

مطالعات کانی‌شناسی و میانبارهای سیال ذخیره طلای اپی‌ترمال شرف‌آباد، شمال باختر ایران

نویسنده: سوسن ابراهیمی*، یوان مینگ پن**، سعید علیرضایی* و محمود مهرپر تو***

* گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

** گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ساسکاچوان، کانادا

*** پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۳/۱۱

چکیده

سامانه رگه‌ای اپی‌ترمال طلا دار شرف‌آباد در شمال باختر ایران و در زون ماگمایی البرز-آذربایجان واقع است. سنگ میزبان اصلی رگه‌های طلا دار، توف، برش و آندزیت پورفیری ائوسن است. دگرسانی شامل یک زون سیلیسی است که بیشتر به سمت خارج به زون آرژیلیک و پروپیلیتیک منتهی می‌شود. کانه‌زایی به‌طور عمده به رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی و سیلیسی-کربناتی محدود بوده و توسط زون‌های گسلی کنترل شده است. هجده رگه معدنی تشخیص داده شده که طول و عرض آنها به ترتیب از ۱۰ تا ۱۰۰۰ متر و از ۰/۵ تا ۱۵ متر متغیر است. کانی اصلی پیریت همراه با مقادیری کالکوپیریت، اسفالریت و گالن است. طلا به صورت دانه‌های پراکنده و میکروسکوپی در پیریت و سیلیس و در مرز دانه‌های کالکوپیریت، اسفالریت و گالن قرار دارد. سیلیس به‌صورت کوارتز خاکستری، کوارتز سفید، کوارتز شفاف، اوپال، کالسدونی و مقدار کمی آمیتست است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی، چهار مرحله قابل تشخیص است: پیش از کانه‌زایی، کانه‌زایی، پس از کانه‌زایی و سوپرژن، که طلا و کانی‌های سولفیدی فلزهای پایه در مرحله کانه‌زایی تشکیل شده‌اند.

داده‌های میانبارهای سیال از اسفالریت و کوارتز خاکستری مربوط به مرحله اصلی کانه‌زایی، کربنات، و کوارتز شفاف و آمیتست مربوط به مرحله آخر به دست آمده است. میانبارهای سیال در کوارتز خاکستری نشان می‌دهند که کانه‌زایی در دامنه دمای ۱۷۰-۲۷۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱-۸/۷ درصد وزنی معادل NaCl صورت گرفته است. میانبارهای موجود در اسفالریت، معرف دمای همگن شدن ۲۱۵-۲۶۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۸/۸-۱۵/۳ درصد وزنی معادل NaCl هستند. میانبارهای سیال در کربنات، در گستره دمایی ۱۶۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱/۵-۳/۸ درصد وزنی NaCl تشکیل شده است. مقادیر کمی آمیتست در مرحله آخر به‌طور محلی ایجاد شده است که با طلا و فلزهای قیمتی همراه نیست. میانبارهای سیال در این آمیتست، معرف دمای همگن شدگی ۱۷۳-۲۰۳ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳/۵-۹/۵ درصد وزنی NaCl هستند. همراهی میانبارهای غنی از مایع و غنی از بخار در برخی نمونه‌های کوارتز و اسفالریت نشان می‌دهد که جوشش رخ داده است. رخداد جوشش توسط شواهد بافتی مانند برش‌های گرمایی، کلسیت تیغه‌ای و آدولاریا تأیید می‌شود.

داده‌های میانبارهای سیال نشان می‌دهد که کانی‌سازی طلا و فلزهای پایه، در ژرفای میانگین ۴۰۰ متری زیر سطح ایستایی دیرینه تشکیل شده است. چیرگی دگرسانی آرژیلیک حدواسط، همراهی طلا با کانی‌های سولفیدی فلزهای پایه و شوری متوسط میانبارهای سیال در شرف‌آباد، نمایانگر یک سامانه اپی‌ترمال طلا-نقره و غنی از فلزهای پایه از نوع سولفیدی شدن حدواسط است.

کلید واژه‌ها: اپی‌ترمال، البرز-آذربایجان، طلا، شرف‌آباد

۱- مقدمه

که اغلب به سمت خارج به زون‌های آرژیلیک و پروپیلیتیک منتهی می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تکامل محلول‌های گرمایی و چگونگی نهشت کانسنگ با استفاده از داده‌های میانبارهای سیال و مطالعه کانی‌ها و روابط بافتی آنهاست.

۲- زمین‌شناسی محلی

منطقه کانی‌سازی شرف‌آباد در زون فلززایی ارسباران در شمال باختر کمان ماگمایی البرز-آذربایجان قرار دارد که به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی-فلززایی آن همواره مورد توجه زمین‌شناسان بوده است. این زون بخشی از کمان آتشفشانی کلسیمی-قلیایی در شمال ایران است که به طول ۱۸۰۰ کیلومتر از شمال باختر ایران به سمت خاور تا افغانستان کشیده شده است. وسعت زون ارسباران ۲۴۲۰۰ کیلومتر مربع بوده و اهمیت آن به دلیل وجود طلای اپی‌ترمال، مس و مولیبدن پورفیری و ذخایر جیوه، آرسنیک، آنتیموان، کاتولن و برخی مواد دیگر است. به دلیل گسترش فعالیت‌های ماگمایی ترشیری و همچنین دگرسانی‌های وسیع، پژوهش‌های اکتشافی در این محدوده، به عنوان یکی از ۱۰ زون طلا دار برتر، در دستور کار سازمان زمین‌شناسی قرار گرفته است. ذخایر طلای اپی‌ترمال در زون ارسباران، غالباً همراه

سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی با ترکیب چیره متوسط تا فلسیک و گرایش کلسیمی-قلیایی گسترش زیادی در زون زمین‌ساختی البرز-آذربایجان دارند (Riou et al., 1981). این نوع سنگ‌ها میزبان اصلی ذخایر فلزهای پایه و گرانبها در بسیاری از نقاط کره زمین هستند (Sillitoe & Hedenquist, 2003). ذخیره طلای شرف‌آباد در ۳۰ کیلومتری شمال باختر ورزقان در استان آذربایجان خاوری، در محدوده جغرافیایی ۴۵° ۲۸' ۴۶" و ۳۱° ۳۱' ۴۶" طول خاوری و ۱۷° ۳۶' ۳۸" و ۳۸° ۰۲' ۳۸" عرض شمالی واقع شده است. این محدوده در شمال باختر مجموعه ماگمایی البرز-آذربایجان واقع شده و به‌طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی ترشیری تشکیل شده است.

کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال شرف‌آباد در اواخر دهه ۱۳۷۰ توسط سازمان زمین‌شناسی ایران کشف شد و به دنبال آن مطالعات نیمه تفصیلی شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی-معدنی، حفر ترانشه، حفاری، نمونه‌برداری و تعیین عیار صورت گرفت. سنگ‌های آتشفشانی پالیوسن و گنبد‌های نیمه آتشفشانی با ترکیب آندزیت تا تراکی آندزیت، ریدوسیت، توف و گدازه‌های آندزیتی، واحدهای آتشفشانی-رسوبی، مربوط به ائوسن را پوشانده است. دگرسانی شامل یک زون سیلیسی است

۵- کانی‌سازی و پارائز کانی‌ها

به منظور شناخت پارائز کانی‌ها، نمونه‌های معرف از مغزه‌ها، ترانسه‌ها و سطح زمین برداشت شده است. براساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی، چهار مرحله قابل تشخیص است.

۵-۱- مرحله ۱ (مرحله قبل از کانی‌سازی اصلی)

کوارتز، کانی اصلی مرحله اول است که به صورت توده‌ای و رگچه‌ای و با بافت ریزبلور و موزاییکی وجود دارد و رنگ آن اغلب خاکستری روشن است. به طور محلی، کوارتز خاکستری تیره به صورت عدسی شکل و رگچه‌ای وجود دارد که با پیریت فراوان همراه است و علت تیرگی آن نیز ممکن است تجمع همین کانی باشد. علاوه بر کوارتز و پیریت، مقادیر متفاوتی روتیل، مگنتیت، ایلمنیت، مولیبدنیت و کولیت در این مرحله تشکیل شده است. روتیل با بلورهای بی‌وجه و با ابعاد ۲-۴۰ میکرون به صورت پراکنده در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. مگنتیت به صورت بلورهای وجه‌دار با ابعاد ۱۰-۴۰ میکرون وجود دارد که در بعضی قسمت‌ها در حال تبدیل به هماتیت است. ایلمنیت با ابعاد ۳۰۰ میکرون در کنار مگنتیت در بعضی مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود. همچنین مقدار بسیار کمی مولیبدنیت به صورت بلورهای ریز و پراکنده با ابعاد ۱۵-۱۰ میکرون قابل تشخیص است. کولیت در بعضی قسمت‌ها به صورت کانی اولیه مشاهده می‌شود. فراوان‌ترین کانی در این مرحله، پیریت با ابعاد ۱۰-۵۰ میکرون است که به صورت بلورهای وجه‌دار تابی‌وجه وجود دارد و در بخش‌های سطحی تحت تأثیر هوازدگی قرار گرفته است. بافت آن اغلب پراکنده، پرکننده حفره‌ها و درزه‌ها و نیز استوک ورکی است (شکل ۲-۱).

۵-۲- مرحله ۲ (مرحله کانه زایی اصلی)

بافت برشی در این مرحله غالب بوده و برش‌های گرمایی توسط سیمان سیلیسی-کربناتی به هم متصل شده‌اند. کوارتز دارای بافت برشی و به رنگ سفید و خاکستری است و اغلب ریز تا متوسط بلور و وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار است. بافت‌های دیگر شامل حفره‌ای، شانه‌ای، موزاییکی، پرمانند و رگچه‌ای است. در این مرحله، علاوه بر کوارتز، کانی‌های کربناتی نیز حضور دارند که کوارتز و ماده معدنی را در بر گرفته‌اند. کربنات‌ها گاه به صورت رگچه‌ای نیز تشکیل شده‌اند که در این حالت فاقد ماده معدنی هستند. در بعضی قسمت‌ها کلسیت تیغه‌ای وجود دارد که فاقد کانه زایی است و در مواردی قالب تیغه‌ای آن توسط کوارتز جانشین شده است. در بیشتر موارد، رگچه‌های کربناتی رگچه‌های سیلیسی را قطع کرده‌اند. به طور محلی، کانی آدولاریا که یک محصول دگرسانی فلدسپارهاست، با بلورهای لوزی شکل وجود دارد (Simpson et al., 2001). شکل لوزی این کانی، نوع غالب آدولاریا در ذخایر ایتی‌ترمال است که به طور معمول دانه‌ریز بوده و در نمونه‌های دستی به رنگ کرم تا نارنجی کم‌رنگ است و دمای بین ۳۲۶-۱۴۱ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد (Dong & Marrison, 1995). حضور هم‌زمان میانبارهای غنی از بخار و غنی از مایع، نشانگر فرایند جوشش در زمان تشکیل میانبارهاست. این فرایند با شواهد بافتی مانند کلسیت تیغه‌ای، آدولاریا و برش‌های گرمایی تأیید می‌شود.

کوارتز برشی سفید، حاوی مقادیر بسیار کمتری از ماده معدنی نسبت به برش‌های خاکستری است. کانی‌های فلزی قابل تشخیص در این مرحله شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، طلا، تتراهدريت، کوبانیت، بورنیت، روتیل و کولیت است. پیریت به صورت وجه‌دار و نیمه وجه‌دار با ابعاد ۱۰-۲۰۰ میکرون و حاوی میانبارهای پیرویت و کالکوپیریت و بافت آن به صورت افشان و پرکننده فضای

با سنگ‌های آذرآواری با ترکیب اسیدی تا حدواسط رخ داده و به طور عمده در قالب رگه‌های سیلیسی با بافت برشی هستند.

محدوده شرف‌آباد، یکی از مهم‌ترین رخداد‌های طلا در زون ارسباران به شمار می‌آید. سنگ میزبان به طور عمده شامل گدازه‌های آندزیتی و توف‌های انوسن و بیشتر با دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک و پروپیلیتیک همراه است (شکل ۱). کانه‌زایی به طور عموم در قالب رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی و سیلیسی-کربناتی رخ داده و توسط زون‌های گسلی کنترل شده است. هجده رگه معدنی شناسایی شده است که طول و عرض آنها به ترتیب از ۱۰ تا ۱۰۰۰ متر و از ۰/۵ تا ۱۵ متر متغیر است. فعالیت‌های اکتشافی انجام شده شامل صدها متر ترانسه و ۱۴ گمانه با حداکثر ژرفای ۱۱۱ متر است. محل و موقعیت رگه‌ها در نقشه (شکل ۱) مشخص شده است. تجزیه شیمیایی نمونه‌های معرف از رگه‌ها مقادیر ppm ۵-۰/۵ طلا، ppm ۴۰۰-۱۰ مس، ppm ۱-۱۰ نقره، % ۳/۶-۰/۲ سرب و % ۵/۶-۰/۱ روی را نشان می‌دهد (پورنیک، ۱۳۸۵).

۳- دگرسانی

دگرسانی در منطقه شرف‌آباد، از گسترش وسیعی دارد و به منطقه رخنمون رگه‌ها محدود نیست. توف‌ها و گدازه‌های انوسن بالای تحت تأثیر محلول‌های گرمایی قرار گرفته و تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی وسیعی در آنها ایجاد شده است. دگرسانی پروپیلیتیک به طور گسترده نواحی شمال و باختر منطقه را فرا گرفته است و با رنگ سبز تیره تاروشن مشخص می‌شود. مطالعات سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که اغلب این سنگ‌ها به مجموعه‌ای از کلریت، کربنات، سریسیت، اپیدوت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. دگرسانی آرژیلیک به رنگ سفید تا قهوه‌ای روشن در نواحی شمال، خاور و جنوب روستای هیزجان گسترش دارد و با مجموعه کانی‌های کائولینیت، هماتیت، کلسیت و مقادیر کمتری جاروسیت، ژپس، گوتیت، آلونیت و پیریت مشخص می‌شود. دگرسانی سیلیسی به رنگ خاکستری و به صورت پراکنده در بخش شمالی روستای هیزجان گسترش دارد و به طور عمده شامل کوارتز ریزبلور، اوپال و اکسیدهای آهن است.

۴- دگرسانی گرمایی پیرامون رگه‌های طلا‌دار

دگرسانی گرمایی، در اطراف رگه‌های طلا‌دار به خوبی گسترش یافته است. این دگرسانی از بیرون به درون شامل دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک و سیلیسی است. دگرسانی پروپیلیتیک با رنگ سبز روشن خودنمایی می‌کند. در این دگرسانی، کانی‌های تیره سنگ میزبان (آمفیبول و پیروکسن) به کانی‌های ترمولیت، کلریت، اکتینولیت و مقادیر کمتری اپیدوت، کربنات، آلینیت، سریسیت، پیریت و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. پیریت به صورت رگچه‌ای در امتداد درزه‌ها و همین طور به صورت پراکنده دیده می‌شود. پلاژیو کلازها تا حد زیادی توسط کربنات، کانی‌های رسی و گاه کلریت جانشین شده‌اند. به سمت داخل، دگرسانی آرژیلیک حد واسط دیده می‌شود که شدت آن به سمت رگه افزایش می‌یابد و با رنگ سفید تا زرد مشخص می‌شود. بلورهای فلدسپار به طور کامل به سریسیت، کلریت، کلسیت، کوارتز و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند و در بعضی قسمت‌ها قالب‌هایی از کانی‌های تیره قابل تشخیص است. مطالعات XRD نشان می‌دهد که سنگ میزبان به کانی‌های کوارتز، دولومیت، پیریت، ایلیت، کائولینیت، کلریت، کریستوبالیت، مونتموریلونیت، کلسیت و آلونیت تجزیه شده است. محصول عمده این دگرسانی، ایلیت و کائولینیت است (پورنیک، ۱۳۸۵). دگرسانی آرژیلیک به تدریج به دگرسانی سیلیسی تبدیل می‌شود که شامل کوارتز و به مقدار کمتر اوپال، کریستوبالیت، تریدمیت است. کانی‌های همراه عبارتند از روتیل، پیریت، کالکوپیریت و به مقدار کمتری ترمولیت، اکتینولیت، اپیدوت، ناتروجاروسیت و اکسیدهای آهن.

کانی‌زایی، دگرسانی‌ها و رگه‌های کربناتی و کالسدونی همراه با پیریت‌های پراکنده و کوارتزهای شفاف و آمیتست با بافت نواری و پوسته‌ای، معرف مرحله نهایی تحول سیال گرمایی هستند. پس از فرسایش سنگ‌های رویی، فرایندهای هوازدگی با تأثیر بر کانی‌های سولفیدی منجر به تشکیل کانی‌های ثانوی شده‌اند. بخشی از دگرسانی کاتولینی، ناشی از تأثیر آبهای جوی اسیدی بر سنگ‌های محل است.

۷- میانبرهای سیال

از نمونه‌های معرف مغزه‌ها و ترانسه‌ها، ۱۵ مقطع نازک دوبر صیقلی با ستبرای ۵۰ میکرون برای مطالعه میانبرهای سیال تهیه شد. پس از بررسی اولیه، ۸ نمونه مناسب (۳ نمونه کوارتز از انواع خاکستری و شفاف، ۲ نمونه کربنات، ۲ نمونه اسفالریت و ۱ نمونه آمیتست) انتخاب شد. موقعیت نمونه‌ها در شکل ۱ و جدول ۲ مشخص شده است. میانبرهای مطالعه شده به‌طور عمده از نوع اولیه و به مقدار کمتر، ثانویه دروغین، مطابق معیارهای (Roedder, 1984) است. شکل میانبرها بسیار متفاوت بوده و بیشتر با شکل‌های نامنظم، بیضی، کشیده و صفحه‌ای است. دو نوع میانبر غنی از مایع و غنی از بخار تشخیص داده شد. بیشتر میانبرهای سیال غنی از مایع، حاوی ۹۰-۷۰ درصد مایع و ۳۰-۱۰ درصد بخار ($L > V$)، و میانبرهای سیال غنی از بخار حاوی ۹۰-۶۰ درصد بخار و ۴۰-۱۰ درصد مایع ($V > L$) هستند. در ۵ نمونه، میانبرهای غنی از بخار ($V > L$) و غنی از مایع ($L > V$) در کنار هم قرار دارند که این از نشانه‌های فرایند جوشش است (Simmons et al., 2000). با توجه به شکل میانبرها و معیارهای تشخیص میکروسکوپی، هیچ شهادی از حضور CO_2 مایع و کانی‌های دختر در میانبرها دیده نشد. آزمایش‌های میکروترمومتری، بر روی میانبرهای غنی از مایع که توسط ناپدید شدن بخار همگن می‌شوند، صورت گرفت. مطالعات میکروترمومتری با استفاده از سیستم گرمایش-سرمایش جریان گاز USGS، در دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه ساسکاچوان کانادا توسط مؤلف اول انجام شده است. برای کالیبره کردن دستگاه و تعیین دقت اندازه‌گیری، از نمونه‌های میانبرهای استاندارد مصنوعی آب خالص و فلئوریت استفاده شد. دقت اندازه‌گیری برای دماهای همگن شدن $2 \pm ^\circ C$ و برای ذوب یخ $2/0 \pm ^\circ C$ است.

۷-۱- میانبرهای سیال با میزبان کوارتز

کوارتز خاکستری مربوط به مرحله اصلی کانه‌زایی سولفیدی و طلا، فاز میزبان است. اندازه میانبرهای مورد مطالعه به‌طور متوسط ۱۰-۱۰۰ میکرون و در چند مورد تا ۳۰۰ میکرون است و گاه میانبرهای غنی از بخار و غنی از مایع در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند. کوارتز دانه‌ریز و کالسدونی، فاقد میانبرهای قابل تشخیص هستند. میانبرهای مورد مطالعه به‌طور عمده از نوع اولیه بوده و به صورت پراکنده و گاه در امتداد مناطق رشد کانی کوارتز، و دور از شکستگی‌ها و رگچه‌ها هستند. هیچ اثری از پدیده نازک‌شدگی (Necking down) مشاهده نشد (شکل ۳- D, C).

۷-۲- میانبرهای سیال با میزبان کربنات

کربنات‌های انتخاب شده به‌طور عمده مربوط به مرحله ۲ (کانه‌زایی) است. کربنات‌های رگچه‌ای مربوط به مرحله آخر، فاقد میانبرهای مناسب برای مطالعه است. فراوانی میانبر در کربنات‌ها در مقایسه با کوارتز کمتر است. اندازه میانبرها ۱۰-۵۰ میکرون و به صورت جدا و پراکنده و گاه در امتداد سطوح رخ کلیست است. این میانبرها غنی از مایع و از نوع اولیه بوده و پدیده نازک‌شدگی در آنها مشاهده نشده است (شکل ۳- A, B).

۷-۳- میانبرهای سیال با میزبان اسفالریت

اسفالریت به رنگ زرد و در حاشیه دانه‌ها سرخ تا قهوه‌ای است. این کانی به

خالی است. کالکوپیریت با ابعاد ۱۰۰-۵۰ میکرون به‌طور پراکنده و یا در مجاورت کانی‌های پیریت، اسفالریت، گالن و طلا قرار داشته و گاه به صورت میانبر در اسفالریت دیده می‌شود. تراهدریت به‌صورت دانه‌های بی‌وجه با ابعاد ۷۰ میکرون و حاوی میانبرهای کالکوپیریت، گالن و اسفالریت است. گالن با بلورهای وجه‌دار تا نیمه‌وجه دار با ابعاد ۱۲۰-۱۰ میکرون وجود دارد. این کانی به صورت پراکنده و گاه در کنار اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت قرار دارد و در بعضی قسمت‌ها در حاشیه توسط سروسیت جانشین شده است. اسفالریت با بلورهای درشت و میانبرهایی از کالکوپیریت، پیریت و گالن وجود دارد (شکل ۲- B). کوبانیت به‌صورت بی‌وجه تا وجه‌دار با ابعاد ۲۰۰ میکرون دیده می‌شود که گاه در حاشیه توسط کولیت جانشین شده است. بورنیت به‌صورت بلورهای پراکنده نیمه‌وجه‌دار تا بی‌وجه با ابعاد ۳۰-۱۰ میکرون در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود. روتیل در این مرحله نیز حضور دارد. کانی کولیت نیز با بلورهای بی‌وجه و پراکنده، با ابعاد ۱۰۰-۳۰ میکرون در رگچه‌های سیلیسی دیده می‌شود. کانی طلا با اندازه‌های ۱۸۰-۱۰ میکرون به صورت ذرات پراکنده و همین‌طور پرکننده درزه‌های میکروسکوپی و در مرز کانی‌های گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و گاه در درون آنها وجود دارد (شکل ۲- D, C).

۵-۳- مرحله ۳ (مرحله پس از کانه‌زایی اصلی)

در این مرحله، کوارتز با بلورهای درشت و شفاف همراه با آمیتست و مقادیر بسیار کمی پیریت تشکیل شده است. کانی آمیتست به‌صورت بلورهای وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار با دانه‌های درشت و به صورت پراکنده یا نواری وجود دارد که فاقد کانه‌زایی هستند. بافت‌های غالب شامل پوسته‌ای، شانه‌ای، نواری و پرکننده فضای خالی است. رگچه‌های کوارتز ریزدانه و کالسدونی، کوارتز مرحله ۳ و آمیتست همین‌طور مجموعه کانی‌های قبلی را قطع می‌کنند و خود توسط رگچه‌های کربنات درشت بلور با بافت موزاییکی و فاقد ماده معدنی قطع می‌شوند.

۵-۴- مرحله ۴ (سوپرژن)

در این مرحله، هیدروکسیدهای آهن بر اثر دگرسانی سوپرژن پیریت و کالکوپیریت پدید آمده است. همانیت با ابعاد ۳۰-۲ میکرون به‌صورت نامنظم بر روی پیریت تشکیل شده است. بلورهای گالن از اطراف توسط سروسیت جانشین شده‌اند. همچنین مقداری کولیت در اطراف بلورهای گالن و اسفالریت دیده می‌شود که محصول جانشینی مس در محلول به جای سرب و روی در گالن و اسفالریت است. دیزنیت نیز یک کانی دگرسان شده حاصل از کالکوپیریت است. اولیژیست نیز به‌صورت سوزن‌های ظریف و کشیده و به‌صورت کانی‌های مستقل وجود دارد. مقداری مالاکیت و آزوریت که حاصل دگرسانی کالکوپیریت و کولیت است، نیز دیده می‌شود.

۶- توالی پاراژنتیکی کانی‌ها

توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. دگرسانی‌های پروپلیتیک و آرژیلیک حد واسط در مرحله پیش از کانه‌زایی تشکیل شده‌اند و بافت چیره در این مرحله، پرکننده فضای خالی است. دگرسانی آرژیلیک تا مرحله کانه‌سازی ادامه داشته و در این مرحله به دگرسانی سیلیسی منتهی شده است. کانی‌سازی غالباً همراه با بافت‌های پرکننده فضای خالی، نواری، و استوک ورکی است. در مرحله دوم، برش‌های گرمایی همراه با کانی‌سازی طلا و کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است. حضور کربنات‌های تیغه‌ای و کانی آدولاریا در این مرحله، همراه با برش‌های گرمایی، نشانه رخداد جوشش است. در مرحله پس از

شدن پایین به دو گروه کانسارهای با سولفیدی شدن پایین (عضو انتهایی) و کانسارهای سولفیدی شدن حد واسط تقسیم شده‌اند. کانسارهای با سولفیدی شدن بالا با حضور کانی‌های انارژیت، باریت، لوزونیت و کولیت، دگرسانی آرزولیک پیشرفته و میان‌بهارهای سیال با دامنه شوری متغیر مشخص می‌شوند. سیال‌های کانه‌دار گروه سولفیدی شدن پایین در ذخایر Au-Ag دارای شوری‌های پایین (5 <) بوده و در ژرفای کمتر از 400 متر تشکیل می‌شوند. سیال‌های کانه‌دار در ذخایر Au-Ag به همراه فلزهای پایه، شوری متوسط بین 5-14/4 دارند و کانسنگ در قسمت‌های ژرف‌تر، بین 400-1000 متر زیر سطح آب زیرزمینی، تشکیل می‌شوند (Albinson et al., 2001). تغییرات مکانی و زمانی نهشت کانسنگ با استفاده از نمودار دمای همگن‌شدگی و ذوب یخ در میان‌بهارهای سیال توسط Hedenquist and Henley (1985) بررسی شده است. نتایج حاصل از مطالعات میان‌بهارهای سیال در شرف‌آباد و روند آن نشان می‌دهد که جوشش سیال غنی از گاز با رقیق‌شدگی بعدی همراه بوده است (شکل 3). شوری‌های متغیر در کوارتز خاکستری نسبت به ژرفا، پیشنهاد می‌کند که سیال به طور متناوب به سیستم تزریق شده است. تغییرات pH ناشی از خروج CO₂ در طول فرایند جوشش، عامل مهمی در نهشت کانی‌ها بویژه سولفیدهای فلزهای پایه است (Hedenquist and Henley, 1985; Giggensbach, 1992). در شرایط اکسایش همراه با از دست رفتن H₂ در طول جوشش، سبب ناپایدار شدن کمپلکس‌ها و نهشت طلا و عناصر همراه می‌شود (Hedenquist and Henley, 1985). دامنه دمای همگن‌شدگی برای کربنات‌ها در ذخیره شرف‌آباد بین 160-249 °C با میانگین 190 °C است که این دامنه وسیع دمایی می‌تواند ناشی از سه حالت در سیال باشد (Simmons et al., 2000). 1) سرد شدن سیال در طول زمان؛ 2) اندازه‌گیری بر روی میان‌بهارهای نازک شده؛ و 3) وجود دو سیال که در محیط جوشش شرکت داشته‌اند. دمای ذوب یخ از 0/9- تا 2/3- متغیر است که می‌تواند معرف شوری بین 1/5 تا 3/8 درصد وزنی معادل نمک طعام باشد و نشان می‌دهد که سیال گرمایی رقیق شده است. تشکیل همزمان میان‌بهارهای غنی از بخار و غنی از مایع، نشانگر فرایند جوشش است. حضور کلسیت تیغه‌ای، آدولاریا و برش‌های گرمایی نیز از نشانه‌های فرایند جوشش است (Simmons et al., 2000).

همراهی طلا با سولفیدهای فلزی در مرحله 2 کانه‌زایی نشان می‌دهد که شوری سیال در حین نهشت مواد معدنی به نسبت بالا بوده است. سیال حاوی اسفالریت با شوری 10/8- تا 15/3 درصد وزنی نمک طعام در یک دوره به تدریج توسط سیال رقیق‌تر در حال رقیق شدن بوده و با تشکیل کوارتز با شوری 1 تا 8/7 و کلسیت با شوری 1/9 تا 3/7 درصد وزنی معادل نمک طعام، همراه بوده است میان‌بهارهای موجود در آمیتست، شوری به نسبت بالا، بین 3/5 تا 9/5 درصد وزنی معادل نمک طعام، که این می‌تواند ناشی از جوشش درازمدت محلی در یک سیستم باز باشد (Brathwaite and Faure, 2002). Simmons and Browne (1997) و Scott and Watanabe (1998) همزمانی میان‌بهارهای با شوری متوسط و پایین را با یکی از این دو فرایند توصیح داده‌اند: 1) ورود یک شوراب بیگانه به قسمت‌های کم ژرفای سیستم؛ 2) گیرافتادن سیال‌های با شوری متغیر که در اثر جوشش و خروج بخار (Vaporization) به طور گسترده، در یک سیال با شوری پایین رخ داده است، که فرایند دوم را محتمل‌تر می‌دانند. Brathwaite and Faure (2002) متذکر می‌شوند که شوری بالای آمیتست از سیال مادر مشتق شده و ادامه تشکیل کوارتز مرحله اصلی بوده است که این فرایند در یک سیستم باز و ممتد ایجاد شده و تشکیل این نوع آمیتست را با شوری بالا به جوشش غیر آدیاباتیک و از دست دادن وسیع بخار نسبت داده‌اند، زیرا سرد شدن آدیاباتیک مانع از جوشش پیوسته در سیال می‌شود. بنابراین، ترکیب فرایندهای جوشش وسیع و خروج بخار، باعث گیر افتادن سیالات با شوری‌های متفاوت در یک زمان می‌شود.

نسبت فقیر از میان‌بهار است. میان‌بهارها اغلب به صورت نامنظم و کشیده بوده و پدیده نازک‌شدگی را به نمایش می‌گذارند (شکل 3-E). میان‌بهارهای اندازه‌گیری شده از نوع اولیه و پراکنده بوده و غنی از مایع و بخار هستند (شکل 3-E, F).

7-4- میان‌بهارهای سیال با میزان کوارتز شفاف و آمیتست

میان‌بهارهای موجود در کوارتز شفاف درشت بلور با بافت شانه‌ای، که مربوط به مرحله پس از کانه‌زایی است، ابعاد کمتر از 10 میکرون دارند و غنی از مایع هستند. این میان‌بهارها به دلیل ریزبودن برای اندازه‌گیری دمای ذوب یخ مناسب نبودند و فقط دمای همگن‌شدگی آنها اندازه‌گیری شده است. میان‌بهارهای موجود در آمیتست، معرف مرحله پس از کانی‌زایی است. اندازه این میان‌بهارها 10-50 میکرون است و غنی از مایع هستند. این میان‌بهارها به طور معمول نامنظم و از نوع اولیه هستند و آثار پدیده نازک‌شدگی را نشان نمی‌دهند.

7-5- دمای همگن‌شدگی (Th)

آزمایش همگن‌سازی بر روی 255 میان‌بهار که بیشتر آنها اولیه و تعداد کمی ثانویه دروغین بوده‌اند، انجام شد. دمای همگن‌شدگی برای کانی کوارتز، 360-170 درجه سانتی‌گراد، برای اسفالریت 265-216 درجه سانتی‌گراد، برای کربنات 249-160 درجه سانتی‌گراد، برای آمیتست 203-174 درجه سانتی‌گراد، و برای کوارتز شفاف 205-124 درجه سانتی‌گراد است (نمودار 1).

7-6- دمای ذوب شدگی (Tm)

تعیین دمای ذوب شدن یخ بر روی 65 میان‌بهار انجام شد که نتایج آن به شرح زیر است: کانی کوارتز، 5/6- تا 0/6- درجه سانتی‌گراد؛ اسفالریت، 11/3- تا 7/3- درجه سانتی‌گراد؛ کربنات 2/3- تا 0/9- درجه سانتی‌گراد؛ و آمیتست، 6/2- تا 2/1- درجه سانتی‌گراد. میزان شوری به دست آمده (معادل درصد وزنی کلرید سدیم) برای کانی کوارتز 8/7 تا 1 درصد وزنی، برای اسفالریت 15/3 تا 10/8 درصد وزنی، برای کربنات 3/8 تا 1/5 درصد وزنی و برای آمیتست 9/5 تا 3/5 درصد وزنی است (نمودار 2).

7-7- ژرفای تشکیل کانسنگ

به منظور برآورد ژرفای کانی‌سازی نسبت به سطح ایستایی قدیمی، از منحنی جوشش ایستایی (هیدروستاتیک) نسبت به ژرفا استفاده شده است (نمودار 4، Hass, 1971). منحنی صفر ایستایی مربوط به آب خالص بوده و منحنی‌های بعدی شرایط فشار ایستایی را با توجه به میزان شوری سیال تا شوری 25 درصد وزنی نمک طعام نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که دمای تشکیل کانی‌ها نسبت به ژرفا افزایش می‌یابد. با توجه به میانگین دما و شوری سیال در کانی‌های اسفالریت (میانگین 237 °C، Th و شوری 13 wt% معادل NaCl)، کوارتز (میانگین 235 °C، شوری 4 wt%)، آمیتست (میانگین 198 °C و شوری 7 wt%)، کربنات (میانگین 195 °C و شوری 2/1 wt%) و کوارتز شفاف (میانگین 175 °C)، ژرفای تشکیل کانی‌ها به ترتیب 370، 350، 180، 170، 150-130 متر برآورد می‌شود (نمودار 4). با توجه به موقعیت پاراژنتیکی کانی‌ها و تحول سیال‌ها می‌توان تشکیل ماده معدنی و جوشش را در ژرفای 370-350 متر و رقیق‌شدگی سیال و صعود آن به سطح زمین و تشکیل فازهای کانی نابارور را در ژرفای کمتر در نظر گرفت.

8- بحث

بر اساس تقسیم‌بندی (Hedenquist 2000) کانسارهای اپی‌ترمال به دو گروه

سولفیدی شدن بالا و سولفیدی شدن پایین تقسیم می‌شود. کانسارهای با سولفیدی

۹- نتیجه گیری

بر اساس روابط پاراژنری و بافتی، تشکیل رگه‌های کانسنگ در محدوده شرف‌آباد در چهار مرحله به وقوع پیوسته است. مرحله اول با مقادیر فراوانی پیریت همراه بوده که فاقد ارزش اقتصادی است. کانی‌سازی فلزهای پایه و طلا در مرحله دوم رخ داده است و حضور آدولاریا و کلسیت تیغه‌ای نشانه فرایند جوشش است به همراه آمیتست در مرحله سوم تشکیل شده و با کانی‌سازی خاصی همراه نیست. در مرحله چهارم، کانسنگ تحت تأثیر فرایندهای سوپرژن قرار گرفته است. ارتباط بین داده‌های Tm و Th و نتایج حاصل از میانبرهای سیال در کانی‌های اسفالریت، کوارتز و آمیتست، حاکی از آن است که سیال داغ و شور با سیال سردتر و رقیق‌تر درآمیخته و این فرایند با جوشش همراه بوده است. ژرفای تشکیل کانسنگ در شرف‌آباد، هماهنگ با کانسارهای اپی‌ترمال با ژرفای کم تا متوسط است. حضور آدولاریا و کلسیت تیغه‌ای که نشانه‌های جوشش سیال هستند، دگرسانی آرژیلیک حد واسط و همراهی طلا با کانی‌های سولفیدی، و همین طور شوری متوسط میانبرهای سیال در شرف‌آباد، مشخص‌کننده سیستم‌های اپی‌ترمال طلا-نقره و غنی از فلزهای پایه مربوط به گروه سولفیدی حد واسط است.

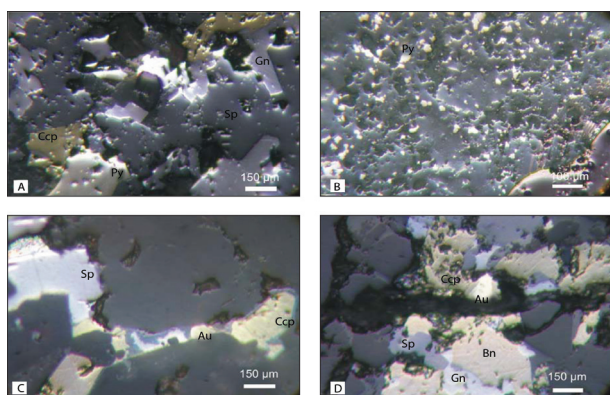
جدول ۱- توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در کانسار شرف‌آباد

کانی‌ها	هیپوزن			سوپرژن
	قبل از کانه زایی	کانه زایی	بعد از کانه زایی	
کوارتز خاکستری				
کوارتز سفید				
کوارتز شفاف				
آمیتست				
روتیل				
مگنتیت				
ایلمنیت				
مولیبدنیت				
کوکولیت				
کربنات				
کلسدونی				
آدولاریا				
پیریت				
طلا				
کالکوپیریت				
اسفالریت				
گالن				
بورنیت				
کوبانیت				
تنتالدریت				
پیروتیت				
سروزیت				
دیزینت				
اولیوینیت				
مالاکیت				
آزوریت				
لیمونیت				

جدول ۲- داده‌های میانبرهای سیال برای کانی‌های کوارتز شفاف و خاکستری، اسفالریت، کربنات و آمیتست.

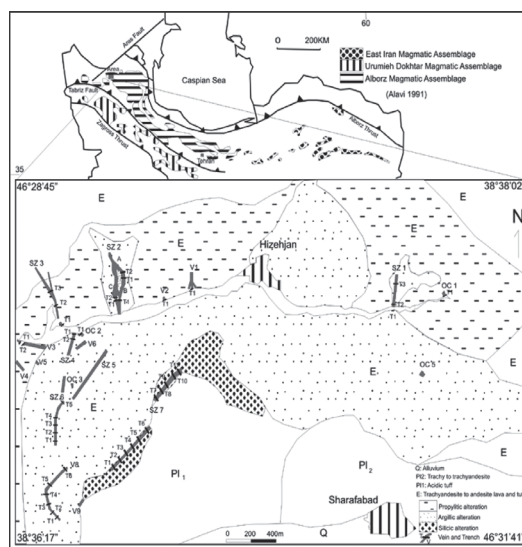
Vein Number, Elevation, Drill hole and Depth of samples	Mineral	Type	N	Th range	Avg.	Tm range	Avg.	WT% NaCl equiv. range	Avg.	Comments
OC1- T1- 1723	Clear Quartz	P	10	124-205	175	-----	----	-----	-----	L>V
OC1- T1- 1723	Amethyst	P	13	174-238	199	-2.1, -6.2	-5.18	3.5-9.5	6.93	L>V
			27	154-232	181	-----	-----	-----	-----	L>V
V8- 1910-DH7-88	Gray Quartz	PS	2	299-340	320	-1.4, -2.2	-1.8	2.4-3.7	3	L>V
			7	201-307	233	-0.6, -3.4	-2.13	1-5.5	3.64	L>V
			41	177-334	219	-----	-----	-----	-----	L>V
V8-1910- DH9-18	Gray Quartz	P	10	224-259	243	-0.6, -2.1	-1.12	1-3.5	1.89	L>V
			40	222-350	267	-----	-----	-----	-----	L>V
V8-1910- DH11-66	Gray Quartz	P	11	203-264	232	-1.8, -5.6	-3	3-8.7	5.29	L>V and V>L
			39	192-277	229	-----	-----	-----	-----	L>V and V>L
V8- 1910-DH10+2-101	Gray Quartz	P	6	196-268	226	-2.1, -5.4	-3.98	3.5-8.4	6.31	L>V and V>L
			3	216-275	232	-7.3, -9.6	-8.3	10.8-13.5	12.03	L>V and V>L
SZ2 - T1-m- 1650	Sphalerite	P	4	242-268	252	-8.7, -11.3	-10.32	12.5-15.3	14.25	L>V and V>L
SZ2 - T1-n- 1650	Carbonate	P	5	160-249	194	-0.9, -2.3	-1.57	1.5-3.8	2.64	L>V
			17	160-228	192	-----	-----	-----	-----	L>V
SZ2 - T1-g- 1650	Carbonate	P	4	191-207	197	-1.1, -2.2	-1.67	1.9-3.7	2.82	L>V
			4	168-211	189	-----	-----	-----	-----	L>V

Notes: Th: Homogenization temperature, Tm: Ice- melting temperature, P: Primary fluid inclusion, PS: Pseudosecondary fluid inclusion, L: Liquid, V: Vapor, L>V= Liquid- rich inclusion, V>L= vapor- rich inclusion, N: Number of measurements.

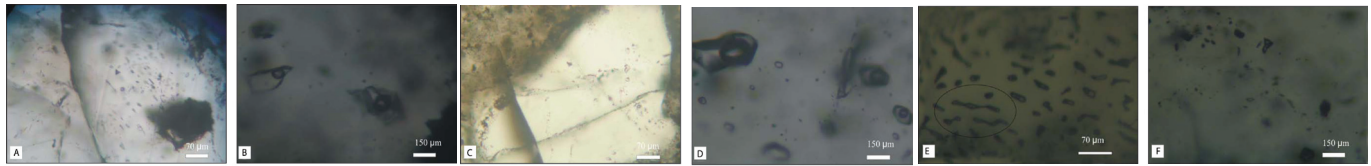


شکل ۲- کانی‌های تشکیل شده در مراحل مختلف کانی‌سازی:

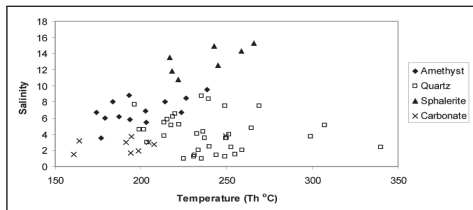
- (A) هم‌رشدی اسفالریت، گالن، پیریت و کالکوپیریت با بافت پرکننده فضای خالی،
- (B) پیریت‌های دانه ریز و پراکنده در زمینه کوارتز در مرحله اول کانی‌سازی،
- (C) طلا در مجاورت کالکوپیریت و اسفالریت در درون رگچه سیلیسی،
- (D) طلا در مجاورت کانی‌های سولفیدی در درون سیلیس. پیریت (Py)، کالکوپیریت (Ccp)، گالن (Gn)، اسفالریت (Sp)، طلا (Au) و بورنیت (Bn).



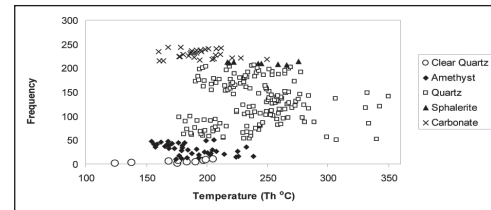
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه کانی‌سازی طلای شرف‌آباد با نمایش موقعیت رگه‌ها.



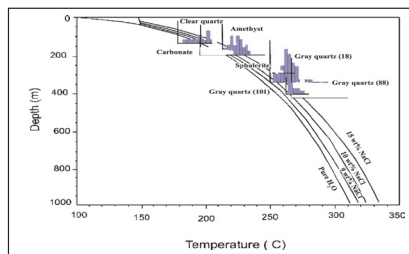
شکل ۳- (A, B) میانبارهای سیال در کربنات با شکل‌های نامنظم؛ (C) میانبارهای سیال ثانویه در امتداد شکستگی‌ها در کوارتز؛ (D) میانبارهای سیال از نوع اولیه و پراکنده در کوارتز، به بزرگی میانبارهای اولیه دو- فازی توجه کنید. (E, F) میانبارهای سیال در اسفالریت؛ به پدیده نازک شدگی در E توجه کنید.



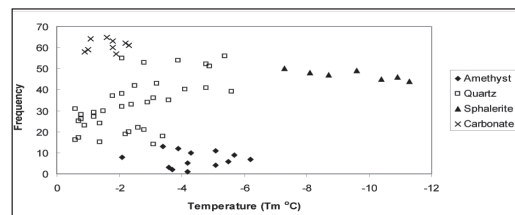
نمودار ۲- میزان شوری در برابر دمای همگن شدگی



نمودار ۱- فراوانی ۲۵۰ میانبار سیال در برابر دمای همگن شدگی.



نمودار ۴- نمودار ژرفا در برابر دمای همگن شدگی (Hass, 1971)



نمودار ۳- فراوانی میانبارهای سیال در برابر درجه ذوب یخ

کتابنگاری

پورنیک، پ. ۱۳۸۵- گزارش اکتشافات تفصیلی طلا در محدوده اکتشافی شرف آباد- هیزه‌جان "کانی‌سازی مزرعه شادی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۶۴ صفحه.

References

- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D. and Chomiak, B., 2001- Controls on formation of low- sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constrains from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic geologist, Special Publication 8, p. 1-32.
- Brathwaite, R. L. and Faure, K., 2002- The Waihi epithermal gold- silver- base metal sulfide- quartz vein system, New Zealand: Temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition: Economic Geology, v. 97, p. 260-290.
- Dong, G. and Morrison, G. W., 1995- Adularia in epithermal veins, Queensland: Morphology, structural state and origin: Mineralium Deposita, v. 30, Is. 1, p. 11-19.
- Giggenbach, W. F., 1992- Magma degassing and mineral deposition in the hydrothermal systems along convergent plate boundaries: Economic Geology, v. 87, p. 1927-1944.
- 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. 940-945.
- Hedenquist, J. W. and Henley, R. W., 1985- Effect of CO₂ on freezing point depression measurements of fluid inclusions: Evidence from active system and application to epithermal studies: Economic Geology, v. 80, p. 1379-1406.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. R. and Urie, E. G., 2000- Exploration for epithermal gold deposits: SEG Reviews, v. 13, p. 245- 277.
- Riou, R., Dupuy, C. and Dostal, J., 1981- Geochemistry of coexisting alkaline and calc- alkaline volcanic rocks from northern Azerbaijan (N.W.Iran), Journal of Volcanology and Geothermal Research, V. 11, P. 253-275.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions: Reviews in mineralogy, v. 12, 644 p.
- Scott, A. M. and Watanabe, Y., 1998- extreme boiling model for variable salinity of the Hokko low- sulfidation epithermal Au prospect, southwestern Hokkaido, Japan: Mineralium Deposita, v. 33, p. 563-578.
- Sillitoe, H. R., Hedenquist, J. W., 2003- Linkage between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious- metal deposits, Society of Economic Geologist, Special Publication 10, 2003, p. 315-343.
- Simmons, S. F., Arehart, G., Simpson, M. P. and Mauk, J. I., 2000- Origin of massive calcite veins in the Golden Cross Low -Sulfidation, epithermal Au-Ag deposit, New Zealand: Economic Geology, v. 95, p. 99-112.
- Simmons, S. F. and Browne, P. R. I., 1997- Saline fluid inclusions in sphalerite from the Broadlands-Ohaaki geothermal system: A coincidental trapping of fluid boiled toward dryness: Economic Geology, v. 92, p. 485-489.
- Simmons, S. F. and Christenson, B. W., 1994- Origins of calcite in a boiling geothermal system: American Journal of Science, v. 294, p. 361-400.
- Simpson, M. P., Mauk, J. I. and Simmons, S. F., 2001- Hydrothermal alteration and hydrologic evolution of the Golden Cross epithermal Au- Ag deposit, New Zealand: Economic Geology, v. 95, p. 773-796.