



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 بلوک لوت محسوب می‌شود. واحدهای سنگی در منطقه شامل انواع سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های ساب‌ولکانیک است. زون‌های دگرسانی سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژلیک، 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 ژپس است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که میزان SiO_2 در منطقه معدن کلاته نو با میانگین ۶۶/۹۷٪ نسبتاً بالا بوده و میانگین اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) ۱۷/۶۷٪ است. در نتیجه شستشو به وسیله‌ی آبهای جوی و فرو رو و گرماب‌های بالارو، رس‌های برونزا و در بخش‌های عمیق تر رس‌های گرمابی شکل گرفته است.

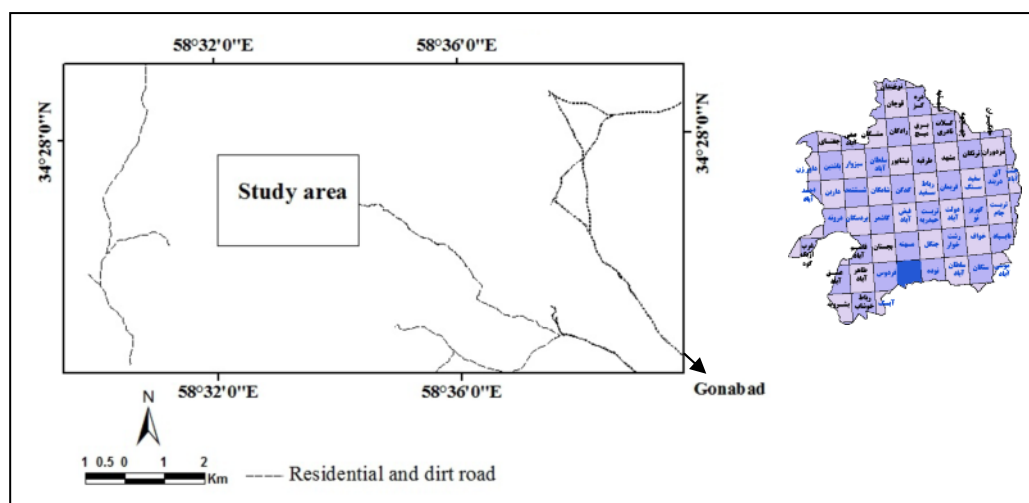
واژه‌های کلیدی: توفهای اسیدی؛ کلاته نو؛ کوارتز.

مقدمه

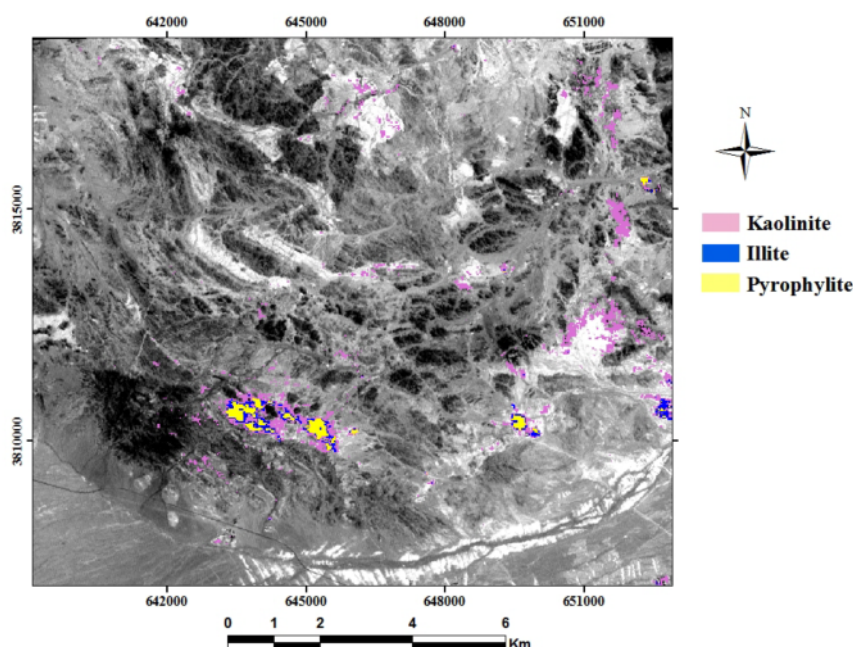
گستره‌ی مورد بررسی در استان خراسان رضوی و در شمال غرب شهرستان گناباد، در حفاصل $32^\circ 58'$ تا $34^\circ 58'$ طول-های شرقی و $26^\circ 34'$ تا $28^\circ 34'$ عرض‌های شمالی قرار می‌گیرد (شکل ۱). منطقه شمال غرب گناباد با توجه به تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی-ساختاری مهم ایران [۱] در شمال شرقی خرد قاره‌ی ایران مرکزی قرار دارد. بر اساس زیرپهنه‌های ایران مرکزی [۲] منطقه‌ی مورد بررسی در بلوک لوت واقع شده است. منطقه‌ی شمال غرب گناباد منطقه‌ای غنی از نظر کانی‌سازی خاک رس کائولینیتی است. دو معدن مهم کائولن رخ سفید 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 معادن واقع شده است. علاوه بر این شمال غرب گناباد پتانسیل پی‌جویی نشده‌ی بالایی برای کانی-

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 پی‌جویی مفید واقع شود، [۵، ۶]. این مقاله ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کانی‌شناسی نهشته‌ی کلاته نو را که تا کنون هیچ بررسی علمی در مورد این ناحیه‌ی پی‌جویی صورت نگرفته است، به منظور شناخت بهتر رزن آن توصیف می‌کند.



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].

روش بررسی

بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی انجام‌شده 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

۳. بررسی‌های سنگ‌شناسی و دگرسانی ۴۰ مقطع نازک و ۴

مقطع نازک‌صیقلی

۴. به منظور بررسی ژئوشیمی 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 خرده‌سنگی و مخلوط برداشته شد، به این صورت که کائولن از دیواره‌ی ترانشه تراشیده شده است. نمونه‌ها پس

مواد آهن دار بوده است، زیرا بلورهای کشیده اسپیکولاریت [۷] و گاهی بلورهای درشت تر و چند وجهی کدر تا ۰/۵mm، به صورت اولیه و پراکنده در متن، در سنگ ها حضور دارند.

برشهای آتشفشانی: این واحد که در جنوب منطقه رخنمون دارد (شکل ۳)، از برش های آتشفشانی و آگلومرا تشکیل شده و اجزای اصلی سازنده ی آن قطعات زاویه دار تا نیمه زاویه دار کوارتز و سنگ های آتشفشانی اسیدی - حدواسط است که در یک زمینه ی سیلیسی قرار گرفته اند. این قطعات بسیار درشت (۵-۳ سانتی متر) هستند.

تراکی آندزیت: بافت این واحد پورفیری است. فنوکریست ها شامل پلاژیوکلاز تا ۲۵٪ (به ابعاد ۰/۱mm)، قطعات هورنبلند با حاشیه ی سوخته ۵٪ (به ابعاد ۰/۶mm) و فلدسپات قلیایی سرسیتی شده ۱٪ دیده می شوند. زمینه شامل میکرولیت های پلاژیوکلازهای ریز بلور ۳۰ تا ۳۵٪ و کانی سازی کدر ۱۰ تا ۱۵٪ است (شکل ۴-الف). کربنات هم داخل پلاژیوکلاز، و هم در زمینه تا ۲۵٪، و نیز کلریت به صورت پراکنده کمتر از ۳٪ دیده می شوند (شکل ۳).

تراکیت: ویژگی این واحد وجود بافت تراکیتی آن است (شکل ۴-ب). پلاژیوکلازهای ریز بلور از نوع سانیدین تا ۹۰٪ سنگ را شامل می شوند. هورنبلند با حاشیه ی سوخته که قالب آنها توسط کربنات پر شده بین ۳ تا ۵٪ (به ابعاد ۰/۳ mm) دیده می شود، ضمن اینکه کوارتز کمتر از ۱٪ قابل مشاهده است. در این توده کربنات به صورت رگچه های بسیار ظریف (به ابعاد کمتر از ۰/۱mm) و در زمینه تا ۲٪ دیده می شود (شکل ۳).

ریوداسیت: از دیگر سنگ های آتشفشانی منطقه ریوداسیت است (شکل ۳). بافت گلومروپورفیری بافت اصلی ریوداسیت های این منطقه است. فنوکریست های موجود در این سنگ ها شامل بلورهای خودریخت و کوارتز با اندکی خود ریختی ۲ تا ۳٪ (در ابعاد ۰/۵ - ۰/۱ mm)، پلاژیوکلاز ۷ تا ۱۰٪ (در ابعاد ۰/۸ - ۰/۲ mm)، بیوتیت سوخته ۱٪ و هورنبلند سوخته ۵٪ است. بخش بیشتر سانیدین دگرسان و تا ۱۵٪ به کانی های رسی تبدیل است.

مونوزودیوریت پورفیری: این واحد که رخنمون آن تنها در دیواره ی یکی از ترانشه ها دیده می شوند (شکل ۳)، کانی های پلاژیوکلاز ۵-۷٪ (در ابعاد ۰/۴ - ۰/۱ mm)، فلدسپارها تقریباً کاملاً آرژیلیکی شده و کوارتز اولیه تا ۱٪ قابل تشخیص اند (شکل ۴-پ). بافت این واحد پورفیری بوده و حضور دگرسانی-

از همگن سازی برای آزمایش های زیر به شرکت تحقیقات معدنی طیف کانساران بینالود مشهد به صورت زیر ارسال شدند. ۱. ارسال ۲۱ نمونه به منظور بررسی های ژئوشیمیایی با پرتو ایکس فلوتورسان (XRF).

۲. ارسال ۵ نمونه به منظور بررسی های کانی شناسی با پراش سنج پرتو ایکس Philips PW3710 (XRD).

زمین شناسی

پس از فعالیت های آتشفشانی با ترکیب حدواسط که بیشتر از تراکی آندزیت تشکیل شده است و از لحاظ سنی مربوط به ائوسن است، فرآیندهایی با ترکیب اسیدی در منطقه دیده می شود که شامل سنگ های آذرآواری همانند ایگنمبریت بنفش تا قرمز رنگ، توف اسیدی و سنگ های آتشفشانی شامل ریولیت، ریوداسیت و تراکیت است (شکل ۳). هم ارزهای کم عمق آنها نیز بصورت توده های کوچکی در منطقه ی مورد بررسی به چشم می خورند. واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون دارند عبارتند از:

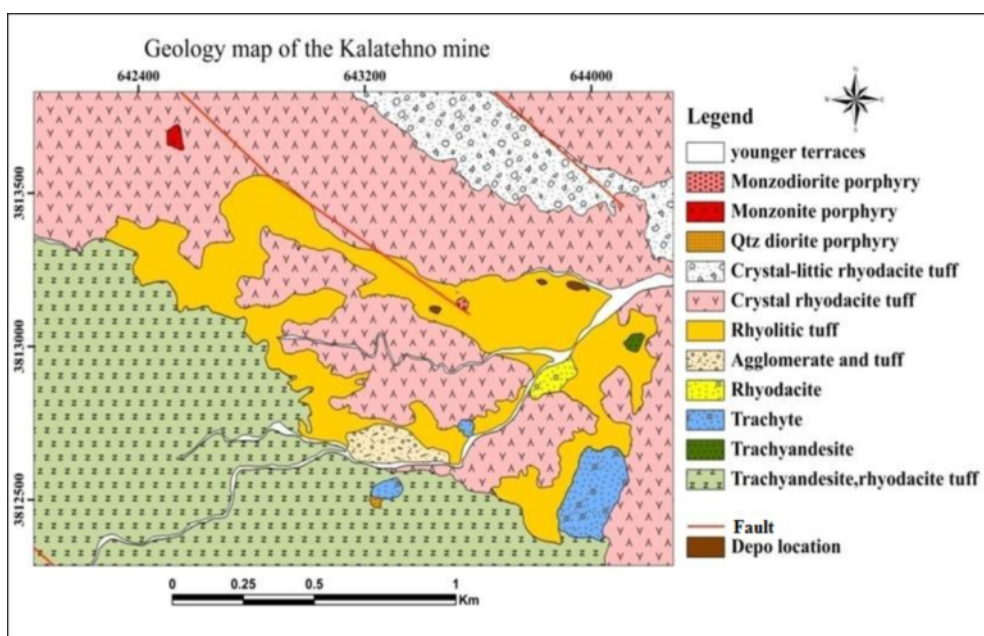
توف: از مهمترین سنگ های موجود در این منطقه توف است که جزء سنگ های آذرآواری است (شکل ۳). بررسی توف ها نشان می دهد که ترکیب ریولیتی- ریوداسیتی بوده و بخش مهم آنها توف بلوری است. بافت این سنگ ها پیروکلاستیکی است. در برخی قسمت ها رگه ی سیلیسی ثانویه نیز در زمینه وجود دارد. علاوه بر این، به دلیل فشار بالای ایجاد شده هنگام ته نشینی خاکسترهای آتشفشانی، نوعی حالت جریان یافتگی در زمینه ی بعضی از مقاطع مشابه آنچه در ایگنمبریت دیده می شود مشاهده شد. فنوکریست ها در ابعاد بسیار ریز تا درشت بوده و از کوارتز ۳۰-۲۵٪ (در ابعاد ۱ - ۰/۱ mm)، پلاژیوکلاز ۵٪ (در ابعاد ۱/۸ - ۰/۲ mm)، اکسید آهن ۴-۲٪ و کانی کدر (پیریت) ۳-۱٪ تشکیل شده اند. میزان دگرسانی در توف های این منطقه بالاست. فلدسپات های قلیایی به شدت دگرسان شده و در بعضی مقاطع تا ۷۰٪ به کانی های رسی تبدیل شده اند. کلریت به میزان ۱٪ دیده می شود. رنگ این توف ها سرخ، بنفش، خاکستری و سفیدند. در بخش شمال شرقی منطقه ی مورد بررسی توف سنگی بلوری نیز دیده می شود. قطعات سنگ یا بلور کربناتی و آرژیلیکی شده و در زمینه کاملاً سیلیسی- آرژیلیکی قرار دارند. قطعات سنگی (با ابعاد حداکثر ۴mm)، ۲۰ درصد سنگ را تشکیل می دهند. از ویژگی های این توف ها وجود بلورهای اسپیکولاریت است که نشان می دهد لاوا غنی از

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

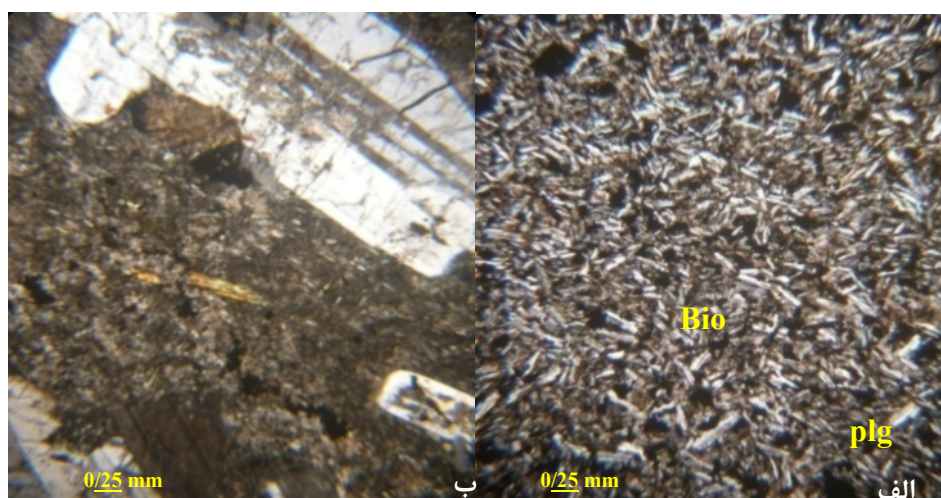
مونزونیت پورفیری: این توده‌ی نفوذی نیمه عمیق با بافت پورفیری که در شمال غرب منطقه رخنمون دارد و حاوی ۱۰ تا ۱۵٪ فلدسپات پتاسیم (در ابعاد ۰/۳ - ۰/۱ mm) و کمتر از ۳٪ پلاژیوکلاز (در ابعاد ۰/۳ - ۰/۲ mm) است. دگرسانی سیلیسی (۵ تا ۷٪) و کمتر از ۱٪ سرسیت در این توده دیده می‌شود. وجود کانی‌های فرعی نظیر زیرکن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

های سیلیسی (تا ۴۰٪)، کوارتز-سرسیت-پیریت (پلاژیوکلازها ۲ تا ۳٪ به سرسیت تبدیل شده است) و آرتیلیکی شدن ۱۵ تا ۲۰٪، از ویژگی‌های این توده است. کانی-سازی مشاهده شده در این توده اغلب شامل پیریت‌های خود ریخت و بی شکل و کمتر از ۱٪ هماتیت است (شکل ۴-ت).

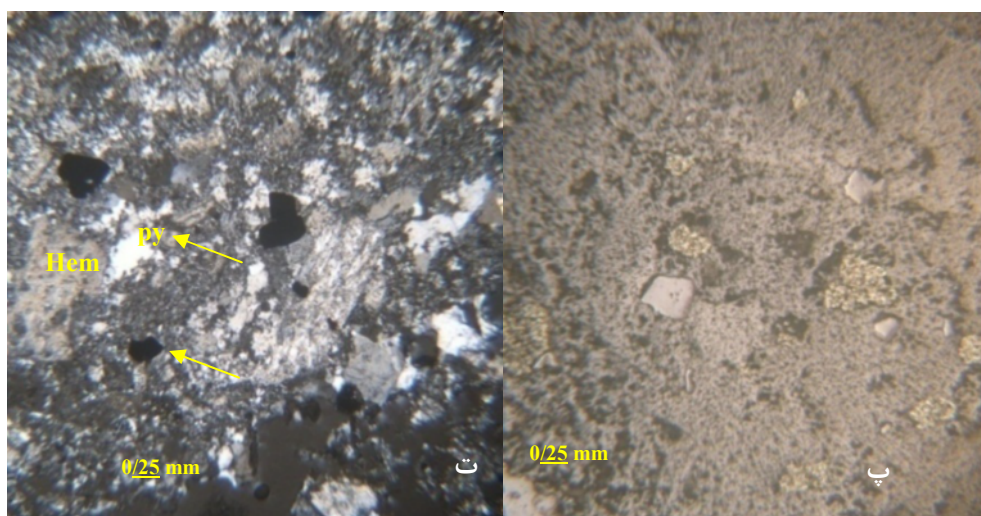
کوارتز دیوریت پورفیری: رخنمون کوچکی از این واحد که در جنوب منطقه قرار دارد دارای بافت پورفیری بوده و شامل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز ۸۰٪ (در ابعاد ۰/۲ - ۰/۱ mm) و کوارتز ۲٪ (در ابعاد ۰/۲ - ۰/۱ mm) به همراه همین کانی‌ها در



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴ الف: تصویر میکروسکوپی تراکی‌اندزیت (نور پلاریزور). ب: تراکیت (نور پلاریزور). Bio: Biotite, plg: plagioclase.



ادامه شکل ۴ تصویر میکروسکوپی مونزودیوریت پورفیری پ (نور پلاریزور) و ت (نور بازتابی) حاوی کانی سازی، دگرسانی آرژلیک و سیلیسی. py:pyrite, Hem:Hematite.

دگرسانی

براساس بررسی های صحرایی، آزمایشگاهی و پردازش داده های ماهواره ای استر، به منظور شناسایی کانی های معرف منطقه های دگرسان به روش نقشه برداری زاویه ای طیفی [۳]، منطقه های دگرسان سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژلیک و کوارتز-سرسیت-پیریت شناسایی شدند.

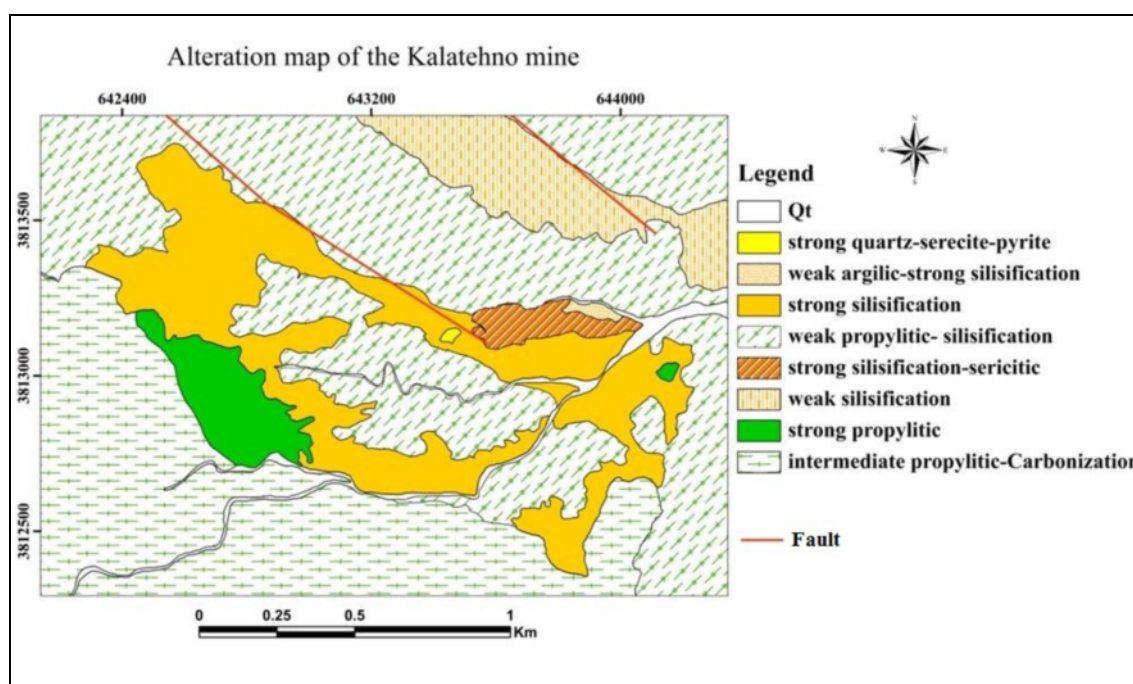
دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت، واحد مونزودیوریت-پورفیری را تحت تاثیر خود قرار داده است (شکل ۵). مهمترین کانی این دگرسانی کوارتز است که در متن سنگ و به صورت رگچه مشاهده می شود و مقدار آن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است. سرسیت که حاصل دگرسان شدن فلدسپات هاست بین کمتر از ۱٪ تا ۳٪ تغییر می کند. پیریت به عنوان مهمترین کانی سولفیدی این منطقه به صورت پراکنده تا ۵٪ می رسد. هماتیت دومین کانی سولفیدی مهم این منطقه است که کمتر از ۱٪ و به صورت پراکنده دیده می شود.

دگرسانی سیلیسی که در قالب زیر منطقه های سیلیسی + پروپیلیتیک ضعیف، سیلیسی قوی + آرژلیک ضعیف، سیلیسی قوی + سرسیتی و سیلیسی قوی دیده می شود، تقریباً تمام منطقه را پوشش می دهد ولی شدت آن در مرکز با راستای شمال غربی - جنوب شرقی بیشتر است (شکل ۵). این منطقه، واحدهای سنگی توف سبز را تحت تاثیر قرار داده است و در بخش هایی که کلاک سیلیسی را تشکیل می دهد با رنگ سفید - صورتی قابل تشخیص است. کانی مهم این زون کوارتز

است که به صورت پراکنده و در بخش هایی نیز به صورت رگچه دیده می شود. 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 هورنبلند و بیوتیت و کانی های رسی که ناشی از دگرسانی فلدسپات ها است از کانی های مهم دیگرند که در این زیر منطقه ها دیده می شوند.

دگرسانی پروپیلیتیک گستره وسیعی از منطقه، (با شدت بیشتر در سمت جنوب) واحدهای تراکی آندزیت و توف، را تحت تاثیر قرار داده و در صحرای به رنگ سبز مشهود است (شکل ۵). این منطقه به سه زیر منطقه اصلی تقسیم می شود که عبارتند از پروپیلیتیک ضعیف + سیلیس، پروپیلیتیک متوسط + کربناتی و پروپیلیتیک قوی. کانی های اصلی شامل کلریت (۱ تا ۲۵٪)، کلسیت (۱ تا ۳٪) است. در بعضی نقاط قالب پلاژیوکلاز بطور کامل با کربنات پر شده است. اپیدوت (۱ تا ۳٪، در بعضی نقاط رگچه های اپیدوت شکل دار دیده می شود) با مقادیری سرسیت (۱ تا ۲٪) و کوارتز (کمتر از ۲٪) همراه است. بیشتر این کانی ها حاصل دگرسان شدن کانی های آهن و منیزیم دار و پلاژیوکلاز هاست.

دگرسانی آرژلیک ضعیف موجود در شرق منطقه، محل اصلی برداشت خاک صنعتی است. این دگرسانی از اکسایش کانی های سولفیدی و به دنبال آن اسیدی شدن محیط صورت گرفته است که در نتیجه آن فلدسپات و سرسیت به کانی های رسی تبدیل شده اند.



شکل ۵ نقشه‌ی دگرسانی منطقه‌ی مورد بررسی.

کانی‌شناسی

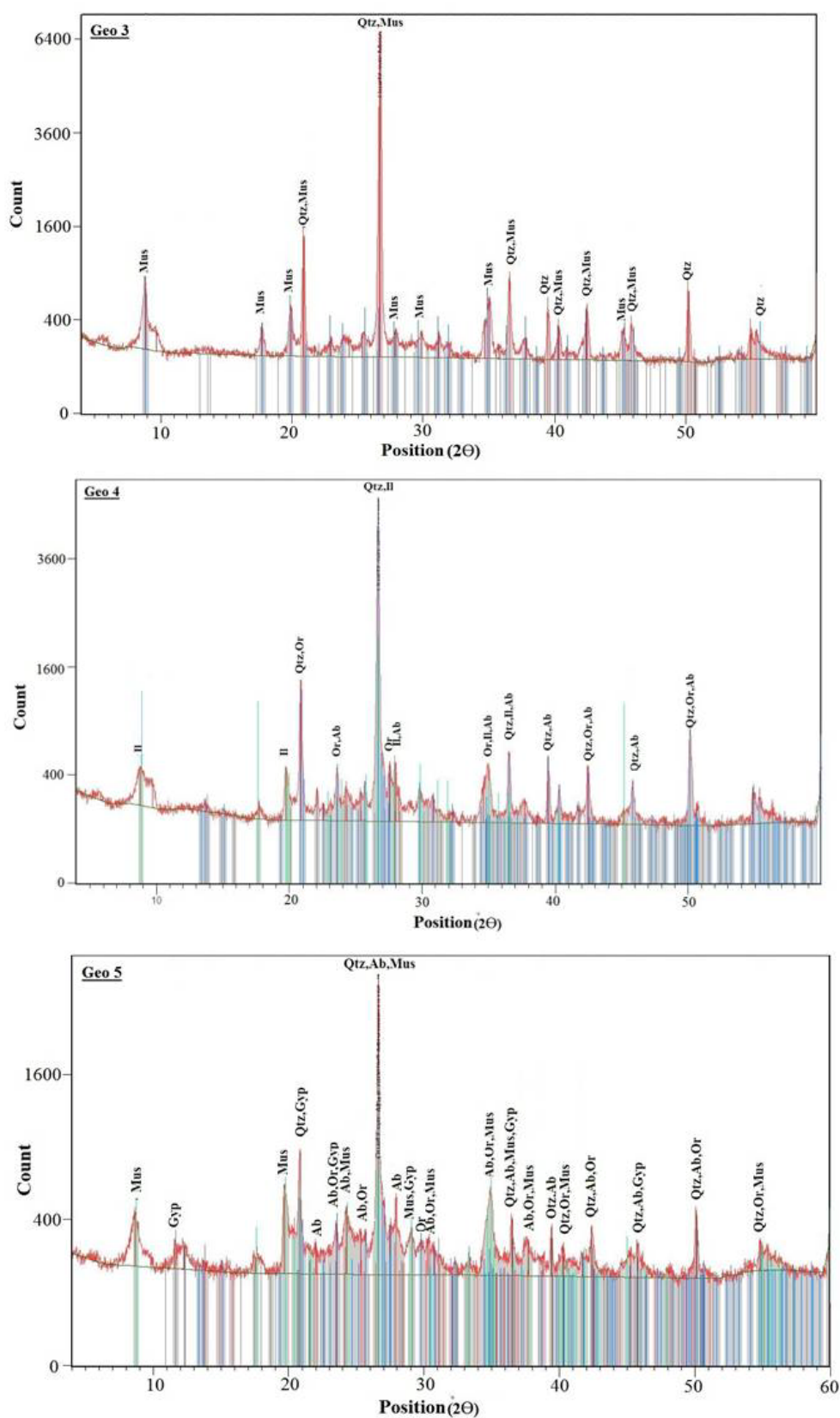
بررسی نمونه‌های برداشت‌شده، حاکی از وجود سیلیس بالا در نمونه‌های دستی است که سطحی خشن دارند. کانی‌های شناسایی‌شده با بررسی‌های XRD، کوارتز، ایلیت، موسکویت، مونتموریونیت، پالی‌گورسکیت، آلبیت، ارتوکلاز، پیریت و ژپس است (جدول ۱ و شکل ۶). هماتیت و پیریت در بررسی مقاطع نازک صیقلی مشاهده شدند. پیریت‌های درشت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

قرار دارد. فلدسپار به سمت بالا کاهش می‌یابد و احتمالاً به- وسیله‌ی کانی‌های رسی در نمونه‌های هوازده بالایی جایگزین شده است (شکل ۷).

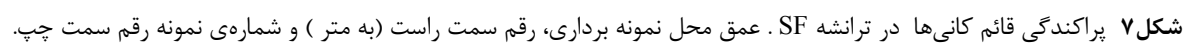
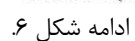
جدول (۲) ترکیب کانی‌شناسی ماده‌ی معدنی یاسمینا [۸]، رخ سفید [۹] و باغ سیاه [۱۰] را نشان می‌دهد. هماتیت و پیریت در منطقه معدنی باغ‌سیاه نیز دیده شدند که نشان- دهنده‌ی بالا بودن میزان آهن در گرمایی‌ها در این مناطق است. سرشتی دیگر، نبود کانی‌های گروه کائولن در منطقه کلاته‌نو است که یا به دلیل پی‌جویی ناکافی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

جدول ۱ ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های برداشت‌شده.

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



شکل ۶ تصاویر چند نمونه از قله های XRD منطقه ی معدنی کلاته نو. Qtz: کوارتز. Mont: مونتموریونیت. Mus: موسکویت. Gyp: ژیپس. Ab: آلبیت. Or: ارتوکلاز. Il: ایلیت. Plg: پالی گورسکیت. Py: پیریت.



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

نام معدن	کانی های اصلی	کانی های فرعی
یاسمینا	کوارتز، کائولینیت، سربیسیت	کلریت، ایلیت، مونت موریونیت، سانیدین، آلبیت
رخ سفید	کوارتز، کائولینیت، دیکیت	مونت موریونیت و هماتیت
باغ سیاه	کوارتز، گروه کائولن (کائولینیت، دیکیت، ناکریت)، بایدلایت	هماتیت و پیریت

ژئوشیمی

جدول (۳) ترکیب شیمیایی نمونه های انتخاب شده از قسمت های مختلف منطقه (با توجه به نتایج آنالیزهای XRD) را نشان می دهد. میزان SiO_2 در نمونه های معدن کلاته نو نسبتا بالا بوده و بین ۵۰/۸۵ تا ۷۵/۶۶ متغیر است، که آنالیز XRD

نیز آنرا تایید می کند و به عنوان فاز اصلی معرفی شده است. این مقدار بالاتر از میزان ایده آل آن یعنی ۴۶/۵٪ است که موجب زبری و کاهش کشسانی، کاهش MOR، افزایش مقاومت خشک و دیرگدازی در فراورده های سرامیکی خواهد شد [۱۱].

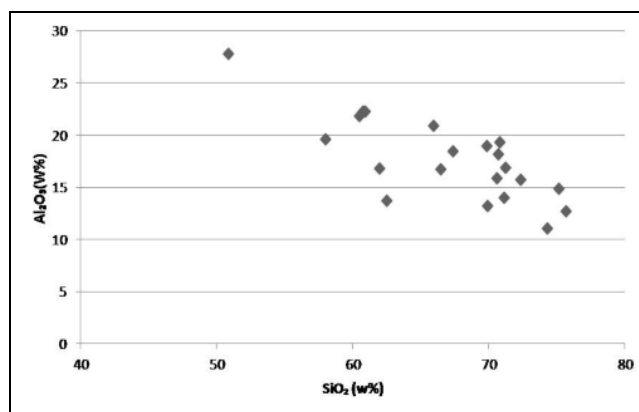
جدول ۳ ترکیب شیمیایی نمونه های منطقه ی معدنی کلاته نو (مقادیر بر حسب درصدند).

Sample	X	Y	SiO2	TiO2	Al2O3	TFeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	total
omid1	۶۴۳۹۸۳	۳۸۱۳۳۳۵	۶۲/۵	۰/۳۲	۱۳/۷۳	۴/۷۸	۰/۰۹	۲/۱	۰/۲	۴/۳۸	۰/۰۵	۸/۸۶	۹۹/۹۵
SS1	۶۴۳۹۵۶	۳۸۱۳۱۹۶	۶۶/۴۴	۰/۴۴	۱۶/۷۶	۴/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۸	۵/۶۱	۰/۰۳	۵/۳۹	۱۰۰
SS1-1	۶۴۳۹۶۰	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	۶۴۳۹۸۵	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	۶۴۳۹۵۲	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	۶۴۳۹۵۰	۳۸۱۳۱۹۰	۷۰/۷	۰/۱۶	۱۸/۱۸	۱/۷۸	۰/۵۴	۰/۲۷	۱/۱۲	۳/۲۳	۰/۰۳	۳/۱۱	۹۹/۵۳
SF	۶۴۳۵۵۶	۳۸۱۳۱۳۱	۷۰/۷۸	۰/۲۱	۱۹/۳۱	۱	۰/۴۴	۰/۴	۱/۷۲	۳/۰۵	۰/۰۳	۳/۰۹	۹۹/۷۷
SF1	۶۴۳۵۵۰	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	۶۴۳۹۵۳	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	۶۴۳۹۵۸	۳۸۱۳۱۹۸	۷۵/۱۱	۰/۱۳	۱۴/۸۴	۰/۵۳	۰	۰/۲۵	۲/۶۲	۵/۲۳	۰/۰۱	۱/۰۲	۹۹/۷۷
SS1-7	۶۴۳۹۶۲	۳۸۱۳۱۹۲	۷۱/۲۱	۰/۱۷	۱۶/۹	۱/۴۱	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۶۴	۳/۸۱	۰/۰۳	۴/۰۶	۹۹/۷۹
SF2	۶۴۳۵۵۴	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	۶۴۳۹۹۵	۳۸۱۳۳۳۷	۶۰/۹۳	۰/۴	۱۶/۸۲	۲/۵۶	۰/۵۵	۰/۹۱	۱/۰۷	۵/۱	۰/۰۹	۵/۵۴	۹۹/۴۲
K2	۶۴۳۸۱۹	۳۸۱۳۲۹۵	۷۵/۶۶	۰/۳۶	۱۲/۷۴	۱/۳۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۱/۶۷	۴/۹۵	۰/۰۴	۲/۲۲	۹۹/۵۲
SF3	۶۴۳۵۵۵	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	۶۴۳۹۶۶	۳۸۱۳۱۹۶	۶۵/۹	۰/۳۶	۲۰/۹۲	۱/۳۵	۰/۷۳	۰/۳۷	۲/۱	۳/۳۶	۰/۰۴	۴/۲۸	۹۹/۶۵
SF4	۶۴۳۵۵۱	۳۸۱۳۱۳۱	۶۰/۸۷	۰/۳۹	۲۲/۲۶	۲/۶۸	۰/۷۳	۰/۴۲	۱/۵۸	۴/۱۷	۰/۰۷	۵/۶۱	۹۹/۶۸
SF5	۶۴۳۵۵۷	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	۶۴۳۹۵۵	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	۶۴۳۹۶۲	۳۸۱۳۱۹۲	۵۸/۰۱	۰/۴۴	۱۹/۶	۴/۰۸	۱/۶۴	۳	۳/۵۶	۲/۵۸	۰/۰۷	۶/۶۷	۹۹/۷۲

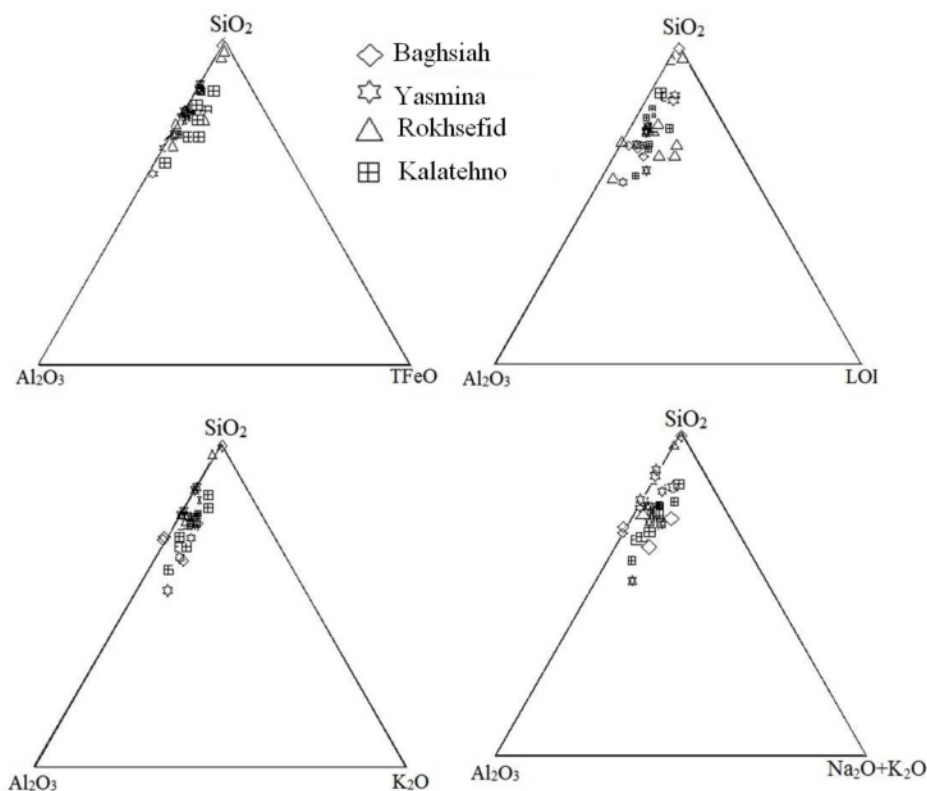
ماده‌ی معدنی شده است همچنین رگه‌های اکسید آهن در قسمت‌های سطحی دیده می‌شود که نشان می‌دهد محلول‌های آهن‌دار به درون درز و شکاف‌ها وارد شده و موجب پیدایش این رگه‌ها شده‌اند. بالاتر بودن میزان اکسید آهن در قسمت‌های سطحی نسبت به قسمت‌های عمیق‌تر در نمونه‌های این منطقه نشان می‌دهد که اکسید آهن از سنگ‌های منطقه (توف‌های پیریت‌دار) شسته شده و به داخل درز و شکاف‌ها تزریق شده و یا در قسمت‌های سطحی برجای گذاشته شد. حتی کلاهدک سیلیسی در این منطقه سفید- صورتی رنگ است که موبد 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 باغ 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 معدن یاسمینا (۱۸٫۷۶٪) [۸]، رخ سفید (۲۴٫۴٪) [۹] و باغ سیاه (۲۹٫۶۲٪) [۱۰] است (جدول ۳)، که دلیل آن می‌تواند به دگرسانی کامل‌تر سنگ مادر در محدوده‌های یاسمینا، رخ سفید و باغ 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، باغ سیاه، یاسمینا و کلاته نو، در سیستم سه‌تایی SiO_2 - Al_2O_3 - TFeO دیده می‌شود. اما تفاوت‌های خیلی کوچکی در بین نهشته‌های بررسی‌شده که در نمودار مشابهی نقش شده‌اند وجود دارد. در SiO_2 - Al_2O_3 - LOI و SiO_2 - Al_2O_3 - K_2O + Na_2O نهشته‌های رخ سفید و باغ سیاه، حوضه‌ی ترکیبی مشابهی را اشغال می‌کنند. درحالی‌که معدن کلاته‌نو 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 نمونه‌ها در گستره بین ۲۷٫۷۶-۱۱٫۰۸٪ قرار می‌گیرد. SiO_2 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 حدواسط و توف‌های اسیدی- حدواسط منطقه بالا آمده و عناصر قلیایی و قلیایی خاکی را از سنگ می‌شوید. سیلیس نیز به میزان قابل توجهی طی دگرسانی گرمایی سنگ‌های آتشفشانی شسته شد [۱۴، ۱۳]. علاوه بر این محلول گرمایی (hydrothermal) خود نیز دارای مقادیر بالایی سیلیس بوده و در اثر کاهش فشار و دما و pH که نزدیکی سطح رخ می‌دهد کلاهدک سیلیسی را تشکیل شد [۱۵]. درصد Na_2O بین ۰٫۰۸ تا ۳٫۵۶٪ در تغییر است. سدیم آزادشده در تشکیل مونتموریلونیت شرکت کرده است. آنالیز کانی‌شناسی (XRD) نمونه‌ی Geo2 کانی مونتموریلونیت را به عنوان کانی فرعی شناسایی کرده که با مقادیر 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 کلاته‌نو ۲٫۰۱٪ است که می‌توان آن را مناسب ارزیابی کرد. میزان CaO متغیر است به طوری که مقدار آن در گستره بین ۰٫۰۹-۳٪ 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 رنگی‌شدن



شکل ۸ تغییرات مقدار آلومینا نسبت به سیلیس.



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

جدول ۴ ترکیب شیمیایی نمونه های معدن باغ سیاه (مقادیر بر حسب درصدند) [۱۰].

Rokh sefid mine	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I
B1۰	۳۹٫۹۸	۰٫۳۹	۱۷٫۰	۰٫۲۴	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۴۳
B1۲	۳۵٫۶۳	۰٫۵۷	۸٫۲۶	۰٫۸۵	۰٫۰۱	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۶۲٫۷
B1۳	۴۱٫۶۱	۰٫۱۳	۲۶٫۷۷	۰٫۴۴	۰٫۰۱	۰٫۱۴	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۵۴٫۱
B1۱	۵۵٫۶۰	۰٫۸۹۶	۲۴٫۵	۱٫۲۶	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۷۸	۵٫۹۸	۴٫۷۸

جدول ۴ ترکیب شیمیایی نمونه های 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	۳٫۳۹

جدول ۵ ترکیب شیمیایی نمونه‌های معدن رخ سفید (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	۳٫۳۵
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

بحث و برداشت

نمونه‌ی SS1-5 که (با نام GeO₂ آنالیز شده است) دارای بیشترین میزان Al₂O₃ بوده، ضمن اینکه حاوی کانی‌های آل بیت، مونتموریونیت، پالی‌گورسکیت است. اگر مواد قلیایی 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 ۵-۶ متری به بعد که

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 کائولینیتی‌شدن محلول گرمابی با سرسیتی‌شدن فلدسپات پتاسیم درون واحدهای آتشفشانی دنبال می‌شود [۱۶]. تجزیه فلدسپات‌ها و هورنبلند باعث افزایش پتاسیم و تبدیل اسمکتیت به ایلیت، در شرایط محیطی قلیایی، می‌شود [۱۷-۲۰]. 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.



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

برداشت

بر اساس بررسی های سنگ شناسی، سنگ های آتشفشانی تراکیت، تراکی آندزیت، ریوداسیت و انواع توف های اسیدی - حدواسط و توده های شبه آتشفشانی مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری و مونزونیت پورفیری در منطقه شناسایی شدند. دگرسانی های رخ داده، با شدت های متفاوت، شامل دگرسانی های سیلیسی، پروپیلیتیک، سرسیتیک، آرژیلیک و کوارتز - سرسیت - پیریت بوده که در سرتاسر منطقه از گسترش چشمگیری برخوردار بودند. کانی سازی منطقه ی کلاته نو، در نتیجه دگرسانی توف های اسیدی - حدواسط انجام گرفته است. کوارتز کانی اصلی و کانی های فرعی عبارتند از ایلیت، مسکویت، مونتموریونیت، آلبیت، ارتوکلاز و ژپس. وجود پیریت فراوان و هماتیت نشان دهنده ی بالاتر بودن میزان آهن و سولفور در محلول گرمابی است. محلول در این ناحیه، تقریباً اسیدی، اکسایشی و همراه با سولفور فراوان بوده است. بررسی - های ژئوشیمیایی نشان می دهد که میزان SiO_2 در نمونه های معدن کلاته نو نسبتاً بالا بوده و میانگین آن ۶۶/۹۷٪ است. میانگین Al_2O_3 ۱۷/۶۷٪، Na_2O ۱/۳۲٪، K_2O ۴/۰۹٪، CaO ۰/۷۲٪ و میانگین درصد TFeO در این منطقه ۲/۲۶٪ است. میانگین SiO_2 این منطقه کمتر از منطقه ی معدنی یاسمینا و بیشتر از میانگین منطقه ی معدنی رخ سفید و باغ سیاه است. همچنین میزان Al_2O_3 کمتر از ماده ی معدنی یاسمینا، رخ سفید و باغ سیاه دارد. در نتیجه شستشو با آب های جوی و فرو رو و گرمابه های بالارو، رس های برونزا (supergene) و در قسمت های عمیق تر رس های گرمابی شکل گرفتند.

مراجع

- [۱] آقاباتی سید علی، "زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۸۳) ۵۸۶ صفحه.
- [2] 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] زیرجانی زاده صدیقه، کریم پور محمد حسن، ابراهیمی خسرو، "بررسی قابلیت های کانه زایی منطقه شمال غرب گناباد (جنوب استان خراسان رضوی)"، دومین همایش زمین شناسی اقتصادی ایران، لرستان (۱۳۹۰).

- [۴] حجازی، مجتبی - قربانی، منصور، ۱۳۷۳، زمین شناسی ایران، کائولن و رس های نسوز، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۷۰ صفحه.
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] Mackenzie W.S., Donaldson C.H., "Guilford, 1984, C., Atlas of igneous rocks and their texture", published by Halsted Press.
- [۸] میرانوری اعظم سادات، "کانی شناسی صنعتی کائولن یاسمینا (گناباد)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶) ۱۲۸ صفحه.
- [۹] غریب نواز عطیه، "بررسی ژئوشیمی، کانی شناسی معادن کائولن شمال غرب گناباد با نگرش ویژه بر کاربرد صنعتی آن"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶) ۱۷۰ صفحه.
- [۱۰] میری بیدختی روحا، "مطالعه کانی شناسی و زمین شناسی کانسارهای کائولن باغ سیاه و خاک های نسوز رخ سفید و کبوترکوه گناباد"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز، (۱۳۸۲) ۲۵۶ صفحه.
- [۱۱] ابراهیمی خسرو، "صنایع سرامیک ایران (نگاهی بر مشکلات و تنگناهای مواد اولیه معدنی)"، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۸۱).
- [۱۲] رحیمی ا، متین م، "تکنولوژی سرامیک های ظریف"، شرکت صنایع خاک چینی ایران، (۱۳۶۸) ۵۷۴ صفحه.
- [13] 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.
- [14] Sayın S. A., "Origin of kaolin deposits: evidence from the Hisarcık (Emet-Ku" tahya) deposits, western Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 16 (2007) 77-96.

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] کریم پور محمدحسن، سعادت سعید، گزارش کائولین 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