بررسی بافت‌های واکنشی و زونینگ پسرونده گارنت در آمفیبولیت‌های HT/MP-HP کمپلکس تخت سلیمان (شمال غرب ایران)

ر. حاجی علی اوغلی [*۱]، م. مؤذن [۱]، ا. جهانگیری [۱]،س. م. همام [۲]، ر. بوسکو [۳]، ج. دروپ [۴]
دانشگاه تبریز [۱]، دانشگاه فردوسی مشهد [۲]، دانشگاه پتسدام [۳]، دانشگاه منچستر [۴]

چکیده
کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان در شمال شرق تکاب متشکل از انواع سنگهای متاپلیت، مرمر و کالک-سیلیکات، سنگهای متابازیت و متاپریدوتیت است. تحولات دگرگونی پسرونده تحت شرایط کاهش فشار و دما در طی بالا آمدگی سنگهای دگرگونی، براساس مطالعات پتروگرافی و شیمی کانی‌های پورفیروبلاست در سنگهای گارنت آمفیبولیت کمپلکس تخت سلیمان مشهود است. برخی از شواهد پتروگرافی دال بر رخداد فرایندهای دگرگونی پسرونده در آمفیبولیت‌های فشار بالای منطقه مورد مطالعه عبارتند از (a) تیتانیت با بافت کرونا در اطراف ایلمنیت، (b) جانشینی کانیهای فرومنیزین دما بالا توسط کانیهای پلاژیوکلاز و هورنبلند با بافت همرشدی و (c) تشکیل سیمپلکتیت پلاژیوکلاز و هورنبلند در اطراف پورفیروبلاست گارنت.
روند تغییرات پروفیل ترکیبی پورفیروبلاست‌های گارنت در سنگهای آمفیبولیت منطقه مورد مطالعه سازگار با تحولات دگرگونی پسرونده طی دو مرحله کاهش فشار در شرایط تقریباً ایزوترمال (M_{2-a}) و کاهش فشار همراه با سرد شدگی (M_{2-b}) می‌باشد. تغییرات ترکیبی گارنت در طی مرحله اول دگرگونی پسرونده با کاهش مقادیر گروسولار، آلماندین و اسپسارتین و افزایش جزئی پیروپ از هسته به سمت حاشیه مشخص می‌شود. در مرحله دوم در شرایط بالا آمدگی یا exhumation سنگها، مقادیر اسپسارتین، گروسولار و آلماندین از زون داخل به سمت ترکیب حاشیه افزایش یافته و مقادیر پیروپ کاهش یافته است. کاهش قابل ملاحظه پیروپ درست بلافاصله قبل از ترکیب حاشیه در پروفیل گارنت در ارتباط با تبادلات کاتیونی و جانشینی ساب-سالیدوس Mg, Fe بین گارنت و کانیهای فرومنیزین آمفیبول در اطراف است.

مقدمه
مجموعه دگرگونی تخت سلیمان در شمال شرق تکاب دارای تنوع بالایی از انواع سنگهای دگرگونی شامل متابازیت (گرانولیت، آمفیبولیت، اکتینولیت شیست)، سنگهای متاپلیت (گنیس، میکاشیست، اسلیت، فیلیت)، سنگهای کالک-سیلیکات، مرمر و متاپریدوتیت است. سن این دگرگونی‌ها منسوب به پرکامبرین بوده که توسط گسل‌هایی بر روی سنگهای ترشیاری جوانتر رورانده شده‌اند.
سنگهای آمفیبولیت لیتولوژی اصلی مجموعه تخت سلیمان در شمال منطقه را تشکیل می‌دهند اما در جنوب منطقه به صورت میان لایه‌هایی در داخل سنگهای میکا-شیست و گنیس مشاهده می‌شوند.
ساختار آمفیبولیتها متنوع بوده و شامل انواع همگن، دارای فولیاسیون و دارای چین خوردگی است. طول موج چین در آمفیبولیت‌ها از مقیاس میلیمتر تا چند متر متغیر است. رنگ آمفیبولیتها در نمونه‌های دستی از خاکستری و سبز روشن تا رنگ کاملاً تیره متفاوت است. نمونه‌های روشن در مقایسه با نمونه‌های تیره دارای مقادیر مودال کمتری از کانی آمفیبول می‌باشند.

بحث و نتیجه گیری
سنگهای گارنت-آمفیبولیت کمپلکس تخت سلیمان از لحاظ بافتی و نسبتهای متفاوت مقادیر مودال کانیهای کوارتز، پلاژیوکلاز و آمفیبول در انواع گارنت-آمفیبولیت (عادی)، گارنت آمفیبولیت غنی از کوارتز و گارنت آمفیبولیت غنی از هورنبلند طبقه بندی شده‌اند.
الف- گارنت-آمفیبولیت (عادی): مجموعه کانیها در سنگهای گارنت آمفیبولیت عبارتند از هورنبلند (۳۰-۲۵%)، پلاژیوکلاز (۳۰-۲۰%)، گارنت (۲۵-۲۰%)، کوارتز (۱۰%). اپیدوت درمقدار کم در برخی از نمونه‌ها حضور دارد.
کانیهای فرومنیزین دما بالا در طی دگرگونی پسرونده به سیمپلکتیت‌هایی از کانیهای هورنبلند و پلاژیوکلاز تبدیل شده است (شکل a-۱). آمفیبول و پلاژیوکلاز همچنین به صورت کرونا در اطراف پورفیروبلاست گارنت مشاهده می‌شود (شکل b-۱). گارنت پورفیروبلاست در اندازه ۱/۲ میلی متر دارای رنگ متفاوت در هسته و بخش درونی (inner zone) آن است. هسته گارنت با اینکلوژن های فراوان و دانه ریز اپیدوت و کانیهای تیره به رنگ قهوه‌ای بوده که متفاوت از رنگ نسبتاً روشن گارنت با اینکلوژن‌های دانه درشت

کوارتز و پلاژیوکلاز در بخش درونی آن است. تفاوت در نوع کانیهای اینکلوژن و نیز اندازه آنها در بخش مرکز (core) و بخش میانی (inner) پورفیروبلاست گارنت را احتمالاً بتوان در ارتباط با مراحل متفاوت رشد پورفیروبلاست در نظر گرفت (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۶).
مهمترین کانی تیره در گارنت آمفیبولیت‌ها ایلمنیت است که در حاشیه توسط تیتانیت احاطه شده است (شکل d-۱). در برخی از نمونه‌ها بقایای ایلمنیت به صورت اینکلوژن دانه ریز مشاهده می‌شود.
مطالعات بافتی و کانی شناسی انواع گارنت-آمفیبولیت‌ها نشان می‌دهد که این سنگها در طی تحولات دگرگونی پسرونده (M_{2-a})، شدیداً متاثر از شرایط کاهش فشار اما با تغییرات نامحسوس دما بوده‌اند. برخی از این شواهد عبارتند از (I) جانشینی کانیهای فرومنیزین پیشین (احتمالاً پیروکسن) توسط سیمپلکتیت پلاژیوکلاز-هورنبلند، (II) تشکیل سیمپلکتیت پلاژیوکلاز و هورنبلند در اطراف پورفیروبلاست گارنت و (III) تشکیل تیتانیت ثانویه در اطراف ایلمنیت.
ب- گارنت آمفیبولیت غنی از کوارتز: این سنگها به طور اصلی از کانیهای کوارتز (۴۰-۳۰%)، هورنبلند (۴۰-۳۰%) و گارنت (۲۵%) تشکیل شده‌اند. پلاژیوکلاز در مقادیر بسیار جزئی بوده و در اغلب این سنگها حضور ندارد. گارنت در اندازه ۲/۴ میلی متر دارای بافت پوئیکیلوبلاستیک با اینکلوژن‌های فراوان از تک کانی کوارتز است. کانیهای کوارتز دوباره متبلور شده به صورت هاله لوکوکراتیک در اطراف پورفیروبلاست گارنت احتمالاً حاصل واکنش‌های شکست آمفیبول ± پلاژیوکلاز می‌باشند. بنظر می‌رسد در طی رشد گارنت برخی از کانیهای کوارتز در حاشیه پورفیروبلاست گارنت به صورت اینکلوژن احاطه شده-اند.
ج- گارنت-آمفیبولیت فقیر از کوارتز و پلاژیوکلاز: درصد مودال کانیهای هورنبلند و گارنت بیشتر از ۹۰% حجمی این سنگها را تشکیل می‌دهد. پورفیروبلاستهای آمفیبول و گارنت دارای اینکلوژن‌هایی از کانیهای پلاژیوکلاز و اپیدوت می‌باشند. کوارتز در مجموعه کانیهای این سنگها حضور ندارد و یا در مقادیر فرعی است.

ترکیب شیمی پورفیروبلاست گارنت

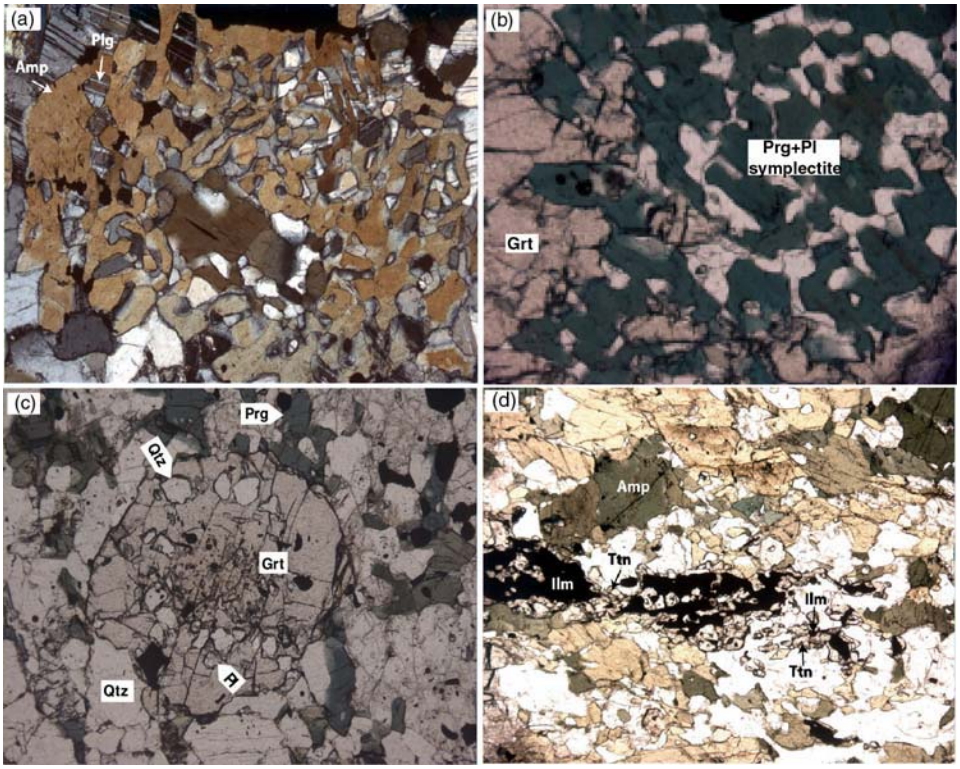
ترکیب شیمی کانیهای پورفیروبلاست گارنت در سنگهای آمفیبولیت مورد مطالعه توسط میکروپروب CAMECA SX100 درمرکز مطالعاتی GFZ آلمان تجزیه شد. ترکیب عمومی گارنت در سنگهای متابازیک به صورت $(Fe^{2+}, Mg, Ca, Mn)_3Al_2Si_3O_{12}$ است اما در سنگهای متابازیک مورد مطالعه، Fe^{3+} در مقادیر کم به صورت جانشینی با Al در ترکیب گارنت حضور دارد (تا حدود ۷ mole%). حضور گارنت به صورت همزیست با کانیهای دارای Fe^{3+} مانند زوئیزیت، آمفیبول، جانشینی Al-Fe^{3+} در کانیهای گارنت تجزیه شده در سنگهای مورد مطالعه، آن را تایید می‌کند.
ترکیب متوسط گارنت در آمفیبولیت‌های کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان به صورت $Alm_{(45-59\%)}, Prp_{(6-16\%)}, Sps_{(11-25\%)}$ $Grs_{(13-25.5\%)}$ است (فرمول محاسبه شده بر اساس ۸ کاتیون و ۱۲ اکسیژن). مقدار Fe^{3+} در گارنت کم و در حدود (a.p.f.u) ۰/۳۲ است.
تغییرات ترکیبی تدریجی یا عدم تغییرات ناگهانی (sharp) در مرز ترکیب هسته، زون درونی و حاشیه کانیهای گارنت تجزیه شده، رشد گارنت طی حوادث دگرگونی متعدد (polymetamorphism) را نشان می-دهد. پروفیل ترکیبی در طول پورفیروبلاست‌های گارنت در سنگهای گارنت آمفیبولیت مورد مطالعه در شکل a-c۲ نشان داده شده است. ترکیب تقریباً یکنواخت و نبود زونینگ شیمیایی پیشرونده در کانیهای گارنت تجزیه شده احتمالاً به دلیل فرایندهای یکنواخت شدگی (homogenization) توسط انتشار حجمی در دماهای بالاتر از ۶۰۰°C است (Woodsworth, 1977).
در اغلب نمونه‌های تجزیه شده تغییرات ترکیب شیمیایی X_{Mg} از هسته به سمت زون داخلی دارای روند افزایش بسیار جزئی تا تقریباً بدون تغییر است (شکل a-۲). تغییرات X_{Ca} و X_{Mn} از هسته به سمت زون داخلی روند تقریباً نزولی تا یکنواخت نشان می‌دهد.
کاهش قابل ملاحظه در مقادیر X_{Mg} در ترکیب حاشیه اغلب کانیهای گارنت تجزیه شده را می‌توان به-re equilibration تحت شرایط sub-solidus نسبت داد.
پروفیل گارنت در برخی نمونه‌ها الگوی نسبتاً پیچیده و غیر مشخص را نشان می‌دهد (شکل b-۲). بنظر می‌رسد پیچیدگی ترکیب گارنت در پروفیل برخی از کانیهای پورفیروبلاست تجزیه شده در ارتباط با جوش خوردگی (annealing) کانیهای گارنت در اندازه‌های کوچکتر باشد که خود زونینگ داشته و نتیجه تشکیل گارنت درشت تر با زونینگ پیچیده است (Whitney, 1996; Rötzler et al. 1999).
روند تغییرات پروفیل ترکیبی اغلب کانیهای گارنت تجزیه شده (به استثناء کانیهای گارنت حاصل جوش خوردگی) در سنگهای آمفیبولیت کمپلکس تخت سلیمان به این صورت خلاصه می‌شود:

(الف) تغییرات ترکیبی گارنت از هسته به سمت زون داخلی با افزایش تشکیل دهنده پیروپ و کاهش مقادیر اسپسارتین و گروسولار مشخص می‌شود (شکل ۲b-c).
(ب) کاهش تشکیل دهنده آلماندین در اغلب نمونه‌های تجزیه شده احتمالاً در ارتباط با شرایط کاهش فشار و ناپایداری واکنش‌های تشکیل آلماندین است (Thieblemont et al. 1988).
(ج) نسبت #Mg [Mg/(Mg+Fe^{2+})] در ترکیب زون داخلی گارنت بیشتر از مقدار آن در ترکیب حاشیه است.
(د) علیرغم اینکه در کل مقادیر اسپسارتین در ترکیب گارنت‌های تجزیه شده پائین است اما تغییرات ترکیبی جزئی به صورت زونینگ عادی از هسته (X_{Mn}=1.58 a.p.f.u.) به سمت داخل و زونینگ معکوس از زون درونی به سمت حاشیه (X_{Mn}=0.1 a.p.f.u.) در پروفیل آنها قابل تشخیص است.
(ه) کاهش قابل ملاحظه درست بلافاصله قبل از ترکیب حاشیه در پروفیل گارنت در ارتباط با تبادلات کاتیونی و جانشینی ساب-سالیدوس Mg, Fe بین گارنت و کانیهای فرومنیزین آمفیبول در فولیاسیون است.
ترکیب گارنت‌های تجزیه شده در انواع سنگهای آمفیبولیت منطقه مورد مطالعه بطور خلاصه در نمودار مثلثی شکل ۲-d نشان داده شده است.

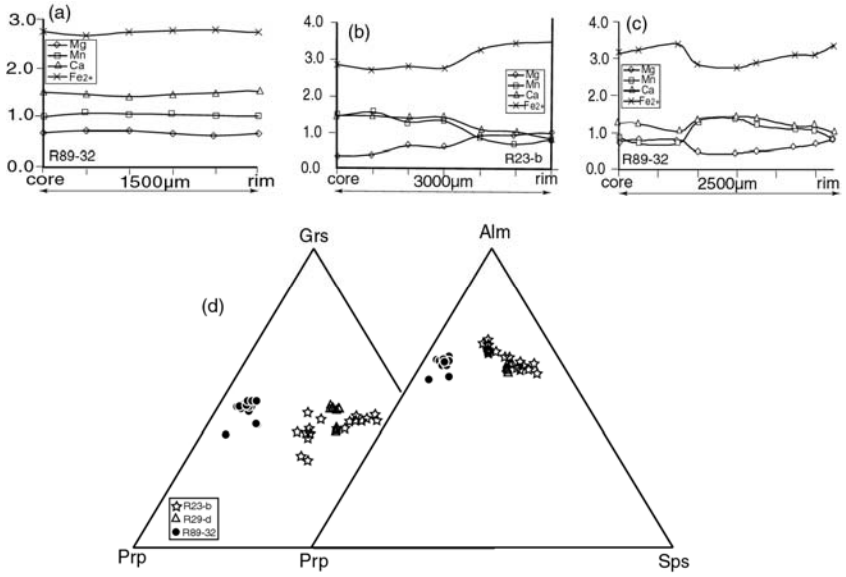
References

Rötzler, J., Carswell, D.A., Gerstenberger, H. and Haase, G., 1999. Transitional blueschist-epidote amphibolite facies metamorphism in the Frankenberg massif, Germany, and geotectonic implications. Journal of Metamorphic Geology, 16: 109-125.
Thiéblemont, D., Pascual, E. And Stein, G., 1998. Magmatism in the Iberian Pyrite Belt: petrological constraints on a metallogenic model. Mineralium Deposita, 33: 98–110.
Whitney, D.L., 1996. Garnets as open systems during regional metamorphism. Geology, 24: 147-150.
Woodsworth, G.J., 1977. Homogenization of zoned garnets from politic schists. Canadian Mineralogist, 15: 230-242.

حاجی علی اوغلی، ر، ۱۳۸۶- بررسی پترولوژی سنگهای دگرگونی کالك-سیلیکات و متابازیك مجموعه تخت سلیمان در شمالشرق تکاب (غرب ایران). پایاننامه دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۷۰ صفحه.



شکل ۱ (a) سیمپلکتیت هورنبلند و پلاژیوکلاز که جانشین کانی فرومنیزین اولیه شده است.XPL ، طول میدان دید ۲/۴mm. (b) هورنبلند و پلاژیوکلاز با بافت همرشدی در اطراف پورفیروبلاست گارنت. PPL، طول میدان دید ۲/۴mm. (c) پورفیروبلاست گارنت با رنگهای متفاوت در هسته و حاشیه. گارنت در هسته دارای اینکلوژن های بسیار ریز و فراوان اپیدوت است در صورتیکه بخش حاشیه دارای اینکلوژن‌های کوارتز در اندازه های نسبتاً درشت است PPL، طول میدان دید ۲/۴mm. (d) تیتانیت با حاشیه کرونا در اطراف ایلمنیت. PPL، طول میدان دید ۴/۸mm.



شکل ۲ (a), (b), (c) پروفیل‌های ترکیبی از کانیهای گارنت تجزیه شده در آمفیبولیت‌ها. در نمودار (a) ترکیب گارنت دارای تغییرات تدریجی و پیوسته است. تغییرات ترکیبی ناگهانی و ناپیوسته در پروفیل گارنت در نمودارهای (b), (c) احتمالاً در ارتباط با جوش خوردگی (annealing) کانیهای گارنت کوچک تر دارای زونینگ و تشکیل پورفیروبلاست درشت گارنت می‌باشند. (d) ترکیب کانیهای گارنت تجزیه شده در نمودارهای مثلثی Prp-Grs-Sps و Prp-Alm-Sps.