

فعالیت فاز کوهزایی کالدونین در شمال شرق ایران: با کاربرد داده‌های سن سنجی U-Pb زیرکن

فرشته رنجبرمقدم^۱، فریبرز مسعودی^{۱*}، مسعود همام^۲، فرناندو کرفو^۳، محمد محجل^۴

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- بخش علوم زمین، دانشگاه اسلو

۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۲۵، نسخه نهایی: ۹۶/۲/۱۱)

چکیده: منطقه مورد بررسی که در گوشه شمال شرقی پهنه ایران مرکزی واقع است، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی و توده‌های نفوذی گابرویی و گرانیتی در مجاورت این سنگ‌هاست. توده‌های نفوذی گابرویی در ۴۰ کیلومتری جنوب شرق فریمان، در مسیر جاده فریمان - تربت جام در انتهای مسیر رودخانه بردو و همچنین در روستای چاهک، در تماس گسله با سنگ‌های گرانیتی دیده می‌شوند. در نقشه زمین‌شناسی منطقه بر ارتباط سنی و زایشی بین گرانیت‌ها و گابروها تاکید شده است. لذا در این پژوهش به منظور بررسی این موضوع، توده‌های گابرویی و گرانیتی به روش اورانیوم - سرب بر کانی زیرکن تعیین سن شدند. سن تعیین شده بر توده گرانیتی ۵۴۸/۳ میلیون سال است که احتمالاً با آخرین مراحل دگرگونی دمای بالا در شیب‌های ناحیه فریمان همخوانی دارد. تعیین سن گابروها سن $471/14 \pm 0/85$ میلیون سال را برای سنگ‌های گابرویی پیشنهاد می‌دهد که نشان‌دهنده ماگماتیسم بعدی، پس از شکل‌گیری گرانیت‌ها در پالئوزوئیک پیشین است. معرفی فعالیت ژرف توده‌ای اردوئیسین در این ناحیه برای بازسازی رویداد کالدونین بسیار با اهمیت است. به نظر می‌رسد که سنگ‌های گابرویی یک رویداد کوهزایی کوتاه ناشی از بازشدگی پالئوتتیس در اردوئیسین و سیلورین پس از کافتش شمال شرق ایران را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: فریمان؛ گابرو؛ فعالیت ژرف توده‌ای؛ پالئوزوئیک پیشین؛ کالدونین.

مقدمه

در دوره پالئوزوئیک تشکیل کافت‌های قاره‌ای و نبود فازهای کوهزایی در ایران سبب فعالیت ناچیز و محدود ژرف توده‌ای شده است [۱] اما در مورد حرکات کالدونین، [۲] بر این باور است که برخی دگرگونی‌ها مانند دگرگونی‌های شمال البرز و فعالیت ماگمایی شکافی در شرق و مرکز ایران نتیجه عملکردهای فاز کوهزایی کالدونین است. اما فعالیت ماگمایی از نوع نفوذی حاصل از این فاز کوهزایی در ایران به ندرت شناسایی و معرفی شده است. قربانی [۱] بیان داشته است که

فعالیت آتشفشانی پالئوزوئیک از جمله فعالیت‌های آتشفشانی اردوئیسین میانی - سیلورین پیشین، بسیاری از نقاط صفحه ایران مانند قطعه یزد، ناحیه چاه‌پلنگ و کوه‌های معراج [۳]، زفره - باقرآباد [۴]، منطقه تکنار شمال غرب بردسکن [۵]، سازند نیور در ایران مرکزی، ناحیه قره‌بیل، شرق سمنان، جنوب‌کاشان و نیز ازبک‌کوه و انارک را تحت تاثیر قرار داده است. فعالیت ژرف توده‌ای پالئوزوئیک پیشین نیز به طور محدود در برخی نواحی ایران مانند گرانیت‌های جنوب بهاباد [۶]، بافق [۷] و شمال غرب طبرس در کوه‌های درنجال [۸]،

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۱۸۹۵۰۸، نمابر: ۰۲۱۲۲۴۳۱۶۹۰، پست الکترونیکی: drfmasoudi@yahoo.com

گزارش شده‌اند. در ناحیه تویه دروار در جنوب غرب دامغان گرانیتوئیدهای نوع A به عنوان نشانه‌ای از فعالیت ماگمایی حوضه کششی پالتوتیس در پالتوزوئیک پیشین البرز و متعلق به اردوئیسین-سیلورین دانسته شده‌اند [۹] یا در منطقه چاه پلنگ و کوه معراجی در جنوب عروسان متاگابروهای منطقه با تعیین سن به روش K-Ar به ۴۰۰ میلیون سال پیش و اواخر سیلورین نسبت داده شده‌اند، اما نفوذی‌های مربوط به اردوئیسین پیشین تاکنون در ایران معرفی نشده‌اند.

سن سنگ‌های گرانیتی و گابرویی فریمان در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاریزنو، پروتروزوئیک مشخص شده است و بر ارتباط سنی و پیدایشی این توده‌های نفوذی تاکید شده است اما پرتوی فر [۱۰] ضمن بررسی توده‌های گابرویی و گرانیتی و مقایسه نمودارهای هارکر، شاخص جدایش و شاخص انجماد بیان کرده است که بین واحدهای فلسی و مافیک ارتباط پیدایشی وجود ندارد و وجود دو روند خطی متمایز در بسیاری از نمودارها احتمالاً ناشی از وجود دو خاستگاه مجزا برای توده‌های گرانیتی و گابرویی است. پرتوی فر بر اساس نمودارهای عنکبوتی تاکید می‌کند که گدازه توده‌های گرانیتی حاصل از خاستگاه پوسته‌ای است در حالی که نمودارهای بهنجار شده عناصر کمیاب مربوط به توده‌های گابرویی نشان‌دهنده ویژگی بارز سنگ‌های آهکی-قلیایی قوس آتشفشانی منطقه‌های فرورانش کرانه قاره‌ای است. در این پژوهش به منظور بررسی این موضوع و با هدف بازسازی تاریخچه فعالیت ماگمایی این ناحیه که به علت قرار گرفتن در کرانه شمال شرقی پهنه ایران مرکزی دارای اهمیت خاصی است، تعیین سن به روش U-Pb بر کانی زیرکن موجود در توده‌های گابرویی و گرانیتی انجام شده است.

زمین‌شناسی عمومی

فریمان در شمال شرق ایران به عنوان بخشی از پهنه ایران مرکزی در جنوب خط درز پالتوتیس در نظر گرفته شده است (شکل ۱). نفوذی‌های گابرویی مورد بررسی، در جنوب شرق شهرستان فریمان در مسیر جاده فریمان - تربت جام با مختصات $39^{\circ} 39' 02''$ شرقی و $35^{\circ} 26' 02''$ شمالی در انتهای مسیر رودخانه بردو و مختصات جغرافیایی $39^{\circ} 23' 10''$ شرقی و $35^{\circ} 21' 04''$ شمالی در نزدیکی روستای چاهک واقع شده‌اند و در تماس گسله با گرانیت‌ها دیده می‌شوند (شکل ۱). گابروها و گرانیت‌ها در نزدیکی هم‌تافت سبیک هستند که شامل سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده، شیست‌ها و سنگ‌های کربناته دگرگون شده است [۱۱]. هم‌تافت سبیک

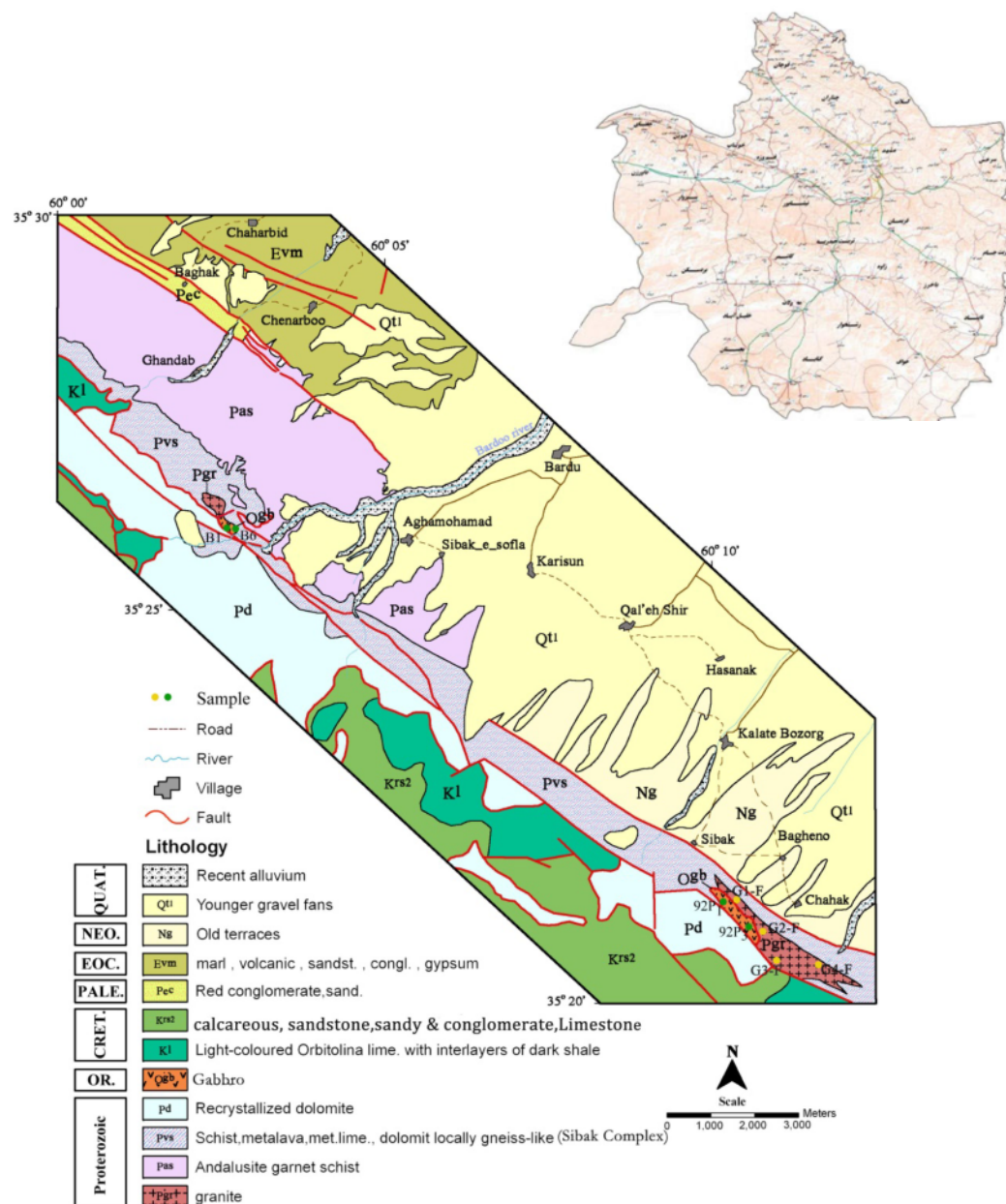
در جنوب در نزدیکی با دولومیت‌های بازتبلور یافته پروتروزوئیک که خود در تماس با واحدهای ماسه‌سنگ و کنگلومرای کرتاسه دیده می‌شوند، قرار دارد و در شمال به صورت گسله در نزدیکی واحد دگرگون شده پروتروزوئیک شامل آندالوزیت شیست‌هاست. رخنمون اصلی گرانیت‌ها به صورت توده بی‌نظم و طویل با ضخامت ۱ کیلومتر و درازای تقریباً ۱۵ کیلومتر است که با امتداد شمال غرب تا جنوب شرق از روستای قنداب در جاده فریمان - تربت جام شروع می‌شود. گرانیت‌ها به طور موضعی بافت‌های گنیسی و بلاستومیلونیتی نشان می‌دهند (شکل ۲ ب). این گرانیت‌ها از نوع S و همزمان با دگرگونی معرفی شده‌اند [۱۲]. سن گرانیت‌ها در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاریزنو بر اساس تعیین سن بر زیرکن‌ها پروتروزوئیک (Ma) ۶۵۰-۶۳۰ در نظر گرفته شده است. انکلاوهای ریزدانه‌ای که در واقع گرانیت‌های بسیار ریزدانه سرشار از بیوتیت هستند در گرانیت‌ها دیده می‌شود (شکل ۲ ب).

همام [۱۳] ضمن بررسی ارتباط صحرایی گابروها بیان نموده است که به نظر می‌رسد که آنها جوان‌تر از واحدهای اصلی هم‌تافت سبیک باشند و تماس آنها با توده‌های گرانیتی گسله است.

بررسی‌های دقیق صحرایی بر ارتباط بین گرانیت‌ها و گابروها مشخص می‌کند که گابروها به شدت برشی شده‌اند و خش‌لغزها بر سطح آن‌ها دیده می‌شوند. شواهد میدانی نشان می‌دهد که مرز بین توده‌های گرانیتی و گابرویی ناگهانی و فاقد هرگونه حاشیه واکنشی و تغییرات تدریجی است.

سنگ‌نگاری

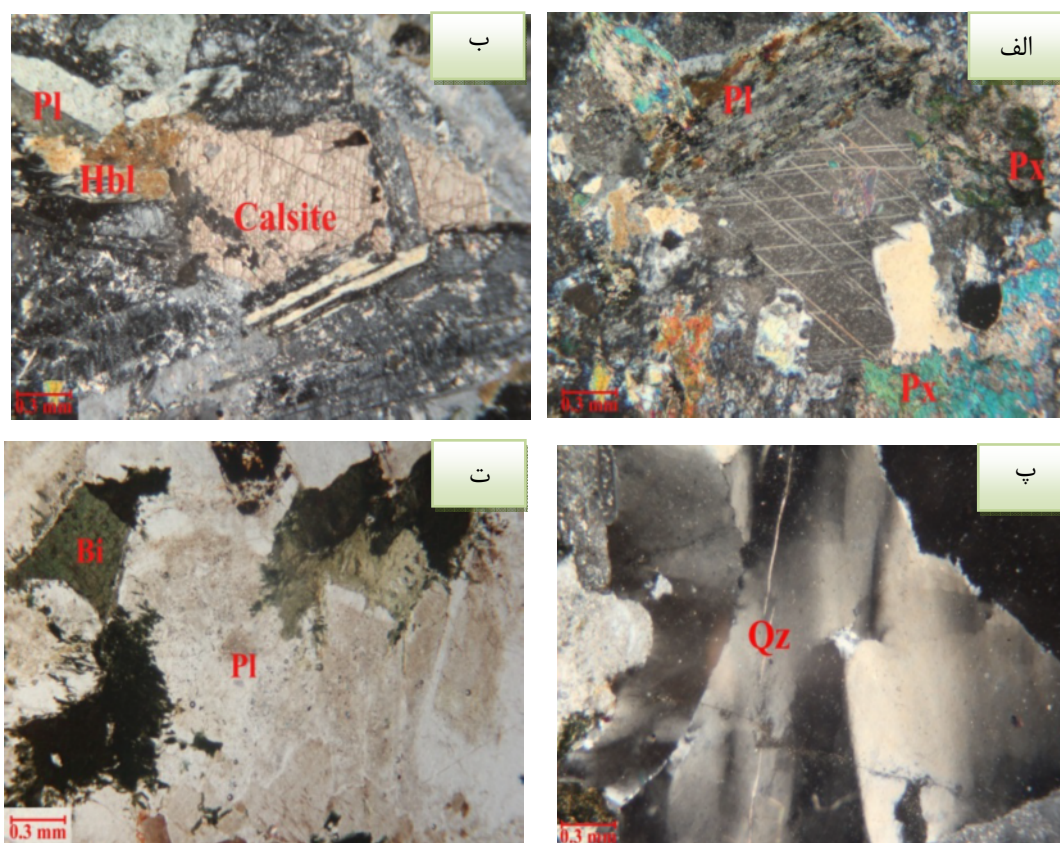
گابرو: گابروهای فریمان در نمونه دستی دانه‌ریز هستند و به رنگ سبز تیره دیده می‌شود. اندازه توده‌های گابرویی متفاوت بوده و در بعضی مناطق دارای درز و شکاف فراوان هستند. گابروهای ناحیه فریمان شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن و الیوین به عنوان کانی‌های اصلی و آپاتیت، ایلمنیت و مگنتیت به عنوان کانی‌های فرعی هستند. در بسیاری از نمونه‌ها، هورنبلند و بیوتیت به صورت بافت تاج فردوسی در اطراف پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین تشکیل شده است. ترکیب پلاژیوکلازها بین آندزین تا بایتونیت متغیر است و به صورت خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند. بلورهای پلاژیوکلاز به اپیدوت، زوئیزیت و کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۳ ب). برخی از بلورهای کلسیت در نمونه‌های مورد بررسی که در اثر نفوذ محلول‌های سرشار از کلسیم تشکیل شده باشند.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاریزنو و محل برداشت نمونه‌ها. موقعیت منطقه مورد بررسی در خراسان رضوی (برگرفته از پایگاه خبری اداره راه و شهرسازی)



شکل ۲ (الف) نفوذی‌های گابرو در منطقه چاهک در تماس با گرانیت‌ها (ب) توده‌های گرانیتی همراه با انکلاوهای ریزدانه در منطقه چاهک، فریمان.



شکل ۳ (الف) تره مولیت-آکتینولیت و اوژیت در گابرو، نمونه MG2(XPL) (ب) کلسیت‌های حاصل از نفوذ محلول‌های سرشار از کلسیم در گابرو نمونه MG1(XPL). (پ) خاموشی موجی کوارتز در گرانیته (G2-F(XPL). (ت) بلور درشت بیوتیت در گرانیته (G1-F(PPL).

آمفیبول در گابروها از نوع نیمه خودشکل و از نوع هورنبلند سبز است و در برخی نمونه‌ها به فراوانی یافت می‌شود به طوریکه به این گابروها می‌توان عنوان هورنبلند گابرو داد. برخی هورنبلندها به صورت بلورهای مجزا ریزدانه تا متوسط دانه دیده می‌شوند برخی دیگر به صورت حاشیه و با بافت خال خال در اطراف بلورهای الیوین، پیروکسن، پلاژیوکلاز به چشم می‌خورد. در این گابروها بلورهای تره‌مولیت - آکتینولیت روی بلورهای قهوه‌ای رنگ هورنبلند قابل مشاهده‌اند (شکل ۳ الف). پیروکسن نیز به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه‌شکل دار دیده می‌شود. پیروکسن‌ها در بعضی قسمت‌ها کاملاً دگرسان شده و به هورنبلند تبدیل شده‌اند. بافت غالب گابروها نیمه خودریخت دانه‌ای است اما بافت‌های میان دانه‌ای و پورفیری نیز دیده می‌شود. این گابروها در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند.

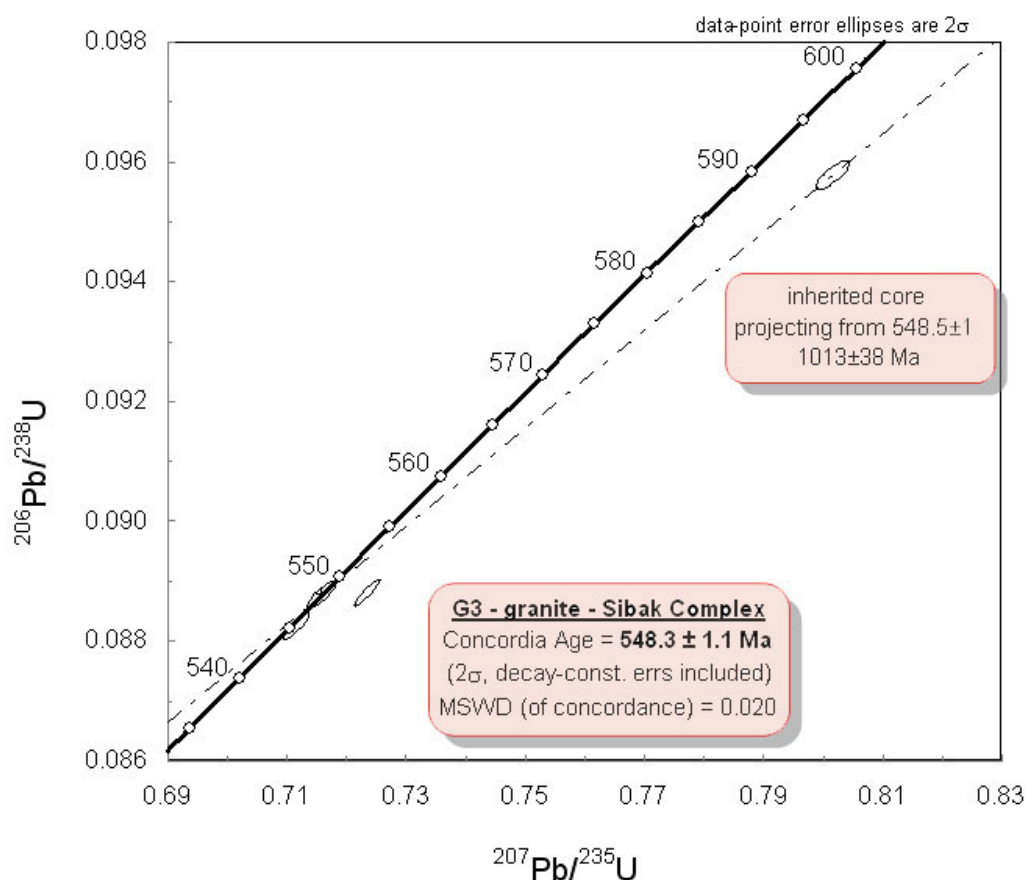
گرانیته: این توده‌های نفوذی لوکوکرات هستند و بافت آنها در نمونه دستی دانه متوسط است. کانی‌های اصلی آنها کوارتز،

فلدسپار و پلاژیوکلاز است. کانی‌های کوارتز خاموشی موجی نشان می‌دهند و در بعضی نمونه‌ها باز تبلور و شکستگی در آنها دیده می‌شود. پلاژیوکلازها خودشکل تا نیمه‌شکل دار و از نوع الیگوکلاز هستند که در برخی نمونه‌ها دارای منطقه‌بندی هستند. به‌طور کلی فلدسپارهای قلیایی به صورت ارتوز پرتیتی دیده می‌شود و در بعضی موارد ماکل کارلسباد یا میکروکلین نیز دیده می‌شود. فلدسپارهای قلیایی به سریسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. کانی مافیک متداول در این سنگ‌ها بیوتیت است. بیوتیت‌ها چند رنگی از قهوه‌ای تیره تا روشن و در برخی نمونه‌ها چندرنگی سبز نشان می‌دهند. کانی‌های فرعی شامل زیرکن، آپاتیت و کانی‌های کدر هستند. هماتیت و مگنتیت نیز به عنوان کانی‌های کدر در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. گرانیته‌های منطقه از نوع گرانیته‌های درون صفحه‌ای و پس از کوهزایی جزو گرانیته‌های پرآلمین محسوب می‌شوند [۱۲].

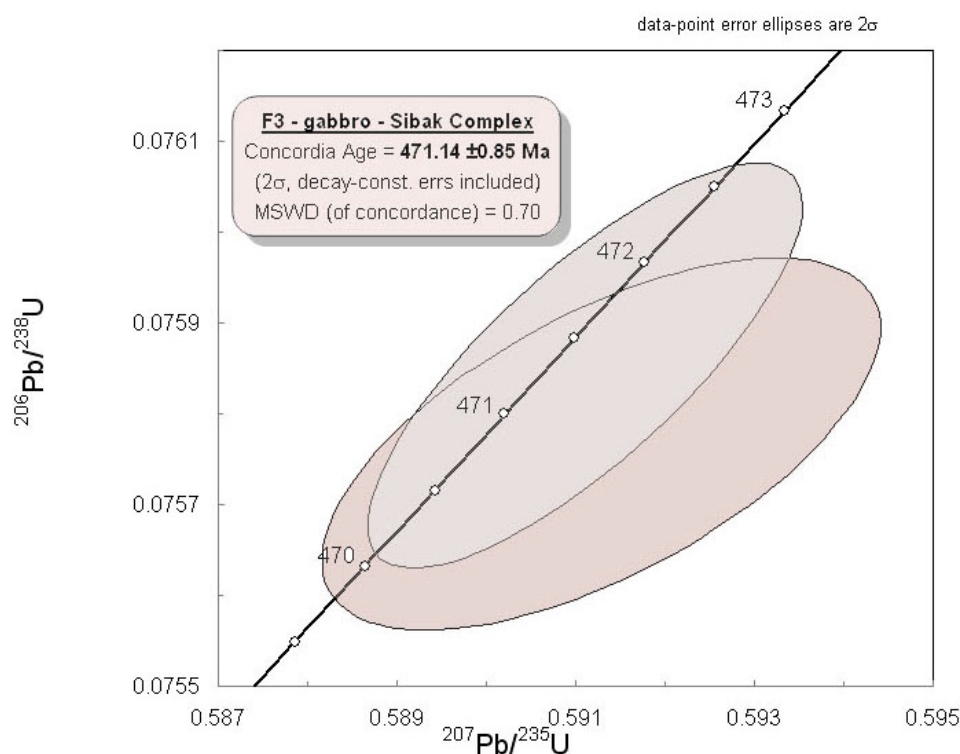
سن سنجی

از آنجا تاکنون بررسی‌های سن سنجی بر سنگ‌های گابرویی منطقه انجام نشده است تفسیر رویدادهای منطقه امکان پذیر نیست و لذا در این پژوهش، سن سنجی به روش U-Pb بر توده‌های گرانیتی و گابرویی موجود در هم‌تافت سیبک انجام شده است تا با استفاده از آن بتوان به اطلاعاتی درباره تاریخچه فعالیت ماگمایی در این ناحیه دست یافت. به این منظور یک نمونه از توده گرانیتی (G1-F) و یک نمونه از گابروها (92P1) (شکل ۱) از روستای چاهک جهت سن سنجی به روش U-Pb زیرکن انتخاب شدند. بررسی‌ها در دانشگاه اسلو به روش ID-TIMS U-Pb انجام شد (Krogh, 1973). پس از جداسازی زیرکن‌ها از الکترون‌های پس پراکنده (BSE) جهت تعیین ویژگی‌های آن‌ها استفاده شد و سپس دانه‌هایی از هر گروه بر اساس کیفیت و ریخت برای بررسی انتخاب شده و در HF در 1950°C حل شدند خالص سازی شیمیایی برای همه نمونه‌ها انجام شد و پس از اضافه شدن یک اسپایک از مخلوطی

از ^{205}Pb - ^{235}U فرآیند با جدایش از طریق تبادل یونی و طیف‌سنجی جرمی منبع جامد دنبال می‌شود. نقاط هماهنگ میانگین سنی 1.1 ± 548.3 میلیون سال را برای گرانیت‌ها نشان می‌دهند (شکل ۴). با توجه به اینکه در نقشه زمین‌شناسی برای آندالوزیت‌شیت‌ها سن پروتروزوئیک در نظر گرفته شده است، به نظر می‌رسد که تشکیل گرانیت‌ها با آخرین مراحل دگرگونی دمای بالا در شیت‌های ناحیه فریمان همخوانی دارد. این سن حدود ۱۰۰ میلیون سال از سن به دست آمده توسط سازمان زمین‌شناسی که حدود ۶۳۰-۶۵۰ میلیون سال به روش U-Pb تعیین شده بود، کمتر است. هشت سن سنجی از زیرکن‌ها سن هماهنگ حدود ± 0.85 میلیون سال را برای سنگ‌های گابرویی هم‌تافت سیبک نشان می‌دهند (شکل ۵). بنابراین به نظر می‌رسد که ارتباط سنی میان فازهای گرانیتی و گابرویی در منطقه مورد بررسی وجود ندارد.



شکل ۴ نمودار هماهنگی سن سنجی U-Pb برای توده‌های گرانیتی.



شکل ۵ نمودار هماهنگی سن سنجی U-Pb برای توده های گابرویی.

بحث و بررسی

فعالیت ماگمایی نفوپروتروزوئیک - کامبرین پیشین در گستره های پرگندوانا که پس از فاز اصلی کوهزایی پان-آفریکن شکل گرفته اند، به فراوانی دیده می شود. این فاز کوهزایی مهم در سنگ های پی سنگ ایران با فعالیت ماگمایی و دگرگونی همزمان با زمین ساخت همراه است [۱۳] و گرانیتهای فریمان از جمله آثار این فاز در شمال شرق ایران مرکزی هستند. تاکنون گزارش های چندانی از فعالیت فاز کوهزایی کالدونین به صورت ماگمازایی از نوع نفوذی به ویژه از سنگ های ژرف توده ای متعلق به اردوئین پیشین در ایران ارائه نشده است. در سایر نقاط دنیا نیز سنگ های ژرف توده ای اردوئین معمول نیستند اما در بعضی مناطق مانند پرتغال [۱۴] ترکیه و هند دیده شده اند. گرانیتهای ترکیه در قطعه مندراس - توروس که با خرده قاره ایرانی همبستگی دارد و در قطعه آناتولی دیده شده اند [۱۵]. نفوذی های هند نیز به فاز کوهزایی آندین ارتباط داده شده اند.

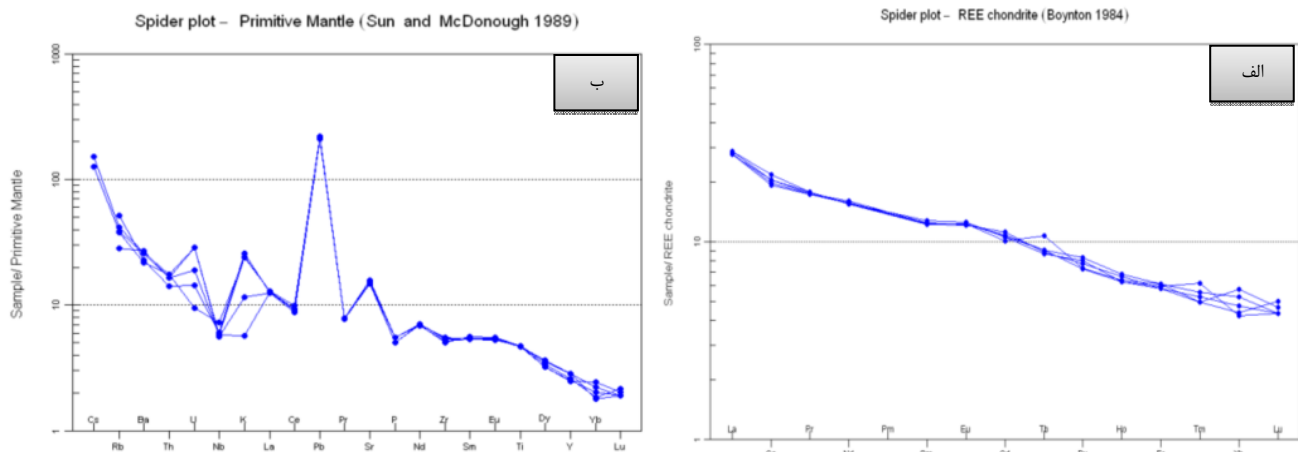
مشاهدات صحرایی و بررسی های سن سنجی و زمین شیمی نشان می دهند که بین توده های نفوذی فریمان ارتباط سنی و

پیدایشی وجود ندارد و این توده ها حاصل از یک ماگما با خاستگاه اولیه نیستند، گرانیتهای نتیجه ذوب بخشی پوسته قاره ای بوده و توده های گابرویی شاهدهی بر فعالیت ماگمایی در امتداد کرانه گندوانا تحت تاثیر فاز کالدونین هستند.

توده های گابرویی مقادیر متفاوتی از غنی شدگی در عناصر سنگ دوست بزرگ یون LREE نسبت به HREE را در نمودار بهنجار شده نسبت به کندریت ها نشان می دهند که یکی از شاخص های مهم مناطق وابسته به فروانش است (شکل ۶ الف). در نمودار عنکبوتی بهنجار شده برحسب ترکیب گوشته اولیه ناهنجاری منفی Nb و Zr دیده می شود که تشکیل ماگما در مناطق فروانش را تأیید می کند (شکل ۶ ب). تهی شدگی عناصر با شدت میدان بالا نظیر Nb, P, Ti که از مشخصه های محیط های کمانی است، می تواند از خاستگاه ماگما از یک پوسته اقیانوسی فروانده شده و گوه گوشته ای دگر نهاد روی آن ناشی شده باشد. ناهنجاری مثبت شاخص Pb در نمودار عنکبوتی بهنجار شده برحسب ترکیب گوشته اولیه همچنین می تواند بیانگر دگر نهادی گوه گوشته ای توسط یون های ناشی از پوسته اقیانوسی فرورو باشد. این گابروها ماهیت تولییتی

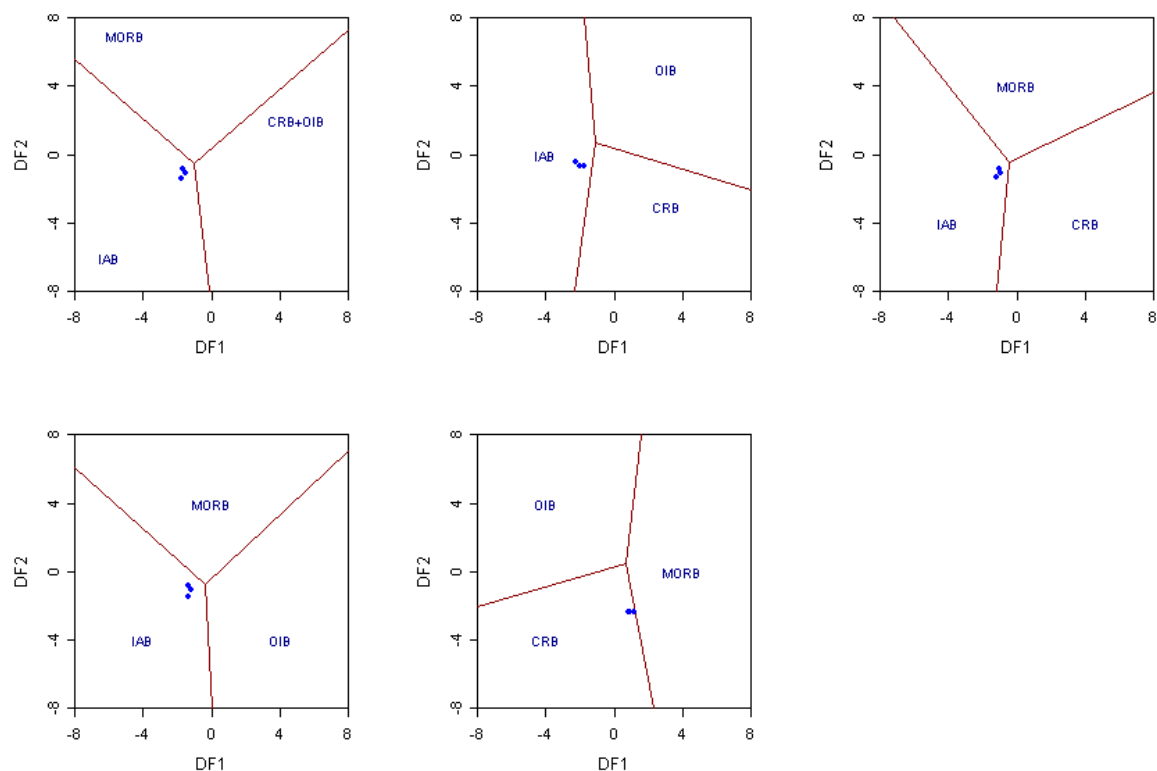
بازشدگی پالئوتتیس در اردوئیسین و سیلورین در ادامه کافتش آغاز شده در ابتدای پالئوزوئیک باشند [۱۶] که در امتداد کرانه شمالی گندوانا ولی داده است. رخنمون توده‌های اردوئیسین پیشین موجب شده است که ناحیه فریمان برای بازسازی رویداد کالدونین بسیار با اهمیت باشد.

دارند و در اثر ۳ تا ۱۰٪ ذوب بخشی منبع گارنت لرزولیتی تشکیل شده‌اند و متعلق به منطقه فرورانش مربوط به حاشیه قوس هستند (شکل ۷). این نتایج و نتایج حاصل از سنسجی، فعالیت ماگمایی بعدی در اردوئیسین پیشین، پس از گرانیتهایی پروتروزوئیک را تایید می‌کنند و این توده‌های نفوذی می‌توانند نشان‌دهنده یک رویداد کوهزایی کوتاه ناشی از



شکل ۶ الف- نمودار عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت‌ها. ب- نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۱۷].

Geotectonic diagrams for (ultra-)basic rocks - Agrawal (2008)



شکل ۷ موقعیت گابروها در کمربندهای آتشفشانی مناطق فرورانش [۱۷].

مراجع

- [۱] قربانی م.، "ماگماتیسیم- متامورفیسیم ایران"، زمین شناسی ایران، تهران نشر آویز (۱۳۹۳).
- [۲] آقاباتی س. ع.، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵) ص ۵۸۶
- [۳] بیات ف.، ترابی ق.، "سنگ شناسی متابازیت های جنوب عروسان (شمال شرق استان اصفهان)"، نشریه زمین شناسی اقتصادی (۱۳۹۱) جلد ۴ شماره ۲ صفحه ۲۷۱-۲۸۴.
- [۴] آیتی ف.، نقره ثیان م.، خلیلی م.، "مروری بر ماگماتیسیم پالئوزوئیک در بخشی از ایران مرکزی"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۸۹) صفحه ۶۱۵-۶۳۲.
- [۵] کریم پور م. ح.، فارمر جی لنگ استون چ.، سانتوس ژ. ف.، ریبریوس.، رحیمی ب.، حیدریان م. ر.، "ژئوکرونولوژی (U-Pb) زیرکن، پتروگرافی، ژئوشیمی و رادیوایزوتوپ های متاریولیت های برنورد (مرکز زون تکنار، شمال غرب بردسکن)"، (۱۳۹۴) جلد ۸، شماره ۱.
- [۶] بلاغی ز.، صادقیان م.، قاسمی ح.، "پتروژنز سنگ های آذرین پالئوزوئیک زیرین جنوب بهاباد (بافق، ایران مرکزی)"، شاهدهی بر کافت زایی، مجله پترولوژی (۱۳۸۹) شماره ۴ صفحه ۴۵-۶۴.
- [۷] محمدی ف.، ابراهیمی م.، مختاری ع. ا.، "سنگ شناسی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی همیجان و سنگ های اسیدی همراه (جنوب باختر بهاباد، ایران مرکزی)"، (۱۳۸۹) فصلنامه علوم زمین، سال بیست و پنجم.
- [۸] درخشی م.، قاسمی ح.، طاهری ع.، صادقیان م.، حیدرنیا ح.، "موقعیت چینه شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ های آذرین پالئوزوئیک زیرین ناحیه شیرگشت شمال غرب طبس"، (۱۳۸۹) دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- [۹] قاسمی ح.، خانعلیزاده ع.، "گرانیتوئیدهای نوع A تویه دردار جنوب باختر دامغان: نشانه ای از ماگماتیسیم حوضه کششی
- پالئوتتیس در پالئوزوئیک زیرین البرز"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۹۱) دوره ۲۰، شماره ۱، صفحه ۲۴-۳.
- [۱۰] پرتوی فر ف.، "بررسی ژئوشیمیایی و پترولوژی سنگ های گرانیتی منطقه کاریزنو، روستای چاهک (جنوب شرق فریمان، خراسان رضوی)، ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۹۱) دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۱۱] نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاریزنو، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹).
- [۱۲] رنجبر ف.، "پتروگرافی و پتروژنز سنگ های دگرگونی شرق و جنوب شرق قنداب"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹).
- [۱۳] همام م.، "پترولوژی و ژئوشیمی هورنبلندگابروهای پروتروژوئیک جنوب شرق فریمان، استان خراسان رضوی"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۹۳) جلد ۷ شماره ۱.
- [14] Rahmati-Ilkhuchi M., Faryad SW., Holub F.V., "Magmatic and metamorphic evolution of the ShoturKuh metamorphic complex (Central Iran)", PhD thesis submitted to the Faculty of Science, Charles University of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Institute of Petrology and Structural Geology (2009).
- [15] Antunes I.M.H.R., Neiva A.M.R., Corfu F., "The genesis of I and S type granitoid rock of the early Ordovician Oledo pluton, central Iberian zone central Portugal", ScienceDirect (2009), V. 111(3). 168-185.
- [16] Okey A.L., Satir M., Shang C.K., "Ordovician metagranitoid from Anatolide-Tauride bluck, northwest Turkey", geodynamic implications (2008) Doi:10.1111. .00818
- [17] Stampfli G.M., Von Raumer J.F., Borel G.D., "Paleozoic evolution of pre-Variscan terranes: From Gondwana to the Variscan collision", Geological society of America, special paper 364 (2002).