

کانی‌شناسی صنعتی ذخائر کائولن آهویی و رخ سفید گناباد با نگرشی ویژه بر ژئوشیمی عناصر کمیاب آنها

The Industrial Mineralogy and Geochemistry of REE Gonabad Ahooc & Rokh-sefid Kaolinite deposits

غریب نواز، عطیه^۱ (ارانه دهنده)- ابراهیمی، خسرو^۱- مظاهری، سید احمد^۱- یوسفی، عباس^۲- محمودی قرایی، محمد حسین^۱
^۱ گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
^۲ موسسه تحقیقاتی پرتاوس و شرکت لعاب مشهد

چکیده:

ذخائر کائولن آهویی و رخ‌سفید با آلتراسیون سنگهای آذرآواری تکتونیزه منطقه، در اثر نفوذ دایکهای میکروگرانودیوریتی و میکروگرانیتی ائوسن بوجود آمده است. سنگهای پوشاننده منطقه شامل میکاشیست دگرگونه، داسیت، ریولیت، ریولیت رکرستالیزه، تراکی آندزیت و سنگهای آذرآواری لیتیک توف و توف اسیدی میباشد. کانی‌شناسی این ذخایر معدنی بترتیب فراوانی شامل کوارتز، کائولن، دیکیت، مونتموریلونیت، هماتیت و آلونیت میباشد. کائولن‌های این منطقه با داشتن میانگین ۲۰/۴۹ درصد اکسید آلومنیوم، ۷۱/۶۴ درصد اکسید سیلیسیم، ۱/۳۹ درصد اکسید آهن و ۰/۶۵ درصد اکسیدتیتان و مشخصات ۱/۶۱ تا ۱/۸۶ gr/cm³ دانسیته بالک، ۱۳/۷۵ تا ۳۳/۶۳ درصد جذب آب، ۲/۴ تا ۴۴/۸ کیلوگرم نیرو برسانتیمتر مربع MOR خام و ۳۲/۲ تا ۱۳۶/۶ کیلوگرم نیرو برسانتیمترمربع استحکام خمشی پخت، در صنایعی نظیر کاشی، سرامیک و چینی کاربرد دارند.

سیلیس توسط چرخه‌های گرمایی، به میزان قابل توجهی از توده اسیدی درونی شسته شده و به‌مراه مقادیر بالای سیلیس محلول گرمایی، نزدیک به سطح زمین با کاهش فشار، حرارت و pH محلول نهشته شده و کلاک سیلیسی را در اکثر پیشکارها ایجاد کرده است. نتایج آنالیز عناصر REE نمونه‌های معادن مورد مطالعه، آنومالی منفی Eu و نسبت‌های بالای LREE/HREE را نشان می‌دهد. بنابراین هوازگی بسیار شدیدی در منبع کائولن‌ها که از نوع سنگهای ولکانیکی اسیدی می‌باشند رخ داده است.

Abstract:

Ahooc and "Rokh-sefid" deposits are created due to the infiltration of the Eosen micro granodiorit and microgranit dikes and alteration of pyroclastic rocks of the area. The area is covered by the meta-mikaschist, dacite, rhyolite, recrystalize rhyolite, trachiandesite, lithic tuff and acidic tuff rocks. The mineralogy of these mines in order of percentages are Quartz, Kaolinite, Dickite, Montmorillonite, Hematite and Alunite. Kaolinities of this area by having the average of 20.49% Al₂O₃, 71.64% SiO₂, 1.39% Fe₂O₃ and 0.65% TiO₂ and also other specifications as 1.61 to 1.86 gr/cm³ bulk density, 13.75 to 33.63% water absorption, 2.2 to 44.8 Kgf/cm² raw MOR, and 32.2 to 136.6 Kgf/cm² fired MOR are used in industries like tile, ceramic, and porcelain. Large amounts of silice has been washed from internal acidic mass by thermal cycles, and along with high amounts of thermal solution silice, they have been deposited near the earth surface with the decrease of pressure, temperature and pH of solution. The REE analysis results of studied mines' samples show the Eu negative anomaly and high amounts of LREE/HREE. Therefore, a high amounts of weathering have occurred in Kaolin's source which are a kind of acidic volcanic rocks.

مقدمه:

ذخایر معدنی آهویی و رخ سفید، با مختصات جغرافیایی 34° 58' شرقی و 25° 34' شمالی، در 265 کیلومتری جنوب مشهد و در 14 کیلومتری شمال غرب گناباد قرار گرفته است. کائولن این محدوده در اثر نفوذ دایکها و دگرسانی سنگهای آذرآواری منطقه بوجود آمده است. دایکها با ترکیب میکروگرانودیوریت و میکروگرانیت دارای سن ائوسن می‌باشند.

کائولن سیلیکات آلومنیوم آبداری است که با خصوصیات مهم زیر، مصارف متعددی را سبب شده است:

- ۱- از نظر شیمیایی در گستره وسیعی از تغییرات PH بدون تغییر باقی می‌ماند.
- ۲- داشتن رنگ سفید که آن را بصورت ماده رنگی قابل استفاده می‌سازد.
- ۳- دارا بودن خاصیت پوششی و پرکنندگی بسیار خوب.
- ۴- نرمی و اصطکاک پایین آن.
- ۵- قابلیت اندک هدایت جریان الکتروسیسته و گرما.
- ۶- قیمت ارزان.

به دلیل کاربرد فراوان کائولن در صنایع مختلف، آزمایشات صنعتی زیادی برای این ماده معدنی تعیین شده است که اندازه‌گیری سفیدی رنگ، اندازه ذرات، اندازه‌گیری استحکام خمشی (MOR)، درجه دیرگدازی، انقباض، جذب آب، مواد باقی مانده در الک مش 325 از این قبیل می‌باشند.

عناصر خاکی کمیاب مفیدترین عناصر جزئی بوده و کاربردهای فراوانی در پترولوژی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارند. عناصر REE دارای اختلافات کوچکی در رفتارهای شیمیایی خود هستند که باعث می‌شود که این عناصر توسط برخی از فرایندهای زمین‌شناسی از یکدیگر تفکیک شوند. بدین طریق میتوان به ژنز مجموعه‌های سنگی و ماهیت فرایندهای زمین‌شناسی پی برد. عناصر خاکی کمیاب دارای کمترین انحلال پذیری می‌باشند و در هنگام دگرگونی درجه پایین، هوازگی و دگرسانی گرمایی نسبتاً نامتحرکند. الگوی عناصر خاکی کمیاب نیز می‌تواند به درستی نشان‌دهنده ترکیب اولیه سنگ مادر دگرسان نشده باشد.

کانی‌شناسی صنعتی :

نمونه‌های دستی معادن آهویی و رخ سفید که دارای سیلیس بالاتری (بیشتر از ۷۰ درصد) هستند دارای گوشه‌های تیزولمس زیر می‌باشند، بلورهای ریز خاکستری کوارتز در آنها دیده میشود و در اثر برخورد نمونه‌ها باهم صدا ایجاد میشود. اما نمونه‌هایی که میزان سیلیس پایین‌تری دارند، دارای گوشه‌های گرد شده و لمس صابونی هستند و بلورهای کوارتز در آنها دیده نمی‌شود. نمونه‌هایی که میزان Al_2O_3 آنها بالاست (بیشتر از ۲۰ درصد کائولن)، لمس صابونی دارند.

حضور اکسید آهن و اکسید تیتان در نمونه‌ها باعث رنگ آمیزی نمونه دستی آنها و ایجاد رنگهای کرم، صورتی و قهوه‌ای شده است. نمونه‌های کائولنی که حاوی مقادیر پایین این اکسیدها می‌باشند، دارای رنگ سفید تا کمی صورتی می‌باشند، اما نمونه‌هایی که مقادیر بالای اکسید آهن و تیتان را دارا می‌باشند رنگ قهوه‌ای دارند. رنگ پخت کائولن نیز مشابه رنگ کائولن خام تحت تاثیر حضور اکسیدهای آهن و تیتانیوم است. معمولاً کائولن‌هایی که کمتر از ۰/۵ درصد اکسیدهای آهن در ترکیب خود دارند پس از پخت دارای سفیدی قابل توجهی می‌باشند. در صورتی که میزان اکسید آهن بیشتر از این میزان باشد رنگ کائولن پس از پخت به سمت رنگ کرم و سپس قرمز متمایل می‌شود. همچنین هرچه میزان اکسید آهن و تیتان در این نمونه‌ها بالاتر می‌رود، وزن آنها و در نتیجه دانسیته بالک آنها نیز بالاتر می‌رود. هر چه کائولن دانسیته بالاتری داشته باشد، در صنعت چینی محصولاتی با وزن بیشتر را ایجاد میکند که مطلوب نیست. دانسیته بالک نمونه‌های معدنی گناباد بین $1/61$ تا $1/86 \text{ gr/cm}^3$ اندازه‌گیری شده است و در صنایعی نظیر کاشی، سرامیک و چینی کاربرد دارند. نمونه‌هایی که L.O.I پایینی دارند، درصد رطوبت پایینی را نشان می‌دهند، در نتیجه برای صنعت کاشی مناسب می‌باشند. این درصد L.O.I مربوط به میزان آب غیر پیوندی نمونه‌ها می‌باشد.

با انجام آزمایش تعیین درصد جذب آب اطلاعات مفیدی در مورد میزان نفوذپذیری آب به داخل بدنه سرامیکی به دست می‌آید. جذب آب نمونه‌های کائولن گناباد از $13/75$ تا $33/63$ درصد تغییر می‌کند.

MOR رس‌ها ارتباط مستقیمی با پلاستیسیته آنها دارد و پلاستیسیته نیز خود متأثر از نوع و میزان کانیهای رسی موجود در نمونه و نیز اندازه ذرات رسی می‌باشد. MOR خام کائولن گناباد از $2/4$ تا $44/8$ کیلوگرم نیروبرسانتیمتر مربع تغییر میکند. استحکام خمشی پخت نمونه‌های کائولن گناباد از $32/2$ تا $136/6$ کیلوگرم نیروبرسانتیمتر مربع، اعداد بالاتری را نسبت به استحکام خمشی خام نشان میدهد.

۱۷ نمونه معرف معادن مورد مطالعه توسط پراش پرتو ایکس (XRD) تجزیه شدند و ترکیب کانی‌شناسی این ذخایر معدنی بترتیب فراوانی شامل کوارتز، کائولن، دیکییت، مونتموریلونیت، هماتیت و آلونیت می‌باشد.

۳۶ نمونه معرف نیز توسط فلورسانس پرتو ایکس (XRF) تجزیه شیمیایی شدند که در جدول ۱ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین اکسیدهای اصلی آن گزارش شده است.

جدول ۱ - مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین اکسیدهای اصلی معادن آهویی و رخ سفید کتاباد

SAMPLE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	L.O.I
Min	43.60	7.25	0.13	0.02	0.04	0.01	0.00	0.10	2.10
Max	88.94	38.78	4.84	3.10	6.76	0.40	3.10	0.70	15.46
Mean	71.64	20.49	1.39	0.65	0.92	0.18	0.62	0.32	6.33

کلاهدک سیلیسی (cap) در اکثر پیشکارها در قسمتهای فوقانی کانسار وجود دارد و این به خاطر اینست که چرخه‌های گرمایی از داخل سیستم درز و شکاف موجود در توده اسیدی منطقه بالا آمده و عناصر قلیایی و قلیایی خاکی را از سنگها می‌شوید. سیلیس نیز، به میزان قابل توجهی از سنگهای درونی شسته شده و محلول گرمایی نیز حاوی مقادیر بالای سیلیس بوده است (کریم پور، سعادت، ۱۳۸۱)، که نزدیک به سطح زمین با کاهش فشار، حرارت و pH محلول نهشته شده و کلاهدک سیلیسی را ایجاد کرده است. AI نیز بخاطر نامحلول بودن در جای خود باقی مانده و کائولینیت را ایجاد نموده است. در نتیجه با شسته شدن سیلیس در عمق میزان آلومنیوم آن بالا رفته است، و با کاهش سیلیس، افزایش آلومنیوم را داریم، همچنین وقتی از عمق به سطح می‌آیم SiO₂ افزایش و میزان Al₂O₃ کاهش می‌یابد. محلولهای هیدروترمال غنی از بی کربنات با تاثیر بر روی پلاژیوکلازها و آمفیبولها، در کنار تشکیل کائولن، Ca را به همراه دیگر کاتیونها از آنها شسته و در انتها آنرا بصورت کلسیت (CaCO₃) ته‌نشست میدهد (کریم پور، سعادت ۱۳۸۱). منیزیم نیز بهمین ترتیب از کانیهای بیوتیت و آمفیبول سنگهای اسیدی آزاد میشود و بعد در تشکیل کانی مونتوریلونیت شرکت میکند.

مقادیر اکسید سدیم آزاد شده از تجزیه سدیم فلدسپاتهای سنگهای اسیدی (ریولیت، داسیت، تراکی آندزیک و توف) با نزدیک شدن به عمق افزایش می‌یابد که این موضوع می‌تواند بخاطر شستشوی ثانویه توسط آبهای جوی و فرورو باشد. اکثر نمونه‌های این معادن فاقد اکسید پتاسیم هستند. آلتراسیون کامل کانیهای حاوی پتاسیم و شستشوی ثانویه توسط آبهای جوی و فرورو و ته‌نشینی این اکسید در عمق باعث تشکیل کانی آلونیت شده است.

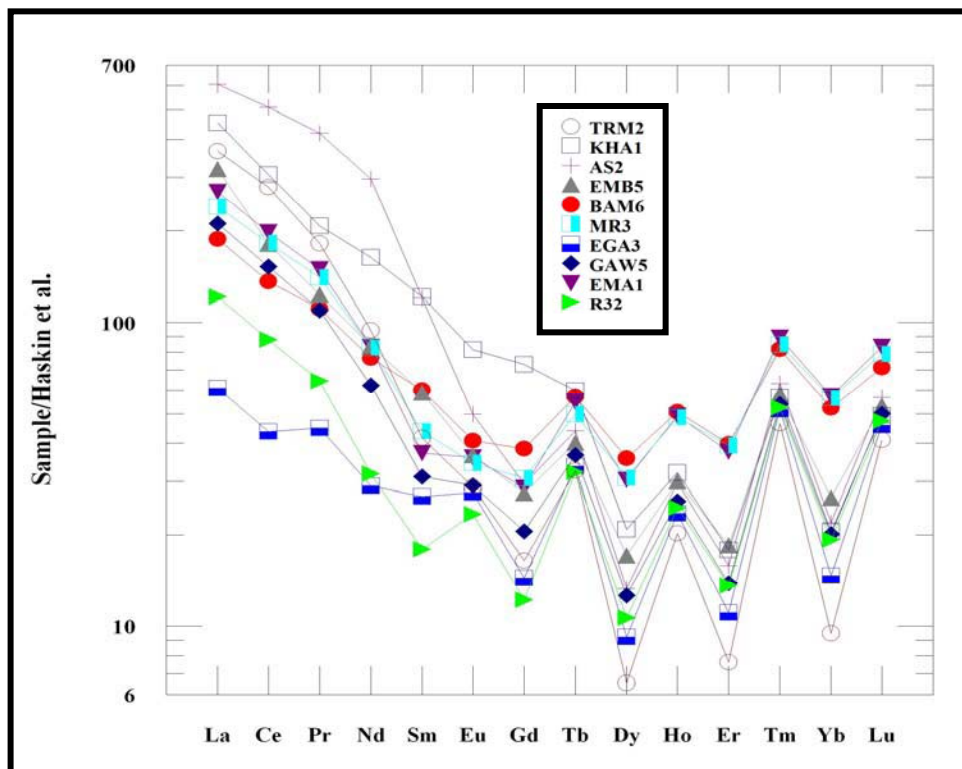
کائولن منطقه آهویی و رخ سفید در اثر نفوذ دایکهای میکروگرانودیوریتی و میکروگرانییتی ائوسن در سنگهای آذرآواری تکتونیزه منطقه بوجود آمده است. قدیمی‌ترین رخساره‌سنگی در این ناحیه شامل ماسه‌سنگ و شیل‌های دگرگونه، متعلق به ژوراسیک و سازند شمشک است. گستره‌های آتشفشانی در این محدوده بسیار فراگیر است و شامل سنگهای داسیت، ریولیت، ریولیت رکرستالیزه، تراکی آندزیت و سنگهای آذرآواری لیتیک‌توف و توف اسیدی می‌باشد. خصوصیات سنگهای این منطقه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ - سنگهای تشکیل دهنده منطقه آهویی و رخ سفید و خصوصیات آنها

واحد	اسم	بافت	کانیهای تشکیل دهنده
دگرگونی	میکاشیست	فلیزر لیپیدوپلاستیک	مسکویت- سرسیت- بیوتیت- کلریت- کوارتز- اکسیدهای آهن
آذرآواری	لیتیک توف	پیروکلاستیک کاتاکلاستیک	کوارتز- قطعات سنگی- اسپکیولاریت- بیوتیت- فلدسپات پتاسیم - زیرکان
	توف های اسیدی	پیروکلاستیک	اسفن- قطعات سنگی - کانیهای اپاک - فلدسپات- کوارتز
آتشفشانی	داسیت	پورفیری- گلوپورفیری- پونی کلسیتی	کوارتز- پلاژیوکلاز- آمفیبول- آلکالی فلدسپار
	ریولیت	پور فیری	کانی اپک - پلاژیوکلاز- آلکالی فلدسپار- بیوتیت- کوارتز
	ریولیت ر کرستالیزه	پورفیری	کوارتز- پلاژیوکلاز- آلکالی فلدسپار - بیوتیت- کلریت- زیرکان- آپاتیت
	تراکی آندزیت	گلوپورفیری	پلاژیوکلاز- هورنبلند- بیوتیت- کوارتز- پتاسیم فلدسپار

عناصر خاکی کمیاب (REE):

جهت مطالعه عناصر REE، ۱۰ نمونه از مواد معدنی این کانسارها به روش NAA در کشور ژاپن آنالیز گردید. معمولاً غلظت عناصر نادر خاکی موجود در سنگها نسبت به استاندارد خاصی، که معمولاً متنوریت کندریتی است، نرمالیز می‌شود. الگوهای عناصر نادر خاکی نرمالیز شده با کندریت (هاسکین و دیگران، ۱۹۶۸) در کانسارهای کائولن رخ سفید و آهویی و معادن وابسته در شکل ۱ آورده شده است. در الگوهای این کانسارها عنصر Eu دارای انومالی منفی می‌باشد و غنی شدگی LREEها نسبت به HREEها دیده می‌شود.



شکل ۱ - الگوهای عناصر نادر خاکی نرمالیز شده با کندریت (هاسکین و دیگران، ۱۹۶۸) در کانسارهای کائولن رخ سفید و آهویی و معادن وابسته

نتیجه گیری:

نمونه‌هایی که اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) بالایی دارند، مقاومت محصولات سرامیکی آنها در برابر شوکهای حرارتی، فشاری و کششی افزایش می‌یابد. در حالیکه نمونه‌هایی که اکسید سیلیسیم (SiO_2) بالایی دارند، در محصولات سرامیکی آنها، افزایش زبری، کاهش پلاستیسیته و کاهش مقاومت در مقابل از هم گسیختگی (MOR) دیده می‌شود. اکسیدهای آهن و تیتان، ترکیبات مزاحم و مخرب در رنگ پخت هستند که باعث ایجاد رنگ کرم تا قهوه‌ای محصولات سرامیکی میشوند. معمولاً کائولن‌هایی سفیدی قابل توجهی پس از پخت دارند که حاوی کمتر از ۰/۵ درصد اکسیدهای آهن در ترکیب خود میباشند. هرچه میزان اکسید آهن و تیتان در این نمونه‌ها بالاتر می‌رود، وزن آنها و در نتیجه دانسیته بالک آنها نیز بالاتر می‌رود. بطور کلی ویژگی دانسیته، در صنعت چینی اهمیت دارد. هر چه کائولن دانسیته بالاتری داشته باشد، محصولاتی با وزن بیشتر را ایجاد می‌کند. در صنعت چینی هرچه محصولات سبکتر باشند، مطلوبترند. نمونه‌های کائولن گناباد با دانسیته مناسب، در صنایعی نظیر کاشی، سرامیک و چینی کاربرد دارند.

اکثر نمونه‌های معدنی درصد رطوبت پایینی را نشان می‌دهند، در نتیجه برای صنعت کاشی مناسب میباشند. چند نمونه‌ای که L.O.I بالایی داشتند، درصد رطوبت بالایی را نیز نشان میدهند. این درصد بالای L.O.I مربوط به میزان بالای آب غیر پیوندی آن می‌باشد. آب غیر پیوندی در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد جدا می‌شود و تا دمای ۷۰۰-۶۰۰ درجه سانتیگراد ترکیبات سولفاتها و کربناتها خارج میشود که تخلخل ایجاد می‌کنند. این تخلخل در صنعت سرامیک اهمیت زیادی دارد، چرا که میزان جذب لعاب بروی بدنه را مشخص میکند. جذب آب نمونه‌های کائولن گناباد، مربوط به مقدار مواد فرار در خاک می‌باشد.

MOR خام کائولن گناباد از ۲/۴ تا ۴۴/۸ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع تغییر می‌کند. مقادیر MOR پایین به دلیل حضور مقادیر زیادی از کانی غیر پلاستیک کوارتز در کائولن می‌باشد که باعث کاهش پلاستیسیته شده

است. همچنین MOR بالا به علت میزان کائولن بالا می‌باشد. استحکام خمشی پخت نمونه‌های کائولن گناباد اعداد بالاتری را نسبت به استحکام خمشی خام نشان میدهد که این به خاطر جوش خوردن دانه‌ها در اثر پخت میباشد که در نتیجه نیروی بیشتری را تحمل می‌کند.

در تمامی معادن مورد مطالعه مشاهده میشود که با افزایش میزان SiO_2 از میزان Al_2O_3 کاسته میشود و بالعکس با کاهش SiO_2 به میزان Al_2O_3 افزوده می‌شود. بطور کلی درجایی که سیلیس توسط محلول اسیدی شسته و حمل شده کاهش سیلیس را داریم که این اتفاق بیشتر در عمق رخ داده است و در نتیجه آلومنیوم که در این محلول اسیدی تحرك کمی دارد در جای خود باقی مانده و افزایش نشان می‌دهد، اما در جایی که سیلیس نهشته شده (این اتفاق در اثر کاهش فشار و حرارت و pH در نزدیکی سطح رخ داده است) آلومنیوم به آن قسمت حمل نشده و در نتیجه با افزایش سیلیس در سطح، کاهش آلومنیوم در آنجا دیده می‌شود.

در منطقه آهویی و رخ سفید پس از تاثیر محلولهای گرمایی، شستشوی ثانویه‌ای توسط آبهای جوی و فرورو صورت گرفته است. دلیل این مدعا افزایش مقادیر اکسید سدیم با نزدیک شدن به عمق می‌باشد. همچنین اکثر نمونه‌های سطحی این معادن فاقد اکسید پتاسیم هستند و در عوض، در عمق کانی آلونیت تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه سه واحد سنگی دگرگونی، ولکانیکی و آذرآوری وجود دارد. واحد سنگی دگرگونی شامل میکاشیست، واحد سنگی ولکانیکی شامل داسیت، ریولیت، ریولیت رکرستالیزه و تراکی‌اندزیت و واحد سنگی آذرآوری شامل لیتیک توف و توف اسیدی می‌باشد.

بی‌هنجاریهای یوروپیم، عمدتاً توسط فلدسپارها کنترل میشود، زیرا Eu (در حالت دو ظرفیتی)، برخلاف REE سه ظرفیتی که در پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم عناصری ناسازگارند، عنصری سازگار به شمار می‌آید. آنومالی منفی Eu به دلیل هوازگی پلاژیوکلازها یعنی میزبان اصلی Eu می‌باشد (Nyakairu, 2000). غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها نشان‌دهنده هوازگی بسیار شدیدی است که در این کانسارها اتفاق افتاده است (Nyakairu et al., 2001).

نسبتهای مختلف عناصر REE، در تفکیک منابع مافیگ و فلسیک اجزا، راهنمای خوبی هستند. (McLennan et al., 1983, 1989; Taylor and McLennan, 1985; Wronkiewicz and Condie, 1989; Cox et al., 1995)

بیشتر سنگهای سیلیسی، عموماً نسبتهای بالای LREE/HREE و آنومالی منفی Eu دارند (e.g. Culler and Graf, 1983). از اینرو، غنی‌شدگی عناصر سبک نسبت به سنگین و آنومالی منفی Eu، منبع پیشنهادی سنگهای کائولن مطالعه شده را تایید میکند. این منابع از نوع سنگهای آذرین اسیدی میباشند.

منابع:

- بابانی نژاد، بیژن. جوادی دهخوارقانی، فرزانه. ۱۳۷۰، خواص بدنه‌های سرامیکی (۱) پلاستیسیته، مرکز آموزش و تحقیقات سرامیک شرکت مقره سازی ایران-گرجستانی، سعید، ۱۳۷۰، صنعت سرامیک، انتشارات گوتمبرگ.
- درویش زاده، علی، ۱۳۸۰، زمین شناسی ایران، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- سراندیبی فردوس، عباس، ۱۳۸۳، مطالعه کانی شناسی و ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی و زون‌های آلتراسیون و بررسی مصرف صنعتی آن‌ها در منطقه سرسفیدال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۰۷ صفحه.
- قربانی، منصور، ارزانی، کاوه، ۱۳۷۳، زمین شناسی ایران کائولن و رسهای نسوز، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۷۱ صفحه.
- کریم پور، محمد حسن، سعادت، سعید، ۱۳۸۱، زمین شناسی اقتصادی کاربردی، نشر مشهد.
- کریم پور، محمد حسن، ۱۳۷۸، کانی‌ها و سنگ‌های صنعتی، نشر مشهد.
- مر، فرید، مدبری، سروش، ۱۳۷۷، مبانی زمین شیمی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.

-Nyakairu, G.W.A., C.Koeberl and H.Kurzweil, The Buwambo kaoli deposit in central Uganda: Mineralogical and chemical composition, *geochemical Journal*, Vol.35.PP.245-256.(2001).

-Patterson, S. H & Murray, H. H, 1983, Clays in "Industrial Minerals and Rocks", by Lefond. Published by American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc USA, pp. 585-651.

-Wilson, M.J., The origin and formation of clay minerals in soils: present and future perspectives, *Clay minerals*, Vol.39.PP.7-25.(1999).

-www.ngdir.ir