

بررسی چگونگی تشکیل گارنت‌های صنعتی در گارنت میکاشیست‌های جنوب الوند، همدان، ایران

مهرداد براتی^{*}، سوسن ابراهیمی، بهروز رفیعی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۱)

چکیده: منطقه جوکار در جنوب شرق استان همدان در پهنه سندانج-سیرجان واقع است. واحدهای سنگی منطقه شامل واحدهای سنگی گارنت شیست و فیلیت هستند. در بررسی‌های میکروسکوپی، کوارتز، بیوتیت، مسکویت و گارنت دیده شد. گارنت‌ها دو نسل شامل گارنت‌های پیش از همزمان با فعالیت زمین‌ساخت و گارنت‌های همزمان با فعالیت زمین‌ساخت دارند. تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) نشان داد که منطقه‌بندی گارنت‌ها از نوع آلماندین، گراسولار، اسپسارتین و آندرادیت است. گارنت‌ها بدون منطقه‌بندی فیزیکی ولی دارای منطقه‌بندی شیمیایی هستند. مقدار عناصر Mn و Ca از مرکز به سمت لبه بلور کاهش و Fe افزایش می‌یابد. پنج نوع میانبار تک فاز مایع (L)، تک فاز گازی (V)، دوفازی مایع و بخار (L+V)، سه فاز جامد (L+V+S) و چهارفازی جامد (L+V+S1+S2) دیده شده است. دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در نمونه‌ها ۳۲۲ تا ۴۸۵ °C است. همچنین مقادیر شوری میانبارهای سیال ۵/۷ تا ۱۹/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام بدست آمد. چگالی سیال سازنده گارنت‌ها ۰/۵۶۹ تا ۰/۸۴۲ gr/cm³ است. سیال سازنده گارنت‌ها خاستگاه ماگمایی و دگرگونی دارد.

واژه‌های کلیدی: گارنت میکاشیست؛ منطقه‌بندی شیمیایی گارنت؛ سیال‌های درگیر؛ خاستگاه ماگمایی دگرگونی.

مقدمه

منطقه‌بندی شیمیایی در کانی‌های موجود در سنگ‌های دگرگونی وجود دارد. منطقه‌بندی شیمیایی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگونی، بر اثر فرآیندهای رشد در طی افزایش دما [۲، ۳] و نشت سیال آبگون در بلورهای گارنت پیش از فعالیت زمین‌ساختی [۴] ایجاد می‌شود. در دماهای پایین دگرگونی، گارنت اغلب منطقه‌بندی مشخصی را به دلیل توزیع ناهمگن برخی عناصر و کانی‌های همراه نشان می‌دهد، که این امر ناشی از سرعت کند انتشار درون دانه‌ای است. این در حالی است که وقتی دمای دگرگونی بیش از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد منطقه‌بندی رشدی گارنت‌ها در نتیجه سرعت بالاتر توزیع، تا حدی یا کاملاً همگن است [۵، ۶]. در این پژوهش، چگونگی تشکیل و عوامل موثر در تشکیل گارنت‌های منطقه بررسی شده است.

گارنت به‌عنوان یکی از کانی‌های اصلی در سنگ‌های دگرگونی و یکی از کانی‌های فرعی در سنگ‌های آذرین محسوب می‌شود. گارنت‌ها، از مشهورترین کانی‌های گروه نئوسیلیکاتی (سیلیکات‌های جزیره‌ای) است که از چاروچه‌های SiO₄ مجزا تشکیل شده است و تنها از طریق پیوندهای یونی با کاتیون‌های میان روزه‌ای به هم متصل می‌گردند. کانی‌های گروه گارنت اغلب با سنگ‌های دگرگونی مانند انواع شیست‌ها از جمله شیست‌های میکادار، شیست‌های هورنبلنددار، آمفیبولیت‌ها، اکلوژیت‌ها، مرمرها، سرپانتینیت‌ها و گنیس‌ها همراه هستند. از این کانی‌ها در صنایع بیشتر به عنوان ساینده استفاده می‌شود که این کاربرد خود نیازمند آماده‌سازی و فرآوری این کانی صنعتی است [۱].

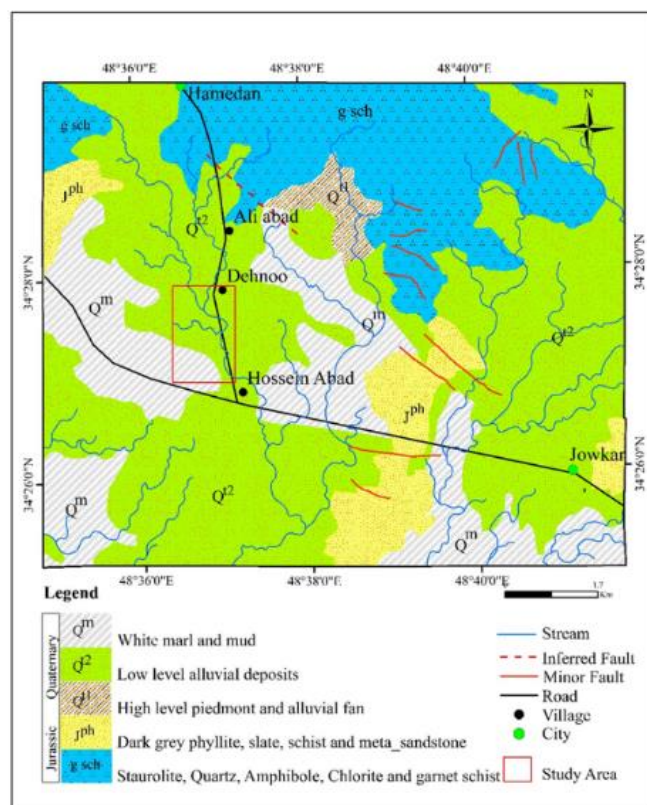
^{*}نویسنده مسئول، تلفن: ۰۸۱-۳۸۳۴۱۴۶۰، پست الکترونیکی: Barati@basu.ac.ir



موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی در نقشه چار گوش زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ملایر قرار دارد (شکل ۱). این منطقه دارای تنوع سنگ‌شناسی گسترده از شیست‌هایی با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت و با سن پالئوزوئیک تا ژوراسیک است. این منطقه در معرض نفوذ توده باتولیت الوند با ترکیب اسیدی قرار گرفته است. میکاشیست‌های موجود در این منطقه همچون توده‌های نفوذی با آبرفت دربرگرفته شده‌اند. میکاشیست‌ها دربردارنده گارنت‌ها یا گارنت میکاشیست، دارای گارنت به شکل شکفته بلورهای بدون هوازدگی در سطوح سنگ هستند. این گارنت‌ها در رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای و سیاه به صورت ریز بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار دیده می‌شوند. سنگ‌های دگرگونی موجود در منطقه همدان را می‌توان به دو گروه سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی تقسیم کرد که در اینجا سنگ‌نگاری سنگ‌های مربوط به شیست‌های دگرگونی ناحیه‌ای بررسی شده است. بخش عمده توده الوند را گرانیتهای پورفیری تشکیل می‌دهند، همچنین در این ناحیه، طیف گسترده‌ای از سنگ‌های دگرگونی رخمون دارند که از نظر کانی‌شناسی بسیار متنوع

هستند. از این رو، تعیین رخساره و پهنه‌های دگرگونی منطقه مورد بررسی مهم است و بخشی از وضعیت زمین‌شناسی به ویژه از دیدگاه سنگ‌شناسی دگرگونی منطقه همدان را مشخص می‌کند. منطقه همدان به دلیل داشتن تنوع سنگ‌های دگرگونی و توده نفوذی مهم الوند، از دیرباز مورد توجه بوده است، مطالعات زیادی هم بر روی توده آذرین و هم سنگ‌های دگرگونی در این منطقه انجام شده است [۷-۱۱]. به طور کلی نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که منطقه همدان دربرگیرنده سه گروه اصلی دگرگونی، برآمده از فرایندهای دگرگونی ناحیه‌ای یا میکی-گرمایی، دگرگونی مجاورتی و دگرگونی دینامیک است، بررسی‌های انجام شده در توصیف مجموعه دگرگونی همدان و روشن کردن توالی رویدادها موثر بوده است ولی پیرامون ارتباط بین رخداد‌های زمین‌شناسی و چگونگی عملکرد پژوهش‌چندانی انجام نشده است. گارنت‌های موجود در شیست‌های منطقه دارای منطقه‌بندی پیوسته هستند [۱۴-۱۲]. ترکیب شیمیایی و منطقه‌بندی گارنت‌های موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه تفکیک شده‌اند [۱۵].



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی محلی منطقه مورد نظر برگرفته از چارگوش ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ ملایر [۷].

روش بررسی

در بازدیدهای صحرایی از منطقه، ۲۵ نمونه سنگی برداشت شده و از آنها ۱۰ مقطع نازک تهیه شد و از نظر سنگ‌نگاری بررسی گردیدند. پس از بررسی‌های دقیق کانی‌شناسی، ۳ عدد از مقاطع میکروسکوپی برای تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) انتخاب شد و سه بلور گارنت در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود با ولتاژ ۵۰ کیلو ولت و شدت جریان ۱ میلی آمپر و زمان شمارش ۱۰۰ ثانیه، تجزیه نقطه‌ای شدند. همچنین برای ریزدماسنجی از منطقه مورد بررسی تعداد ۱۰۰ بلور درشت، شکل‌دار و شفاف گارنت که با انواع ساختارهای بلوری مکعبی از رسوب‌های ته‌نشینی منطقه روی لام چسبانده شده و از آن‌ها ۴ مقطع دوبر صیقل با ضخامت ۱۰۰ میکرون تهیه شد. بررسی‌های سنگ‌نگاری با میکروسکوپ زایس با عدسی شیئی با فاصله کاری زیاد (LWD) با بزرگنمایی ۴۰X در دانشگاه بوعلی سینا انجام شد و سپس ریزدماسنجی در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس تهران با استفاده از سکوی گرمایش و سرمایش لینکام مدل THMS-600 با دو کنترل کننده دمایی انجام شد.

بحث و بررسی

سنگ‌نگاری

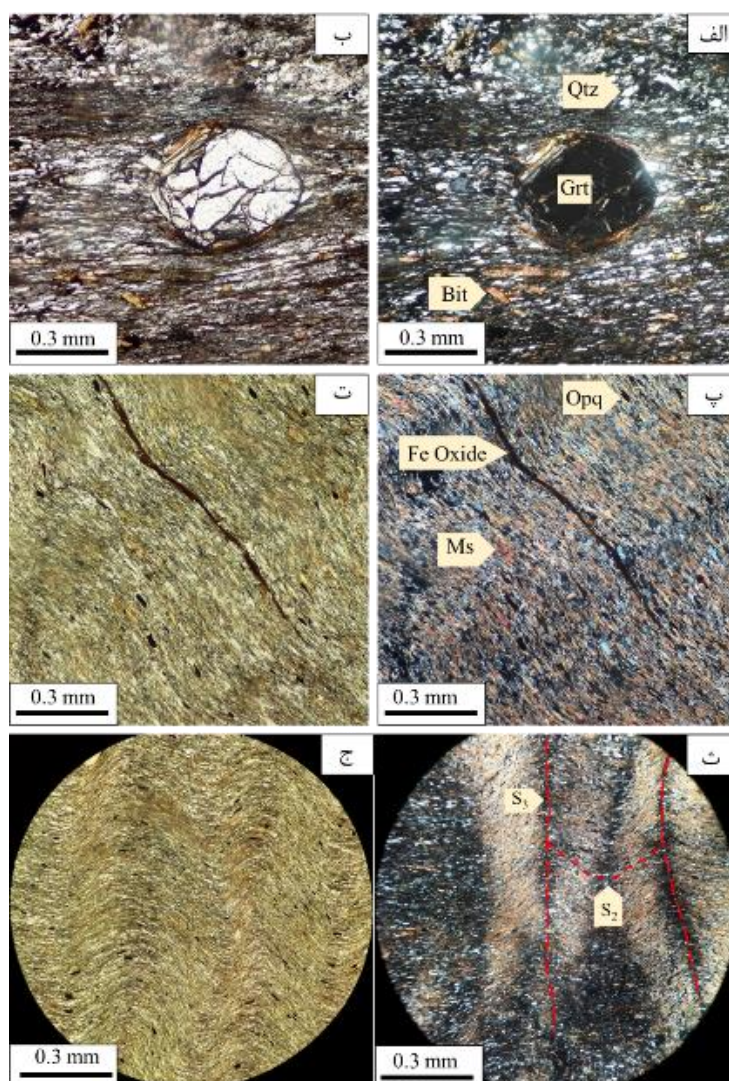
این منطقه دارای تپه‌های با بیشینه ارتفاع ۱۰۰ متر است که با رسوب‌های آبرفتی در برگرفته شده است. سنگ‌های منطقه از

انواع میکا شیست‌ها و دارای کانی‌های مختلفی چون اکتینولیت، گارنت و گرافیت هستند. نمای نزدیکی از شیست‌های در معرض فعالیت زمین‌ساختی به همراه چین‌خوردگی نسل S2 از منطقه مورد بررسی در شکل ۲ الف دیده می‌شود. گارنت میکا شیست‌ها دارای شکفته بلورهای گارنت بدون هوازدگی یا با هوازدگی کم و با حالت تورق هستند. در نمونه دستی، گارنت میکا شیست‌ها براق با رنگ خاکستری تیره تا سیاه بوده و از نظر دانه‌بندی متوسط دانه تا ریزدانه هستند و بلورهای گارنت با اندازه‌های ریز تا درشت (تا ۳ میلی‌متر) به خوبی در آن‌ها دیده می‌شوند (شکل ۲ ب).

در بررسی مقاطع میکروسکوپی، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ‌های شیستی منطقه شامل کوارتز، بیوتیت، مسکویت و گارنت هستند. کانی‌های کدر و اکسید آهن نیز به عنوان کانی فرعی در نمونه‌ها دیده می‌شوند. درشت بلور گارنت به صورت شکفته بلور درون میکا شیست جای دارد دو نسل از گارنت دیده می‌شود: بلورهای پیش تا همزمان با فعالیت زمین‌ساخت که دارای خردشدگی در مقاطع میکروسکوپی هستند و بلورهای تشکیل شده همزمان با فعالیت زمین‌ساختی که بدون خردشدگی مشخصی هستند (شکل‌های ۳ الف و ب). بیوتیت و کوارتز به صورت پراکنده در زمینه هستند. اکسید آهن به صورت رگه‌ای، مسکویت و کانی‌های کدر موازی با چین خوردگی در مقطع دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ پ و ت).



شکل ۲ الف) نمای نزدیکی از شیست‌های در معرض فعالیت زمین‌ساختی به همراه چین‌خوردگی نسل S2. ب) نمای نزدیک از گارنت میکا شیست‌های منطقه گارنت‌ها به صورت شکفته بلورها دیده می‌شوند.



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی تهیه شده از مقاطع نازک منطقه مورد بررسی: الف) درشت بلورگرانیت با کمی چرخش و خرد شدگی به همراه کوارتز و بیوتیت در نور قطبیده متقاطع، XPL، گارنت: Grt، بیتوتیت: Bit، کوارتز: Qtz، ب) همان تصویر در نور قطبیده صفحه‌ای (PPL)، پ) رگه اکسید آهن با چین‌خوردگی نسل اول به همراه کانی‌های کدر و مسکویت در ترک‌های مویی، XPL، Ms: مسکویت، ت) همان تصویر در PPL، ث) برگوارگی نسل‌های دوم و سوم در مقاطع مورد بررسی (XPL) و ج) همان تصویر در PPL.

بافت غالب این سنگ‌ها شکفته بلوری است و همچنین دارای بافت جهت یافته و رخ مواج هستند.

در منطقه همدان، چهار نسل برگوارگی، S1، S2، S3 و S4 تشخیص داده شده است، [۱۶]. در مقاطع مورد بررسی از منطقه، برگوارگی نسل‌های دوم (S2) و سوم (S3) دیده می‌شود. ماهیت برگوارگی نسل دوم که در منطقه برگوارگی غالب بوده بیشتر از نوع شیستوارگی سطح محوری است. این برگوارگی گاهی موازی با لایه‌بندی اولیه دیده می‌شود که در طی دگرشکلی‌های بعدی چین خورده و برگوارگی نسل سوم را در منطقه ایجاد کرده است. برگوارگی نسل سوم برگوارگی وضعی بوده که موازی با سطح محوری چین‌های نسل سوم

مسکویت و بیوتیت اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی شیستوارگی در سنگ هستند. مسکویت ریزدانه یا سریسیت به صورت بلورهایی با اندازه حدود ۰/۰۱ میلی‌متر و فراوانی تقریبی ۴۰ درصد در نمونه دیده می‌شوند و به دلیل تنش موجود در محیط و دگرشکلی، جهت‌یافتگی پیدا کرده‌اند. بیوتیت نیز به صورت ریزبلورهایی با اندازه ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر و با فراوانی تقریبی ۵ درصد در زمینه سنگ حضور دارد.

کوارتز به صورت دانه‌های بی‌شکل و دارای خاموشی موجی در مقاطع دیده می‌شود. اندازه دانه‌های کوارتز حدود ۰/۰۱ میلی‌متر است و حدود ۴۰ درصد نمونه را دربرگرفته است.

گسترش یافته است. این برگوارگی به صورت خم شدن کانی-های صفحه‌ای چون مسکویت و بیوتیت موازی سطح محوری چین‌های نسل سوم ایجاد شده و در راستای این برگوارگی هیچ کانی صفحه‌ای رشد نکرده است (شکل‌های ۳ و ج).

شیمی گارنت

به منظور بررسی شیمی بلورگارنت و همچنین منطقه بندی احتمالی درون آن، بلور گارنت از مرکز به لبه به روش EPMA تجزیه شد (جدول ۱).

فرمول گارنت‌های مورد بررسی بر اساس ۱۲ اتم اکسیژن

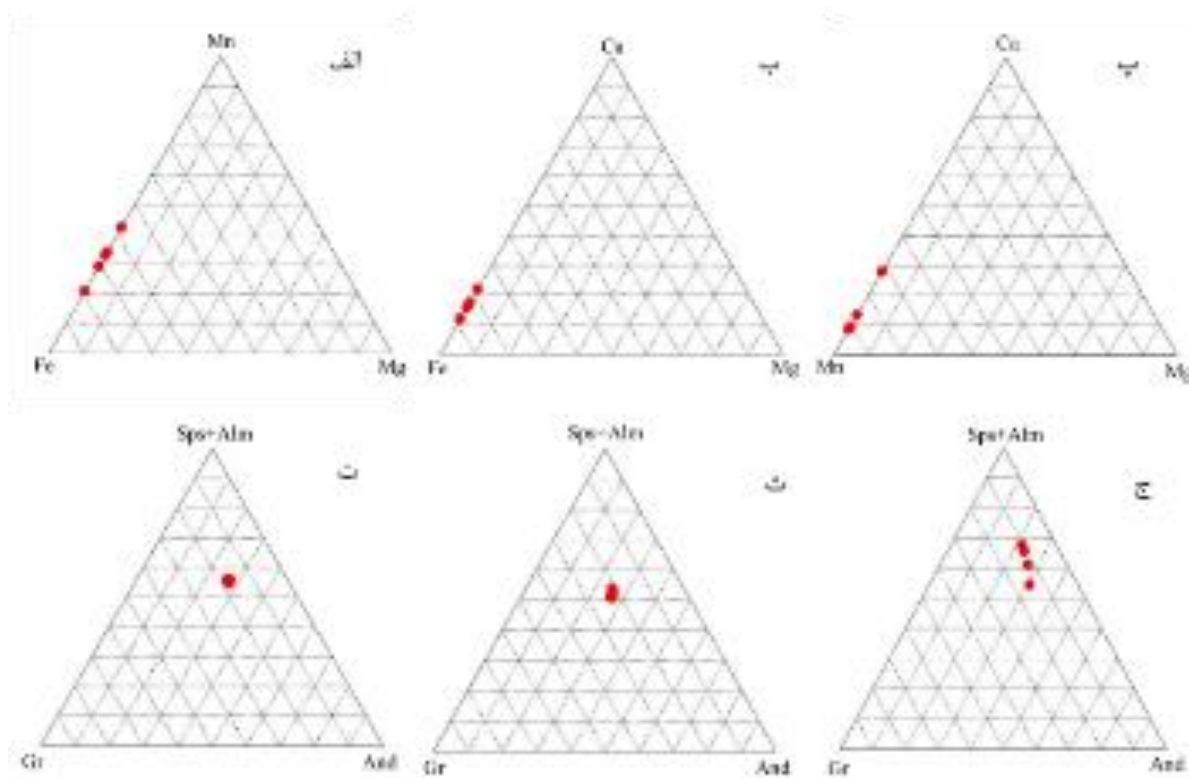
جدول ۱ نتایج تجزیه بلورهای گارنت‌های منطقه جوارک به روش EPMA و محاسبه فرمول آنها.

نمونه	D - 9 (1)				
	Point.No				
	۱	۲	۳	۴	۵
%Al ₂ O ₃	۱۴/۴۹	۱۵/۴۴	۱۵/۲۷	۱۴/۸۶	۱۵/۳۵
SiO ₂	۳۰/۵۳	۳۰/۱۶	۲۹/۶۲	۲۹/۸۹	۳۰/۴۹
CaO	۱/۸۱	۱/۷	۱/۷۷	۱/۶۳	۱/۶۸
MnO ₂	۱۷/۰۶	۱۷/۲	۱۶/۶۸	۱۴/۸۴	۹/۹۶
Fe ₂ O ₃	۳۵/۸۴	۳۵/۱۵	۳۶/۳۸	۳۸/۵	۴۲/۲۷
Total	۹۹/۷۳	۹۹/۶۵	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۰۱	۹۹/۸۷
تعداد کاتیون‌ها بر اساس ۱۲ اکسیژن					
Al	۱/۷۰۶۷	۱/۲۴۳۳	۱/۲۲۲۶	۱/۱۹۰۲	۱/۲۲۹۶
Si	۲/۶۹۷	۱/۸۰۹۸	۱/۷۷۸۶	۱/۷۹۵۶	۱/۸۳۱۸
Ca	۰/۳۱۹۸	۰/۲۰۴	۰/۲۱۲۶	۰/۱۹۵۸	۰/۲۰۱۹
Mn	۳/۰۱۴۱	۲/۰۶۴۲	۲/۰۰۳۲	۱/۷۸۲۹	۱/۱۹۶۸
Fe	۴/۱۱۰۹	۴/۰۴۹۹	۴/۱۰۳۸	۴/۳۲۴۳	۴/۵۶۶۸
مجموع	۱۱/۸۴۸۵	۹/۳۷۱۲	۹/۳۲۰۸	۹/۲۸۸۸	۹/۰۲۶۹
آلماندین	۳۵/۸۳	۳۲/۰۶	۳۲/۰۹	۳۲/۷۴	۳۳/۶۵
گراسولار	۱۹/۶۶	۱۷/۲۷	۱۷/۱۸	۱۵/۸۵	۱۷/۲۹
اسپسارتین	۲۵/۷۳	۲۱/۴۳	۲۱/۲۱	۲۰/۷۶	۱۹/۹۶
آندرادیت	۲۹/۲۷	۲۶/۱۴	۲۶/۱۸	۲۶/۶۲	۲۷/۲۳
نمونه	D - 9 (2)				
	شماره نقطه				
	۱	۲	۳	۴	۵
%Al ₂ O ₃	۱۹/۲	۱۵/۲۹	۱۷/۴۴	۱۴/۷۲	۱۹/۷۳
SiO ₂	۳۱/۶	۳۴/۴۹	۳۴/۳	۳۸/۶۶	۵۴/۳۹
K ₂ O	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۶۷	۳/۵۵
CaO	۴/۳۲	۶/۱۸	۸/۳۱	۸/۹۲	۶/۵۱
MnO ₂	۱۲/۰۴	۱۱/۱۶	۹/۶۶	۵/۶	۰/۹۸
Fe ₂ O ₃	۳۲/۶۲	۳۲/۶۴	۲۹/۹۲	۳۱/۴۳	۱۴/۳۳
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰/۰۱	۱۰۰	۹۹/۴۹
تعداد کاتیون‌ها بر اساس ۱۲ اکسیژن					
Al	۱/۵۳۴۹	۱/۲۲۳۱	۱/۳۹۳۷	۱/۱۷۶۷	۱/۵۷۸۱
Si	۱/۸۹۴۷	۲/۰۶۹۲	۲/۰۵۵۷	۲/۳۱۷۷	۳/۲۶۲۷
Ca	۰/۵۱۸	۰/۷۴۱۵	۰/۹۹۶۱	۱/۰۶۹۵	۰/۷۸۱
K	۰/۰۵۲۸	۰/۰۵۷۶	۰/۰۹۱۱	۰/۱۶۰۷	۰/۸۵۱۸
Mn	۱/۴۴۳۸	۱/۳۳۹۱	۱/۱۵۷۹	۰/۶۷۱۵	۰/۱۱۷۶
Fe	۳/۹۱۱۷	۳/۹۱۶۴	۳/۵۸۶۵	۳/۷۶۸۶	۳/۷۱۹۳
مجموع	۹/۳۵۵۹	۹/۳۴۶۹	۹/۲۸۱	۹/۱۶۴۷	۱۰/۳۱۰۵
آلماندین	۳۲/۴۸۹	۳۲/۴۰۳	۳۱/۷۱۴	۳۲/۶۱۲۳	۳۶/۱۰۲۲
گراسولار	۲۲/۳۰۷۹	۲۲/۸۷۸	۲۳/۹۴۲۸	۲۴/۵۱۵	۲۷/۲۸۷۳
اسپسارتین	۲۵/۰۸۵۳	۲۴/۶۷۱	۲۴/۴۲۸۲	۲۳/۳۲۱	۲۵/۲۹۷۱
آندرادیت	۲۷/۰۶۱۵	۲۸/۲۶۴	۲۹/۳۲۸۴	۲۹/۶۹۸۸	۳۱/۵۶۹۷

محاسبه شد. بر این اساس و رسم نمودار سه تایی تقسیم‌بندی گارنت‌ها (شکل ۴)، مشخص شد که انباشت نقاط تجزیه‌ها، از نظر عنصری بیشتر در قطب‌های Fe, Mn و از نظر کانیایی بیشتر در قطب آلماندین و اسپسارتین است. تعدادی از نقاط نیز نزدیک به قطب‌های گراسولار و آندرادیت قرار دارند. بر پایه تجزیه‌های انجام شده و محاسبه فرمولی به روش بیان شده، آلماندین (۳۴/۴ - ۲۰/۴٪)، اسپسارتین (۴۶/۸ - ۲۰٪)، آندرادیت (۳۰/۷ - ۲۱/۸٪) و گراسولار (۲۳/۵ - ۱۰/۴٪) ترکیب گارنت‌های مورد بررسی را تشکیل می‌دهند.

ادامه جدول ۱

نمونه	D - 9 (3)				
	شماره نقطه				
	۱	۲	۳	۴	۵
%Al ₂ O ₃	۱۴,۰۲	۱۴,۰۸	۱۳,۵۲	۱۴,۳۶	۱۴,۵۴
SiO ₂	۲۸,۲۸	۲۹,۲۶	۳۰,۹۸	۳۱,۶۸	۴۴,۷۳
CaO	۱,۷۴	۱,۵۹	۱,۵۳	۱,۵۱	۱,۵۲
MnO ₂	۱۷,۵۲	۱۶,۹۹	۱۴,۷۸	۹,۷۵	۴,۱۵
Fe ₂ O ₃	۳۸,۲	۳۷,۹۹	۳۹,۱۹	۴۲,۷	۳۳,۶۱
مجموع	۹۹,۷۶	۹۹,۹۱	۱۰۰	۱۰۰	۹۹
تعداد کاتیون‌ها بر اساس ۱۲ اکسیژن					
Al	۱,۱۲۱	۱,۱۲۴۶	۱,۰۷۶۴	۱,۱۴۰۲	۱,۱۳۳۴
Si	۱,۶۹۶	۱,۷۵۲۸	۱,۸۴۹۹	۱,۸۸۶۷	۲,۶۱۵
Ca	۰,۲۰۸۷	۰,۱۹۰۵	۰,۱۸۲۷	۰,۱۷۹۹	۰,۱۷۷۷
Mn	۲,۱۰۱۳	۲,۰۳۵۵	۱,۷۶۵۱	۱,۱۶۱۳	۰,۴۸۵۲
Fe	۴,۵۸۱۷	۴,۵۵۱۵	۴,۶۸۰۳	۵,۰۸۵۹	۳,۹۲۹۸
Total	۹,۷۰۸۷	۹,۶۵۴۹	۹,۵۵۴۴	۹,۴۵۴	۸,۳۴۱۱
آلماندین	۳۷,۱۵۲۳	۳۷,۴۸۱۶	۳۷,۹۸۸۲	۴۰,۱۶۴۹	۴۱,۵۷۲۴
گراسولار	۱۹,۱۴۲۱	۱۸,۷۵۹۲	۱۸,۵۴۸۳	۱۸,۹۶۶	۲۱,۴۸۰۱
اسپسارتین	۸۳,۹۱۰۴	۸۴,۲۲۲۷	۷۵,۲۶۵	۵۶,۹۶۷۷	۳۷,۸۸۵
آندراپیت	۴۱,۱۹۰۸	۳۹,۳۵۶۱	۴۰,۴۷۲۹	۴۳,۰۷۲۳	۴۴,۸۷۰۱



شکل ۴ نمودارهای مثلثی تقسیم بندی گارنت‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی در منطقه مورد بررسی: الف) نمودار Fe-Mn-Mg، ب) نمودار Ca-Fe-Mg، پ) نمودار Ca-Mn-Mg، ت، ث و ج) نمودارهای مثلثی تقسیم‌بندی نوع گارنت برپایه گروسولار (Gr)-آندراپیت (And)+ پیروپ-اسپسارتیت (Sps)+آلماندین (Alm) برای نمونه‌های مورد بررسی.

دارد. سیر تغییرات کانی‌های آلماندین، گراسولار، اسپسارتین و آندرادیت از مرکز به سمت لبه افزایشی است که با رفتار عنصر Ca از مرکز به سمت لبه همخوانی دارد (شکل‌های ۵ الف تا پ)

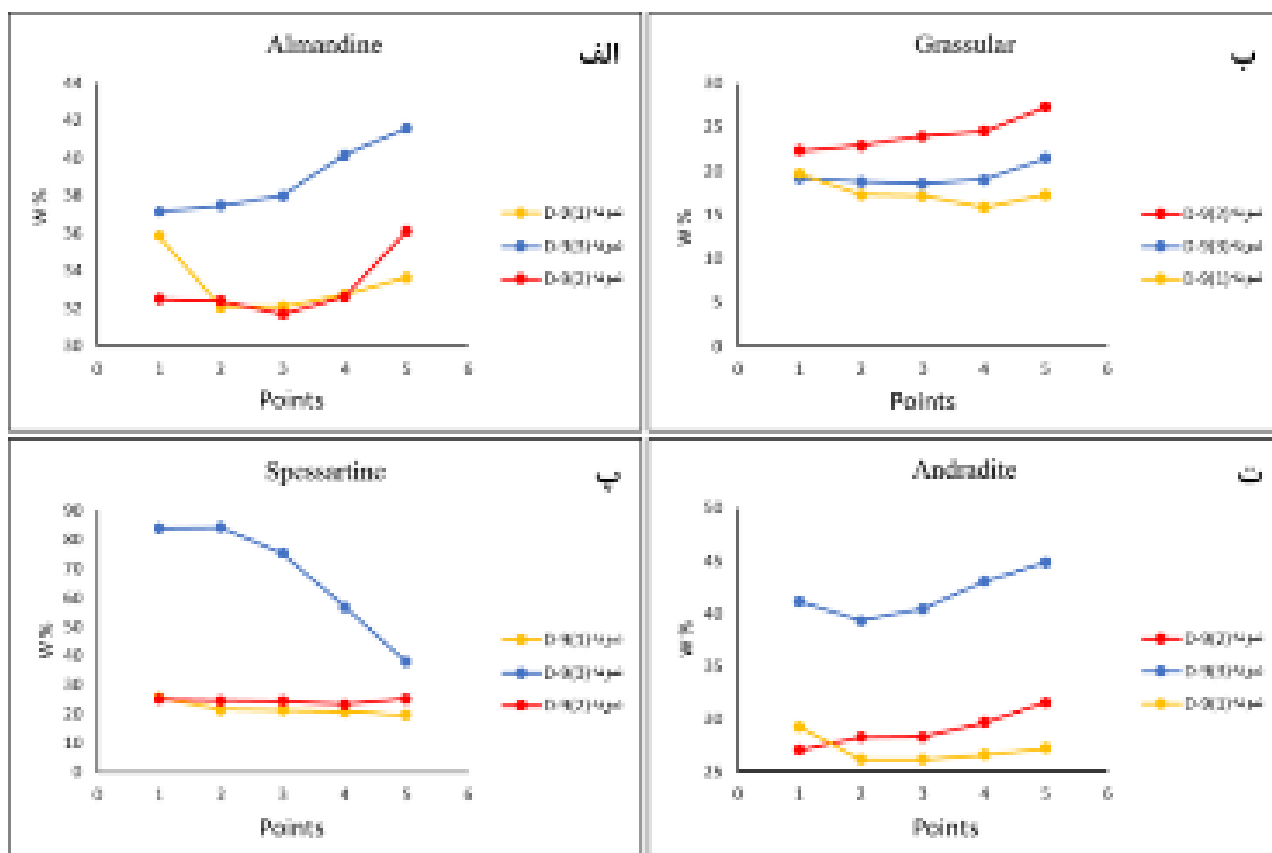
نمونه گارنت (3) D-9: در این نمونه، سیر تغییرات عناصر Fe و Mn شبیه نمونه گارنت (2) D-9 است. جز عنصر Ca که از مرکز به سمت لبه کاهش یافته. رفتار عنصر Mn از مرکز به لبه کاهشی است که با رفتار اسپسارتین به سمت لبه همخوانی دارد (شکل‌های ۵ الف تا پ)

منطقه بندی فیزیکی یا منطقه بندی که با چشم غیر مسلح یا زیر میکروسکوپ قابل دیدن باشد در گارنت‌های موجود در میکا شیست‌های منطقه وجود ندارد. البته منطقه بندی شیمیایی عادی در آن‌ها وجود دارد که نشان می‌دهد که عناصر Mn و Ca از مرکز به سمت لبه کاهش و عنصر Fe افزایش می‌یابد. که سبب تغییر ترکیب شیمیایی نوع گارنت مورد بررسی می‌گردد.

به منظور بررسی منطقه بندی ترکیبی (منطقه بندی شیمیایی)، تعداد ۳ بلور گارنت از میکا شیست‌های منطقه انتخاب شد و در هر بلور ۵ نقطه از مرکز به لبه بلور تجزیه ریزپردازشی گردید. نمودار تغییرات انواع گارنت برای هر یک از ۳ نمونه مورد بررسی بلورهای گارنت در میکا شیست‌های منطقه بر پایه نتایج جدول ۱ در شکل ۵ نشان داده شده است که نتایج آن به شرح زیر است.

نمونه گارنت (1) D-9: مقدار عنصر Fe از مرکز به سمت لبه افزایشی بوده است در حالی که مقادیر عناصر Mn و Ca کاهش یافته است. روند تغییرات عناصر Mn و Ca از مرکز به سمت لبه با سیر تغییرات مقدار آلماندین، گراسولار، اسپسارتین و آندرادیت تقریباً همخوانی دارد. جز Fe، که نخست کاهش و سپس افزایش یافته است، عناصر دیگر سیر کاهشی را نشان می‌دهند. (شکل ۵ الف تا پ)

نمونه گارنت (2) D-9: مقدار عناصر Fe و Mn از مرکز به سمت لبه کاهش یافته است، در حالی که عنصر Ca روند افزایشی



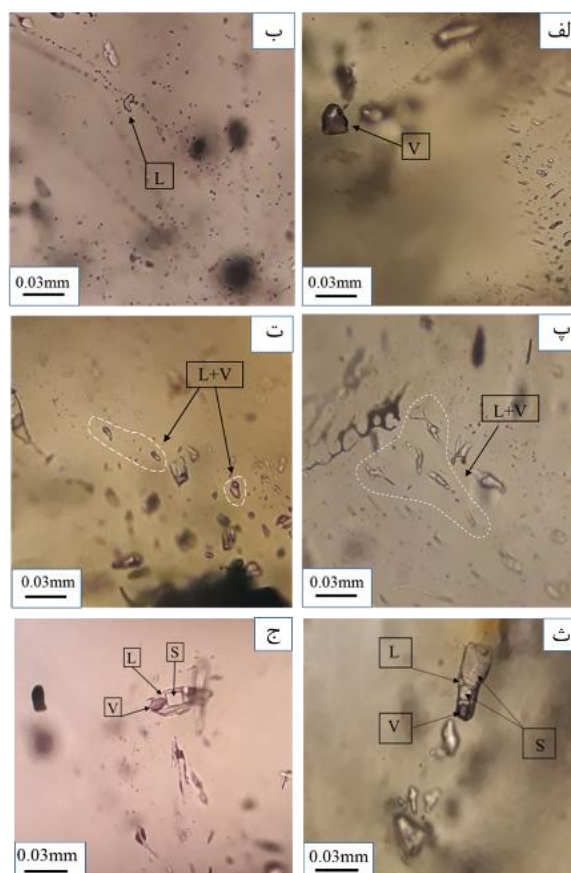
شکل ۵ الگوی رفتاری اعضای آلماندین (الف)، گراسولار (ب)، اسپسارتین (پ) و آندرادیت (ت) در نمونه گارنت‌های موجود در میکا شیست‌های منطقه مورد بررسی از مرکز به سمت لبه.

ریزدماسنجی

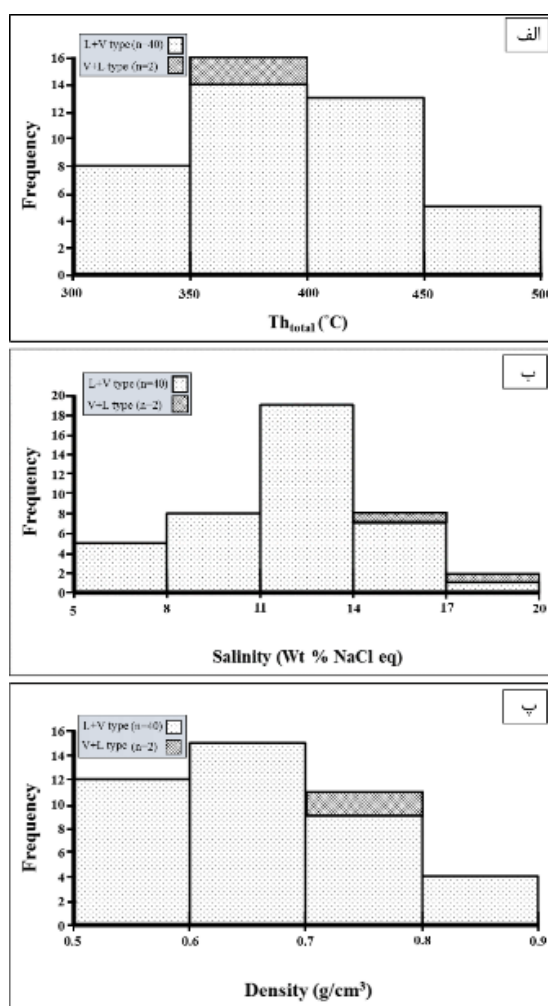
میانبرهای سیال در منطقه برای ۴ نمونه دوبر صیقل بلورهای گارنت بررسی شدند. بر پایه بررسی‌های انجام شده، از دید شکل ظاهری، بیشتر میانبرها دچار پدیده دم بریدگی شده‌اند و همچنین به صورت نامنظم، کشیده و میله‌ای هستند و تعداد کمی میانبر با شکل ظاهری منظم و کروی دیده می‌شود. اندازه میانبرهای سیال از ۲ تا ۴۰ میکرون متغیر است. به طور میانگین در بلورهای گارنت پس از میانبرهای دم بریده، میانبرهای کشیده و میله‌ای شکل با درجه پرشدگی ۱۰۰ درصد و سپس میانبرهای بی‌شکل با درجه پرشدگی ۶۰ تا ۷۰ درصد وجود دارند.

بر پایه رده‌بندی شفرد و آلن [۱۷] فازهای مختلف در میانبرهای موجود در بلورهای گارنت وجود دارند که عبارتند از: (۱) میانبرهای تک فاز گازی (V) با درجه پرشدگی صفر. در این نوع از سیال‌های درگیر، حباب گازی تنها فاز تشکیل دهنده است. این میانبرها اغلب به رنگ تیره دیده می‌شوند که همه حجم میانبر با فاز گازی پر شده است. اندازه آنها اغلب از

۵ تا ۳۰ میکرون است. این میانبرها اغلب به شکل‌های نامنظم و بیضوی دیده می‌شوند (شکل ۶ الف). (۲) میانبرهای تک‌فازی مایع (L) با درجه پرشدگی ۱۰۰ درصد (شکل ۶ ب). (۳) میانبرهای دوفازی مایع و بخار (L+V) با درجه پرشدگی ۵۰ درصد و بالاتر. به طور کلی این میانبرها از یک فاز مایع و یک حباب گازی تشکیل شده‌اند. فاز گاز در این میانبرها ۲۰ تا ۴۰٪ حجم میانبر است. این میانبرها دارای شکل‌های نامنظم، بیضوی و کشیده هستند. این نوع از میانبرها در نمونه فراوان هستند و اغلب به صورت انباشتی دیده می‌شوند (شکل‌های ۶ پ و ت). (۴) میانبرهای سه‌فازی جامد (L + V + S) دارای یک یا چند فاز بلوری جامد یا کانی‌های نوزاد که برخی بیش از ۵۰ درصد حجم درونی میانبر را اشغال کرده‌اند. این نوع دارای فراوانی کم و در اندازه‌های حدود ۲۰ میکرون هستند (شکل ۶ ج). (۵) میانبرهای چهار فاز جامد (S1+S2+L+V) که فاز جامد در سیال‌های چهار فاز، شامل هالیت و کلسیت است (شکل ۶ ث). این نوع از میانبرها از یک سیال اشباع ته نشست شده‌اند.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی نوری عبوری از میانبرهای سیال، الف) میانبر تک فاز غنی از گاز، ب) میانبر تک فاز غنی از مایع، پ و ت) انباشت میانبرهای دو فاز غنی از مایع. ث) میانبر سیال سه‌فازی دارای فاز جامد کلسیت بی‌شکل و هالیت مکعبی شکل و ج) میانبر سیال سه‌فازی دارای فاز جامد هالیت مکعبی شکل.



شکل ۷ نمودارهای ستونی الف) دمای همگن شدگی، ب) شوری و پ) چگالی برای انواع میانبارهای سیال گارنت منطقه مورد بررسی.

۳۶۵/۲ °C تا ۳۹۸/۳ °C (با میانگین ۳۸۱/۷۵ °C در تعداد ۲ میانبار)، بدست آمد (شکل ۷ الف).

شوری محاسبه شده برای میانبارهای دوفازی مایع+گاز بین ۵/۷۱ تا ۱۸/۵۵ درصد (میانگین ۱۲/۷۴ درصد در تعداد ۴۰ میانبار) و برای میانبارهای دوفازی گاز+مایع بین ۱۵/۱۷ تا ۱۹/۶۰ درصد وزنی معادل نمک طعام (با میانگین ۱۷/۳ درصد در تعداد ۲ میانبار) بدست آمد (شکل ۷ ب). چگالی میانبارهای سیال منطقه مورد بررسی با نرم افزار اکسل HOKIEFLINCS که توسط استیل مکینیس و همکاران [۱۸] طراحی شده است، محاسبه شد. بر این اساس، مقدار چگالی در گستره ۰/۵۶۹ تا ۰/۸۴۲ gr/cm³ است (شکل ۷ پ). برای تعیین فشار گاز میانبارهای سیال کانی گارنت منطقه مورد بررسی، مقادیر دمای همگن شدگی و شوری در نمودار

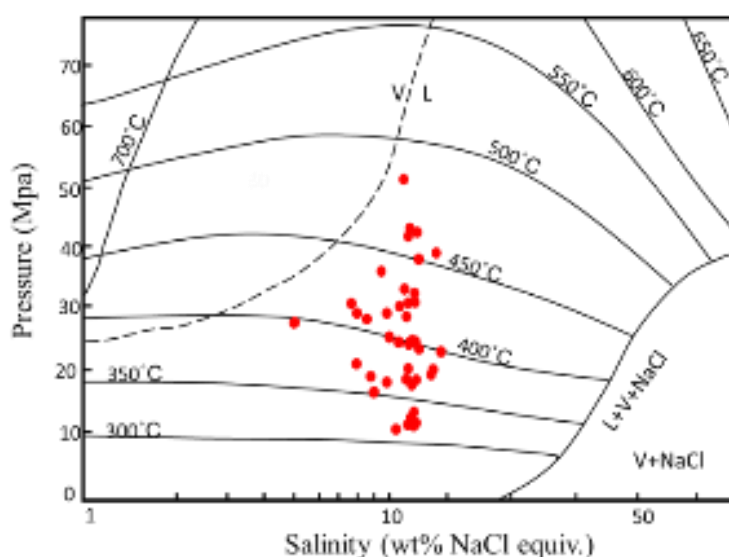
براساس شواهد ریزدماسنجی میانبارهای سیال دوفازی در کانی گارنت منطقه جوکار، دمای T_{fm} در میانبارهای دوفازی L+V بین ۳۲/۱ تا ۲۱/۳ °C (با میانگین ۲۴/۹۶ °C در تعداد ۴۰ میانبار سیال)، بدست آمد. همچنین، برپایه این شواهد، دمای T_{mice} در میانبارهای دوفازی L+V بین ۱۴/۹ تا ۵ °C (با میانگین ۹/۰۹۵ °C در تعداد ۴۰ میانبار سیال) و در میانبارهای دوفازی V+L بین ۱۶/۲ تا ۱۱/۱۲ °C (با میانگین ۱۳/۷ °C در تعداد میانبار ۲ سیال)، بدست آمد.

همچنین بر اساس بررسی‌های ریزدماسنجی انجام شده در منطقه، دمای همگن شدگی کلی (Th_{total}) میانبار با فاز مایع، در میانبارهای نوع L+V از ۳۲۲ تا ۴۸۵ °C (با میانگین ۳۸۷/۶ در تعداد ۴۰ میانبار)، در میانبارهای نوع V+L از

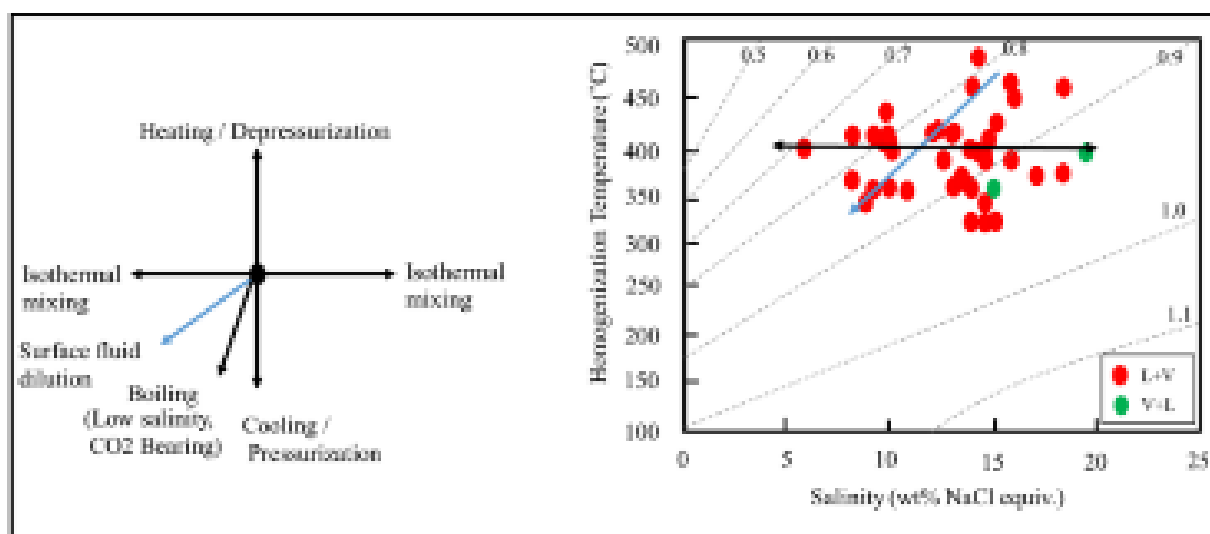
پیش بینی خاستگاه سیال با استفاده از نمودار کسلر [۲۱] نشان می‌دهد که میانبارهای سیال بیشترین تمرکز را در گستره آبهای ماگمایی دارند، که با حضور باتولیت الوند و تزریق آب ماگمایی به درون سنگهای میزبان به خوبی همخوانی دارد. برخی دیگر از نمونه‌ها در گستره آبهای دگرگونی قرار دارند. تعداد کمی از نمونه‌ها در گستره آبهای دریایی پراکنده شده‌اند که به احتمال بسیار سیال ضمن واکنش با سنگ در بر گیرنده در منطقه بالا آمده و در شپست‌ها ته نشست شده‌است. (شکل ۱۰).

منحنی‌های هم فشار [۱۹] رسم شد (شکل ۸) با جابجایی داده‌ها در این نمودار، میتوان گفت که فشار بخار سیال‌های درگیر منطقه مورد بررسی در گستره ۱۰ تا ۵۱ مگا پاسکال معادل ۱۰۰ تا ۵۱۰ بار و عمق ۳۵۰ متر تا ۱۷۸۵ متر در تغییر است ($1000 \text{ Bar} = 100 \text{ Mpa} = 3.5 \text{ km}$).

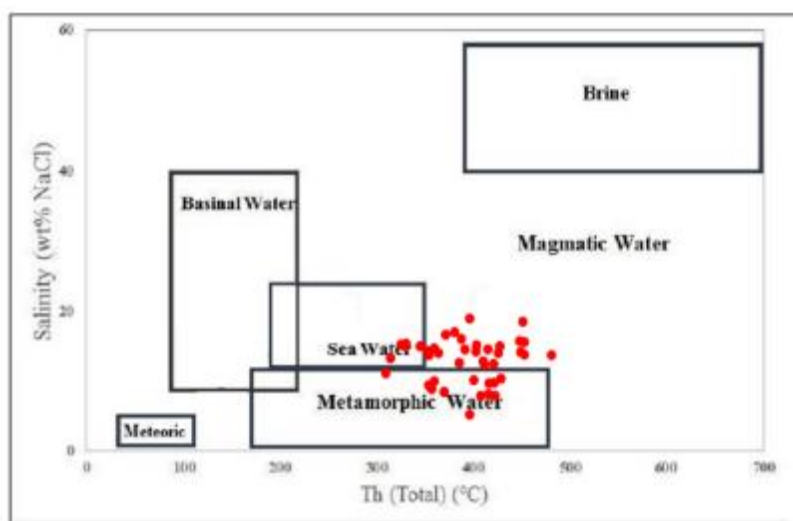
همچنین، از مقایسه روند میانبارهای سیال دوفازی با نمودار پایه [۲۰]، فرآیند دگرگونی توسط سیال‌های جوی مهمترین سازوکار ته نشینی موثر در تشکیل گارنت‌های منطقه مورد بررسی است (شکل ۹).



شکل ۸ نمودار دما - شوری برای برآورد فشار میانبارهای سیال [۱۹].



شکل ۹ نمودار دما-شوری در سامانه $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ که در آن منحنی‌ها بر اساس چگالی رسم شده‌اند و براساس آن روند رقیق‌شدگی سیال و آمیختگی دما مهمترین سازوکار رخداد کانه‌زایی در منطقه مورد بررسی است. نمودار پایه برگرفته از مرجع [۲۰] است.



شکل ۱۰ نمودار شوری - دمای همگن شدگی برای تعیین خاستگاه سیال‌های منطقه جوکار [۲۱].

برداشت

نفوذ توده الوند بوده است و همچنین مقدار چگالی سیال در گستره ۰٫۵۶۹ تا ۰٫۸۴۲ gr/cm³ به دست آمد. سیال سازنده گارنت‌ها به طور عمده خاستگاه ماگمایی تا دگرگونی داشته که با آب‌های سطحی رقیق شده است.

قدردانی

نگارندگان از مدیریت معدن سیلیس کوه ناز آقای ذبیح اله محمدی که در عملیات میدانی همکاری داشتند. همچنین از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا همدان برای همه همکاری‌های قدردانی و تشکر می‌نمایند.

مراجع

- [1] Bonno S., "Notes on Rock Forming Minerals, Zonal structure of pyroalpsite in Sanbagawa schists in the Bessi area, Shikoku", Journal of Geological of Society Japan, v 71 (1965) p.185-188.
- [2] Loomis T. P., Nimick F. B., "Equilibrium in Mn-Fe-Mg aluminous pelitic compositions and the equilibrium growth of garnet", The Canadian Mineralogist, 20(3) (1982) 393-410.
- [3] Grant J. A., Weiblen P. W., "Retrograde zoning in garnet near the second sillimanite isograd", American Journal of Science, 270(4), 281-296.
- [4] Hwang S. L., Yui T. F., Chu H. T., Shen P., "Submicron polyphase inclusions in garnet from the Tananao Metamorphic Complex, Taiwan: a key to unravelling otherwise unrecognized metamorphic events", Journal of Metamorphic Geology, 19(5) (2001) 601-607.

گارنت میکاشیست‌های منطقه جوکار توده باتولیتی الوند را در بر گرفته‌اند. در بررسی مقاطع میکروسکوپی، اجزای اصلی تشکیل دهنده شامل کوارتز، بیوتیت، مسکویت و گارنت هستند. کانی‌های کدر و اکسید آهن نیز به عنوان کانی فرعی در نمونه‌ها دیده می‌شوند. بر پایه تجزیه شیمیایی و نمودار تقسیم‌بندی گارنت‌ها مشخص شد که گارنت‌های منطقه بیشتر از نوع آلماندین و اسپسارتین و کمتر از نوع گراسولار و آندرادیت هستند.

الگوی رفتاری عناصر Mn, Fe و Ca در نمونه‌های مختلف گارنت‌های منطقه برای اعضای آلماندین، گراسولار، اسپسارتین و آندرادیت نشان می‌دهد که بی‌نظمی‌هایی در روند مقدار نمونه‌ها وجود دارد که ممکن است ناشی از عواملی چون نزدیکی به کانی‌های مختلف باشد.

بررسی‌های ریزدماسنجی نشان می‌دهد که سیال‌های درگیر دارای دمای همگن‌شدگی ۳۲۲ تا ۴۸۵ °C با میانگین ۳۸۷٫۶ °C هستند. میانگین شوری نیز ۵٫۷۱ تا ۱۹٫۶۰ درصد وزنی معادل نمک طعام است. همچنین از بررسی فرآیندهای فیزیکی تغییر سیال و سنگ نگاری سیال‌های درگیر، برای سیال کانه‌زا در زمان نهشت در سیال‌های درگیر منطقه دو روند تشکیل آب‌های هم‌دما و رقیق شدن با آب‌های سطحی دیده می‌شود. فشار بخار سیال‌های درگیر منطقه مورد بررسی در گستره ۱۰۰ تا ۵۱۰ بار و عمق ۳۵۰ متر تا ۱۷۸۵ متر است افزایش دما ناشی از هم دمای ناشی از دگرگونی و هم

Mineralogy, Volume:31 Issue: 1, PP 123 to 134. (in Persian) (2023).

[13] Barati M., Ostadhosieni A., Abdi S., "Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy", Volume:31 Issue: 4 (2024) PP 605 to 620. (in Persian)

[14] Gholipour M., Barati M., Talefazel E., Hurai V., "Chemical-textural relations of Apatite-monazite-xenotime in the Lakeh-Siah iron±apatite deposit (northeastern Bafq): evidences for a hydrothermal system development", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Volume:28 Issue: 1 (2020) PP, 51 to 70. (in Persian)

[15] Mohajal M., Valizadeh M., Moghadam F., "Analysis of deformation in the mylonitic granite of Aliabad, Demq and the importance of its shear zone in the tectonic interpretation of the Hamedan region", Journal of Sciences of the University of Tehran, Volume 32, Number 2 (2006) pp. 91-104. (in Persian)

[16] Patranabis-Deb S., Schieber J., Basu A., "Almandine garnet phenocrysts in a 1 Ga rhyolitic tuff from central India", Geological Magazine 146 (2008) 133-143.

[17] Shepherd T. J., Allen P. M., "Metallogenesis in the Harlech Dome, North Wales: a fluid inclusion interpretation", Mineralium Deposita, 20(3) (1985) 159-168.

[18] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R. J., Short note (2012).

[19] Bouzari F., Clark A. H., "Prograde evolution and geothermal affinities of a major porphyry copper deposit: the Cerro Colorado hypogene protore, I Región", northern Chile. Economic Geology, 101(1) (2006) 95-134.

[20] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", Lithos, 55(1-4) (2001) 229-272.

[21] Kesler S. E., "Ore-forming fluids", Elements, 1(1) (2005) 13-18.

[5] Carlson W. D., "The significance of intergranular diffusion to the mechanisms and kinetics of porphyroblast crystallization", Contributions to Mineralogy and Petrology, 103(1) (1989) 1-24.

[6] Carlson W., Schwarze E., "Petrological significance of prograde homogenization of growth zoning in garnet: an example from the Llano Uplift", Journal of Metamorphic Geology, 15(5) (1997) 631-644.

[7] Sepahi A.A., Najafi Rashed S., Shahbazi H., Maanijou M., "Textural and Sr-Nd isotopic evidence of assimilation of pelitic rocks in the Alvand plutonic complex (western Iran)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Volume:24 Issue: 3, 503 (2016) (in Persian).

[8] Jafari S. R., Sepahi A.A, Moazzen M., Shahbazi H., "The study of continuous and discontinuous zoning of garnet mineral in the migmatites of the Hamedan region and its petrogenetic applications", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Volume:27 Issue: 1, PP 31 to 46 (2019) (in Persian).

[9] Sepahi A., "Petrology of the Alvand plutonic complex with special reference on granitoids", Ph. D. Thesis, Tarbiat-Moallem University, Tehran, Iran, (in Persian) (1999).

[10] Barati M., "Investigation of mineralogy, geochemistry and sulfur isotopes in the Galali deposit, western Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Volume 20, No. 2, pp. (2012) 215-228(in Persian).

[11] Hosseinmirzaei Z., Sepahi A. A., Aliani F., Hosseinmirzaei Z., "Investigation of metamorphic Zonation and isogrades of Garnet rocks in Hamadaan area", 1st international congress of applied geology, Mashhad Azad University (2010).

[12] Barati M., Mohamadi A., Hazareh M., Fallah Karimi Z., "Mineralogical and XRD studies of graphite veins in the northeast of Alvand Mountain", Iranian Journal of Crystallography and