

# منشأ کانسار آهن همیرد، شمال خاور سمنان: با استفاده از مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار (S, C, O)

مریم حاجی‌بهرامی<sup>۱</sup>، نادر تقی‌پور<sup>۲</sup> و قاسم قربانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۰۸

## چکیده

کانسار آهن همیرد در شمال خاور سمنان و در مرز پهنه ساختاری البرز جنوبی و شمال ایران مرکزی قرار گرفته است. توده نفوذی نیمه‌آتشفشانی با ترکیب مونزونیت-مونزودیوریت به درون سنگ‌های رسوبی آهکی، آذرآواری (معادل سازند کرج با سن ائوسن میانی) نفوذ کرده است. کانه‌زایی آهن در محل تماس توده با این سنگ‌ها رخ داده است. حضور گسترده همایت همراه با مقادیر فرعی مگنتیت، گوتیت، لیمونیت، پیریت، دولومیت، باریت و کلسیت از ویژگی‌های مهم کانی‌زایی در کانسار آهن همیرد است. کانی‌زایی به شکل رگه‌ای و عدسی‌هایی با ترکیب همایت و مقدار کمتر مگنتیت است. برای تعیین منشأ و ارائه مدل ژنتیکی کانسار آهن همیرد به مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد، کربن و اکسیژن پرداخته شده است. مطالعات سنگ‌نگاری نمونه‌های کوارتزی ۵ گروه از میانبارهای سیال و نمونه باریتی ۴ گروه از میانبارهای سیال را در کانسار همیرد نشان می‌دهند. میانبارهای سیال نمونه‌های کوارتزی، تک‌فازی مایع، تک‌فازی گاز، دوفازی غنی از مایع، دوفازی غنی از گاز و سه‌فازی مایع-جامد-گاز هستند. میانبارهای سیال سه‌فازی مایع-جامد-گاز در نمونه باریتی دیده نشده است. مطالعات داماسنجی انجام شده میانبارهای سیال کوارتز و باریت (دو فازی غنی از مایع) بیشترین فراوانی همگن‌شدگی را در گستره دمایی ۲۵۰ تا ۱۰۰ و ۱۵۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین فراوانی شوری را در گستره NaCl ۲۰-۱۰ و ۵-۰٪ نشان می‌دهد. میانبارهای سیال سه‌فازی دارای فاز هالیت در نمونه کوارتزی با بیشترین فراوانی همگن‌شدگی در گستره دمایی ۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین فراوانی شوری در گستره NaCl ۴۰-۳۰ هستند. مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  کانی پیریت در کانسار همیرد میان  $2/2\text{‰}_{\text{CDT}}$  تا  $7/4\text{‰}_{\text{CDT}}$  است. مقادیر  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^{34}\text{S}$  کانی باریت این کانسار به ترتیب دارای محدوده میان  $13/6\text{‰}$  تا  $20/2\text{‰}$  نسبت به CDT و  $10/2\text{‰}$  تا  $12/1\text{‰}$  نسبت به VSMOW است. دامنه تغییرات ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن کانی کلسیت به ترتیب میان  $3/4\text{‰}$  تا  $4/5\text{‰}$  نسبت به VPDB و  $17/76\text{‰}$  تا  $19/16\text{‰}$  نسبت به VSMOW در تغییر است. نتایج حاصل از مطالعات داماسنجی میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن، کربن و گوگرد کانسار آهن همیرد، آمیختگی سیال‌های ماگمایی و جوی را به عنوان منشأ محلول‌های گرمایی بیان کرده است. احتمالاً کانی‌زایی در کانسار آهن همیرد همانند کانسارهای اسکارن آهن است.

**کلیدواژه‌ها:** میانبارهای سیال، ایزوتوپ‌های پایدار، همیرد، اسکارن، سمنان.

\*نویسنده مسئول: نادر تقی‌پور

E-mail: taghipour@du.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

در استان سمنان یک کمربند کانی‌زایی آهن وجود دارد که از شمال سمنان شروع می‌شود و تا جنوب و جنوب خاور شاهرود ادامه دارد. در شمال و شمال خاور سمنان معادن نوکه، شیخ‌آب و همیرد قرار گرفته که هر یک دارای ذخیره قابل توجهی بوده و در حال استخراج هستند. در جنوب دامغان معادن پنج‌کوه، رباعی و چالو و به سوی جنوب جنوب خاور شاهرود معدن آهن لجنه قرار دارد. کانسار آهن همیرد در ۷۴ کیلومتری شمال خاور استان سمنان قرار گرفته است. این محدوده با مختصات جغرافیایی  $36^{\circ} 42'$  تا  $36^{\circ} 43'$  طول‌خاوری و  $48^{\circ} 53'$  تا  $53^{\circ} 50'$  عرض‌شمالی، بخشی از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام را در بر گرفته است. این ناحیه در ارتفاع متوسط ۱۹۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. در تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری ایران، منطقه مورد مطالعه در مرز پهنه ساختاری البرز جنوبی و شمال ایران مرکزی قرار دارد. در منطقه مورد مطالعه به‌جز یک نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده است مطالعه جامع دیگری صورت پذیرفته است. در حال حاضر محدوده معدنی سنگ آهن همیرد فعال و در حال بهره‌برداری و استخراج است. تعیین ویژگی‌های کانسار آهن و تفکیک آنها بر حسب ژن و توزیع مکانی می‌تواند اطلاعات سودمندی را از دید اکتشاف و بهره‌برداری در اختیار پژوهشگران قرار دهد. با استفاده از مطالعه میانبارهای سیال می‌توان اطلاعات زیادی در مورد دمای تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آنها، چگالی سیال سازنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیال‌های کانی‌ساز بدست آورد (Pirajno, 1992). نقش داماسنجی میانبارهای سیال در شناخت ترکیب شیمیایی سیال‌ها، فشار و دمای حاکم بر محیط

سیال اثبات شده است (Singoyi & Zaw, 2001). ایزوتوپ‌های پایدار در حل مسائل زمین‌شناسی به‌ویژه مطالعه کانسارها اهمیت زیادی دارند. مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار، روش مناسبی برای مطالعه عناصر H, C, N, O است. این عناصر تشکیلات اصلی سیال‌های مهم زمین‌شناسی هستند؛ بنابراین امکان مطالعه مستقیم سیال‌های یادشده و اثرات واکنش سیال و سنگ را فراهم می‌کنند. ایزوتوپ‌های پایدار برای تعیین منشأ یک عنصر، دیرینه داماسنجی و همچنین مطالعه سازوکارهای انتشار و واکنش در فرایندهای زمین‌شناسی به کار می‌روند (Hoefs, 2004). در این مقاله سعی شده است با مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار، به منشأ سیال گرمایی و مدل زایشی احتمالی کانسار پی برد.

## ۲- روش مطالعه

کانی‌های کوارتز و باریت مناسب‌ترین کانی‌های شفاف برای مطالعه میانبارهای سیال در کانسار آهن همیرد هستند. به منظور شناسایی ماهیت سیال کانه‌ساز از دید دما و شوری، از رگه‌های کوارتزی و باریتی ۱۰ مقطع نازک دوبر سقیل تهیه شده است. در پایان، ۵۱ میانبار سیال از نمونه کوارتزی و ۳۹ میانبار سیال از باریت رگه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری میانبارهای سیال، مطالعات ریزداماسنجی توسط دستگاه لینکام مدل THMSG600 در دانشگاه دامغان و با روش‌های گرمایش (Heating) و سرمایش (Freezing) روی نمونه‌ها انجام شد. به منظور انجام مطالعات ایزوتوپی کانسار آهن همیرد، در مجموع ۱۵ نمونه کلسیت،

کانسار آهن همیرد دارای آهن با عیار متوسط ۴۵ تا ۵۰ درصد و ذخیره احتمالی ۴۵۰۰۰۰ تن است. ماده معدنی در کانسار همیرد شامل کانه‌های اکسیدی (هماتیت و مگنتیت) و هیدرواکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) است. هماتیت اصلی‌ترین کانه است و همراه با آن کانی‌زایی کلسیت و باریت و کانی‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) یافت می‌شود. رگه‌های کوارتزی با ستبرای ۱ تا ۳ سانتی‌متر همراه با هماتیت دیده می‌شوند. در این رگه‌ها کانی کوارتز به صورت ریزبلور حضور دارد و در برخی موارد توسط رگه و رگچه‌های سولفیدی با بافت استوک‌ورکی قطع شده است (شکل ۳-الف). رگچه‌های پیریتی دارای بافت استوک‌ورک با ستبرای ۰/۱ تا ۵ سانتی‌متر (شکل ۳-ب) و پیریت به صورت بافت افشان و پراکنده نیز در کانسار دیده می‌شود. در این کانسار رگه‌های کربناتی با عرض ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر دیده می‌شوند که شامل کلسیت و دولومیت با بافت موزاییکی است. کلسیت بیشتر به صورت رگه و رگچه از ۰/۱ میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر دیده می‌شود. بلورهای کلسیت به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار دارای بافت موزاییکی و استوک‌ورک همراه با هماتیت و بلورهای پیریت دیده می‌شوند (شکل ۳-ج). رگه‌های باریت با ستبرای ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر به صورت رگه و رگچه‌های درون توده نیمه‌آتشفشانی و توده معدنی دیده می‌شود. این رگه‌ها معمولاً کانی‌زایی آهن را قطع کرده‌اند و فاز تأخیری در کانسار هستند (شکل ۳-د).

#### ۵- سنگ‌نگاری میانبارهای سیال

مطالعه سنگ‌نگاری میانبارهای سیال در کانسار همیرد توسط میکروسکوپ نوری معمولی و با بزرگنمایی بالا انجام شده است که شامل بررسی شکل، فراوانی، محتوا، کانی‌های دختر و پدیده‌های ثانویه مانند گردن‌دار شدن (Necking down) و نشت (Leakage) است. ریخت‌شناسی میانبارهای سیال متغیر است و این می‌تواند تا حدی توسط ویژگی‌های بلورشناسی کنترل شود (Shepherd et al., 1985). از دید شکل ظاهری، میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز با توجه به معیارهای ارائه شده توسط Roedder (1984) و Shepherd et al. (1985) به صورت اشکال نامنظم، مثلثی، چندوجهی، میله‌ای و پهن تقسیم‌بندی می‌شوند. برخی از میانبارهای سیال در کانی کوارتز دارای شکل بلوری منفی (Negative crystal) هگزاگونالی هستند. اندازه بیشتر میانبارهای سیال در نمونه کوارتزی کانسار آهن همیرد میان ۲ تا ۱۰ میکرون متغیر است. میانبارهای سیال در کانی باریت دارای شکل‌های گوناگون و بیشتر نامنظم، مکعبی، کروی، پهن، کشیده، میله‌ای، مثلثی و چندضلعی هستند. شکل‌های ستاره‌ای و پدیده باریک‌شدگی در برخی از میانبارهای سیال کانی باریت دیده می‌شود (شکل‌های ۴-ه و ی). باریک‌شدگی در اثر انقباض ناشی از سرد شدن بلورها و یا کشیدگی حاصل از نیروهای زمین‌ساختی رخ می‌دهد (Shepherd et al., 1985). اندازه میانبارهای سیال در نمونه‌های باریتی میان ۲ تا ۱۵ میکرون متغیر است که نسبت به نمونه‌های کوارتزی بزرگ‌تر هستند. از دید زایشی میانبارهای سیال کانی‌های باریت و کوارتز کانسار همیرد به سه دسته اولیه، ثانویه و شبه ثانویه تقسیم شدند (شکل ۴-و). بر پایه نظر Roedder (1984)، Shepherd et al. (1985) و Pirajno (2009)، میانبارهای سیال ثانویه مرزهای خارجی بلور را قطع می‌کنند در حالی که میانبارهای سیال شبه ثانویه درون بلور گسترش می‌یابند و مرزهای خارجی را قطع نمی‌کنند. بر پایه تعداد فاز، میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز کانسار آهن همیرد در ۵ نوع: (۱) تک‌فازی مایع (L)، (۲) تک‌فازی گاز (V)، (۳) دوفازی مایع-گاز (L+V)، (۴) دوفازی گاز-مایع (V+L) و (۵) سه‌فازی مایع-جامد-گاز (L+V ± S) دیده شده‌اند. میانبارهای سیال در کانی باریت همانند با نمونه‌های کوارتزی است، با این تفاوت که میانبار سیال نوع سه‌فازی مایع-جامد-گاز (L+V ± S) در نمونه باریتی دیده نشده است (شکل‌های ۴-الف، ب، ج و د).

باریت و پیریت مرتبط با کانی‌زایی آهن گردآوری شد. برای آماده‌سازی، نمونه‌ها به روش دستی از سنگ اصلی جدا شدند و به وسیله میکروسکوپ دوچشمی (بیناکولر) به ۹۵ درصد خلوص رسیدند. از هر یک از نمونه‌ها در حدود ۲ گرم پودر تهیه شد. نسبت‌های ایزوتوپی کربن، گوگرد و اکسیژن کانسار آهن همیرد در آزمایشگاه ایزوتوپ‌های پایدار دانشگاه آریزونا توسط طیف‌سنج جرمی (Mass Spectrometer) تعیین شد (جدول ۱). نسبت‌های ایزوتوپی با نماد δ بر حسب در هزار (%o) نسبت به استاندارد میانگین آب اقیانوسی (V-SMOW) برای اکسیژن، ترولیت کانیون دیابلو (CDT) برای گوگرد و فاز کربناتی مربوط به فسیل بلیمیت سازند پیدی (V-PDB) برای کربن به دست آمده‌اند.

#### ۳- زمین‌شناسی کانسار همیرد

کانسار آهن همیرد در ناحیه جام جای گرفته است که در این ناحیه می‌توان دو واحد زمین‌ساختی مختلف را تشخیص داد. پهنه زمین‌ساختی البرز در شمال باختر و پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی که در جنوب خاوری منطقه قرار دارد. گسل عطاری که مرز جداکننده کوه‌های البرز از ایران مرکزی است، با شیب حدود ۸۰ درجه به سوی جنوب این دو بخش را از یکدیگر جدا می‌کند (علوی نایینی و حامدی، ۱۳۷۶). بر پایه این پهنه‌بندی، منطقه مورد مطالعه در مرز میان دو پهنه یادشده و از دید مکانی در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است. فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری در منطقه همیرد محدود به ائوسن میانی است و به‌طور کلی بخش بزرگی از سازنده‌های سازند کرج در این ناحیه سنگ‌های آتشفشانی هستند. ائوسن در ایران مرکزی توسط فعالیت‌های گسترده‌ای از گدازه‌های ریولیتی تا بازالتی و آذرآواری‌های آندزیتی تا داسیتی مشخص می‌شود. این فرایند گسترده‌ترین و شدیدترین فعالیت‌های آتشفشانی در طول تاریخ زمین‌شناسی ایران به شمار می‌رود (Berberian & King, 1981). واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده کانسار آهن همیرد، متعلق به سن دونین و ترشیری (ائوسن) است. واحدهای سنگ‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی-رسوبی و توده نفوذی نیمه‌ژرف است. سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی از فراوان‌ترین سنگ‌های منطقه و شامل آندزیت، آندزیت-بازالت و کریستال لیتیک توف هستند (شکل ۱). توده نفوذی نیمه‌ژرف مونزونیت و مونزودیوریت از دید مکانی در ارتباط نزدیک با کانه‌زایی در کانسار هستند (شکل ۱).

#### ۴- کانی‌زایی در کانسار آهن همیرد

در کانسار آهن همیرد توده نفوذی نیمه‌آتشفشانی با ترکیب مونزونیت و مونزودیوریت به درون سنگ‌های رسوبی آهکی، آذرآواری و آتشفشانی (معادل با سازند کرج به سن ائوسن میانی) نفوذ کرده و سبب جایگزینی ماده معدنی در سنگ میزبان شده‌اند. تزریق توده نفوذی سبب رانده شدن سیال‌های آهن‌دار به درون سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری و کانه‌زایی آهن شده است. کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه از سامانه گسلی پیروی کرده و با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری در بخش بالایی توده نفوذی نیمه‌آتشفشانی رخ داده است. عملکرد گسل‌های پس از کانی‌سازی سبب خردشدگی، برشی شدن و قطعه‌قطعه شدن ماده معدنی و جابه‌جایی ماده معدنی و ایجاد بلوک‌های بی‌ریشه شده است. تزریق توده نفوذی احتمالاً به عنوان یک موتور گرمایی رفتار کرده و سبب چرخش سیال‌ها از درون رسوبات شده است. این فرایند سبب رانده شدن سیال‌های آهن‌دار به درون سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و ایجاد کانه‌زایی آهن درون سامانه‌های گسلی شده است. ستبرا و گسترش توده‌های آهن در نقاط مختلف متفاوت است. وابستگی کانسار آهن همیرد با توده نیمه‌آتشفشانی آشکار است. به‌طوری که در باختر منطقه توده نیمه‌آتشفشانی دچار دگرسانی شدید پروپیلیتیک و آرژیلیک شده است و کانی‌زایی آهن در مرز این توده با سنگ میزبان آتشفشانی به خوبی دیده می‌شود (شکل ۲).

## ۶- دماسنجی میانبرهای سیال

با گرم کردن میانبرهای سیال با چگالی‌های مختلف، حباب‌های گاز موجود در میانبرهای سیال ناپدید می‌شوند، این دمای ناپدید شدن را دمای همگن‌شدگی (Th) می‌نامند و بیانگر کمترین دمای به دام افتادن سیال گرمایی است. با استفاده از منجمد کردن میانبر سیال با نیتروژن مایع و سپس اندازه‌گیری دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm) میزان شوری به دست می‌آید. برای این منظور ترکیب میانبر سیال با شوری کمتر از ۲۳/۲ درصد وزنی معادل NaCl با استفاده از دمای ذوب آخرین بلور یخ طبق فرمول (Bodnar & Vityk (1994) تعیین شده است. در میانبرهای سیال که شوری بیش از ۲۳/۲ درصد وزنی معادل NaCl است و دارای فاز حالت هستند، دمای انحلال بلور حالت برای تعیین شوری مورد استفاده قرار گرفته شده است (Bodnar & Vityk, 1994).

داده‌های مربوط به دمای یکنواختی و شوری میانبرهای سیال سه‌فازی دارای فاز حالت در کانی کوارتز، در شکل‌های ۵-الف و ب نشان داده شده است. بیشترین فراوانی همگن‌شدگی برای میانبرهای سیال این گروه مربوط به محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد است و بیشترین فراوانی شوری در گستره ۳۰-۴۰ wt% NaCl است (شکل ۵-ب). میانبرهای سیال سه‌فازی، هم با تبدیل فاز گاز به مایع و هم ذوب بلور حالت همگن می‌شوند. اما بیشتر میانبرها با ناپدید شدن بلور حالت همگن شده‌اند (شکل ۵-ج). دمای ذوب بلور حالت در میانبرهای سیال سه‌فازی از ۱۹۱ تا ۴۲۷ درجه سانتی‌گراد متغیر است. شماری از میانبرهای سیال این گروه که در آنها دمای ذوب حالت بسیار بیشتر از دمای همگن‌شدگی حباب گاز به مایع است، نشان‌دهنده به دام افتادن میانبر سیال در فشار زیاد هستند (Bodnar, 1994). داده‌های زیر خط مورب (شکل ۵-ج) مربوط به مواردی هستند که بلور حالت زودتر از همگن‌شدگی و ناپدید شدن حباب گاز ذوب می‌شود؛ در حالی که نمونه‌های بالای خط مورب مربوط به مواردی هستند که دمای همگن‌شدگی گاز به مایع کمتر از دمای ذوب حالت است. شکل ۶ نمودار ستونی دمای یکنواختی میانبرهای سیال اولیه دوفازی غنی از مایع کانی کوارتز را نشان می‌دهد. در این گروه از میانبرها بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی مربوط به گستره دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است که از این دید، دمای یکنواختی کمتری را نسبت به میانبرهای سیال سه‌فازی دارای فاز حالت نشان می‌دهند. بیشترین فراوانی شوری این میانبرها مربوط به گستره ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی NaCl است (شکل ۶). میانبرهای سیال کانی باریت در این کانسار، محدوده دمای همگن‌شدگی ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند (شکل ۷). این میانبرهای دارای شوری با بیشترین فراوانی در گستره ۰/۵ تا ۵ درصد وزنی NaCl هستند (شکل ۷). دمای همگن‌شدگی و شوری در این گروه از میانبرهای سیال نسبت به دو گروه پیش‌گستره کمتری را در بر می‌گیرد.

## ۷- عوامل فیزیکوشیمیایی نهشت کانسار

محدوده تغییرات مقدار شوری در میانبرهای سیال کانسار همیرد تقریباً گسترده است. روندهای فیزیکی اصلی برای نهشت کانسار آهن همیرد رقیق‌شدگی و آمیختگی است (شکل‌های ۸-الف a و b). در نمودار شکل ۸-ب این روند کاملاً مشخص است (a و b) و نشان از آمیختگی یک سیال داغ و شور با یک سیال سردتر و رقیق‌تر دارد. در این نمودار احتمالاً سیال با شوری کم تا متوسط ۴/۵ تا ۱۵/۵ wt% NaCl مربوط به سیال‌های جوی و سیال با شوری بالاتر از ۳۰ تا ۴۵ wt% NaCl مربوط به سیال‌های ماگمایی است. بر پایه نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی (شکل ۹)، میانبرهای سیال سه‌فازی کانی کوارتز دارای بیشترین دمای همگن‌شدگی و شوری نسبت به میانبرهای دوفازی غنی از مایع (کانی کوارتز و باریت) هستند. سیال‌های گرمایی سازنده کانسار آهن همیرد به وسیله حضور میانبرهای سیال دما بالا (۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری متوسط تا بالا

## ۸- چگالی میانبرهای سیال

با ترکیب کردن داده‌های دمای همگن‌شدگی و شوری میانبرهای سیال، می‌توان چگالی محلول گرمایی را بدون در نظر گرفتن شرایط به دام افتادن آن تعیین کرد. برای این منظور از نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی (Wilkinson 2001) استفاده شده است (شکل ۱۰). چگالی سیال در رگه‌های کوارتزی از ۰/۹ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در رگه‌های باریتی از ۰/۸ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است.

مقایسه نتایج حاصل از مطالعات دماسنجی میانبرهای سیال در کانسار آهن همیرد با ویژگی‌های دیگر ذخایر (Wilkinson, 2001) نشان می‌دهد که داده‌های میانبرهای سیال این کانسار در محدوده کانسارهای اسکارن قرار می‌گیرد (شکل ۱۱). (Lingang et al. (2010 با مطالعه میانبرهای سیال روی کانی‌های کلسیت، کوارتز و پیروکسن در کانسار آهن اسکارن منکو (Mengku) منشأ محلول گرمایی را آمیختگی سیال‌های ماگمایی و جوی بیان کرده‌اند. در کانسار آهن اسکارن منکو دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال در نمونه‌های کوارتزی سه‌فازی دارای بلور حالت و دوفازی غنی از مایع به ترتیب ۳۴۸ تا ۴۵۸ و ۱۶۶ تا ۳۸۲ درجه سانتی‌گراد و شوری به ترتیب ۱/۵۷-۳۸/۲ و ۱۳/۵ تا ۹/۶ درصد وزنی NaCl است که این مقادیر با نمونه‌های کوارتزی کانسار همیرد همخوانی دارد. شوری و دمای همگن‌شدگی سیال‌های سازنده کانسار همیرد که به ترتیب در حدود ۳-۵۰ wt% NaCl و ۲۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است و فشار به نسبت کم آن همانند دیگر کانسارهای اسکارن است (Minert, 1992).

## ۹- ایزوتوپ‌های پایدار

### ۹-۱. ایزوتوپ گوگرد

مطالعات انجام شده روی فازهای سولفیدی (پیریت) و سولفات (باریت) کانسار آهن همیرد نشان می‌دهد که دامنه تغییرات ایزوتوپی گوگرد در این کانسار متغیر است (جدول ۱). نتایج تجزیه ایزوتوپی گوگرد پیریت، محدوده  $\delta^{34}\text{S}$  را میان ۲/۲ تا ۷/۴ ‰ در ارتباط با CDT نشان می‌دهد. نسبت ایزوتوپی گوگرد و اکسیژن کانی باریت دارای محدوده  $\delta^{34}\text{S}$  میان ۱۳/۶ ‰ تا ۲۰/۲ ‰ نسبت به CDT و  $\delta^{18}\text{O}$  میان ۱۰/۲ ‰ تا ۱۲/۱ ‰ نسبت به V.S.MOW است.

به باور (Ohmoto (1986) و Hoefs (2004) مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدهای مشتق شده از گشته به ترتیب از ۷- ‰ تا ۳+ ‰ متغیر است. با توجه به اینکه مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  کانی پیریت در کانسار همیرد در محدوده ۲/۲ ‰ تا ۷/۴ ‰ جای گرفته است

با توجه به این نمودار، تغییرات  $\delta^{13}\text{C}$  کانی کلسیت کانسار آهن همیرد در محدوده کرنات‌های ناشی از گوشته قرار می‌گیرد. مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  کلسیت کانسار آهن همیرد قابل مقایسه با کانسار اسکارن آهن منکو (Mengku) (Lingang et al., 2010)، کانسار اسکارن آهن جانگون (Janggun) (Lee et al., 1998) و کانسار اسکارن وسواس (Vesuvius) (Gilg et al., 2001) است. مقدار  $\delta^{13}\text{C}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  به ترتیب در کانسار منکو از  $-3/8$  تا  $-6/1$  و  $5/5$  تا  $7$ ، در کانسار جانگون از  $-2/5$  تا  $-4/6$  و  $5/5$  تا  $17/8$  و در کانسار وسواس از  $-1/1$  تا  $5/4$  و  $11/7$  تا  $16/4$  در هزار است (شکل ۱۴-ب). با مطالعه شواهد مربوط به منشأ کربن و اکسیژن در این کانسارها و مقایسه آن با شرایط موجود در کانسار آهن همیرد، می‌توان اظهار داشت که منشأ کربن در کانسار همیرد نیز مانند کانسارهای یادشده حاصل یک سیال ماگمایی است. Shieh & Taylor (1969) با مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار روی کلسیت مقدار  $\delta^{13}\text{C}$  را در کانسارهای اسکارن  $3\%$  بیان کردند. مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  کانسار همیرد همانند دیگر کانسارهای اسکارن است (شکل‌های ۱۴-الف و ب). به باور Cartwright & Olive (1994) مقدار ایزوتوپ  $\delta^{18}\text{O}$  کانی‌های سولفاتی در اسکارن‌ها  $10\%$  تا  $11/3\%$  است که این مقدار تقریباً با محدوده  $\delta^{18}\text{O}$  موجود در کانی باریت کانسار همیرد همخوانی دارد. چنان‌که دامنه تغییرات  $\delta^{18}\text{O}$  باریت کانسار آهن همیرد با مقدار  $\delta^{18}\text{O}$  دیگر اسکارن‌ها روندی تقریباً همانند دارد (شکل ۱۲-ب).

### ۱۰- نتیجه‌گیری

- تزریق توده نفوذی نیمه‌ژرف همیرد با سن پس از ائوسن حجم زیادی از سیال‌های آهن‌دار را به درون سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری ائوسن رانده و سبب کانه‌زایی آهن در این کانسار شده است.
- کانه‌زایی هماتیت در مرز تماس توده نفوذی نیمه‌آتشفشانی با سنگ میزبان صورت گرفته است. هماتیت اصلی‌ترین کانه کانسار است و همراه با آن کلسیت و باریت و کانی‌های سولفیدی دیده می‌شوند.
- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از سنگ‌نگاری و دماسنجی میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز و باریت نشان‌دهنده دو جمعیت متفاوت از میانبارهای سیال است. به نظر می‌رسد که سیال با شوری بالاتر به‌طور متناوب تزریق و با سیال با شوری پایین‌تر آمیخته شده است.
- روند دمای همگن‌شدگی-شوری میانبارهای سیال، رقیق‌شدگی و آمیختگی سیال‌های ماگمایی شور و داغ را با سیال‌های جوی دارای شوری و دمای پایین‌تر برای نهشت کانسار نشان می‌دهد.
- با بررسی ایزوتوپ کربن و اکسیژن موجود در کانی کلسیت کانسار آهن همیرد مشخص شد که کربن موجود در تشکیلات کربناتی کانسار منشأ ماگمایی دارد.
- با مطالعه شواهد مربوط به منشأ گوگرد در کانسارهای اسکارن آهن سهوارا، ترواسکوسکی و جانساندو و مقایسه آن با شرایط موجود در کانسار آهن همیرد می‌توان اظهار داشت که منشأ گوگرد پیریت در کانسار همیرد از سیال‌های ماگمایی است. مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در انواعی از کانی‌های سولفیدی (از جمله پیریت) کانسارهای اسکارنی طیف محدودی دارند که با نهشته‌شدن از سیال‌های ماگمایی سازگارند.
- مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار، آمیختگی سیال‌های ماگمایی و سیال‌های جوی را به عنوان منشأ سیال‌های کانسار ساز بیان و مدل اسکارن را برای کانسار آهن همیرد پیشنهاد می‌کند.

### سپاسگزاری

از مدیریت محترم شرکت همراه تولید که در مراحل نمونه‌برداری ما را یاری کرده‌اند و همچنین از داوران محترم فصلنامه علوم زمین که با پیشنهادات سازنده سبب غنای بیشتر این مقاله شدند، سپاسگزاری می‌شود.

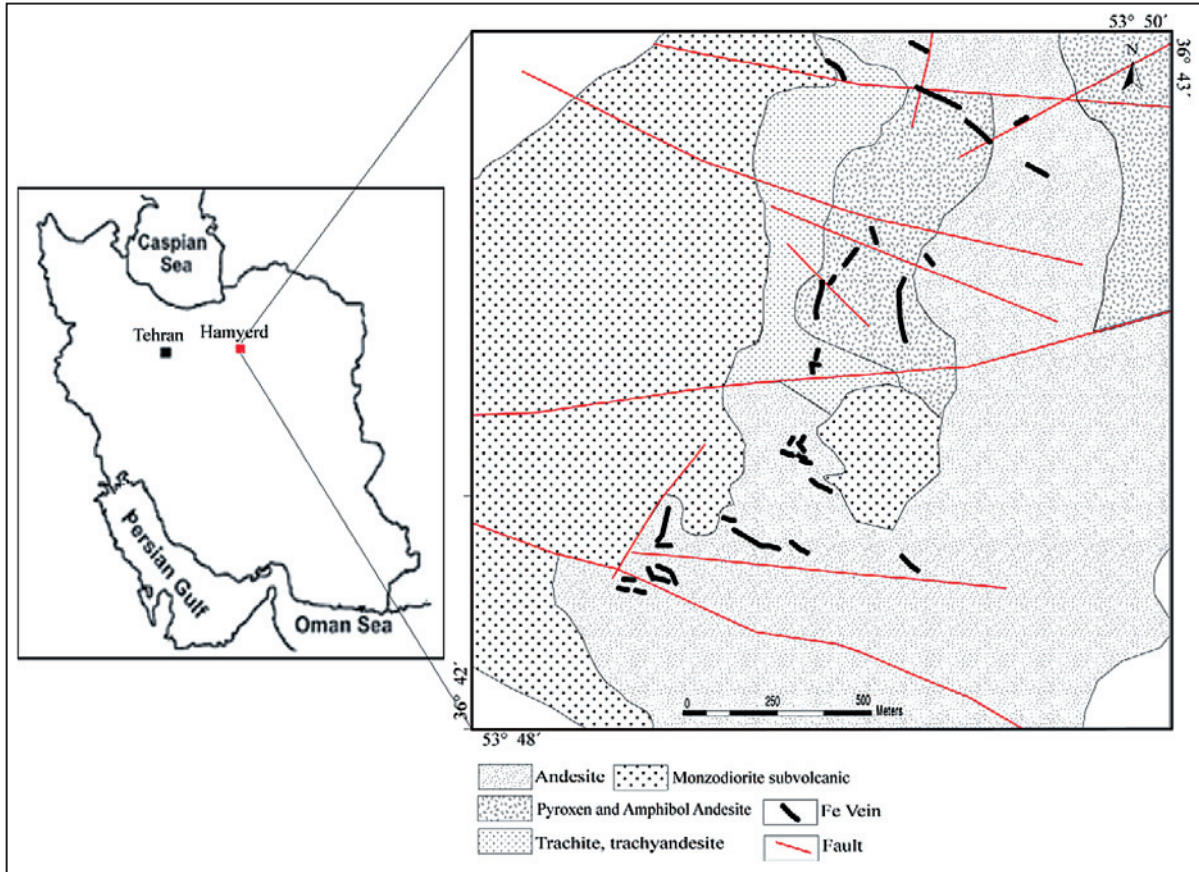
(شکل ۱۲-الف)، می‌توان منشأ گوگرد کانسار آهن همیرد را به خاستگاه ماگمایی نسبت داد. (Frietsch et al. (1995) با مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار کانی پیریت در کانسارهای اسکارن آهن سهوارا (Stora saharavaa)، ترواسکوسکی (Teravaskoski) و جانساندو (Junosuando) منشأ گوگرد تأمین‌کننده این کانسارها را ماگمایی بیان کرده‌اند. بر این اساس مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  پیریت در کانسارهای اسکارن آهن سهوارا، ترواسکوسکی و جانساندو به ترتیب  $5/4\%$  تا  $6/8\%$ ،  $2/3\%$  تا  $8\%$  و  $1/1\%$  تا  $0/8\%$  است که این مقادیر با میانگین کانسارهای اسکارن آهن و همچنین کانسار آهن همیرد تقریباً همخوانی دارد (شکل ۱۳). به باور Zurcher et al. (2001) در کانسار آهن پنا (Pena)، مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  پیریت از  $4/7\%$  تا  $8/6\%$  در تغییر است. محدوده ایزوتوپ گوگرد کانی پیریت کانسار همیرد (شکل ۱۲-الف) با محدوده ایزوتوپ گوگرد سنگ‌های گرانیتی همپوشانی نشان می‌دهد که با منشأ بیان شده توسط Meinert (1992) هماهنگی دارد.

در کانسار آهن همیرد  $\delta^{34}\text{S}$  کانی باریت غنی‌شدگی بیشتری را نسبت به کانی پیریت نشان می‌دهد (شکل ۱۲-الف). مقدار ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$  در نمونه‌های باریت کانسار همیرد از  $13/6\%$  تا  $20/2\%$  در تغییر است. به باور Paytan et al. (2002) این مقدار کمی کمتر از آب دریای همزمان ( $22/5\%$ ) است. باریت‌های دریای امروزی با منشأ گرمایی دارای نسبت‌های ایزوتوپ گوگرد مساوی یا کمتر از این نسبت گزارش شده‌اند (Paytan et al., 2002). این باریت‌های گرمایی در اثر شسته شدن باریت از پوسته اقیانوسی توسط سیال‌های چرخان و واکنش با آب دریای غنی از سولفات به وجود می‌آیند (Kusakabe et al., 1990). مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  کانی باریت در کانسار آهن همیرد با این منشأ تناقض دارد. در سنگ‌های آذرین ایجاد گوگرد در سولفات‌ها ناشی از دو نوع فرایند است: ۱) اکسید شدن  $\text{S}^{2-}$  در گوشته؛ ۲) هیدرولیز  $\text{SO}_2$  (Hattori & Cameron, 1986). به باور Frietsch et al. (1995) مقدار گوگرد گرمایی-ماگمایی در سولفات‌ها از  $7\%$  تا  $14\%$  در تغییر است. این مقدار نسبت به سولفات‌های کانسار همیرد کمی کمتر است و نشان می‌دهد افزون بر سیال گرمایی-ماگمایی، سیال دیگری نیز در تشکیل سولفات‌ها نقش داشته است. در کانسار آهن همیرد کانی سولفاتی باریت طی فاز تأخیری تشکیل شده است. سیال‌های باریت‌دار احتمالاً در اثر شسته شدن باریت در ژرفا توسط سیال‌های چرخان از گسل و شکستگی‌ها عبور کرده‌اند و در واکنش با آب جوی غنی از سولفات در سطح، این باریت‌ها را تشکیل داده‌اند. مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$  در نمونه‌های باریت گویای این است که احتمالاً باریت به وسیله آمیختگی آب‌های گرم باریت‌دار سیال‌های گرمایی با آب‌های جوی دارای یون‌های  $\text{SO}_4^{2-}$  تشکیل شده است.

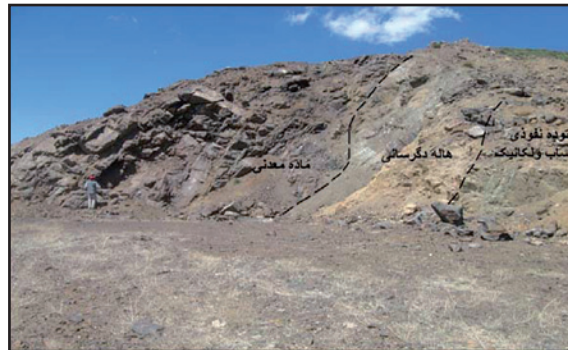
### ۹-۲. ایزوتوپ کربن

مطالعات انجام شده روی فاز کربناتی کانسار همیرد نشان می‌دهد که دامنه تغییرات ایزوتوپ‌های کربن در این کانسار محدوده گسترده‌ای را نشان نمی‌دهد. دامنه تغییرات  $\delta^{13}\text{C}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  کانی کلسیت در این کانسار به ترتیب میان  $3/4\%$  تا  $4/5\%$  نسبت به VPDB و  $17/76\%$  تا  $19/16\%$  نسبت به VSMOW در تغییر است. کربنات‌های با منشأ ماگمایی و گرمایی دارای مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  در حدود  $3\%$  و  $8\%$  هستند (Ohmoto, 1972). در حالی که مقدار متوسط  $\delta^{13}\text{C}$  ترکیبات کربن‌دار در فرایندهای زیستی حدود  $25\%$  است (Hoefs, 2004). از آنجایی که مقدار  $\delta^{13}\text{C}$  در آب دریاها عهد حاضر صفر در هزار در نظر گرفته شده است (Ohmoto, 1972)، چنین دریافت می‌شود که مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{13}\text{C}$  کانسار آهن همیرد هیچ‌گونه همخوانی با مقادیر ایزوتوپ کربن کربنات‌های حاصل از فرایندهای زیستی ندارد و از محدوده کربنات‌های دریایی نیز فاصله دارد. مقایسه مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن کانی کلسیت کانسار آهن همیرد با نمودار تغییرات  $\delta^{13}\text{C}$  نسبت به  $\delta^{18}\text{O}$  (Niiranen et al., 2005) گویای این است که کربن مورد نیاز این کانسار بیش از هر منبع دیگری از سیال‌های ماگمایی منشأ گرفته است (شکل ۱۴-الف).

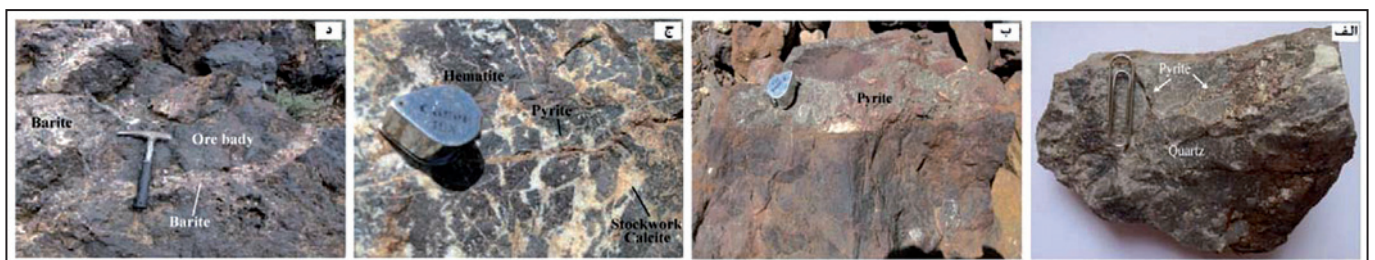




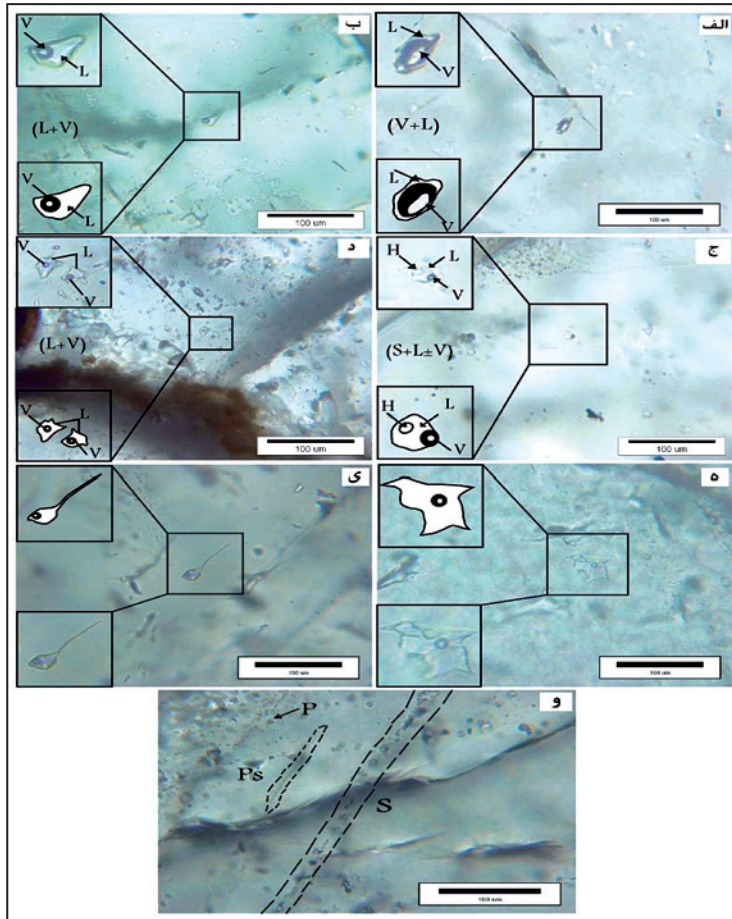
شکل ۱- نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ معدن آهن همیرد (شرکت همراه تولید، ۱۳۹۰).



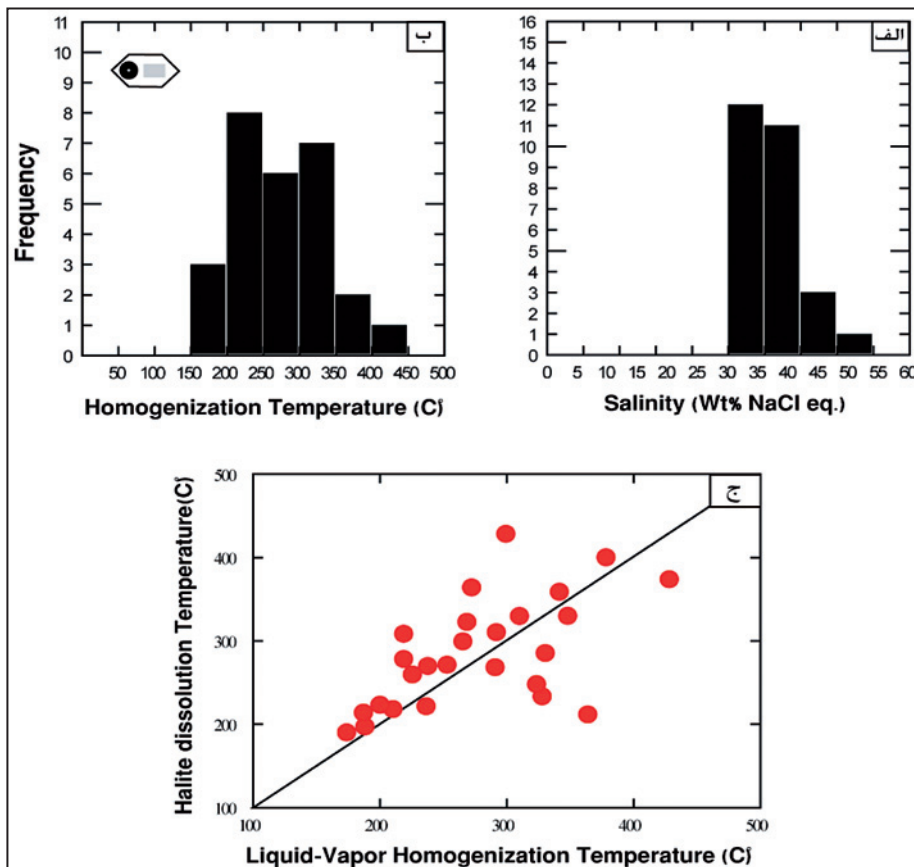
شکل ۲- توده نفوذی نیمه ژرف به شدت دگرسان شده و کانی زایی در کانسار همیرد (دید به سوی باختر).



شکل ۳- ساخت و بافت متداول در کانسار همیرد: الف) رگچه استوک وورکی از پیریت همراه با کوارتز؛ ب) رگه‌ای از پیریت در توده معدنی کانسار؛ ج) رگچه‌های استوک وورکی از کلسیت همراه با بلورهای پیریت درون زمینه‌ای از هماتیت؛ د) رگه‌ای از باریت که ماده معدنی را قطع کرده است.

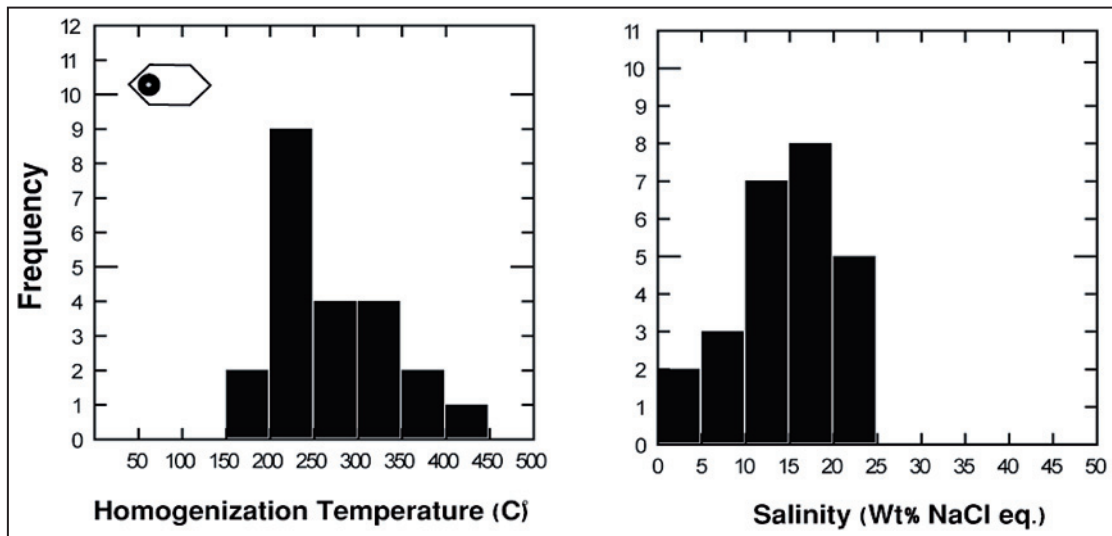


شکل ۴- انواع میانبارهای سیال در کانی کوارتز و باریت کانسار همیرد: الف و ب) میانبار سیال دوفازی غنی از گاز و میانبار سیال دوفازی غنی از مایع در نمونه باریت؛ ج و د) میانبار سیال سه‌فازی با فاز نوزاد حالت و میانبار سیال دوفازی غنی از مایع در کوارتز؛ ه و ی) شکل‌های ستاره‌ای و باریک شدگی میانبار سیال در باریت؛ و) میانبار سیال اولیه (P) ثانویه (S) و شبه ثانویه (PS) در رگه‌های باریت کانسار آهن همیرد.

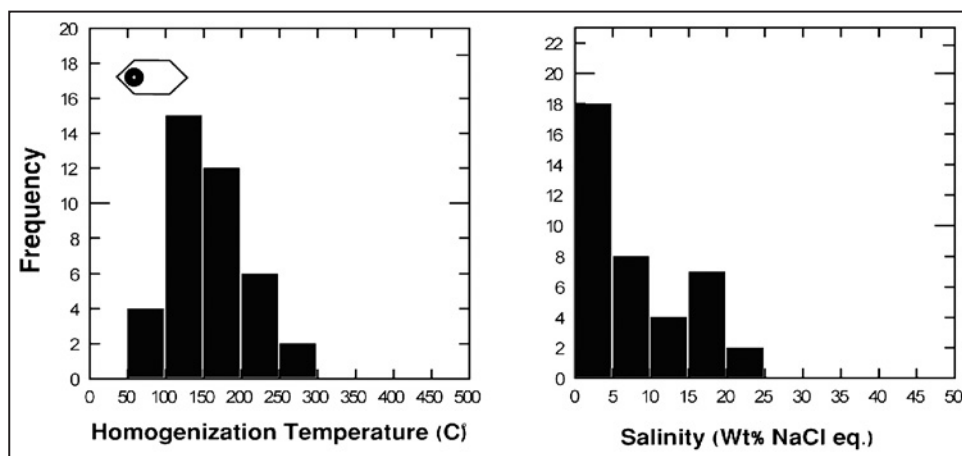


شکل ۵- الف و ب) نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال سه‌فازی دارای فاز نوزاد حالت در کانی کوارتز؛ ج) دمای همگن‌شدگی گاز به مایع در برابر دمای ذوب بلور حالت در میانبارهای سیال سه‌فازی کانی کوارتز.

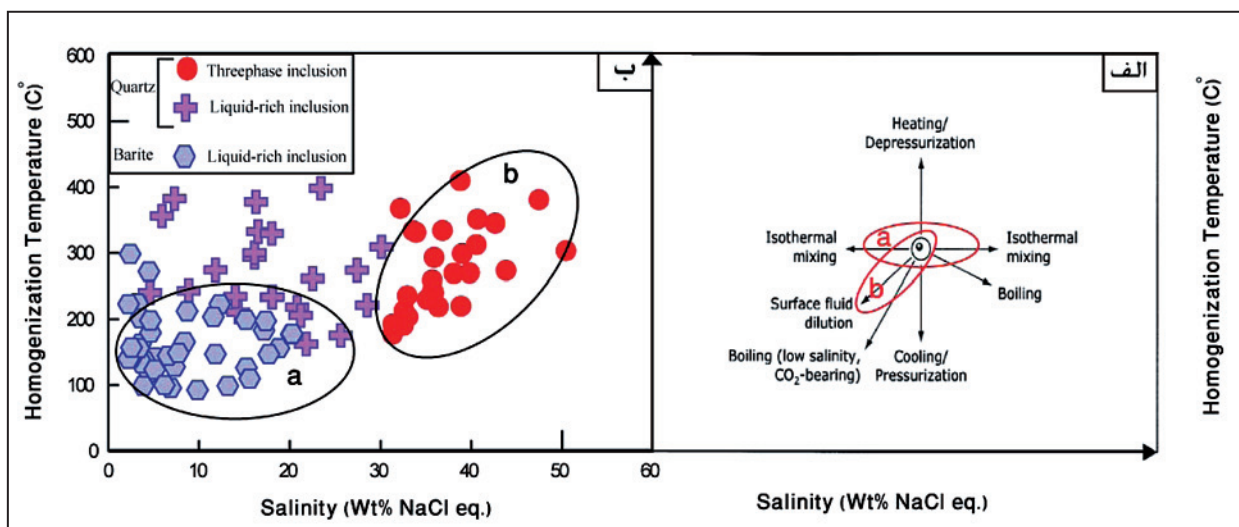




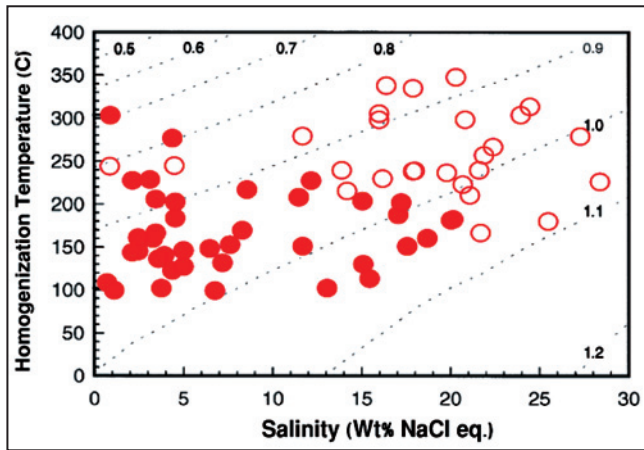
شکل ۶- نمودار ستونی (هیستوگرام) دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع درکانی کوارتز.



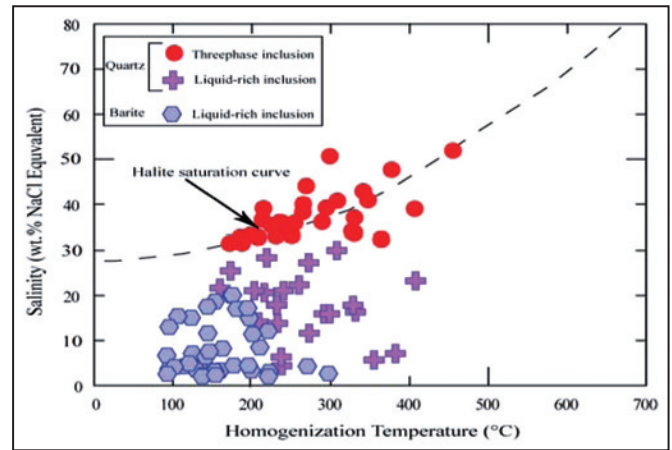
شکل ۷- نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع درکانی باریت.



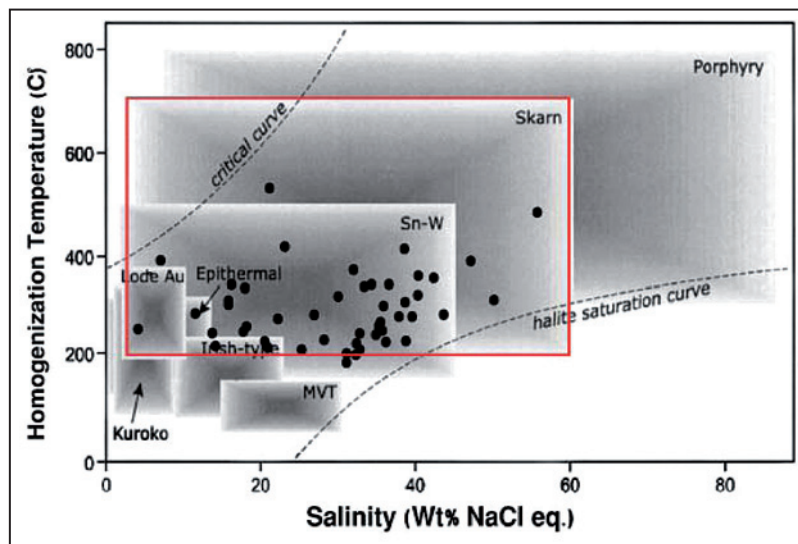
شکل ۸- الف) نمودار نمادین جهات اصلی دمای همگن‌شدگی - شوری در طی فرایندهای مختلف تکامل میانبارهای سیال (Wilkinson, 2001); ب) نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری میانبارهای سیال کانسار همیرد.



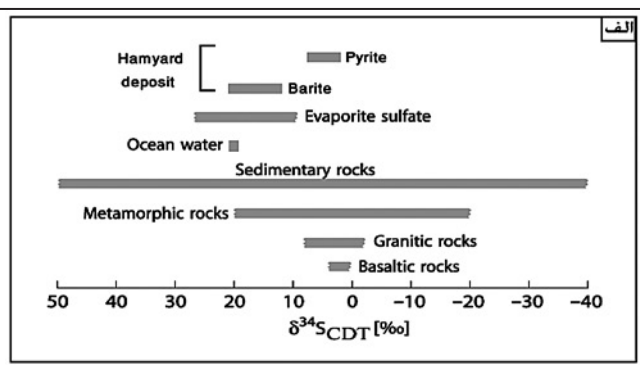
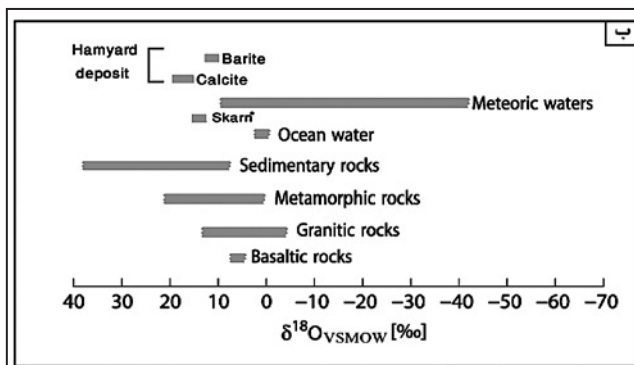
شکل ۱۰- نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال نمونه‌های کانسار همیرد برای تعیین چگالی (Wilkinson, 2001)؛ دایره تو پر: میانبار سیال دوفازی کانی باریت؛ دایره تو خالی: میانبار سیال دوفازی کانی کوآرتز.



شکل ۹- نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری میانبارهای سیال کانسار آهن همیرد.



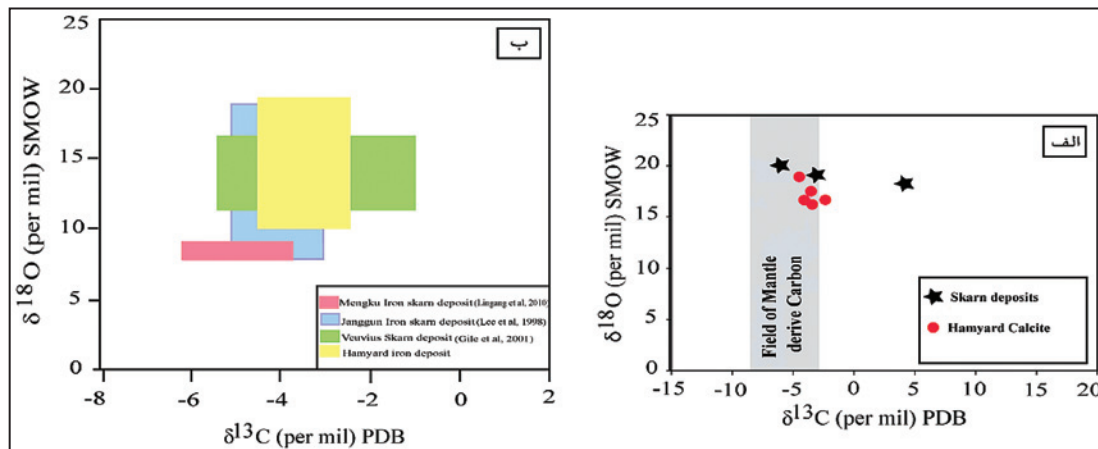
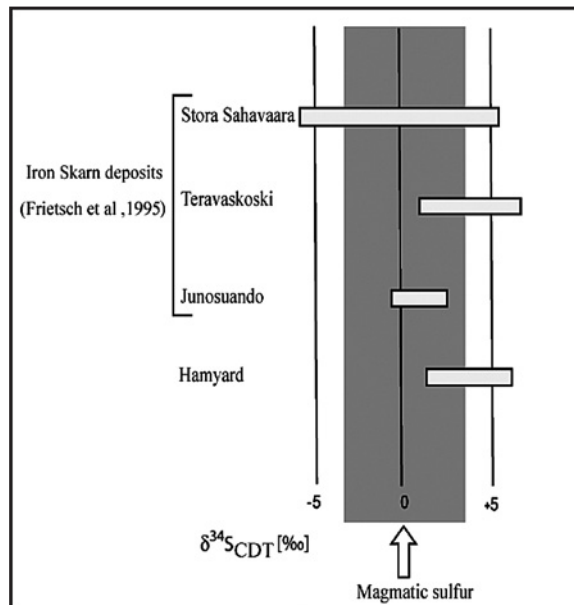
شکل ۱۱- قرارگیری داده‌های میانبارهای سیال کانسار آهن همیرد در محدوده کانسارهای اسکارن در نمودار (Wilkinson, 2001).



شکل ۱۲- دامنه ترکیبات ایزوتوپی گوگرد کانسار همیرد برگرفته از (Hoefs, 2004)؛ (ب) دامنه ترکیبات ایزوتوپی اکسیژن کانسار همیرد برگرفته از (Hoefs, 2004)؛ محدوده اسکارن از (Laoura et al. (2002).



شکل ۱۳- مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  اسکارن آهن همیرد در کانی پیریت و مقایسه آن با کانسارهای اسکارن استورا سهوارا، ترواسکو سکی، جونساندو.



شکل ۱۴- الف) دامنه تغییرات مقادیر ایزوتوپی کربن مشتق شده از گوشته و محدوده  $\delta^{13}\text{C}$  کانسار همیرد، در نمودار  $\delta^{13}\text{C}$  نسبت به  $\delta^{18}\text{O}$  و پراکندگی کانسارهای اسکارن (Niiranen et al., 2005)؛ ب) مقایسه مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  کلسیت کانسار آهن همیرد با برخی کانسارهای اسکارن آهن دنیا.

جدول ۱- نتایج تجزیه ایزوتوپی کربن، گوگرد و اکسیژن در کانسار آهن همیرد.

نمونه	کانی	$\delta^{34}\text{S}$ (‰CDT)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VSMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰VPDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VPDB)
H1Ba1	باریت	۱۳/۶	۱۰/۲		
H1Ba2	باریت	۲۰/۲	۱۲/۱		
H1Ba3	باریت	۱۷/۶	۱۱/۱		
H1Ba4	باریت	۱۵	۱۱/۳		
H1Ca1	کلسیت		۱۷/۹	-۳/۹	-۱۲/۶
H1Ca2	کلسیت		۱۸/۳	-۳/۵	-۱۲/۲
H1Ca3	کلسیت		۱۹/۲	-۴/۵	-۱۱/۴
H1Ca4	کلسیت		۱۸	-۲/۴	-۱۲/۵
H1Ca5	کلسیت		۱۷/۸	-۳/۴	-۱۲/۷
H1py1	پیریت	۲/۵			
H1py2	پیریت	۴			
H1py3	پیریت	۲/۴			
H1py4	پیریت	۷/۴			
H1py5	پیریت	۴/۱			
H1py6	پیریت	۶/۷			
H1py7	پیریت	۲/۲			
H2py1	پیریت	۳/۱			

## کتابنگاری

شرکت همراه تولید، ۱۳۹۰- نقشه ۱/۵۰۰۰ محدوده معدنی کانسار آهن همیرد، استان سمنان.  
 علوی نایینی، م. و حامدی، آ.، ۱۳۷۶- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Berberian, M. & King, G. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran". *Can. J. Earth Sci.* 18: 210-256.
- Bodnar, R. J. & Vityk, M. O., 1994- Interpretation of micro thermometric data for H<sub>2</sub>O – NaCl fluid inclusions. In fluid inclusions in Minerals, Methods and Applications. B. De Vivo and M. L. Frezzotti, eds., pub. By Virginia Tch, Blacksburg, VA, 117-130.
- Bodnar, R. J., 1994- Synthetic fluid inclusions. XII. Experimental determination of the liquidus and isochores for a 40 wt.% H<sub>2</sub>O-NaCl solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58:1053-1063.
- Cartwright, I. & Olive, N. H. S., 1994- Fluid flow during contact metamorphism at Mary Kahleen, Queensland, Australia. *Journal of Petrology* 35, 1493-1519.
- Eugster, H. P., 1986- Minerals in hot water. *American Mineralogist* 71: 655-673.
- Frietsch, R., Billstrom, K. & Perdahl, J. A., 1995- Sulphur isotope in Lower Proterozoic iron and sulphide ores in northern Sweden. Springer-Verlag, *Mineralium Deposita* 30: 275-284.
- Gilg, H. A., Lima, A., Somma, R., Belkin, H. E., Devivo, B. & Ayuso, R. A., 2001- Isotope geochemistry and fluid inclusion study of skarns from Vesuvius. *Springer-Verlag. Mineralogy and Petrology* 73: 145-176.
- Hattori, K. & Cameron, E. M., 1986- Archean magmatic sulphate. *Nature* 319: 45-47.
- Hoefs, J., 2004- Stable Isotope Geochemistry, 5th edition, Springer, 201 pp.
- Kusakabe, M., Mayeda, S. & Nakamura, E., 1990- S, O and Sr isotope systematic of active vent materials from the Mariana backarc basin spreading axis at 18 N: *Earth and planetary Science Letters* 100: 275-282.
- Kwake, T. A. P., 1986- Fe solubilities in very saline hydrothermal fluids: their relation to some ore deposits. *Economic Geology* 81: 447-465.
- Laouar, R., Boyce, A. J., Ahmed-Said, Y., Ouabadi, A., Fallick, A. E. & Toubal A., 2002- Stable isotope study of the igneous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough complex, Annaba, Northeast Algeria. *Journal of African Earth Sciences* 35: 271-283.
- Lee, C. H., Lee, H. K. & Kim, S. J., 1998- Geochemistry and mineralization age of magnesian skarn-type iron deposits, of the Janggun mine, Republic of Korea. Springer-Verlag. *Mineralium Deposita* 33: 379-390.
- Lingang, X., Jingwen, M., Fuquan, Y., Henning, D. & Jianmin, Z., 2010- Geology, geochemistry and age constraints on the Mengkuskarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW china. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30: 11-13.
- Meinert, L. D., 1992- Skarns and skarn deposits. *Geosci. Can.* 19: 145-162.
- Niiranen, T., Manttari, I., Poutiainen, M., Nicholas, H. S., Jodie, O. & Miller, A., 2005- Genesis of Palaeoproterozoic iron skarns in the Misi region, northern Finland. Springer-Verlag. *Mineralium Deposita* 40: 192-217.
- Ohmoto, H., 1972- Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Economic Geology* 67: 551-578.
- Ohmoto, H., 1986- Stable isotope geochemistry of ore deposits, in Vally, J.W., Taylor, H. P. Jr., and Oneil, J.R. (eds), *Stable isotope in high temperature geological processes: Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, 491-590.
- Paytan, A., Mearon, S., Cobb, K. & Kastner, M., 2002- Origin of marine barite deposits: Sr and S isotope characterization. *Geology* 30: 747-750.
- Pirajno, F., 1992- Hydrothermal Mineral Deposits – Principles and fundamental concepts for the Exploration Geologist. Springer., Verlag, 709 pp.
- Pirajno, F., 2009- Hydrothermal processes and Mineral Systems. Springer, 1273pp.
- Roedder, E., 1984- Fluid Inclusions. *Rev. Mineralogy, Mineral. Soc. Am.*, 644pp.
- Shepherd, T. J., Ranbin, A. H. & Alderton, D. H. M., 1985- A Practical Guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 239 pp.
- Shieh, Y. N. & Taylor, H. P., 1969- Oxygen and Carbon isotope studies of contact metamorphism of carbonate rocks. *Journal of Petrology* 10: 307-331.
- Singoyi, B. & Zaw, K., 2001- A petrological and fluid inclusion of magnetite scheelite skarn mineralization at Lara, northwestern Tasmania: implications for ore genesis, *Chemical geology* 173: 239 – 253.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits, *Lithos* 55: 229-272.
- Zurcher, L., Ruiz, J. & Barton, M. D., 2001- Paragenesis, elemental distribution, and Stable isotopes at the Pena Colorado iron skarn, Colima, Mexico. *Economic Geology* 96: 535-557.

# Genesis of the Hamyerd Iron Deposit, NE Semnan: Using Fluid Inclusion and Stable Isotope (S, C, O) Studies

M. Hajibrahmi <sup>1</sup>, N. Taghipour <sup>2\*</sup> & G. Ghorbani <sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

Received: 2012 October 13

Accepted: 2013 May 29

## Abstract

The Hamyerd iron deposit is located in the northeast of Semnan in the boundary of the southern Alborz and Central Iran structural zones. A sub-volcanic body of monzonite and monzodiorite composition intruded limestone and pyroclastic rocks (equivalent to the middle Eocene Karaj formation). The iron mineralization occurred at the contact between intrusive bodies and these sedimentary rocks. The extensive hematite content along with minor amounts of magnetite, goetite, limonite, pyrite, dolomite, barite and calcite are important characteristics of the Hamyerd ore deposit. Mineralization occurred as veins and also hematite lenses with minor magnetite content. Fluid inclusion and stable isotope (S, C and O) studies were integrated to explore the Hamyerd iron ore genesis. Petrographic studies display five types of fluid inclusions in quartz and 4 types in barite. Fluid inclusions in quartz include single-phase liquid, single-phase gas, two-phase liquid-rich, two-phase gas-rich, and three-phase (liquid-solid-gas) inclusions. Three-phase liquid-solid-gas inclusions were not detected in barite. Microtermometry studies in two-phase liquid-rich inclusions revealed homogenization temperatures of 200-250 °C and 100-200 °C, and salinities of 10-20 and 0.5-5 wt% NaCl equivalent for quartz and barite fluid inclusions, respectively. Microthermometry of halite-bearing three-phase fluid inclusions showed homogenization temperature from 200 to 350 °C and salinity from 30 to 40 wt% NaCl equivalent.  $\delta^{34}\text{SCDT}$  values of pyrites at Hamyerd iron deposit are in the range of 2.2 to 7.4‰. The isotopic values of barites range from 13.6‰ to 20.2‰ for  $\delta^{34}\text{SCDT}$  and 10.2‰ to 12.1‰ for  $\delta^{18}\text{OVSMOW}$ , respectively. The carbon and oxygen isotopic values of calcite are in the range of -3.4‰ to -4.5‰ and 17.7‰ to 19.1‰, respectively. Microthermometry of fluid inclusions and stable isotopes (S, O, C) at Hamyerd iron deposit suggested mixing of magmatic and meteoric fluids as origin of hydrothermal solutions. Mineralization in the Hamyerd iron deposit is probably similar to Fe-skarn deposits.

**Keywords:** Fluid inclusions, Stable isotopes, Hamyerd, Skarn, Semnan.

For Persian Version see pages 61 to 70

\*Corresponding author: N. Taghipour; E-mail:taghipour@du.ac.ir