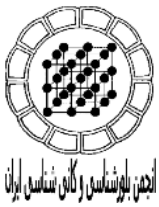
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال هجدهم، شماره‌ی ۱، بهار ۸۹، از صفحه‌ی ۱۲۵ تا ۱۳۴



توالی مجموعه‌ی کانی‌شناختی هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد

سید مسعود همام*، بهنام رحیمی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۸/۴/۸ ، نسخه نهایی: ۸۸/۸/۱۲)

چکیده: در این کار پژوهشی توالی مجموعه‌های کانی‌شناختی در سنگ‌های متاپلیتی هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مقایسه‌ی این مجموعه‌های کانی‌شناختی با توالی مجموعه‌های کانی‌شناختی هاله‌های دگرگونی جهان، هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد از نوع 2b است. بنابراین فشار بین ۳/۵ تا ۴/۵ کیلوبار و بیشینه دمای حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای این هاله برآورد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توالی *دگرگونی، مجموعه‌ی کانی‌شناختی، هاله‌ی دگرگونی، گرانیت مشهد.*

مقدمه

به رغم ایده‌ی مرسوم از هاله‌های دگرگونی که با وجود کانی-هایی چون کوردیوریت و آندالوزیت در دمای پایین و سیلیمانیت در دمای بالا شناخته می‌شوند، این هاله‌ها بر حسب عمق نفوذ توده‌های نفوذی می‌توانند مجموعه‌های کانی‌شناختی بسیار متنوعی را به نمایش بگذارند. نخستین بار رده‌بندی هاله-های دگرگونی بر حسب فشار و بر اساس بررسی ۷۶ هاله‌ی دگرگونی توسط [۱] ارائه شد. بر این اساس هاله‌های دگرگونی به چهار گروه اصلی و چندین زیر گروه قابل تقسیم‌اند. با توجه به عدم وجود یک زمین- دما- فشارسنجی دقیق روی هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد، بررسی مجموعه‌های کانی‌شناختی این هاله و مقایسه‌ی آن با رده‌بندی [۱] می‌تواند منجر به ارائه اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با شرایط دما و فشار تشکیل این هاله و عمق نفوذ توده‌های گرانیتی مشهد شود.

آشنایی با گونه‌های دگرگونی

[۱] بر اساس توالی‌های مختلف مجموعه‌های کانی‌شناختی در سنگ‌های متاپلیتی از هاله‌های دگرگونی مهم دنیا این سنگ‌ها را از نظر زنجیره‌ی رخساره‌ای به چهار نوع رده‌بندی کرده‌اند (جدول ۱). زنجیره‌ی رخساره‌ای نوع یک که خود شامل دو زیر گروه 1a و 1b است با گسترش کوردیریت و آندالوزیت در درجات پایین تا متوسط و همزیستی پایدار آندالوزیت-پتاسیم فلدسپار یا آندالوزیت-سیلیمانیت-پتاسیم فلدسپار در درجه‌های بالای دگرگونی شناخته می‌شوند. زیر گروه 1a با وجود کوردیوریت و عدم حضور آندالوزیت تا زمان واکنش مسکویت + کوارتز، گسترش کوردیوریت + پتاسیم فلدسپار در دمای پایین-تر از واکنش مسکویت + کوارتز، پایداری مجموعه‌ی آندالوزیت-پتاسیم فلدسپار، عدم حضور سیلیمانیت، مگر در دماهای بسیار بالا، و نهایتاً حضور اسپینل و هیپرستن و عدم وجود گارنت در مجموعه‌های کوردیوریت‌دار با دمای بسیار بالا تشخیص داده می‌شود. زیر گروه 1b از نظر سرشتی‌های کانی‌شناختی در درجات پایین و متوسط کاملاً مشابه گروه 1a است با این تفاوت که در دماهای بالاتر از واکنش مسکویت + کوارتز، سیلیمانیت، چندریخت پایدار آلومینیوم سیلیکات است.

* نویسنده مسئول، تلفن- نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: homam@ferdowsi.um.ac.ir

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۱ گستره‌ی فشار سری‌های رخساره‌ای بر حسب کیلو بار با استفاده از منحنی‌های تعادلی مختلف بر گرفته از [۱].

سری‌های رخساره‌ای	هالدووی [۱۱]	پتیسون [۱۰]
1a	<۲	<۳
1b	۲/۵-۱/۵	۳-۲/۵
2a	۳-۲	۳-۴
2b	۳/۵-۲/۵	۴/۵-۳/۵
3	۵/۵-۳	۵/۵-۴
4	>۵/۵	>۵/۵

زنجیره‌ی رخساره‌ای نوع دو با گسترش ترکیبی از کانی‌ها شامل کوردیوریت، آندالوزیت، استارولیت و گارنت در درجات پایین تا متوسط و پیدایش سیلیمانیت در درجات پایین‌تر از واکنش مسکویت + کوارتز شناخته می‌شود. درجات بالای این زنجیره با حضور مجموعه‌ی بیوتیت-گارنت-سیلیمانیت-کوردیوریت شناخته می‌شود. این زنجیره‌ی رخساره‌ای دارای دو زیر رخساره‌ی شامل ۲a و ۲b است. زیر رخساره ۲a شباهت زیادی با نوع ۱b دارد با این تفاوت که در نوع ۲a سیلیمانیت در درجات پایین‌تر از واکنش مسکویت + کوارتز ظاهر می‌شود. کوردیوریت فاز پایدار درجات پایین تا متوسط این زنجیره بوده و سنگ‌های حاوی استارولیت در درجات یادشده به ندرت گزارش شده‌اند. زیر رخساره‌ی ۲b با حضور آندالوزیت و استارولیت در درجات پایین تا متوسط قابل تشخیص است. گارنت فاز معمول همه‌ی درجات دگرگونی بوده ولی کوردیوریت صرفاً در درجات بسیار بالا گزارش شده است. سیلیمانیت در درجات پایین‌تر از واکنش مسکویت + کوارتز ظاهر می‌شود. حضور کیانیت در برخی از هاله‌های دگرگونی وابسته به این زیر رخساره، یک شاخص مهم برای آن محسوب می‌شود که اهمیت آن مورد جدال فراوان علمی است [۲].

زنجیره‌ی رخساره‌ای نوع سه شباهت بسیار زیادی با زیر رخساره‌ی ۲b دارد با این تفاوت که سیلیمانیت تنها چند ریخت پایدار آلومینیوم سیلیکات بوده و در زنجیره‌ی کانی-شناختی پس از استارولیت دیده شود. در زنجیره‌ی رخساره‌ای نوع چهار این کانی کیانیت است که شکل‌گیری آن پس از استارولیت است. کانی سیلیمانیت در این سری در درجات پایین‌تر از واکنش مسکویت + کوارتز تشکیل می‌شود.

موقعیت زمین شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

کوه‌های بینالود در شمال شرقی ایران به عنوان بخشی از رشته کوه البرز، یک نوار چین خورده-گسلیده از پهنه‌های رورانده با ساختار دوگانه‌ی طاق‌گون را تشکیل داده‌اند. بالاترین پهنه‌ی ساختاری در دوگانه یاد شده را مجموعه دگرگونی جنوب مشهد تشکیل می‌دهد [۳]. [۳] مجموعه‌ی دگرگونی مشهد را بقایایی از یک مجموعه فزاینده‌ای می‌داند که طی فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی پالئوتتیس به زیر حاشیه‌ی جنوبی توران، در لبه‌ی توران تشکیل و پس از برخورد خرد پهنه‌ی ایران و توران در تریاس پسین در لبه‌ی شمالی خرد پهنه‌ی ایران جایگزین شده است. [۳] توصیف دقیقی از سنگ‌شناسی این مجموعه ارائه کرده است. وی سنگ‌های این مجموعه را به سه گروه رده‌بندی کرد:

الف) سنگ‌های افیولیتی: این سنگ‌ها در مجموعه‌ی دگرگونی مشهد به صورت دو رخنمون جدا از هم در جنوب - جنوب غربی مشهد و شمال غربی آن در دهکده‌ی ویرانی مشاهده می‌شوند. پریدوتیت (با ترکیب ورلیت و لرزولیت)، پیروکسینیت، گابروی ایزوتروپ و بازالت با ساخت بالشی از اجزای مهم این بخش‌اند. لایه‌های متاچرت و مرمر با لایه‌بندی نازک اولیه در میان گدازه‌های بازالتی دیده می‌شوند. در این مجموعه افیولیتی اثری از دایک‌های صفحه‌ای و گابروهای لایه‌ای به چشم نمی‌خورد. [۴] با بررسی ژئوشیمی سنگ‌های اولترامافیک و مافیک در این مجموعه، آن‌ها را از نوع تولئیت‌های غنی از منیزیوم و مشابه کماتئیت‌های آرکئن آفریقای جنوبی و کانادا می‌داند. وی خاستگاه این سنگ‌ها را پوسته‌ی اقیانوسی معرفی می‌کند.

ب) ته‌نشست‌های دگرگون شده: بخش افیولیتی در سنگ‌های دگرگونی جنوب مشهد با مجموعه‌ی ضخیمی از فیلیت، اسلیت،

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

شیست، مرمر، متا کنگلومراهای کربناتی و اولیستسترم‌ها احاطه شده است. این مجموعه که در برخی موارد میان لایه‌های اندکی از گدازه‌های مافیک حفره‌دار (در حال حاضر آمفیبولیت) را در خود جای داده است، ویژگی‌های ته‌نشستی نهشته‌های توربیدیتی عمیق را نشان می‌دهند. دانه‌بندی تدریجی، توالی-های ناقص و کامل بوما و نیز وجود بیگانه سنگ در این مجموعه دال بر خاستگاه توربیدیتی آن‌ها است.

ج) سنگ‌های آذرآواری: در مجموعه‌ی دگرگونی مشهد، رخنمون‌های اندکی از سنگ‌های آذرآواری دگرگون شده نظیر متا توف و متا لاپیلی توف به چشم می‌خورد. [۳] وجود این مجموعه را در سنگ‌های دگرگونی مشهد، که حاصل آتشفشانی در شرایط خشکی است، نشانه‌ای از حضور یک قوس ماگمایی در نزدیک به سنگ‌های دگرگونی می‌داند.

در مجموعه‌ی دگرگونی مشهد، سنگ‌ها دستخوش یک دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره‌ی شیست سبز شده و متعاقباً با نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی در آن‌ها به وسیله‌ی یک فاز دگرگونی همبری نیز متاثر شده‌اند. [۳] با مشاهده مجموعه سنگ‌های ته‌نشستی و افیولیتی دگرگون شده‌ی زون مشهد که به صورت دگرشیب با توالی از کنگلومرای قاعده‌ای، ماسه سنگ نابالغ و شیل با سن تریاس پسین - ژوراسیک پیشین پوشیده شده‌اند، سن پس از تریاس پسین را برای مجموعه سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی زون دگرگونی مشهد پیشنهاد کرده است.

توده‌های گرانیتو ئیدی با ترکیبی از دیوریت تا پگماتیت و آپلیت، در سنگ‌های مجموعه‌ی دگرگونی جنوب مشهد نفوذ کرده‌اند. [۳] با توجه به حضور قطعاتی از سنگ‌های یادشده در کنگلومرای قاعده‌ی شمشک با سن رتین- لیاس، تشکیل و نفوذ این توده‌ها را پیش از تریاس پسین می‌داند.

توالی کانی‌شناختی در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد

سنگ‌های متاپلیتی هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد در مناطق مختلف و به خصوص در غرب و جنوب مشهد مجموعه‌های کانی‌شناختی متنوع و مختلفی را نشان می‌دهند. به همین دلیل امکان ارائه‌ی یک مدل یکنواخت برای تغییرات ایزوگراد-های در این هاله‌ی دگرگونی وجود ندارد. با این وجود و بر اساس بررسی‌های دقیق کانی‌شناختی هم زمینه‌های زیر را می‌توان در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد تعریف کرد:

زون بیوتیت- این زون که در تمامی گستره‌ی هاله در غرب و جنوب مشهد قابل تشخیص است در نمونه‌ی دستی با وجود میکا شیست‌های خاکستری تا سبز رنگ و در مقاطع نازک معمولاً با حضور پورفیروبلاست‌های بیوتیت مشخص می‌شود. مجموعه‌ی کانی‌شناختی شامل بیوتیت-مسکویت-کلریت-پلاژیوکلاز و کوارتز است. در مقاطع میکروسکوپی، گسترش توسعه بیوتیت از کلریت با افزایش تدریجی دو شکستگی (از سبز تا سبز تیره به قهوه‌ای) در کلریت‌ها قابل تشخیص است. در این زون، بیوتیت غالباً به شکل پورفیروبلاست‌های شکل‌دار تا نیمه شکل دار در اندازه‌ی ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر دیده می‌شوند. چرخش شیستوزیته در پیرامون پورفیروبلاست‌های بیوتیت (شکل ۱) و تشکیل گاهگاهی پدیده سایه‌ی فشاری پیرامون آن‌ها به چشم می‌خورد. کوارتز مهم‌ترین انکلوزیون [درونگیر] موجود در پورفیروبلاست بیوتیت محسوب می‌شود.

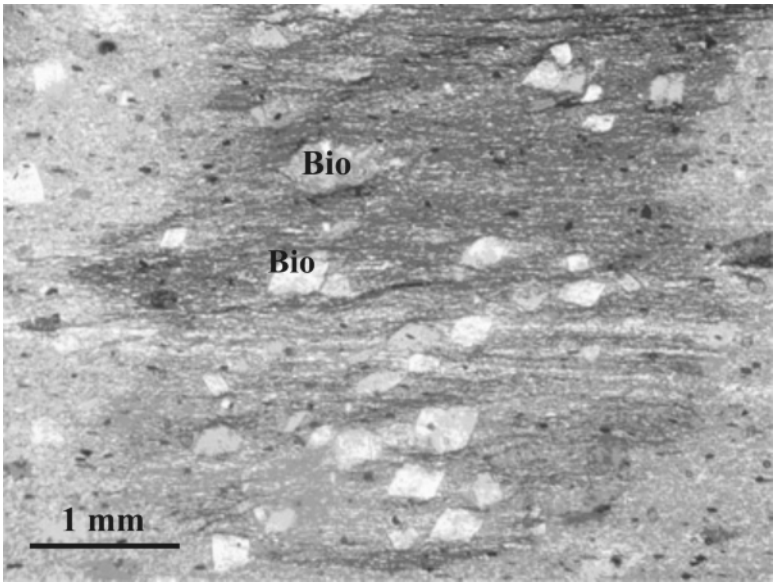
گسترش زون کلریتوئید به جای زون بیوتیت غالباً در جنوب مشهد و به ویژه در شرق روستای خلج قابل تشخیص است. کانی کلریتوئید در نمونه‌ی دستی با رنگ تیره، درخشندگی و رخ چشمگیر قابل تشخیص است. در مقاطع میکروسکوپی کلریتوئیدها به صورت پورفیروبلاست‌هایی با طول حدود۱ تا ۵ میلیمتر (شکل ۲)، چند رنگی سبز که گاهی ماکل پلی سنتتیک و ساعت شنی را از خود نشان می‌دهند دیده می-شوند. در برخی از مقاطع کلریتوئید به شکل بلورهای با سمتگیری متفاوت، در حالی که برگوارگی اصلی سنگ در کنار آن‌ها انحراف یا کج شدگی نشان نمی‌دهد، دیده می‌شود. این امر می‌تواند موید تشکیل آن‌ها پس از رخداد دگرشکلی باشد. با این وجود در بسیاری از نمونه‌ها، انحراف برگوارگی اصلی سنگ در کنار پورفیروبلاست‌های کلریتوئید و تشکیل پدیده‌ی سایه‌ی فشاری در پیرامون آن‌ها معرف شکل‌گیری آن‌ها همزمان یا پیش از دگرشکلی است. مجموعه‌ی کانی‌شناختی این زون با حضور کلریتوئید-مسکویت-کلریت-پلاژیوکلاز و کوارتز و عدم حضور بیوتیت شناسایی می شود. تفاوت در ترکیب شیمیایی سنگ‌های اولیه علت گسترش زون کلریتوئید به جای زون بیوتیت است. کلریتوئید به جای بیوتیت در سنگ-هایی که از نظر میزان آلومین و آهن غنی هستند تشکیل می-شود.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

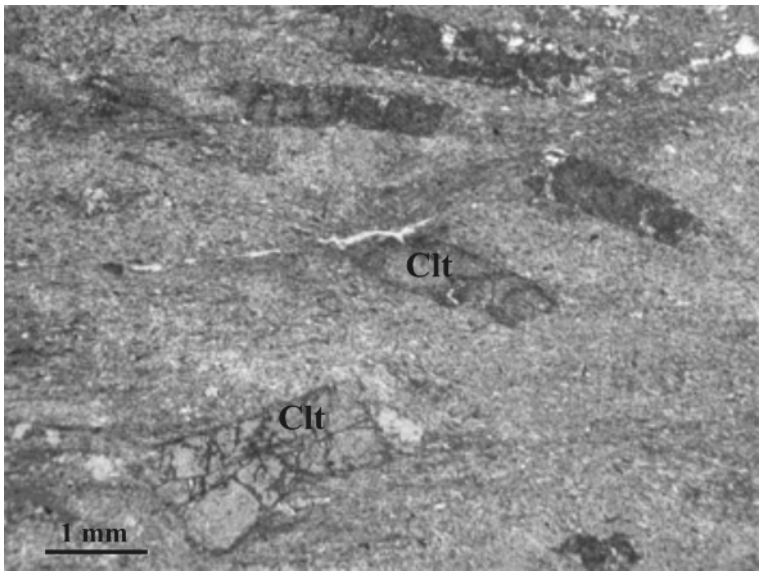
زون گارنت اول- زون گارنت اول از گسترش اندکی در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد برخوردار است. در نمونه‌ی دستی حضور پورفیروبلاست‌های نسبتاً ریز دانه (۱ تا ۲ میلیمتر) گارنت در سطح سنگ به تشخیص این زون در روی زمین کمک می‌کند. مجموعه‌ی کانی‌شناختی این زون شامل گارنت- بیوتیت- مسکویت- کلریت- پلاژیوکلاز و کوارتز است. در مقاطع میکروسکوپی گارنت عموماً به صورت بلورهای شکل‌دار است و نشان دهنده‌ی ادخال‌هایی از نوع کوارتز و کمتر بیوتیت، مسکویت، پلاژیوکلاز و اکسید آهن است (شکل ۳). برگوارگی اصلی سنگ در کنار پورفیروبلاست‌های گارنت عموماً انحراف نشان می‌دهد که نمایانگر تشکیل همزمان یا پیش از دگرشکلی آن‌هاست. واکنش‌های زیر را می‌توان به‌عنوان واکنش‌های پیشنهادی برای تشکیل گارنت در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد در نظر گرفت:

(۱) آب + کوارتز + بیوتیت + گارنت = کلریت + مسکویت

(۲) آب + بیوتیت + گارنت = کوارتز + کلریت + مسکویت

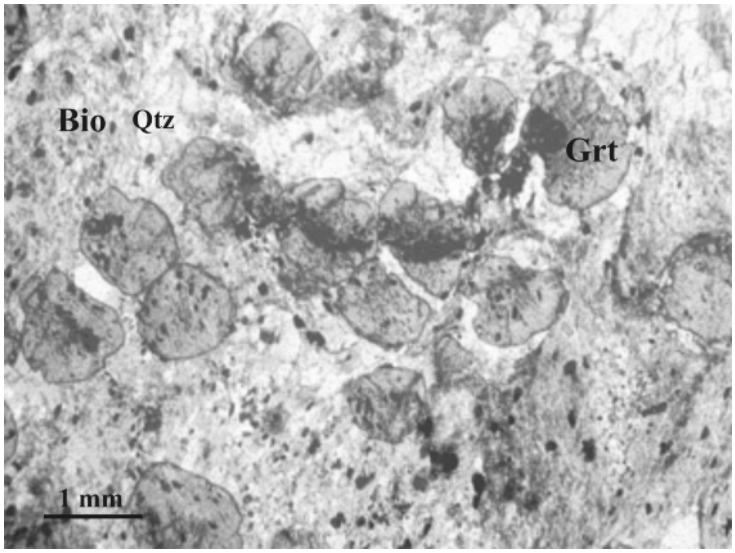


شکل ۱ پورفیروبلاست‌های بیوتیت(Bio) در زون بیوتیت. به چرخش شیستوزیته در پیرامون بیوتیت‌ها توجه کنید.



شکل۲ پورفیروبلاست‌های ماکل‌دار کلریتوئید (Clt).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل۳ پورفیروبلاست‌های ریز دانه گارنت (Grt) حاوی ادخال‌های تیره رنگ کانه در یک زمینه و متشکل از بیوتیت (Bio) و کوارتز (Qtz).

در برخی از مناطق گارنت‌های بسیار فراوان و ریز (کوچکتر از ۰/۵ میلیمتر) در سطح شیستوزیته دیده می‌شوند که به احتمال بسیار زیاد این گارنت‌ها غنی از منگنز بوده و معرف زون گارنت نیستند. زون گارنت در شرق روستای خلج به صورت مجموعه‌هایی شامل گارنت-کلریتوئید-مسکویت-کلریت-پلاژیوکلاز-کوارتز است. در این مجموعه هر دو پورفیروبلاست گارنت و کلریتوئید به صورت خود شکل و کاملاً پایدار دیده می‌شوند (شکل ۴). شواهد بافتی موجود امکان ارائه یک واکنش قطعی در جهت تشکیل این مجموعه‌ی کانیایی را نشان نمی‌دهند. [۵] در بررسی متاپلیتی حاوی میکای سفید-کلریت- کلریتوئید- گارنت کمربند دگرگونی سنندج- سیرجان و بر اساس بررسی‌های [۶، ۷] واکنش‌های زیر را برای تشکیل کانی‌های کلریتوئید و گارنت پیشنهاد کرده‌اند:

(۳) آب + کوارتز + مگنتیت + کلریتوئید = هماتیت + کلریت (غنی از آهن)

(۴) آب + گارنت = کوارتز + کلریتوئید + کلریت

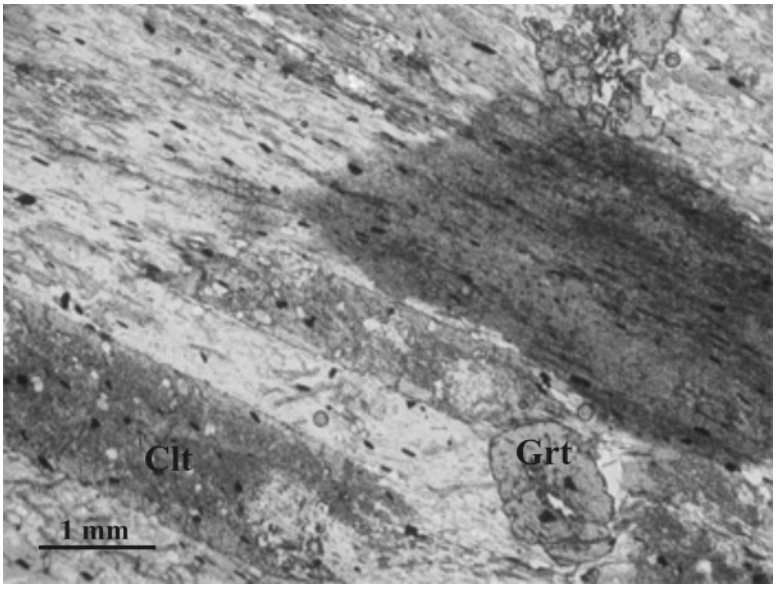
با توجه به همسانی بالای زیاد شواهد بافتی و کانی‌شناختی، شاید بتوان واکنش‌های بالا را به عنوان واکنش‌های احتمالی تشکیل کانی‌های کلریتوئید و گارنت در هاله دگرگونی گرانیت مشهد معرفی کرد.

زون استارولیت- این زون را منحصراً می‌توان در جنوب مشهد در منطقه‌ی خلج و کوه معجونی تشخیص داد. در نمونه‌ی دستی حضور پورفیروبلاست‌های استارولیت با ماکل صلیبی در اندازه‌های متفاوت (۱-۷ میلیمتر) به تشخیص این زون کمک شایانی می‌کند. در مقاطع نازک زون استارولیت حاوی مجموعه‌ی استارولیت- گارنت- بیوتیت- مسکویت- کوارتز و پلاژیوکلاز است. بلورهای زرد رنگ، شکل‌دار و پوئی‌کیلوبلاستی استارولیت غالباً حاوی ادخال‌هایی از کوارتز، بیوتیت و کانه هستند. برگوارگی اصلی سنگ در کنار پورفیروبلاست‌های استارولیت عموماً انحراف نشان می‌دهد که نمایانگر تشکیل آن-ها همزمان یا پیش از دگرشکلی است. در زون استارولیت کانی گارنت همواره به صورت همیافت با استارولیت دیده می‌شود و هر دو کانی به صورت خود شکل و کاملاً پایدار وجود دارند (شکل ۵). استارولیت در سنگ‌های دگرگونی غرب مشهد بسیار کمیاب بوده و معمولاً به شکل ادخال‌های ریز بی‌شکل در درون کانی آندالوزیت حضور دارد. واکنش زیر را می‌توان به عنوان واکنش پیشنهادی جهت برای تشکیل استارولیت در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد در نظر گرفت:

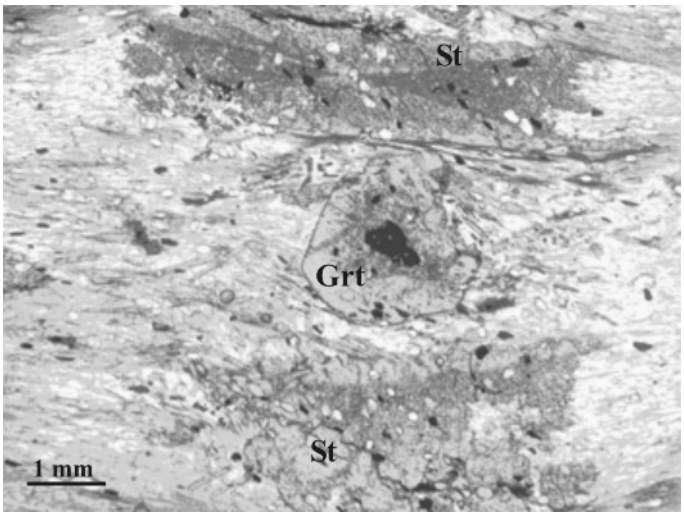
(۵) آب + بیوتیت + کوارتز + استارولیت = مسکویت + کلریت

زون آندالوزیت- این زون در غرب مشهد گسترش بسیار زیادی داشته و در منطقه‌ی خلج دیده نمی‌شود. زون آندالوزیت در روی زمین با حضور پورفیروبلاست‌های کشیده آندالوزیت در نمونه‌ی دستی مشخص می‌شود (شکل ۶). آندالوزیت‌ها عموماً از نوع کیاستولیت بوده (شکل ۷) که شواهد منطقه‌بندی قطاعی (Sector Zoning) و گاهی جابه جایی در زمینه‌ی (Matrix Displacement) را نشان می‌دهند. آندالوزیت نیز به صورت پوئی‌کیلوبلاست‌هایی حاوی ادخال‌هایی از کوارتز، اکسیدهای آهن، گارنت و استارولیت (شکل ۸) دیده می‌شود.

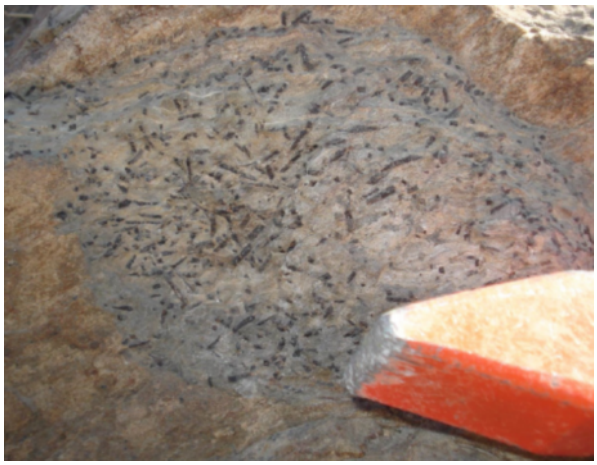
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۴ پورفیروبلاست‌های گارنت (Grt) و کلریتوئید (Clt). به شکل‌دار بودن و پایداری این دو کانی توجه نمایید.

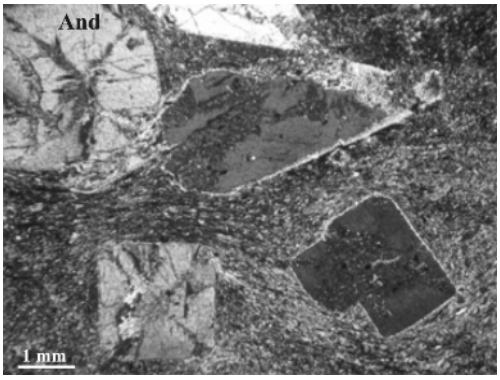


شکل ۵ پورفیروبلاست‌های گارنت (Grt) و استارولیت (St) در زون استارولیت. به شکل‌دار بودن و پایداری این دو کانی توجه کنید..

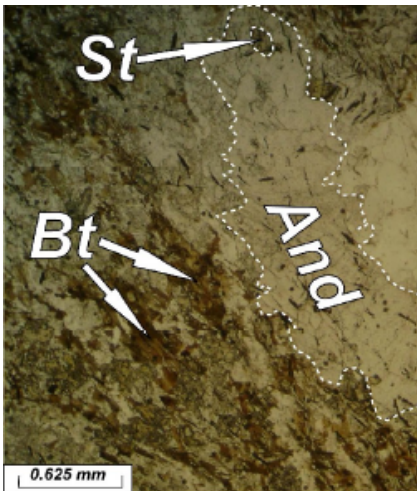


شکل ۶ پورفیروبلاست‌های کشیده و فاقد سمت‌گیری آندالوزیت در روی زمین. تصویر از [۱۳].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۷ پورفیروبلاست‌های آندالوزیت (And) با ادخال‌های کربن (کیاستولیت). به چرخش شیستوزیته در پیرامون این پورفیروبلاست‌ها توجه کنید..



شکل ۸ پورفیروبلاست کیاستولیت (And) حاوی ادخال بی‌شکل استارولیت (St) بر گرفته از [۱۳] .

قطر بلورهای آندالوزیت از چند میلیمتر تا چند سانتی‌متر متغیر بوده و هر هیچ‌گونه سمت‌گیری ترجیحی را نشان نمی‌دهند. برگوارگی اصلی سنگ در کنار پورفیروبلاست های آندالوزیت عموماً انحراف نشان می‌دهد (شکل ۷) و پدیده‌ی سایه‌ی فشاری در پیرامون آن‌ها به چشم می‌خورد که این می‌تواند موید همزمان یا پیش از زمین‌ساختی آن‌ها باشد. با این وجود در برخی از موارد وجود شواهدی نظیر ممتد بودن شیستوزیته، عدم انحراف برگوارگی نزدیک به این بلورها و عدم وجود پدیده‌ی سایه‌ی فشاری در پیرامون آن‌ها نمایانگر تشکیل برخی از آندالوزیت‌ها پس از فاز دگرشکلی است. سرسیتی شدن حاصل از دگرگونی قهقرایی امری بسیار متداول در آندالوزیت‌هاست. در مقاطع نازک زون آندالوزیت حاوی مجموعه‌ی آندالوزیت ± گارنت ± استارولیت ± فیبرولیت – بیوتیت – مسکویت - کوارتز و پلاژیوکلاز است. واکنش زیر را می‌توان به عنوان واکنش پیشنهادی در جهت تشکیل کانی آندالوزیت در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد در نظر گرفت:

(۶) آب + بیوتیت + کوارتز + آندالوزیت = مسکویت + کلریت

در برخی موارد حضور بلورهای ریز و بی‌شکل استارولیت به صورت ادخال در پورفیروبلاست‌های آندالوزیت دیده می‌شود. این امر نشان می‌دهد که کانی استارولیت در زون آندالوزیت در تعادل با کانی‌های دیگر در این زون نیست و احتمالاً به شکل واکنش زیر در تشکیل آندالوزیت نقش داشته است:

(۷) آب + بیوتیت + آندالوزیت = کوارتز + استارولیت + مسکویت + کلریت

زون گارنت دوم- این زون در کنار توده‌های گرانیتی در بسیاری از گستره‌های منطقه‌ی مورد بررسی دیده می‌شود. در بررسی‌های صحرایی این زون با نمونه‌های خاکستری حاوی بلورهای میان دانه‌ای (معمولاً بزرگتر از ۵ میلیمتر) گارنت شناخته می‌شود. در مقطع نازک زون گارنت دوم حاوی مجموعه گارنت ±

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

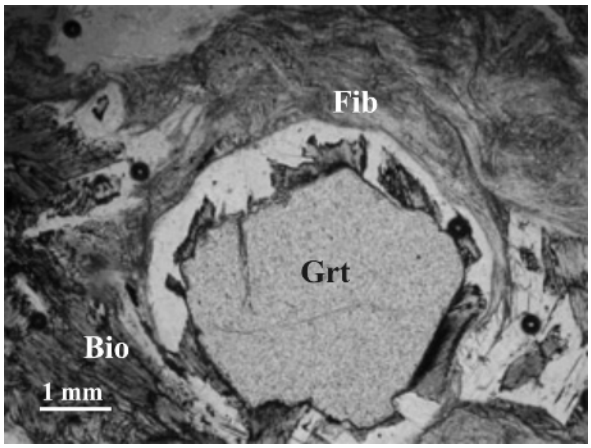
آنـدالوزیت ± فیبرولیـت – بیوتیـت - مـسکویت-کـوارتز و پلاژیوکلاز است. با رشد بیوتیت‌های زمینه در ایـن زون، حالـت شیستوزیته سنگ تا حد زیادی جای خود را به حالت هورنفلزی داده است. همچنین فرایند جایگزینی بیوتیت بـا فیبرولیـت در زون گارنـت دوم بـه فراوانـی دیـده مـی‌شـود (شـکل ۹). پورفیروبلاست‌های گارنـت دارای ادخـال‌هـایی از آنـدالوزیت – فیبرولیت – استارولیت - کـوارتز و اکـسیدهـای آهـن هـستند. واکنش زیر در جهت گسترش گارنت در این زون پیشنهاد می‌شود.

(۸) آب + بیوتیت + آندالوزیت + گارنت = کوارتز + اسـتارولیت + مسکویت

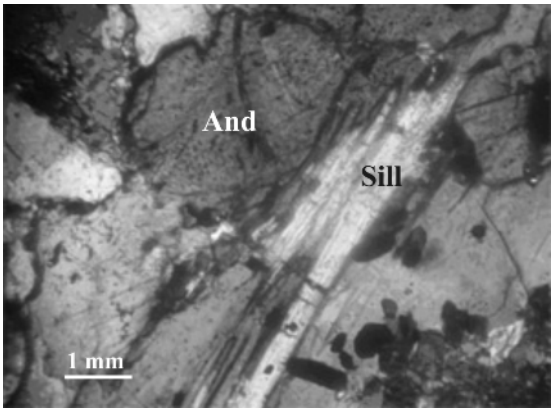
زون سیلیمانیت- سیلیمانیت در سـنگ‌هـای متـاپلیتی هالـه‌ی دگرگونی گرانیت مشهد در یک نمونه در منطقه ده نـو گـزارش شده است [۸]. ایـن کـانی بـه شـکل منـشوری بـا مـرز کـاملاً مشخص و مسطح در کنار کانی آندالوزیت دیده می‌شود (شـکل ۱۰). در محل تماس بین دو کـانی هـیچ گونـه واکنـشی دیـده نمی‌شود. به این ترتیب تـشکیل سـلیمانیت در هالـه دگرگـونی گرانیت مشهد را نمی‌توان به یـک واکـنش چنـدریختی نـسبت داد، بلکه سلیمانیت می‌تواند حاصل واکنش در کانی‌های زمینـه سنگ باشد. سیلیمانیت در نمونه‌ی یاد شده همراه با کانی‌هـای فیبرولیت – گارنت – بیوتیت – مسکویت و کوارتز دیـده مـی‌شود. واکنش احتمالی برای تشکیل سیلیمانیت را مـی‌تـوان بـه شکل زیر در نظر گرفت:

(۹) آب + بیوتیت + سیلیمانیت + گارنت = کوارتز + استارولیت + مسکویت

حضور فیبرولیت به شکل نیمه پایدار در زون‌هـای آنـدالوزیت و گارنت دوم در منطقه‌ی ده‌نو واقع در غـرب مـشهد بـه فراوانـی گزارش شده است [۹]. تشکیل فیبرولیت از بیوتیـت در هالـه‌ی دگرگونی گرانیت مشهد یک رخداد تاخیری در تاریخ دگرگـونی و در ارتباط با شاره‌های اسیدی مشتق شده از تـوده‌ی گرانیتـی مشهد بوده است [۹]. نکته‌ی مهم در زون سیلیمانیت، تـشکیل کانی سیلیمانیت در درجـات پـایین‌تـر از واکـنش مـسکویت + کوارتز است.



شکل ۹ پورفیروبلاست درشت بلور گارنت در زون گارنت دوم (Grt). به صفحات درشت کانی بیوتیت (Bio) در زمینه و جای‌گزینی بیوتیت با فیبرولیت (Fib) توجه کنید.



شکل ۱۰ بلور کشیده سیلیمانیت منشوری (Sill) در کنار آندالوزیت (And). در محل تماس بین دو کانی هیچ‌گونه واکنشی دیده نمی‌شود.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

برداشت

با توجه به ویژگی‌های زون‌های دگرگونی در هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد از جمله حضور آندالوزیت و استارولیت در درجات پایین تا متوسط، گسترش گارنت در درجات دگرگونی مختلف، و تشکیل سیلیمانیت در درجات پایین‌تر از واکنش مسکویت + کوارتز می‌توان با اطمینان این زون را با هاله‌های دگرگونی نوع ۲b همسان دانست. [۱] با استفاده از منحنی‌های تعادلی آندالوزیت و سیلیمانیت پیشنهاد شده از [۱۰، ۱۱] گستره‌ی فشار هر یک از سری‌های رخساره‌ای را تعیین کردند (جدول ۱). تعیین موقعیت دقیق منحنی‌های تعادلی چندریختی‌های آلومینیوم سیلیکات همواره مورد جدال پژوهشگران مختلف بوده است. گرچه بررسی‌های [۱۲] نشان داده است که منحنی تعادلی آندالوزیت و سیلیمانیت [۱۰] قابل قبول‌تر از منحنی‌های تعادلی دیگر ارائه شده برای آندالوزیت و سیلیمانیت است. بر این اساس بازه‌ی فشار تشکیل هاله‌ی دگرگونی گرانیت مشهد را می‌توان بین ۳/۵ تا ۴/۵ کیلوبار پیشنهاد کرد. بر مبنای فشار پیشنهادی و واکنش‌های ارائه شده در این مقاله، بیشینه دمای در حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد نیز برای این هاله برآورد شده است. در مورد عمق نفوذ توده‌های گرانیتی مشهد بر اساس این آگاهی‌های لازم است تا با احتیاط بیشتر سخن گفت چرا که بر اساس شواهد بافتی در زمان تشکیل هاله، فرایند دگرشکلی همچنان ادامه داشت است. بنابراین بخشی از فشار محاسبه شده را می‌توان حاصل فشار لیتواستاتیک و بخشی از آن را ناشی از فشارهای زمین ساختی دانست.

قدردانی

هزینه‌ی این کار پژوهشی از محل طرح تحقیقاتی شماره ۸۷۱/پ مصوب شورای محترم پژوهشی دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد تامین شده است که بدینوسیله از آن شورای محترم تشکر و قدردانی می‌شود. مولفین همچنین از نظرها و پیشنهادی سازنده داوران محترم و سردبیر گرانقدر مجله‌ی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران جناب آقای دکتر ناصر تجبر سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Pattison D. R. M., Tracy R. J., *"Phase equilibria and thermobarometry of metapelites",* In Reviews in Mineralogy: Contact metamorphism (ed. D.M. Kerrick), Mineralogical Society of America 26(1991) 105-206.

[2] Homam S. M., Atherton M. P., Boyle A. P., *"Kyanite in thermal aureoles",* Iranian journal of Crystallography and Mineralogy 12(2004) 105-128.

[3] Alavi M., *"Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran",* Geological Society of America Bulletin 103(1991) 983-992.

[4] Majidi B., *"The geochemistry of ultrabasic and basic lava flow occurrences in northeast Iran",* In Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran Report No. 51(1981) 463-477.

[5] Moazzern M., *"Chlorite-chloritoid-garnet equilibria and geothermometry in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, southern Iran",* Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A, 28(2004) 65-78.

[6] Thompson J. B. Jr., Norton S. A., *"Paleozoic regional metamorphism in New England and adjacent areas"*, In: Zen et al. (eds.) Studies in Appalachian geology- northern Maritime, New York, Interscience (1968) 319-327.

[7] Karabinos P., *"Garnet and staurolite producing reactions in a chlorite-chloritoid schist",* Contributions to Mineralogy and Petrology 90(1985) 262-275.

[۸] همام م.، موذن م.، پورمحمد ع.، قائمی ف.، *"نخستین گزارش حضور کانی سیلیمانیت منشوری از سنگ‌های متاپلیتی هاله دگرگونی گرانیت مشهد- منطقه دهنو"*، پانزدهمین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۸۶) ص ۶۲۹-۶۳۲.

[۹] همام م.، قائمی ف.، *"مکانیسم تشکیل فیبرولیت در هاله دگرگونی گرانیت مشهد"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران سال شانزدهم، شماره ۱ بهار و تابستان (۱۳۸۷) ص ۱۶۸-۱۵۹

[10] Pattison D. R. M., *"Stability of andalusite and sillimanite and the Al_2SiO_5 triple point:*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

Constraints from the Ballachullish aureole", Scotland. Journal of Geology 100 (1992) 423-446.

[11] Holdaway M. J., *"Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram",* American Journal of Sciences 271(1971) 97-131.

[12] Homam S. M., "*Geothermobarometry of Al_2SiO_5-bearing metapelites in the Ardara aureole, NW Ireland: An implication for the P-T stability field of aluminum silicate polymorphs"*, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A, 29(2005) 163-179.

[۱۳] پور محمد عبدالصمد.، *"بررسی سنگ‌های دگرگونی جنوب و غرب مشهد"*، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز (۱۳۸۷) ۸۵ صفحه.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]