

## ژئوشیمی، جایگاه تکتونیکی و منشأ توده گرانیتوئیدی سفیدکوه و مقایسه آن با شاه‌کوه (باختر نهبندان، خاور پهنه لوت)

عباداله طولابی نژاد<sup>۱</sup>، احمد احمدی خلجی<sup>۱\*</sup>، حبیب بیابانگرد<sup>۲</sup> و زهرا طهماسبی<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان

نویسنده مسئول: khalagi2002@yahoo.com\*

دریافت: ۹۵/۲/۱۰ پذیرش: ۹۵/۴/۳۱

### چکیده

توده‌های گرانیتوئیدی سفیدکوه و شاه‌کوه در باختر شهرستان نهبندان (استان خراسان جنوبی) واقع شده‌اند و از دیدگاه زمین‌شناسی ایران در بخش خاوری پهنه لوت قرار دارند. توده گرانیتوئیدی شاه‌کوه از دو واحد اصلی با ترکیب مونزوگرنایت-گرانودیوریت و سینوگرنایت تشکیل شده و کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن، بیوتیت و آمفیبول سازنده‌های مهم آن می‌باشند. گرانیتوئید سفیدکوه دارای طیف ترکیبی گرنایت (مونزو و سینوگرنایت)، گرانودیوریت و تونالیت است و از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، میکروکلین، ارتوز و بیوتیت تشکیل شده است. ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در توده گرانیتوئیدی سفیدکوه اغلب آندزینی و گاهی آلبیتی، در برونوم‌های گرانیتوئید سفیدکوه و شاه‌کوه و واحد گرانودیوریتی آن تمام آندزینی و در واحد سینوگرنایتی شاه‌کوه الیگوکلاز تا آندزین می‌باشد. ترکیب بیوتیت‌های موجود در برونوم‌های فلسیک سفیدکوه و برونوم‌های مافیک شاه‌کوه از نوع بیوتیت منیزیم‌دار، در واحد گرانودیوریتی شاه‌کوه از نوع بیوتیت آهن‌دار تا منیزیم‌دار و در توده گرانیتی سفیدکوه و واحد سینوگرنایتی شاه‌کوه از نوع بیوتیت آهن‌دار و در هر دو توده از نوع اولیه ماگمایی می‌باشند. بررسی شیمی کانی‌ها و زمین‌شیمی توده‌ها حاکی از تعلق این توده‌ها به ماگمای کالک آلکالن وابسته به حواشی فعال قاره‌ای می‌باشد. در نمودارهای تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت، سنگ‌های این پیکره‌ها غنی‌شدگی از LILE و LREE، تهی‌شدگی از HREE و HFSE و آنومالی منفی Nb, Ti, Sr و Ba نشان می‌دهند که با مشخصه‌های سنگ‌های وابسته به محیط حاشیه فعال قاره‌ای هم خوانی دارند. نمودارهای تمایز محیط‌های تکتونیکی، وابستگی توده گرانیتوئیدی سفیدکوه را به محیط‌های هم‌زمان با برخورد و توده گرانیتوئیدی شاه‌کوه را با فرورانش قوس آتشفشانی (VAG) نشان می‌دهند. نمودارهای پتروژنتیکی نشان داد که گرانودیوریت شاه‌کوه از یک منشا آمفیبولیتی، گرانیتوئید سفیدکوه از یک منشا متاگریوکی و سینوگرنایت شاه‌کوه از یک منشا آمفیبولیتی تا پلیت‌های فلسیکی حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌شناسی، منشأیابی، گرانیتوئید سفیدکوه و شاه‌کوه، نهبندان، خاور ایران

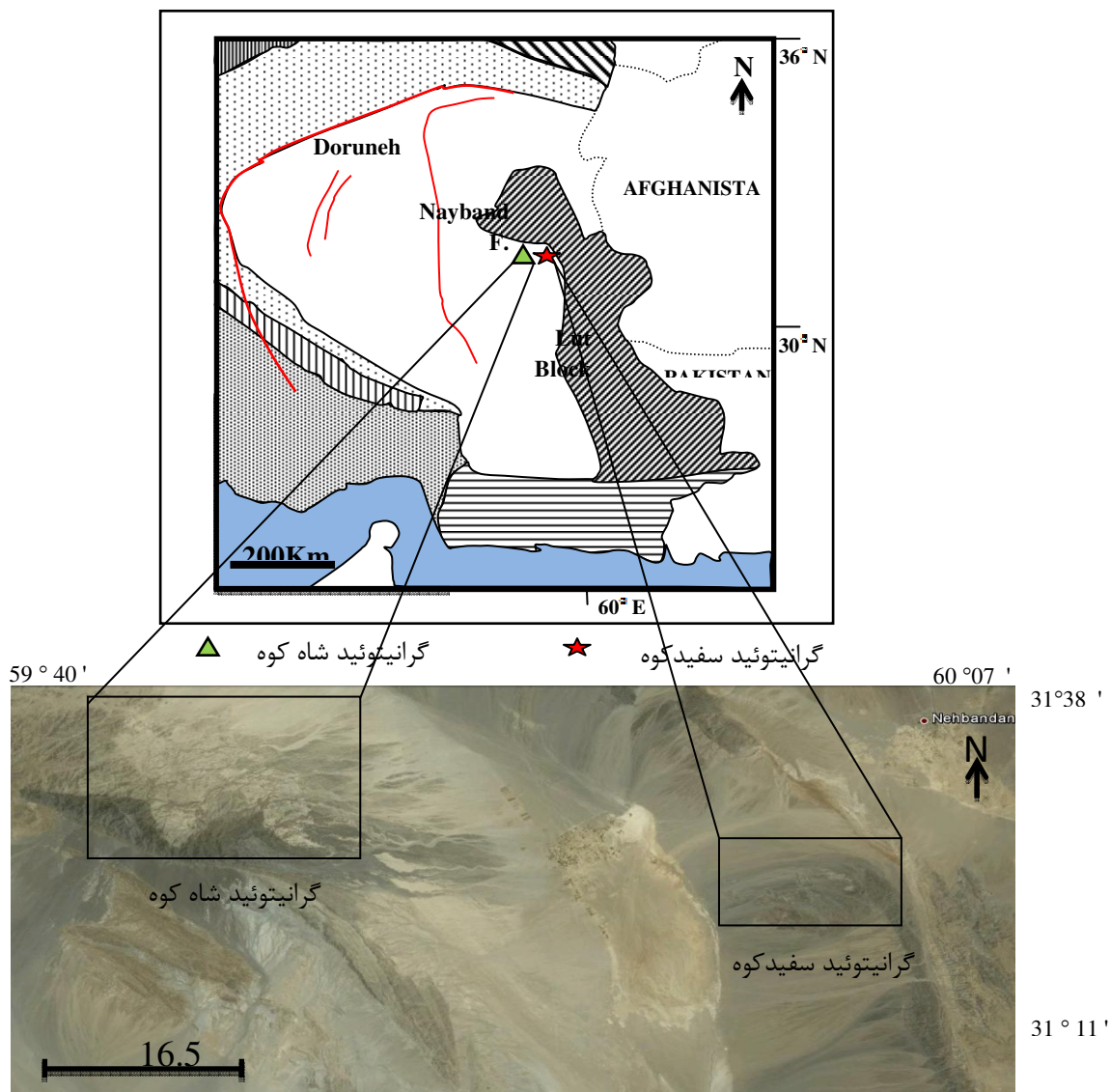
### مقدمه

۴۹° ۲۵' ۳۱" و طول‌های شرقی ۵۴° ۵۹' تا ۵۷° ۵۹' در مسیر جاده نهبندان- شهداد واقع شده و از نظر رده‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران در بخش خاوری پهنه لوت قرار دارد. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه، مجموعه شیلی و ماسه‌سنگی شمشک می‌باشد که توده گرانیتوئیدی سفیدکوه (ژوراسیک بالایی) در داخل این مجموعه نفوذ و باعث ایجاد دگرگونی مجاورتی در آن‌ها شده است. توده گرانیتی شاه‌کوه به صورت یک نوار کشیده به طول تقریباً ۵۰ کیلومتر و پهنای ۱۰-۱۲ کیلومتر با روند شمال باختری- جنوب خاوری در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند (خاور ایران) واقع است. این توده با رویه‌ای بیش از ۵۰۰ کیلومتر مربع

در نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده از حاشیه خاوری پهنه لوت، توده نفوذی گرانیتوئید سفیدکوه به عنوان بخشی از گرنایت شاه‌کوه نشان داده شده است. با توجه به فاصله میان این دو توده (تقریباً ۵۰ کیلومتر) (شکل ۱) و عدم استفاده از مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی جهت تعلق دادن این توده گرانیتوئیدی به شاه‌کوه، هدف این نوشتار مطالعه گرانیتوئید سفیدکوه و مقایسه آن با شاه‌کوه از لحاظ ژئوشیمی، سنگ‌شناسی و خاستگاه تکتونیکی آن‌ها می‌باشد. توده گرانیتوئیدی سفیدکوه در ۱۷ کیلومتری باختر شهرستان نهبندان، خاور روستای چاه‌داشی بین عرض‌های شمالی ۴۹° ۲۳' ۳۱" تا

کنگلومرای قاعده‌ای کرتاسه قرار گرفته است. این توده گرانیتی به سمت خاور به وسیله رسوب‌های کواترنری پوشیده می‌شود [۱]. تمام منابع مورد استفاده برای این مقایسه (برای گرانیت شاه‌کوه) از مطالعات [۱ و ۹] اقتباس شده است.

بخشی از پهنه لوت را تشکیل داده و دارای مختصات جغرافیایی  $31^{\circ} 30'$  تا  $31^{\circ} 47'$  شمالی  $59^{\circ} 12'$  تا  $59^{\circ} 31'$  خاوری می‌باشد [۱]. این توده گرانیتوئیدی سازند شمشک را در شمال و کمپلکس دگرگونی ده‌سلم را در جنوب قطع نموده و به سمت باختر در زیر



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای از موقعیت گرانیتوئیدهای سفیدکوه و شاه‌کوه (گرفته‌شده از Google Earth) و موقعیت آن‌ها در پهنه خاوری لوت

### بحث و بررسی زمین‌شناسی

ترکیب غالب مونزو تا سینوگرانیتی و بخش حاشیه‌ای با ترکیب مونزو تا سینوگرانیت، گرانودیوریتی و تونالیتی تشکیل شده است و به جز رگه‌های آپلیتی با ترکیب سینوگرانیتی هیچ گونه سیل و یا دایکی این توده را قطع نکرده است. این توده دارای برونوم‌های رستیتی و میکروگرانولار فلسیک با ترکیب گرانودیوریتی است. بخش‌های مرکزی نسبت به حاشیه توده سالم‌تر و کمتر دگرسان شده‌اند و به نظر اندازه دانه، قسمت‌های مرکزی

در این نوشتار از دو واحد مونزوگرانیت-گرانودیوریت و سینوگرانیت شاه‌کوه جهت مقایسه با توده گرانیتوئیدی سفیدکوه استفاده شده است. توده گرانیتوئیدی سفیدکوه به صورت عدسی پهن و تپه‌های ماهوری با ارتفاع کم و به صورت منقطع دیده می‌شود که بزرگ‌ترین قطعه آن دارای درازای ۲ کیلومتر و عرضی نزدیک به ۰/۸ کیلومتر می‌باشد. این توده گرانیتوئیدی از دو بخش مرکزی با

سنگ‌نگاری قرار گرفتند. سپس ترکیب شیمیایی کانی‌های پلاژیوکلاز و بیوتیت در نمونه‌های سالم و نادرسان با یک دستگاه ریزپردازنده (EPMA) مدل Phillipse- 8600 با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ کیلوولت و شدت جریان ۱۰ نانوآمپر در دانشگاه یاماگاتای ژاپن آنالیز شدند. هم‌چنین به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده گرانیتوئیدی سفیدکوه ۱۰ نمونه که دارای کمترین تجزیه شدگی بودند انتخاب شدند و در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور به روش XRF (عناصر اصلی) و ICP-AES (عناصر فرعی و کمیاب) مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند (جدول ۱).

برای نمونه‌های شاه‌کوه آنالیزهای کانی بوسیله ریزپردازنده الکترون میکروپروب مدل Cameca SX50 در دانشگاه پل - ساباتییه (تولوز، فرانسه)، با کار کردن در شرایط معمولی بدست آمد: 15 kV, 10.0-10.8 nA. زمان محاسبه شده ۶ ثانیه و حدود آشکارسازی % ۰/۲ برآورد شد [۹]. بیش‌تر آنالیزهای عناصر اصلی و کمیاب با استفاده از طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسما القایی (ICP-AES) با دستگاه ISA Jobin- Yvon JY 70 در دانشگاه Bretagne Occidentale (Brest, France) بدست آمدند. انحراف‌های استاندارد نسبی برای عناصر اصلی % ۰/۲ ± و برای عناصر کمیاب % ۰/۵ ± بود [۹].

### سنگ‌شناسی

در واحد مونزوگرنایت- گرانودیوریت شاه‌کوه، کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن و بیوتیت از تشکیل دهنده‌های اصلی و هورنبلند، آلانیت، مونازیت، آپاتیت، اسفن، کانی‌های اپک و به ندرت زیرکن از اجزای فرعی این سنگ‌ها محسوب می‌شوند (شکل ۲-الف، ب) [۱]. سینوگرنایت‌های شاه‌کوه دارای بافت گرانولار دانه درشت، پرفیروئید و بعضی از آن‌ها میکروگرافیک و میرمکیتی‌اند. فلدسپار پتاسیم‌دار، کوارتز، پلاژیوکلاز و بیوتیت کانی‌های اصلی، مونازیت، آپاتیت، زیرکن، کانی‌های کدر و به ندرت آلانیت از کانی‌های فرعی آن‌ها محسوب می‌شوند (شکل ۲-پ).

کانی‌های تجزیه‌ای و ثانوی کائولن، سریسیت و گاه موسکویت، اسفن، روتیل، کلریت، کلسیت و بعضی از سولفیدها می‌باشند [۱]. در گرانیتوئید سفیدکوه کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن

توده گرانیتی سفیدکوه نسبت به حاشیه آن دانه درشت‌تر می‌باشد، درصد کانی‌های بیوتیت در بخش مرکزی نسبت به بخش حاشیه‌ای فراوان‌تر است و به همین علت به نظر می‌رسد که رنگ گرانیت‌های قسمت مرکزی توده تیره‌تر از قسمت‌های حاشیه‌ای آن باشد و فاقد گارنت و موسکویت نسبت به بخش‌های حاشیه‌ای است. توده گرانیتی شاه‌کوه از دو واحد اصلی با ترکیب مونزوگرنایت- گرانودیوریت و سینوگرنایت تشکیل شده است. سنگ‌های میکروگرنیتی با ابعاد و ترکیب کانی‌شناسی متغیر به طور پراکنده در هر دو واحد دیده می‌شوند. گرانیت‌های گرایزی، دایک‌های داسیتی و آندزیتی، سیل تراکیتی، رگه‌های کوارتز- تورمالین مینرالیزه و برونبوم‌های میکروگرانولار مافیک در توده شاه‌کوه دیده می‌شوند [۱]. بخش اصلی رخنمون توده شاه‌کوه به واحد مونزوگرنایت- گرانودیوریت اختصاص دارد و در روی زمین دارای رخنمونی خشن بوده و مرتفع‌ترین بخش توده را به خود اختصاص می‌دهد [۱]. بخش‌های جنوبی و جنوب باختری باتولیت شاه‌کوه به طور عمده از واحد سینوگرنیتی تشکیل شده است. رخنمون صحرایی این سنگ‌ها بیش‌تر به شکل کم ارتفاع و تپه ماهوری بوده و به رنگ خاکستری مایل به قرمز ظاهر می‌شوند. برونبوم‌هایی از جنس میکاشیست‌های دگرگونی ده‌سلم و برونبوم‌های میکروگرانولار با ترکیب گرانودیوریتی نوع حاشیه انجماد سریع خود توده به طور پراکنده و بیش‌تر در منتهی‌الیه بخش جنوبی این توده مشاهده می‌شوند [۱]. برونبوم‌های میکروگرانولار کوارتز مونزونیتی که در واحد مونزوگرنایت- گرانودیوریت حضور دارند در این بخش عمومیت نداشته و به طور نادر و تنها در مرز مشترک با مونزوگرنایت‌ها یافت می‌شوند. این سنگ‌ها در نمونه دستی دارای ساخت گرانولار دانه درشت و بعضی از آن‌ها پگماتیته بوده و به طور محلی ساخت‌های پرفیروئید نیز دارند که در این حالت اندازه ارتوزهای گلی رنگ بخصوص در بخش‌های متاسوماتیسم شده به بیش از ۳ سانتی‌متر هم می‌رسد [۱].

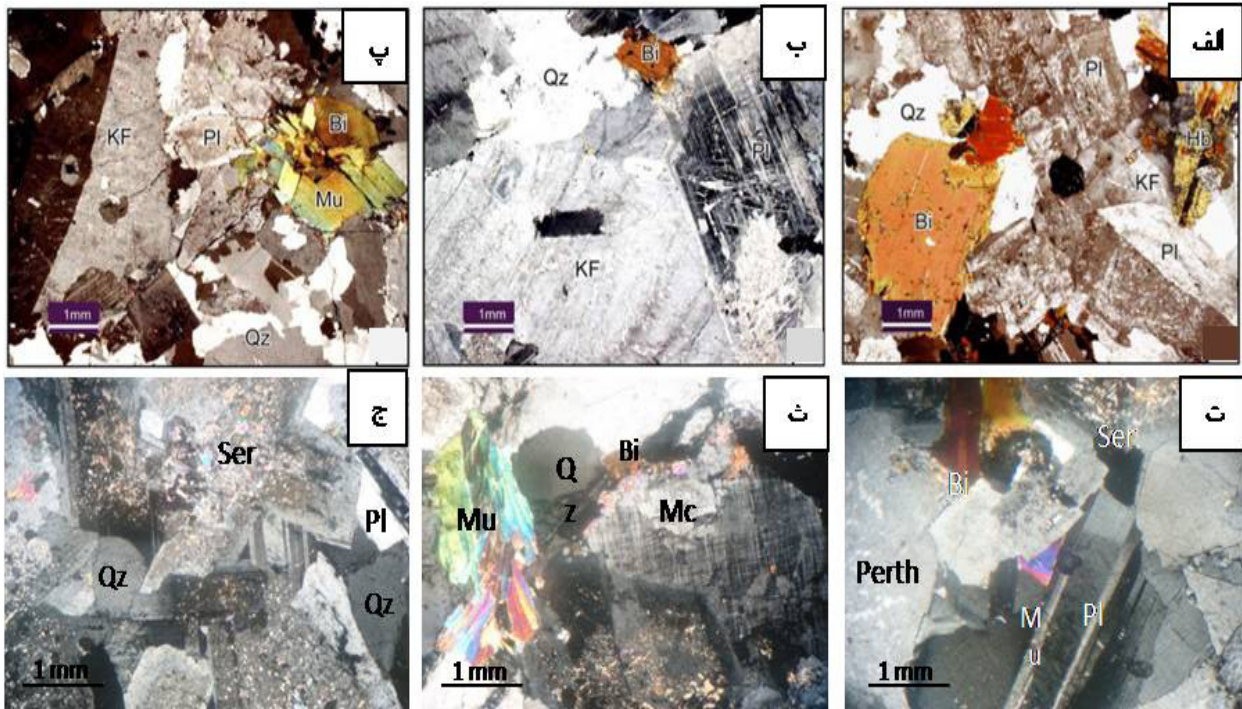
### روش انجام پژوهش

پس از چندین مرحله مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از توده گرانیتوئیدی سفیدکوه و برونبوم‌های میکروگرانولار فلسیک آن، تعداد ۴۰ مقطع نازک تهیه و مورد بررسی

از لحاظ خصوصیات صحرایی نیز هر دو توده دارای ارتفاع کم و به صورت تپه ماهوری هستند و برونوم‌های هر دو توده از نوع میکاشیست‌های دگرگونی و میکروگرانولار با ترکیب سنگی گرانودیوریتی نوع حاشیه انجماد سریع می‌باشد، هر چند که به اعتقاد [۱] برونوم‌های گرانیت شاه‌کوه از واحد گرانودیوریتی آن در داخل این سنگ‌ها قرار گرفته‌اند و نشانه‌هایی از قطع کردن واحد گرانودیوریتی خصوصا در مرز بین آن‌ها توسط واحد سینوگرانیته دیده می‌شود، اما ویژگی‌های صحرایی و کانی‌شناسی برونوم‌های گرانیتوئید سفیدکوه با واحد گرانودیوریتی آن متفاوت است. ادخال‌های موجود در بیوتیت‌های سفیدکوه بیش‌تر از زیرکن می‌باشد در صورتی که در بیوتیت‌های واحد سینوگرانیته شاه‌کوه این ادخال‌ها بیش‌تر از مونازیت، آپاتیت و به مقدار کمتر زیرکن می‌باشد. هر دو توده گرانیتوئیدی در نمونه دستی دارای ساخت گرانولار دانه‌درشت تا پگماتیته بوده و در نمونه‌های میکروسکوپی، نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه بافت گرانولار دانه‌درشت، پرتیتی و گرانوفیری و نمونه‌های گرانیتوئید شاه‌کوه دارای بافت گرانولار دانه‌درشت و پرفیروئید بوده و بعضی از آن‌ها میکروگرافیک و میرمکیتی می‌باشند.

(میکروکلین و ارتوز)، بیوتیت، موسکویت، گارنت، زیرکن، اپاک و کانی‌های ثانویه سریسیت، کلریت، اپیدوت و کلسیت در مقاطع میکروسکوپی این سنگ‌ها قابل مشاهده هستند (شکل ۲-ت، ث، ج). بافت این سنگ‌ها گرانولار تا پگماتیته است و در تونالیت‌های میلونیتی شده بافت کاتاکلاستیک نیز دیده می‌شود.

از جمله اختلافات کانیایی بین سنگ‌های سفیدکوه و شاه‌کوه حضور کانی‌های هورنبلند، آپاتیت، مونازیت، آلانیت، کائولن و روتیل در سنگ‌های گرانیت شاه‌کوه و عدم وجود این کانی‌ها در واحدهای گرانیتوئید سفیدکوه و حضور موسکویت، گارنت، اپیدوت و میکروکلین در گرانیتوئید سفیدکوه و عدم این کانی‌ها در گرانیت شاه‌کوه می‌باشد. در گرانیت شاه‌کوه آلکالی فلدسپارها از نوع ارتوز هستند در صورتی که در توده سفیدکوه میکروکلین اصلی‌ترین آلکالی فلدسپار است و مقدار ارتوزهای آن کمتر می‌باشد. بیش‌ترین تشابه گرانیتوئید سفیدکوه با واحد سینوگرانیته شاه‌کوه است و هر چند از لحاظ درصد کانی‌های سازنده آن‌ها با هم فرق دارند (به عنوان مثال درصد کانی کوارتز بسیار بیش‌تر از واحد سینوگرانیته است) لیکن مهم‌ترین تشابه آن‌ها به حضور بیوتیت به عنوان تنها کانی فرومنیزین در آن‌ها می‌باشد.

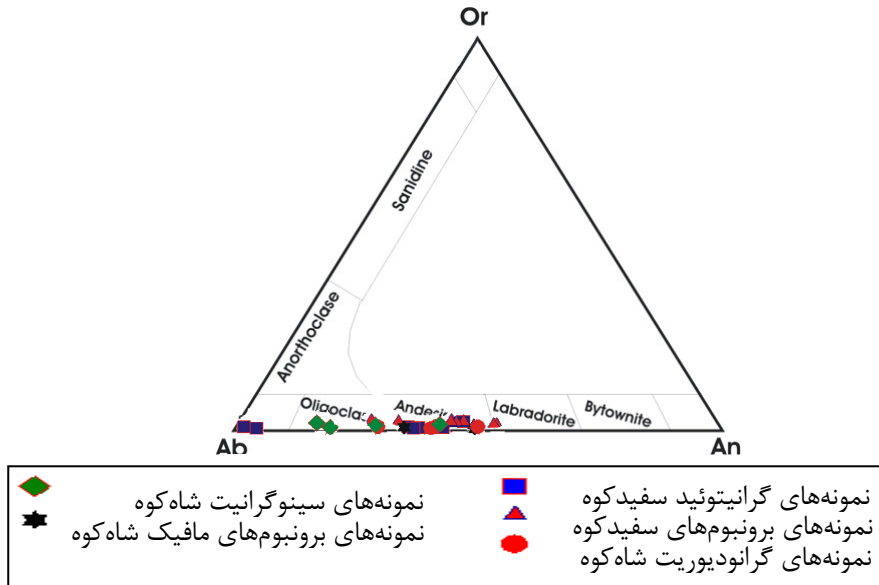


شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های باتولیت شاه‌کوه اقتباس از [۹] الف) گرانودیوریت. ب) مونزوگرانیته. پ) سینوگرانیته و نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه، ت) گرانیت. ث) مونزوگرانیته. ج) گرانودیوریت

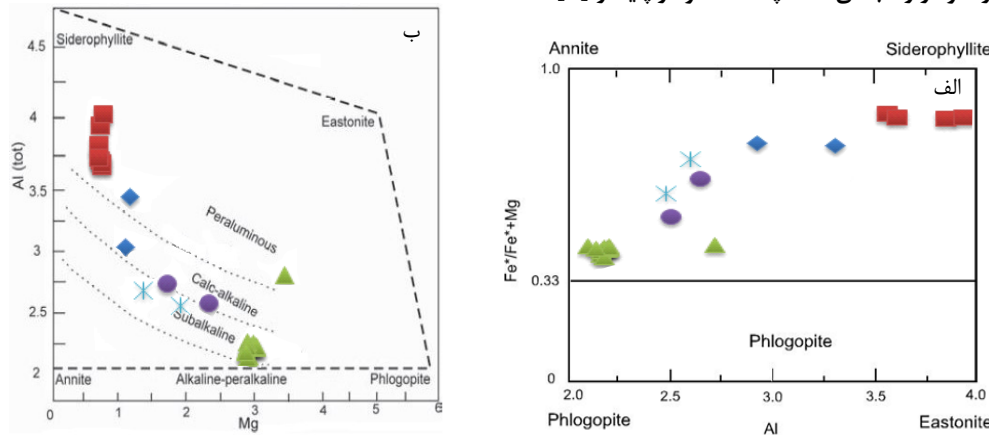
شیمی کانی‌ها

داده‌های حاصل از تجزیه کانی‌های گرانیت سفیدکوه و برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک آن از [۲] و داده‌های حاصل از تجزیه کانی‌های واحدهای گرانودیوریت،

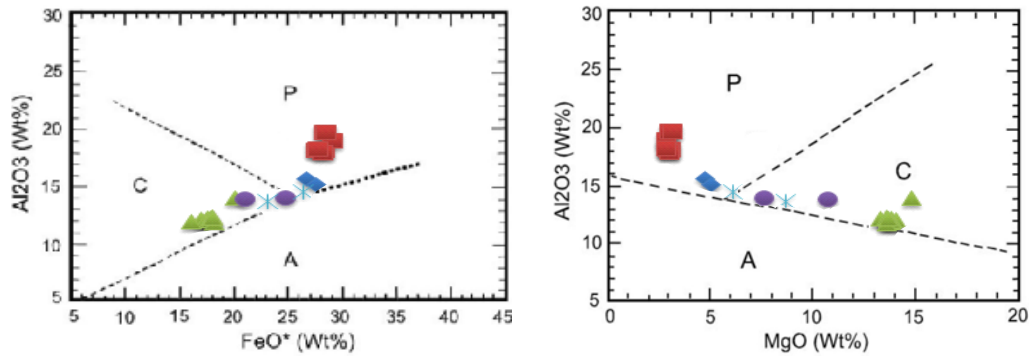
سینوگرانیت و برونوم‌های مافیک گرانیتوئید شاه‌کوه از [۹] اقتباس شده است که نتایج آن‌ها جهت مقایسه به صورت خلاصه در جدول ۲ و شکل‌های ۳ تا ۶ آورده شده است.



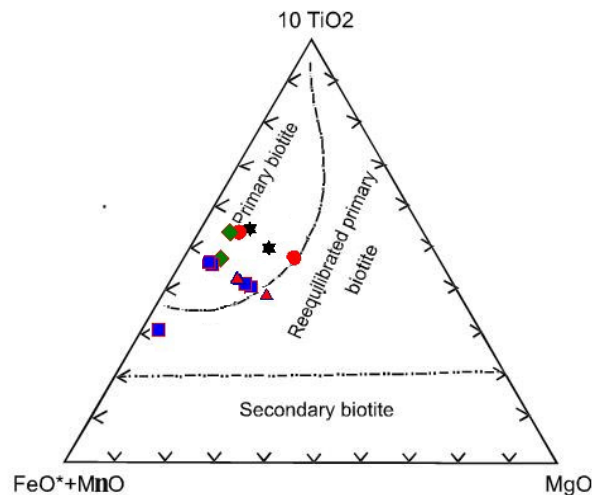
شکل ۳. موقعیت پلاژیوکلازهای گرانیتوئید سفیدکوه و برونوم‌های فلسیک آن، گرانودیوریت، سینوگرانیت و برونوم‌های مافیک گرانیتوئید شاه‌کوه در نمودار رده‌بندی فلدسپات‌ها (نمودار پایه از [۸])



شکل ۴. الف) موقعیت بیوتیت‌های موجود در گرانیتوئید سفیدکوه و برونوم‌های فلسیک آن، واحدهای گرانودیوریتی، سینوگرانیتی و برونوم‌های مافیک گرانیتوئید شاه‌کوه در نمودار طبقه‌بندی شیمیایی میکاها (نمودار پایه از [۲۲] و [۸]). ب) تعیین سری ماگمایی گرانیتوئید سفیدکوه و برونوم‌های فلسیک آن، واحدهای گرانودیوریتی، سینوگرانیتی و برونوم‌های مافیک گرانیتوئید شاه‌کوه بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها (نمودار پایه از [۱۶])



شکل ۵. نمودارهای مختلف تعیین سری ماگمایی با استفاده از ترکیب شیمیایی بیوتیت [۳]. همان طور که در این نمودارها پیداست، تمامی بیوتیت‌های موجود در گرانیت سفیدکوه و سینوگرانیت شاهکوه در موقعیت پرآلومینوس (P) و تمامی بیوتیت‌های برونوم‌های سفیدکوه، واحد گرانودیوریتی و برونوم‌های مافیک شاهکوه در موقعیت کالک آلکالن (C) قرار می‌گیرند. علائم مشابه با (شکل ۴) می‌باشد.



شکل ۶. موقعیت بیوتیت‌های گرانیتوئید سفیدکوه و برونوم‌های فلسیک آن، واحدهای گرانودیوریتی، سینوگرانیتی و برونوم‌های مافیک گرانیتوئید شاهکوه در نمودار رده‌بندی انواع بیوتیت‌ها؛ A- بیوتیت‌های اولیه، B- بیوتیت‌های دگرسان و C- بیوتیت‌های باز تبلور یافته (نمودار پایه از [۱۵]). علائم مشابه (شکل ۳) می‌باشد.

سفیدکوه و واحد سینوگرانیتی شاهکوه نسبت به نمونه‌های گرانودیوریت شاهکوه تفریق یافته‌تر هستند و غنی از ترکیبات آلکالی می‌باشند.

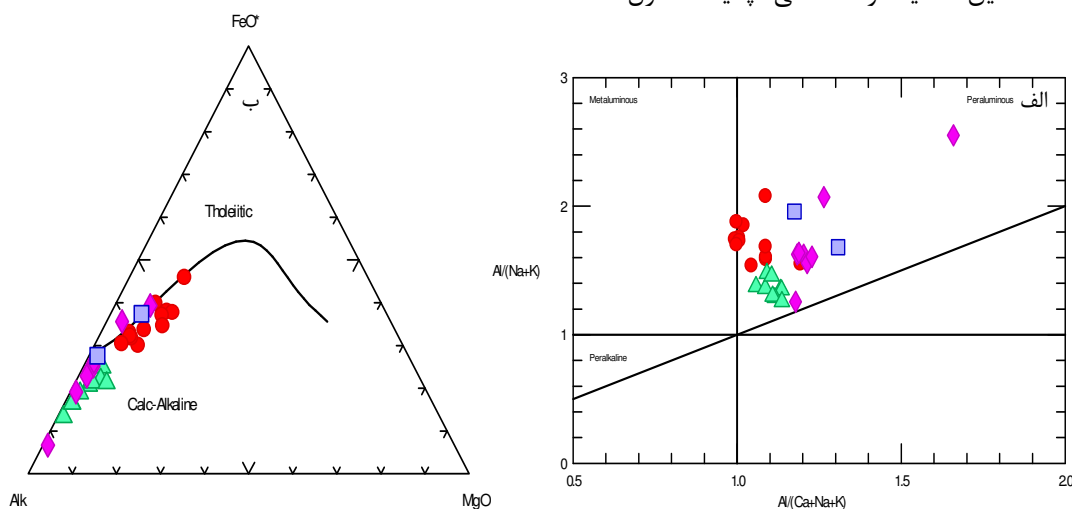
از مجموع نمودارهای [۱۱] نتیجه می‌شود که با پیشرفت فرایند تفریق ماگمایی و افزایش  $\text{SiO}_2$ ، مقدار اکسیدهای  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{CaO}$  می‌یابند و در مقابل اکسیدهای  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  افزایش می‌یابند (شکل ۹). هم‌چنین از این نمودارها استنباط می‌شود که با افزایش روند تفریق از میزان کانی‌های فرومنیزین، اسفن و آپاتیت کاسته می‌شود. ترکیب پلاژیوکلازها از قطب‌های بازیک به سمت قطب‌های اسیدی‌تر تغییر می‌یابند و بر میزان فلدسپار پتاسیک این سنگ‌ها افزوده می‌گردد. کاهش اکسیدهای  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{TiO}_2$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  به علت جایگیری آن‌ها در

شیمی سنگ کل گرانیتوئیدهای سفیدکوه و شاهکوه نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در (جدول ۱) آورده شده است و نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب نمونه‌های گرانودیوریت و سینوگرانیت شاهکوه از [۹] اقتباس شده است.

در نمودار A/CNK - A/NK [۱۳] نمونه‌های گرانودیوریت و سینوگرانیت شاهکوه در محدوده مت‌آلومینوس تا پرآلومینوس و تمام نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در محدوده گرانیت‌های پرآلومینوس قرار می‌گیرند (شکل ۷-الف). در نمودار AFM [۱۲] همه نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند و یک روند تفریقی نشان می‌دهند که به سمت ترکیبات غنی از آلکالی گرایش دارند (شکل ۷-ب). نمونه‌های گرانیتوئید

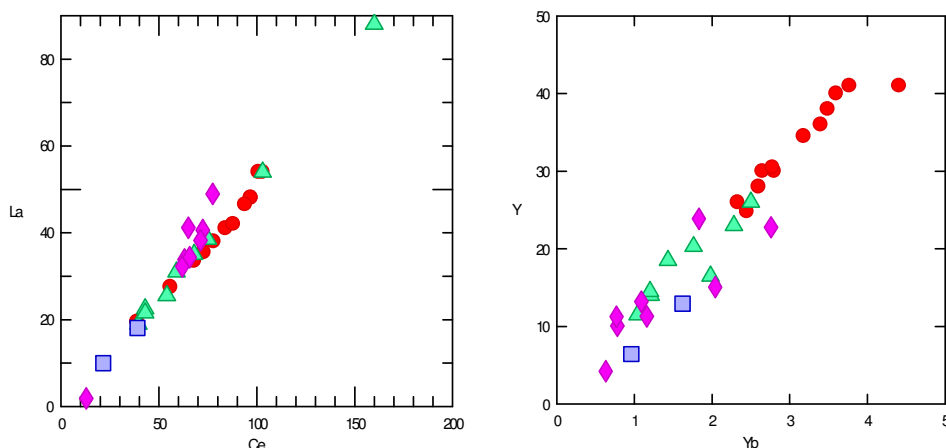
می‌شود. روند افزایشی اکسیدهای  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{Na}_2\text{O}$  در مقابل افزایش مقدار  $\text{SiO}_2$  نشان می‌دهد که با پیشرفت تفریق، مقدار آن‌ها در مذاب باقی‌مانده افزایش یافته و در نهایت وارد ساختمان فلدسپارها می‌شوند. در نمودارهای تغییرات عناصر ناسازگار- ناسازگار (نمودارهای La-Ce, Y-Nb و Y-Yb) در مقابل یکدیگر (شکل ۸)، نمونه‌های مورد مطالعه از روندی خطی و صعودی پیروی می‌کنند که بیانگر انجام فرآیند تبلور تفریقی، در طی تحولات ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه است [۲۱].

ساختار کانی‌های فرومنیزین مراحل اولیه تبلور تفریقی ماگما می‌باشد. کاهش اکسیدهای  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  بخاطر تغییر ترکیب پلاژیوکلازها از آنورتیت کمتر به سمت آلبیت بیش‌تر در مراحل نهایی تبلور و تشکیل و تبلور تفریقی آپاتیت در مراحل اولیه تبلور می‌باشد. همچنین روند کاهش  $\text{CaO}$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  می‌تواند به علت مصرف آن در ساختار پلاژیوکلازهای کلسیک، کلینوپیروکسن‌ها و همچنین اسفن در مراحل اولیه تفریق ماگما باشد. روند نزولی  $\text{P}_2\text{O}_5$  در مقابل افزایش  $\text{SiO}_2$  نشان می‌دهد که این اکسید توسط کانی آپاتیت کنترل

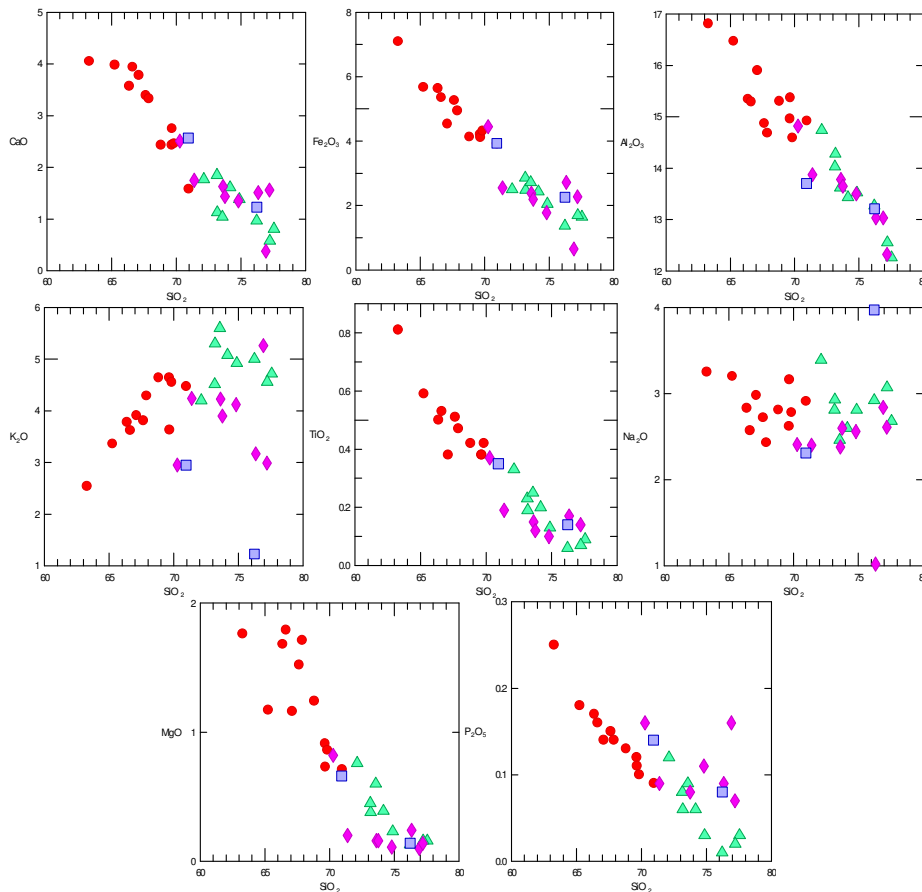


شکل ۷. الف) نمودار نسبت مولی  $A/CNK$  به  $A/NK$  به منظور تعیین اندیس آلومینیوم سنگ‌های آذرین [۱۳]. ب) تفکیک سری ماگمایی سنگ‌های گرانیتوئید سفیدکوه و شاه‌کوه با استفاده از نمودار مثلثی AFM [۱۲]

شکل ۷. الف) نمودار نسبت مولی  $A/CNK$  به  $A/NK$  به منظور تعیین اندیس آلومینیوم سنگ‌های آذرین [۱۳]. ب) تفکیک سری ماگمایی سنگ‌های گرانیتوئید سفیدکوه و شاه‌کوه با استفاده از نمودار مثلثی AFM [۱۲]



شکل ۸. نمودارهای تغییرات عناصر ناسازگار- ناسازگار در مقابل یکدیگر. روند خطی و صعودی نمونه‌ها نشانگر تبلور تفریقی در طی تحولات ماگمایی سنگ‌های گرانیتوئید سفیدکوه و شاه‌کوه است. علائم مشابه (شکل ۷) می‌باشد.



شکل ۹. نمودارهای تغییرات عناصر اصلی در مقابل  $\text{SiO}_2$  [۱۱]. علائم مشابه (شکل ۷) می‌باشد.

موازی هم و یکنواخت می‌باشند (شکل ۱۰ الف، ب، پ)، عناصر LREE در مقایسه با عناصر HREE نسبت به کندریت غنی‌شدگی بیشتری دارند و شیب عناصر LREE در نمونه‌های سینوگرانیت شاه‌کوه نسبت به واحد گرانودیوریتی و دایک‌های آن و هم‌چنین نسبت به واحد گرانیتی سفیدکوه تندتر است. همانطور که ملاحظه می‌شود عناصر خاکی نادر سنگین الگوی تفریق نیافته‌ای را نشان می‌دهند و آنومالی منفی Eu در همه نمونه‌های گرانیت شاه‌کوه مشاهده می‌شود. آنومالی منفی عنصر Eu ناشی از حضور آن در کانی‌های پلاژیوکلاز و یا شرایط اکسیدان ماگمایی می‌باشد [۲۴]. احتمالاً تبلور تفریقی پلاژیوکلاز در طی تبلور ماگما در سنگ‌های گرانیت شاه‌کوه عامل موثر بر آنومالی منفی این عنصر می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود عنصر La بالای ۱۰۰ برابر و عنصر Ce ۸۰ تا ۹۰ برابر کندریت در توده گرانیتوئیدی سفیدکوه غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۰ ت) که می‌تواند حاکی از نوع S بودن آن باشد. برای برونوم‌های مافیک شاه‌کوه و فلسیک سفیدکوه La و Ce زیر ۱۰۰ برابر کندریت غنی‌شدگی دارند که می‌تواند نشانگر نوع I

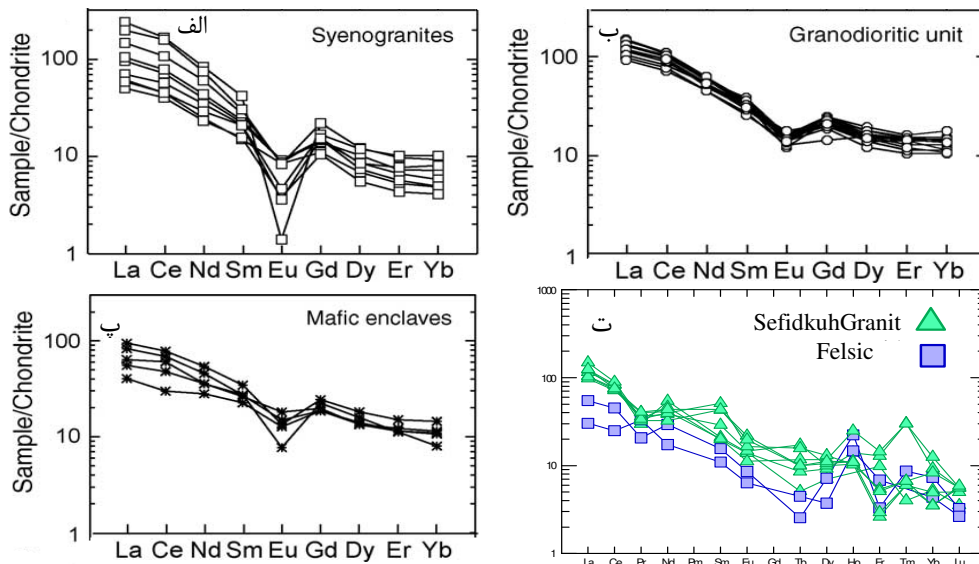
### نمودارهای عنکبوتی عناصر نادر خاکی گرانیتوئیدهای سفیدکوه و شاه‌کوه

الگوهای عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به فراوانی آن‌ها در کندریت [۵] برای نمونه‌های گرانیتوئید شاه‌کوه (شکل ۱۰ الف، ب، پ) و [۱۷] برای گرانیتوئید سفیدکوه در (شکل ۱۰ ت) نشان داده است. نمودارها نشان‌دهنده الگوی تغییرات عناصر خاکی نادر و نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت، بیانگر غنی‌شدگی سنگ‌های مورد مطالعه از عناصر خاکی نادر سبک (LILE)، عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) و برخی عناصر ناسازگار دیگر هستند. این امر از ویژگی‌های بارز سنگ‌های کالک‌آلکان قوس‌های آتشفشانی زون‌های فرورانش حاشیه قاره‌ای است [۱۸]. Almeida و همکاران [۴] غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک را به دو عامل درجات ذوب بخشی پایین منبع گوشته‌ای و یا میزان آلیش مواد پوسته‌ای نسبت می‌دهند. هم‌چنین نسبت زیاد LREE به HREE نمونه‌ها، نشان‌دهنده روند مشخص تفریق یافتگی منبع است. روند تغییرات عناصر نادر خاکی در نمونه‌های گرانیتوئید شاه‌کوه منظم،



می‌دهند که روند منظم افزایش La و Ce می‌تواند موید این موضوع باشد. همان طور که در (شکل ۱۰ الف، ب، پ) مشاهده می‌شود همه نمونه‌های گرانیت شاه‌کوه از الگوی تقریباً یکنواختی برخوردار هستند. در نتیجه آن‌ها تقریباً از ماگمای واحدی منشا گرفته‌اند و تغییر و تحولاتی نظیر آرایش پوسته‌ای در آن‌ها سهیم بوده است.

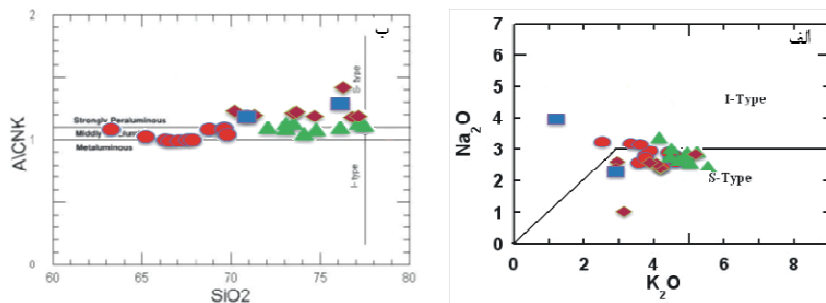
بودن آن‌ها باشد. در دو واحد گرانودیوریتی و سینوگرانیتی شاه‌کوه La و Ce از کمتر از ۱۰۰ تا بیش‌تر از ۱۰۰ برابر نسبت به کندریت غنی‌شدگی نشان می‌دهند. این حالت می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که این سنگ‌ها از نوع I می‌باشند لیکن در اثر آلودگی با سنگ‌های پوسته قاره‌ای، این عناصر غنی‌شدگی بیش‌تری پیدا کرده و ویژگی‌های گرانیت‌های نوع S را نشان



شکل ۱۰. الف، ب، پ- نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت [۱۷] واحدهای سینوگرانیت، گرانودیوریت و برونوم‌های مافیگ گرانیتوئید شاه‌کوه. ت- نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت [۵] نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه

آن‌ها کاهش و  $K_2O$  آن‌ها افزایش یافته که این افزایش می‌تواند ناشی از تفریق و یا آلودگی آن‌ها با پوسته قاره‌ای باشد (شکل ۱۱- الف). قرار گیری نمونه‌های سنگی مورد مطالعه در نمودار  $A/CNK$  در برابر  $[Y] SiO_2$  حاکی از تعلق سنگ‌های گرانیت سفیدکوه به تیپ S و سنگ‌های گرانیتوئید شاه‌کوه به تیپ I دارد (شکل ۱۱ - ب).

تقسیم‌بندی گرانیتوئیدهای سفیدکوه و شاه‌کوه در نمودار  $K_2O$  در مقابل  $Na_2O$  [۶] به غیر یک نمونه از برونوم‌های فلسیک همه نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در محدوده تیپ S قرار می‌گیرند و نمونه‌های سینوگرانیتی و گرانودیوریتی شاه‌کوه در محدوده I و S قرار می‌گیرند و روند آن‌ها به گونه‌ای است که  $Na_2O$



نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه      نمونه‌های گرانودیوریت شاه‌کوه      نمونه‌های سینوگرانیت شاه‌کوه      نمونه‌های برونوم سفیدکوه

شکل ۱۱. الف) نمودار  $K_2O$  در مقابل  $Na_2O$  جهت تفکیک گرانیتوئیدهای نوع I و S [۶]. ب) بررسی تیپ و شاخص آلومین گرانیتوئیدهای سفیدکوه و شاه‌کوه با استفاده از نمودار [۷]. نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در محدوده تیپ S و پر آلومینوس و نمونه‌های گرانیتوئید شاه‌کوه در محدوده تیپ I و متاآلومینوس قرار گرفته‌اند.

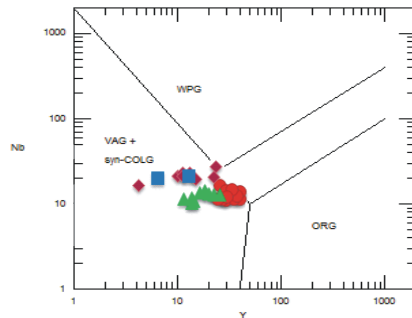
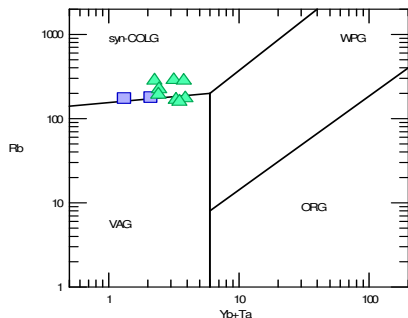
تعیین جایگاه تکتونیکی گرانیتوئیدهای سفیدکوه و

شاهکوه

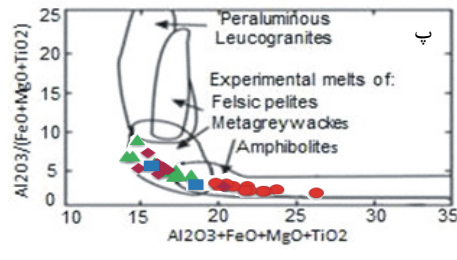
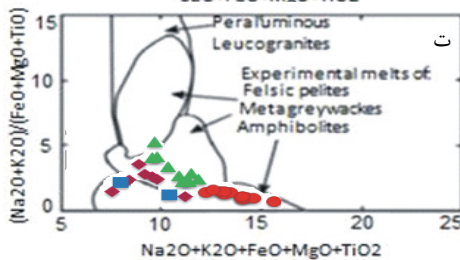
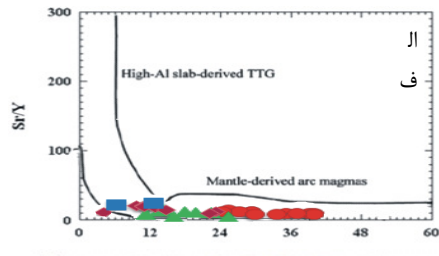
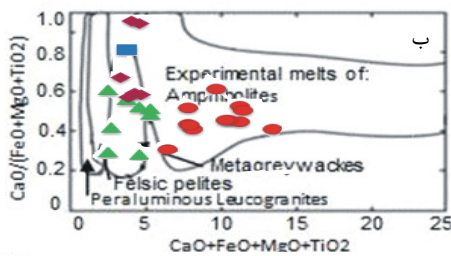
در نمودار لگاریتمی Nb در مقابل Y [۲۰]، نمونه‌های هر دو گرانیتوئید مورد بررسی در قلمرو گرانیت‌های قوس آتشفشانی (VAG) و همزمان با برخورد (Syn-Collision) قرار می‌گیرند (شکل ۱۲). به دلیل در اختیار نداشتن آنالیزهای عنصر Ta برای نمونه‌های گرانیت شاهکوه نمی‌توان از نمودار لگاریتمی Rb در مقابل Yb+Ta [۲۰] استفاده کرد لذا نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در این نمودار در محدوده همزمان با برخورد قرار می‌گیرند (شکل ۱۲). اسماعیلی و همکاران [۱] اعتقاد دارند که باتولیت گرانیتی شاهکوه در یک محیط قوس آتشفشانی (VAG) مرتبط با فروانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی تشکیل شده است.

منشا گرانیتوئیدهای سفیدکوه و شاهکوه

در نمودار Sr/Y-Y [۱۴] نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در محدوده ماگماهای با منشا پوسته‌ای و نمونه‌های گرانیتوئید شاهکوه در محدوده ماگماهای با منشا گوشته‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳-الف). برای تعیین سنگ منشا مذاب‌های حاصل از ذوب [۱۹] بخشی، نمودارهایی ارائه کرده است که محدوده‌های موجود در این نمودارها شامل پلیت‌های فلسیکی، متاگری وک‌ها و آمفیبولیت‌ها هستند که گرانیت‌ها می‌توانند از ذوب بخشی آن‌ها حاصل شوند. همان‌طور که در نمودارهای (شکل ۱۳-ب، پ، ت) مشاهده می‌شود، نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه در محدوده متاگری وک‌ها، برونوم‌های فلسیک سفیدکوه در محدوده آمفیبولیت تا متاگری وک، نمونه‌های گرانودیوریت شاهکوه در محدوده آمفیبولیت و نمونه‌های سینوگرانیت شاهکوه بیش‌تر در محدوده متاگری وک‌ها (نمونه‌هایی از آن نیز در محدوده آمفیبولیت و سنگ‌های پلیتی غنی از رس قرار گرفته‌اند) تصویر شده‌اند.



شکل ۱۲. نمودارهای [۲۰] جهت تمایز محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها بر اساس عناصر کمیاب (علائم مشابه شکل ۱۱ می‌باشد)



شکل ۱۳. الف) نمودار Sr/Y در برابر Y [۱۴] جهت تفکیک ماگماهای با منشا گوشته‌ای از پوسته‌ای. ب، پ و ت) تعیین نوع سنگ منشا توده‌های گرانیتوئیدی سفیدکوه و شاهکوه با استفاده از نمودارهای [۱۹]. علائم مشابه شکل ۱۱ می‌باشد.

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه

Sample	SS-2	SS-6	SS-4	SS-9	SS-10	SS-2	SS-3	SS-5	SS-8	SS-15
Wt%										
SiO <sub>2</sub>	76.99	70.69	76.10	75.99	70.10	74.24	75.44	74.55	76.92	72.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.29	13.66	12.99	13.17	14.78	13.90	13.51	13.79	13.03	14.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.26	3.92	2.71	2.26	4.44	2.40	1.80	2.22	0.65	2.60
CaO	1.56	2.56	1.51	1.22	2.51	1.64	1.36	1.45	0.38	1.78
MgO	0.14	0.65	0.24	0.14	0.82	0.16	0.11	0.16	0.10	0.20
K <sub>2</sub> O	2.98	2.94	1.02	1.23	2.94	4.27	4.15	3.94	5.26	4.31
Na <sub>2</sub> O	2.61	2.30	3.16	3.96	2.40	2.40	2.58	2.63	2.84	2.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.14	0.09	0.08	0.16	<.1	0.11	0.09	0.16	0.09
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.34	0.17	0.14	0.37	0.15	0.10	0.12	-	0.19
SO <sub>3</sub>	<.1	0.55	0.21	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1
ZrO <sub>2</sub>	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1					
SrO	<.1	<.1	0.06	<.1	<.1					
Cl	<.1	0.07	<.1	-	<.1					
MnO	-	-	<.1	<.1	0.10					
L.O.I*	0.69	1.83	1.45	1.50	1.13	0.53	0.62	0.83	0.47	1.43
total	99.71	99.65	99.68	99.69	99.75	99.70	99.78	99.78	99.80	99.76
ppm										
Ag	0.10	0.07	0.06	0.06	0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
As	3.95	4.01	8.54	18.02	19.91	3.47	2.30	<1	4.04	<1
B	9.82	18.42	17.64	22.26	18.83	7.18	6.00	6.81	2.37	6.36
Ba	552.86	306.71	483.93	199.24	464.30	660.06	672.54	911.50	304.78	645.64
Be	2.34	2.03	2.30	2.14	2.44	2.27	2.90	2.54	1.76	2.39
Bi	0.95	1.78	0.80	1.29	0.91	0.67	0.77	<0.5	1.40	1.40
Cd	0.77	0.73	1.14	0.72	1.20	0.06	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ce	71.36	39.04	65.69	21.58	61.94	63.13	72.38	77.54	12.95	65.02
Co	1.81	3.92	6.05	1.15	7.09	8.36	9.49	9.33	9.75	9.09
Cr	104.34	97.96	78.16	95.77	78.43	61.81	80.12	88.24	261.61	41.58
Cs	5.24	6.09	13.05	6.85	18.52	5.04	5.10	5.12	4.41	5.04
Cu	5.71	5.96	11.26	7.01	10.29	11.54	12.45	15.24	17.26	10.64
Dy	2.41	2.46	3.15	1.28	4.01	3.43	3.64	4.48	1.27	3.84
Er	2.21	0.74	2.90	1.54	3.26	0.59	0.66	1.22	0.62	1.15
Eu	1.09	0.66	1.07	0.49	0.86	1.13	1.68	1.27	1.06	1.52
Ga	11.51	11.65	13.25	10.85	13.21	20.55	23.99	20.03	19.32	19.40
Ge	1.14	0.97	0.77	1.53	0.15	0.71	1.18	1.31	0.55	0.99
Hf	5.14	4.04	6.80	0.66	8.44	7.80	9.84	5.21	6.37	7.20
Hg	<0.05	0.12	<0.05	0.24	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ho	<0.1	1.57	0.98	1.03	1.74	0.73	0.78	0.72	0.92	0.77
La	38.26	18.08	34.37	9.99	32.27	33.85	40.62	48.96	1.83	41.18
Li	58.97	16.10	76.06	16.45	88.32	58.54	59.27	34.49	8.75	58.23
Lu	0.12	0.11	0.19	0.09	0.19	0.19	0.17	0.19	0.06	0.20
Mn	421.13	261.26	557.41	296.41	604.16	405.71	435.51	426.27	59.45	456.40
Mo	1.59	0.94	3.42	2.27	1.33	0.35	0.44	0.69	1.57	1.55

ادامه جدول ۱

Sample	SS-2	SS-6	SS-4	SS-9	SS-10	SS-2	SS-3	SS-5	SS-8	SS-15
Wt%										
Nb	21.23	20.92	19.13	19.86	20.25	20.69	22.94	27.18	15.97	22.74
Nd	34.20	18.53	29.22	10.91	25.94	24.24	20.38	24.95	2.04	27.51
Ni	2.29	6.46	10.30	2.49	12.78	<0.5	3.09	<0.5	13.41	<0.5
P	148.15	233.24	426.25	260.32	432.57	146.73	190.16	149.23	294.78	143.46
Pb	6.55	12.25	12.87	14.39	3.78	28.23	35.27	29.59	37.18	23.73
Pr	3.32	2.31	3.84	3.71	4.50	4.05	3.63	3.79	2.58	4.56
Rb	282.05	179.59	285.86	175.28	280.92	167.53	174.34	158.89	223.31	192.73
S	114.92	186.61	234.90	81.58	48.22	<1	39.91	70.46	35.18	19.00
Sb	0.46	0.76	0.56	0.35	0.49	0.35	0.25	0.22	0.10	0.26
Sc	6.50	4.25	8.65	2.56	9.60	5.60	7.06	8.03	0.82	6.69
Se	0.09	0.13	0.18	0.10	0.18	0.07	0.12	0.12	0.14	0.09
Sm	4.28	3.17	4.02	2.23	4.09	5.88	8.75	10.36	<0.1	8.82
Sn	1.52	1.32	2.10	1.21	2.31	1.66	1.56	1.76	0.47	1.74
Sr	197.53	293.99	182.38	129.65	180.62	189.10	210.66	251.10	38.69	214.84
Ta	1.09	0.47	1.12	0.35	1.02	2.51	2.79	1.67	1.81	1.64
Tb	0.24	0.12	0.40	0.21	0.55	0.81	0.47	0.74	0.96	0.47
Te	0.19	0.18	0.28	0.13	0.33	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Th	3.51	2.71	4.32	2.04	4.39	11.24	13.74	16.18	6.85	12.76
Tl	2.30	2.38	4.38	2.53	3.21	0.71	0.94	0.53	0.58	0.55
Tm	0.12	0.26	0.91	<0.1	0.90	0.18	0.18	0.20	0.05	0.20
Ti	685.47	662.71	1418.94	604.56	1838.07	1120.06	1046.31	1231.09	83.99	1102.36
U	2.01	1.84	2.99	1.64	3.46	1.96	1.58	1.52	<1	1.96
V	10.53	15.43	42.97	9.55	45.47	12.72	13.27	14.91	6.75	9.43
Y	11.30	12.94	15.08	6.43	22.78	10.07	13.19	23.87	4.23	11.25
Yb	1.16	1.62	2.04	0.96	2.76	0.78	1.09	1.83	0.63	0.77
Zn	37.78	31.21	91.78	18.52	45.86	35.60	33.99	33.23	11.19	35.56
Zr	43.85	41.24	97.48	38.82	128.04	48.73	59.13	54.05	68.71	55.55

جدول ۲. نتایج حاصل از مطالعات شیمی کانی گرانیتوئیدهای سفیدکوه [۲] و شاه کوه [۹]

نمونه های سفیدکوه	نمونه های شاه کوه	
برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک نسبت به بخش گرانیتی توده گرانیتوئیدی سفیدکوه آنورتیت و ارتوز بیشتر و در عوض از آلبیت کمتری برخوردار هستند.	برونوم‌های واحد گرانودیوریتی نسبت به واحد سینوگرانیتی آنورتیت و ارتوز بیشتر و در عوض از آلبیت کمتری برخوردار هستند.	نوع کانی فلدسپات
در برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک سفیدکوه از ۲۷/۴۶ تا ۵۳/۳۳ متغیر است و به طور میانگین برابر با ۴۳/۸۲ درصد و در بخش گرانیتی توده گرانیتوئیدی سفیدکوه از ۲/۵۳ تا ۴۶/۲۳ متغیر و به طور میانگین برابر با ۲۹/۶۱ درصد می باشد.	در برونوم‌های مافیک این مقدار از ۳۵ تا ۴۹/۶ متغیر و به طور میانگین برابر با ۴۲/۲۰ درصد و برای واحد گرانودیوریتی از ۲۹/۶ تا ۴۹/۶ متغیر و به طور میانگین برابر با ۴۰/۲۵ درصد و برای واحد سینوگرانیتی آن برابر با ۱۶/۸ تا ۴۱/۸ و به طور میانگین برابر با ۲۶/۸۷ درصد می باشد.	طیف ترکیبی مقدار آنورتیت
در برونوم‌های میکروگرانولار از نوع آندزین و گها تا حد الیگولاز نیز می‌رسند و این در صورتی است که در گرانیت‌های سفیدکوه از نوع آندزین و آلبیت می‌باشد (شکل ۳).	در برونوم‌ها و واحد گرانودیوریتی تمام آندزین و در واحد سینوگرانیتی الیگولاز تا آندزین می‌باشد (شکل ۳).	ترکیب پلازیوکلازها
در برونوم‌های فلسیک ۱۲ تا ۲۰ درصد و در گرانیت‌های سفیدکوه ۵ تا ۶ درصد می باشد.	در واحد سینوگرانیتی در حدود ۶ درصد و در واحد گرانودیوریتی به طور متوسط ۱۲ درصد حجمی سنگ می باشد.	مقدار مودال کانی بیوتیت
در گرانیت‌ها در حدود ۳۳/۶۹ تا ۳۵/۲۸ و در برونوم‌های فلسیک در حدود ۳۵/۰۲ تا ۳۹/۵۵ می باشد.	در واحد سینوگرانیتی ۳۴/۱۹ تا ۳۴/۹۸، در واحد گرانودیوریتی ۳۵/۷۰ تا ۲۶/۴۲ و در برونوم‌های مافیک از ۳۵/۳۸ تا ۳۶/۷۶ درصد وزنی تغییر می‌کند.	مقدار سیلیس بیوتیت‌ها
در برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک در گستره ۰/۵۶ تا ۰/۶۰	در برونوم‌های مافیک در گستره ۰/۳۵ تا ۰/۴۷ (بیوتیت)	

<p>منیزیم دار که در بسیاری از برونوم‌های موجود در سنگ‌های گرانیتی مرسوم است [۱۰]، در واحد گرانودیوریتی در گستره ۰/۲۹ تا ۰/۳۹ (بیوتیت آهن‌دار تا بیوتیت منیزیم‌دار) و در واحد سینوگرانیتی در گستره ۰/۲۳ تا ۰/۲۴ (بیوتیت آهن‌دار) قرار می‌گیرد.</p>	<p>(بیوتیت منیزیم دار که در بسیاری از برونوم‌های موجود در سنگ‌های گرانیتی مرسوم است [۱۰]) و در گرانیت‌های سفیدکوه در گستره ۰/۱۵ تا ۰/۱۷ (بیوتیت آهن‌دار) قرار می‌گیرد.</p>	<p>عدد منیزیم <math>Mg/(Mg+Fe_{total})</math> بیوتیت</p>
<p>در برونوم‌های مافیک در محدوده بیوتیت و نزدیک قطب فلوگوپیت، در واحد گرانودیوریتی در محدوده بیوتیت و نزدیک قطب فلوگوپیت و در واحد سینوگرانیتی در محدوده بیوتیت و نزدیک قطب سیدروفیلیت قرار می‌گیرند (شکل ۴- الف).</p>	<p>در برونوم‌های فلسیک در محدوده بیوتیت و نزدیک قطب فلوگوپیت و در گرانیت‌ها نزدیک به قطب سیدروفیلیت قرار می‌گیرند (شکل ۴- الف). فقط نمونه‌های برونوم‌های فلسیک شکل تجمعی دارند و روندی را نشان نمی‌دهند که می‌تواند نشانه‌ای از عدم آلودگی یا آلودگی ناچیز پوسته‌ای باشد [۲۳].</p>	<p>ترکیب میکاها</p>
<p>برونوم‌های مافیک در مرز بین کالک آلکان و ساب آلکان (SA-CA)، واحد گرانودیوریتی در محدوده کوه‌زایی ساب آلکان (SA) و واحد سینوگرانیتی در محدوده کالک آلکان و پراآلومینوس (CA, P) قرار می‌گیرد (شکل ۴- ب).</p>	<p>برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک در محدوده کوه‌زایی ساب آلکان (SA) و گرانیت‌های سفیدکوه در محدوده پراآلومین (P) قرار می‌گیرند (شکل ۴- ب).</p>	<p>تعیین سری ماگمایی بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها</p>
<p>برونوم‌های مافیک و واحد گرانودیوریتی در محدوده محیط‌های کوه‌زایی برخوردی کالک آلکان (C) و نمونه‌های واحد سینوگرانیتی در محدوده گرانیتوئیدهای با منشأ ماگمای پراآلومین (P) که در محیط کوه‌زایی برخوردی تشکیل شده‌اند، قرار می‌گیرند (شکل ۵). S هستند (شکل ۵).</p>	<p>برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک در محدوده محیط‌های کوه‌زایی برخوردی کالک آلکان (C) (نوع I) و نمونه‌های گرانیت سفیدکوه در محدوده گرانیتوئیدهای با منشأ ماگمای پراآلومین (P) که در محیط کوه‌زایی برخوردی (نوع S) تشکیل شده‌اند، قرار می‌گیرند (شکل ۵).</p>	<p>تعیین محیط تکنونیک با استفاده از ترکیب بیوتیت‌ها</p>
<p>از نوع بیوتیت های اولیه و محصول تبلور ماگما هستند (شکل ۶).</p>	<p>از نوع بیوتیت های اولیه و محصول تبلور ماگما هستند (شکل ۶).</p>	<p>نمودار رده‌بندی انواع بیوتیت‌ها</p>

### بحث و نتیجه‌گیری

توجهی از سنگ‌های پوسته‌ای را هضم نموده‌اند [۱]. نتایج به دست آمده از این پژوهش نیز با نتایج اسماعیلی و همکاران همخوانی دارد. هر چند این دو توده گرانیتوئیدی دارای تشابهاتی (خصوصاً گرانیت سفیدکوه با واحد سینوگرانیت شاه‌کوه) از جمله روند تفریق یافتگی می‌باشند لیکن از لحاظ کانی‌شناسی و درصد آن‌ها در سنگ، شیمی کانی‌های بیوتیت و پلاژیوکلاز، شیمی سنگ، میزان غنی‌شدگی عناصر کمیاب و فرعی، نوع گرانیتوئید، جایگاه تکنونیک و منشأ با یکدیگر اختلاف دارند. توده گرانیتوئیدی شاه‌کوه در یک محیط فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای (فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی)، ابتدا از ذوب سنگ‌های آمفیبولیتی و سپس ذوب سنگ‌های پوسته‌ای تشکیل شده است. بنابراین گرانیتوئیدهای آن همچنان که اسماعیلی و همکاران نیز معتقدند از نوع I می‌باشند که آغشتگی بسیار زیاد آن‌ها با سنگ‌های پوسته قاره‌ای سبب قرارگیری بعضی از نمونه‌های آن‌ها در محدوده تیپ S شده است ولی همان طور که در نمودارهای مختلف نشان داده شد این سنگ‌ها از یک خاستگاه گوشته‌ای منشأ گرفته‌اند. گرانیتوئید سفیدکوه در یک محیط همزمان با برخورد که حاصل برخورد دو قاره می‌باشد از

اسماعیلی و همکاران [۱] معتقدند که حضور کانی‌های منیتیت، آلانیت، فراوانی آمفیبول (بخصوص در گرانودیوریت‌ها) و عدم وجود سیلیکات‌های آلومین (آندالوزیت، سیلیمانیت و ...)، فراوانی به نسبت پایین کوارتز در ترکیب مدال این سنگ‌ها (کمتر از ۳۰ درصد) و همچنین فقدان رگه‌های پگماتیستی، واحد مونزوگرانیتی را با گرانیت‌های نوع I قابل مقایسه نموده است. بعلاوه وجود برونوم‌های میکروگرانولار کوارتز- مونزونیتی به گمان موید یک نوع اختلاط ماگمایی و یا هضم سنگ‌های پوسته‌ای توسط ماگمای گوشته‌ای سازنده این سنگ‌هاست. همچنین ممکن است این برونوم‌ها نشانه‌ای از سنگ‌های منشأ مونزوگرانیت‌ها باشد. ترکیب کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سینوگرانیت‌ها با گرانیت‌های نوع S سازگار است، اما وجود کانی‌های پراکنده‌ای از آلانیت و منیتیت و عدم وجود موسکوویت و کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و رگه‌های پگماتیستی منشأ پوسته‌ای آن‌ها را زیر سوال برده است. به هر حال تصور می‌شود که ماگمای سازنده سینوگرانیت‌ها نیز به احتمال از نوع I بوده که از افق‌های بالاتر منشأ گرفته و یا مقدار قابل

- [3] Abdel-Rahman, A (1994) Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas, *Journal of Petrology* 35: 525-541.
- [4] Almeida, M.E., Macambira, M.J.B., Oliveira, E.C (2007) Geochemistry and Zircon geochronology of the I-type high-K Calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97–1.96 Ga) in central portion of Guyana Shield, *Precambrian Research*, 155: 69-97.
- [5] Boynton, W.V (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- [6] Chappell, B. W., White, A, J. R (1992) I and S – type granites in the Lachlan Fold Belt, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences* 83 : 1-26.
- [7] Chappell, B W., White, A J, R (1974) Two contrasting granite types, *Pacific Geology* 8: 173-174.
- [8] Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J (1991) *An introduction to the Rock – forming minerals*, Longman, London, 528 p.
- [9] Esmaeily, D., Ne´delec, A., Valizadeh, M.V., Moore, F., Cotton, J (2005) Petrology of the Jurassic Shah-Kuh granite (eastern Iran), with reference to tin mineralization, *Journal of Asian Earth Sciences* 25: 961–980.
- [10] Guo, J., Green, T.H (1990) Experimental study of barium partitioning between phlogopite and silicate liquid at upper-mantle pressure and temperature, *Lithos* 24 : 83-95.
- [11] Harker, A (1909) *The natural history of igneous rocks*, Methuen, London.
- [12] Irvine, T.N., Baragar, W.R.A (1971) A guide to chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Canadian Sciences* 8: 523-548.
- [13] Maniar, P.D., Picooli, P.M (1989) Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society. of American Bulletin* 101: 635 – 643.
- [14] Martin, H (1993) The Archaean grey gneisses and the genesis of the continental crust, In: Condie, K. C. (Ed.): *The Achaean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam 205-259.
- [15] Nachit, H., Ibhi, A., Abia, E.H., Ohoud, M.B (2005) discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites, *Geomateriala (Mineralogy)*, *Comptes Rendus, Geosciences* 337: 1415-1420.
- [16] Nachit, H (1986) Contribution a l'étude analytique et experimental des biotite des granitoids Applications typologiques, *These de Doctorat DeL université de Bretagne accidentale*, 236p.
- یک منشا متاگری وکی حاصل شده و از نوع S می‌باشد. به نظر می‌رسد برونوم‌های فلسیک آن از یک منشا آمفیبولیتی تا متاگری وکی در یک محیط قوس آتشفشانی (VAG) تا همزمان با برخورد حاصل شده‌اند و از نوع I می‌باشند که آغستگی زیادی با سنگ‌های پوسته حاصل کرده‌اند. نتایج به دست آمده از شیمی کانی‌های این دو توده نیز موید این موضوع است چرا که تمام نمونه‌های گرانیت سفیدکوه در یک سری ماگمایی پرآلومینوس، ولی نمونه‌های گرانیتوئید شاه‌کوه در یک سری ماگمایی ساب آلکالن تا پرآلومینوس حاصل شده‌اند. بعلاوه نسبت  $Fe/(Fe+Mg)$  نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه بیش‌تر از نمونه‌های گرانیتوئید شاه‌کوه می‌باشد که به احتمال می‌تواند بیانگر محیط احیایی‌تری برای گرانیتوئید سفیدکوه نسبت به گرانیتوئید شاه‌کوه باشد. نمودارهای عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت دو توده گرانیتوئیدی نیز با هم متفاوتند به گونه‌ای که در نمودارهای گرانیتوئید شاه‌کوه شیب نزولی عناصر LREE بیش‌تر از نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه می‌باشد، شیب عناصر HREE مسطح و Eu آنومالی منفی نشان می‌دهد و روند همه نمونه‌ها یکنواخت و موازی هم می‌باشد که این حالات از اختصاصات گرانیتوئیدهای نوع I می‌باشد و این در حالی است که در نمونه‌های گرانیتوئید سفیدکوه شیب عناصر HREE مسطح نبوده و تفریق یافتگی نشان می‌دهند و شیب عناصر LREE نیز کمتر و منقطع می‌باشد، ضمن این که نظم نمودارهای گرانیتوئید شاه‌کوه را ندارند که این حالت به احتمال می‌تواند ناشی از منشا پوسته‌ای سنگ‌های آن باشد.

## منابع

- [۱] اسماعیلی، د.، ولی‌زاده، م. و، حسین‌زاده، ج.، بلون، ا (۱۳۸۰) تنوع سنگ‌شناسی توده گرانیتوئیدی شاه‌کوه (جنوب بیرجند) و تعیین سن رادیومتری آن به روش پتاسیم- آرگون، فصلنامه علوم‌زمین، شماره ۴۱-۴۲، ۲-۱۰.
- [۲] طولاب‌نژاد، ع.، بیابانگرد، ح.، احمدی‌خلجی، ا (۱۳۹۳) سنگ‌شناسی، شیمی کانی‌ها و دماسنجی توده گرانیتی سفیدکوه و برونوم‌های میکروگرانولار فلسیک آن، باختر نهبندان، خاور ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴، ۵۸۵ - ۵۹۸.

- [17] Nakamura, N (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38 : 757-77.
- [18] Nicholson, K. N., Black, P. M., Hoskin, P. W. O., Smith, I. E. M (2004) Silicic volcanism and back – arc extension related to migration of the late Cenozoic Australian – Pacific plate boundary, *Journal of volcanic and geothermal research* 131: 295 – 306.
- [19] Patino Douce, A. E (1999) What do experiments tell us about the relative contribution of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro A, Fernandez C, Vigneresse J L (eds) *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques* 50. Geological Society, London, Special Publications 168 : 55-75.
- [20] Pearce, J.A., Harris, B.W., Tindle, A. G (1984) Trace element of iseriminant diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of petrology* 25 : 956-983.
- [21] Rogers, J.J.W., Rayland, P.C (1980) Trace elements in continental margin magmatism, Part I, *Geological Society. of American Bulletin* 91: 196-198.
- [22] Speer, J. A (1984) Mica in igneous rocks, In: Micas, Bailey S. W. (ed); *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 13 : 299-356.
- [23] TabakhShabani, A.A.; Masoudi, F., Tecce, F (2010) An Investigation on the Composition of Biotite from Mashhad Granitoids, NE Iran, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 21: 321-331.
- [24] Tepper, J.H., Nelson, B.K., Bergantz, G.W., Irving, A.J (1993) Petrology of the Chilliwack batholith, North Cascades, Washington: generation of calc-alkaline granitoids by melting of mafic lower crust with variable water fugacity, *Contributions to Mineralogy and Petrology* 113 : 333–351.

## Geochemistry, tectonic setting and petrogenesis of Sefidkuh granitoid rocks and comparison with Shahkuh granitoid, West of Nehbandan, East of Iran

E. Toulabi Nejad<sup>1</sup>, A. Ahmadi khalaji<sup>1\*</sup>, H. Biabangard<sup>2</sup> and Z. Tahmasbi<sup>1</sup>

1- Dept., of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University

2 Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan

\* khalagi2002@yahoo.com

Received: 2016/4/30 Accepted: 2016/7/22

### Abstract

The Sefidkuh granitoid and Shahkuh granitoid are located in southwest of Nehbandan city (South Khorasan province) and east of Lut Block. The Shahkuh granitoid rocks made of two main units by combining monzogranit-granodiorite and syenogranite and its major mineral are quartz, plagioclase, alkali-feldspar, biotite and amphibole. The Sefidkuh granitoid is contain composition range of granite (monzo and syenogranite), granodiorite and composed of the mineral quartz, plagioclase, microcline, orthose and biotite. The plagioclase composition of the Sefidkuh granitoid rocks is often andesine and sometime is albite, it is all andesine in the enclaves of Sefidkuh and Shahkuh and its granodiorite unit, and its oligoclase to andesine in Shahkuh granitoid unit. The biotite composition of Sefidkuh felsic and Shahkuh mafic enclaves is magnesium biotite type, Shahkuh granodiorite is ferruginous biotite to magnesium and Sefidkuh granite massif and Shahkuh syenogranite unit are ferruginous biotite and both massif are first magma types. The study of the mineral chemistry and geological masses suggest that these masses belong to calc-alkaline magma related to active continental margin. In the changes to the chondrite-normalized trace element diagrams, rock of this figures are enriched by LILE and LREE, depletion of HREE and HFSE and negative anomalies Sr, Ti, Nb, and Ba indicate that they are compatible with characteristic of the rocks depend on the active continental margin environment. The tectonic discrimination diagrams, show the dependency of shahkuh granitoid massif to the simultaneously dealing environment (syn- collision), and Shahkuh granodiorite massif with volcanic arc subduction (VAG). The petrogenetic diagrams indicated that Shahkuh granodiorite is from a source of amphibolite, Sefidkuh granitoidis from a source of metagreywackes and Shahkuh syenogranite have been achieved from a source of amphibolite to felsic pelite.

**Keywords:** Petrology, petrogenesis, Sefidkuh and Shahkuh granitoid, Nehbandan, east of Iran