

بررسی کانی‌سازی مس – طلا دار گرانتیوید طارم (شمال زنجان) بر پایه شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبار سیال

حسن زمانیان^۱، شهرام رحمانی^۲، محمدرضا جان‌نثاری^۳، رضا زارعی سهامیه^۱ و بهروز برنا^۴

^۱ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

^۲ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

^۳ دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۴ کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۵

چکیده

کانسار مس طلا دار لهنه در شمال باختر ایران، ۱۰۰ کیلومتری شمال استان زنجان قرار گرفته است. ناحیه معدنی لهنه بخشی از حوزه فلز زایی پهنه طارم در پهنه ساختاری البرز باختری- آذربایجان است. وجود آثار معدنی بسیار، سرباره‌های ذوب، آثار فعالیت‌های معدنی (کند و کاوها از قبیل چاله اکتشافی، تونل) در محل قلعه ارمنی‌ها (توسط معدن کاران ارمنی) نشان‌دهنده مورد توجه بودن ذخیره معدنی لهنه توسط معدن کاران کهن بوده است. ۹ رگه سیلیسی طلا دار در منطقه وجود دارد. دو رگه سیلیسی اصلی دارای طول ۵۰۰ متر و سبترای یک متر (قابل دید در روی زمین) است. سنگ‌های منطقه به صورت رسوبی- آتشفشانی و آتشفشانی (توف، توف برش و تراکی آندزیت) و توده نفوذی (گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت، مونزونیت) است. بر پایه مطالعات پتروژئوشیمیایی توده نفوذی از نوع I و ماگمای سنگ‌های گدازه‌های آتشفشانی از نوع آلکان و ساب‌آلکان هستند. از دید موقعیت زمین‌ساختی نیز مربوط به محیط فرورانش هستند. سنگ‌های توف برشی توسط توده نفوذی با ترکیب کوارتز مونزونیتی، قطع و دچار دگرسانی شده‌اند. از دگرسانی‌های مهم می‌توان به انواع سیلیسی، آرزیلی و سرسیتی اشاره کرد. کانی‌زایی اصلی طلا در سنگ‌های توف برش و مقدار کمی در سنگ‌های کوارتز مونزونیتی رخ داده است. کانی‌زایی از نوع شکافه پرکن، رگه- رگچه‌ای و برش‌های گرمایی است. بر پایه تجزیه نمونه‌های مینرالیزه، عیار طلا از دست کم ۰/۰۰۲ تا ۱۰ گرم در تن متغیر است. میانگین عیار طلا ۴/۳۵ گرم در تن است. از دید کانی‌شناسی، محدوده معدنی دارای کانی‌های فلزی (سولفیدی- اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاتی و کربناتی) طی دو فاز درون‌زاد و برون‌زاد است. کانی‌های فلزی شامل ذرات طلا (به صورت آزاد در باطله سیلیسی و قابل دیدن در زیر میکروسکوپ و مطالعات SEM)، نقره (به صورت آزاد و درگیر در شبکه گالن و تتراهدريت پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت و تتراهدريت است. کانی‌های غیرفلزی یا باطله شامل کوارتز، فلدسپار قلیایی گرمایی (آدولاریا)، سرسیت، کانی‌های رسی، کلسیت، و به مقدار کم باریت است. بر پایه مطالعات ژئوشیمیایی (جدول همبستگی عناصر، نمودار خوشه‌ای، شکل فضایی تجزیه فاکتوری) طلا با عناصر نقره (۰/۷۸)، مس (۰/۸۱)، آرسنیک (۰/۷)، سرب (۰/۶۴)، روی (۰/۶)، گوگرد (۰/۴)، بیسموت (۰/۴۵)، اورانیم (۰/۳) و مولیبدن (۰/۲۵) دارای همبستگی معنی‌داری است. این همبستگی ژئوشیمیایی با شواهد کانه‌نگاری (پاراژنز و توالی پاراژنری کانی‌ها) و مطالعات SEM همخوانی دارد. مطالعه میانبارهای سیال روی سیال‌های اولیه درشت (بزرگ‌تر از ۲۰ میکرون) و غنی از مایع در کانی کوارتز (همراه و همزاد با کانی‌های سولفیدی و میزبان ذرات طلا) انجام گرفت. داده‌های میانبارهای سیال، دمای میان ۱۲۵ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و شوری میان ۱ تا ۶/۵ درصد وزنی NaCl و ژرفای کمتر از ۱۰۰۰ متر را نشان می‌دهد. شواهد میانبارهای سیال پدیده‌های سرد شدگی، مخلوط شدن با آب‌های جوی و جوشش، تشکیل سیال‌های با شوری و چگالی بالا را در کانسار لهنه را نشان می‌دهد. از شواهد جوشش وجود کانی آدولاریا، کلسیت، کوارتز تیغه‌ای و برش‌های گرمایی است. شواهدی از جمله حضور بافت‌های اپی‌ترمال نواری، شانه‌ای، تیغه‌ای، برش گرمایی و دگرسانی سرسیتی و وجود کانی‌های سولفیدی گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، تتراهدريت و شواهد میانبارهای سیال (دما، شوری، دانسیته، میانبارهای غنی از بخار) گویای ماهیت اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط است.

کلیدواژه‌ها: اپی‌ترمال، طلا، میانبار سیال، دگرسانی، ژئوشیمی، کانسار لهنه.

*نویسنده مسئول: شهرام رحمانی

E-mail: Shahramrahmani1959@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

ایران انتشار داد. (Iwao (1971) از معادن و کانسارهای شمال زنجان و طارم همراه با دیگر معادن مهم منطقه بازدید کرد که گزارش یادشده در سازمان زمین‌شناسی ایران موجود است. نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ زنجان (Stocklin, 1968) و ۱:۱۰۰,۰۰۰ طارم (Hirayama et al., 1965) توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد. (Bazin & Hubner (1969) در گزارشی با عنوان کانسارهای مس ایران مطالبی راجع به اندیس‌های معدنی منطقه طارم عنوان کردند. مطالعات جامع زمین‌شناسی و اکتشافی در منطقه مورد مطالعه زمانی آغاز شد که کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور پس از پی‌جویی ذخایر بوکسیت در ایران برای تهیه آلومینیم به نتیجه مطلوبی دست نیافتند و در پایان به این نتیجه رسیدند که در ایران باید آلومینیم را از سنگ دیگری مانند آلونیت استحصال کرد. بنابراین با توجه با آثار زیاد آلونیت (دگرسانی آلونیتی) در پهنه طارم، یک برنامه اکتشافات مقدماتی برای تهیه آلومینا از آلونیت در پهنه طارم انجام شد. نتایج به دست آمده با عنوان گزارش

محدوده اکتشافی لهنه به مساحت ۲۰ کیلومتر مربع و در ۱۰۰ کیلومتری شمال شهر زنجان قرار گرفته است. مناسب‌ترین راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه، جاده آسفالت زنجان- طارم- زرده است. منطقه مورد مطالعه از جاده آسفالت زنجان- طارم حدود ۵ کیلومتر فاصله دارد (شکل ۱). این ناحیه در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ چهارگوش زنجان و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ برگه طارم قرار می‌گیرد (امینی، ۱۳۸۰). بخشی از نقشه ۱:۲۵۰,۰۰۰ برگه لهنه به صورت شماتیک برای نشان دادن موقعیت نمونه‌ها ارائه شده است (شکل ۲). وجود آثار معدنی متعدد و کارگاه‌های کوچک و بزرگ زاج‌پزی و سرباره‌های ذوب مس در این مناطق حکایت از سابقه طولانی عملیات معدنکاری دارد. نخستین مطالعات انجام شده توسط Houtum Schindler (1881) راجع به مناطق مینرالیزه باختر زنجان با عنوان گزارش کانسارهای باختر زنجان منتشر شد. (Ladame (1945) از منابع معدنی منطقه زنجان و چند ناحیه دیگر در ایران بازدید و گزارشی با عنوان منابع معدنی

مطالعات اکتشاف مواد معدنی با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی (ژئوشیمی، دورسنجی، ژئوفیزیک هوایی، معادن متروکه و زمین‌شناسی) توسط گروه GIS سازمان زمین‌شناسی انجام شد. در نتیجه مطالعات انجام شده، منطقه لهنه یکی از مناطق امیدبخش معدنی معرفی شد. مطالعات کانی‌شناسی، بافت و ساخت، دگرسانی، ژئوشیمی و میان‌بهارهای سیال رگه‌های کانه‌دار در محدوده لهنه زنجان از اهداف مورد بررسی در این پژوهش است که توجه به آن می‌تواند برای پیشبرد اهداف اکتشافی در منطقه مفید باشد.

۲- روش پژوهش

پس از انجام مطالعات دفتری و بررسی پژوهش‌های پیشین، محدوده معدنی لهنه در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت و طی آن از بخش‌های مختلف کانسار شامل رگه‌های سیلیسی دارای کانه‌های سولفیدی، هاله‌های دگرسانی و سنگ میزبان، از رخنمون‌های سطحی، ترانشه‌ها و تونل‌های قدیمی نمونه‌برداری شد. مطالعات اندازه‌گیری طلا و عناصر وابسته (۵۹ نمونه به روش ICP؛ جدول ۳)، اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی (۶۷ نمونه به روش XRF شامل ۴۰ نمونه گرانیتی و ۲۷ نمونه سنگ آتشفشانی؛ جدول‌های ۱ و ۲) در سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد. ۲۲ نمونه از پهنه‌های دگرسانی (جدول ۶) ابتدا در بخش سنگ‌شناسی سازمان زمین‌شناسی مورد مطالعات سنگ‌نگاری قرار گرفت. پس از مطالعات سنگ‌نگاری، مطالعات کانی‌شناسی روی کانی‌های رسی به روش XRD در بخش آزمایشگاه کانی‌شناسی سازمان زمین‌شناسی انجام گرفت. مطالعات سنگ‌نگاری سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی (به روش تهیه مقطع نازک برای مطالعات سنگ‌نگاری سنگ‌های گرانیتی، آتشفشانی، آذرآواری به تعداد ۱۲۹ نمونه در جدول‌های ۱ و ۲) و مطالعات کانه‌نگاری (۱۳ نمونه مقطع صیقلی و ۲۱ نمونه مقطع نازک صیقلی) برای مطالعه باطله کانی‌های سولفیدی، تجزیه به روش SEM برای تشخیص ذرات طلا در باطله سیلیسی و کانی کالکوپیریت، بخشی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (ZEISS/IGMA VP ساخت آلمان) در مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی کشور (مرکز کرج) و بخشی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE SEM/MIRA3 LMU ساخت جمهوری چک) گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان انجام شد. ۳۴ نمونه (۱۳ نمونه مقطع صیقلی و ۲۱ نمونه مقطع نازک صیقلی) پیش از مطالعه به روش SEM برای تهیه تصاویر با وضوح بیشتر با لایه کربنی پوشش داده شد و در محیط خلأ مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌دار و بررسی روند تغییرات شیمیایی و دامایی سیال کانه‌ساز در طی تشکیل ذخیره معدنی مس- طلا دار لهنه، از رگه‌های کوارتز، کلسیت و باریت که در آنها کانه‌زایی سولفیدی صورت گرفته است، ۱۱ مقطع دوبرصیقل تهیه و مطالعات ریزدماسنجی میان‌بهارهای سیال روی کانی کوارتز همراه با سولفیدهای مس، به علت داشتن میان‌بهارهای سیال درشت و همزاد بودن با کانی‌های سولفیدی و ذرات طلا، در آزمایشگاه دامافشارسنجی سازمان زمین‌شناسی انجام شد (جدول ۸). اندازه‌گیری‌ها با استفاده از صفحه گرم‌کننده و منجمدکننده Linkham MDS600 نصب شده روی میکروسکوپ پلاریزان Nikon مدل Ep200 و مجهز به Stage در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفته است. از دی‌کرومات پتاسیم برای کالیبراسیون دمای همگن‌شدگی و کالیبراسیون دستگاه استفاده شده است. دامنه دمای دستگاه ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد بوده است. به منظور جلوگیری از ترکیدن میان‌بهارهای سیال در طی گرمایش، ابتدا فرایند سرمایش روی نمونه‌ها انجام پذیرفته است. افزون بر این، به منظور اطمینان از دقت مشاهده رفتار ذوب، نرخ گرمایش به آهستگی صورت پذیرفته است (۰/۲ °C/min) در حالی که به منظور جلوگیری از ثبات بخشی، آهنگ سرمایش بالا بوده است. برای همه دماهای حاصل از ذوب پایانی CO₂، دقت ±۱/۰ بوده است.

نتایج اکتشافات آلونیت توسط نعمت و زینالف (۱۳۵۴) از سازمان زمین‌شناسی انتشار یافت. گزارش مقدماتی چگونگی آلونیت‌زایی و کائولینیت‌زایی پهنه طارم توسط عمیدی و همکاران (۱۳۵۹) منتشر شد. تدین اسلامی (۱۳۶۱) نقشه و گزارش ژئوشیمیایی منطقه تهم را تهیه و اطلاعاتی راجع به وضعیت معدنی منطقه منتشر کرد. کیمیاقلم (۱۳۶۶) بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی را با بررسی‌های ژئوفیزیکی مورد تأیید قرار داده است. مطالعات اکتشافات تفصیلی آلونیت و کائولینیت در مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰ توسط کارشناسان سازمان زمین‌شناسی (تقی‌زاده، ۱۳۶۲) در پهنه طارم انجام شد. تدین اسلامی (۱۳۶۲) گزارش پتانسیل‌های معدنی چهارگوش زنجان به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ را مورد ارزیابی قرار داده است. مؤید (۱۳۷۰) و احمدیان (۱۳۷۰) سنگ‌شناسی و ژئوشیمی گرانیتوئید و دگرسانی منطقه طارم در پیرامون ذاکر را مطالعه و منشأ آن را گرمایی یاد کرده‌اند. حسینی (۱۳۷۱) ژنز آلونیت سیردان را از نوع دگرسانی اپی‌ترمال دانسته است. حاج‌علیلو (۱۳۷۸) مقاله‌ای با عنوان متالورژی تشریری البرز باختری- آذربایجان با نگرشی بر منطقه هشتجین در چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ارائه داد. پیروان (۱۳۸۱ و ۱۳۸۲) بیشتر دگرسانی منطقه طارم (محور قزوین- زنجان) را بررسی و ژنز آن را گرمایی بیان داشته است. حاج‌علیلو (۱۳۸۴) مقاله‌ای با عنوان بررسی کانی‌سازی‌های سرب، روی و مس مناطق شمال باختر زنجان و خاورمیانه در ارتباط با دگرسانی‌های گسترده گرمایی در سومین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران ارائه کرد. مؤید (۱۳۸۰) بررسی سنگ‌شناختی نوار آتشفشانی- نفوذی تشریری البرز باختری- آذربایجان را با نگرشی ویژه بر منطقه هشتجین و پتانسیل معدنی منطقه مورد بررسی قرار داد. از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور یک سری فعالیت اکتشافی مانند کنترل نواحی امیدبخش معدنی در برگه‌های طارم، رودبار، هشتجین و زنجان انجام داده است. وجود اندیس‌ها و معادن متروکه و فعال مس، سرب و روی در بخش‌های دیگر پهنه طارم (مانند معادن کردکندی، گلوچه، گلچجه، دهنه، کوهیان، علی‌آباد موسوی، شاه‌علی‌بیگللو، سنجده، چرمالو و مس بولاغی، زه‌آباد، باریک‌آباد، خلیفه‌لو، یقمان، شیرز، چودرچای و نهران) و همچنین حضور دگرسانی‌های گسترده و گسترش توده‌های نفوذی اسیدی تا حدواسط در این بخش سبب شده است تا این منطقه از دید زمین‌شناسی جزو مناطق مستعد برای اکتشاف پتانسیل‌های معدنی فلزی و غیرفلزی باشد. کانی‌سازی طلا در محیط‌های زمین‌ساختی متفاوتی رخ می‌دهد که بر پایه Groves et al. (1998) مهم‌ترین آنها شامل موارد زیر است: ۱) پهنه‌های فرورانش به‌صورت سامانه‌های پورفیری (Au, Cu-Au, Cu-Mo-Au)، اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین و سولفیداسیون بالا، چشمه‌های آبگرم، اپی‌ترمال نوع کارلین، سولفید توده‌ای نوع کوروکو و نوع اسکارنی (Sillitoe, 1993, 1995, 1997, 2002); (Sillitoe & Hedenquist, 2003)؛ ۲) پهنه‌های برخورد قاره‌ای به‌صورت محصول جانبی برخی از کانسارهای Sn-W پورفیری و نوع رگه‌ای در کمرندهای کوهزایی با سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و نفوذی‌های مرتبط (Bierlein & Maher, 2001); (Goldfarb et al., 2001)؛ ۳) پهنه‌های گسترش اقیانوسی همراه با سولفیدهای توده‌ای نوع قبرسی (Singer, 1986; Lydon, 1984). کانسارهای یاد شده هر یک از دید سنگ میزبان، نوع، شکل، گسترش پهنه‌های دگرسانی، پارائز، ژئوشیمی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محلول کانه‌ساز مانند دما و فشار و نیز مقدار عیار و ذخیره، ویژگی‌های بی‌همتایی دارند. کانسار مورد مطالعه مس طلا دار لهنه از جمله ذخایری است که در پهنه مس دار شمال زنجان قرار دارد. با بررسی‌های انجام شده معلوم شد که این ذخیره از دیرباز مورد توجه معدنکاران کهن بوده است؛ به گونه‌ای که آثار فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی از یک صد سال پیش (توسط معدنکاران ارمنستانی) تا دهه‌های اخیر مشهود است. به‌ویژه در امتداد رودخانه لهنه و محل قلعه ارمنی‌ها و در قله کوه لهنه‌داغ، کندوکاوها، ترانشه‌ها و تونل‌های برج مانده منطبق بر رگه‌های معدنی، مؤید این مدعا است. با توجه به پتانسیل معدنی منطقه،

۳- زمین‌شناسی کانسار

تعیین شده است. فلدسپار پتاسیم بیشتر ارتوز است و از دید شکل کانیایی به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و گاه با ماکل کالسپاد دیده می‌شود. مقدار فراوانی فلدسپار پتاسیم بر پایه شمارش مودال در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد تعیین شده است. از دیگر کانی‌های دیده شده در مقاطع نازک، آمفیبول‌ها هستند که به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و با فراوانی ۷ تا ۹ درصد حجمی کانی‌های سازنده سنگ و جزو کانی‌های فرعی گرانودیوریت به شمار می‌آیند. بر پایه ویژگی‌های نوری، آمفیبول‌ها از نوع هورنبلند هستند. بیوتیت هم به صورت اولیه (به مقدار کم) و هم به صورت ثانویه (از دگرسانی هورنبلند) در مقاطع مربوط به گرانودیوریت‌ها دیده می‌شود. بیوتیت حدود ۳ تا ۴ درصد حجم کانی‌های سنگ را تشکیل می‌دهد. اسفن به مقدار ۱ درصد در برخی مقاطع گرانودیوریت‌ها دیده می‌شود. از دید میکروسکوپی دارای بافت گرانولار و کانی‌های اصلی آنها شامل پلاژیوکلاز (۳۰ تا ۴۰ درصد)، فلدسپار پتاسیم (۲۰ تا ۲۶ درصد)، آمفیبول (۲۱ درصد) و بیوتیت (۵ درصد) است. کانی‌های فرعی نیز شامل کوارتز (۲ درصد) و کانی‌های کمیاب و کدر نیز شامل اسفن، مگنتیت، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های ثانویه شامل کلریت، اپیدوت، سرسیست و کانی‌های رسی است. بیشتر کانی‌ها دچار دگرسانی شده‌اند. فلدسپارها بیشتر به کانی‌های رسی و سرسیست تبدیل شده‌اند. آمفیبول‌ها نیز تحت تأثیر دگرسانی به کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند (رحمانی، ۱۳۸۹). سنگ‌های آتشفشانی شامل گدازه‌های تراکی آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری (توف نواری، لیتیک‌توف، توف برش، توف ماسه‌ای) هستند. تراکی آندزیت‌ها بر پایه مطالعات میکروسکوپی (رحمانی، ۱۳۸۷) دارای بافت پورفیریتیک با زمینه میکروولیتی و پورفیری با زمینه ریزدانه تا شیشه‌ای هستند. کانی‌های سازنده شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز و کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت و سرسیست است. سنگ‌های لیتیک‌توف (جنس درشت‌بلورها از کانی پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی است) دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم هستند. کانی پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و تجزیه شده به کانی‌های رسی و سرسیست است. فراوانی فلدسپار پتاسیم کمتر از پلاژیوکلاز و به کانی رسی تجزیه شده است. توف برش‌ها معادل لایه f سازند کردکند (Hirayama et al., 1965) با رنگ روشن دارای ترکیب اسیدی هستند. کانی‌های اصلی در توف برش‌ها، پلاژیوکلاز (به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و تجزیه شده به سرسیست و کانی رسی و دارای ترکیب سدیک) و کوارتز بی‌شکل با خاموشی موجی است. کانی‌های فلدسپار پتاسیم به شدت به کانی‌های رسی و سرسیستی تبدیل شده است. توف برش‌ها دارای خردشدگی و نفوذپذیری بالا هستند. سنگ‌های آذرآواری منطقه توسط سازمان زمین‌شناسی کشور (امینی، ۱۳۷۸) در پروژه اکتشاف طلای ابدی‌ترمال در پهنه طارم مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بر پایه گزارش تلفیق و مدل‌سازی اطلاعات زمین‌شناسی گروه GIS (گیاه‌چی، ۱۳۸۳) با استفاده از روش دورسنجی (R.S)، در ناحیه مورد مطالعه ۳ سامانه گسل تأثیرگذار بوده‌اند که یکی دارای امتداد شمال باختر- جنوب خاور، دیگری دارای امتداد شمال خاور- جنوب باختر و سومی دارای امتداد شمالی- جنوبی است. گسل‌های با امتداد شمال خاور- جنوب باختر، جوان‌تر از گسل‌های نوع شمال باختر- جنوب خاور هستند و روی آنها اثر گذاشته‌اند. احتمالاً گسل‌های ناحیه شامل انواع گسل‌های عادی، امتدادلغز و وارون هستند، ولی به علت یکنواختی سنگ‌شناسی سنگ‌های دو سوی گسل‌ها و نبود یک لایه کلیدی، نمی‌توان در مورد مؤلفه‌های حرکتی قائم این گسل‌ها اظهار نظر قطعی کرد و به همین دلیل تنها مؤلفه حرکتی امتدادلغز گسل‌ها تا حدودی قابل تشخیص است. گسل رودخانه لهنه از مهم‌ترین گسل‌های منطقه با روند شمال خاوری- جنوب باختری است که به عنوان کنترل‌کننده پهنه‌های برشی و رگه‌های کانه‌دار، رفتار کرده و از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در منطقه دیده می‌شود (رحمانی، ۱۳۸۹). در امتداد این گسل، محلول‌های گرمابی نفوذ کرده و

محدوده مورد مطالعه بر پایه تقسیم‌بندی‌های مختلف زمین‌شناسی از دید Stocklin (1968) و Nogole Sadat (1993) در پهنه البرز، از دید نبوی (۱۳۵۵) و افتخارنژاد (۱۳۵۹) در پهنه مجموعه ماگمایی ترشیری البرز باختری- آذربایجان، و از دید آقاناتی (۱۳۸۳) در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است. روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، همسان با دیگر مناطق البرز باختری NW-SE و از دیدگاه ساختمانی محدوده مورد بررسی جزو زیر پهنه طارم است (درویش‌زاده، ۱۳۸۲). آشکارترین واحدهای سنگی منطقه، سنگ‌های گرانیتوئیدی، آتشفشانی (گدازه‌ای و آذرآواری) است. سنگ‌های آتشفشانی به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از ۱) سنگ‌های آتشفشانی آذرآواری، توف نواری، توف برش و توف ماسه‌ای به سن ائوسن (ممبر کردکند)؛ ۲) گدازه‌های تراکی آندزیتی، آندزیت بازالتی، داسیتی، ریوداسیتی (ممبر کردکند) و ۳) رسوبات مارنی، رسی و توفیتی الیگوسن بالایی- میوسن (Davis et al., 1972) است. واحدهای آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی معادل سازند کرج (Hirayama et al., 1965) بیشتر ناحیه را تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه جایگیری توده نفوذی در ژرفای کم صورت گرفته، بنابراین تأثیر گرمایی چندان در سنگ‌های درونگیر نگذاشته ولی به دلیل فشار بخشی بالای H₂O در ماگمای سنگ‌های مورد بحث، انواع دگرسانی گرمابی در منطقه مورد بررسی گسترش یافته است (مؤید، ۱۳۷۰). یک حاشیه دگرگونی در حد رخساره آلپیت- اپیدوت- هورنفلس در اثر نفوذ استوک‌ها و دایک‌های الیگوسن در واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی منطقه دیده می‌شود (امینی و همکاران، ۱۳۷۸). همچنین پهنه‌هایی از دگرسانی‌های مختلف به‌ویژه در همبری توده‌های نفوذی الیگوسن، به فراوانی دیده می‌شود. این واحدهای سنگی به دلیل مقاومت در برابر فرسایش، بیشتر شکل‌های پرتگاهی را به نمایش می‌گذارند. اصولاً به دلیل عدم یکنواختی نسبی واحدهای زمین‌شناسی رخنمون‌دار در منطقه و ویژگی‌های مقاومتی به نسبت بالای این واحدها در برابر عوامل هوازگی و فرسایش، شکل ناحیه حالت یکنواختی ندارد و گوناگونی از دید وضعیت برونزد واحدها در ناحیه وجود دارد. Vatan & Yassini (1968) محیط رسوبی توف‌های سبز کرج را به علت داشتن لایه‌بندی و نظم تدریجی، محیط کم‌ژرفا و احیایی (به‌علت ایجاد رنگ سبز) دانسته‌اند. بر پایه شواهد صحرایی (رحمانی، ۱۳۸۹) توف‌های نواری با لایه‌بندی و نظم تدریجی و وجود لایه‌های گچ بدون مطالعات ایزوتوپی نشان می‌دهد که توف‌های نواری منطقه مورد مطالعه در یک محیط دریایی کم‌ژرفا و راکد (محیط لاگونی) تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۶-a و b). بر پایه تهیه مقاطع نازک صیقلی و صیقلی در نمونه دستی توف‌های نواری دارای پیریت (پیریت‌های نسل اول) فراوان و احتمالاً مهم‌ترین واحد سنگی تأمین‌کننده سولفور کانی‌های سولفیدی هستند (شکل ۶-b). توده نفوذی منطقه دارای گسترش و پراکندگی زیاد و بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری (گزارش زمین‌شناسی اقتصادی ۱:۲۵,۰۰۰ لهنه) در رده سنگ‌های مونزوگرانیت- مونزوگرانودیوریت، کوارتز مونزونیت و مونزونیت قرار دارد (شکل ۳-a). گرانودیوریت‌ها از دید میکروسکوپی به رنگ روشن هستند و کانی‌های روشن آنها نسبت به کانی‌های تیره بیشتر است. از دید میکروسکوپی گرانودیوریت‌ها بافت گرانولار دارند. کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم و کانی‌های فرعی آمفیبول، بیوتیت و مقادیر ناچیزی اسفن است. کلریت، اپیدوت، کانی‌های رسی و سرسیست از جمله کانی‌های ثانویه گرانودیوریت هستند. کوارتز به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و با فراوانی ۳۲ تا ۳۴ درصد حجمی اجزای سازنده سنگ است. فراوانی پلاژیوکلاز در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد حجمی کانی‌های سازنده سنگ است. کانی پلاژیوکلاز دارای ماکل پلی‌ستتیک است و کمتر ساخت منطقه‌ای نشان می‌دهد. بر پایه اندازه‌گیری زاویه خاموشی، ترکیب پلاژیوکلاز سازنده گرانودیوریت‌های منطقه مورد مطالعه، الیگوکلاز- آندزین

هاله‌های دگرسانی در منطقه تشکیل شده‌اند. بیشتر گسل‌های فرعی به صورت پرمانند در پیرامون این گسل تشکیل شده‌اند که بیشتر روند خاوری-باختری دارند. برای اینکه نفوذ پذیری در گسل‌های فرعی (به علت برش‌های دانه درشت) بیشتر از گسل اصلی (به علت برش دانه‌ریز و خاکه نرم که مانع از حرکت سیال می‌شود) است، بیشتر کانی‌سازی در شبکه گسل‌های فرعی متمرکز شده است. در مورد گسل اصلی رودخانه لهنه و گسل‌های فرعی آن نیز این پدیده صادق است (گیاه‌چی، ۱۳۸۳). به علت عوامل زمین‌ساختی و فرسایش، حالت برجستگی و صخره‌سازی در منطقه ایجاد شده است.

به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده نفوذی، ۴۰ نمونه از سنگ‌های گرانیتوئیدی و ۱۱ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی تراکی آندزیتی به روش XRF در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. نتایج تجزیه با استفاده از نرم‌افزار Minpet پردازش شده و روی نمودارهای مختلف منتقل شده‌اند. مطابق این جدول طیف گسترده‌ای از نمونه‌ها برای SiO_2 مقادیری از ۵۳ درصد تا ۷۶ درصد را برای توده نفوذی نشان می‌دهند. بر پایه مقادیر ارائه شده در جدول، با افزایش SiO_2 مقدار اکسیدهای CaO ، TiO_2 ، MnO ، MgO ، Fe_2O_3 ، P_2O_5 کاهش می‌یابد. کاهش اکسیدهای MnO ، MgO ، Fe_2O_3 ، TiO_2 می‌تواند به علت جایگیری آنها در ساختار کانی‌های فرومیزین در مراحل اولیه تبلور تفریقی ماگما و کاهش اکسیدهای CaO ، Al_2O_3 ، P_2O_5 نیز به خاطر تغییر ترکیب پلاژیوکلاز از آنورتیت کمتر به سوی آلپیت بیشتر و کاهش مقدار آپاتیت در مراحل پایانی تبلور باشد. تغییرات اکسیدهای Na_2O و K_2O در برابر SiO_2 روندی افزایشی نشان می‌دهد تا در پایان وارد ساختمان فلدسپارها می‌شوند. مطابق نمودار A/CNK در برابر A/NK (Shand, 1943) توده نفوذی در محدوده متاآلمین قرار گرفته است (شکل ۳- b). بر پایه نمودار P_2O_5 در برابر SiO_2 نمونه‌های مورد مطالعه از روند گرانیتوئیدهای نوع I پیشنهاد شده توسط White & Chappel (1992) پیروی می‌کنند (شکل ۳- c). در نمودار Log Y-Log Nb در برابر Log Y+Nb-Log Rb (Pearce et al., 1984) و نمودار Log Y-Log Nb در برابر Log Y+Nb-Log Rb (Pearce et al., 1984) نمونه‌های توده نفوذی در محدوده مربوط به گرانیت‌های کمان آتشفشانی، درون صفحه‌ای و محدوده پس از برخورد جای می‌گیرند (شکل‌های ۳- d و e). نمودارهای $\text{Mw}\%(\text{MgO})-\text{Fw}\%(\text{FeO})$ (Maniar & Piccoli, 1989) و نمودار $\text{SiO}_2-\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ (Maniar & Piccoli, 1989) نمونه‌ها در محدوده گرانیت‌های کمان آتشفشانی و مناطق برخوردی جانمایی می‌شوند (شکل‌های ۳- f تا g). مطابق نمودار R1-R2 (Batchelor & Bowden, 1985) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده پیش از برخورد قاره‌ای جای می‌گیرند (شکل ۳- h). بر پایه شواهد صحرایی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه و نیز استفاده از نمودارهای اکسید-اکسید (Maniar & Piccoli, 1989) به احتمال قوی توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه از نوع I و متعلق به سری گرانیتوئیدهای CCG، IAG و POG هستند. بر پایه مطالعات صحرایی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و نسبت مقادیر عناصر فرعی به کندریت (نمودار عنکبوتی ارائه شده توسط مؤید (۱۳۷۰))، توده گرانیتوئیدی همانند با سری کالک آلکانلن کوردیلرایی و متعلق به سری‌های مناطق فرورانش است. جایگیری سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی در طول شکستگی‌ها و گسل‌های ژرفی که در نواحی محیط برخوردی ماگمایی حاشیه قاره‌ها زمانی عملکرد کششی داشته‌اند، صورت گرفته است (مؤید، ۱۳۷۰). نام‌گذاری شیمیایی گدازه‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه بر پایه نمودار Winchester & Floyd (1977) صورت گرفته است و سنگ‌های منطقه در محدوده ریوداسیت، داسیت، تراکی آندزیت جای می‌گیرند (شکل ۳- i). از نمودار سنگ‌های تراکی آندزیتی برای تعیین ترکیب ماگما و موقعیت زمین‌ساختی استفاده شده است. سنگ‌های تراکی آندزیتی در نمودار

۴- کانه‌زایی

کانی‌زایی طلا در سنگ‌های کوارتز مونزونیتی، مونزونیتی و توف برش‌های قطع شده توسط توده نفوذی صورت گرفته است. ولی توف برش‌ها به علت گسلش و خردشدگی و نفوذپذیری بالا، سنگ میزبان اصلی کانی‌زایی طلا به شمار می‌آیند. کانی‌سازی در منطقه از نوع شکافه‌پرکن و به صورت برش‌های گرمایی و رگه‌های سیلیسی است (شکل‌های ۶- d، e و f). ۹ رگه سیلیسی در منطقه شناسایی شده است. دو رگه اصلی دارای ستبرای متوسط یک متر و طول به ترتیب ۴۰۰ و ۵۰۰ متر هستند. رگه‌ها دارای راستای شمالی-شمال خاوری و سوی شیب خاور و جنوب خاوری هستند (شکل ۲ در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵,۰۰۰ لهنه). بر پایه مطالعات صحرایی، کانه‌زایی در رگه‌های سیلیسی و برش‌های گرمایی رخ داده است. رگه‌های سیلیسی به رنگ سفید و سبز آبی (به علت آغشتگی مالاکیتی و آزوریتی) و در برخی محل‌ها به علت دگرسانی هماتی، به رنگ ظاهری سرخ تا قهوه‌ای دیده می‌شوند. کانی‌های سولفیدی، سولفوسالتی و اکسیدی به صورت اولیه و ثانویه همراه با باطله سیلیسی تشکیل شده‌اند (شکل ۶- d تا i). بافت و ساخت رگه‌های سیلیسی در نمونه دستی به صورت نوارهای پوسته‌ای کلسدونی شانه‌ای و پرکننده فضای خالی و برشی است (شکل‌های ۷- a تا k). رگه‌های سیلیسی بیشتر ناپیوسته هستند و هر رگه از تعدادی بخش‌های ناپیوسته تشکیل شده است که در یک امتداد قرار دارند. عیار متوسط طلا در نمونه‌های برداشت شده ۴/۳۵۰ گرم در تن، نقره ۳۳۰ گرم در تن، مس ۴۷۳۰۰ گرم در تن، روی ۵۲۶۰۰ گرم در تن و سرب ۶۷۳۰۰ گرم در تن است. کمترین و بیشترین مقادیر طلا در منطقه اکتشافی لهنه ۰/۰۰۲ تا ۴/۳۵۰ گرم در تن است. در رگه اصلی ۱۱ نمونه میان ۱/۰ تا ۴/۳۵۰ گرم در تن طلا داشته‌اند. بیشترین مقدار نقره ۳۳۰ گرم در تن، روی ۵۲۶۰۰ گرم در تن، سرب ۶۷۳۰۰ گرم در تن، کادمیوم ۳۹۹ گرم در تن، مولیبدن ۱۶۸ گرم در تن، سریم ۳۱۶ گرم در تن، تنگستن ۶۴۳ گرم در تن و آنتیموان ۴۰۴۰ گرم در تن است. بیشترین مقدار اورانیم ۲۰۴ گرم در تن و بالاترین مقدار مس ۴۷۳۰۰ گرم در تن است. مقادیر مس در بیشتر نمونه‌ها بیش از ۵۰ گرم در تن است. این امر نشان می‌دهد که احتمالاً کانی‌سازی مس در منطقه منحصر به درزه و شکستگی‌ها نیست و در بخش‌های بسیاری تمرکز قابل توجهی دارد ولی این مورد با وجود عوامل زمین‌ساختی به عنوان کنترل‌کننده کانی‌سازی تعارض ندارد (جدول ۳).

۵- کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی

مجموعه کانی‌های محدوده معدنی لهنه شامل کانه‌های فلزی (سولفیدی و اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاتی و کربناتی) است که طی دو فاز کانی‌سازی درون‌زاد (اولیه) و برونزاد (ثانویه) شکل گرفته است (جدول ۴). کانی‌زایی در رگه‌های یاد شده به صورت برش‌های گرمایی، رگه-رگه‌های سولفیدی-سیلیسی و رگه-رگه‌های تأخیری با بافت نواری رخ داده است (شکل‌های ۶- d تا f). به غیر از موارد یاد شده، رگه-رگه‌های سیلیسی بدون بار با روندهای مختلف در منطقه معدنی دیده می‌شوند که بخش‌های کانه‌دار را قطع کرده‌اند. نتایج مطالعات میکروسکوپی مقاطع صیقلی، مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) مقاطع نازک صیقلی و مطالعات XRD نشانگر تشکیل کانه‌های سولفیدی، سولفوسالتی، اکسیدی و کربناتی به صورت اولیه و ثانویه همراه با کانی‌های باطله همچون کوارتز، کلسیت، فلدسپار قلبایی و کانی‌های رسی در مراحل کانی‌زایی است (شکل ۹). در زیر به معرفی این کانی‌ها و

کانی‌های سولفیدی ناشی از فعالیت گرمایی دیده می‌شود (شکل‌های ۸- e، h و i). اسفالریت به صورت پراکنده و بی‌شکل همراه با کالکوپیریت دارای بافت پرکننده حفرات دیده می‌شود. ابعاد بلورهای این کانی متغیر (۲۰ تا ۱۰۰ میکرون) است. در مطالعات میکروسکوپی با گالن دارای مرز آشکاری است که نشان‌دهنده تشکیل همزمان آنها در مرحله گرمایی است (شکل‌های ۸- d و e). در برخی از مقاطع، گالن پیرامون اسفالریت را فرا گرفته یا از حاشیه جانشین آن شده است که نشان‌دهنده تشکیل آن پس از کانی اسفالریت است. گالن با بافت توده‌ای، رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی در سطح درزه‌ها و شکستگی‌ها در باطله سیلیسی دیده می‌شود. گالن در اثر فرایندهای زمین‌ساختی و دگرشکلی بعدی حاکم در منطقه به شدت خرد و رخ‌های مثلثی شکل آن به مثلث‌های کشیده (شمشیری شکل) تبدیل شده است (شکل‌های ۸- d تا f). پدیده جانشینی در اثر تبدیل گالن به سولفیدهای مس‌دار مطابق با سری شرم‌ن است. گالن در اثر فرایندهای برنژاد به انگلزیت و سروزیت تبدیل شده است. آرسنوپیریت در مقاطع میکروسکوپی دیده نشد ولی در مطالعات SEM مشخص شد. این کانی درون کالکوپیریت‌ها دیده می‌شود (شکل ۹).

۵-۲. کانی‌های باطله

کوارتز مهم‌ترین کانی باطله همراه با کانه‌های فلزی در کانسار لهنه است. در پهنه کانه‌زایی، این کانی با بافت‌های پرکننده فضای خالی، تیغه‌ای، شانه‌ای و قشرگون- کلوفرمی- نواری با سولفیدهای مختلف همراه است. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، ۳ نسل کوارتز در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار دیده می‌شود؛ کوارتز نهان‌بلور تا ریزبلور نسل اول که در بیشتر موارد ابعاد کمتر از ۲۰۰ میکرون دارد و معمولاً در زمینه سنگ (توف‌برش‌ها) دیده می‌شود (شکل‌های ۷- m تا o). کوارتزهای نسل دوم در ابعاد ۶۰۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر که در کانسنگ سیلیسی (رگه و پهنه سیلیسی) به صورت بلورهای خودشکل و بسیار درشت در مرکز رگه تشکیل شده‌اند. این کوارتزها همراه با کانی‌سازی سولفیدی و طلا هستند (شکل‌های ۷- a تا z و ۸- m تا r). کوارتزهای نسل دوم حاصل محلول‌های گرمایی سیلیس‌دار هستند که سیلیس خود را به صورت رگه‌های سیلیسی میزبان کانی‌زایی سولفیدهای عناصر پایه و طلا، به فرم شانه‌ای و نواری ته‌نشست داده‌اند (شکل‌های ۱۰- a تا i).

کانی‌های رسی و آدولاریا کانی‌های سیلیکاتی گرمایی هستند که حدود ۵ تا ۱۰ درصد حجمی از رگه‌های سیلیسی و سنگ دیواره دگرسان شده سنگ میزبان کانی‌های سولفیدی را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۱۰- a تا i). حضور برش‌های گرمایی، آدولاریا و کلسیت تیغه‌ای از شواهد جوشش در ژرفای کم و میعان بخارات داغ اسیدی است (Camprubi et al., 2001; Hedenquist et al., 2000). این کانی‌ها بر پایه مطالعات میکروسکوپی و کانی‌شناسی (XRD) شناسایی شده‌اند و به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل همراه کوارتزهای ریزبلور گرمایی یافت می‌شوند. از دیگر کانی‌های باطله به مقدار خیلی کم باریت است که بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری و SEM شناسایی شده است. باریت همراه با گالن تشکیل شده است (شکل ۹- j). سریسیت و کانی‌های رسی جانشین درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپار شده‌اند (شکل‌های ۱۰- a تا i).

۶- دگرسانی

بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی، دگرسانی گرمایی در منطقه مورد مطالعه به ۲ صورت جانشینی کانی‌های پیشین و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگی‌ها رخ داده است. بررسی‌های کانی‌شناسی نشان‌دهنده حضور کانی‌های کوارتز، آدولاریا، ایلیت، سریسیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت و کائولینیت در مجموعه دگرسانی منطقه مورد بررسی است (جدول ۶). رخداد و پراکندگی زمانی و مکانی این کانی‌ها نشانگر افزایش شدت دگرسانی در پیرامون رگه‌های کوارتز

بافت‌های شاخص و تشکیل آنها در طول مراحل کانه‌زایی و ارتباط آنها با یکدیگر پرداخته می‌شود.

۵-۱. کانی‌های فلزی

طلا به تعداد ۲ ذره با ابعادی میان ۲ تا ۱۵ میکرون در نمونه موجود است. ذرات طلا هیچ‌گونه درگیری با کانی‌های دیگر ندارند و تنها در باطله سیلیسی به صورت پرکننده حفرات و شکستگی دیده شده‌اند. بر پایه مطالعات SEM درصد وزنی طلا در سطح نمونه ۱۰۰ درصد است (شکل‌های ۹- a، b و c). ذرات طلا در رگه‌های سیلیسی همراه با کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و اکسیدهای آهن دیده شده‌اند. کانی‌های نقره در مطالعات کانه‌نگاری دیده نشدند ولی بر پایه مطالعات SEM، نقره هم به صورت خالص در باطله سیلیسی و هم در شبکه گالن و کانی تتراهدریت دیده شده است (شکل‌های ۹- a تا k). وجود ساخت و بافت نواری، برشی، رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی در کانسار لهنه نشان‌دهنده ماهیت اپی‌ژنیتیک کانسار است. نقره در باطله سیلیسی همراه کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تتراهدریت دیده شده است. کالکوپیریت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار لهنه است. این کانی با اندازه‌های متفاوت (۳۰ تا ۴۰۰ میکرون) با درصد فراوانی ۳۰ درصد در سطح مقطع مورد مطالعه پراکنده است. بلورهای کالکوپیریت بیشتر به صورت نیمه‌شکل‌دار هستند. بر پایه مطالعات آزمایشگاهی حالت برشی شدن و بافت کاتاکلاستیکی بی‌ارتباط با فعالیت‌های زمین‌ساختی پس از کانی‌سازی نیست (شکل‌های ۸- d تا j). کالکوپیریت به صورت پرکننده فضاهای خالی همراه با کانی‌های بورنیت، اسفالریت، گالن و پیریت دیده می‌شود. بورنیت و تتراهدریت به صورت هم‌رشدی با کالکوپیریت دیده می‌شوند. بورنیت در حاشیه یا در بخش شکستگی کالکوپیریت دیده می‌شود که نشان می‌دهد بورنیت پس از کالکوپیریت تشکیل شده است (شکل‌های ۸- d تا j). همچنین در اثر فرایندهای برنژاد، کالکوپیریت از حاشیه و یا از مرکز به وسیله کالکوسیت (با بافت کلوییدی)، کوولیت- دیژنیت، اکسیدهای آهن و مس (بر پایه تجزیه SEM)، مالاکیت و آزوریت جانشین شده است (شکل‌های ۸- d تا j). پیریت در سطح مقطع مورد مطالعه دارای درصد فراوانی حدود ۱۰ درصد و با اندازه متفاوت (۵ تا ۱۰ میکرون) است (شکل ۸- g). پیریت را می‌توان به صورت ۳ نسل در منطقه لهنه تفکیک کرد؛ نسل اول شامل پیریت‌های ریزبلور تا دانه‌درشت به صورت دانه‌پراکنده و خودشکل تا نیمه‌خودشکل در توده مونوزونیتی، توف‌برش و توف‌های نواری دیده می‌شود (شکل‌های ۷- m تا r). نسل دوم پیریت با بافت کاتاکلاستیکی و برشی شامل پیریت‌های نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار است که طی مراحل گرمایی همراه کالکوپیریت، گالن و اسفالریت دیده می‌شود (شکل‌های ۸- g). این پیریت‌ها بیشتر از کناره‌ها و مرز شکستگی‌ها به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن با بافت کلوفرم تبدیل شده‌اند. این نسل از پیریت‌ها در برخی نمونه‌ها درون کانی کالکوپیریت دیده می‌شوند که نشان‌دهنده تشکیل آنها پیش از کانی کالکوپیریت است. نسل سوم پیریت با بافت کلوفرمی و کمی گرد شده است که در مراحل تأخیری و افول سامانه گرمایی در باطله سیلیسی بدون کانی‌سازی سولفیدی تشکیل شده است (شکل ۷- r). بورنیت یکی دیگر از سولفیدهای مس در کانسار لهنه است که بر پایه مطالعات میکروسکوپی به صورت اولیه و نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل به فرم هم‌رشدی با کالکوپیریت دیده می‌شود. در برخی مقاطع بورنیت در حاشیه کالکوپیریت تشکیل شده است که نشان از جانشینی آن دارد. درصد فراوانی بورنیت در سطح مقطع مطالعه شده حدود ۱۵ درصد و ابعاد بلورها متغیر (۳۰ تا ۲۰۰ میکرون) است. این کانی از حاشیه و در امتداد رخ‌ها با بافت تیغه‌ای و جانشینی به کالکوسیت، کوولیت و اکسیدهای مس و آهن (بر پایه تجزیه SEM) تبدیل شده است (شکل‌های ۸- d تا z). تتراهدریت تنها کانی سولفوسالتی در کانسار لهنه است که به صورت بی‌شکل در اندازه‌های متفاوت (۱۰ تا ۵۰ میکرون) به صورت ادخال‌های بی‌شکل و دانه‌ریز درون کالکوپیریت و بورنیت همراه با

ایی ترمال نیازمند شرایط اسیدی و وجود مقادیر کمی از کاتیون‌های بازی است که ممکن است در ارتباط با محلول‌های گرمایی با دمای ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۴ تا ۵ تشکیل شوند. این نوع کائولینیت در نزدیکی رگه‌های کانی‌سازی تشکیل شده و وابسته به سامانه‌های اپی‌ترمال گروه سولفیدی شدن بالاست (White & Hedenquist, 1995). افزون بر کائولینیت، لکه‌هایی از آلونیت نیز در مقاطع نازک دیده شده است. این کانی می‌تواند بر اثر میعان بخارات داغ در نواحی کم‌ژرفا و بخش‌های حاشیه‌ای سامانه گرمایی (White & Hedenquist, 1995) و یا در ارتباط با فرایندهای برونزاد و تشکیل آب‌های اسیدی حاصل از اکسایش کانی‌های سولفیدی تشکیل شود (Hedenquist et al., 2000). با توجه به گسترش سطحی دگرسانی رسی در منطقه مورد مطالعه و نبود شواهدی از وجود سامانه گرمایی نوع سولفیدی شدن بالا، به نظر می‌رسد تشکیل کائولینیت و گسترش دگرسانی رسی در این منطقه بیشتر در ارتباط با میعان بخارات داغ و دگرسانی برونزاد کانی‌های سولفیدی رخ داده باشد. مونت‌موریلونیت در برخی از نمونه‌های مورد مطالعه شناسایی شد که می‌توان آن را به تغییر در شرایط pH از اسیدی به خنثی، تغییر در ترکیب شیمیایی محلول گرمایی و یا نسبت واکنش آب به سنگ در سامانه گرمایی نسبت داد (Simpson et al., 2001). نتایج مطالعات XRD در جدول ۶ ارائه شده است.

۷- ژئوشیمی کانسنگ

بررسی‌های سنگ‌ژئوشیمیایی روی ۵۹ نمونه که به صورت تکه‌ای از رگه سیلیسی کانه‌دار با هاله سیلیسی-سرسییتی-رسی برداشت شده‌اند، انجام پذیرفته است. نمونه‌ها به روش اسپکتروگرافی نشری برای طلا و ICP-OES برای بقیه عناصر تجزیه شده‌اند (جدول ۳). نتایج به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و تعبیر و تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است. به منظور بررسی همبستگی آماری میان متغیرهای کانه‌ساز در منطقه، از ماتریس همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بهره گرفته شد. همبستگی عبارت است از سنجشی از شدت وابستگی دو متغیر اندازه‌گیری شده در مجموعه‌ای از داده‌های منفرد. وضعیت توزیع و پراکنندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی یک کانسار و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهم‌ترین موارد در بررسی ژئوشیمیایی است؛ زیرا با استفاده از آن می‌توان تا حدودی به محیط و فرایندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد. بر این اساس عنصر طلا با عناصر نقره (۰/۷۸)، مس (۰/۸۱)، آرسنیک (۰/۷۰)، سرب (۰/۶۴)، روی (۰/۶۰)، گوگرد (۰/۴۴)، آنتیمون (۰/۶۴)، بیسموت (۰/۴۵)، اورانیم (۰/۲۹) و مولیبدن (۰/۲۳) ارتباط معناداری در رگه‌های کوارتز-سولفیدی کانه‌دار کانسار مورد مطالعه دارد (جدول ۷). داده‌های ضریب همبستگی با مطالعات کانه‌نگاری و SEM همخوانی دارند. ذرات طلا در باطله سیلیسی با کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، بورنیت و سولفوسالت همراه هستند. با توجه به مقدار چولگی (جدول ۵) مشخص می‌شود که توزیع آماری طلا، نقره، مس، سرب و روی غیر عادی و توزیع آماری کبالت نزدیک به عادی است. به منظور بررسی میزان غنی‌شدگی عناصر یاد شده در کانسار مورد مطالعه، میانگین عناصر نسبت به مرجع کلارک این عناصر در سنگ‌های منطقه (در این پژوهش جنس سنگ‌ها اسیدی مانند گرانیت، گرانودیوریت، توف برش ریوداسیتی است) در جدول ۵ ارائه شده است. در این بخش از پژوهش به منظور تعیین ارتباط میان عناصر در سنگ‌های کانه‌زا، از نمودارهای خوشه‌ای و سه‌بعدی استفاده شده است (شکل‌های ۴ و ۵). بر پایه نمودار خوشه‌ای، طلا با نقره، مس و سپس با سرب، روی، کادمیم و آنتیمون دارای همبستگی است. در نمودار خوشه‌ای اولی (شکل ۵- a) عناصر به دو گروه تقسیم شده‌اند که شامل عناصر کانسار ساز (در بخش بالایی نمودار) و عناصر سنگ‌ساز در بخش پایینی نمودار هستند. در نمودار خوشه‌ای دوم عناصر کانسار ساز به ۵ گروه تقسیم شده‌اند (شکل ۵- b).

است که با حضور کوارتز، آدولاریا، ایلیت و سرسییت مشخص می‌شود. با دور شدن از رگه‌ها، شدت دگرسانی کاهش یافته و در فاصله ۴۰ تا ۷۰ متری از رگه‌ها، کانی‌های اپیدوت، کلریت و گاه کلسیت جانشین کانی‌های اولیه شده است. بررسی مجموعه‌های دگرسانی نشان از رخداد دگرسانی‌های سیلیسی، سرسییتی، پروپیلیتی و رسی در منطقه مورد مطالعه دارد. کوارتز رایج‌ترین کانی گرمایی در سنگ دیواره نزدیک رگه‌های کانه‌دار است. این کانی بیشتر به صورت ریزبلور درون کانی‌های اولیه و زمینه سنگ دیده می‌شود که تشکیل آن را در طی فرایندهای جانشینی نشان می‌دهد. از سوی دیگر، بلورهای نیمه‌شکل‌دار این کانی در شکستگی‌ها و فضاهای خالی سنگ دیده شد، که نشان‌دهنده نهشت مستقیم آن است. فراوانی کوارتز در نمونه‌های مورد مطالعه متغیر است و گاه تا ۵۰ درصد حجمی سنگ را به‌ویژه در نزدیکی پهنه‌های کانی‌سازی به خود اختصاص می‌دهد. به نظر می‌رسد فراوانی کوارتز در نزدیکی مجراهای عبور محلول‌های گرمایی افزایش می‌یابد که منطبق بر افزایش نفوذپذیری ثانویه ناشی از عملکرد نیروهای زمین‌ساختی است (شکل‌های ۱۰- a تا i). آدولاریا تنها فلدسپار گرمایی است که حدود ۵ تا ۱۰ درصد حجمی از رگه‌های کوارتز، برش‌های گرمایی و سنگ دیواره دگرسان شده را در بر می‌گیرد. در توف‌برش‌های دگرسان شده، مقدار این کانی تا ۳۰ درصد می‌رسد. این کانی بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی (XRD) و SEM مورد تأیید قرار گرفت. این کانی به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار به‌طور معمول همراه با کوارتزهای گرمایی یافت می‌شود (شکل‌های ۸- p، q و r و ۹- e و f). آدولاریا در شرایط pH نزدیک به خنثی تا قلیایی تشکیل می‌شود (Cooke & McPhail, 2001) و از کانی‌های شاخص کانسارهای اپی‌ترمال گروه سولفیدی شدن پایین است (Simmons et al., 2001). حضور این کانی نشان‌دهنده پدیده جوشش در ژرفای کم و میعان بخارات داغ اسیدی است (Camprubi et al., 2001; Hedenquist et al., 2000). سرسییت و ایلیت از محصولات دگرسانی گرمایی هستند که به‌طور چیره جانشین درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپار و گاه زمینه سنگ شده‌اند. این کانی‌ها به‌طور چیره در توف‌های داسیتی دگرسان شده و قطعات برش گرمایی دیده می‌شوند و بیشترین فراوانی را در پیرامون رگه‌ها دارند. کلسیت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار صفحه‌ای، همراه با برش‌های گرمایی و نیز به‌عنوان محصول دگرسانی دیده شده است (شکل‌های ۸- p، ۱۰- a تا i). کلسیت در توف‌برش‌ها، بی‌شکل است و فراوانی آن در توف‌برش‌های دگرسان شده تا ۳۰ درصد حجم سنگ می‌رسد. کلسیت به صورت جانشینی در پلاژیوکلاز و زمینه سنگ و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود (شکل‌های ۱- p و ۸). حضور کلسیت در سامانه‌های گرمایی به غلظت بالای CO₂ که برای انتقال طلا به صورت کمپلکس سولفیدی بسیار اهمیت دارد، نسبت داده می‌شود. غلظت بالای CO₂ موجب گسترش قلمرو پایداری کلسیت در راستای کاهش نسبت $\log(aCa^{+2}/aH^{+})^2$ و کم شدن فازهای کالک‌سیلیکاتی می‌شود که امروزه اثر آن در سامانه‌های زمین‌گرمایی به خوبی شناخته شده است (Mauk et al., 2006).

کلریت در نزدیکی رگه‌های کوارتز فراوانی کمی دارد (کمتر از ۷ درصد حجمی) و با دور شدن از رگه‌ها و به‌ویژه در سنگ‌های توف‌برش و کریستال توف بر فراوانی آن افزوده می‌شود. کلریت جانشین بیوتیت، آمفیبول و پلاژیوکلاز شده است و گاه به صورت پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. حضور کائولینیت و مونت‌موریلونیت در مجموعه‌های دگرسانی منطقه مورد مطالعه به روش پراش پرتو ایکس تعیین شد (جدول ۶). این کانی بیشتر جانشین درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپار شده است. اگر چه در برخی نبرخ‌های مورد مطالعه، کائولینیت در هاله‌های چند سانتی‌متری در کنار رگه‌ها دیده شد، ولی این کانی بیشتر در بخش‌های سطحی منطقه مورد مطالعه گسترش داشته و جانشین سنگ‌های آتشفشانی فلسیک به‌ویژه توف‌های داسیتی شده است. بر پایه White & Hedenquist (1995) تشکیل کائولینیت در کانسارهای

سیال اولیه (P) با موقعیت منفرد و درون دانه‌ای در میزبان کوارتز و تعداد کمی باریت با در نظر گرفتن همبود کانه‌ها و ارتباط آن با مراحل مختلف کانه‌سازی انجام شد. کانی‌های کلسیت به علت نداشتن سیال و کانی اسفالریت به دلیل ریز بودن میانبارها مورد مطالعه قرار نگرفت. طی این مطالعات ۱۰۷ میانبار سیال در سطح، ۱۰ مقطع از نمونه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعات صورت گرفته بیشتر روی میانبارهای سیال درون کوارتزهای همراه و همزاد با کانه‌های سولفیدی متمرکز بوده است (۹۲ میانبار سیال). به‌طور کلی از دید شکل ظاهری، میانبارهای سیال را در نمونه‌ها می‌توان به ترتیب فراوانی به‌صورت شکل‌های کروی- نامنظم و کشیده- باریک دید (شکل ۹). اندازه میانبارهای سیال در بلورهای موجود، متفاوت و میان ۴ تا ۴۵ میکرون است. ولی مطالعات روی میانبارهای سیال بالاتر از ۱۵ میکرون صورت گرفته است. میانبارهای سیال اولیه، بزرگ‌تر و بیشتر میانبارهای سیال ثانویه و شبه ثانویه کوچک هستند. نبود شکل خاص در میانبارها نشان دهنده این است که فضاهای میان سطوح بلوری که سبب به تله افتادن میانبارها شده، شکل خاصی نداشته‌اند. شکل‌های کشیده ایجاد شده در برخی میانبارهای سیال، ناشی از عملکرد فشار به‌ویژه کشش بر منطقه در طی تشکیل آنهاست و عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی سبب تشکیل میانبارهای ثانویه شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که میانبارهای سیال غنی از بخار (Vapour rich) شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری ریزدماسنجی میانبارهای سیال نیستند؛ به‌گونه‌ای که تکرار چندین بار اندازه‌گیری روی این نوع از میانبارها، نتایج کاملاً متفاوتی در بر داشته است. این امر به احتمال زیاد ناشی از بسته نبودن سامانه ترمودینامیکی این نوع از میانبارهای سیال است (Roedder, 1976 & 1984; Roedder & Bondar, 1997). در این مطالعه تنها میانبارهای سیال غنی از مایع (Liquid-rich) برای اندازه‌گیری مقادیر T_m (دمای همگن‌شدگی) و T_m (دمای ذوب) استفاده شده‌اند. با استفاده از دمای ذوب (T_m)، میزان شوری و با استفاده از دمای همگن‌شدگی و شوری سیال‌ها، چگالی سیال به دست آمده است. بر پایه نوع و درصد فازهای موجود در میانبارهای سیال (Shepherd et al., 1985) و رفتار ریزدماسنجی آنها، ۵ نوع میانبار سیال در ذخیره معدنی لهنه تشخیص داده شد که بدین شرح قابل تفکیک هستند؛ نوع A) دوفازی مایع- بخار (L+V)؛ نوع B) دوفازی بخار- مایع (V+L)؛ نوع C) دوفازی بخار- مایع دارای $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ؛ نوع D) تک‌فازی مایع (L)؛ نوع E) سه‌فازی شامل مایع- بخار- جامد (هالیت \pm سیلیت که تنها در نمونه R-88-115 دیده شد) (شکل ۱۱).

نوع A) میانبار سیال دوفازی مایع- بخار (L+V): در این نوع میانبار سیال، فاز مایع همراه با فاز حباب بخار وجود دارد (غنی از مایع). بیشترین حجم میانبار سیال را فاز مایع و فاز بخار تنها ۱۰ تا ۳۵ درصد حجم میانبارهای سیال مطالعه شده را در بر می‌گیرد. در این نوع میانبار سیال، فاز جامد نمک وجود ندارد. میزان شوری در این نوع میانبار میان ۰/۵ تا ۷ درصد وزنی NaCl در تغییر است. بیشترین نوع میانبارهای سیال مطالعه شده، از این نوع هستند.

نوع B) میانبار سیال دوفازی بخار- مایع (V+L) (با چگالی پایین): در این نوع از میانبارها، حباب بخار بیشترین حجم میانبارها را دربر گرفته (غنی از بخار) است و گاه بیش از ۷۰ درصد حجم میانبار را حباب بخار تشکیل می‌دهد. دمای همگن‌شدگی در این نوع از میانبارها بالا، درصد شوری کم و چگالی نمونه‌ها پایین است. همگن‌شدگی این نوع از میانبارها با تشکیل بخار همراه است. فراوانی این گروه بسیار کم بوده و تنها از یک میانبار سیال اندازه‌گیری دامفاشارسنجی صورت گرفته است.

نوع C) دوفازی بخار- مایع دارای CO_2 (V+Liq+ CO_2): این نوع از میانبارها دارای $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ هستند. حضور CO_2 کم محلول در آب، سبب می‌شود که در طی فرایند انجماد و اندازه‌گیری ذوب یخ (T_m Ice)، CO_2 محلول در آب به‌صورت تشکیل کلاتریت (Clathrate) دیده و سبب اندازه‌گیری مقادیر مثبت برای T_m شود.

در نمودار سه‌بعدی تجزیه فاکتوری، عناصر در آزمون مؤلفه‌های اصلی طلا، نقره، گوگرد دارای همبستگی هستند. در نمودار سه‌بعدی، عناصر سنگ‌ساز و کانسازی از هم تفکیک شده‌اند (شکل ۴). بررسی ضرایب همبستگی نتایج زیر را ارائه می‌دهد؛ ۱) نقره، سرب، روی، طلا، مس و بیسموت در سطح ۹۹ درصد دارای ضریب همبستگی معنی‌داری هستند که با حضور کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کانی‌های سولفوسالنی و ذرات طلا و نقره در باطله سیلیسی در مطالعات کانه‌نگاری تطابق دارد. بیسموت در شبکه گالن و کادمیم در شبکه اسفالریت قرار دارند (شکل‌های k-9 و j). اسفالریت فقیر از آهن است بنابراین در دمای پایین تشکیل شده است. با توجه به حضور گوگرد در این گروه مشخص می‌شود که محلول‌هایی که سبب تشکیل این عناصر شده‌اند، سرشار از کمپلکس‌های سولفیدی بوده و خاصیت اسیدی داشته‌اند.

۲) وانادیم، تیتان، سدیم، فسفر، منیزیم، آهن، استرانسیم و کلسیم در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای ضریب همبستگی معنی‌داری هستند که با مطالعات سنگ‌نگاری باطله نمونه‌ها همخوانی دارد. باطله نمونه‌های مطالعه شده دارای کوارتز، کانی‌های رسی، کلسیت (Sr) جانشین Ca در کلسیت، فلدسپار (آدولاریا)، کلریت هماتیت و روتیل است و کلسیت نشان‌دهنده محیط قلیایی است.

۳) عناصر گوگرد، مولیبدن، کبالت و آهن همبستگی معنی‌داری دارند. این عناصر به علت وجود کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت همخوانی دارند. همبستگی میان عناصر یاد شده و کلسیم نشان‌دهنده حمل این عناصر توسط محلول‌های گرمایی سرشار از کلسیم با ماهیت قلیایی است که در طی فرایند گرمایی در منطقه همراه با تشکیل رگ‌های کربناتی ته‌نشین شده‌اند (شکل ۸-p). همبستگی معنی‌دار روی، نیکل و منگنز با این عناصر احتمالاً ناشی از ته‌نشست آنها در طی واکنش‌های محلول‌های گرمایی حاوی آنها با رگ‌های کربناتی بوده است.

۴) بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری کانی باریت و کلسیت در باطله نمونه‌ها همبستگی میان باریت و کلسیم دیده شده است (شکل‌های p-8 و j-9).

۵) سرب و روی دارای همبستگی هستند که بر پایه مطالعات کانه‌نگاری به علت وجود کانی‌های اسفالریت و گالن است. حضور کلسیم در این گروه نشان‌دهنده قلیایی بودن محلول‌های ته‌نشین‌کننده این عناصر است و تنها استثنا روی و سرب هستند که به دلیل دما پایین بودن، این عناصر با محلول‌های دما پایین اسیدی حمل و در مجاورت با رگچه‌های گرمایی کلسیت ته‌نشین شده‌اند.

بر پایه تجزیه خوشه‌ای و نمودار سه‌بعدی عناصر در آزمون مؤلفه‌های اصلی و ضریب همبستگی مشخص می‌شود که عناصر، خواص ژئوشیمیایی مختلفی دارند.

۳ گروه عناصر کانساز وجود دارد؛ گروه اول شامل عناصر Pb, Zn, Au, Ag, Cu, Cd, Sb است. این عناصر در کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، سولفوسالت‌ها، طلا و نقره بر پایه مطالعات SEM در باطله سیلیسی قرار دارند. گروه دوم شامل عناصر Ba, Sr, Ti, V, Ni است. عناصر گروه دوم در باطله سیلیسی در باریت و روتیل، Sr در شبکه کلسیت و وانادیم و Ni در شبکه کانی‌های رسی قرار دارند. گروه سوم شامل عناصر S, Co, Mo, Fe, Bi, U, Cr, W است. گوگرد، کبالت، مولیبدن و آهن در شبکه کانی‌های پیریت و مولیبدنیت قرار دارند. اورانیم و کروم نیز در شبکه هماتیت و مگنتیت جای گرفته‌اند. تنگستن مربوط به دگرسانی تورمالینی است و در شبکه کانی تورمالین قرار دارد.

۸- مطالعات میانبارهای سیال

مطالعات میانبارهای سیال با هدف بازسازی شرایط فیزیکو- شیمیایی سیال کانساز و چگونگی کانی‌سازی در منطقه و دست‌یابی به یک مدل اکتشافی مستدل انجام شده است. این مطالعات در محدوده معدنی لهنه توسط ۱۱ مقطع دو بر صیقل با قطر میانگین ۱۵۰ میکرون انجام شد. از دیدگاه سنگ‌نگاری، مطالعات روی میانبارهای

هستند. گفتنی است که میانبرهای گروه اول و با شوری پایین از گروه میانبرهای دوفازی مایع- بخار (نوع‌های A و B) ولی میانبرهای گروه دوم و با شوری بالا از گروه میانبرهای سه‌فازی مایع- بخار- جامد (نوع E؛ دارای بلور هالیت) بوده‌اند. یک گروه سوم از میانبرهای با شوری پایین تا متوسط نیز وجود دارد که از گروه میانبرهای دوفازی بخار- مایع دارای CO₂ (نوع C) هستند. این گروه با ۱۱ میانبر، دارای کمترین، بیشترین و میانگین شوری به ترتیب برابر با ۱/۴۰، ۱۸/۶۳ و ۶/۱۲ درصد هستند و تقریباً در حد فاصل دو گروه پیشین قرار می‌گیرند. در شکل ۱۲- b نمودار NaCl T_s در برابر T_h برای گروه میانبرهای با شوری بالا رسم شده است. خط مورب میان نمودار، مربوط به منحنی اشباع هالیت (T_s NaCl=T_h) است. این نمودار نشان می‌دهد که یک میانبر منطبق بر منحنی (T_s NaCl=T_h)، یک میانبر در سمت چپ منحنی (T_s NaCl>T_h) و پنج میانبر در سمت راست منحنی (T_s NaCl<T_h) و نزدیک به آن قرار دارند. چنین وضعیتی نشان‌دهنده آن است که سیال مادر، یک محلول جوشان اشباع از NaCl بوده و معرف یک سامانه به شدت ناهمگن است (مایع، بخار، NaCl جامد) که بلورهای هالیت را به صورت فازهای اسیر، به دام انداخته است (Shepherd et al., 1985). وجود دو گروه مشخص از میانبرهای با شوری پایین و بالا و همچنین حضور میانبرهایی با شوری حد واسط (شوری پایین تا متوسط) نشانگر آن است که سیال‌های مختلفی در کانی‌سازی کانسار لهنه نقش داشته‌اند.

در شکل ۱۲- c نمودار ستونی تغییرات T_m-ice نشان داده شده است. میانبرهای دارای مقادیر منفی (۴/۵ تا -۰/۱) همان میانبرهای دوفازی مایع- بخار (نوع‌های A و B) و با شوری پایین هستند. ۱۱ سیال نیز با مقادیر مثبت (۰/۸ تا ۱۵) دیده می‌شوند که آنها را به حضور مقادیری CO₂ محلول در سیال و تشکیل کلاتریت در طی مرحله انجماد نسبت می‌دهند (نوع C). در شکل ۱۲- d نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی (T_h) میانبرها ارائه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، میانبرهای دوفازی مایع- بخار (نوع‌های A و B) با ۸۹ سیال، دارای کمترین، بیشترین و میانگین دمای همگن‌شدگی به ترتیب برابر با ۹۴، ۲۹۰ و ۱۷۱ درجه سانتی‌گراد هستند. بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی این گروه از میانبرها را می‌توان میان ۱۴۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد دید. میانبرهای سه‌فازی مایع- بخار- جامد (نوع E؛ دارای بلور هالیت) با ۷ سیال، دارای کمترین، بیشترین و میانگین دمای همگن‌شدگی به ترتیب برابر با ۱۴۴، ۳۳۹ و ۲۱۶ درجه سانتی‌گراد هستند. این میانبرها به ۲ گروه با دمای همگن‌شدگی ۱۹۰ تا ۱۴۰ (با میانگین ۱۶۰) و ۳۴۰ تا ۲۴۰ (با میانگین ۲۹۰) درجه سانتی‌گراد قابل تفکیک هستند. میانبرهای دوفازی بخار- مایع دارای CO₂ (نوع C) با ۱۱ سیال، دارای گستره‌ای از دمای همگن‌شدگی میان ۱۰۵ تا ۲۱۰ (با میانگین ۱۴۲) درجه سانتی‌گراد هستند.

گروه ۱: میانبرهای سیال دیده شده در رگه‌های دارای کانی‌زایی مس- سرب و روی همراه با طلا با دمای همگن‌شدگی ۱۵۰ تا ۳۳۹ درجه سانتی‌گراد، درجه پرشدگی بیش از ۷۵ درصد (نسبت مایع به بخار) و چگالی متوسط میان ۰/۹ تا ۱/۲ هستند که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده (T_m Ice) در آنها به‌طور متوسط میان ۶ تا ۴/۵- (مقدار مثبت به خاطر تشکیل کلاتریت است) درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. بر این اساس، میزان شوری محاسبه شده توسط رابطه (Hall & Bodnar (1988) میان ۳۷ تا ۷ درصد وزنی معادل NaCl است.

گروه ۲: شامل میانبرهای سیال دیده شده در رگه‌های کوارتزی دارای مس طلا و نقره با دمای همگن‌شدگی ۱۰۰ تا ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد، درجه پرشدگی کمتر از ۷۰ درصد (نسبت بخار به مایع بالا)، چگالی متوسط میان ۰/۶ تا ۰/۸ و شوری متوسط میان ۰/۵ تا ۶ درصد وزنی معادل NaCl است. این دسته از میانبرها نشان‌دهنده پدیده جوشش (Boiling) در سیال کانه‌ساز هستند که موجب کاهش دمای ناگهانی سیال کانه‌دار و در نتیجه ته‌نشست عناصر فلزی طلا، نقره و مقدار کمی مس شده است (شکل ۱۳- a). همچنین با استفاده از نمودار (Hass (1971) و دمای به دست

نوع (D) تک‌فازی مایع (L): این نوع از میانبرها که به تعداد فراوان و نسبت به میانبرهای تک‌فازی بخار، به میزان خیلی بیشتری در نمونه‌ها دیده شدند. از این نوع میانبرها در اندازه‌گیری دما فشارسنجی استفاده نشده است.

نوع (E) میانبر سیال سه‌فازی مایع- بخار- جامد (با شوری بالا): در این نوع از میانبرهای سیال، بلور هالیت به‌عنوان کانی دختر (Daughter Crystal) است و گاه کانی‌های کدر (اپاک) و سیلویت نیز در آنها دیده می‌شود. بلور هالیت در بیشتر نمونه‌ها در شکل‌های مکعبی و کمتر به‌صورت گردشده دیده می‌شود. بر پایه میزان شوری، اندازه‌های مختلف متفاوت است.

در میانبرهای سیال مطالعه شده در مقاطع از دید منشأ بر پایه تقسیم‌بندی Yermakov (1965) هر سه نوع اولیه (Primary inclusion)، ثانویه (Secondary inclusion) و شبه ثانویه (Pseudosecondary inclusion) دیده شده است. میانبرهای سیال اولیه (P) به‌صورت سیال‌های مجزا و درشت در زمینه کانی‌های مورد مطالعه پراکنده هستند (شکل ۱۱). میانبرهای سیال شبه ثانویه (PS) بیشتر به‌صورت اذخالی‌های ریز و ممتد (خطی) در کانی‌ها دیده می‌شوند (شکل ۱۱). ترکیب سیال سازنده در هر دو نوع P و PS یکسان است؛ ولی ترکیب میانبر سیال نوع ثانویه (S) متفاوت است. سیال‌های مطالعه شده برای دما فشارسنجی تنها از نوع میانبرهای سیال اولیه هستند. در شماری از نمونه‌ها، سیال‌های غنی از L و غنی از V همزمان با یکدیگر در مقطع یافت می‌شوند. ترکیب بیشتر میانبرهای سیال از نوع A و دارای دو فاز L+V است و در مطالعات دما فشارسنجی از این نوع استفاده شده است. در شماری از نمونه‌های نوع C، حضور مقادیر بسیار پایین CO₂ محلول در H₂O با تشکیل کلاتریت در طی مرحله انجماد همراه است. داده‌های حاصل از مطالعه میانبرهای سیال بر پایه نمونه‌ها در جدول‌های ۸ و ۹ و بر پایه نوع سیال در جدول ۱۰ ارائه شده‌اند. نتایج مطالعات زمین‌دماسنجی (ژئوترموتری) روی کانی‌سازی سولفیدی همراه کوارتز در منطقه لهنه به ترتیب زیر است:

۱) سامانه رگه- رگچه‌ای پیریت- کالکوپیریت، اسفالریت، گالن در میزان کوارتز با نسبت بالای میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) و دمای همگن‌شدگی پایانی به فاز مایع (Th_{L-V}) میان ۱۳۱ تا ۳۳۹، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (T_m Ice) میان ۰/۹- تا ۱۱/۸- (میانگین ۲/۳۶-) و میزان شوری ۲۸ تا ۳۷ درصد معادل نمک طعام (WT% NaCl_{eq}).

۲) سامانه رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی کالکوپیریت، بورتیت، اسفالریت، گالن، سولفوسالت (تتراهدریت- تانتیت) با ۲ ذره طلا در باطله سیلیسی، باریت و کلسیت در میزان کوارتز، با نسبت بالای میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) و دمای همگن‌شدگی پایانی به فاز مایع (Th_{L-V}) میان ۱۲۵ تا ۲۹۰، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (T_m Ice) میان ۰/۶- تا ۴- (میانگین ۲/۵۳-) و میزان شوری ۶/۵ تا ۱ درصد معادل نمک طعام (WT% NaCl_{eq}).

۳) سامانه رگه- رگچه‌ای و پرکننده حفرات کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت، اکسیدهای آهن و ذرات طلا (به تعداد ۱۵ ذره در نمونه‌های مطالعه شده) و نقره در میزان کوارتز با نسبت بالای میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) و دمای همگن‌شدگی پایانی به فاز مایع (Th_{L-V}) میان ۹۴ تا ۱۷۱، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (T_m Ice) میان ۰/۳- تا ۳/۵- (میانگین ۱/۳۴-) و میزان شوری ۰/۵- تا ۵/۶- درصد معادل نمک طعام (WT% NaCl_{eq}).

در شکل ۱۲- a نمودار ستونی درصد فراوانی شوری میانبرهای سیال نمونه‌های مطالعه شده آورده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، میانبرهای سیال مطالعه شده را می‌توان از دید شوری به دو گروه کاملاً مجزای با شوری پایین و شوری بالا تفکیک کرد. گروه اول با ۸۹ میانبر، دارای کمترین، بیشترین و میانگین شوری به ترتیب برابر با ۰/۱۷، ۷/۱۱ و ۳/۰۴ درصد هستند. گروه دوم با ۷ میانبر، دارای کمترین، بیشترین و میانگین شوری به ترتیب برابر با ۰/۱، ۲۸/۰۱، ۳۷/۰۴ و ۳۲/۲۶ درصد

دوفازی دارای فاز بخار دلالت بر پدیده جوشش دارد (شکل‌های ۷- g تا ۸- n تا r و ۹- d تا f). وجود کوارتز کلسدونی (جدول ۶، نمونه A۲۲)، کلسیت تیغه‌ای و کوارتز پسودومرف در قالب کلسیت، نشانگر سیال‌های در حال جوشش است. بافت‌های معمول پرکننده فضای خالی، نواری، کلوفرم، پوسته‌ای و شانه‌ای (مشخصه محیط‌های با فشار پایین) از ویژگی ذخایر اپی‌ترمال است. توده‌های نفوذی مرتبط با ذخایر اپی‌ترمال دارای بافت گرانوفیری (نشانه کم‌ژرفا بودن توده نفوذی) است. وجود دگرسانی کوارتز- آلپیت- آدولاریا- ایلیت- اسمکتیت- کلریت- کلسیت- پیریت و سولفیدهای عناصر پایه، نشان‌دهنده وجود سیال‌های با pH خنثی است. وجود میانبارهای غنی از بخار و سیلیس و کلسیت تیغه‌ای یا صفحه‌ای در سامانه اپی‌ترمال، نشان از ته‌نشست از یک سیال در حال جوشش دارد. در محیط اپی‌ترمال، سیلیس از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی کوارتز و شیشه آتشفشانی مشتق می‌شود. کوارتزهای دارای سطوح بلوری ثانویه، نشان‌دهنده ته‌نشینی مستقیم از محلول گرمایی هستند. از جمله مدارک رخداد جوشش، وجود پهنه برشی است که در اثر افزایش فشار فلویید سبب شکستگی هیدرولیکی و افت ناگهانی فشار می‌شود. یک سری ویژگی‌های گرمایی سبب تشخیص آنها از برش زمین‌ساختی می‌شود که عبارتند از:

- برش‌های گرمایی در ارتباط با انواع ماده معدنی ایندوژن و پروژنار و دارای قطعات منومیکتیک و سنگ‌های همگن هستند و فشارهای هیدرولیکی در اثر رژیم کششی است. برش‌های گرمایی دارای بافت خرد شده و موزاییکی بدون جهت‌یافتگی و قطعات تقریباً هم‌اندازه هستند. برش‌های گرمایی ساختار ستونی تا تیغه‌ای دارند و تماس این برش‌ها با سنگ‌های دیواره به‌صورت شارپ و ناگهانی است و به‌وسیله سنگ‌های دیواره بدون شکستگی در بر گرفته می‌شوند. باطله اصلی یا زمینه، رسی یا از جنس سنگ میزبان یا نهشته معدنی است. قطعات، زاویه‌دار و دارای حمل‌شدگی خیلی کم و نیز دارای دگرسانی هستند. برش‌های گرمایی در محیط‌های کم‌ژرفا و آذرین (آتشفشانی و نفوذی) به شکل مخروط واژگون یا رگه-رگچه هستند. در برش‌های گرمایی میزان زمینه کم ولی میزان قطعات زیاد است؛ همچنین دارای فضاهای خالی هستند ولی پودر سنگ وجود ندارد. افزون بر این، کانی‌زایی عیار بالا بیشتر پرکننده حفرات بوده و یا جایگزین زمینه و قطعات شده است. برش‌های گرمایی دارای ساخت‌های گوه‌مانند، جانشینی و متورم هستند و به سوی داخل کانی‌زایی رگه‌ای ادامه می‌یابند (Jébrak, 1997). مشابه موارد یاد شده بالا در کانسار لهنه دیده می‌شود (شکل‌های ۷- d تا K).

۹- نتیجه‌گیری

در محدوده لهنه سنگ میزبان اصلی کانی‌زایی طلا، سنگ‌های توف برش (با ترکیب ریوداسیت) و به مقدار کمتر سنگ‌های کوارتزمونوزونیتی است. کانه‌زایی طلا به‌صورت خالص در باطله سیلیسی همراه با کانی‌های سولفیدی مس دیده می‌شود. دگرسانی همراه با کانی‌سازی به‌صورت مجموعه کوارتز- سریسیت- آدولاریا- کلسیت است. داده‌های میانبارهای سیال از کوارتز نشان می‌دهند که کانی‌زایی طلا در دمای ۱۲۵ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و شوری پایین ۱ تا ۶/۵ درصد وزنی معادل NaCl تشکیل شده است. این دامنه دمایی منطبق بر ژرفای زیر ۱۰۰۰ متر است (Haas, 1971). به‌طور کلی، در سامانه رگه‌ای محدوده لهنه مقدار دما و فشار و همچنین نسبت عناصر پایه به عنصر طلا به سوی ژرفای بیشتر، افزایش یافته است. این روند می‌تواند نشانگر وجود سیال گرمایی دارای کمپلکس کلریدی سرب-روی-مس در ژرفا باشد که سبب نهشت کالکوپیریت، اسفالریت و گالن شده است. کانی‌سازی عناصر پایه در نزدیکی توده نفوذی کوارتزمونوزونیتی تشکیل شده است. در حالی که در افق‌های بالاتر، به‌علت چیرگی سیال جوی با شوری پایین، سیال گرمایی غنی از کمپلکس بی‌سولفیدی طلا بوده و در چنین شرایطی ناپایداری این کمپلکس‌ها سبب کانی‌زایی کانی‌های سولفیدی و طلا شده است.

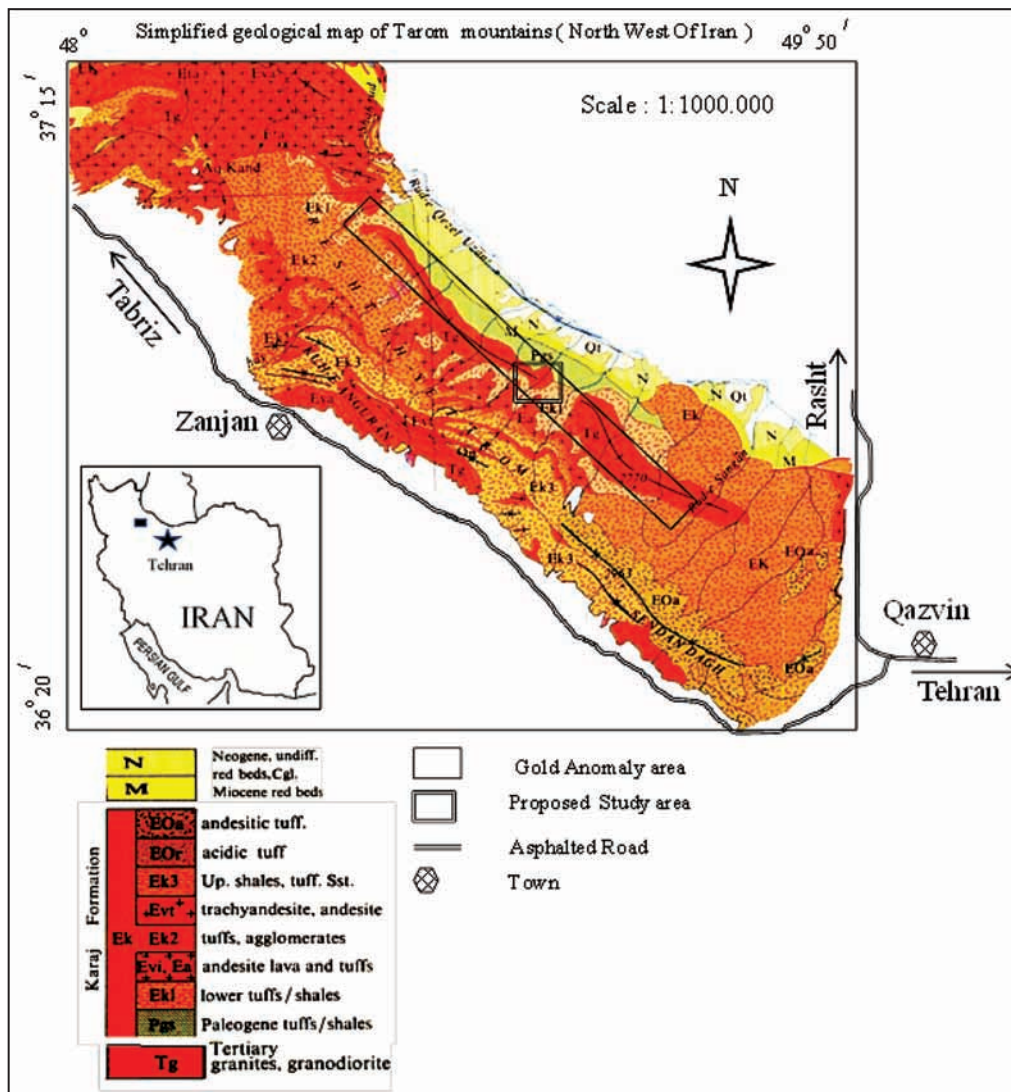
آمده از نتایج دمافشارسنجی، ژرفای به دام افتادن سیال برای سیال‌های گروه اول (کانی‌سازی فلزات پایه) میان ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر (فشار معادل ۲۱۰ تا ۲۴۰ بار) و برای سیال‌های گروه دوم (کانی‌سازی طلا-نقره) میان ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر (فشار معادل ۱۱۰ تا ۱۳۰ بار) به دست آمد (شکل‌های ۱۳- b و ۱۴- a). محلول‌های گرمایی از نوع محلول‌های سطحی هستند که در ژرفای پوسته شکننده در مناطق دارای تراوایی بالا، جریان پیدا کرده‌اند. محلول‌های سطحی، دارای شوری پایین و به دلیل فشار پایین، دارای دمای همگن‌شدگی پایین هستند. به‌طور کلی با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، گروه میانبار سیال نوع اول از دید درجه پرشدگی و دمای همگن‌شدگی (Homogenization Temperature) مربوط به نمونه‌های کوارتزتری در ارتفاع کمتر و نزدیک به توده نفوذی دارای عناصر پایه (دارای کانی‌های مس، سرب، روی و اکسیدهای آهن) و مربوط به محلول‌های گرمایی دما و شوری بالا هستند. میانبارهای گروه دوم به سوی بالا در نمونه‌های کوارتزتری دارای کانی‌های کالکوپیریت و ذرات طلا و نقره در سنگ میزبان توف‌برش در اختلاف ارتفاع ۱۰۰ متری میانبارهای نمونه‌های کوارتزتری دارای دما و شوری کمتر هستند. این پدیده می‌تواند به‌علت بالاآمدگی سیال‌ها و آمیختگی بیشتر با آب‌های سرد جوی یا آب‌های گرم شده با بخار باشد (Kolb & Hageman, 2009) 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 (Shamanian, 2004; Albinson et al., 2001; Simmons et al., 2005)، بر این اساس عناصر پایه در محیط‌های اپی‌ترمال به‌طور چیره به‌صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند. این کمپلکس در شرایط احیا و pH خنثی برای حمل فلزات پایه، مهم‌تر از حمل طلاست (Seward & Barnes, 1997). در برابر آن، کمپلکس بی‌سولفیدی در محیط اپی‌ترمال برای حمل طلا مهم‌تر است (Benning & Seward, 1996; Seward & Barnes, 1997). ویژگی‌های میانبارهای سیال محدوده مس- طلا دار لهنه، همانند سیال‌های کانه‌ساز نوع اپی‌ترمال است (جدول ۱۱). پدیده‌های رخ داده در کانسار لهنه به شرح زیر است:

- پدیده سردشدگی و مخلوط شدن با آب‌های سرد جوی: بر پایه (Wilkinson 2001) سردشدگی اهمیت ناچیزی در ته‌نشست مقادیر قابل توجهی مواد معدنی در یک حجم محدود از سنگ، به سبب نبود شیب زمین گرمایی زیاد در محیط‌های پوسته‌ای دارد. با این وجود، همان گونه که در شکل ۱۳- a نشان داده شده است، کاهش دمای همگن‌شدگی از ۲۹۴ به ۹۴ درجه سانتی‌گراد، سبب افزایش چگالی سامانه از ۰/۷۵ به ۱ گرم بر سانتی‌متر مربع، کاهش سرعت سیال کانسنگ ساز و در پایان تمرکز و نهشت ماده معدنی می‌شود. تغییرات دمایی به‌علت دور شدن سیال‌ها از مرکز سامانه، کانالیزه شدن آنها در مسیرهای گسل، مخلوط شدن با آب‌های سرد جوی و رقیق شدن است. روندهای سردشدگی و رقیق‌شدگی عمومی در این کانسارها نشان‌دهنده ورود آب‌های سرد سطحی به درون سامانه است که سبب ایجاد حالت تلسکوپی در این کانسارها شده است. این پدیده با حضور میانبارهای سیال ثانویه با دماها و شوری پایین‌تر (شوری پایین میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز نشان از آمیخته شدن سیال با منشأ جوی در فرایند کانی‌سازی رگه‌ای است؛ Wilkinson, 2001) مشخص می‌شود.

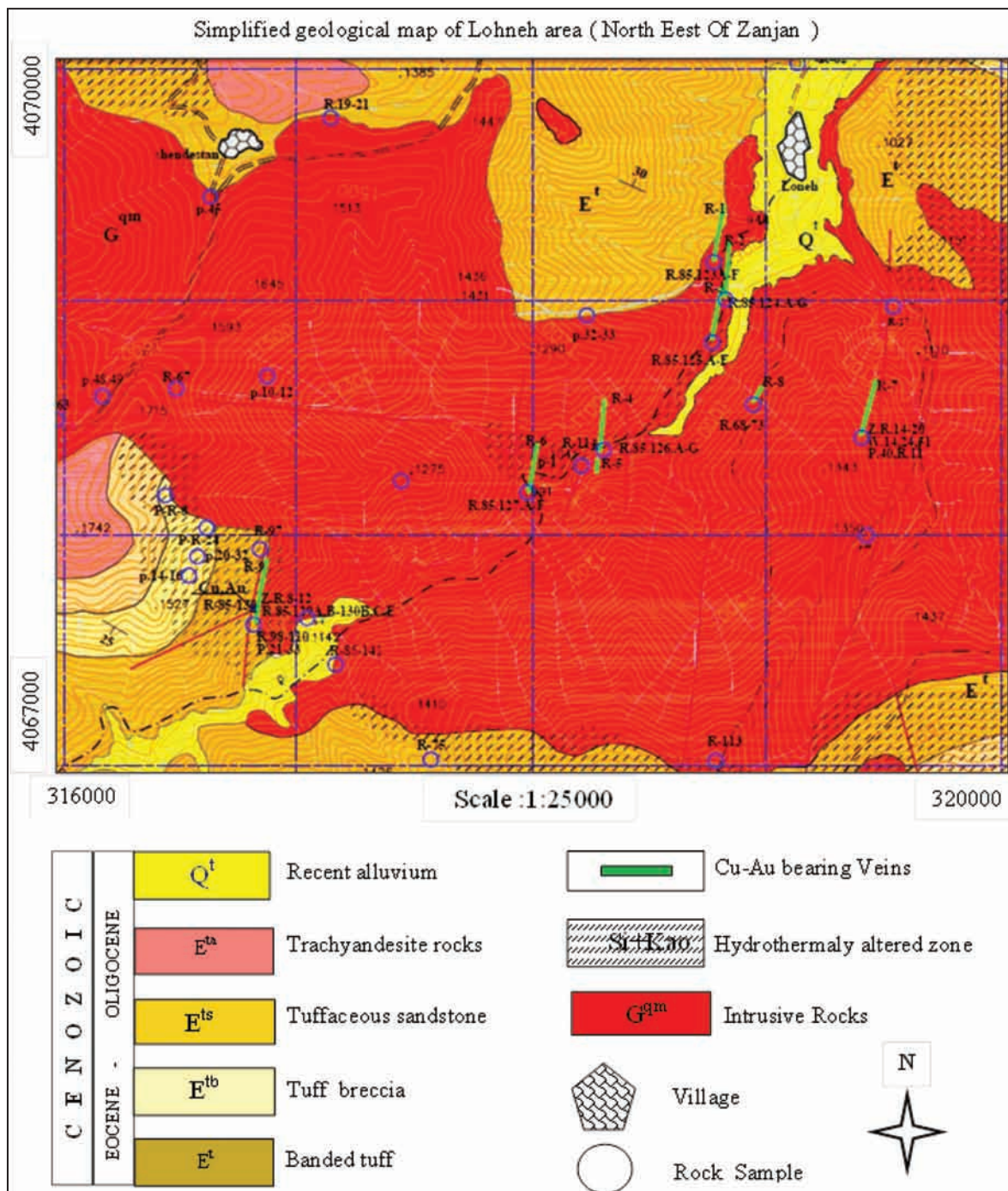
- جوشش و تشکیل سیال‌های با شوری و چگالی بالا: در بسیاری از کانسارها، فرایند فیزیکی که معمولاً شرایط و سازوکارهای مورد نیاز در ته‌نشست تمرکزهای اقتصادی از ذخایر معدنی را در یک حجم سنگی محدود فراهم می‌کنند، عبارتند از جوشش در سامانه‌های غنی از مواد فرار و آمیختگی سیال (Skinner, 1997; Wilkinson, 2001). نبود مواد فرار در این سیال‌ها نشان از خارج شدن آنها از سامانه بر اثر فرایند جوشش دارد و یکی از دلایل اصلی ته‌نشست کانه‌ها در کانسارهای گرمایی تلقی می‌شود. حضور برش‌های گرمایی (به‌طور غیر مستقیم)، کانی آدولاریا، کلسیت و کوارتز تیغه‌ای و گوناگونی میانبارهای سیال

در آمدن این محلول‌های اسیدی شده و طی برخورد آنها با توالی‌های سنگی منطقه و همچنین ترکیب شدن این محلول‌ها با آب‌های سطحی، دمای این محلول‌ها به شدت پایین آمده و ماهیت اسیدی این محلول‌های گرمابی به قلیایی بودن تغییر کرده است. در این مرحله عناصر اولیه دما بالا که در محیط اسیدی محلول هستند، شروع به ته‌نشینی کرده و عناصری مانند کادمیم که در محیط قلیایی محلول هستند، از توالی سنگ‌های آتشفشانی شسته و به سطح آورده شده و تشکیل رگچه‌های کلسیتی دارای عناصر سرب و روی و کادمیم داده‌اند. با ادامه عبور محلول‌های گرمابی، به دلیل اینکه توالی‌های سنگ‌های منطقه دیگر توان تغییر در pH محلول‌های گرمابی را نداشته‌اند (به دلیل شست‌وشو توسط محلول‌های پیشین) و دمای سنگ‌های مسیر عبور محلول‌های گرمابی افزایش یافته است، در این مرحله محلول‌های اسیدی و با دمای بالاتری حضور داشته‌اند. در این زمان محلول‌های اسیدی و دما بالا افزون بر حمل عناصر از توده نفوذی، شروع به شستن عناصری که پیش‌تر در پی افزایش pH و کاهش دما نهشته شده بودند، می‌کنند و بنابراین در این مرحله غلظت بالایی از عناصر در محلول‌های اسیدی تا متوسط و دما بالا وجود دارد که با نزدیک شدن به سطح و کاهش فشار، این عناصر (مس، طلا، بیسموت) شروع به ته‌نشست به صورت رگه‌های سولفیدی می‌کنند. در پایان با کاهش دما و رخداد پدیده جوشش و مخلوط شدن با آب‌های جوی، کانی‌زایی طلا به صورت ذرات خالص بدون درگیری با کانی‌های سولفیدی و در باطله سیلیسی رخ داده است.

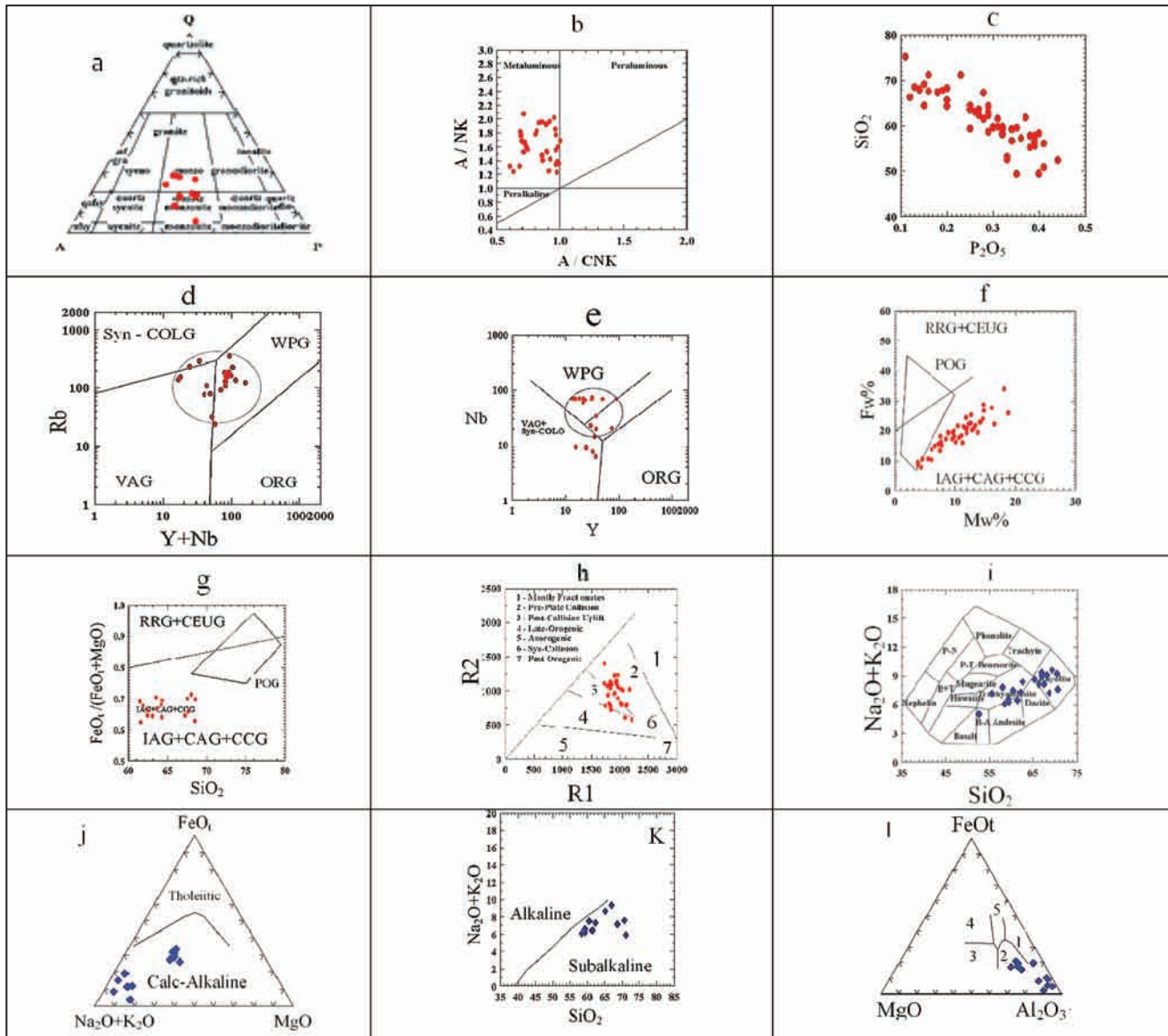
مطالعه میانبارهای سیال، فرایند آمیختگی با سیال جوی و جوشش سیال گرمابی را نشان می‌دهد. کانی‌شناسی رگه و دگرسانی گرمابی (سرپسیت، آدولاریا، کوارتز، کلسیت)، نبود آلونیت و شوری پایین سیال، نشان از تشکیل شدن از سیال کلریدی کمی قلیایی تا نزدیک به خنثی و دارای H_2S و CO_2 است (Henely & Ellis, 1985; Simpson & Mauk, 2001, Simpson et al., 2001). در منطقه لهنه پدیده جوشش، فرایند چیره در تشکیل کانی‌زایی بوده است و شواهدی از همزیستی فاز غنی از بخار و فاز غنی از مایع در میانبارهای سیال وجود دارد. وجود کلسدون، هم‌رشدی کوارتز و کلسیت، برش‌های گرمابی، آدولاریا، سیلیس تیغه‌ای و شبکه‌ای دروغین و پدیده شترینگ از شواهد دیگر پدیده جوشش در کانی‌زایی یاد شده هستند (Dong et al., 1995; Simmons & Browne, 2000; Taylor, 2007; Simmons & Christenson, 1994). کانی‌زایی طلا در منطقه لهنه با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و بافت و ساخت رگه‌ای، کانی‌شناسی کانسنگ، دگرسانی و پاراژنز ژئوشیمیایی، از نوع کانسارهای اپی‌ترمال سولفیدی متوسط است. بنابراین طبق شواهد می‌توان بیان کرد که مراحل کانسارسازی در معدن مس- طلا دار لهنه به صورت زیر است: در اولین مرحله با نفوذ توده‌های مونزوگرانودیوریتی تا کوارتز مونزونیتی به درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه و تفریق این توده‌های نفوذی و تجمع سیال‌های و محلول‌های گرمابی با انواع کمپلکس‌های دارای عناصر کالکوفیل در سطوح بالایی این توده‌های نفوذی، فشار بخار سیال‌ها سبب به حرکت



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در زون طارم.



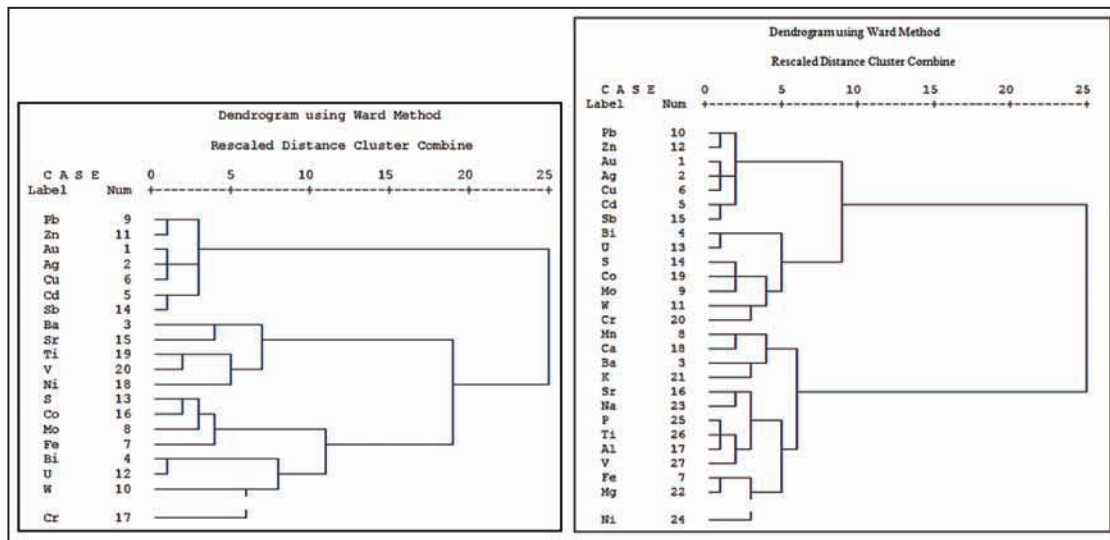
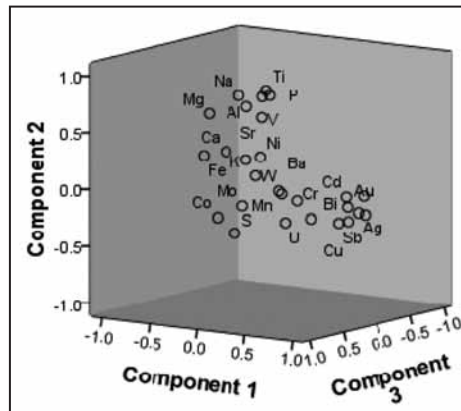
شکل ۲- بخشی از نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در پهنه طارم (رحمانی، ۱۳۸۵).



شکل ۳- (a) رده‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه (Streckeisen & Le Maitre, 1979)؛ (b) نمودار A/NK - A/CNK برای توده‌های نفوذی منطقه (Maniar & Piccoli, 1989)؛ (c) نمایش روند عمومی تغییرات P_2O_5 در برابر SiO_2 در سنگ‌های گرانیتوئیدی (Harker, 1909)؛ (d) نمودار $\log Y + Nb - \log Rb$ (Pearce et al., 1984) برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی توده نفوذی؛ (e) نمودار $\log Y + Nb - \log Rb$ (Pearce et al., 1984) برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی توده نفوذی؛ (f) نمودار $Mw\% - Fw\%$ (Maniar & Piccoli, 1989) برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی؛ (g) نمودار FeO_1/MgO به SiO_2 برای تعیین سری‌های ماگمایی سنگ‌های توده نفوذی منطقه؛ (h) نمودار R1-R2 برای تعیین محیط زمین‌ساختی توده‌های گرانیتوئیدی منطقه (Batchelor & Bowden, 1985) در این نمودار 1=Mantle Fractionates، 2=Pre-plate Collision، 3=Post-Collision Uplift، 4=Late Orogenic، 5=Aorogenic، 6=Syn-collision، 7=Post-Orogenic است؛ (i) نمودار Winchester & Floyd (1977) برای نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه؛ (j) نمودار AFM برای تفکیک سری کالکوآلکالین از توله‌ایتی در مورد سنگ‌های آذرین منطقه (Irvine & Baragar, 1971)؛ (k) نسبت آلکالی به سیلیس برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه (Irvine & Baragar, 1971)؛ (l) نمودار $MgO - Al_2O_3 - FeO_1$ (Pearce et al., 1977) برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه، در این نمودار 1=Spreading center، 2=Orogenic، 3=Ocean Ridge، 4=Ocean Island، 5=Continental است.

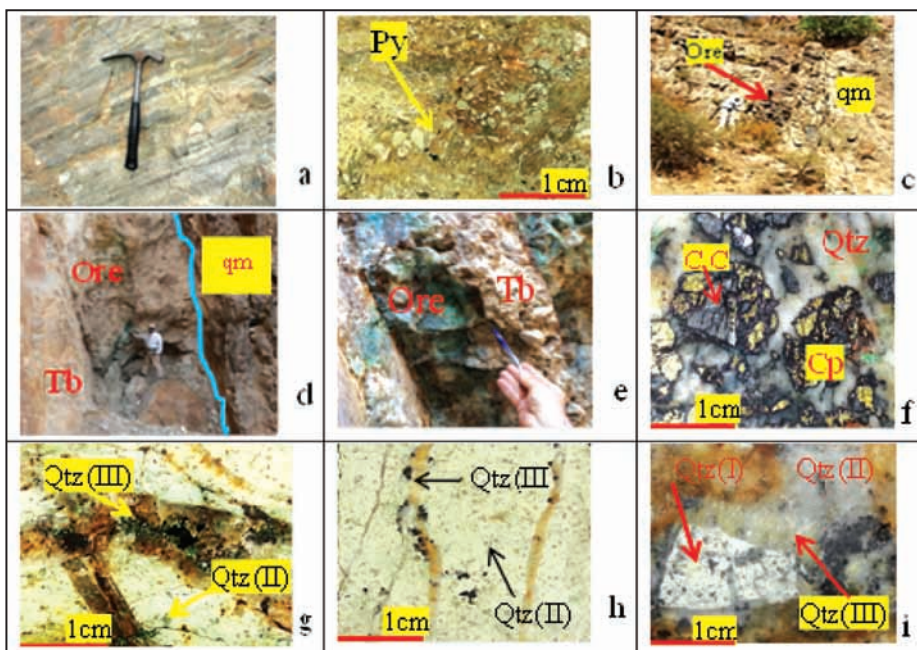
IAG: Island Arc Granitoids; CCG: Continental Collision Granitoids; CEUG: Continental Epeirogenic Uplift Granitoids; CAG: Continental Arc Granitoids; RRG: Rift-Related Granitoids; POG: Post-Orogenic Granitoids; OP: Oceanic Plagiogranites; Syn-Colg: Syn-Collision granites; VAG: Volcanic Arc Granites; WPG: Within Plate Granites; ORG: Ocean Ridge Granites; $Mw\% = w\% MgO$, $Fw\% = w\% FeO(t)$; $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$, $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$

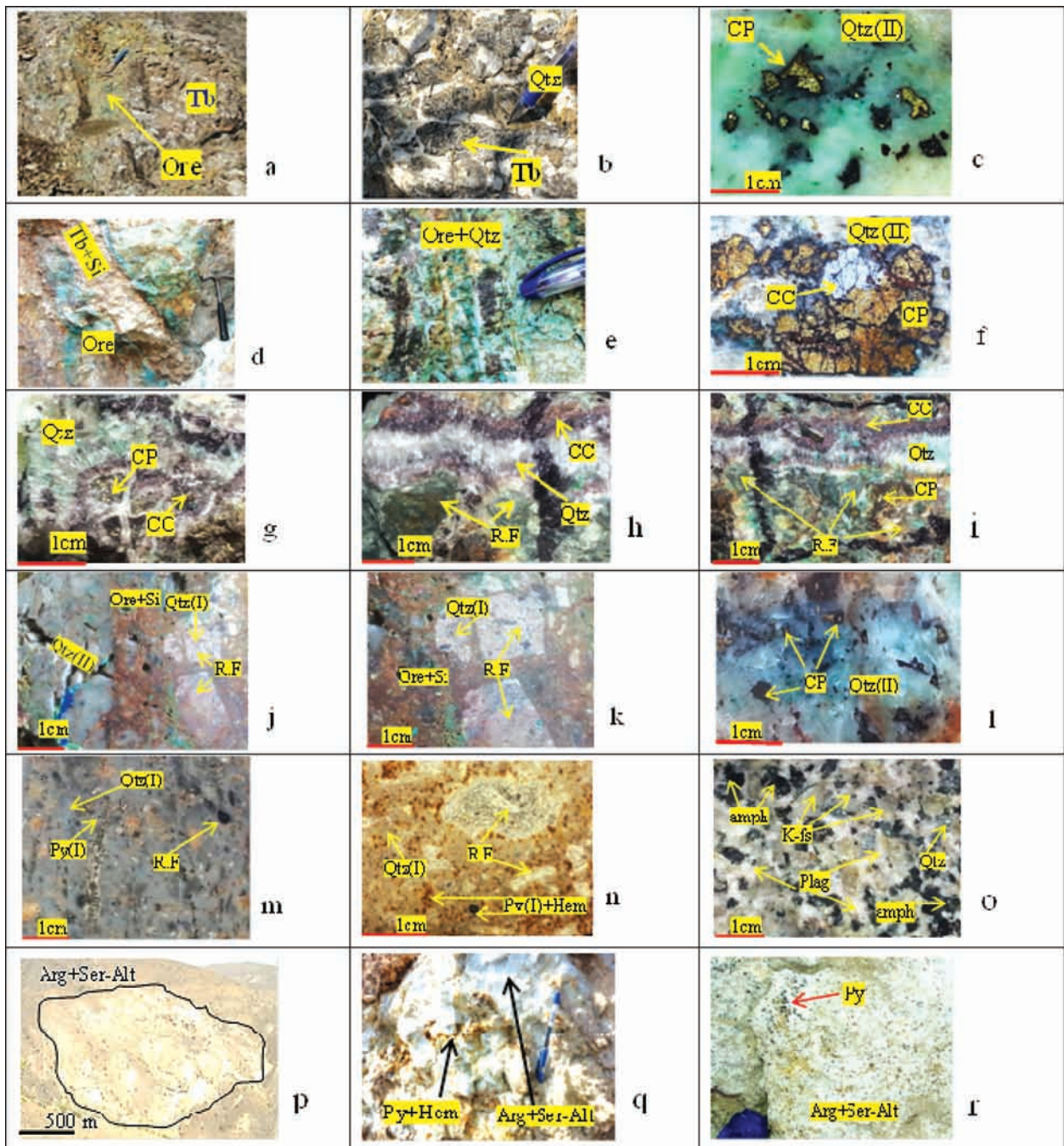
شکل ۴- شکل فضایی همبستگی عناصر در تحلیل فاکتوری.



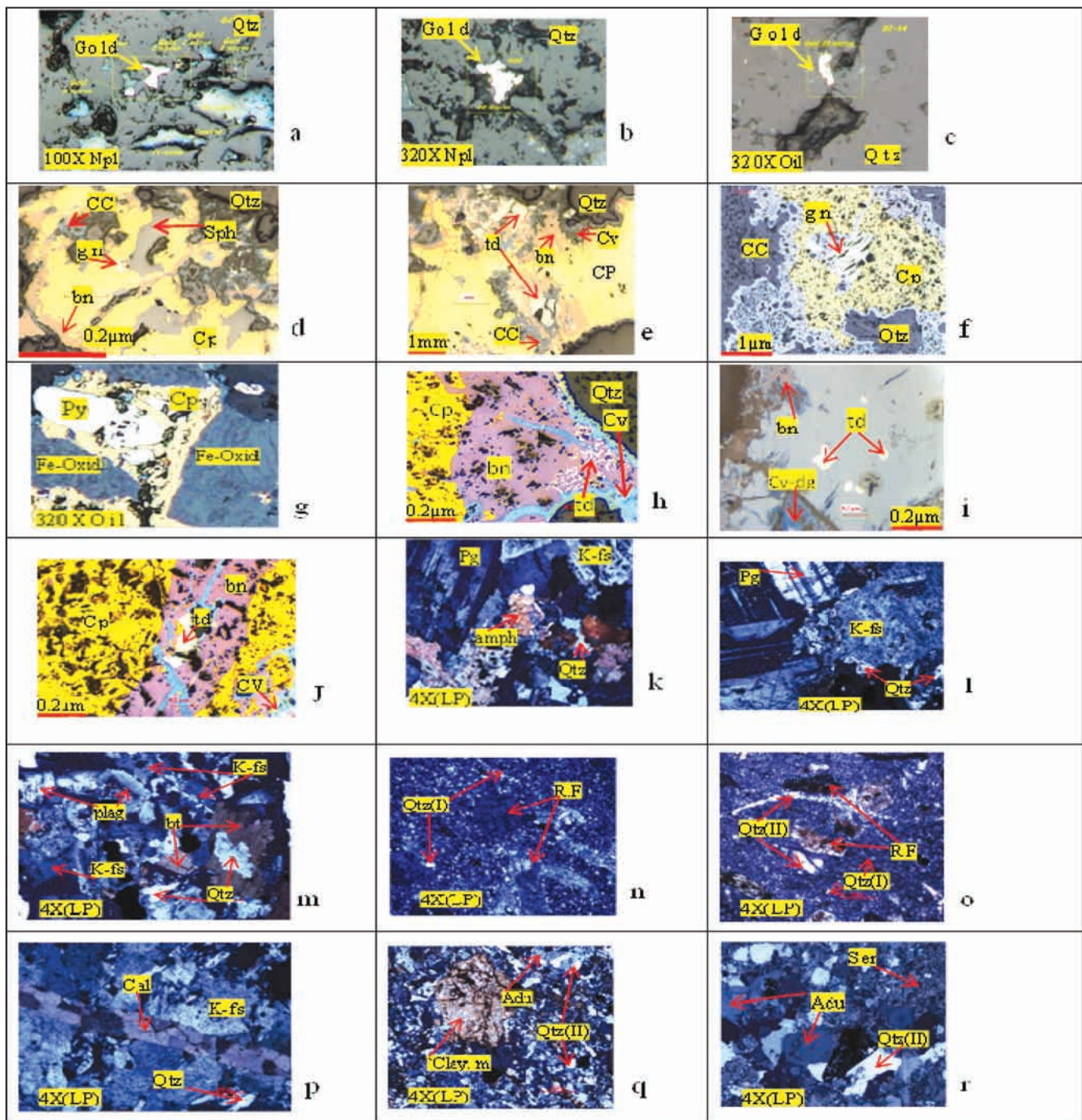
شکل ۵- مقدار همبستگی عناصر سنگ ساز و کانسار ساز بر پایه نمودار خوشه‌ای.

شکل ۶- (a) توف‌های نواری (واحد E¹ در نقشه لهنه)؛ (b) بلورهای پیریت در نمونه دستی صیقل داده شده توف نواری؛ (c) کانی‌زایی سولفید عناصر پایه (بخش تیره) در سنگ‌های مونزونیتی (روشن رنگ)؛ (d) کانی‌زایی اصلی طلا و مس در محل همبری توده نفوذی و توف‌برش‌ها در سینه کار اصلی معدن لهنه؛ (e) کانی‌زایی سولفیدی از نمای نزدیک در معدن لهنه؛ (f) کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت و کالکوزین در گانگ سیلیسی در نمونه دستی صیقل داده شده؛ (g) توف‌برش‌های دگرسان شده (دگرسانی سیلیسی و سرپیتی) دارای سه نسل کوارتز (بلورهای کوارتز دانه‌ای در زمینه سنگ، کوارتز شکل‌دار، کوارتز شانه‌ای)؛ (h) دگرسانی سیلیسی و سرپیتی در نمونه دستی صیقل داده شده از سنگ توف‌برش؛ (i) کانی‌زایی سولفیدی (به رنگ سیاه) در باطله سیلیسی در نمونه دستی صیقل داده شده توف‌برش دگرسان شده دارای یک قطعه دگرسان شده به رنگ سفید دارای دانه‌های کوارتز (I) و رگه سیلیسی کوارتز (II) در حاشیه قطعه دگرسان شده کوارتز شانه‌ای (III). Py: پیریت؛ qm: کوارتز مونزونیت؛ Ore: کانسنگ؛ Tb: توف‌برش؛ Cp: کالکوپیریت؛ cc: کالکوسیت؛ Qtz: کوارتز (I, II, III): (نسل اول، دوم، سوم).

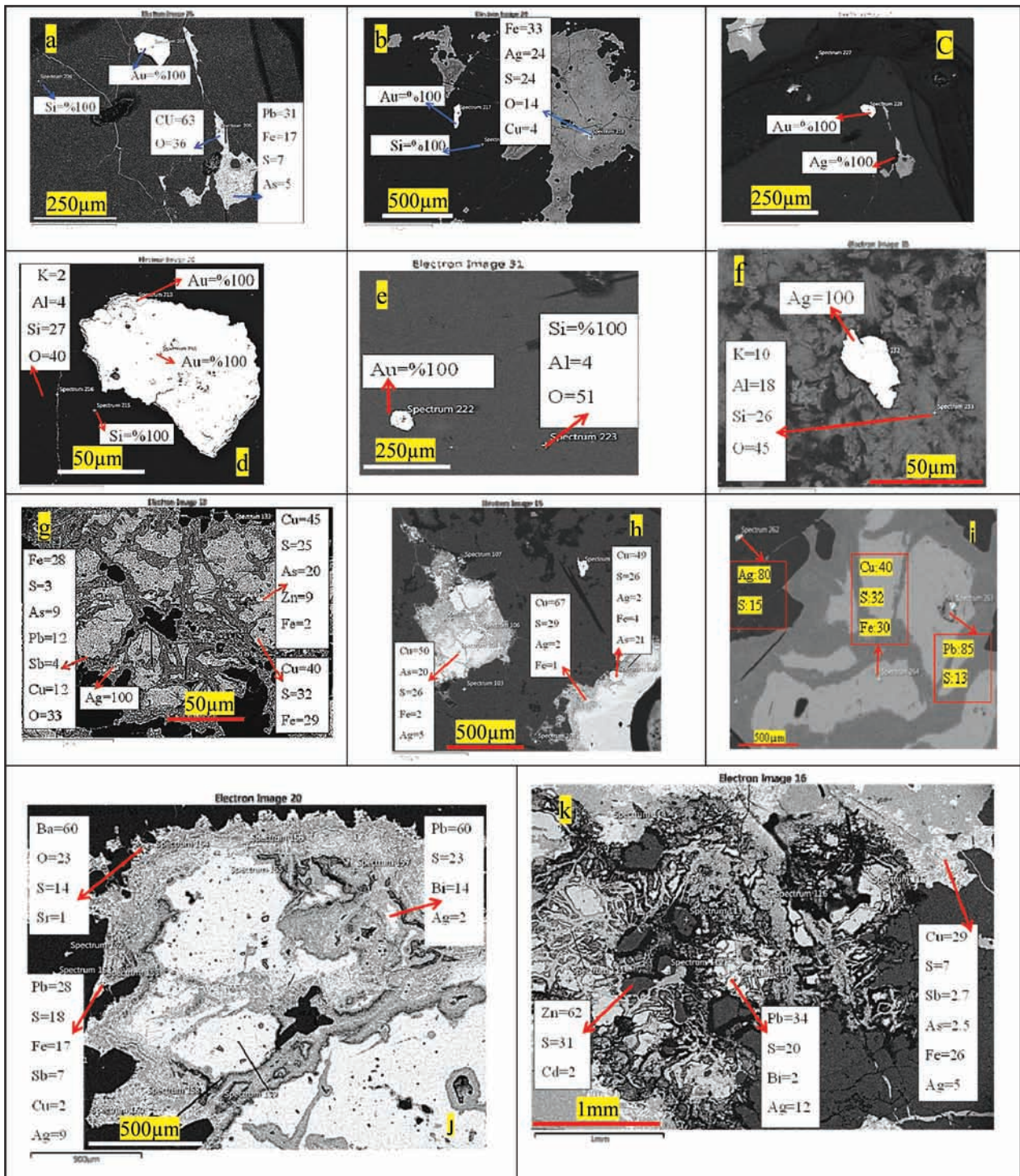




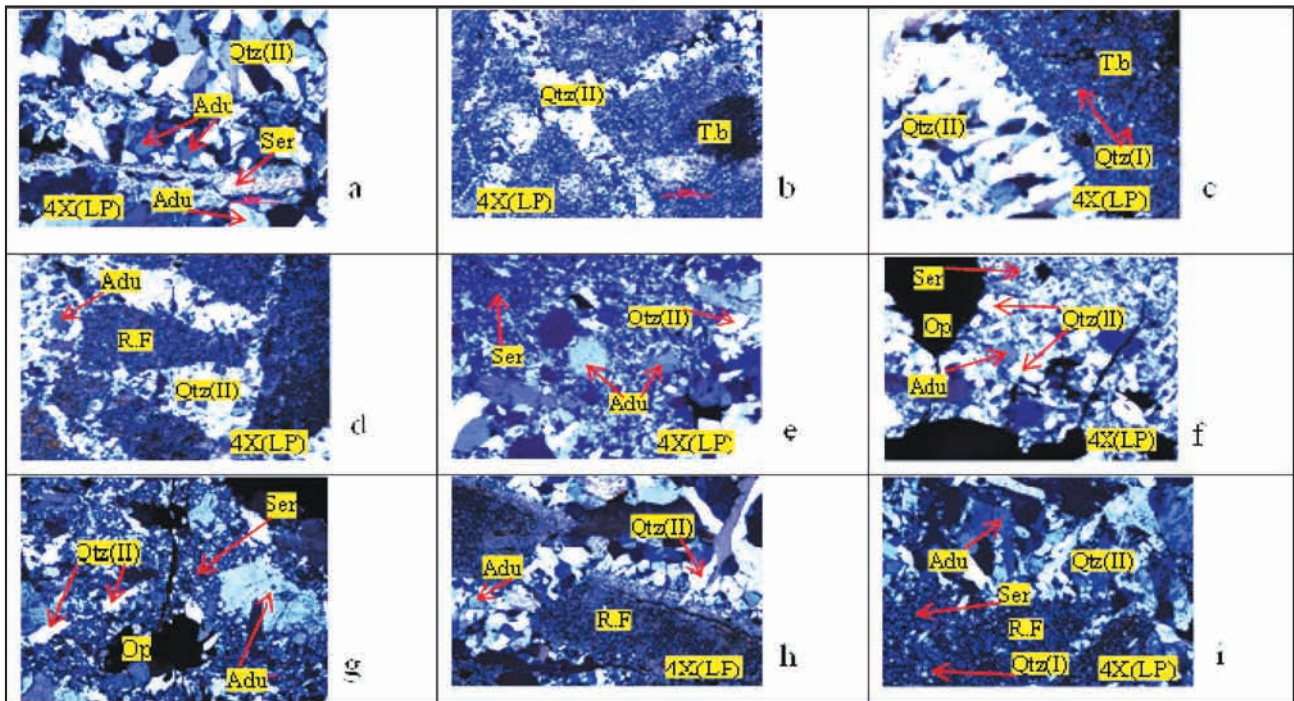
شکل ۷- a) کانی‌سازی طلا و سولفیدهای مس، سرب و روی در توف برش‌های مجاور توده نفوذی؛ b) تزریق شیرابه‌های سیلیسی در درز و شکاف توف برش‌ها؛ c) کانی‌سازی سولفیدی (کالکوپیریت) در باطله سیلیسی؛ d، e، f) کانی‌سازی سولفیدی (کالکوپیریت و کالکوزین) پرکننده فضای خالی در باطله سیلیسی؛ g، h و i) ساخت‌شانه‌ای و نواری گانگ سیلیسی و کانی‌سازی سولفیدی؛ j و k) برش‌های گرمابی دارای قطعات سیلیسی شده در زمینه سولفیدی؛ l) کانی‌سازی سولفیدی در باطله سیلیسی قطعات برش گرمابی؛ m) نمونه دستی از توف برش کمتر دگرسان شده، n) نمونه دستی از توف برش دگرسان شده؛ o) نمونه دستی از سنگ‌های کوارتزومونزونیته؛ p) نمایی از دگرسانی آرژیلی، کوارتز فلدسپاری و سریسیتی در منطقه مورد مطالعه، q) نمونه دستی از توف‌های دگرسان شده؛ r) دگرسانی سریسیتی دارای کانی‌های کوارتز فلدسپاری (بخش روشن) و پیریت هماتیته شده (نقاط تیره رنگ). Tb: توف برش؛ Ore: ماده معدنی؛ Qtz (I, II, III): کوارتز (نسل ۱، ۲، ۳)؛ Cp: کالکوپیریت؛ Tb+Si: توف برش سیلیسی شده؛ CC: کالکوسیت؛ R.F: قطعه سنگی؛ Ore+Si: ماده معدنی همراه سیلیس؛ Py (I, II, III): پیریت (نسل ۱، ۲، ۳)؛ Py+Hem: پیریت تجزیه شده به هماتیته؛ Arg+Ser+Alt: دگرسانی سیلیسی و آرژیلی.



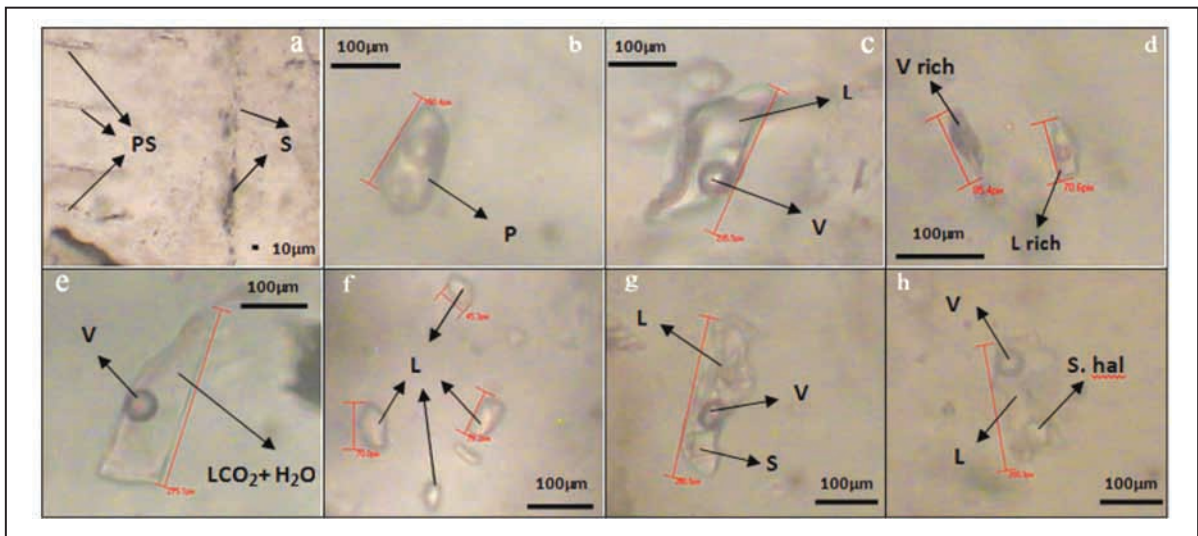
شکل ۸- a, b و c) ذرات طلا در باطله سیلیسی؛ d) کانی‌های اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، بورنیت در باطله سیلیسی؛ e) کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت، سولفوسالت در باطله سیلیسی؛ f) کانی‌های کالکوپیریت تجزیه شده به کالکوسیت، و گالن با رخ مثلی کشیده در باطله سیلیسی؛ g) کانی‌های کالکوسیت و کوولیت-دیژنیت حاصل از تجزیه کالکوپیریت و بورنیت به صورت هم‌رشدی با سولفوسالت در باطله سیلیسی؛ h) کانی‌های کالکوپیریت تجزیه شده به کوولیت-دیژنیت و بورنیت به صورت هم‌رشدی با سولفوسالت در باطله سیلیسی؛ i) کانی‌های سولفوسالت به صورت هم‌رشدی با کالکوسیت و کانی‌های کوولیت-دیژنیت؛ j) کانی‌های کالکوپیریت و پیریت در باطله سیلیسی؛ k) درشت بلورهای پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و آمفیبول و کانی‌های ریز کوارتز در سنگ کوارتز مونزونیتی؛ l) کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی در سنگ مونزونیتی؛ m) کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، بیوتیت و کوارتز در سنگ مونزوگرانودیوریتی؛ n) سنگ توف برش دارای بلورهای ریز کوارتز در زمینه و قطعات سنگی، و قطعات سنگی؛ o) سنگ توف برش دارای بلورهای ریز کوارتز در زمینه و قطعات سنگی، تحت تأثیر محلول‌های گرمابی دارای رگه‌های سیلیسی؛ p) رگه کلسیتی به همراه فلدسپار قلیایی گرمابی (آدولاریا)؛ q) دگرسانی رسی-سرسیستی دارای کانی‌های رسی، آدولاریا، کوارتز، پیریت؛ r) دگرسانی رسی-سرسیستی دارای کانی‌های کوارتز، آدولاریا، سریسیست. Gold: طلا؛ Qtz: کوارتز؛ CC: کالکوسیت؛ gn: گالن؛ Sph: اسفالریت؛ bn: بورنیت؛ Cp: کالکوپیریت؛ td: تتراهدريت؛ Cv: کوولیت؛ Py: پیریت؛ dg: آمفیبول؛ R.F: قطعه سنگ، Cal: کلسیت؛ K-fs: فلدسپار قلیایی؛ Clay.m: کانی رسی؛ Adu: آدولاریا؛ Ser: سریسیست؛ Fe-Oxid: اکسید آهن.



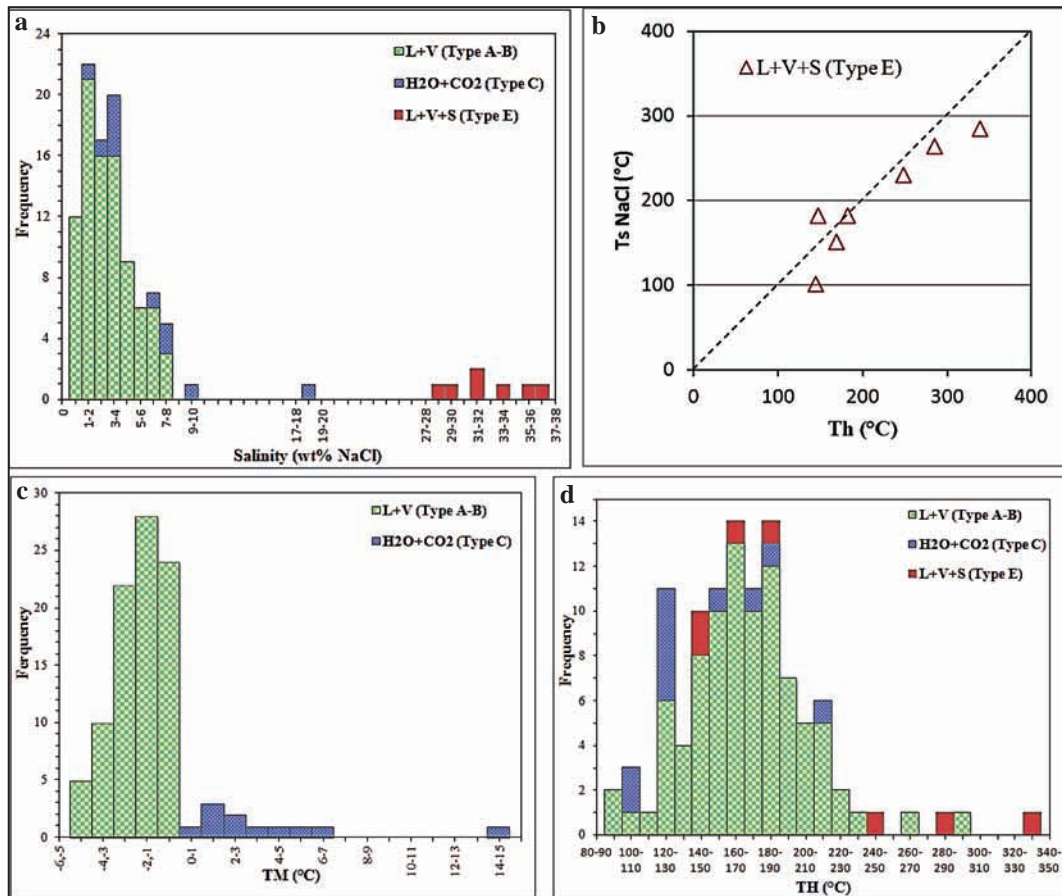
شکل ۹- (a) ذرات طلا در باطله سیلیسی بدون درگیری با کانی‌های سولفیدی؛ (b) ذرات طلا در باطله سیلیسی همراه با کانی کالکوپیریت؛ (c) ذرات طلا و نقره در باطله سیلیسی همراه کانی کالکوپیریت؛ (d) ذرات طلا در باطله سیلیسی همراه فلدسپار گرمابی (آدولاریا)؛ (e) ذرات طلا در باطله سیلیسی همراه کانی رسی (کانولینیت)؛ (f) ذرات طلا در باطله سیلیسی همراه فلدسپار گرمابی (آدولاریا)؛ (g) ذرات نقره در باطله سیلیسی همراه با کانی‌های کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدريت و بر پایه ترکیب شیمیایی آرسنوپیریت و تنانتیت؛ (h) ذرات نقره در کانی‌های سولفیدی؛ (i) سولفید نقره در باطله سیلیسی همراه گالن و کالکوپیریت؛ (j) کانی‌های باریت، گالن، تتراهدريت و نقره، بیسموت در شبکه گالن (بر پایه تجزیه SEM)؛ (k) کانی‌های کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، و تتراهدريت، عناصر نقره و بیسموت در شبکه گالن، و کادمیم در شبکه اسفالریت.



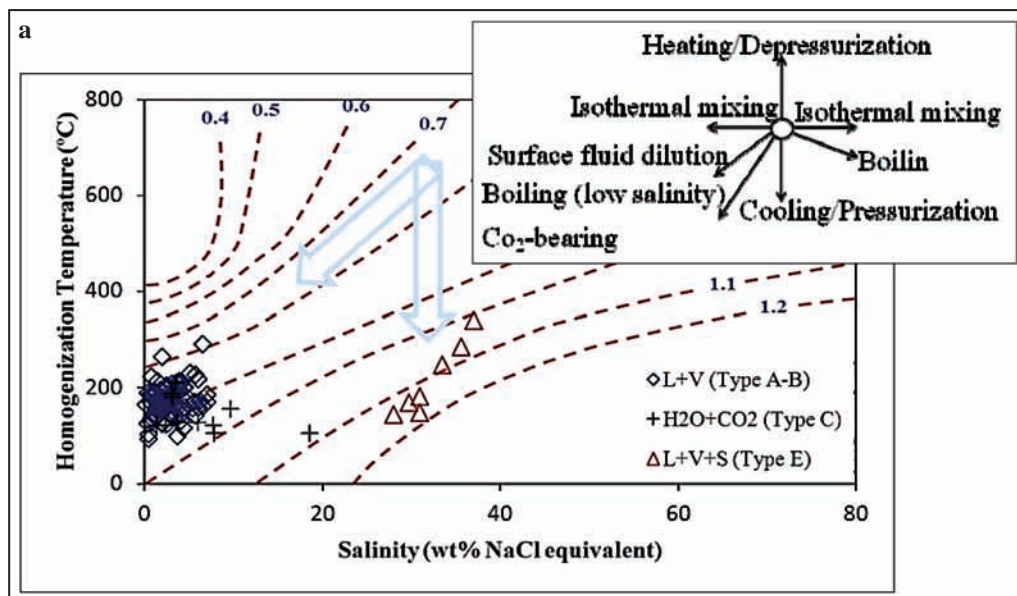
شکل ۱۰- (a) دگرسانی سریستی دارای کانی‌های کوارتز (شانه‌ای)، سریست، فلدسپار قلیایی (آدولاریا) و پیریت؛ (b) سنگ توف برش تحت تأثیر محلول‌های گرمایی دارای رگه‌های سیلیسی و کانی‌های کدر؛ (c) رشد کوارتز شانه‌ای در اثر آزاد شدن سیلیس از تجزیه فلدسپارها، سریست و آدولاریا؛ (d) قطعات سنگ توف برش باقیمانده که در اثر هجوم محلول‌های گرمایی سیلیسی شده‌اند؛ (e) دگرسانی سریستی دارای کانی‌های فلدسپار قلیایی گرمایی (آدولاریا)، سریست، کوارتز، پیریت؛ (f) دگرسانی سیلیسی دارای کانی‌های کوارتز، کمی سریست و کانی‌های کدر (کالکوپیریت)؛ (g، h و i) حضور برش‌های گرمایی و کانی آدولاریا دلالت بر پدیده جوشش دارد. کوارتز (نسل ۱، ۲ و ۳)؛ Adu آدولاریا؛ Ser: سریست؛ Tb: توف برش؛ R.F: قطعه سنگ؛ Op: کانی تیره.



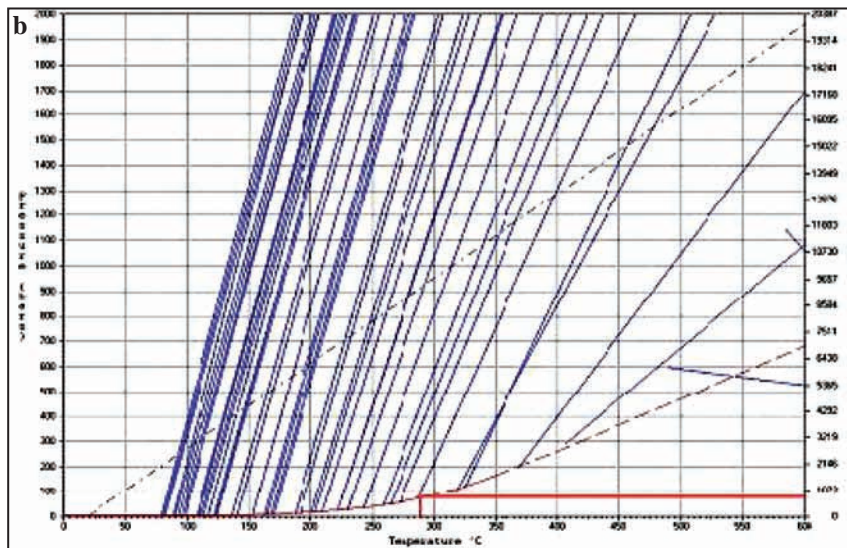
شکل ۱۱- انواع سیال‌های درگیر. (a) میانبرهای ثانویه (S) و ثانویه دروغین (PS)؛ (b) میانبرهای اولیه (P)؛ (c) میانبرهای نوع A دارای فاز مایع و بخار؛ (d) میانبرهای غنی از بخار (نوع B) و غنی از مایع (نوع A)؛ (e) میانبرهای نوع C دارای فاز مایع-بخار و CO_2 ؛ (f) میانبرهای نوع D دارای فاز مایع؛ (g و h) میانبرهای نوع E دارای فاز جامد (هالیت)-مایع-بخار.



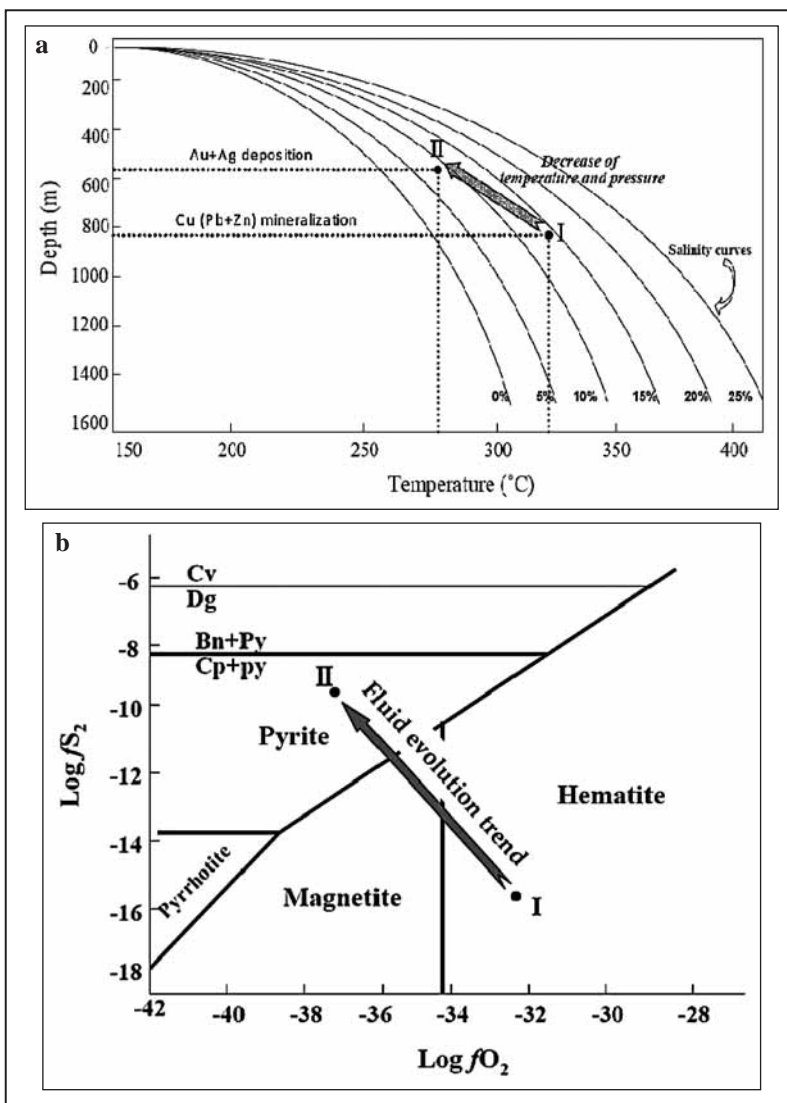
شکل ۱۲- (a) مقدار شوری میانبارهای سیال در برابر فراوانی؛ (b) نمودار NaCl T_s در برابر T_h برای گروه نمونه‌های با شوری بالا؛ (c) دمای ذوب میانبارهای سیال در برابر فراوانی؛ (d) دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در برابر فراوانی.



شکل ۱۳- (a) اندازه‌گیری چگالی (g/cc) با استفاده از شوری و درجه همگن‌شدگی سیال.



شکل ۱۳- (b) نمودار تعیین ژرفای کانی سازی.



شکل ۱۴- (a) ژرفای به دام افتادن میانبرهای سیال (Hass, 1971) در کانسار لهنه با کانی سازی فلزات پایه در ژرفای تقریبی ۸۰۰ تا ۹۰۰ متری و فشار تقریبی ۲۴۰ بار (I) و کانی سازی طلا- نقره در ژرفای تقریبی ۵۰۰ تا ۶۰۰ متری و فشار تقریبی ۱۵۰ بار (II)؛ (b) روند تکامل سیال‌های کانی ساز (Barton & Skinner, 1979) از شرایط اکسیدی (I) به سوی کانی سازی سولفیدی (II، محیط احیایی) در منطقه: کالکوپیریت؛ Cp؛ بورنیت؛ Bn؛ پیریت؛ Py؛ کولیت؛ Cv؛ دیژنیت؛ Dg.

جدول ۱- نتایج تجزیه سنگ‌های گرانیتوئیدی.

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	FeOT	Fe2O3T	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	Q	A	P	LOI	K	Rb	Nb	Zr	Ti	Y	Yb
p.r.45	62.37	0.74	15.6	0.86	3.72	4.49	4.99	2	2.3	3.5	2.57	4.62	0.27	98.96	2	17.74	50.82	*	38352.01	174.1	65	414	4436	23.7	*
p.r.50	57.25	0.75	16.3	1.04	5.32	6.26	6.95	1.1	3.11	5.46	2.2	4.51	0.36	98.02	13.01	19.49	41.27	*	37438.86	161.6	67.7	368.5	*	31	*
p.r.51	61.44	0.7	15.8	0.86	3.77	4.54	5.05	1.1	2.04	3.43	2.29	5.92	0.28	98.07	10.76	29.21	46.79	*	49143.7	225.6	71.8	414.2	4197	31.9	*
p.r.52	59.56	0.77	16.3	0.97	4.24	5.11	5.68	2	3.19	4.49	2.13	4.88	0.32	99.3	10.76	29.21	38.85	*	40510.34	186.7	69.3	397.9	4616	21.9	*
p.r.53	58.35	0.84	16.4	1.13	4.99	6.01	6.67	2	3.61	5.53	2.29	4.38	0.4	100.5	8	25.92	40.93	*	36359.69	152.8	69.3	392.4	5036	18.3	*
p.r.55	57.2	0.87	15.9	0.95	4.12	4.97	5.53	2	2.38	3.48	3.09	4.47	0.37	99.89	12.59	23.57	41.68	*	32624.11	121.4	67.9	381.5	5216	90.7	*
p.r.56	56.53	0.92	15.9	1.28	5.72	6.87	7.63	1.12	3.89	5.32	2.09	4.43	0.39	98.22	7.52	26.85	39.48	*	36774.76	126.5	69.2	387	5515	14.4	*
p.r.57	56.46	0.98	15.8	1.39	6.2	7.45	8.28	1.11	4.11	4.81	1.89	4.33	0.39	98.13	8.8	26.28	38.54	*	35944.63	125.1	69.2	383.7	5875	13.7	*
p.r.6	61.85	0.78	15.9	0.95	4.12	4.97	5.53	2	2.38	3.48	3.09	4.47	0.37	99.89	12.59	23.57	41.68	*	37106.81	129.8	68.1	365.7	4676	14.6	*
r-11	61.58	0.7	14	0.97	4.32	5.19	5.77	1.11	3.13	5.82	2.41	4.77	0.31	99.55	12.42	28.48	33.79	0.9	39597.2	134.4	*	305.5	4197	25.3	10
r-116	68.48	0.44	14.3	0.53	2.31	2.79	3.1	1.13	1.21	2.19	2.67	5.62	0.13	99.25	23.16	33.58	22.8	1.12	46653.31	162.8	*	237	2638	27.3	1
r-123	59.38	0.98	14	1.42	6.36	7.64	8.49	1.17	3.86	5.23	4.5	0.44	0.25	98.29	12.17	2.67	56.04	1.85	3652.57	*	*	*	5875	*	2
r-13	58.12	0.72	14	1.16	5.25	6.29	6.99	1.34	3.97	6.11	2.23	4.45	0.32	98.26	8.45	26.95	34.67	2.14	36940.79	137.1	*	270.1	4316	25.1	10
r-21	59.09	0.94	14.3	1.31	5.83	7.01	7.79	1.14	4.28	3.72	1.8	4.75	0.32	98.16	12.55	28.81	32.61	2.38	39431.18	139.1	*	327.9	5635	25.7	10
r-22	58.18	1.06	13.1	1.53	6.84	8.22	9.13	1.22	4.55	4.97	2.18	2.89	0.32	97.59	14.05	17.65	35.76	2.8	23990.76	72	*	305	6355	23.3	10
r-27	59.58	0.89	14.2	1.23	5.46	6.57	7.3	1.1	3.2	6.61	2.33	4.25	0.3	99.79	10.61	25.35	35.76	0.52	35280.53	119.2	*	301.3	5336	24.7	10
r-3	64.34	0.53	15	0.75	3.36	4.03	4.48	1.16	1.78	3.73	3.12	5.15	0.25	99.58	14.62	30.7	38.44	0.74	42751.7	190.2	*	292.8	3177	26.7	10
r-33	63.45	0.82	14.6	1.02	4.46	5.38	5.98	1.12	2.27	3.1	3.54	4.05	0.27	99.18	14.97	24.28	42.37	1.26	33620.27	119.5	*	285.9	4916	25.9	10
r-34	64.19	0.73	14.6	0.86	3.7	4.47	4.97	1.1	2.09	3.96	2.93	4.62	0.29	99.43	16.72	27.6	37.99	1.04	38352.01	*	*	305.6	4376	25.7	10
r-35	59.25	0.86	13.9	1.17	5.21	6.26	6.96	1.16	3.64	6.09	2.27	4.27	0.34	98.78	10.84	25.72	35.01	1.62	35446.55	115.3	*	269.8	5156	24.9	10
r-36	59.46	0.86	14.1	1.22	5.44	6.54	7.26	2	3.5	6.31	2.59	3.89	0.35	100.34	9.54	23.07	37.36	1.08	32292.06	111.2	*	283.6	5156	24.5	10
r-39	68.01	0.41	14.8	0.48	2.09	2.52	2.8	1.1	1.01	2.44	3.06	5.42	0.14	99.16	22.39	32.73	26.41	1.26	44993.05	198.1	*	237.3	2458	27.5	10
r-4	68.44	0.57	13.7	0.54	2.26	2.75	3.05	1.1	1.63	1.62	3.11	5.56	0.57	99.33	23.73	33.53	26.8	1.46	46155.23	141.8	*	354.6	3417	25.5	10
r-40	59.7	0.89	14.8	1.11	4.88	5.88	6.53	1.1	2.69	6.2	2.58	4.5	0.32	99.27	11.08	27.23	22.31	1.16	37355.85	151.7	*	269.1	5336	25.7	10
r-41	59.82	0.89	14.8	1.11	4.85	5.85	6.5	1.1	2.74	6.02	2.66	4.56	0.31	99.49	10.69	27.56	22.97	1.16	37853.93	152.9	*	268.9	5336	25.6	10
r-6	57.74	0.71	14.2	1.16	5.3	6.34	7.05	1.12	4	6.92	2.68	3.37	0.38	98.13	9.54	20.65	23.46	*	27975.38	91.3	*	212.6	4256	23.3	10
r-60	58.76	0.24	11.4	1.53	7.59	8.97	9.96	1.27	4.6	4.49	2.92	3.5	0.86	97.98	10.77	21.53	25.67	2.35	29054.55	106.5	*	179.9	1439	24	10
r-61	53.01	0.84	15.1	1.37	6.22	7.45	8.28	1.21	5.58	7.7	2.41	3.04	0.33	99.47	2.45	18.77	21.26	2.5	25235.95	77.3	14	*	5036	35.5	2
r-65	63.02	0.79	14.1	0.94	4.09	4.94	5.48	1.11	2.73	3.59	3.08	3.84	0.26	97.98	18.03	23.53	26.97	2	31876.99	100	*	298.3	4736	25.5	10
r-66	63.56	0.78	14	0.93	4.04	4.88	5.42	1.11	2.44	3.66	2.39	4.75	0.25	98.34	19.43	29	20.85	1.73	39431.18	120.6	*	302.3	4676	25.9	10
r-8	57.78	0.72	14.1	1.25	5.73	6.85	7.62	1.15	3.86	7.1	2.51	3.34	0.39	98.54	10.21	20.39	21.89	1.9	27726.34	71.1	*	220.6	4316	23.1	10
r-85-123	59.38	0.98	14	1.42	6.36	7.64	8.49	1.17	3.86	5.23	4.5	0.44	0.25	98.29	13.17	2.69	39.38	3.85	3652.57	8.9	*	218.3	5875	23.9	2
r-85-123	71.05	0.55	9.84	0.72	3.15	3.8	4.22	1.19	1.21	4.74	0.36	0.27	0.23	93.66	58.96	1.73	3.3	3.91	2241.35	1	*	123.2	3297	21.8	2
r-85-124	70.06	0.62	9.23	1.08	4.93	5.9	6.56	2.42	2.57	1.51	0.65	0.44	0.1	94.16	57.59	2.81	5.93	3.55	3652.57	1	*	144.6	3717	24	2
r-85-124	76.08	0.19	5.92	1.08	5.31	6.28	6.98	2.95	0.34	0.91	0.1	1.67	0.1	95.24	65.53	10.55	0.9	2.93	13863.17	1	*	48.5	1139	29.1	2
r-85-124	60.01	0.11	3.34	1.49	7.5	8.84	9.82	3.58	0.19	11.51	0.1	0.94	0.1	89.65	42.29	6.33	0.96	0.96	7803.22	1	*	46.9	659	24.6	2
r-85-126	61.77	0.33	17.8	1	4.81	5.71	6.34	1.66	0.5	0.7	0.1	4.91	0.1	94.18	39.33	31.34	0.91	4.62	40759.38	136.6	*	129.1	1978	29.5	2
r-85-127	63.05	0.58	18.3	1.01	4.63	5.54	6.15	1.1	0.49	0.53	0.1	4.54	0.1	94.96	43.16	28.73	0.9	4.49	37687.9	67.1	*	170	3477	27.8	2
r-85-127	66.2	0.37	15.2	0.62	2.83	3.39	3.76	1.1	0.93	2.66	3.09	5.54	0.12	98.93	19.07	33.57	26.75	1.35	45989.2	131.8	*	219.5	2218	26.4	2
r-85-137	56.6	0.69	15.5	1.24	5.72	6.84	7.59	1.1	3.81	5.82	2.34	4.31	0.34	98.11	7.27	26.42	20.5	1.78	35778.6	112.5	*	256.8	4137	24.4	2

جدول ۲- نتایج تجزیه گدازه‌های آتشفشانی.

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	FeOT	Fe2O3T	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	Q	A	P	Nb	Y	La
p.r.14	65.94	0.25	15.02	0.28	1.22	1.47	1.64	1	1.6	1.88	4.34	5.04	0.18	99.68	15.6	31	40.2	16.6	41.9	20.5
p.r.19	58.36	0.76	14.2	0.8	3.38	4.1	4.56	1	1.02	3.01	4.1	4.3	0.3	99.89	12.7	26	44.9	14.3	24.7	11.6
p.r.2	67	0	14.76	0.29	1.48	1.74	1.93	1	0	1.26	3.49	6.12	1	100.1	23.8	37	30.3	18.4	37.7	24.3
p.r.24	70.65	0.47	15.93	0.2	0.59	0.77	0.86	1	0.47	0.86	4.01	3.61	0.1	99.52	31	21	37.4	22.3	24	25.9
p.r.27	67.46	0	13.55	0.34	1.74	2.05	2.27	1	0.06	1.31	2.55	6.69	1	100	27.9	40	22.5	12.3	37.4	15.7
p.r.28	70.06	0.44	15.87	0.17	0.45	0.6	0.67	1	0.52	4.69	4.56	0.52	0.1	99.65	31.9	3.2	57.6	18.1	1	1
p.r.30	67.56	0.44	14.98	0.41	1.67	2.04	2.27	0.11	0.77	2.12	3.21	4.92	0.1	100.6	24.5	30	38.5	17.7	18.6	28.9
p.r.31	67.66	0.41	16.35	0.36	1.49	1.81	2.02	1	0.56	0.27	1.85	5.36	0.09	99.23	35.9	33	17.1	16.9	21.8	17.7
p.r.33	68.95	0	15.8	0.33	0.67	0.97	1.07	1	0.1	1.37	3.48	4.68	0.1	98.52	26.2	30	39	*	39.3	16.8
p.r.4	73.95	0.41	14.67	0.15	0.39	0.52	0.58	1	0.71	1.62	4.5	0.48	0.13	99.11	41.7	2.9	45	18.1	3.5	2
p.r.8	64.04	0.41	14.73	0.57	2.52	3.03	3.37	1	0.42	0.73	3.93	5.16	0.25	100.2	20.7	31	35.8	17.4	13.6	7.5
r-121	44.08	0.63	11.36	1.54	7.3	8.69	9.65	0.23	5.84	4.06	2.33	4.44	0.31	100.5	0	29				

جدول ۳- نتایج تجزیه ICP رگه‌های سیلیسی دارای کانی زایی.

SAMPTE	Au	Ag	As	Ba	Bi	Cd	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	W	Zn	U	S	Sb	Sr	AT	Ca	Co	Cr	K	Mg	Na	Ni	P	Ti	V
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	
T1	0.186	54	130	50	<20	10	670	12.3	870	10	2760	<50	10650	<50	0.6	<50	570	3.61	0.89	10	130	0.3	0.81	0.91	<10	1140	0.22	230
T2	0.096	<1	<50	110	<20	<10	310	1.08	630	<10	140	<50	260	<50	<0.1	<50	300	5.31	3	<10	120	0.7	0.39	1.78	<10	920	0.25	80
T3	0.01	<1	<50	670	<20	<10	630	11.65	790	50	20	<50	50	<50	<0.1	<50	440	7.26	1.65	100	100	2.1	1.18	2.39	30	1590	0.41	210
T4	0.005	2	<50	190	<20	<10	490	5.8	80	130	170	<50	80	<50	1.9	<50	460	3.26	0.97	10	190	0.8	0.08	3.4	<10	100	0.17	60
T5	0.002	<1	<50	2330	<20	10	60	2.76	3760	<10	250	<50	830	<50	0.1	<50	80	3.54	3.94	10	120	1.4	0.87	<0.05	20	470	0.14	60
T6	>10.0	137	2290	770	310	60	34200	2.1	240	50	3810	<50	2860	370	1.5	550	20	1.58	0.29	30	190	0.9	0.08	<0.05	10	50	0.05	20
T7	0.03	9	380	1070	<20	10	6090	1.24	440	20	510	<50	730	<50	0.2	100	30	2.02	0.19	40	100	2.1	0.05	0.07	<10	310	0.16	30
T8	0.731	51	5660	1720	230	30	15800	2.97	1060	10	3250	<50	630	180	1	1120	60	1.04	0.63	50	380	0.5	0.1	<0.05	20	80	<0.05	20
T9	0.029	3	250	590	20	<10	1020	3.35	1720	<10	110	<50	140	<50	0.4	50	70	5.63	1.38	20	170	3.2	0.49	0.24	<10	460	0.16	40
T10	0.004	1	<50	2400	<20	<10	130	2.58	860	<10	40	<50	60	<50	0.2	<50	130	2.78	0.24	20	260	2.9	0.26	0.39	<10	430	0.14	50
T11	0.018	<1	50	110	<20	<10	2020	2.83	470	<10	60	<50	120	<50	1	<50	20	2.01	0.11	70	180	1.8	0.26	1.19	10	190	0.12	30
T12	0.042	2	50	80	<20	<10	2710	4.39	430	10	130	120	110	<50	1.3	<50	40	2.82	0.23	130	280	0.7	0.46	0.29	<10	310	0.08	50
T13	0.056	<1	100	100	<20	<10	1840	3.54	1040	10	250	<50	330	100	0.4	<50	40	4.51	0.67	80	270	1.1	0.56	0.2	10	380	0.12	50
T14	0.01	<1	<50	570	<20	<10	1000	3.35	1280	<10	160	<50	810	<50	0.2	<50	80	5.07	0.93	30	230	2.2	0.72	0.37	<10	480	0.14	50
T15	2.58	130	790	400	<20	20	3400	4.6	910	10	13700	<50	670	<50	0.4	1910	80	3.25	0.23	30	160	2	0.17	0.31	<10	270	0.08	30
T16	0.01	2	<50	280	<20	<10	150	17.95	2330	180	50	<50	20	90	0.3	<50	90	3.73	2.29	190	100	1.5	1.04	0.31	<10	250	0.06	60
T17	0.007	<1	50	180	<20	<10	70	2.3	1070	150	90	<50	<20	<50	22.9	<50	40	1.82	2.24	660	200	0.9	0.88	0.16	<10	<50	0.05	60
T18	0.005	<1	<50	60	<20	<10	80	17.4	1540	260	<20	<50	20	<50	11.2	<50	100	1.4	7.36	210	90	0.7	0.4	0.13	<10	120	<0.05	20
T19	0.002	<1	<50	290	<20	<10	20	0.95	330	<10	30	<50	40	<50	<0.1	<50	120	2.5	0.81	10	120	1.5	0.14	4.12	<10	440	0.16	30
T20	0.011	59	200	1750	<20	10	2000	1.74	720	<10	180	<50	310	<50	0.1	720	60	6.34	1.03	10	130	3.1	0.18	0.08	10	440	0.18	50
T21	0.002	<1	<50	610	<20	<10	10	2.71	670	<10	30	<50	20	<50	<0.1	<50	330	3.42	2.19	10	150	3.4	0.58	2.32	10	710	0.25	80
T22	0.001	<1	<50	560	<20	<10	10	2.18	620	<10	<20	<50	30	<50	<0.1	<50	270	3.19	2.68	10	120	3.4	0.39	2.26	<10	520	0.21	70
T23	0.003	<1	<50	360	<20	<10	20	2.94	740	<10	30	<50	40	<50	<0.1	<50	330	4.63	2.28	10	90	3.3	0.65	2.47	<10	780	0.28	90
T24	0.002	<1	<50	570	<20	<10	80	5.12	970	<10	100	<50	60	<50	<0.1	<50	430	6.13	4.36	20	110	3.2	1.55	2.11	20	1360	0.47	160
T25	0.002	<1	<50	690	<20	<10	20	1.86	320	<10	20	<50	30	<50	<0.1	<50	260	3.44	1.71	<10	100	3.7	0.21	2.31	10	450	0.17	40
T26	0.003	<1	<50	360	<20	<10	70	2.65	1840	10	290	<50	220	<50	<0.1	<50	150	4.45	9.97	10	20	2.2	0.51	0.9	10	380	0.12	40
T27	2.76	>200	6270	310	<20	420	27500	1.34	890	420	>100000	<50	5230	<50	1.7	15500	290	0.67	2.5	30	160	0.3	0.07	<0.05	20	140	<0.05	240
T28	0.003	1	<50	700	<20	<10	80	1.62	270	<10	280	<50	50	<50	0.3	<50	360	3.48	1.23	10	90	3.8	0.17	2.43	10	380	0.13	50
T29	0.047	2	<50	890	<20	<10	190	5.96	3870	40	260	<50	240	<50	0.2	<50	130	3.03	13.9	30	30	1.4	0.23	0.28	<10	560	<0.05	30
T30	0.005	1	<50	910	<20	<10	60	2.77	1520	<10	80	<50	360	<50	<0.1	<50	100	3.54	0.68	120	130	3.6	0.2	0.52	<10	450	0.11	40
T31	0.028	<1	50	300	<20	<10	40	10.35	140	20	30	700	30	<50	0.3	<50	210	4.21	0.36	60	170	0.2	1.3	0.57	10	750	0.19	170
T32	0.008	1	<50	690	<20	<10	30	8.69	110	10	30	<50	20	<50	0.2	<50	210	4.36	0.37	50	200	0.6	1.16	0.54	<10	1310	0.13	90
T33	0.002	<1	<50	140	<20	<10	20	6.72	3740	<10	60	<50	380	<50	<0.1	<50	90	7.05	4.19	10	80	2.5	0.3	<0.05	10	1120	0.29	120
T34	0.009	2	<50	880	<20	<10	60	1.77	5120	10	230	<50	470	<50	<0.1	<50	80	3.07	1.92	<10	80	1.5	0.18	<0.05	<10	230	0.11	30
T35	0.145	12	60	240	<20	30	3510	2.47	5690	20	2330	<50	2210	<50	0.2	60	130	3.03	1.45	10	110	1.4	0.15	<0.05	<10	1590	0.12	30
T36	0.012	10	130	170	<20	<10	1680	3.52	7060	<10	1560	<50	710	<50	0.1	90	290	3.21	3.38	20	70	1.3	0.18	<0.05	<10	360	0.12	30
T37	0.003	2	60	3860	<20	<10	110	3.12	450	30	140	<50	60	<50	0.2	<50	350	4.89	1.1	10	150	0.7	0.93	2.76	10	600	0.3	70
T38	0.002	<1	<50	3760	<20	<10	130	7.08	9480	20	860	<50	140	<50	<0.1	<50	820	5.6	3.33	10	60	1.9	0.16	3.22	10	1220	0.65	280
T39	0.002	1	<50	1420	<20	<10	110	2.99	1850	<10	70	<50	140	<50	<0.1	<50	400	4.09	2.51	<10	80	1.4	0.46	3.33	<10	1220	0.42	60
T40	0.002	<1	<50	1120	<20	<10	130	1.3	430	10	30	<50	40	<50	<0.1	<50	230	3.16	0.58	10	120	3	0.1	2.61	<10	210	0.13	40
T41	0.002	<1	<50	1010	<20	<10	40	5.03	1650	<10	70	<50	670	<50	<0.1	<50	380	4.13	4.25	20	80	3.2	1.2	2.15	30	1390	0.41	170
T42	0.106	9	150	210	<20	20	1480	1.1	1260	10	19300	<50	4190	<50	0.2	130	40	0.97	0.15	10	400	0.4	0.06	<0.05	<10	100	<0.05	30
T43	0.025	5	80	280	<20	20	1840	2.29	2620	<10	2640	<50	8100	<50	0.1	80	80	2.94	1.28	10	180	1.3	0.25	0.29	10	460	0.14	60
T44	0.562	123	3680	6260	50	490	21900	2.56	1210	30	77800	<50	19350	<50	0.5	1830	300	1.72	1.76	10	200	0.8	0.12	0.24	10	240	0.07	40
T45	0.2	50	310	320	60	160	9880	4.07	2950	20	37700	<50	7920	<50	0.2	350	310	2.98	1.97	40	130	1.2	0.13	<0.05	10	570	0.15	70
T46	0.469	32	<50	120	<20	60	11700	2.69	1150	<10	33600	<50	11550	<50	0.3	<50	150	3.77	0.6	20	290	0.9	0.36	0.51	10	480	0.19	100
T47	1.33	56	200	550	50	70	7010	3.41	12300	100	16800	<50	80100	<50	0.1	140	200	1.93	0.93	40	160	1.3	0.32	0.88	<10	360	0.14	40
T48	0.108	16	300	560	<20	30	1960	1.53	860	<10	9820	<50	5470	<50	0.1													

جدول ۴- کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی کانسار لهنه (ستبرای خطوط نشان‌دهنده مقدار فراوانی کانی هاست).

Alterations & Minerals	Pre-mineralization	Mineralization					Post Mineralization
		Hypogene			Supergene		
		H1	H2	H3	S1	S2	
Alterations:							
Silicification			██████████	██████████	██████████	██████████	
Argilization						██████████	██████████
Oxidation						██████████	██████████
Ore minerals:							
Magnetite	██████████						
Hematite(Specularite)		██████████					
Chalcopyrite			██████████	██████████			
Bornite			██████████	██████████			
Sphalerite				██████████			
Galena				██████████			
Chalcosite					██████████		
Covellite					██████████		
Digenite					██████████		
Hemimorphite						██████████	██████████
Cerussite						██████████	██████████
Azurite						██████████	██████████
Malachite						██████████	██████████
Gangue minerals							
Hydrothermal quartz	██████████						
Pyrite	██████████						
Barite				██████████			
Calcite						██████████	██████████
Iron oxide						██████████	██████████

جدول ۵- مقادیر میانگین، بیشینه، کمینه و دامنه تغییرات عناصر.

عناصر (ppm)	میانگین	میانه	نما	دامنه تغییرات	چولگی	حدافل	حداکثر
Au	0.3372034	0.009	0.002	1.9061548	6.2872102	0.001	10
Ag	17.254237	1	1	1547.5377	3.0834292	1	200
As	392.20339	50	50	1419745.1	4.1128707	50	6270
Ba	1306.4407	570	50	7321323.3	4.5873757	50	17300
Bi	30.169492	20	20	2163.7639	5.2975378	20	310
Cd	33.389831	10	10	6946.9316	4.7643959	10	490
Cu	2765.5932	140	20	44523329	3.3554718	10	34200
Fe	45906.78	31200	29900	1.8438209	2.5376562	8500	230000
Mn	2061.5254	990	430	7483613.2	2.344342	60	12300
Mo	34.40678	10	10	4731.9696	4.057591	10	420
Pb	5756.6102	140	30	304770364	4.2319881	20	100000
W	62.20339	50	50	7217.4752	7.5538366	50	700
Zn	2971.3559	220	20	116589405	6.5725242	20	80100
U	59.152542	50	50	2042.3729	6.1594307	50	370
S	9457.6271	2000	1000	1.076E+09	5.8923837	1000	229000
Sb	425.76271	50	50	4120307.6	7.317208	50	15500
Sr	282.20339	210	40	229731.27	6.3520806	20	3680
Al	36110.169	35400	30300	232629550	0.2491619	6700	72600
Ca	24320.339	14000	2300	801045096	2.0902141	1100	139000
Co	42.711864	10	10	8409.7604	5.6305259	10	660
Cr	134.74576	120	90	6666.7446	1.1539273	10	400
K	18406.78	15000	3000	137176505	0.3790963	2000	45000
Mg	4910.1695	3200	1700	17544378	0.987244	500	16100
Na	11652.542	5200	500	149738054	0.7592313	500	41200
Ni	12.033898	10	10	26.826417	2.5700832	10	30

جدول ۶- نتایج تجزیه XRD برخی از نمونه‌ها در پهنه‌های دگرسان و بخش‌های کانه‌دار.

ردیف	شماره نمونه	شماره آزمایشگاه	نتایج گمانی شناسی	پهنه دگرسانی
۱	A ₃	960	کوارتز، سرسیت، پیریت، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کلوپت به مقدار خیلی کم	زون سرسیتی
۲	A ₄	961	کوارتز، سرسیت، پیریت	
۳	A ₅	962	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کانی های رسی (کانولیت)، همایت	
۴	A ₇	964	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کلوپت، گونیت	
۵	A ₈	965	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کانی رسی، کلوپت، کلوپت (به مقدار اندک)	
۶	A ₉	966	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کانی رسی، کلوپت	
۷	A ₁₁	968	کوارتز آلکالی فلدسپار (آدولاریا) کلوپت، کانی رسی به مقدار کم پیریت	زون کوارتز فلدسپاتی
۸	A ₁₂	969	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کلوپت، کانی رسی	
۹	A ₁₃	970	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کلوپت، کانی رسی	
۱۰	A ₁₄	971	کوارتز، مونتموریونیت، کلوپت، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، همایت، گچ	
۱۱	A ₁	958	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کلوپت، کانی های رسی	
۱۲	A ₂₁	978	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، جاروسیت به مقدار خیلی کم، ژنسی، ایلیت، مونتموریونیت، کلوپت	
۱۳	A ₂	959	کوارتز، آلکالی فلدسپار (آدولاریا)، کانی های رسی (کانولیت)، کلوپت	
۱۴	A ₁₀	967	کوارتز، کانی رسی (مونتموریونیت) به مقدار کم کانولیت	زون آرزلی
۱۵	A ₁₇	974	کوارتز، کانی رسی (مونتموریونیت)	
۱۶	A ₁₈	975	کوارتز، کانی رسی (مونتموریونیت)	
۱۷	A ₆	963	کوارتز، کلوپت، کالکوپیریت، بیوریت، کالکوزین، کوپت، تتراهدردیت، اسفالریت، سروزیت، گالن	زون سیلیسی - سولفیدی
۱۸	A ₁₆	973	کوارتز، کالکوپیریت، سروزیت، گالن، آنهیدریت، چارست به مقدار خیلی کم	
۱۹	A ₁₉	976	کوارتز، کالکوپیریت، پیریت و آرسنوپیریت به مقدار کم، بیوریت، اسفالریت، تتراهدردیت، سروزیت، گالن، حالاکیت، آزوریت	
۲۰	A ₂₀	977	کوارتز، گالن، سروزیت، پیریت و آرسنوپیریت به مقدار کم، کالکوپیریت، کالکوزین، کوپت، بیوریت، تتراهدردیت، اسفالریت	
۲۱	A ₁₅	972	کوارتز	زون سیلیسی بدون کانی سازی
۲۲	A ₂₂	979	آمورف (کالسدونی)	

جدول ۷ - ضریب همبستگی طلا با عناصر دیگر.

	Au	Ag	As	Ba	Bi	Cd	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	W	Zn	U	S	Sb	Sr	Al	Ca	Co	Cr	K	Mg	Na	Ni	P	Ti	V
Au	1.00																											
Ag	0.78	1.00																										
As	0.70	0.84	1.00																									
Ba	-0.36	-0.15	-0.02	1.00																								
Bi	0.45	0.48	0.52	0.15	1.00																							
Cd	0.67	0.69	0.61	-0.09	0.58	1.00																						
Cu	0.81	0.77	0.74	-0.14	0.46	0.61	1.00																					
Fe	-0.07	-0.20	-0.27	-0.14	-0.07	-0.24	-0.13	1.00																				
Mn	0.04	0.11	0.11	0.11	0.10	0.16	0.15	0.23	1.00																			
Mo	0.23	0.27	0.21	-0.04	0.30	0.18	0.30	0.32	0.15	1.00																		
Pb	0.64	0.73	0.66	-0.09	0.42	0.71	0.69	-0.25	0.35	0.10	1.00																	
W	0.10	-0.04	-0.13	-0.21	-0.06	-0.11	-0.01	0.18	-0.24	0.04	-0.12	1.00																
Zn	0.60	0.66	0.60	-0.07	0.38	0.70	0.63	-0.25	0.44	-0.02	0.87	-0.15	1.00															
U	0.29	0.20	0.29	-0.03	0.44	0.16	0.29	0.05	-0.03	0.15	0.14	-0.05	0.03	1.00														
S	0.44	0.32	0.27	-0.22	0.20	0.25	0.44	0.31	-0.09	0.37	0.27	0.19	0.12	0.30	1.00													
Sb	0.64	0.77	0.83	0.05	0.55	0.79	0.69	-0.34	0.14	0.18	0.70	-0.11	0.63	0.18	0.14	1.00												
Sr	-0.41	-0.33	-0.34	0.29	-0.12	-0.19	-0.28	0.33	0.06	0.05	-0.22	-0.13	-0.18	-0.34	-0.17	-0.31	1.00											
Al	-0.32	-0.40	-0.36	0.11	-0.38	-0.38	-0.34	0.35	-0.05	-0.25	-0.37	-0.01	-0.26	-0.13	-0.37	-0.43	0.37	1.00										
Ca	-0.40	-0.31	-0.30	0.18	-0.12	-0.23	-0.32	0.35	0.59	0.19	-0.16	-0.24	-0.10	-0.15	-0.18	-0.26	0.51	0.24	1.00									
Co	0.35	0.07	0.11	-0.17	0.19	0.02	0.28	0.46	0.11	-0.41	-0.06	0.28	-0.09	0.34	0.47	0.05	-0.32	-0.15	-0.09	1.00								
Cr	0.48	0.36	0.34	-0.32	0.30	0.33	0.37	-0.11	-0.29	0.01	0.27	0.21	0.20	0.26	0.41	0.23	-0.47	-0.27	-0.60	0.27	1.00							
K	-0.55	-0.42	-0.31	0.33	-0.23	-0.45	-0.40	-0.12	-0.08	-0.28	-0.52	-0.26	-0.44	-0.18	-0.52	-0.32	0.15	0.38	0.15	-0.18	-0.35	1.00						
Mg	-0.28	-0.45	-0.45	-0.07	-0.32	-0.41	-0.44	0.62	0.05	-0.04	-0.52	0.18	-0.39	-0.08	-0.10	-0.58	0.29	0.61	0.37	0.23	-0.12	0.16	1.00					
Na	-0.51	-0.53	-0.54	0.19	-0.27	-0.36	-0.44	0.20	-0.31	-0.11	-0.53	-0.02	-0.50	-0.25	-0.26	-0.51	0.67	0.47	0.18	-0.26	-0.27	0.37	0.37	1.00				
Ni	0.03	0.02	0.03	0.15	0.04	0.07	0.01	0.19	0.06	0.05	-0.09	-0.08	0.05	0.07	0.02	-0.02	0.20	0.15	0.25	0.19	-0.05	0.00	0.33	0.03	1.00			
P	-0.28	-0.36	-0.30	0.13	-0.27	-0.25	-0.32	0.29	0.10	-0.17	-0.33	0.00	-0.15	-0.32	-0.51	-0.33	0.53	0.68	0.34	-0.20	-0.34	0.32	0.55	0.44	0.16	1.00		
Ti	-0.43	-0.40	-0.37	0.14	-0.26	-0.29	-0.36	0.20	-0.14	-0.23	-0.39	-0.05	-0.22	-0.32	-0.52	-0.37	0.59	0.73	0.20	-0.37	-0.26	0.40	0.46	0.67	0.15	0.77	1.00	
V	-0.16	-0.22	-0.27	-0.12	-0.23	-0.16	-0.26	0.38	-0.14	0.04	-0.26	0.11	-0.18	-0.21	-0.22	-0.36	0.50	0.58	0.22	-0.09	0.03	0.12	0.58	0.41	0.36	0.63	0.69	1.00

جدول ۸ - داده‌های میانبرهای سیال بدون CO₂.

Sample No.	Mineral	Type	Class	N	Fill	Tm_ice		Ts_hal		Th_aq		EqWt%NaCl		Density	
						Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.
R-88-1S	QRT	L+V	P	5	0.89	-3.5, -0.3	-1.34			94-171	138.20	0.5-5.6	2.18	0.92-0.97	0.94
	BAR			3	0.82	-2.1, -0.5	-1.50			179-196	185.67	0.8-3.4	2.46	0.90-0.91	0.90
R-88-3S	QRT	L+V	P	8	0.86	-2.4, -0.1	-1.23			164-265	194.63	0.2-3.9	2.01	0.79-0.92	0.89
				P+S	2	0.88	-2.1, -0.9	-1.50			141-166	153.50	1.5-3.4	2.46	0.93-0.94
R-88-4S	QRT	L+V	P	4	0.81	-4.8, -0.8	-1.20			136-195	174.25	1.3-2.5	1.98	0.89-0.94	0.91
	BAR			2	0.88	-0.6, -0.2	-0.30			171-189	180.00	0.3-0.7	0.50	0.88-0.91	0.89
R-88-5S	QRT	L+V	P	8	0.85	-4.1, -0.9	-2.55			154-201	172.25	1.5-6.5	4.12	0.90-0.96	0.93
				P+S	3	0.88	-2.3, -0.8	-1.53			98-159	132.67	1.3-3.8	2.52	0.93-0.99
R-88-6S	QRT	L+V	P	7	0.84	-4.5, -2.3	-3.60			115-226	180.14	3.8-7.1	5.75	0.88-0.98	0.93
	BAR			6	0.81	-2.6, -0.8	-1.85			142-210	166.67	1.3-4.2	3.03	0.88-0.95	0.92
R-88-7S	QRT	L+V	P	8	0.87	-4.1, -0.6	-2.53			125-290	180.25	1.0-6.5	4.08	0.80-0.97	0.91
				P+S	3	0.84	-1.9, -1.3	-1.70			142-208	170.00	2.1-3.1	2.79	0.88-0.95
R-88-8S	QRT	L+V	P	2	0.84	-1.5, -0.8	-1.15			174-169	185.00	1.3-2.5	1.90	0.89-0.91	0.90
	BAR			2	0.85	-2.4, -1.2	-1.80			125-214	169.50	2.0-3.9	2.95	0.88-0.96	0.92
R-88-9S	QRT	L+V	P	8	0.86	-3.9, -0.7	-2.18			138-205	182.00	1.2-6.2	3.53	0.88-0.96	0.91
				P+S	3	0.88	-1.2, -0.5	-0.83			125-223	178.33	0.8-2.0	1.38	0.84-0.96
R-88-10S	QRT	L+V	P	6	0.87	-2.2, -0.5	-1.43			136-165	153.50	8.0-3.6	2.35	0.92-0.94	0.93
				P+S	4	0.85	-2.5, -0.2	-1.10			125-131	128.00	0.3-4.1	1.80	0.95-0.96
R-88-11S	QRT	L+V	P	5	0.81	-11.8, -0.9	-2.36			148-214	184.40	1.5-7.1	3.81	0.86-0.94	0.91
		L+V+S		7	0.74			101-285	199.29	144-339	216.29	28.0-37.0	32.26	1.04-1.16	1.11

Mineral: QRT, Quartz; BAR, Barite; CAL, Calcite; Type: L, Liquid; V, Vapor; S, Solid; Class: P, Primary; S, Secondary.

 جدول ۹ - داده‌های میانبرهای سیال دارای CO₂ (کلاتریت).

Sample No.	Mineral	Type	Class	Fill	Tm_ice	Th_aq	EqWt%NaCl	Density
R-88-1S-3T	CAL	L+V	P	0.90	1.40	121	2.41	0.95
R-88-1S-7T	QRT	L+V	P	0.93	15.00	105	18.63	0.96
R-88-3S-2T	QRT	L+V	P	0.87	6.40	156	9.73	0.92
R-88-4S-1T	QRT	L+V	P	0.90	4.90	121	7.73	0.95
R-88-4S-6T	BAR	L+V	P	0.87	3.70	128	6.01	0.94
R-88-4S-8T	QRT	L+V	P	0.87	2.20	128	3.71	0.94
R-88-5S-6T	QRT	L+V	P	0.90	1.90	179	3.23	0.89
R-88-6S-8T	QRT	L+V	P	0.93	5.00	105	7.86	0.96
R-88-9S-6T	QRT	L+V	P	0.75	2.10	210	3.55	0.85
R-88-9S-13T	QRT	L+V	P	0.84	1.80	187	3.06	0.88
R-88-10S-8T	QRT	L+V	P+S	0.92	0.80	122	1.40	0.95

جدول ۱۰ - داده‌های میانبرهای سیال بر پایه نوع میانبر سیال.

Type	N	Fill		Tm_ice		Ts_hal		Th_aq		EqWt%NaCl		Density	
		Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.
L+V	89	0.60-0.94	0.85	-4.5, -0.1	-1.87			94-290	170.93	0.17-7.11	3.04	0.79-0.99	0.92
L+V+CO ₂	11	0.75-0.93	0.88	0.8-15.0	4.11			105-210	142.00	1.40-18.63	6.12	0.85-0.96	0.93
L+V+S	7	0.68-0.79	0.74			101-285	199.29	144-339	216.29	28.01-37.04	32.26	1.04-1.16	1.11

جدول ۱۱ - ویژگی‌های تیپیک میانبارهای سیال در کانسارهای گرمابی (Wilkinson, 2001). همان‌گونه که دیده می‌شود، انطباق خوبی میان داده‌های حاصل از مطالعات میانبارهای سیال کانسار لهنه با ویژگی‌های میانبارهای سیال کانسارهای اپی ترمال وجود دارد.

Deposit type	Host minerals	T_h range (°C)	Salinity range (wt. % NaCl equiv.)	Daughter minerals	Trapped phases	Comments
Mississippi Valley-type	cc, dol, fluor, ba, qu, sph	50-180	15-30	-	Petroleum	CH ₄ may be present
Irish-type	cc, dol, sph, qz, ba	150-240, 80-150	10-18, 20-25	-	Calcite, K-mica	Mixing of two fluids, high T fluid Has low CO ₂
Volcanic-associated massive sulphide	qz, ba	80-340	1-8	-	-	Higher T_h and S in stockwork zones
Granitoid-associated veins	qz, wolf, fluor, cc	150-500	0-45	hal, syl, chlor, bor, anh, cc, hm, mt, sulph	Tourm, ksp	CO ₂ Often present, common effervescence
Porphyry-copper	qz,	200-700	0-70	hal, syl, chlor, cpy, hm,	-	Effervescence common, CO ₂ in deep systems
Epithermal	qz, cc, sph	100-300	0-12	daw	-	Sometimes low CO ₂ , common effervescence
Mesothermal gold	qz, cc	200-400	2-10	daw	-	High CO ₂ +CH ₄ or N ₂

anh, anhydrite; ba, barite; bor, borates; cc, calcite; chlor, alkali earth and transitional metal chlorides; cpy, chalcopyrite; daw, dawsonite; dol, dolomite; fluor, fluorite; hal, halite; hm, hematite; ksp, k-feldspar; mt, magnetite; qz, quartz; sph, sphalerite; sulph, various sulphides; syl, sylvite; wolf, wolframite

کتابنگاری

- آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.
- احمدیان، ج.، ۱۳۷۰- بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی زون‌های دگرسانی گرمابی با نگرشی بر کانی‌سازی‌های انجام شده در منطقه ذاکر/ جنوب باختری طارم، رساله فوق لیسانس، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- نقشه تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- امینی، ب.، ۱۳۷۸- پروژه اکتشاف نیمه تفضیلی طلای اپی ترمال در منطقه طارم علیا (استان زنجان)، صص. ۱۵ تا ۱۰۸.
- امینی، ب.، ۱۳۸۰- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ طارم به همراه گزارش، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷۰ ص.
- امینی، ب.، رحمانی، ش. و محمدی، ب.، ۱۳۷۸- اکتشاف طلای اپی ترمال در زون طارم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۰۰ ص.
- پیروان، ح.، ۱۳۸۱- بررسی ژئوشیمیایی زون‌های دگرسانی منطقه طارم، رساله دکتری زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات صص. ۵۰ تا ۱۶۰.
- پیروان، ح.، ۱۳۸۲- رده بندی کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی سنگ‌های دگرسانی منطقه طارم، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صص. ۴۲۷ تا ۴۴۰.
- تدین اسلامی، ا.، ۱۳۶۱- گزارش اکتشافات سیستماتیک ژئوشیمیایی در ورقه طارم (تهم). سازمان زمین‌شناسی کشور، صص. ۱۰ تا ۳۱.
- تدین اسلامی، ا.، ۱۳۶۲- گزارش اکتشافات سیستماتیک مواد معدنی در نقشه چهار گوش زنجان در ناحیه چال-کوهیان. سازمان زمین‌شناسی کشور، صص. ۱ تا ۴۵.
- تقی‌زاده، ن.، ۱۳۶۲- گزارش اکتشاف آلونیت در زون طارم، سازمان زمین‌شناسی کشور، صص. ۱۵ تا ۴۳.
- حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۷۸- متالورژی ترشیری البرز باختری- آذربایجان (میانه- سیه‌رود) با نگرشی بر منطقه هشتجین، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صص. ۳۲۳ تا ۳۳۱.
- حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۸۴- بررسی کانی‌سازی سرب، روی و مس مناطق شمال باختر زنجان، سومین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران، صص. ۲۳۴ تا ۲۴۰.
- حسینی، م.، ۱۳۷۱- آلونیت‌زایی در منطقه طارم، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صص. ۱۷۵ تا ۱۸۶.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۲- زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر، صص. ۶۲۵ تا ۶۴۰.
- رحمانی، ش.، ۱۳۸۷- بررسی و معرفی نواحی امیدبخش معدنی در ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ طارم (زون اکتشافی طارم)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص. ۱ تا ۲۰۰.
- رحمانی، ش.، ۱۳۸۹- گزارش اکتشاف طلای اپی ترمال زون اکتشافی طارم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص. ۱ تا ۲۰۰.
- رحمانی، ش.، ۱۳۸۵- عملیات اکتشافی پی‌جویی و تهیه نقشه زمین‌شناسی اقتصادی ۱:۲۵,۰۰۰ در محدوده اکتشافی طلا دار لهنه- زرده (زون اکتشافی طارم)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۰۰ ص.
- عمیدی، م.، کیوانفر، م. و نوایی، ا.، ۱۳۵۹- گزارش کانولینیت زایی در زون طارم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۶۵ ص.
- کیما قلم، ج.، ۱۳۶۶- گزارش کنترل ژئوفیزیکی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در ورقه طارم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲۶ ص.

- گیاهیچی، پ.، ۱۳۸۳- اکتشاف مواد معدنی با استفاده از پردازش، تلفیق و مدل سازی اطلاعات زمین شناسی، ژئوفیزیک هوایی، ماهواره‌ای، ژئوشیمیایی و نشانه‌های معدنی در محیط GIS در زون طارم، صص. ۳۱ تا ۱۸۴.
- مؤید، م.، ۱۳۷۰- بررسی‌های پتروگرافی و پتروشیمیایی سنگ‌های ولکانو-پلوتونیک منطقه طارم در ارتباط با ژنز مس رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تبریز، صص. ۱ تا ۱۷۵.
- مؤید، م.، ۱۳۸۰- بررسی‌های پترولوژیکی نوار ولکانو- پلوتونیک ترشیری البرز باختری- آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشتجین، رساله دکترای زمین‌شناسی دانشگاه تبریز، صص. ۹۴ تا ۱۲۵.
- نعمت، ل. و زینالف، ح.، ۱۳۵۴- گزارش اکتشاف آلونیت در زون طارم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۴ ص.
- نوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D. & Chomiak, B., 2001- Controls on formation of lowsulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data. In: Albinson, F.T., Nelson, C.E. (Eds.), *New Mines and Discoveries in Mexico and Central America: Society of Economic Geologists. Special Publication*, 8, pp. 1-32.
- Bachelor, R. A. & Bowden, P., 1985- Petrologic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48: 43-55.
- Barton, P. B. & Skinner, B. J., 1979- Sulfide mineral stabilities. In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Barnes, H.L. (ed.), Wiley Interscience Publication, 278-403.
- Bazin, D. & Hubner, H., 1969- Copper deposits in Iran. *Geol. Survey Iran., Rep. No.15*, 232 p.
- Benning, L. G. & Seward, T. M., 1996- Hydrosulfide complexing of Au in hydrothermal solutions from 150 to 400 °C and 500 to 1500 bars. *eochimica, Cosmochimica Acta*, vol. 60, pp. 1849-1871.
- Bierlein, F. P. & Maher, S., 2001- Orogenic disseminated gold in Phanerozoic fold belts-examples from Victoria, Australia and elsewhere. *Ore-Geology Reviews*, 18:113-148.
- Camprubi, A., Cardellach, E., Canals, À. & Lucchini, R., 2001- The La Guitarra Ag-Au low sulfidation epithermal system, emasaltepec district, Mexico: Fluid inclusion and stable isotope studies: *Society of Economic Geologists. Special Publications*, v. 8, p. 159-185.
- Cooke, D. R. & McPhail, D. C., 2001- Epithermal Au-Ag-Te mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines; numerical simulations of mineral deposition. *Econ. Geol.* 96:109-131.
- Davis, R. G., Hamzhepour, B. & Clark, G. C., 1972- Geology of Masuleh sheet (1/100000), NW Iran. *Geol. Survey of Iran, Rep. No. 24*, p. 110.
- Dong, G., Morrison, G. & Jaireth, S., 1995- Quartz textures in epithermal veins, Queensland – Classification, origin and implication, *economic Geology*, v. 90, no. 6, p. 1841-1656.
- Goldfarb, R. J., Groves, D. I. & Gardoll, S., 2001- Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18: 1-75.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Grbre-Mariam, M., Hagemann, S. G. & Robert, F., 1998- Orogenic gold deposits a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit type. *Ore Geol. Rev.*, 13:7-27.
- Hall, D. L. & Bodnar, R. J., 1988- Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O. *Econ. Geol.*, 65:123.
- Harker, A., 1909- *The natural history of igneous rocks*. Macmillan, New York.
- Hass, J. L., 1971- The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Econ. Geol.*, 66: 940-946.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. R. & Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann, S. G., Brown, P. E., (Eds). *Gold in 2000. Reviews in Economic Geology*, 13: 245-277.
- Henley, R. W. & Ellis, A. J., 1985- Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth Science Reviews* 19, 1-50.
- Hirayama, K., Samimi, M., Zahedi, M. & Hushmandzadeh, A. M., 1965- Geology of Tarom district western part (Zanjan area). *Geological Survey of Iran, Rep. No. 80*.
- Houtum Schindler, A., 1881- Neue Angaben uber die Mineralreichthumer Persiens und Notizen uber die Gegend westlich von Zendjan. *Jahrb. K.-K. Geol. Survey Iran, Rep. No.8*, with map 1:100,000.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth science*, 8: 523-548.
- Iwao, S. H., 1971- Stratigraphy and petrology of the low grade regionally metamorphosed rocks of the Eocene Formation in the Alborz Range, North of Tehran, Iran. *jour.japan.min.Pet.Econ.Geol.* 65:6
- Jébrak, M., 1997- Hydrothermal breccias In Vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*. Volume 12, Issue 3, pp. 111-134.

- Kolb, J. & Hagemann, S., 2009- Structural control of low-sulfidation epithermal gold mineralization in the Rosario-Bunawan district, East Mindanao Ridge, Philippines. *Miner. Deposita*, 44: 795-815.
- Ladame, G., 1945- Les ressources métallifères de l'Iran-Schweiz. *Min. Petr. Mitt.*, vol.22, p.165-303.
- Lydon, J. W., 1984- Volcanogenic massive sulfide deposits, Part 1—A descriptive model. *Geoscience Canada*, 11:195-202.
- Maniar, P. O. & Piccoli, P. M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 101: 635-643.
- Mauk, J. L., Simpson, M. P., Hollinger, H., Morrell, A. E., Smit, N., Locke, C. A. & Cassidy, J., 2006- The Favona epithermal Au-Ag deposit, Hauraki goldfield-mineralogy, geochemistry and geophysics. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy Monograph 25*, P.185-190.
- Nogol-Sadat., M. A., 1993- Tectonic map of Iran, Scale 1/1,000,000.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956-983.
- Pearce, T. H. & Gorman, B. E., 1977- The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*. 36, 121-132. Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956-983.
- Roedder, E. & Bodnar, R. J., 1997- Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits. In: Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Wiley, New York, pp. 657-697.
- Roedder, E., 1976- Fluid inclusion evidence on the genesis of ores in sedimentary and volcanic rocks. In: Wolf, K.H., ed., *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits; I. Principles and general studies*, *Geochemical Studies*, vol. 2, Elsevier, New York, pp. 67-110.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy*, vol. 12, p. 644.
- Seward, T. M. & Barnes, H. L., 1997- Metal transport by hydrothermal ore fluids, in Barnes, H.L. ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York, John Wiley and Sons, pp. 435-486.
- Shamianian, G., 2004- Comparison of epithermal base and precious metal deposits in Gandy and Abolhassani districts, Semnan province, Iran. *Iranian Geosciences Journal*, 12:100-117.
- Shand, S. J., 1943- Classic A/CNK vs A/NK plot for discriminating metaluminous, peraluminous and peralkaline compositions. *hafner publishing co.*, New York, p. 444.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, D. H., 1985- A practical guide to fluid inclusion studies. Glasgow, Blackie and son, p. 239.
- 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., 1993- Gold-rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications. *Geological Association of Canada*, 40: 465-478.
- Sillitoe, R. H., 1995- Exploration of porphyry copper lithocaps: Proceedings of Pacific Rim Congress 1995. Carlton, Victoria: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 527-532.
- Sillitoe, R. H., 1997- Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 373-388.
- Sillitoe, R. H., 2002- Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration. *Mineralium Deposita*, 37: 4-13.
- Simmons, S. F. & Browne, P. R. L., 2000- Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: implications for understanding low-sulfidation epithermal environments. *Econ. Geol.* 95, 971-1000.
- Simmons, S. F. & Christenson, B. W., 1994- Origins of calcite in a boiling geothermal system. *Am. J. Sci.* 294:361-400.
- Simmons, S. F., White, N. C. & John, D. A., 2005- Geologic characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology 100th anniversary. volume*, 485-522.
- Simmons, S. F., Arehart, G., Simpson, M. P. & Mauk, J. L., 2001- Origin of massive calcite veins in the golden cross low-sulfidation epithermal Au-Ag deposit, New Zealand. *Economic Geology* 95, 99-112.
- Simpson, M. P. & Mauk, J., 2001- Hydrothermal alteration and hydrologic evolution of the Golden Cross epithermal Au-Ag deposit, New Zealand: *Economic Geology*, v. 96, p. 773-796.
- Simpson, M. P., Arehart, G., Simmons, S. F. & Mauk, J. L., 2001a- Origin of massive calcite veins in the golden cross low-sulfidation epithermal Au-Ag deposit, New Zealand. *Economic Geology* 95, 99-112.
- Simpson, M. P., Mauk, J. L. & Simmons, S. F., 2001b- Hydrothermal Alteration and Hydrologic Evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand. *Economic Geology* 96 (4), 773-796.
- Singer, D. A., 1986- Descriptive model of Cyprus massive sulfide. In Cox, D. P., and Singer, D. A., eds., *Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693*: 131.

- Skinner, B. J., 1997- Hydrothermal mineral deposits: what we do and don't know. In: Barnes, H. L., Ed., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. 3rd ed. Wiley, New York, pp. 1-29.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran; a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, p. 52.
- Streckeisen, A. & Le Maitre, R. W., 1979- A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 136, 169-206.
- Taylor, B. E., 2007- Epithermal gold deposits, in: Goodfellow, W. D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit- Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5*, p. 113-139.
- Vatan, A. & Yassini, I., 1968- Les grandes lignes de la géologie de l'Elbourz Central dans la région de Tehran et la plain de la Caspienne. *Rev. l, institut Français du pétrole*. Vol. XXXIV, No.7,8.et No.9. pp.841-878 et 973-1006.
- White, A. J. R. & Chappel, B. W., 1992- Two contrasting granite types. *Australian journal of Earth Sciences*. 48,489-499.
- White, N. C. & Hedenquist, J. W., 1995- Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG Newsletter* 23:8-13.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, v. 55, p. 229-272.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, v.20, p.325-343.
- Yermakov, N. P., 1965- Research on the nature of mineral-forming solutions. Translated by V. P., Sokoloff and edited by E., Roedder. *Permagon Press, Oxford*, p. 743.

Ore-genesis study of the Cu-Au vein-type deposit in the Tarom- granitoid (North Zanjan) based on mineralogical, geochemical and fluid inclusion evidences

H. Zamanian ¹, Sh. Rahmani ^{2*}, M. R. Jannessary ³, R. Zareii Sahamiieh ¹ & B. Borna ⁴

¹ Associate Professor, Department of Geology, Lorestan University, Khoramabad, Iran

² Ph. D. Student, Department of Geology, Lorestan University, Khoramabad, Iran

³ Ph. D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁴ M.Sc., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2014 June 22

Accepted: 2015 August 16

Abstract

Lohneh gold and copper deposits lay in the north west of Iran, 100 kilometers north of Zanjan province. Lohneh mining area is a part of the Tarommetallogenic zone in the Alborz-Azerbaijan region. The presence of numerous minerals, slag melting of mining activities (such as cows and exploratory pits, tunnels) in the Armenian fortress (by Armenian miners) shows that the mineral reserve Lohneh have been considered by old miners. There are 9 gold bearing quartz veins. Two main quartz vein with a length of 500 meters and a width of one meter (visible on the Earth). Rock outcrops in the area consist of the Eocene-Oligocene volcanic rocks (tuffs, tuff breccia, trachyandesite) and intrusive rocks (granodiorite, quartz monzonite, monzonite). On the basis of geochemistry study, intrusive rocks resemble the I-Type granitoids and from a magmatic stand point, the rocks of the area are calc-alkaline, and tectonically they belong to the continental margin and subduction zones. Tuff breccia rocks cut by quartz monzonite and has been altered. The major alteration of the areas consists of silicious, sericitic, and argillic alteration. The main gold minerals have occurred in tuff breccia rocks and a small amount of gold mineral in quartz monzonite. Gold mineralization in the Lohneh area is in the form of open space, vein-veinlet and hydrothermal breccia. According to chemical analysis of gold mineralized samples gold grade is in the range of at least 0.002 to 10ppm. The average gold grade is 4.35ppm. Mineralogy of Lohneh deposit has a metallic minerals (oxide, sulfide) and non-metallic (silicate and carbonate) which is composed of two phases hypogene and supergene. Metallic minerals are including gold particles (free in siliceous gangue and visible under a microscope and SEM study), silver (in the free form in siliceous and involved in galena and tetrahedrite network), pyrite, chalcocopyrite, bornite, galena, sphalerite, and tetrahedrite. Non-metallic minerals or gangue consist of quartz, hydrothermal alkali feldspar (adularia), sericite, clay minerals, calcite, and small amount of barite. According to geochemical studies (table correlation of elements, graph clustering and component plot in rotated space) gold with Ag(0.78), Cu(0.81), As(0.7), Pb(0.64), Zn(0.6), S(0.4), Bi(0.45), U(0.3), Mo(0.25) is a significant correlation. This correlation geochemistry is corresponded with mineralogical evidence (mineral paragenesis sequence) and SEM studies. Fluid inclusion study was performed on primary, large size and rich liquid fluid inclusions on quartz mineral (concurrent with the formation of gold and sulfide minerals). Fluid inclusion data shows in the temperature range from 125 to 290 °C and salinity between 1 and 6.5 wt% NaCl and depths less than 1000 m. Fluid inclusion evidence shows cooling effect, boiling and formation of solutions with high salinity and density of the ore forming fluids in Lohneh deposits. Adularia mineral, calcite, bladed and comb quartz and hydrothermal breccia are evidence of boiling effect in the Lohneh deposits. Evidence of the presence of epithermal textures (banded, comb, blade, and hydrothermal breccia), sericitic alteration, and sulfide minerals such as galena, sphalerite, chalcocopyrite, tetrahedrite, and fluid inclusions evidence (temperature, salinity, density, vapor-rich inclusions) indicates intermediate sulphidation epithermal gold deposits in Lohneh area.

Keywords: Epithermal, Gold, Fluid inclusion, Alteration, Geochemistry, Lohneh ore deposit.

For Persian Version see pages 255 to 282

*Corresponding author: Sh. Rahmani; E-mail: Shahramrahmani1959@gmail.com