

# تعیین شرایط کانی‌سازی بر اساس داده‌های میانبرهای سیال در کانسار اسکارن عشوند، باختر ایران

مهرداد موحدی<sup>۱\*</sup>، محمد زیدی<sup>۲</sup> و مهرداد بهزادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

## چکیده

کانسار اسکارنی عشوند در اثر تزریق توده نفوذی فلسیک در سنگ‌های کربناته به سن پرمین و تریاس و تبادل یونی بین آنها تشکیل شده است. به‌منظور تعیین ویژگی‌های سیال کانه‌ساز، میانبرهای سیال در کانی‌های کوارتز و کلسیت زون کانی‌سازی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که در این کانی‌ها دو دسته میانبر سیال نوع (L+V) با شوری کم تا متوسط (صفر تا ۲۱/۶۱ درصد وزنی نمک طعام) و گستره دمای همگن‌شدگی ۱۴۹ تا ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد و نوع (V+L) با شوری کم تا متوسط (۶/۰۸ تا ۱۵/۶۷ درصد وزنی نمک طعام) و گستره دمای همگن‌شدگی ۳۳۸ تا ۴۴۸ درجه سانتی‌گراد وجود دارد که هر دو در مرحله پسروده اسکارن ایجاد شده‌اند. خاستگاه میانبرهای سیال نوع (L+V) ماگمایی-جوی و دگرگونی و نوع (V+L) سیالات دگرگونی هستند. فرایندهای آمیختگی هم‌دمای سیالات با شوری مختلف و رقیق‌شدگی سیالات بر اثر مخلوط شدن آب‌های جوی با سیالات ماگمایی-دگرگونی عوامل اصلی تکوین سیالات کانه‌ساز در این کانسار هستند. فشار سیالات در طول زمان تشکیل کانسنگ از کمتر از ۵۰ تا اندکی بیش از ۱۵۰ بار متغیر بوده و دمای تقریبی تشکیل کانسار بین ۲۰۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. بر این اساس می‌توان ژرفای تشکیل کانسار اسکارن عشوند را حدود ۶۵۰ متر نسبت به سطح ایستابی قدیمی تخمین زد.

## اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

ریزدماسنجی

میانبرهای سیال

اسکارن

عشوند

نهایند

باختر ایران

## ۲- روش پژوهش

پس از بررسی دقیق حدود ۱۲۰۰ متر مغزه‌های حفاری از ۱۲ گمانه اکتشافی حفر شده در محدوده عشوند که در انبار مغزه شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران نگهداری می‌شوند، در مجموع ۱۳۰ نمونه از ۱۲ گمانه انتخابی و نمونه‌های سطحی شامل ۴۴ نمونه جهت تهیه مقاطع صیقلی به‌منظور مطالعات کانه‌شناسی، ۳۶ نمونه جهت تهیه مقاطع نازک به‌منظور مطالعات سنگ‌شناسی، ۴۰ نمونه به‌منظور تجزیه شیمیایی به روش‌های ICP-MS و XRF و تعداد ۱۰ نمونه با هدف تهیه مقاطع نازک دوبرصیقل جهت تجزیه و تحلیل میانبرهای سیال انتخاب گردیدند. به منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریز دماسنجی میانبرهای سیال، تعداد ۱۰ مقطع نازک دوبرصیقل با ضخامت ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون (متوسط ۱۵۰ میکرون) حاوی کانی‌های کوارتز هم‌رشد با کانه‌زایی و کانی‌های کلسیت موجود در زون اسکارنی تهیه شدند و در نهایت، اندازه‌گیری بر روی تعداد ۱۲۰ میانبر سیال موجود در کانی‌های شفاف کلسیت و کوارتز انجام شد. به این منظور، کوارتزهایی برای اندازه‌گیری انتخاب شدند که با کانی‌های سولفیدی و مگنتیت موجود در زون اسکارنی رشد همزمان داشته و طی فرایند اسکارن‌زایی تشکیل شده‌اند.

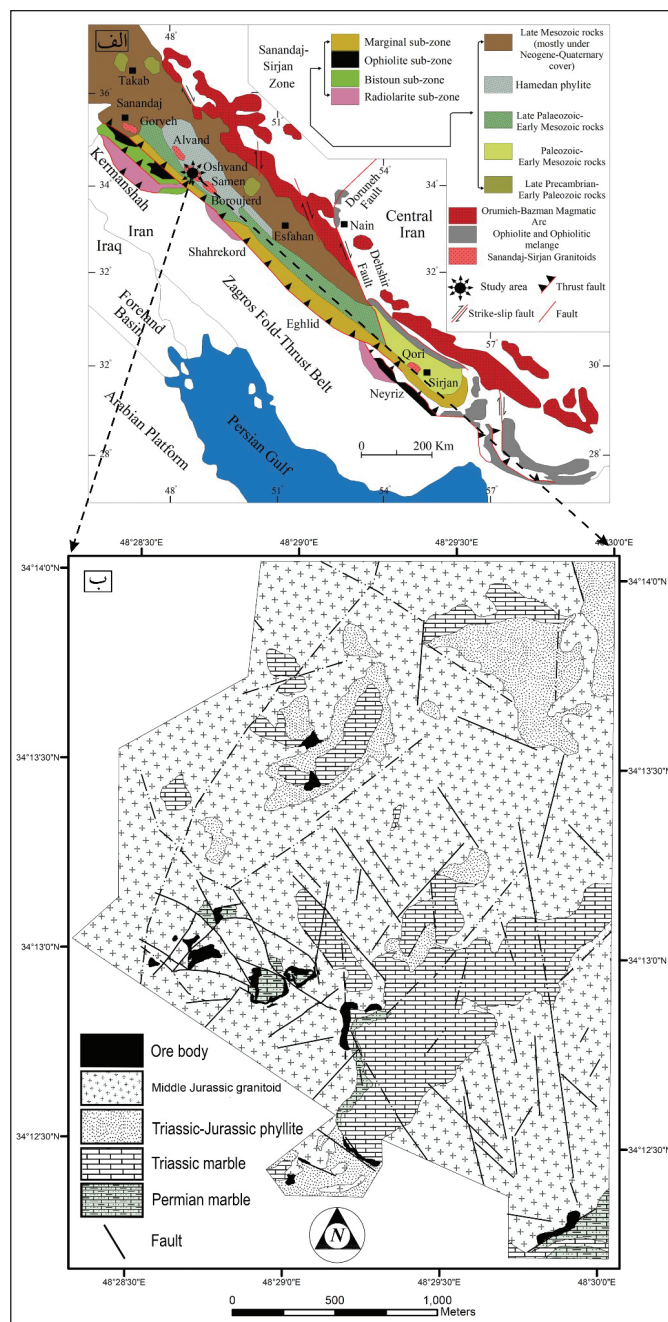
## ۱- پیش‌نویس

کانسار عشوند نهایند از جمله کانسارهای موجود در کمربند فلززایی سهندج-سیرجان است که در بخش شمال باختری آن واقع است. این کمربند در شمال زمین درز زاگرس با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری به‌طول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر قرار دارد (Alavi, 1994). در این زون، کانسارهای اسکارنی، سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی و بسیاری از کانسارهای مهم آهن و طلای ایران جای دارند. در چند سال اخیر، حفاری‌های اکتشافی و گسترده توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، امکان دستیابی به نمونه‌های زیرسطحی تا ژرفای ۱۰۰ متری و بررسی ژرفای و گسترده میانبرهای سیال در کانسار اسکارنی عشوند را فراهم آورده است. میانبرهای سیال از نظر داده‌های مفیدی که درمورد دما، فشار و ژرفا تشکیل کانسار و خاستگاه و تحولات رویدادهای بسیار مهم سیالات کانسارساز از قبیل دمای همگن‌شدگی و میزان شوری در اختیار قرار می‌دهند، حائز اهمیت می‌باشند. در این پژوهش سعی شده بر اساس بررسی میانبرهای سیال، ویژگی‌های سیالات تشکیل دهنده اسکارن و نیز شرایط دما و فشار در زمان تشکیل کانسار عشوند مورد بررسی قرار گیرند.

### ۳- جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

کانسار عشوند در ۱۰ کیلومتری خاور شهرستان نهاوند و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ همدان و ۱:۱۰۰۰۰۰ نهاوند، در بخش شمال باختری کمربند فلززایی سندج-سیرجان واقع شده است (غفاری و همکاران، ۱۳۹۱؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ الف). بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نهاوند، قدیمی‌ترین واحد سنگی محدوده مورد مطالعه را واحدهای کربناته پرمین تشکیل می‌دهند. این واحد که در زیر واحدهای کربناته تریاس قرار دارد، شامل سنگ‌های آهکی مرمری شده نازک لایه کرم رنگ متمایل به خاکستری می‌باشد. دیگر رخنمون‌های سنگی منطقه، توده گرانیتویدی عشوند است که سن ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۸۷ میلیون سال) را برای آنها پیشنهاد نموده‌اند (Ahadnejad et al., 2011). این واحد بیشترین گسترش را در محدوده مورد مطالعه داشته و بیش از ۵۰ درصد از جامعه سنگی این محدوده را تشکیل می‌دهد (شکل ۱؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ ب).

اندازه‌گیری ویژگی‌های دمایی در دو بخش سرمایش و گرمایش در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به وسیله Stage:THMS600 گرم کننده و منجمد کننده مدل Linkham که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب شده، صورت گرفته است. دامنه حرارتی دستگاه  $196^{\circ}\text{C}$  تا  $600^{\circ}\text{C}$  است. برای واسنجی دستگاه برای گرمایش با دقت  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  از استاندارد سزیم با نقطه ذوب  $27^{\circ}\text{C}$  و برای سرمایش با دقت  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  از استاندارد هگزان با نقطه ذوب  $94.3^{\circ}\text{C}$  استفاده شد. نرخ سرمایش بین  $2^{\circ}\text{C}$  تا  $8^{\circ}\text{C}$  در دقیقه متغیر بوده است. مطالعات سنگ‌نگاری میانبارهای سیال با بزرگنمایی‌های ۵۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ برابر انجام گرفته است. در ابتدا عملیات سرد کردن و پس از اندازه‌گیری پارامترهای مربوطه، عملیات گرم کردن صورت گرفته است. تجزیه XRF در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و تجزیه با دستگاه ICP-MS در آزمایشگاه زراآما انجام شد.

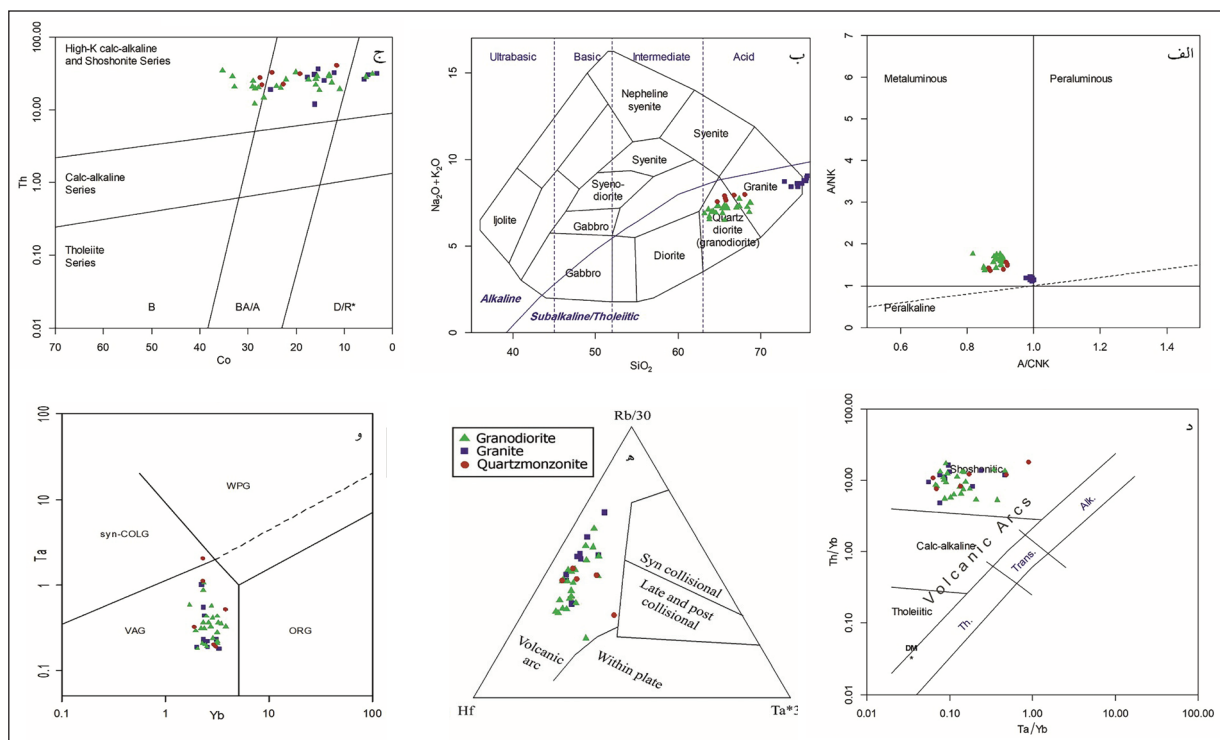


شکل ۱- (الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی زون سندج-سیرجان (با تغییرات از Mohajjel et al., 2003)، (ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده محدوده مورد مطالعه (موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ الف).

#### ۴- سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی توده نفوذی

(موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ ج). به دلیل عملکرد سیالات در مراحل مختلف اسکارنی شدن، دگرسانی‌های اپیدوتیتی شدن، کلریتی شدن و هماتیتی شدن در پهنه اسکارنی و در حاشیه توده نفوذی مرتبط با اسکارن، گسترش دارد. نمونه‌های گرانودیوریتی در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن دیده می‌شوند. بافت این سنگ‌ها نیز گرانولار است و کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول کانی‌های اصلی آنها را تشکیل می‌دهند. با توجه به بررسی‌های زمین‌شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های برداشت شده از این توده گرانیتیویدی، مقدار  $\text{SiO}_2$  نمونه‌ها بین ۶۳/۱۹ تا ۷۵/۵۹ درصد متغیر است. کلیه نمونه‌های برداشت شده از واحدهای نفوذی، در محدوده پتاسیم بالا، متآلومینوس و کالک‌آلکانال با ماهیت پتاسیم بالا تا شوشونیتی قرار می‌گیرند و از نوع گرانیت‌های تیپ ۱ مرتبط با فروران‌ش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای هستند (شکل ۲؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ الف).

بخش اعظم جامعه سنگی محدوده مورد بررسی را توده بزرگ گرانیتیویدی عشنود تشکیل داده که قاعده واحدهای کربناته را دگرگون نموده است. این واحد به درون مجموعه کربناته نفوذ نموده و در تماس با این بخش‌ها، سبب تبادل یونی و تشکیل زون اسکارنی شده است. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی انجام شده بر روی نمونه‌های برداشت شده از این توده نفوذی، ترکیب آن شامل گرانیت، گرانودیوریت تا کوارتزمونزونیت هستند. نمونه‌های گرانیتی این توده بیشتر رنگ خاکستری روشن دارند و بلورهای شکل‌دار ارتوز در زمینه‌ای از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز و بیوتیت مشخص هستند. این نمونه‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی، بافت گرانولار دارند و بلورهای پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و کوارتز بیشترین حجم سنگ را تشکیل داده‌اند. آمفیبول، کلینوپروکسن و بیوتیت به عنوان کانی‌های فرعی و با مقادیر کمتر در این سنگ‌ها وجود دارند



شکل ۲- موقعیت نمونه‌های برداشتی از توده نفوذی گرانیتیویدی عشنود بر روی نمودارهای مختلف سنگ‌شناسی (موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ الف). الف) نمودار A/NK در برابر A/CNK (Shand, 1943). ب) تعیین نام سنگ بر اساس میزان  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  (Middlemost, 1994). ج) نمودار Th در برابر Co (Hastie et al., 2007). د) نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce et al., 1984). و) تعیین موقعیت ژئوتکتونیکی بر اساس پراکندگی عناصر جزئی (Pearce et al., 1984).

#### ۶- کانی‌سازی

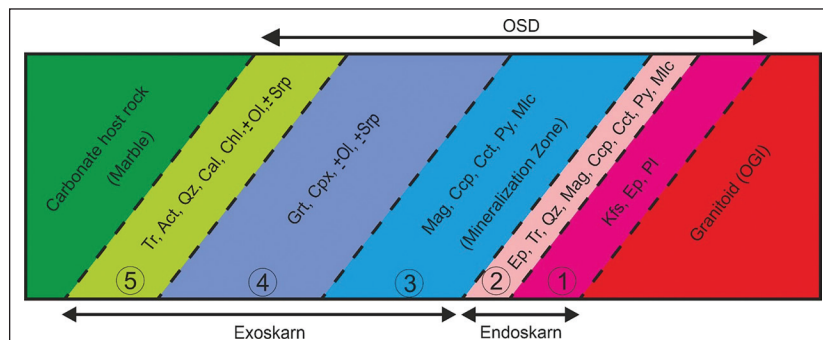
در کانسار اسکارنی عشنود، کانه‌زایی فلزی اغلب در بخش برون اسکارن متمرکز است و به‌طور کلی همراه با دگرسانی‌های سیلیسی شدن، هماتیتی شدن، سریستی شدن، اپیدوتی شدن و کلریتی شدن به شکل عدسی‌ها و رگه-رگچه‌هایی در بخش گارنت-اپیدوت اسکارن پدید آمده‌اند (شکل ۴). ترکیب کانی‌شناسی فلزی شامل طلا، مگنتیت، پیریت، پیرویت و سولفیدهای مس شامل کالکوپیریت، بورنیت و نیز کانی‌های فاز برون‌زاد شامل کالکوسیت، کوولیت، هماتیت و گوتیت و نیز کربنات‌های مس شامل مالاکیت و آزوریت می‌باشند (شکل ۵). مگنتیت اغلب به شکل عدسی و گاه‌ا رگچه‌ای است. همچنین، سولفیدهای مس به‌صورت پراکنده و رگه-رگچه‌ای حضور دارند. مطالعات میکروسکوپی و تعیین روابط تقدم و تأخر تشکیل کانی‌ها

#### ۵- سنگ‌نگاری پهنه اسکارنی

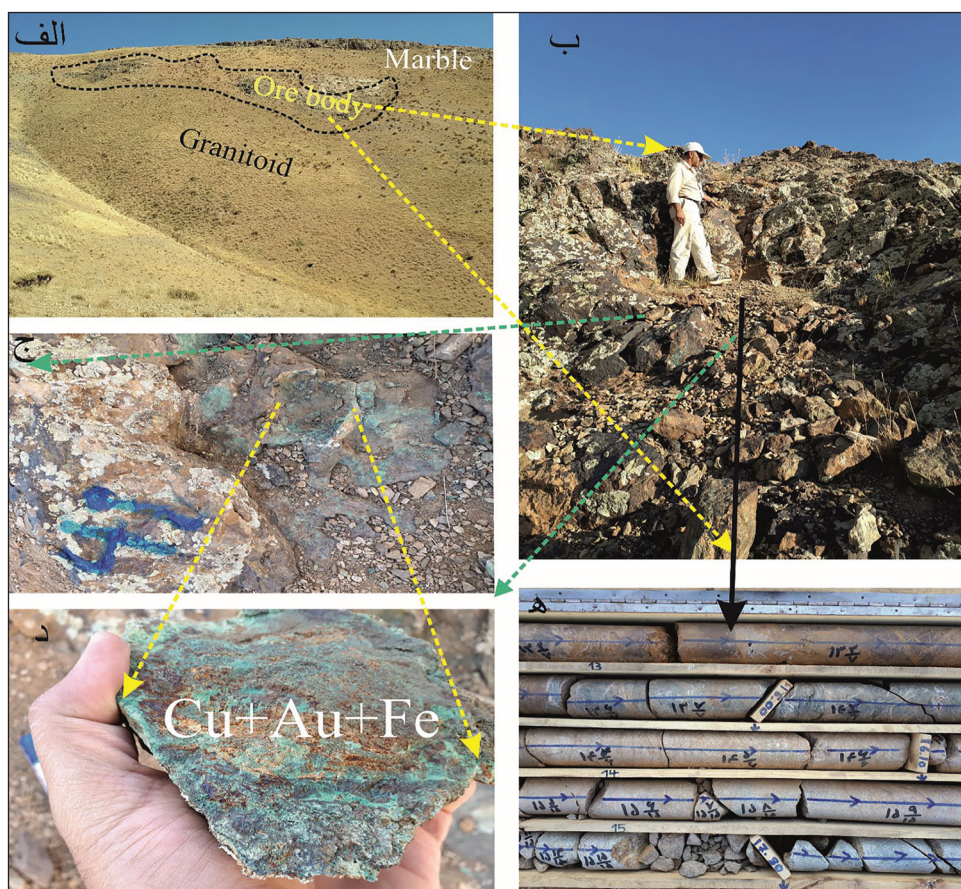
در مرز توده‌های نفوذی با واحدهای کربناته، یک هاله واکنشی اسکارنی گارنت-اپیدوت‌دار قهوه‌ای رنگ، به‌صورت نواری باریک به سترای ۲۰ تا ۴۰ متر گسترش دارد که ارتباط آن با توده گرانیتی به‌صورت مرزی با واکنش تدریجی است و به دو بخش درون اسکارن و برون اسکارن قابل تفکیک است. در نمونه دستی، سنگ‌های هاله اسکارنی، رنگ سبز روشن تا قهوه‌ای دارند و کانی‌های گارنت، کلریت و اپیدوت در متن سنگ آشکارا دیده می‌شود. از نظر میکروسکوپی، این سنگ‌ها دارای بافت گرانوبلاستیک و پورفیروبلاستیک هستند و کانی‌های اصلی شامل گارنت، اپیدوت، کلینوپروکسن، سرپانتین، ترمولیت، اکتینولیت، کلریت، کوارتز، کلسیت، فلدسپات پتاسیک و سریست می‌باشند (شکل ۳؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ الف).

شرایط تشکیل کانسارهای سولفیدی و بخشی از کانسارهای اکسیدی پی‌برد. مطالعات گسترده انجام گرفته بر روی کانسارهای اسکارنی مشابه در مناطق مختلف دنیا نشانگر تشکیل بخش اصلی ماده معدنی در این مرحله و در ارتباط با افزایش گریزندگی اکسیژن در اثر آمیختگی با سیالات جوی است (غارسی و همکاران، ۱۳۹۷؛ (Lingang et al., 2010; Duan et al., 2014; Zamanian et al., 2017

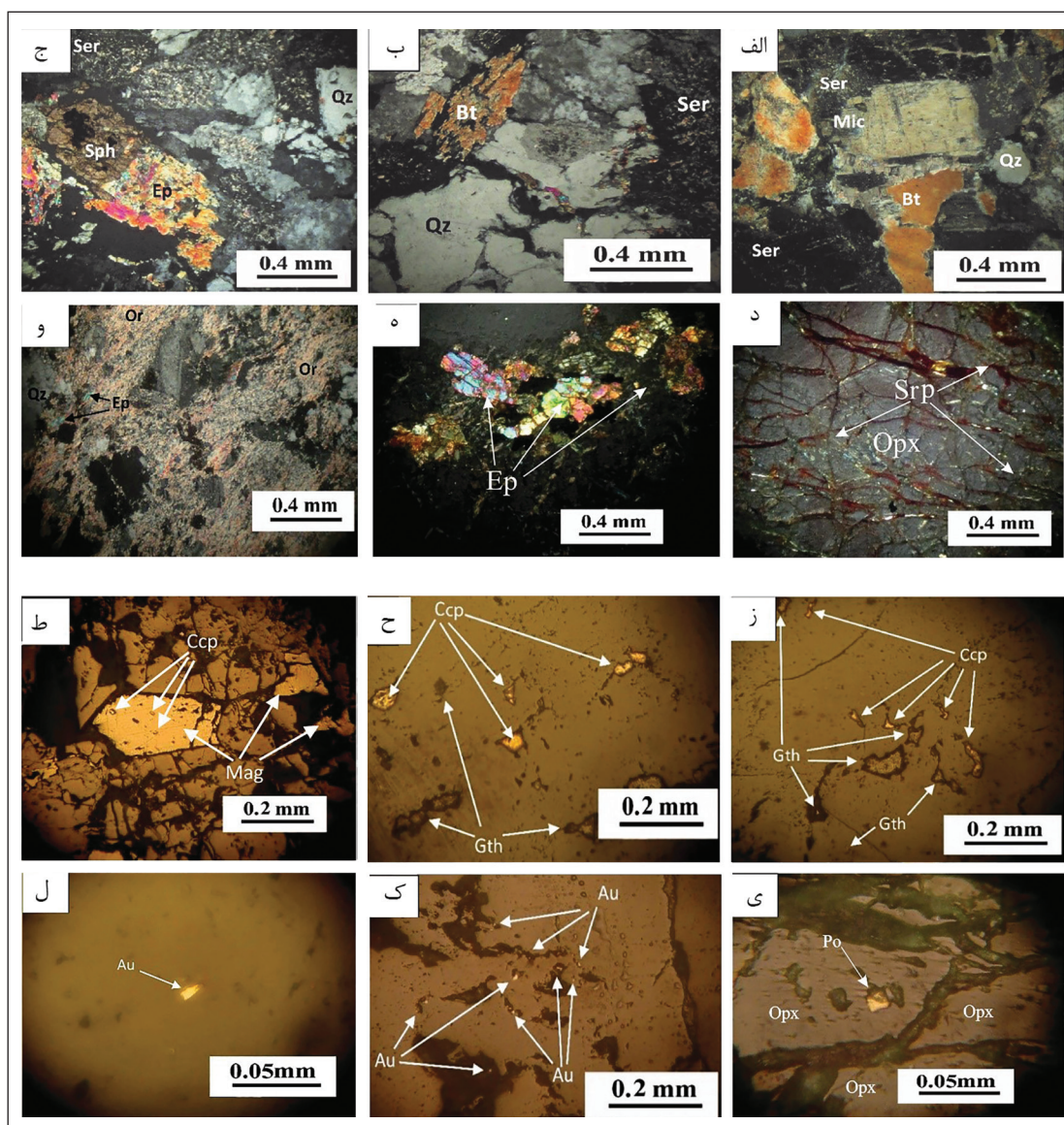
بیانگر آن است که قسمت عمده کانه‌زایی شامل طلا، مگنتیت، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت و بورنیت در مرحله دگرگونی برگشتی تشکیل شده‌اند (موحدی و همکاران، ۱۳۹۹ الف). از آنجا که کانی کوارتز در اکثر بخش‌های دمایی تشکیل کانسارهای سولفیدی و بخشی از کانسار اکسیدی (مگنتیت) همزمان با این کانه‌ها تشکیل شده است، می‌توان با اندازه‌گیری ویژگی‌های میانبارهای سیال این کانی، به



شکل ۳- موقعیت هاله اسکارنی عشوند (OSD) نسبت به توده گرانیتی و واحدهای کربناته پرمین و تریاس و موقعیت درون اسکارن و برون اسکارن و زیرمجموعه‌های قابل تفکیک آنها بر اساس کانی‌ها و کانه‌های شاخص هر زیر مجموعه. Tr = ترمولیت، Act = اکتینولیت، Qz = کوارتز، Ol = اولیون، Srp = سرپانتین، Cal = کلسیت، Chl = کلریت، Grt = گارنت، Cpx = کلینوپروکسن، Mag = مگنتیت، Ccp = کالکوپیریت، Cct = کالکوسیت، Py = پیریت، Mlc = ملایت، Ep = اپیدوت، Kfs = فلدسپات پتاسیک، Pl = پلاژیوکلاز (خط چین نشانگر تدریجی بودن این مرزها است (علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010).



شکل ۴- الف) نمایی از موقعیت یکی از بخش‌های اسکارنی در مجاورت توده نفوذی در کانسار عشوند. بخش اسکارنی، درون خط چین سیاه رنگ و بخش زیرین، توده نفوذی گرانیتوبیدی و بخش بالایی، واحد کربناته (دید به شمال خاور). ب) نمایی نزدیک‌تر از بخش کانه‌زایی برون اسکارن و محل حفر گمانه BH-3 (دید به خاور). ج) نمایی نزدیک‌تر از بخش کانه‌زایی شده. د) نمونه دستی بخش کانه‌زایی حاوی مس، طلا و مگنتیت. ه) تصویر بخشی از گمانه BH-3 حفر شده در موقعیت شکل ب.



شکل ۵- تصاویر مقاطع نازک و صیقلی از توده‌های نفوذی، درون اسکارن و برون اسکارن کنسار عشوند الف و ب) وجود کانی‌های کوارتز، میکروکلین و بیوتیت همراه با سریستی شدن پلاژیو کلازا و بافت گرانولار در کوارتز مونزونیت. ج) اپیدوتیتی شدن و سریستی شدن توده گرانودیوریتی در بخش درون اسکارن. د) جانشینی سرپانتین در درز و شکاف‌های کانی ارتوپروکسن. ه) اپیدوت‌های موجود در بخش درون اسکارن. و) فراوانی کانی ارتوز در توده نفوذی گرانیتی. ز، ح) گوتیت و کالکوپیریت پراکنده در میزبان سیلیکاته. ط) رشد کالکوپیریت در شکستگی‌ها و بین بلورهای مگنتیت. ی) ادخال پیرویت در کانی ارتوپروکسن. ل، ک) ذرات طلای آزاد در بخش برون اسکارن. Qz = کوارتز، Ser = سریست، Mic = میکروکلین، Bt = بیوتیت، Sph = اسفن، Ep = اپیدوت، Srp = سرپانتین، Opx = ارتوپروکسن، Or = ارتوز (علامت اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010)).

دارای خاستگاه‌های متعدد جوی، ماگمایی و دگرگونی باشند، اما نقش آب‌های جوی و ماگمایی پررنگ‌تر است (غارسی و همکاران، ۱۳۹۷). میان‌بارهای سیال می‌تواند اطلاعات مهمی در ارتباط با دما، درجه شوری و فشار سیالات در زمان به دام افتادن ارائه دهند (Goldstein, 2001). از ۱۲۰ میان‌بار اندازه‌گیری شده، تعداد ۱۰۶ میان‌بار، اولیه و تعداد ۱۴ میان‌بار، ثانویه کاذب بوده‌اند. اندازه میان‌بارهای سیال در این کانسار بین ۵ تا ۲۶ میکرون بوده است اندازه میان‌بارهای سیال در کانی‌های کلسیت بین ۵ تا ۸ میکرون و در کانی‌های کوارتز بین ۵ تا ۲۶ میکرون است. شکل میان‌بارهای سیال در بعضی موارد توسط خواص بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود (Van den Kerkhof and Hein, 2001). رایج‌ترین اشکال میان‌بارهای سیال در نمونه‌ها، چند وجهی‌های نامنظم و کشیده و در برخی موارد اشکال بلورین منفی هستند (شکل ۶).

در فاز پروژنزد نیز افزون بر تشکیل کالکوسیت و کولیت، هیدروکسیدهای آهن و کربنات‌های مس (آزوریت و مالاکیت) نیز تشکیل شده‌اند. در نتیجه عملکرد پدیده اسکارنی شدن و چرخش سیالات در محیط، دگرسانی‌های متعدد اپیدوتیتی شدن، کلریتی شدن، سیلیسی شدن، هماتییتی شدن، سریستی شدن، در بخش اسکارنی و توده‌های نفوذی مجاور اسکارن گسترش دارد (شکل ۵).

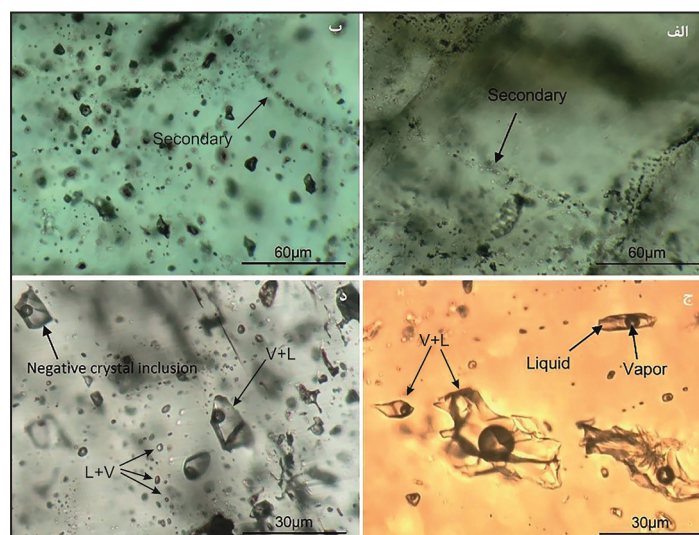
## ۷- بررسی میان‌بارهای سیال

بررسی دمای تشکیل کانسارها، شوری و ترکیب شیمیایی سیالات کانه‌ساز و فشار حاکم بر محیط در شناخت نوع کانه‌سازی منطقه و ارائه الگوی پی‌جویی بسیار مهم و کارساز است (Beane, 1983). سیالاتی که در میان‌بارها به دام افتاده‌اند، می‌توانند

داده و حجم حباب‌های گاز نسبت به فاز مایع کمتر است. این میانبارها در هنگام گرم کردن، به مایع همگن می‌شوند. از ۱۲۰ میانبار بررسی شده، ۱۱۵ نمونه (حدود ۹۶ درصد) از این نوع هستند. کلیه نمونه‌های کلسیت از نوع مایع-گاز (L+V) هستند (شکل ۶).  
**- نوع دوفازی مایع-گاز (L+V):** این نوع شامل میانبارهایی هستند که بخش اعظم میانبار را فاز گاز تشکیل می‌دهد و در موقع گرم کردن، به گاز همگن می‌شوند. تعداد ۵ میانبار (حدود ۴ درصد) از این نوع هستند.

به‌منظور طبقه‌بندی میانبارهای سیال بر اساس نسبت‌های مختلف فازهای جامد، مایع و گاز از دستورالعمل‌نش که روشی رایج است، استفاده شد (Nash, 1976). بر اساس سنگ‌نگاری صورت گرفته بر روی ۱۰ نمونه، ۲ نوع میانبار سیال تشخیص داده شده که عبارتند از:

**- نوع دوفازی مایع-گاز (L+V):** این نوع، بیشترین میانبارهای سیالی هستند که در این کانسار مشاهده شده‌اند در این نوع، بخش اعظم حجم میانبارها را فاز آبگون تشکیل

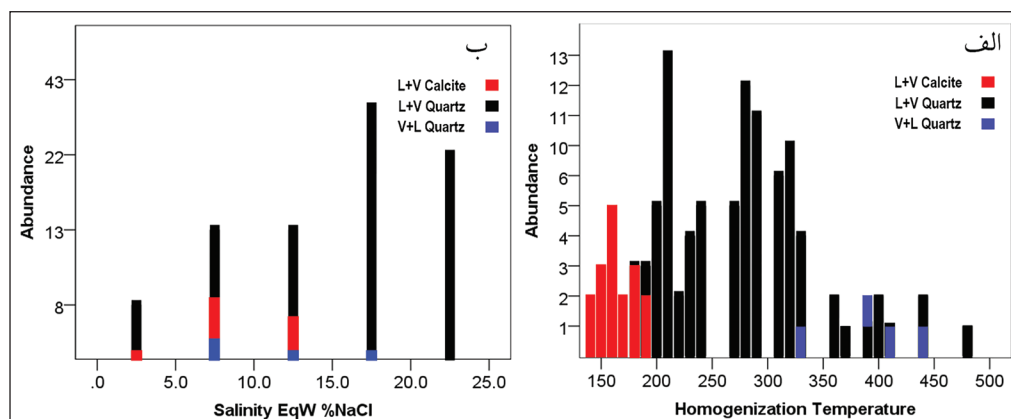


شکل ۶- الف) نمایی از میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) و غنی از گاز (V+L). در این تصویر زنجیره‌ای از میانبارهای سیال ثانویه به چشم می‌خورد که در شکستگی‌های بلور تشکیل شده‌اند. ب) نمایی دیگر از پراکنندگی میانبارهای سیال در بلور کوارتز. ج) نمایی از میانبار دوفازی (L+V). د) میانبار دوفازی (L+V) به شکل بلورین منفی و میانبارهای ریز V+L در بلور کوارتز.

## ۸- آزمون سرمایش

روابط مختلف محاسبه نمود (Potter et al., 1978; Shepherd et al., 1985; Roedder, 1984). بر این اساس، میانبارهای سیال موجود در کانی‌های کوارتز دارای گستره شوری صفر تا ۲۱/۶۱ با میانگین ۱۵/۲۸ درصد برای میانبارهای سیال نوع (L+V) و شوری ۶/۰۸ تا ۱۵/۶۷ با میانگین ۹/۸۲ درصد برای میانبارهای سیال نوع (V+L) و میانبارهای سیال موجود در کانی‌های کلسیت که تنها از نوع (L+V) هستند، دارای گستره شوری ۳/۵۹ تا ۱۲/۲۹ با میانگین ۸/۰۴ درصد می‌باشند (شکل ۷ و جدول ۱).

با ثبت میزان تغییرات درجه انجماد میانبارهای سیال می‌توان میزان شوری سیالات کانه‌ساز را محاسبه نمود. دمای ذوب نخستین بلور یخ در سیستم  $\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$  تقریباً برابر با  $20/8^\circ\text{C}$  است. در نمونه‌های بررسی شده، دمای هم‌گدازی (Te) بین  $21/3^\circ\text{C}$  تا  $26/4^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد است که نشانگر آن است که اصلی‌ترین نمک موجود در میانبارهای سیال این کانسار، کلرید سدیم است (Viti and Frezzotti, 2001; Zangeneh et al., 2017). میزان شوری میانبارهای سیال را می‌توان با استفاده از مقادیر دمای هم‌گدازی در سیالات، نمودارها و



شکل ۷- الف) نمودار میله‌ای مقادیر دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال. ب) نمودار میله‌ای مقادیر شوری در میانبارهای سیال.

جدول ۱- نتایج ریزدماسنجی میانبرهای سیال.

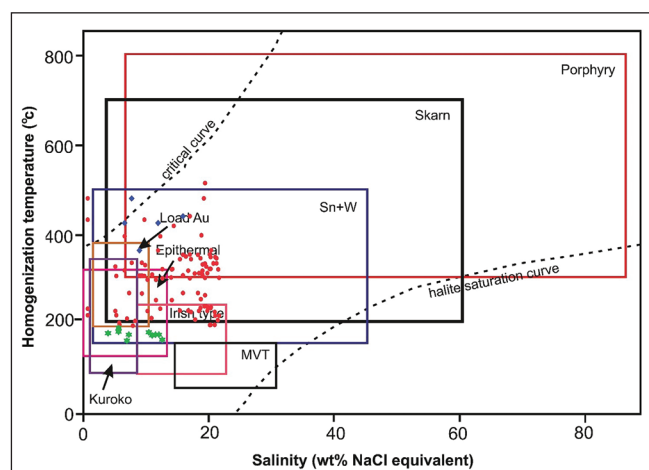
| کانی میزبان | فاز | تعداد میانبر | اندازه<br>( $\mu\text{m}$ ) | شوری<br>%  | دمای همگن‌شدگی<br>Th (total) ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|-------------|-----|--------------|-----------------------------|------------|-----------------------------------------------------|
| Quartz      | L+V | 98           | 5-15                        | 0-21.61    | 180-480                                             |
| Calcite     | L+V | 17           | 5-8                         | 3.59-12.29 | 149-195                                             |
| Quartz      | V+L | 5            | 2-6                         | 6.08-15.67 | 338-448                                             |

## ۹- آزمون گرمایش

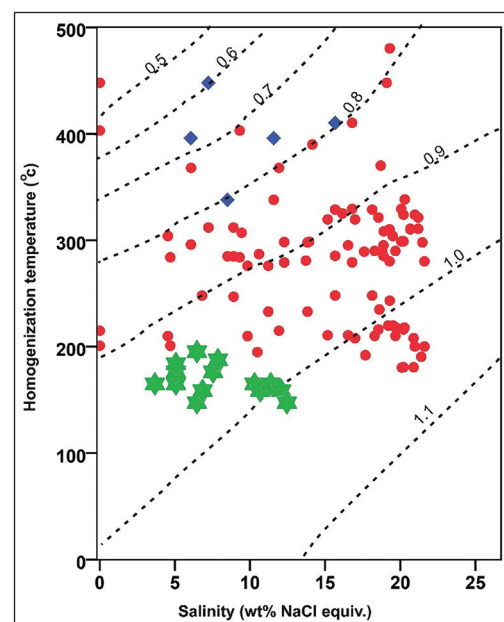
کانی‌های کوارتز برابر با  $397/7$  درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷ و جدول ۱). براساس نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی (Zhang and Frantz, 1987)، (شکل ۸).

چگالی میانبرهای سیال برای میانبرهای نوع (L+V) موجود در کانی کوارتز،  $0/59$  تا  $0/99\text{g/cm}^3$  و در کانی کلسیت،  $0/79$  تا  $0/83\text{g/cm}^3$  (V+L)،  $0/58$  تا  $0/83\text{g/cm}^3$  به دست آمد (شکل ۸). باتوجه به نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال (Wilkinson, 2001)، همه میانبرهای سیال در گستره کانه‌زایی اسکارن قرار می‌گیرند (شکل ۹).

با همگن‌کردن فازهای درون میانبرهای سیال به فاز مایع یا گاز و تعیین دمای همگن‌شدگی، حداقل دمای تشکیل کانسار محاسبه گردید که بر این اساس، میانبرهای سیال نوع (L+V) با میزبانی کانی کلسیت در بازه  $149$  تا  $195$  درجه سانتی‌گراد و با میزبانی کانی کوارتز در بازه دمایی  $180$  تا  $480$  درجه سانتی‌گراد و میانبرهای سیال نوع (V+L) با میزبانی کانی کوارتز در بازه دمایی  $338$  تا  $448$  درجه سانتی‌گراد همگن شده‌اند (شکل ۷ و جدول ۱). میانگین دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال (L+V) موجود در کانی‌های کوارتز  $281$  و در کانی‌های کلسیت  $170/2$  درجه سانتی‌گراد و برای میانبرهای سیال (V+L) موجود در



شکل ۹- نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری میانبرها در کانسارهای مختلف (Wilkinson, 2001) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه. بیضی‌های قرمز (L+V) در کانی کوارتز، لوزی‌های آبی (V+L) در کانی کوارتز و ستاره‌های سبز رنگ (L+V) در کانی کلسیت.



شکل ۸- نمودار تعیین چگالی میانبرها (Zhang and Frantz, 1987). بیضی‌های قرمز (L+V) در کانی کوارتز، لوزی‌های آبی (V+L) در کانی کوارتز و ستاره‌های سبز رنگ (L+V) در کانی کلسیت.

## ۱۱- تکوین سیالات سازنده کانسار عشوند

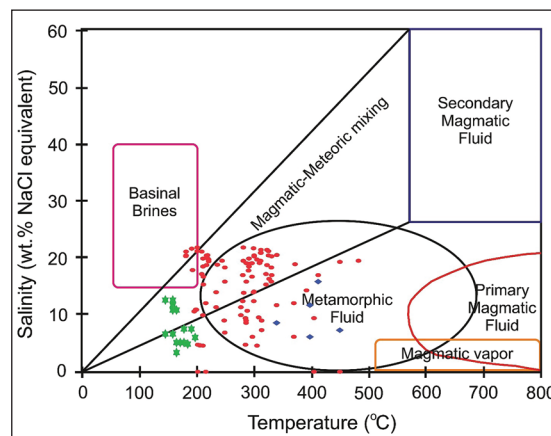
عواملی مانند تغییر ناگهانی دما، تغییر فشار، واکنش سیالات کانه‌ساز با سنگ میزبان، جوشش و آمیختگی سیالات در شکل‌گیری ذخایر معدنی و نهشت کانه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند (Barnes, 1979). جوشش و آمیختگی سیالات دو عامل مهم در فوق اشباع شدن سیالات و تشکیل شرایط لازم در ته‌نشست کانه‌ها در

## ۱۰- خاستگاه سیالات کانه‌ساز

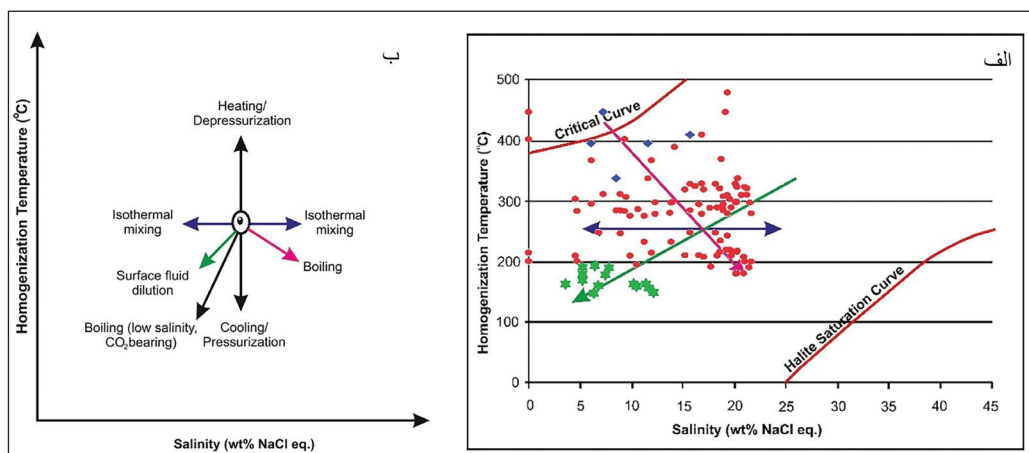
برای تعیین خاستگاه سیالات کانه‌ساز موجود در میان بارهای سیال، از نمودار (Beane 1983) استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، میان بارهای نوع (L+V) از خاستگاه سیالات دگرگونی و سیالات ترکیبی ماگمایی-جوی و میانبرهای نوع (V+L) از خاستگاه سیالات دگرگونی هستند (شکل ۱۰).

کوکاد در کوارتزهای منطقه نیز این نتیجه را تداعی می‌کند که پدیده جوشش با شدت کمتری در این منطقه اتفاق افتاده است. به باور (Drummond and Ohmoto, 1985)، پدیده اختلاط سیالات سبب کاهش دمای سیستم، کاهش دمای انحلال سیالات و کاهش انحلال‌پذیری عناصر کانه‌ساز و در نهایت نهشت ماده معدنی می‌شود. بنابراین، اختلاط هم‌دمای سیالات با منشأ جوی و دگرگونی که در میانبرهای سیال نوع (L+V) دیده می‌شود، نشانگر رخداد فرایند آمیختگی سیالات با درجه شوری بالا با سیالات با درجه شوری متوسط تا پایین ولی با دمای تقریباً یکنواخت و در نتیجه آن، تشکیل کانی‌سازی آهن به همراه ذخایر سولفیدی است. در مرحله بعدی، مخلوط شدن آب‌های جوی با سیالات ماگمایی در مرحله دگرگونی پسروده منجر به ناپایداری هم‌بافت‌های کلریدی و سولفیدی و در نتیجه آن، ته‌نشست کانه‌های سولفیدی می‌شود. نمودار شکل ۱۰ خاستگاه ترکیبی سیالات ماگمایی-جوی و دگرگونی را برای این دسته از میانبرها تأیید می‌کند از آنجا که محدوده مورد مطالعه در زون دگرگونی سندیج-سیرجان واقع است و در این زون در دوران دوم زمین‌شناسی، فازهای مختلف کوه‌زایی و شرایط دگرگونی ناحیه‌ای به‌صورت فراگیر حاکم بوده است، وجود سیالات با منشأ دگرگونی در محیط، قابل انتظار است و به‌نظر می‌رسد قرارگیری برخی از میانبرهای سیال در این گستره، با این دلیل قابل توجیه باشد.

سنگ‌های میزبان می‌شوند (Wilkinson, 2001; Zareie et al., 2016). به‌منظور بررسی فرایندهای تکوین سیالات کانه‌ساز بر اساس شوری‌های اندازه‌گیری شده نسبت به دمای همگن‌شدگی، از نمودار ارائه شده توسط (Wilkinson, 2001) استفاده گردید (شکل ۱۱). اکثر نمونه‌های بررسی شده بین دو منحنی اشباع نمک طعام و منحنی بحرانی و تعداد ۳ نمونه در بالای منحنی بحرانی قرار می‌گیرند که دلیل آن ممکن است آمیختگی آب‌های با شوری بالا با آب‌های با شوری کم و یا جوشش سیالات با شوری زیر ۱۰ درصد باشد (Wilkinson, 2001; Zareie et al., 2016). چنانچه در شکل ۱۱ دیده می‌شود، پراکندگی شوری‌های اندازه‌گیری شده نسبت به دمای همگن‌شدگی در میانبرهای سیال دارای سه روند متفاوت جوشش، آمیختگی هم‌دما و رقیق‌شدگی سطحی سیالات است. همه این فرایندها مربوط به فاز دگرگونی پسروده هستند. فرایندهای جوشش، آمیختگی هم‌دما و رقیق‌شدگی سطحی سیالات از عوامل مهم در ناپایداری همبافت‌های کلریدی و سولفیدی است که همزمانی نهشت آهن، مس و طلا در بخش‌های اسکارنی و سپس تشکیل فازهای سولفیدی در مراحل پایانی کانی‌سازی را به همراه دارد که در اثر کاهش ناگهانی فشار در شکستگی‌های منطقه ایجاد شده‌اند (Tale fazel et al., 2011). مشاهده دو نوع متفاوت میان‌برهای سیال، عدم مشاهده بافت‌های مشخصه پدیده جوشش از قبیل بافت‌های نواری، داربستی و



شکل ۱۰- نمودار تعیین خاستگاه سیالات گرمایی بر اساس داده‌های شوری و دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال (Beane, 1983). بیضی‌های قرمز (L+V) در کانی کوارتز، لوزی‌های آبی (V+L) در کانی کوارتز و ستاره‌های سبز رنگ (L+V) در کانی کلسیت.

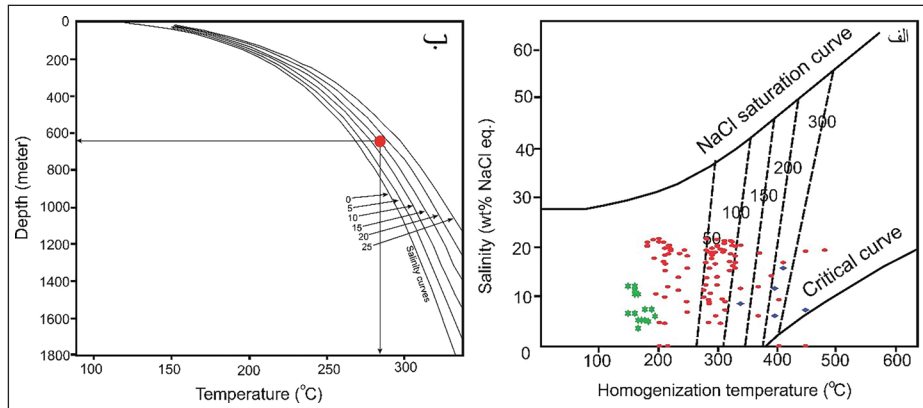


شکل ۱۱- تعیین منشأ سیالات گرمایی با استفاده از نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری. با توجه به الگوی پراکندگی داده‌های منطقه، سه روند جوشش، آمیختگی هم‌دما و رقیق‌شدگی سطحی سیالات ماگمایی-دگرگونی قابل پیشنهاد است (Wilkinson, 2001). دایره‌های قرمز (L+V) در کانی کوارتز، لوزی‌های آبی (V+L) در کانی کوارتز و ستاره‌های سبز رنگ (L+V) در کانی کلسیت.

## ۱۲- ژرفای تشکیل کانسار

میانبرهای سیال نوع (L+V) و نوع (V+L) (هر دو متعلق به کانی کوارتز) که به ترتیب برابر با ۱۵/۲۸ و ۹/۸۲ می‌باشد و مقادیر میانگین دمای همگن‌شدگی دو نوع میانبر، ژرفای کانی‌سازی حدود ۶۵۰ متر نسبت به سطح ایستایی قدیمی برآورد می‌شود که با شواهد به دست آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری از جمله بافت کانی‌ها و همچنین با فشار سیالات به دست آمده از نمودار (Ahmad and Rose (1980) همخوانی دارد (شکل ۱۲-الف).

جهت تعیین ژرفای کانی‌سازی نسبت به سطح ایستایی قدیمی، از نمودار (Haas (1971) استفاده شده است (شکل ۱۲-ب). در این نمودار، صفر ایستایی مربوط به آب خالص است و منحنی‌های بعدی، فشار ایستایی را با توجه به میزان شوری سیالات نشان می‌دهند. از آنجا که در این منطقه، جوشش (هرچند با شدت کم) اتفاق افتاده است، از این رو، تصحیح فشار بر روی نتایج حاصل از میانبرهای سیال انجام نگرفت با توجه به مقادیر میانگین شوری



شکل ۱۲ - الف) نمودار تعیین فشار سیالات بر اساس میزان شوری و دمای همگن‌شدگی میانبرها بر حسب بار (bar) (Ahmad and Rose, 1980). ب) نمودار تعیین ژرفای به دام افتادن میانبرها بر اساس دمای همگن‌شدگی میانبرها و شوری سیالات در زمان به دام افتادن میانبر بر اساس میانگین دمای شوری و دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال موجود در کانی‌های کوارتز (Haas, 1971).

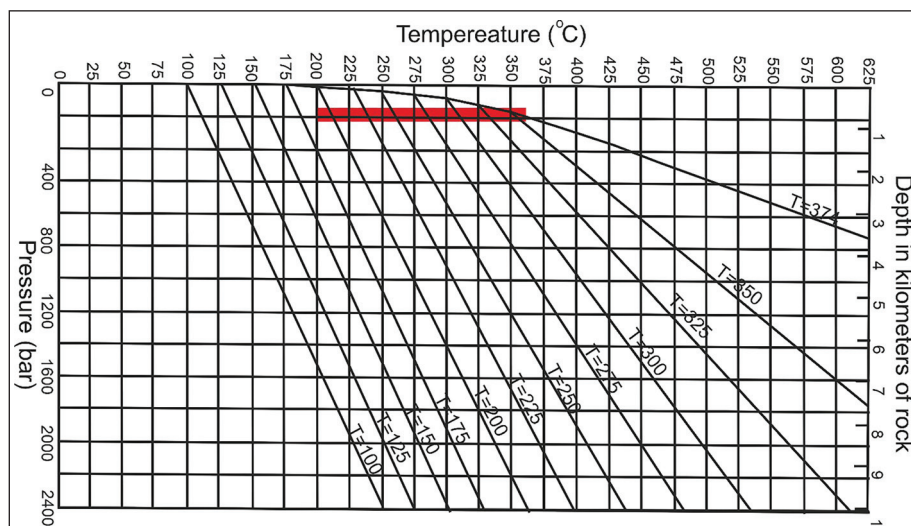
بیضی‌های قرمز (L+V) در کانی کوارتز، لوزی‌های آبی (V+L) در کانی کوارتز و ستاره‌های سبز رنگ (L+V) در کانی کلسیت.

## ۱۴- دمای تشکیل کانسار

بر اساس مقادیر دمای همگن‌شدگی همه میانبرهای سیال و فشار سیال کانه‌ساز با استفاده از نمودار ارائه شده توسط Kendy (1950) و با توجه به شکل ۱۲-الف، اغلب میانبرهای سیال در محدوده فشار کمتر از ۵۰ تا اندکی بیش از ۱۵۰ بار تشکیل شده‌اند و دمای یکنواخت‌شدن سیالات که در گستره ۱۴۹-۴۸۰ °C قرار دارد و این نکته که اغلب اعداد به دست آمده در بازه ۱۹۰-۳۵۰ °C قرار می‌گیرند، دمای نهایی تشکیل کانسار شامل فازهای اکسیدی و سولفیدی را می‌توان حدوداً بین ۲۰۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفت (شکل ۱۳).

## ۱۳- فشار سیالات در زمان شکل‌گیری اسکارن

برای تعیین فشار وارد بر سیالات در زمان شکل‌گیری اسکارن از نمودار ارائه شده توسط Ahmad and Rose (1980) استفاده شد (شکل ۱۲-الف). بر این اساس، فشار سیالات در مرحله دگرگونی پسرونده با استفاده از هر دو میانبر سیال، اغلب در محدوده فشاری کمتر از ۵۰ تا اندکی بیش از ۱۵۰ بار قرار می‌گیرند و تمام میانبرها زیر منحنی اشباع کلرید سدیم قرار گرفته‌اند و تعداد ۳ میانبر زیر منحنی بحرانی قرار دارند ( $T_s NaCl < T_h$ ). بر این اساس، فشار وارد بر سیالات کانی‌ساز به طور میانگین در حدود ۱۰۰ بار بوده است که با ژرفای تشکیل کانسار که حدود ۶۵۰ متر به دست آمده است، همخوانی دارد (شکل ۱۲-ب).



شکل ۱۳- نمودار تعیین دمای تشکیل کانسار بر اساس دمای همگن‌شدگی نهایی میانبرها و فشار- عمق معین سیالات در زمان تشکیل کانسار (Kendy, 1950).

## ۱۵- نتیجه گیری

در اثر اختلاط با آب‌های سطحی است. وجود مقادیر زیاد هماتیت در این کانسار در نتیجه تجزیه سولفیدها و مگنتیت‌های اولیه به دلیل افزایش گریزندگی اکسیژن در محیط و نیز ایجاد دگرسانی شاخص اپیدوتیتی و کلریتی همراه با کانه‌زایی در پهنه اسکارنی در اثر آب‌پوشی و دیگر نهادهای یون  $H^+$ ، نشان‌دهنده عملکرد چرخش آب‌های جوی در پهنه‌های خرد شده ناشی از صعود ماگما و آمیختگی این سیال‌ها با سیالاتی با خاستگاه ماگمایی-دگرگونی در مرحله دگرگونی برگشتی اسکارن و تأیید کننده نتایج بررسی میانبارهای سیال در این مورد است. داده‌های میانبارهای سیال مانند فشار و دمای تشکیل کانسار که از کمتر از ۵۰ تا بیش از ۳۰۰ بار و بین ۳۶۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، نشانگر تشکیل کانسار عسوند در ژرفای حدود ۶۵۰ متری نسبت به سطح ایستایی در زمان تشکیل کانسار است.

کانه‌زایی در کانسار عسوند از طریق تزریق توده گرانیتویدی عسوند به سن ژوراسیک میانی با ویژگی گرانیتویدهای کالک‌آلکال با گرایش پتاسیم بالا تا شوشونیتی حاصل از فرورانش، به درون واحدهای کربناته پرمین و تریاس و تبدیل آنها به اسکارن صورت گرفته است. در این کانسار پدیده جوشش اتفاق افتاده است ولی شاهدهی بر پدیده جوشش گسترده در مرحله پسرونده اسکارن در بررسی میانبارهای سیال و سنگ‌نگاری دیده نشده است و بنابراین با توجه به مشاهده ۲ دسته میانبارهای سیال  $V+L$  و  $L+V$  با شوری کم تا متوسط در نمونه‌ها و بررسی‌های انجام شده، خاستگاه آنها ترکیبی از سیالات ماگمایی-جوی و دگرگونی است و با توجه به روند تکوین میانبارهای سیال، می‌توان چنین نتیجه گرفت که عامل اصلی نهشت کانه‌ها در این کانسار، آمیختگی هم‌دما و رقیق‌شدگی سیالات ماگمایی-دگرگونی

## کتابنگاری

- غارسی، م.، رسا، ا.، یزدی، م.، ۱۳۹۷- بررسی کانی‌سازی اسکارن مزرعه، شمال اهر، با تأکید بر مطالعه میانبارهای شاری؛ مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی، دوره ۲۶، شماره ۱، ص. ۲۲۹-۲۴۴.
- غفاری، س. ط.، یزدی، م.، فودازی، م.، تقی‌لو، ع.، موحدی، م.، ۱۳۹۱- تعیین ذخیره اسکارن پلی‌متال و طلای اندیس عسوند، نهاوند. فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست، دوره ۱۷، صفحه ۱۵-۲۷.
- موحدی، م.، یزدی، م.، بهزادی، م.، ۱۳۹۹ الف- کانی‌شناسی و تعیین زون‌های اسکارنی در نهشته مس-طلا-آهن عسوند نهاوند. دوازدهمین همایش زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، قزوین، ایران.
- موحدی، م.، یزدی، م.، بهزادی، م.، ۱۳۹۹ ب- کانی‌شناسی، ژئومتری و ژئوشیمی مس، طلا و آهن نهشته اسکارنی عسوند، نهاوند، ایران. بیست و هفتمین همایش ملی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران دانشگاه بیرجند، ایران.
- موحدی، م.، یزدی، م.، بهزادی، م.، ۱۳۹۹ ج- کانی‌شناسی و تفکیک زون‌های دگرسانی در نهشته مس-طلا-آهن عسوند نهاوند بر اساس داده‌های تصاویر ماهواره‌ای. بیست و هفتمین همایش ملی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران دانشگاه بیرجند، ایران.

## References

- Ahadnejad, V., Valizadeh, M. V., Deevsalar, R., and Rezaei-Kahkhaei, M., 2011- 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(1): 61-75. DOI: 10.1127/0077-7749/2011/0149.
- Ahmad, S. N., and Rose, A. W., 1980- Fluid Inclusions in Porphyry and Skarn Ore at Santa Rita, New Mexico. *Economic Geology*, 75: 229-250. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.75.2.229>.
- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3): 211-238. Doi: 10.1016/0040-1951(94)90030-2.
- Barnes, H. L., 1997- *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. John Wiley, New York.
- Beane, R. E., 1983- The Magmatic-Meteoritic Transition, *Geothermal Resources Council, Special Report*, 13: 245-253.
- Drummond, S. E., and Ohmoto, H., 1985- Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *Economic Geology*, 80: 126-147.
- Duan, S., Zhang, Z., Jiang, Z., Zhao, J., Zhang, Y., Li, F., and Tian, J., 2014- Geology, geochemistry, and geochronology of the Dundee iron-zinc ore deposit in western Tianshan, China. *Ore Geology Reviews*, 57: 441-461. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.08.019>.
- Goldstein, R. H., 2001- Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems. *Lithos*, 55(1): 159-192. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00044-X).
- Haas, J. L., 1971- The Effect of Salinity on the Maximum Thermal Gradient of a Hydrothermal System at Hydrostatic Pressure. *Economic Geology*, 66: 940-946. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.66.6.940>.
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A., and Mitchell, S., 2007- Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Geology and geological evolution of Jamaica*, 48(12): 2341-2357. DOI: 10.1093/petrology/egm062.
- Kendy, G. C., 1950- Pneumatolysis and the liquid inclusion method of geologic thermometry. *Economic Geology*, 45: 533-547. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.45.6.533>.
- Lingang, X., Jingwen, M., Fuquan, Y., Hennig, D., and Jianmin, Z., 2010- Geology, geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39: 423-440. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.04.005>.

- Middlemost, E. A., 1994- Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3-4): 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9).
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L., and Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21.4: 397-412. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4)
- Nash, J. T., 1976- Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration, US Geol. Surv. Prof. Paper 907 D 16 p.
- Pearce, J. A., Harris, N. B., and Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>.
- Potter, R. W., Clynnne, M. A., and Brown, D. L., 1978- Freezing Point Depression of Aqueous Sodium Chloride Solution. *Economic Geology*, 73: 284-285. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.73.2.284>.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions, *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, Virginia, 12: 640p.
- Shand, S. J., 1943- Eruptive rocks their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite. John Wiley and Sons, New York.
- Shepherd, T., Rankin, A. H., and Alderton, D. H. M., 1985- A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blackie, London 239p.
- Tale fazel, E., Mehrabi, B., Khakzad, A. and Kianpour, R., 2011- Stages and Mineralization Conditions of Dardvey Iron Skarn Based on Mineralogy and Fluid Inclusion Evidences, Sangan Area (Khorasan Razavi). *Scientific quarterly journal of geosciences*, 82: 139-150. Doi: 10.22071/GSJ.2011.54450.
- Van den Kerkhof, A. M., and Hein, U. F., 2001- Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55: 27-47. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2).
- Viti, C., and Frezzotti, M. L., 2001- Transmission electron microscopy applied to fluid inclusion investigations. *Lithos* 55: 125-138. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00042-6).
- Whitney, D. L., and Evans, B. W., 2010-Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am Mineral*, 95(1): 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55: 229- 272. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5).
- Zamanian, H., Sameti, M., Pazoki, A., Barani, N., and Ahmadnejad, F., 2017- Thermobarometry in the Sarvian Fe-skarn deposit (Central Iran) based on garnet–pyroxene chemistry and fluid inclusion studies. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(3), p.54. Doi: 10.1007%2Fs12517-016-2785-z.
- Zangeneh, M., Boumeri, M., and Biabangard, H., 2017- Investigation of skarn formation using petrographic, mineral chemistry and fluid inclusion data, south west of Khaf, (southeast of Razavi Khorasan Province). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 1: 35-48.
- Zareie, R., Zamanian, H., Pazouki, A., Barani, N., and Zaal, F., 2016- Mineral chemistry and temperature condition investigations of the Sarvian Iron ore deposit (Markazi province, Delijan city). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 3: 435-448.
- Zhang, Y. G., and Frantz, J. D., 1987- Determination of homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>- H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology*, 64: 335-350. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90012-X).

## Original Research Paper

# Determination of mineralization conditions based on fluid inclusions data in the Oshvand- Skarn deposit, W of Iran

Mehrdad Movahedi<sup>1\*</sup>, Mohammad Yazdi<sup>2</sup> and Mehrdad Behzadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received: 2020 December 30

Accepted: 2021 April 05

Available online: 2021 December 22

### Keywords:

Microthermometry

Fluid inclusion

Skarn

Oshvand area

Nahavand

W of Iran

## ABSTRACT

The Oshvad skarn type deposit was formed during the intrusion of a felsic mass into the Permian and Triassic carbonate rocks and ion exchange occurred between the intrusion mass and these units. In order to determine the properties of the mineralizing fluid in this skarn, several fluid inclusions in quartz and calcite minerals of the mineralization zone were analyzed. The results show that these minerals have two types of fluids inclusion. The first group includes L+V type, low to medium (0 to 21.61%) salinity, and with homogenization temperature of 194 to 480°C. The second group includes V+L type, low to moderate (6.08 to 15.67%) salinity, and homogenization temperature of 338 to 448°C. The origin of L+V type fluid inclusions are magmatic-meteoric and metamorphic type and V+L fluid inclusions are metamorphic type. Mixing and dilution of fluids occurred during the mixing of meteoric waters with magmatic-metamorphic fluids. These processes are the main factors of mineralization in this deposit. Fluid inclusions data show that fluid pressure has been 50 to 150 bars during the ore-forming minerals. Also, the fluid temperature has been between 200 to 360°C. The data suggest that the ore minerals have been formed in depth of 650 meters lower than the old water table.

\* Corresponding author: Mehrdad Movahedi; E-mail: mehrdad.movahedi@gmail.com

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2021.263309.1871

 dor: 20.1001.1.10237429.1400.31.4.6.5



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)