بررسي شرايط دمايي حاكم بر تشكيل شيست‌هاي منطقه ده‌نو (شمال‌غرب مشهد): كاربرد روش زمين‌دماسنجي گارنت - مسكوويت

رامين‌صمدي[1]، نرگس شيردشت‌زاده[1]،كه‌يوان شيعي‌ان[2]
[1]دانشجوي دكتري پترولوژي، دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم و تحقيقات تهران (rsamadi@hotmail.com)
2 عضو هيات علمي‌دانشگاه آزاد اسلامي‌واحد طبس k.shiaian@gmail.com

چكيده: گارنت‌شيست و گارنت‌كلريتوئيد شيست‌هاي منطقه ده‌نو از نظر كاني‌شناسي شامل كوارتز، بيوتيت، مسكوويت، گارنت، كلريت، كلريتوئيد، تورمالين و كاني هاي اپك مي باشند. بررسي گارنت شيست ها با استفاده از دماسنج گارنت- مسكوويت نشان مي‌دهد كه دماي متوسط تشكيل مجموعه كاني هاي نمونه هاي گارنت شيست‌ها در حدود 459 تا 526 درجه سانتيگراد مي‌باشد. با توجه به وجود كاني‌هاي آلومينوسيليكاته سيليمانيت و آندالوزيت در كنار هم در اين سنگ ها و فشاري نزديك به 4 كيلوبار، مي‌توان شرايط دگرگوني ن احيه‌اي كه منجر به اين دگرگوني گرديده است را مطابق با بخش هاي درجه پايين رخساره دگرگوني ناحيه‌اي شيست سبز تا آمفيبوليت مطابق دانست.

واژه هاي كليدي: شيست، زمين دماسنجي، بيوتيت، ده نو، مشهد.

Abstract: Garnet schists and garnet chlorotoiid schists of Dehnow are mineralogically composed of quartz, biotite, muscovite, garnet, chlorite, chloritoiid, tourmaline, and opaque minerals. Application of garnrt-muscovite geothermometry indicated an average temperature of 459 to 526 ºC for the formation of these minerals. Presence of aluminasilicate minerals of silimanite and andalosite together in these rocks revealed temperature up to 500 ºC 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 زمين‌دماسنجي براي شناخت شرايط دماي تشكيل سنگ‌ها، در دهه هاي اخير به عنوان يک روش مفيد مطرح شده اند . در اين زمينه، تجربيات آزمايشگاهي دانشمندان، محاسبات و مدل سازي ترموديناميكي، بر اساس تجزيه شيميايي كاني ها به وسيله الكترون ميكروپروب، به فهم بهتر شرايط دما و فشار حاكم بر سنگ‌ها در خلال فرآيندهاي زمين‌شناسي، كمک مؤثري نموده است. با توجه به اهميت تعيين شرايط محيطي در مطالعات مربوط به پهنه هاي زمين شناسي، در اين مطالعه به بررسي كاربرد روش دماسنجي تيتانيوم موجود در بيوتيت در مورد شيست هاي منطقه د ه‌نو، بر اساس آناليز ميكروپروب كاني هاي مختلف اين سنگ ها، پرداخته شده است.

زمین شناسي عمومي منطقه:
منطقه ده‌نو در شمال شرقي ايران و در 15 كيلومتري شمال‌غربي شهر مشهد واقع گرديده است. اين ناحيه در محدوده زون ساختاري بينالود و در امتداد شرقي سلسله جبال البرز، در حد فاصل طول هاي جغرافيايي ´59 °22 تا ´59 °26 شرقي و عرض هاي جغرافيايي ´36 °20 تا ´36 °22 شمالي قرار دارد (شكل يك). در جنوب، غرب و شمال غرب مشهد يك مجموعه شامل رسوبات پالئوزوئيك و سنگ هاي دگرگون شده ترياس با جهت جنوب شرق - شمال غرب به صورت يك زون تحت تأثير وقايع تكتونيكي صعود نموده و رخنمون پيدا نموده است. دگرگوني ناحيه اي اين سنگ ها در ترياس صورت پذيرفته و در ضمن دگرگوني، توده هاي گرانيتوئيدي به اين نوار دگرگوني تزريق شده اند. (علوي، 1991؛ هاتفي، 1382). اختصاصات زمين شناسي منطقه مورد مطالعه از خصوصيات يك شيار قاره اي حكايت مي‌كند كه در پرمين آغاز شده، پس از تشكيل گرابن هاي متعدد، رسوبات داخل آنها در نتيجه فرونشيني و تعادل حرارتي بدون تغيير شكل و به صورت هم فشاري، دگرگوني ناحيه اي از نوع فشار پائين- دماي بالا را تحمل نموده است. پس از تشكيل پوسته اقيانوسي بين دو ورقه توران و ايران، پوسته اقيانوسي باقيمانده بر روي قاره رانده شده است. در نتيجه برخورد دو ورقه با يكديگر، سنگ هاي زون برخورد (در محل نوار دگرگوني) متحمل دگرگوني ناحيه اي از نوع فشار پائين - دماي بالا شده و به حداكثر دگرگوني تغيير شكل پيدا كرده اند، به صورتي كه از دگرگوني ضعيف قبلي اثري ديده نمي‌شود. اين رسوبات كه غالباً پليتي و كمتر آهكي هستند، به نسبت فشار و دماي وارده به اسليت، فيليت، شيست هاي آندالوزيت، استارولیت و ندرتاً سيليمانيت‌دار تبديل شده اند (علوي، 1991؛ هاتفي، 1382). بر اساس كليه مطالعاتي كه تاكنون انجام گرفته و مطالعه حاضر، بخشي از سنگ هاي دگرگوني منطقه را اسليت، فيليت، گارنت شيست، آندالوزيت شيست، كلريتوئيد شيست، 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 زمین دماسنجی گارنت- مسکوویت موضوع این مطالعه می‌باشد.

بحث

روش مطالعه:
برای دست‌یابی به اهداف این تحقیق پس از بررسی شواهد صحرائی، از رخنمون های مناسب نمونه برداری انجام و از نمونه‌های سنگی، مقاطع نازک صیقلی و نازک در کارگاه مقطع گیری دانشگاه تهران و دانشگاه تربیت‌معلم تهران تهیه شد. عکسبرداری میکروسکوپی از مقاطع نازک در دانشگاه کارلتون - اُتاوا (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 لایه ای 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 و15 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 داده های حاصل به وسیله روش های آماری و نرم افزارهای 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 نمونه ها کلریتوئید، از خود شیستوزیته نشان می‌دهند و دارای گارنت با اندازه های مختلف هستند. بر اساس مجموعه کانی‌ها، شیست های موجود در نزدیکی توده تونالیتی ده‌نو را می توان به ترتیب فاصله گرفتن از توده به‌صورت گارنت‌شیست و گارنت‌کلریتوئید شیست طبقه‌بندی نمود (شکل‌های 2 و 3).

گارنت شیست‌ها با گسترش کمتر داراي کوارتز، بیوتیت، گارنت، مسکوویت به همراه زیرکن و کاني اپك هستند. بافت غالب آنها پرفیرولپیدوبلاستیك است. مسکوویت و بیوتیت در این سنگ‌ها سازنده شیستوزیته بوده و در برخي از مقاطع بیوتیت‌ها اطراف کاني گارنت را احاطه کرده‌اند. گارنت موجود در گارنت شیست‌ها (شکل 2) بصورت نیمه شکل دار تا بي شکل است و ادخال هایي از کوارتز، مسکوویت و بیوتیت در آن دیده مي شود. گارنت‌هاي آن به رنگ قهوه اي با اندازه بزرگتر بوده و دو تا دوونیم میلیمتر قطر دارند. از ویژگي هاي گارنت‌هاي موجود در گارنت شیست ها وجود بافت «سایه‌فشاري» است. نتایج آنالیز کاني هاي موجود در این گروه از شیست ها در جدول 1 و با عنوان DH_3 آورده شده است.

گارنت کلریتوئید شیست گسترش زیادي در منطقه مورد مطالعه دارد. این بخش چنانچه در شکل 2 دیده مي‌شود در مجاورت با آندالوزیت شیست ها قرار دارد. این سنگ‌ها داراي رنگ خاکستري نقره اي با جلاي ابریشمي هستند و در شت بلورهاي گارنت قسمت عمده سنگ را تشکیل مي دهند. کاني‌هاي تشکیل دهنده گارنت کلریتوئید شیست، شامل کوارتز، بیوتیت، مسکوویت، گارنت، کلریت، کلریتوئید، تورمالین و کاني هاي اپك مي‌باشند. بافت این سنگ لپیدوپرفیروبلاستیك بوده و داراي پرفیروبلاست‌هاي گارنت با اندازه‌اي در حدود یک تا یک‌ونیم میلیمتر هستند. بافت لپیدوبلاست به علت جدایش نوارهاي کوارتز و فلدسپار از نوارهاي میکا به وجود آمده است. کوارتز موجود در گارنت شیست کلریتوئیددار به صورت بي شکل بوده و خاموشي موجي دارد. گارنت موجود در این سنگ ها به صورت خودشکل تا نیمه خود شکل وجود دارد و داراي ادخال هایي از کوارتز (شکل 3) و همچنین شکستگي فراوان مي باشد. نتایج آنالیز کاني هاي موجود در این گروه از شیست‌ها در جدول 1 و با عنوان DH_4 آورده شده است. بر اساس نتایج آنالیز میکروپروب، میانگین ترکیب گارنت موجود در شیست‌ها نیز از نوع آلماندین بوده و داراي 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 گارنت ها داراي منشأ رسوبي بوده و حاصل دگرگوني سنگ هاي متاپلیتي موجود در

منطقه مي‌باشند. همچنين ميانگين ميزان Fe/Fe+Mg موجود در 62 نقطه مسكوويت آناليز شده نمونه هاي گارنت شيست (DH_3)، 0/61 و در 43 نقطه مسكوويت آناليز شده نمونه‌هاي گارنت كلريتوئيد شيست (DH_4)، 0/72 مي‌باشد (جدول 1). وجود كاني هاي آلومينوسيليكاته سيليمانيت و آندالوزيت در كنار هم در اين سنگ ها به خوبي حاكي از دمايي در حدود 500 درجه سانتيگراد در فشاري نزديك به 4 كيلوبار براي اين سنگ‌ها است (شكل 4).

زمين دماسنج گارنت - مسكوويت:

روش‌هاي گوناگوني براي دماسنجي وجود دارند كه قديمي‌ترين آنها استفاده از شبكه هاي پتروژنتيك است. اما به مرور زمان، با پيشرفت روزافزون علم و اختراع دستگاه هاي گوناگون و پيشرفت در اندازه گيري عناصر، اين روش جايگاه خاصي در مطالعات زمين شناسي پيدا نموده است. اساس اين تحقيقات، بر اين فرض مبتني است كه مجموعه كاني هاي هر سنگ، در شرايط تعادلي تشكيل شده باشند. به عقيده Bucher and Frey (2002)، اين وضعيت ممكن است براي سنگ هايي كه به سرعت سرد شده اند يا اينكه داراي پائيني داشته اند معتبر باشد. در واقع، اين دما- فشارسنج‌ها بر اساس حساسيت توزيع عناصر در ساختار كاني ها و يا طي تبادلات شيميايي، نسبت به دما و يا فشار طرا حي شده اند. اما در مورد هر يك از اين روش ها، ترديدها و يا محدوديت‌هايي هم وجود دارد كه بايستي به آنها توجه نمود.

مسكوويت در اكثر رخساره‌هاي شيست سبز تا آمفيبوليت در متاپليت ها حضور دارد. بنابراين استفاده از دماسنج گارنت - مسكوويت جهت شناسايي شرايط دمايي متاپليت‌ها بسيار با اهميت مي باشد. زمين دماسنج گارنت - مسكوويت در سنگ هاي سكانس هاي پيشرونده زون‌هاي دگرگوني معكوس و هاله هاي كنتاكت حرارتي كاربرد گسترده اي دارد. اساس اين زمين دماسنج بر اساس تبادل Mg-Fe بين دو كاني مسكو ويت و گارنت مي‌باشد. اين زمين‌دماسنجي تاكنون توسط Krogh and Raheim (1987)، Green TH and Hellman (1982)، Hynes and Forest (1988) و Wu et al. (2002) مورد مطالعه قرار گرفته است. اين زمين‌دماسنج در شرايط دمايي 450 الي 760 درجه

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

بنابراین زمین‌دماسنج گارنت - مسکوویت براي سنگ هاي دگرگوني که میزان منیزیم مسکوویت آنها بیشتر از 0/13 و مقدار آهن کمتر از 0/04 بر اساس 11 اکسیژن باشد، توصیه نمي گردد. نمونه هاي منطقه مورد مطالعه در محدوده پیشنهادي قرار مي گیرند. شیب منحني هاي دما - فشار در دماسنج گارنت - مسکوویت بیشتر از گارنت - بیوتیت میباشد. محققین دلیل این امر را وابستگي کمتر دماسنج گارنت - مسکوویت به فشار عنوان مي نمایند (Chung-Ming and Gouchun, 2006). این دماسنج در سنگ هاي دگرگوني در شرایطي که بیوتیت در سنگ حضور ندارد، بسیار کاربردي مي باشد. در این تحقیق با توجه به مدل‌هاي ارائه شده توسط محققین مختلف، نمونه هاي مورد مطالعه، بوسیله روش Chung-Ming and Gouchun (2006) مورد بررسي قرار گرفتند. این دماسنج با توجه به حضور یا عدم حضور آهن فریک در مسکوویت و با استفاده از دو فرمول زیر محاسبه مي‌شود:

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

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

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

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

خطا در زمین دماسنج گارنت - مسکوویت به دلایل گوناگوني مانند عدم دقت مدل هاي آنالیز ترکیب شیمیایي کاني ها روي مي دهد. البته تعیین خطاهاي نهایي در دماسنج گارنت - مسکوویت از میان روش هاي منتشر شده مشکل مي باشد (Spear, 1995). نتایج حاصل از محاسبه دما به وسیله زمین دماسنج گارنت - مسکوویت در مورد شیست هاي مورد مطالعه در جدول 2 عنوان شده اند. همانگونه که مشاهده مي شود، مقادیر متوسط

دماي دگرگوني كه شيست هاي منطقه ده نو را تحت تأثير قرار داده ، داراي دامنه تغييراتي بسيار به هم نزديكي است. در حقيقت اين دما براي گارنت شيست ها با استفاده از روش گارنت - مسكوويت به طور ميانگين در حدود 459 تا 526 درجه سانتيگراد و براي گارنت كلريتوييد شيست ها در حدود 459 تا 521 درجه سانتيگراد مي‌باشد كه با نتايج حاصل از روش گارنت - بيوتيت (حدود 473 تا 481 درجه سانتيگراد) بسيار نزديك است.

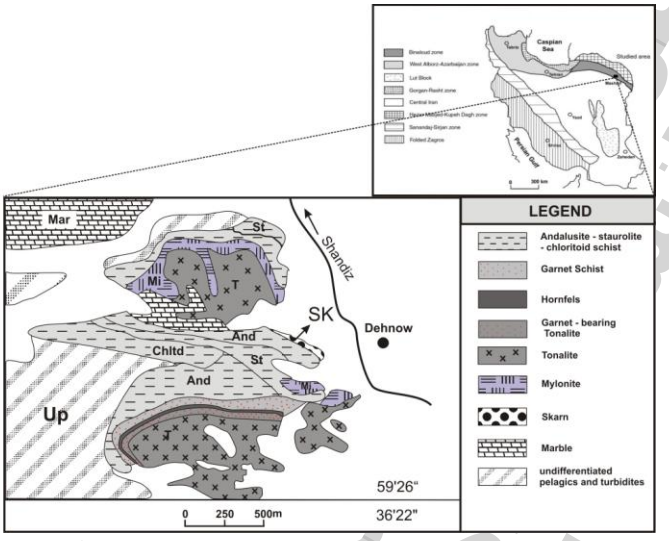
نتيجه گيري

بررسي گارنت شيست‌ها با استفاده از دماسنج گارنت-مسكوويت نشان مي دهد كه دماي متوسط تشكيل مجموعه كاني‌هاي نمونه هاي گارنت شيست‌ها در حدود 459 تا 526 درجه سانتيگراد مي‌باشد. با توجه به وجود كاني هاي آلومينوسيليكاته سيليمانيت و آندالوزيت در كنار هم در اين سنگ ها و فشاري نزديك به 4 كيلوبار، مي‌توان شرايط دگرگوني ناحيه اي كه منجر به اين دگرگوني گرديده است را مطابق با بخش هاي درجه پايين رخساره دگرگوني ناحيه اي شيست سبز تا آمفيبول يت تطابق دانست.

منابع:

1. هاتفي، ر.، 1382، مطالعه سنگهاي دگرگوني ناحيه‌اي و توده هاي نفوذي منطقه ده‌نو (شمال‌غرب مشهد)، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه تربيت معلم تهران، 112 ص.
2. هاتفي، ر.، بهاري‌فر، ع.، 1381، تغييرات ناگهاني پاراژنز در سيستم‌هاي كلريتوئيددار يا استروليت‌دار ناحيه ده‌نو (مشهد). ششمين همايش انجمن زمين شناسي ايران.
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 implica¬tions. 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 1: موقعیت منطقه مورد مطالعه در میان سایر بخش های مختلف زمین‌شناسی ایران و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی 1/100000 طرقبه، تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران، 1380).

Sample	DH_3	DH_3	DH_4	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_2O_3	36.15	21.35	36.24	21.30
Cr_2O_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_2O	1.59	0.03	1.61	0.04
K_2O	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 1: میانگین نتایج آنالیز میکروپروب کانی های موجود در گارنت شیست‌ها (DH3) و گارنت شیست های (DH4) دهنو (بر حسب wt%)، محاسبه

فرمول ساختاري (بر حسب تعداد اتم اکسیژن و به صورت a.p.f.u.) و محاسبه درصد اعضاي نهايي آنها.

اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته
دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس
اسفند 1388