Archive of SID

Vol. 16, No. 1, Spring 1387/2008

The mechanism of fibrolite formation in the contact aureole of Mashhad granite

S. M. Homam[1], F. Ghaemi[2]

1- Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Geological Survey of Iran, Mashhad Branch, Iran

(Received: 24/4/2007, in revised form: 19/11/2007)

Abstract: The mechanism of fibrolite formation in metapelitic rocks of the contact aureole of Mashhad granite is examined in this study. According to textural features, fibrolite considered to be disharmonious. Textural evidence strongly suggests that most of the fibrolite in this aureole are formed by decomposition of biotite. Fibrolite produced late in the thermal history of the aureole through a reaction involving acidic volatiles emanating from the adjacent intrusion. Textural evidence suggest that the fibrolite formed at temperatures within the andalusite stability field in the aureole investigated in this study.

Keywords: *fibrolite, contact aureole, Mashhad metamorphic zone, metasomatism, cation leaching.*

www.SID.ir

Archive of SID

سال شانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۸۷، از صفحهٔ ۱۵۹ تا ۱۶۸

ساز و کار تشکیل فیبرولیت در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد

سیدمسعود همام[۱]، فرخ قائمی[۲]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور مرکز شمال شرقی (مشهد)
پست الکترونیکی: smhomam@hotmail.com

(دریافت مقاله ۸۶/۲/۴، نسخه نهایی ۸۶/۸/۲۸)

چکیده: فیبرولیت در سنگ‌های متاپلیتی هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. بر پایهٔ شواهد بافتی، فیبرولیت در این سنگ‌ها از نوع ناهماهنگ بوده و بیشتر حاصل جایگزینی کانی بیوتیت است. تشکیل فیبرولیت در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد یک رویداد تاخیری در تاریخ دگرگونی و در ارتباط با آبگونهای اسیدی مشتق شده از توده گرانیتی مشهد است. بنا بر شواهد موجود فیبرولیت در این هاله به صورت نیمه پایدار و در شرایط پایداری آندالوزیت تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: *فیبرولیت، هاله دگرگونی، زون دگرگونی مشهد، دگرنهادی، شستشوی کاتیونی.*

مقدمه

چگونگی تشکیل کانی فیبرولیت همواره مورد توجه پژوهشگران سنگ شناسی دگرگونی بوده است. برخی از پژوهشگران فرایند دگرنهادی در مقیاس وسیع [۱، ۲، ۳] و برخی دیگر عامل دگرشکلی را در تشکیل فیبرولیت موثر دانسته‌اند [۴، ۵]. موضوع شرایط پایداری فیبرولیت در مقایسه با معادل درشت - دانه‌تر آن (سیلیمانیت) نیز همواره مورد سوال بوده است [۶]. در حالی که بسیاری از تجربیات آزمایشگاهی موید یکنواختی شرایط دما و فشار تشکیل فیبرولیت و سیلیمانیت هستند، بیشتر شواهد صحرائی منعکس کنندهٔ تفاوت در شرایط تشکیل این دو کانی هستند [۷]. بنا بر شواهد سنگ‌شناختی فیبرولیت در هالهٔ متاپلیت‌های دگرگون تودهٔ گرانیتی مشهد حضوری نسبتاً فراگیر دارد که به نوبه خود شرایطی مطلوب را برای بررسی ساز و کار تشکیل و شرایط پایداری آن فراهم می‌کند.

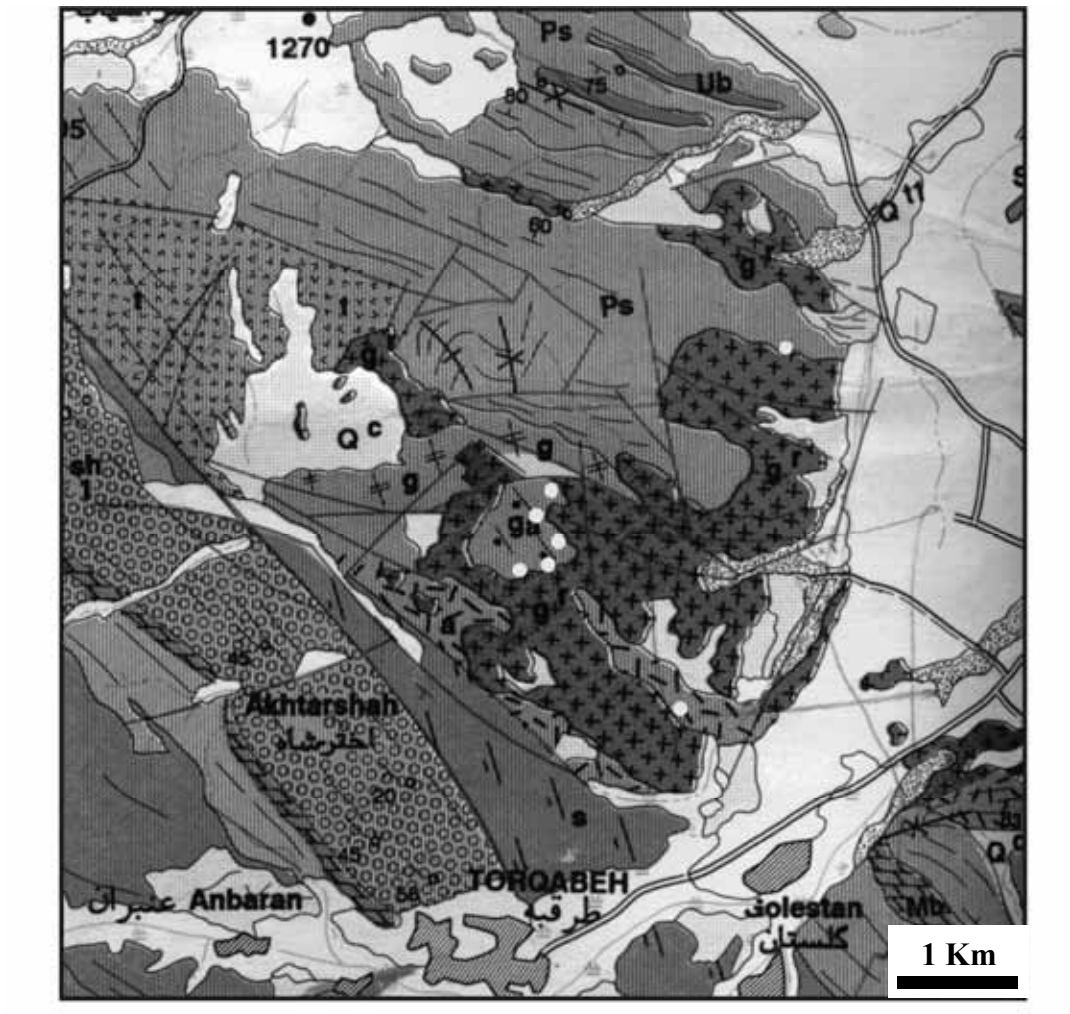
موقعیت زمین شناسی منطقهٔ مورد مطالعه

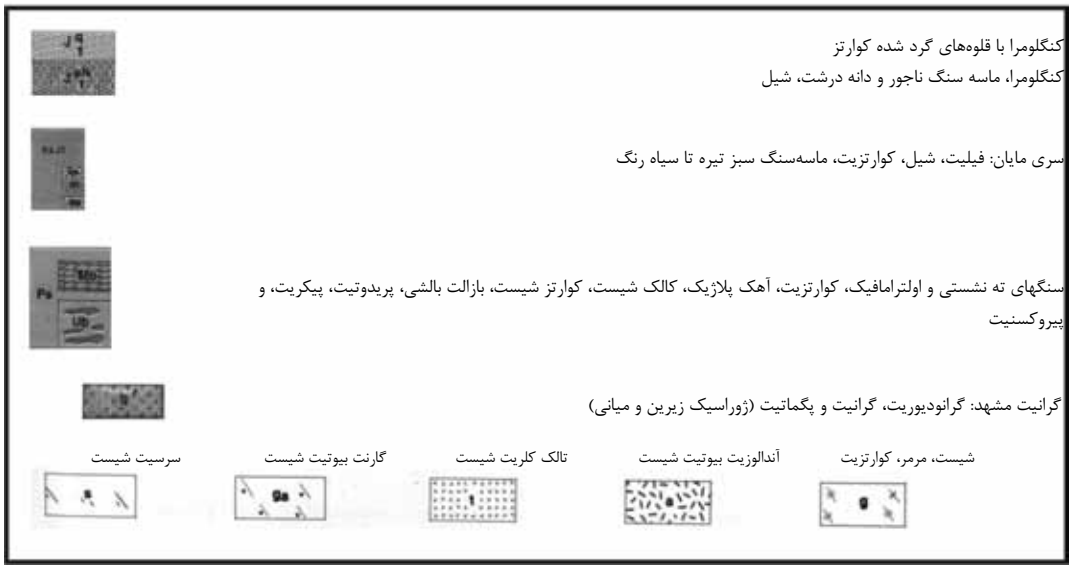
کوههای بینالود در شمال شرقی ایران به عنوان بخشی از رشته کوه البرز یک نوار چین خورده-گسلیده از ورقه‌های رورانده با ساختار دوگانه طاق گون را تشکیل داده‌اند. بالاترین ورقهٔ ساختاری در دوگانهٔ یاد شده را مجموعه دگرگونی جنوب مشهد تشکیل می‌دهد. مجموعهٔ دگرگونی مشهد بقایایی از یک مجموعه فزایندی است که طی فرورانش پوستهٔ اقیانوسی پالئوتتیس به زیر حاشیهٔ جنوبی توران، در لبهٔ توران تشکیل و در برخورد با خرد ورق ایران و توران در تریاس پسین در لبهٔ شمالی خرد ورق ایران جایگزین شده است (شکل ۱) [۸].

توصیف دقیقی از سنگ‌شناسی این مجموعه در مرجع فوق ارائه شده و در آن سنگهای این مجموعه به سه گروه تقسیم شده است:

www.SID.ir

Archive of SID





شکل ۱ نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. دوایر سفید معرف محل نمونه برداری هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

الف) سنگهای افیولیتی: این سنگها در مجموعهٔ دگرگونی مشهد به صورت دو رخنمون مجزا در جنوب - جنوب غربی مشهد و شمال غربی آن در دهکدهٔ ویرانی مشاهده می‌شوند. پریدوتیت (با ترکیب ورلیت و لرزولیت)، پیروکسینیت، گابروی همسانگرد و بازالت با ساخت بالشی از اجزای مهم در این بخش هستند. طبقات متا چرت و مرمر با لایه بندی نازک اولیه در میان گدازه‌های بازالتی دیده می‌شوند. در این مجموعه افیولیتی اثری از دایکهای صفحه‌ای و گابروهای لایه‌ای به چشم نمی‌خورد.

سنگهای اولترامافیک و مافیک این مجموعه از نوع تولئیت-های غنی از منیزیوم و مشابه کماتئیت‌های آرکئن آفریقای جنوبی و کانادا با خاستگاه پوسته اقیانوسی معرفی شده‌اند [۹].

ب) ته‌نشستهای دگرگون شده: بخش افیولیتی در سنگهای دگرگون جنوب مشهد با مجموعهٔ ضخیمی از فیلیت، اسلیت، شیست، مرمر، متا کنگلومراهای کربناته، و اولیستسترم ها احاطه شده است. این مجموعه که در برخی موارد میان لایه-های اندکی از گدازه‌های مافیک حفره‌دار (در حال حاضر آمفیبولیت) را در خود جای داده است، ویژگیهای ته نشستی نهشته‌های توربیدیتی عمیق را به نمایش می‌گذارند. دانه بندی تدریجی، دنبالهٔ ناقص و کامل بوما و نیز وجود بیگانه سنگ در این مجموعه، دال بر خاستگاه توربیدیتی آنهاست.

ج) سنگهای آذرآواری: در مجموعه دگرگون مشهد، رخنمونهای اندکی از سنگهای آذرآواری دگرگون نظیر متا توف و متا لاپیلی توف به چشم می‌خورد. وجود این مجموعه در سنگهای دگرگون مشهد، که حاصل آتشفشانی در شرایط خشکی است، نشانه‌ای از حضور یک قوس ماگمایی در مجاورت مکان تشکیل سنگهای دگرگون در نظر گرفته شده است [۸].

در مجموعهٔ دگرگون مشهد، سنگ‌ها دستخوش یک دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخسارهٔ شیست سبز شده و متعاقباً با نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی در آنها به وسیله یک فاز دگرگونی همبری نیز متاثر شده‌اند. هالهٔ دگرگونی در مجموعه دگرگونی مشهد عموماً از سنگ‌هایی با بافت پورفیروبلاستی تشکیل شده است. شاخص‌ترین پورفیروبلاست‌های در هالهٔ دگرگونی را کانی‌های آندالوزیت، استارولیت، گارنت، و کلریتوئید تشکیل می‌دهند. سن دونین – کربنیفر برای سنگ-های تشکیل دهندهٔ زون دگرگونی مشهد پیشنهاد شده است [۱۰]. با این وجود پوشیده شدن مجموعه سنگهای ته نشستی و افیولیتی دگرگون زون مشهد به صورت دگرشیب با دنباله‌ای شامل کنگلومرای قاعده‌ای، ماسه سنگ نابالغ و شیل با سن تریاس پسین – ژوراسیک پیشین، سن پس از تریاس پسین را برای مجموعه سنگ‌های تشکیل دهندهٔ زون دگرگونی مشهد پیشنهاد می‌نماید [۸].

توده‌های گرانیتو ئیدی با ترکیبی از دیوریت تا پگماتیت و آپلیت، در سنگهای مجموعهٔ دگرگونی جنوب مشهد نفوذ کرده-اند. سنگ شناسی این توده‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند[۱۱]. تعیین سن بیوتیت‌ها و مسکویت‌های موجود در توده‌های گرانیتو ئیدی با استفاده از روش K/Ar سن ۱۴۶-۱۲۰میلیون سال قبل (کرتاسه پیشین) را برای آنها تعیین نموده است[۱۲]. این توده‌های گرانیتوئیدی حاصل گرانیتی شدن در اثنای دگرگونی ناحیه‌ای دانسته شده و بر پایهٔ تقدم و تاخر سنی به سه گروه G_1، G_2، و G_3 تقسیم شده‌اند [۱۰]. با تعیین سن مطلق این توده‌ها، سن ۲۴۶ میلیون سال برای G_1 و G_2 و سن ۲۱۰ تا ۲۱۱ میلیون سال برای G_3 پیشنهاد شده است [۱۰]. اگر چه با توجه به حضور قطعاتی از سنگهای موجود در کنگلومرای قاعدهٔ شمشک با سن رتین- لیاس، تشکیل و نفوذ این توده‌ها به پیش از تریاس پسین نسبت داده شده است [۸].

سنگ شناسی سنگ‌های حاوی فیبرولیت در هالـهٔ دگرگـونی گرانیت مشهد

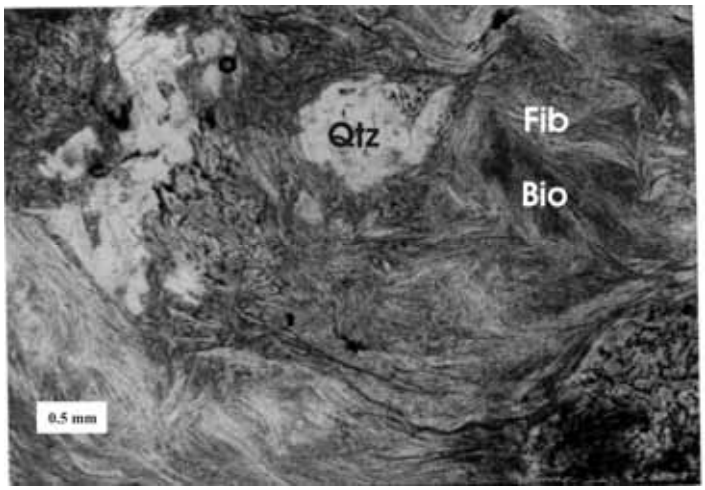
فیبرولیت در مجموعه دگرگونی مشهد عموماً به شیست‌های مجاور با توده‌های گرانیتی واقع در شمال غرب این زون (دهکده ویرانی) محدود می‌شود. شیستهای یاد شده در نمونهٔ دستی به رنگ سبز تیره بوده و پورفیروبلاستهای نسبتا درشت آندالوزیت و گارنت در سطح آنها کاملاً مشخص است. در مقاطع نازک شیستوزیته عموماً به وسیله بیوتیت و مسکویت و کمتر کلریت تعریف می‌شود. آندالوزیت‌ها عموماً از نوع کیاستولیت بوده که به شکل پورفیروبلاست‌هایی با قطر چند میلیمتر تا چند سانتیمتر با نفوذی‌هایی از کوارتز، اکسیدهای آهن، گارنت و استارولیت دیده می‌شوند. سرسیتی شدن حاصل از دگرگونی قهقرایی امری بسیار متداول در آندالوزیت‌هاست. پورفیروبلاست‌های گارنت اغلب دارای قطری بالغ بر یک سانتیمتر بوده و میزان و اندازه آنها با دور شدن از محل برخورد با توده‌های آذرین کاهش می‌یابد. یکی از شاخصه‌های مهم در شیست‌های پورفیروبلاست‌دار منطقهٔ مورد مطالعه، اناستوموسینگ شیستوزیته پیرامون پورفیروبلاست‌های

www.SID.ir

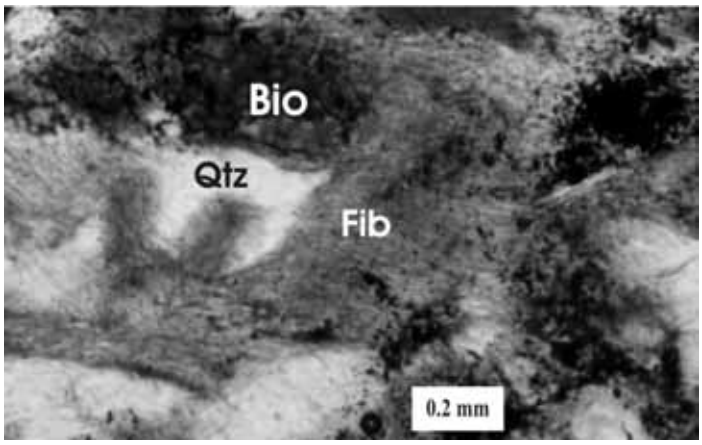
Archive of SID

آندالوزیت و گارنت است که می‌تواند موید رشد همزمان یا پیش از دگرشکلی این پورفیروبلاست‌ها باشد.

فیبرولیت در شیست‌های منطقهٔ مورد مطالعه با شکلهای بافتی متفاوتی دیده می‌شوند. فیبرولیت عموماً به شکل گروههای سوزنی در درون کانی بیوتیت مشاهده می‌شود (شکل ۲). شواهد بافتی به وضوح بیانگر جایگزینی بیوتیت به وسیله فیبرولیت هستند. میزان این جایگزینی کاملاً متفاوت بوده و در برخی موارد شکلهای دروغین کانی بیوتیت که به طور کامل به وسیله فیبرولیت جایگزین شده مشاهده می‌شود (شکل ۳). نکتهٔ حائز اهمیت در جایگزینی فیبرولیت به جای بیوتیت این است که با افزایش این میزان، چند رنگی در کانی بیوتیت کاهش می‌یابد (شکل ۴). فراوانی اکسیدهای آهن در بخش-هایی از مقاطع که جایگزینی فیبرولیت به جای بیوتیت در آنها گسترش یافته، کاملاً مشهود است (شکل ۵). فیبرولیت به شکل رشته‌هایی به موازات شیستوزیته نیز دیده می‌شوند. در برخی از موارد فیبرولیت با حالت همسان و یکنواخت به صورت نوارهایی نسبتاً موازی یا نیمه موازی در سنگ پراکنده شده‌اند (شکل ۶). در مناطقی که این شبکه‌های رگه‌ایی فیبرولیت توسعه یافته‌اند. کانی‌های کوارتز که معمولاً به صورت چند وجهی (شکل ۷) و کشیده دیده می‌شوند (شکل ۶). بالاخره فیبرولیت را می‌توان به شکل مجموعه‌هایی دید که به صورت شعاعی در مرز بین کانی‌های مختلف و به خصوص کوارتز قرار گرفته است (شکل ۸). لازم به یادآوری است که کانی سیلیمانیت که به عنوان چندریختی منشوری فیبرولیت در نظر گرفته شده است، هرگز از زون دگرگونی مشهد گزارش نشده است.



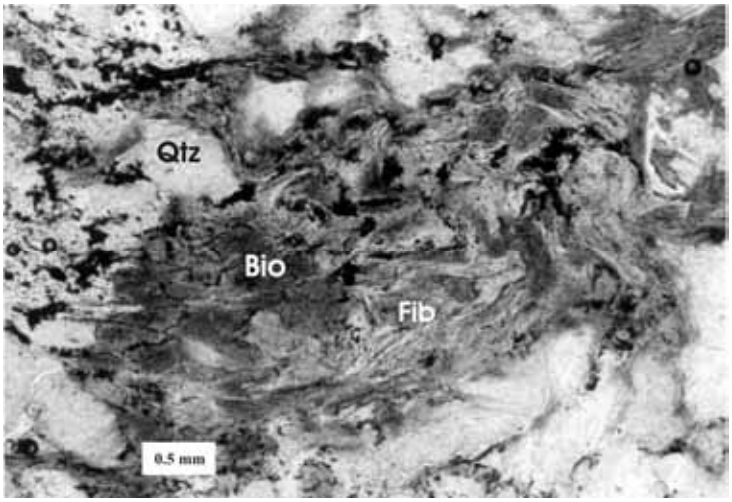
شکل ۲ دسته‌های سوزنی فیبرولیت (Fib) حاصل از جایگزینی بیوتیت (Bio). کانیهای روشن کوارتز (Qtz) هستند. (PPL).



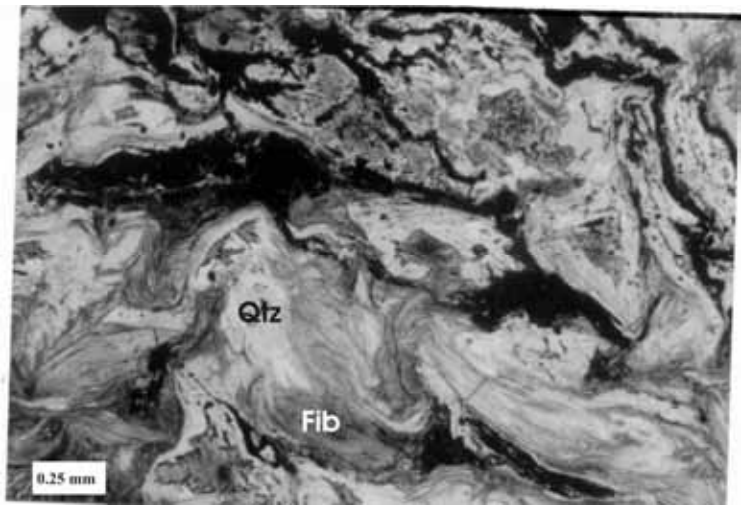
شکل ۳ جایگزینی کامل بیوتیت به وسیله فیبرولیت (Fib). کانی‌های دیگر شامل بیوتیت (Bio) و کوارتز (Qtz) هستند. (PPL).

www.SID.ir

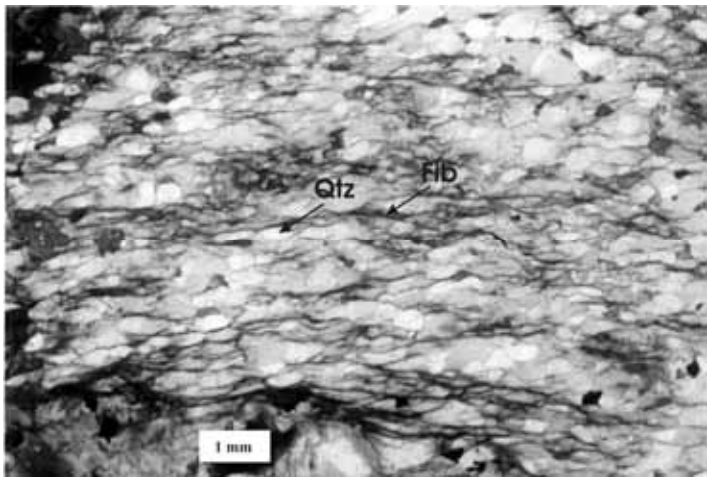
Archive of SID



شکل ۴ جایگزینی بیوتیت (Bio) به وسیله فیبرولیت (Fib). با افزایش میزان جایگزینی، چند رنگی در بیوتیت کاهش می‌یابد. کانیهای روشن کوارتز (Qtz) و کانیهای تیره اکسید آهن هستند. (PPL)



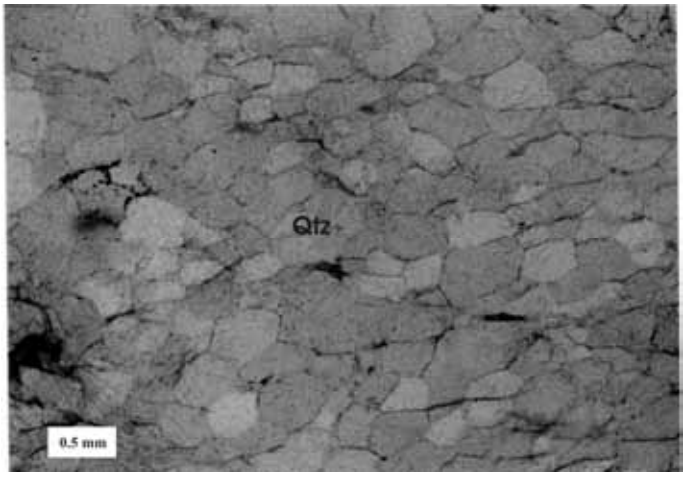
شکل ۵ فراوانی اکسید آهن (کانی‌های تیره) در نتیجهٔ جایگزینی بیوتیت به وسیله فیبرولیت (Fib). کانی‌های روشن کوارتز (Qtz) هستند. (PPL).



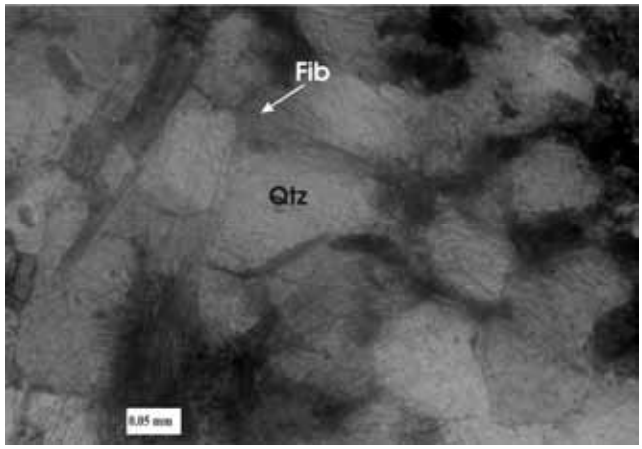
شکل ۶ فیبرولیت (Fib) به شکل نوارهای نسبتاً موازی. توجه کنید که در محل گسترش یافتهٔ این نوارها بلورهای کوارتز (Qtz) به صورت کشیده در آمده‌اند. (PPL).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ بلورهای چند وجهی کوارتز (Qtz) در مناطقی از سنگ که نوارهای فیبرولیت حضور ندارند. (PPL).



شکل ۸ بلورهای سوزنی فیبرولیت (Fib) که به صورت شعاعی در مرز بین بلورهای کوارتز (Qtz) دیده می‌شوند. (PPL).

ساز و کار تشکیل فیبرولیت در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد

فیبرولیت‌ها به دو دستهٔ هماهنگ و ناهماهنگ تقسیم شده‌اند [۱۳]. اصطلاح فیبرولیت هماهنگ زمانی استفاده می‌شود که مرز بین فیبرولیت و کانی‌های پیرامونش کاملاً آشکار باشد. فیبرولیت هماهنگ پیش از تثبیت نهایی موقعییت مرز دانه‌ها، بین سایر بلورهای تشکیل دهندهٔ سنگ موجود بوده است. به دیگر سخن فیبرولیت هماهنگ با کانی‌های پیرامون خود در حال تعادل کامل است. در نقطهٔ مقابل فیبرولیت ناهماهنگ هیچ مرز مشخصی با کانی‌های پیرامون خود ندارد و نمایانگر رشد فیبرولیت بین دیگر کانی‌ها و پس از تشکیل آنهاست. به این ترتیب فیبرولیت ناهماهنگ با کانی‌های دیگر تشکیل دهندهٔ سنگ در تعادل نیست. شواهد بافتی موجود در شیست-های زون دگرگونی مشهد به وضوح موید این است که فیبرولیت در این سنگ‌ها از نوع ناهماهنگ است. چنانکه در بخش سنگ شناسی نیز شرح داده شد، جایگزینی بیوتیت به وسیله فیبرولیت به صورت نسبتاً گسترده‌ای به ویژه در شیست‌های مجاور توده‌های نفوذی دیده می‌شود. از آنجا که این جایگزینی در برخی از موارد در نمونه‌های فاقد انواع دیگری از چند شکلیهای آلومنیو سیلیکات دیده شده است، تشکیل فیبرولیت را نمی‌توان به عنوان یک تغییر شکل چند شکلی قلمداد کرد.

در بررسی فیبرولیت‌های موجود در لوکوگرانیت‌های منطقهٔ کنتاکی، نیو سات ولز در استرالیا، زون‌هایی غنی از رگه‌های فیبرولیتی مشاهده گردید [۱۴]. بر پایهٔ شواهد بافتی تجمع فیبرولیت به شکل رگه‌ای می‌تواند حاصل جریان آبگونهای اسیدی حاصل از نفوذ توده‌های گرانیتی در سنگ‌های میزبان باشد [۱۴]. چنانکه در بخش قبلی توضیح داده شد، فیبرولیت در برخی از شیست‌های موجود در غرب مشهد به خوبی شواهدی از تجمع رگه‌ای شکل را نشان می‌دهد. حضور شکلهای کشیده کوارتز در کنار این رگه‌های فیبرولیتی می‌تواند

www.SID.ir

Archive of SID

به خوبی موید تشکیل فیبرولیت‌های مذکور در نتیجهٔ فرایند شستشوی کاتیونی باشد. طی این فرایند بخش‌هایی از دانه‌های چند وجهی کوارتز در طول یک رشته از مرزهای انتخابی، انحلال حاصل کرده و به شکل کشیده تغییر شکل می‌یابند. طی شستشوی کاتیونی، کاتیون‌های با قابلییت تحرک بالا (نظیر آهن، منیزیم و پتاسیم) از ترکیبات اولیه (عموماً بیوتیت) انتقال، و کاتیون‌های با قابلییت تحرک کم نظیر اکسید آلومینیوم و سیلیسیوم به شکل رگه‌های فیبرولیتی بر جای مانده‌اند. به دیگر سخن می‌توان فیبرولیت را به عنوان باقیماندهٔ نسبتاً کم تحرکی از فرایند شستشوی کاتیونی های پایه در سنگ دانست. در برخی از شرایط نیز انتقال مواد سازندهٔ فیبرولیت در مقیاس کم صورت گرفته و باعث شده است تا فیبرولیت به شکل شعاعی در مرز بین کانی‌های مختلف و به خصوص کوارتز قرار گیرد.

با توجه به شواهد بافتی مذکور تشکیل فیبرولیت در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد یک رویداد تاخیری در تاریخ دگرگونی و در ارتباط با آبگونهای اسیدی مشتق شده از تودهٔ گرانیتی مشهد بوده است. واکنش زیر برای تشکیل فیبرولیت از بیوتیت در هالهٔ دگرگونی توده گرانیتی آردرا (جمهوری ایرلند) ارائه شده است [۳]:

$$2K(Mg_xFe_{1-x})_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 + 14HCl = Al_2SiO_5 + 5SiO_2 + 2KCl + 6(Mg_xFe_{1-x})Cl_2 + 9H_2O \quad (1)$$

HCl لازم برای واکنش بالا از تراوش آبگونهای اسیدی آزاد شده در طول مراحل نهایی تبلور تودهٔ گرانیتی آرد را تامین شده است [۳]. واکنش مذکور را می‌توان برای تشکیل فیبرولیت از بیوتیت در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد پیشنهاد کرد. ذکر این نکته ضروری است که بر پایهٔ واکنش بالا پتاسیم، منیزیوم و آهن آزاد شده از تلاشی بیوتیت اولیه وارد فاز آبگون می‌شوند با این وجود حضور اکسیدهای آهن در کنار انبوهه‌های فیبرولیتی در شیست‌های زون دگرگونی مشهد می‌تواند موید این باشد که حداقل بخشی از آهن در ترکیب کانی مگنتیت شرکت کرده است. از آنجا که بلورهای بزرگ تورمالین به فراوانی به شکل رگه‌هایی در درون تودهٔ گرانیت و شیست‌های پلیتی دیده می‌شوند می‌توان نتیجه نمود که علاوه بر HCl آبگون حاصل از سرد شدن تودهٔ گرانیتی مشهد حاوی مقادیر فراوانی از B نیز بوده‌اند.

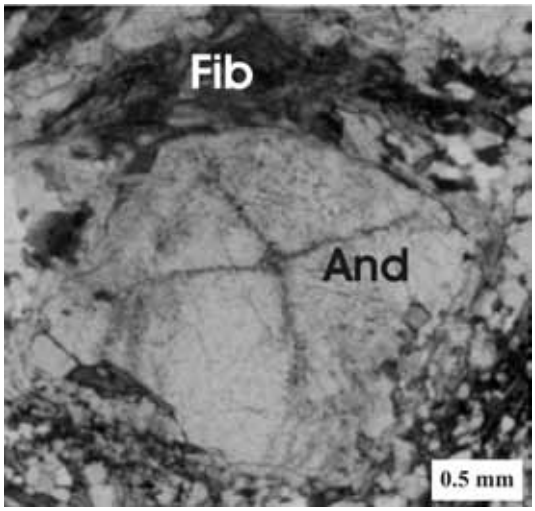
عدم وجود اطلاعات کافی در ارتباط با شرایط دما و فشار حاکم بر هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد، اظهار نظر در مورد اینکه آیا در شیست‌های منطقهٔ مورد مطالعه فیبرولیت در گسترهٔ پایداری کانی سیلیمانیت تشکیل شده یا به صورت نیمه پایدار در گسترهٔ پایداری کانی آندالوزیت را مشکل می‌نماید. با این وجود نتیجه کار بسیاری از پژوهشگران [۱۵، ۱۶، ۳، ۴ و ۷] ثابت کرده است که تشکیل فیبرولیت از بیوتیت هم در دگرگونی ناحیه‌ای و هم در دگرگونی مجاورتی در دمایی پایین تر از گسترهٔ پایداری سیلیمانیت صورت گرفته است. در شیست‌های هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد نیز برخی از شواهد بافتی این نظریه را تایید می‌کند. در نمونه‌هایی که فیبرولیت و آندالوزیت در آنها حضور دارند (حتی در مواردی که این دو کانی در تماس مستقیم با هم قرار می‌گیرند) آندالوزیت هیچگونه شاهدی از ناپایداری و جایگزینی را نشان نمی‌دهد (شکل ۹). به این ترتیب چنانکه [۱۵] و [۳] پیشنهاد کرده‌اند، هسته‌بندی آندالوزیت در ساختار کانی بیوتیت نیازمند انرژی بسیار بالاتری نسبت به فیبرولیت است. به همین دلیل نیز حتی در شرایط پایداری آندالوزیت این فیبرولیت است که به دلیل شباهتهای ساختاری با بیوتیت جایگزین آن می‌شود. بر پایهٔ این شواهد در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد نیز فیبرولیت به صورت نیمه پایدار و در شرایط پایداری آندالوزیت تشکیل شده است.

برداشت

بر پایهٔ شواهد بافتی، در سنگ‌های متا پلیتی هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد فیبرولیت از نوع ناهماهنگ بوده و بیشتر از جایگزینی کانی بیوتیت تشکیل شده است. به این ترتیب فیبرولیت در این سنگ‌ها با سایر کانی‌های تشکیل دهندهٔ سنگ در تعادل نیست و نمایانگر رشد آن بین دیگر کانی‌ها و پس از تشکیل آنهاست. تشکیل فیبرولیت از بیوتیت در هالهٔ دگرگونی گرانیت مشهد یک رویداد تاخیری در تاریخ دگرگونی و در ارتباط با آبگونهای اسیدی مشتق شده از تودهٔ گرانیتی مشهد بوده است. حضور اکسیدهای آهن در کنار انبوهه‌های فیبرولیتی نشان می‌دهد که حداقل بخشی از آهن حاصل از تلاشی بیوتیت اولیه در ترکیب کانی مگنتیت شرکت کرده است. بر پایهٔ شواهد موجود فیبرولیت در این هاله به صورت نیمه پایدار و در شرایط پایداری اندالوزیت تشکیل شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹ بلورهای سوزنی فیبرولیت (Fib) در مجاورت کانی آندالوزیت (And). چنانکه دیده می‌شود فیبرولیت از جایگزینی بیوتیت تشکیل شده و آندالوزیت در مجاورت آن هیچگونه شاهدی از ناپایداری را نشان نمی‌دهد. کانی‌های روشن کوارتز هستند. (PPL).

تشکر و قدردانی

هزینهٔ این پژوهش از محل طرح تحقیقاتی شماره ۹۸۳/پ مصوب شورای محترم پژوهشی دانشکدهٔ علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد تامین شده است که بدینوسیله از آن شورای محترم تشکر و قدردانی می‌شود. مولفین از نظرات و پیشنهادات سازندهٔ داوران محترم و سردبیر گرانقدر مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جناب آقای دکتر ناصر تجبر نیز سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Tozer C.F., *"The mode of occurrence of sillimanite in the Glen District, Co. Donegal. Geological Magazine"*, 92, 310-320. 1955.

[2] Vernon R. H., Flood R. H., D'Arcy., *"Sillimanite and andalusite produced by base-cation leaching and contact metamorphism of felsic igneous rocks. Journal of Metamorphic Geology"*. 5, 439-450. 1987.

[3] Kerrick D. M., *"Fibrolite in contact aureoles of Donegal, Ireland",* American Mineralogist. 72, 240-254. 1987.

[4] Homam S. M., Boyle A. P., Atherton M. P., *"Syn- to post-kinematic fibrolite-biotite intergrowth in the Ardara aureole NW Ireland"*, Journal of Sciences Islamic Republic of Iran. 13, 327-337. 2002.

[5] Wintsch, R. P., Andrews M. S., *"Deformation induced growth of sillimanite: "stress" mineral revisited",* Journal of Geology. 96, 143-161. 1988.

[6] Kerrick D.M., *"The Al2SiO5 polymorphs."* Rev. Mineral., 22, 406p. 1990.

[۷] موذن م.، همام م.، قادری زفره ع.، *"بررسی مسئله فیبرولیت و شرایط تشکیل آن در هاله دگرگون گابرودیوریت چاه قند، شمال شرقی نیریز"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران شماره یک بهار و تابستان ۱۳۸۵ ص ۱۲۸-۱۱۴.

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

[9] 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, p. 463-477. 1983.

[10] Majidi B., *"The ultrabasic lava flows of Mashhad, NE Iran. Geological Magazine",* V. 118, P. 49-58. 1981.

[11] Alberti A., Moazzez S., *"Plutonic and metamorphic rocks of the Mashhad area (Khorasan, north-eastern Iran).",* Bulletine Societa Geologica Italiana, V. 93, p. 1157-1196. 1974.

[12] Alberti A., Nicoletti M., Petrucciani C., *"K/Ar ages of mica of Mashhad granite (Khorasan, NE*

www.SID.ir

Archive of SID

[15] Chinner G.A., *"The origin of sillimanite in Glen Clova, Angus."*, J. Petrol., 2, 312-323. 1961.
[16] Speer J.A., *"Metamorphism of the pelitic rocks of the Snyder group in the contact aureole of the Kiglapait layered intrusion"*, Labrador: Effects of buffering partial pressures of water. Canadian. J. Earth Sci., 19, 1888-1909. 1982.

Iran).", Periodico di Mineralogia. V. 42, p. 483-493. 1973.
[13] Vernon R. H., Flood R. H., *"Interpretation of metamorphic assemblages containing fibrolitic sillimanite"*, Contribution to Mineralogy and Petrology. 59, 227-235. 1977.
[14] Vernon R. H., *"Growth and concentration of fibrous sillimanite related to heterogeneous deformation in K-feldspar-sillimanite metapelites",* J. of Metamorphic Geology. 5, 51-68. 1987.

www.SID.ir