

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

مکانیزم‌های تشکیل هرسی‌نایت در هاله مجاورتی اسلاملو، شمال

اشنوویه

امیر محامد^{۱*}، منیر مجرد^۲

^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد زمین شناسی دانشگاه زنجان، a.mohamed269@yahoo.com

^۲ عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه ارومیه، m.modjarrad@urmia.ac.ir

چکیده:

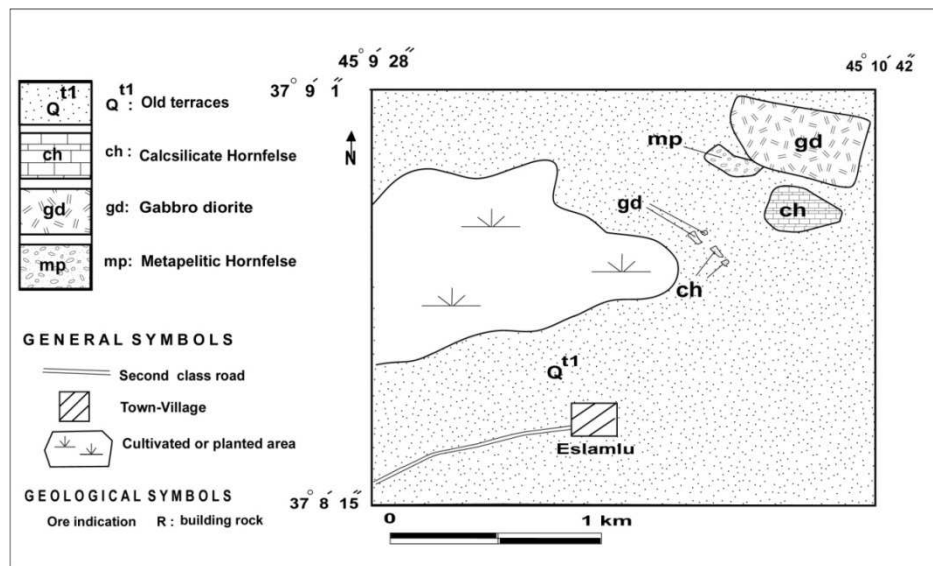
هاله مجاورتی اسلاملو (شمالغرب ایران، شمال اشنوویه) حاوی کانیهایی شاخص دگرگونی شامل کلریتوئید، مسکوئیت، بیوتیت، کلریت، گارنت، آندالوزیت، کردیریت، سیلیمانیت±هرسی‌نایت±کوارتز می‌باشد. این مقاله به تشکیل Spl می‌پردازد. مکانیزم‌های متعددی در منابع برای تشکیل این کانی پیشنهاد شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. افزایش سریع دما و ناهمگنی محلی در توزیع کانیایی در متاپلیتهای اسلاملو بعنوان مکانیزم‌های مؤثر در رشد این کانی پیشنهاد شده‌اند. این عوامل مانع از حصول تعادل بزرگ مقیاس شده و هم‌رشدی اسپینل-کردیریت را سبب شده‌اند. برخلاف بیشتر هم‌رشدیهای اسپینل-کردیریت متعلق به سرزمینهای درجه بالا، این پاراژنز در هاله اسلاملو در طی دگرگونی پیش‌رونده تشکیل شده است.

واژه های کلیدی: متاپلیت، دگرگونی مجاورتی، اسلاملو، اسپینل.

مقدمه :

منطقه مورد مطالعه در پانزده کیلومتری شهرستان اشنوویه در منطقه اسلاملو واقع شده است (شکل ۱). هورنفلس‌های رسی هاله مجاورتی منطقه حاوی کانی‌های شاخصی نظیر اسپینل هستند. اعضای انتهایی مجموعه محلول جامد اسپینل از کانی‌های رایج موجود در پوسته و گوشته زمین هستند که این مسأله بیش از پیش اهمیت مطالعه روابط فازی و خصوصیات ترمودینامیکی این مجموعه از محلول جامد را روشن می‌کند (Nell et al., 1989; Nell and Wood, 1989). اعضای انتهایی این مجموعه شامل Al_2O_3 (Fe, Mg, Zn) می‌باشد که در برخی موارد عنصر Cr جانشین عنصر Al می‌شود. رایج‌ترین این کانی‌ها هرسی‌نایت (آهن‌دار)، اسپینل (منیزیم‌دار) و گهنایت (روی‌دار) می‌باشند. ویژگی‌ها و شرایط ترمودینامیکی تشکیل کانی هرسی‌نایت برای زمین‌شناسان دگرگونی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که این کانی یکی از مهمترین ژئوترموبارومترهای مورد استفاده در سنگهای دگرگونی درجه بالاست (Shulters and Bohlen, 1989; Hensen and Green, 1971; Bohlen et al., 1986). در ارتباط با کانی اسپینل تشکیل دهنده‌هایی نظیر Fe^{3+} (مگنتیت)، Ti (اولواسپینل) و Zn (گهنیت) میدان پایداری این کانی را افزایش می‌دهند (Carswell and O'Brien, 1993; Harley, 1989; White et al., 2002). در میدان دما-فشار، سازنده روی موجود در ساختمان اسپینل پایداری این کانی را در میدان گارنت تا فشارهای بالاتر و در میدان کردیریت تا فشارهای پائین‌تر افزایش می‌دهد (Geoffrey et al., 1992). فوگاسیته بالای اکسیژن و محیط‌های غنی از Al-Fe میدان پایداری مجموعه‌های حاوی اسپینل را افزایش می‌دهند (Richardson et al., 1968). در سنگهای درجه پائین کانی اسپینل محصول شکست اسفلریت یا استارولیت می‌باشد البته این سنگ‌ها چندان رایج نیستند (Robinson

به گفته برخی از محققین اسپینل به محیط‌های غنی از آهن و آلومینیوم و فوگاسیته پائین اکسیژن محدود می‌شود (Richardson et al., 1968). در سنگ‌های پر سیلیس این کانی توسط پورفیروبلاستهایی نظیر گارنت و آندالوزیت دربرگرفته شده است، چراکه در شرایط دگرگونی پائین‌تر از رخساره گرانولیت اسپینل و کوارتز بشدت با هم وارد واکنش شده و کانی‌هایی نظیر کردیریت تشکیل می‌دهند. اسپینل در این سنگ‌ها در تماس مستقیم با کوارتز نبوده و یا حداقل در برخی موارد به نواحی از سنگ که دارای نسبت بالای Al/Si هستند محدود می‌شود (Robinson and Jaffe, 1969). حضور کانی هرسی‌نایت در هاله مجاورتی اسلاملو موقعیت مناسبی جهت بررسی شرایط ترمودینامیکی تشکیل این کانی فراهم آورده است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

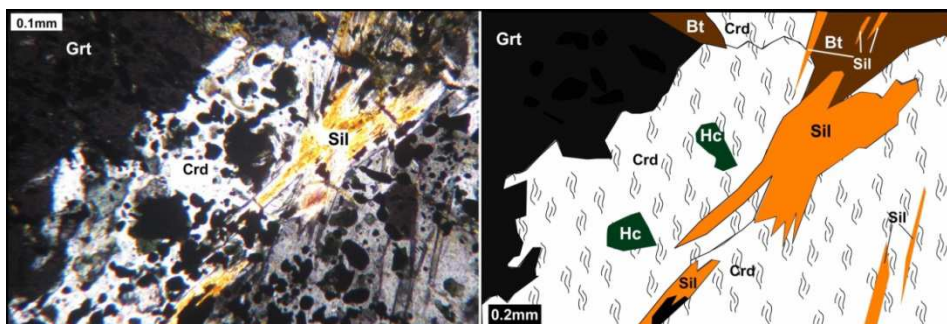
مواد و روش‌ها:

روش مطالعه در این تحقیق شامل پیمایش‌های صحرایی، نمونه برداری از سنگ‌های هاله مجاورتی، مطالعات پتروگرافی و استخراج صحیح مکانیزم‌های دخیل در تشکیل اسپینل با استفاده از روابط بافتی می‌باشد.

بحث:

اسپینل‌های سبز رنگ هاله مجاورتی اسلاملو حاکی از عضو نهایی آهن‌دار این مجموعه از محلول جامد می‌باشد. اساس بررسی تاریخچه سرزمین‌های دگرگونی مطالعات میکروسکوپی سنگ‌های دگرگونی می‌باشد و قبل از انجام هر گونه آنالیز ترکیب شیمیایی (میکروپروب و شیمی سنگ کل) بررسی میکروسکوپی یک سنگ دگرگونی اطلاعات ارزشمندی در اختیار محقق قرار می‌دهد (Moazzen and Modjarad, 2005). در هاله مجاورتی اسلاملو پاراژنز Grt+Crd+Sil+Hc+And دما بالاترین پاراژنز می‌باشد (محامد ا، ۱۳۹۰). این پاراژنز قابل مقایسه با پاراژنز مشاهده شده در نمونه‌های غرب برزیل (Barbosa et al., 2006) می‌باشد و واکنش تشکیل هرسی‌نایت در این دو دسته از سنگها یکسان بوده است (Grt+Sil=Crd+Hc). این واکنش بر اساس مشاهدات میکروسکوپی و بافت‌های واکنشی بارز (شکل ۲) و با استفاده از نرم افزار ترموکالک پیشنهاد شده

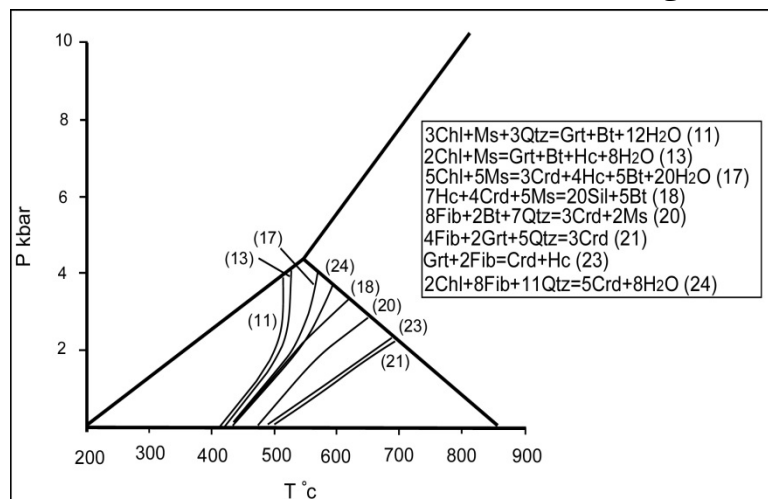
است. فشار و دمای پیشنهاد شده برای این واکنش در منابع بالاست. در حالیکه واکنش مزبور در هاله مجاورتی اسلاملو در فشار حدود ۲/۲ کیلوبار و دمای کمتر از مقادیر فوق رخ داده است (محامد، ا.، ۱۳۹۰). این پاراژنز در کمر بند کندالیتی جنوب هند نیز مشاهده شده و واکنش فوق برای تشکیل کانی هرسی نایت در این سنگها نیز پیشنهاد شده است (Shabeer et al., 2002).



شکل ۲- هورنفلس رسی. روابط پاراژنتیک بین کانی های گارنت، کوردیریت، سیلیمانیت و هرسی نایت.

در متاپلیتهای اسلاملو کانی استارولیت مشاهده نشده است چرا که فشار تخمینی برای هاله مجاورتی اسلاملو کمتر از فشار لازم برای تشکیل کانی استارولیت بوده است (محامد، ا. و مجرد، م.، ۱۳۹۰). لذا تشکیل کانی هرسی نایت در متاپلیتهای اسلاملو را نمی توان به شکست استارولیت نسبت داد. پاراژنز حاوی اسپینل در کمر بند کندالیتی جنوب هند در شرایط ترمودینامیکی متفاوتی نسبت به هاله اسلاملو تشکیل شده است. بطوریکه واکنش مربوطه ($Grt + Sil = Crd + Hc$) در متاپلیتهای جنوب هند در پتروژنتیک گرید ترسیمی توسط (Fitzsimons, 1996) دارای یک منحنی تعادلی با شیب ملایم (موازی محور دما) می باشد. مجموعه کانیهای موجود در سمت راست این منحنی تعادلی در فشار پائین پایدار است، این امر به همراه بافت واکنشی پس رونده که هم رشدی سیمپلکتیت کوردیریت و اسپینل سبز رنگ (هرسی نایت) می باشد، حاکی از یک مسیر کاهش فشار (Decompressional) می باشد که رخداد رایج بسیاری از سرزمینهای گرانولیتی می باشد (Harley et al., 1990; Fitzsimons, 1996). در پتروژنتیک گرید ترسیمی برای متاپلیتهای هاله مجاورتی اسلاملو (شکل ۳) منحنی تعادلی واکنش مزبور (واکنش شماره ۲۳) دارای شیب تندی بوده که حاکی از وقوع یک دگرگونی پیش رونده برای تشکیل پاراژنز مربوطه است، بطوریکه کانی های هرسی نایت و کوردیریت در قسمت دما بالای این منحنی تعادلی واقع هستند. این مسأله در تطابق با مشاهدات پتروگرافی متاپلیتهای اسلاملو نیز می باشد که هیچ بافت واکنشی پس رونده ای مانند سیمپلکتیتها و کرونها در این سنگها تشکیل نشده است. کانی هرسی نایت در دماهای بالاتر از ۸۷۵ درجه سانتی گراد با کانی مگنتیت محلول جامد تشکیل می دهد (Deer et al., 1991). اما با توجه به اینکه در هاله مجاورتی اسلاملو این دو کانی بصورت کاملاً مجزا دیده شده اند لذا می توان نتیجه گرفت که دمای تشکیل این کانی کمتر از مقدار فوق بوده است. میدان پایداری کانی های آهن دار تابعی از fO_2 است. از آنجائیکه گارنت از نوع آهن دار بوده (محامد، ا.، ۱۳۹۰) و آهن آن نیز از نوع Fe^{2+} است، می توان فوگاسیته پائین اکسیژن را مسئول تشکیل این سنگها فرض کرد. تحت این شرایط پایداری، سنگها نزدیک یا زیر بافر Q.F.M. (Quartz-Fayalite-Magnetite) در دماهای بیش از ۵۵۰ درجه سانتی گراد تشکیل شده اند (Hugh and O'Neill, 1987). همچنین حضور گرافیت در این سنگها، fO_2 در فاز بخار آب در حال تعادل با سنگ را تا زیر بافر G.F.M. تا دماهای بیش از ۶۰۰ درجه سانتی گراد کاهش می دهد (French and Eugster, 1968). بنابراین با استفاده از اطلاعات مذکور می توان محدوده ۸۷۵-۵۵۰ درجه سانتی گراد را برای

تشکیل این کانی در نظر داشت. البته در پتروژنتیک گرید ترسیمی برای پارائزهای هاله مجاورتی اسلامو (شکل ۳) با توجه به اینکه فشار محاسبه شده برای این سنگها حدود ۲/۲ کیلوبار بوده است، محل تقاطع منحنی تعادلی واکنش مربوطه با خط افقی فشار تخمینی، دمای حدود ۶۹۰ درجه سانتی‌گراد را برای تشکیل کانی هرسی‌نایت بدست می‌دهد.



شکل ۳- پتروژنتیک گرید ترسیمی برای پارائزهای حاوی اسپینل توسط نرم افزار ترموکالک (THERMOCALC 3.33, Holland and Powell (1998)). علائم اختصاری کانی‌ها از (Kretz (1983).

همرشدی کردیریت-اسپینل در بسیاری از سنگ‌های دگرگونی که مجموعه‌های آذرین را در بر گرفته‌اند گزارش شده است. نظر بر اینست که این هم‌رشدیها نتیجه واکنش سیلیمانیت با مذاب (Grant and Frost, 1990) و یا نتیجه از دست دادن محلی سیلیس در اثر ذوب بخشی می‌باشند (Goodman and Lappin, 1996). در برخی از موارد این هم‌رشدیها نتیجه تخریب آلومینوسیلیکات-بیوتیت در طول ذوب بخشی پیش‌رونده می‌باشد (Greenfield et al., 1998). در متاپلیتهای اسلامو هم‌رشدی کردیریت+اسپینل توسط فرآیندی غیر از فرآیندهای مذکور رخ داده است. این هم‌رشدی نه نتیجه ذوب بخشی گسترده و نه نتیجه حضور زئولیت‌های پلیتی در داخل توده نفوذی بوده است بلکه این هم‌رشدی نتیجه دگرگونی پیش‌رونده بوده است. تغییرات روابط فازی با تغییر دما و فشار و سازگاری پارائزهای مختلف در سنگهای با ترکیبات سنگ کل متفاوت در شرایط دما و فشار یکسان به بهترین وجه توسط دیاگرام‌های سازگاری مطالعه می‌شوند. این دیاگرام‌ها برای دما-فشارهای ثابت ترسیم می‌شوند. بر اساس فاز دیاگرامهای ترسیمی برای این دسته از سنگ‌ها می‌توان نتایج مقابل را بدست آورد: ۱- پارائزهای اوج دگرگونی در سنگ‌ها و یا در بخشهایی از این سنگها با ترکیب شیمی سنگ کل متفاوت در دماها و فشارهای یکسان، مشابه‌اند. ۲- اسپینل و کوارتز در تعادل با هم بسر نمی‌برند (Pitra and Waal, 2001). حضور پارائزهای حاوی کوارتز و پارائزهای حاوی اسپینل در نزدیکی هم در زیر میکروسکوپ حاکی از حصول تعادل در حجم‌های کوچک می‌باشد، بطوریکه تعادل محلی قابل حصول بوده است.

نتیجه گیری :

ناهمگنی در توزیع کانایی و تعادل محلی در این سنگ‌ها باعث تشکیل پارائزهای اسپینل-کردیریت و بافت‌های مربوطه شده است. برخلاف بیشتر هم‌رشدیهای SpI+Crd گزارش شده از سرزمینهای درجه بالا، این



پاراژنزها در هاله اسلاملو حاکی از تشکیل آن طی دگرگونی پیش‌رونده می‌باشد. افزایش ناگهانی دما می‌تواند سبب عدم حصول تعادل بزرگ مقیاس باشد. افزایش ناگهانی دما می‌تواند ناشی از صعود متوالی و چند مرحله‌ای توده نفوذی باشد. بر اساس مطالعات انجام شده در این تحقیق دمایی تشکیل هرسی نایت حدود ۶۹۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود.

منابع فارسی :

- ۱- محامد ا. (۱۳۹۰) بررسی پدیده های دگرگونی مجاورتی اسلاملو، اشنویه. پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ایران.
- ۲- محامد، ا. و مجرد، م. (۱۳۹۰) زون‌بندی و واکنش‌های رخ داده در هاله مجاورتی اسلاملو، اشنویه. پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

References:

- 1- Barbosa, J., Nicollet, C., Leite C., Kienast, J., Reinhardt, A. and Macedo, E. P. (2006) Hercynite-quartz-bearing granulites from Brejoes dome area, Jequeie block, Bahia, Brazil: Influence of charnokite intrusion on granulite facies metamorphism. *Lithos*, Vol. 92, pp. 537-556.
- 2- Bohlen, S. R., Dollas, W.A., and Wall, V. J. (1986) Calibration and application of spinel equilibria in the system FeO-Al₂O₃-SiO₂. *Journal of Petrology*, Vol. 27, pp. 1143-1156.
- 3- Carswell, D. A. and O'Brien, P. J., (1993) Thermobarometry and Geotectonic Significance of High-pressure Granulites-Example from the Moldanubian zone of the Bohemian massif in Lower Austria. *Journal of Petrology*, Vol. 34, 427-459.
- 4- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. (1991) *An introduction to the rock forming minerals*. Longman., 528 p.
- 5- Fitzsimons, I. C. W., (1996) Metapelitic migmatites from Brattstrand Bluffs, East Antarctica-metamorphism, melting and exhumation of the mid crust., *Journal of Petrology*, Vol. 37, pp. 395-414.
- 6- French, B. M. and Eugster, H. P., (1968) *J. Geophys. Res.* Vol. 70, pp. 1529-1539.
- 7- Geoffrey T. Nickols, Ron F. Berry, and David H. Green, (1992) Internally consistent gahnite spinel-cordierite-garnet equilibria in the FMASHZn system: geothermobarometry and applications. Vol. 111, pp. 362-377.
- 8- Goodman, S. and Lappin, M. A., (1996) The thermal aureole of the Lochnagar Complex: mineral reactions and implications from thermal modeling. *Scottish Journal of Geology*, Vol. 32, pp. 159-172.
- 9- Grant, J. A. and Frost, B. R. (1990) Contact metamorphism and partial melting of politic rocks in the aureole of the Laramie anorthosite complex, Morton Pass, Wyoming. *American Journal of Science*, Vol. 290, pp. 425-472.
- 10- Greenfield, J. E., Clarke, G. L. and White, R. W., (1998) A sequence of partial melting reactions at Mt Stafford, central Australia. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol. 16, pp. 363-378.
- 11- Harley, S. L., (1989) The origins of granulites: a metamorphic perspective. *Geological Magazine*, Vol. 126, pp. 215-331.
- 12- Harley, S. L., Hensen, B. J. and Sheraton, J. W. (1990) Two-stage decompression in orthopyroxene-sillimanite granulites from Forefinger point, Enderby land, Antarctica: implications for the evolution of the archaic Napier complex. *J. Metamorphic. Geol.*, Vol. 8, pp. 591-613.
- 13- Hensen, B. J. and Green D. H. (1971) Experimental study of the stability of cordierite and garnet in politic compositions at high pressure and temperatures I: compositions with excess alumina-silicate. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 33, pp. 309-330.
- 14- Holland, T. J. B., Powell, R. (1998) An internally consistent thermodynamic dataset for phase of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol. 16, pp. 309-343.
- 15- Hugh St. and C. O'Neill (1987) Quartz-fayalite-iron and Quartz-fayalite-magnetite equilibria and the free energy of formation of fayalite (Fe₂SiO₄) and magnetite (Fe₃O₄). *Am. Mineralogist*, Vol. 72, pp. 67-75.
- 16- Loomis, T. P. (1972) Contact metamorphism of politic rocks by the Ronda ultramafic intrusion, southern Spain. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 83, pp. 2449-2473.
- 17- Moazzen, M., Modjarrad, M., (2005) Contact metamorphism and crystal size distribution studies in the Shivar aureole, NW Iran., *Geological Journal*, Vol. 40, pp. 499-517.



- 18- Nell, J. and Wood, B. J. (1989) Thermodynamic properties in a multicomponent solid-solution involving cation disorder. Fe_3O_4 - MgFe_2O_4 - FeAl_2O_4 - MgAl_2O_4 spinels. *American Mineralogist*, Vol. 74, pp. 1000-1015.
- 19- Nell, J., Wood, B. J., and Mason, T. O., (1989) High-temperature cation distributions in Fe_3O_4 - MgAl_2O_4 - MgFe_2O_4 - FeAl_2O_4 spinels. *American Mineralogist*, Vol. 74, pp. 160-176.
- 20- Pitra P., and Waal, S. A. D. (2001) High-temperature, Low-pressure metamorphism and development of prograde symplectites, Marble Hall Fragment, Bushveld Complex (South Africa). *J. Metamorphic Geol.*, Vol. 19, pp. 311-325.
- 21- Richardson, S. W., Bell, P. M. and Gilbert, M. C. (1968) Kyanite-sillimanite equilibria: the aluminum silicate triple point. *American Journal of Science*, Vol. 266, pp. 513-541.
- 22- Robinson, P. and H.W. Jaffe (1969) Aluminous enclaves in gedrite-cordierite gneiss from southwestern New Hampshire. *Am. J. Sci.*, Vol. 267, pp. 389-421.
- 23- Shabeer, K. P., Sajeev, K., Okudaira, T. and Santosh, M., (2002) Two-stage spinel growth in the high-grade metapelites of the central Kerala Khondalite belt: Implication for prograde P-T path.
- 24- Shulters, J. C. and Bohlen, S. R. (1989) The stability of hercynite and hercynite-gahnite spinels in corundum- or quartz-bearing assemblages. *Journal of Petrology*, Vol. 30, pp. 1017-1031.
- 25- Stoddard, E. F. (1979) Phase petrology of cordierite-amphibole rocks, Old Woman-Piute Range, southeastern California (abstr). *Geol. Soc. Am. Abstract with Programs*. Vol. 11, pp. 130.
- 26- White, R., W., Powell, R. and Clarke, G. L., (2002) The interpretation of reaction textures in Fe-rich metapelitic granulites of the Musgrave Block, central Australia: constrains from mineral equilibria calculations in the system K_2O - FeO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - TiO_2 - Fe_2O_3 . *J. Metam. Geol.*, Vol. 20, pp. 41-55.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله