

مقایسه کانی سازی اپی ترمال فلزهای پایه و گرانبها در مناطق گندی و ابوالحسنى استان سمنان، ایران

نوشته: دکتر غلامحسین شمعانیان اصفهانی*، دکتر جمشید حسن زاده**، دکتر جفری و. هدنکوئیست***،
دکتر کیکو هاتوری**** و دکتر مجید قادری*****

Comparison of epithermal base and precious metal deposits in Gandy and Abolhassani districts, Semnan Province, Iran

By: Dr. Gh.H. Shamanian*, Dr. J. Hassanzadeh**, Dr. J.W. Hedenquist***,
Dr. K. Hattori**** & Dr. M. Ghaderi*****

چکیده

ذخایر فلزهای پایه و گرانبهای گندی و ابوالحسنى در بخشی از کمربند آتشفشانی کلسیمی-قلیایی ترشیری شمال خاور ایران قرار دارند. سنگهای رخنمون یافته از توالی آتشفشانی-تخریبی شامل سیلت سنگها و ماسه سنگهای نازک لایه، لاپیلی توفها، برشهای آتشفشانی و گدازه های حد واسط در منطقه گندی و به طور عمده گدازه های آندزیتی در منطقه ابوالحسنى تشکیل شده است.

کانی سازی در منطقه گندی به صورت برشی و رگه ای رخ داده و به سه مرحله اصلی قابل تقسیم است. مرحله I از نظر کانی سازی طلا دارای اهمیت اقتصادی است. مرحله II از چهار مرحله فرعی تشکیل شده و شامل کانی سازی فلزهای پایه است. مرحله پایانی با فراوانی کوارتز و کلسیت مشخص می شود. کانی سازی در منطقه ابوالحسنى شامل سه مرحله اصلی است. دو مرحله اول و دوم دارای مجموعه کانیایی یکسان شامل کوارتز، کلسیت، گالن، اسفالریت، پیریت و کلکوپیریت است، در حالی که مرحله پایانی با فراوانی کوارتز و کلسیت مشخص می شود.

میانگین دمای همگن شدگی و شوری مجموعه میانبارهای سیال اولیه در منطقه گندی به ترتیب از 234°C تا 285°C و $4/2$ تا $5/4$ درصد وزنی معادل NaCl تغییر می کند. دمای همگن شدگی همخوانی خوبی با دمای ایزوتوپی جفت گالن-اسفالریت دارد. میانگین دمای همگن شدگی و شوری در منطقه ابوالحسنى به ترتیب از 234°C تا 340°C و $6/7$ تا $18/7$ درصد وزنی معادل NaCl تغییر می کند. در این منطقه، دمای ایزوتوپی جفت گالن-اسفالریت، دمای قابل قبولی ارائه نمی دهد. مقایسه T_{H_1} در مقابل T_{M_1} ، حضور یک سیال مشابه با شوری متوسط (5 تا 6 درصد وزنی معادل NaCl) و دمای 250°C در هر دو منطقه، اما با حضور یک بخش با شوری بالاتر در منطقه ابوالحسنى نشان می دهد. کانسار ابوالحسنى دارای میانگین بالاتر Ag/Au ($34/7$) و مقدار بالاتر $\text{Pb}+\text{Zn}$ (تا $7/6$ درصد وزنی) در مقایسه با کانسار گندی است ($2/1$ و $3/9$ درصد وزنی) که با حداکثر شوری در ابوالحسنى نسبت به گندی همخوانی دارد.

کانی سازی فلزهای پایه و گرانبها در برشهای گرمایی منطقه گندی در شرایط جوشش رخ داده، در حالی که کانی سازی در مرحله II احتمالاً نتیجه سردشدگی و رقیق شدگی سیال کانی ساز است. بر اساس روند آمیختگی سیالهای کانی ساز، تشکیل سولفیدهای فلزهای پایه در رگه های ابوالحسنى بر اثر تزریق چند باره سیال با شوری بالا و رقیق شدگی آن صورت گرفته است. ژرفای کمینه کانی سازی در گندی و ابوالحسنى به ترتیب 430 متر و 600 متر در زیر سطح آب زیرزمینی قدیمی است.

کلید واژه ها: گندی، ابوالحسنى، فلزهای پایه و گرانبها، اپی ترمال.

Abstract

Gandy and Abolhassani epithermal precious-and base-metal deposits occur in the Tertiary calc-alkaline volcanic belt of northeast Iran. The exposed rock units consist of a volcanoclastic sequence of thin-bedded siltstones and sandstones, lapilli tuffs, volcanic breccias and intermediate lava flows at Gandy, and mostly andesitic flows at Abolhassani.

Mineralization in Gandy occurs as veins and breccias and can be divided into three main stages. Stage I is economically important in terms of precious metal content. Stage II consists of four substages and contains the majority of base-metal mineralization. The final stage is dominated by quartz and calcite. Mineralization of the Abolhassani veins occurred in three main stages. The first two stages contain similar mineral assemblages, including quartz, calcite, galena, sphalerite, pyrite and chalcocopyrite, which are economically important in terms of base-metal content, whereas the final stage is dominated by quartz and calcite.

The average homogenization temperatures and salinities of fluid inclusion assemblages from Gandy range from 234° to 285 °C, and 4.2 to 5.4 wt% NaCl equiv. The homogenization temperatures are in a good agreement with isotopic temperatures from two sphalerite and galena pairs (236° and 245 °C). The average temperature and salinity of fluid inclusion assemblages from Abolhassani district range from 234° to 340 °C, and 6.7 to 18.7 wt% NaCl equiv. Sulfide pairs of sphalerite-galena do not give reasonable equilibration fractionation temperatures at Abolhassani. Comparison of T_h versus freezing (T_m) values for the two deposits indicates the presence of a moderate salinity fluid (5-6 wt% NaCl) of similar temperature (250 °C) in each deposit, but with a higher salinity component also present at Abolhassani. The Abolhassani district shows higher average Ag/Au (34.7) and Pb + Zn contents (up to 7.6 wt%) than Gandy (Ag/Au 2.1 and 3.9 wt%), consistent with the nearly 4x higher maximum salinity at Abolhassani compared to Gandy.

Precious and base-metal mineralization within hydrothermal breccias of Gandy may have deposited under boiling conditions, whereas base-metal mineralization in stage II most likely occurred due to dilution. Based on mixing trends, base-metal sulfides in Abolhassani veins were deposited during periodic injection and dilution of brines. The minimum depth of formation was at least 430 m and 600 m below the paleowater table for Gandy and Abolhassani, respectively.

Key Words: Gandy, Abolhassani, Precious- and base- minerals, Epithermal.

مقدمه

۱۹۹۵). برای بررسی ماهیت کانی سازی در مناطق گندی و ابوالحسینی، مطالعات دقیق آزمایشگاهی شامل بررسی ترکیب کانیهای سولفیدی ودانه‌های طلای آزاد، مجموعه‌های دگرسانی، مطالعه میانبارهای سیال و تجزیه ایزوتوبهای گوگرد کانیهای سولفیدی و سولفاتی انجام گرفت که بخشی از نتایج آن در این مقاله ارائه شده است.

زمین شناسی

رشته کوه ترود- چاه شیرین به طور عمده از سنگهای آذرین مزوزویک پسین تا تشریری تشکیل شده است. اوج فعالیت ماگمایی در زمان ائوسن میانی تا احتمالاً پسین روی داده که به سه مرحله قابل تقسیم است (هوشمندزاده و دیگران، ۱۳۵۷؛ اشراقی، ۱۳۷۷: ۱) فعالیت‌های آتشفشانی انفجاری شامل توف، خاکسترهای ریولیتی تا ریوداسیتی و به طور محلی گدازه‌های آندزیتی و به صورت فرعی مارن، ماسه سنگ، مارن سنگ و ماسه سنگهای توفی؛ ۲) گدازه‌ها و سنگهای آذرآواری با ترکیب آندزیتی، تراکی آندزیتی و آندزیت بازالتی؛ و ۳) سنگهای با ترکیب داسیتی- ریوداسیتی و توده‌های نفوذی نیمه ژرف. الگوی ساختاری این ناحیه توسط دو گسل امتداد لغز اصلی به نامهای انجیلو در شمال و ترود در جنوب کنترل می‌شود که هر دو امتداد شمال خاوری دارند (شکل ۱).

سنگهای آتشفشانی رشته کوه ترود- چاه شیرین توسط توده‌های نفوذی زیادی بریده شده که بر اساس شواهد چینه‌شناسی سن ائوسن پسین- الیگوسن دارند. رشیدنژاد عمران (۱۳۷۱) با مطالعه این توده‌های نفوذی در

رشته کوه ترود- چاه شیرین بخشی از کمان آتشفشانی کلسیمی- قلیایی آلکالن شمال ایران است (شکل ۱). این ناحیه میزبان تعداد زیادی رخدادهای معدنی و معدن متروک، بویژه رگه‌های فلزهای پایه اپی‌ترمال است و از این رو مورد توجه بسیاری از پژوهشگران (مانند رشید نژاد، ۱۳۷۱؛ آقاجانی، ۱۳۷۵؛ احمدی شاد و دیگران، ۱۳۷۶؛ تاج‌الدینی و رشیدنژاد عمران ۱۳۷۷؛ مر و دیگران، ۱۳۷۸) قرار گرفته است. از بین این رخدادهای معدن متروک، می‌توان به گندی (Pb - Zn)، ابوالحسینی (Pb - Zn)، چشمه حافظ (Pb - Zn)، چالو (Cu)، چاه مسی (Cu)، پوسیده (Cu) و دارستان (Au-Cu) اشاره کرد.

این مقاله بر روی دو کانسار اپی‌ترمال در منطقه معلمان، در فاصله ۴۰۰ کیلومتری خاور تهران، متمرکز است. این دو کانسار در مناطق گندی و ابوالحسینی قرار دارند و به ترتیب توسط بی‌هنجاری زمین‌شیمیایی فلزهای گرانبها و پایه مشخص می‌شوند (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۹۹۵). این مقاله با مقایسه این دو کانسار، ضمن ارائه مدل کانی‌سازی و برآورد ژرفای فرسایش که در ارزیابی اقتصادی این کانسارها دارای اهمیت است، به نکات اکتشافی در ناحیه مورد مطالعه اشاره می‌کند.

مناطق گندی و ابوالحسینی بخشی از رشته کوه ترود- چاه شیرین است که در ۲۰ کیلومتری شمال خاور روستای معلمان (شکل ۱) قرار دارند. در هر یک از دو منطقه، یک معدن متروک سرب و روی در فاصله ۳ کیلومتری از یکدیگر وجود دارد. این دو منطقه جزو پنج منطقه امید بخشی است که پس از انجام اکتشافات زمین‌شیمیایی ناحیه‌ای در منطقه معلمان برای اکتشاف Au, Pb, Zn, Cu پیشنهاد شد (سازمان زمین‌شناسی کشور،

دگرسانی

منطقه اصلی دگرسانی در گندی، حدود ۱ کیلومتر مربع وسعت دارد و در محدوده معدن قدیمی متمرکز است. با این وجود، رخنمونهای پراکنده دگرسانی مرتبط با رگه‌ها، محدوده‌ای به وسعت ۴ کیلومتر مربع را می‌پوشاند و در میان آنها، رخنمون گدازه‌های آندزیتی نادگرسان وجود دارد. شدیدترین مناطق دگرسانی، در توفهای ریولیتی و ماسه سنگهای توفی وجود دارد که هاله‌هایی با پهنای حدود ۲ متر را تشکیل می‌دهد. توفها سیلیسی شده‌اند، ایلیت گسترده است و جانشین فلدسپارها و زمینه ریز دانه سنگ شده است؛ کلریت کمیاب است. در معدن قدیمی گندی، لایه‌های توفی در پیرامون رگه‌ها به کائولینیت دگرسان شده‌اند و پهنای هاله‌های دگرسانی به ۲ متر می‌رسد. توفهای ریولیتی توسط اکسیدهای آهن ثانویه مانند گوتیت و لیمونیت آغشته شده‌اند. رخنمونهای بخش شمالی منطقه گندی، از گدازه‌های حد واسط بدون دگرسانی تا دگرسانی ضعیف تشکیل شده‌اند. دگرسانی شدید شامل تشکیل کوارتز، ایلیت و کلسیت است که به صورت هاله‌هایی با پهنای کمتر از یک متر پیرامون رگه‌های کوارتز-کلسیت تشکیل شده است. کائولینیت در زونهای باریک با پهنای ۲-۱ سانتی متر بلافاصله پس از رگه‌ها تشکیل شده و احتمالاً در ارتباط با اکسایش سولفیدها است.

دگرسانی گرمابی در منطقه ابوالحسنی در نزدیکی رگه‌ها شدید است، اما در سراسر منطقه متغیر و به صورت رخنمونهای پراکنده دیده می‌شود. رگه‌ها در محدوده‌ای به گسترش حدود یک کیلومتر مربع همراه با هاله‌های دگرسانی رخنمون دارند. اپیدوت و کلریت عمومیت دارند که جانشین بیوتیت، هورنبلند و پیروکسن شده‌اند. پهنای هاله‌های دگرسانی از چند سانتی متر تا ۲ متر در اطراف رگه‌ها متغیر است.

مراحل کانی‌سازی و کانی‌شناسی رگه‌ها

۱- توالی پاراژنری کانی‌سازی در گندی

کانی‌سازی در منطقه گندی به صورت رگه‌ای و برشی رخ داده است. رگه‌ها شامل مجموعه‌های کوارتز-کربنات نابارور در بخش شمالی منطقه گندی، و رگه‌های با اهمیت اقتصادی اما باریک ($< 30\text{ cm}$) از سولفیدهای فلزهای پایه در معدن قدیمی است. برشها شامل مناطق با اهمیت اقتصادی از نظر طلا و فلزهای پایه است که با شکلهای تخت و با زاویه زیاد (پهنای کمتر از ۱۰۰ سانتی متر) وجود دارد. کانی‌سازی در این منطقه، براساس بررسی رابطه بریده شدگی پدیده‌های کانی‌سازی در مقیاسهای درشت تا میکروسکوپی به سه مرحله اصلی و چند زیر مرحله فرعی قابل تقسیم است (شکل ۴، الف). سه مرحله اصلی کانی‌سازی به خوبی بر روی زمین و گاه در نمونه دستی قابل تفکیک است.

منطقه باغو (بخش شمالی رشته کوههای تروود-چاه شیرین)، سن آنها را به دلیل بریدن سنگهای آتشفشانی ائوسن به ائوسن پسین-الیگوسن پیشین نسبت می‌دهد. کهنسال (۱۳۷۷) توده‌های نفوذی ائوسن پسین-الیگوسن این ناحیه را به سه گروه شامل توده‌های اسیدی با ترکیب میکروگرانیت تا گرانودیوریت، توده‌های حد واسط با ترکیب میکروکوارتزومونزویت تا میکروکوارتز دیوریت و بالاخره سنگهای بازی با ترکیب دولریت و میکروگابرو تقسیم می‌کند.

منطقه گندی

نقشه زمین‌شناسی در گستره‌ای با وسعت حدود ۸ کیلومتر مربع پیرامون سامانه اپی‌ترمال گندی تهیه شد. رخنمونها به طور عمده شامل سنگهای آذرآواری فلسیک، گدازه‌های حد واسط و برشهای آتشفشانی است که توسط نفوذیهای کم ژرفا با ترکیب سیلیسی تر بریده شده‌اند (شکل ۲). ستون چینه‌شناسی محلی عبارت است از:

(۱) یک توالی آتشفشانی-تخریبی از سیلت سنگها و ماسه سنگهای نازک لایه با بین لایه‌های مارن سنگ و ماسه سنگهای توفی در بخش پایینی و توفهای ریولیتی و ماسه سنگهای توفی با بین لایه‌های چرتی در بخش بالایی متعلق به بخش پایینی ائوسن میانی. ستبرای لایه‌های توفی از ۳ تا ۲۰ سانتی متر تغییر می‌کند. (۲) لایلی توف، برشهای آتشفشانی و گدازه‌های حد واسط با سن ائوسن میانی که به طور ناپیوسته و توسط یک کنگلومرای قاعده‌ای با ستبرای حدود ۲۰ متر بر روی واحد قبلی قرار می‌گیرد. این واحد توسط ماسه سنگها و سیلت سنگهای درشت تا ریز دانه پوشیده شده است. (۳) گنبد‌های ریولیتی تا ریوداستیتی جوان‌ترین سنگهای این منطقه هستند که در واحدهای قدیمی‌تر تزریق شده‌اند. سن آنها ممکن است ائوسن و یا جوان‌تر باشد.

منطقه ابوالحسنی

ابوالحسنی در ۳ کیلومتری شمال گندی و در ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متری، ۲۰۰ متر بالاتر از گندی قرار دارد. نقشه زمین‌شناسی در گستره‌ای به وسعت حدود ۴ کیلومتر مربع در اطراف این سیستم تهیه شد. رخنمونها اساساً از سنگهای آتشفشانی مانند آندزیت (شکل ۳) تشکیل شده‌اند. توالی چینه‌شناسی در این منطقه عبارت است از: (۱) پایین‌ترین بخش، از ماسه‌سنگهای نازک لایه متعلق به بخش بالایی ائوسن میانی تشکیل شده است. (۲) سنگهای آذرآواری، آندزیت و تراکی آندزیت با سن ائوسن پسین. این بخش توسط گنبد‌های داستیتی تا ریوداستیتی، همچنین توسط توده‌های نفوذی با ترکیب کوارتزومونزویت تا گرانیتی بریده شده است. سن این نفوذیها، نامعلوم و احتمالاً الیگوسن و یا جوان‌تر است.

مرحله I: این مرحله از نظر کانی‌سازی فلزهای پایه دارای اهمیت اقتصادی است. این مرحله از برشهایی تشکیل شده که دارای قطعاتی از سنگ میزبان با دگرسانی پروپیلیتی، با اندازه‌های تا ۵ سانتی متر می باشد. برشها توسط سولفیدهای فلزهای پایه، کوارتز ریز بلور، کلسیت و کلریت سیمانی شده‌اند. مناطق برشی شکل نامنظم تا تخت و سبزی برای بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر دارند. این مرحله، از سه مجموعه کانیایی تشکیل شده است: الف) کوارتز و پیریت؛ ب) پییریت، کلکوپیریت، اسفالریت و گالن؛ ج) کوارتز، کلسیت و کلریت.

مرحله II: این مرحله نیز از نظر مقدار فلزهای پایه دارای اهمیت اقتصادی است و توسط رگه‌های سولفیدهای فلزهای پایه، کوارتز و کلسیت با سبزی ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی متر مشخص می شود. این مرحله دارای مجموعه کانیایی زیر است: الف) کوارتز و پیریت؛ ب) پییریت، کلکوپیریت و اسفالریت؛ ج) پییریت، اسفالریت و گالن؛ د) کوارتز، کلسیت و کلریت.

مرحله III: این مرحله، از رگچه‌های کوارتز با سبزی چند میلی متر تا چند سانتی متر در همبری رگه‌های اصلی تشکیل شده‌اند. پییریت به طور کمیاب در رگچه‌ها وجود دارد.

زمین شیمی رگه‌ها و کانیها

نتایج تجزیه شیمیایی رگه‌های گندی و ابوالحسنی در جدولهای ۱ و ۲ آمده است. عیار کمینه، میانگین و بیشینه عناصر در ۱۴ نمونه کانالی از رگه‌های گندی عبارت است از: ۰/۱، ۱۴/۵ و ۶۸/۳ گرم در تن طلا؛ ۱، ۳۰/۶ و ۱۶۱/۲ گرم در تن نقره؛ ۰/۰۰۲، ۳/۱ و ۱۳/۱ درصد وزنی سرب؛ ۰/۰۰۴، ۰/۸۴ و ۳/۸ درصد وزنی روی و ۰/۰۰۲، ۱ و ۶/۳ درصد وزنی مس. برای مقایسه، عیار کمینه، میانگین و بیشینه عناصر در ۱۹ نمونه کانالی از رگه‌های این منطقه عبارت است از: ۰/۱، ۰/۸۵ و ۶ گرم در تن طلا؛ ۱/۵، ۲۹/۵ و ۱۱۵/۲ گرم در تن نقره؛ ۰/۰۰۱، ۶/۴ و ۱۶/۵ درصد وزنی سرب؛ ۰/۰۰۱، ۱/۲ و ۵/۲ درصد وزنی روی و ۰/۰۰۱، ۰/۸۳ و ۷/۷ درصد وزنی مس.

ترکیب شیمیایی طلای آزاد، اسفالریت و پییریت توسط روش ریز کاو الکترونی و با استفاده از دستگاه Camebax MBX در دانشگاه کارلتون تعیین شد که نتایج آن به شرح زیر است: طلای آزاد در مجموعه‌های کانیایی خاصی در منطقه گندی وجود دارد که در بخش پیش توصیف شد. در مرحله I، طلا درون پییریت دگرسان شده و در مرحله II، درون گالن و کلکوپیریت یافت شد. ترکیب دانه‌های طلا در مرحله I و II به ترتیب از ۸۵/۱ تا ۹۱ و ۸۷/۵ تا ۹۱ درصد وزنی طلا متغیر است. نقره عنصر دیگری است که همراه با طلا درون دانه‌های طلا وجود دارد. در نمونه‌های ابوالحسنی هیچ گونه ذره طلا در مطالعات سنگ‌نگاری و ریز کاو الکترونی دیده نشد.

مرحله I: این مرحله شامل توده‌های برشی با قطعاتی از سنگ میزبان با اندازه‌ای تا ۲۰ سانتی متر است که از نظر مقدار فلزهای گرانها اهمیت اقتصادی دارد. برشها عموماً توسط سولفیدهای فلزهای پایه، کربناتها و کوارتز ریز بلور سیمانی شده‌اند.

برشها دارای شکلهای تخت با سبزی بین ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی متر و امتداد ۵۰ تا ۷۰ درجه و شیب ۶۰ تا ۹۰ درجه به طرف جنوب خاور هستند. این مرحله دارای مجموعه کانیایی زیر است: الف) کلکوپیریت، پییریت، دولومیت، کلسیت؛ ب) پییریت، طلای آزاد، اسفالریت، گالن، کلسیت. اندازه دانه‌های طلا از ۲۰ تا ۵۰ میکرون تغییر می‌کند و درون پییریت‌های دگرسان شده یافت می‌شود، ج) کوارتز ریز بلور که مربوط به آخرین رویداد کانی‌سازی در این مرحله است.

مرحله II: مهم‌ترین مرحله کانی‌سازی فلزهای پایه و گرانها است. رگه‌های باریک و رگچه‌های فلزهای پایه، کوارتز، کربنات و باریت مشخص کننده این مرحله است. مجموعه کانیایی این مرحله عبارت است از: الف) کلکوپیریت، پییریت و باریت؛ ب) کلکوپیریت، پییریت، تانتیت، اسفالریت، گالن و باریت؛ اندازه دانه‌های طلای آزاد از ۴۰ تا ۷۰ میکرون تغییر می‌کند و درون کلکوپیریت و گالن یافت می‌شود. ج) پییریت، اسفالریت، گالن، کلسیت، دولومیت و اپیدوت (کمیاب؛ د) پییریت و کوارتز ریز بلور.

مرحله III: این مرحله شامل رگه‌هایی با سبزی ۵ تا ۱۰۰ سانتی متر شامل کوارتز، کربناتها و سولفیدهایی مانند پییریت و کلکوپیریت است که رگه‌های مرحله II کانی‌سازی را بریده و بیشترین گسترش را در بخش شمالی منطقه گندی دارد. این مرحله دارای مجموعه کانیایی زیر است: الف) کلسیت و پییریت؛ ب) پییریت، بورتیت، کلکوسیت، کلکوپیریت، باریت و کلسیت؛ ج) پییریت و باریت؛ د) کوارتز ریز بلور. اگرچه این مرحله از نظر حجمی بخش مهمی از کانی‌سازی را در بر می‌گیرد، اما تمرکز پائینی از فلزهای پایه (کمتر از ۱ درصد وزنی به صورت آمیخته) و طلا ($5 \text{ ppm} <$) دارد.

۲- توالی پاراژنی کانی‌سازی در ابوالحسنی

معدن متروک ابوالحسنی دارای دو تونل استخراجی به نامهای ابوالحسنی و چشمه سفید است. کانی‌سازی اساساً به صورت رگه‌ای و برشی رخ داده است. رگه‌های ابوالحسنی امتداد ۵۰ تا ۶۰ درجه و شیب ۴۰ تا ۵۰ درجه به طرف شمال خاوری دارند. طول رگه‌ها از ۲۰ تا ۵۰ متر متغیر است. رگه‌های چشمه سفید دارای امتداد ۷۰ تا ۸۵ درجه و شیب ۴۰ تا ۵۰ درجه به طرف شمال خاوری است. طول این رگه‌ها از ۲۰ تا ۲۰۰ متر تغییر می‌کند. کانی‌سازی در این منطقه به سه مرحله قابل تقسیم است و در روی زمین قابل از یکدیگر قابل تفکیک هستند (شکل ۴، ب):

مجموعه‌ای از داده‌های سودمنند و قابل اطمینان را ارائه می‌دهد (Goldstein & Reynolds, 1994). دمای همگن شدگی و ذوب یخ به ترتیب برای ۵۲۴ و ۴۴ میانبار اندازه گیری شد که معرف ۹۴ مجموعه میانبار سیال در ۶ نمونه است.

۱- منطقه گندی

داده های میانبارهای سیال در این منطقه از سه رگه مختلف با فاصله حدود ۲۰۰ متر از یکدیگر و در ارتفاع یکسان گرد آوری شد تا تغییرات مکانی دوره های کانی سازی را نشان دهد. میانگین دمای همگن شدگی (T_H) در مجموعه میانبار سیال اولیه از $234^\circ C$ تا $285^\circ C$ تغییر می‌کند (شکل ۵، الف)، و بر روی نمودار فراوانی، یک بیشینه در $250^\circ C$ نشان می‌دهد. دمای ذوب یخ (T_m) از $2/6^\circ$ تا $3/3^\circ C$ تغییر می‌کند. شوری محاسبه شده بر اساس دمای ذوب یخ و با استفاده از معادله های Bodnar (1993) از $4/2$ تا $5/4$ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. رابطه بین T_H در برابر T_m کاهش این دو پارامتر را در طول یک روند خطی ساده نشان می‌دهد (شکل ۶) که معرف سرد شدگی و رقیق شدگی سیال کانی ساز است (Hedenquist & Henley, 1985).

۲- منطقه ابوالحسنی

داده های میانبارهای سیال از سه رگه مختلف به دست آمد. میانگین دمای همگن شدگی در مجموعه میانبارهای سیال اولیه از $233^\circ C$ تا $340^\circ C$ تغییر می‌کند (شکل ۵، ب)، که نمودار فراوانی آنها دارای سه بیشینه در دمای 250° ، 275° و $340^\circ C$ است. دمای ذوب یخ و شوری میانبارهای سیال به ترتیب از $4/2^\circ$ تا $15/6^\circ C$ و $6/7$ تا $18/7$ درصد وزنی معادل NaCl تغییر می‌کند. رابطه T_H در مقابل T_m دامنه وسیعی از تغییرات، اما در امتداد یک روند خطی را نشان می‌دهد (شکل ۶).

داده های ایزوتوپ گوگرد

داده های ایزوتوپی به ترتیب از ۲ و ۳ عدد نمونه در گندی و ابوالحسنی به دست آمد. موقعیت نمونه‌ها مشابه نمونه‌های مربوط به مطالعه میانبارهای سیال است. در این مطالعه، جفتهای اسفالریت-گالن و باریت-گالن با استفاده از عامل تفریق ارائه شده توسط Ohmoto & Goldhaber (1997)، مورد استفاده قرار گرفت. دمای ایزوتوپی محاسبه شده در جدول ۳ آمده است. در منطقه گندی، دمای تعادل ایزوتوپی از جفت گالن-اسفالریت ($236^\circ C$ و $245^\circ C$) در توافق خوبی با دمای همگن شدگی میانبارهای سیال ($249^\circ C$ و $262^\circ C$)، به ترتیب برای دو نمونه است. دامنه دمای به دست آمده از دو روش تا $15^\circ C$ همپوشی دارد. دمای ایزوتوپی

بلورهای اسفالریت در منطقه گندی زون بندی ضعیفی را نشان می‌دهد. بلورها هسته سفید تا زرد روشنی دارند که به طرف حاشیه به رنگ زرد تغییر می‌یابد. مقادیر FeS و CdS به ترتیب از $0/8$ تا $1/6$ و $0/2$ تا $0/6$ درصد مولی تغییر می‌کند که از هسته به طرف حاشیه بلورها افزایش می‌یابد. بلورهای اسفالریت در منطقه ابوالحسنی فاقد زون بندی است که مقدار FeS و CdS در این بلورها به ترتیب از ۱ تا ۳ و $0/2$ درصد مولی تغییر می‌کند.

دو نوع پیریت در مرحله II کانی سازی در منطقه گندی قابل تشخیص است. نوع اول شامل بلورهای خوش وجه (euhedral) تا بد وجه (subhedral) فقیر از آرسنیک (کمتر از $0/1$ درصد وزنی) بوده که همراه با کلکوپیریت، اسفالریت و گالن دیده می‌شود. نوع دوم دارای بافت کلوفرمی است و معمولاً بر روی بلورهای پیریت (با اندازه ۲۰-۵۰ میکرون) تشکیل شده است. مقدار آرسنیک در این نوع پیریت، تا $6/4$ درصد وزنی می‌رسد. در منطقه ابوالحسنی، بلورهای پیریت فاقد زون بندی و فقیر از آرسنیک هستند. تمرکز بالای آرسنیک ($0/2$ تا $1/9$ درصد وزنی) فقط در یک بلور پیریت دیده شد.

داده های میانبارهای سیال

میانبارهای سیال مناسب برای مطالعه، در بلورهای اسفالریت یافت شد. به دلیل اندازه کوچک میانبارهای سیال در کوارتز، تنها تعداد اندکی از آنها مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌ها از مناطق گندی و ابوالحسنی گرد آوری شد تا بتوان دمای سیالهای کانی ساز و ترکیب آنها را در این دو منطقه مقایسه کرد. میانبارهای سیال اولیه، ثانویه دروغین و ثانویه از یکدیگر تفکیک شدند که به طور عمده غنی از مایع بوده و فاقد فاز نوزاد هستند. همه میانبارهای سیال در دمای اتاق، دو فازی (مایع و بخار) هستند که نسبت بخار به مایع در آنها از $0/1$ تا $0/4$ تغییر می‌کند. اندازه میانبارهای سیال در اسفالریت عموماً از ۵ تا ۴۰ میکرون و حداکثر تا ۱۴۰ میکرون با شکلهای بیضوی، نامنظم، منظم و میله ای تغییر می‌کند. مطالعات ریزدماسنجی بر اساس روشهای مرسوم با استفاده از سامانه گرمایش-سرمایش جریان گاز، تأیید شده توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده، در دانشگاه اتاوا انجام گرفت. درستی اندازه گیریها برای دمای همگن شدگی (Ice melting temperature) (T_H) و ذوب یخ (Fluid inclusion assemblage) (T_m) به ترتیب $1^\circ \pm$ و $0/1^\circ \pm$ است. نتایج دماسنجی میانبارهای سیال در پیوسته‌های ۱ و ۲ آمده است. هر ردیف از داده‌ها اساساً نشانگر اندازه گیری گروهی از میانبارهای سیال است که به نام مجموعه میانبارهای سیال (Fluid inclusion assemblage) نامیده می‌شود و

بالتر از منطقه گندی است (به ترتیب ۲/۱ و ۳/۹ درصد وزنی) (شکل ۷). این نتایج با شوری بیشینه (حدود ۴ برابر) در منطقه ابوالحسنی (۱۸/۷ درصد وزنی معادل NaCl)، نسبت به منطقه گندی (۵/۴ درصد وزنی معادل NaCl) همخوانی دارد. به این ترتیب، سیال گرمایی در منطقه ابوالحسنی که با شوری بالاتر نسبت به منطقه گندی مشخص می‌شود، باعث کانی‌سازی فلزهای پایه و نقره در این منطقه شده و حضور کمپلکس‌های طلا در این سیال به حدی نبوده که باعث تشکیل طلا به صورت دانه‌های طلای آزاد شود. انتقال نقره و فلزهای پایه در چنین شرایطی، بیشتر توسط کمپلکس‌های کلریدی صورت می‌گیرد (Seward & Barnes, 1997). برعکس، شوری کمتر سیال گرمایی در منطقه گندی امکان حضور کمپلکس‌های طلا را فراهم آورده و باعث تشکیل دانه‌های طلای آزاد شده است. کمپلکس بیسولفیدی $Au(HS)_2^-$ مهم‌ترین کمپلکس برای انتقال طلا در چنین شرایطی است (Seward & Barnes, 1997; Benning & Seward, 1996). ارتباط میان کانی‌سازی نقره و فلزهای پایه با سیالهای با شوری نسبتاً بالاتر و کانی‌سازی طلا-نقره با سیالهای با شوری پایین‌تر، قبلاً نیز پیشنهاد شده (Henley, 1985) و برای کانسارهای اپی ترمال مکزیکی به طور مشخص تأیید شده است (Albinson et al., 2001).

ایالت‌های فلززایی مکزیکی میزبان تعداد زیادی کانسار اپی ترمال فلزهای پایه و گرانبها است (Albinson et al., 2001) و در منابع علمی به عنوان کانسارهای اپی ترمال نوع سولفیدی شدن پایین تا حد واسط معرفی شده‌اند (White & Hedenquist, 1990; Hedenquist et al., 2000).

Albinson et al. (2001) ۵۲ کانسار از این مجموعه را بر اساس شوری میانبراهای سیال و مقدار فلز بررسی و آنها را به سه گروه تقسیم کرده‌اند: کانسارهای Au-Ag با کمترین مقدار شوری، کانسارهای فلزهای گرانبها + فلزهای پایه با شوری متوسط و کانسارهای فلزهای پایه همراه با مقداری فلزهای گرانبها به صورت فرعی با بیشترین مقدار شوری. در این کانسارها، سیالهای گرمایی مسئول تشکیل کانسارهای نوع طلا-نقره دارای شوری کمتر از ۳/۵ درصد وزنی معادل NaCl هستند. در حالی که، شوری سیالهای گرمایی در کانسارهایی که از نظر کانی‌سازی فلزهای پایه اهمیت دارند، بین ۲۰ تا ۲۳ درصد وزنی معادل NaCl تغییر می‌کند. این داده‌ها پیشنهادکننده یک رابطه زایشی بین شوری سیالهای گرمایی و نوع کانیهای سولفیدی است. جدول ۴ برخی از ویژگیهای کانسارهای فرزنیلو و لاگیتارا در مکزیکی را که به ترتیب با کانسارهای ابوالحسنی و گندی قابل مقایسه‌اند، نشان می‌دهد.

مقایسه دمای T_H در مقابل T_{M1} برای دو منطقه گندی و ابوالحسنی (شکل ۶)، حضور یک سیال مشابه با شوری متوسط و دمای یکسان

از جفت باریت-گالن ($293^\circ C$ تا $313^\circ C$)، بالاتر از دمای همگن شدگی و دمای ایزوتوپی جفت گالن-اسفالریت است. جفت گالن-اسفالریت در منطقه ابوالحسنی دمای ایزوتوپی قابل قبولی ارائه نمی‌دهد. اگرچه دمای همگن شدگی تا $345^\circ C$ تغییر می‌کند، اما دمای ایزوتوپی $100^\circ C$ تا $200^\circ C$ بالاتر از میانگین دمای همگن شدگی ($275^\circ C$) است (جدول ۳). این ناهمخوانی بین دمای به دست آمده از دو روش، نشان می‌دهد که گالن و اسفالریت همزمان نبوده و یا در شرایط عدم تعادل ایزوتوپی متبلور شده‌اند.

بحث

۱- ترکیب سیالهای کانی ساز

میانبراهای سیال در محیطهای اپی ترمال غنی از طلا، دو فاز مایع و بخار (Bodnar et al., 1985; Roedder, 1984)، و نقطه ذوب پایینی دارند (Hedenquist & Henley, 1985)، هرچند میانبراهای سیال در کانسارهای غنی از فلزهای پایه و نقره به طور آرمانی شوری ۵ تا ۲۰ درصد وزنی معادل NaCl دارند (Albinson et al., 2001). شوری، بر اساس دمای ذوب یخ محاسبه شد و نشان می‌دهد که میانبراهای سیال منطقه گندی رقیق‌تر از منطقه ابوالحسنی است. در هیچ یک از مراحل سرمایش، کلاترات (Clathrate) (Collins, 1979) دیده نشد. کلاتراتی شدن (Clathration) فرایندی است که اساساً در میانبراهای سیالی دیده می‌شود که دو فاز مایع شامل یک فاز آبگین و یک فاز مایع غنی از CO_2 دارند. این نوع میانبراهای سیال هنگام سرمایش، دو مرحله یخ‌زدگی نشان می‌دهند. در مرحله اول، مجموعه‌ای از هیدراتهای CO_2 (کلاتراتی شدن) تشکیل می‌شود و در مرحله دوم فاز آبگین یخ می‌زند.

با این وجود، این پدیده در میانبراهای سیالی که مقدار CO_2 آنها به حدی نیست که یک فاز مایع غنی از CO_2 را تشکیل دهند، نیز دیده می‌شود و معرف حضور CO_2 در این میانبراهای سیال است. (Hedenquist & Henley, 1985) متذکر شده‌اند که حضور ۴/۴ درصد وزنی CO_2 محلول، حتی بدون مشاهده کلاترات در طی سرمایش، می‌تواند باعث کاهش نقطه انجماد میانبراهای سیال تا $1/5^\circ C$ در سامانه‌های اپی ترمال شود. اگر CO_2 در سامانه‌های اپی ترمال گندی و ابوالحسنی وجود داشته باشد، شوری محاسبه شده در این پژوهش حداکثر مقدار شوری است. به عبارتی مقدار شوری، ۲/۶ ~ درصد وزنی معادل NaCl کمتر از مقادیر ارائه شده است.

شوری میانبراهای سیال با مقدار فلزها و نتایج کانی‌شناسی به دست آمده از هر یک از این دو منطقه همخوانی دارد. در منطقه ابوالحسنی میانگین نسبت Ag/Au (۳۴/۷) و مقدار $Pb + Zn$ (میانگین ۷/۶ درصد وزنی)،

و شوری ۵ درصد وزنی معادل NaCl، بر منحنی جوشش با شوری ۵ درصد وزنی معادل NaCl انطباق داده شد. ژرفای کانی سازی در هر دو منطقه، حدود ۴۳۰ متر و ۶۰۰ متر در زیر سطح آب زیرزمینی قدیمی به ترتیب برای گندی و ابوالحسنى، منطبق با کانی سازی اپی ترمال در ژرفای متوسط است. چنین ژرفایی، مشخص کننده سامانه‌های اپی ترمال نقره و غنی از فلزهای پایه متعلق به گروه سولفیدی شدن حد واسط است (Hedenquist et al., 2000; Albinson et al., 2001). احتمالاً در هر دو منطقه، کانی سازی در ژرفای کمتر نیز رخ داده که در حال حاضر به دلیل فرسایش، از بین رفته است. سطح فرسایش کنونی در منطقه ابوالحسنى نسبت به منطقه گندی معرف بخشهای ژرف تر این سامانه اپی ترمال است که با بالا بودن نسبت Ag / Au و مقدار بیشتر فلزهای پایه در این منطقه همخوانی دارد. در سامانه‌های اپی ترمال دو پارامتر اخیر به طور آرمانی با افزایش ژرفا، افزایش می یابند (Buchanan, 1981).

به طور خلاصه، کانی سازی فلزهای پایه در کانسار ابوالحسنى بر اثر تزریق متناوب سیالی با شوری بالا رخ داده که شواهد آشکاری از آمیختگی این سیال با سیالی با شوری متوسط و مشابه با سیال کانی ساز در منطقه گندی دیده می شود. حضور سیالهای متفاوت با شوریه‌های پایین و بالا در یک کانسار و نقش آنها در کانی سازی نقره و فلزهای پایه نیز در برخی از کانسارهای اپی ترمال مانند منطقه فرزنیلو (Fresnillo) مکزیک (Simmons et al., 1988; Simmons, 1991; Albinson et al., 2001) گزارش شده است.

با توجه به داده‌های به دست آمده در این پژوهش و نیز وجود رخدادهای معدنی متعدد در رشته کوه تروود-چاه شیرین و ارتباط زمانی و مکانی آنها با فعالیتهای ماگمایی، به نظر می رسد که دست کم بخشی از فعالیتهای گرمایی در مناطق مورد مطالعه، در ارتباط با فعالیتهای ماگمایی بوده است. این موضوع، به ویژه در مورد منطقه ابوالحسنى اهمیت بیشتری دارد. بر اساس یک مدل ذهنی می توان منشأ سیالهای شور این منطقه را به فعالیتهای ماگمایی نسبت داد که به طور متناوب در سامانه اپی ترمال تزریق شده است. این سیالهای شور و غنی از فلزهای پایه، توان تشکیل دانسه‌های آزاد طلا را نداشته و تنها باعث کانی سازی فلزهای پایه و نقره در این منطقه شده اند (قابل مقایسه با Simmons, 1991; Albinson et al., 2001).

نتیجه گیری

کانی سازی در منطقه گندی در سه مرحله اصلی رخ داده است که دو مرحله اول از نظر کانی سازی فلزهای پایه و گرانبها دارای اهمیت اقتصادی است. مرحله پایانی با حضور کوارتز و کلسیت مشخص می شود. کانی سازی رگه‌های ابوالحسنى در سه مرحله رخ داده است. دو مرحله

(سیال B) را در هر دو منطقه پیشنهاد می کند، در حالی که در منطقه ابوالحسنى یک سیال با شوری بالاتر نیز حضور دارد. این پدیده احتمالاً نتیجه تزریق تپهایی از یک سیال با شوری و دمای بالاتر است (سیال A).

۲- نهشت و ژرفای کانی سازی

جوشش و آمیختگی دو فرایند فیزیکی مهم در سامانه‌های زمین گرمایی است (Giggenbach & Stewart, 1982). جوشش در طی حرکت رو به بالای سیال در سامانه‌های با نفوذپذیری بالا رخ می دهد، در حالی که نیمرخهای گرمایی خطی که به دلیل آمیختگی یا نفوذپذیری کم ایجاد می شوند، در حاشیه‌های سامانه عمومیت دارد (Hedenquist et al., 1992).

در منطقه گندی، حضور برشهای گرمایی در مرحله I کانی سازی، رخداد انفجارهای گرمایی را پیشنهاد می کند. بر اثر چنین رویدادی، سیال کانی ساز متحمل جوشش شده و نهشت طلا و فلزهای پایه رخ داده است. این پدیده با سردشدگی و رقیق شدگی سیال گرمایی در مرحله II، که توسط داده‌های میانبارهای سیال مشخص می شود، ادامه یافته است (شکل ۶). سرانجام در آخرین مرحله از رویداد کانی سازی، رگه‌های کوارتز-کلسیت نابور از سیال رقیق به جای مانده تشکیل شده است.

ارتباط بین داده‌های T_m و T_h (شکل ۶) در منطقه ابوالحسنى، روند رقیق شدگی کاملاً آشکاری را نشان می دهد که دلالت بر آمیختگی یک سیال داغ و شور با یک سیال سردتر و رقیق تر دارد. با در نظر گرفتن توالی پاراژنزی کانی سازی و تغییرات سیستماتیک T_m و T_h در بلورهای اسفالریت، به نظر می رسد که سیال با شوری بالاتر به طور متناوب و در دوره‌های کوتاه مدت، در سامانه تزریق شده و با سیال با شوری پایین آمیخته شده است. سازوکار اصلی در کانی سازی فلزهای پایه در این منطقه، احتمالاً آمیختگی چنین شورابهایی با محلولهای رقیق تر است. اگرچه داده‌های میانبارهای سیال، وجود جوشش را تأیید نمی کند، اما چنین پدیده‌ای را نباید از نظر دور داشت. حضور برشهای گرمایی و کوارتز ریز بلور شرایط جوشش را در این سامانه پیشنهاد می کند.

برای برآورد ژرفای کانی سازی در زیر سطح قدیمی آب زیرزمینی، می توان از منحنی جوشش ایستایی (Hydrostatic) نسبت به ژرفا استفاده کرد (Hass, 1971). برای این منظور، منحنیهای جوشش نسبت به ژرفا، با استفاده از شوریه‌های متناسب با سازی شد (شکل ۸). با این حال، به دلیل نبود شواهد میانبارهای سیال مبنی بر رخداد جوشش در سامانه‌های اپی ترمال گندی و ابوالحسنى، ژرفای محاسبه شده، کمترین ژرفای تشکیل است. در مورد منطقه ابوالحسنى، میانگین دمای دومین گروه از میانبارهای سیال که دمای میانگین $270^{\circ}C$ و شوری حدود ۱۰ درصد وزنی معادل NaCl را نشان می دهد، بر روی منحنی جوشش با شوری ۱۰ درصد وزنی معادل NaCl در نظر گرفته شد. برای منطقه گندی، دمای $250^{\circ}C$

گروه سولفیدی شدن حد واسط است.

کاربردهای اکتشافی

منطقه گندی شامل یک کانسار اپی‌ترمال فلزهای پایه غنی از طلا است که به طور محلی دارای عیار اقتصادی طلا بوده و از این نظر، نسبت به منطقه ابوالحسنى اهمیت بیشتری دارد. بر اساس ویژگیهای کانی‌سازی در ابوالحسنى، مانند عیار پایین تر طلا و شوری بالاتر نسبت به گندی، وجود مناطق پرعیار فلزهای گرانها در ژرفا، بعید به نظر می‌رسد. بر عکس، کانسار گندی ممکن است دارای پتانسیل اقتصادی از نظر وجود رگه‌های پر عیار طلا در عمق باشد. اکتشاف در این ناحیه باید بر روی مناطق با کمترین ژرفای فرسایش (کمتر از ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر زیر سطح قدیمی)، متمرکز شود. این امر باعث افزایش احتمال حضور رگه‌های اپی‌ترمال پر عیار طلا خواهد شد.

قدر دانی

مطالعات صحرائی این تحقیق همزمان با طرح اکتشاف طلا در استان سمنان به انجام رسید که بدینوسیله از مدیریت محترم سازمان زمین‌شناسی کشور بویژه آقایان مهندس محمد تقی کره‌ای و مهندس سلیمان کوثری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد. آقای دکتر سعید علیرضایی در انجام این پژوهش در دانشگاه اتاوا، همواره راهنماییهای سودمندی ارائه کردند که شایسته تقدیر است. آقای کامبیز طهریری (موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران) در تهیه مقاطع نازک- صیقلی همکاری داشتند که از ایشان قدردانی می‌گردد. همچنین از داوران محترمی که با پیشنهادها و نظرات خود باعث ارائه بهتر این مقاله شدند، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

اول دارای مجموعه کانیایی یکسان شامل کوارتز، کلسیت، گالن، اسفالریت و پیریت است، در صورتی که مرحله پایانی با فراوانی کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود. در این منطقه کانی‌سازی فلزهای پایه غالب، و عیار طلا در رگه‌ها به نسبت پایین است.

میانگین دمای همگن شدگی مجموعه میانبارهای سیال بر روی نمودار فراوانی دارای یک بیشینه در 250° و سه بیشینه در 250° ، 275° و 340° C به ترتیب برای مناطق گندی و ابوالحسنى است. داده‌های T_H و T_{M1} روند رقیق شدگی مشخصی را با حضور یک سیال مشابه با شوری حدود ۵ درصد وزنی معادل NaCl در هر دو منطقه نشان می‌دهد. افزون بر این، یک سیال شور با شوری بیشینه حدود ۱۸/۷ درصد وزنی معادل NaCl به طور متناوب در سامانه اپی‌ترمال ابوالحسنى تزریق شده است.

کمترین ژرفای کانی‌سازی به ترتیب در گندی و ابوالحسنى حدود ۴۳۰ متر و ۶۰۰ متر در زیر سطح آب زیرزمینی قدیمی است. با این وجود، در حال حاضر کانسار ابوالحسنى ۲۰۰ متر بالاتر از کانسار گندی قرار دارد و نشان‌دهنده دست کم ۳۷۰ متر بالاتر آمدگی نسبت به گندی است که در نتیجه جا به جایی زمین‌ساختی و راندگی ایجاد شده است.

کانی‌سازی فلزهای پایه و گرانها در برشهای گرمایی منطقه گندی ممکن است در شرایط جوشش نهشته شده باشد، در صورتی که کانی‌سازی فلزهای پایه در مرحله II نتیجه سردشدگی و رقیق شدگی سیال کانی‌ساز است. سولفیدهای فلزهای پایه در ابوالحسنى طی تزریق شورابه‌های فلزدار بالا دما تشکیل شده است. رقیق شدگی سازوکار اصلی نهشت کانستگ در منطقه ابوالحسنى بوده است.

ژرفای کانی‌سازی، میانگین دما و مقدار FeS اسفالریت در مناطق مورد مطالعه، نشان‌دهنده کانی‌سازی اپی‌ترمال نقره-طلا و فلزهای پایه از

جدول (۱) داده های تجزیه شیمیایی نمونه های رگه و سنگ دیواره در منطقه گندی

Sample no.	vein width (cm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Bi (ppm)	Mo (ppm)	Description
Gn-8081	20	24	NA	468	NA	0.1	2	0.4	7.34	NA	hydrothermal breccia
Gn-8082	30	3	NA	1980	NA	2.8	0.1	0.7	3.67	NA	hydrothermal breccia in tunnel No. 2
Gn-8083	40	38.8	59.4	8.7	NA	0.3	13.1	2.8	NA	NA	hydrothermal breccia in tunnel No. 3
Gn-8084	40	1.4	11.9	1420	NA	0.2	0.2	0.1	NA	NA	hydrothermal breccia
Gn-8085	30	0.4	1	9.7	NA	0.1	0.4	0.2	NA	NA	hydrothermal breccia
Gn-8086	20	4.9	2.4	113	NA	0.5	0.1	0.1	NA	NA	mineralized vein
Gn-8087	15	4.7	32.5	38	44	0.1	10.4	2.2	20	8	mineralized vein
Gn-8088	20	43.2	154	12200	1120	6.3	5.8	1.5	42	40	hydrothermal breccia
Gn-8089	30	68.3	161	64	12	0.4	11.7	3.7	123	32	mineralized vein
Gn-8090	30	0.1	<1	NA	NA	0.002	0.002	0.004	NA	NA	quartz vein
Gn-8091	15	5.9	2.6	NA	NA	0.4	0.004	0.01	NA	NA	quartz vein with Py, Ccp
Gn-8092	20	1.5	2	NA	NA	0.1	0.004	0.02	NA	NA	quartz vein
Gn-8093	15	4	1.8	NA	NA	1.1	0.02	0.01	NA	NA	quartz vein
Gn-8094	30	2.1	<1	NA	NA	1.1	0.02	0.01	NA	NA	quartz-carbonate vein
Gn-8095	wallrock	0.1	NA	13.3	NA	0.03	0.02	0.02	0.27	2.5	altered tuff
Gn-8096	wallrock	0.1	NA	26	NA	0.02	0.01	0.1	0.5	1.5	altered tuff
Gn-8097	wallrock	0.1	<1	<20	<10	0.02	0.01	0.01	<10	4	altered andesite

The samples were analyzed by Geological Survey of Iran; techniques used: fire assay or atomic absorption for Au, inductively coupled plasma spectroscopy for Ag, As, Sb, Cu, Zn, and Bi, and atomic absorption for Pb and Mo, most veins sampled across full width by 3-5 cm wide channel, except for chip samples, as noted, NA = not analyzed, Py = pyrite, Ccp = chalcopyrite

جدول (۲) داده های تجزیه شیمیایی نمونه های رگه و سنگ دیواره در منطقه ابوالحسنی

Sample no.	vein width (cm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Bi (ppm)	Mo (ppm)	Description
Ab-7081	30	0.1	14.7	23	11	0.1	9.2	4.2	<10	4	quartz-galena vein in tunnel No. 1
Ab-7082	50	0.1	107	22	14	0.6	11.9	5.2	230	16	quartz-galena vein in tunnel No. 1
Ab-7083	20	0.6	<1	27	36	0.5	4.1	0.1	<10	8	quartz vein in tunnel No. 1
Ab-7084	50	0.6	115	27	<10	0.02	6.7	0.4	<10	2	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7085	30	2	24.3	23	<10	0.1	15.1	1	<10	4	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7086	30	0.5	21.6	20	<10	0.2	6.7	1.2	<10	4	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7087	30	0.2	5	<20	<10	0.1	4.1	0.05	<10	4	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7088	chip	0.4	65.1	64	25	7.7	2.1	0.1	53	2	ore with Gn, Ccp, Py, Qtz in tunnel No. 2
Ab-7089	50	0.7	<10	20	<10	0.01	2	0.7	<10	4	quartz vein in tunnel No. 2
Ab-7090	30	1.1	7.4	20	<10	0.03	4.4	0.8	<10	4	quartz vein in tunnel No. 2
Ab-7091	20	0.1	1.5	42	90	2.6	0.01	0.001	<10	4	quartz vein with some Py, Ccp
Ab-7092	50	0.1	<1	<20	<10	0.01	0.003	0.004	<10	56	quartz vein
Ab-7093	30	6	NA	7.9	NA	1.2	0.001	0.01	375	NA	quartz vein
Ab-7094	50	0.7	27	NA	NA	0.3	15.1	2.1	NA	NA	quartz-galena vein in tunnel No. 1
Ab-7095	30	0.8	11.1	NA	NA	0.1	4.6	2.3	NA	NA	quartz-galena vein in tunnel No. 1
Ab-7096	100	0.7	37	NA	NA	1.2	6.8	0.4	NA	NA	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7097	100	0.2	54.7	NA	NA	0.7	6.9	0.5	NA	NA	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7098	50	0.7	48.5	NA	NA	0.1	16.5	1.1	NA	NA	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-7099	50	0.6	18.7	NA	NA	0.1	6.2	2.2	NA	NA	quartz-galena vein in tunnel No. 2
Ab-70100	wallrock	0.003	<1	20	26	0.03	0.01	4.9	<10	2	altered andesite in tunnel No. 2
Ab-70101	wallrock	0.4	NA	6.8	NA	1.2	0.002	0.02	2.9	NA	altered andesite stained by malachite
Ab-70102	wallrock	0.1	NA	14.1	NA	0.02	0.01	0.03	<10	NA	altered andesite

The samples were analyzed by Geological Survey of Iran; techniques used: fire assay or atomic absorption for Au, inductively coupled plasma spectroscopy for Ag, As, Sb, Cu, Zn, and Bi, and atomic absorption for Pb and Mo, most veins sampled across full width by 3-5 cm wide channel, except for chip samples, as noted, NA = not analyzed, Gn = galena, Py = pyrite, Ccp = chalcopyrite, Qtz = quartz

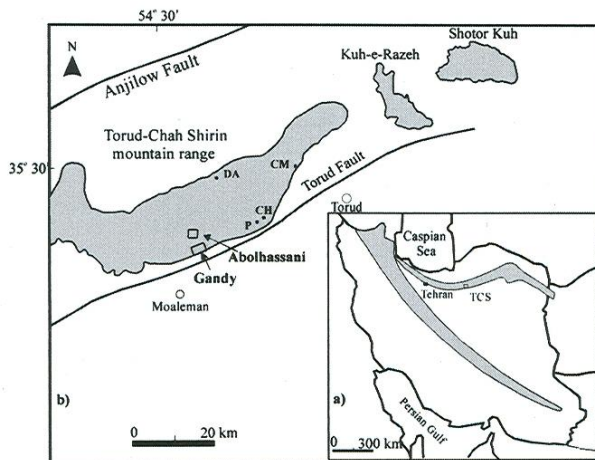
جدول ۳) ترکیب ایزوتوپی گوگرد در جفت‌های گالن-اسفالریت و باریت-گالن، و دمای ایزوتوپی محاسبه شده بر اساس این نتایج (عامل تفریق از Ohmoto & Goldhaber, 1997) دمای همگن شدگی میانبارهای سیال برای مقایسه نشان داده شده است.

Sample no.	Minerals	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} (\text{‰})$	$\Delta^{34}\text{S}_{\text{Sph-Gn}}$	$T_{\text{Sph-Gn}} (\text{°C})$	$\Delta^{34}\text{S}_{\text{Bar-Gn}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H2S}} (\text{‰})$	$T_{\text{Bar-Gn}} (\text{°C})$	Th (°C) low/mean/high
Gandy district								
80/HG20	Barite	+16.0 ± 0.1						
	Sphalerite	-4.3 ± 0.1	2.8 ± 0.1	236 ± 9	23.1 ± 0.1	-5.1 ± 0.1	293 ± 2	243/249/258
	Galena	-7.1 ± 0.1						
80/HG21	Barite	+15.9 ± 0.1						
	Sphalerite	-3.3 ± 0.1	2.7 ± 0.1	245 ± 9	21.6 ± 0.1	-4.2 ± 0.1	313 ± 2	233/262/287
	Galena	-6.0 ± 0.1						
Abolhassani district								
Tch/6	Sphalerite	-3.8 ± 0.1	-0.5 ± 0.1	-				233/275/337
	Galena	-3.3 ± 0.1						
Tch/19	Sphalerite	-4.4 ± 0.1	1.7 ± 0.1	381 ± 20				236/280/354
	Galena	-6.1 ± 0.1						
TA1/14	Sphalerite	-2.8 ± 0.1	1.3 ± 0.1	472 ± 30				234/270/322
	Galena	-4.1 ± 0.1						

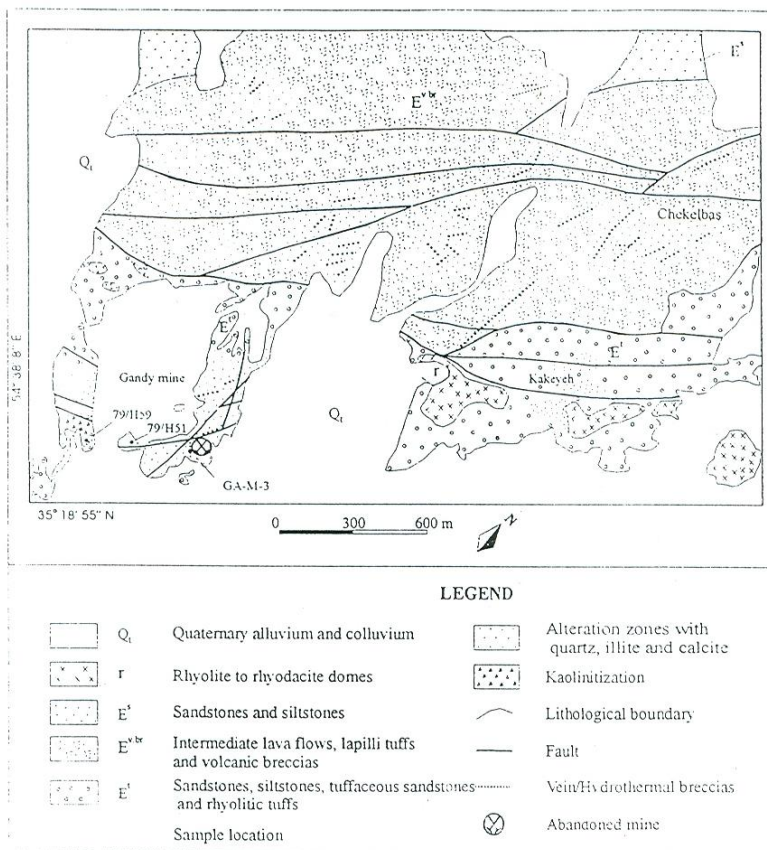
Sphalerite, galena and barite were separated by hand picking from the sample under binocular microscope. The separated minerals were observed under the binocular carefully to check their purity, which is > 98% in general. These minerals were ground thoroughly in an agate mortar (less than 200 μm particle size) and then each powdered sample weighed (0.3 - 0.7 mg) and mixed with 2 mg V₂O₅ in tin capsules. Sulfate and sulfide minerals were combusted to SO₂ in a stream of helium by continuous flow. The SO₂ was analyzed by an OPTIMA Micromass 1110 CE Instrument spectrometer. IAEA-S1 (Ag₂S), IAEA-S2 (Ag₂S) and SILVANA (PbS) are standard samples which were used for S-isotope measurements with isotopic ratios -0.3, 21.7, and -7.8, respectively.

جدول ۴) مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و میانبار سیال کانسارهای اپی‌ترمال فرزنیلو و لاگیتارا مکزیک با کانسارهای ابوالحسینی و گندی در ایران (متن را ببینید).

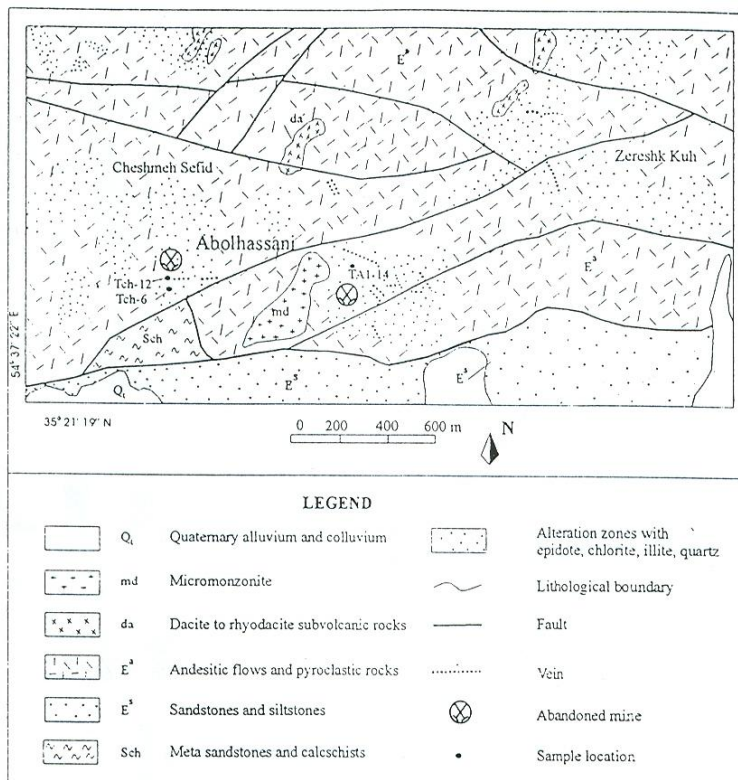
نام کانسار	سنگ میزبان	سن (Ma)	عیار	کانی‌شناسی	Th (°C)	شوری	منبع
فرزنیلو	آندزیت	۲۸-۳۳	۷۸۰ g/t Ag ۰/۵۶ g/t Au ۰/۳۵ % Pb ۰/۸۷ % Zn ۰/۰۲ % Cu	بیریت، کلکوپیریت، اسفالریت، گالن، سولفوسالت‌های نقره، کوارتز، کلسیت	۱۷۳ تا ۲۶۵	۰/۱ تا ۱۲	سیمونز، ۱۹۹۵
لاگیتارا	توف ریولیتی، استوک گرانیتی	؟	۳۴۵ G/t Ag ۶ g/t Au ۰/۱۵ % Pb ۰/۲۹ % Zn	بیریت، کلکوپیریت، اسفالریت، گالن، الکروم، باریت، کوارتز، کلسیت	۸۰ تا ۲۶۶	۰/۸۷ تا ۱۴/۴	کامپروبی و همکاران، ۲۰۰۱
ابوالحسینی	آندزیت	؟	۲۹۰ g/t Ag ۰/۸۵ g/t Au ۶/۴ % Pb ۱/۲ % Zn ۰/۸۳ % Cu	بیریت، کلکوپیریت، اسفالریت، گالن، کوارتز، کلسیت	۲۳۴ تا ۳۴۰	۶/۷ تا ۱۸/۷	این مقاله
گندی	توف ریولیتی، آندزیت	؟	۳۰/۶ g/t Ag ۱۴/۵ g/t Au ۳/۱ % Pb ۰/۸۴ % Zn ۱ % Cu	بیریت، کلکوپیریت، اسفالریت، گالن، طلای آزاد، باریت، کوارتز، کلسیت	۲۳۴ تا ۲۸۵	۴/۲ تا ۵/۴	این مقاله



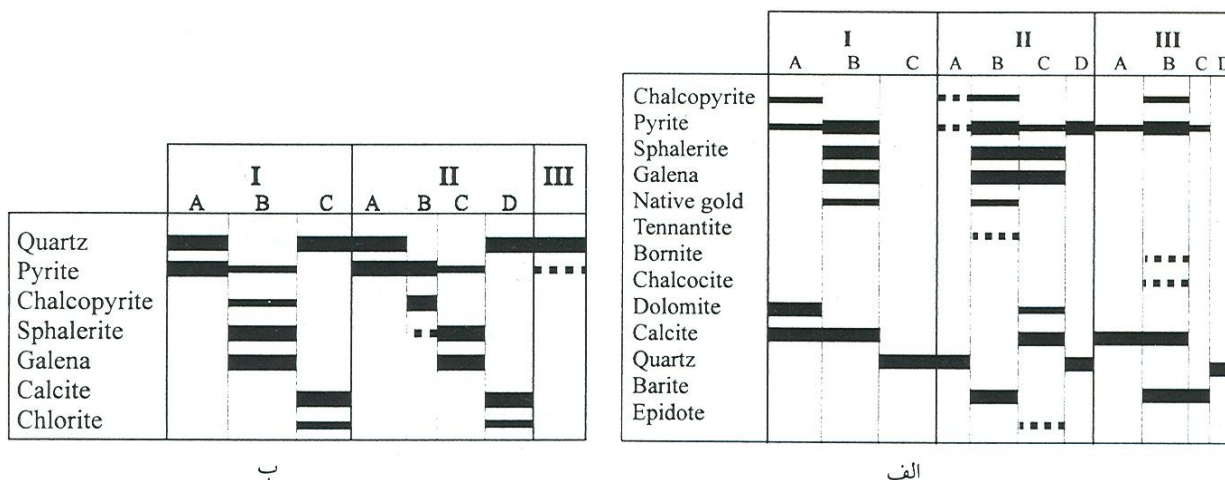
شکل ۱) a- موقعیت دو کمان اصلی آتشفشانی در شمال و شمال باختر- جنوب خاور ایران و موقعیت رشته کوه ترود- چاه شیرین (TCS).
 b- موقعیت مهم ترین سامانه های اپی ترمال شامل مناطق گندی و ابوالحسینی در ناحیه ترود- چاه شیرین. علائم اختصاری:
 CM = مس چاه مسی؛ CH = مس، سرب و روی چشمه حافظ؛ P = مس پوشیده؛ DA = طلا- مس دارستان.



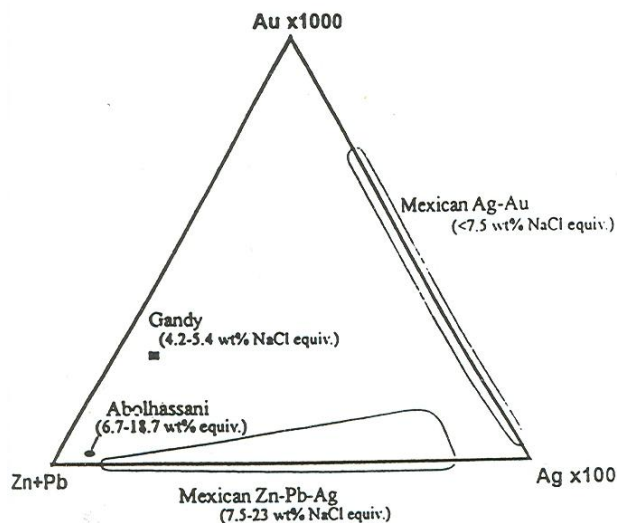
شکل ۲) نقشه زمین شناسی ساده منطقه گندی. موقعیت معدن متروک سرب و روی گندی و محل نمونه های مربوط به مطالعات میانبار سیال بر روی نقشه نشان داده شده است.



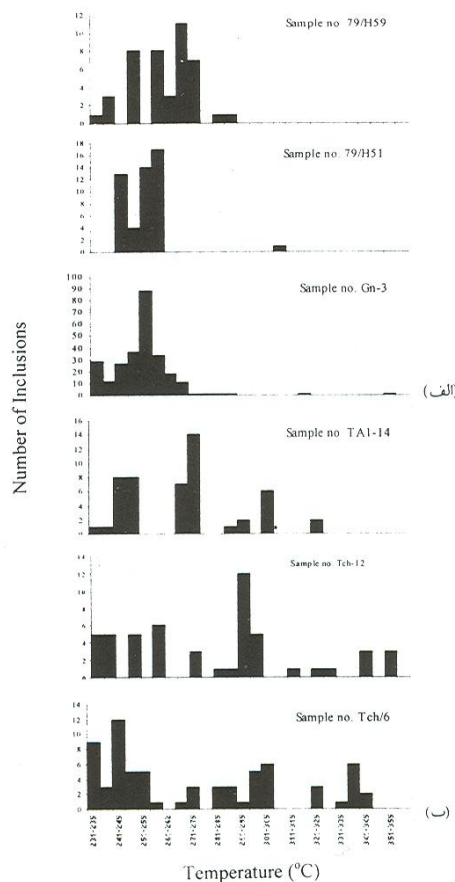
شکل ۳) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه ابوالحسنی. موقعیت معدن متروک ابوالحسنی و محل نمونه‌های مربوط به مطالعات میانبار سیال بر روی نقشه نشان داده شده است.



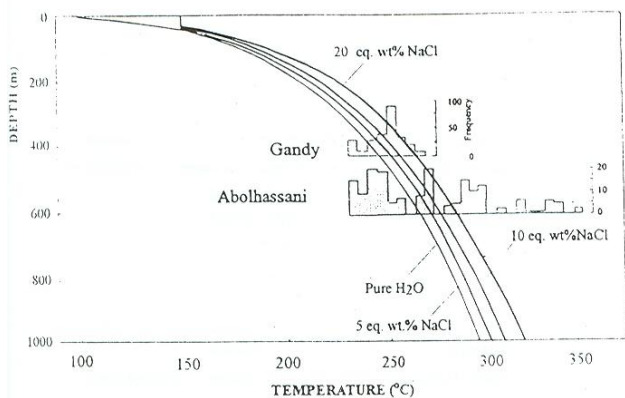
شکل ۴) توالی پاراژنری کانی‌سازی در مناطق گندی (الف) و ابوالحسنی (ب). خطوط ضخیم نشان‌دهنده کانیهای اصلی، خطوط نازک کانیهای فرعی و خطوط نقطه چین کانیهای کمیاب است.



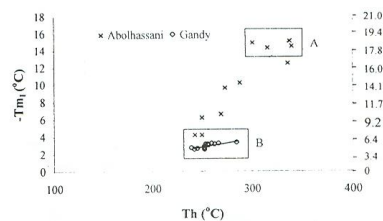
شکل ۷) نمودار سه تایی از مقادیر نسبی فلزهای پایه و گرانیتها در مناطق گندی و ابوالحسنی (بر اساس میانگین رگه‌ها از جدول ۱ و ۲). کانسارهای مکزیک برای مقایسه نشان داده شده است (After Albinson et al., 2001).



شکل ۵) نمودارهای فراوانی دمای همگن شدگی برای میانبارهای سیال اولیه در مناطق گندی (الف) و ابوالحسنی (ب).



شکل ۸) نمودارهای فراوانی داده‌های میانبارهای سیال کانسارهای گندی (نمونه Gn-3) و ابوالحسنی (همه داده‌ها) با منحنیهای جوش $H_2O-NaCl$ نسبت به ژرفا، برای شوریهایی ۵ و ۱۰ درصد معادل $NaCl$ انطباق داده شده‌اند. منحنیهای آب خالص و شوری ۲۰ درصد وزنی معادل $NaCl$ به عنوان مرجع نشان داده شده است (After Hass, 1971).



شکل ۶) رابطه بین دمای همگن شدگی (T_h) و ذوب یخ (T_{m1}) در مجموعه میانبارهای سیال اولیه در مناطق گندی و ابوالحسنی. این روابط تغییرات T_m و T_h را در امتداد روندهای خطی برای هر دو منطقه، اما با دامنه وسیعی از تغییرات برای منطقه ابوالحسنی نشان می‌دهد. محدوده‌های A و B حضور سیالهای کانی‌ساز مختلف را در این سامانه‌های اپی ترمال نشان می‌دهد (متن را ببینید).

پیوست ۱- دمای همگن شدگی و ذوب یخ مجموعه میانبارهای سیال اسفالریت‌های منطقه گندی

Sample no.	type	T _m rang (°C)		Salinity (mean) wt% NaCl equiv	Th range (°C)		comments
		low/mean/high			low/mean/high		
GA-M-3	S				195/216/225 (12)		S in clear zone (core)
	P				231/237/243 (3)		P in clear zone (core)
	PS				248/251/252 (14)		PS in yellow zone (border)
	P				236/242/245 (5)		P in yellow zone (border)
	P				274 (1)		P in yellow zone (border)
	P				284 (1)		P in yellow zone (border)
	S				222/222/224 (13)		S in clear zone (core)
	P				230/234/243 (14)		P in clear zone (core)
	PS				240/241/241 (4)		PS in yellow zone (border)
	S				201/202/202 (6)		S in clear zone (core)
	S				224/225/226 (12)		S in clear zone (core)
	P				257/258/258 (3)		P in clear zone (core)
	P				259/261/262 (13)		P in clear zone (core)
	P				234/235/239 (10)		P in yellow zone (border)
	P				258/259/260 (10)		P in clear zone (core)
	S				208 (6)		S in clear zone (core)
	P				253 (2)		P in yellow zone (border)
	P	-2.7 (1)		4.5	232/234/240 (9)		P in yellow zone (border)
	P				290 (1)		P in yellow zone (border)
	P				258 (1)		P in clear zone (core)
	P				254 (1)		P in yellow zone (border)
	Ps				243 (2)		PS in yellow zone (border)
	S				180/186/198 (8)		S in yellow zone (border)
	PS				239 (3)		PS in yellow zone (border)
	S				150/151/152 (9)		S in yellow zone (border)
	P				244/245/248 (9)		P in yellow zone (border)
	P				277 (1)		P in yellow zone (border)
	PS				250/251/252 (8)		Ps in clear zone (core)
	PS				250/252/254 (6)		Ps in clear zone (core)
	PS				267 (2)		P in clear zone (core)
	P				320 (1)		P in clear zone, necked?
	PS				252/253/254 (11)		Ps in clear zone (core)
	PS				254/255/255 (8)		Ps in clear zone (core)
PS				253 (2)		Ps in clear zone (core)	
PS				253 (2)		PS in clear zone (core)	
P				356 (1)		P in clear zone, necked	
PS				252/253/253 (3)		Ps in clear zone (core)	
P				246/247/247 (7)		P in yellow zone (border)	
S				208/206/220 (13)		S in yellow zone (border)	
P	-2.9 (1)		4.8	253 (2)		P in yellow zone (border)	
S				227 (5)		S in yellow zone (border)	
P				241/242/244 (6)		P in yellow zone (border)	
P	-2.6 (3)		4.3	244/246/247 (6)		P in yellow zone (border)	
P				250/251/252 (2)		P in clear zone (core)	
P				254 (2)		P in yellow zone (border)	
P				254 (1)		P in yellow zone (border)	

ادامه پیوست ۱

Sample no.	type	T _m rang (°C)		Salinity wt% NaCl equiv	Th range (°C)		comments
		low/mean/high			low/mean/high		
	P					255 (1)	P in clear zone (core)
	P					256 (2)	P in clear zone (core)
	P					252 (1)	P in yellow zone (border)
	P					248 (1)	P in yellow zone (border)
	P					242 (1)	P in yellow zone (border)
	P					265/266/266 (9)	P in clear zone (core)
	P					238 (1)	P in clear zone, necked?
	P					244/245/246 (5)	P in clear zone (core)
	P					250/251/252 (2)	P in clear zone (core)
	PS	-2.7 (2)		4.5		251/253/257 (10)	Ps in clear zone (core)
	PS					251/253/258 (3)	Ps in clear zone (core)
	P					248 (3)	P in clear zone (core)
	P					255 (2)	P in yellow zone (border)
	PS					253 (4)	PS in yellow zone (border)
	PS					253/259/264 (7)	PS in yellow zone (border)
	PS					253/254/257 (8)	PS in yellow zone (border)
	PS	-3.3/ -3.2/ -3.2 (4)		5.3		258/260/263 (5)	Ps in clear zone (core)
	PS					251/252/252 (6)	PS in yellow zone (border)
	S					222/225/230 (10)	S in clear zone (core)
	P	-2.5 (2)		4.2		251/253/257 (3)	P in clear zone (core)
	P	-2.9 (1)		4.8		253/254/255 (13)	P in clear zone (core)
79/H51	PS					246 (3)	Ps in clear zone (core)
	P	-2.5 (1)		4.2		243 (2)	P in yellow zone (border)
	P	-3.1 (1)		5.1		256/256/257 (10)	P in clear zone (core)
	P					244 (1)	P in clear zone (core)
	P	-3.1 (3)		5.1		253/254/255 (12)	P in clear zone (core)
	P					256/257/258 (6)	P in clear zone (core)
	S					216 (6)	S in clear zone (core)
	S					194 (5)	S in clear zone (core)
	PS					243 (7)	P in clear zone (core)
	P					308 (1)	P in clear zone, necked?
	PS					247/252/254 (3)	PS in yellow zone (border)
	P	-3.0 (1)		5.0		257 (1)	P in clear zone (core)
	P					242/242/243 (3)	P in yellow zone (border)
79/H59	S					168 (5)	S in clear zone (core)
	S					217 (6)	S in clear zone (core)
	P	-3.1 (2)		5.1		262/263/264 (3)	P in yellow zone (border)
	P	-3.2 (1)		5.3		267 (4)	P in yellow zone (border)
	PS					259/259/260 (8)	P in clear zone (core)
	PS					233/235/236 (4)	PS in yellow zone (border)
	PS					248/248/249 (8)	PS in yellow zone (border)
	P	-3.3 (2)		5.4		283/285/287 (2)	P in clear zone (core)
	S					217 (6)	S in clear zone (core)
	PS					273/273/274 (7)	P in clear zone (core)
	PS					266 (7)	P in clear zone (core)
	P					>350 (1)	P in clear zone, necked

Notes: bold numbers are mean values; first and last values in each column are the low and high values obtained in each fluid inclusion assemblages; number of measured inclusions in parentheses; all samples are sphalerite.

Abbreviations: P = primary inclusions; PS = pseudosecondary inclusions; S = secondary inclusions

پیوست ۲- دمای همگن‌شدگی و ذوب‌یخ برای مجموعه میانبارهای سیال منطقه ابوالحسنی

Sample no.	type	T _{m1} (°C)	Salinity	Th range (°C)	comments
		low/mean/high	wt% NaCl equiv	Low/mean/high	
Tch-6	P	-12.6/ -12.5/ -12.4 (2)	16.4	331/336/337 (5)	
	P	-4.2 (1)	6.7	241/242/243 (2)	
	P			301/302/303 (10)	
	P			256 (1)	
	P			240/241/243 (6)	
	P	-14.5 (1)	18.2	336/340/345 (4)	
	P	-6.2 (1)	9.5	249/250/252 (9)	
	P			284/300/322 (3)	
	S			181/183/185 (8)	
	S			156/157/158 (7)	
	S			206/208/209 (9)	
	S			111/112/115 (11)	
	S			111/112/115 (16)	
	S			136/137/140 (11)	
	S			203 (3)	
	P			243/244/244 (6)	
	P			233/234/235 (9)	
	S			154 (7)	
	S			121 (3)	
	P			284 (2)	
P	-6.6 (1)	10.0	269 (1)		
PS	-4.2 (1)	6.7	243 (2)		
P			290 (3)		
P			275/286/321 (4)		
S			111/115/120 (10)	Qtz	
Tch-12	S			142/143/144 (8)	
	S			148/152/154 (11)	
	P			247/248/249 (5)	
	PS			236/236/237 (5)	
	PS			273 (3)	
	P			257/257/258 (6)	
	P	-14.9 (2)	18.5	286/301/327 (9)	
	PS	-15.6/ -15.1/ -14.1 (4)	18.7	282/338/354 (6)	
	S			233 (5)	
	P			291/292/298 (9)	
TA1-14	S			126/127/128 (6)	
	P			296 (3)	
	S			117/118/118 (10)	
	S			188/189/190 (4)	
	P	-10.2 (1)	14.1	288 (1)	necked
	P			268 (3)	
	P			303/304/304 (5)	
	P			244 (1)	
	S			211/211/212 (7)	
	PS	-9.6 (2)	13.5	268/273/274 (7)	
PS			266 (2)		

ادامه پیوست ۲

Sample no.	type	T _{m1} (°C)	Salinity	Th range (°C)	comments
		low/mean/high	wt% NaCl equiv	Low/mean/high	
	P	-9.6 (1)	13.5	234/236/238 (2)	
	PS			273 (4)	
	PS			271/272/273 (5)	
	P			276/276/277 (8)	
	P			243 (2)	
	P			>350 (1)	necked
	PS			243/244/244 (5)	
	P			294 (2)	
	S	-14.3 (2)	18.0	215/216/216 (9)	
	P			305/316/322 (3)	
	S			141 (5)	Qtz

Notes: bold numbers are mean values; first and last values in each column are the low and high values obtained in each fluid inclusion assemblages; number of measured inclusions in parentheses; all samples are sphalerite, except as noted.

Abbreviations: P = primary inclusions; PS = pseudosecondary inclusions; Qtz = quartz; S = secondary inclusions

کتابنگاری

احمدی شاد، ا.، ۱۳۷۶- مطالعه کانی شناسی، آلتراسیون و لیتوژئوشیمیایی طلای منطقه باغو (کوه زر دامغان)، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

اشراقی، ص.ع.، ۱۳۷۷- گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه معلمان، سمنان، سازمان زمین شناسی کشور، طرح اکتشاف طلا. آفاجانی، ح.، ۱۳۷۵- مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی کانسار طلای کوه زر دامغان (ناحیه اکتشافی باغو)، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران. تاج الدینی، ح.ع.، و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۷۷- ژنز اثر معدنی طلای دارستان با تاکید بر شواهد صحرایی و مطالعات ژئوشیمیایی و میکروترمومتری سیالات در گیر، هفدهمین گردهمایی علوم زمین، خلاصه مقالات، ۱۴۶-۱۴۳.

رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱- بررسی تحولات سنگ شناسی و ارتباط آن با کانی شناسی طلا در منطقه باغو (جنوب-جنوب شرق دامغان)، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.

کهنسال، ر.، ۱۳۷۷- بررسی توده های نفوذی نیمه عمیق در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، دامغان، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی.

مر، ف.، شاکری، ع.، و باباخانی، ع.، ۱۳۷۸- مطالعه سیالهای در گیر و نقش آنها در تشکیل کانسار طلای رگه ای در منطقه باغو (جنوب دامغان)، هیجدهمین گردهمایی علوم زمین، خلاصه مقالات.

هوشمندزاده، ع.ر.، علوی نائینی، م. و حقی پور، ع.ع.، ۱۳۵۷- تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهد حاضر)، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره H5، ۱۳۷ صفحه.

References

- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D. & Chomiak, B., 2001- Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constrains from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic Geologists, Special Publication 8, p. 1-32.
- Benning, L.G. & Seward, T.M., 1996- Hydrosulfide complexing of Au(I) in hydrothermal solutions from 150 to 400 °C and 500 to 1500 bars: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 60, p. 1849-1871.

- Bodnar, R.J., 1993- Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 57, p. 683-684.
- Bodnar, R.J., Reynolds, T.J. & Kuehn, C.A., 1985- Fluid inclusion systematics in epithermal systems: *Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 73-97.
- Buchanan, L.J., 1981- Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest: In W.R. Dickson and W.D. Payne, eds., *Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera*, Arizona Geol. Soc. Digest 14, pp. 237-262.
- Camprubi, A., Canals, A., Cardellach, E., Prol-Ledesma, R.M. & Rivera, R., 2001- The La Guitarra, Ag-Au low sulfidation epithermal deposit, Temascaltepec district, Mexico: Vein structure, Mineralogy, and Sulfide-Sulfate Chemistry, *Society of Economic Geologist Special Publication 8*, p. 133-138.
- Collins, P.L.F., 1979- Gas hydrate in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity: *Economic Geology*, v. 74, p. 1435-1444.
- Geological Survey of Iran, 1995- Explanatory text of geochemical map of Moaleman (6960), Report no. 9, v. 1, 33 p.
- Giggenbach, W.F. & Stewart, M.K., 1982- Processes controlling the isotopic composition of steam and water discharges from steam vents and steam-heated pools in geothermal areas: *Geothermics*, v. 11, p. 71-80.
- Goldstein, R.H. & Reynolds, T.J., 1994- Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals: *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course 31*, 199 p.
- Haas, J.L., Jr., 1971- The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure: *Economic Geology*, v. 66, p. 940-946.
- Hedenquist, J.W. & Henley, R.W., 1985- Effect of CO₂ on freezing point depression measurements of fluid inclusions: Evidence from active systems and application to epithermal studies: *Economic Geology*, v. 80, p. 1379-1406.
- Hedenquist, J.W., Reyes, A.G., Simmons, S.F. & Taguchi, S., 1992- The thermal and geochemical structure of geothermal and epithermal systems: A framework for interpreting fluid inclusion data: *European Journal of Mineralogy*, v. 4, p. 989-1015.
- Hedenquist, J.W., Arribas R., A. & Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 245-277.
- Henley, R.W., 1985- The geothermal framework of epithermal deposits: *Society of Economic Geologist, Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 1-24.
- Ohmoto, H. & Goldhaber, M.B., 1997- Sulfur and carbon isotopes: Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd edition, New York, John Wiley and Sons, p. 517-611.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions: *Reviews in Mineralogy*, v. 12, 644 p.
- Seward, T.M. & Barnes, H.L., 1997- Metal transport by hydrothermal ore fluids: In Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd edition, New York, John Wiley and Sons.
- Simmons, S.F., 1991- Hydrothermal implications of alteration and fluid inclusion studies in the Fresnillo district, Mexico: Evidence for a brine reservoir and a descending water table during the formation of hydrothermal Ag-Pb-Zn orebodies: *Economic Geology*, v. 86, p. 1579-1601.
- Simmons, S.F., 1995- Magmatic contributions to low-sulfidation epithermal deposits: *Mineralogical Association of Canada Short Course*, v. 23, p. 455-477.
- Simmons, S.F., Gemmel, B. & Sawkins, F.J., 1988- The Santo Nino silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, Mexico: Part II. Physical and chemical nature of ore-forming solutions: *Economic Geology*, v. 83, p. 1619-1641.
- White, N.C. & Hedenquist, J.W., 1990- Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes and guidelines for exploration: *Journal of Geological Exploration*, v. 36, p. 445-474.

*دانشگاه شهید بهشتی، گروه زمین شناسی

**دانشگاه تهران، گروه زمین شناسی

***آمریکا، گلدن، مدرسه معدن کلرادو، گروه زمین شناسی و مهندسی زمین شناسی

****کانادا، اتاوا، دانشگاه اتاوا، گروه علوم زمین

*****دانشگاه تربیت مدرس، گروه زمین شناسی

*Department of Geology, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.

**Department of Geology, University of Tehran, Tehran, Iran.

***99 Fifth Avenue, Suite 420, Ottawa, Ontario K1S 5P5, Canada.

****Department of Earth Science, University of Ottawa, Ottawa, Ontario K1N 6N5, Canada.

*****Department of Geology, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran.