

# بررسی‌های ژئوشیمی و مطالعه میانبارهای سیال طلای اپی‌ترمال سولفیدی شدن پایین در محدوده میرکوه‌علی‌میرزا، سراب، شمال باختر ایران

عباس مقصودی<sup>۱\*</sup>، محمد یزدی<sup>۲</sup>، محمود مهرپرتو<sup>۳</sup>، منصور وثوقی عابدینی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۲۹

## چکیده

کانه‌زایی طلای میرکوه‌علی‌میرزا در شمال سراب و در پهنه ساختاری البرز باختری - آذربایجان قرار دارد. کانه‌زایی به صورت رگه‌ای با روند شمال باختر - جنوب خاور در توف‌های داسیتی و ریوداسیتی مربوط به نئوژن تشکیل شده است. کانی‌شناسی رگه شامل کوارتز - سریسیست - آدولاریا - کلسیت و پیریت (کمتر از ۱ درصد) می‌باشد که بیانگر حضور رگه اپی‌ترمال سولفیدی شدن پایین در منطقه است. با توجه به بررسی‌های سیالات در گیر موجود در کوارتز، کانه‌زایی در دامنه دمایی ۱۶۱ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۵/۵ - ۰/۵ درصد وزنی معادل NaCl تشکیل شده است. عیار طلا در رگه کوارتز دارای تغییراتی از ۲۷۰ تا ۳۲۴۰ میلی‌گرم در تن می‌باشد. بیشترین مقدار طلا در نمونه‌های کوارتز با بافت تیغه‌ای - شبکه‌ای و برشی است که می‌تواند ارتباط مستقیم بین نهشت طلا و جوشش را در سیستم رگه‌ای طلا دار محدوده میرکوه‌علی‌میرزا نشان دهد که با همراهی سیالات در گیر غنی از مایع و غنی از بخار در این نمونه‌ها تأیید می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** طلای اپی‌ترمال، سولفیدی شدن پایین، میرکوه‌علی‌میرزا، سراب

\*نویسنده مسئول: عباس مقصودی

E-mail: a.maghsoudi@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

مورد مطالعه از نوع کلسیمی - قلیایی بوده و الگوی ماگماتیسیم در ارتباط با کمان حاشیه قاره‌ای را نشان می‌دهد. غنی‌شدگی در عناصر LREE و LILE نسبت به HFSE و بی‌هنجاری منفی Ta، Nb و پایین بودن Y از ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های این منطقه است (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹).

در منطقه میرکوه‌علی‌میرزا به طور چیره دو مجموعه گسل و شکستگی با روندهای شمال خاوری - جنوب باختری و شمال باختری - جنوب خاوری قابل تشخیص است. کانی‌زایی در منطقه به صورت رگه‌ای و منطبق بر سیمای ساختمانی گسل خورده و شکسته شده با روند شمال باختر - جنوب خاور می‌باشد که گویای ماهیت ژنتیکی نهشته‌های کانساری است. گسلش پس از کانه‌زایی نیز رخ داده که به وسیله جابه‌جایی در بعضی قسمت‌های رگه و آبراهه‌های به موازات آن به خوبی مشخص است.

## ۳- ژئوشیمی

بررسی‌های لیوتوزئوشیمیایی بر روی ۳۰ نمونه که به صورت تکه‌ای از رگه سیلیسی کانه‌دار با هاله‌های سیلیسی - سریستی - رسی برداشت شده، انجام پذیرفته است. نمونه‌ها به روش اسپکتروگرافی نشری برای عنصر طلا و ICP-OES برای بقیه عناصر تجزیه شده‌اند. بعد از بررسی دقت تجزیه با استفاده از نمودار (Thompson & Howarth (1978)، داده‌های مربوط به ۲۶ عنصر پردازش و از ضریب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و نمودار پراکنش سه بعدی برای شناخت ارتباط ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف (پاراژنز ژئوشیمیایی) استفاده شده است. بر این اساس، در رگه مورد مطالعه، عنصر طلا بیشترین ضریب همبستگی (در سطح اعتماد بیش از ۹۹ درصد) را با عناصر نقره ( $r = 0.73$ )، آهن ( $r = 0.67$ )، گوگرد ( $r = 0.5$ ) دارد که می‌تواند نشان دهنده ارتباط زایشی عنصر طلا با کانی پیریت و تشکیل آنها در یک مرحله از کانی‌زایی باشد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای نیز عناصر به طور عمده به ۲ گروه اصلی A و B تقسیم می‌شود (شکل ۳). در گروه اول (A) عناصر اصلی و خاکی کیمیا و در گروه دوم (B) فلزات قیمتی و عناصر پایه قرار دارد. گروه اول که شامل عناصری مانند K, Al, Mg, Na, La, Ce است، در ارتباط با عوامل سنگ‌ساز و دگرسانی می‌باشند. گروه دوم شامل دو زیر گروه ۱- عناصر Ca و Au, Ag, Fe, S

منطقه کانی‌سازی میرکوه‌علی‌میرزا در شمال باختر نوار ماگمایی البرز - آذربایجان قرار دارد. ویژگی‌های بارز زمین‌شناسی اعم از زمین‌ساختی، ماگمایی و کانی‌سازی در برهه زمانی ترشیری در ناحیه آذربایجان باعث شده است که این ناحیه همواره مورد توجه زمین‌شناسان قرار بگیرد. به دلیل گسترش فعالیت‌هایی ماگمای ترشیری و همچنین دگرسانی‌های گسترده، پژوهش‌های اکتشافی مقدماتی در این ناحیه به طور جدی از اواخر دهه ۱۳۷۰ در دستور کار سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور قرار گرفت که منجر به شناسایی محدوده‌های مسجد داغی، صفی‌خانلو، نقدوز، زگلینگ، شرف‌آباد، نی‌جان و ائبق - قره‌چیلر شد (قدیرزاده و همکاران، ۱۳۷۹؛ بنی‌آدم، ۱۳۸۱؛ قدیم‌زاده، ۱۳۸۱؛ پورنیک، ۱۳۸۱؛ اکبرپور، ۱۳۸۴؛ مختاری و یارمحمدی، ۱۳۸۶؛ محمدی و مهرپرتو، ۱۳۸۷). در ادامه کل ناحیه آذربایجان تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی در قالب ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ قرار گرفت که نتایج آنها منجر به معرفی بی‌هنجاری‌های با اهمیتی از عناصر مس و طلا و ... در ورقه‌های مختلف از جمله بخش جنوب باختری ورقه مشگین‌شهر (شمال سراب) شد. این محدوده، اخیراً تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و اکتشافات لیوتوزئوشیمیایی قرار گرفت (شکل ۱) که نتایج آنها منجر به معرفی رگه سیلیسی طلا دار اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین در دامنه جنوب باختری سیلان گردید (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹). در این مقاله ویژگی‌های ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسنگ و میانبارهای سیال در رگه مذکور بحث خواهد شد.

## ۲- زمین‌شناسی

مجموعه ماگمایی به سن ترشیری حجم غالب سنگ‌های منطقه میرکوه‌علی‌میرزا را تشکیل می‌دهد. این مجموعه شامل انواع سنگ‌های آندزیتی، داسیتی، ریوداسیتی و ریولیتی می‌باشد (شکل ۲) که سن ائوسن و نئوژن به آنها نسبت داده شده است (عمیدی و همکاران، ۱۹۷۸؛ امینی، ۱۳۷۳). شکل و فرم جایگیری سنگ‌های یاد شده به طور عمده به صورت مجموعه‌های آذرآواری شامل انواع توف‌ها و برش‌های آتشفشانی و روانه‌های گدازه است. بافت بیشتر آنها پورفیری و آتشفشانی - آواری (ولکانو کلاستیک) می‌باشد. بر اساس مطالعه ژئوشیمی کل سنگ، سنگ‌های منطقه

(شکل‌های ۵-d، e)، برشی (شکل ۶-d)، شانه‌ای و پرکننده فضاهای خالی است. علاوه بر این بافت‌ها، ترک خوردگی بسیار شدید یا پدیده شترینگ (shattering) را که معلول فشارهای هیدرولیکی است در بررسی‌های مقاطع نازک نمونه‌ها آشکارا می‌توان دید (شکل ۵-b). این شکستگی‌ها بارگچه‌های سیلیسی و گاه سریستی-کربناتی پر شده است. سیلیس‌های تیغه‌ای مقاطع با بافت شبکه‌ای با حفره‌های چند وجهی در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی قابل مشاهده است. برخی از این حفره‌ها حاوی کانی پیریت یا قالب کانی پیریت می‌باشد (شکل‌های ۶-a، b) که از حاشیه در حال تبدیل شدن اکسی-هیدرو اکسیدهای آهن است، برخی سیلیس‌های تیغه‌ای - شبکه‌ای نیز در نمونه دستی با تمرکز از ناخالصی‌های اکسید آهن قابل شناسایی هستند (شکل ۶-c). در رگه اصلی، بیشترین مقدار طلا (۳۴۴۰ و ۱۶۵۰ میلی‌گرم در تن) در ارتباط با سیلیس‌های با بافت شبکه‌ای- تیغه‌ای و برش‌های گرمابی (هیدروترمال) با ۱۹۰ و ۱۷۴۰ میلی‌گرم در تن طلا می‌باشد.

#### ۵- میانبارهای سیال

در منطقه میرکوه علی‌میرزا، اندازه‌گیری‌های میکرو ترمومتری بر روی ۴ نمونه کوارتز انجام شد. سیال‌های درگیر در این نمونه‌ها به صورت میانبارهای (انکلوژون) پراکنده و جدا از هم و نیز در امتداد شکستگی‌ها وجود دارند.

اندازه سیال‌های درگیر در نمونه‌ها از کمتر از ۵ تا ۲۴ میکرون متغیر است. بیشتر سیال‌های درگیر بی‌وجه، گرد شده و نیز به مقدار کم میله‌ای هستند (شکل‌های ۷-a، b). سیال‌های درگیر در کوارتز به صورت دو فاز مایع + بخار، فاز غنی از مایع و فاز غنی از بخار می‌باشند. پدیده نشت (leakage) که به دلیل تنش‌های زمین‌ساختی یا حرارتی (در حین آماده سازی نمونه یا تحلیل ترمومتری) ایجاد می‌شود، در نمونه Raz-134 قابل مشاهده است (شکل ۷-d). علاوه بر این پدیده، پدیده نازک‌شدگی (Necking down) که یک فرایند عمومی در محیط‌های اپی‌ترمال است (Bodnar et al., 1985) در نمونه یاد شده قابل مشاهده است (شکل‌های ۷-c، d).

میانگین دمای همگن شدن (Th) در سه نمونه کوارتز از رگه اصلی (بر اساس تعداد ۲۹ اندازه‌گیری) که از ارتفاع ۲۴۰۷ متر از سطح دریا برداشت گردیده است، ۱۸۷ درجه سانتی‌گراد با شوری ۲/۵۷ درصد وزنی معادل NaCl می‌باشد. همچنین بر اساس اندازه‌گیری یک نمونه کوارتز (RAZ-659) از ارتفاع ۲۲۸۲ متر از سطح دریا، میانگین دمای همگن شدن (تعداد ۹ اندازه‌گیری)، ۲۳۶ درجه با شوری ۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl به دست آمده است (شکل ۸). کاهش دما و شوری در اختلاف ارتفاع یاد شده (حدود ۱۲۵ متر) می‌تواند به دلیل صعود سیال‌ها و آمیختگی بیشتر با آب‌های سرد جوی یا آب‌های گرم شده با بخار باشد (مقایسه شود با Kodera et al., 2004) که هر دو در محیط‌های اپی‌ترمال رایج هستند. افزون بر موارد یاد شده، در شرایط اپی‌ترمال نوع عنصر چیره با مقدار شوری همبستگی نشان می‌دهد (مقایسه شود با Simmons et al., 1988; Albinson et al., 2001; Shamanian et al., 2004; Simmons et al., 2005). بر این اساس، نقره و عناصر پایه در محیط‌های اپی‌ترمال به طور چیره به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند. این کمپلکس در شرایط احیا و pH خنثی برای حمل فلزات نقره و عناصر پایه مهم‌تر از حمل طلا است (Seward and Barnez, 1997). در مقابل، کمپلکس بی سولفید Au(HS) در محیط اپی‌ترمال برای حمل طلا مهم‌تر است (Benning and Seward, 1996; Seward and Barnez, 1997). بنابراین در محیط اپی‌ترمال در یک مسیر حمل، طلا به اندازه نقره و عناصر پایه در شوری موثر نیست. در رگه سیلیسی میرکوه علی‌میرزا نسبت میانگین Ag/Au در سه نمونه کوارتز برداشت شده از ارتفاع ۲۴۰۷ متر برابر با ۱۲ و مقادیر سرب و روی و منگنز به ترتیب برابر با ۲۹۴، ۳۴۱ و ۱۴۸ گرم در تن است در حالی نسبت Ag/Au در نمونه RAZ-659 برابر با ۱۰۲ و مقادیر عناصر سرب، روی و منگنز به ترتیب برابر با ۵۵۰۸، ۷۶۳۲ و ۵۱۲۶ گرم در تن می‌باشد که می‌تواند عامل دیگر برای بالا بودن شوری در نمونه مذکور نسبت به سه نمونه دیگر باشد.

و ۲- عناصر پایه مثل Pb, Zn, Cu و... است. این روابط پاراژنری در نمودار پراکنش سه بعدی نیز به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۴). وابستگی قوی ژئوشیمیایی Au و Ag و قرارگیری آنها با عناصر S و Fe در یک گروه با بالاترین ضریب همبستگی می‌تواند نشان دهنده تشکیل بخشی از کانی سازی طلای غیر قابل مشاهده (Invisible) به صورت محلول جامد یا ذراتی در مقیاس نانو در ساختار پیریت باشد. برای مشخص شدن فاز کانه‌زایی طلا، ۳ کیلوگرم نمونه به صورت تکه‌ای از رگه برداشته شد و در ابعاد ۱۸- مش خردایش گردید. بخش غیرمغناطیسی نمونه (NM) با میکروسکوپ دوچشمی (بینو کولر) مورد مطالعه قرار گرفت که در آن طلای آزاد مشاهده نگردید. پیریت‌ها از نمونه جدا و تجزیه شدند که حاوی ۶۵ گرم در تن طلا می‌باشند. وجود Ca در زیر گروه ۱ با عناصر یاد شده نشان از وجود کانی فرعی کلسیت (به صورت تیغه‌ای- شبکه‌ای جانشین شده توسط کوارتز و پراکنده) همراه با کانی‌زایی است که در تجزیه XRD و مقطع نازک نمونه‌ها تأیید شده است (شکل‌های ۵-b، d، e). نهشت کلسیت می‌تواند ناشی از خروج CO<sub>2</sub> در اثر پدیده جوشش و در نتیجه زایش یون CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> از HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> باشد (Henley, 1983; Reed and Spycher, 1985). این فرایند، رخداد رایج کلسیت را به عنوان کانی باطله و نیز میزبان کانستگ در سیستم‌های رگه‌ای اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین توضیح می‌دهد (مقایسه شود با Simmons et al., 2000; De Ronde et al., 1988).

در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، در پایین دست رگه، عنصر طلا دارای تغییراتی از ۳۱ تا ۲۷۰ میلی‌گرم در تن و عناصر نقره، سرب و روی به ترتیب حاوی حداکثر ۵/۳، ۴۴۵ و ۵۵۵ گرم در تن هستند. بررسی‌های کانی سنگین در ۱ نمونه برداشت شده از پایین دست رگه تعداد ۱۶ ذره طلا با اندازه ۸۸-۶۲ میکرون و کانی‌های گالن، سروزیت، اسفالریت، پیریت و اکسیدهای آهن را نشان داده است (مقصودی، ۱۳۸۹).

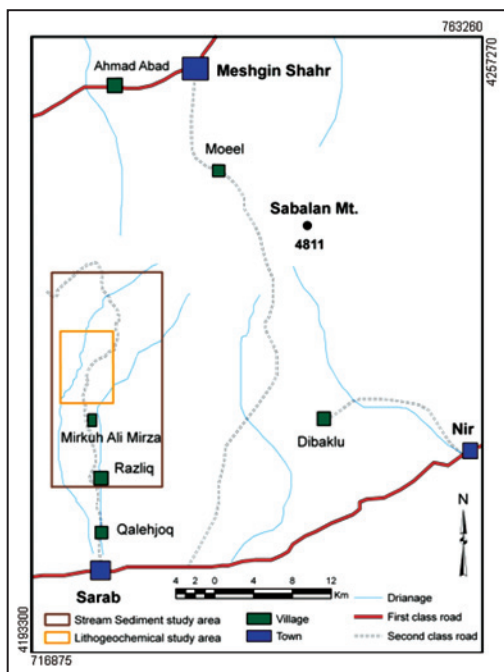
#### ۴- کانه‌زایی

از نظر کانی‌سازی، ناحیه آذربایجان یکی از نواحی شناخته شده فلز زایی (متالوژنی) ایران بوده و بیشتر حاوی مس پورفیری و طلای نوع اپی‌ترمال است که از جمله می‌توان به کانسارهای مس پورفیری سونگون و مسجد داغی و کانسارهای رگه‌ای شرف آباد، زگلیگ، نقدوز و خوینود اشاره کرد. کانی‌زایی مس و طلا در این مناطق به مانند بیشتر مناطق ایران با ماگماتیسیم ترشیری همراه است.

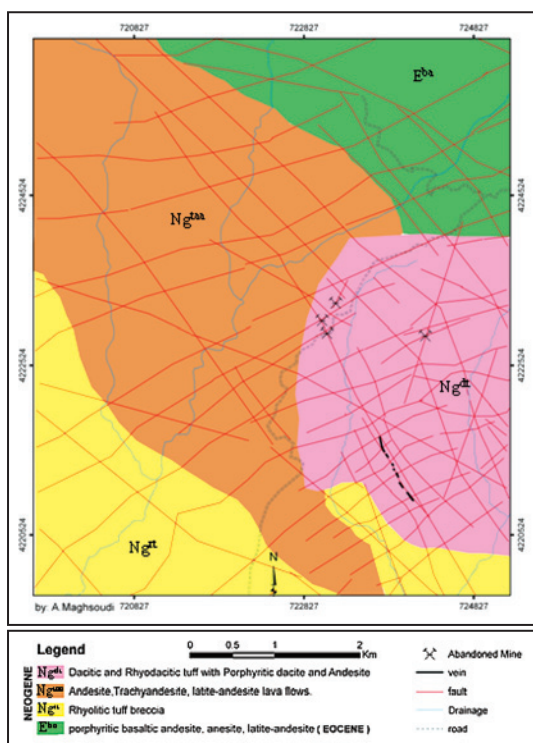
در منطقه میرکوه علی‌میرزا، رگه سیلیسی طلادار، با پروتزد متقطع به طول ۸۰۰ متر و عرض ۰/۵ تا ۳ متر در سنگ درون‌گیر توف‌های داسیتی و ریوداسیتی نوژن تشکیل شده است. کانی‌زایی توسط پهنه گسلی کنترل شده و دارای راستای N29W با شیب نزدیک به قائم می‌باشد. کوارتز + سریست + آدولاریا + کلسیت (شکل‌های ۵-a، b) و سیدریت میزبان کانی‌زایی هستند. دگرسانی در سنگ میزبان شامل یک منطقه باریک سریستی- سیلیسی در اطراف رگه است و دارای ارتباط آشکار با کانی‌سازی است. مقادیر طلا در رگه اصلی دارای تغییراتی از ۲۷۰ تا ۳۲۴۰ میلی‌گرم در تن است ولی در رگچه‌های سیلیسی و دگرسانی سریستی مجاور رگه، طلا دارای تغییراتی از ۴۰ تا ۲۷۰ میلی‌گرم در تن و در بخش‌های حاشیه و سنگ میزبان این مقادیر به کمتر از ۱ میلی‌گرم در تن می‌رسد. حجم کانی‌های سولفیدی در این کانی‌زایی کمتر از ۱ درصد و به طور چیره پیریت است. علاوه بر پیریت، رگه مذکور شامل نقره طبیعی (شکل ۵-g)، کانی‌های گالن و اسفالریت (شکل ۵-h)، کالکوپیریت، مولیبدنیت، آرسنوپیریت و اکسید منگنز (شکل ۵-i) نیز می‌باشد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، پیریت‌ها بی‌وجه تا وجه‌دار و ریز دانه تا درشت دانه در زمینه رگه کوارتز پراکنده هستند. این پیریت‌ها به طور چیره تحت فرایند سوپرژن به جاروسیت و اکسی-هیدروکسید آهن تبدیل شده یا از حاشیه در حال تبدیل شدن به این کانی‌ها می‌باشند (شکل‌های ۵-f و ۵-g). بافت داخل رگه شامل کوارتز ریز بلور، نوارهای ظریف پوسته‌ای و کلسدونی (شکل ۵-c)، کوارتز تیغه‌ای - شبکه‌ای

### سیاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است. نگارندگان بدین وسیله مراتب قدرانی خود را نسبت به همکاری‌های معاونت محترم اکتشاف جناب آقای مهندس عابدیان، مدیریت محترم خدمات اکتشاف جناب آقای مهندس شاهین و ریاست محترم گروه ژئوشیمی جناب آقای دکتر اکبرپور ابراز می‌دارند. از داوران محترم که این مقاله را با دقت فراوان مطالعه نموده و نکات بسیار ارزشمندی را یادآور شدند سپاسگزاری می‌نمایم.



شکل ۱- راه‌های دسترسی به منطقه و موقعیت محدوده‌های مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه شمال میرکوه‌علی میرزا و موقعیت کانی‌زایی

اپی‌ترمال سولفیدی شدن پایین در آن

در سیستم رگه‌ای میرکوه‌علی میرزا، با توجه به روند تغییرات شوری نسبت به دمای همگن شدن می‌توان فرایندهای جوشش و آمیختگی سیال را عوامل اصلی نهشت کانسنگ در نظر گرفت (شکل ۹-۹، a,b). فرایند جوشش با همراهی سیال‌های درگیر غنی از مایع و غنی از بخار در نمونه‌ها تأیید می‌شود (شکل‌های ۷-۷، a,b,c). شوری پایین سیال‌های درگیر در نمونه‌های کوارتز نیز می‌تواند حاکی از آمیخته شدن سیال‌های با منشأ جوی در فرایند کانی‌سازی رگه‌ای باشد. در مقایسه با تقسیم‌بندی ذخایر گرمایی بر اساس دمای همگن شدن و شوری (Wilkinson, 2001)، کانی‌زایی رگه‌ای میرکوه‌علی میرزا در محدوده ذخایر اپی‌ترمال قرار می‌گیرد (شکل ۹-۹، b).

ژرفای تشکیل رگه کوارتز نسبت به سطح ایستایی دیرینه به کمک منحنی‌های جوشش هیدروستاتیک (Haas, 1971) و نیز دمای همگن شدن سیال درگیر، مشخص گردید. بر این اساس رگه کانه دار کوارتز در ژرفای حدود ۱۲۰ تا ۳۲۰ متر زیر سطح ایستایی دیرینه تشکیل شده است (شکل ۱۰).

### ۶- بحث و نتیجه‌گیری

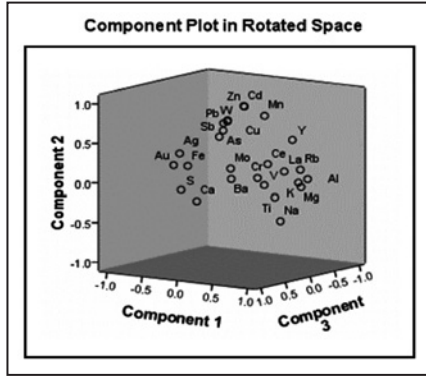
بر اساس تقسیم‌بندی (Hedenquist, 1987)، کانسارهای اپی‌ترمال فلزات قیمتی به دو گروه سولفیدی شدن بالا و سولفیدی شدن پایین تقسیم می‌شود. علاوه بر دو گروه، کانسارهای اپی‌ترمال با ویژگی‌های حدواسط نیز شناسایی شده است (Hedenquist et al., 2000). کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین به طور عمده شامل کانسارهای Au-Ag، Ag-Au و Ag-Pb-Zn هستند که در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد همراه با ماگماتیسم کلسیمی-قلیایی (کالک آلکان) تا قلیایی تشکیل می‌شود (Simmons et al., 2005). کانسارهای Au-Ag به طور عمده شوری پایین ( $< 5$ ) دارند و در ژرفای کمتر از ۴۰۰ متر تشکیل می‌شوند (Albinso et al., 2001) در حالی که سیال‌های کانه‌دار در ذخایر Ag-Pb-Zn شوری بین ۱۰ تا ۲۰ درصد دارند (Simmons et al., 2005).

در محدوده میرکوه‌علی میرزا، کانه‌زایی طلا همراه با رگه کوارتز - سریسیت - آدولاریا - کلسیت تشکیل شده است. داده‌های میانبراهای سیال از کوارتز نشان می‌دهند که کانی‌زایی در دمای ۱۸۳ تا ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد و شوری پایین ۰/۵ تا ۶/۵ درصد وزنی معادل NaCl تشکیل شده است. این دامنه حرارتی منطبق بر ژرفای ۱۲۰ تا ۳۲۰ متر زیر سطح ایستایی می‌باشد (مقایسه شود با Haas, 1971).

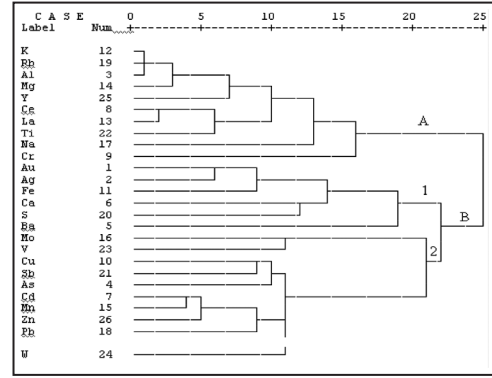
به طور کلی، در سیستم رگه‌ای میرکوه‌علی میرزا، مقدار دما و شوری و همچنین نسبت عناصر پایه به عنصر طلا در ترازهای فرسایشی پایین افزایش یافته است. این روند می‌تواند نشانگر وجود سیال گرمایی حاوی کمپلکس کلریدی سرب و روی در ژرفا باشد که به نهشت اسفالریت و گالن منجر شده است. در حالی که در افق‌های بالاتر، به علت چیرگی سیال جوی با شوری پایین، سیال گرمایی غنی از کمپلکس‌های بی‌سولفیدی طلا بوده، در چنین شرایطی ناپایداری این کمپلکس‌ها به کانی‌زایی پیریت و طلا منجر شده است. کانی‌شناسی رگه و دگرسانی گرمایی (سریسیت، آدولاریا، کوارتز، کلسیت)، نبود آلونیت و شوری پایین سیال، حاکی از تشکیل شدن از سیال کلریدی کمی قلیایی تا نزدیک به خنثی و حاوی  $H_2S$  و  $CO_2$  است (مقایسه شود با Henely, 1985; Simpson et al., 2001).

در منطقه میرکوه‌علی میرزا پدیده جوشش، فرایند چیره در تشکیل کانی‌زایی بوده و شواهدی از همزیستی فاز غنی از بخار و فاز غنی از مایع در سیالات درگیر دارد. وجود کلسدون، هم‌رشدی کوارتز و کلسیت، برش‌های گرمایی، آدولاریا، سیلیس تیغه‌ای و شبکه‌ای دروغین و پدیده شترینگ از شواهد دیگر پدیده جوشش در کانی‌زایی یاد شده هستند (مقایسه شود با Simmons and Christenson, 1994; Dong et al., 1995; Simmons et al., 2000; Taylor, 2007).

کانی‌زایی طلا در منطقه میرکوه‌علی میرزا با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، بافت و ساخت رگه، کانی‌شناسی کانسنگ، دگرسانی و پارائنز ژئوشیمیایی از نوع کانسارهای اپی‌ترمال سولفیدی شدن پایین است.



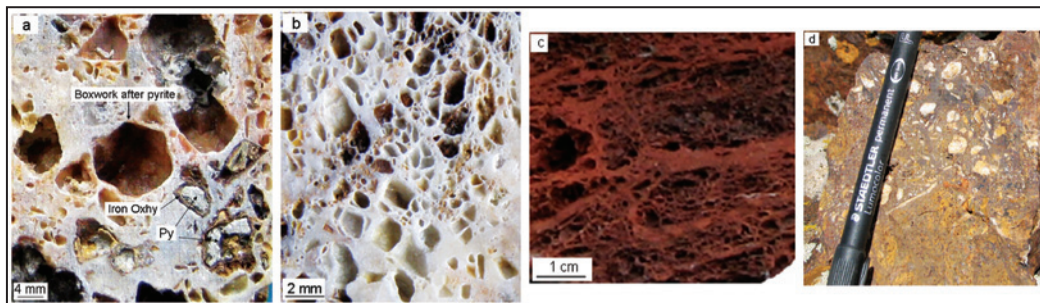
شکل ۴- روابط پارائزنی عناصر مختلف در رگه اپی‌ترمال میرکوه‌علی‌میرزا



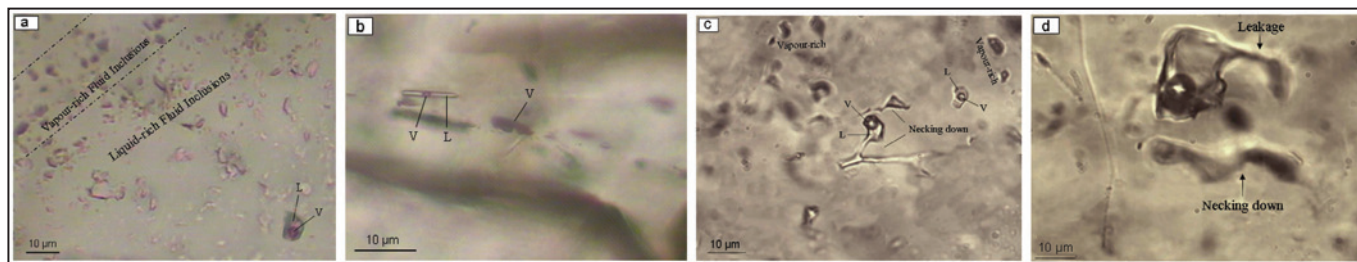
شکل ۳- نمودار خوشه‌ای برای ۳۰ نمونه لیتوژئوشیمیایی از رگه اپی‌ترمال میرکوه‌علی‌میرزا



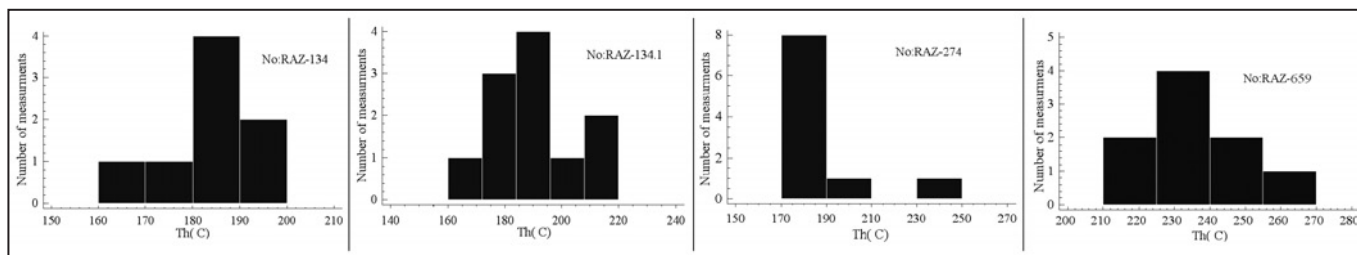
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های مختلف از رگه اپی‌ترمال میرکوه‌علی‌میرزا. (a) بلورهای شکل دار (رومبوندریک) آدولاریا در رگه مورد مطالعه. (b) کانی‌های کوارتز + سریسیت + کلسیت و شکستگی‌های ایجاد شده توسط پدیده شترینگ (Shattering). (c) بافت باند باندی در کلسدون. (d) بافت تیغه‌ای- شبکه‌ای. (e) بافت شبکه‌ای. (f) تصویر BSE از پیریت و جانشینی آن از حاشیه توسط جاروسیت و اکسی-هیدروکسید آهن تحت تأثیر فرایند سوپرژن. (g) نقره طبیعی در تصویر BSE. (h) کانی‌های گالن و اسفالریت و جانشینی گالن توسط سروزیت. (i) کانی اکسید منگنز، Adu=Adularia، Qtz=Quartz، Ser=Sericite، Cal=Calcite، Vug=Vuggy، Py=pyrite، Iron oxy=Iron oxyhydroxides.



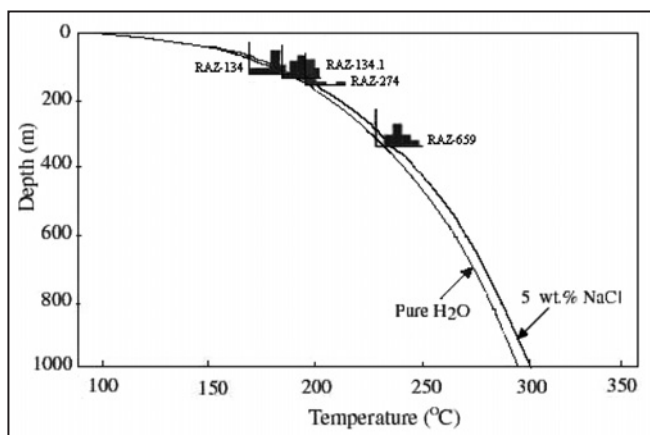
شکل ۶- تصاویر ماکروسکوپی نمونه‌های مختلف از رگه اپی‌ترمال میرکوه‌علی‌میرزا. (a) کوارتز با بافت شبکه‌ای با حفره‌های چند وجهی حاوی کانی پیریت (Py) و قالب کانی پیریت. در این شکل پیریت تحت فرایند سوپرژن از حاشیه در حال تبدیل شدن به اکسی-هیدروکسیدهای آهن (Iron oxyhydroxides) می‌باشد. (b) کوارتز با بافت شبکه‌ای با حفره‌های چند وجهی. (c) کوارتز با بافت تیغه‌ای- شبکه‌ای حاوی اکسید و هیدروکسیدهای آهن. (d) کوارتز با بافت برشی



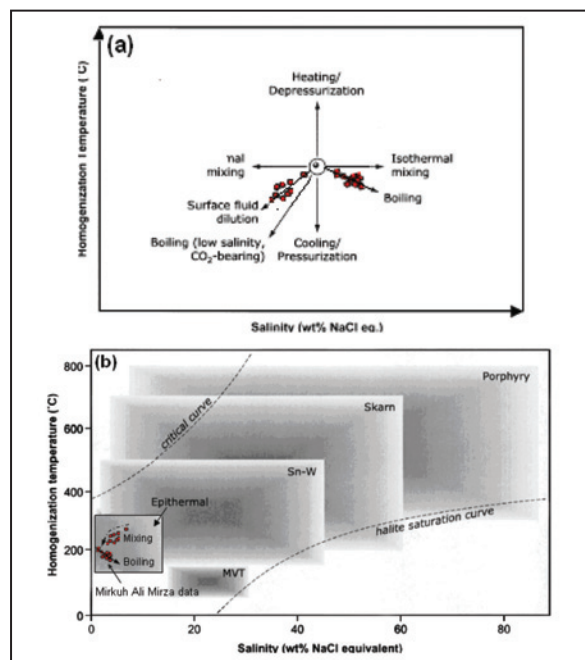
شکل ۷- (a) همزیستی فاز غنی از مایع و فاز غنی از بخار در میانبرهای کوارتز. (b) شکل میله‌ای میانبر از فاز مایع (L) و فاز بخار (V) در آن. (c) پدیده باریک شدن (Necking-down) و فازهای غنی از بخار. (d) پدیده‌های باریک شدن (Necking-down) و نشت (leakage)



شکل ۸- نمودارهای تغییرات دمای همگن شدن در نمونه‌های مختلف کوارتز



شکل ۱۰- هیستوگرام دمای همگن شدن (Th) سیال‌های درگیر نمونه‌های کوارتز به عنوان تابعی از ژرفای تشکیل بر اساس Haas(1971)



شکل ۹- نمودارهای میزان شوری - دمای همگن‌سازی (براساس Wilkinson, 2001) که در آن فرایندهای مختلف سیال (a) و محل قرارگیری سیالات مربوط به سیستم‌های مختلف کانی‌زایی (b) مشخص شده‌اند. در این نمودارها، نمونه‌های منطقه میرکوه علی میرزا در محدوده اپی ترمال قرار گرفته (b) و دو فرایند جوشش و آمیختگی سیال (a, b) عوامل نهشت کانسنگ هستند.

### کتابنگاری

اکبرپور، ا.، ۱۳۸۴- زمین‌شناسی اقتصادی منطقه کیمامکی با نگرش ویژه بر کانی‌سازی مس و طلا (مسجدداغی جلغا)، آذربایجان شرقی، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

امینی، ب.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی مشگین شهر در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

بنی‌آدم، ف.، ۱۳۸۱- مطالعه زمین‌شناسی و ژئز کانی سازی طلا- مس در منطقه نی جان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

پورنیک، پ.، ۱۳۸۱- زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشاف طلا در محدوده اکتشافی شرف‌آباد - هیزه‌جان (شمال باختر ورزقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قدیم‌زاده، ح.، ۱۳۸۱- زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشاف طلا در محدوده اکتشافی صفی خانلو- نقدوز (جنوب خاوری اهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

قدیرزاده، ا.، حیدری، ر.، حاج‌نوروزی، م.، خدابنده، ع.ا. و مهرپرتو، م.، ۱۳۷۹- طرح مطالعه اکتشافی مس- مولیبدن پورفیری و طلای اپی‌ترمال زون ارسباران (مرحله شناسایی)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

محمدی، ب. و مهرپرتو، م.، ۱۳۸۷- بررسی و معرفی اندیس‌های طلا و مس پورفیری در محدوده ارسباران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ نشده.

مختاری، م.ع. و یارمحمدی، ع.، ۱۳۸۶- گزارش پی‌جویی ذخیره پلی‌متال منطقه انیق- قره‌چیلر (شمال خاور خاراوانا)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مقصودی، ع.، ۱۳۸۹- اکتشافات ژئوشیمیایی - کانی‌سنگین در برکه‌های ۱:۲۵۰۰۰ رازلیق و گوتلارکندی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، در دست چاپ.

مقصودی، ع.، یزدی، م.، مهرپرتو، م.، وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۹۰- معرفی مس تپ پورفیری احتمالی و رگه‌های سیلیسی طلادار در منطقه میرکوه‌علی میرزا سراب با روش اکتشافات ژئوشیمیایی، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پاییز ۱۳۹۰، شماره ۸۱، ص. ۱۲۱ تا ۱۲۸.

## References

- Albinson, T., Norman, D. I. and Chomiak, B., 2001- Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constrain from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic geologist, Special Publication 8, p. 1-32.
- Amidi, M., Lescuyer, J.L., Riou, R., 1978- Geological Map of Ahar 1:250000 sheet. Geological Survey of Iran.
- Benning, L.G. and 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., Reynolds, T.J. and Kuehn, C.A., 1985- Fluid inclusion systematics in epithermal systems. *Rev. Economic Geology*. v. 2, p. 73-97.
- De Ronde, C.E.J. and Blattner, P., 1988- Hydrothermal alteration, stable isotopes, and fluid inclusions of the Golden Cross epithermal gold-silver deposit, Waihi, New Zealand: *Economic Geology*, v. 83, p. 895-917.
- Dong, G., Morrison, G.W. and Jaireth, S., 1995- Quartz textures in epithermal veins, Queensland-Classification, origin, and implication: *Economic Geology*, v. 90, p. 1841-1856.
- 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., 1987- Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-Pacific Basin: Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, Transactions, p. 513-524.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 245-277.
- Henley, R.W. and Ellis, A.J., 1983- Geothermal systems ancient and modern: A geochemical review: *Earth Science Reviews*, v. 19, p.1-50
- Henley, R.W., 1985-The geothermal framework of epithermal deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 1-24.
- Kodera, P., Iexa, J., Rankin, A.H. and Fallick, A.E., 2004- Fluid evolution in a subvolcanic granodiorite pluton related to Fe and Pb-Zn mineralization, Banská Štiavnica ore district, Slovakia: *Economic Geology*, v.99, p.1745-1770.
- Reed, M.H., Spycher, N.F., 1985- Boiling, cooling, and oxidation in epithermal systems: a numerical modeling approach. *Rev. Econ. Geol.*, v.2: pp. 249-272.
- Shamian, G.H., Hedenquist, J.W., Hattori, K.H. and Hassanzadeh, J., 2004- The Gandy and Abolhassani Epithermal Prospects in the Alborz Magmatic Arc, Semnan Province, Northern Iran: *Economic Geology*, v. 99, p. 691 - 712.
- Simmons, S.F. and Christensen, B. W., 1994- Origins of calcite in a boiling geothermal system: *American Journal of Science*, v.294, p.361-400.
- Simmons, S.F., Gemmill, B. and 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.
- Simmons, S. F., Simpson, M. P. and Mauk, J., 2000- The mineral products of boiling in the Golden Cross epithermal deposit: 2000 New Zealand Minerals and Mining Conference Proceedings, 209-216.
- Simmons, S. F., White, N. C., John, D. A., 2005- Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 485-522.
- Simpson, M. P., Mauk, J. and Simmons, S. F., 2001- Hydrothermal alteration and paleohydrology of the Golden Cross epithermal deposit, Waihi, New Zealand: *Economic Geology*, v. 96, p. 773-796.
- Seward, T.M. and Barnes, H.L., 1997- Metal transport by hydrothermal ore fluids, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3<sup>rd</sup> ed.: New York, John Wiley and Sons, p. 435-486.
- Taylor, B.E., 2007- Epithermal gold deposits, *In Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Edited by W.D. Goodfellow. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, p. 113-139.
- Thompson, M. & Howarth, R.J., 1978- A new approach to the estimation of analytical precision: *Journal of Geochemical exploration*, v.9, p. 23-30.
- Wilkinson, J.J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Litos*, v.55, p.229-272.

# Geochemistry and Fluid Inclusions Studies of Low-Sulfidation Epithermal Gold Mineralization in the Mirkuh Ali Mirza Area, Sarab, NW Iran

A. Maghsoudi <sup>1\*</sup>, M. Yazdi <sup>2</sup>, M. Mehrpartou <sup>3</sup> & M. Vosooghi Abedini <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Dept. of Mining and Metallurgy Engineering, Amirkabir University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Earth Science, Shahid Behshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Research Institute of the Earth Sciences, Geological Survey of Iran (GSI), Tehran, Iran

Received: 2010 September 18

Accepted: 2011 January 19

## Abstract

The Mirkuh Ali Mirza gold mineralization is located in north Sarab in the Western Alborz–Azerbaijan structural zone. Mineralization was formed in the form of a vein occurring in Neogene dacitic and rhyodacitic tuff along a series of NW–SE trending fault; Mineralization associated with quartz-sericite-adularia-calcite and pyrite (<1%) assemblages is a typical of low-sulfidation epithermal gold mineralization. The fluid inclusion data from quartz minerals indicate homogenization temperature of 161-260°C and salinities of 0.5 to 6.5 wt% NaCl equiv. The variation in gold grade in quartz vein is 270-3240 ppb. The highest gold content is in lattice and breccias quartz that can indicate direct relationship between boiling to gold deposition. The idea is supported by coexistence of vapor-dominant and liquid-dominant fluid inclusions.

**Keywords:** Epithermal gold, Low-Sulfidation, Mirkuh Ali Mirza, Sarab

For Persian Version see pages 9 to 14

\* Corresponding author: A.Maghsoudi; E-mail: a.maghsoudi@aut.ac.ir