-0.4\text{ mm}$ ، فلدسپارها تقریباً کاملاً آرژیلیکی شده و کوارتز اولیه ۱٪ قابل تشخیص‌اند (شکل ۴-پ). بافت این واحد پورفیری بوده و حضور دگرسانی-

از همگن‌سازی برای آزمایش‌های زیر به شرکت تحقیقات معدنی طیف کانسaran بینالود مشهد به صورت زیر ارسال شدند.

۱. ارسال ۲۱ نمونه به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی با پرتو ایکس فلورسان (XRF).

۲. ارسال ۵ نمونه به منظور بررسی‌های کانی‌شناسی با پراش سنج پرتو ایکس Philips PW3710 (XRD).

زمین‌شناسی

پس از فعالیت‌های آتشفشاری با ترکیب حدواسط که بیشتر از تراکی آندزیت تشکیل شده است و از لحاظ سنی مربوط به اوسن است، فرآیندهایی با ترکیب اسیدی در منطقه دیده می‌شود که شامل سنگ‌های آذرآواری همانند ایگنمبریت بنفش تا قرمز رنگ، توف اسیدی و سنگ‌های آتشفشاری شامل ریولیت، ریوداسیت و تراکیت است (شکل ۳). همارزهای کم عمق آنها نیز بصورت توده‌های کوچکی در منطقه‌ی مورد بررسی به چشم می‌خورند. واحدهای سنگی که در منطقه رخمنون دارند عبارتند از:

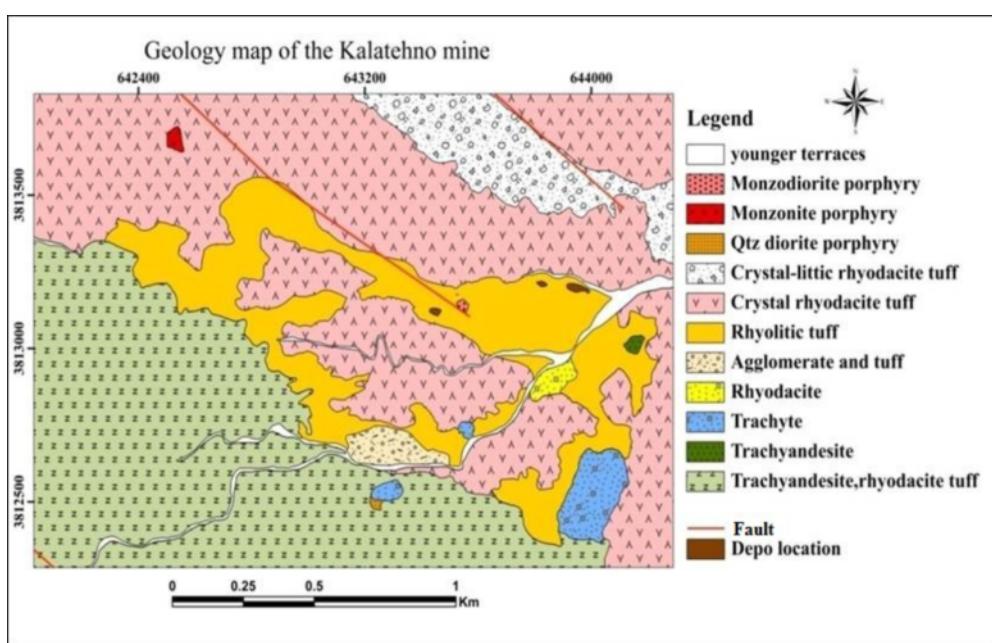
توف: از مهمترین سنگ‌های موجود در این منطقه توف است که جزء سنگ‌های آذرآواری است (شکل ۳). بررسی توف‌ها نشان می‌دهد که ترکیب ریولیت- ریوداسیتی بوده و بخش مهم آنها توف بلوری است. بافت این سنگ‌ها پیروکلاستیکی است. در برخی قسمت‌ها رگه‌ی سیلیسی ثانویه نیز در زمینه وجود دارد. علاوه بر این، به دلیل فشار بالای ایجاد شده هنگام تهنشیی خاکستری‌های آتشفشاری، نوعی حالت جریان یافته‌گی در زمینه‌ی بعضی از مقاطع مشابه آنچه در ایگنمبریت دیده می‌شود مشاهده شد. فنوکریست‌ها در ابعاد بسیار ریز تا درشت بوده و از کوارتز $30-25\%$ (در ابعاد $0.1-0.1\text{ mm}$ ، پلاژیوکلاز 5% (در ابعاد $0.2-0.8\text{ mm}$ ، اسید آهن $2-4\%$ و کانی کدر (پیریت) $1-3\%$ تشکیل شده‌اند. میزان دگرسانی در توف‌های این منطقه بالاست. فلدسپات‌های قلیایی به شدت دگرسان شده و در بعضی مقاطع تا 70% به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. کلریت به میزان 1% دیده می‌شود. رنگ این توف‌ها سرخ، بنفش، خاکستری و سفیدند. در بخش شمال‌شرقی منطقه مورد بررسی توف سنگی بلوری نیز دیده می‌شود. قطعات سنگ یا بلور کربناتی و آرژیلیکی شده و در زمینه‌ی کاملاً سیلیسی- آرژیلیکی قرار دارند. قطعات سنگی (با ابعاد حداقل 4 mm)، 20% درصد سنگ را تشکیل می‌دهند. از ویژگی‌های این توف‌ها وجود بلورهای اسپکیولاریت است که نشان می‌دهد لاوا غنی از

زمینه است. این واحد تا ۷٪ کلریتی و ۳٪ کربنات بصورت پراکنده قابل مشاهده است.

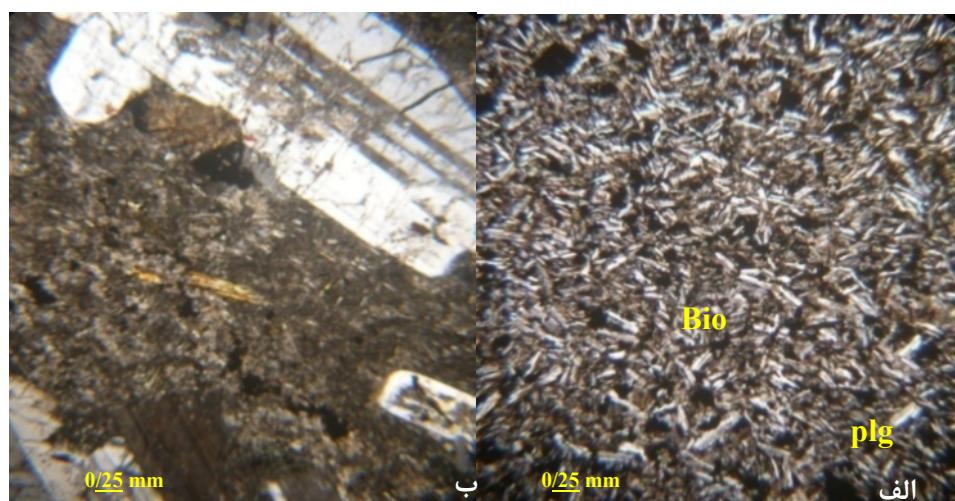
مونزونیت پورفیری: این توده‌ی نفوذی نیمه عمیق با بافت پورفیری که در شمال غرب منطقه رخنمون دارد و حاوی ۱۰ تا ۱۵٪ فلدسپات پاتاسیم (در ابعاد ۰/۳-۰/۱ mm) و کمتر از ۰/۳٪ پلاژیوکلاز (در ابعاد ۰/۳-۰/۲ mm) است. دگرسانی سیلیسی ۵ تا ۷٪ و کمتر از ۱٪ سرسیت در این توده دیده می‌شود. وجود کانی‌های فرعی نظیر زیرکن و آپاتیت از ویژگی‌های این توده است.

های سیلیسی (تا ۴٪)، کوارتز-سرسیت-پیریت (پلاژیوکلازها ۲ تا ۳٪ به سرسیت تبدیل شده است) و آرژیلیکی شدن ۱۵ تا ۲۰٪، از ویژگی‌های این توده است. کانی‌سازی مشاهده شده در این توده اغلب شامل پیریت‌های خود ریخت و بی‌شکل و کمتر از ۱٪ هماتیت است (شکل ۴-ت).

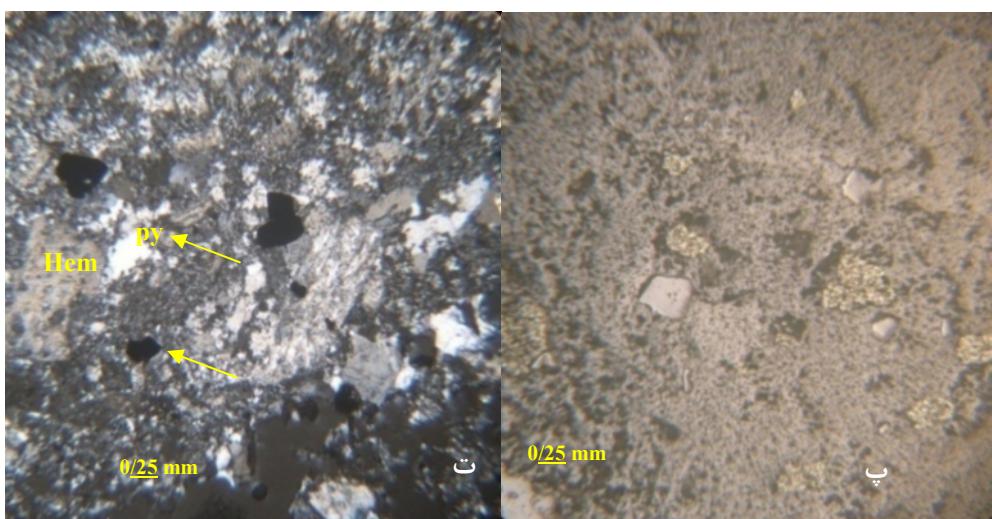
کوارنزدیوریت پورفیری: رخنمون کوچکی از این واحد که در جنوب منطقه قرار دارد دارای بافت پورفیری بوده و شامل فنوکریستلهای پلاژیوکلاز ۸۰٪ (در ابعاد ۰/۱-۰/۲ mm) و کوارتز ۲٪ (در ابعاد ۰/۱-۰/۲ mm) به همراه همین کانی‌ها در



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴ الف: تصویر میکروسکوپی تراکی آندزیت (نور پلاریزور). ب: تراکیت (نور پلاریزور).



ادامه شکل ۴ تصویر میکروسکوپی مونزودیوریت پورفیری پ (نور پلاستیک) حاوی کانی‌سازی، دگرسانی آرژیلیک و سیلیسی. py:pyrite, Hem:Hematite.

است که به صورت پراکنده و در بخش‌هایی نیز به صورت رگچه دیده می‌شود. مقدار آن از کمتر از ۱۰٪ تا ۷۰٪ متغیر است. کلریت (کمتر از ۲٪)، اپیدوت (به صورت رگچه و پراکنده تا ۲٪) و کلسیت (تا ۳٪) حاصل از دگرسانی هورنبلندر و بیوتیت و کانی‌های رسی که ناشی از دگرسانی فلدسپات‌ها است از کانی‌های مهم دیگرند که در این زیر منطقه‌ها دیده می‌شوند. دگرسانی پروپیلیتیک گستره وسیعی از منطقه، (با شدت بیشتر در سمت جنوب) واحدهای تراکی آندزیت و توف، را تحت تاثیر قرار داده و در صحراء به رنگ سبز مشهود است (شکل ۵). این منطقه به سه زیر منطقه اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از پروپیلیتیک ضعیف + سیلیس، پروپیلیتیک متوسط + کربناتی و پروپیلیتیک قوی. کانی‌های اصلی شامل کلریت (۱ تا ۰٪)، کلسیت (۱ تا ۳٪) است. در بعضی نقاط قالب پلاژیوکلاز بطور کامل با کربنات پر شده است. اپیدوت (۱ تا ۳٪)، در بعضی نقاط رگچه‌های اپیدوت شکل دار دیده می‌شود) با مقادیری سرسیت (۱ تا ۲٪) و کوارتز (کمتر از ۰٪) همراه است. بیشتر این کانی‌ها حاصل دگرسان‌شدن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازهاست.

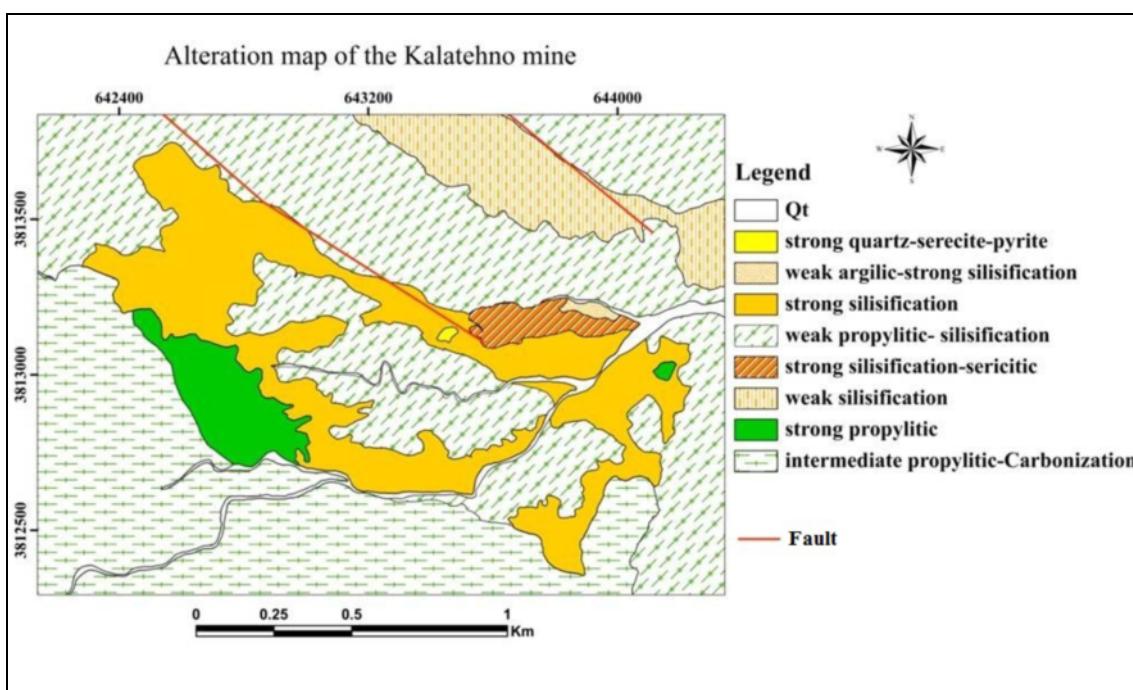
دگرسانی آرژیلیک ضعیف موجود در شرق منطقه، محل اصلی برداشت خاک صنعتی است. این دگرسانی از اکسایش کانی‌های سولفیدی و به دنبال آن اسیدی‌شدن محیط صورت گرفته است که در نتیجه آن فلدسپات و سرسیت به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند.

دگرسانی

براساس بررسی‌های صحرایی، آزمایشگاهی و پردازش داده‌های ماهواره‌ی استر، به منظور شناسایی کانی‌های معرف منطقه‌های دگرسان به روش نقشه‌برداری زاویه‌ی طیفی [۳]، منطقه‌های دگرسان سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژیلیک و کوارتز- سرسیت- پیریت شناسایی شدند.

دگرسانی کوارتز- سرسیت- پیریت، واحد مونزودیوریت- پورفیری را تحت تاثیر خود قرار داده است (شکل ۵). مهمترین کانی این دگرسانی کوارتز است که در متن سنگ و به صورت رگچه مشاهده می‌شود و مقدار آن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است. سرسیت که حاصل دگرسان‌شدن فلدسپات‌هاست بین کمتر از ۱٪ تا ۳٪ تعییر می‌کند. پیریت به عنوان مهمترین کانی سولفیدی این منطقه به صورت پراکنده تا ۰.۵٪ می‌رسد. هماتیت دومین کانی سولفیدی مهم این منطقه است که کمتر از ۱٪ و به صورت پراکنده دیده می‌شود.

دگرسانی سیلیسی که در قالب زیر منطقه‌های سیلیسی + پروپیلیتیک ضعیف ، سیلیسی قوی + آرژیلیک ضعیف، سیلیسی قوی + سرسیتی و سیلیسی قوی دیده می‌شود، تقریباً تمام منطقه را پوشش می‌دهد ولی شدت آن در مرکز با راستای شمال غربی - جنوب شرقی بیشتر است (شکل ۵). این منطقه، واحدهای سنگی توف سبز را تحت تاثیرقرار داده است و در بخش‌هایی که کلاهک سیلیسی را تشکیل می‌دهد با رنگ سفید - صورتی قابل تشخیص است. کانی مهم این زون کوارتز



شکل ۵ نقشه‌ی دگرسانی منطقه‌ی مورد بررسی.

قرار دارد. فلدسپار به سمت بالا کاهش می‌یابد و احتمالاً به-وسله‌ی کانی‌های رسی در نمونه‌های هوازده بالای حایگزین شده است (شکل ۷).

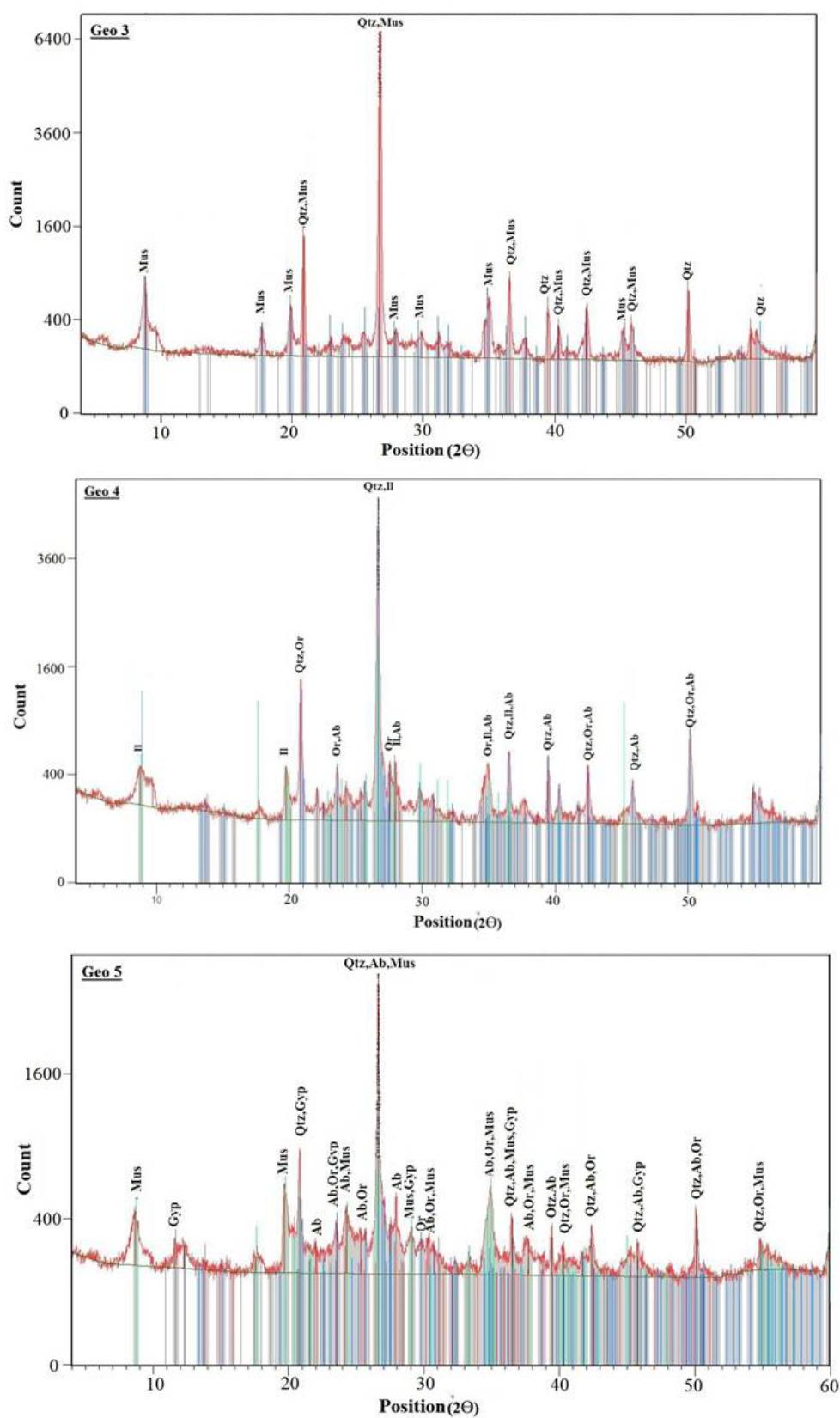
جدول (۲) ترکیب کانی‌شناسی ماده‌ی معدنی یاسمینا [۸]، رخ سفید [۹] و باغ سیاه [۱۰] را نشان می‌دهد. هماتیت و پیریت در منطقه معدنی باغ سیاه نیز دیده شدند که نشان-دهنده‌ی بالا بودن میزان آهن در گرمابی‌ها در این مناطق است. سرشتی دیگر، نبود کانی‌های گروه کائولن در منطقه کلاتنه‌نو است که یا به دلیل پی‌جوانی ناکافی و مشکل دسترسی به عمق مناسب بوده و یا شرایط محلول به لحاظ pH و دما برای تشکیل کانی‌سازی مناسب نبوده است.

کانی‌شناسی

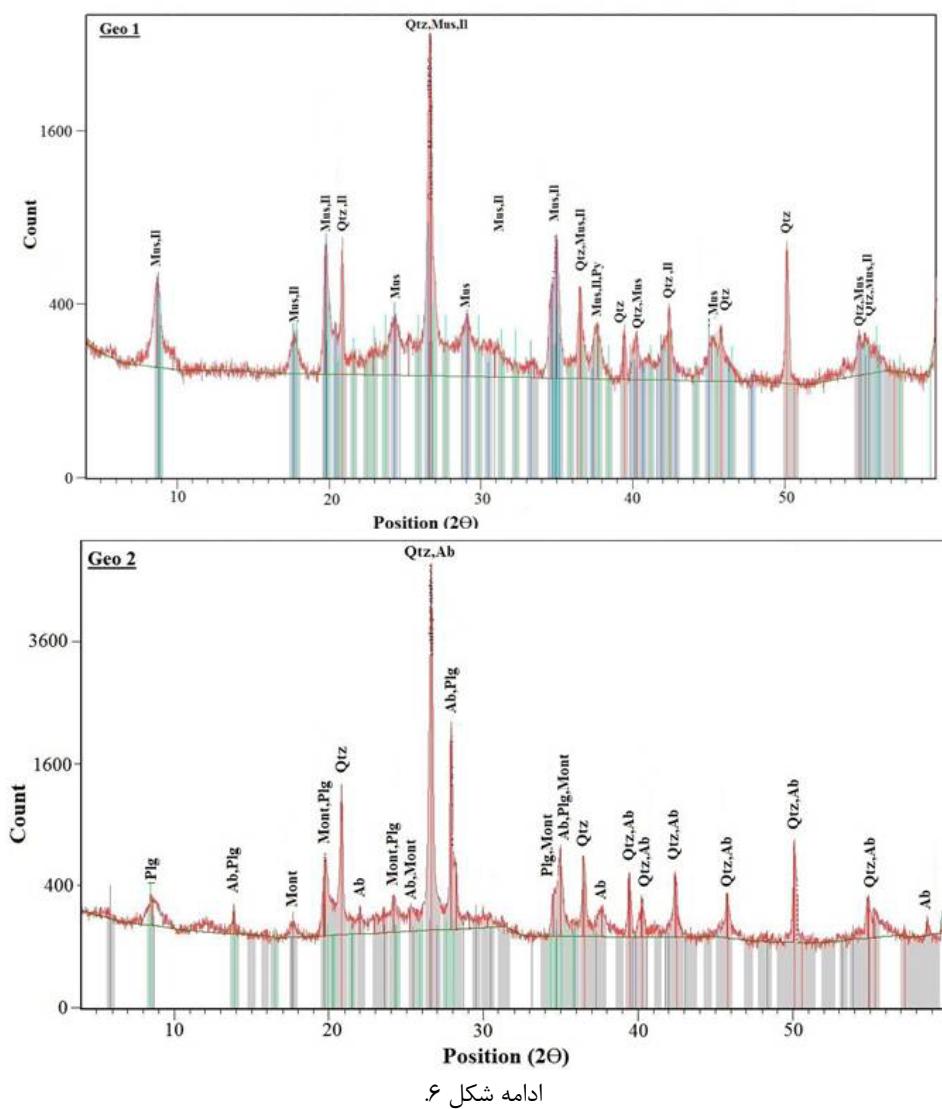
بررسی نمونه‌های برداشت‌شده، حاکی از وجود سیلیس بالا در نمونه‌های دستی است که سطحی خشن دارند. کانی‌های شناسایی شده با بررسی‌های XRD، کوارتز، ایلیت، موسکویت، مونتموریونیت، پالی‌گورسکیت، آلبیت، ارتوکلاز، پیریت و ژیپس است (جدول ۱ و شکل ۶). هماتیت و پیریت در بررسی مقاطع نازک صیقلی مشاهده شدند. پیریت‌های درشت در نمونه‌ی دستی کف ترانشه در محل رختمن توده مونزوودیوریت پورفیری دیده می‌شود. فراوانی این کانی‌ها بستگی به مکان نمونه‌برداری درون نیمرخ، هوازدگی و احتمالاً تغییرات لیتولوژیکی تودهی مونزوودیوریت پورفیری دارد که رختمن آن در محل نمونه‌های نام برده در محور عمودی نیمرخ شکل (۷)

جدول ۱ ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های برداشت‌شده.

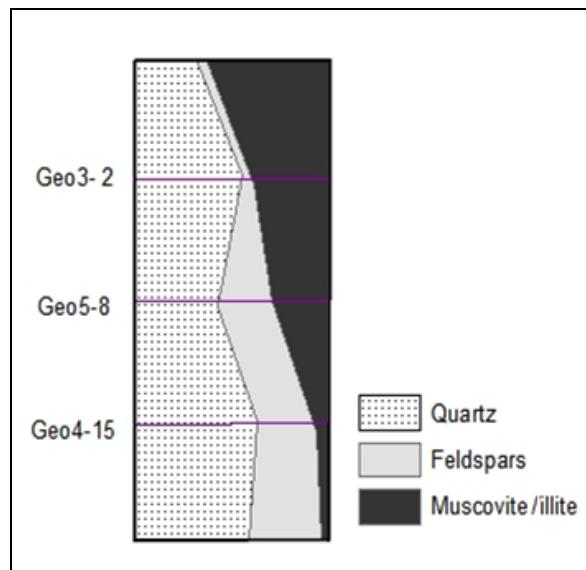
شماره نمونه	
کوارتز، ایلیت، موسکویت	Geo1
کوارتز، آلبیت، مونتموریونیت، پالی‌گورسکیت	Geo2
کوارتز، ایلیت، موسکویت	Geo3
کوارتز، ایلیت، ارتوکلاز، آلبیت	Geo4
کوارتز، موسکویت، ارتوکلاز، آلبیت، ژیپس	Geo5



شکل ۶ تصاویر چند نمونه از قله‌های XRD منطقه‌ی معدنی کلاتنه نو. Mont : کوارتز. Qtz : موتنموریونیت. Mus : موسکویت. Gyp : ژیپس. Ab : آلبیت. Or : ارتوکلاز. Il : ایلیت. Plg : پالی‌گورسکیت. Py : پیریت.



ادامه شکل ۶



شکل ۷ پراکندگی قائم کانی‌ها در ترانشه SF . عمق محل نمونه برداری، رقم سمت راست (به متر) و شماره‌ی نمونه رقم سمت چپ.

جدول ۲ ترکیب کانی‌شناسی منطقه معدنی یاسمینا، رخ سفید و باغ سیاه [۸-۱۰].

نام معدن	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
یاسمینا	کوارتز، کائولینیت، سریسیت	کلریت، ایلیت، مونت موریونیت، سانیدین، آلبیت
رخ سفید	کوارتز، کائولینیت، دیکیت	مونت موریونیت و هماتیت
باغ سیاه	کوارتز، گروه کائولن (کائولینیت، دیکیت، ناکریت)، بایدلیت	هماتیت و پیریت

نیز آنرا تایید می‌کند و به عنوان فاز اصلی معرفی شده است. این مقدار بالاتر از میزان ایده‌آل آن یعنی 46.5% است که موجب زبری و کاهش کشسانی، کاهش MOR، افزایش مقاومت خشک و دیرگذاری در فرآوردهای سرامیکی خواهد شد [۱۱].

جدول (۳) ترکیب شیمیایی نمونه‌های انتخاب شده از قسمت‌های مختلف منطقه (با توجه به نتایج آنالیزهای XRD) را نشان می‌دهد. میزان SiO_2 در نمونه‌های معدن کلاتنه‌نو نسبتاً بالا بوده و بین ۷۵.۶۶ تا ۷۵.۸۵٪ متغیر است، که آنالیز XRD

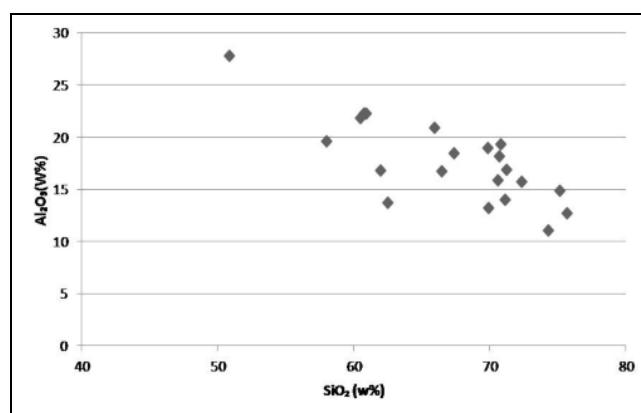
جدول ۳ ترکیب شیمیایی نمونه‌های منطقه‌ی معدنی کلاتنه‌نو (مقادیر بر حسب درصدند).

Sample	X	Y	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	total
omid1	۶۴۲۹۸۳	۳۸۱۳۳۳۵	۶۲.۵	۰.۳۲	۱۳.۷۳	۴.۷۸	۰.۰۹	۲.۱	۰.۲	۴.۳۸	۰.۰۵	۸.۸۶	۹۹.۹۵
SS1	۶۴۲۹۵۶	۳۸۱۳۱۹۶	۶۶.۴۴	۰.۴۴	۱۶.۷۶	۴.۱۷	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۰۸	۵.۶۱	۰.۰۳	۵.۳۹	۱۰۰
SS1-1	۶۴۲۹۶۰	۳۸۱۳۱۹۰	۷۱.۱	۰.۳۵	۱۴.۲	۳.۹۵	۰.۱۷	۰.۷۹	۰.۵۸	۴.۵	۰.۰۳	۳.۸۹	۹۹.۹۹
omid 2	۶۴۲۹۸۵	۳۸۱۳۳۳۱	۷۴.۲۹	۰.۳	۱۱.۸	۲.۹۴	۰.۶۱	۱.۰۳	۰.۶۶	۳.۵۷	۰.۰۴	۴.۸۸	۹۹.۹۹
SS1-3	۶۴۲۹۵۲	۳۸۱۳۱۹۲	۶۹.۹۱	۰.۲۹	۱۳.۲۲	۳.۱۷	۰.۳۳	۱.۲	۰.۵۹	۵.۲۳	۰.۰۴	۴.۸۸	۹۹.۷۹
SS1-4	۶۴۲۹۵۰	۳۸۱۳۱۹۰	۷۰.۷	۰.۱۶	۱۸.۱۸	۱.۷۸	۰.۵۴	۰.۲۷	۱.۱۲	۳.۲۳	۰.۰۳	۳.۱۱	۹۹.۵۳
SF	۶۴۲۵۵۶	۳۸۱۳۱۳۱	۷۰.۷۸	۰.۲۱	۱۹.۳۱	۱	۰.۴۴	۰.۴	۱.۷۲	۳.۰۵	۰.۰۳	۳.۰۹	۹۹.۷۷
SF1	۶۴۲۵۵۰	۳۸۱۳۱۳۰	۷۰.۵۹	۰.۱۷	۱۵.۸۹	۱.۹۹	۰.۵	۲.۰۱	۲.۱۵	۳.۲۹	۰.۰۲	۳.۱۲	۹۹.۷۶
SS1-5	۶۴۲۹۵۳	۳۸۱۳۱۹۳	۵۰.۸۵	۰.۳۹	۲۷.۷۶	۱.۶۳	۱.۱۸	۰.۰۹	۱.۰۹	۴.۹۸	۰.۰۹	۷.۷۴	۹۹.۶۲
SS1-6	۶۴۲۹۵۸	۳۸۱۳۱۹۸	۷۵.۱۱	۰.۱۳	۱۴.۸۴	۰.۵۳	۰	۰.۲۵	۲.۶۲	۵.۲۳	۰.۰۱	۱.۰۲	۹۹.۷۷
SS1-7	۶۴۲۹۶۲	۳۸۱۳۱۹۲	۷۱.۲۱	۰.۱۷	۱۶.۹	۱.۴۱	۰.۶۱	۰.۵۴	۰.۶۴	۳.۸۱	۰.۰۳	۴.۰۶	۹۹.۷۹
SF2	۶۴۲۵۵۴	۳۸۱۳۱۳۴	۶۹.۸۴	۰.۱۶	۱۸.۹۵	۱.۱۶	۰.۷۸	۰.۳۳	۰.۵۶	۳.۸۴	۰.۰۲	۳.۹۸	۹۹.۷۹
K1	۶۴۲۸۱۶	۳۸۱۳۲۹۳	۶۰.۷۳	۰.۳۷	۲۲.۲۲	۱.۴۱	۰.۷۶	۰.۷۱	۲.۱۸	۳.۱۷	۰.۰۶	۷.۵۷	۹۹.۷۲
omid 3	۶۴۲۹۹۵	۳۸۱۳۳۳۷	۶۰.۹۳	۰.۴	۱۶.۸۲	۲.۵۶	۰.۵۵	۰.۹۱	۱.۰۷	۵.۱	۰.۰۹	۵.۵۴	۹۹.۴۲
K2	۶۴۲۸۱۹	۳۸۱۳۲۹۵	۷۵.۶۶	۰.۳۶	۱۲.۷۴	۱.۳۶	۰.۰۸	۰.۰۹	۱.۶۷	۴.۹۵	۰.۰۴	۲.۲۲	۹۹.۵۲
SF3	۶۴۲۵۵۵	۳۸۱۳۱۳۴	۷۲.۳۵	۰.۱۸	۱۵.۷۵	۱.۴	۰.۵	۰.۲۲	۰.۷۸	۴.۲۴	۰.۰۳	۳.۵۸	۹۹.۵۸
SS1-8	۶۴۲۹۶۶	۳۸۱۳۱۹۶	۶۵.۹	۰.۳۶	۲۰.۹۲	۱.۳۵	۰.۷۳	۰.۳۷	۲.۱	۳.۳۶	۰.۰۴	۴.۲۸	۹۹.۶۵
SF4	۶۴۲۵۵۱	۳۸۱۳۱۳۱	۶۰.۸۷	۰.۳۹	۲۲.۲۶	۲.۶۸	۰.۷۳	۰.۴۲	۱.۵۸	۴.۱۷	۰.۰۷	۵.۶۱	۹۹.۶۸
SF5	۶۴۲۵۵۷	۳۸۱۳۱۳۵	۶۰.۴۶	۰.۳۷	۲۱.۸۱	۲.۳	۰.۹۶	۰.۱۸	۱.۴۲	۴.۰۸	۰.۰۵	۷.۵۸	۹۹.۴۹
SS1-9	۶۴۲۹۵۵	۳۸۱۳۱۹۵	۶۷.۳۴	۰.۱۲	۱۸.۴۵	۱.۸۳	۰.۵۳	۰.۴۸	۱.۴	۳.۵۹	۰.۰۲	۵.۴۶	۹۹.۷۶
SS1-10	۶۴۲۹۶۲	۳۸۱۳۱۹۲	۵۸.۰۱	۰.۴۴	۱۹.۶	۴.۰۸	۱.۶۴	۳	۳.۵۶	۲.۵۸	۰.۰۷	۶.۶۷	۹۹.۷۲

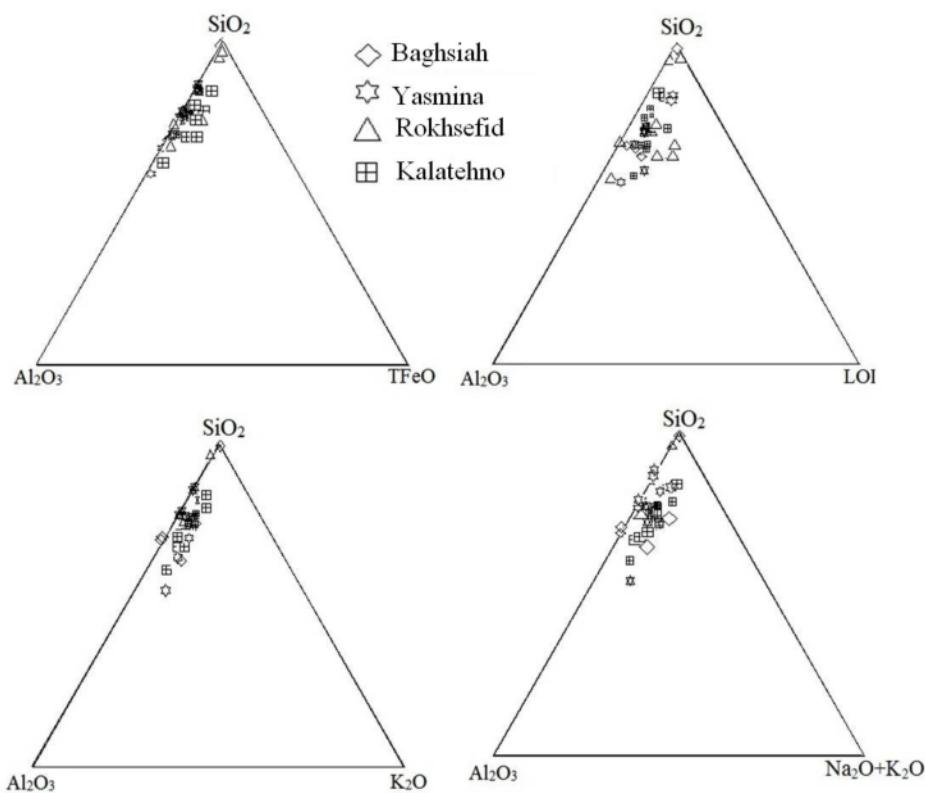
ماده‌ی معدنی شده است همچنین رگه‌های اکسید آهن در قسمت‌های سطحی دیده می‌شود که نشان می‌دهد محلول‌های آهن دار به درون درز و شکاف‌ها وارد شده و موجب پیدایش این رگه‌ها شده‌اند. بالاتر بودن میزان اکسید آهن در قسمت‌های سطحی نسبت به قسمت‌های عمیق‌تر در نمونه‌های این منطقه نشان می‌دهد که اکسید آهن از سنگ‌های منطقه (توف‌های پیریت‌دار) شسته شده و به داخل درز و شکاف‌ها تزریق شده و یا در قسمت‌های سطحی بر جای گذاشته شد. حتی کلاهک سیلیسی در این منطقه سفید-صورتی رنگ است که ممکن است نکته قید شده است.

مقایسه‌ی ژئوشیمی مناطق معدنی در این ناحیه نشان می‌دهد که میانگین SiO_2 در این منطقه (۶۶,۹۷٪) کمتر از منطقه‌ی معدنی یاسمینا (۷۱,۵۶٪) [۸] و بیشتر از میانگین معدن رخ سفید (۶۴,۵٪) [۹] و معدن باع سیاه (۵۵,۱۶٪) [۱۰] است که در جنوب این منطقه قرار دارند. همچنین میزان Al_2O_3 آن (۱۷,۶۷٪) کمتر از مقدار آن در معادن یاسمینا (۱۸,۷۶٪)، رخ سفید (۲۴,۴٪) [۸] و باع سیاه (۲۹,۶۲٪) [۱۰] است (جدول ۳)، که دلیل آن می‌تواند به دگرسانی کاملتر سنگ مادر در محدوده‌های یاسمینا، رخ سفید و باع سیاه و یا انجام بررسی‌های بیشتر در این مناطق و دسترسی به نمونه‌هایی از عمق بیشتر باشد. در شکل ۹، شباهت در ترکیب شیمیایی رخ سفید، باع سیاه، یاسمینا و کلاتنه نو، در سیستم سه‌تایی SiO_2 - Al_2O_3 - TFeO مشاهده شود. اما تفاوت‌های خیلی کوچکی در بین نهشته‌های بررسی شده که در نمودار مشابهی نقش شده‌اند وجود دارد. در SiO_2 - Al_2O_3 -LOI و SiO_2 - Al_2O_3 - K_2O و SiO_2 - Al_2O_3 - $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ نهشته‌های رخ سفید و باع سیاه، حوضه‌ی ترکیبی مشابهی را اشغال می‌کنند. در حالیکه معدن کلاتنه‌نو به خاطر ویژگی شیمیایی، نزدیکتر به معدن یاسمیناست (جدول‌های ۴ و ۵).

اکسید آلومینیوم، MOR را افزایش داده و باعث افزایش مقاومت فیزیکی و شیمیایی سرامیک‌های تولید شده در مقابل شوک‌های گرمایی، فشاری، کششی و ... می‌شود [۱۲]. میزان Al_2O_3 نمونه‌هادر گستره بین ۲۷,۷۶-۱۱,۰۸٪ قرار می‌گیرد. رابطه‌ای عکس با Al_2O_3 دارد به طوری که با کاهش میزان SiO_2 در سنگ، میزان Al_2O_3 افزایش می‌یابد (شکل ۸). علت این است که چرخه گرمایی از درون درز و شکاف موجود در توده حدوات و توف‌های اسیدی-حدوات منطقه بالا آمده و عنصر قلیایی و قلیایی خاکی را از سنگ می‌شوید. سیلیس نیز به میزان قابل توجهی طی دگرسانی گرمایی سنگ‌های آتش‌شانی شسته شد [۱۳, ۱۴]. علاوه بر این محلول گرمایی (hydrothermal) خود نیز دارای مقدار بالای سیلیس بوده و در اثر کاهش فشار و دما و pH که نزدیکی سطح رخ می‌دهد کلاهک سیلیسی را تشکیل شد [۱۵]. درصد Na_2O بین ۰,۰۸ تا ۳,۵۶ در تغییر است. آنالیز کانی‌شناسی تشکیل مونتموریلونیت شرکت کرده است. آنالیز کانی‌شناسی (XRD) نمونه‌ی Geo2 کانی مونتموریلونیت را به عنوان کانی فرعی شناسایی کرده که با مقدار بالای Na_2O در نمونه‌های SS1-4 تا SS1-10 همخوان است. میانگین میزان K_2O معادل ۴,۰۹٪ است که با حضور اورتوز و مسکویت (براساس آنالیز XRD) تایید می‌شود. مجموع اکسیدهای قلیایی در یک کائولن مطلوب و مورد استفاده در صنایع گوناگون نباید بیش از ۲٪ باشد [۱۱]. میانگین اکسیدهای قلیایی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) در منطقه‌ی معدنی کلاتنه نو ۲,۰۱ است که می‌توان آن را مناسب ارزیابی کرد. میزان CaO متغیر است به طوری که مقدار آن در گستره بین ۳-۳,۰۹٪ قرار می‌گیرد. حداکثر میزان TFeO به نمونه‌ی Omid1 و ۴,۷۸٪ وابسته است و حداقل میزان آن به نمونه‌ی SS1-6 و ۰,۵۳٪ مربوط است. میزان اکسیدهای آهن در برخی قسمت‌های سطحی بالاتر بوده که باعث رنگی شدن



شکل ۸ تغییرات مقدار آلومینا نسبت به سیلیس.



شکل ۹ مقایسه ترکیب شیمیایی معادن رخ سفید، باغ سیاه، یاسمینا و کلاتنه نو، [۸-۱۰].

جدول ۴ ترکیب شیمیایی نمونه‌های معدن باغ‌سیاه (مقادیر بر حسب درصدند) [۸].

Rokh sefid mine	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I
B10	۳۹.۹۸	۰.۰۳۹	۱۷.۰	۰.۲۴	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۴۳
B12	۳۵.۶۳	۰.۰۵۷	۸.۲۶	۰.۸۵	۰.۰۱	۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۰۱	۶۲.۷
B13	۴۱.۶۱	۰.۱۳	۲۶.۷۷	۰.۴۴	۰.۰۱	۰.۱۴	۰.۰۶	۰.۰۱	۵۴.۱
B11	۵۵.۶۰	۰.۸۹۶	۲۴.۵	۱.۲۶	۰.۰۵	۰.۰۹	۰.۷۸	۵.۹۸	۴.۷۸

جدول ۴ ترکیب شیمیایی نمونه‌های معدن یاسمینا (مقادیر بر حسب درصدند) [۸].

Yasmina mine	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
Kg2	۶۳.۶۸	۰.۱۹	۲۴.۸۱	۱.۰۶	۰.۷۶	۰.۹۵	۰.۵۴	۴.۶۷	۴.۲۴
Kg4	۶۶.۷۲	۰.۲۲	۲۰.۶۱	۱.۰۱	۰.۸۴	۰.۵۳	۰.۵۳	۴.۵۴	۴.۹۵
Kg6	۶۶.۶۷	۰.۴۰	۱۷.۲۶	۲.۴۰	۱.۱۵	۰.۴۲	۰.۶۰	۶.۰۴	۴.۹۵
Kg12	۴۹.۰۵	۰.۳۶	۳۲.۶۲	۱.۵۲	۱.۰۰	۰.۳۱	۰.۴۸	۸.۳۰	۵.۷۵
Kg14	۵۷.۳۱	۰.۲۴	۲۶.۹۰	۰.۶۸	۰.۶۳	۴.۴۱	۰.۱۲	n.d	۱۰.۵۶
Kg15	۶۹.۹۸	۰.۲۴	۱۸.۲۹	۱.۴۲	۰.۸۰	۱.۳۴	۰.۳۸	۲.۱۰	۵.۸۲
Kg16	۶۹.۲۸	۰.۲۳	۱۹.۸۷	۱.۰۰	۰.۷۵	۰.۹۳	۰.۳۶	۱.۹۸	۵.۴۸
Kg38	۷۲.۴۶	۰.۱۱	۲۲.۰۴	۰.۳۱	۰.۱۶	۰.۴۸	۰.۱۶	n.d	۵.۹۳
Kg47	۸۱.۴۹	۰.۰۹	۱۲.۴۱	۰.۳۶	۰.۱۰	۰.۲۶	۰.۰۸	۰.۲۹	۴.۸۷
Kg48	۷۳.۵۲	۰.۱۰	۲۰.۴۵	۰.۲۸	۰.۱۸	۰.۴۲	۰.۱۴	۰.۵۰	۴.۳۹
Kg49	۸۱.۰۵	۰.۰۸	۱۳.۱۲	۰.۴۲	۰.۱۴	۰.۳۵	۰.۰۹	۰.۳۶	۴.۳۷
Kg50	۸۱.۸۳	۰.۰۷	۱۴.۷۵	۰.۴۹	۰.۱۳	۰.۵۲	۰.۱۳	n.d	۲.۳۹

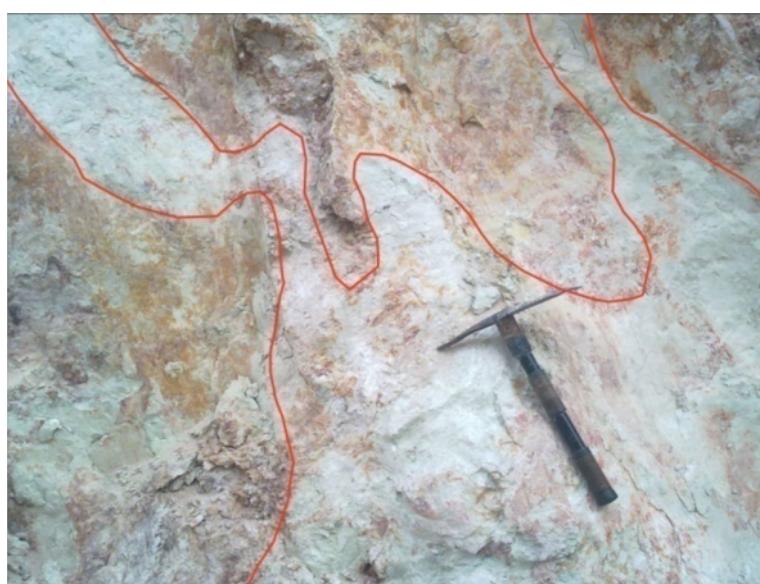
جدول ۵ ترکیب شیمیایی نمونه‌های معدن رخ‌سفید (مقادیر بر حسب درصدند) [۹]

Rokh sefid mine	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I
R45	۵۵,۱	۱,۴۵	۳۷,۴۱	۱,۵	۰,۱۵	۰,۵۸	۰,۴۲	n.d	۲,۳۵
R33	۶۳,۰۳	۰,۱۶	۱۸,۴۱	۰,۳۲	۰,۰۵	۰,۱۱	۰,۳۱	۲,۱۵	۱۵,۴۶
R22	۹۴	۰,۰۹	۳,۵	۱,۴۵	۰	۰,۱	۰,۱۵	۰	۰,۷۱
R17	۹۴,۲۵	۰,۲۸	۰,۶۴	۰,۶۲	n.d	۰,۱۱	۰,۰۴	n.d	۴,۰۳
R42	۷۱,۹۹	۰,۲۱	۱۹,۹	۰,۰۶	۰,۰۱	۰,۱۲	۰,۱۲	n.d	۷,۵۶
R24	۶۴,۵۶	۰,۲۲	۲۲,۵۹	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۲۱	۰,۱۴	n.d	۱۲,۱
R46	۷۱,۸۲	۰,۵۱	۱۷,۹۷	۱,۸۷	۰,۰۸	۰,۱۹	۰,۳۳	n.d	۷,۲
R31	۶۶,۵۲	۱,۳	۲۹,۴۵	۱,۶۶	۰,۱۱	۰,۳۴	۰,۱۷	n.d	۰,۴
R11	۶۰,۰۶	۱,۰۵	۴,۶۵	۵,۲۶	۰,۵۴	۰,۴۴	۰,۵۶	۳,۶	۱۳,۷۶

در ترانشه‌ی SF (محل رخنمون توده مونزودیوریت پورفیری) دیده شد، نشان‌دهنده‌ی بالاتر بودن میزان آهن و سولفور در گرماب است. محلول گرمابی در این ناحیه، تقریباً اسیدی، اکسایشی و همراه با سولفور فراوان بوده است. فرایند کائولینیت‌شدن محلول گرمابی با سرسیتی‌شدن فلدسپات پتاسیم درون واحدهای آتشفسانی دنبال می‌شود [۱۶]. تجزیه فلدسپات‌ها و هورنبلند باعث افزایش پتاسیم و تبدیل اسمکتیت به ایلیت، در شرایط محیطی قلایی، می‌شود [۲۰-۱۷]. ضمن اینکه آبهای جوی حاوی اکسید آهن (شکل ۱۰) و گرمابی‌ها در این محل‌ها ضعیف عمل کرده‌اند و بنا بر آنالیز XRD کائولینیت تشکیل نشده است.

بحث و برداشت

نمونه‌ی SS1-5 که (با نام GeO₂ آنالیز شده است) دارای بیشترین میزان Al₂O₃ بوده، ضمن اینکه حاوی کانی‌های آلبیت، مونتموریونیت، پالی‌گورسکیت است. اگرمواد قلایی به طور کامل خارج شوند، کائولینیت و چنانچه مقداری از آن خارج شود، مونتموریونیت و ایلیت تشکیل می‌شود [۴]. بنابراین در نمونه‌ی GeO₂ بیشترین میزان Al₂O₃ به این کانی‌ها مربوط است و کائولن‌زایی رخ نداده است. این نتایج همچنین نشان می‌دهد گستره‌ی pH بین پایداری پتاسیم فلدسپات و کائولینیت-پیروفیلیت بوده است. وجود پیریت فراوان و هماتیت در نمونه‌های این منطقه از عمق ۶-۵ متری به بعد که



شکل ۱۰ تداخل تاثیر آبهای جوی حاوی اکسید آهن و محلول‌های هیدروترمالی در دیواره یک ترانشه.

- [۴] حجازی، مجتبی- قربانی، منصور، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی ایران، کائولن و رسهای نسوز، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۷۰ صفحه.
- [۵] Murray H.H., Keller W.D., "Kaolin, kaolin and kaolin. In: Murray, H.H., Bondy, W., Harvey, C. (Eds.), *Kaolin Genesis and utilization*", Special Publ., vol. 1. The Clay Miner. Soci., (1993) p. 1-24
- [۶] Pickering S.M., Murray H.H., "Kaolin. In: Donald, D. (Ed.), *Industrial Minerals and Rocks. Society for Mining, Metallurgy and Exploration*", Colorado, (1994) p. 255-277.
- [۷] Mackenzie W.S, Donaldson C.H., "Guilford, 1984.C.,Atlas of igneous rocks and their texture", published by Halsted Press.
- [۸] میرانوری اعظم سادات، "کانی‌شناسی صنعتی کائولن یاسمینا (گناباد)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶) ۱۲۸ صفحه.
- [۹] غریب‌نوaz عطیه، "بررسی ژئوشیمی کانی‌شناسی معادن کائولن شمال غرب گناباد با تگرش ویژه بر کاربرد صنعتی آن"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶) ۱۷۰ صفحه.
- [۱۰] میری بیدختی روح‌ا، "مطالعه کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی کانسارهای کائولن باع سیاه و خاک‌های نسوز رخ سفید و کبوترکوه گناباد"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز، (۱۳۸۲) ۲۵۶ صفحه.
- [۱۱] ابراهیمی خسرو، "صنایع سرامیک ایران (نگاهی بر مشکلات و تنگناهای مواد اولیه معدنی)"، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمان بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۸۱).
- [۱۲] رحیمی ا، متین م، "تکنولوژی سرامیک‌های طریف"، شرکت صنایع خاک چینی ایران، (۱۳۶۸) ۵۷۴ صفحه.
- [۱۳] Lavery N.G., "Quantifying chemical changes in hydrothermally altered volcanic sequences _ silica enrichment as a guide to the Crandon massive sulfide deposit, Wisconsin, USA. Journal of Geochemical Exploration, 24, (1985) p. 1_27.
- [۱۴] Sayin S. A., "Origin of kaolin deposits: evidence from the Hisarcik (Emet-Ku" tahiya) deposits, western Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 16 (2007) 77-96.

برداشت

بر اساس بررسی‌های سنجش‌نامی، سنگ‌های آتشفسانی تراکیت، تراکی آندزیت، ریوداسیت و انواع توفه‌های اسیدی-حدواسط و تودهای شبه آتشفسانی مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری و مونزونیت پورفیری در منطقه شناسایی شدند. دگرسانی‌های رخ داده، با شدت‌های متفاوت، شامل دگرسانی‌های سیلیسی، پروپیلیتیک، سرسیتیک، آرژیلیک و کوارتز-سرسیت-پیریت بوده که در سرتاسر منطقه از گسترش چشمگیری برخوردار بودند. کانی‌سازی منطقه‌ی کلاتنه، در نتیجه دگرسانی توفه‌های اسیدی-حدواسط انجام گرفته است. کوارتز کانی اصلی و کانی‌های فرعی عبارتند از ایلیت، مسکوبیت، مونتموریونیت، آلبیت، ارتوکلاز و ژیپس. وجود پیریت فراوان و هماتیت نشان دهنده بالاتر بودن میزان آهن و سولفور در محلول گرمابی است. محلول در این ناحیه، تقریباً اسیدی، اکسایشی و همراه با سولفور فراوان بوده است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که میزان SiO_2 در نمونه‌های معدن کلاتنه نسبتاً بالا بوده و میانگین آن ۶۶/۹٪ است. میانگین Al_2O_3 ۱۷/۶٪، Na_2O ۱۳/۲٪، K_2O ۴/۰٪، CaO ۲/۲٪ و میانگین درصد FeO در این منطقه ۷۲٪ و میانگین درصد MnO ۰/۰٪ است. میانگین SiO_2 این منطقه کمتر از منطقه‌ی معدنی یاسمینا و بیشتر از میانگین منطقه‌ی معدنی رخ سفید و باع سیاه است. همچنین میزان Al_2O_3 کمتر از ماده‌ی معدنی یاسمینا، رخ سفید و باع سیاه دارد. در نتیجه شیستشو با آبهای جوی و فرو رو و گرمابههای بالارو، رس‌های برونزا (supergene) و در قسمت‌های عمیق‌تر رس‌های گرمابی شکل گرفتند.

مراجع

- [۱] آقانباتی سید علی، "زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۸۲) ۵۸۶ صفحه.
- [۲] Alavi M., "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran", Geol. Soc. Amer. Bull., v. 103, (1991) p. 983-992.
- [۳] زیرجانی‌زاده صدیقه، کریم‌پور محمدحسن، ابراهیمی خسرو، "بررسی قابلیت‌های کانی‌زایی منطقه شمال غرب گناباد(جنوب استان خراسان رضوی)"، دومین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، لرستان (۱۳۹۰).

Flank of the Niger Delta", Clay Minerals, 21 (1986) p. 211-224.

[18] Erhenberg S.N., "Kaolinized, potassium-leached zones at the contacts of the Garn Formation, Haltenbanken, mid-Norwegian continental shelf", *Marine and Petroleum Geology, 8* (1991) p.250-269.

[19] Meunier A., Velde B., "Illite: Origin, Evolution and Metamorphism. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York", (2004) 286 p.

[20] Ziegler K., "Clay minerals of the Permian Rotliegend Group in the North Sea and adjacent areas", *Clay Minerals, 41*, (2006) p.355-393.

[۱۵] کریم‌پور محمدحسن، سعادت سعید، گزارش کائولن ذخایر شرق ایران، مرکز تحقیقات معدنی شرق ایران، ۳۴ صفحه.

[16] Parry W.T., Ballantyne J.M., Jacobs D.C., "Geochemistry of hydrothermal sericite from Roosevelt Hot Springs and the Tintic and Santa Rita porphyry copper systems", *Economic Geology, 79*, (1984) p.72-86.

[17] Braide S.P., Huff W.D., "Clay mineral variation in Tertiary sediments from the eastern