



بررسی شرایط دمایی حاکم بر تشکیل شیست‌های منطقه
دهنو (شمال غرب مشهد): کاربرد روش زمین‌دماسنجی گارنت
- مسکوویت

رامین صمدی^۱، نرگس شردشت‌زاده^۱، کیوان شیعیان^۲
^۱ دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و
تحقیقات تهران (rsamadi@hotmail.com)

^۲ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد k.shiaian@gmail.com
طبس

چکیده: گارنت‌شیست و گارنت‌کلریتوئید شیست‌های منطقه دهنو از نظر کانی‌شناسی شامل کوارتز، بیوتیت، مسکوویت، گارنت، کلریت، کلریتوئید، تورمالین و کانی‌های ایک می‌باشند. بررسی گارنت‌شیست‌ها با استفاده از دماسنج گارنت-مسکوویت نشان می‌دهد که دمای متوسط تشکیل مجموعه کانی‌های نمونه‌های گارنت‌شیست‌ها در حدود 459 تا 526 درجه سانتیگراد می‌باشد. با توجه به وجود کانی‌های آلومینوسیلیکاته سیلیمانیت و آندالوزیت در کنار هم در این سنگ‌ها و فشاری نزدیک به 4 کیلوبار، می‌توان شرایط دگرگونی ناحیه‌ای که منجر به این دگرگونی گردیده است را مطابق با بخش‌های درجه پایین رخساره دگرگونی ناحیه‌ای شیست سبز تا آمفیبولیت مطابق دانست.
واژه‌های کلیدی: شیست، زمین‌دماسنجی، بیوتیت، دهنو، مشهد.

Abstract: Garnet schists and garnet chloritoid schists of Dehnow are mineralogically composed of quartz, biotite, muscovite, garnet, chloritoid, tourmaline, and opaque minerals. Application of garnet-muscovite geothermometry indicated an average temperature of 459 to 526 °C for the formation of these minerals. Presence of aluminosilicate minerals of silimanite and andalusite together in these rocks revealed temperature up to 500 °C and pressures up to 4kbars which is correlated with lower green schist facies to amphibolites metamorphic facies.

Key words: Schist, geothermometry, biotite, Dehnow, Mashhad.

مقدمه

مطالعات زمین‌دماسنجی برای شناخت شرایط دمایی تشکیل سنگ‌ها، در دهه‌های اخیر به عنوان یک روش مفید مطرح شده‌اند. در این زمینه، تجربیات آزمایشگاهی دانشمندان، محاسبات و مدل‌سازی ترمودینامیکی، بر اساس تجزیه شیمیایی کانی‌ها به وسیله الکترون میکروپروب، به فهم بهتر شرایط دما و فشار حاکم بر سنگ‌ها در خلال فرآیندهای زمین‌شناسی، کمک مؤثری نموده است. با توجه به اهمیت تعیین شرایط محیطی در مطالعات مربوط به پهنه‌های زمین‌شناسی، در این مطالعه به بررسی کاربرد روش دماسنجی تیتانیوم موجود در بیوتیت در مورد شیست‌های منطقه دهنو، بر اساس آنالیز میکروپروب کانی‌های مختلف این سنگ‌ها، پرداخته شده است.



زمین شناسی عمومی منطقه:

منطقه دهنو در شمال شرقی ایران و در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر مشهد واقع گردیده است. این ناحیه در محدوده زون ساختاری بینالود و در امتداد شرقی سلسله جب ال البرز، در حد فاصل طول های جغرافیایی $22^{\circ} 59'$ تا $26^{\circ} 59'$ شرقی و عرض های جغرافیایی $20^{\circ} 36'$ تا $22^{\circ} 36'$ شمالی قرار دارد (شکل یک). در جنوب، غرب و شمال غرب مشهد یک مجموعه شامل رسوبات پالئوزوئیک و سنگ های دگرگون شده تریاس با جهت جنوب شرق - شمال غرب به صورت یک زون تحت تأثیر وقایع تکتونیکی صعود نموده و رخنمون پیدا نموده است. دگرگونی ناحیه ای این سنگ ها در تریاس صورت پذیرفته و در ضمن دگرگونی، توده های گرانیتوئیدی به این نوار دگرگونی تزریق شده اند. (علوی، ۱۹۹۱؛ هاتفی، ۱۳۸۲). اختصاصات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از خصوصیات یک شیار قاره ای حکایت می کند که در پرمین آغاز شده، پس از تشکیل گراین های متعدد، رسوبات داخل آنها در نتیجه فرونشینی و تعادل حرارتی بدون تغییر شکل و به صورت هم فشاری، دگرگونی ناحیه ای از نوع فشار پائین - دمایی بالا را تحمل نموده است. پس از تشکیل پوسته اقیانوسی بین دو ورقه توران و ایران، پوسته اقیانوسی باقیمانده بر روی قاره رانده شده است. در نتیجه برخورد دو ورقه با یکدیگر، سنگ های زون برخورد (در محل نوار دگرگونی) متحمل دگرگونی ناحیه ای از نوع فشار پائین - دمایی بالا شده و به حداکثر دگرگونی تغییر شکل پیدا کرده اند، به صورتی که از دگرگونی ضعیف قبلی اثری دیده نمی شود. این رسوبات که غالباً پلیتی و کمتر آهکی هستند، به نسبت فشار و دمایی وارده به اسلیت، فیلیت، شیست های آندالوزیت، استارولیت و ندرتاً سیلیمانیت دار تبدیل شده اند (علوی، ۱۹۹۱؛ هاتفی، ۱۳۸۲). بر اساس کلیه مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته و مطالعه حاضر، بخشی از سنگ های دگرگونی منطقه را اسلیت، فیلیت، گارنت شیست، آندالوزیت شیست، کلریتوئید شیست، استارولیت



آندالوزیت‌گارنت شیست، استارولیت آندالوزیت شیست، مرمر، کوارتزیت و اسکارن تشکیل می‌دهند. بررسی شرایط دم‌ای تشکیل شیست‌های منطقه حین دگرگونی ناحیه‌ای، با استفاده از نتایج آنالیز میکروپروب کانی‌ها و روش زمین‌دماسنجی گارنت-مسکوویت موضوع این مطالعه می‌باشد.

مبحث

روش مطالعه:

برای دستیابی به اهداف این تحقیق پس از بررسی شواهد صحرایی، از رخنمون‌های مناسب نمونه برداری انجام و از نمونه‌های سنگی، مقاطع نازک صیقلی و نازک در کارگاه مقطع‌گیری دانشگاه تهران و دانشگاه تربیت‌معلم تهران تهیه شد. عکسبرداری میکروسکوپی از مقاطع نازک در دانشگاه کارلتون - آتاوا (کانادا) و دانشگاه تربیت مدرس تهران صورت پذیرفت. جهت آنالیز شیمیایی نمونه‌ها از میان مقاطع مطالعه شده تعدادی مقطع انتخاب شدند و پس از آنکه سطح آنها توسط لایه‌ای از کربن پوشش داده شد، مورد آنالیز میکروپروب قرار گرفتند. این آنالیز با استفاده از دستگاه میکروپروب JEOL، مدل JXA-8800 (WDS) و JXA-8500F موسسه مطالعه تحولات کره زمین (IFREE) در کشور ژاپن و با ولتاژ 15 kv و 15 nA انجام گرفت. کانی‌های مسکوویت و گارنت مورد آنالیز قرار گرفتند که در جدول یک نتایج آنالیز آنها به صورت میانگین ارائه شده است. سپس داده‌های حاصل به وسیله روش‌های آماری و نرم‌افزارهای پترولوژی مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند.

پتروگرافی و مینرال شیمی:

سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای منطقه دهنو شامل شیست‌های ریزدانه خاکستری تا سیاه رنگ هستند که با حضور میکاهای بیوتیت، مسکوویت و در برخی نمونه‌ها کلریتوئید، از خود شیستوزیته نشان می‌دهند و دارای گارنت با اندازه‌های مختلف هستند. بر اساس مجموعه کانی‌ها، شیست‌های موجود در نزدیکی توده تونالیتی دهنو را می‌توان به ترتیب فاصله گرفتن از توده به صورت گارنت‌شیست و گارنت‌کلریتوئید شیست طبقه‌بندی نمود (شکل‌های 2 و 3).



گارنت شیست‌ها با گسترش کمتر دارای کوارتز، بیوتیت، گارنت، مسکوویت به همراه زیرکن و کانی اپک هستند. بافت غالب آنها پرفیروولپیدوبلاستیک است. مسکوویت و بیوتیت در این سنگ‌ها سازنده شیستوزیته بوده و در برخی از مقاطع بیوتیت‌ها اطراف کانی گارنت را احاطه کرده‌اند. گارنت موجود در گارنت شیست‌ها (شکل 2) بصورت نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل است و ادخال‌هایی از کوارتز، مسکوویت و بیوتیت در آن دیده می‌شود. گارنت‌های آن به رنگ قهوه‌ای با اندازه بزرگتر بوده و دو تا دوونیم میلی‌متر قطر دارند. از ویژگی‌های گارنت‌های موجود در گارنت شیست‌ها وجود بافت «سایه‌فشاری» است. نتایج آنالیز کانی‌های موجود در این گروه از شیست‌ها در جدول 1 و با عنوان DH_3 آورده شده است.

گارنت کلریتونید شیست گسترش زیادی در منطقه مورد مطالعه دارد. این بخش چنانچه در شکل 2 دیده می‌شود در مجاورت با آندالوزیت شیست‌ها قرار دارد. این سنگ‌ها دارای رنگ خاکستری نقره‌ای با جلای ابریشمی هستند و درشت بلورهای گارنت قسمت عمده سنگ را تشکیل می‌دهند. کانی‌های تشکیل دهنده گارنت کلریتونید شیست، شامل کوارتز، بیوتیت، مسکوویت، گارنت، کلریت، کلریتونید، تورمالین و کانی‌های اپک می‌باشند. بافت این سنگ لپیدوپرفیروولپلاستیک بوده و دارای پرفیروولاست‌های گارنت با اندازه‌ای در حدود یک تا یک‌ونیم میلی‌متر هستند. بافت لپیدوبلاست به علت جدایش نوارهای کوارتز و فلدسپار از نوارهای میکا به وجود آمده است. کوارتز موجود در گارنت شیست کلریتونیددار به صورت بی‌شکل بوده و خاموشی موجهی دارد. گارنت موجود در این سنگ‌ها به صورت خودشکل تا نیمه خود شکل وجود دارد و دارای ادخال‌هایی از کوارتز (شکل 3) و همچنین شکستگی فراوان می‌باشد. نتایج آنالیز کانی‌های موجود در این گروه از شیست‌ها در جدول 1 و با عنوان DH_4 آورده شده است. بر اساس نتایج آنالیز میکروپروپ، میانگین ترکیب گارنت موجود در شیست‌ها نیز از نوع آلماندین بوده و دارای ترکیب متوسط $Alm_{75.23-81.73}Sps_{8.85-18.878}Pyr_{4.95-8.11}Grs_{0.91-1.0}Uva_{0.03-0.06}And_{0.00-0.16}$ است (جدول یک، شکل 4). بر اساس نمودار Harangi et al (2001) این گارنت‌ها دارای منشأ رسوبی بوده و حاصل دگرگونی سنگ‌های متاپلیتی موجود در



منطقه می‌باشند. همچنین میانگین میزان $Fe/Fe+Mg$ موجود در 62 نقطه مسکوویت آنالیز شده نمونه های گارنت شیست (DH_3)، 0/61 و در 43 نقطه مسکوویت آنالیز شده نمونه های گارنت کلریتونید شیست (DH_4)، 0/72 می‌باشد (جدول 1). وجود کانی های آلومینوسیلیکاته سیلیمانیت و آندالوزیت در کنار هم در این سنگ ها به خوبی حاکی از دمایی در حدود 500 درجه سانتیگراد در فشاری نزدیک به 4 کیلو بار برای این سنگها است (شکل 4).

زمین دماسنج گارنت - مسکوویت:

روش های گوناگونی برای دماسنج ی وجود دارند که قدیمی ترین آنها استفاده از شبکه های پتروژنتیک است. اما به مرور زمان، با پیشرفت روزافزون علم و اختراع دستگاه های گوناگون و پیشرفت در اندازه گیری عناصر، این روش جایگاه خاصی در مطالعات زمین شناسی پیدا نموده است. اساس این تحقیقات، بر این فرض مبتنی است که مجموعه کانی های هر سنگ، در شرایط تعادلی تشکیل شده باشند. به عقیده Bucher and Frey (2002)، این وضعیت ممکن است برای سنگ هایی که به سرعت سرد شده اند یا اینکه دمای پائینی داشته اند معتبر باشد. در واقع، این دما- فشارسنج ها بر اساس حساسیت توزیع عناصر در ساختار کانی ها و یا طی تبدلات شیمیایی، نسبت به دما و یا فشار طرا حی شده اند. اما در مورد هر یک از این روش ها، تردیدها و یا محدودیت هایی هم وجود دارد که بایستی به آنها توجه نمود.

مسکوویت در اکثر رخساره های شیست سبز تا آمفیبولیت در متاپلیت ها حضور دارد. بنابراین استفاده از دماسنج گارنت - مسکوویت جهت شناسایی شرایط دمایی متاپلیت ها بسیار با اهمیت می باشد. زمین دماسنج گارنت - مسکوویت در سنگ های سکانس های پیشرونده زون های دگرگونی معکوس و هاله های کنتاکت حرارتی کاربرد گسترده ای دارد. اساس این زمین دماسنج بر اساس تبادل $Mg-Fe$ بین دو کانی مسکو ویت و گارنت می باشد. این زمین دماسنجی تاکنون توسط Krogh and Raheim (1987)، Green TH and Hellman (1982)، Hynes and Forest (1988) و Wu et al. (2002) مورد مطالعه قرار گرفته است. این زمین دماسنج در شرایط دمایی 450 الی 760 درجه



سانتیگراد و فشار 0/8 تا 11/1 کیلو بار با محدوده ± 50 درجه سانتیگراد کالیبره شده است (Chung-Ming and Gouchun, 2006). تفاوت بین دماسنج های گارنت - مسکوویت و گارنت - بیوتیت وابسته به تشکیل دهنده Celadonite در مسکوویت می باشد.

بنابراین زمین دماسنج گارنت - مسکوویت برای سنگ های دگرگونی که میزان منیزیم مسکوویت آنها بیشتر از 0/13 و مقدار آهن کمتر از 0/04 بر اساس 11 اکسیژن باشد، توصیه نمی گردد. نمونه های منطقه مورد مطالعه در محدوده پیشنهادی قرار می گیرند. شیب منحنی های دما - فشار در دماسنج گارنت - مسکوویت بیشتر از گارنت - بیوتیت می باشد. محققین دلیل این امر را وابستگی کمتر دماسنج گارنت - مسکوویت به فشار عنوان می نمایند (Chung-Ming and Gouchun, 2006). این دماسنج در سنگ های دگرگونی در شرایطی که بیوتیت در سنگ حضور ندارد، بسیار کاربردی می باشد. در این تحقیق با توجه به مدل های ارائه شده توسط محققین مختلف، نمونه های مورد مطالعه، بوسیله روش Chung-Ming and Gouchun (2006) مورد بررسی قرار گرفتند. این دماسنج با توجه به حضور یا عدم حضور آهن فریک در مسکوویت و با استفاده از دو فرمول زیر محاسبه می شود:

واکنش مدل A (محاسبه دما با فرض عدم وجود آهن فریک):

$$T_{(a)}^{(K)} = \left\{ 2325.8 + P(kbar) \left[-0.1 - 13.5(Fe_n - Mg_n) - 0.0135(Fe_c - Mg_c - 6541.2) \right] \right. \\ \left. (X_{mus}^{Fe} - X_{mus}^{Mg}) - 1127.7 X_{mus}^{Al} \right\} / \left\{ 1 + 0.0135 [R \ln K_{ideal}(1) + (Fe_a - Mg_a)] \right\}$$

واکنش مدل B (محاسبه دما در حالتی که 50% آهن کل، آهن فریک باشد):

$$T_{(b)}^{(K)} = \left\{ 2064.7 + P(kbar) \left[-0.7 - 9.8(Fe_n - Mg_n) \right] - 0.0098(Fe_c - Mg_c) \right. \\ \left. - 7077.9(X_{mus}^{Fe} - X_{mus}^{Mg}) - 941.7 X_{mus}^{Al} \right\} / \left\{ 1 + 0.0098 [R \ln K_{ideal}(1) + (Fe_a - Mg_a)] \right\}$$

خطا در زمین دماسنج گارنت - مسکوویت به دلایل گوناگونی مانند عدم دقت مدل های آنالیز ترکیب شیمیایی کانی ها روی می دهد. البته تعیین خطاهای نهایی در دماسنج گارنت - مسکوویت از میان روش های منتشر شده مشکل می باشد (Spear, 1995). نتایج حاصل از محاسبه دما به وسیله زمین دماسنج گارنت - مسکوویت در مورد شیست های مورد مطالعه در جدول 2 عنوان شده اند. همان گونه که مشاهده می شود، مقادیر متوسط



دمای دگرگونی که شیست های منطقه ده نو را تحت تأثیر قرار داده، دارای دامنه تغییراتی بسیار به هم نزدیکی است. در حقیقت این دما برای گارنت شیست ها با استفاده از روش گارنت - مسکوویت به طور میانگین در حدود 459 تا 526 درجه سانتیگراد و برای گارنت کلریتوئید شیست ها در حدود 459 تا 521 درجه سانتیگراد می باشد که با نتایج حاصل از روش گارنت - بیوتیت (حدود 473 تا 481 درجه سانتیگراد) بسیار نزدیک است.

نتیجه گیری

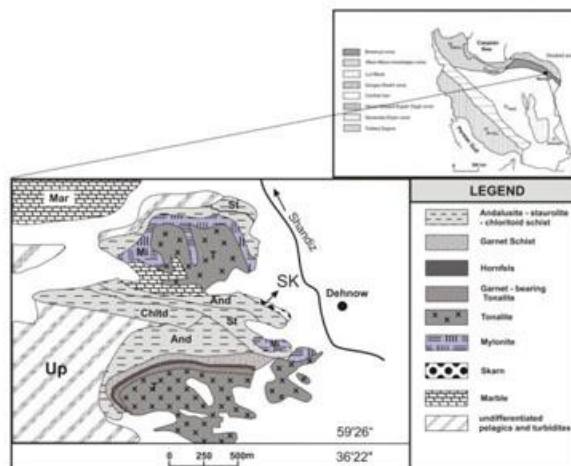
بررسی گارنت شیست ها با استفاده از دماسنج گارنت-مسکوویت نشان می دهد که دمای متوسط تشکیل مجموعه کانی های نمونه های گارنت شیست ها در حدود 459 تا 526 درجه سانتیگراد می باشد. با توجه به وجود کانی های آلومینوسیلیکاته سیلیمانیت و آندالوزیت در کنار هم در این سنگ ها و فشاری نزدیک به 4 کیلوبار، می توان شرایط دگرگونی ناحیه ای که منجر به این دگرگونی گردیده است را مطابق با بخش های درجه پایین رخساره دگرگونی ناحیه ای شیست سبز تا آمفیبولیت تطابق دانست.

منابع:

1. هاتفی، ر.، 1382. مطالعه سنگ های دگرگونی ناحیه ای و توده های نفوذی منطقه ده نو (شمال غرب مشهد)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، 112 ص.
2. هاتفی، ر.، بهاری فر، ع.، 1381. تغییرات ناگهانی پاراژنز در سیستم های کلریتوئید دار یا استرولیت دار ناحیه ده نو (مشهد). ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
1. Abrecht, J. and D.A., Hewitt, 1988, Experimental evidence on the substitution of Ti in biotite; American Mineralogist, v. 73, p. 1275 - 1284.
2. Alavi M. (1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulltin. 103: 983-992.
3. Alberti A., Moazez-Lesco Z. (1974). Plutonic and metamorphic rocks of the Mashhad area (Khorasan, North-Eastern Iran). Bull. Soc. Geol. no. 93: 1157-1196.
4. Alberti A., Nicoletti M., Petrucciani C. (1973). K/Ar ages of micas of Mashhad granites (Khorasan, North-Eastern Iran). Period. Miner. no. 42: 483-493.
5. Bucher, K., M., Frey, 2002, Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 7th ed., 341 pp.
6. Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. (1992). An Introduction to the Rock forming Minerals, Second Editions, Longman, London, 696 p.
7. Dymek, R. F. (1983). Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Green land. American Mineralogist. 68: 880-899.



8. Engel A. E. J., Engel C. G. (1960). Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northwest Adirondack Mountains, New York, Part 2. Mineralogy. Bulletin of the Geological Society of America. 71: 1-58.
9. Green, T.H., Hellman, P.L. (1982). Fe -Mg partitioning between coexisting garnet and phengite at high pressure, and comments on a garnet- phengite geothermometer. Lithos 15: 253- 266 .
10. Harangi S. Z., Downes H., Ko'sa L., Szabo' C. S., Thirlwall M. F., Mason P. R. D. (2001). Almandine garnet in calc-alkaline volcanic rocks of the Northern Pannonian Basin (Eastern-Central Europe): geochemistry, petrogenesis and geodynamic implications. Journal of Petrology. 42: 1813-1843 .
11. Holdaway M. J. (2000). Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer. American Mineralogist. 85: 881-892 .
12. Homam S. M. (2006). The Occurrence and origin of atoll garnet in hornblende schists From the contact aureole of the Mashhad granite, NE Iran. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A. 30(A1) . (
13. Hynes A., Forest R. C. (1988). Empirical garnet- muscovite geothermometry in low-grade metapelites, Selwyn Range (Canadian Rockies). Journal of Metamorphic Geology. 6: 297- 309 .
14. Kwak T. A. P. (1968). Ti in biotite and muscovite as an indication of metamorphic grade in almandine amphibolite facies rocks from Sudbury, Ontario. Geochimica et Cosmochimica Acta. 32: 1222-1229 .
15. Lammerer B., Langheinrch G., Danai M. (1983). The tectonic evolution of Binaloud mountains. Geodynamic project (Geotraverse) in Iran. Report no. 51, Geological Survey of Iran. 519 P .
16. Majidi B. (1978). Etude Petrostructurale de la ergion de Mashhad(Iran). These docteur. Ingeniever, Univ. Sci. ct. Med. de Grenoble, France. 277 pp .
17. Plimer I. R., Mozez-Lesco Z. (1980). Garnet Xenocrysts in the Mashhad Granite, NE Iran. Geologische Rundschau, Bd. 69(3): 801-810 .
18. Spear, F.S., 1995, Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths, Mineralogical Society of America, 1995, 799 p .
19. Winter C. (2001). An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall, 697 p .
20. Wu C. M., Wang X. S., Yang C. H., Geng Y. S., Liu F. L. (2002). Empirical garnet-muscovite geothermometry in metapelites. Lithos. 62: 1-13 .
21. Wu C. M., Zhang J., Ren L. D. (2004a). Empirical garnet-biotite-plagioclase-quartz (GBPQ) geobarometry in medium- to highgrade metapelites. Journal of Petrology. 45: 1907-1921 .
22. Wu C. M., Zhang J., Ren L. D. (2004b). Empirical garnet-muscovite-plagioclase-quartz geobarometry in medium- to high-grade metapelites. Lithos. 78: 319-332 .
23. Wu C. M., Zhao G. C. (2006a). Recalibration of the garnet-muscovite (GM) geothermometer and the garnet-muscovite-plagioclase-quartz (GMPQ) geobarometer for metapelitic assemblages. Journal of Petrology. 47: 2357-2368 .



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در میان سایر بخش های مختلف زمینشناسی ایران و نقشه زمینشناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمینشناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمینشناسی ایران، ۱۳۸۰).

Sample	DH ₁	DH ₂	DH ₃	DH ₄
Mineral Type	62 Muscovites	97 Garnets	43 Muscovites	31 Garnets
SiO ₂	45.47	37.06	46.27	37.06
TiO ₂	0.61	0.12	0.32	0.06
Al ₂ O ₃	36.15	21.35	36.24	21.30
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.01
FeO	0.96	36.32	1.01	32.39
MnO	0.01	3.46	0.00	8.18
MgO	0.34	1.79	0.22	1.22
CaO	0.03	0.40	0.05	0.32
Na ₂ O	1.59	0.03	1.61	0.04
K ₂ O	8.37	0.01	8.50	0.01
Total	93.54	100.56	94.24	100.59
Structural Formula				
Oxy. No.	11	12	11	12
Si	6.10	2.99	6.15	2.99
Ti	0.06	0.01	0.03	0.00
Al	5.71	2.01	5.69	2.04
Al ^{IV}	1.90	0.01	1.85	0.01
Al ^{VI}	3.81	2.00	3.84	2.03
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.11	2.49	0.11	2.23
Mn	0.00	0.24	0.00	0.56
Mg	0.07	0.22	0.04	0.15
Ca	0.00	0.03	0.01	0.03
Na	0.41	0.00	0.42	0.00
K	1.43	0.00	1.44	0.00
OH*	4.00	-	4.00	-
Total	17.90	8.00	17.90	8.00
End Members				
Almandine		81.73		75.23
Andradite		0.16		0.00
Grossular		1.08		0.91
Pyrope		8.11		4.95
Spessartine		8.85		18.87
Uvarovite		0.06		0.03
Fe:Fe+Mg	0.61		0.72	

جدول ۱: میانگین نتایج آنالیز میکروپروب کانی های موجود در گارنت شپست‌ها (DH3) و گارنت شپست های (DH4) ده‌نو (بر حسب wt%)، محاسبه



اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته

اسفند ۱۳۸۸



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد طبس

فرمول ساختاری (بر حسب تعداد اتم اکسیژن و به صورت a.p.f.u.) و محاسبه درصد اعضای نهایی آنها.

اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته
دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس
اسفند ۱۳۸۸

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۰۳۲-۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir