



## بررسی شیمی کانی و دماسنجی در اسکارن سرویان (استان مرکزی، شهرستان دلیرجان)

رضا زارعی سهامیه، حسن زمانیان، امیر پازوکی، نرگس بارانی، فرهاد زال\*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۴/۷/۱۱، نسخه نهایی: ۹۴/۹/۲۷)

**چکیده:** اسکارن مغناطیسی شده‌ی سرویان در نتیجه‌ی نفوذ توده‌ی گرانودیوریتی به درون سنگ آهک‌های الیگومیوسن تشکیل شده است. این کانسار یک اسکارن کلسیک بوده و بخش برون اسکارن آن گسترش بیشتری یافته است. کانی‌های گارنت و پیروکسن دو کانی شاخص کانسار اسکارن مگنتیتی سرویان بوده و به‌وسیله‌ی شاره‌های حاوی  $Mg$ ،  $Si$  و  $Fe$  باقیمانده از تبلور ماگما تشکیل شده اند. از این کانی‌ها که به‌طور گسترده‌ای در هاله‌ی دگرنهادی ایجاد شده در سنگ میزبان مشاهده می‌شوند، می‌توان در تعیین شرایط دما و فشار حاکم بر فرآیند اسکارنی شدن استفاده کرد. گارنت‌های موجود در اسکارن سرویان از نوع نایژه - آندرادیت بوده و از  $Fe$  و  $Ca$  غنی شده و از  $Mg$  و  $Mn$  تهی‌تر هستند. بررسی‌های ریزپردازشی و بررسی چگونگی تغییرات مقادیر  $CaO$ ،  $Al_2O_3$ ،  $MnO$ ،  $FeO$  و  $MgO$  در گارنت‌های منطقه‌بندی شده از هسته به حاشیه، نشان‌دهنده‌ی غنی‌شدگی هسته گارنت‌ها از گروسولار و قسمت‌های حاشیه‌ای از آندرادیت است. ترکیب شیمیایی کانی‌های گارنت و پیروکسن این کانسار با اسکارن‌های آهن‌دار سازگاری دارد. پیروکسن‌های منطقه از نوع دیوپسید - هدنبرژیت غنی از  $Ca$  هستند. دما در مرحله‌ی پیشرونده تشکیل اسکارن سرویان که طی آن کانی‌های بی‌آب مانند پیروکسن و گارنت تشکیل شده‌اند، در گستره‌ی رخساره گرمایی آلپیت - اپیدوت هورنفلس و هورنبلند هورنفلس بوده و بر اساس دماسنجی زوج کانی گارنت - کلینوپیکروکسن با دمای بین ۳۷۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای آن تعیین شده است. بررسی‌های شاره‌های درگیر نشان می‌دهد که کانه‌زایی آهن در مرحله‌ی پسرونده اسکارنی شدن و در دماهای بین ۳۸۰ تا ۴۰۰ درجه - ی سانتیگراد انجام شده است.

**واژه‌های کلیدی:** اسکارن، سرویان، گارنت، پیروکسن، شاره‌های درگیر.

### مقدمه

کربن مهم‌ترین سازنده‌ی این شاره‌هاست [۲]. کانی‌شناسی وسیله‌ای مهم در تشخیص و تعیین انواع اسکارن‌هاست. امروزه با بررسی شیمی کانی‌های یک توده‌ی نفوذی می‌توان شرایط دما و فشار و عمق تشکیل آن را برآورد کرد. بررسی‌هایی مانند [۳] که بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی و محاسبات و مدل‌سازی ترمودینامیکی و نیز تجزیه‌ی شیمیایی کانی‌ها پایه‌ریزی شده است به شناخت بهتر شرایط دما و فشار حاکم بر سنگ‌ها کمک زیادی کرد. دما - فشار سنج‌ها بر اساس چگونگی توزیع عناصر در ساختار کانی‌ها یا طی تبادل‌های شیمیایی مطرح می‌شود و دماسنج گارنت - پیروکسن نوعی از آنهاست.

اسکارن به سنگ دگرگونی همبری گفته می‌شود که از جانشینی عناصر  $Si$ ،  $Al$ ،  $Fe$  و  $Mg$  در سنگ‌های کربناتی به وجود می‌آید. عواملی مانند نوع ماگما، عمق جایگزینی، قدرت کاهندگی، ترکیب سنگ دیواره، فاصله‌ی افق‌های کربناتی از خاستگاه ماگمایی و شدت دخالت آب‌های جوی سبب متفاوت بودن کانسارهای اسکارن‌ها می‌شوند [۱]. گارنت و پیروکسن مهم‌ترین کانی‌های سازنده‌ی اسکارن‌ها هستند. منطقه‌بندی و نسل‌های متنوع کانی‌های اسکارنی تابع تغییرات فیزیکی و شیمیایی شاره‌های سازنده‌ی این نوع سنگ‌هاست و دی‌اکسید

های کواترنری و حجم قابل توجهی از سنگ‌های آذرین بیرونی (گدازه و آذرآواری) و درونی است [۴].

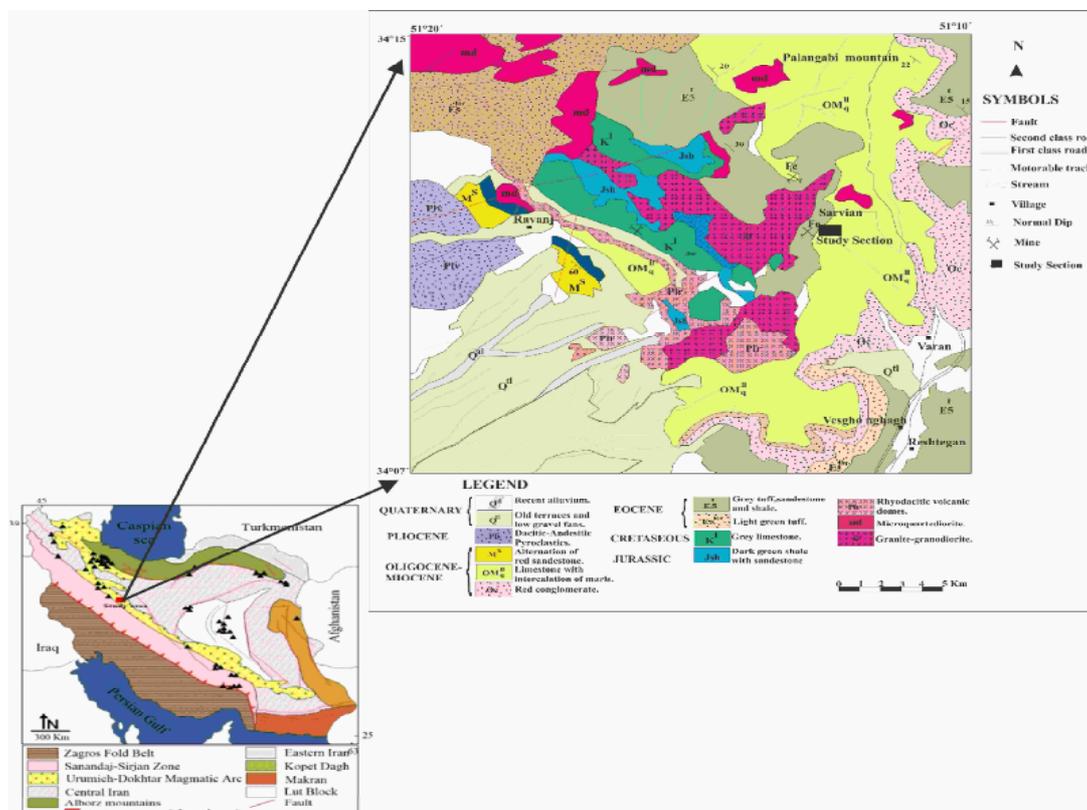
توده نفوذی: براساس بررسی‌های میکروسکوپی و ژئوشیمی [۵] روی توده‌ی نفوذی، بیشتر سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی توده نفوذی از نوع گرانودیوریت، دیوریت و گابرو تشخیص داده شد.

واحد sk (اسکارن): این واحد سنگی به صورت نوار باریکی در تماس واحد نفوذی دیوریتی با آهک‌های الیگومیوسن [۶] و سیلستون رخنمون دارد. در برخی نقاط، کانی‌سازی آهن و میان لایه‌هایی از آهک متبلور مشاهده می‌شود، این اسکارن گارنت‌دار گسترش کمی پیدا کرده است که هم در سنگ‌های کربناتی و هم در سنگ‌های آذرین گسترش یافته است. رنگ این سنگ‌ها در نمونه‌های دستی اغلب قهوه‌ای تا قهوه‌ای مایل به سرخ و برخی سبز تیره است. با توجه به بررسی‌های سنگ نگاری، معلوم شد که کانی‌های اساسی تشکیل‌دهنده‌ی اسکارن عبارتند از کلسیت، گارنت، اپیدوت، آمفیبول، کلریت، پیروکسن و اکسیدهای آهن است (شکل‌های ۳-الف، ۳-ب، ۳-پ و ۳-ث).

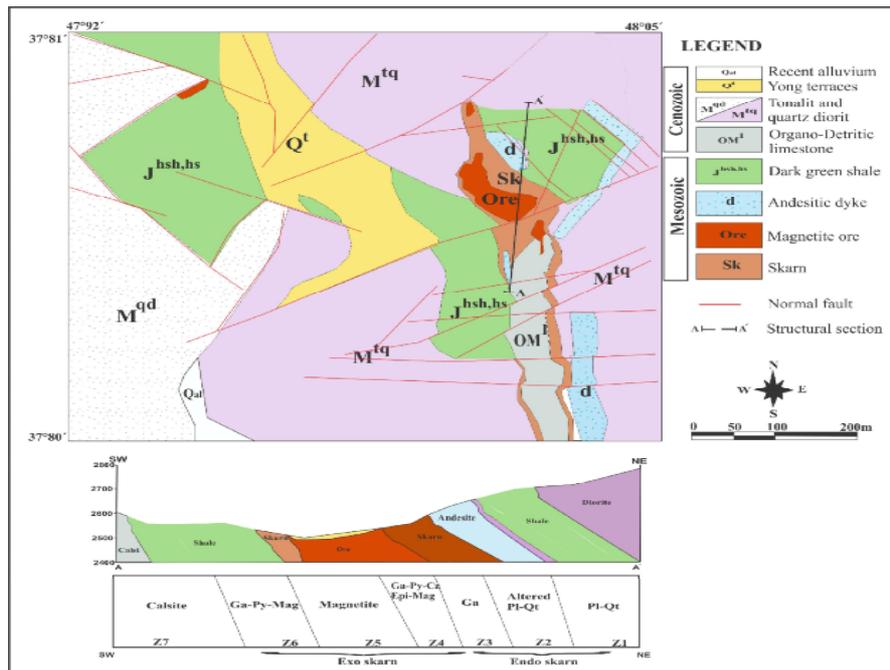
در این بررسی سعی شده است تا بر اساس بررسی شاره‌های درگیر و ریزپدازش کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ به بررسی شرایط محیطی و ویژگی‌های شاره‌های موثر در فرایند اسکارن، شیمی کانی‌ها، تعیین نام دقیق کانی‌ها و محاسبه‌ی شرایط دما - فشار در زمان تشکیل کانی‌ها پرداخته شود.

### زمین شناسی و سنگ‌نگاری منطقه

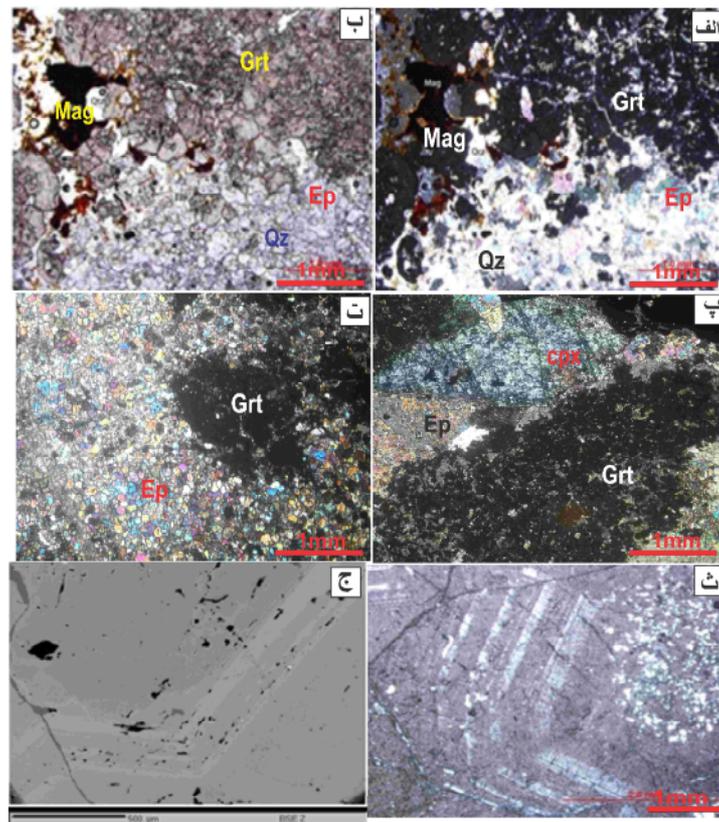
گستره‌ی مورد بررسی در استان مرکزی، و در شمال شرقی شهرستان دلجان و به فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری این شهرستان، بین طول‌های جغرافیایی  $50^{\circ} 45' 55''$  تا  $50^{\circ} 47' 15''$  و عرض‌های جغرافیایی  $34^{\circ} 08' 41''$  تا  $34^{\circ} 10' 38''$  قرار گرفته است. از نظر تقسیمات منطقه‌های ساختاری ایران، بخشی از منطقه‌ی ایران مرکزی است که در محل زاویه، چین خوردگی البرز و زاگرس و در زیر پهنه آتشفشانی ارومیه - دختر واقع شده است و بخشی از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک را شامل می‌شود. بر اساس گزارش مربوط به نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک (شکل ۱)، واحدهای سنگی منطقه شامل ردیفی از سنگ‌های پرمین تا ترشیری همراه با رسوب-



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد بررسی، منطقه‌ی مورد بررسی روی نقشه ایران با مربع توپر مشخص شده است (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک [۴]).



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی - زمین ساختی ۱:۱۰۰۰ منطقه‌ی مورد بررسی [۴]، به همراه مقطع زمین‌شناسی از منطقه‌های اسکارن (A-A').



شکل ۳ (الف) گارنت‌های خرد شده همسانگرد تاخیری همراه با مگنتیت و کوارتز و اپیدوت در نور XPL. (ب) گارنت‌های خرد شده همسانگرد تاخیری همراه با مگنتیت و کوارتز و اپیدوت در نور PPL. (پ) تصویری از هم رشدی گارنت و پیروکسن در نور XPL (ت) تصویر از تجزیه بلورهای گارنت به اپیدوت در نور XPL. (ث) تصویر بلور گارنت دارای منطقه‌بندی در نور PPL. (ج) تصویر BSE بلور گارنت و منطقه‌بندی موجود در آن. (در) تمامی شکل‌ها = Grt = گارنت، Ep = اپیدوت، Mag = مگنتیت، Qz = کوارتز، Cpx = پیروکسن که بر اساس نامگذاری [۷] تعیین شده‌اند).

برون اسکارن: در منطقه‌ی مورد بررسی این زون، زون اصلی اسکارنی بوده و بین درون اسکارن و آهک‌های متبلور (مرمر) قرار دارد. در منطقه‌ی برون اسکارن تنوع سیلیکات‌های آهکی زیاد بوده و و متشکل از زیرپهنه‌های، گارنت اسکارن، گارنت - پیروکسن اسکارن و آمفیبول اسکارن هستند که در فاصله‌ی دورتر به اپیدوت اسکارن تبدیل می‌شوند. در واقع بیشترین رخنمون اپیدوت در نزدیکی ماده‌ی معدنی موجود در منطقه مورد بررسی است.

#### روش بررسی

پس از بررسی سنگ‌نگاری سنگ‌های منطقه‌ی مورد نظر، ۵ نمونه از رگه‌های کلسیت و کوارتز برای تهیه‌ی مقطع دو بر صیقل و بررسی‌های ریز دماسنجی میانبارهای شاره انتخاب شدند. بررسی شاره‌های درگیر در آزمایشگاه دانشگاه لرستان و روی ۴۸ شاره‌ی درگیر صورت گرفت. میکروسکوپ مورد استفاده Nikon مدل Ep200 مجهز به عدسی‌های شیئی  $10\times-50\times-100\times$  بود. اندازه‌گیری‌های میکروترمتری با استفاده از یک گرم کننده (Heating) و منجمد کننده‌ی (Freezing) مدل MDS600 ساخت شرکت Linkan صورت گرفت. داده‌های حاصل از این بررسی در (جدول ۱) نشان داده شده‌اند. منظور از بررسی ترکیب شیمیایی، منطقه بندی و تعیین نوع گارنت و پیروکسن بوده است. پس از بررسی سنگ نگاری مقاطع نازک دو نمونه از آن‌ها برای بررسی ریزپردازشی انتخاب و از آن‌ها مقاطع نازک صیقلی تهیه شدند. ترکیب شیمیایی گارنت‌ها و پیروکسن‌ها روی مقاطع نازک صیقلی ۱۲ عنصر با استفاده از ریزپردازنده‌ی الکترونی مدل Cameca SX-100، در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تعیین شد. نتایج آنالیز ریزپردازش گارنت و پیروکسن در (جدول‌های ۲ و ۳) ارائه شده است.

#### شیمی کانی‌ها

##### شیمی گارنت

بررسی‌های ریزپردازشی کانی گارنت در جدول ۲ ارائه شده‌اند. براساس نمودار سه‌تایی (اسپسارتین + آلماندین)، (گروسولار) و (آندرادیت) گارنت‌های مورد بررسی از نوع گروسولار - آندرادیت بودند (شکل ۴- الف). نتایج حاصل از آنالیز ریزپردازشی گارنت‌های منطقه نشان می‌دهند که ترکیب اعضای نهایی گارنت در اسکارن سرویان به صورت Prp 0.04-0.2 Alm 4-6 And 19-34 Grs74-55 Sps 0.6-0.9 است.

که این کانی‌ها طی دو مرحله‌ی دگرگونی در این سنگ‌ها به وجود آمده‌اند: مرحله‌ی اول که به صورت پیشرونده رخ داده و کانی‌های شکل گرفته در این مرحله مانند گارنت، کلینوپیروکسن (شکل ۳- پ)، بدون آب هستند و در مرحله دوم یک دگرگونی پسرونده است که حجم بزرگی از کالک سیلیکات‌های بی‌آب تشکیل شده در مراحل قبلی بوسیله یک- رشته سیلیکات‌های آهکی آبدار (اپیدوت و ترمولیت - اکتینولیت)، سولفیدها (پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و کالکوسیت) و کلسیت جانشین شده‌اند (شکل ۳- الف، ۳- ب و ۳- ت). در طول این مرحله در اثر ورود گرماب‌هایی با دما پایین و فرآیند آبکافت، کربن‌گیری و سولفیدی‌شدن، گارنت به کلریت، آمفیبول، اپیدوت، کلسیت و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. دگرسانی پسرونده به قدری شدید بود که گارنت‌ها به شدت تجزیه شده و کاملاً به اپیدوت و هماتیت تبدیل شده‌اند به طوری که تنها شکل دروغینی از گارنت باقیمانده است. احتمالاً افزایش محلی گریزندگی اکسیژن نقش مهمی در شکل‌گیری این اپیدوت‌ها داشته است [۱]. کلینوپیروکسن نیز به آمفیبول (ترمولیت و اکتینولیت)، کلسیت، کوارتز، اکسیدها و سولفیدها (اینها طی تغییر شرایط شاره و محیط و در مراحل مجزا شکل گرفته‌اند) تبدیل شده است. باتوجه به مشاهدات میکروسکوپی می‌توان گارنت اسکارن، گارنت - پیروکسن اسکارن، آمفیبول اسکارن و گارنت - اپیدوت اسکارن را در این اسکارن مشاهده کرد. اسکارن‌های منطقه در دو بخش درون اسکارن و برون اسکارن نیز قابل توصیف‌اند.

درون اسکارن: در منطقه سرویان این منطقه به صورت نوار نسبتاً باریکی (حدود یک متر) در محل همبری توده‌های نیمه عمیق (میکرودیوریت، میکروکوارتز دیوریت، گرانودیوریت و ریوداسیت) با سنگ‌های کربناتی تشکیل شده و از نظر ژنتیکی با شاره‌های اسکارن ساز در ارتباط است. ضخامت این بخش کم است. سنگ‌های این منطقه بافت آذرین خود را تا حد زیادی حفظ کرده و مقادیر قابل ملاحظه‌ای کانی‌های شاخص اسکارنی از جمله اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، سرسیت، کلسیت، کوارتز و مقادیری جزئی گارنت در آن‌ها تشکیل شده‌اند. در منطقه‌ی مورد بررسی گارنت در بررسی‌های صحرایی و نمونه‌ی دستی به صورت کانی‌های درشت دانه در منطقه‌ی توده‌ی نفوذی اسکارنی شده و درون اسکارن دیده می‌شود. فراوانی این کانی به سمت منطقه‌های برون اسکارنی کاهش می‌یابد.

جدول ۱ نتایج بررسی شاره‌های دو فازی (V=L (بخار)، L= Liquid (مایع)) نمونه‌های کلسیتی و کوارتزی کانسار سرویان.

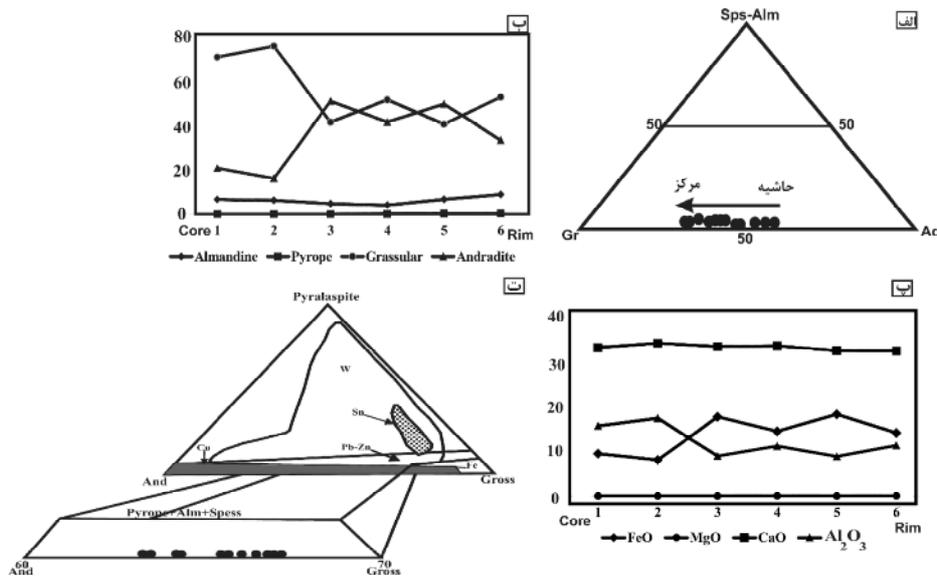
n	IncType	Class	Shape	Size	Tm ice	Th-Total	Eq wt%	Density	Type
۱	V+L	Primary	Faceted	۱۰٫۵	-۵٫۴	۲۱۰٫۳	۸٫۳۷۵	۰٫۹۳۲	کلسیت
۲	V+L	Primary	Rounded	۹٫۸	-۴٫۹	۲۵۰٫۴	۷٫۶۷۷	۰٫۹۲۲	کلسیت
۳	V+L	Primary	Irregular	۸٫۱	-۵٫۲	۱۸٫۳	۸٫۰۹۸	۰٫۹۴۸	کلسیت
۴	V+L	Primary	Elangate	۱۶٫۷	-۵٫۶	۱۵۳٫۳	۸٫۶۴۹	۰٫۹۷۷	کلسیت
۵	V+L	Primary	Irregular	۳۲٫۴	-۵٫۴	۱۵۵	۸٫۳۷۵	۰٫۹۷۴	کلسیت
۶	V+L	Primary	Irregular	۱۷٫۲	-۳٫۸	۱۵۵٫۳	۶٫۰۷۶	۰٫۹۵۶	کلسیت
۷	V+L	Primary	Faceted	۸	-۴٫۳	۱۵۹٫۹	۶٫۸۱۵	۰٫۹۲۸	کلسیت
۸	V+L	Primary	Elangate	۳۴	-۷٫۸	۱۸۳٫۱	۱۱٫۲۲۲	۰٫۹۶۸	کلسیت
۹	V+L	Primary	Irregular	۳۱٫۱	-۳٫۳		۵٫۳۱۹	۰٫۹۱۵	کلسیت
۱۰	V+L	Primary	Irregular	۱۴٫۶	-۵٫۱	۱۸۵٫۵			کلسیت
۱۱	V+L	Primary	Irregular	۹	-۱۷٫۲	۱۹۷٫۲	۲۰٫۳۵۴	۱٫۰۲۷	کلسیت
۱۲	V+L	Primary	Rounded	۱۳٫۴	-۱۳٫۶	۳۶۱٫۴	۱۷٫۴۲۳	۰٫۸۳۳	کلسیت
۱۳	V+L	Primary	Rounded	۱۲	-۱۶٫۶	۱۳۴٫۷	۱۹٫۸۹۷	۱٫۰۷۷	کلسیت
۱۴	V+L	Primary	Spherical	۳۰٫۱	-۹٫۹	۱۷۱	۱۳٫۸۳۹	۱٫۰۱۸	کلسیت
۱۵	V+L	Primary	Spherical	۹	-۱۰٫۷	۱۸۱٫۴	۱۴٫۶۷۳	۱٫۰۲۴	کلسیت
۱۶	V+L	Primary	Irregular	۱۴٫۱	-۱۴	۱۶۱٫۲	۱۷٫۷۷۲	۱٫۰۴۸	کلسیت
۱۷	V+L	Primary	Ovel	۹٫۴	-۱۱٫۲	۱۵٫۴	۱۵٫۱۷۷	۱٫۰۲۸	کلسیت
۱۸	V+L	Primary	Elangate	۱۲٫۸	-۹٫۵	۲۱۲	۱۳٫۴۰۸	۱٫۰۱۵	کلسیت
۱۹	V+L	Primary	Irregular	۱۷٫۴	۹٫۵	۲۰۵٫۴	۱۳٫۴۰۸	۱٫۰۱۵	کلسیت
۲۰	V+L	Primary	Elangate	۸٫۳	-۱۰٫۶	۱۴۵٫۷	۱۴٫۵۷۱	۱٫۰۲۳	کلسیت
۲۱	V+L	Primary	Elangate	۶	-۱۱٫۷	۲۱۶٫۴	۱۵٫۶۶۷	۱٫۰۳۲	کلسیت
۲۲	V+L	Primary	Irregular	۱۱	-۱۱٫۲	۲۰۹٫۳	۱۵٫۱۷۷	۱٫۰۲۸	کلسیت
۲۳	V+L	Primary	Irregular	۱۰٫۴	-۹٫۳	۱۷۷٫۷	۱۳٫۱۸۹	۱٫۰۱۳	کلسیت
۲۴	V+L	Primary	Irregular	۹٫۴	-۱۰	۱۶۰٫۴	۱۳٫۹۴۵	۱٫۰۱۹	کلسیت
۲۵	V+L	Primary	Irregular	۹٫۷	-۸	۲۰۳٫۷	۱۱٫۷۰۲	۱٫۰۰۲	کلسیت
۲۶	V+L	Primary	Elangate	۹	-۷٫۳	۲۰۳٫۷	۱۰٫۸۵۵	۰٫۹۶۶	کلسیت
۲۷	V+L	Primary	Elangate	۹٫۶		۱۵۴٫۱	۱۰٫۸۵۵	۰٫۹۶۶	کلسیت
۲۸	V+L	Primary	Irregular	۱۸٫۳	-۸٫۶	۱۹۴٫۵	۱۲٫۴۰۲	۱٫۰۰۷	کلسیت
۲۹	V+L	Primary	Elangate	۷	-۱٫۲	۱۴۵٫۹	۱٫۹۷۹	۰٫۹۳۵	کوارتز
۳۰	V+L	Primary	Spherical	۹٫۷	-۰٫۲		۰٫۳۳۱	۰٫۹۲۵	کوارتز
۳۱	V+L	Primary	Spherical	۳٫۱	-۰٫۱	۱۳۲٫۶	۱٫۵۶۱	۰٫۹۳۳	کوارتز
۳۲	V+L	Primary	Irregular	۳٫۳	-۱		۰٫۱۶۶	۰٫۹۲۴	کوارتز
۳۳	V+L	Primary	Irregular	۷٫۵	-۰٫۱	۱۲۹٫۸	۰٫۱۶۶	۰٫۹۲۴	کوارتز
۳۴	V+L	Primary	Irregular	۶٫۴	-۲٫۴		۳٫۹۱۶	۰٫۹۴۸	کوارتز
۳۵	V+L	Primary	Elangate	۸٫۱	-۱٫۵	۲۰۶٫۷	۲٫۴۶۹	۰٫۹۳۸	کوارتز
۳۶	V+L	Primary	Spherical	۷٫۱	-۲٫۷	۲۱۱	۴٫۳۸۹	۰٫۹۵۱	کوارتز
۳۷	V+L	Primary	Irregular	۴٫۳	-۳٫۵	۲۱۳٫۶	۵٫۶۲۴	۰٫۹۵۹	کوارتز

جدول ۲ بررسی ریزپردازشی از گارنت موجود در اسکارن سرویان محاسبه فرمول ساختاری گارنت با استفاده از ۱۲ اتم اکسیژن

elements	مرکز					حاشیه	مرکز					حاشیه
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵	
SiO <sub>2</sub>	۳۸,۷۴	۳۹,۷۲	۳۷,۷۸	۳۷,۸۵	۳۷,۴۳	۳۸,۰۲	۳۹,۴۴	۳۹,۲۰	۳۹,۱۰	۳۹,۱۷	۳۸,۵۴	
TiO <sub>2</sub>	۰,۳۳	۰,۴۱	۰,۸	۰,۶۸	۰,۹	۱,۴	۰,۲۳	۰,۱۹	۰,۸۲	۰,۱۸	۰,۲۳	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵,۹۷	۱۷,۶۸	۹,۱	۱۱,۳۹	۸,۹۸	۱۱,۵۴	۱۷,۳۶	۱۷,۱۴	۱۵,۷۸	۱۷,۲۲	۱۳,۱	
FeO	۹,۶۶	۸,۲	۱۸	۱۴,۷۳	۱۷,۵۶	۱۴,۳۶	۸,۹۲	۸,۵۶	۱۰,۱	۸,۵۲	۱۲,۰۸	
MnO	۰,۳۵	۰,۳۷	۰,۱۹	۰,۲۸	۰,۱۶	۰,۲۹	۰,۴۱	۰,۴	۰,۴۶	۰,۴۴	۰,۴۱	
MgO	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	
CaO	۳۳,۷	۳۴,۷۳	۳۳,۹۵	۳۳,۰۸	۳۳,۰۱	۳۲,۶۴	۳۴,۶۲	۳۳,۹۲	۳۴,۰۷	۳۳,۵۲	۳۳,۲۸	
Total	۹۸,۷۹	۱۰۱,۱۵	۹۹,۸۷	۹۹,۰۷	۹۹,۰۸	۹۸,۶۱	۱۰۱,۰۲	۹۹,۴۵	۱۰۰,۳۹	۹۹,۰۹	۹۸,۷۹	
Si	۳,۰۳	۳,۰۲	۳	۳	۳	۳,۰۳	۳	۳,۰۳	۳,۰۲	۳,۰۴	۳,۰۴	
Ti	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۲	
Al	۱,۴۷	۱,۵۸	۰,۸۵	۱,۰۶	۰,۸۵	۱,۰۸	۱,۵۶	۱,۵۶	۱,۴۳	۱,۵۸	۱,۲۲	
Fe <sup>3</sup>	۰,۴۳	۰,۳۳	۱,۰۵	۰,۸۵	۱,۰۴	۱,۶۸	۰,۴۱	۰,۳۵	۰,۴۴	۰,۳۲	۰,۶۶	
Fe <sup>2</sup>	۰,۲	۰,۱۹	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۲	۰,۲۷	۰,۱۶	۰,۲	۰,۲۱	۰,۲۳	۰,۱۳	
Mn	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	
Mg	۰,۰۰۱۲	۰,۰۰۱۲	۰,۰۰۲۴	۰,۰۰۳۵	۰,۰۰۴۸	۰,۰۰۷۱	۰,۰۰۳۴	۰,۰۰۶۹	۰,۰۰۳۴	۰,۰۰۱۲	۰,۰۰۱۴	
Ca	۲,۸۲	۲,۸۳	۲,۸۹	۲,۹	۲,۸۴	۲,۸۱	۲,۸۳	۲,۸۱	۲,۸۲	۲,۷۹	۲,۹	
Total	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	
Garnet component (mol%)												
Almandine	۶,۶۵	۶,۲۹	۴,۸۴	۴,۱۶	۶,۸۵	۹,۱۹	۵,۴۱	۶,۵۷	۷,۱۸	۷,۶۸	۴,۴۱	
Pyrope	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۱۲	۰,۱۶	۰,۲۴	۰,۱۱	۰,۲۳	۰,۱۲	۰,۰۴	۰,۰۵	
Grossular	۷۱,۵۹	۷۶,۷۸	۴۲,۳۶	۵۲,۸	۴۱,۶۱	۵۵,۱۷	۷۴,۲۵	۷۵,۲۵	۷۰,۳۰	۷۵,۹۱	۶۱,۲۷	
Spessartine	۰,۷۷	۰,۷۹	۰,۴۳	۰,۶۳	۰,۳۷	۰,۶۶	۰,۸۸	۰,۸۷	۱	۰,۹۵	۰,۹	
Andradite	۲۰,۹۵	۱۶,۱	۲۵,۲۸	۴۲,۲۹	۵۱,۰۱	۳۴,۷۴	۱۹,۳۵	۱۷,۰۸	۲۱,۴	۱۵,۴۲	۳۳,۳۷	

جدول ۳ آنالیزهای ریزپردازشی پیروکسن موجود در اسکارن سرویان و محاسبه فرمول ساختاری پیروکسن با استفاده از ۶ اتم اکسیژن.

elements	مرکز					حاشیه	مرکز					حاشیه
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵	
SiO <sub>2</sub>	۵۳,۶۰	۵۳,۱۰	۵۳,۷۷	۵۴,۲۷	۵۴,۰۱	۵۳,۴۲	۵۳,۵۵	۵۳,۲۶	۵۳,۱۹	۵۴,۳۱	۵۴,۰۴	۵۳,۹۶
TiO <sub>2</sub>	۰,۰۹	۰,۱۴	۰,۰۴	۰,۲۵	۰,۰۱	۰	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۴۶	۰,۰۳	۰,۰۳
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱,۵۲	۱,۹۴	۱,۳۵	۲,۵۴	۱,۹۷	۱,۲۸	۱,۴۲	۱,۹۲	۱,۲۷	۱,۷	۱,۳۸	۱,۳۱
FeO	۶,۰۸	۶,۵۹	۶,۴۹	۳,۹۵	۹,۵۹	۹,۰۳	۰,۱۳	۵,۱۳	۱۰,۹	۶,۹۵	۹,۰۹	۱۰,۸۸
MnO	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۹	۰,۱	۰,۰۴	۰,۱	۰,۰۴	۰,۰۹	۰,۱
MgO	۱۱,۶۲	۱۱,۴۹	۱۱,۵۷	۱۲,۵۷	۱۰,۱۱	۱۱,۰۳	۱۱	۱۱,۹۵	۱۰,۶۲	۱۱,۵۸	۱۱,۱۶	۹,۸۳
CaO	۲۴,۷	۲۴,۷۶	۲۵,۳۱	۲۵,۹۳	۲۴,۴۴	۲۴,۷۹	۲۴,۳۶	۲۵,۷۲	۲۴,۱۰	۲۵,۴۶	۲۵,۲	۲۵,۲۱
Na <sub>2</sub> O	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۵
K <sub>2</sub> O	۰	۰,۰۲	۰	۰	۰,۰۱	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰	۰
Total	۹۷,۷۶	۹۸,۲۴	۹۸,۶۴	۹۹,۲۲	۱۰۰,۳	۹۹,۶۵	۹۹,۶۶	۱۰۰,۰۶	۱۰۰,۲۵	۱۰۰,۵۵	۱۰۱,۰۴	۱۰۱,۳۷
Si	۱,۹۹	۱,۹۶	۱,۹۹	۱,۹۵	۱,۹۸	۱,۹۸	۱,۹۸	۱,۹۷	۱,۹۷	۱,۹۸	۱,۹۸	۱,۹۸
Ti	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰	۰	۰
Al	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۱۱	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۸
Fe	۰,۱۹	۰,۲	۰,۲	۰,۱۲	۱۸,۰	۰,۲۸	۰,۱۵	۰,۳۴	۰,۲۱	۰,۲۷	۰,۳۳	۰,۲۴
Mg	۰,۶۴	۰,۶۳	۰,۶۴	۰,۶۵	۰,۶۱	۰,۶۱	۰,۶۴	۰,۵۹	۰,۶۲	۰,۶۱	۰,۵۴	۰,۶۱
Ca	۰,۹۸	۰,۹۸	۱	۱	۰,۹۸	۰,۹۶	۰,۹۹	۰,۹۶	۰,۹۹	۰,۹۷	۰,۹۹	۰,۹۷
Na	۰,۰۰۶	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۰۱	۰,۰۰۴	۰,۰۰۳	۰	۰,۰۰۴	۰
Total	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Pyroxene component (mol%)												
Wo	۵۴	۵۴	۵۴	۵۶	۵۳	۵۲	۵۵	۵۱	۵۴	۵۲	۵۳	۵۳
En	۳۵	۳۵	۳۵	۳۷	۳۳	۳۳	۳۶	۳۱	۳۴	۳۳	۳۹	۳۴
Fs	۱۰	۱۱	۱۱	۷	۱۵	۱۵	۹	۱۸	۱۲	۱۵	۱۸	۱۳



شکل ۴ الف) نمودار سه تایی (اسپسارتین + آلماندن)، (گروسولار) و (آندرادیت) [۸]. ب) نمودار منطقه‌بندی اعضای انتهایی بلور گارنت. پ) نمودار منطقه‌بندی عناصر موجود در بلور گارنت. ت) ترکیب گارنت‌های مورد بررسی در نمودار (Andradite-Grossular) برای مقایسه با گارنت‌های اسکارن [۹].

آب‌ها در گرماب‌ها می‌تواند باعث ایجاد تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شاره‌های گرمایی شود. به عقیده‌ی [۱۲]، سیستم دوتایی گروسولار - آندرادیت، به تغییرات ترکیب شاره‌های گرمایی حساس است. تغییرات موجود در شرایط فیزیکی و شیمیایی و بویژه تغییرات نوسانی آن‌ها، موجب تغییرات دوره‌ای در حالت جوشش و اکسایش گرماب‌ها، و در نتیجه ایجاد دوره‌ای آندرادیت - گروسولار می‌شود [۱۳]. با توجه به مقایسه‌ی ترکیب گارنت‌های منطقه سرویان با گارنت‌های اسکارنی (شکل ۴-ت)، همخوانی و شباهت گارنت‌های این منطقه با گارنت اسکارن‌های آهن و مس‌دار، و عدم شباهت آن با انواع اسکارن‌های قلع‌دار مشاهده می‌شود.

#### شیمی پیروکسن

داده‌های وابسته به بررسی ریزپردازشی کانی پیروکسن در (جدول ۳) ارائه شده‌اند. پیروکسن‌ها در رده‌بندی گسترده‌ای به ۴ گروه: ۱- پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe (Quad)، ۲- پیروکسن‌های Ca-Na، ۳- پیروکسن‌های Na، ۴- دیگر پیروکسن‌ها (Other) رده‌بندی می‌شوند [۱۴]. در مورد نمونه پیروکسن‌های مورد نظر پس از آنکه در نمودار، Q-J در بخش Quad قرار گرفتند (شکل ۵-الف)، برای جدایش پیروکسن‌های گروه Ca-Mg-Fe از نمودار مثلثی Wo-En-Fs [۱۵] استفاده شد. چنانکه در نمودار Wo-En-Fs ملاحظه می‌شود، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های بررسی شده از نوع

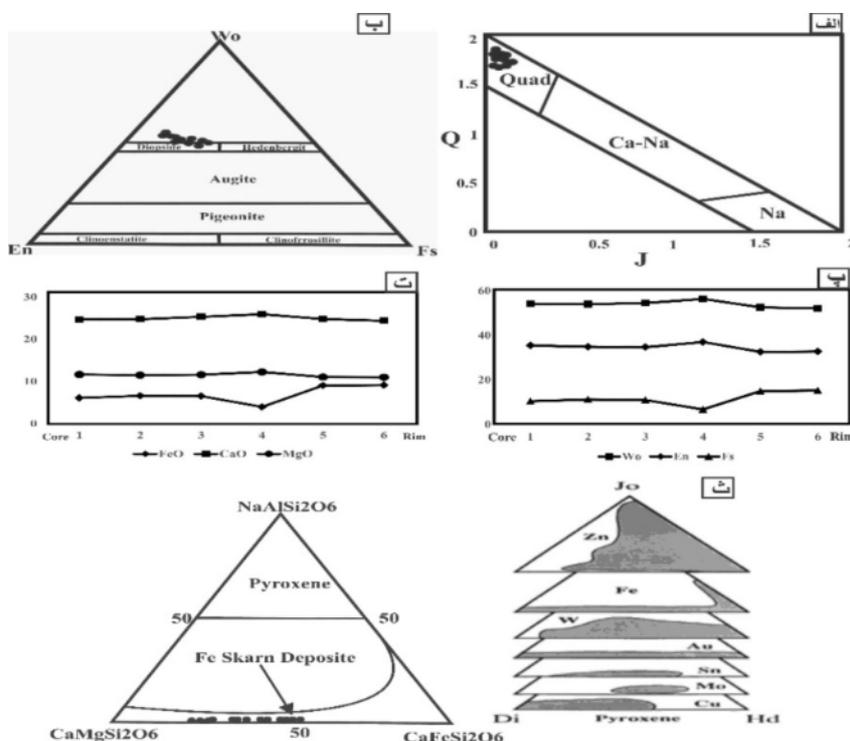
تغییرات درصد اعضای نهایی گارنت موجود در هر نمونه از مرکز به حاشیه نشان دهنده‌ی کاهش کسر مولی گروسولار، افزایش کسر مولی آندرادیت، افزایش کسر مولی آلماندن و تغییرات کم کسرهای مولی پیروپ و اسپسارتین است (شکل ۴-ب). این تغییرات اعضای نهایی گارنت بیانگر منطقه‌بندی و تغییر در مقدار اکسیدهای عناصر (MgO, FeO, CaO, MnO) از مرکز به حاشیه در بلورهای گارنت است (شکل ۴-پ). این گارنت‌ها علاوه بر منطقه‌بندی شیمیایی، دارای منطقه‌بندی فیزیکی مشخصی نیز هست که در این حالت بلورهای گارنت زیر میکروسکوپ دارای نواربندی‌های با رنگ‌های روشن و تیره‌تر مشخصی است (شکل ۳-ت) و این تغییر رنگ و نواربندی در تصاویر BSE (تصاویر حاصل از ریزپردازنده) نیز قابل مشاهده است (شکل ۳-ج). این منطقه‌بندی فیزیکی خود می‌تواند در اثر منطقه‌بندی شیمیایی و تغییرات مقدار عناصر از مرکز به حاشیه بلور باشد. به عقیده‌ی [۱۰] دو نوع منطقه‌بندی در گارنت شناخته شده‌اند. منطقه‌بندی رشدی که حین تبلور و رشد بلور ایجاد می‌شود منطقه‌بندی نشتی (حاصل شاره‌های ثانویه و تأخیری) که پس از تبلور گارنت به وجود می‌آید باعث بهم ریختگی منطقه‌بندی هنگام تبلور، می‌شود. نتایج آنالیز گارنت‌های منطقه نشان‌دهنده‌ی وابستگی بیشتر آنها به گارنت‌های نوع دوم است. [۱۱] معتقد است که جریان‌های همرفتی در اثر آب‌های جوی در مجاورت توده‌ی نفوذی، و مشارکت این

شوند (شکل ۶- الف). برای رده‌بندی شاره‌های درگیر برپایه‌ی نسبت‌های فازی جامد، مایع و گاز رده‌بندی شده‌اند که اغلب پژوهشگران از روش [۱۶] پیروی می‌کنند. در نمونه‌های بررسی شده، ۶ نوع شار درگیر قابل شناسایی هستند که عبارتند از: الف) دو فازی مایع- گاز (Liquid rich) L+V: این شاره‌های نفوذی، فراوانی بالایی دارند که بیشتر آنها اولیه هستند و به دو صورت اولیه و ثانویه نیز دیده می‌شوند. ۸۰٪ از حجم نفوذی‌ها را مایع تشکیل داده، و فاز بخار به صورت هاله‌ای سیاه رنگ‌اند که می‌تواند نشانگر حضور CO<sub>2</sub> باشد (شکل ۶- ب). ب) دو فازی گاز- مایع V+L (شکل ۶- پ). پ) تک فاز مایع (Liquid)L (شکل ۶- ت). ث) تک فاز گاز V (بخار) (شکل ۶- ج). ج) چند فازی گاز- مایع - جامد (V+L+S) (شکل ۶- ج). ح) چند فازی گاز - مایع - جامد (V+L+S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>) فراوان، این گروه از نفوذی‌ها را تشکیل می‌دهند و دارای دو بخش جامد شامل کانی مکعبی‌هالیت و کانی دیگر احتمالاً مگنتیت است (شکل ۶- ح). بیشترین فراوانی شاره‌های درگیر از آن درونگیرهای نوع دو فازی آبگون + حباب گاز (LV) بوده که حباب گاز حجمی معادل ۲۵ الی ۳۰ درصد را تشکیل می‌دهد.

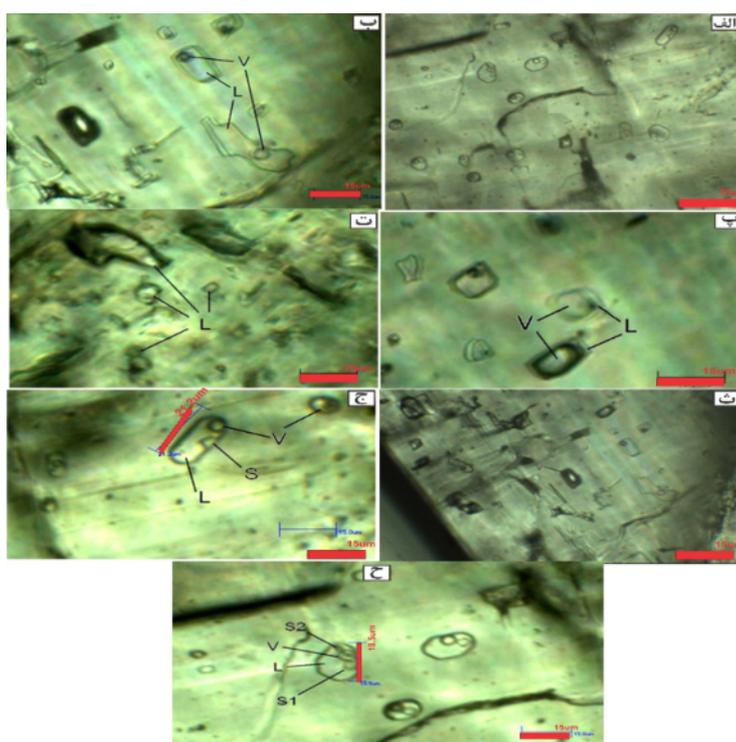
دیوپسید-هدنبرژیت و غنی از کلسیم است (شکل ۵- ب). ترکیب پیروکسن‌ها در کل، در حدود Wo<sub>51</sub>-Fs<sub>9-20</sub> En<sub>31-36</sub> قرار می‌گیرد. داده‌های آنالیز ریزپردازشی کانی پیروکسن نشان می‌دهد که از مرکز به حاشیه مقدار درصد مولی فروسالیته افزایش، ولاستونیت کاهش و انستاتیت می‌یابند (شکل ۵- پ) و این خود گویای تغییر در مقدار اکسید عناصر سازنده‌ی آن‌ها (MgO, FeO, CaO) از مرکز به حاشیه پیروکسن است (شکل ۵- ت). مقایسه‌ی ترکیب پیروکسن‌های منطقه سرویان با پیروکسن‌های اسکارنی نشان‌دهنده‌ی همخوانی و شباهت پیروکسن‌های این منطقه با پیروکسن‌های اسکارنی آهن‌دار است (شکل ۵- ث).

### بررسی شاره‌های درگیر

اندازه شاره‌های مورد بررسی بلورهای کلسیت و کوارتز متفاوت بوده، و از ۵ میکرون تا ۳۴ میکرون تغییر می‌کند (بزرگترین میان بار مشاهده شده در کانی کلسیت). شاره‌های درگیر اولیه بزرگتر و شاره‌های درگیر ثانویه کاذب و ثانویه بیشتر کوچک‌اند. بیشتر شاره‌های درگیر موجود در نمونه‌ها بیشتر به شکل: بیضوی، گرد، بی‌شکل، کشیده، میله‌ای و چند ضلعی دیده می‌-



شکل ۵ الف) بررسی ترکیب پیروکسن‌ها در نمودار Q-J [۱۴]. ب) نمایش ترکیب پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار Wo-En-Fs [۹]. پ) نمودار منطقه‌بندی اعضای انتهایی بلور پیروکسن. ت) نمودار منطقه‌بندی عناصر موجود در بلور پیروکسن. ث) ترکیب پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار (Di-Hd-Jo) برای مقایسه با پیروکسن‌های اسکارنی [۹].



شکل ۶ الف) بیشتر شکل‌های شاره‌های درگیر موجود در نمونه‌های کانسار سرویان. ب) تصویری از درونگیرهای نوع آبگون- گاز (L+V) و غنی از آبگون اولیه. پ) تصویری از درونگیرهای نوع گاز-مایع (V+L) غنی از گاز. ت) تصویری از درونگیرهای نوع آبگون (L). ث) تصویری از درونگیرهای نوع گاز (V). ج) تصویری از درونگیرهای نوع گاز-مایع-جامد (V+L+S). ح) تصویری از درونگیرهای نوع گاز-آبگون-جامد-جامد (V+L+S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>). در تمامی شکل‌ها؛ V = Vapor، L = Liquid، S = Solid (جامد).

نشان می‌دهد فشار بین ۵۰ تا ۲۰۰ بار برآورد شده است (شکل ۷-الف)، دمای تشکیل این کانسار با توجه به نمودار تعیین دمای تشکیل کانسار با استفاده از دمای یکنواخت و عمق [۱۹] تقریباً ۳۸۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد است (شکل ۷-ب). روندهای فیزیکی اصلی در جهت نهشت کانسار سرویان جوشش و اختلاط شاره‌های ماگمایی با شاره‌های جوی است. جوشش و اختلاط شاره‌ها، دو عامل مهمی هستند که معمولاً شرایط لازم برای ته‌نشست کانسارها را فراهم می‌آورند و باعث ابر اشباع شدن سریع شاره‌ی ماگمایی در گستره‌ی سنگ‌ها و ته‌نشست کانسارها می‌شوند [۲۰]. آنچه گفته شد بیانگر اختلاط بیشتر شاره‌های مورد بررسی با آب‌های جوی و رقیق شدن آن‌هاست که در واقع این گروه از شاره‌ها در اسکارن سرویان در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پسرونده به دام افتاده‌اند. وجود میانبرهای غنی از شاره؛ خاستگاه گرمایی را تأیید می‌کند. وجود شاره‌های درگیر با شوری و دمای بالاتر، نشانگر غالب بودن آب‌های ماگمایی است [۲۱] که در اسکارن سرویان، این گروه از شاره‌ها در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پیشرونده با دمای

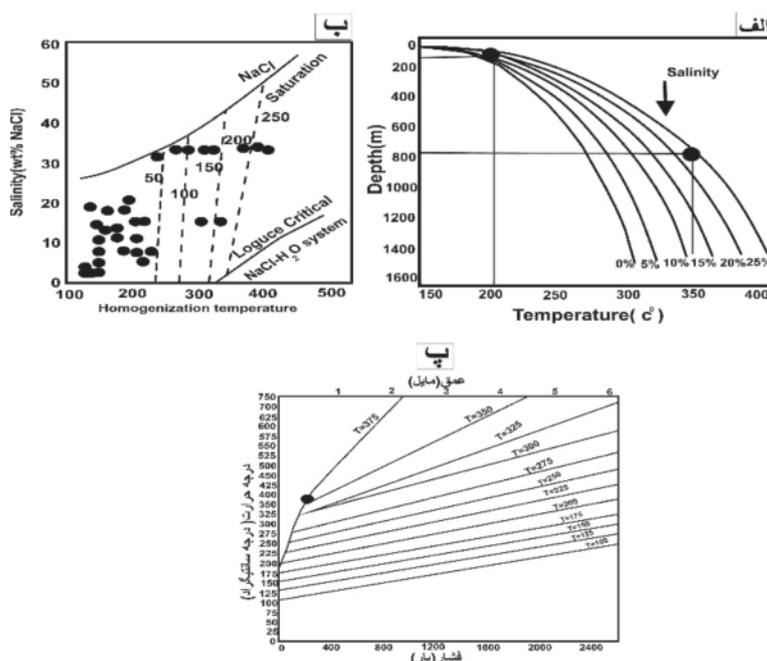
عمق به دام افتادن شاره‌های درگیر کانسار سرویان برای آن دسته از شاره‌ها که در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پسرونده به دام افتاده‌اند بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر و در نزدیکی سطح زمین بوده‌اند و برای شاره‌هایی که در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پیشرونده به دام افتاده‌اند، عمق به دام افتادن بین ۸۰۰ تا ۸۵۰ متری را نشان می‌دهد که بیان کننده خاستگاه گرفتن آن‌ها از آب‌های ماگمایی است (شکل ۷-الف). در این بررسی برای تعیین فشار از نمودار تعیین فشار براساس دمای همگن شدن و شوری [۱۷] استفاده شد، که فشار حاکم طی تشکیل بیشتر شاره‌ها دو فاز کمیتر از ۵۰ بار است (شکل ۷-ب). در واقع این دسته از شاره‌های وابسته به مرحله‌ی پسرونده‌ی اسکارن‌زایی هستند و تعدادی از شاره‌های سه فاز فشاری بین ۵۰ تا ۲۰۰ بار را نشان می‌دهند که در مرحله‌ی پیشرونده اسکارن‌زایی در کانسار سرویان به دام افتاده‌اند. با توجه به داده‌های (جدول ۱) دمای یکنواخت این کانسار را می‌توان تقریباً ۳۸۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفت و با توجه به نمودار شوری به دمای همگن شدن [۱۸] که عمق به دام افتادن شاره‌های درگیر کانسار سرویان را

کلینوپیروکسن و روش‌های که پژوهشگرانی مانند [۲۳، ۲۲] استفاده از آن‌ها را در اسکارن بررسی کرده‌اند، استفاده می‌کنیم. دماسنج زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن بر اساس تبادلات Fe-Mg بین این دو کانی استوار است. تبادل Fe-Mg در این روش به عنوان KD معرفی می‌شود و تابع دما و فشار و ترکیب کانی است. معادله‌ی تغییرات KD بین گارنت و کلینوپیروکسن به صورت  $(Fe/Mg)_{grt}/(Fe/Mg)_{cpx}$  بیان می‌شود. تعیین دما و فشار با استفاده از این زوج کانی توسط پژوهشگران زیادی مانند [۲۵-۳۰] مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد استفاده از این روش در اسکارن به دلیل بالا بودن محتوای کلسیم آن‌ها باید دقت شود. در این مقاله ما از روش‌های تعیین دمای زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن [۲۶ - ۲۸، ۳۰] که محققانی همچون [۲۳، ۲۲] برای تعیین دما و فشار اسکارن‌ها بررسی کرده‌اند، استفاده کرده‌ایم. تشکیل اسکارن یک فرایند از نوع دگرگونی مجاورتی است و فشار تشکیل آن کمتر از ۴ کیلو بار در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس دماهای به دست آمده در فشار کمتر از ۴ کیلو بار برای اسکارن سرویان و بنا بر روش‌های [۲۶ - ۳۰] برای دماسنج گارنت - کلینوپیروکسن انجام گرفت که میانگین آن بین ۳۷۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد به دست آمده است (جدول‌های ۴ - ۷).

بالا به دام افتاده‌اند. از طرفی مهم‌ترین نشانه جوشش یعنی وجود میانبارهای غنی از فاز بخار همزیست با میانبارهای غنی از آبگون که در دمای یکسان به حالت بخار همگن می‌شوند [۲۱] در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده شده‌اند و بنابراین با توجه به وجود میانبارهای تک فاز گازی می‌توان به این نتیجه رسید که پدیده جوشش در شارهی سازنده‌ی کانسار سرویان رخ داده است. به‌طور کلی از عوامل موثر در ته‌نشینی این کانسار می‌توان به اختلاط شاره‌های کانسار ساز با یکدیگر، کاهش دما و فشار در اثر جوشش، کاهش سرعت محلول کانسار ساز، افزایش نفوذپذیری، تغییرات شیمیایی و به‌وجود آمدن شکستگی و گسل در سنگ‌های میزبان ماده‌ی معدنی اشاره کرد.

#### دماسنجی گارنت - پیروکسن

در بررسی دما و فشار اسکارن، از روش‌هایی متعددی مانند استفاده از مجموعه‌های کانی‌شناسی و استفاده از چند تصویر برداریهایی مانند AFC موجود در بررسی‌های سیستم‌های دگرگون [۲۳، ۲۲]، استفاده از کانی‌شناسی و محاسبات روابط فازی آنها با نرم افزار ترموکالک [۲۴] و نیز از شیمی زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن [۲۳، ۲۲] استفاده شد. با توجه به تمرکز ما در بحث شیمی کانی، برای بررسی‌های دما و فشار اسکارن سرویان از مجموعه کانی‌شناسی و زوج کانی گارنت -



شکل ۷ الف) نمودار عمق به دام افتادن شاره‌های درگیر کانسار سرویان را نشان می‌دهد [۱۸]. ب) نمودار تعیین فشار براساس دمای همگن شدن و شوری، خط چین‌ها بیانگر فشار (بار) [۱۷]. ج) تعیین دمای تشکیل کانسار در دمای یکنواخت و عمق [۱۹].

**جدول ۴** داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۲۷].

P(Kb)	°C										
۱	۳۵۷,۴۰	۳۷۴,۷۳	۴۶۵,۲۳	۴۲۵,۵۱	۴۱۷,۷۱	۴۲۷,۴۹	۳۵۸,۶۴	۴۵۰,۳۵	۳۹۲,۰۰	۳۸۸,۵۶	۴۵۳,۹۰
۲	۳۵۸,۵۵	۳۷۵,۹۰	۴۶۶,۵۶	۴۲۶,۷۷	۴۱۸,۹۷	۴۲۸,۷۸	۳۵۹,۷۸	۴۵۱,۶۷	۳۹۳,۲۲	۳۸۹,۷۷	۴۵۶,۳۰
۳	۳۵۹,۷۰	۳۷۷,۰۸	۴۶۷,۹۰	۴۲۸,۰۲	۴۲۰,۳۳	۴۳۰,۰۷	۳۶۰,۹۳	۴۵۲,۹۸	۳۹۴,۴۳	۳۹۰,۹۸	۴۵۷,۶۰

**جدول ۵** داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۲۸].

P(Kb)	°C										
۱	۳۹۱,۱۴	۴۰۹,۵۳	۵۰۵,۴۸	۴۶۳,۳۸	۴۵۴,۵۱	۴۶۴,۱۶	۳۹۲,۳۸	۴۸۸,۷۶	۴۲۷,۴۱	۴۲۳,۹۴	۴۱۶,۳۰
۲	۳۹۲,۳۰	۴۱۰,۷۲	۵۰۶,۸۳	۴۶۴,۶۵	۴۵۵,۷۸	۴۶۵,۴۷	۳۹۳,۵۴	۴۹۰,۰۹	۴۲۸,۶۴	۴۲۵,۱۶	۴۱۸,۶۰
۳	۳۹۳,۴۶	۴۱۱,۹۱	۵۰۸,۱۷	۴۶۵,۹۲	۴۵۷,۰۶	۴۶۶,۷۷	۳۹۴,۶۹	۴۹۱,۴۲	۴۲۹,۸۶	۴۲۶,۳۸	۴۱۹,۴۰

**جدول ۶** داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۳۰].

P(Kb)	°C										
۱	۴۶۷,۰۷	۴۹۲,۸۰	۴۴۹,۴۱	۴۳۳,۲۲	۴۴۹,۴۰	۵۰۳,۵۹	۴۶۰,۳۰	۵۴۷,۳۴	۴۹۴,۴۱	۵۱۵,۸۱	۵۷۳,۶۴
۲	۴۶۸,۴۲	۴۹۴,۱۹	۴۵۰,۷۱	۴۳۴,۵۰	۴۵۰,۷۲	۵۰۵,۰۳	۴۶۱,۶۳	۵۴۸,۸۴	۴۹۵,۸۲	۵۱۷,۲۵	۵۷۵,۱۷
۳	۴۶۹,۷۷	۴۹۵,۵۹	۴۵۲,۰۲	۴۳۵,۷۷	۴۵۲,۰۴	۵۰۶,۴۶	۴۶۲,۹۶	۵۵۰,۳۴	۴۹۷,۲۳	۵۱۸,۷۰	۵۷۷,۷۰

**جدول ۷** داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۲۶].

P(Kb)	°C										
۱	۳۷۸,۵۱	۳۹۵,۷۳	۴۸۳,۵۰	۴۴۱,۸۹	۴۲۹,۶۴	۴۵۶,۴۱	۳۷۷,۶۷	۴۷۵,۹۱	۴۱۶,۵۴	۴۱۴,۲۸	۴۸۹,۹۰
۲	۴۰۶,۳۷	۴۲۴,۳۱	۵۱۵,۸۳	۴۷۲,۳۸	۴۷۰,۲۰	۴۷۸,۷۷	۴۰۵,۴۱	۵۰۷,۹۲	۴۴۶,۰۱	۴۴۳,۶۹	۴۳۰,۹۰
۳	۴۳۴,۲۳	۴۵۲,۸۸	۵۴۸,۱۷	۵۰۲,۸۷	۵۰۰,۷۷	۵۱۹,۱۴	۴۳۳,۱۶	۵۳۹,۹۳	۴۷۵,۴۹	۴۷۳,۱۰	۴۷۱,۹۰

### بحث و برداشت

بررسی توده‌ی گرانیته‌ی منطقه سرویان نشان داد که این توده دارای ترکیب سنگ‌شناسی گرانودیوریت تا دیوریت است [۵]. نفوذ توده‌ی گرانیته‌ی و دگرگونی مجاورتی، بستر مناسبی برای نهشت مجموعه کانی‌های سیلیکاتی کلسیمی بدون آب از جمله گارنت (گروسولار - آندرادیت) و پیروکسن (هدنبرژیت - دیوپسید) در زون اسکارنی فراهم کرده است. با ادامه‌ی تبلور ماگما، افزایش فشار حاصل از آنگون‌های ماگمایی آزاد شده، باعث شکستگی‌هایی در درون سنگ‌های کربناتی مجاور می‌شود که می‌تواند معابری برای حرکت سریع‌تر شاره‌ها و زمینه‌ای برای اختلاط آن‌ها با آب‌های جوی فراهم کند. در مراحل دگرنهادی شاره‌های حاوی Fe, Si و Mg در حالت نسبتاً اکسندۀ باعث واکنش‌های کربن‌زدایی و گسترش سیلیکات‌های کلسیمی غنی از آهن بدون آب می‌شوند [۳۱] و آندرادیت که یکی از سیلیکات‌های کلسیمی بدون آب اصلی در بیشتر ذخایر اسکارن آهن است، در این راستا تشکیل می‌شود. پیروکسن نیز

همراه با گارنت در منطقه‌های اسکارنی به‌عنوان یک کانی سیلیکات کلسیم بدون آب در مرحله‌ی پیش‌رونده اسکارن‌زایی تشکیل شده است. روابط وابسته به تشکیل دوگانه و عدم مشاهده‌ی بافت‌های جان‌شینی، حاکی از رشد همزمان پیروکسن و گارنت در این منطقه است. بنابراین [۳۱] ولاستونیت هیچگاه در دمای کمتر از ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد تشکیل نمی‌شود و متناسب با فشار موجود، دمای تشکیل تغییر می‌یابد. برای تشکیل ولاستونیت فشارهایی حدود ۵۰۰، ۶۷۰ و ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ بار در دماهایی معادل ۶۰۰، ۶۵۰، ۶۷۰ و ۷۰۰ درجه‌ی سانتیگراد لازم است [۳۲]. نبود ولاستونیت در اسکارن‌های این منطقه دلیلی بر تشکیل آن در دمای کمتر از ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد است. کانسارهای اسکارنی در دامنه‌ی گرمایی گسترده‌ای به وجود می‌آیند. به طور کلی بالاترین و پایین‌ترین دمای تشکیل اسکارن‌ها به ترتیب ۹۰۰ و ۵۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد مورد قبول واقع شده است [۳۳]. باید گفت که در منطقه‌ی مورد نظر مرحله‌ی دگرنهادی پیش‌رونده اسکارن سرویان پس از جایگیری

و انجماد بخش چشمگیری از توده‌ی نفوذی و تکامل گرمابها و نفوذ آن به داخل سنگ‌های درونگیر آغاز شده است، کانی‌های دگرنهاد با دمای بالا و بدون آب اسکارنی درشت دانه مانند گارنت و پیروکسن بوجود آمده‌اند. طبق [۳۴] دمای تشکیل گارنت و پیروکسن احتمالاً در گستره‌ی ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. گارنت‌ها در اثر ترکیب کلسیم سنگ-های کربناتی با سیلیس و آهن تشکیل می‌شوند آلومینیوم نیز از طریق گرمابها به سنگ آهک اضافه شده است [۳۵]. در اسکارن سرویان به خاطر وجود FeO و مقدار نسبتاً پایین سیلیس، کانی‌های آندرادیت، هدنبرژیت و مگنتیت تشکیل شده‌اند. با توجه به عدم وجود شواهدی دال بر تبدیل آندرادیت به ولاستونیت - هدنبرژیت و یا ولاستونیت - مگنتیت می‌توان چنین نتیجه گرفت که دمای مرحله‌ی اصلی تشکیل منطقه، گارنت کمتر از 550 درجه‌ی سانتیگراد بوده است که این دما را با استفاده از دماسنج گارنت - کلینوپیروکسن بین دمای ۳۷۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد بدست آورده‌ایم و با توجه به حضور کانی‌های پیروکسن، گارنت، آمفیبول و کلسیت که در دگرگونی مجاورتی سنگهای کلسیک نشان‌دهنده رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس است در این مرحله می‌توان گفت دما تا رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس پیشرفت کرده است. آغاز دگرسانی پسرونده را می‌توان با مجموعه‌ی گارنت - اپیدوت به دمایی پایین‌تر از ۴۵۰ درجه‌ی سانتیگراد نسبت داد [۳۶]. در واقع در این مرحله با کاهش تدریجی دمای سیستم گرمایی - ماگمایی و احتمالاً مخلوط شدن آن با آب‌های زیرزمینی (با خاستگاه جوی) سبب دگرسانی پسرونده مجموعه کانی‌های سیلیکات کلسیم بدون آب در دماهای کمتر از ۴۷۰ درجه‌ی سانتیگراد شده است. مگنتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه تشکیل دهنده اسکارن سرویان است که در این مرحله از اسکارن‌زایی تشکیل شده است دمایی که به روش ریزدماسنجی به‌دست آمده در حدود ۳۸۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد است و در واقع دمای نهشت کانه در همین مرحله است، و نزدیک به گستره دمایی اسکارن‌های کلسیکی است این کانه بیشتر محصول دگرسانی گارنت است. نفوذ توده گرانیته و دگرگونی مجاورتی، بستر مناسبی برای نهشت مجموعه کانی‌های سیلیکاتی کلسیمی بدون آب از جمله گارنت (گروسولار - آندرادیت) و پیروکسن (دیوپسید - هدنبرژیت) در زون اسکارنی فراهم کرده است. گارنت‌های منطقه سرویان مانند دیگر گارنت‌های اسکارن‌های آهن غنی از

گروسولار و آندرادیت بوده و پدیده‌ی منطقه بندی که متأثر از تغییرات فیزیکی و شیمیایی محیط از جمله تغییرات ناشی از اسکارن‌زایی نوع پیشرونده و پسرونده است، به صورت منطقه-بندی شیمیایی در آن‌ها مشاهده می‌شود. این گارنت‌ها علاوه بر منطقه بندی شیمیایی، دارای منطقه‌بندی فیزیکی مشخصی نیز هست که در این حالت بلورهای گارنت در میکروسکوپ دارای نواربندی‌های با رنگ‌های روشن و تیره‌تر مشخصی هستند. این منطقه‌بندی فیزیکی خود می‌تواند در اثر منطقه-بندی شیمیایی و تغییرات مقدار عناصر از مرکز به حاشیه بلور باشد. هسته‌ی گارنت‌هایی که دارای منطقه‌بندی هستند، غنی از گروسولار و بخش‌های حاشیه‌ای غنی از آندرادیت هستند. پیروکسن‌های منطقه از نوع دیوپسید - هدنبرژیت‌اند که همخوان با پیروکسن‌های اسکارن‌های کلسیکی آهن هستند. براساس شواهد موجود و بررسی‌های انجام شده، دمای اسکارن سرویان در مرحله پیشرونده که کانی‌های بی‌آب مانند پیروکسن و گارنت تشکیل می‌شوند، در گستره‌ی گرمایی آلبیت - اپیدوت هورنفلس و هورنبلند هورنفلس است. و بر اساس دماسنج زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن برای این مرحله دمایی بین ۳۷۰-۵۵۰ درجه سانتیگراد را پیشنهاد می‌کنیم. اما در مرحله پسرونده اسکارن و با استفاده از بررسی‌هایی که روی شاره‌های درگیر رگه‌های حاوی کانه انجام گرفت، دمای این مرحله بین ۴۰۰ تا ۳۸۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد که در این مرحله کانه‌زایی آهن صورت گرفته است. در واقع این دما، حداقل دما را در مرحله پسرونده آغازین را نشان می‌دهد.

#### مراجع

- [1] Einaudi M.T., Meinert L. D., Newberry R. J., "Skarn deposit", Economic Geology, 75th Anniv (1981) 317-391.
- [2] Pirajno F., "Hydrothermal Mineral Deposits", Springer-Verlag(1992) 709.
- [3] Lindsley D. H., "Pyroxene thermometry", American Mineralogist 68 (1983) 477-493.
- [۴] قلمقاش ج.، باباخانی ع.ر.، " نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، سازه‌های زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. (۱۳۷۹)
- [۵] بارانی ن.، زمانیان ح.، زارعی ر.، پازوکی ا.، "زمین‌شناسی اقتصادی کانسار آهن سرویان، دلیجان (استان مرکزی)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه لرستان (۱۳۹۲).

- system at hydrostatic pressure", *Economic Geology* 54 (1971) 940-946.
- [19] Kendy G.C., "Pneumatolysis and the liquid inclusion method of geologic thermometry", *Economic Geology* 45 (1950) 533-547.
- [20] Wilkinson J.J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos* 25 (2001) 229-279.
- [21] Davidson GJ, Davis BK., "Some controls on oxidation state variation of oxide Cu-Au systems", *Mineralogical Society of America* 33 (2007) 358-372.
- [۲۲] ترابی ق، نوربهشت ا، شیردشت‌زاده ن، پیرنیات، زمین دماسنجی اسکارن موجود در افیولیت ملانژ نایین (استان اصفهان)، مجله بلور و کانی شناسی ایران شماره ۲ (۱۳۸۶) صفحه ۳۷۵-۳۸۳.
- [۲۳] شیخی ف، اعلمی نیا ز، طبخ شعبانی ا، ع، زمین دماسنجی اسکارن سرانجیرک (جنوب غرب قروه استان کردستان)، مجله بلور و کانی شناسی ایران (۱۳۹۱) شماره ۲۰ صفحه ۳۴۳-۳۵۴.
- [۲۴] ساکی ع، پورکاسب ه، مطالعه شرایط فیزیکی و شیمیایی تشکیل اسکارن ها در همبری باتولیت الوند با سنگ های آهکی دگرگون شده، همدان، غرب ایران، مجله زمین شناسی اقتصادی (۱۳۹۱) شماره ۱، صفحه ۱۲۳ تا ۱۳۴.
- [25] Krogh E. J., "The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer-a reinterpretation of existing experimental data", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 99 (1988) 44-48.
- [26] Krogh E. J., "The garnet-clinopyroxene Fe+2-Mg geothermometer & an updated calibration", *Journal of Metamorphic Geology* 18 (2000) 211-219.
- [27] Ellis D. J., Green D. H., "An experimental study of the effect of Ca upon the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 71 (1979) 13-22.
- [28] Powell R., "Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet clinopyroxene geothermometer revisited", *Journal of Metamorphic Geology* 2 (1985) 33-42.
- [29] Raheim A., Green D. H., "Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe-Mg partition coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene", [۶] سجادی ف، مطالعه پترولوژی، فسیل شناسی و چینه شناسی محدوده بین نطنز و اردستان (ایران مرکزی)، پایان نامه فوق لیسانس دانشگاه تهران (۱۳۷۱).
- [7] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95 (2010) 185-187.
- [8] Meinert L. D., "Skarns and skarn deposits", *Geoscience Canada* 19 (1992) 145-162.
- [9] Meinert L.D., "Skarn zonation and fluid evaluation in the Groundhog Mine, Central Mining District, New Mexico", *Economic Geology* 82 (1989) 523-545.
- [۱۰] مسعودی ف، مهرابی ب، فرازدل ف، نوع ساختمان منطقه ای گارنت در اسکارن های توده نفوذی قهرود، جنوب کاشان، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، سال سیزدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۸۴، ص ۶۰-۴۳.
- [11] Yang P., Pattison D., "Genesis of monazite and Y zoning in garnet from Black Hills, South Dakota", *Journal of Lithos* 88 (2009) 233-253.
- [12] Jamtviet B., "Oscillatory Zonation Patterns in hydrothermal grossular-andradite garnet, Nonlinear behavior in regions of immiscibility", *American Mineralogist* 76 (1991) 319- 1327.
- [13] Amthauer G, Rossman G. R., "The hydrous component in andradite garnet", *American Mineralogist* 83 (1998) 835- 840.
- [14] Morimoto N., Kitamura M., "Q-J diagram for classification of pyroxenes", *Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists (in Japanese)* 78 (1983) 141.
- [15] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock forming minerals: Second edition", Longman Scientific and Technical (1992). 696.
- [16] Nash J.T., Theodor A., "Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration; United States Geological Survey professional 107(1971) 907-923.
- [17] Roedder E., "Fluid inclusions", *Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America* 12 (1984) 644.
- [18] Hass J.I., "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal

- [33] Sokolov G.A., Grigor'ev V.M., "Deposits of iron, in Smirnov, V.I., ed., *Ore deposits of the U.S.S.R*", London, Pittman1 (1977) 7-113.
- [34] Rose A. W., Burt D. M., "Hydrothermal alteration In H. L. Barnes, Ed.", *Geochemistry of Hydrothermal ore Deposits*, John wiley and sons 17 (1979) 173-235.
- [35] Einaudi and Burt., "introduction, Terminology- classification and composition of skarn deposit", *Economic Geology* 77 (1982) 445-455.
- [36] Zharikov V.A., "Skarns: Part I., II and III, Int'l", *Geology Review* 12 (1970) 760 -775.
- Contributions to Mineralogy and Petrology 48 (1974) 179-203.
- [30] Nakamura D., Hirajima T., "Exprimental evaluation of garnetclinopyroxene geothermometry as applied to eclogites", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150 (2005) 581-588.
- [31] Li Li H, Kuang X, Mao A, Li Y, Wang S., "Study of local structures and optical spectra for octahedral Fe<sup>3+</sup> + centers in a series of garnet crystals A<sub>3</sub>B-2C<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (A = Cd, Ca; B = Al, Ga, Sc, In; C = Ge, Si)", *Journal of Chemical Physics Letters* 484 (2010) 387-391.
- [32] Winkler H., "Petrogenesis of Metamorphic Rocks", New York: Springer (1976).