

سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های مافیک و گرانیت نوع A شاه‌آشان‌داغ در شمال خاوری خوی، شمال باختری ایران

مهران ادوای^۱، احمد جهانگیری^۱، منصور مجتهدی^۲ و جلیل قلمقاش^{۳*}

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران.

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۳ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۶/۰۷

چکیده

توده شاه‌آشان‌داغ در شمال باختری ایران و در حدود ۲۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان خوی واقع شده و بخشی از پهنه ماکو-تبریز است. این توده با مساحتی حدود ۶۰ کیلومتر مربع سنگ‌های مربوط به پرمین را قطع کرده است و خود توسط رسوبات سخت شده الیگو-میوسن (سازند قم) پوشیده می‌شود. توده شاه‌آشان‌داغ از سنگ‌های گابرو و آلکالی-فلدسپار گرانیت پدید آمده است. وجود بافت‌های پورفیری و گرانوفیری نشانگر ژرفای کم و بافت پرتیتی نشانگر شرایط هیپرسولوس در زمان تشکیل این گرانیت است. سنگ‌های مافیک غنی شدگی نسبی از LREEs به HREEs دارند. همچنین غنی شدگی نسبی از LILEs و تهی شدگی از عناصر HFSEs بجز (Nb, Ta, Hf) را دارند. بی‌هنجاری‌های مثبت Nb, Ta که ویژگی بازالتهای میان اقیانوسی نوع پلوم است نیز در سنگ‌های مافیک منطقه دیده می‌شود. توده‌های مافیک ماهیت تولیتی داشته و از یک منشأ گوشته‌ای غنی شده و در ارتباط با پلوم گوشته‌ای حاصل شده‌اند. سنگ‌های گرانیتی شاه‌آشان‌داغ ماهیت نیمه قلیایی با پتاسیم بالا، متآلو مینیوس تا پرآلو مینیوس و پرآلکان ضعیف دارد و به طور نسبی از LILEs بویژه Rb و Th غنی هستند. این سنگ‌های گرانیتی از عناصر Eu, Sr, Nb, Ba و Ti فقیرند که این ویژگی‌ها می‌تواند نشانگر منشأ گرفتن آنها از مذاب‌های پوسته‌ای باشد.

کلیدواژه‌ها: سنگ‌شناسی، ژئوشیمی، شمال باختری ایران، گرانیت نوع A، شاه‌آشان‌داغ.

E-mail: ghalamghash@gsi.org.ir

*نویسنده مسئول: جلیل قلمقاش

۱- مقدمه

سنگی منطقه ماسه‌سنگ‌های ریزدانه و دگرگون شده، اسلیت و فیلیت وابسته به سازند کهر مربوط به زمان پرکامبرین است. این سنگ‌ها به‌طور کلی خردشده و تکنوزیه هستند. واحدهای مربوط به پرمین برونزد محدودی در جنوب گرانیت شاه‌آشان‌داغ دارند که شامل ماسه‌سنگ‌های کوارتزی با رنگ سرخ تیره با میان‌لایه‌های شیلی به همراه آهک‌های سترلایه پرمین هستند. این واحد توسط گرانیت شاه‌آشان‌داغ قطع و هاله دگرگونی در این سنگ‌ها به‌وجود آورده است (شکل ۲).

واحدهای سنگی کرتاسه که در خاور گرانیت مورد مطالعه قرار دارند، دارای مرز گسلی با گرانیت هستند و شامل آهک و آهک مارنی هستند. واحدهای الیگو-میوسن در این منطقه به‌صورت پراکنده و وسیع در باختر و جنوب گرانیت شاه‌آشان‌داغ دیده می‌شود که بیشتر شامل آهک‌های ریزدانه به رنگ سفید شیری و در برخی موارد هم با میان‌لایه‌های رسی هستند. این واحد با یک کنگلومرای قاعده‌ای حاوی قطعات گرانیتی، توده شاه‌آشان‌داغ را می‌پوشاند.

توده شاه‌آشان‌داغ از سنگ‌های فلسیک و مافیک پدید آمده است. سنگ‌های مافیک توده شاه‌آشان‌داغ رخنمون‌های محدودی از سنگ‌های گابرویی است که در شمال و جنوب توده دیده می‌شوند. سنگ‌های مافیک جنوب توده توسط سنگ‌های گرانیتی قطع شده‌اند، در حالی که سنگ‌های مافیک شمال توده ارتباطی با توده گرانیتی نشان نمی‌دهند. بخش فلسیک توده ترکیب گرانیتی داشته و با رنگ سرخ گوشتی تا صورتی کم‌رنگ در میان واحدهای درون‌گیر پرمین و سنگ‌های مافیک توده نمایان هستند. گرانیت‌های این توده با بافت تمام بلورین و مقدار اندکی کانی‌های فرومیزین مشخص است. بخش عمده سنگ‌های گرانیتی از فلدسپارهای قلیایی پدید آمده است که با رنگ صورتی کم‌رنگ در متن سنگ خودنمایی می‌کنند. در سنگ‌های گرانیتی توده هیچ‌گونه انکلاوی وجود ندارد.

توده اصلی گرانیت شاه‌آشان‌داغ با مساحت حدود ۶۰ کیلومتر مربع در محدوده‌های طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه تا ۴۵ درجه و ۱۲ دقیقه خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی در شمال خاوری خوی، در استان آذربایجان باختری (شکل ۱) واقع است. توده مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری (Stocklin, 1968; Stampfli, 1978) و نوی (۱۳۵۵)، به ترتیب در پهنه‌های ایران مرکزی، البرز-آذربایجان و ماکو-تبریز واقع می‌شود. این توده با روند تقریبی شمالی-جنوبی در امتداد جاده ایواوغلی به قره ضیاءالدین برونزد دارد و توسط یک دره بسیار بزرگ به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شده است. مطالعات پیشین انجام گرفته در این منطقه شامل تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه تبریز-پلدشت (افتخارنژاد و همکاران، ۱۹۹۱) و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه قره ضیاءالدین (اسکویی، ۱۳۷۴) و همچنین عابدین مطلق (۱۳۸۲) و ادوای (۱۳۸۲) بوده است. اسکویی (۱۳۷۴) در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قره ضیاءالدین زمان تشکیل توده نفوذی شاه‌آشان‌داغ را به پس از پرمین و پیش از میوسن نسبت داده است. عابدین مطلق (۱۳۸۲) سنگ‌های فلسیک این توده را از نوع غیر کوهزایی (A) و پس از برخورد معرفی کرده است. ادوای (۱۳۸۲) توده‌های نفوذی باختر شاه‌آشان‌داغ را تحت عنوان توده‌های یاریم قیه مورد مطالعه قرار داده و آنها را از نوع A و درون ورقه‌ای معرفی کرده است که در یک محیط کشتی مرتبط با کافت جایگیری کرده‌اند.

در نوشتار حاضر، به توصیف ویژگی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های گابرویی و گرانیتی توده شاه‌آشان‌داغ پرداخته می‌شود.

۲- زمین‌شناسی منطقه

در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین و سنگ‌های رسوبی پالتوزویک رخنمون دارند (اسکویی و همکاران، ۱۳۷۴). قدیمی‌ترین واحدهای

۳- سنگ‌نگاری

بر اساس نتایج تجزیه مودال (جدول ۲)، سنگ‌های مافیک منطقه بیشتر از گابرو تشکیل شده است (شکل ۳). گابروهای جنوب توده شاه‌آشان‌داغ بافت میکروگرانولار داشته و پلاژیوکلاز و پیروکسن کانی‌های اصلی آن را تشکیل می‌دهند. از نظر حجمی پلاژیوکلازها ۴۰ تا ۵۰ درصد و پیروکسن‌ها ۳۰ تا ۴۰ درصد حجمی سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. آمفیبول با فراوانی ۵ تا ۷ درصد و کانی‌های کدر با فراوانی ۳ تا ۵ درصد از کانی‌های فرعی این سنگ‌هاست (جدول ۲). اندازه بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در این سنگ‌ها به ترتیب ۱ تا ۱/۵ میلی‌متر و ۰/۴ تا ۰/۷ میلی‌متر است. در این سنگ‌ها پلاژیوکلازها به سرسیت و پیروکسن‌ها به کلریت و آمفیبول تبدیل شده‌اند (شکل ۴-a و b).

گابروهای شمال توده شاه‌آشان‌داغ دانه درشت‌تر بوده، بافت گرانولار داشته و از کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن به عنوان کانی‌های اصلی تشکیل یافته‌اند. اندازه بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در این سنگ‌ها به ترتیب ۲/۵ تا ۳ میلی‌متر و ۱ تا ۱/۵ میلی‌متر است. آپاتیت (به صورت بلورهای تیغه‌ای و کشیده) و تیتانیت از کانی‌های عارضه‌ای این سنگ‌هاست. در این سنگ‌ها پلاژیوکلازها به سرسیت تبدیل شده‌اند اما پیروکسن‌ها به نسبت سالم‌ترند (شکل ۴-c و d).

سنگ‌های فلسیک شاه‌آشان‌داغ بر اساس رده‌بندی مودال (Streckeisen, 1976) در محدوده فلدسپار قلیایی گرانیت واقع می‌شوند (شکل ۳). بافت این سنگ‌ها گرانولار از نوع دانه‌های نامساوی (Unequigranular) است. بافت پورفیری با زمینه دانه‌ریز نیز در سنگ‌هایی که از ارتفاعات بالاتر برداشت شده، دیده می‌شود. همچنین بافت‌های هم‌رشدی شامل گرانوفیری و میکروگرافیکی به طور فرعی در سنگ وجود دارد (شکل ۴-e). اندازه بلورهای سازنده سنگ در حد ۱ تا ۵ میلی‌متر است. فلدسپار قلیایی، کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومیزین (بیوتیت و آمفیبول) سنگ‌های این توده را پدید می‌آورند.

فلدسپار قلیایی به صورت بلور در اندازه‌های ۱ تا ۵ میلی‌متر با بافت میکروپریتی (شکل ۴-f) با فراوانی بیش از ۵۰ درصد در متن سنگ وجود دارد. در برخی نمونه‌ها فلدسپار قلیایی با کوارتز هم‌رشدی نشان می‌دهد و بافت گرانوفیری و میکروگرافیکی را به وجود می‌آورد که حاکی از سرد شدن ماگمای سیلیکاتی کم آب در نقطه کمینه حرارتی (انوتکتیک) است. اما در برخی موارد، بلورهای فلدسپار قلیایی به صورت شکل‌دار دیده می‌شود که نشان می‌دهد شروع تبلور از نقطه کمینه حرارتی نبوده بلکه قدری به قطب فلدسپار قلیایی نزدیک است. این کانی در مواردی دگرسان شده و به کانی‌های رسی تبدیل شده است. بلورهای کوارتز به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، با ابعاد ۱ تا ۴ میلی‌متر در متن سنگ حضور دارد در برخی نمونه‌ها به صورت گرافیکی و گرانوفیری درون فلدسپارهای قلیایی نمایان است. بلورهای کوارتز دارای خاموشی موجی هستند و در بعضی موارد علامت نوری دو محوره از خود نشان می‌دهند که به احتمال زیاد این امر در ارتباط با حاکم بودن فشارهای برشی، در حین و یا پس از نفوذ توده است. این کانی ۲۷ تا ۳۶ درصد حجمی سنگ را به خود اختصاص داده است. پلاژیوکلاز به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار، در اندازه‌های تقریبی ۲ میلی‌متری در متن سنگ حضور دارد. درصد حجمی آن به مراتب کمتر از فلدسپار قلیایی است و به تقریب ۵ درصد حجمی سنگ را پدید می‌آورد.

کانی فرومیزین سنگ‌های گرانیتی بیوتیت و آمفیبول است که به مقدار کم (کمتر از ۵٪ حجمی) و نیمه‌شکل‌دار در فضای بین کانی‌های دیگر متبلور شده است. بیوتیت‌ها بیشتر به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۴-g). بررسی خواص نوری آمفیبول‌ها در زیر میکروسکوپ نشان می‌دهد که بیشتر آنها از نوع سدیم‌دار و به احتمال زیاد از

نوع ریپیکت - آرفودسونیت است (شکل ۴-h). رنگ این کانی‌ها سبز متمایل به آبی و زاویه خاموشی آنها ۲-۳ درجه است. درصد حجمی آمفیبول در بخش باختری توده (منطقه یاریم‌قیه) بیشتر از بقیه بخش‌های دیگر توده است که این امر می‌تواند در ارتباط با در حاشیه قرار گرفتن و در نتیجه انجماد سریع‌تر این بخش از توده گرانیتی باشد. تیتانیت و زیرکن به مقدار کم و جزیی در متن سنگ حضور دارند. تیتانیت به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شود. در بعضی موارد این کانی به همراه کانی‌های اپیدوت، کلریت و پلاژیوکلاز است. زیرکن به صورت بلورهای شکل‌دار و در داخل کانی‌های تیره و یا به همراه فلدسپارهای قلیایی و تیتانیت دیده می‌شود.

۴- ژئوشیمی

به منظور بررسی تحولات ژئوشیمیایی توده گرانیتی شاه‌آشان‌داغ ۱۲ نمونه نادگرسان و بدون هوازدگی برای تجزیه XRF (برای عناصر اصلی) و ICP-MS (برای تجزیه عناصر کمیاب و نادر خاکی) انتخاب شدند. تجزیه‌های XRF در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و تجزیه‌های ICP-MS همان نمونه‌ها در آزمایشگاه ALS-CHEMEX کانادا انجام شده است. از بین نمونه‌های ارسالی برای تجزیه شیمیایی ۳ نمونه مربوط به سنگ‌های مافیک منطقه (یک نمونه از رخنمون شمالی و دو نمونه از رخنمون جنوبی توده) است (جدول ۱).

در نمودارهای رده‌بندی سنگ‌های آذرین درونی نمونه‌های فلسیک و مافیک توده شاه‌آشان‌داغ (شکل ۵-a) به ترتیب در محدوده‌های فلدسپار قلیایی گرانیت و گابرو-گابرویدیوریت قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس رده‌بندی Middlemost (1985) نمونه‌های فلسیک و مافیک به ترتیب در محدوده‌های گرانیت و گابرو قرار می‌گیرند (در اینجا نشان داده نشده است).

شاخص اشباع از آلومینیم توده‌های نفوذی مورد مطالعه که بیانگر نسبت مولکولی Al_2O_3 بر مجموع $CaO+Na_2O+K_2O$ در نمودار (Maniar & Piccoli, 1989) A/CNK است، برای نمونه‌های مربوط به سنگ‌های مافیک منطقه کمتر از ۱ بوده و نشانگر متآلومین بودن آنهاست و نمونه‌های گرانیتی مقادیری بین ۰/۸۵ تا ۱/۱ دارند که باعث قرارگیری آنها در محدوده‌های متآلومین، پراآلومین ضعیف و کمی پراآلکالین می‌شود (شکل ۵-b). نکته قابل توجه این‌که تمامی نمونه‌هایی که از بخش باختری توده برداشته شده (منطقه یاریم‌قیه) ویژگی پراآلکالین نشان می‌دهند و از نظر کانی‌شناسی دارای کانی‌های تیره بیشتری نسبت به بقیه سنگ‌های توده هستند.

بررسی تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در نمودارهای Harker (1909) (شکل ۶) نشان می‌دهد که گرانیت‌های مورد مطالعه دارای مقادیر بالایی از عناصر $SiO_2, Na_2O, CaO, K_2O, Rb, Y, Zr$ و سنگ‌های گابرویی منطقه دارای مقادیر بالایی از عناصر $CaO, Fe_2O_3, MgO, Sr, Ba$ هستند. با توجه به این‌که در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های حدواسط وجود ندارند، بنابراین درمورد تفریق سنگ‌های فلسیک از سنگ‌های مافیک منطقه نمی‌توان با قاطعیت نظر داد اما روند‌های غیرعادی اکسیدهای Na_2O, TiO_2, Al_2O_3 و عناصر کمیاب Rb و Y در برابر SiO_2 تفریق سنگ‌های فلسیک از مافیک منطقه را محتمل نمی‌داند. نبود حضور سنگ‌های حدواسط این امر را تأیید می‌کند.

سنگ‌های مافیک شمال و جنوب توده شاه‌آشان‌داغ گرچه از نظر رفتار برخی عناصر کمیاب اختلافاتی دارند، اما در کل (شکل ۷-a) الگوی توزیع عناصر کمیاب و کمیاب خاکی کم و بیش مشابهی دارند. در الگوی توزیع عناصر کمیاب خاکی (به‌نحار شده نسبت به کندریت) این سنگ‌ها غنی‌شدگی نسبی از LREEs نسبت به HREEs نمایان است. همچنین سنگ‌های مافیک مورد مطالعه غنی‌شدگی نسبی از

افزایشی یا کاهش می‌دهد، بنابراین سنگ‌های مافیک و فلسیک توده شاه‌آشان داغ از ماگماهای مجزایی تشکیل شده‌اند. ترکیب گرانیتی، محتوای سیلیس و پتاسیم بالا، محتوای بالای عناصر REEs، غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs، غنی‌شدگی نسبی عناصر Ce، LILEs، Sm و فقر نسبی از عناصر Eu، Sr، Nb، Ba و Ti نشانگر منشأ پوسته‌ای سنگ‌های گرانیتی توده شاه‌آشان داغ است (Zhao and Zhou, 2007).

بررسی محیط زمین‌ساختی سنگ‌های گابرویی شاه‌آشان داغ با استفاده از نمودارهای Cabanis & Leocolle (1989) و Pearce & Norry (1979) و Schandl and Gorton (2002) که در شکل ۸ ارائه شده است، نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از نوع سنگ‌های بازیک درون ورقه‌ای (معادل بازالت‌های قاره‌ای) هستند. همچنین گرانیت‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط Schandl and Gorton (2002) و Pearce et al. (1984)، که در شکل ۸ و ۹ نشان داده شده است ماهیت درون ورقه‌ای از خود نشان می‌دهند.

۵-۲. جایگاه ژئودینامیکی

سنگ‌های گابرویی مورد مطالعه درون ورقه‌ای بوده و از گوشته غنی شده در ارتباط با یک پلوم گوشته‌ای نشأت گرفته‌اند. همچنین گرانیت‌های مورد مطالعه درون ورقه‌ای و از نوع A بوده و منشأ پوسته‌ای نشان می‌دهند. از ویژگی‌های مهم گرانیت‌های نوع A شکل‌گیری آنها در محیط‌های کششی است. این نوع محیط‌های کششی یا مربوط به فعالیت‌های آغازین کافت‌زایی است و یا مربوط به کشش‌های پس از برخورد است (Whalen et al., 1987, 1996; Eby, 1992; Nedelec et al., 1995; Pitcher, 1997). با توجه به شواهد صحرایی و حضور افیولیت‌های خوی در جوار ناحیه مورد مطالعه، می‌توان این گرانیت‌ها را با کشش‌های مربوط به فعالیت‌های آغازین کافت‌زایی اقیانوس خوی و با کشش‌های پس از برخورد قاره‌ای و تشکیل افیولیت‌های مربوطه (افیولیت خوی) نسبت داد. بررسی‌های ایزوتوپی و تعیین سن رادیومتری گرانیت‌ها می‌تواند به انتخاب یکی از این محیط‌ها کمک کند.

۶- نتیجه‌گیری

توده شاه‌آشان داغ با وسعت تقریبی ۶۰ کیلومتر مربع در انتهای شمال باختری زون ساختاری ایران مرکزی (شمال باختری ایران) و در ۲۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان خوی واقع است. این توده از سنگ‌های گابرویی و گرانیتی تشکیل شده است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که گابروهای مورد مطالعه ماهیت تولییتی داشته و از ذوب بخشی سنگ‌های گوشته غنی شده و در ارتباط با پلوم گوشته‌ای پدید آمده‌اند. این گابروها قابل مقایسه با گابروهای تشکیل شده در محیط‌های کششی هستند. گرانیت‌های مورد مطالعه از جمله گرانیت‌یویدهای نوع A بوده و ویژگی متاآلومینیوس تا پرآلومینیوس ضعیف داشته و منشأ پوسته‌ای دارند. این گرانیت‌ها را می‌توان با کشش‌های مربوط به فعالیت‌های آغازین کافت‌زایی اقیانوس خوی و یا کشش‌های پس از برخورد قاره‌ای و تشکیل افیولیت‌های مربوطه (افیولیت خوی) نسبت داد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز به انجام رسیده است، لذا بدین وسیله از همکاری ارزنده آن معاونت قدردانی می‌شود و همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران مجله که در ارتقای کیفیت مقاله تأثیر گذار بود، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILEs) و تهی‌شدگی نسبی از HFSEs (بجز Hf، Ta، Nb نشان می‌دهند (شکل e-۷). به عبارت دیگر این سنگ‌ها تهی‌شدگی نسبی از عناصر Zr، Ti، Tb، Y، Yb و غنی‌شدگی در عناصر Hf، Ta، Ce، La، Th، Rb، Ba، K، Sr و نشان می‌دهند که بسیار مشابه با روند گزارش شده از سنگ‌های حوضه‌های کششی است (Al-Saleh et al., 2001). گرچه غلظت عناصر به شدت متحرک مانند Ba، K و Sr توسط فرایندهای ثانوی قابل تغییر است، اما اعتقاد بر این است که غلظت سایر عناصر اساساً اولیه است (Al-Saleh et al., 2001). الگوی سنگ‌های مافیک مورد مطالعه با الگوی سنگ‌های آتشفشانی جزایر کمانی متفاوت است، به طوری که بی‌هنجاری‌های منفی شدید Nb و Ta که ویژگی گدازه‌های کمانی است در این سنگ‌ها دیده نمی‌شود. از طرف دیگر بی‌هنجاری‌های مثبت Nb و Ta که ویژگی بازالت‌های میان اقیانوسی نوع پلوم است، در سنگ‌های مافیک مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل e-۷).

محتوای REEs در سنگ‌های گرانیتی توده شاه‌آشان داغ بالاست (جدول ۱) و در نمودارهای بهنجار شده نسبت به کندریت غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs نمایان است. در نمودارهای چند عنصری (spider diagram) سنگ‌های گرانیتی منطقه بهنجار شده بر مبنای گرانیت فرضی پشته میان اقیانوسی (Pearce et al., 1984) یک روند کاهش کامل "مشخص از Yb تا Rb دیده می‌شود (شکل b-۷). همچنین برای گرانیت‌های مورد مطالعه در این نمودار Ba بی‌هنجاری منفی شدیدی را نشان می‌دهد و عناصر Rb و Th به‌طور قابل توجهی نسبت به عناصر Nb و Ta غنی شده هستند. همچنین Ce و Sm نسبت به عناصر مجاور خودشان غنی‌شدگی نشان می‌دهند. چنین غنی‌شدگی‌های انتخابی به عنوان تسلط پوسته‌ای (Crustal dominant) یاد شده است (Pearce et al., 1984). در نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه، برای گرانیت‌های مورد مطالعه Rb بی‌هنجاری مثبت، و عناصر Ba، Sr و Ti بی‌هنجاری منفی نشان می‌دهند (شکل c-۷). افزون بر این، گرانیت‌های مورد مطالعه به طور کامل "واضحی از LILEs بویژه Rb و Th غنی هستند اما از عناصر Eu، Sr، Nb، Ba و Ti فقیرند که این ویژگی‌ها نشانگر منشأ گرفتن این گرانیت‌ها از مذاب‌های پوسته‌ای است (Zhao and Zhou, 2007).

از مطالب بالا چنین برمی‌آید که گابروهای مورد مطالعه در یک محیط کششی و در ارتباط با یک پلوم گوشته‌ای تشکیل شده و گرانیت‌های مورد مطالعه از مذاب‌های پوسته‌ای نشأت گرفته‌اند.

۵- بحث

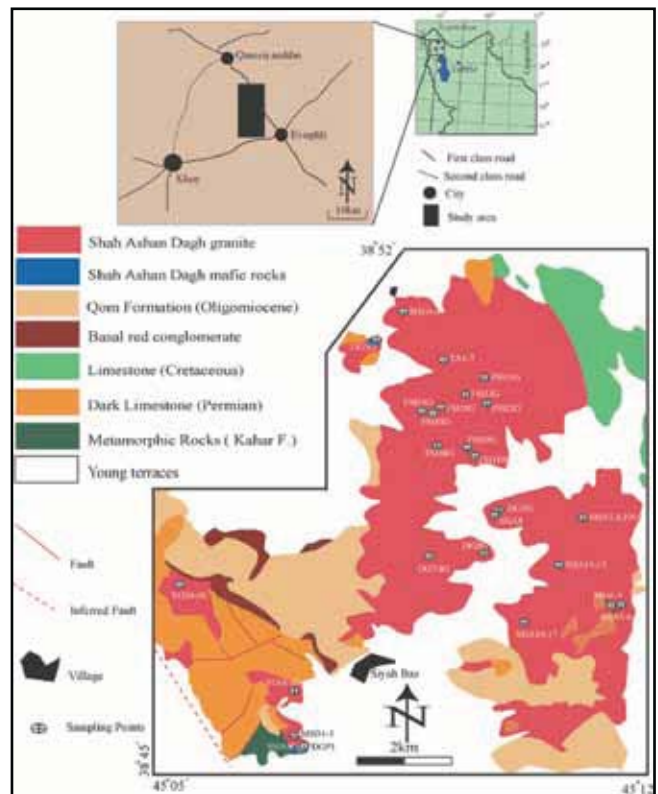
۵-۱- منشأ و جایگاه زمین‌ساختی

سنگ‌های گابرویی شاه‌آشان داغ ماهیت تولییتی دارند (شکل a-۸). غنی‌شدگی نسبی LREE نسبت به HREE و غنی‌شدگی نسبی از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) نشان می‌دهد که سنگ‌های مافیک توده از منشأ گوشته‌ای غنی شده پدید آمده‌اند. مقایسه الگوی REE توده‌های مافیک جنوب شاه‌آشان داغ با توده‌های شناخته شده دنیا مثل گابروهای هورنبلنددار منطقه پانژی‌هوا چین (Zhao and Zhou, 2007)، که یک گابروی تشکیل شده در رژیم کششی است، تطابق خوبی نشان می‌دهد (شکل d-۷). سنگ‌های گرانیتی ویژگی هیپرسولوس داشته و در مجموعه‌ای از نمودارهایی که توسط Whalen et al. (1987)، برای شناسایی گرانیت‌های نوع A طراحی شده است، در محدوده گرانیت‌های نوع A جانمایی می‌شوند (شکل ۹).

حجم بخش گرانیتی توده شاه‌آشان داغ در مقایسه با بخش مافیک توده بسیار بیشتر است و تفریق آن از بخش مافیک منطقی به نظر نمی‌رسد. افزون بر آن، در نمودارهای هارکر اکسیدهایی مثل Na₂O و Al₂O₃ و TiO₂ در برابر SiO₂ روند

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمپاب توده نفوذی شاه آشان داغ.

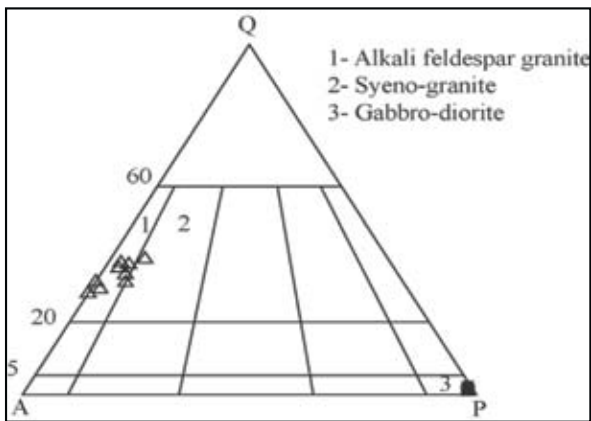
	Alkali-feldspar Granites									Gabbros		
	DG3G	YG03	YG02	YG05	TA2	SHG2	SHA1	FSH1G	FSH10G	DG5G	MSB4	MSB3
Major Oxides (%wt)												
SiO ₂	75.89	77.51	76.72	72.75	76.64	77.30	75.74	75.76	75.59	47.06	47.01	48.69
TiO ₂	0.23	0.21	0.2	0.48	0.25	0.22	0.2	0.25	0.2	0.17	0.28	0.25
Al ₂ O ₃	10.24	9.99	10.32	11.41	12.38	11.07	10.92	10.96	11.39	14.5	12.14	11.85
Fe ₂ O ₃ *	3.07	2.56	2.53	4.64	0.7	2.4	2.88	2.49	2.56	10.31	15.55	15.28
MnO	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0.18	0.18	0.19
MgO	0.12	0.27	0.53	0.15	<0.1	0.16	0.1	<0.1	0.1	5.99	6.11	6.04
CaO	0.72	0.45	0.48	0.4	0.15	0.12	0.37	0.58	0.22	13.04	9.62	8.06
Na ₂ O	3.44	3.22	3.25	3.99	3.41	3.55	3.02	3.76	2.44	2.21	2.53	2.78
K ₂ O	4.62	4.53	4.7	5	5.18	3.99	5.11	4.86	6.26	1.66	1.11	1.37
P ₂ O ₅	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.88	2.45	2.33
L.O.I.	0.87	0.73	0.62	0.57	0.59	0.5	0.93	0.71	0.67	2.19	2.43	2.75
trace elements (ppm)												
Rb	134.5	123.5	127.5	120	162.5	127.5	138	154.5	193.5	136.5	65.2	83.2
Sr	21.5	9.4	12.5	11	13.6	6.6	13.6	12.8	13.3	393	239	248
Ba	152	43.2	28.4	78.7	114	50.1	231	176.5	166.5	279	140.5	181
Zr	1320	618	309	430	840	1000	685	606	694	95	177	155
Y	161	60.3	82.4	53.2	99.6	121.5	87.1	49.8	79	14.9	34	35.2
Nb	119	63	65.5	59.5	76.6	81.2	69.6	40.9	60.8	6.1	22.9	25.7
V	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	38.1	305	283
Cr	10	10	10	<10	<10	10	10	10	10	70	90	80
Co	49.1	62.4	44.7	47.5	76.3	32	43.3	52.6	58.5	41.2	47.3	41.5
Ni	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	15	28	26
Cu	<5	<5	<5	<5	<5	12	<5	<5	<5	31	<5	69
Zn	210	32	71	106	35	120	179	172	67	115	159	148
Ga	29.5	30.4	32.9	35.7	33.2	30.5	30.2	29.5	26.8	18.5	21.7	21.2
Cs	1.59	0.68	0.62	1.03	0.9	0.49	0.62	0.91	0.85	1.64	2.37	1.93
La	108.5	110.5	121.5	55.4	105.5	214	91.8	51.2	93.2	7.2	26.4	22.3
Ce	215	215	225	129	211	333	185.5	103.5	185	16.3	55.2	46.8
Pr	25.5	24.8	24.8	14.95	25.7	56.1	22.2	12.5	21.5	2.31	6.74	5.91
Nd	100.5	93.3	90.8	60.3	101	214	86.8	49.5	82.6	10.7	27.5	24.4
Sm	23	18.05	15.5	12.9	21.7	46.3	18.65	10.45	16.85	2.86	6.53	6.08
Eu	2.43	1.31	1.14	1.26	1.92	3.13	1.84	1.2	1.55	1.21	2.04	1.75
Gd	26.10	17.35	15.4	13	21.9	43	18.65	10.85	18.2	3.31	6.72	6.57
Tb	4.8	2.52	2.38	2.01	3.47	6.27	2.99	1.68	2.85	0.54	1.13	1.1
Dy	30.3	13.55	14.15	11.1	19.2	30.8	16.95	9.54	16.5	3.23	6.57	6.85
Ho	6.25	2.62	2.95	2.16	3.8	5.32	3.42	1.88	3.26	0.61	1.33	1.36
Er	18.75	7.47	9.17	6.51	11.3	14.55	10.05	5.58	9.5	1.67	3.78	3.98
Tm	2.67	0.99	1.33	0.91	1.61	1.95	1.38	0.79	1.37	0.21	0.51	0.54
Yb	17.25	6.38	8.49	6.58	10.6	13.25	9.24	5.62	8.95	1.37	3.42	3.51
Lu	2.35	0.89	1.18	0.98	1.5	1.88	1.32	0.91	1.32	0.2	0.48	0.48
Hf	35.2	15.7	7.6	10.8	21.6	26.1	17.5	14.8	17.9	2.8	4.9	4.5
Ta	7.8	4.1	3.7	3.1	5	5.6	4.3	2.4	4.2	0.4	1.5	1.8
Th	33.1	15.6	17.45	9.91	20.5	30.5	16.8	19.45	16.75	0.91	3.95	5.2
U	7.38	3.07	2.69	2.11	4.17	5.79	3.87	3.49	3.93	0.2	0.96	1.25
Pb	19	5	9	7	5	18	16	30	11	11	6	5



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال باختری ایران و نقشه زمین شناسی ساده شده.

جدول ۲- نتایج تجزیه مودال سنگ‌های آذرین مورد مطالعه.

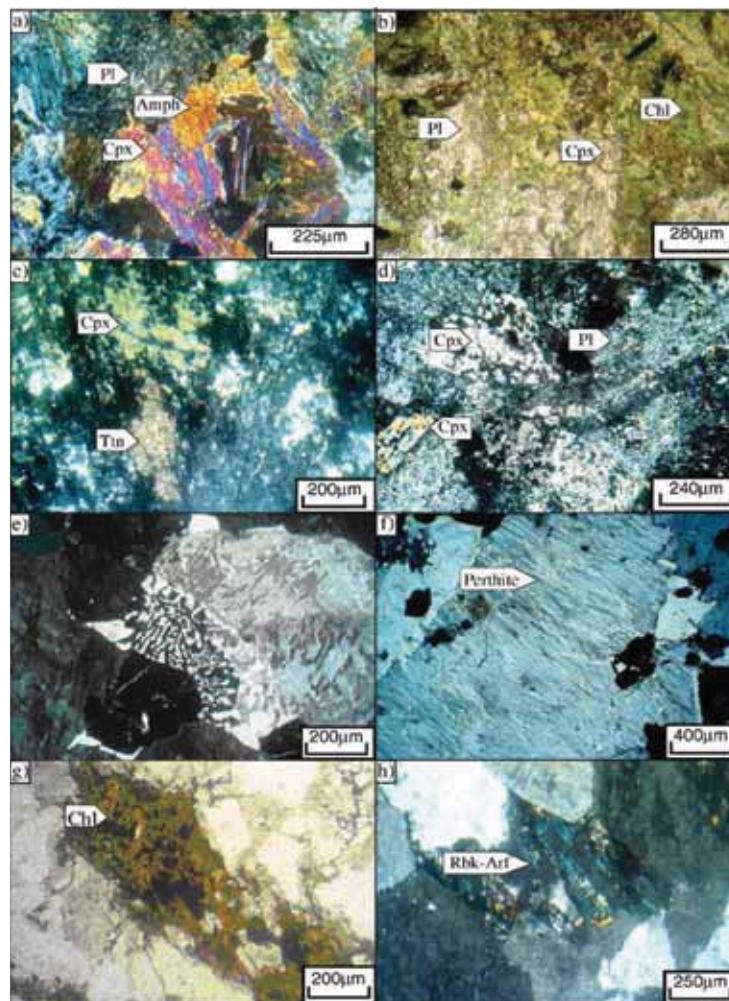
نوع سنگ	گابرو			گرانیت									
	DG5G	MSB3	MSB4	DG3G	YG02	YG03	YG05	TA2	SHG2	SHA1	FSH1G	FSH10G	
شماره نمونه													
Quartz	-	-	-	30	37	32	33	36	35	29	30	27	
Plagioclase	52	35	45	6	7	5	3	3	4	2	-	-	
K-feldspar	-	-	-	57	52	57	55	58	56	65	64	66	
Amphibole	-	5	-	4	-	1	5	-	-	-	5	2	
Biotite	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	
Clinopyroxene	35	30	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Orthopyroxene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Opaque	5	8	5	2	3	4	4	3	5	4	1	4	
Titanite	8	1	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
Apatite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zircon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Epidote	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chlorite	2	20	15	-	1	-	-	-	-	-	-	-	



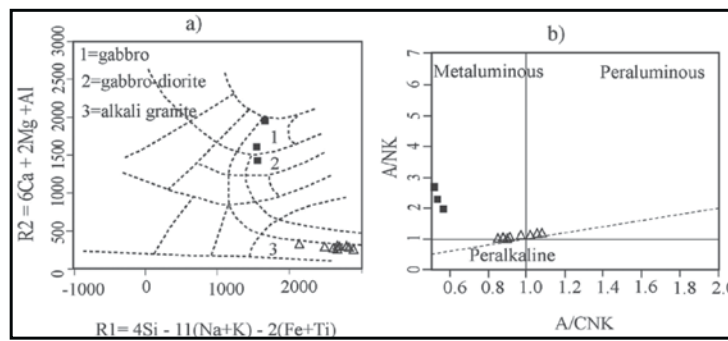
شکل ۳- رده‌بندی مودال سنگ‌های آذرین مورد مطالعه بر اساس (Streckeisen (1974).
علائم مثلثی مربوط به سنگ‌های فلسیک و علائم مربعی توپر مربوط به سنگ‌های مافییک است.



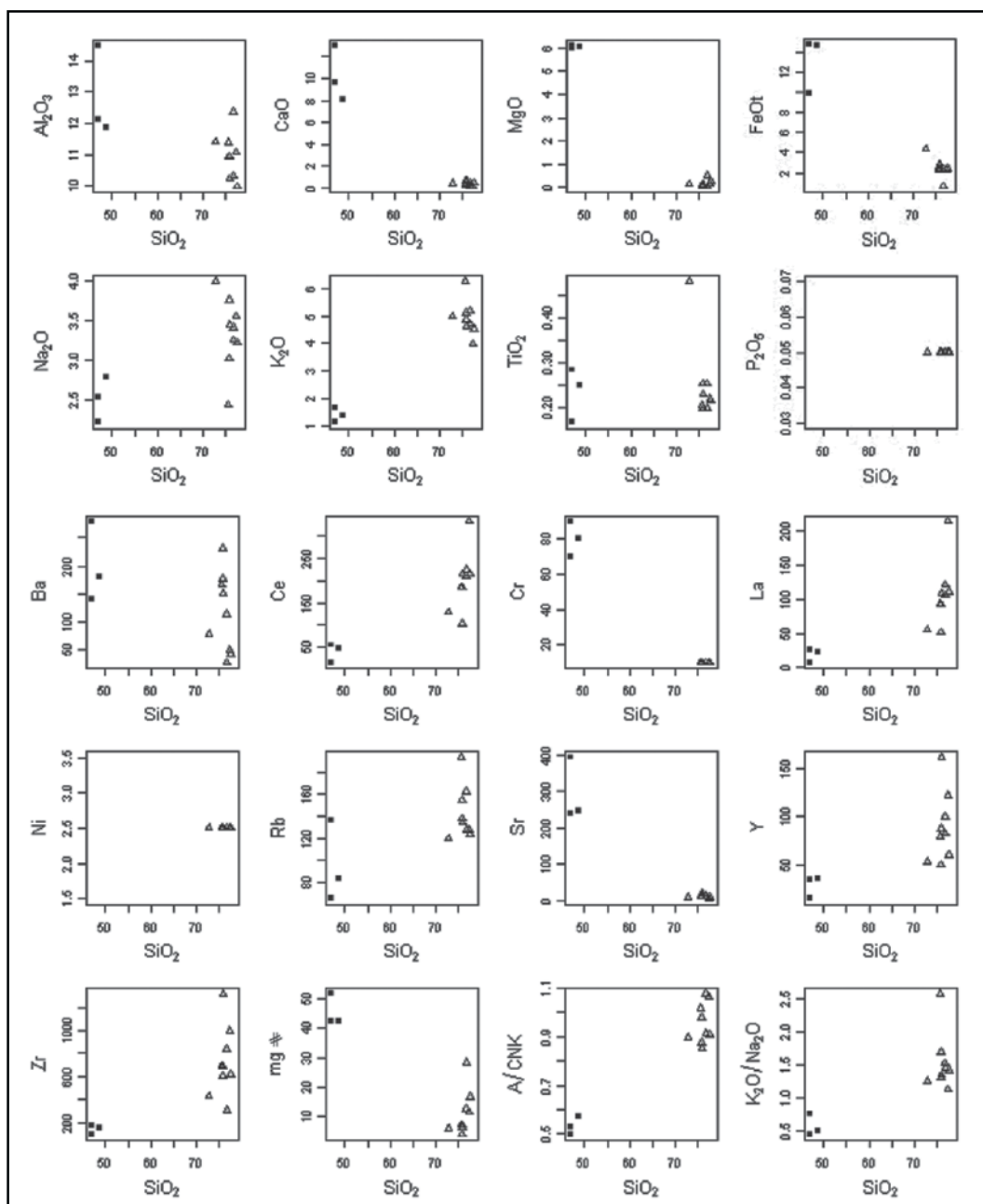
شکل ۲- (a) قطع شدن گابروها توسط آلکالی گرانیت. (b) قطع شدن سنگ‌های آهکی پرمین توسط آلکالی گرانیت شاه‌آشان داغ.



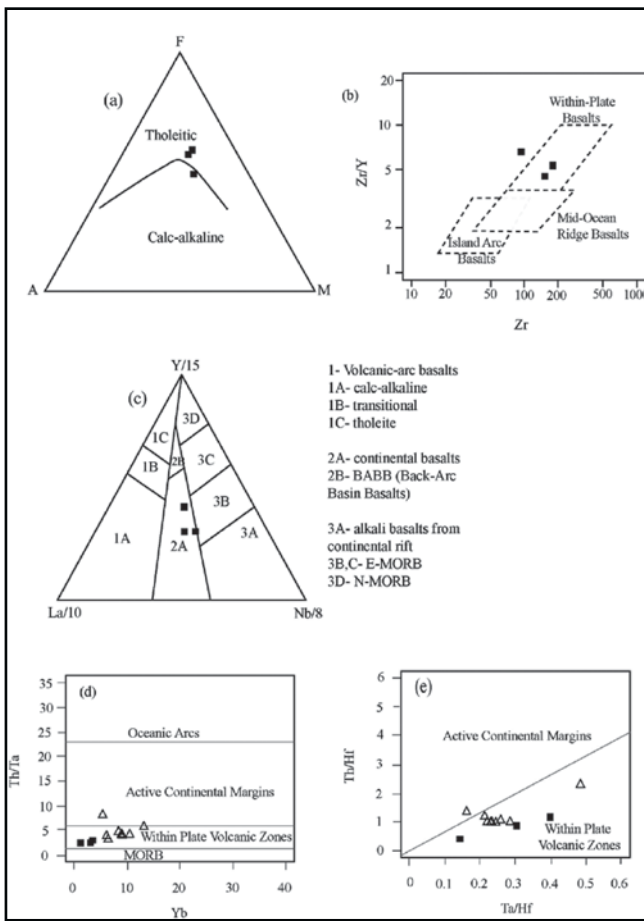
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از توده شاه‌آشان داغ. (a) بافت میکروگرانولار در گابروهای ریزدانه جنوب شاه‌آشان داغ (XPL). (b) کلریتی شدن شدید در گابروهای ریزدانه جنوب شاه‌آشان داغ (PPL). (c) و (d) بافت گرانولار و حضور تیتانیت و کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز در گابروهای شمال شاه‌آشان داغ (XPL). (e) بافت گرانوفیری در آلکالی گرانیت‌های شاه‌آشان داغ (XPL). (f) بافت میکروپریتی در آلکالی فلدسپارهای موجود در گرانیت‌های شاه‌آشان داغ (XPL). (g) تبدیل شدن بیوتیت به کلریت در آلکالی گرانیت‌های شاه‌آشان داغ (PPL). (h) آمفیبول از نوع ریه‌بکیت-آرفودسونیت در آلکالی گرانیت‌های شاه‌آشان داغ (XPL).



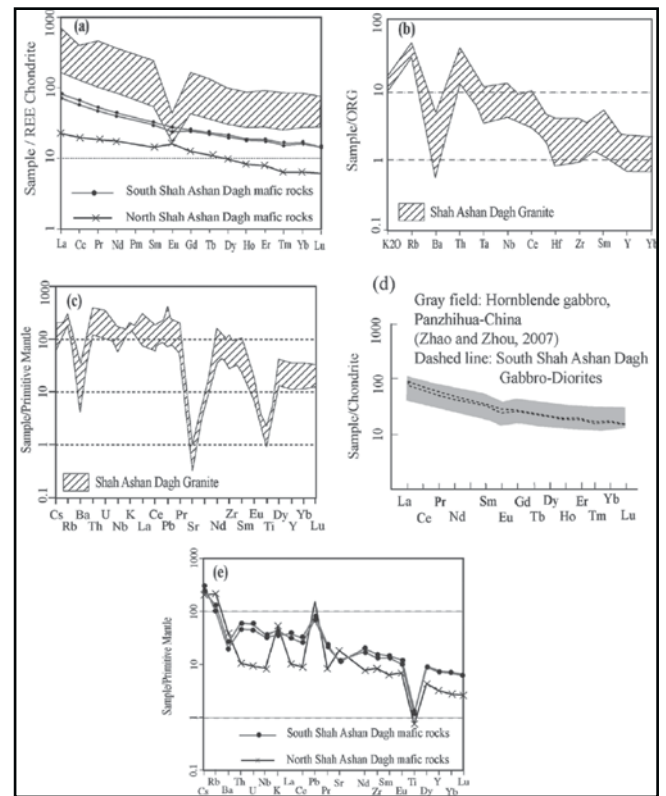
شکل ۵- نمودارهای طبقه‌بندی شیمیایی. (a) طبقه‌بندی کاتیونی R1-R2 (De la Roche et al., 1980)؛ (b) نمودار شاخص اشباع از آلومین (Maniar & Piccoli, 1989). (علائم شبیه شکل ۲).



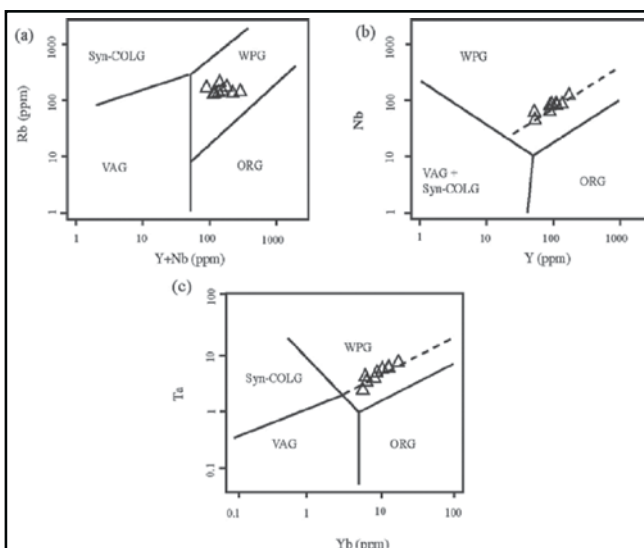
شکل ۶- بررسی خویشاوندی سنگ‌های توده نفوذی شاه‌آشان داغ با استفاده از نمودارهای تغییرات اکسیدها و عناصر کمیاب مختلف در برابر SiO_2 (Harker, 1909). (علائم شبیه شکل ۲).



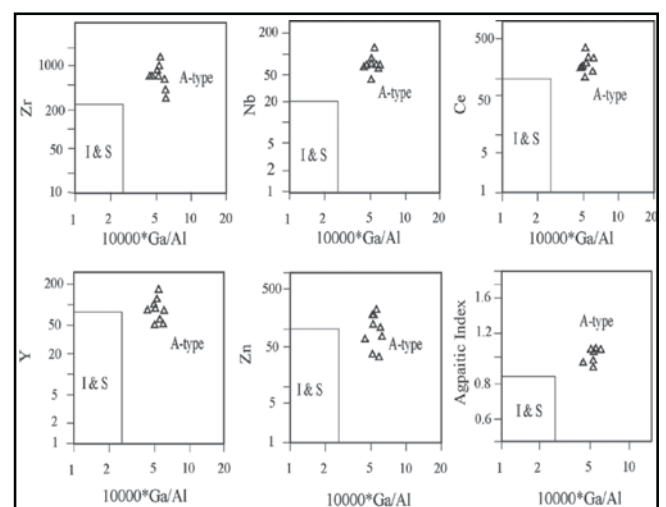
شکل ۷- نمودار REE و عنبکوتی برای سنگ‌های مورد مطالعه. (a) تغییرات فراوانی REE به کندریت (Boynton, 1984)، (b) تغییرات فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به کندریت (Pearce et al., 1984)، (c) تغییرات فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به نسبت به گورته اولیه (Sun & McDonough, 1989)، (d) مقایسه الگوی REE گابروهای شاه‌آشان داغ با گابروهای تشکیل شده در محیط کشتی، (e) تغییرات فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به نسبت به گورته اولیه (Sun & McDonough, 1979).



شکل ۸- تغییرات فراوانی REE و عنبکوتی برای سنگ‌های مورد مطالعه. (a) تغییرات فراوانی REE به کندریت (Boynton, 1984)، (b) تغییرات فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به کندریت (Pearce et al., 1984)، (c) تغییرات فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به نسبت به گورته اولیه (Sun & McDonough, 1989)، (d) مقایسه الگوی REE گابروهای شاه‌آشان داغ با گابروهای تشکیل شده در محیط کشتی، (e) تغییرات فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به نسبت به گورته اولیه (Sun & McDonough, 1979).



شکل ۹- نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی از (a) Rb در برابر Y+Nb، (b) Nb در برابر Y، و (c) Ta در برابر Yb. (Pearce et al., 1984).



شکل ۱۰- نمودارهای بعضی از عناصر کمیاب در برابر $10000 \times Ga/Al$ و قرارگیری نمونه‌ها در محدوده گرانیت‌های تیپ A (Whalen et al., 1987). علامت همانند شکل ۲ است.

کتابنگاری

- ادوای، م.، ۱۳۸۲- بررسی‌های پتروگرافی و پترولوژیکی توده‌های گرانیتوئیدی غرب ایواوغلی با نگرشی ویژه بر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، گرایش پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
- افتخارنژاد، ج.، قرشی، م.، مهرپرتو، م.، ۱۹۹۱- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش تبریز- پلدشت با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اسکویی، ا. و حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۷۴- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش قره ضیاءالدین، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- عابدین‌مطلق، س. ر.، ۱۳۸۲- بررسی پترولوژی و پتروگرافی گرانیتوئید شاه‌آشان‌داغ، شمال غرب ایران، جنوب شرق قره ضیاءالدین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش پترولوژی، دانشگاه تبریز.
- نوبی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.

References

- Al-Saleh, A. M. & Boyle, A. P., 2001- Neoproterozoic ensialic back-arc spreading in the eastern Arabian Shield: geochemical evidence from the Halaban Ophiolite. *Journal of African Earth Science*, Vol. 33: No. 1, 1-15.
- Boynnton, W. V., 1984- Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (ed.), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, pp. 203-213.
- Cabanis, B. & Leocolle, M., 1989- Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Paris Sér. II* 309: 2023- 2029.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grand Claude, P. & Marchal, M., 1980- A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses – its relationships and current nomenclature. *Chemical Geology* 29: 183-210.
- Eby, G. N., 1992- Chemical Subdivision of the A-type granitoides: Petrogenesis and tectonic implications. *Geology*, 20: 641-644.
- Ghasemi, A. & Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Science* 26: 683-693.
- Grabowsky Jr, G. J. & Norton, I. O., 1994- Tectonic controls on the stratigraphic architecture and hydrocarbon systems of the Arabia plate. *The Middle East Petroleum Geosciences (GEÖ)* 1: 413-430.
- Harker, A., 1909- *The natural history of igneous rocks*. Methuen, London.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8: 523-548.
- Maniar, P. D. & Piccoli, P. M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids. *Geo. Soc. Am. Bull.* Vol. 101.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 397-412.
- Mohajjel, M. & Fergusson, C. L., 2000- Dextral transpression in late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Structural Geology* 22: 1125-1139.
- Nedelec, A., Stephens, W. E. & Fallick, A. E., 1995- The Panafrican stratoid granites of Madagascar: alkaline magmatism in a postcollisional extensional setting. *J. Petrol.* 36: 1367-1391.
- Pearce, J. A. & Norry, M. J., 1979- Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral Petrol.* 69: 33-47.
- Pearce, J., 1996- Source and setting of granitic rocks. *Episode* 19, 120-125.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planetary Science Letters* 19: 290-300.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 7: 14-24.
- Pitcher, W. S., 1997- *The Nature and Origin of Granite*, 2nd ed. Chapman & Hall, London, p. 386.
- Schandl, E. S. & Gorton, M. P., 2002- Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology* 97: 629-642.
- Stampfli, G. M., Marcoux, J. & Baud, A., 1991- Tethyan margins in space and time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 87, 373-409.
- Streckeisen, A., 1976- To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews* 12: 1-33.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implication for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J., (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society of London, Special publication, No. 42: pp. 313-345.
- Whalen, J. B., Currie, K. L. & Chappel, B. W., 1987- A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* 95: 407-419.
- Zhao, J. H. & Zhou, M. F., 2007- Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusions in the Panzhihua district (Sichuan Province, SW China); implications for subduction related metamorphism in the upper mantle. *Precambrian Res.* 152: 27-47.

Geological Study of Offshore Mud Volcanoes in the Southeast Caspian Sea

J. Faslebahar^{1*}, M. Pourkermani¹ and S. Faslebahar²

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

² Department of Environmental and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2009 June 06

Accepted: 2009 August 22

Abstract

Mud volcanoes are one of the interesting phenomenons that many researchers in oil field, plate tectonics and geotourism consider the most. In this regard there are many studies in the other countries, especially those which have this phenomenon and published many articles. This article is the output of researches about anatomical characteristics of active, non active mud volcanoes and hidden diapir in the study region. Due to the subduction of Caspian Sea bed under the continental crust in southeast zone of Caspian Sea, there are a series of anticlines and synclinals which located in the west section NW-SE, in the middle section W-E and east section to Turkmanestan NE-SW. Due to the increase in the west thickness of Cheleken and Aghchagyl formations, Apsheron stage and Quaternary series that are calcareous, marl, clay and sandy and consist of gastropod and lamellibranches remains overlaying on each other conformity there are more mud volcanoes in west and southwest of Caspian Sea. There are 3 active, semi-active and few non active diapirs as well as a hidden one. Mud volcanoes at the southeast, semi- active and hidden diapir section of Caspian Sea, are almost in same direction with Caspian Sea fault. The seismic studies in the region show Plio-Quaternary compressive pressures and subsidence in the form of diapir is present on the surface. Anatomy of mud volcanoes of the region shows their history goes back to upper period Pliocene and scientifically their origin are tectonic-sedimentary.

Keywords: Mud volcano, Anatomy, Diapir, Subsidence, Crater

For Persian Version see pages 75 to 82

* Corresponding author: J. Faslebahar; E_mail: Jfaslebahar@yahoo.com

Petrology and Geochemistry of Shah Ashan Dagh Mafic Rocks and A-type Granite in NE of Khoy, NW Iran

M. Advay¹, A. Jahangiri², M. Mojtahedi² & J. Ghalamghash^{3*}

¹Islamic Azad University, Ahar Branch, Ahar, Iran.

²Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

³Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Received: 2009 February 11

Accepted: 2009 August 29

Abstract

The study area as a part of Maku-Tabriz zone is located in about 20 km NE of Khoy, NW Iran. Shah Ashan Dagh granite covers about 60 km² of the area and emplaced into Permian host rocks and covered by Oligo-Miocene sedimentary rocks (Qom Formation). The Shah Ashan Dagh intrusive rocks composed of gabbro and alkali-feldspar granite. Porphyric and granophyric textures indicate shallow depth emplacement and perthitic texture shows hypersolvous nature of this body. The studied mafic rocks have high LREEs relative to HREEs and they indicate relatively enrichment of LILEs and depletion in HFSEs (exception Hf, Ta, Nb). The studied mafic rocks based on positive Nb and Ta anomalies show similarity to plum type MORB. These rocks are tholeiitic and they have mantle plum enriched source. Shah Ashan Dagh granite characterized with high-K, sub-alkaline, metaluminous to peraluminous and weakly peralkaline nature. They have high content of LILEs, especially Th and Rb, and low content of Eu, Sr, Ta, Nb, Ba, and Ti, implying the granites may have been derived from crustal melts.

Keywords: Petrology, Geochemistry, NW Iran, A-type granite, Shah Ashan Dagh.

For Persian Version see pages 83 to 90

*Corresponding author: J. Ghalamghash; E-mail: ghalamghash@gsi.org.ir