

## دما- فشارسنجی و شیمی کانی‌های گارنت و پیروکسن کانسار اسکارن عشوند نهاوند، غرب ایران

مهرداد موحدی\*، محمد یزدی، مهرداد بهزادی

گروه زمین‌شناسی منابع معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۲۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۴/۲)

**چکیده:** کانسار اسکارنی عشوند نهاوند در ۱۰ کیلومتری شرق شهر نهاوند و در پهنه ساختاری سنندج- سیرجان واقع است. گارنت با ترکیب گراسولار-آندرادیت فراوانترین کانی پهنه اسکارنی است که ترکیب آنها در گستره  $Gro(31.8\% - 45.9\%)$   $Adr(2.5\% - 0.6\%)$   $Prp(1.8\% - 0.3\%)$   $Sps(50.1\%)$  قرار دارد. داده‌های بلورشیمی نشان دهنده کاهش مقدار آندرادیت و افزایش کانی‌های گروه پیرالسپیت از مرکز به سمت لبه بلورهای گارنت است. افزون بر این، افزایش جانشینی  $Al$  با  $Fe^{+3}$  از مرکز به سمت لبه بلورهای گارنت نشانگر افزایش مقدار گریزندگی اکسیژن طی رشد بلورهای گارنت است. پیروکسن دومین کانی فراوان پهنه اسکارنی است و ترکیب همگن تری نسبت به گارنت از خود نشان می‌دهد. ترکیب عمده پیروکسن‌های این کانسار را گستره هدنبرژیت تا دیوپسید با ترکیب  $Wo(42.8\% - 49.3\%)$   $En(9.5\% - 26.6\%)$   $Fs(30.6\% - 41.2\%)$  تشکیل می‌دهند که دارای نرخ متوسطی از نسبت  $Fe/(Fe+Mg)$  در گستره ۰/۵۳ تا ۰/۸۱ هستند. بررسی‌های دما- فشارسنجی نشانگر تشکیل بخش پیشرونده اسکارن در فشار ۱ تا ۲ کیلوبار و دمای بیشینه حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد،  $XCO_2$  کمتر از ۰/۲، عمق تشکیل حدود ۵ کیلومتری و گریزندگی اکسیژن ۱۶- تا ۲۷- است. نتایج تجزیه نقطه‌ای گارنت‌ها و پیروکسن‌های پهنه اسکارنی گویای قرارگیری ترکیب آنها در گستره اسکارن‌های نوع آهن، طلا و مس است.

واژه‌های کلیدی: بلورشیمی، تجزیه نقطه‌ای، دما فشارسنجی، اسکارن عشوند، غرب ایران.

## مقدمه

گسترده کانی‌های گارنت و پیروکسن این کانسار اسکارنی را فراهم آورده است. این امر با توجه به یافته‌های با ارزش برآمده از آن پیرامون تغییرات شیمیایی ترکیب این کانی‌ها طی تکامل فیزیکوشیمیایی محیط و سیال‌های تشکیل دهنده اسکارن، دگرگونی‌ها و رویدادهای بسیار مهم سیال‌های کانسار ساز اهمیت دارد. در این پژوهش، بر اساس داده‌های تجزیه نقطه‌ای بلورهای گارنت و پیروکسن از مرکز به لبه بلور، چگونگی تکامل سیال‌های کانه‌ساز و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن در مراحل مختلف بررسی شد.

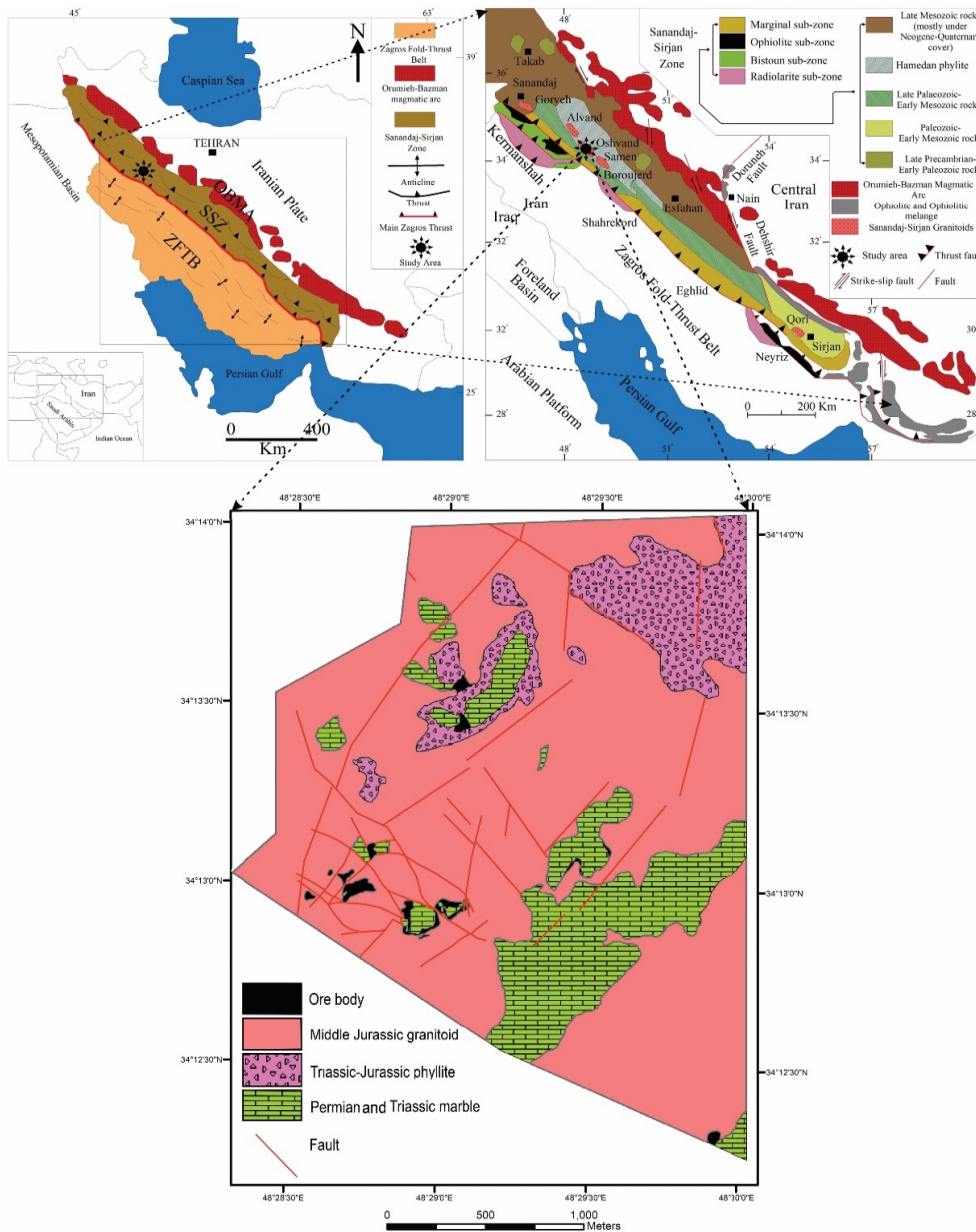
## روش بررسی

پس از بررسی دقیق حدود ۱۲۰۰ متر مغزه‌های حفاری از ۱۲ گمانه اکتشافی حفر شده در منطقه عشوند که در انبار مغزه شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران نگهداری می‌شوند، در

کانسار عشوند نهاوند از جمله کانسارهای موجود در کمربند فلززایی سنندج-سیرجان است که در شمال غرب آن واقع است. این کمربند بطول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر در شمال زمین‌درز زاگرس با راستای شمال غربی-جنوب شرقی قرار دارد (شکل ۱) [۱]. بی‌هنجاری‌های این کانسار در نتیجه پی‌جویی‌های زمین‌شیمیایی آبراهه‌ای در برکه زمین‌شناسی نهاوند در سال ۱۳۸۳ معرفی و سپس طی پی‌جویی‌های چکشی در سال ۱۳۸۵ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور کشف و معرفی گردید در چند سال اخیر، حفاری‌های اکتشافی و گسترده توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران امکان دستیابی به نمونه‌های زیرسطحی تا عمق ۱۰۰ متری و بررسی عمیق و

معدنی ایران با ریزپردازشگر الکترونی (EPHA) مدل Cameca SX-100 با ولتاژ ۱۵ هزار ولت، طول موج ۳ میکرومتر و شدت جریان ۱۵ نانوآمپر انجام شد. از هر نمونه، ۴ نقطه از مرکز تا لبه بلور تجزیه دیدند. داده‌های شیمیایی بدست آمده با روش دی‌یر محاسبه شدند [۲]. نسبت  $Fe^{+2}$  و  $Fe^{+3}$  براساس ترکیب آرمانی کانی‌های پیروکسن و گارنت محاسبه گردید.

مجموع ۱۳۰ نمونه از یک گمانه انتخابی و نمونه‌های سطحی انتخاب شده از این میان، ۴۴ مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌شناسی، ۳۶ مقطع نازک برای سنگ‌شناسی، ۴۰ نمونه برای تجزیه شیمیایی به روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) و طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس XRF و تعداد ۱۰ مقطع نازک دوبرصیقل برای تجزیه و تحلیل سیال‌های درگیر تهیه گردیدند. تجزیه نقطه‌ای برای ۱۵ کانی گارنت و ۱۵ کانی پیروکسن در مرکز تحقیقات مواد



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی و موقعیت آن در پهناوندی ساختاری ایران برگرفته از مرجع [۱] با تغییرات.

## بحث و بررسی

## زمین‌شناسی منطقه

کانسار عشوند در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان نهاوند و در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ همدان و ۱:۱۰۰۰۰۰ نهاوند، در بخش شمال غربی کمربند فلززایی سنندج-سیرجان واقع است [۳-۶]. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نهاوند، قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه مورد بررسی واحدهای کربناتی پرمین و شامل سنگ‌های آهکی مرمی شده نازک‌لایه کرم رنگ مایل به خاکستری هستند. از دیگر رخنمون‌های سنگی منطقه توده گرانیتوئیدی عشوند است که سن ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۸۷ میلیون سال) را برای آنها پیشنهاد نموده‌اند [۷]. این واحد بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد و بیش از ۵۰ درصد از جامعه سنگی این منطقه را تشکیل می‌دهد [۴-۶].

## سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی توده نفوذی

قسمت عمده سنگ‌های نفوذی گستره مورد بررسی را توده‌های بزرگ گرانیتوئیدی عشوند تشکیل داده که واحدهای کربناتی را در بر گرفته‌اند. این واحد به درون مجموعه کربناتی نفوذ نموده و در تماس با این بخش‌ها، سبب تبادل یون و تشکیل پهنه اسکارنی شده است. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و سنگ-شناسی بر نمونه‌های برداشت شده از این منطقه، ترکیب این توده‌های نفوذی در گستره گرانیت، گرانودیوریت تا کوارتزموئزونیت قرار دارد، همه نمونه‌های برداشت شده از واحدهای نفوذی در گستره پتاسیم بالا، متالومین، آهکی قلیایی با گرایش شوشونیتی قرار می‌گیرند و از نوع گرانیت‌های نوع I وابسته به فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای هستند [۴-۶]. نمونه‌های گرانیتی این توده بیشتر رنگ خاکستری روشن دارند و بلورهای شکل‌دار ارتوز در زمینه‌ای از کانی‌های فلدسپار پتاسیم و بیوتیت مشخص هستند. این نمونه‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی، بافت دانه‌ای دارند و بلورهای ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز بیشترین حجم سنگ را تشکیل داده‌اند. کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت نیز با مقادیر کمتر در نمونه‌ها دیده می‌شوند. در برخی بخش‌ها، دگرسانی آرژیلی رسی در توده گرانیتی دیده می‌شود و به نظر می‌رسد که این دگرسانی در اثر عملکرد محلول‌های گرمایی ایجاد شده باشد [۴-۶]. در بخش‌های نزدیک‌تر به پهنه اسکارن‌زایی نیز دگرسانی اپیدوتیتی شدن فراگیر است.

## سنگ‌نگاری اسکارن

در مرز توده‌های نفوذی با واحدهای کربناتی، یک هاله واکنشی اسکارنی گارنت-اپیدوت‌دار قهوه‌ای رنگ، بصورت نواری باریک به ضخامت ۲۰ تا ۴۰ متر گسترش دارد که مرز آن با توده گرانیتی بصورت یک مرز واکنشی تدریجی است. این هاله در نمونه دستی رنگ سبز روشن تا قهوه‌ای دارد و گارنت، کلریت، اپیدوت در متن سنگ نمایان است. از نظر میکروسکوپی، این سنگ‌ها دارای بافت دگرگونی دانه شکفتی و شکفته بلوری هستند [۴-۶]. براساس مشاهدات صحرایی و بررسی مقاطع نازک، اسکارن عشوند به دو بخش اصلی درون‌اسکارن و برون‌اسکارن قابل تفکیک است. کانی‌های اصلی بخش درون‌اسکارن را ارتوز، اپیدوت، پلاژیوکلاز، آمفیبول، کوارتز و کانی‌های فرعی این بخش را ترمولیت، اکتینولیت، اسفن، مگنتیت، کالکوسیت، کالکوپریت، مالاکیت، آزوریت و پیریت تشکیل می‌دهند. از توده نفوذی به سمت بخش کانه‌زایی اسکارن، به تدریج میزان دگرسانی گرمایی افزایش می‌یابد بطوریکه سرانجام همه ساختارهای ماگمایی سنگ از بین می‌رود. این اسکارن به ۵ پهنه قابل تفکیک است که دو پهنه در بخش درون‌اسکارن و سه پهنه در بخش برون‌اسکارن واقع می‌شوند. پهنه ۱ نخستین بخش درون‌اسکارن است که از یک سمت به توده نفوذی و از سوی دیگر به پهنه ۲ اسکارنی محدود می‌شود. این پهنه به واسطه حضور کانی‌های اپیدوت، پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیمی قابل تشخیص است. پهنه ۲ با افزایش قابل توجه کانی‌های اپیدوت با فراوانی بیش از ۶۰ درصد و همراهی با فلدسپات پتاسیمی، گارنت و ترمولیت مشخص می‌شود. در این منطقه، انباشت‌هایی از مگنتیت در ارتباط با رگه‌های کوارتز و اپیدوتیتی به چشم می‌خورند. از توده نفوذی به سمت پهنه ۲ برخی کانی‌ها چون کوارتز، اپیدوت، ترمولیت و مگنتیت بتدریج افزایش می‌یابند و برخی کانی‌های ماگمایی مانند آمفیبول و پلاژیوکلاز ناپدید می‌شوند. تشکیل درون‌اسکارن با اسفنیتی‌شدن و اپیدوتیتی‌شدن آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها طی دوره دگرگونی همراه است. در این منطقه، برون‌اسکارن بخشی از اسکارن بوده که در سنگ میزبان کربناتی تشکیل شده است و بخش اصلی پهنه کانه‌زایی در این بخش قرار می‌گیرد. کانی‌های اصلی بخش برون‌اسکارن را گارنت، کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن، اولیوین، ایدنگسیت، دولومیت، کلسیت، ترمولیت، اکتینولیت، کوارتز و کلریت

کربناتی پایان یافته و خارجی ترین بخش برون اسکارن را تشکیل می دهد (شکل ۲). بر پایه بازدیدهای صحرایی و بررسی های میکروسکوپی، می توان گفت که دگرسانی بلورهای گارنت و پیروکسن به اپیدوت، کلسیت، کوارتز، ترمولیت و اکتینولیت نشانگر وجود شرایط اکسیدی در مراحل پایانی دگرگونی پسرونده است.

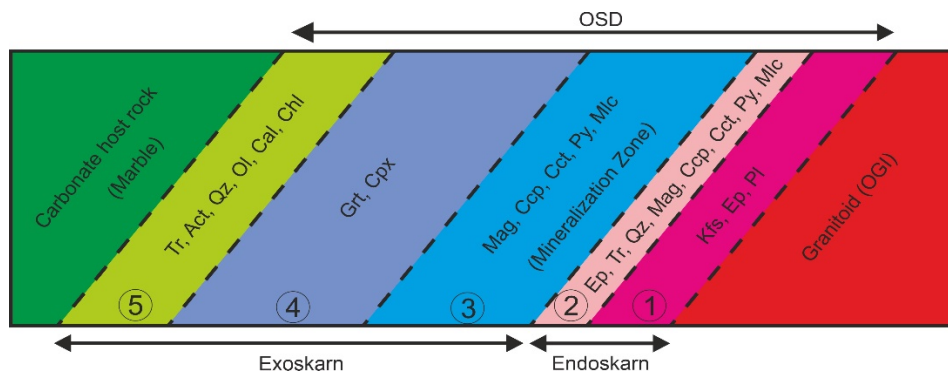
**شیمی گارنت**

نتایج تجزیه نقطه ای (EPMA) بلورهای گارنت از مرکز به سمت لبه بلور و ترکیب محاسبه شده بر پایه مقدار پیروپ، گراسولار، اسپسارتین و آندرانیت در جدول ۱ آورده شده اند. مقدار اوووریت در محاسبات، زیر حد تشخیص است. همه نمونه ها دارای مقدار بسیار کمی تیتانیوم بوده و از عنصر کلسیم غنی هستند.

**شیمی پیروکسن**

نتایج تجزیه نقطه ای بلورهای پیروکسن از مرکز به سمت لبه بلور و ترکیب محاسبه شده براساس جدایش مولی بر پایه ترکیب شیمیایی سه عضو انتهایی مثلث فروسلیت، انستاتیت و ولاستونیت در جدول ۲ آورده شده اند (شکل ۳). بر پایه نتایج، پیروکسن های این منطقه دارای ترکیب شیمیایی آمیزه ای از هدنبرژیت، فرواژیت و دیوپسید با نسبت های متفاوت هستند (جدول ۲).  $(Fs_{30.6} - 41.2 En_{9.5} - 26.6 Wo_{42.8} - 49.3)$  ترکیب شیمیایی بلورهای کلینوپیروکسن از مرکز بلور به سمت لبه متفاوت است بطوریکه از مرکز به سمت لبه مقدار هدنبرژیت به آرامی کاهش و مقدار دیوپسید و فرواژیت افزایش می یابد (جدول ۲). کانی های ترمولیت و اکتینولیت در نتیجه فراوانی دیوپسید و هدنبرژیت و دگرسانی ها طی دگرگونی پسرونده در این منطقه یافت می شوند.

تشکیل می دهند. بخش اصلی کانه زایی در برون اسکارن واقع بوده و شامل کانه های مگنتیت، پیروتیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، طلای آزاد، مالاکیت، آزوریت و پیریت است. مجموعه کانی های اصلی برون اسکارن در مرحله دگرگونی پیشرونده را کلینوپیروکسن (اوژیت تا دیوپسید) و گارنت (گراسولار تا آندرادیت) تشکیل می دهند. این پهنه بر اساس ویژگی های کانی شناسی و کانه شناسی به سه بخش قابل تفکیک است (شکل ۲). پهنه ۳ نخستین پهنه بخش برون اسکارن و اصلی ترین و غنی ترین پهنه کانه زایی فلزات پایه و عناصر گرانبها چون طلا، مگنتیت و مس است که با کانی های اپیدوت، کلسیت، کوارتز و اکتینولیت همراهی می شود. این پهنه درونی ترین بخش درون اسکارن است که در نتیجه جانمایی مجموعه کانی های سیلیکاتی آهکی تشکیل شده در مرحله دگرگونی پیشرونده، طی مرحله دگرگونی برگشتی شکل گرفته است (شکل ۲). در این بخش، کانی گارنت توسط مگنتیت با بافت توده ای جانشین شده است. پهنه ۴ بواسطه فراوانی کانی هایی چون گارنت، کلینوپیروکسن و سایر کانی های اسکارنی در خارج از پهنه کانه زایی (پهنه ۳) قابل تشخیص است. کانی های مرحله پیشرونده اسکارن مانند گارنت و کلینوپیروکسن دارای منطقه بندی کانی شناسی هستند که نشانگر تغییر ترکیب و تکامل سیال در دگرگونی سامانه باز زمین شیمیایی است. گارنت های قهوه ای از سری اوگراندیتی بوده و دارای ترکیب شیمیایی متغیر بصورت محلول جامد بین دو کانی گراسولار تا آندرادیت هستند. فراوانی کانی های دگرگونی برگشتی چون اپیدوت، ترمولیت، ایدنگسیت، سرپانتین، اکتینولیت، کوارتز، مگنتیت، کلریت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و کلسیت از مشخصه های پهنه پنجم کانسار عشوند است. این پهنه در بخش خارجی با سنگ میزبان



شکل ۲ موقعیت منطقه بندی درون اسکارن و برون اسکارن نسبت به توده نفوذی و سنگ میزبان کربناتی (نشانه های اختصاری از [A]).

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای گارنت‌های اسکارن عشوند.

نمونه	OSHEPMA.GRT.1				OSHEPMA.GRT.2				OSHEPMA.GRT.3				OSHEPMA.GRT.4				OSHEPMA.GRT.5			
	مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه		
اکسیدهای اصلی (wt%)																				
SiO <sub>2</sub> %	۳۷,۲۹	۳۷,۱۷	۳۷,۲۱	۳۷,۳۵	۳۷,۰۸	۳۷,۴۴	۳۷,۶۸	۳۷,۶۲	۳۷,۱۲	۳۷,۲۴	۳۷,۴۳	۳۷,۵۱	۳۷,۲۴	۳۷,۴۲	۳۷,۶۵	۳۷,۳۸	۳۷,۰۶	۳۷,۲۹	۳۷,۵۱	
TiO <sub>2</sub>	۰,۳۳	۰,۴۳	۰,۴۵	۰,۴۸	۰,۴۱	۰,۴۶	۰,۴۵	۰,۴۸	۰,۲۸	۰,۳۴	۰,۳۸	۰,۴۲	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۲۹	۰,۳۵	۰,۲۸	۰,۳۳	۰,۳۱	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸,۴۲	۹,۳۹	۱۰,۲۴	۱۰,۴۱	۸,۹۲	۸,۷۸	۹,۱۲	۹,۲۹	۷,۸۶	۸,۲۳	۸,۸۰	۸,۹۱	۷,۶۸	۷,۵۷	۸,۱۲	۸,۱۴	۷,۶۴	۸,۰۰	۸,۴۲	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
FeO*	۱۹,۵۹	۱۸,۸۹	۱۸,۱۶	۱۸,۰۶	۱۹,۳۳	۱۹,۳۴	۱۹,۲۵	۱۸,۷۲	۲۰,۶۴	۲۰,۳۸	۱۹,۵۹	۱۹,۲۵	۲۰,۰۹	۲۰,۳۴	۲۰,۳۱	۲۰,۱۹	۲۰,۷۳	۲۰,۲۷	۲۰,۰۲	
MnO	۰,۳۷	۰,۵۲	۰,۵۵	۰,۷۱	۰,۵۴	۰,۴۹	۰,۶۲	۰,۷۱	۰,۳۵	۰,۴۰	۰,۴۷	۰,۵۸	۰,۳۱	۰,۳۸	۰,۳۹	۰,۴۲	۰,۳۴	۰,۳۸	۰,۴۵	
MgO	۰,۳۲	۰,۳۳	۰,۴۲	۰,۵۲	۰,۳۷	۰,۳۹	۰,۴۲	۰,۵۵	۰,۲۷	۰,۲۹	۰,۳۶	۰,۴۴	۰,۳۱	۰,۳۳	۰,۳۱	۰,۳۲	۰,۲۷	۰,۳۰	۰,۳۳	
CaO	۳۳,۶۷	۳۲,۹۵	۳۲,۸۹	۳۲,۲۸	۳۳,۱۱	۳۲,۹۴	۳۲,۳۳	۳۲,۴۱	۳۳,۴۶	۳۳,۰۶	۳۲,۹۹	۳۲,۷۸	۳۳,۵۵	۳۳,۵۳	۳۲,۸۷	۳۲,۸۷	۳۳,۵۶	۳۳,۲۹	۳۳,۲۸	
مجموع	۹۹,۹۹	۹۹,۶۸	۹۹,۹۲	۹۹,۸۱	۹۹,۷۶	۹۹,۸۴	۹۹,۸۷	۹۹,۷۸	۹۹,۹۸	۹۹,۸۴	۱۰۰,۰۲	۹۹,۸۹	۹۹,۴۶	۹۹,۹۹	۹۹,۹۴	۹۹,۶۸	۹۹,۸۸	۹۹,۸۶	۹۹,۹۱	
تعداد اکسیژن ها: 12																				
Si	۳,۰۰	۲,۹۹	۲,۹۸	۲,۹۹	۲,۹۸	۳,۰۱	۳,۰۲	۳,۰۱	۲,۹۹	۳,۰۰	۳,۰۰	۳,۰۱	۳,۰۱	۳,۰۲	۳,۰۳	۳,۰۲	۲,۹۹	۳,۰۱	۳,۰۲	
Al iv	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	
Al vi	۰,۸۳	۰,۹۱	۰,۸۸	۱,۰۰	۰,۸۷	۰,۸۷	۰,۹۰	۰,۹۱	۰,۷۸	۰,۸۳	۰,۸۷	۰,۸۸	۰,۷۷	۰,۷۵	۰,۸۰	۰,۸۱	۰,۷۶	۰,۷۹	۰,۸۳	
Ti	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	
Fe <sub>3+</sub>	۰,۹۸	۰,۹۱	۰,۸۵	۰,۸۳	۰,۹۵	۰,۹۴	۰,۹۰	۰,۸۹	۱,۰۳	۰,۹۹	۰,۹۴	۱,۰۲	۱,۰۳	۰,۹۸	۰,۹۸	۱,۰۴	۱,۰۰	۰,۹۷	۰,۹۵	
Fe <sub>2+</sub>	۰,۳۴	۰,۳۶	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۳۵	۰,۳۶	۰,۳۹	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۸	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۳۴	۰,۳۴	۰,۳۹	۰,۳۸	۰,۳۶	۰,۳۶	۰,۳۷	
Mn	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	
Mg	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۵	
Ca	۲,۹۰	۲,۸۴	۲,۸۲	۲,۷۷	۲,۸۶	۲,۸۳	۲,۷۸	۲,۷۸	۲,۸۹	۲,۸۶	۲,۸۴	۲,۸۲	۲,۹۱	۲,۹۰	۲,۸۳	۲,۸۴	۲,۹۱	۲,۸۸	۲,۸۳	
مجموع	۸,۱۳	۸,۱۲	۸,۱۲	۸,۱۱	۸,۱۳	۸,۱۱	۸,۱۰	۸,۱۱	۸,۱۳	۸,۱۲	۸,۱۲	۸,۱۱	۸,۱۲	۸,۱۲	۸,۱۱	۸,۱۲	۸,۱۴	۸,۱۲	۸,۱۱	
Fe(Fe+Al)	۰,۶۲	۰,۵۸	۰,۵۵	۰,۵۵	۰,۶۱	۰,۶۱	۰,۶۰	۰,۵۹	۰,۶۵	۰,۶۳	۰,۶۱	۰,۶۰	۰,۶۵	۰,۶۶	۰,۶۴	۰,۶۶	۰,۶۴	۰,۶۳	۰,۶۲	
اعضای انتهایی																				
پیروپ	۱,۴۴	۱,۴۷	۱,۸۳	۲,۲۸	۱,۶۵	۱,۷۶	۱,۹۰	۲,۴۷	۱,۲۲	۱,۳۱	۱,۶۲	۱,۹۸	۱,۴۲	۱,۵۱	۱,۴۲	۱,۴۶	۱,۲۳	۱,۳۶	۱,۵۰	
گراسولار	۴۲,۴۶	۴۶,۷۴	۴۹,۸۵	۵۰,۰۹	۴۴,۱۷	۴۳,۹۶	۴۵,۳۷	۴۵,۲۶	۴۰,۰۱	۴۱,۸۳	۴۴,۰۳	۴۴,۱۰	۳۹,۴۹	۳۸,۶۳	۴۱,۵۷	۴۱,۵۰	۳۹,۰۰	۴۰,۷۵	۴۲,۹۴	
اسپسارتین	۰,۹۴	۱,۳۱	۱,۳۷	۱,۷۷	۱,۳۷	۱,۲۶	۱,۵۹	۱,۸۱	۰,۹۰	۱,۰۳	۱,۲۰	۱,۴۸	۰,۸۱	۰,۹۹	۱,۰۱	۱,۰۹	۰,۸۸	۰,۹۸	۱,۱۶	
آندرادیت	۵۵,۱۶	۵۰,۹۸	۴۶,۹۵	۴۵,۸۶	۵۲,۸۱	۵۳,۰۳	۵۱,۱۵	۵۰,۴۵	۵۷,۸۷	۵۵,۸۳	۵۳,۱۵	۵۲,۴۴	۵۸,۳۸	۵۸,۸۷	۵۶,۰۰	۵۵,۹۵	۵۸,۹۰	۵۶,۹۱	۵۴,۷۴	
n.d. = آشکار نشده																				
مقدار آهن کل: FeO* = aFe = Fe <sup>+2</sup> + Fe <sup>+3</sup>																				

ادامه جدول ۱

نمونه	OSHEPMA.GRT.6				OSHEPMA.GRT.7				OSHEPMA.GRT.8				OSHEPMA.GRT.9				OSHEPMA.GRT.10			
	مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه		
اکسیدهای اصلی (wt%)																				
SiO <sub>2</sub> %	۳۷,۰۴	۳۷,۳۵	۳۷,۴۴	۳۷,۶۱	۳۷,۱۸	۳۷,۲۶	۳۷,۳۸	۳۷,۴۸	۳۷,۱۴	۳۷,۲۸	۳۷,۵۳	۳۷,۶۱	۳۷,۰۸	۳۷,۱۶	۳۷,۲۱	۳۷,۴۷	۳۷,۰۶	۳۷,۱۳	۳۷,۳۳	
TiO <sub>2</sub>	۰,۲۶	۰,۳۰	۰,۳۴	۰,۳۹	۰,۲۴	۰,۳۰	۰,۲۸	۰,۳۸	۰,۲۴	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۷	۰,۲۱	۰,۲۴	۰,۳۹	۰,۲۲	۰,۲۹	۰,۲۸	۰,۳۲	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷,۵۸	۷,۶۴	۸,۰۵	۸,۲۳	۷,۳۶	۷,۹۶	۸,۴۴	۸,۵۷	۷,۳۳	۷,۴۵	۷,۸۷	۸,۰۴	۷,۱۸	۸,۱۰	۸,۶۴	۸,۷۹	۷,۱۸	۸,۱۳	۸,۶۱	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
FeO*	۲۱,۱۶	۲۰,۸۵	۲۰,۲۴	۱۹,۸۵	۲۰,۷۸	۲۰,۲۷	۲۰,۰۱	۱۹,۸۳	۲۱,۲۶	۲۱,۰۳	۲۰,۵۲	۲۰,۱۴	۲۱,۲۰	۲۰,۴۶	۱۹,۶۷	۱۹,۵۳	۲۱,۲۰	۲۰,۳۹	۱۹,۷۶	
MnO	۰,۳۴	۰,۳۴	۰,۴۴	۰,۵۲	۰,۲۷	۰,۳۷	۰,۴۰	۰,۴۷	۰,۳۰	۰,۳۳	۰,۴۰	۰,۴۷	۰,۲۵	۰,۳۸	۰,۴۰	۰,۵۲	۰,۲۵	۰,۳۷	۰,۴۱	
MgO	۰,۲۵	۰,۲۸	۰,۳۳	۰,۴۱	۰,۲۵	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۳۶	۰,۲۴	۰,۲۷	۰,۳۰	۰,۳۶	۰,۲۲	۰,۲۵	۰,۳۳	۰,۳۹	۰,۲۳	۰,۳۲	۰,۳۸	
CaO	۳۳,۳۳	۳۳,۱۱	۳۳,۰۴	۳۳,۰۳	۳۳,۷۹	۳۳,۳۹	۳۳,۰۵	۳۳,۸۵	۳۳,۴۶	۳۳,۲۸	۳۳,۰۷	۳۳,۶۴	۳۳,۱۲	۳۳,۲۹	۳۳,۲۹	۳۳,۲۷	۳۳,۲۴	۳۳,۲۱	۳۳,۲۶	
مجموع	۹۹,۹۶	۹۹,۸۷	۹۹,۸۸	۱۰۰,۰۴	۹۹,۸۷	۹۹,۸۳	۹۹,۸۷	۹۹,۹۴	۱۰۰,۰۴	۹۹,۹۲	۹۹,۹۸	۱۰۰,۰۶	۹۹,۷۸	۹۹,۷۶	۹۹,۸۸	۱۰۰,۰۱	۹۹,۸۶	۹۹,۸۸	۹۹,۸۵	
تعداد اکسیژن ها: 12																				
Si	۲,۹۹	۳,۰۲	۳,۰۲	۳,۰۲	۳,۰۱	۳,۰۱	۳,۰۱	۳,۰۱	۳,۰۰	۳,۰۱	۳,۰۲	۳,۰۲	۳,۰۰	۳,۰۰	۲,۹۹	۳,۰۱	۳,۰۰	۳,۰۰	۳,۰۲	
Al iv	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	
Al vi	۰,۷۵	۰,۷۶	۰,۸۰	۰,۸۱	۰,۷۳	۰,۷۹	۰,۸۳	۰,۸۵	۰,۷۳	۰,۷۴	۰,۷۸	۰,۷۹	۰,۷۲	۰,۸۰	۰,۸۵	۰,۸۷	۰,۷۲	۰,۸۰	۰,۸۵	
Ti	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	
Fe <sub>3+</sub>	۱,۰۵	۱,۰۳	۰,۹۹	۰,۹۸	۱,۰۶	۱,۰۱	۰,۹۷	۰,۹۵	۱,۰۶	۱,۰۴	۱,۰۰	۰,۹۹	۱,۰۷	۱,۰۰	۰,۹۷	۰,۹۴	۱,۰۸	۱,۰۰	۰,۹۶	
Fe <sub>2+</sub>	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۳۵	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۳۷	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۳۶	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۸	
Mn	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	
Mg	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰										

ادامه جدول 1

نمونه	OSHEPMA.GRT.11		OSHEPMA.GRT.12		OSHEPMA.GRT.13		OSHEPMA.GRT.14		OSHEPMA.GRT.15											
	مرکز	ليه	مرکز	ليه	مرکز	ليه	مرکز	ليه	مرکز	ليه										
<i>اکسيدهای اصلي (wt%)</i>																				
SiO <sub>2</sub> %	37.08	37.28	37.34	37.50	37.12	37.21	37.31	37.42	37.14	37.25	37.58	37.52	36.81	36.95	37.11	37.23	37.11	37.04	37.42	37.45
TiO <sub>2</sub>	0.21	0.27	0.27	0.37	0.18	0.24	0.26	0.36	0.20	0.23	0.19	0.26	0.11	0.14	0.23	0.29	0.11	0.15	0.11	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.11	7.78	8.25	8.41	6.86	7.60	8.06	8.25	6.76	7.03	7.42	7.49	6.24	6.49	6.82	7.07	5.92	6.59	6.92	7.11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO*	21.29	20.76	20.99	19.96	21.74	21.13	20.22	20.04	21.47	21.13	20.88	20.71	22.81	22.62	21.37	20.98	22.81	21.88	21.56	21.23
MnO	0.24	0.34	0.38	0.46	0.21	0.31	0.35	0.44	0.22	0.30	0.33	0.35	0.13	0.19	0.25	0.33	0.13	0.21	0.26	0.29
MgO	0.22	0.25	0.30	0.35	0.19	0.22	0.29	0.34	0.22	0.26	0.26	0.28	0.12	0.16	0.23	0.26	0.13	0.18	0.21	0.24
CaO	32.74	32.25	32.20	32.94	32.68	32.31	32.26	32.02	32.42	32.48	32.13	32.12	32.61	32.28	32.75	32.52	32.76	32.62	32.23	32.24
مجموع	99.88	100.02	99.92	99.99	99.98	100.02	99.85	99.88	99.82	99.68	99.79	99.73	99.82	99.82	99.76	99.96	99.98	99.67	99.84	99.72
<i>تعداد اکسيژن ها:</i>																				
Si	3.00	3.01	3.01	3.01	3.01	3.00	3.01	3.01	3.01	3.02	3.04	3.02	3.00	3.01	3.01	3.02	3.02	3.01	3.02	3.02
Al iv	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al vi	0.71	0.77	0.82	0.82	0.69	0.76	0.80	0.82	0.68	0.70	0.74	0.75	0.63	0.65	0.68	0.71	0.60	0.66	0.69	0.71
Ti	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	1.08	1.02	0.99	0.97	1.10	1.04	1.00	0.98	1.10	1.07	1.03	1.03	1.15	1.12	1.10	1.07	1.16	1.12	1.08	1.06
Fe <sup>2+</sup>	0.36	0.37	0.37	0.37	0.37	0.39	0.37	0.37	0.35	0.36	0.38	0.37	0.40	0.41	0.35	0.35	0.39	0.37	0.38	0.38
Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
Mg	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ca	2.93	2.88	2.86	2.84	2.92	2.88	2.87	2.85	2.94	2.91	2.87	2.87	2.92	2.90	2.92	2.91	2.94	2.92	2.88	2.88
مجموع	8.14	8.12	8.12	8.14	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	8.14	8.12	8.14	8.14	8.14	8.12	8.12
Fe(Fe+Ala)	0.68	0.66	0.64	0.62	0.69	0.66	0.64	0.62	0.69	0.68	0.67	0.66	0.72	0.71	0.68	0.68	0.72	0.71	0.69	0.68
<i>اعضای انتهایی</i>																				
پيروب	1.01	1.14	1.36	1.59	0.87	1.00	1.22	1.54	1.01	1.20	1.20	1.29	0.55	0.74	1.06	1.20	0.61	0.82	0.97	1.11
گراسولار	26.93	29.89	41.87	42.41	25.92	29.20	41.12	41.75	23.57	25.26	28.57	28.79	22.28	24.22	25.58	29.65	21.84	24.77	26.25	27.17
اسپسارتين	0.62	0.88	0.98	1.18	0.55	0.80	0.90	1.14	0.58	0.79	0.87	0.92	0.34	0.50	0.66	0.87	0.34	0.55	0.68	0.76
آندراديت	61.44	58.09	55.80	54.82	62.65	59.00	56.66	55.57	62.04	61.50	59.27	59.00	65.82	64.44	62.71	61.29	67.21	62.84	61.99	60.96
n.d. آشکار نشده =											FeO* مقدار آهن کل		aFe=Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup>							

جدول 2 نتایج تجزیه نقطه‌های پيروکسن‌های اسکارن عشوند.

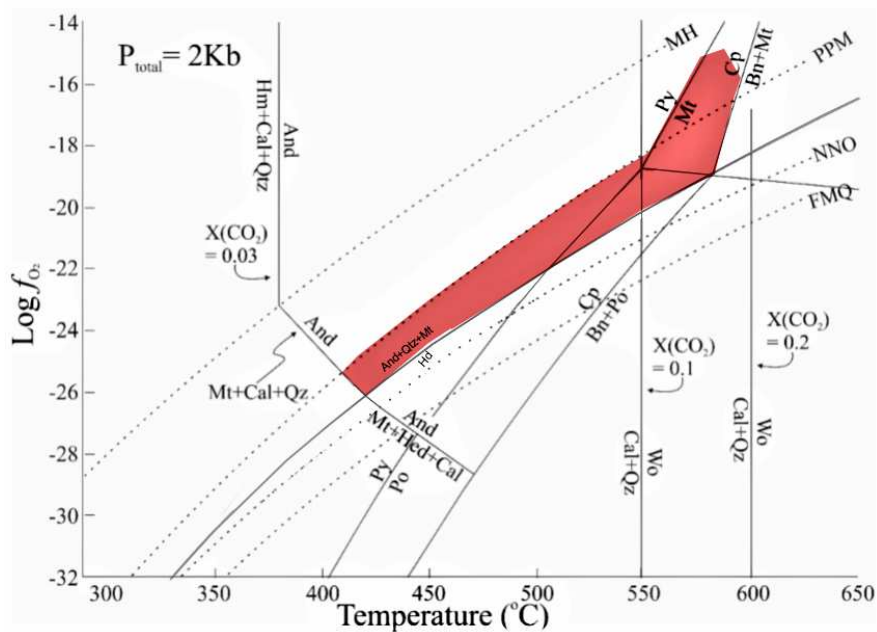
نمونه	OSHEPMA.CPX.1		OSHEPMA.CPX.2		OSHEPMA.CPX.3		OSHEPMA.CPX.4		OSHEPMA.CPX.5											
	مرکز	ليه	مرکز	ليه	مرکز	ليه	مرکز	ليه	مرکز	ليه										
SiO <sub>2</sub> (%)	50.74	50.88	51.22	51.49	50.62	50.92	51.02	51.07	50.42	50.58	50.91	51.05	50.16	50.28	50.84	51.04	50.78	50.26	50.86	50.94
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.05	0.07	0.00	0.04	0.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.06	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.22	0.22	0.26	0.04	0.06	0.08	0.09	0.07	0.10	0.14	0.18	0.08	0.12	0.18	0.23	0.08	0.16	0.21	0.17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO*	20.02	19.87	18.8	18.04	20.78	19.72	19.12	18.18	21.2	20.61	19.92	19.06	21.51	21.11	20.29	19.51	21.62	21.04	20.17	19.25
MnO	0.42	0.10	0.17	0.62	0.41	0.15	0.62	0.66	0.68	0.29	0.44	0.55	0.81	0.36	0.36	0.24	0.75	0.21	0.22	0.58
MgO	7.42	7.55	8.58	9.11	6.51	7.74	8.18	8.66	5.79	6.67	7.24	7.96	5.42	6.12	6.77	7.62	5.29	6.21	7.19	7.81
CaO	21.02	20.92	20.62	20.29	21.26	21.29	21.02	20.86	21.69	21.59	21.21	21.16	21.86	21.69	21.27	21.19	21.86	21.74	21.18	21.14
Na <sub>2</sub> O	0.02	n.d.	n.d.	0.02	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	0.02	0.02	0.02	n.d.	0.04
K <sub>2</sub> O	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	0.01	n.d.	n.d.	0.01	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
مجموع	99.82	99.99	99.79	99.94	99.81	99.99	100.09	99.86	100.02	99.86	99.91	99.99	99.89	99.82	99.85	99.99	100.06	99.87	99.91	99.98
<i>تعداد يون ها بر پایه 6 اتم اکسيژن</i>																				
Si	1.997	1.992	2.005	2.002	2.002	1.995	1.992	1.992	2.000	1.998	2.002	1.998	1.997	1.997	2.007	2.000	1.998	1.994	2.002	1.995
Ti	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
Al	0.005	0.001	0.010	0.012	0.002	0.002	0.004	0.003	0.003	0.005	0.006	0.008	0.004	0.006	0.008	0.011	0.004	0.007	0.006	0.008
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.659	0.651	0.614	0.586	0.688	0.647	0.625	0.592	0.706	0.681	0.656	0.624	0.716	0.700	0.670	0.629	0.719	0.697	0.664	0.620
Mn	0.014	0.002	0.006	0.020	0.014	0.005	0.021	0.022	0.023	0.010	0.015	0.018	0.027	0.012	0.012	0.011	0.025	0.010	0.011	0.019
Mg	0.425	0.464	0.500	0.528	0.284	0.422	0.476	0.504	0.322	0.392	0.425	0.464	0.322	0.362	0.398	0.445	0.319	0.367	0.422	0.456
Ca	0.887	0.878	0.862	0.849	0.905	0.898	0.880	0.872	0.922	0.914	0.894	0.887	0.922	0.921	0.904	0.890	0.921	0.922	0.892	0.887
Na	0.002	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.002
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
مجموع	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe(Fe+Mg)	0.602	0.584	0.551	0.526	0.642	0.589	0.568	0.541	0.674	0.624	0.607	0.574	0.690	0.659	0.627	0.689	0.692	0.655	0.611	0.580
Mn,Fe	0.021	0.005	0.010	0.024	0.020	0.008	0.024	0.024	0.022	0.015	0.022	0.029	0.028	0.017	0.018	0.017	0.025	0.014	0.017	0.020
<i>محاسبه منجاری اعضای انتهایی</i>											مقدار آهن کل=FeO*		آشکار نشده=n.d.							
ولاستونیت	44.44	42.98	42.52	42.79	45.47	44.87	43.98	42.59	46.22	45.75	44.92	44.00	46.68	46.16	45.52	44.79	46.68	46.21	44.87	44.52
انستاتیت	21.82	22.26	25.19	26.60	19.29	22.59	22.81	25.18	17.17	19.67	21.24	22.29	19.11	18.16	20.07	22.42	16.02	18.27	21.20	22.89
فروسيليت	22.75	22.76	2																	

ادامه جدول 2

نمونه توضیح	OSHEPMA.CPX.6				OSHEPMA.CPX.7				OSHEPMA.CPX.8				OSHEPMA.CPX.9				OSHEPMA.CPX.10			
	مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه		
SiO2 (%)	50.18	50.45	50.74	50.81	50.99	50.24	50.81	50.94	50.12	50.48	50.68	50.86	49.92	50.21	50.62	50.72	49.92	50.22	50.71	50.81
TiO2	0.2	0.1	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5	0.6	0.2	0.2	0.5	0.7
Al2O3	0.5	0.12	0.7	0.10	0.8	0.14	0.14	0.19	0.5	0.14	0.11	0.14	0.6	0.8	0.14	0.14	0.6	0.14	0.8	0.11
Cr2O3	0.5	0.12	0.7	0.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.
FeO*	21.74	20.82	20.4	19.12	21.91	21.41	20.55	19.76	21.76	21.04	20.45	19.58	22.05	21.26	20.48	19.5	22.1	21.22	20.28	19.52
MnO	0.70	0.38	0.52	0.64	0.87	0.44	0.38	0.34	0.80	0.39	0.58	0.52	0.81	0.20	0.36	0.78	0.81	0.46	0.51	0.54
MgO	5.21	6.22	7.20	7.86	6.93	5.66	6.59	7.42	6.97	6.02	6.57	7.29	6.82	5.92	6.75	7.24	6.79	5.72	6.88	7.62
CaO	21.91	21.88	21.17	21.22	22.06	21.94	21.28	21.28	22.02	21.87	21.52	21.49	22.08	22.05	21.51	21.56	22.09	21.95	21.29	21.22
Na2O	0.2	0.1	n.d.	0.2	0.2	n.d.	0.1	0.4	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	0.6	n.d.	n.d.	0.1	0.4	n.d.	n.d.	n.d.
K2O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	0.1	n.d.	0.1
مجموع	99.89	100.2	99.86	99.94	99.99	99.86	99.92	100.2	99.79	99.85	99.94	100.4	99.82	99.85	99.89	100.4	99.84	99.86	99.91	100.2
تعداد یون ها بر پایه 6 اتم اکسیژن																				
Si	2.000	1.995	1.999	1.991	1.998	1.997	2.007	1.998	2.002	2.002	1.996	1.995	1.996	1.999	1.992	1.995	1.998	2.001	1.992	1.992
Ti	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Al	0.002	0.006	0.003	0.005	0.004	0.007	0.007	0.009	0.002	0.002	0.005	0.006	0.003	0.004	0.005	0.006	0.003	0.007	0.004	0.005
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.725	0.689	0.660	0.627	0.731	0.712	0.679	0.648	0.727	0.698	0.675	0.642	0.727	0.705	0.676	0.640	0.729	0.705	0.672	0.640
Mn	0.024	0.012	0.017	0.021	0.029	0.015	0.012	0.011	0.027	0.012	0.019	0.017	0.027	0.007	0.012	0.026	0.027	0.015	0.017	0.018
Mg	0.210	0.267	0.322	0.359	0.292	0.235	0.288	0.235	0.296	0.256	0.287	0.322	0.287	0.251	0.297	0.322	0.285	0.239	0.245	0.246
Ca	0.926	0.927	0.892	0.891	0.942	0.924	0.855	0.894	0.922	0.911	0.922	0.945	0.922	0.910	0.907	0.922	0.922	0.922	0.922	0.922
Na	0.002	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.001	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
مجموع	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe(Fe+Mg)	0.700	0.652	0.609	0.577	0.714	0.680	0.626	0.598	0.711	0.662	0.626	0.598	0.720	0.668	0.620	0.722	0.675	0.624	0.589	0.589
Mn,Fe	0.022	0.019	0.026	0.022	0.040	0.021	0.019	0.017	0.027	0.019	0.028	0.027	0.027	0.010	0.018	0.021	0.021	0.025	0.028	0.028
محاسبه منجراری اعضای انتهایی																				
ولاستونیت	46.92	46.46	44.80	44.60	47.22	46.80	45.57	44.97	47.29	46.55	45.71	45.27	47.26	46.87	45.59	45.42	47.27	46.84	45.12	44.80
انستاتیت	15.52	18.28	21.20	22.99	14.69	16.80	19.55	21.88	14.88	17.82	19.41	21.66	14.29	17.54	19.91	21.22	14.29	17.01	20.29	22.20
فروسلیت	27.54	25.16	23.99	22.42	28.08	26.40	24.89	23.18	27.58	25.62	24.89	23.06	28.26	25.60	24.50	23.25	28.24	26.15	24.59	22.90
مقدار آهن کل = FeO* آشکار نشده = n.d.																				

ادامه جدول 2

نمونه توضیح	OSHEPMA.CPX.11				OSHEPMA.CPX.12				OSHEPMA.CPX.13				OSHEPMA.CPX.14				OSHEPMA.CPX.15			
	مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه			مرکز	لیه		
SiO2 (%)	49.92	50.16	50.86	50.94	49.87	50.26	50.45	50.58	49.76	50.02	50.62	50.72	49.64	50.14	50.44	50.51	49.28	49.81	50.12	50.29
TiO2	0.2	0.4	0.6	0.9	0.1	0.1	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.8	0.0	0.1	0.1	0.6	0.0	0.2	0.6	0.8
Al2O3	0.7	0.27	0.4	0.6	0.6	0.6	0.11	0.16	0.7	0.18	0.8	0.12	0.6	0.3	0.12	0.20	0.7	0.10	0.11	0.18
Cr2O3	n.d.	n.d.	0.2	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	n.d.
FeO*	22.21	21.12	20.12	19.54	22.22	21.62	20.91	19.99	22.62	21.98	21.08	20.18	22.79	22.29	21.78	20.85	22.21	22.76	21.82	20.82
MnO	0.80	0.97	0.78	0.12	0.94	0.34	0.42	0.52	0.96	0.61	0.44	0.32	1.19	0.62	0.54	0.70	1.21	0.25	0.90	0.54
MgO	4.71	5.26	7.14	8.21	4.26	5.41	6.15	6.87	4.22	4.72	6.22	6.32	4.31	4.96	6.12	7.14	6.17	5.22	5.82	5.82
CaO	22.12	22.06	20.72	20.84	22.28	22.19	21.79	21.74	22.26	22.29	21.41	21.46	22.26	22.27	22.06	21.99	22.79	22.71	22.09	22.08
Na2O	0.1	0.4	n.d.	0.2	0.4	n.d.	n.d.	n.d.	0.4	0.2	n.d.	0.7	0.2	n.d.	0.5	0.2	0.8	0.1	0.19	0.11
K2O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	0.1	n.d.	0.1	0.1	n.d.	n.d.	0.2	0.2
مجموع	99.88	99.92	99.55	99.92	99.89	99.91	99.87	99.92	99.85	99.96	99.92	100.4	99.77	99.87	99.98	99.82	99.88	99.85	99.85	99.94
تعداد یون ها بر پایه 6 اتم اکسیژن																				
Si	1.996	1.995	2.008	1.992	1.998	1.999	1.999	1.993	1.999	1.996	2.005	1.994	2.002	2.009	2.009	2.000	1.992	1.997	1.992	1.992
Ti	0.001	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.002	0.002
Al	0.002	0.012	0.002	0.002	0.002	0.003	0.005	0.007	0.002	0.008	0.004	0.006	0.002	0.001	0.006	0.009	0.002	0.005	0.005	0.008
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.722	0.703	0.664	0.629	0.748	0.719	0.692	0.659	0.760	0.724	0.698	0.662	0.769	0.747	0.726	0.690	0.782	0.762	0.726	0.689
Mn	0.027	0.022	0.026	0.004	0.022	0.011	0.014	0.017	0.022	0.021	0.015	0.011	0.041	0.021	0.018	0.002	0.041	0.008	0.002	0.018
Mg	0.281	0.312	0.420	0.484	0.260	0.221	0.262	0.304	0.225	0.281	0.268	0.264	0.206	0.257	0.295	0.261	0.189	0.249	0.215	0.244
Ca	0.948	0.940	0.877	0.872	0.956	0.946	0.925	0.918	0.967	0.957	0.908	0.904	0.978	0.964	0.941	0.922	0.985	0.975	0.941	0.927
Na	0.001	0.002	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.005	0.002	0.000	0.004	0.002	0.006	0.001	0.015	0.008
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
مجموع	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe(Fe+Mg)	0.726	0.692	0.612	0.569	0.742	0.691	0.656	0.620	0.764	0.722	0.655	0.616	0.789	0.744	0.711	0.657	0.806	0.754	0.697	0.667
Mn,Fe	0.026	0.027	0.029	0.006	0.022	0.015	0.020	0.026	0.022	0.029	0.021	0.017	0.052	0.028	0.025	0.002	0.052	0.010	0.004	0.026
محاسبه منجراری اعضای انتهایی																				
ولاستونیت	47.44	47.20	44.09	42.55	47.90	47.24	46.25	45.95	48.48	48.05	45.65	45.27	49.05	48.44	47.52	46.94	49.22	48.86	47.42	47.14
انستاتیت	14.05	15.69	21.12	24.22	12.04	16.06	18.21	20.21	11.77	14.10	18.48	20.80	10.25	12.92	14.87	18.18	9.66	12.49	15.09	17.29
فروسلیت	28.51	27.01	24.78	22.12	29.05	26.60	25.44	23.84	29.75	27.86	25.87	22.82	40.61	28.62	27.61	24.89	41.22	28.65	26.67	25.57
مقدار آهن کل = FeO* آشکار نشده = n.d.																				



شکل ۳ نمودار گریزندگی اکسیژن نسبت به دما و اثر  $X_{CO_2}$  در فشار ۲ کیلو بار و موقعیت بخش دگرگونی پیشرونده اسکارن عشوند بر آن (هاله قرمز رنگ). نبود ولاستونیت در مجموعه کانیایی این منطقه نشان دهنده  $X_{CO_2}$  کمتر از ۰٫۲ است [۱۰،۹]. (MH): بافر مگنتیت و هماتیت، PPM: بافر پیریت، پیروتیت و مگنتیت، NNO: بافر نیکل و اکسید نیکل، FMQ: بافر فایالیت، مگنتیت و کوارتز، Py: پیریت، Po: پیروتیت، مگنتیت، Cp: کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Qz: کوارتز، Cal: کلسیت، Wo: ولاستونیت، And: آندرادیت و Hm: هماتیت).

۰٫۲ متغیر است [۲۲]. در اسکارن نپاوند به دلیل نبود ولاستونیت در مجموعه کانی‌ها،  $X_{CO_2}$  کمتر از ۰٫۲ است. مجموعه گارنت‌های همزیست با کلینوپیروکسن اولیه و نبود ولاستونیت نشان دهنده تشکیل اسکارن پیشرونده در دمای بیشینه حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد از سیال‌هایی با  $X_{CO_2}$  کمتر از ۰٫۲ است همچنین مقدار گریزندگی اکسیژن ( $f_{O_2}$ ) را می‌توان بین ۱۶- تا ۲۷- برآورد نمود [۱۰،۹] (شکل ۳).

#### شرایط فیزیکوشیمیایی مرحله پیش‌رونده تشکیل اسکارن

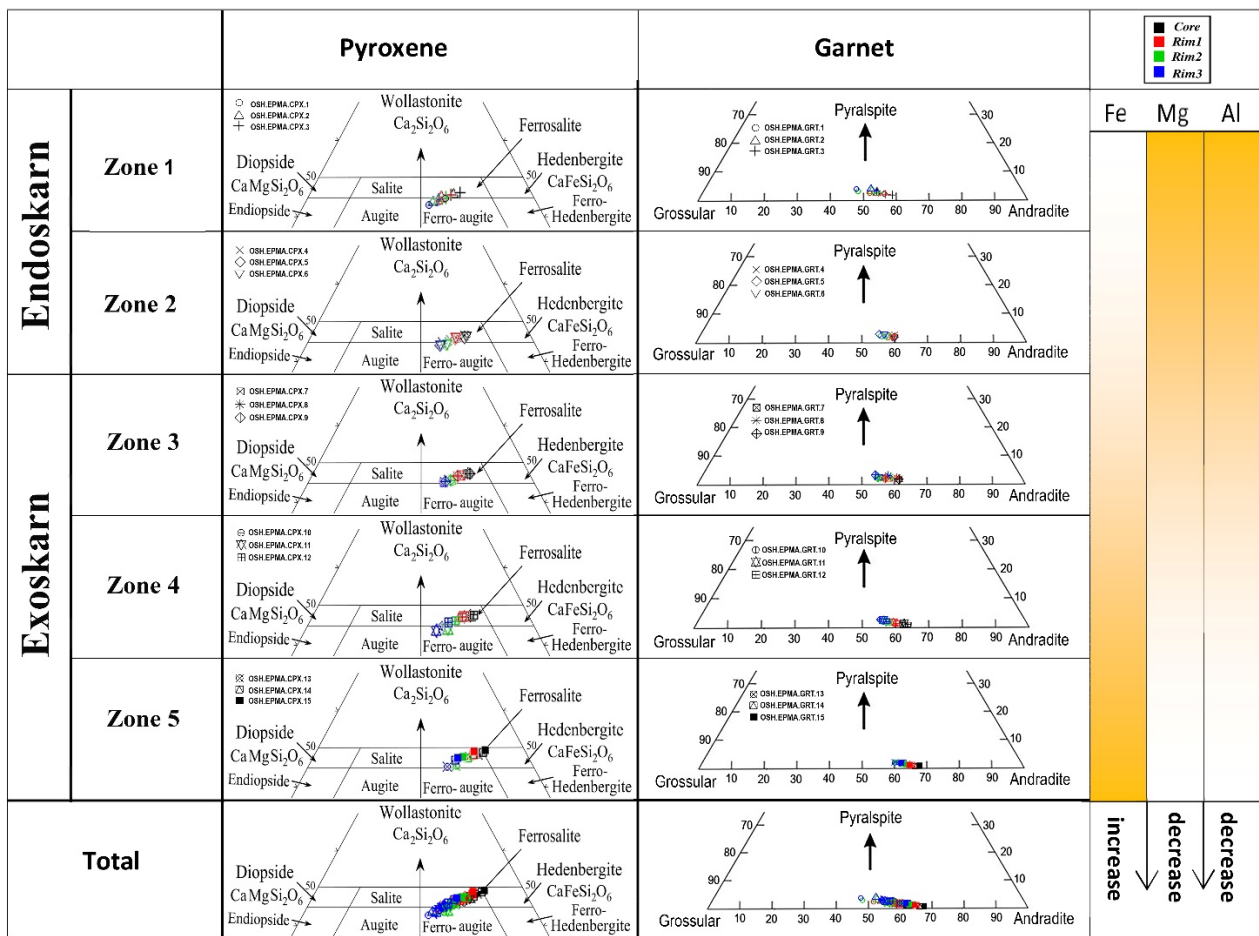
در اسکارن عشوند، اغلب گارنت‌ها به کانی‌های ثانویه دگرسان شده‌اند. شکل ۴ جایگاه هر نمونه بین سه ضلع مثلث آندرادیت-کانی‌های گروه پیرالسپیت-گراسولار و نتایج تجزیه نقطه‌ای بلورهای گارنت از مرکز به لبه بلور را نشان می‌دهد. ترکیب اغلب گارنت‌های این منطقه در گستره سری آندرادیت-گراسولار قرار دارد ( $Adr_{67.2} - 45.9$   $Gro_{50.1} - 31.8$ ) ( $Sps_{1.8} - 0.3$   $Prp_{2.5} - 0.6$ ). ارتباط بین ترکیب گارنت‌ها و نوع کانه فلزی موجود در اسکارن‌ها مانند کانسارهای اسکارنی مس، طلا، روی و آهن در نمودار مثلثی شکل ۵ آورده شده است.

#### دما فشارسنجی گارنت-کلینوپیروکسن

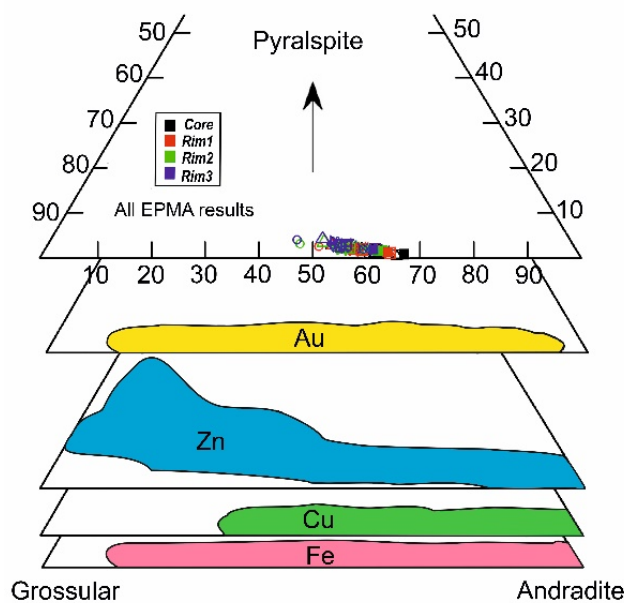
واکنش‌های دگرگونی می‌توانند بازتاب کننده شرایط فشار و دمای رخساره‌های دگرگونی باشند. برای مشخص نمودن این شرایط به داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی کانی‌ها نیاز است [۱۱]. تغییرات ترکیب شیمیایی در کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن طی اسکارنی شدن برای تعیین شرایط دما-فشار تشکیل این کانی‌ها مورد استفاده می‌شوند [۱۳،۱۲].

از اصول دماسنج‌های قراردادی، تبادل آهن و منیزیم بین کانی‌های فرومنیزیم‌دار است. در این رابطه می‌توان به روش‌های دماسنجی گارنت-کلینوپیروکسن اشاره کرد. با دماسنجی گارنت-کلینوپیروکسن بر اساس روش‌های مراجع [۱۴-۱۹] به ترتیب: 730-770, 580-680, 620-710, 580-660, 550-650, 620-720 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. بر اساس محاسبات انجام شده می‌توان چنین گفت که اسکارن عشوند نپاوند در فشار تقریبی ۱-۲ کیلو بار و عمق حدود ۵ کیلومتری تشکیل شده است. حضور کانی‌های بی‌آب اولیه چون کلینوپیروکسن و گارنت در بخش پیشرونده اسکارن می‌تواند گستره بالای دما و  $X_{CO_2}$  را در زمان تشکیل اسکارن مشخص کند [۲۱،۲۰]. در بیشتر اسکارن‌های دنیا،  $X_{CO_2}$  از ۰٫۰۵ تا





شکل ۴ ترکیب گارنت‌های برداشت شده از پهنه‌های مختلف اسکارن عشوند در نمودار سه تایی گروسولاریت - آندرادیت - پیرالسپیت و کلینوپیروکسن در نمودار سه تایی انستاتیت - ولاستونیت - فروسیلیت. از مرکز تا لبه بلورها بر اساس نتایج تجزیه نقطه‌ای.



شکل ۵ ترکیب گارنت‌های اسکارن عشوند در نمودار سه تایی گروسولار - آندرادیت - پیرالسپیت. نواحی سایه‌دار گستره ترکیب گارنت را برای ذخایر اسکارنی طلا، آهن، مس و روی نشان می‌دهند.

سایر اسکارن‌های مشابه که داده‌های حفاری ندارند تا حدی پی‌برد. ترکیب کانی‌های گارنت در منطقه اسکارن عشوند اغلب در گستره  $\text{Gr}_{50.1-31.8} \text{Sps}_{1.8-0.3} \text{Prp}_{2.5-0.6} \text{Adr}_{67.2-45.9}$  و بنابراین ترکیب گارنت‌های این منطقه در گستره اسکارن‌های آهن، طلا، مس قرار می‌گیرند (شکل ۵). بر پایه داده‌های زمین شیمیایی، از مرکز کانی‌های گارنت به سمت لبه، بتدریج مقدار آندرادیت کاهش و مقدار گراسولار، پیروپ و اسپسارتین افزایش می‌یابد. افزایش پیرالسپیت‌ها مانند پیروپ، آلماندن و اسپسارتین از مرکز بلورهای گارنت به سمت لبه با جانشینی آلومینیوم توسط آهن سه ظرفیتی ارتباط دارد که می‌تواند نتیجه افزایش  $f\text{O}_2$  طی رشد گارنت و تکامل سیال‌ها باشد [۲۴]. نتایج نشان می‌دهد که نسبت  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  در گارنت‌ها و پیروکسن‌های منطقه عشوند پایین است. همچنین این بلورها مقادیر پایینی از  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{MnO}$ ،  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  را دربر دارند و از عناصر آهن و کلسیم غنی هستند (جدول‌های ۱ و ۲). از این رو می‌توان گفت که پیروکسن‌ها و گارنت‌های این منطقه همزمان تشکیل شده‌اند و بنابراین دمای تشکیل هیدنبرژیت مشابه کانی‌های گروه پیرالسپیت بوده است. بر اساس بررسی‌های لیوو [۳۲]، پیرالسپیت و هیدنبرژیت می‌توانند به طور همزمان و در دماهای بین ۴۹۰ تا ۵۶۰ درجه سانتیگراد تشکیل شوند. افزون بر این، می‌توان گفت که طی رشد این بلورها گریزندگی اکسیژن ( $f\text{O}_2$ ) از مقادیر متوسط تا بالا بتدریج افزایش داشته و مقدار دما نیز تقریباً بالا بوده است [۳۳]. براساس شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانی‌های پیروکسن و گارنت و نتایج بررسی‌های کانه‌شناسی می‌توان نتیجه گرفت که شرایط اکسایش و کاهش محیط در آغاز دگرگونی پیشرونده اکسیدی بوده است. سپس با پیشرفت مراحل اسکارنی‌شدن، شرایط اکسیدی‌تر شده بطوریکه در پایان مرحله دگرگونی پیشرونده و آغاز دگرگونی پسرونده، محیط اسکارن در اکسیدی‌ترین حالت خود بوده، که نتیجه آن تشکیل کانی مگنتیت در پایان مرحله دگرگونی پیشرونده و آغاز دگرگونی پسرونده است. سپس با ادامه دگرگونی پسرونده، نخست کانی‌های سولفیدی چون پیریت، کالکوپیریت و حتی پیروتیت تشکیل می‌شوند. پس از آن با دخالت سیال‌های با خاستگاه جوی، شرایط محیط به سمت اکسیدی سوق می‌یابد که نتیجه آن تشکیل مقادیر بالای هماتیت در منطقه است.

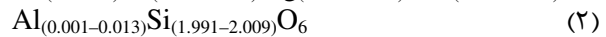
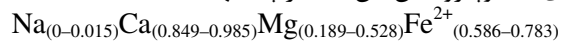
#### برداشت

تفسیر داده‌های تجزیه نقطه‌ای کانی‌ها از راه‌های بررسی چگونگی تکامل مایعات و شرایط دما و فشار تشکیل اسکارن طی رشد بلورها بوده که نتیجه آن شناسایی تکامل سیال‌ها بر

ترکیب شیمیایی گارنت‌های این منطقه به نهشته‌های اسکارنی نوع آهن-طلا-مس نزدیک است [۲۳-۲۶]. براساس محاسبات انجام شده می‌توان ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه عشوند نه‌اند را به صورت زیر پیشنهاد داد (نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۸]):



بخش زیادی از عنصر کلسیم موجود در نتایج تجزیه کانی‌های گارنت در ارتباط با کلریتی شدن درز و شکاف‌های موجود در گارنت، تراوش سیال‌های و نزدیکی به سنگ میزبان کربناتی تأمین شده است [۲۸،۲۷]. مقدار بسیار کم عنصر تیتانیوم در گارنت نشانگر فعالیت بالای  $\text{SiO}_2$  طی رشد بلور است [۲۹]. این مقدار کم گویای تفکیک نمایان بلورهای گارنت اسکارن و خاستگاه گرانیات است [۲۷،۲۶]. بخش زیادی از کانی‌های کلینوپیروکسن طی دگرگونی پس‌رونده به کانی‌های سیلیکاتی آهکی، دگرسان می‌شوند. درز و شکاف‌های بسیار ریز موجود در گارنت‌ها و کلینوپیروکسن‌های این منطقه را می‌توان عامل تراوش سیال‌ها و دگرسانی در مرحله دگرگونی پس‌رونده این اسکارن دانست. بررسی‌های سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که اکتینولیت از کانی‌های اصلی این کانسار بوده و ترکیب کلینوپیروکسن اغلب از نوع هیدنبرژیت است. ترکیب کانی‌شناسی کلینوپیروکسن بر اساس شش اتم اکسیژن محاسبه شد و بنابراین می‌توان ترکیب شیمیایی زیر را برای بلورهای کلینوپیروکسن این کانسار پیشنهاد داد.



نسبت‌های پیروکسن - گارنت می‌تواند بینش مهمی در مورد عوامل زمین‌شیمیایی اساسی چون شرایط اکسایش-کاهش محیط، ترکیب سنگ‌های نفوذی درگیر، رده‌بندی و پی‌جویی ذخایر اسکارنی در اختیار قرار دهد [۳۱،۳۰،۲۵،۲۳]. افزون بر این، ترکیب هیدنبرژیتی پیروکسن‌ها بطرف بخش‌های بیرونی اسکارن افزایش می‌یابد [۲۸،۲۵]. اغلب کانسارهای اسکارنی دارای منطقه‌بندی هستند و شناسایی این منطقه‌بندی برای پی‌جویی آنها بسیار مهم است. در این کانسار، کلینوپیروکسن‌های موجود در بخش‌های بیرونی اسکارن و نزدیک به سنگ میزبان کربناتی دارای هیدنبرژیت بیشتری نسبت به کلینوپیروکسن‌های موجود در بخش‌های درونی اسکارن و نزدیک به توده نفوذی هستند. از این نکته اکتشافی می‌توان در بخش‌هایی از کانسار که به دلایل فرسایشی بدون پوشش کربناتی است، برای پیش‌بینی جایگاه کنونی در فضای سه‌بعدی اسکارن استفاده نمود. همچنین براساس این نکته و بسط داده‌های اکتشافی می‌توان به جایگاه منطقه‌بندی اسکارن در فضای سه‌بعدی در

*polymetallic and gold mineralization of the Oshvand skarn, Nahavand (in Persian)*", Iran Journal Environmental Geology 17 (2012) 15-27.

[4] Movahedi M., Yazdi M., Behzadi M., "Mineralogy and skarn zonation in Cu-Au-Fe deposit of Oshvand, Nahavand", 12<sup>th</sup> National Congress of Geology, Payame Noor University, Qazvin, Iran (2020). (in Persian with English abstract)

[5] Movahedi M., Yazdi M., Behzadi M., "Mineralogy, geometry, and geochemistry of copper, gold, and Iron Oshvand Skarn deposits, Nahavand, Iran", 27<sup>th</sup> National Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran (2020).

[6] Movahedi M., Yazdi M., Behzadi M., "Mineralogy of alteration zones in Oshvand copper, gold, and iron skarn ore deposit based on remote sensing data", 27<sup>th</sup> National Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran (2020).

[7] Ahadnejad V., Valizadeh M. V., Deevsalar R., Rezaei-Kahkhaei M., "Age and geotectonic position of the Malayer granitoids: Implication for plutonism in the Sanandaj-Sirjan zone, W Iran", Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 261 (2011) 61-75. [DOI: 10.1127/0077-7749/2011/0149].

[8] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist Journal 95 (2010) 185-187.

[9] Hochella, M., "Aspects of structure and rheology of aluminosilicate melts." (1982): 3160-3160.

[10] Liou, J. G., "Synthesis and stability relations of epidote, Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>FeSi<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (OH)." Journal of Petrology 14.3 (1973): 381-413.

[11] Shahabpour J., "Economic geology", Kerman: Bahonar University (2006) 500.

[12] Dziggel A., Wulff K., Kolb J., Meyer F. M., Lahaye Y., "Significance of oscillatory and bell-shaped growth zoning in hydrothermal garnet: evidence from the Navachab gold deposit Namibia", Journal of Chemical Geology 262 (2009) 262-276. [DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.01.027]

[13] Lindsley D. H., "Pyroxene thermometry", American Mineralogist 68 (1983) 477-493.

[14] Ellis, D. J., and D. H. Green. "An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria." Contributions to Mineralogy and Petrology 71.1 (1979): 13-22.

[15] Ai, Y., "A revision of the garnet-clinopyroxene Fe<sup>2+</sup>-Mg exchange geothermometer." Contributions to Mineralogy and Petrology 115.4 (1994): 467-473.

[16] Ganguly, J., "Garnet and clinopyroxene solid solutions, and geothermometry based on Fe-Mg distribution coefficient." Geochimica et Cosmochimica Acta 43.7 (1979): 1021-1029.

اساس تغییر در ترکیب زمین زمین‌شیمیایی عناصر طی رشد کانی‌های پیروکسن و گارنت است. چنان که یافته‌های این پژوهش نشان داد، داده‌های تجزیه نقطه‌ای کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن در کانسار اسکارنی عشوند بینش مناسبی در مورد عوامل زمین‌شیمیایی اساسی مانند شرایط اکسایش و کاهش سیال‌ها، دما، فشار و رده‌بندی این ذخیره اسکارنی ارائه می‌دهد. افزایش پیوسته و تدریجی Fe<sup>+3</sup> از مرکز به لبه بلورهای گارنت را نیز می‌تواند به افزایش fO<sub>2</sub> طی رشد گارنت نسبت داد. ترکیب کلینوپیروکسن‌های این اسکارن اغلب هدرنرژیت تا دیوپسید (Fs<sub>41.2-30.6</sub> En<sub>26.6-9.5</sub> Wo<sub>49.3-42.8</sub>) با مقادیر کمی از عناصر Na, Ti, Al, Cr با نسبت Fe/(Fe + Mg) بین ۰/۵۲ تا ۰/۸ است. نتایج تجزیه نقطه‌ای بلورهای گارنت نشان می‌دهد که سری ترکیبی گراسولار تا آندرادیت (Gro<sub>50.1-31.8</sub> Adr<sub>67.2-45.9</sub> Sps<sub>1.8-0.3</sub> Prp<sub>2.5-0.6</sub>) با مقادیر کمی از تیتانیوم و نسبت Fe/(Fe+Al) بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۳ در بخش اسکارنی این منطقه گسترش دارد. ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه اسکارن عشوند مشابه گارنت‌های موجود در ذخایر اسکارنی طلا-مس آهن است. توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی عشوند با سیال‌های به نسبت اکسیدی به سایر ذخایر اسکارنی Au-Cu-Fe شباهت دارند. نتایج این پژوهش نشانگر تشکیل بخش پیش‌رونده این اسکارن در فشار ۱ تا ۲ کیلوبار، عمق حدود ۵ کیلومتری، دمای بیشینه حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، XCO<sub>2</sub> کمتر از ۰/۲ و گریزندگی اکسیژن ۱۶- تا ۲۷- است.

#### قدردانی

نویسندگان از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران به ویژه جناب آقایان مهندس برنا و مهندس ادیب که از حمایت‌ها و پی‌گیری‌هایشان طی انجام این پژوهش بهره‌مند بوده‌ایم سپاسگزارند همچنین، از سرکار خانم مهندس فرخنده خادمی که در بخش محاسبات دما و فشار، تجارب ارزنده خود را در اختیار ما قرار دادند و با دانش بالا و دقت نظر خود انجام این پژوهش را میسر نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

#### مراجع

- [1] Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations", Tectonophysics 229 (1994) 211-238. [Doi:10.1016/0040-1951(94)90030-2]
- [2] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals", Mineralogical Society of Great Britain and Ireland (2013). [DOI: https://doi.org/10.1180/DHZ]
- [3] Ghafari S. T., Yazdi M., Fodazi M., Taghilo A., Movahedi M., "Estimation of the reserve of

- [26] Ahmadnejad F., Zamanian H., Sameti M., "Geochemistry and economic potential of the Samen Granitoid Intrusion, Northwestern Iran: Implications for skarn mineralization", Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry 194 (2017) 175-203. [DOI: 10.1127/njma2017,0031]
- [27] Hwang S. L., Shen P., Yui T. F., Chu H. T., "On the mechanism of resorption zoning in metamorphic garnet", Journal of Metamorphic Geology 21 (2003) 761-769. [DOI: 10.1046/j.1525-1314.2003.00477.x]
- [28] Baghban S., Hosseinzadeh M. R., Moayyed M., Mokhtari M. A. A., Gregory D., "Geology, mineral chemistry and formation conditions of calc-silicate minerals of Astamal Fe-LREE distal skarn deposit, Eastern Azarbaijan Province, NW Iran", Ore Geology Reviews 68 (2015) 79-96. [DOI: 10.1016/j.oregeorev.2014.12.016]
- [29] Dingwell D. B., Brearley M., "Mineral chemistry of igneous melanite garnets from analcite-bearing volcanic rocks, Alberta, Canada", Contributions to Mineralogy and Petrology 90 (1985) 29-35.
- [30] Logan M. A. V., "Mineralogy and geochemistry of the Gualilán skarn deposit in the Precordillera of western Argentina", Ore Geology Reviews 17 (2000) 113-138. [DOI: 10.1016/S0169-1368(00)00009-3]
- [31] Somarin A. K., "Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran", Journal of Geochemical exploration 81 (2004) 47-57. [DOI: 10.1016/S0375-6742(03)00212-7]
- [32] Liou J. G., "Stability relations of andradite-quartz in the system Ca-Fe-Si-OH", American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials 59 (1974) 1016-1025.
- [33] Burt D. M., "Mineralogy and geochemistry of Ca-Fe-Si skarn deposits", (Doctoral dissertation, Harvard University) (1972).
- [17] Ganguly, J., Weiji, C., and Massimiliano, T., "Thermodynamics of aluminosilicate garnet solid solution: new experimental data, an optimized model, and thermometric applications." Contributions to Mineralogy and Petrology 126.1 (1996): 137-151.
- [18] Nakamura, D. "A new formulation of garnet-clinopyroxene geothermometer based on accumulation and statistical analysis of a large experimental data set." Journal of Metamorphic Geology 27.7 (2009): 495-508.
- [19] Berman, R. G., L. Ya Aranovich, and D. R. M. Pattison. "Reassessment of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer: II. Thermodynamic analysis." Contributions to Mineralogy and Petrology 119.1 (1995): 30-42.
- [20] Meinert, L. D., et al., "Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids." Economic Geology 98.1 (2003): 147-156.
- [21] Kwak, T. A. P. "Fluid inclusions in skarns (carbonate replacement deposits)." Journal of Metamorphic Geology 4.4 (1986): 363-384.
- [22] Einaudi, M. T., and MEINERT, LD., "Skarn deposits." (1981).
- [23] Meinert L. D., "Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits, Chemical evidence for genetic connection between petrogenesis and mineralization, in Thompson, J.F.H., ed, Magmas, fluids, and ore deposits, Min", Assoc Can Short Course Series 23 (1995) 401-418.
- [24] Einaudi M. T., Burt D. M., "Introduction; terminology, classification, and composition of skarn deposits", Economic geology 77 (1982) 745-754. [DOI: 10.29252/ijcm.26.1.229]
- [25] Zuo P., Liu X., Hao J., Wang Y., Zhao R., Ge S., "Chemical compositions of garnet and clinopyroxene and their genetic significances in Yemaquan skarn iron-copper-zinc deposit, Qimantagh, eastern Kunlun", Journal of Geochemical Exploration 158 (2015) 143-154. [DOI: 10.1016/j.gexplo.2015.07.011]