



رشد دنباله‌ای همزمان با دگرشکلی طی دگرگونی مجاورتی ناحیه‌ای فشار کم - دمای بالای منطقه قنداب، فریمان، شمال شرقی ایران

سید مسعود همام*، فرشته رنجبر مقدم

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۶/۸/۱، نسخه نهایی: ۹۶/۱۱/۱۸)

چکیده: در این پژوهش، ویژگی‌های ریزساختاری سنگ‌های مجموعه دگرگونی قنداب به عنوان یکی از مهم‌ترین دگرگونی‌های مجاورتی ناحیه‌ای فشار کم - دمای بالای مطالعه شده در ایران بررسی شده است. شواهد بافتی معرف رشد دنباله‌ای کانی‌ها با افزایش درجه دگرگونی و در طول گسترش چین‌خوردگی - برگوارگی است. ترتیب رشد دنباله‌ای کانی‌ها به صورت کوردیوریت، آندالوزیت، گارنت و سیلیمانیت پیشنهاد شده است. برگوارگی اولیه (S_1) عموماً به صورت الگوی میانبارها در شکفته بلورهای کوردیوریت حفظ گردیده است. با این وجود، رشد شکفته‌بلورهای آندالوزیت و گارنت همزمان با دگرشکلی و طی گسترش برگوارگی کنگره‌ای (S_2) صورت گرفته است. بر اساس شواهد بافتی گسترش سیلیمانیت در مراحل نهایی دگرگونی و دگرشکلی صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: مجموعه قنداب؛ رشد دنباله‌ای؛ برگوارگی؛ دگرشکلی.

مقدمه

یک سنگ طی دگرگونی پیشرونده ممکن است دستخوش رشته‌ای از تغییرات کانی‌شناسی شود که این تغییرات پاسخی به شرایط دگرگونی محسوب می‌گردند [۱]. تنوع مکانی در شرایط دگرگونی اغلب منجر به گسترش کانی‌های دگرگونی ویژه در یک منطقه مشخص می‌شود. در حقیقت چنین گسترشی معرف دنباله‌ای از رشد کانی‌ها با افزایش درجه دگرگونی است. رشد دنباله‌ای کانی‌های دگرگونی در فهم فرایندهای دگرگونی بویژه در مورد ارتباط آن با دگرشکلی اهمیت بسیار دارد [۲]. متا پهنه‌ها را می‌توان به جرات کاربردی‌ترین سنگ‌های دگرگونی جهت بررسی دنباله‌های گوناگون مجموعه‌های کانیایی بر اساس شرایط دما و فشار آنها در نظر گرفت [۳]. در سنگ‌های پیلیتی ناحیه قنداب یک توزیع به نسبت آشکار از شکفته‌بلورهای کوردیوریت، آندالوزیت، گارنت و سیلیمانیت وجود دارد. در این مقاله، شواهد ریزساختاری برای رشد دنباله‌ای بین این کانی‌ها و ارتباط آنها

با دگرشکلی بررسی می‌شود.

موقعیت زمین‌شناسی

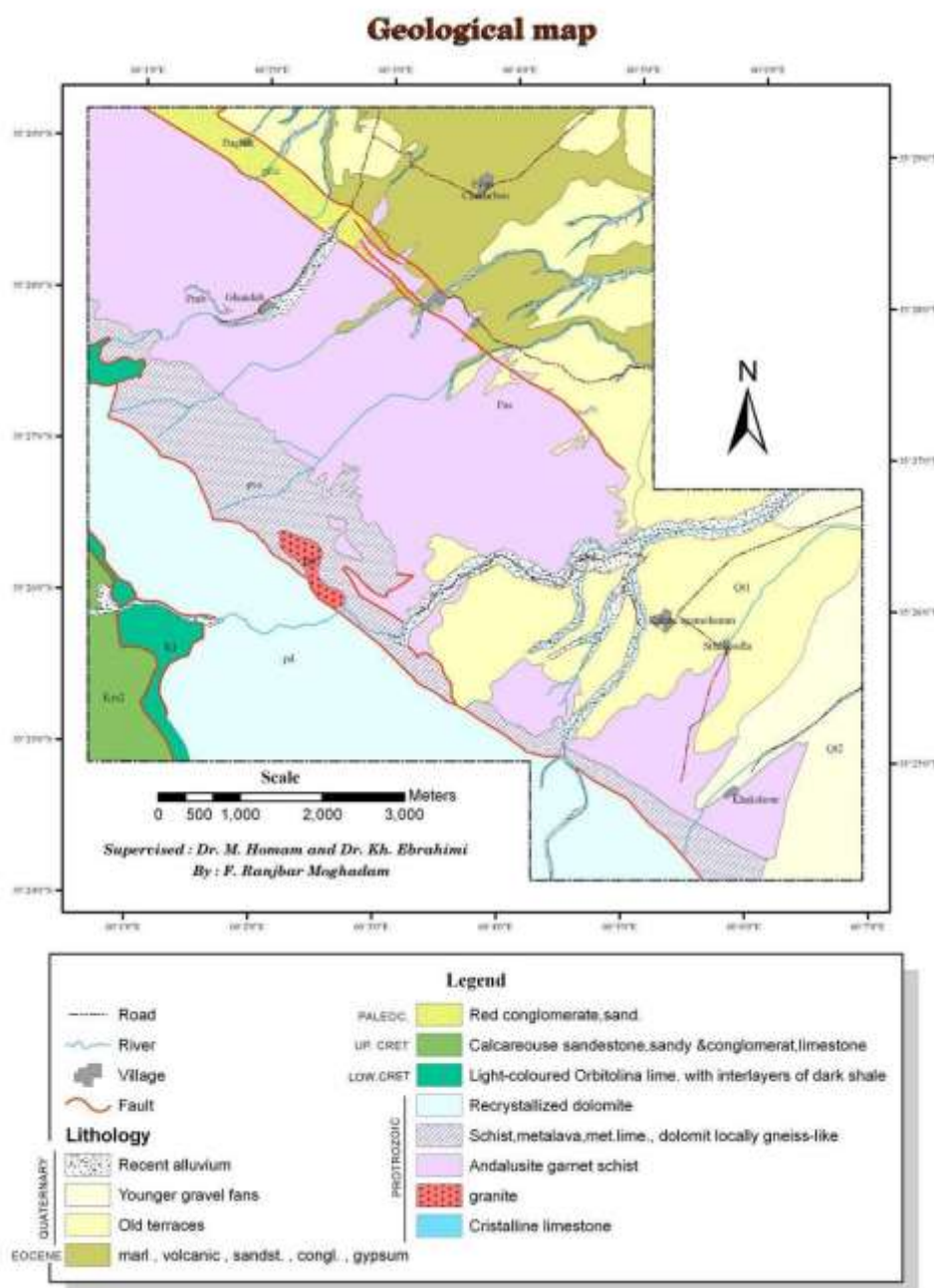
مجموعه دگرگونی قنداب در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد و ۴۰ کیلومتری جنوب شرق فریمان به مختصات $35^{\circ}24'$ تا $35^{\circ}28'$ شرقی و $60^{\circ}02'$ تا $60^{\circ}07'$ شمالی قرار دارد. بررسی زمین‌شناسی این منطقه موضوع چندین پژوهش بوده است [۴-۷]. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی و ساختاری، اختلاف نظرهای بسیاری در مورد جایگاه منطقه مورد بررسی در پهنه‌های زمین‌شناسی وجود دارد. افتخار نژاد [۸] و آقا نباتی [۹] منطقه مورد بررسی را جزو ایران مرکزی در نظر گرفتند، اگر چه به عقیده علوی و همکاران [۱۰] این منطقه در پهنه سبزوار- نائین قرار دارد.

نخستین کار منتشر شده از مجموعه قنداب [۴] در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کاریز نو بوده است. بر اساس پژوهش گرمونت و همکاران [۴]، مجموعه دگرگونی -

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۵۴۸۰۰، نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: homam@um.ac.ir

مجموعه، لایه‌هایی با پراکندگی نامنظم از کوارتزیت، آهک‌های به شدت باز تبلور یافته و ماسه سنگ‌های رس‌دار دگرگون شده دربردارنده بیوتیت، مسکویت، فیبرولیت و گارنت قرار دارند. هم چنین رگه‌های پگماتیستی و کوارتزی این مجموعه دگرگونی را قطع می‌کنند. یک مجموعه آتشفشانی - رسوبی متشکل از کربنات‌های بازتبلور یافته، سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده اسیدی و بازی و گرانیت، موسوم به مجموعه سبیک در جنوب، به صورت گسله در همسایگی مجموعه دگرگونی بالا قرار دارد.

آذرین پیشین زیستی جنوب شرقی فریمان به شکل یک کمربند باریک با روند شمال غربی - جنوب شرقی دیده می‌شود. به عقیده آنها پیچیده‌ترین بخش این مجموعه دگرگون شده در گوشه‌ی شمال غربی نقشه‌ی کاریزنو دیده می‌شود (شکل ۱) که شامل مجموعه‌ای از میکاشیست‌های شامل آندالوزیت، سیلیمانیت، کوردیریت و گارنت است؛ در آنها بلورهای درشت آندالوزیت و در برخی موارد گارنت به صورت شکفته بلور در نمونه دستی به خوبی نمایان هستند. در این



شکل ۱ نقشه زمین شناسی مجموعه دگرگونی قنداب [۷].

سطح سنگ قابل شناسایی هستند. در مواردی بلورهای گارنت و سیلیمانیت نیز در نمونه‌های دستی مشخص هستند. براساس بررسی‌های سنگ‌شناسی سه مجموعه کانیاپی مختلف از سمت جنوب شرقی به شمال غربی شناسایی شده‌اند که عبارتند از:

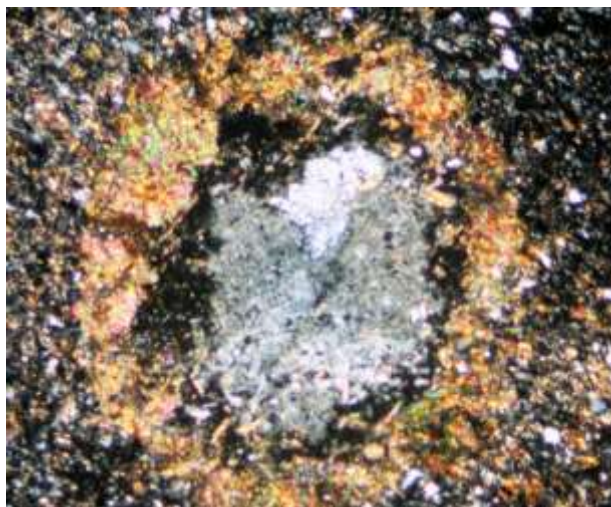
(۱) کوارتز + پلاژیوکلاز + بیوتیت + مسکویت + آندالوزیت + کوردیوریت ± گارنت، (۲) کوارتز + پلاژیوکلاز + بیوتیت + مسکویت + آندالوزیت + فیبرولیت ± کوردیوریت ± گارنت، (۳) کوارتز + پلاژیوکلاز + بیوتیت + فیبرولیت + سیلیمانیت ± مسکویت ± پتاسیم فلدسپار ± کوردیوریت دمای بالا ± گارنت بررسی دقیق روابط بافتی شکفته‌بلور و پویی‌کیلوبلاست‌های کانی‌های شاخص معرف رشد دنباله‌ای آنها طی دگرگونی پیشرونده و گسترش برگوارگی و برگوارگی کنگره‌ای است. دنباله رشد کانی‌ها به شکل کوردیوریت، آندالوزیت، گارنت و سرانجام سیلیمانیت در نظر گرفته شده است.

شکفته‌بلورهای کوردیوریت در یک زمینه غنی از کوارتز، مسکویت و بیوتیت تشکیل شده‌اند. کوردیوریت به طور گسترده و در مواردی به صورت کامل توسط اگرگات‌های غنی از میکا شامل میکای سفید، بیوتیت و کلریت جایگزین شده است و در مواردی منطقه‌بندی قطاعی در کوردیوریت همچنان قابل تشخیص است (شکل ۲). بسیاری از شکفته‌بلورهای کوردیوریت دارای هسته‌هایی احاطه شده با مجموعه‌های غنی از میکا هستند که در برخی موارد این هسته‌ها از نظر نوری همسانگرد بوده و نشان‌دهنده جایگزینی آن‌ها به وسیله ذرات بسیار ریز کلریت (پینیت) هستند (شکل ۳).

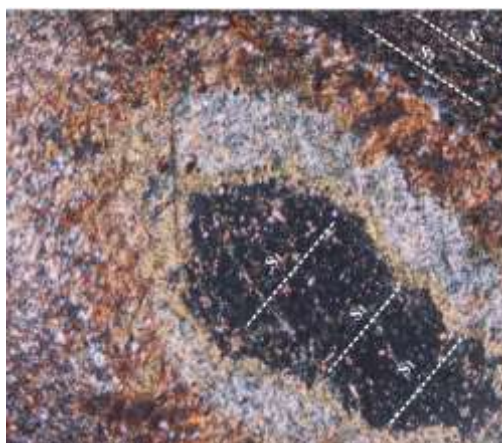
مجموعه سنگ‌های اذرین درونی شامل گابرو و گرانیت به شکل یک نوار طویل با عرض حدود ۵۰۰ متر و طول تقریبی ۱۵ کیلومتر با روند شمال غربی - جنوب شرقی دنبال می‌شوند (شکل ۱). سنگ‌های اذرین درونی بیشتر بافت‌های گنیسی، بلاستو میلونیتی را نشان می‌دهند و ترکیب آنها گستره‌ای از گرانیت تا کوارتز دیوریت را شامل می‌شوند. از بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی گرانیت‌ها [۷] پیشنهاد شد که این گرانیت‌ها پر آلومین و وابسته به سری S هستند. مجموعه سیبک به صورت گسله در مجاورت دولومیت‌های دگرگون شده و بازتبلور یافته قرار دارد. این دولومیت‌های تیره رنگ و بازتبلور یافته از نظر سنگ‌شناسی شبه دولومیت‌های سلطانی هستند و با توجه به نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوشه کاریزنو بر سازندهای کرتاسه رانده شده‌اند. توالی توصیف شده توسط سیستم گسلی با روند شمال غرب - جنوب شرق قطع شده است. این سیستم گسلی مجموعه آتشفشانی - رسوبی و آندالوزیت شیست‌ها را از واحد دولومیت‌های رورانده جدا می‌کند. مجموعه مورد بررسی در شمال به صورت گسلی مجاور مجموعه‌ای متشکل از ماسه سنگ‌های توفی ماسه‌سنگی تیره، سنگ گچ، مارن، جوش سنگ و سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه قرار گرفته است که خود توسط رسوبات پالئو - پلیئستوسن و سرانجام آبرفت‌های کواترنر پوشیده شده‌اند (شکل ۱).

سنگ‌شناسی متاپلیت‌ها

سنگ‌های متاپلیتی ناحیه قنداب به صورت شیست‌های تیره-رنگ با برگوارگی و برگوارگی کنگره‌ای قوی دیده می‌شوند. شکفته‌بلورهای بزرگ آندالوزیت به قطر (۵ تا ۱۰ میلیمتر) در



شکل ۲ بقایای کوردیوریت (Crd) که توسط مجموعه‌های غنی از میکا در حال جایگزینی است. به منطقه‌بندی قطاعی در بلور کوردیوریت توجه نمایید. عرض عکس برابر با ۳/۵ میلیمتر می‌باشد.



شکل ۳ بقایای کوردیوریت (Crd) که توسط مجموعه‌های غنی از میکا در حال جایگزینی است. مرکز بلور به وسیله ذرات بسیار ریز کلریت (پینیت) جایگزین شده است و از نظر نوری ویژگی همسانگردی نشان می‌دهد. به جهت برگوارگی در داخل بلور S1 و زمینه سنگ S2 دقت نمایید. عرض عکس برابر با ۲/۸ میلی‌متر است.

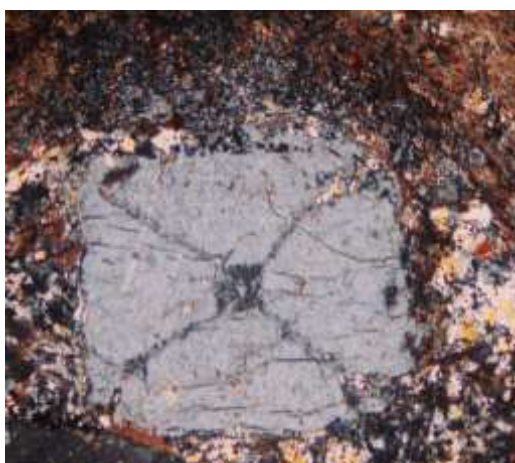
بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شود. این نوع آندالوزیت‌ها بیشتر در راستای برگوارگی است و میانبرهای موجود در آنها به خوبی کنگره‌ها را نشان می‌دهند. میزان چین خوردگی در کنگره‌های زمینه سنگ در مقایسه با روند میانبرها در بلور آندالوزیت شدیدتر است و کنگره - برگواره در اطراف بلورهای آندالوزیت چرخش نشان می‌دهد (شکل ۵). شکفته - بلورهای گارنت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هم در زمینه سنگ و هم در مجموعه‌های میکایی پس از کوردیوریت دیده می‌شوند.

سنگ‌های با درجه دگرگونی بالا در مجموعه دگرگونی قنداب به شکل سنگ‌های قهوه‌ای تیره هورنفلسی شامل بیوتیت، کوردیوریت و سیلیمانیت که برخی در نمونه دستی قابل شناسایی هستند دیده می‌شوند. شواهد بافتی به خوبی معرف یک بازسازی بافتی از درجات پایین‌تر به سنگ‌های غنی از سیلیمانیت است.

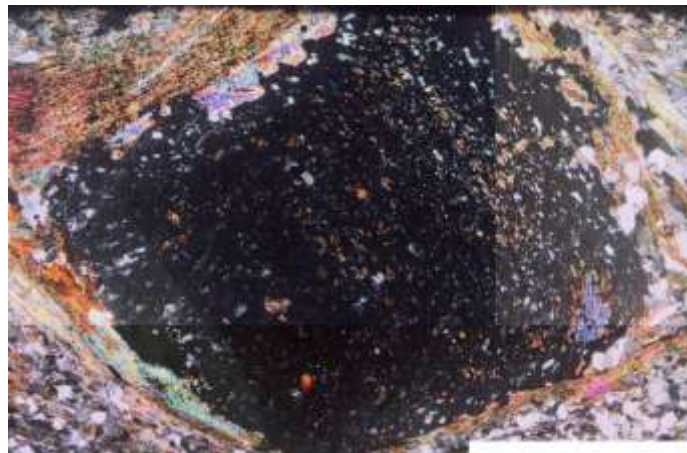
در بسیاری از موارد شکفته‌بلورهای کوردیوریت که توسط اگرگات‌های غنی از میکا به طور کامل جایگزین شده‌اند بشدت کنگره‌دار شده‌اند. بر اساس شواهد ریزساختاری، بلورهای بیوتیت طی دگرگونی پیشرونده و در نتیجه واکنش زیر جایگزین کوردیوریت شده‌اند

کوردیوریت + مسکویت —————> بیوتیت + آندالوزیت + کوارتز
اگرچه حضور کلریت در این مجموعه‌ها به‌ویژه در مرکز کوردیوریت‌های جایگزین شده به احتمال بسیار نتیجه دگرگونی پسرونده هستند.

بلورهای آندالوزیت ویژگی‌های متفاوتی را در سنگ‌های غنی و فقیر از گرافیت نشان می‌دهند. در سنگ‌های غنی از گرافیت آندالوزیت‌ها به صورت خودشکفت دیده می‌شوند و بیشتر پدیده منطقه‌بندی قطاعی و جابجایی در کانی‌های زمینه را نشان می‌دهند (شکل ۴). در حالی که در نمونه‌های فقیر از گرافیت، آندالوزیت یک بافت غربالی را نشان می‌دهد و به شکل



شکل ۴ منطقه بندی قطاعی و جابجایی کانی‌های زمینه در یک بلور آندالوزیت (And). عرض عکس برابر با ۵/۵ میلی‌متر است.



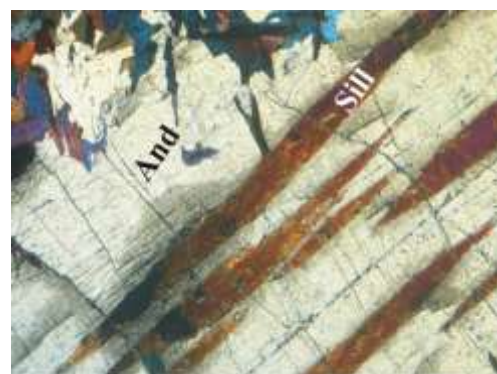
شکل ۵ چرخش برگوارگی در اطراف بلور آندالوزیت (And). به جهت و الگوی میانبارها در بلور و زمینه سنگ توجه کنید. عرض عکس برابر با ۶ میلیمتر است.

شکلی آندالوزیت توسط سیلیمانیت در سنگ‌های با بالاترین درجه دگرگونی در منطقه مورد بررسی قابل شناسایی هستند (شکل ۷). کوردیوریت در سنگ‌های سیلیمانیت‌دار درجه بالا به شکل بلورهای بی شکل با قطر ۳ تا ۵ میلیمتر با میانبارهایی از فیبرولیت در زمینه سنگ دیده می‌شوند.

سیلیمانیت به شکل بلورهای منشوری طویل در زمینه سنگ (شکل ۶) و به شکل بلورهای درشت که هم‌رشدی سیمپلکتیت با کوارتز را نشان می‌دهند دیده می‌شوند. در مواردی نیز بلورهای سیلیمانیت نتیجه درشت‌شدگی بلورهای فیبرولیت موجود در زمینه سنگ هستند. جایگزینی تغییر



شکل ۶ بلورهای منشوری طویل سیلیمانیت (sill) تشکیل شده در زمینه سنگ. عرض عکس برابر با ۳/۵ میلیمتر است.

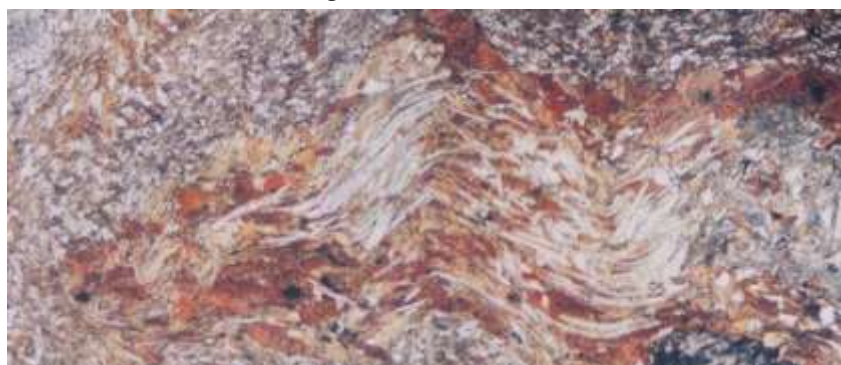


شکل ۷ جایگزینی تغییر شکلی آندالوزیت (And) توسط بلورهای منشوری طویل سیلیمانیت (sill). عرض عکس برابر با ۲/۲ میلیمتر است.

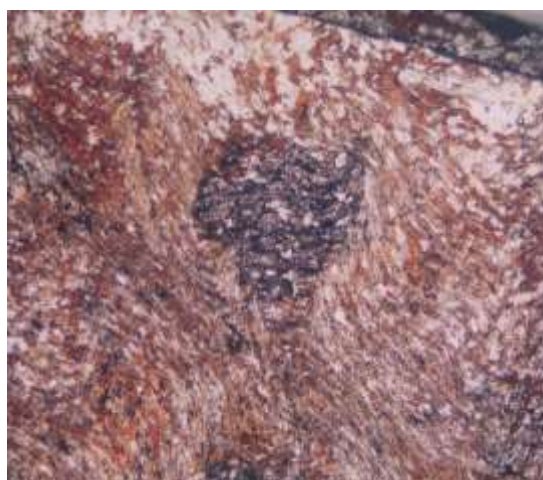
رابطه بین رشد شکفته بلورها و گسترش برگوارگی در متاپلیت‌ها

بررسی‌های دقیق سنگ‌های متاپلیتی ناحیه قنداب به خوبی سه سطح برگوارگی را نشان می‌دهد که شامل لایه‌بندی اولیه (S_0)، برگوارگی به موازات لایه‌بندی (S_1) و یک مرحله نهایی به شکل برگوارگی کنگره‌دار شده است که منجر به تشکیل و گسترش S_2 گردیده است. چنان که پیش‌تر بیان شد، بلورهای کوردیوریت (حتی در مواردی که کاملاً یا به طور بخشی توسط مجموعه‌های میکایی جایگزین شده‌اند) بافت پویکیلولیتی را نشان می‌دهند. کوارتز و بیوتیت میانبارهای معمول در کانی کوردیوریت هستند که با الگوی خطی و با یک زاویه نسبت به روند موجود در زمینه سنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۲). این امر می‌تواند معرف رو رشدی ایستایی برگوارگی اولیه (S_1) باشد که سپس توسط دگرشکلی بعدی بشدت چین خورده و منجر به تشکیل و گسترش برگوارگی نسل S_2 در زمینه سنگ شده

است. از آنجاکه انباشته‌های میکایی پس از کوردیوریت بشدت دچار چین خوردگی شده‌اند (شکل ۸) شاید بتوان نتیجه گرفت که جایگزینی کوردیوریت توسط این مجموعه میکایی در مراحل اولیه توسعه S_2 صورت گرفته باشد. بلورهای گارنت معمولاً به شکل ذرات نیمه شکل‌دار نسبتاً کوچک به قطر (۰/۱۲ تا ۰/۳۵ میلیمتر) دربردارنده میانبار دیده می‌شوند. گارنت‌ها همچنین به وفور درون مجموعه‌های میکایی پس از کوردیوریت تشکیل شده‌اند که نشانگر تسهیل هسته-بندی ترجیحی آنها در این مجموعه است. روند میانبارها در گارنت‌ها اغلب چین‌خوردگی را نشان می‌دهد و از سویی فشرده‌شدگی برگوارگی در اطراف آنها مشخص است (شکل ۹). بنابراین چنان که در ادامه نیز توضیح داده می‌شود، بر اساس شواهد بافتی به نظر می‌رسد که بلورهای گارنت پس از کوردیوریت و در مراحل نخستین گسترش کنگره - برگواره S_2 تشکیل شده باشند.



شکل ۸ جایگزینی کامل شکفته بلور کوردیوریت (Crd) توسط مجموعه‌های غنی از میکا. به چین‌خوردگی مشخص در این مجموعه پس از جایگزینی توجه نمایید. عرض عکس برابر با ۳/۲ میلیمتر است.

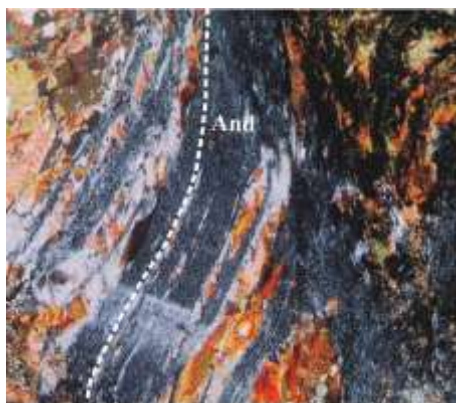


شکل ۹ روند میانبارها در گارنت (Grt) که یک خمیدگی ضعیف را نشان می‌دهند در مقابل، گسترش کنگره - برگوارگی در زمینه سنگ بخوبی نمایان است. عرض عکس برابر با ۵/۵ میلیمتر است.

گسترش بیشتر آن پس از پایان رشد آندالوزیت همراه بوده است. به همین دلیل نیز میتوان در بسیاری موارد شاهد وجود ریزساختارهای بلورهای پس از دگرشکلی چون شکستگی (شکل ۱۲)، سایه فشاری و چرخش برگوارگی اطراف بلورها در شکفته‌بلورهای آندالوزیت بود. به عبارت دیگر می‌توان پیشنهاد نمود که رشد آندالوزیت‌ها همزمان با دگرشکلی آغاز شده اما به دلیل بالاتر بودن آهنگ رشد نسبت به آهنگ کرنش، دچار دگرشکلی‌های پس از تشکیل شکفته بلور نیز شده است.

چنان که پیشتر نیز بیان شد، متاپلیت‌های با درجات بالاتر دگرگونی در منطقه‌ی قنداب بافت هورنفلسی را نشان می‌دهند. به همین دلیل نیز بررسی دقیق رابطه‌ی بین دگرشکلی و رشد شکفته‌بلورها در این رده از سنگ‌ها بسیار دشوار است. البته براساس شواهد بافتی و کانی شناسی، سیلیمانیت و کوردیوریت‌های دمای بالا در مراحل نهایی تکامل گرمایی دگرگونی و دگرشکلی تشکیل شده‌اند.

روند میانبارها در بلورهای آندالوزیت بیشتر خمیدگی ضعیفی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). چرخش برگوارگی (شکل ۶) و حضور پدیده سایه فشاری در اطراف شکفته‌بلورهای آندالوزیت به خوبی قابل تشخیص هستند. ساختارهای منطقه‌ای برآمده از دگرشکلی شکفته‌بلورهای آندالوزیت نیز قابل مشاهده است (شکل ۱۱). در بسیاری از موارد، بلورهای کشیده آندالوزیت در برابر دگرشکلی کاملاً شکننده رفتار می‌کنند و شکستگی‌های نمایانی را نشان می‌دهند (شکل ۱۲). به عقیده بارکر [۱۱] سرعت رشد بلورها به مراتب بالاتر از سرعت کرنش است. بر این اساس او پیشنهاد کرد که رشد شکفته‌بلورها یک رخداد بسیار سریع بوده است به طوری که تنها بخش کوچکی از زمان گسترش یک برگوارگی را می‌تواند در خود ضبط نماید. بر این اساس و با توجه به شواهد ریزساختاری اشاره شده در سنگ‌های متاپلیتی منطقه‌ی قنداب می‌توان رو رشدی مراحل نخستین تشکیل کنگره - برگواره را توسط بلورهای آندالوزیت در نظر گرفت که با چین‌خوردگی شدیدتر و



شکل ۱۰ روند خمیدگی ضعیف میانبارها در بلور آندالوزیت (And). توجه شود که شدت چین خوردگی در برگوارگی زمینه سنگ به مراتب بیشتر است. عرض عکس برابر با ۳/۸ میلیمتر است.



شکل ۱۱ ساختار منطقه‌ای برآمده از دگرشکلی در بلور آندالوزیت (And). عرض عکس برابر با ۴/۲ میلیمتر است.



شکل ۱۲ یک بلور کشیده آندالوزیت (And) که دچار شکستگی شده است. عرض عکس برابر با ۳/۲ میلیمتر است.

برداشت

در این مقاله، شواهد مهمی از ارتباط ریز ساختاری سنگ‌های پیلیتی ناحیه قنداب ارائه شد که به خوبی نمایانگر رشد دنباله-ای کانی‌های شاخص در این سنگ‌هاست. دنباله رشد کانی‌ها به ترتیب به صورت شکفته‌بلورهای کوردیوریت، آندالوزیت، گارنت و سیلیمانیت پیشنهاد می‌شود. بررسی‌های دقیق سنگ‌های متاپیلیتی ناحیه قنداب به خوبی سه سطح برگوارگی را نمایان می‌سازد که شامل لایه‌بندی اولیه (S_0)، برگوارگی به موازات لایه‌بندی (S_1) و یک مرحله نهایی به شکل برگوارگی کنگره‌دار شده است که منجر به تشکیل و گسترش S_2 شده است. شواهد نشان می‌دهند که کوردیوریت پس از S_1 و پیش از تشکیل S_2 بوجود آمده است. البته چه گارنت و آندالوزیت به عنوان بلورهای همزمان با زمین‌ساخت بوده و طی تشکیل و گسترش کنگره - برگواره S_2 تشکیل شده‌اند. ادامه فرایند دگرشکلی پس از پایان تبلور این کانی‌ها باعث تشکیل ریز ساختارهای پس از دگرشکلی چون شکستگی، سایه فشاری و چرخش برگوارگی اطراف بلورهای آندالوزیت و کمتر گارنت شده است. سیلیمانیت و کوردیوریت‌های دمای بالا نیز در مراحل نهایی تکامل گرمایی دگرگونی و دگرشکلی تشکیل شده‌اند.

مراجع

- [3] Pattison D.R.M., Tracy R.J., "Phase equilibria and thermobarometry of metapelites", In Reviews in Mineralogy, 26: Contact metamorphism (ed. D.M. Kerrick), pp. 105-206. Mineralogical Society of America (1991).
- [4] Gramont X. B., Guillon Y., Maurizot P., Vaslet D., Villeon H., "The 1:100000 geological map of Kariz Now", Geological survey of Iran (1979).
- [5] Vaezipour M., Khalghi M., Alavi-Naeeni M., "Geology of Fariman and a review on metamorphic rocks from north-East of Iran", Geological Survey of Iran (1983).
- [6] Safuraee S., "Petrology and geochemistry of metamorphic rocks from south-east of Fariman", Ms.C Thesis, Shahrood University of Technology (2007).
- [7] Ranjbar Moghadam F., "Petrology and petrogenesis of metamorphic rocks from south-East of Ghandab with special reference to economic potential of andalusite schists, Ms.C Thesis, Ferdowsi University of Mashhad (2009).
- [8] Eftekhari-Nejad J., "Some Information about the Origin of the Flysch Basin in Eastern Iran and its Relation to Plate Tectonics Theory", Report No.22. Geological Survey of Iran, (1973).
- [9] Aghanabati S.A., "Etude geologique de la region de Kalmard (W.Tabas) Iran Central; stratigraphie et tectonique, Thesis, Grenoble, 231p (1975).
- [10] Alavi M., Vaziri H., Seyed-Emami K., Lasemi Y., "The Triassic and associated rocks of the Naxhlak and Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnants of the southern Turanian active continental margin", GSA Bulletin; v. 109; No. 12; (1997) p. 1563-1575
- [11] Barker A.J., "Introduction to metamorphic textures and microstructures", Stanley Thornes, Oxford, (1998) 264pp.
- [1] Gibson R.L., "Sequential, syndeformational porphyroblast growth during Hercynian low-pressure/high-temperature metamorphism in the Canigou massif, Pyrenees", Journal of Metamorphic Geology, 10, (1992) 637-650.
- [2] Vernon R. H., "Sequential growth of cordierite and andalusite porphyroblasts, Cooma Complex, Australia: microstructural evidence of a prograde reaction", Journal of Metamorphic Geology, 6, (1992) 255-269.