

بررسی شیمی کانی بیوتیت در گرانیتوئید زرگلی، شمال غرب زاهدان

مهدی سراوانی فیروز^{۱*}، علی کنعانیان^۲، مهدی رضایی کهخایی^۳ و محمدرضا قدسی^۴

۱ و ۲- دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

۳- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، شاهرود

۴- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

نویسنده مسئول: saravani_mahdi@yahoo.com*

دریافت: ۹۶/۱/۱۴ پذیرش: ۹۶/۷/۱۵

چکیده

گرانیتوئید زرگلی در شمال غرب زاهدان و در جنوب شرق ایران واقع شده است. این گرانیتوئید عمدتاً از گرانودیوریت تشکیل یافته است. شیمی کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانودیوریتی با کمک ریزپردازنده الکترونی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن با داده‌های شیمی کانی بیوتیت در گرانیتوئید زاهدان مقایسه گردید. مقدار آلومینیم کل در برابر نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در بیوتیت‌های گرانودیوریت زرگلی نشان دهنده حضور مواد آلومینومدار پوسته بالایی (رسوبات دگرگون شده) در ماگما توسط فرایند همضم می‌باشد. مقادیر Al کل بیوتیت‌های گرانودیوریت زاهدان نسبت به گرانودیوریت زرگلی کمتر بوده و حاکی از آن است که ماگمای سازنده گرانودیوریت زاهدان کمتر به وسیله سنگ‌های پوسته‌ای آرایش یافته است. بررسی شیمی کانی بیوتیت مشخص می‌نماید که گرانودیوریت‌های مورد مطالعه از نوع I بوده و از یک ماگمای گرانیتی کالک‌آلکان تشکیل شده‌اند. این ماگما در یک محیط فرورانش صعود نموده و با سنگ‌های رسوبی پوسته فوقانی آرایش یافته است. مطالعه شیمی بیوتیت یک فوگاسیته اکسیژن نسبتاً بالا (10^{-12} تا 10^{-13} بار) و یک شرایط اکسیدان را برای ماگماهای گرانودیوریتی مورد مطالعه مشخص می‌کند. میزان فوگاسیته اکسیژن در ماگمای سازنده گرانیت زاهدان 10^{-14} تا 10^{-15} بار به دست می‌آید که در واقع نشان‌دهنده یک شرایط اکسیدان ضعیف در ماگمای گرانیتی زاهدان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوتیت، شیمی کانی، گرانیتوئید زرگلی، زاهدان، سیستان

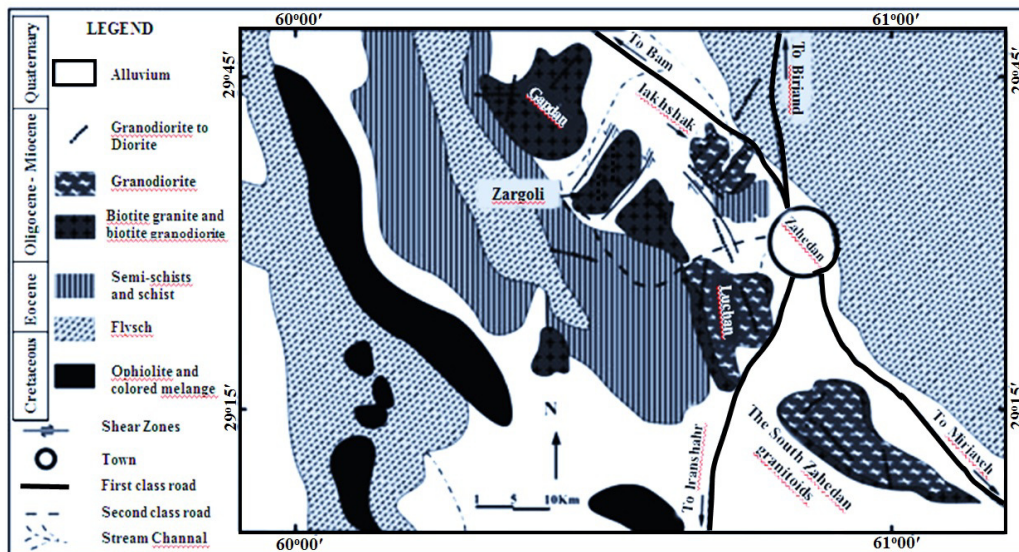
۱- مقدمه

گردیده و مساحتی حدود ۹۵ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد. این توده بخشی از نوار گرانیتوئیدی زاهدان-سراوان با روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد (شکل ۱). نوار گرانیتوئیدی زاهدان-سراوان دارای طول ۲۵۰ کیلومتر و عرض بین ۲ تا ۲۵ کیلومتر است و از شمال غرب زاهدان تا شهرستان سراوان برونزد دارد. اندازه توده‌های گرانیتوئیدی این نوار از باتولیت تا استوک متغیر بوده و عموماً هاله‌های دگرگونی به خوبی در اطراف آن‌ها توسعه پیدا نکرده‌اند. تمامی این توده‌ها در سنگ‌های رسوبی از جنس سیلتستون و ماسه‌سنگ نفوذ نموده‌اند و باعث دگرگونی درجه ضعیف آن‌ها در حد اسلیت، فیلیت و گاهاً گارنت آمفیبولیت شده‌اند [۳]. تعیین سن رادیومتریک به روش $K-Ar$ بر روی بیوتیت‌های جدا شده از گرانیت‌های زاهدان توسط [۶] سن ۳۱/۴ تا ۳۳/۶ میلیون سال را برای این توده‌ها به دست داده است. هم‌چنین این توده‌ها رسوبات فلیشی (ماسه‌سنگ و شیل) با سن ائوسن را قطع نموده‌اند [۳].

بیوتیت یکی از کانی‌های مهم فرومنیزین در سنگ‌های آذرین فلسیک است و در سنگ‌های آذرین مافیک به شکل فاز فرعی ظاهر می‌شود [۴]. مطالعات متعدد نشان داده است که ژئوشیمی بیوتیت می‌تواند اطلاعات خوبی درباره فرآیند ذوب و شرایط ترمودینامیک تبلور مذاب گرانیتی آشکار نماید. ترکیب بیوتیت عمدتاً وابسته به ماهیت ماگمایی است که از آن متبلور می‌شود و پتانسیل این کانی برای انعکاس ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما بالا است [۱۴]. بررسی ترکیب شیمی کانی بیوتیت برای تعیین پتروژنز و محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدی در ایران موضوعی است که به تازگی در دهه اخیر توجه برخی از پژوهشگران را به خود جلب کرده است و هدف این پژوهش در همین راستاست. گرانیتوئید زرگلی در شمال غرب شهرستان زاهدان، بین طول‌های جغرافیایی $29^{\circ} 32'$ تا $60^{\circ} 35'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ} 32'$ تا $29^{\circ} 40'$ شمالی واقع

سنگ‌شناسی این سنگ‌ها از این دیدگاه باشد. هم‌چنین نتایج این پژوهش با مطالعات انجام گرفته بر روی بیوتیت‌های گرانیتوئید زاهدان [۱] نیز مقایسه شده است.

لذا در این بررسی، داده‌های ترکیب شیمیایی کانی بیوتیت در گرانیتوئید زرگلی به منظور آگاهی بیشتر مسائل سنگ‌زایی و تکتونوماگمایی بکار گرفته شد تا مکمل داده‌ها و تعبیر و تفسیرهای ژئوشیمی و



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده شده از توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان - سراوان که در آن توده‌های مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن‌ها قابل مشاهده است [۱۴].

۲- روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه‌برداری دقیقی از گرانیتوئید زرگلی صورت گرفت. حدود ۳۰ مقطع نازک از این نمونه‌ها تهیه شدند و با کمک میکروسکوپ پلاریزان مدل Olympus مورد بررسی قرار گرفتند و پس از آشنایی با ویژگی‌های کانی‌شناختی و سنگ‌شناسی، تعداد ۶ مقطع که نمونه‌هایی سالم و فاقد دگرسانی بودند، برای آنالیز نقطه‌ای انتخاب شدند. برای بررسی خصوصیات شیمیایی کانی بیوتیت تعداد ۱۳ نقطه از بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های گرانودیوریتی توده زرگلی و یک نقطه از بیوتیت‌های موجود در برنوم‌های همراه توده اصلی در دانشکده علوم زمین دانشگاه اُسلوی نروژ توسط دستگاه الکترون میکروپروب CAMECA-SX100 تحت ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ کیلوولت، شدت جریان ۲۰ نانو آمپر و زمان شمارش ۱۰ ثانیه با دقت ۰/۰۱ درصد وزنی مورد آنالیز قرار گرفت (شکل ۴). بیوتیت‌های موجود در توده گرانیتوئیدی زاهدان نیز با روشی مشابه توسط [۱] آنالیز شده‌اند که در این پژوهش از این داده‌ها جهت مقایسه استفاده شده است. با استفاده از نرم‌افزار Minpet 2.02 فرمول ساختاری کانی بیوتیت محاسبه و نتایج به دست

آمده بررسی گردید. داده‌های حاصل از آنالیز بیوتیت‌های توده نفوذی زرگلی و تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۲۴ اتم اکسیژن (با توجه به اندازه‌گیری مقدار هالوژن‌ها) در جدول ۱ گزارش شده است. مقدار آهن کل به صورت آهن دو ظرفیتی در نظر گرفته شده و مقدار OH نیز به صورت $OH = 4 - (F + Cl)$ محاسبه شده است.

۳- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون جوش خورده‌ی سیستان در شرق ایران می‌باشد. این زون از شرق با کشورهای پاکستان و افغانستان، از جنوب با زون مکران و از غرب و شمال با زون ایران مرکزی و بلوک لوت هم‌جوار است. به نظر می‌رسد که در اثر جدایش بلوک لوت و افغان از یکدیگر در کرتاسه زیرین، یک حوضه اقیانوسی باریک بین این دو بلوک ایجاد شده که عمر کوتاهی داشته و نهایتاً در اثر فرورانش به طرف شمال‌شرق و برخورد در زمان ائوسن میانی بسته شده است [۱]. زون جوش خورده سیستان حدود ۸۰۰ کیلومتر طول و ۲۰۰ کیلومتر عرض دارد و دارای روندی شمالی- جنوبی است.

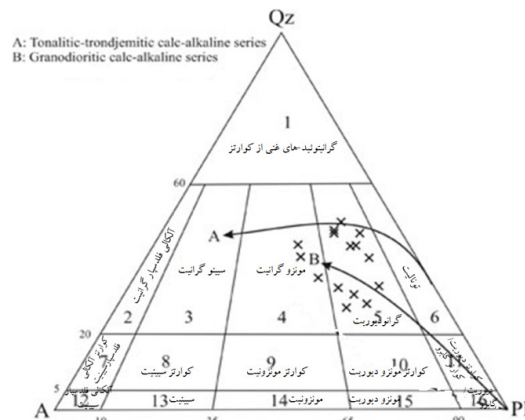
سازنده‌شان، عمدتاً در محدوده مونزوگرانیت قرار می‌گیرند. در مواردی دایک‌های فلسیک دارای مقادیر قابل‌توجهی تورمالین هستند که بر این اساس می‌توان آن‌ها را تحت عنوان تورمالین‌گرانیت نامید. توده نفوذی زرگلی مانند دیگر توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان میزبان برونوم‌های فراوان است که بر اساس مطالعات صورت گرفته از نوع ماسه‌سنگ دگرگون شده هستند (شکل ۳ ب).

یکی از ویژگی‌های رایج این توده‌های نفوذی حضور تعداد زیادی دایک‌هایی با ترکیب حدواسط تا اسیدی در آن هاست. این دایک‌ها دارای روند شمالی - جنوبی بوده و احتمالاً آخرین تظاهرات ماگمایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند؛ چرا که علاوه بر نفوذ در رسوبات دگرگون شده، توده‌های نفوذی را نیز قطع می‌کنند. توده گرانیتوئیدی زاهدان نیز از سنگ‌های گرانیتی، گرانودیوریتی، دیوریتی-کوارتز دیوریتی و برونوم‌های میکروگرانولار مافیک تشکیل شده که به همراه سنگ‌های میزبان خود توسط تعداد زیادی دایک آندزیتی-داسیتی قطع شده است [۱].

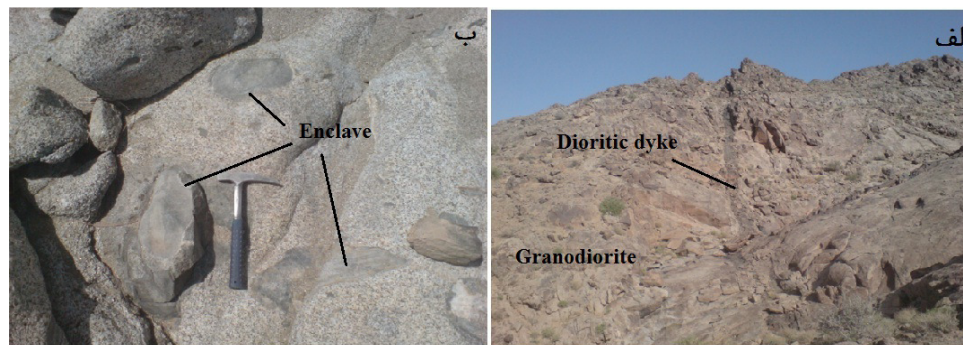
در این زون رسوبات قدیمی‌تر از کرتاسه وجود ندارد و رخساره‌ی کرتاسه فوقانی نیز از نوع رسوبات فلیشی همراه با سنگ‌های آتشفشانی است. به علت حضور گسترده و فراوان سنگ‌های افیولیتی بهم ریخته در این منطقه، این زون تحت عنوان زون آمیزه رنگین نیز معرفی شده است.

۴- پتروگرافی

سنگ‌های توده نفوذی زرگلی در نمودار سه‌تایی کوارتز - پلاژیوکلاز - آلکالی فلدسپار [۱۷] عمدتاً در محدوده گرانودیوریت و تعداد کمی هم در محدوده مونزوگرانیت واقع می‌شوند (شکل ۲). به علت فراوانی بیوتیت در ترکیب این سنگ‌ها می‌توان آن‌ها را به عنوان بیوتیت گرانودیوریت/گرانیت نام‌گذاری کرد. این توده هم‌چنین دارای دایک‌های مافیک و فلسیک نیز می‌باشد. دایک‌های مافیک در نمودار سه‌تایی کوارتز-پلاژیوکلاز-آلکالی فلدسپار در محدوده دیوریت/گابرو واقع می‌شوند که با توجه به ترکیب کانی‌شناسی (وفور آمفیبول و نبود پیروکسن) باید آن‌ها را از نوع دیوریتی در نظر بگیریم (شکل ۳ الف). دایک‌های اسیدی نیز با توجه به کانی‌های



شکل ۲. ترکیب مودال گرانیتوئیدهای زرگلی در نمودار سه‌تایی کوارتز - پلاژیوکلاز - آلکالی فلدسپار [۱۴]



شکل ۳. الف) حضور دایک دیوریتی در گرانودیوریت زرگلی. ب) حضور برونوم‌های سورمیکاسه در گرانودیوریت زرگلی

حدود ۳۰ درصد باقی‌مانده باتولیت را شامل می‌شود از بیوتیت گرانیت‌ها (مونزوگرانیت-سینوگرانیت) و رگه‌های آپلیتی و پگماتیتی وابسته تشکیل شده است [۱]. دیوریت‌ها کمتر از ۱۰ درصد حجم باتولیت گرانیتوئیدی زاهدان را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها به صورت استوک یا توده‌های کوچک و غالباً شناور، با ظاهری تیره رنگ در گرانودیوریت‌ها دیده می‌شوند. هورنبلند و بیوتیت در آن‌ها فراوان بوده و پلاژیوکلاز و مقادیر کمی کوارتز کانی‌های روشن این سنگ‌ها هستند. اسفن، آپاتیت، زیرکن، روتیل و مگنتیت کانی‌های فرعی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. بیوتیت‌های موجود در آن‌ها بیش‌تر بر اثر عملکرد متاسوماتیزم پتاسیک بر هورنبلندها به وجود آمده‌اند (بیوتیت‌زایی). این بیوتیت‌ها به صورت لکه‌های بی‌شکل، تیغه‌ای و ورقه‌ای در درون هورنبلند سبز دیده می‌شوند [۲].

حجم اصلی توده گرانیتوئیدی زاهدان را گرانودیوریت‌ها تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها همراه با دیوریت‌ها هستند، بافت گرانولار دارند و از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند (به مقدار زیاد)، بیوتیت، آلکالی فلدسپار (به صورت فاز تأخیری)، اسفن، آپاتیت، زیرکن و مگنتیت تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها نیز مشابه با گرانودیوریت زرگلی فاقد مسکوویت و کانی‌های دگرگونی نظیر گارنت، آندالوزیت و کردیریت هستند. بافت‌های میرمیکیتی و پرتیتی نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود [۲].

بیوتیت گرانیت‌ها دارای ارتباطی نزدیک با سنگ‌های دگرگونی میزبان و گرانودیوریت‌ها هستند. این سنگ‌ها تمام بلورین، درشت بلور و حاوی بیوتیت، کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز و گارنت هستند. کانی‌های آلانیت، ایلمنیت و هورنبلند نیز به میزان کم در این سنگ‌ها حضور دارند. بر اساس شواهد صحرایی، می‌توان گفت که بخشی از بیوتیت گرانیت‌ها حاصل ذوب بخشی فلیش‌های میزبان و بخشی دیگر حاصل اختلاط مذاب ناشی از ذوب بخشی شیبست‌ها با مذاب تفریق یافته از دیوریت‌ها / گرانودیوریت‌ها هستند [۲].

شیمی بیوتیت

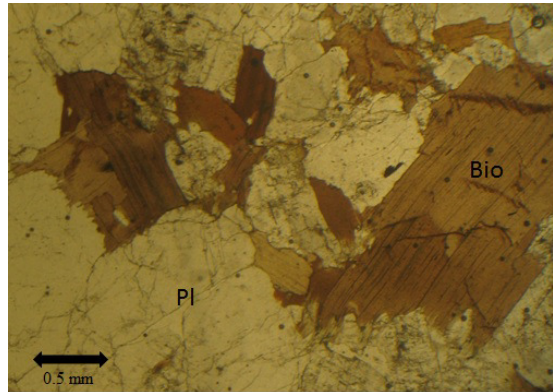
همان طوری که پیشتر عنوان شد بیوتیت تنها کانی مافیک در گرانودیوریت زرگلی است و هم‌چنین به عنوان یکی از دو کانی مافیک اصلی (بیوتیت و هورنبلند) در

گرانودیوریت زرگلی در نمونه دستی عمدتاً دانه متوسط و مملو از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، ارتوکلاز و بیوتیت می‌باشد. این سنگ‌ها به علت داشتن بیوتیت فراوان (در مواردی بیش از ۱۵ درصد حجم سنگ) از نظر رنگی لوکوکراتی (۱۰ تا ۳۵ درصد کانی تیره) هستند که کمی متمایل به مزوکرات (۳۵ تا ۶۵ درصد کانی تیره) می‌باشد. بافت غالب در این سنگ‌ها از نوع گرانولار است و بافت‌هایی همچون میرمیکیتی، پوئی‌کیلیتیک و پرتیتی نیز مشاهده می‌شود. کانی‌های اصلی در این سنگ‌ها کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و آلکالی فلدسپار هستند و کانی‌های فرعی عمدتاً شامل آپاتیت، زیرکن و کانی‌های آپک می‌باشند که حدود یک درصد از حجم این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. کانی آپاتیت رایج‌ترین کانی فرعی در این سنگ‌ها می‌باشد که عمدتاً به شکل بلورهای منشوری کوتاه در اندازه‌های ریز به صورت ادخال در کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و ارتوکلاز مشاهده می‌شود. در مواردی، از هم‌رشدی بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز بافت میرمیکیتی ایجاد شده، که می‌تواند نشان‌دهنده تبلور سریع و در فشار بخار آب پایین توده گرانیتی در نزدیکی سطح زمین باشد. بیوتیت تنها کانی مافیک در سنگ‌های گرانودیوریتی زرگلی است و حدود ۱۵ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. به همین دلیل در نام‌گذاری می‌توان آن را به صورت پیشوند به نام این سنگ‌های گرانیتوئیدی افزود. این کانی به صورت شکل‌دار، نیمه شکل‌دار و در اندازه درشت، متوسط و ریز دانه در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های حاشیه توده نفوذی زرگلی در اثر تحمل دگرشکلی پلاستیک، دچار انحنا و خمیدگی شده‌اند (شکل ۴)، در حالی که بیوتیت‌های موجود در مرکز توده کمتر چنین حالتی را نشان می‌دهند. رنگ این بیوتیت‌ها قهوه‌ای بوده و دارای چندرنگی شدید هستند.

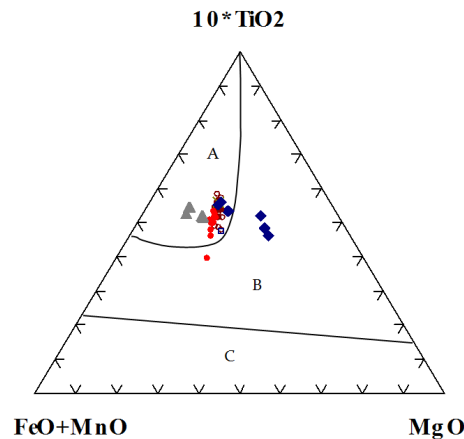
گرانیتوئید زاهدان از یک مجموعه حدواسط-اسید با خاستگاه آذرین و یک مجموعه اسیدی پوسته‌ای-اختلاطی تشکیل شده است. مجموعه حدواسط-اسید با ترکیب کلی گرانودیوریتی که حدود ۷۰ درصد حجم باتولیت گرانیتوئیدی زاهدان را تشکیل می‌دهد، دارای طیف ترکیبی دیوریت، کوارتزدیوریت، گرانودیوریت (سازنده اصلی باتولیت زاهدان) و دایک‌های آندزیتی وابسته است. مجموعه اسیدی پوسته‌ای-اختلاطی که

تبلور یافته از ماگما) قرار می‌گیرند (شکل ۵). البته سه نمونه از بیوتیت‌های مطالعه شده از دیوریت‌های زاهدان و یک نمونه از بیوتیت‌های گرانودیوریت زرگلی در محدوده آتره شده قرار گرفته‌اند ولی با توجه به اینکه تمامی بیوتیت‌های مورد مطالعه دارای مقادیر آلومینیم اکتائدری (Al^{VI}) کمتر از یک هستند (جدول ۱)، که نشان‌دهنده ماگمایی بودن آن‌ها است [۱۳] می‌توان گفت که تمامی نمونه‌های مطالعه شده از نوع ماگمایی و اولیه هستند.

سنگ‌های گرانیتوئیدی زاهدان حضور دارد. مطالعه این کانی مهم در این سنگ‌ها می‌تواند اطلاعات تکمیل‌کننده‌ای در مورد شیمی سنگ کل ارائه کند و مقایسه بیوتیت‌های این دو توده می‌تواند تشابهات و تضادهای آن‌ها را بهتر نمایان سازد. بیوتیت‌های موجود در توده‌های مورد مطالعه عمدتاً از نوع ماگمایی و اولیه هستند و در نمودار سه تایی $10TiO_2 - [13FeO+MnO - MgO]$ (بیوتیت‌های



شکل ۴. خمیدگی در بلورهای بیوتیت در اثر تحمل دگرشکلی دما بالا (Bio: بیوتیت، Pl: پلاژیوکلاز)



شکل ۵. بیوتیت‌های بررسی شده از توده‌های نفوذی زاهدان و زرگلی در نمودار سه تایی $[1310TiO_2 - FeO+MnO - MgO]$ محدوده A: بیوتیت‌های اولیه یا تبلور یافته از ماگما، محدوده B: بیوتیت‌های آتره شده و محدوده C: بیوتیت‌های تجدید تبلور یافته. دایره تو خالی، مثلث تو پر، لوزی تو پر و مربع تو خالی به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های آنالیز شده از گرانودیوریت، گرانیت، دیوریت و برونوم زاهدان و دایره تو پر و ضربدر به ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌های آنالیز شده از گرانودیوریت و برونوم زرگلی می‌باشد.

بیوتیت‌های آهن‌دار (*Fe-biotites*) قرار می‌گیرند و به خوبی از سایر نمونه‌ها تفکیک می‌شوند. هم‌چنین سه نمونه از بیوتیت‌های آنالیز شده از دیوریت‌های زاهدان به دلیل داشتن منیزیم بالا فراتر از محدوده بیوتیت‌های منیزیم‌دار قرار گرفته‌اند. مطابق شکل همه‌ی نمونه‌های آنالیز شده از گرانودیوریت‌های زرگلی و زاهدان در

بر اساس نمودار نام‌گذاری [۹]، بیوتیت‌های مورد مطالعه از گرانودیوریت زرگلی بیوتیت‌های منیزیم‌دار ($Mg-$ *biotites*) هستند (شکل ۶). بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانودیوریت، دیوریت و برونوم زاهدان نیز مشابه بیوتیت‌های گرانودیوریت زرگلی از نوع منیزیم‌دار هستند اما بیوتیت‌های مورد مطالعه از گرانیت زاهدان در محدوده

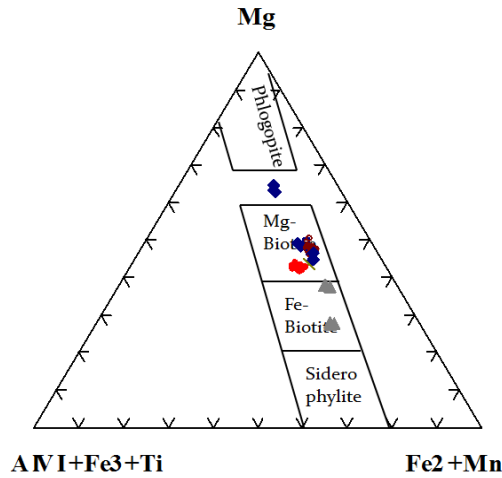
محدوده‌های مشخصی متمرکز شده‌اند که نشان‌دهنده تفریق هر یک از آن‌ها از ماگمایی معین است [۷].

حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد فلوتور موجود در ماگماهای گرانیتوئیدی فاقد فلوتوریت در بیوتیت و مابقی آن در آپاتیت و اسفن ذخیره می‌گردد. به همین علت مقدار فلوتور موجود در کانی بیوتیت، کلیدی برای رفتار فلوتور در اغلب سنگ‌های آذرین است. به لحاظ تجربی مشخص شده است که جانیشینی فلوتور یا کلر در سایت هیدروکسیل میکا توسط اکتیویته فلوتور یا کلر، ترکیب میکا و دما کنترل می‌شود. هم‌چنین بر اساس مطالعات صورت گرفته پیشنهاد شده است که در شرایط مشابه، بیوتیت‌های غنی از منیزیم دارای فلوتور بیش‌تر و کلر کمتری نسبت به بیوتیت‌های غنی از آهن هستند. چنین ارتباطاتی به عنوان اصل اجتناب آهن-فلوتور و هم‌چنین منیزیم-کلر عنوان می‌شوند [۱۱ و ۱۲]. مقدار فلوتور در بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانودیوریت‌های زرگلی و زاهدان به ترتیب صفر تا ۰/۴۶ و صفر تا ۰/۷۶ بر حسب درصد وزنی و مقدار کلر آن‌ها از صفر تا ۰/۰۲ و صفر تا ۰/۰۷ درصد وزنی تغییر می‌کند که کاملاً با ماهیت غنی از منیزیم این بیوتیت‌ها متناسب می‌باشد. در بیوتیت‌های آنالیز شده از دیوریت‌های زاهدان نیز مقدار فلوتور از ۰/۰۲ تا ۰/۵۲ و مقدار کلر از ۰/۰۱ تا ۰/۱۴ درصد وزنی در تغییر است که به علت منیزیم بالای آن‌ها است. اما در بیوتیت‌های آهن‌دار گرانیته زاهدان مقدار فلوتور بین ۰/۵۵ تا ۱/۱۹ و مقدار کلر بین صفر تا ۰/۰۵ می‌باشد که با اصل اجتناب آهن-فلوتور در تضاد است و می‌تواند نشان‌دهنده شرایط و نقش عوامل ثانویه همچون سیالات هیدروترمال غنی از فلوتور بر روی این بیوتیت‌ها باشد.

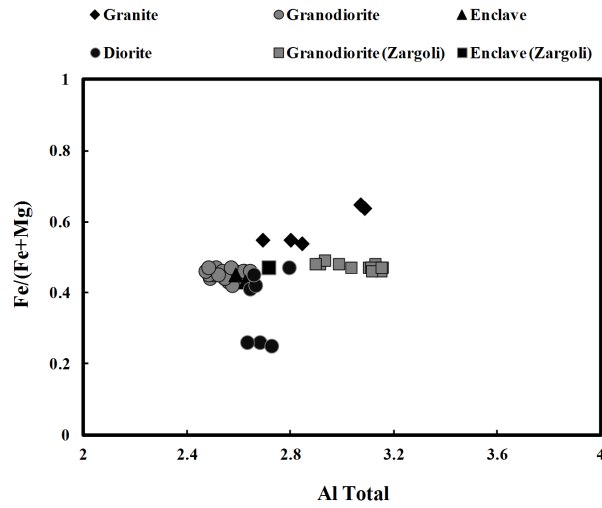
در بین دیاگرام‌های ترسیم شده با استفاده از ترکیب شیمیایی بیوتیت، دیاگرام Al در برابر $Fe/(Fe+Mg)$ از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا این دو متغیر به ترتیب نشانگرهای وضعیت پرآلومینی و اکسیداسیون سنگ میزبان میکا هستند و می‌توانند شرایط غالب در ماگمای میزبان را نشان دهند [۱۵]. مطابق شکل ۷ مقدار آلومینیم کل بیوتیت‌های موجود در توده نفوذی زرگلی بیش‌تر از ۲/۷ (۲/۷ تا ۳/۱) است و نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در این بیوتیت‌ها متوسط و تقریباً ثابت است (۰/۴۶ تا ۰/۴۹). چنین مقادیری نشان‌دهنده حضور مواد آلومینوس پوخته بالایی (رسوبات دگرگون شده) در

ماگما توسط فرایند هضم می‌باشد؛ که این مطلب توسط حضور برونوم‌های سورمیکاسه موجود در سنگ‌های توده تأیید می‌شود. هم‌چنین نسبت‌های $Fe/(Fe+Mg)$ متوسط و نسبتاً یکنواخت این بیوتیت‌ها می‌تواند نشان دهنده‌ی شرایط اکسیدان ماگما و ماهیت اولیه بیوتیت‌ها باشد [۱۹]. مقدار آلومینیم کل بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانودیوریت‌های زاهدان از ۲/۴ تا ۲/۶ در تغییر می‌باشد و نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در این بیوتیت‌ها مشابه بیوتیت‌ها گرانودیوریت زرگلی متوسط و تقریباً ثابت است (۰/۴۳ تا ۰/۴۷). این مقادیر مشخص می‌نماید که ماگمای سازنده گرانودیوریت‌های زاهدان به نسبت ماگمای سازنده گرانودیوریت زرگلی کمتر به وسیله سنگ‌های پوخته آلایش یافته‌اند. نسبت‌های $Fe/(Fe+Mg)$ متوسط و نسبتاً یکنواخت این بیوتیت‌ها نیز می‌تواند نشان‌دهنده‌ی شرایط اکسیدان ماگما و ماهیت اولیه بیوتیت‌ها باشد [۱۹].

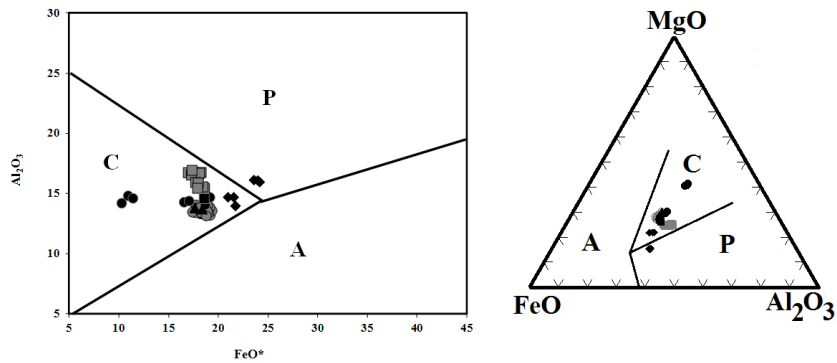
مقادیر میانگین $FeO^*(total\ iron)$ ، MgO و Al_2O_3 برای بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانودیوریت زرگلی به ترتیب ۱۷/۸، ۱۱/۱ و ۱۶/۱ درصد وزنی، برای بیوتیت‌های گرانودیوریت زاهدان به ترتیب ۱۸/۳، ۱۲/۵ و ۱۳/۶ و برای بیوتیت‌های دیوریت زاهدان به ترتیب ۱۷/۵، ۱۲/۹ و ۱۴/۲ می‌باشد که با میانگین جهانی این اکسیدها برای بیوتیت‌های سری‌های کالک‌آلکانل انطباق دارد [۴]. هم‌چنین میانگین نسبت FeO^*/MgO برای بیوتیت‌های گرانودیوریت زرگلی ۱/۵۹، برای بیوتیت‌های گرانودیوریت زاهدان ۱/۴۶ و برای بیوتیت‌های دیوریت زاهدان ۱/۳۵ به دست آمده که به میانگین جهانی سری کالک‌آلکانل (۱/۷۶) بسیار نزدیک است. تمامی این بیوتیت‌ها مطابق با تقسیم‌بندی [۴] به خوبی در محدوده‌ی کالک‌آلکانل قرار می‌گیرند (شکل ۸). اما مقادیر میانگین FeO^* ($total\ iron$)، Al_2O_3 ، MgO و FeO^*/MgO برای بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانیته زاهدان به ترتیب ۲۲/۶، ۸/۵، ۱۵ و ۲/۶ می‌باشد که برای بیوتیت‌های سری پرآلومین صادق است. مطابق با شکل ۸، از شش نمونه آنالیز شده از این بیوتیت‌ها سه نمونه در محدوده پرآلومین و سه نمونه دیگر در محدوده کالک‌آلکانل و نزدیک به محدوده پرآلومین قرار می‌گیرند.



شکل ۶. موقعیت بیوتیت‌های آنالیز شده در دیاگرام /۹/ علائم مشابه شکل ۵ هستند.



شکل ۷. موقعیت بیوتیت‌های مورد مطالعه در دیاگرام $Fe/(Fe+Mg)$ در برابر Al همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر آلومینیوم کل گرانودیوریت زرگلی بالاتر از مقادیر آلومینیوم کل گرانودیوریت زاهدان است.



شکل ۸. موقعیت بیوتیت‌های بررسی شده در دیاگرام‌های دو و سه تایی [۴]؛ محدوده A ، سری‌های آلکان (اکثرأ مرتبط با محیط‌های کششی غیر کوهزا) شامل گرانیتهای تیپ A ؛ محدوده P ، سنگ‌های پرآلومین شامل گرانیتهای برخوردی و تیپ S ؛ و محدوده C ، سری‌های کالک‌آلکان (اکثرأ مرتبط با محیط‌های فرورانشی کوهزا) شامل گرانیتهای تیپ I . علائم مشابه شکل ۷ می باشد.

باشد. بیوتیت‌های گرانیته زاهدان بیش‌ترین میزان آهن و کمترین مقدار منیزیم را در بین نمونه‌های آنالیز شده دارا هستند که می‌تواند نشان‌دهنده یک منشأ پوسته‌ای کم عمق برای آن‌ها باشد. بر این اساس به نظر می‌رسد که یک ارتباط معنی‌دار بین میزان آهن و منیزیم بیوتیت و عمقی که ماگمای سازنده‌اش از آن منشأ می‌گیرد وجود دارد.

۵- تعیین گریزندگی اکسیژن

با استفاده از نمودار $LogfO_2-T$ و نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در کانی بیوتیت می‌توان میزان گریزندگی اکسیژن در ماگما را به صورت کمی تخمین زد [۱۸]. لازم به ذکر است که بر اساس مطالعات صورت گرفته [۳ و ۱۴] فشار تقریبی جایگیری توده نفوذی زرگلی ۱/۵ تا ۲/۵ کیلوبار و دمای آن ۷۶۷/۴ تا ۷۸۹/۳ تعیین شده است.

نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانودیوریت‌های زرگلی و زاهدان پایین و دارای دامنه تغییرات کم است که این موضوع نشان‌دهنده گریزندگی اکسیژن نسبتاً بالا ماگما و تغییرات کم آن است. میزان گریزندگی اکسیژن در ماگماهای سازنده این گرانودیوریت‌ها برای یک محدوده دمایی ۷۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۰۷۰ بار با استفاده از نمودار $LogfO_2-T$ و نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ کانی بیوتیت تقریباً 10^{-12} تا 10^{-13} بار به دست می‌آید (شکل ۱۰). بر این اساس مقدار گریزندگی اکسیژن به دست آمده از این روش بین بافرهای گریزندگی اکسیژن نیکل-اکسید نیکل (NNO) و هماتیت-مگنتیت (HM) [۲۱] واقع می‌شود که در واقع نشان‌دهنده یک شرایط اکسیدان عادی در ماگما می‌باشد (شکل ۱۱). هم‌چنین میزان گریزندگی اکسیژن در ماگمای سازنده گرانیته زاهدان برای یک محدوده دمایی ۷۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۰۷۰ بار با استفاده از نمودار $LogfO_2-T$ و نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ کانی بیوتیت تقریباً 10^{-14} تا 10^{-15} بار به دست می‌آید (شکل ۱۰). این مقدار گریزندگی اکسیژن بین بافرهای گریزندگی اکسیژن نیکل-اکسید نیکل (NNO) و کوارتز-فایالیت-مگنتیت (QFM) [۱۵] واقع می‌شود و نشان‌دهنده یک شرایط اکسیدان در ماگما می‌باشد (شکل ۱۱).

یانگ و همکاران [۲۰] بیوتیت‌هایی از دو سری گرانیته با ژنز متفاوت از جنوب چین را مطالعه کرده و پی برده‌اند که بیوتیت‌های گرانیته کم‌عمق، بیوتیت‌هایی غنی از آهن هستند در حالی که بیوتیت‌های گرانیته عمیق، بیوتیت‌هایی غنی از منیزیم هستند. هیومین و همکاران [۱۰] نیز عنوان کرده‌اند که بیوتیت‌های توده نفوذی مورد مطالعه‌شان غنی از منیزیم هستند (مقادیر میانگین MgO و FeO بیوتیت‌های این توده به ترتیب ۱۳ و ۱۶/۵ درصد است) و بر این اساس یک منشأ عمیق را برای ماگمای والد توده نفوذی پیشنهاد می‌کنند و عنوان می‌نمایند که مشتق شده از گوشته فوقانی است [۱۰]. بیوتیت‌های آنالیز شده از گرانودیوریت‌ها (زرگلی و زاهدان) و دیوریت‌های (زاهدان) نیز غنی از منیزیم هستند (مقادیر میانگین MgO و FeO این بیوتیت‌ها به ترتیب ۱۲ و ۱۸ درصد است). بر این اساس ماگمای والد سنگ‌های گرانودیوریتی (زرگلی و زاهدان) و دیوریتی (زاهدان) دارای یک منشأ عمیق پوسته‌ی تحتانی - گوشته‌ی فوقانی است. هم‌چنین بیوتیت‌های آنالیز شده از سنگ‌های گرانیته زاهدان فقیر از منیزیم و غنی از آهن هستند (مقادیر MgO و FeO در این بیوتیت‌ها به ترتیب ۸/۵ و ۲۳ درصد است) و به عنوان گرانیته‌هایی با منشأ کم عمق پوسته‌ای می‌باشند.

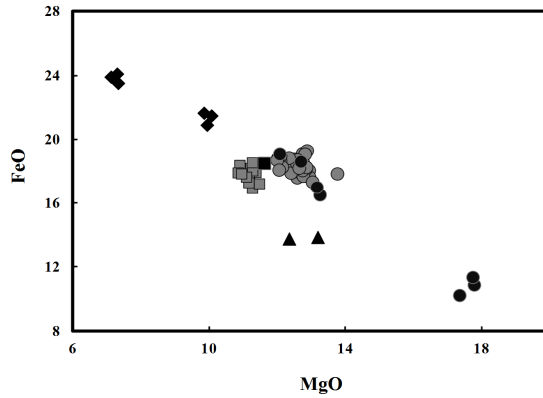
این نتیجه‌گیری توسط داده‌های ژئوشیمی و ایزوتوپی توده گرانیته‌ی زاهدان تأیید می‌شود [۱ و ۲]، به طوری که [۱ و ۲] عنوان داشته‌اند که سنگ‌های گرانیته زاهدان محصول تبلور مذاب حاصل از ذوب سنگ‌های دگرگونی پوسته‌ای و سنگ‌های گرانودیوریتی زاهدان حاصل تبلور تفریقی ماگمایی از سنگ‌های آذرین پوسته تحتانی یا گوشته فوقانی هستند. در شکل ۹ نیز می‌توان مشاهده نمود که سه نمونه از بیوتیت‌های آنالیز شده از دیوریت‌های زاهدان بیش‌ترین میزان منیزیم و کمترین مقدار آهن را در بین نمونه‌های آنالیز شده دارا هستند که می‌تواند نشان‌دهنده تبلور آن‌ها از یک ماگمای گوشته‌ای باشد. نمونه‌های آنالیز شده از هر دو نوع گرانودیوریت (زرگلی و زاهدان) نسبت به بیوتیت‌های دیوریت‌ها منیزیم کمتر و آهن بیش‌تری دارند و تقریباً در یک محدوده متمرکز شده‌اند که می‌تواند مشخص‌کننده تبلور آن‌ها از یک ماگما با منشأ عمیق پوسته‌ای، حاصل از ذوب سنگ‌های آذرین در اثر نفوذ ماگمای گوشته‌ای

ماگمای سازنده‌ی گرانودیوریت‌ها و گرانیت‌های مورد مطالعه تأییدکننده‌ی یک محیط فرورانشی و کوهزایی برای تشکیل آن‌هاست.

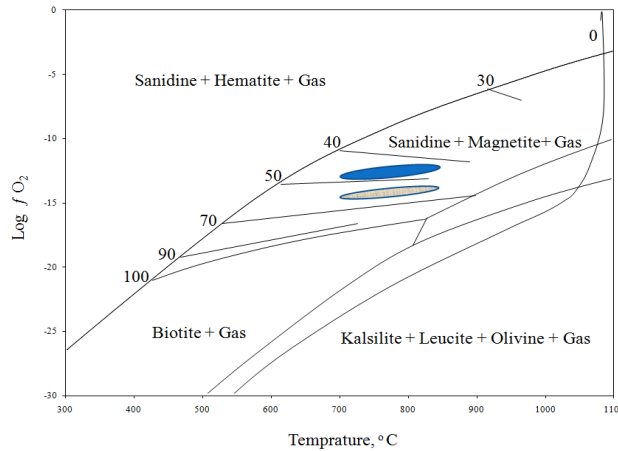
بنابه عقیده [۵] توده‌های نفوذی مرتبط با کمان‌های آتشفشانی نسبت به توده‌های غیر کوهزایی در گریزندگی اکسیژن بالاتری متبلور می‌شوند و دارای مگنتیت بیش‌تری هستند. بنابراین گریزندگی اکسیژن بالا در

جدول ۱. نتایج آنالیز ریزپردازشی بیوتیت‌های موجود در گرانودیوریت زرگلی

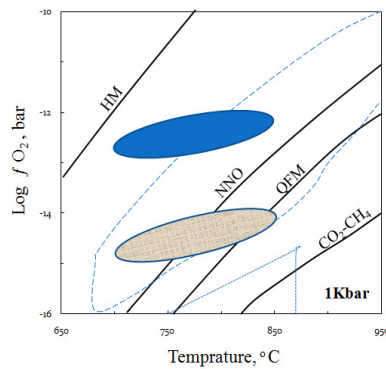
Sample	gr1					gr2				gr3				Enc
	core	rim	core	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	
SiO ₂	۳۶/۳	۳۶/۴۴	۳۶/۴۵	۳۶/۱۲	۳۶/۲۲	۳۶/۶	۳۶/۰۴	۳۶/۶	۳۶/۵	۳۶/۸	۳۶/۶	۳۷	۳۷/۴	۳۷/۲
TiO ₂	۳/۰۲	۲/۴۶	۲/۶۶	۲/۸۵	۲/۹۴	۲/۸۵	۳	۳/۱۴	۲/۹۴	۳	۱/۸۵	۲/۸۶	۳/۲۵	۳/۸۶
Al ₂ O ₃	۱۶/۶	۱۶/۶۱	۱۶/۷۸	۱۶/۷۹	۱۶/۷۶	۱۶/۷۲	۱۶/۵۷	۱۶/۹۵	۱۵/۴۴	۱۵/۵۹	۱۵/۹۵	۱۵/۹	۱۵/۵	۱۴/۶
Cr ₂ O ₃	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۹	۰	۰/۰۶	۰/۱۷
FeO	۱۷/۸۶	۱۷/۹۶	۱۸/۲۲	۱۷/۴۷	۱۶/۹۳	۱۶/۰۶	۱۷/۲۴	۱۷/۳۱	۱۸/۵۷	۱۸/۴۱	۱۷/۶۷	۱۷/۹۳	۱۷/۸۷	۱۸/۵۳
MnO	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۴	۰/۳۴	۰/۳۸
MgO	۱۱/۱۷	۱۱/۳۶	۱۱/۲۱	۱۱/۱۶	۱۱/۲۶	۱۱/۲۶	۱۱/۴۶	۱۱/۱۵	۱۱/۲۵	۱۰/۸۹	۱۱/۰۸	۱۰/۸۴	۱۰/۹۴	۱۱/۶۱
CaO	۰	۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۱	۰	۰/۰۱	۰
Na ₂ O	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹
K ₂ O	۹/۸۵	۹/۷۵	۹/۷۳	۹/۴۲	۹/۶	۹/۷۳	۹/۶۷	۹/۹۱	۹/۸	۹/۸۳	۹/۹	۹/۸۷	۹/۵	۹/۸۳
F	۰	۰	۰	۰/۰۸	۰/۴۶	۰	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۳	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۴	۰
Cl	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰
O_F_Cl	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰/۲	۰	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۷	۰
Total	95/3	95/09	95/6	94/5	94/7	95/7	94/9	95/8	95/2	95/1	93/9	94/9	95/2	96/2
Number of cationes based on 24 (O,OH,F)														
Si	۵/۷۶	۵/۸	۵/۷۷	۵/۷۸	۵/۷۸	۵/۷۷	۵/۷۵	۵/۷۷	۵/۸۴	۵/۸۸	۵/۹۱	۵/۹	۵/۹۴	۵/۸۷
Al ^{IV}	۲/۲۴	۲/۲	۲/۲۳	۲/۲۲	۲/۲۲	۲/۲۲	۲/۲۵	۲/۲۳	۲/۱۶	۲/۱۲	۲/۰۹	۲/۱	۲/۰۶	۲/۱۳
Al ^{VI}	۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۹	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۵۸
Ti	۰/۳۶	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۴۶
Fe ²⁺	۲/۳۷	۲/۳۹	۲/۴۱	۲/۳۳	۲/۲۶	۲/۳۹	۲/۳	۲/۲۹	۲/۴۹	۲/۴۶	۲/۳۹	۲/۳۹	۲/۳۷	۲/۴۵
Cr	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۲
Mn	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Mg	۲/۶۴	۲/۶۹	۲/۶۴	۲/۶۵	۲/۶۸	۲/۶۵	۲/۷۲	۲/۶۲	۲/۶۹	۲/۵۹	۲/۶۷	۲/۵۸	۲/۵۹	۲/۷۳
Ca	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰
Na	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
K	۱/۹۹	۱/۹۸	۱/۹۶	۱/۹۲	۱/۹۵	۱/۹۶	۱/۹۷	۱/۹۹	۲	۲	۲/۰۴	۲/۰۱	۱/۹۲	۱/۹۸
Fe#	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۷
Mg#	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۳
F	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰/۲۳	۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۱۱	۰
Cl	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰
OH	۴	۴	۴	۳/۹۵	۳/۷۶	۴	۳/۸۲	۳/۸۹	۳/۸۵	۳/۸۶	۳/۸۴	۳/۹۱	۳/۷۹	۴



شکل ۹. موقعیت بیوتیت‌های بررسی شده در مقایسه با یکدیگر در دیاگرام FeO در برابر MgO ، علائم مشابه شکل ۷ هستند.



شکل ۱۰. نمودار $Log fO_2-T$ برای موازنه بیوتیت + سانیدین + مگنتیت + گاز در فشار کل ۲۰۷۰ بار [۱۸] خطوط عددگذاری شده معرف مقادیر $100 * Fe/(Fe+Mg)$ برای بیوتیت‌های همزاد با سانیدین و مگنتیت هستند. منحنی + نشان دهنده حداکثر پایداری فلوگوپیت و منحنی ۱۰۰ نشان‌دهنده محدوده پایداری آنیت می‌باشد. محدوده مشخص شده تیره‌رنگ نشان‌دهنده گریزندگی اکسیژن برای نمونه‌های آنالیز شده از گرانودیوریت‌ها (زرگلی و زاهدان) و دیوریت‌های زاهدان و محدوده رنگ روشن نشان‌دهنده فوقاسیته اکسیژن برای نمونه‌های آنالیز شده از گرانیت زاهدان با فرض یک محدوده دمایی ۷۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱۱. نمودار گریزندگی اکسیژن در برابر دما [۲۱] برای بیوتیت‌های توده نفوذی زرگلی. منحنی‌ها شرایط fO_2-T را برای بافرهای اکسید-احیاء HM (هماتیت-مگنتیت)، NNO (نیکل-اکسید نیکل)، QFM (کوارتز-فایالیت-مگنتیت) و CO_2-CH_4 نشان می‌دهند. محدوده مشخص شده به وسیله خط چین درشت نشان‌دهنده سنگ‌های نوع I آلوده شده به طور ضعیف، متوسط و شدید و محدوده مشخص شده به وسیله خط چین ریز نشان‌دهنده سنگ‌های نوع I احیایی شدیداً آلوده شده می‌باشد. محدوده بیضی شکل تیره‌رنگ نشان‌دهنده موقعیت گرانودیوریت‌ها (زرگلی و زاهدان) و دیوریت‌های زاهدان و محدوده رنگ روشن نشان‌دهنده موقعیت گرانیت زاهدان است.

۶- نتیجه‌گیری

بیوتیت به عنوان تنها فاز کانیاپی مافیک اصلی در سنگ‌های گرانودیوریتی زرگلی و به عنوان یکی از دو کانی مافیک اصلی (بیوتیت و هورنبلند) در سنگ‌های گرانیتیوئیدی زاهدان حضور دارد. مقدار آلومینیم کل در برابر نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در بیوتیت‌های گرانودیوریت زرگلی نشان‌دهنده حضور مواد آلومینوس پوسسته بالایی (رسوبات دگرگون شده) در ماگما توسط فرایند هضم می‌باشد. این فاکتور در بیوتیت‌های گرانودیوریت زاهدان مشخص کننده آرایش کمتر ماگمای سازنده این گرانودیوریت‌ها به نسبت ماگمای سازنده گرانودیوریت زرگلی به وسیله سنگ‌های پوسسته است. بررسی شیمی کانی بیوتیت مشخص کرد که گرانودیوریت‌های مورد مطالعه از نوع I بوده و از یک ماگمای گرانیتی کالک آلکالن تشکیل شده‌اند. این ماگما در یک محیط فرورانشی صعود نموده و با سنگ‌های رسوبی پوسسته فوقانی آرایش یافته است. بر اساس این شواهد مشخص می‌گردد که ماگماهای سازنده گرانودیوریت‌های زرگلی و زاهدان ارتباط بسیار نزدیکی داشته و در واقع ماگمای سازنده گرانودیوریت‌های زرگلی یک نمونه آرایش یافته‌تر از ماگمای سازنده گرانودیوریت‌های زاهدان است. همچنین بر اساس شیمی کانی بیوتیت، گرانیت زاهدان از یک ماگمای پرآلومین تشکیل شده است. میزان منیزیم و آهن در بیوتیت‌های آنالیز شده از دیوریت‌ها به ترتیب بیش‌ترین و کمترین مقدار در بین نمونه‌های آنالیز شده می‌باشد که به علت تبلور آن‌ها از یک ماگمای گوشته‌ای است. نمونه‌های آنالیز شده از هر دو نوع گرانودیوریت نسبت به بیوتیت‌های دیوریت‌ها منیزیم کمتر و آهن بیش‌تری دارند که می‌تواند مشخص کننده تبلور آن‌ها از یک ماگما با منشأ عمیق پوسسته‌ای، حاصل از ذوب سنگ‌های آذرین در اثر نفوذ ماگمای گوشته‌ای باشد. همچنین بیوتیت‌های گرانیت زاهدان بیش‌ترین میزان آهن و کمترین مقدار منیزیم را در بین نمونه‌های آنالیز شده دارا هستند که می‌تواند نشان‌دهنده یک منشأ پوسسته‌ای کم عمق برای آن‌ها باشد.

منابع

- [۱] صادقیان، م (۱۳۸۳) ماگماتیسم، متالورژی و مکانیسم جایگزینی توده گرانیتیوئیدی زاهدان، رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده علوم، ۴۵۰ ص.
- [۲] قاسمی، ح. ا.، صادقیان، م.، کرد، م.، خانعلی‌زاده، ع (۱۳۸۸) سازوکار شکل‌گیری باتولیت گرانیتیوئیدی زاهدان، جنوب‌شرق ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴، ۵۵۱-۵۷۸.
- [۳] کشتگر، ش (۱۳۸۳) پترولوژی، ژئوشیمی و تحلیل ساختاری گرانیت‌های زرگلی (شمال‌غرب زاهدان)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۶۱ ص.
- [4] Abdel-Rahman A. M (1994) Nature of biotites for alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas, *Journal of Petrology* 35, 525-541.
- [5] Anderson J. L., Smith D. R (1995) The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer, *American Mineralogist* 80, 549-559.
- [6] Camp V. E., Griffis, R. J (1982) Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan Suture Zone, eastern Iran, *Lithos* 15, 221-239.
- [7] De Pieri R., Jobstraibizer Padova (1983) Crystal chemistry of biotites from dioritic to granodioritic rock-types of Adamello Massif (Northern Italy), *Neues Jahrbuch Miner. Abh.* 148, 58-82.
- [8] Esmaeily D., Maghdour-Mashhour R (2009) Geochemistry of biotites from Boroujerdgranitoid complex, SSZ, Iran: A crucial factor for illustration petrogenesis and tectonomagmatic environment of host rock?, *Geophysical Research Abstracts*, vol.11. EGU 7980.
- [9] Foster M.D (1960) Interpretation of the composition of trioctahedral micas, *United states Geological Survey Professional Paper* 354-B 11-46
- [10] Huaimin X., Shuwen D., Ping J (2006) Mineral chemistry, geochemistry and U-Pb SHRIMP zircon data of the Yangxinmonzonitic intrusive in the foreland of the Dabieorogen, *Science in China: Series D Earth Sciences* 49, 684-695.
- [11] Middelhaar, W. T., Keith, J. D (1990) Mica chemistry as an indicator of oxygen and halogen fugacities in the CanTung and other W-related granitoids in the North American Cordillera, *Geological Society of America, Special Paper*, 246, 205-220.
- [12] Monuz J.L (1984) F-OH and Cl-OH exchange in mica with application to hydrothermal ore deposits, *Reviews in Mineralogy* 13 469-493.
- [13] Nachit H., Lbhi A., Abia E.H., Ohoud M.B (2005) Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and magmatic biotites and neoformed biotites, *Geomaterials (Mineralogy), Geoscience* 337 1415-1420.

- [14] Rezaei-Kahkhaei M., Kananian A., Esmaeily D., Asiabanha A (2010) *Geochemistry of the Zargoli granite: Implications for development of the Sistan Suture Zone, southeastern Iran*, *Island Arc* 19, 259-276.
- [15] Shabani A.T., Lalonde A.E., Whalen J.B (2003) *Composition of biotite from granitic rocks of the Canadian Appalachian orogen: A potential tectonomagmatic indicator? The Canadian Mineralogist* 41, 1381-1396.
- [16] Spear J.A (1984) *Micas in igneous rocks*, In: *Micas*, Bailey S.W., (ed); *Mineralogical Society of America Review in Mineralogy*, 13 299-356.
- [17] Streckeisen A (1976) *To each plutonic rock its proper name*, *Earth Sci. Rev.* 12, 1-33.
- [18] Wones D. R., Eugster H. P (1965) *Stability of biotite: experiment, theory, and application*, *The American Mineralogist* 50, 1228-1272.
- [19] Xianwu B., Ruizhong H., Hanley J.J., Mungall J.E., Jiantang P., Linbo S., Kaixing W., Yan S., Hongli L., Xiaoyan H (2009) *Crystallisation condition (T, P, fO₂) from mineral chemistry of Cu- and Au-mineralised alkaline intrusions in the Red River-Jinshajiang alkaline igneous belt, western Yunnan Province, china*, *Miner. Petrol.*, 96, 43-58.
- [20] Yang W J., Wang L K., Zhang S L., et al (1986) *Micas of the two series of granites in south China*, *Acta Mineral Sin (in Chinese)*, 6(4): 298-307.
- [21] Yang X. M., Lentz D. R (2005) *Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusions, southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution, and fluorine-chlorine activity*, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 150, 287-305.

Study of mineral chemistry of biotite in Zargoli granitoid, Northwest of Zahedan

M. Saravani-Firouz^{*1}, *A. Kananian*², *M. Rezaei-Kahkhaei*³ and *M. R. Ghodsi*⁴

1, 2- Faculty of Geology, University of Tehran, Tehran

3- Faculty of Earth Sciences, University of Shahrood, Shahrood

4- Dept., of Geology, University of Sistan and Baluchestan

*saravani_mahdi@yahoo.com

Received: 2017/4/3 Accepted: 2017/10/7

Abstract

Zargoli granitoid is located in the northwest of Zahedan and south-east of Iran. This granitoid is composed mainly of granodiorite. Mineral chemistry of biotite was studied in granodiorite rocks with the aid of EPMA and the results of this study were compared with the mineral chemistry data of biotite in Zahedan granitoids. Total amount of aluminum in comparison to $Fe / (Fe + Mg)$ ratio in biotites of Zargoli granodiorite indicates the presence of aluminous upper crust materials (metamorphosed sediments) in magma by digestion process. Total Al amounts of biotites of Zahedan granodiorite were lower than those of Zargoli granodiorite and it is indicative that the magma of Zahedan granodiorite is less contaminated by crustal rocks. The study of mineral chemistry of biotite determines that the studied granodiorites were I-type and composed of a calc-alkaline granitic magma. This magma climbed in a subduction environment and contaminated with sedimentary rocks of the upper crust. The chemistry study of biotite determines a relatively high oxygen fugacity (10^{-12} to 10^{-13} bar) and an oxidant conditions for granodioritic magmas studied. The amount of oxygen fugacity in the Zahedan granite magma is obtained from 10^{-14} to 10^{-15} bar which in fact represents a weak oxidizing condition in the Zahedan granite magma.

Keywords: Biotite, Mineral chemistry, Zargoli Granitoid, Zahedan, Sistan