

کانه‌زایی اپی‌ترمال فلزات پایه - نقره در کانسار گمیش تپه، جنوب باختر زنجان

طوبی صالحی^۱، مجید قادری^۲ و نعمت‌اله رشیدنژاد عمران^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۱

چکیده

کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش تپه در شمال باختری کمربند آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر و در ۹۰ کیلومتری جنوب باختر زنجان قرار دارد. رخنمون‌های سنگی منطقه معدنی شامل توالی‌های آتشفشانی-رسوبی و رسوبی الیگومیوسن، گنبد نیمه‌ژرف داسیتی و آتشفشانی‌های ریوداسیتی پلیوسن و دایک‌هایی با ترکیب آندزیت پورفیری است. کانه‌زایی اصلی در کانسار گمیش تپه در امتداد گسل و شکستگی‌های عادی با روند شمال خاوری-جنوب باختری رخ داده که به سه مرحله برش‌های گرمایی، رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی و سیلیسی-سولفیدی-کربناتی و رگه-رگچه‌های تأخیری نواری غنی از سیلیس و اسپیکولاریت قابل تقسیم است. سنگ‌های میزبان کانه‌زایی شامل کریستالیتیک توف داسیتی، گنبد نیمه‌ژرف داسیتی و به‌ویژه توف اسیدی است. پاراژنز کانی‌شناسی در این کانسار از پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، سفالاریت فقیر از آهن، تتراهداریت، تنانیت و اسپیکولاریت تشکیل شده است. دگرسانی‌های مهم در منطقه معدنی شامل دگرسانی‌های سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی، سرب، مس، کربناتی، آرژیلی و پروپیلیتی است. با توجه به الگوی توزیع و پراکندگی عناصر در نمونه‌های مواد معدنی، در میان فلزات پایه، بالاترین تمرکز عناصر مربوط به روی، سرب، مس و نقره است. میانگین عیار عناصر در رگه‌های کانه‌دار، ۶ درصد روی، ۴ درصد سرب، ۲ درصد مس، ۸۸ ppm نقره و ۴۴ ppb طلاست. بر پایه مطالعات ریزدماسنجی میانبراه‌های سیال بلورهای کوارتز مربوط به مرحله اول و دوم کانه‌زایی، دمای همگن‌شدگی ۲۶۰ تا ۳۶۷ درجه سانتی‌گراد، درجه شوری ۹/۱ تا ۱۶/۹ درصد معادل وزنی نمک طعام و ژرفای تقریبی کانه‌زایی ۹۵۶ متر در زیر سطح ایستایی دیرین، به‌دست آمده است. با توجه به درجه شوری میانبراه‌های سیال کانسار گمیش تپه و میزان بالای فلزات پایه، به نظر می‌رسد کمپلکس اصلی حمل‌کننده فلزات پایه و نقره، کمپلکس‌های کلریدی هستند. شواهد میانبراه‌های سیال، برش‌های گرمایی، بافت‌های نواری-قشرگون-کلوفرمی و سیلیس‌های بی‌شکل نشان می‌دهند که پدیده جوشش، عامل اصلی در ناپایداری این کمپلکس‌ها و ته‌نشینی کانه‌ها بوده است.

کلیدواژه‌ها: کانسار اپی‌ترمال روی-سرب-مس (نقره)، توده نیمه‌ژرف داسیتی، الیگومیوسن، گمیش تپه، زنجان.

*نویسنده مسئول: مجید قادری

E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

بیشتر کانسارهای اپی‌ترمال غنی از فلزات پایه-نقره شناخته شده در جهان، در ارتباط با کمربندهای آتشفشانی-نفوذی تشریری هستند که محیط‌های مناسبی برای تشکیل این کانسارهاست (Albinson et al., 2001; Sillitoe & Hedenquist, 2003). در ایران نیز، آخرین فاز کانی‌سازی سرب و روی، همراه با سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن-الیگومیوسن صورت گرفته است که عموماً رگه‌ای و اپی‌ترمال هستند. این گونه ذخایر اپی‌ترمال غنی از فلزات پایه-نقره در کمربندهای آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر و ترو-چاه‌شیرین، البرز-آذربایجان و خاور ایران شناخته شده‌اند و افزون بر این، روی و سرب، عناصر مس، نقره و طلا (به مقدار بسیار کم) از همراهان کانه‌زایی هستند (قربانی، ۱۳۸۱). مطالعه و بررسی این کانسارها در ایران تاکنون در مناطق معدنی بسیاری از کانسارهای ابوالحسینی (شمعانیان، ۱۳۸۲)، چشمه حافظ (Mehrabi & Ghasemi-Siani, 2012) در کمربند آتشفشانی-نفوذی ترو-چاه‌شیرین و آی‌قلعه‌سی (شیرخانی، ۱۳۸۵) در پهنه ارومیه-دختر انجام شده است. کانسار گمیش تپه با مختصات جغرافیایی ۳۱° ۰۰' ۴۸" طول خاوری و ۳۵° ۵۴' ۳۰" عرض شمالی، در ۹۰ کیلومتری جنوب باختر زنجان قرار گرفته است (شکل ۱) و از نظر زمین‌شناسی ساختمانی و چینه‌ای، در شمال باختری مجموعه کمربند آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر قرار می‌گیرد. بنابراین بر پایه مطالعات انجام شده (صالحی، ۱۳۸۷)، کانسار یاد شده نیز به عنوان نمونه‌ای از کانسارهای اپی‌ترمال غنی از فلزات پایه-نقره معرفی می‌شود که بررسی کانه‌زایی و چگونگی تشکیل این کانسار، می‌تواند به‌عنوان الگویی برای اکتشاف رخدادهای مشابه در پهنه ارومیه-دختر و دیگر کمربندهای آتشفشانی-نفوذی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

۲- زمین‌شناسی

توالی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در حاشیه باختری برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزبان (مجیدی‌فرد و شافعی، ۱۳۸۵) قرار دارد. گستره برگه مرزبان در پهنه ساختاری ارومیه-دختر جای دارد، به گونه‌ای که این پهنه حدود ۱۳۰۰ کیلومتر طول و ۱۵۰ کیلومتر عرض دارد و به‌طور چیره از مجموعه‌های آتشفشانی-نفوذی تشکیل شده است. سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری، با ترکیب بازیک تا اسیدی، از کرتاسه بالایی تا عهد حاضر، حجم گسترده‌ای از رخنمون‌های این پهنه را تشکیل می‌دهند، که در فاز پس از ائوسن (الیگومیوسن) مورد هجوم توده‌های نفوذی بیشتر گرانیتیویدی قرار گرفته‌اند (Arvin et al., 2004).

با توجه به نقشه زمین‌شناسی-معدنی ۱:۵۰۰۰، تهیه شده از منطقه گمیش تپه (صالحی، ۱۳۸۷) (شکل ۱)، اصلی‌ترین و دیرین‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه با امتداد شمال خاوری-جنوب باختری، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و رسوبی الیگومیوسن هستند. توالی سنگ‌شناسی واحدهای آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن از قدیم به جدید شامل واحدهای ماسه‌سنگی-میکروکنگلومرا با میان‌لایه‌هایی از کریستالیتیک توف با ترکیب داسیت تا ریوداسیت (OM_4^{sm})، توف‌های ریولیتی سبز تا خاکستری رنگ با میان‌لایه‌هایی از ویتریک توف و توف سیلتستونی (OM_4^{st})، آندزیت‌بازالت تیره (OM_4^{th})، توف ریوداسیتی (OM_4^{rs})، ویتریک توف با میان‌لایه‌هایی از توفیت کربناتی و مارن سبز رنگ (OM_4^{rg}) و گدازه داسیتی تا آندزیتی (OM_4^{dt}) است. در بخش‌های بالایی این واحدها، ویژگی‌های آذرآواری به تدریج کاهش می‌یابد و به سوی رسوبی میل می‌کند. این واحدهای رسوبی شامل OM_4^{lt} (آهک متوسط-ستبرلایه تا توده‌ای خاکستری رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف خاکستری-سبز و شیل‌های تیره رنگ

(Irvine & Baragar, 1971)، که برای جدایش سنگ‌های آلکان از ساب آلکان به کار می‌رود، نمونه‌های توده داسیتی در محدوده ساب آلکان جانمایی شده‌اند (شکل ۳-الف). مجموعه سنگ‌های آذرین منطقه و توده نیمه‌ژرف، از دید ژئوشیمی سنگ (جدول ۱) بر پایه نمودار AFM، که برای تقسیم‌بندی سنگ‌های ساب آلکان به دو سری توله‌ایتی و کالک آلکان به کار می‌رود (Irvine & Baragar, 1971)، در محدوده کالک آلکان قرار می‌گیرند (شکل‌های ۳-ب و ج).

از آنجا که محیط‌های کشتی پشت کمان‌های آتشفشانی مرتبط با فورانش، محیط‌های مناسبی برای تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال به شمار می‌آیند (Camprubi & Albinson, 2007)، بر پایه شیمی عناصر کمیاب (جدول ۱) و نمودار Batchelor & Bowden (1985)، توده نفوذی منطقه معدنی در موقعیت پیش از برخورد صفحات و همزمان با کوهزایی قرار می‌گیرد (شکل ۳-د). همچنین بر پایه نمودار Pearce et al. (1984) توده نفوذی در گستره کمان‌های آتشفشانی مرتبط با فورانش و همزمان با برخورد قرار می‌گیرد (شکل ۳-ه) که با مطالعات انجام شده در کمر بند ارومیه- دختر همخوانی دارد.

توده نیمه‌ژرف داسیتی در سطح رخنمون دارای رنگ خاکستری مایل به سبز و در نمونه دستی، خاکستری تیره تا سبز روشن است (شکل‌های ۲-الف، ج و ه). ترکیب کانی‌شناختی آن شامل درشت‌بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز (با ترکیب چیره سدیک (آلیت- الیگو کلاز) با ساخت منطقه‌ای و ماکل پلی‌سنتیک)، آمفیبول، بیوتیت و کوارتز در زمینه‌ای از کوارتز و فلدسپار (نهان تا ریزبلورین) و دارای بافت پورفیری تا گلو مرو پورفیری است. کانی‌های فرعی شامل زیرکن، اسفن (به صورت پراکنده) آپاتیت (سوزنی شکل به صورت ادخال در پلاژیوکلازها) است. کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت، سریسیت، اکسیدهای آهن، لو کوکسن و کانی‌های رسی هستند که حاصل دگرسانی کانی‌هایی همچون پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت هستند (شکل ۲-و). همچنین، کانه پیریت به صورت دانه پراکنده و رگه- رگچه‌ای در توده داسیتی دیده شده است. توف ریولیتی با رنگ سبز روشن تا خاکستری در رخنمون در اثر تماس با توده نیمه‌ژرف داسیتی به شدت دگرسان شده و به رنگ سفید تا زرد روشن تغییر کرده‌اند (شکل ۲-ب). این سنگ با بافت کلاستی و گلو مرو پورفیریک دارای درشت‌بلورهایی از کوارتزهای خلیجی، پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتیک و آلیتی و به مقدار بسیار کم فلدسپار پتاسیک با ماکل کارلسباد است. زمینه سنگ نیز مرکب از شیشه، کوارتزهای ریزبلور و پلاژیوکلاز است. رگه- رگچه‌های سیلیسی با کوارتزهای ریز تا درشت‌بلور، این سنگ را قطع کرده‌اند.

۵- زمین ساخت منطقه معدنی

بر پایه مطالعات صحرایی و شواهد زمین‌شناختی و ساختاری (صالحی، ۱۳۸۷) در منطقه مورد مطالعه، دو نوع گسل یکی با روند شمال خاوری- جنوب باختری به همراه مؤلفه‌های کوچک‌تری از آن با سازوکار شیب‌لغز عادی و دیگری گسل‌هایی با روند شمال باختری- جنوب خاوری با سازوکار حرکتی امتدادلغز دیده می‌شود (شکل‌های ۱ و ۴-الف). فعالیت گسل شیب‌لغز عادی در محدوده منطقه معدنی، سبب ایجاد درزه و شکستگی‌های فراوانی با روندهای مختلف شده است (شکل ۴-ب). مطالعات صورت گرفته بیانگر آن است که کانه‌زایی در کانسار گمیش‌تپه، در امتداد درزه و شکستگی‌های عادی کشتی با دو روند شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری، مرتبط با حرکت این گسل، رخ داده است (شکل ۱). این در حالی است که گسل‌های امتدادلغز، هیچ ارتباطی با کانه‌زایی نشان نمی‌دهند، به گونه‌ای که این نوع گسل‌ها همه منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند و فعالیت آنها در منطقه معدنی، سبب خردشدگی و جابه‌جایی واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی و رگه‌های کانه‌دار شده است.

معادل سازند قم) و OM_۱ (آهک متوسط لایه تا توده‌ای کرم رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف‌های ماری) هستند که به صورت میان‌انگشتی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. افزون بر این، در بخش‌های شمال، شمال خاوری و باختر منطقه معدنی، توده‌های نیمه‌ژرف داسیتی پیلوسن نیز رخنمون دارند که در واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن نفوذ کرده‌اند (شکل ۲-الف). همچنین، در بخش خاوری منطقه، دایک‌های آندزیتی با روند شمال خاوری- جنوب باختری و با رنگ سبز تیره برونزد دارند که واحد آندزیت بازالتی را قطع کرده‌اند.

۳- روش مطالعه

بررسی‌های صحرایی این کار پژوهشی با تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ (شناسایی و تفکیک دقیق واحدهای سنگی و تعیین چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر)، مطالعه ابعاد و گسترش پهنه کانی‌سازی، گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه معدنی و تعیین ارتباط آنها با کانه‌زایی، برداشت لیتوژئوشیمیایی بیش از ۲۰۰ نمونه از سنگ‌شناسی‌های مختلف، بخش‌های کانه‌دار موجود در تونل‌ها، ترانسه‌ها و همچنین پهنه‌های دگرسانی انجام شد. مطالعات آزمایشگاهی با تهیه ۳۳ عدد مقطع نازک (در آزمایشگاه تهیه مقطع بخش زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس)، ۳۵ مقطع نازک- صیقلی و ۵ مقطع صیقلی (در آزمایشگاه بخش مهندسی مواد دانشکده فنی- مهندسی دانشگاه تربیت مدرس) انجام شد. همچنین به منظور تشخیص کانی‌های ناشناخته در بخش‌های کانه‌دار و به‌ویژه در پهنه‌های دگرسانی، ۲۹ نمونه به روش پراش پرتو X در آزمایشگاه XRD بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس تجزیه شد. به منظور شناخت ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی سنگ‌های منطقه (به‌ویژه واحدهای میزبان کانه‌زایی) و ارتباط کانی‌سازی با سنگ‌های آذرین منطقه، ۱۵ نمونه (از بخش‌های تقریباً سالم و کمتر دگرسان شده واحدهای سنگی منطقه) به روش XRF در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شد. بررسی توزیع و فراوانی عناصر کانه‌ساز روی ۱۰ نمونه از بخش‌های کانه‌دار، با استفاده از روش ICP-AES (در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) انجام شد. برای تعیین عناصر خاکی کمیاب و کمیاب از نتایج تجزیه ۳۸ عنصری ICP-MS روی ۱۱ نمونه (به روش ذوب لیتیم متابورات در آزمایشگاه ALS-Chemex ونکوور کانادا) استفاده شد. همچنین به منظور سنجش عنصر طلا، ۸ نمونه از رگه‌های کانه‌دار در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به روش جذب اتمی (AAS) تجزیه شد. نتایج این تجزیه‌ها در جدول‌های ۱، ۳ و ۴ آورده شده است. به منظور تعیین ماهیت سیال کانه‌دار، بررسی و مطالعات ریزدماسنجی میانبراهای سیال روی ۴ مقطع دوبرصیقل از بخش‌های کانه‌دار، توسط دستگاه لینکام (Linkam)، مدل HFS با کنترل‌کننده گرمایی TMS92 در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است.

۴- سنگ‌نگاری

مطالعات سنگ‌نگاری (بر پایه مشاهدات صحرایی، بررسی نمونه‌های دستی و مطالعه ۳۳ عدد مقطع میکروسکوپی) روی واحدهای سنگی منطقه و میزبان کانه‌زایی انجام گرفت. توف ریولیتی، کریستالینیک توف داسیتی و توده نیمه‌ژرف داسیتی، سنگ‌های میزبان ماده معدنی و توف سیلتی، کم‌رایین ماده معدنی را در کانسار گمیش‌تپه تشکیل می‌دهند (شکل ۲-الف). همچنین بر پایه مطالعات ژئوشیمیایی (نتایج تجزیه XRF) و با توجه به رده‌بندی (LeBas, 1986)، ترکیب شیمیایی سنگ‌های منطقه معدنی بیشتر در محدوده داسیت- ریوداسیت، آندزیت و به مقدار کمتر آندزیت بازالت جانمایی می‌شود که با مطالعات سنگ‌نگاری همخوانی دارد (صالحی، ۱۳۸۷) (جدول ۱). بر پایه نمودار سیلیس در برابر آلکالی

۶- دگرسانی

دگرسانی در کانسار گمیش تپه به طور طبیعی، از محدوده تأثیر و تزریق توده نیمه ژرف داسیتی در واحدهای آتشفشانی- رسوبی منطقه پیروی می کند، به گونه ای که دگرسانی گرمابی در نزدیکی رگه ها شدید است که گاه از چند سانتی متر آغاز شده و حتی در مواردی هاله های سبتر در دو سوی یک رگه معدنی می سازند، ولی در سراسر منطقه به صورت متغیر دیده می شود (شکل های ۲-ب و د). بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده و نتایج تجزیه XRD نمونه های برداشت شده از بخش های دگرسان شده (صالحی، ۱۳۸۷)، دگرسانی های سریستی، آرژیلی و پروپیلیتی گسترش بیشتری در سنگ های منطقه دارند؛ در صورتی که بیشترین گسترش دگرسانی های سیلیسی، سولفیدی و کربناتی در ارتباط با بخش های کانه دار است. دگرسانی سیلیسی- سولفیدی با رگه های سیلیسی کانه دار همراه است؛ به گونه ای که پیریت، کوارتز و اکسید و هیدروکسیدهای آهن، محصول این دگرسانی هستند. این نوع دگرسانی در توف های ریولیتی و توده نیمه ژرف داسیتی نیز دیده می شود (شکل های ۲-ب تا و ۶-الف). دگرسانی سیلیسی به صورت تشکیل رگه- رگچه های سیلیسی و سیلیسی شدن بخش هایی از سنگ های دیواره (میزبان کانه زایی) نمود دارد که بر پهنه گسلی با روند شمال خاوری- جنوب باختری منطبق است (شکل های ۷-الف و ۸-الف). دگرسانی سریستی، گسترش قابل توجهی هم در بخش های کانه دار و هم در سنگ های میزبان کانه زایی، به ویژه در توده داسیتی نشان می دهد (شکل های ۲-و و ۷-ج). بیشترین گسترش کربناتی شدن مربوط به حضور کلسیت به همراه سیدریت، کوارتز و کانی های سولفیدی در پهنه های کانه زایی است؛ به گونه ای که در برخی از رگه ها، با ستبایی در حدود ۵۰ سانتی متر پیرامون دگرسانی سیلیسی را می پوشاند (شکل ۸-ج).

۸- ژئوشیمی واحدهای سنگی میزبان و رگه های کانه دار

به منظور بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب، با توجه به دگرسانی متغیر سنگ های آذرین منطقه، سعی شد از نتایج تجزیه های XRF و ICP-MS، ۵ تا ۶ نمونه مربوط به یک سنگ (۲ تا ۳ از بخش های نزدیک کانه زایی و ۳ نمونه دیگر از سنگ سالم و کمتر دگرسان شده دور از کانه زایی) و نمونه هایی از کانسنگ های سولفیدی استفاده شود (جدول های ۱ و ۴).

در توده نیمه ژرف داسیتی، نمونه های GT-3، GT21 و GT254 مربوط به بخش های غیر دگرسان و دور از کانه زایی و نمونه های GT71 و GT231 در ارتباط با کانه زایی و دارای دگرسانی های آرژیلی و سریستی است. نمونه های دور از کانه زایی نسبت به نمونه های دگرسان، از عناصر Sr، Zn، Cu و Ba نسبت به کلارک این عناصر در این نوع سنگ ها، به ترتیب افزایشی در حدود ۲، ۲۰۳/۵ و ۷ برابر نشان می دهد که نشانگر غنی بودن توده داسیتی در این منطقه از عناصر یاد شده، به ویژه روی و مس است. همچنین، عنصر Nb به مقدار زیاد و عناصر V و U به گونه ای محسوس تهی شدگی نشان می دهند.

همچنین، به منظور بررسی توزیع عناصر کمیاب، نمونه های GT168 و GT98-1 (دور از محدوده کانه زایی) و نمونه های GT4-1، GT81-4 و GT84-9 (در ارتباط با کانه زایی) همراه با دگرسانی سیلیسی یا سنگ دیواره رگه های کانه دار) از توف ریولیتی و دو نمونه از توف سیلتی (GT94 و GT232) انتخاب شد. در بررسی عناصر کمیاب، نمونه های سالم توف ریولیتی نسبت به سنگ میزبان کانه زایی و کمربین ماده معدنی، دیده می شود که مقادیر عناصر فلزی Cu، Pb و Zn نسبت به کلارک این عناصر در این نوع سنگ ها، مقادیر قابل توجهی را نشان می دهد. بنابراین مشخص می شود که این عناصر، از نمونه های در ارتباط با کانه زایی و کمربین ماده معدنی تهی شده و درون رگه ها تمرکز یافته اند. همچنین این نمونه ها از عناصر V، Tb، Y و Ce به مقدار بسیار کم غنی و از عناصر Sr، Nb و Cs به گونه ای محسوس تهی شده اند. مقایسه رفتار عناصر کمیاب خاکی در همه نمونه های توده نیمه ژرف داسیتی و توف ریولیتی، روندی کاملاً یکسان ولی نسبت های متفاوت را نشان می دهد

دگرسانی در کانسار گمیش تپه به طور طبیعی، از محدوده تأثیر و تزریق توده نیمه ژرف داسیتی در واحدهای آتشفشانی- رسوبی منطقه پیروی می کند، به گونه ای که دگرسانی گرمابی در نزدیکی رگه ها شدید است که گاه از چند سانتی متر آغاز شده و حتی در مواردی هاله های سبتر در دو سوی یک رگه معدنی می سازند، ولی در سراسر منطقه به صورت متغیر دیده می شود (شکل های ۲-ب و د). بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده و نتایج تجزیه XRD نمونه های برداشت شده از بخش های دگرسان شده (صالحی، ۱۳۸۷)، دگرسانی های سریستی، آرژیلی و پروپیلیتی گسترش بیشتری در سنگ های منطقه دارند؛ در صورتی که بیشترین گسترش دگرسانی های سیلیسی، سولفیدی و کربناتی در ارتباط با بخش های کانه دار است. دگرسانی سیلیسی- سولفیدی با رگه های سیلیسی کانه دار همراه است؛ به گونه ای که پیریت، کوارتز و اکسید و هیدروکسیدهای آهن، محصول این دگرسانی هستند. این نوع دگرسانی در توف های ریولیتی و توده نیمه ژرف داسیتی نیز دیده می شود (شکل های ۲-ب تا و ۶-الف). دگرسانی سیلیسی به صورت تشکیل رگه- رگچه های سیلیسی و سیلیسی شدن بخش هایی از سنگ های دیواره (میزبان کانه زایی) نمود دارد که بر پهنه گسلی با روند شمال خاوری- جنوب باختری منطبق است (شکل های ۷-الف و ۸-الف). دگرسانی سریستی، گسترش قابل توجهی هم در بخش های کانه دار و هم در سنگ های میزبان کانه زایی، به ویژه در توده داسیتی نشان می دهد (شکل های ۲-و و ۷-ج). بیشترین گسترش کربناتی شدن مربوط به حضور کلسیت به همراه سیدریت، کوارتز و کانی های سولفیدی در پهنه های کانه زایی است؛ به گونه ای که در برخی از رگه ها، با ستبایی در حدود ۵۰ سانتی متر پیرامون دگرسانی سیلیسی را می پوشاند (شکل ۸-ج).

۷- کانه زایی و کانی شناسی رگه ها

کانه زایی روی، سرب، مس (نقره) گمیش تپه شامل رگه- رگچه های سیلیسی با دو روند شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری است (جدول ۳). کانه زایی در رگه- رگچه های سیلیسی با روند شمال باختری- جنوب خاوری به صورت چند رگه- رگچه سیلیسی- سولفیدی با ستبایی ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر و طول ۵۰ سانتی متر با سنگ میزبان توده نیمه ژرف داسیتی دیده می شود که در امتداد درزه و شکستگی هایی با همین روند، تشکیل شده اند (شکل های ۲-ج و د) و مطالعات انجام شده (صالحی، ۱۳۸۷) نشان می دهد که رگه- رگچه های یاد شده، ارزش اقتصادی ندارند؛ به گونه ای که در راستای این رگه- رگچه ها، فعالیت معدنی چندانی صورت نگرفته است. با مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک- صیقلی و صیقلی، کانی های تشکیل دهنده رگه- رگچه های سیلیسی کانه دار یاد شده نیز مشخص شد (شکل های ۵-الف و ب) (جدول ۳). نتایج بررسی های صحرایی، آزمایشگاهی و نتایج تجزیه های XRD، نشان از همانندی دگرسانی های همراه این نوع کانه زایی (شکل های ۵-الف و ب و جدول ۳) با دگرسانی های مطالعه شده در توده داسیتی دارد (شکل های ۲-د و و). کانه زایی اصلی با ارزش اقتصادی، در رگه های سیلیسی با روند شمال خاوری- جنوب باختری، در حاشیه توده نیمه ژرف داسیتی و در امتداد درزه و شکستگی های عادی با روند N20-30E/70NW با میزبان توف های ریولیتی تشکیل شده اند (شکل ۲-ب و جدول ۳). طول و ستبایی رگه های یاد شده، به ترتیب حدود ۵۰ تا ۵۰۰ و ۱ تا ۳ متر است و همه فعالیت های معدنی در راستای رگه های یاد شده انجام یافته است (شکل ۲-الف). همه مطالعات انجام شده نشان می دهد که کانه زایی در رگه های یاد شده، طی سه مرحله از فعالیت های گرمابی رخ داده است. ویژگی های این مراحل در جدول های ۲ و ۳ آورده شده است. سه مرحله کانه زایی به خوبی روی زمین و گاه نمونه دستی قابل تفکیک هستند (شکل های ۶ تا ۸).

۹- داده‌های میانبرهای سیال

به‌منظور تعیین ماهیت سیال کانه‌ساز در کانسار گمیش‌تپه، مطالعه میانبرهای سیال با نمونه‌برداری از باطله کوارتز همزیست با فازهای سولفیدی (دو نوع از رگه- رگچه‌های سولفیدی و برش‌های گرمایی) و با تهیه ۴ مقطع دوبرصقل انجام شد. در مطالعات سنگ‌نگاری، میانبرهای سیال اولیه، ثانویه و شبه ثانویه در بلورهای کوارتز دیده شد. بیشتر میانبرهای سیال اولیه به‌صورت دوفازی و متشکل از فاز مایع و گاز (L+V)، بدون فاز جامد و دارای حجم متغیری در نسبت L/V هستند که در بیشتر آنها فاز مایع ۶۰ تا ۷۵ درصد و فاز بخار ۱۵ تا ۴۰ درصد حجم کل سیال را تشکیل داده‌اند؛ البته نوع غنی از فاز بخار (v-rich) با نسبت ۴۰ تا ۷۵ درصد حجمی و غنی از فاز مایع (L=۱۰۰ درصد) نیز در کنار هم دیده می‌شوند (شکل‌های ۱۲- الف و ب). همچنین، در مطالعات سنگ‌نگاری صورت گرفته روی میانبرهای سیال کانسار گمیش‌تپه، پدیده گردن‌شدگی (necking down) دیده نشد. در برش‌های گرمایی، به علت ریز بودن میانبرهای سیال بلورهای کوارتز، مطالعه دمای همگن‌شدگی (Th-total) میانبرهای سیال تنها روی بلورهای کوارتز آنها صورت گرفت. مطالعات ریزدماسنجی دقیق‌تر روی میانبرهای سیال بلورهای کوارتز مربوط به مرحله دوم کانه‌زایی انجام شد. مطالعات یاد شده روی میانبرهای سیال اولیه دوفازی با شکل‌های کروی، میله‌ای، خاری‌شکل، بیضوی‌شکل و نامنظم و با اندازه میان ۴ تا ۱۱ میکرون انجام شد. میانگین دمای همگن‌شدگی (Th-total) در مجموعه میانبرهای سیال اولیه، از ۲۶۰ تا ۳۶۷ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند و نمودار فراوانی آنها، بیشترین فراوانی را میان ۲۸۰ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۶۰ تا ۲۸۰ درجه‌سانتی‌گراد نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۳- الف و ب). محدوده دمای ذوب آخرین قطعه یخ (Tm₂-Ice) حدود ۶- تا ۱۳/۱- سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. بر پایه دمای ذوب یخ و با استفاده از معادله Bodnar (2003) درجه شوری میانبرهای سیال از ۹/۲۱ تا ۱۶/۹ درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد که رابطه درجه شوری در برابر دمای همگن‌شدگی (Th-total) میانبرهای سیال، روندی خطی نشان می‌دهد (شکل ۱۴- الف). همچنین برای به دست آوردن ژرفای تقریبی کانه‌زایی در زیر سطح ایستایی دیرین، از انطباق دمای همگن‌شدگی و میزان شوری میانبرهای سیال (درصد وزنی معادل نمک طعام) با منحنی جوشش نسبت به ژرفا (Hass, 1971) استفاده شد که این ژرفا، کمترین ژرفای تشکیل (ژرفای هیدروستاتیک) در زیر سطح ایستایی است. بنابراین، بر پایه میانگین دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال (۳۱۰ درجه سانتی‌گراد) و درجه شوری برابر با ۱۵ درصد وزنی معادل نمک طعام، کمترین ژرفای کانه‌زایی در کانسار گمیش‌تپه، حدود ۹۵۶ متر زیر سطح ایستایی دیرین به دست آمد. بر پایه جدول‌های مربوط به سامانه‌های H₂O-NaCl (Hass, 1971) و رابطه P = H.p.g (P = فشار به دام افتادگی سیال برحسب بار، H = کمینه ژرفای کانه‌زایی، g = شتاب گرانش (۹۸۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، P = چگالی سیال در شرایط هیدروستاتیک)، فشار بخار آب (فشار هیدروستاتیک) یا کمینه فشار به دام افتادن سیال) در کانسار گمیش‌تپه، ۸۹ بار به دست آمد (شکل ۱۴- ب).

۱۰- ترکیب سیال کانه‌دار و سازوکار تشکیل کانسار

Simmons & Browne (2000)، Albinson et al. (2001) و Craw et al. (2013) منشأ شوری در کانسارهای با میزان فلزات پایه بالا را در ارتباط با سیال‌های ماگمایی ژرف می‌دانند و بیان می‌کنند که شوری بالا در این کانسارها نمی‌تواند در ارتباط با شورابه‌های پوسته‌ای یا تبخیری‌ها باشد. بیشینه شوری میانبرهای سیال (۱۶/۹ درصد وزنی معادل نمک طعام) با مقدار بالای فلزات پایه و نتایج کانی‌شناسی به دست آمده از کانسار روی، سرب، مس (نقره) گمیش‌تپه همخوانی دارد. با توجه به نبود واحدهای تبخیری در توالی چینه‌شناسی منطقه و وجود کانه‌زایی در سنگ

(شکل‌های ۱۱- الف و ب). این روند از LREE به سوی HREE شیب‌دار است که غنی‌شدگی از LREE را نشان می‌دهد. غلظت بالای LREEها در این واحدها می‌تواند به دلیل درجات کم ذوب بخشی مواد منشأ و یا یک منشأ غنی شده از آن باشد. الگوی یکدست عناصر کمیاب خاکی واحدهای یاد شده، نشان‌دهنده منشأ ماگمایی یکسان برای آنهاست؛ اختلاف جزئی مانند Σ REE و همچنین نسبت‌های بالاتر La/Lu، La/Yb و Ce/Yb در نمونه‌های میزبان کانه‌زایی نسبت به میانگین آنها در نمونه‌های دور از کانه‌زایی، می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر سیال ماگمایی اسیدی، ایجاد دگرسانی سیلیسی و غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE باشد (Fulignati & Gioncada, 1998). بی‌هنجاری منفی Eu در واحدهای یاد شده، به‌وسیله پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم کنترل می‌شود. در برابر آن، کمرباین ماده معدنی از همه مقادیر REE در مقایسه با میانگین آنها در سنگ دیواره رگه کانه‌دار، افزایش نشان می‌دهد (شکل ۱۱- ب). این امر بیانگر تحرك عناصر REE در طول فرایند دگرسانی گرمایی سنگ دیواره ماده معدنی است که با افزایش شدت دگرسانی، افزایش می‌یابد. الگوی عناصر REE در نمونه‌های معدنی، به‌صورت به نسبت مسطح با شیب منفی بسیار کم است که در همه عناصر کمیاب خاکی (به‌جز Lu که در نمونه‌های معدنی تهی‌شدگی نشان می‌دهد) غنی‌شدگی دارد (شکل ۱۱- ج). همچنین، نسبت LREE به HREE در مقایسه با توف ریولیتی میزبان کانه‌زایی بالاتر است. میزان Eu در نمونه‌های کانسنگی و توف سیلیتی، افزایش یافته است. میزان بالای Eu می‌تواند در ارتباط با فرایندهای دگرسانی همراه با کانه‌زایی (دگرسانی‌های کلریتی و سریستی کانی‌های سیلیکاتی) و تهی‌شدگی آن در سنگ میزبان کانه‌زایی (Sverjensky, 1984) و حضور پیریت، ایجاد محیط احیایی و در نتیجه کاهش تحرك و غنی‌شدگی آن درون سیال‌های گرمایی کانه‌دار باشد (Pearce et al., 1984; Shangui et al., 2002).

بررسی ویژگی‌های رگه‌های کانه‌دار و تغییرات توزیع و فراوانی عیار عناصر همراه با آنها در پهنه کانه‌زایی، با استفاده از نتایج تجزیه ۱۰ نمونه به روش ICP از پهنه کانه‌دار و نتایج تجزیه جذب اتمی (AAS) (برای عنصر طلا) انجام شد (جدول ۴)؛ محل نمونه‌ها در شکل ۱ مشخص شده است. این مطالعات نشان می‌دهد که بالاترین تمرکز فلزات پایه و نقره در رگه‌های سیلیسی با روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری است (جدول ۳). افزون بر آن، این مطالعه همبستگی بالایی میان روی با سرب و مس، تا حدودی مس با سرب، و نیز میان نقره و آرسنیک، آنتیموان و طلا نشان می‌دهد. در این بررسی مشخص شد که فراوان‌ترین مقادیر روی و سرب و به دنبال آن مس، به مناطق دگرسانی سیلیسی، سیلیسی- سولفیدی و سریستی مربوط به مراحل اول و دوم کانه‌زایی محدود می‌شود و کاهش آنها در مناطق دگرسانی آرژیلی و پروپیلیتی، رگه- رگچه‌های نواری غنی از اسپیکولاریت و سیلیس، به‌مراتب محسوس‌تر و قابل توجه‌تر است. نقره نیز عیار قابل توجهی در نمونه‌های معدنی دارد؛ به‌گونه‌ای که بالاترین مقدار نقره از رگه- رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی- کربناتی با دگرسانی سیلیسی، کربناتی، آرژیلیکی به دست آمده است. با توجه به دیده نشدن کانه نقره خالص، بالا بودن میزان این عنصر در کانسار گمیش‌تپه می‌تواند در ارتباط با موارد زیر باشد: (۱) حضور کانی سولفوسالت نقره‌دار تراهدریت؛ (۲) وجود نقره در شبکه کانه‌های گالن و کالکوپیریت (Klein & Hurlbut, 1993). همچنین بر پایه نتایج تجزیه یک نمونه از بخش سینترهای سیلیسی، مقدار روی، سرب و مس بسیار ناچیز و مقدار نقره ۳۸ ppm گزارش شده است. بنابراین بر پایه نتایج تجزیه‌های شیمیایی، عیار کمینه، میانگین و بیشینه عناصر نمونه‌های رگه‌های کانه‌دار عبارت است از: ۶/۰، ۲۲/۷ و ۴۵/۰۴ ppm نقره؛ ۴/۰، ۱۳/۵ و ۴۴ درصد سرب؛ ۰/۰۱، ۲ و ۶/۱ درصد مس؛ ۴/۷۵، ۸۸ و ۲۱۴ ppm نقره؛ ۱۸، ۴۴ و ۸۰ ppb طلا. به‌گونه‌ای که در محدوده معدنی گمیش‌تپه، مهم‌ترین عناصر کانسارساز بر پایه فراوانی شامل روی، سرب، مس و نقره هستند.

در سامانه گرمایی است. رخداد این پدیده، سازوکار اصلی در ناپایداری و ته‌نشست کمپلکس‌های کلریدی حمل‌کننده فلزات پایه و نقره در کانسار است.

۱۱- نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده و شواهد موجود نشان می‌دهد که رخداد کانه‌زایی در رگه‌های سیلیسی محدوده معدنی گمیش‌تپه، با چند عامل رابطه تنگاتنگ دارد. نقش و سازوکار این عوامل در تشکیل و تمرکز کانه‌سازی، به اختصار به شرح زیر است:

توده نفوذی نیمه‌ژرف: یکی از نمودهای زمین‌شناسی در محدوده کانسار گمیش‌تپه، وجود برونزدهایی از توده نیمه‌ژرف داسیتی است که مجموعه واحدهای آتشفشانی-رسوبی الیگوموسن را قطع کرده است. از سوی دیگر هیچ توده نفوذی دیگری در منطقه مورد مطالعه رخنمون ندارد؛ البته ارتباط و پیوستگی توده نیمه‌ژرف داسیتی در بخش‌های زیرین به توده نفوذی مدفون نمی‌تواند دور از ذهن باشد. شواهد صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و ژئوشیمیایی ارائه شده نشان می‌دهند که کانه‌زایی، ارتباط فضایی و مکانی نزدیکی با توده‌های نیمه‌ژرف دارد؛ به‌نظر می‌رسد که هر دو نوع رگه-رگچه‌های کانه‌دار در ارتباط با یک سامانه سیال کانه‌ساز هستند و اصلی‌ترین مرحله کانی‌سازی مهم اقتصادی، مرحله دوم فعالیت‌های گرمایی است. همچنین نتایج تجزیه‌های شیمیایی نیز منبع اصلی فلزات در کانه‌زایی رگه‌های یاد شده را واحدهای نیمه‌ژرف داسیتی و توف ریولیتی نشان می‌دهد. بنابراین همه شواهد ارائه شده و ماهیت میانبارهای سیال اولیه، احتمال حضور سیال‌های با خاستگاه ماگمایی-گرمایی را تقویت می‌کند. البته انجام مطالعات ایزوتوپی پایدار، خاستگاه سیال‌های کانه‌ساز را روشن‌تر خواهد کرد.

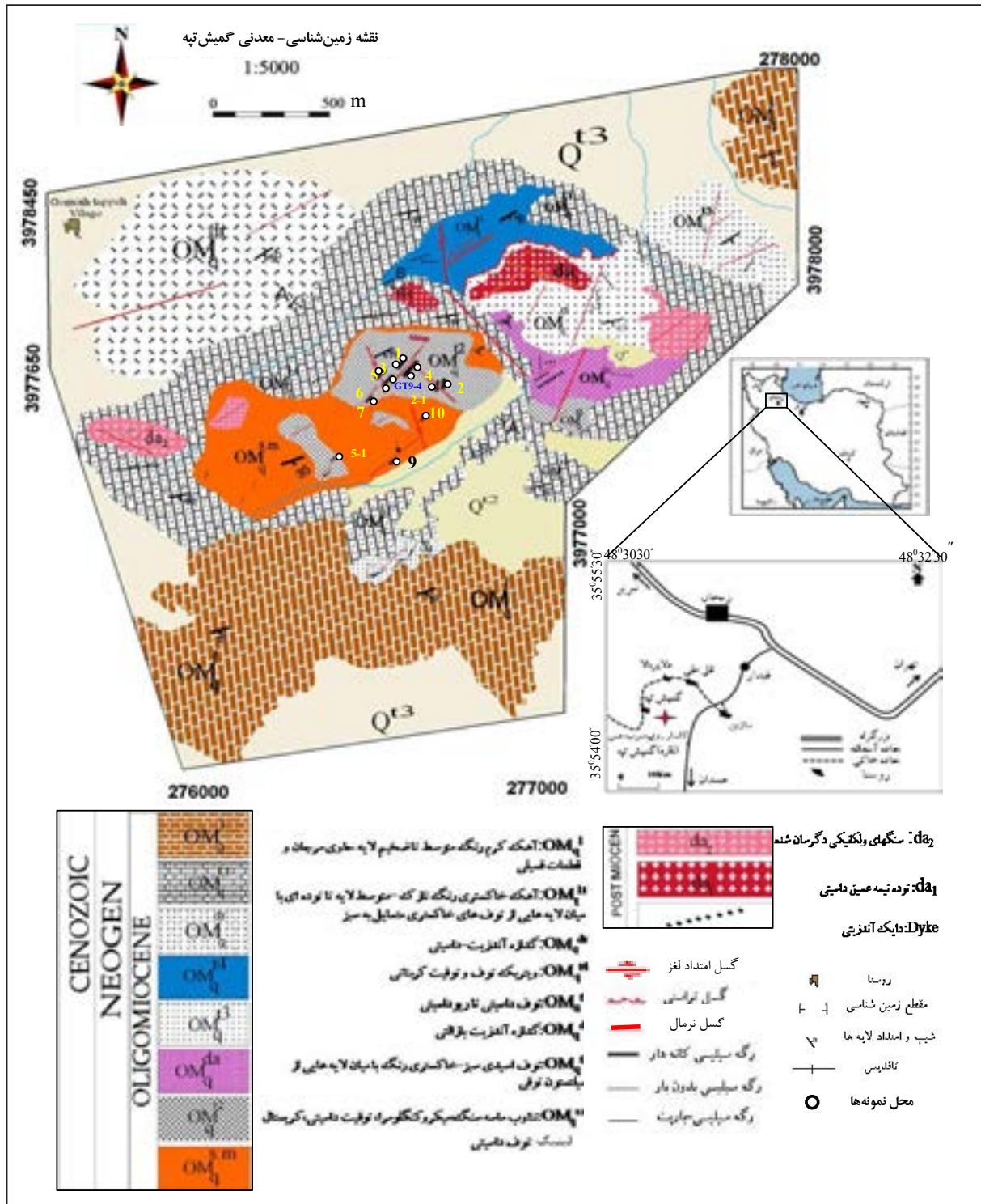
از آنجا که گرانیوتیویدهای کمان‌های آتشفشانی از دید جایگاه به دو دسته قاره‌ای (CAG) و اقیانوسی (IAG) تقسیم می‌شوند. گرانیوتیویدهای کمان آتشفشانی قاره‌ای بیشتر در حاشیه‌های فعال قاره‌ای نفوذ می‌کنند و همه توده‌های نفوذی به سری کالک‌آلکانل، کالک‌آلکانل پتاسیم بالا و شوشونیتی تعلق دارند. بر پایه نتایج به دست آمده، توده نفوذی مرتبط با کمان آتشفشانی قاره‌ای است. بنابراین بر پایه همه شواهد بالا، فعالیت ماگمایی در ناحیه گمیش‌تپه ساب‌آلکانل-کالک‌آلکانل و نشانه گذر زمانی از مرحله فرورانش تا همزمان با برخورد است. بنابراین احتمالاً محیط کشتی حوضه‌های پشت‌کمانی مربوط به مراحل پایانی فرورانش و همزمان با برخورد، محیطی مناسب برای تشکیل کانه‌زایی اپی‌ترمال فلزات پایه-نقره گمیش‌تپه بوده است. اختلاف جزئی مانند Σ REE در آنها می‌تواند متأثر از فرایندهای دگرسانی موجود در منطقه باشد.

گسل‌ها: در کانسار گمیش‌تپه، گسل‌هایی که جایگیری رگه‌های کانه‌دار و پرعبار را کنترل کرده‌اند و به عنوان معابر تغذیه‌کننده کانی‌سازی رفتار کرده‌اند، بیشتر با جابه‌جایی‌های عادی همراه هستند. گسترش و تراکم این گسل‌ها و شکستگی‌های مرتبط با آن، مهم‌ترین کنترل‌کننده ساختاری در کانی‌سازی منطقه معدنی است و نقش کلیدی در کنترل و توزیع نفوذپذیری برای عبور سیال در سامانه‌های گرمایی منطقه معدنی دارند.

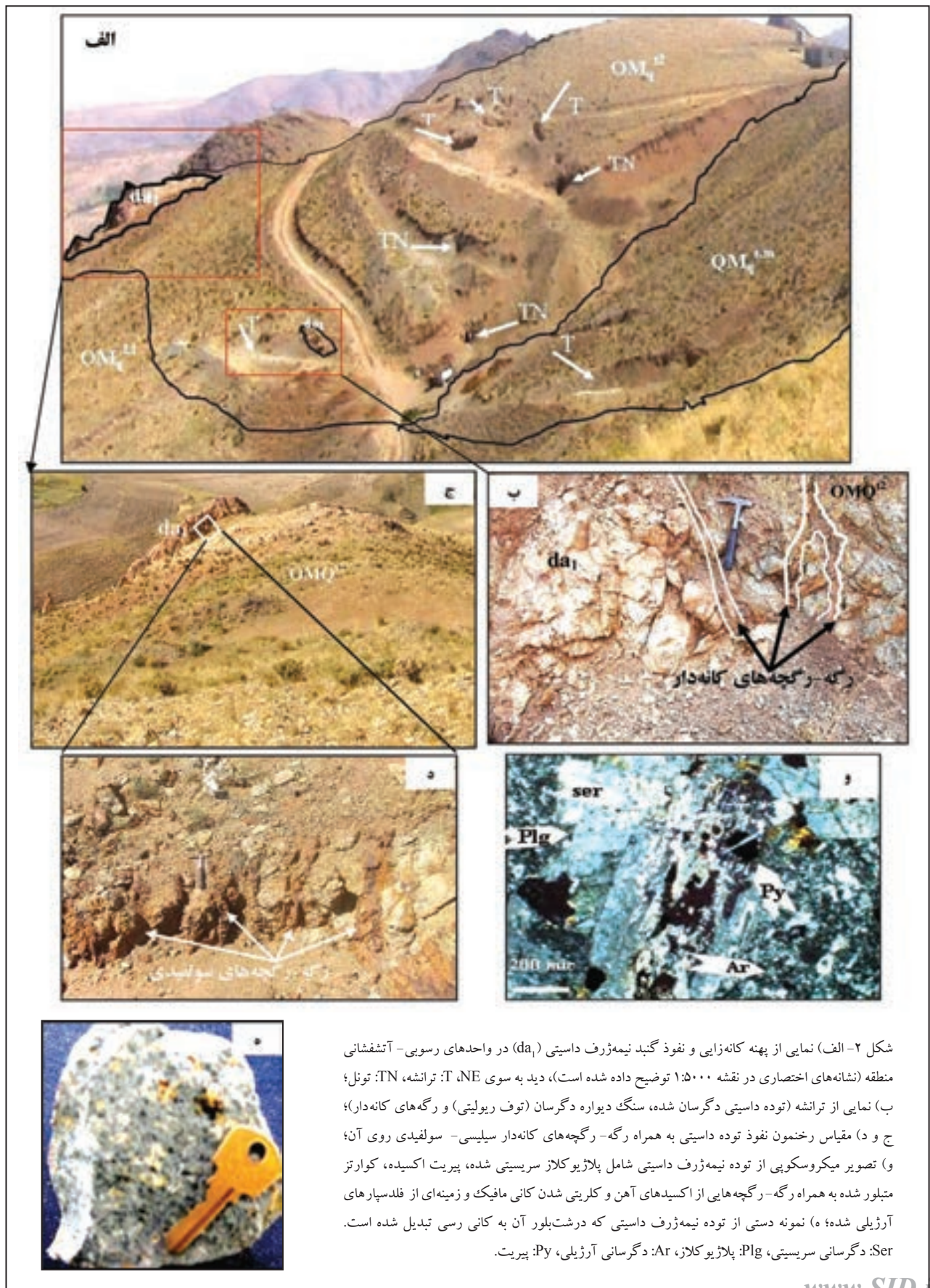
میزبان همچون توده نیمه‌ژرف داسیتی و حاشیه آن، شوری بالا در این کانسار نمی‌تواند در ارتباط با حضور شورابه‌های پوسته‌ای و یا فسیلی باشد. در کانسارهای فلزات پایه-نقره در ایالت اپی‌ترمال مکزیک به عنوان یک گروه از کانسارهای اپی‌ترمال مکزیک (کانسارهای Palomositas-Los Acros در ناحیه Plomositas و Cobre-Babilonia در ناحیه Taxco)، میانبارهای سیال با شوری ۱۲ تا ۲۳ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند و ژرفای کانه‌زایی برای تشکیل آنها، بیش از ۵۰۰ متر در زیر سطح ایستایی دیرین گزارش شده است (Camprubi et al., 2006; Gonzales-Partida et al., 2006). مطالعات یاد شده نشان‌دهنده حمل فلزات پایه-نقره به صورت کمپلکس‌های کلریدی در آنهاست (Hedenquist et al., 1992 & 2000). بنابراین میزان شوری میانبارهای سیال، کمترین ژرفای کانه‌زایی و کمترین فشار به دام افتادن سیال در کانسار گمیش‌تپه با کانسارهای یاد شده سازگاری دارد (جدول ۵). همچنین مقایسه نتایج حاصل از مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال در کانسار گمیش‌تپه با نمودار ارائه شده توسط Wilkinson (2001) نشان می‌دهد که داده‌های این کانسار در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال جای گرفته است (شکل ۱۵). با توجه به مطالعات میانبارهای سیال، به نظر می‌رسد شوری بالا و کانی‌سازی کانسار گمیش‌تپه در ارتباط با سیال‌های کلریدی با منشأ گرمایی-ماگمایی باشد (شکل ۱۶). الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های کانسنگی نیز درستی مطلب بالا را تقویت می‌نماید. به‌گونه‌ای که غنی‌شدگی LREE و میزان Eu در نمونه‌های کانسنگ در مقایسه با سنگ میزبان و کمرباین رگه‌های معدنی (شکل ۱۱-ج)، نشان از تأثیر سیال‌های ماگمایی-گرمایی غنی از کلر دارد که سبب دگرسانی در طول پهنه کانه‌زایی، تهی‌شدگی از LREE و Eu در سنگ‌های میزبان و سرانجام، تمرکز و حمل این عناصر در سیال کانه‌ساز شده است. همچنین نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر کمیاب نیز نشان داد که توده نیمه‌ژرف داسیتی و توف‌های ریولیتی می‌توانند مهم‌ترین منبع فلزات در رگه‌های سولفیدی بوده باشند (جدول ۱).

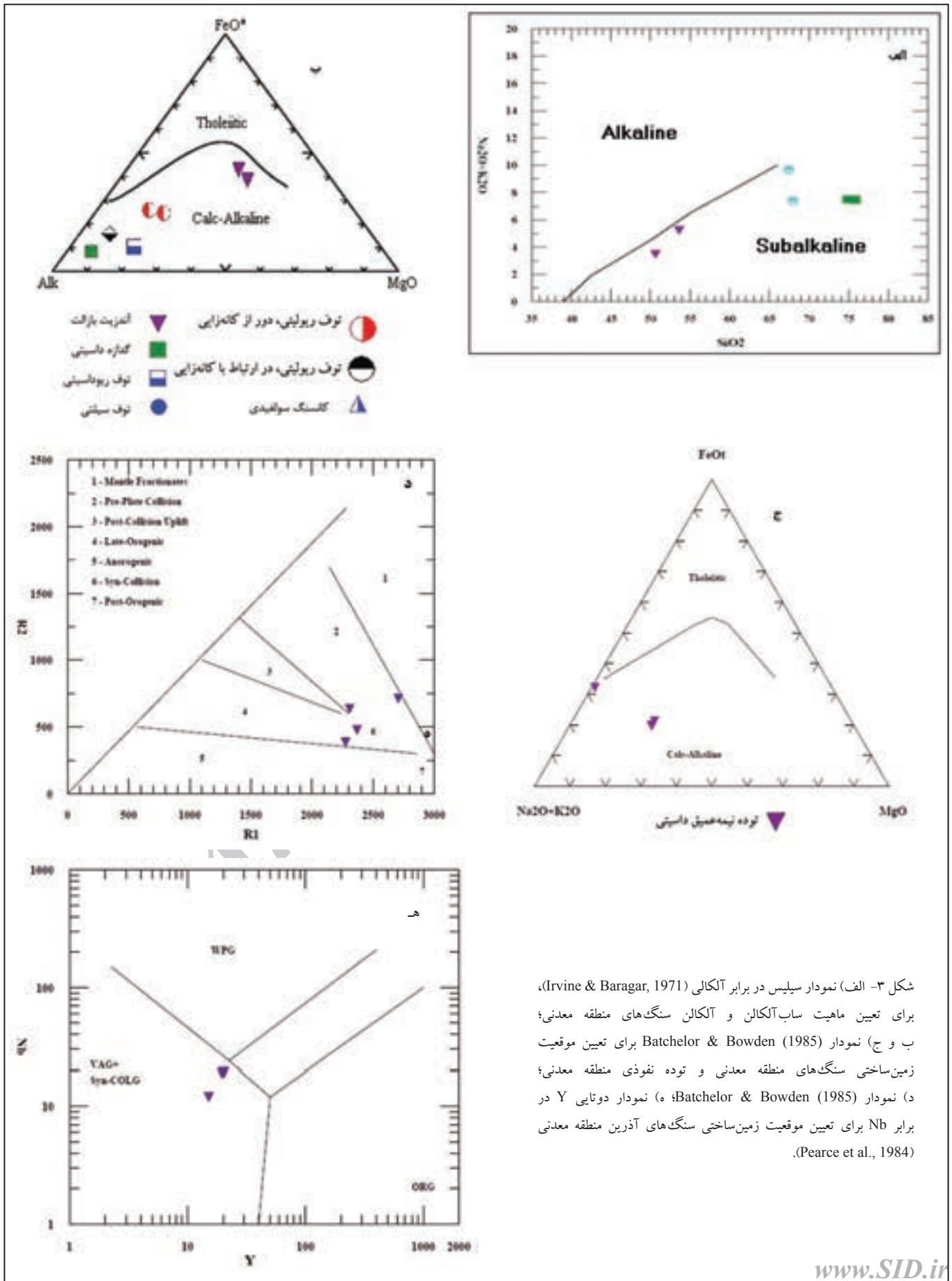
همراهی میانبارهای غنی از مایع و غنی از گاز با هم، که با پدیده گردن‌شدگی (necking down) در ارتباط نیستند (Camprubi & Albinson, 2007)، نسبت متغیر فاز مایع به بخار (Bodnar et al., 1985) و نوع روند خطی در نمودارهای شوری در برابر دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال (Roedder, 1984)، دلایلی هستند که به دام افتادن ناهمگن سیال کانه‌دار را در شرایط جوشش نشان می‌دهند.

همچنین شواهدی همچون سیلیس‌های بی‌شکل، کوارتزهای نهان-ریزبلورین، کلسیت‌های تیغه‌ای، برش‌های گرمایی، بافت‌های نواری-قشرگون-کلوفرمی، حضور سینترهای سیلیسی در بخش‌های بالایی کانسارهای گرمایی و گسترش دگرسانی سریستی، نشان‌دهنده سازوکار جوشش در سامانه‌های گرمایی است (Sillitoe, 1985; Simmons & Browne, 2000; Sillitoe & Hedenquist, 2003; Camprubi & Albinson, 2007; Mango et al., 2014) (جدول ۵). بنابراین وجود همه شواهد ارائه شده در بالا نیز برای کانسار گمیش‌تپه، نشان‌دهنده سازوکار جوشش

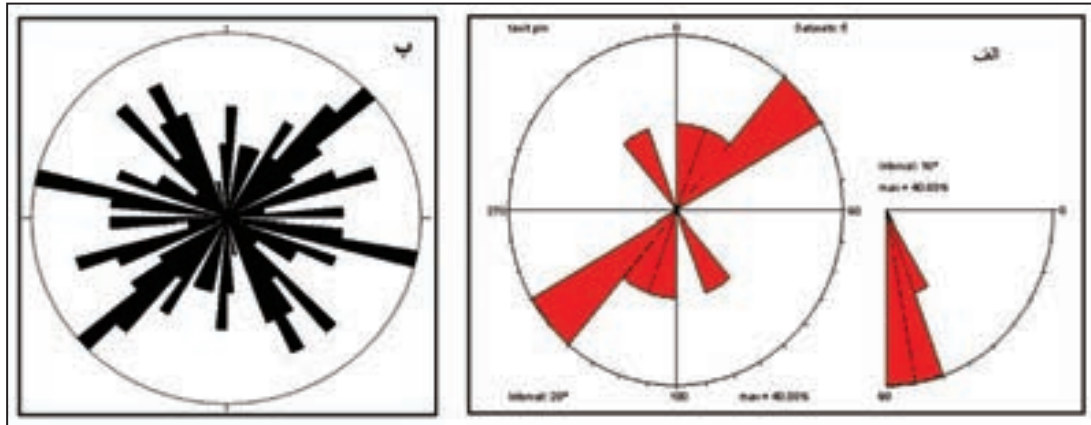


شکل ۱- موقعیت کانسار گمیش‌تپه در جنوب باختر زنجان و نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱:۵۰۰۰ (صالحی، ۱۳۸۷). نتایج تجزیه نمونه‌های معدنی در جدول ۴ آورده شده است.

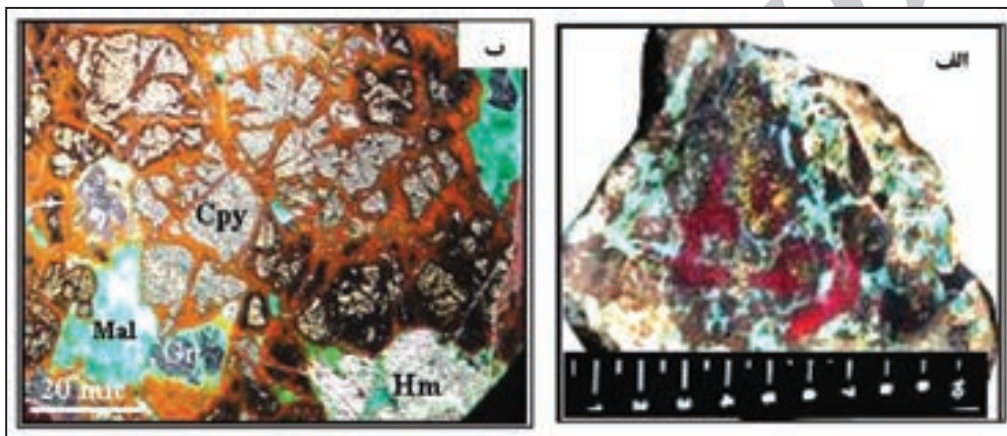




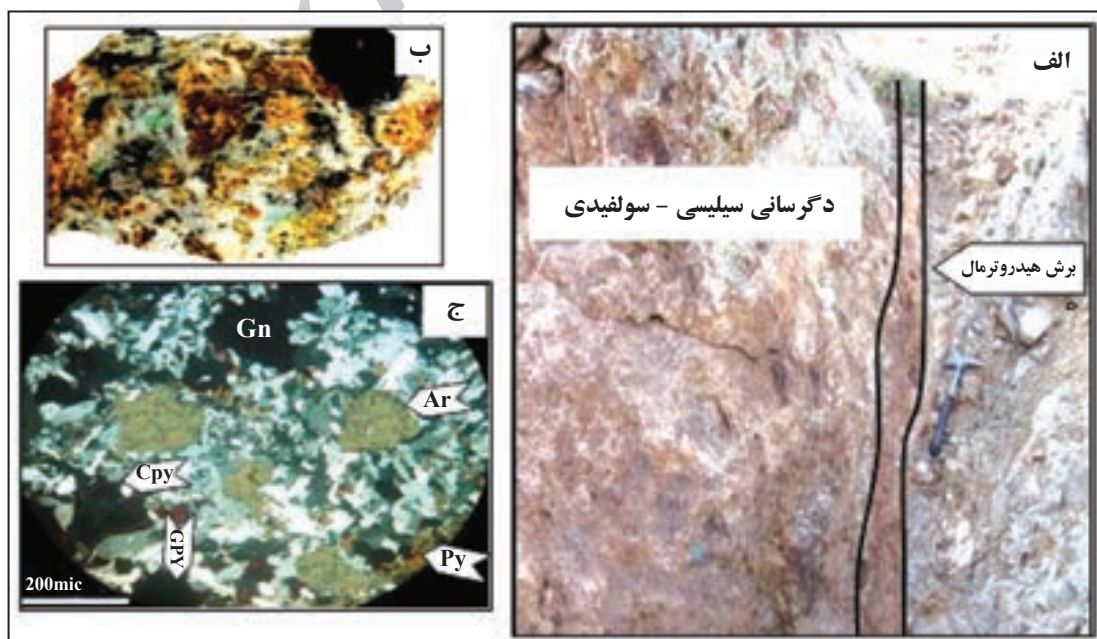
شکل ۳- الف) نمودار سیلیس در برابر آلکالی (Irvine & Baragar, 1971)، برای تعیین ماهیت ساب‌آلکالی و آلکالی سنگ‌های منطقه معدنی؛ ب و ج) نمودار Batchelor & Bowden (1985) برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه معدنی و توده نفوذی منطقه معدنی؛ د) نمودار Batchelor & Bowden (1985)؛ ه) نمودار دوتایی Y در برابر Nb برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های آذرین منطقه معدنی (Pearce et al., 1984).



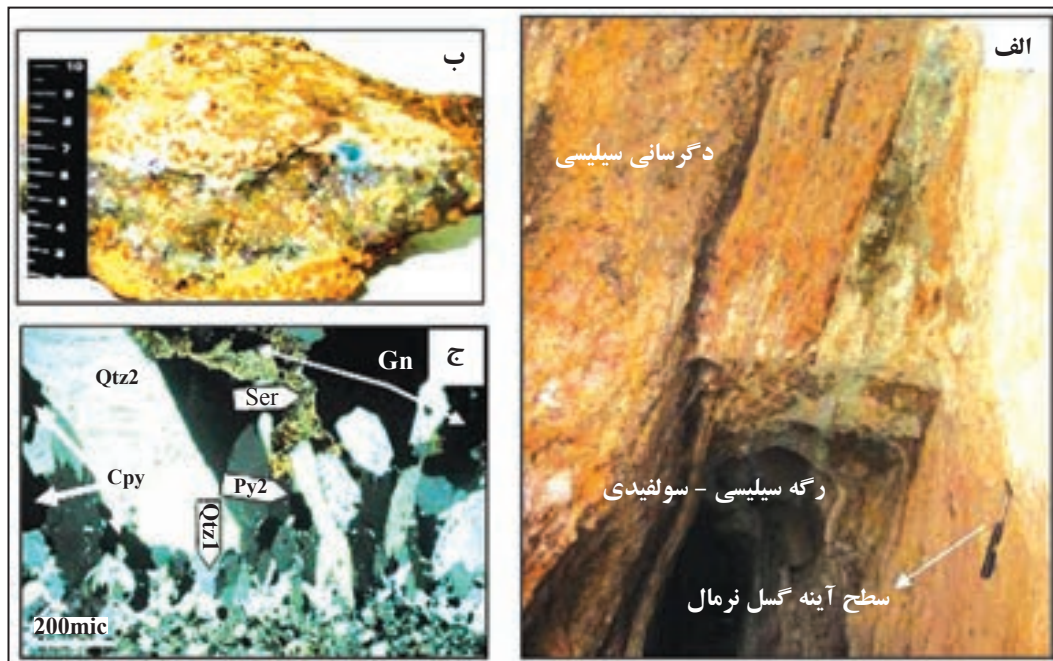
شکل ۴- الف) نمودار گل سرخی امتداد و شیب سطح گسل های موجود در منطقه؛ ب) نمودار گل سرخی درزه و شکستگی های موجود در منطقه معدنی.



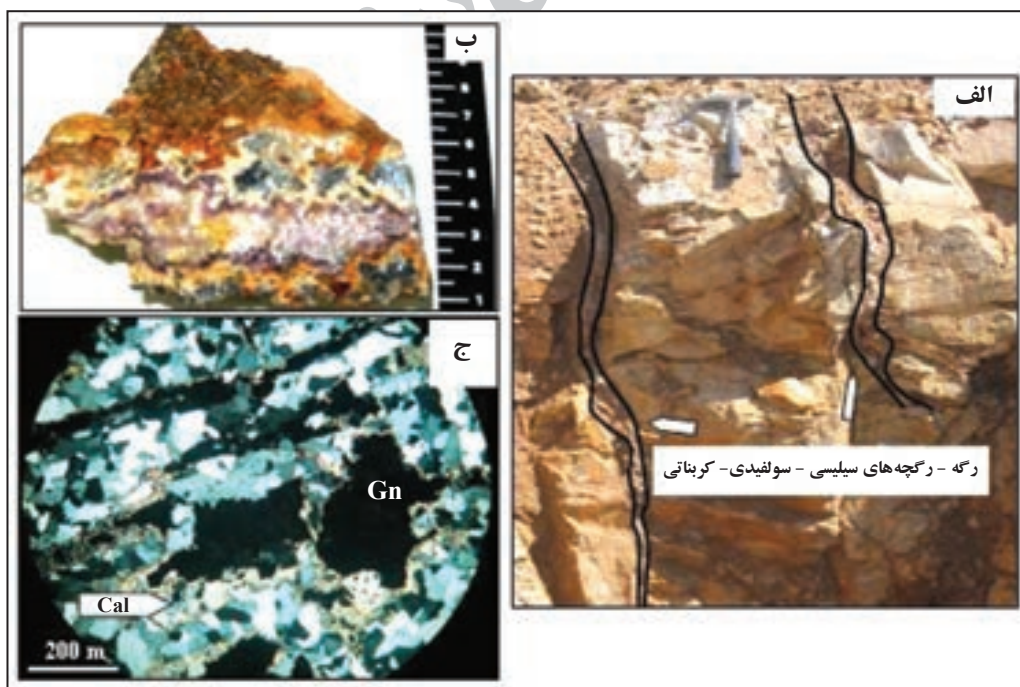
شکل ۵- الف) نمونه دستی از رگه- رگچه های سیلیسی- سولفیدی با روند شمال باختری؛ ب) تصویر میکروسکوپی از رگه- رگچه های شکل الف با بافت برشی و کانی های سولفیدی. Hm: همی مورفیت، Mal: مالاکیت، Cpy: کالکوپیریت، Py: پیریت، Gn: گالن.



شکل ۶- الف) نمایی از رخنمون رگه دارای برش های گرمایی (دید به سوی شمال)؛ ب) نمونه دستی از برش های گرمایی؛ ج) مقطع میکروسکوپی از برش های گرمایی.



شکل ۷- الف) رخنمون از رگه سیلیسی- سولفیدی (دید به سوی شمال)؛ ب و ج) نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی از رگه- رگچه های سیلیسی- سولفیدی.

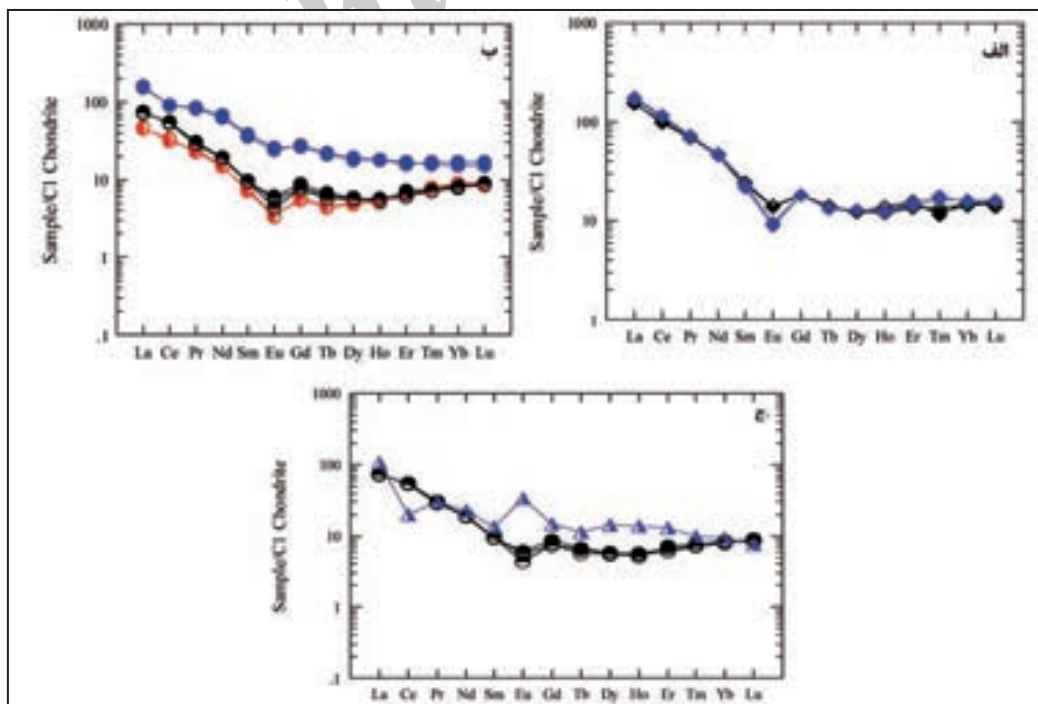
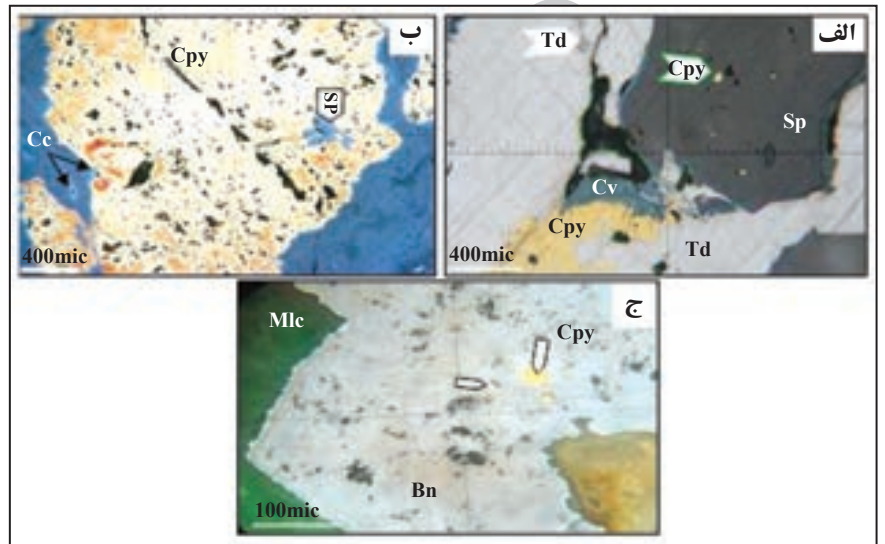


شکل ۸- الف) رخنمون رگه- رگچه های سیلیسی- سولفیدی- کربناتی (دید به سوی شمال)؛ ب و ج) نمونه دستی و تصویر میکروسکوپی از رگه- رگچه های سیلیسی- سولفیدی- کربناتی. Cal: کلسیت.

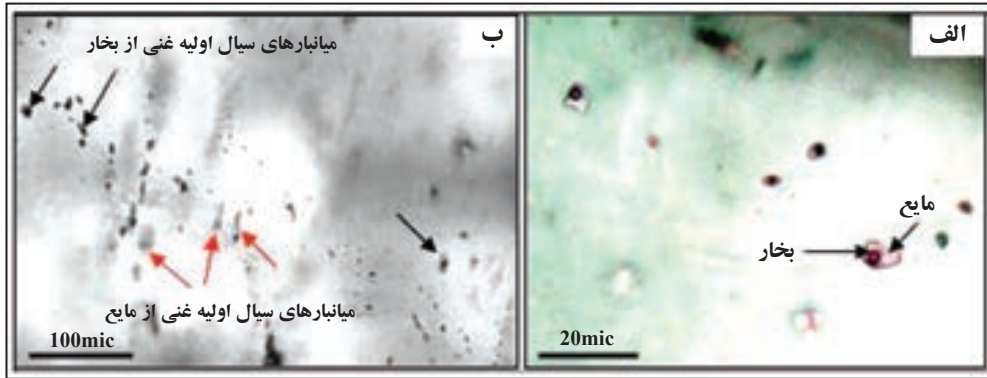
شکل ۹- الف) نمایی از رگه نواری غنی از سیلیس و اسپیکولاریت (دید به سوی جنوب باختر)؛ ب) نمونه دستی از رگه غنی از سیلیس و اسپیکولاریت با بافت قشرگون-کلوفرمی-نواری.



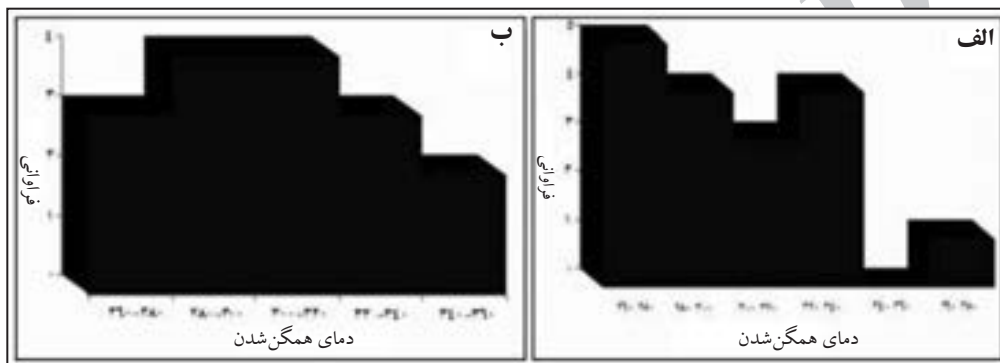
شکل ۱۰- الف، ب و ج) تصاویر میکروسکوپی از کانه های کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت، تتراهدريت، کالکوسیت، کولیت و مالاکیت در رگه های سیلیسی-سولفیدی. Qtz: کوارتز، Bn: بورنیت، Cpy: کالکوپیریت، Sp: اسفالریت، Gn: گالن، Td: تتراهدريت، Cv: کولیت، Cc: کالکوسیت، Mal: مالاکیت.



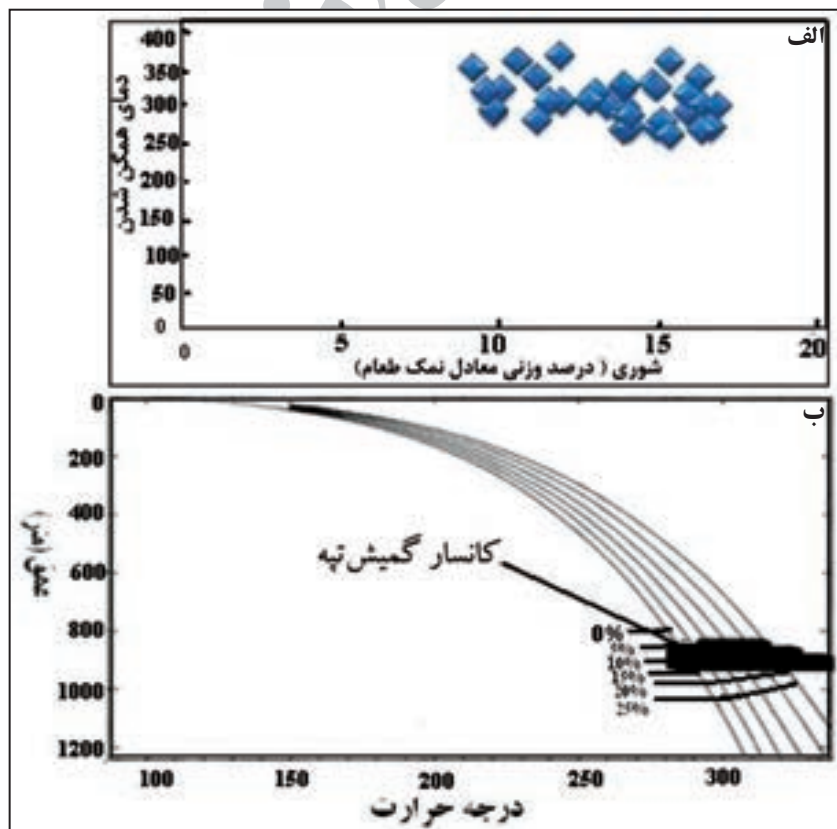
شکل ۱۱- الف) مقایسه الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب در نمونه های توده نیمه زرف داسیتی؛ ب) مقایسه الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب برای نمونه هایی از توف ریولیتی و توف سیلتی؛ ج) الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب در نمونه کانسنگ سولفیدی و مقایسه آن با نمونه های توف ریولیتی میزبان کانه زایی (نشانه ها همانند شکل ۴).



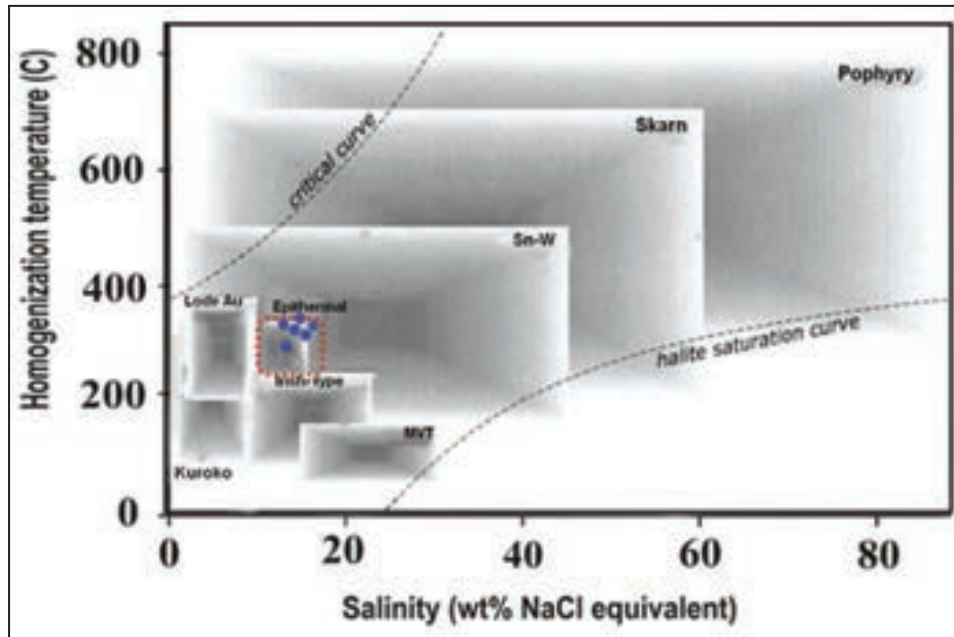
شکل ۱۲- الف و ب) میانبارهای سیال اولیه (دوفازی مایع و بخار، غنی از مایع و غنی از بخار) در کانی کوآرتز موجود در رگه- رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی کانسار گمیش‌تپه.



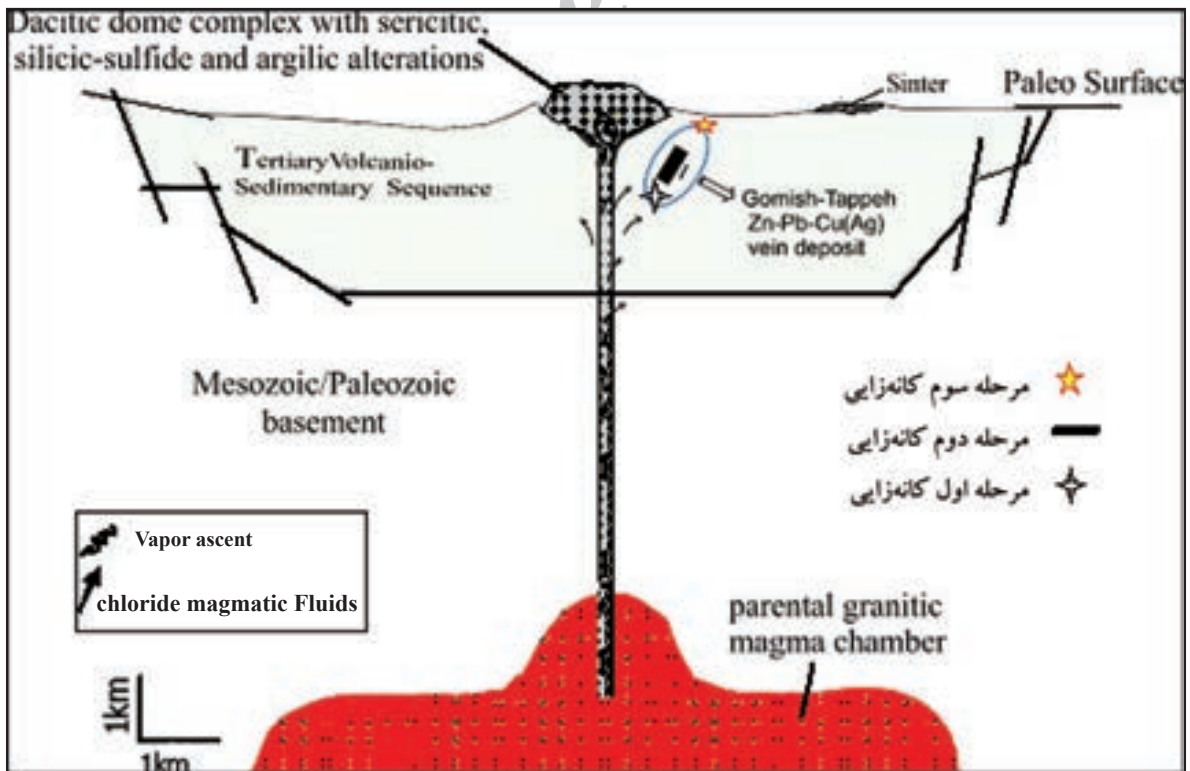
شکل ۱۳- الف و ب) نمودارهای فراوانی دمای همگن‌شدگی برای میانبارهای سیال اولیه در کانسار گمیش‌تپه.



شکل ۱۴- الف) نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری در مجموعه میانبارهای سیال اولیه؛ ب) مجموعه میانبارهای سیال کانسار گمیش‌تپه روی منحنی جوشش (H₂O-NaCl) در برابر ژرفا (Hass, 1971).



شکل ۱۵- محدوده دمای همگن شدگی نسبت به درجه شوری سیال‌های درگیر در کنسارهای مختلف (Wilkinson, 2001). نتایج حاصل از ریزدماسنجی سیال‌های درگیر، کنسار گمیش‌تپه در محدوده کنسارهای اپی‌ترمال روی نمودار مشخص شده است.



شکل ۱۶- شکل نمادین از محیط تشکیل و مراحل کانه‌زایی کنسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه بر گرفته از (Sillitoe & Hedenquist 2003) و (Camprubi & Albinson 2007). به نظر می‌رسد بالا آمدگی سیال‌های ماگمایی-گرمایی کلریدی و رخداد جوشش سبب کانه‌زایی در امتداد ساختارهای زمین‌ساختی منطقه شده است.

جدول ۱- مقادیر غلظت عناصر اصلی (wt%)، کمیاب و خاکی کمیاب (ppm) سنگ‌های آذرین منطقه گمیش‌تپه که به روش‌های XRF و ICP-MS تجزیه شده‌اند.

Element	GT168	GT98-1	GT84-9	GT81-4	GTS1-4	GT71	GT231	GT254	GT222	GT8-3	GT-94
SiO ₂ (wt%)	۷۳/۷۶	۷۳/۰۶	۷۵	۷۴/۷۲	۷۴/۵۶	۶۶/۸۱	۶۷/۹۶	۶۷/۴۲	۶۷/۸۰	۶۶/۹۲	۵۹/۹۹
Al ₂ O ₃	۱۴/۳۷	۱۳/۰۱	۱۲/۶۲	۱۲/۳۲	۱۲/۳۶	۱۵/۴۱	۱۴/۵۸	۱۶/۶۲	۱۵/۲	۱۴/۳۴	۱۴/۹۹
Fe ₂ O ₃	۰/۱۷	۱	۰/۵	۰/۷۶	۰/۹۷	۳/۵۱	۲/۸۵	۲/۱۵	۲/۴۹	۲/۶۳	۵/۶۰
CaO	۱/۱	۱/۸۷	۰/۶۹	۰/۵۵	۰/۲۷	۰/۷۴	۰/۳۶	۲/۴۵	۱/۱	۱/۹۳	۲/۷۲
MgO	۱/۳۱	۱/۸۵	۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۷۶	۳/۴۰	۳/۰۹	۲/۵۲	۲/۷۹	۳	۲/۸۰
Na ₂ O	۲/۸۸	۳/۳۹	۳/۹۷	۳/۸۰	۳/۸۳	۳/۰۶	۲/۲۰	۲/۱۵	۲/۸۵	۲/۸۳	۲/۲۸
K ₂ O	۳/۳۲	۲/۷۰	۴	۳/۷۵	۴/۴۲	۴/۲۲	۵/۱۹	۴/۰۷	۴/۶۵	۴/۵۵	۴/۵۴
TiO ₂	۰/۱	۰/۷۵	۰/۳۶	۰/۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۸۷
MnO	۰/۱	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲۸
P ₂ O ₅	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۶	۰/۲۵
LOI	۱/۶۱	۱/۳۱	۱/۶	۱/۵	۱/۰۲	۲/۱۶	۲/۶۷	۱/۵۷	۱/۷۷	۱/۰۲	۳/۷۷
Total	۹۹/۸۳	۹۹/۳۱	۹۹/۴۴	۹۹/۲۴	۹۹/۴۷	۹۹/۶۳	۹۹/۳۹	۹۹/۵۷	۹۹/۲۳	۹۹/۷۳	۹۹/۸۳
Ba (ppm)	۲۴۹۰	۱۰۲۱	۲۳۱۰	۱۰۲۰	۲۲۸۰	۸۳۰	۱۱۷۰	۲۰۱۰	۲۴۱۸	۱۸۱۴	۲۰۷۰
Cu	۲۷	۶	۷/۷	۸	۵	۵	۱۰	۶۷	۷۵	۶۵	۱۷
Cr	۵۰	۱۲۴/۳	۹۹/۹	۱۰۲	۱۴۰	۵۱	۵۰	۶۰	۷۰	۷۱/۱	۸۰
Ga	۹/۹	۱۰/۵	۹/۵	۱۱/۶	۹/۲	۱۲/۴	۱۶/۳	۱۵/۷	۱۲	۱۶/۱	۱۶/۴
Pb	۱۲۲	۱۱۵/۲	۱۳	۲۱	۲۰	۲۰	۲۷	۸	۱۰	۶	۲۹
Nb	۱۱/۶	۱۱/۲	۱۰/۴	۹/۷	۱۰/۱	۱۲/۱	۱۹/۳	۱۹	۱۸/۷	۱۹/۲	۱۵/۸
Ni	۵	۷/۶	۵/۱	۷	۶	۵	۵	۵	۵	۶/۴	۳۷
Zn	۹۴۰	۹۷/۷	۲۷/۷	۳۱	۲۸	۹۲۰	۱۳۹۰	۱۶۰	۴۶	۱۰۰/۱	۹۷
Zr	۱۵۳	۱۵۸/۴	۱۴۷/۹	۱۰۶	۷۲	۲۱۵	۲۰۵	۲۸۶	۲۷۳	۱۹۱	۱۷۰
Rb	۱۴۶/۵	۱۰۴/۹	۱۵۷/۱	۱۳۰/۵	۱۴۶/۵	۱۴۰	۱۴۲/۵	۱۶۹/۵	۱۶۳	۱۶۴	۱۵۵/۵
Sr	۹۸/۹	۹۰	۶۰	۶۱	۶۴/۶	۲۹/۶	۳۱/۴	۱۲۱/۵	۱۱۰	۱۱۴	۱۸۸/۵
Th	۱۵/۴	۱۶/۹	۱۵/۲	۱۵/۶	۱۴/۷۰	۱۷/۸۰	۲۵	۲۲/۵	۲۰/۹۰	۱۷	۱۰/۹۰
V	۵	۶/۸	۷/۸	۶	۶	۱۵	۱۸	۱۴	۱۵	۱۳/۳	۱۰۸
U	۳	۲	۲	۱/۲۹	۳	۲/۹۲	۶	۵	۴/۲۵	۴	۴
La	۱۰/۵	۱۰/۹	۱۷	۱۷	۱۷/۵	۴۰	۴۱/۷	۳۷/۱	۳۶	۳۷/۱	۳۶/۵
Ce	۲۰	۱۹	۳۳	۳۳	۳۲	۶۹	۷۱	۶۰	۶۲	۶۰	۵۵
Pr	۲/۲	۲/۳	۲/۹	۲/۸	۲/۷	۶/۸	۶/۹	۶/۵	۶/۵۹	۶/۵	۷/۸
Nd	۶/۹	۷	۹	۸/۵	۸/۹	۲۱	۲۲	۲۲	۲۱/۴	۲۲/۳	۲۹
Sm	۱/۲	۱/۱	۱/۴	۱/۴	۱/۵	۳/۳۰	۳/۵	۳/۷	۳/۶	۳/۷	۵/۵
Eu	۰/۲	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳	۰/۵۱	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸۱	۱/۴
Gd	۱/۱۲	۱/۲	۱/۵۲	۱/۸	۱/۵۸	۳/۷	۳/۷۱	۳/۷۲	۳/۷۵	۳/۷۳	۵/۷۲
Tb	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵	۰/۸۱
Dy	۱/۲	۱/۲۴	۱/۴	۱/۵	۱/۴۴	۳/۳	۳/۲۵	۳/۱۷	۳/۱۰	۳/۱۴	۴/۸۷
Ho	۰/۳	۰/۳	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳	۰/۷۲	۰/۷	۰/۷	۰/۷۸	۰/۷۲	۱
Er	۱/۱	۱/۱	۱	۱/۱۶	۱/۱	۲/۵	۲/۴	۲/۳	۲/۶	۲/۴	۲/۸
Tm	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲	۰/۴۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۴
Yb	۱/۵	۱/۵۱	۱/۳۷	۱/۴۳	۱/۴	۲/۶	۲/۷	۲/۵	۲/۷	۲/۴	۲/۶
Lu	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۳۹

جدول ۲- نمودار توالی پاراژنزی و تبلور کانی‌ها و بافت‌های مرتبط با کانه‌زایی در کانسار گمیش تپه.

کانی شناسی	مرحله قبل از کانه زایی	هیدروترمال			سوپرژن	
		ابتدایی	میانی (مرحله اصلی)	تاخیری		
کانه‌ها و کانی‌های سنگ‌ساز (Ore Minerals & Rock Forming Minerals) بیروت لیل اول بیروت لیل دوم بیروت لیل سوم آرسنوپریت اسپیکولاریت کالکوپریت پوزیت اسفالریت کلس تالینت-تیراهدربیت دیزینت کوبالیت کالکوسیت لسبیت زینیت هلی مورفیت سروزیت انگاریت مالاکت سربست کلسیت ایندیوگروسیت گونیت زاروسیت کوارتز لیل اول کوارتز لیل دوم کوارتز لیل سوم فلدسپار بیوتیت پارتیت اپیدوت کلدونکتز کانی‌های رسی سیدریت						
	بافت‌ها (Textures) پراکنده ارضی پراکنده فضای خالی زخمه-رگچه کلوفرمی-خترگون-نوازی کلونیدال جانتسی					

جدول ۳- ویژگی‌های رگه‌های کانه‌دار همراه با مقادیر غلظت عناصر در نمونه‌های برگرفته از طول پهنه کانه‌زایی کانسار گمیش‌تپه.

نمونه	عیار عناصر (ppm)				دگرسانی	کانی‌شناسی	ساخت و بافت	سنگ میزبان	رگه‌های کانه‌دار و روند آنها	
	Zn	Pb	Cu	Ag					رگه	روند
GT9-4	۷۳۰۷	۲۸۶۱	۳۲۸۱۴	۴/۷۵	سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی، سربستی و آرزلیکی	Py, Cpy, Bn, Gn, Sp, Mal, Sm, Got, Hm, Qtz	رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی (قشرگون)، برشی	توده نیمه‌ژرف داسیتی	رگه- رگچه سیلیسی-سولفیدی	رگه سیلیسی با روند NW-SE
GTS9-3	۸۶۹۴۰	۷۳۱	۲۸۵۷۷	۲۵	سیلیسی کربناتی، سربستی، آرزلیکی	Py, Cpy, Sp, Sm, Hem, Mal, Hm, Got, Qtz,	برشی	توف ریولیتی، کریستال و پترویک توف داسیتی	برش گرمایی	رگه سیلیسی با روند NE-SW
GT101(3)	۲۲۷۱۳۱	۱۰۵۹۳	۶۱۵۲۳	۵۷						
GT9-1	۹۲۶۲۴	۱۱۵۳۶۳	۵۳۵۴۹	۲۰۴	سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی، سربستی، آرزلیکی به مقدار کمتر	Py, Apy, Cpy, Gn, Sp, Td, Dg, Cv, Cc, Sm, Hem, Mal, Got, Qtz	پرکننده فضای خالی (قشرگون، شانه‌ای) و رگه- رگچه‌ای	توف ریولیتی	رگه- رگچه سیلیسی-سولفیدی	
GTS9-1-1	۱۲۱۰۰	۱۳۱۰۰	۱۰۰۰۰	۲۸						
GTS9	۳۸۴۰۰	۳۹۷۹۸	۱۳۷۸۶	۵۷	سیلیسی، کربناتی، آرزلیکی	Py, Cpy, Gn, Td, Sp, Sr, Got, Hm, Qtz, Cal	رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی	توف ریولیتی، کریستال و پترویک توف داسیتی	رگه- رگچه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی	
GTS9-2	۲۵۶۸۰	۱۳۴۹۳۰	۶۰۴۳	۲۱۴						
GTS9-2-2	۲۰۸۰	۳۲۹۹۸	۶۲۶۸	۸۶						
GTtn8-2	۴۴۲۰	۶۳۹۴	۱۳۲۸	۵۶	سیلیسی، آرزلیکی و پروپیلیتی	شامل کوارتز نهان- ریزبلورین، سیلیس آمورف (نوارهای روشن)؛ اسپیکولاریت، پیریت (به مقدار کم)، هیدروکسیدهای آهن (نوارهای تیره)	نواری- قشرگون، قشرگون-نواری- کلوفرمی، رگه- رگچه‌ای	کریستال و پترویک توف داسیتی	رگه- رگچه‌های نواری غنی از سیلیس و اسپیکولاریت	
GTtn8-3	۴۵۵۵	۴۰۹۷	۱۰۷۴	۳۸	سیلیسی	سیلیس‌های جگری تا خاکستری تیره‌رنگ، کالسائونی، زاسپروید و سیلیس بی‌شکل	لامینه‌ای، توده‌ای، کلویدال- کلوفرمی	در بخش‌های سطحی کانسار	سینتر سیلیسی	

Qtz (کوارتز)، Got (گوتیت)، Hem (همایت)، Mal (مالاکیت)، Sm (اسمیت‌زونیت)، Cc (کالکوسیت)، Bn (بورنیت)، Cv (کولیت)، Dg (دیژنیت)، Td (تراهدریت)، Sp (اسفالریت)، Gn (گالن)، Cpy (کالکوپیریت)، Py (پیریت)، Apy (آرسنوپیریت)، Sr (سروزیت)، Hm (همی مورفیت)، Ca (کلسیت).

جدول ۴- مقادیر غلظت عناصر نمونه‌های برگرفته شده در طول پهنه کانه‌زایی کانسار گمیش‌تپه.

شماره نمونه	1:GTS9-2 رگه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی	2:GTS9-2-2 رگه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی	3:GTS9 رگه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی	4:GTS9-1 رگه سیلیسی-سولفیدی	5:GTS9-1-1 رگه سیلیسی-سولفیدی	6:GTS9-4 رگه سیلیسی-سولفیدی	7:GTtn8-2 رگه نواری غنی از سیلیس و اسپیکولاریت	8:GTtn8-3 نمونه از سینتر سیلیسی	9:GTS9-3 برش گرمایی	10:GT101(3) برش گرمایی
Au (ppb)	۸۰	۱۸	۲۱	۲۳	۲۶	۶۰	۳۳	۲۷	۳۳	۵۵
Ag (ppm)	۲۱۴/۴	۸۶/۰۰	۵۷/۰۰	۲۰۴/۳	۲۸/۰۰	۴/۷۵	۵۵/۹۷	۳۸/۴۲	۲۴/۵۶	۵۷/۱۲
Pb	۱۳۴۹۳۰	۳۲۹۹۸	۳۹۷۹۸	۱۱۵۳۶۳	۱۳۱۰۰	۲۸۶۱	۶۳۹۴	۴۰۹۶	۷۳۱/۳	۱۰۵۹۳
Zn	۲۵۶۸۰	۲۰۸۰	۳۸۴۰۰	۹۲۶۲۴	۱۲۱۰۰	۷۳۰۷	۴۴۲۰	۴۵۵۵	۸۶۹۴۰	۲۲۷۱۳۱
Cu	۶۰۴۳	۶۲۶۸	۱۳۷۸۶	۵۳۵۴۹	۱۰۰۰۰	۳۲۸۱۳	۱۳۲۸/۶۹	۱۰۷۳	۲۸۵۷۷	۶۱۵۲۳
Mo	۰/۷۷	۱۰/۵۰	۱/۲۱	۱۷/۶۳	۲/۰۰	۳/۱۴	۶/۷۰	۳/۳۷	۱۷/۸۴	۴۳/۴۵
As	۶/۹	۲/۷۰	۲۶/۰۰	۶/۰۵	۵/۰۰	۳/۵۸	۴۱/۵۸	۳۲/۷۰	۱۳/۴۶	۱/<۰۰۰
Sb	۶۸	۶/۱	۱۳/۸	۶۹	۵۱	۴۸	۵۷	۴۲	۵۶	۵۵
Bi	۰/<۵۰۰	۹/۱۰	۱/۶۰	۱/۱۲	۱/۴۱	۰/<۵۰۰	۲/۴۴	۱/۲۰	۱/۸۱	۰/<۵۰۰
Fe	۵۰۸۸	۴۲۲۵	۲۵۴۰	۹۰۰۴۹	۵۰۰۵	۵۷۴۰۱	۱۱۵۱۱۷	۷۳۸۷۹	۱۰۷۱۴۸	۱۱۵۴۹
S	۲۹۲۶۷	۲۳۴۰۰	۱۶۵۲۰	۱۲۰۴۲	۱۱۲۰۰	۶۴۵۷	۹۴۷	۹۵۴	۲۴	۶۴۲
Ti	۱۰	۷	۵۲	۶	۲۰	۶	۱۵۳	۱۵۶	۲۳	۶۳
W	۰/<۵۰	۰/<۵۰	۱/۰۰۰	۱۳/۱	۵/۰	۱/۹۴	۴/۶۴	۲/۶۵	۴/۰۴	۰/۵
Sn	۰/۵۸	۰/۸۰	۰/۵۰	۹/۰	۱/۰	۵/۸۵	۱۴/۰۰	۷/۲۴	۱۱/۶۱	۰/۹۷

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های کانسار گمیش تپه با کانسارهای اپی ترمال غنی از فلزات پایه- نقره.

ویژگی‌های اصلی	کانسارهای اپی ترمال با سولفیداسیون حدواسط	کانسار Palomositas-Los Acros	کانسار Cobre-Babilonia	کانسار گمیش تپه
زیرگروه	فلزات پایه و نقره	فلزات پایه و نقره	فلزات پایه و نقره	فلزات پایه و نقره
موقعیت زمین‌ساختی	محیط‌های کشتی پشت کمان‌های آتشفشانی	محیط‌های کمائی آندزیتی- داسیتی ایالت Sinaloa در باختر مکزیک	ولکانیسم پشت کمائی کالک آلکان ناحیه Taxco مکزیک	پهنه ارومیه- دختر
سنگ درونگیر	آندزیت، داسیت، ربولیت	داسیت، ربولیت، ایگنمبریت	ربولیت، داسیت- ریوداسیت تا آندزیت	توف ربولیتی، کریستال ویتریک توف داسیتی، توده نیمه‌زرف داسیتی
سن کانی‌سازی	محدوده سنی اتوسن میانی تا پلیوسن	Ma ^{۳۰}	Ma ^{۲۸}	میوسن بالایی
کنترل‌کننده‌های ساختاری	گسل‌های عادی و شکستگی‌های در ارتباط با نیروهای کشتی	گسل‌های عادی و شکستگی‌ها	شکستگی‌های مرتبط با گسل‌های عادی	گسل‌ها، بیشتر گسل‌های عادی و شکستگی‌ها
کانی‌شناسی	مجموعه سولفیدی پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت فقیر از آهن، گالن، تتراهدريت-تانتیت،	گالن، اسفالریت فقیر از آهن، تتراهدريت-تانتیت، کالکوپیریت، پیریت	پیریت، پروتیت، آرسنوپیریت، اسفالریت فقیر از آهن، گالن، کالکوپیریت و تتراهدريت- تانتیت و مارکازیت	پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت فقیر از آهن، تتراهدريت-تانتیت
بافت و ساخت	رگه‌ای، شانه‌ای، قشرگون، نواری، برشی، پرکننده فضای خالی و جانشینی	رگه‌ای، برشی، پرکننده فضای خالی	رگه‌ای، برشی، پرکننده فضای خالی، قشرگون	رگه‌ای، برشی، پرکننده فضای خالی، نواری، شانه‌ای، قشرگون
دگرسانی	سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیکی، پروپیلیتی	سیلیسی، سریسیتی و آرژیلی	سیلیسی، سریسیتی و آرژیلی، پروپیلیتی	سیلیسی، سیلیسی- سولفیدی، سریسیتی، کربناتی، آرژیلی، پروپیلیتی
شوری سیال‌ها	۱۲ تا ۲۳ درصد (معادل وزنی نمک طعام)	۶/۷ تا ۱۲ درصد (معادل وزنی نمک طعام)	۷ تا ۱۵/۶ درصد (معادل وزنی نمک طعام)	۹/۲ تا ۱۶/۹ درصد (معادل وزنی نمک طعام)
میانگین و بیشینه عیار نقره	۱۵۰، ۱۰۰۰ ppm	۱۵۰، ۲۶۰ ppm	۲۵۰، ۳۲۰ ppm	۸۸، ۲۱۴ ppm
منابع	Sillitoe & Hedenquist (2003); Camprubi & Albinson (2007); Hedenquist et al. (2000); Corbet (2002, 2005)	Gonzales-Partida et al. (2006)	Camprubi et al. (2006)	صالحی (۱۳۸۷)

کتابنگاری

- شمعیان، غ.، ۱۳۸۲- مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمابی فلزات پایه و گرانها در منطقه معلمان، جنوب شرق دامغان، استان سمنان، پایان‌نامه دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- شیرخانی، م.، ۱۳۸۵- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی روی- سرب و عناصر همراه در کانسار آی‌قلعه‌سی، جنوب‌خاور تکاب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- صالحی، ط.، ۱۳۸۷- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار روی- سرب (نقره) گمیش تپه، جنوب‌باختر زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۶۵۹ ص. مجیدی‌فرد، م.، شافعی، ع.، ۱۳۸۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مریزان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D. & Chomiak, B., 2001- Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data, Society of Economic Geology, Special Publication 8: 1-32.
- Arvin, M., Dargahi, S. & Babaei, A. A., 2004- Mafic microgranular enclave swarms in the Chenar granitoid stock, NW of Kerman, Iran: evidence for magma mingling, Journal of Asian Earth Sciences 24: 105-113.
- Batchelor, R. A. & Bowden, P., 1985- Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chemical Geology 48: 43-55.
- Bodnar, R., 2003- Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. In: Fluid inclusions, analysis and interpretation, ed. Samson I., Anderson A., Marshall D.
- Bodnar, R. J., Reynolds, T. J. & Kuehn, C. A., 1985- Fluid inclusion systematics in epithermal systems, Reviews in Economic Geology 2: 73-79.
- Camprubi, A. & Albinson, T., 2007- Epithermal deposits in Mexico, update of current knowledge, and an empirical reclassification, The Geological Society of America, Special Paper 422: 14-39.
- Camprubi, A., Chomiak, B. A., Villanueva-Estrada, R. E., Canals, À., Norman, D. I., Cardellach, E. & Stute, M., 2006- Fluid sources for the La Guitarra epithermal deposit (Temascaltepec district, México): Volatile and helium isotope analyses in fluid inclusions, Chemical Geology 231: 252-284.
- Corbett, G., 2002- Epithermal gold for explorations. AIG Journal, Applied Geoscientific Practice and Research in Australia, p. 32-35.
- Corbett, G. J., 2005- Epithermal Au-Ag deposit types—implications for exploration, Proexplo Conference, Peru, May 2005.
- Craw, D., Upton, P., Horton, T. & Williams, J., 2013- Migration of hydrothermal systems in an evolving collisional orogen, New Zealand, Mineralium Deposita, 48: 233-248.
- Fulginiti, P. & Gioncada, A., 1998- Rare earth element behaviour in the alteration facies of the active magmatic-hydrothermal system of volcano (Aeolian island, Italy), Journal of Volcanology and Geothermal Research 88: 325-342.
- Gonzalez-Partida, E., Camprubi, A., Gonzalez-Sanchez, F. & Sanchez-Torres, J., 2006- Fluid inclusion study of the Plomositas-Los Arcos polymetallic epithermal vein target, Plomositas district, Sinaloa, Mexico, Journal of Geochemical Exploration 89: 143-148.
- Hass, J. L., 1971- The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure, Economic Geology 66: 940-946.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. & Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits, Reviews in Economic Geology 13: 245-277.
- 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 4: 989-1015.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences 8: 523-548.
- Klein, C. & Hurlbut, C. S., 1993- Manual of Mineralogy, John Wiley & Sons, 681 p.
- LeBas, N. J., 1986- The role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. American Journal of Science 260: 267-288.
- Mango, H., Arehart, G., Oreskes, N. & Zantop, H., 2014- Origin of epithermal Ag-Au-Cu-Pb-Zn mineralization in Guanajuato, Mexico, Mineralium Deposita 49: 119-143.
- Mehrabi, B. & Ghasemi-Siani, M., 2012- Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu (\pm Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan province, Iran, Journal of the Geological Society of India 80: 563-578.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25: 956-983.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 664 p.
- Shangui, G., Jianquan, M. & Qihou, Z., 2002- Hydrothermal redistribution of rare-earth element in Pingxiang dacite, Chinese Journal of Geochemistry 21(2): 170-174.
- Sillitoe, R. H. & Hedenquist, J. W., 2003- Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits: Society of Economic Geologists, Special Publication 10: 315-343.
- Sillitoe, R. H., 1985- Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs, Economic Geology 80: 467- 1514.
- Simmons, S. F. & Browne, P. L., 2000- Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands Ohaaki geothermal system: Implications for understanding low-sulfidation epithermal environments, Economic Geology 95: 971-999.
- Sverjensky, D. A., 1984- Europium redox equilibria in aqueous solution, Earth and Planetary Science Letters 67: 70-78.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid Inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos 55: 229-279.

Epithermal Base Metal - Silver Mineralization at Gomish-Tappeh Deposit, Southwest of Zanjan

T. Salehi ¹, M. Ghaderi ^{2*} & N. Rashidnejad-Omran ³

¹M.Sc. Student, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2009 April 03

Accepted: 2015 June 01

Abstract

Gomish-Tappeh Zn-Pb-Cu (Ag) deposit is located in northwestern part of Urumieh-Dokhtar volcano-plutonic zone, 90 km southwest of Zanjan. Exposed rocks at the area include Oligo-Miocene volcano-sedimentary and sedimentary sequences as well as Pliocene dacitic subvolcanic dome, rhyodacitic volcanics and andesite porphyry dykes. The main mineralization at Gomish-Tappeh deposit has occurred in a steeply dipping normal fault and fracture system defined by NE-SW trend in three stages including hydrothermal breccias, silicic-sulfidic, silicic-sulfidic-carbonate veins and veinlets and late banded veins (rich in silica and specularite). Host rocks to mineralization include dacitic crystal lithic tuff, dacitic subvolcanic dome, and specifically acidic tuff. Paragenetic minerals at the deposit consist of pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, bornite, galena, low-Fe sphalerite, tetrahedrite, tennantite and specularite. The main alteration types at the area are silicic, silicic-sulfidic, sericitic, carbonate, argillic and propylitic. Based on element distribution and frequency patterns in the ore samples, among base metals, Zn, Pb, Cu and Ag show the highest concentrations. Average grades in the ore veins at Gomish-Tappeh deposit are: 6% Zn, 4% Pb, 2% Cu, 88 ppm Ag and 44 ppb Au. Fluid inclusion microthermometric studies on quartz crystals of the first and second stages of mineralization indicate homogenization temperatures of 260-367 °C, salinities of 9.1-16.9 wt% NaCl equiv., and approximate mineralization depth of 956 m below the paleowater table. Considering high salinity fluids and base metal contents, it is likely that base metals and silver were transported by chloride complexes. Fluid inclusion studies, hydrothermal breccias, banded-colloform-crustiform textures and amorphous silica indicate that boiling is the main factor for instability of the complexes and eventually, ore deposition.

Keywords: Epithermal Zn-Pb-Cu (Ag) deposit, Dacitic subvolcanic dome, Oligo-Miocene, Gomish-Tappeh, Zanjan.

For Persian Version see pages 329 to 346

*Corresponding author: M. Ghaderi; E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

Archive.org