



بررسی کانی‌سازی اپی ترمال سولفیداسیون متوسط آنومالی 4 کانسار گلوچه (شمال زنجان)، بر اساس خصوصیات کانه‌نگاری، دگرسانی و ژئوشیمی سیال کانه‌ساز

بهزاد مهرابی، نفیسه چقانه*، ابراهیم طالع فاضل

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دریافت مقاله: 1391/8/7، پذیرش: 1392/4/25

چکیده

کانی‌سازی فلزات پایه (مس، سرب و روی) و گرانبها (نقره-طلا) آنومالی 4 کانسار گلوچه با میزبان سنگهای آتشفشانی و نیمه‌نفوذی ائوسن-الیگوسن در بخش مرکزی پهنه طارم-هشتجین رخ داده است. سنگهای آتشفشانی، آتشفشانی-تخریبی و نیمه‌نفوذی با ترکیب بازیک تا حدواسط متشکل از آندزیت، آندزیت‌بازالت، تراکی آندزیت، داسیت و توف‌ها دارای بیشترین فراوانی در منطقه بوده که دارای خصوصیات سری ساب‌آلکان تا کالک‌آلکان غنی از پتاسیم هستند. کانی‌سازی در منطقه با عیار متوسط طلا (0/15 ppm)، نقره (0/24%)، مس (0/6%)، روی (4%) و سرب (6%)، در دو رگه کوارتز-سولفیدی اصلی (A و B) دارای امتداد شمال غرب-جنوب شرقی با ساخت و بافتهای نواری، برشی، رگه-رگه‌چهای و پرکننده فضای خالی و محتوای سولفیدی 5 تا 60% متشکل از کانه‌های اصلی گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت صورت گرفته است. مطالعات SEM، حاکی از وجود مقادیر نقره (0/47 تا 0/66 wt. %) و کادمیم (0/33 تا 0/72 wt. %) در ساختمان گالن و آهن (0/23 wt. % FeS) در ترکیب اسفالریت است. دگرسانیهای گرمایی فیلیک (کوارتز-سریسیت-پیریت)، آرژیلیک حدواسط (کوارتز-ایلیت/مسکویت) و سیلیسیک، دگرسانیهای همراه کانی‌سازی بوده که در آن به ترتیب زوج عناصر کادمیم-روی (0/86)، کادمیم-سرب (0/82)، سرب-نقره (0/80)، طلا-نقره (0/75)، سرب-روی (0/70) و کادمیم-بیسموت (0/74) دارای بیشترین همبستگی ژئوشیمیایی در رگه‌های کوارتز-سولفیدی کانه‌دار هستند.

مطالعه میانبارهای سیال دو فازی مایع و بخار رگه‌های کانه‌دار، حاکی از تغییرات دمای همگن‌شدن میانبار به فاز مایع (Th_{H-L}) بین 223 تا 287°C و شوری 6/5 تا 17 درصد معادل نمک طعام (در میزبان کوارتز) و دمای همگن‌شدن 175 تا 244°C و شوری 1/5 تا 12 درصد معادل نمک طعام (در میزبان اسفالریت) است. تغییرات دمای اولین نقطه ذوب یخ (T_{fm}) در میانبارهای سیال میزبان اسفالریت رگه کوارتز-سولفیدی کانه‌دار، بین 23- تا 18°C- در سامانه NaCl-H₂O است.

در آنومالی 4 کانسار گلوچه، خصوصیات نظیر ساخت و بافتهای رگه‌ای-برشی و نواری، حضور کانیهای دگرسان ایلیت/مسکویت به همراه فراوانی کانه‌های گالن، اسفالریت و مقادیر کم کالکوپیریت و تنانیت، دما و شوری متوسط تا پایین سیال کانه‌ساز، عمق کم کانی‌سازی و ترکیب آهن‌دار اسفالریت‌های منطقه، دارای شباهت با کانسارهای رگه‌ای اپی ترمال نقره و فلزات پایه سولفید متوسط (IS) است که احتمالاً می‌تواند با ذخایر پورفیری مس-طلا در عمق مرتبط باشد.

واژه‌های کلیدی: فلزات پایه و گرانبها، دگرسانی گرمایی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، اپی ترمال سولفیداسیون متوسط (IS)، گلوچه

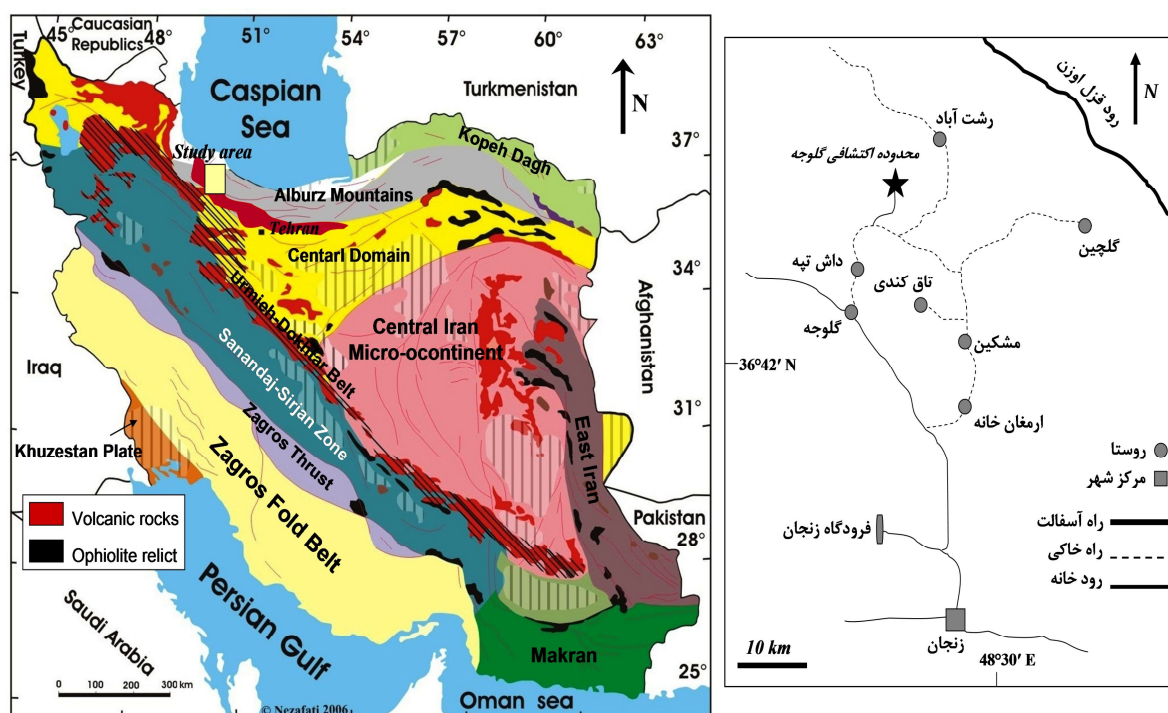
مقدمه

1 و 2). منطقه در مختصات جغرافیایی 48°18' طول شرقی و 37°04' عرض شمالی قرار گرفته که در برگه‌های 1:250000 بندرانزلی و 1:100000 هشتجین قرار می‌گیرد. بر مبنای

محدوده آنومالی شماره 4 گلوچه در 50 کیلومتری شمال استان زنجان و 4/5 کیلومتری شمال غربی روستای گلوچه (تاق کنده)، در بخش میانی زون طارم-هشتجین قرار گرفته است (شکل‌های

توسط هیرایاما و همکاران [7] با تهیه برگه 1:250000 زنجان انجام شده است. در سال 1384 شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران تعداد 21 پهنه کانه‌دار در منطقه اکتشافی گلوچه معرفی کرده است که از میان آن تعداد 10 نشانه معدنی دارای اولویت اکتشافی بوده و آنومالی شماره 4 کانسار گلوچه به عنوان یکی از غنی‌ترین نشانه‌ها در منطقه از نظر ادامه اکتشافات پیشنهاد شده است. پس از آن در سال 1387 اکتشافات تفصیلی در مقیاس 1:1000 در محدوده آنومالی 4 کانسار گلوچه انجام شده که کانه‌زایی در منطقه توسط دو سامانه اصلی رگه‌ای کوارتز-سولفیدی (A و B) با فاصله 50 تا 70 متر از یکدیگر شناخته می‌شود [8]. مطالعه خصوصیات کانی‌شناسی، بافت و ساخت، دگرسانی، ژئوشیمی و میانبراهای سیال رگه‌های کانه‌دار در محدوده آنومالی 4 کانسار گلوچه، از اهداف مورد بررسی در این پژوهش است که توجه به آن می‌تواند برای پیشبرد اهداف اکتشافی در منطقه مفید باشد.

تقسیم‌بندی پهنه‌های تکتونیکی ایران توسط علوی [1] و افتخارنژاد [2] منطقه مورد مطالعه در بخش غربی کمان ماگمایی البرز قرار می‌گیرد که متعلق به حوضه چندفلزی طارم-هشتجین است (شکل 1). چرخه ماگماتیسم البرز در ائوسن-الیگوسن منجر به تشکیل مجموعه عظیمی از سنگهای آذرین نفوذی، نیمه‌نفوذی و آذرآواری از قبیل گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، ریولیتی، توف و نفوذیه‌های نیمه‌عمیق شده که اغلب میزبان کانه‌زایی در منطقه هستند (شکل 2). رخداد توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی با ماهیت کالک‌آلکان تا آلکان به سن الیگوسن [3] به همراه رخدادهای متنوع عناصر فلزی و غیرفلزی (برای مثال مس، طلا، آهن، سرب و روی، به همراه آلونیت، تراورتن و گچ) و وجود دگرسانی‌های وسیع نظیر سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک حدواسط و پیشرفته، آلونیتی و پروپیلیتی [4] موجب شده تا حوضه فلززایی طارم-هشتجین از دیدگاه کانه‌زایی و زمین‌شناسی اقتصادی همواره جزو مناطق مستعد برای ردیابی رخدادهای مختلف معدنی باشد [5 و 6]. نخستین مطالعات انجام‌شده در منطقه



شکل 1. موقعیت منطقه گلوچه در نقشه ساختاری - ماگمایی ایران [1] و راههای دسترسی به منطقه

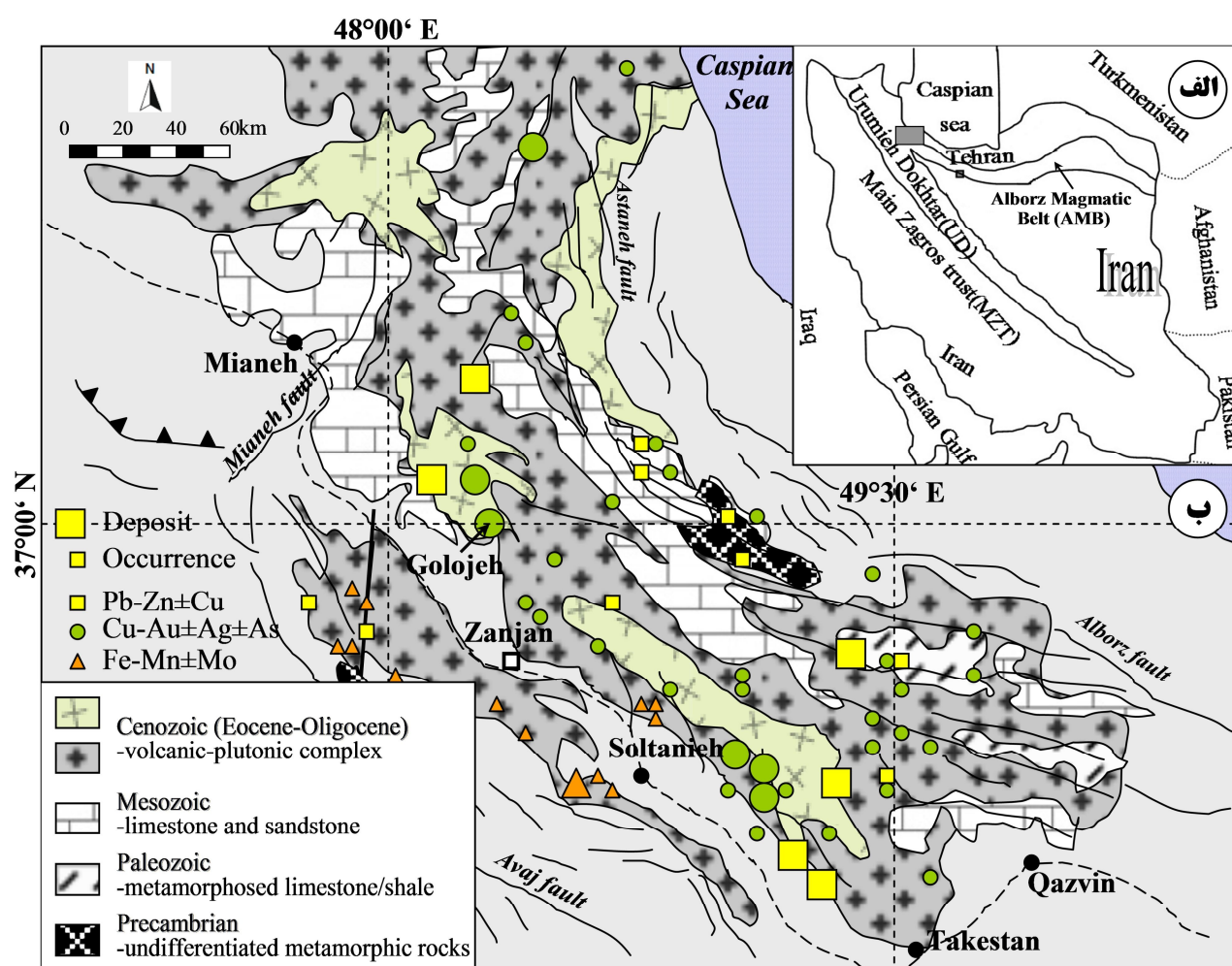
روش مطالعه

شامل، رگه‌های کوارتز-سولفیدی، هاله‌های دگرسانی و سنگ میزبان به‌صورت سطحی و عمقی از گمانه‌های حفاری انجام گرفت. مطالعات پتروگرافی، کانی‌شناسی و تعیین توالی پاراژنتیک کانسار با تهیه مقاطع نازک، صیقلی و نازک-صیقلی توسط میکروسکپ نوری

پس از انجام مطالعات دفتری و بررسی پژوهشهای قبلی، محدوده معدنی در مقیاس 1:1000 (وسعت یک کیلومتر مربع) مورد بررسی قرار گرفت که طی آن نمونه‌برداری از بخشهای مختلف کانسار

آزمایشگاه SGS کانادا و تعداد 11 نمونه با استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس (WD-XRF) به منظور سنجش عناصر اکسیدی اصلی و عناصر فرعی در دانشگاه خوارزمی تهران انجام گرفت. مطالعات میانبارهای سیال با تهیه تعداد 4 مقطع نازک دوبرصقل و قطر متوسط 150 میکرون انجام و میانبارهای اولیه بزرگتر از 10 میکرون، توسط میکروسکپ تحقیقاتی ZEISS و دستگاه لینکام مدل THM600 با کنترل کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP در دانشگاه خوارزمی تهران انجام شد.

ZEISS در دانشگاه خوارزمی تهران انجام گرفت. تجزیه به روش میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM-EDS) مدل Leo-32-1440 با ولتاژ 24 کیلووات و خلا 8×10^{-5} Torr) در مرکز پژوهشهای متالورژی رازی ایران با هدف مطالعات کانه‌شناسی انجام شد. تجزیه تعداد 10 نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) به منظور شناسایی کانیها و مطالعه دگرسانی در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران انجام گرفت. همچنین تجزیه شیمیایی تعداد 331 نمونه توسط شرکت معدنی زرآما با استفاده از روش طیفسنج جرمی پلاریزاسیون القایی (ICP-MS) با هدف بررسیهای ژئوشیمیایی در



شکل 2. الف) موقعیت پهنه فلزایی طارم - هشتجین در بخش غربی قوس ماگمایی البرز [1] و ب) نمایی کلی از زمین‌شناسی پهنه طارم - هشتجین و موقعیت نشانه‌ها و ذخایر معدنی مختلف در آن (با تغییرات از قربانی [5])

زمین‌شناسی و ماگماتیسم

است. پی‌سنگ قدیمی این ناحیه شامل مجموعه سنگهای دگرگونه واحد PC^{mt} بوده که متعلق به پرکامبرین است [5] (شکل 2). رسوبات کم ضخامت و پراکنده‌ای از پالئوزوئیک و مزوزوئیک

در پهنه طارم - هشتجین، روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی همسان با دیگر مناطق البرز غربی راستای شمال غربی - جنوب شرقی

در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی منطقه رخمون دارند که در بین آنها سنگهای آتشفشانی، نفوذی و نیمه‌نفوذی سنوزوئیک (اوسن - الیگوسن) گسترش دارند (شکل 2). منطقه اکتشافی گلوچه واقع در بخش مرکزی پهنه فلزایی طارم - هشتجین، میزبان واحدهای آتشفشانی - رسوبی اوسن - الیگوسن است. سنگهای آتشفشانی و نیمه‌نفوذی منطقه از قدیم به جدید شامل، 1- سنگهای آتشفشانی و آذرآواری ریولیت، کوارتزلاتیت، تراکیت‌لاتیت و آندزیت‌لاتیت به سن اوسن، 2- واحد توف شیشه‌ای دارای لایه‌بندی با میان‌لایه‌های گدازه‌های آندزیت - بازالت به سن الیگوسن و 3- رسوبات مازنی، رسی و توفیتی الیگوسن-بالایی - میوسن-زیرین است [9]. بر مبنای شواهد صحرایی، واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی معادل سازند کرج، بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند که شامل سنگهای آندزیتی، توف‌های سبز، واحدهای توفیتی خاکستری متمایل به سبز با میان‌لایه آندزیت‌بازالت و واحدهای آندزیت‌پورفیری و ریوداسیت است. در اثر حرکات زمین‌ساختی اواخر الیگوسن، نهشته‌های اوسن در منطقه دچار چین‌خوردگی و گسلش شده و همزمان با آن نفوذ توده‌های متعدد در سنگهای ناحیه موجب کانی‌سازی فلزات پایه و گرانها شده است [10]. طبق مطالعات حاج‌علیلو [3] و مؤید [11] سنگهای آتشفشانی منطقه طارم بر مبنای رده‌بندی کاکس و همکاران [12] در محدوده بازالت‌آندزیت، تراکی‌آندزیت، آندزیت، داسیت و ریولیت قرار گرفته و همچنین طبق نمودار دوتایی K_2O در مقابل SiO_2 [13] نیز سنگهای منطقه با مقادیر نسبتاً بالای پتاسیم، در محدوده سنگهای کالک‌آلکان تا آلکان غنی از پتاسیک قرار می‌گیرند.

زمین‌شناسی ساختمانی

مطالعات ساختاری در منطقه نشان‌دهنده وجود یک ساختار ناودیزی با راستای محوری شرقی - غربی و انحنای به سوی جنوب در توالیهای سنگی شمال محدوده اکتشافی گلوچه است. همچنین مطالعات نشان‌دهنده وجود ناپیوستگیهای هم‌شیب بین واحدهای سنگی منطقه است، به‌طوری‌که واحدهای جوانتر بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. در منطقه مورد مطالعه، گسلها مهمترین کنترل‌کننده‌های ساختاری کانه‌زایی هستند که با توجه به آن دو سیستم گسلی و درزه و شکستگیهای فرعی مرتبط با آن در منطقه قابل تشخیص است (شکل 3). گسلهای اصلی منطقه دارای راستای شمال شرقی - جنوب غربی هستند که حرکات امتداد لغز با

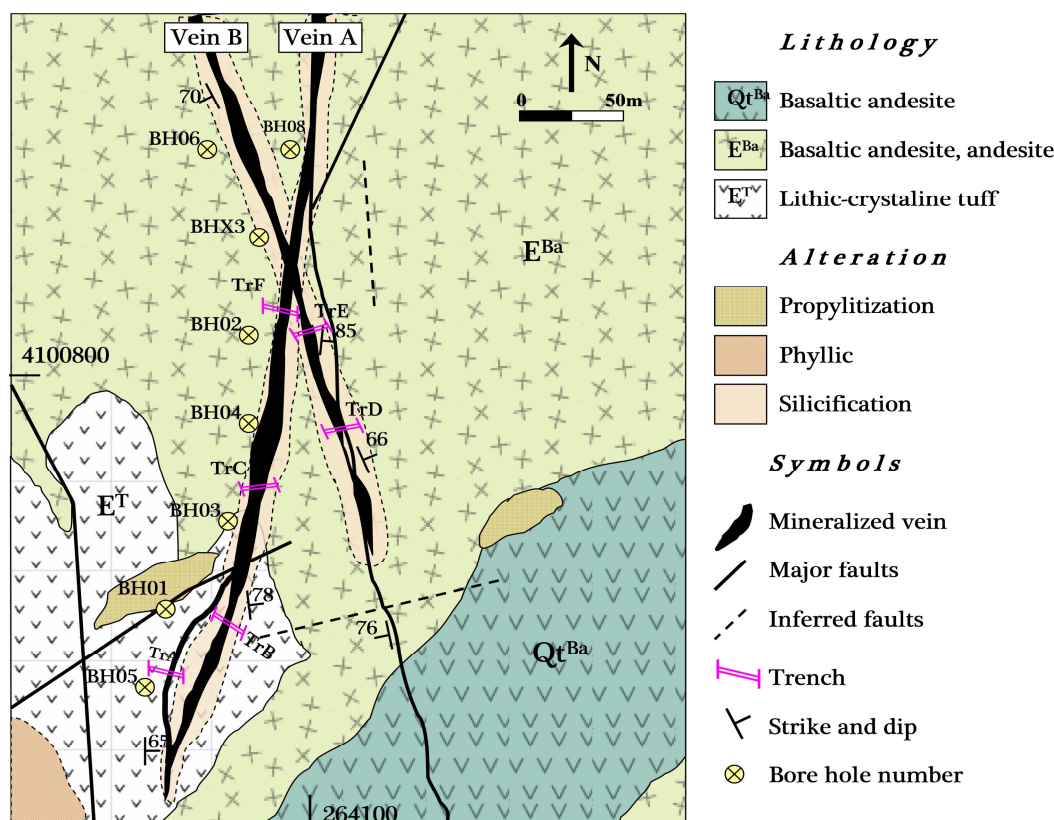
مؤلفه چپ‌بر در آنها قابل تشخیص است. اگرچه گسلهای با درازی کمتر و راستای شمال غربی - جنوب شرقی نیز در منطقه وجود دارد که حرکات امتدادلغز با مؤلفه راست‌بر در آنها قابل تشخیص است (شکل 3). چنین به نظر می‌رسد که گسلهای امتدادلغز با مؤلفه راست‌بر منطقه، تحت تأثیر رژیم زمین‌ساختی با تنش بیشینه شمال غربی ایجاد شده باشند. بر همین اساس گسلهای با راستای شمال شرقی - جنوب غربی از گسلهای با راستای شمال غربی - جنوب شرقی جوانتر هستند. از آنجا که رگه‌های سیلیسی کانه‌دار منطقه دارای راستای شمال غربی - جنوب شرقی هستند، لذا نسبت به رگه‌های سیلیسی بی‌بار با راستای شمال شرقی - جنوب غربی که در مواردی آنها را قطع کرده و یا در حاشیه آنها وجود دارند، قدیمی‌تر است (شکل 4). مطالعات ساختاری در منطقه بیانگر وجود سه سیستم درزه در منطقه است. معمولاً راستای مشترک این درزه‌ها، راستای محور چین‌خوردگی و یا گسلهای اصلی ناحیه است. بررسی و مقایسه راستای گسلها و سیستم درزه‌ها در منطقه نشان می‌دهد که اکثر سیستم درزه‌های منطقه از نوع تکتونیکی بوده و مابقی آنها ممکن است در اثر بالا آمدن توده‌های نفوذی به‌وجود آمده باشند [14].

پترولوژی سنگهای آذرین

سنگهای آتشفشانی و آتشفشانی - تخریبی متعلق به سنوزوئیک با ترکیب بازیک تا حدواسط بیشترین گسترش را در منطقه گلوچه دارند (شکل‌های 3 و 4). سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه دارای طیف ترکیبی آندزیت، آندزیت‌بازالت، تراکی‌آندزیت و سنگهای آذرآواری متشکل از توف‌خرده‌سنگی، توف‌بلورین، توف‌سیلنتی و توف‌ریزبلور است (شکل 5). نتایج تجزیه دستگاهی XRF نمونه‌های سنگی در جدول 1 ارائه شده است. طبق رده‌بندی لومتر [15] نیز سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در محدوده بازالت، بازالت - آندزیت، تراکی‌آندزیت، بازالت تراکی‌آندزیت، داسیت و با استفاده از منحنی متمایزکننده سنگهای آلکان از ساب‌آلکان/تولیتی در نمودار کاکس و همکاران [12] سنگها با ماهیت آلکان تا ساب‌آلکان واقع شده‌اند (شکل 6 الف). به منظور نام‌گذاری توف‌های منطقه براساس نسبت عناصر فرعی Zr/TiO_2 در مقابل نسبت Nb/Y از نمودار وینچستر و فلویید [16] استفاده شده که بر اساس این نمودار، توف‌های منطقه با ماهیت حدواسط تا بازیک در محدوده آندزیت - بازالت تا آلکالی بازالت‌ها قرار می‌گیرد (شکل 6 ب). طبق نمودار پسیرلو و تایلور [13] و ایروین

همکاران [18] و پیرس و کن [19] در محدوده سنگهای آتشفشانی حاشیه قاره‌ها و محیطهای فروانش قرار می‌گیرند (شکل 6 ت).

و باراکار [17] سنگهای منطقه دارای مقادیر بالای K_2O+Na_2O بوده که در محدوده سنگهای ساب‌آلکان تا کالک‌آلکان غنی از پتاسیم واقع می‌شوند (شکل 6 پ). همچنین سنگهای آذرین منطقه از لحاظ محیط تکتونو-ماگمایی بر اساس نمودار وود و



شکل 3. نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده آنومالی 4 کانسار گلوجه و نمایش واحدهای آذرین منطقه و موقعیت سامانه‌های رگه‌های A و B نسبت به آن

(3%)، پیریت (کمتر از 1%) است. در ادامه به بررسی کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک رگه‌های مذکور می‌پردازیم.

کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک

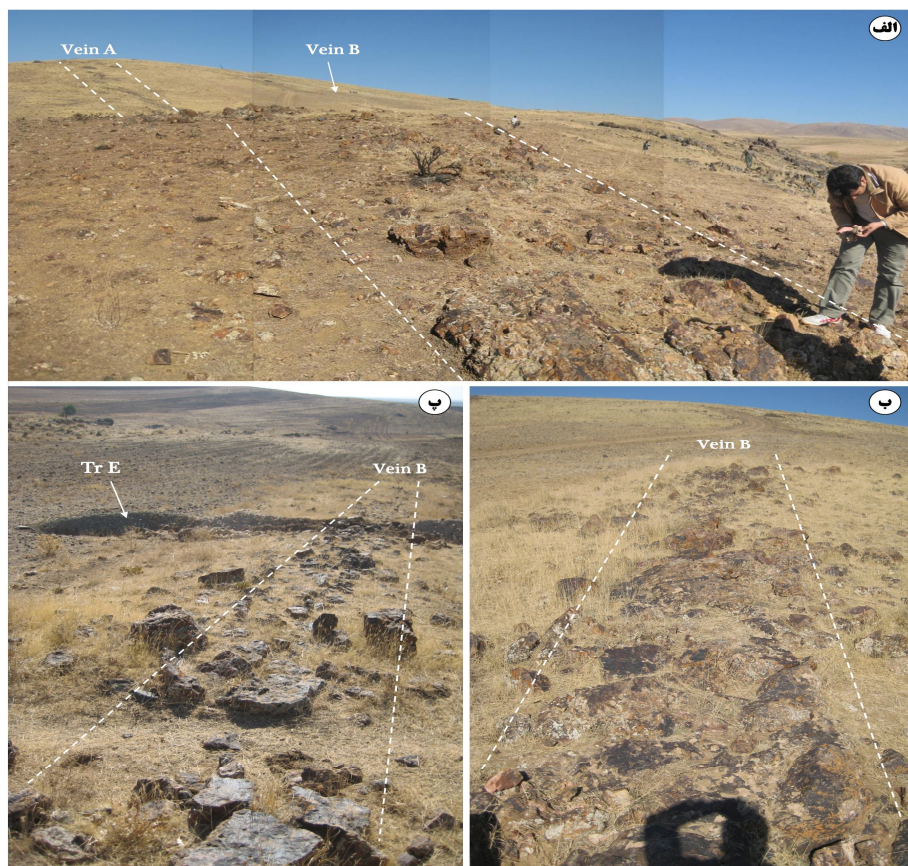
کانی‌شناسی در محدوده آنومالی 4 گلوجه، شامل مجموعه کانه‌های فلزی (سولفیدی و اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاته و کربناته) است که طی دو فاز کانی‌سازی هیپوزن (اولیه) و سوپرژن (ثانویه) شکل گرفته است. گالن در منطقه به‌عنوان فراوانترین کانه سولفیدی به‌صورت اذخال در میزبان اسفالریت و در مواردی به‌صورت آزاد متشکل از بلورهای نیمه‌خودشکل به‌همراه اسفالریت و پیریت تشکیل شده است (شکلهای 7 الف و ب). بر اساس مطالعات، برخی از بلورهای گالن تحت تأثیر سیالات کربنیک از حاشیه به سروزیت تبدیل شده و با افزایش سولفیداسیون محیط در حاشیه گالن آنگلیزیت تشکیل شده است (شکل 7 پ). مطالعه طیف EDS

کانه‌زایی

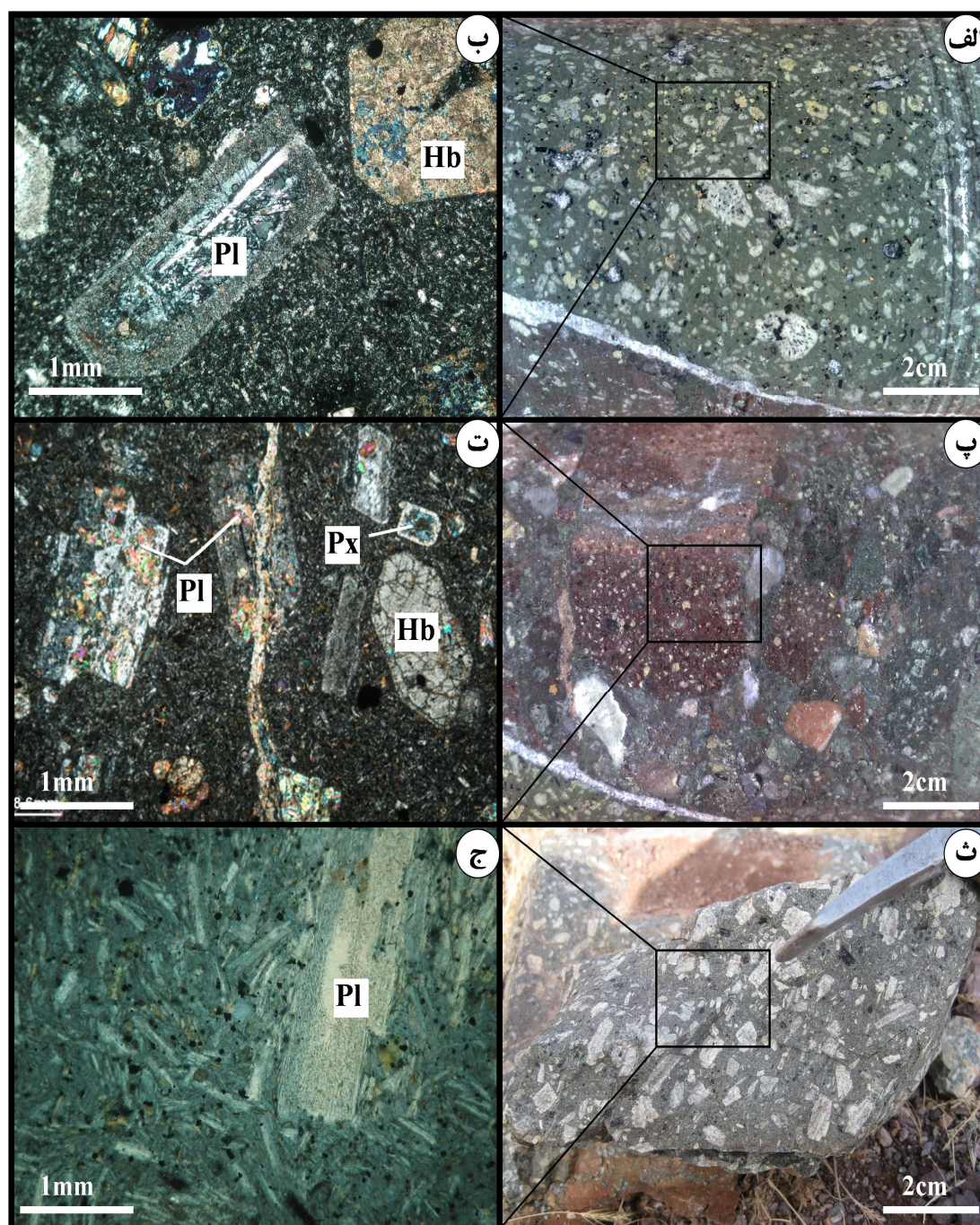
کانه‌زایی در آنومالی 4 کانسار گلوجه در دو سامانه رگه‌ای کوارتز-سولفیدی کانه‌دار (به نامهای A و B) تشکیل شده است (شکلهای 3 و 4). بر مبنای شواهد صحرایی، سامانه رگه‌ای A با طول تقریبی 400 متر و ضخامت متوسط 5 متر با راستای شمال-شمال‌شرقی و شیب تقریبی 15 تا 30 درجه به سمت جنوب‌غربی در سنگ میزبان آندزیت‌بازالت (در شمال) و توف (در جنوب) رخ داده است (شکل 3). فراوانی نسبی کانیها در رگه A شامل گالن و اسفالریت (7%)، پیریت (3%) و کالکوپیریت (کمتر از 2%) است. همچنین سامانه رگه‌ای B نیز به طول 280 متر و ضخامت متوسط 7/5 متر، با راستای 30 درجه به سمت شمال‌غربی، موازی با راستای کلی گسله منطقه و شیب تقریبی 20 درجه به سمت جنوب‌شرق در میزبان آندزیت‌بازالت رخ داده است. فراوانی نسبی کانیها در رگه B شامل اسفالریت (6%)، گالن (4%)، کالکوپیریت

مقادیر ناچیزی آرسنیک و طلا در ساختمان این پیریت‌ها تشخیص داده شد (شکل 8 الف). کالکوپیریت نیز به صورت دانه پراکنده با ابعاد تقریبی 50 تا 200 میکرون به صورت ادخال در میزبان گالن و اسفالریت مشاهده شد (شکل 7 ج). بورنیت نیز به صورت ناچیز در حاشیه کالکوپیریت تشکیل شده است. کانی‌سازی سولفیدی برون‌زاد متشکل از کانیهای کالکوسیت و کوولین به صورت جانشینی قابل مشاهده است. علاوه بر این، هماتیت‌های تیغه‌ای نیز قبل از مرحله کانی‌سازی سولفیدی تشکیل شده که مطالعات SEM حاکی از وجود مقادیر طلا در ترکیب آنهاست (شکل 8 ب). علاوه بر این، ساخت و بافت نواری (Crustiform)، برشی، رگه-رگه‌چهای و پرکننده فضای خالی در منطقه قابل مشاهده هستند که نشان‌دهنده ماهیت اپی‌ژنتیک کانسار است (شکل 9). کوارتز، آلبیت، کلریت و فلوریت نیز به عنوان مهمترین باطله‌های همراه کانسنگ مشاهده شدند. توالی پاراژنتیک آنومالی 4 کانسار گلوچه در شکل 10 نشان داده شده است.

حاصل از مطالعات SEM، حاکی از وجود مقادیری نقره (0/47 تا 0/66 wt.% و کادمیم (0/33 تا 0/72 wt.%) در ساختمان گالن‌های منطقه است. اسفالریت با انعکاس درونی قهوه‌ای عسلی پس از گالن، فراوانترین کانه سولفیدی است که بر اساس مطالعات SEM دارای مقادیری آهن (0/23 wt.% FeS) در ترکیب اسفالریت است. تنانیت نیز به مقدار ناچیز همراه اسفالریت و غالباً به صورت ادخال در گالن مشاهده شد. پیریت در منطقه در دو نسل، یکی به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل و آزاد در میزبان کوارتز (نسل اول) و دیگری به صورت خودشکل همراه با کانی‌سازی سولفیدی کالکوپیریت، گالن و اسفالریت به عنوان پیریت نسل دوم تشکیل شده است (شکل‌های 7 ت و ث). تأثیر فرآیندهای اکسیداسیون بر روی کانیهای سولفیدی موجب تشکیل کانه‌های هیدروکسیدی آهن نظیر گوتیت شده که از حاشیه و مرز شکستگیها به طور بخشی جانشین پیریت شده است. براساس مطالعات SEM بر روی پیریت‌های همراه با کانی‌سازی (نسل دوم)، نوعی منطقه‌بندی مشاهده شد که بر مبنای آن



شکل 4. وضعیت توزیع رگه‌های اصلی A و B در منطقه گلوچه شامل، الف) نحوه قرارگیری رگه اصلی A نسبت به رگه B در سنگ میزبان آندزیت بازالت (E^{Ba}) (دید به شمال)، ب) رگه B در میزبان آندزیت (E^{Ba}) (دید به شمال) و پ) رگه B همراه با تراشه E (دید به جنوب)



شکل 5. تصاویر سنگهای آذرین در منطقه گلوجه شامل، الف و ب) نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی از واحد آندزیت پورفیری (E^{Ba}) با حضور پلاژیوکلاز (Pl) و هورنبلاند (Hb)، پ و ت) نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی از واحد آندزیت بازالت (E^{Ba}) با حضور پلاژیوکلاز (Pl)، پیروکسن (Px) و هورنبلاند (Hb) در زمینه میکرولیتیک، ث و ج) نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی واحد تراکی آندزیت پورفیری با حضور بلورهای جهت‌دار پلاژیوکلاز (Pl)

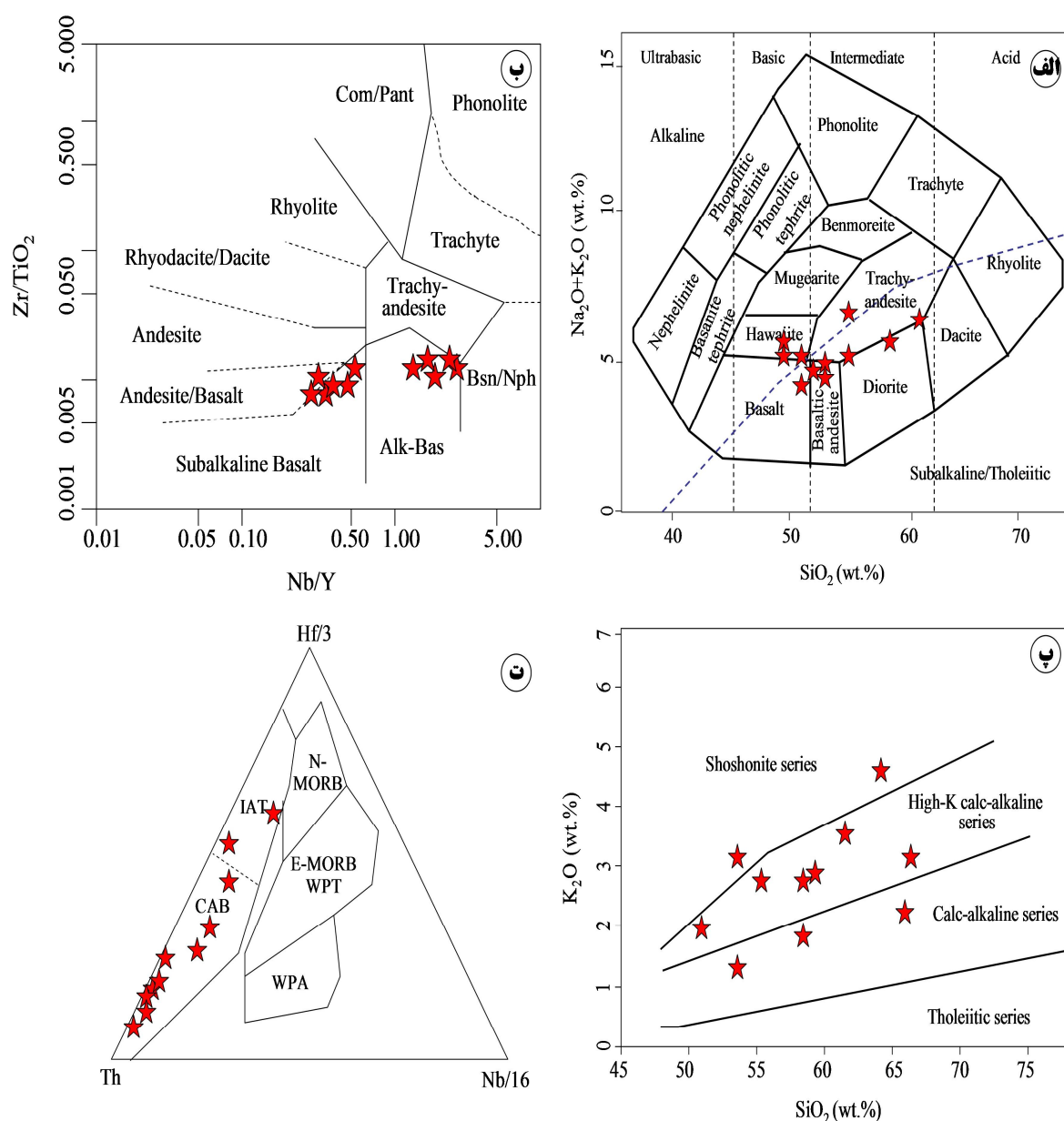
دگرسانی

وسعت هاله‌های دگرسانی در منطقه گلوجه در اطراف رگه‌ها شدید و از چند سانتی‌متر تا 2 متر بسته به ضخامت رگه متغیر است. به‌طور کلی دگرسانیها شامل، پروپیلیتیک (اپیدوت - کلریت

$\pm$ پیریت)، فلیک (کوارتز - سریسیت - پیریت)، آرژیلیک حدواسط (کوارتز - ایلیت/مسکویت) و سیلیسیک است. دگرسانیهای فلیک، آرژیلیک و سیلیسیک، رایجترین دگرسانیهای مرتبط با کانی‌سازی است که عموماً در اطراف رگه‌ها

اپیدوت تبدیل شده‌اند. در محل بلا فصل رگه‌ها نیز مجموعه کوارتز-ایلیت/مسکویت (دگرسانی آرژلیک) گسترش بیشتری داشته و فنوکریست‌های فلدسپات پتاسیک به‌طور کامل توسط ایلیت جانشین شده‌اند. طبق شواهد به نظر می‌رسد سیال گرمایی تدریجاً با کاهش دما مواجه شده و مسکویت به‌وسیله ایلیت جانشین شده است.

قابل تشخیص است و پروپیلیتی شدن با فراوانی بیشتر در سنگهای آذرین تمرکز دارد. در دگرسانیهای موجود در کانسار گلوچه نوعی منطقه‌بندی قابل مشاهده است، به‌طوری که در فاصله‌های دورتر از رگه تا فاصله 10 متر به‌طور عمده شامل، کوارتز-مسکویت-ایلیت و کوارتز-سریسیت-پیریت است. در فواصل نزدیک به رگه دگرسانی شدیدتر بوده و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول به‌ترتیب به‌طور جزئی و یا کامل به سریسیت و کلریت-

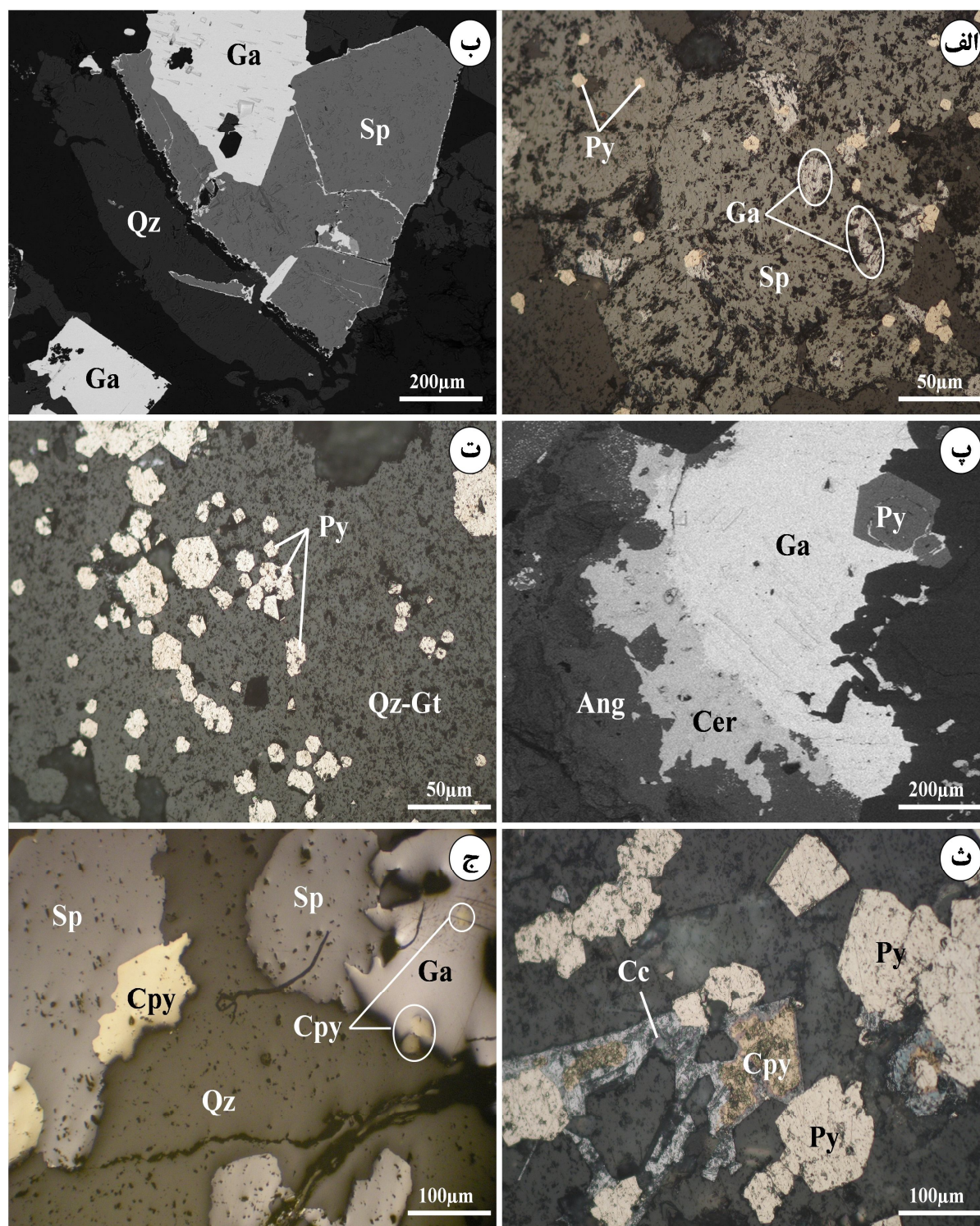


شکل 6. نمودارهای پترولوژی سنگهای منطقه گلوچه شامل: (الف) موقعیت نمونه‌ها در نمودار دوتایی SiO_2 در مقابل $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ [12]، (ب) ردمبندی توفهای منطقه با استفاده از عناصر فرعی Zr/TiO_2 در مقابل نسبت Nb/Y در نمودار وینچستر و فلوید [16]، (پ) ماهیت کالک‌آلکان تا غنی از پتاسیک در نمودار دوتایی SiO_2 در مقابل K_2O [13] و (ت) نمودار تفکیک محیطهای تکتونیکی سنگهای منطقه با استفاده از نمودار سه‌تایی $\text{Th}-\text{Hf}/3-\text{Nb}/16$ [18] و [19].

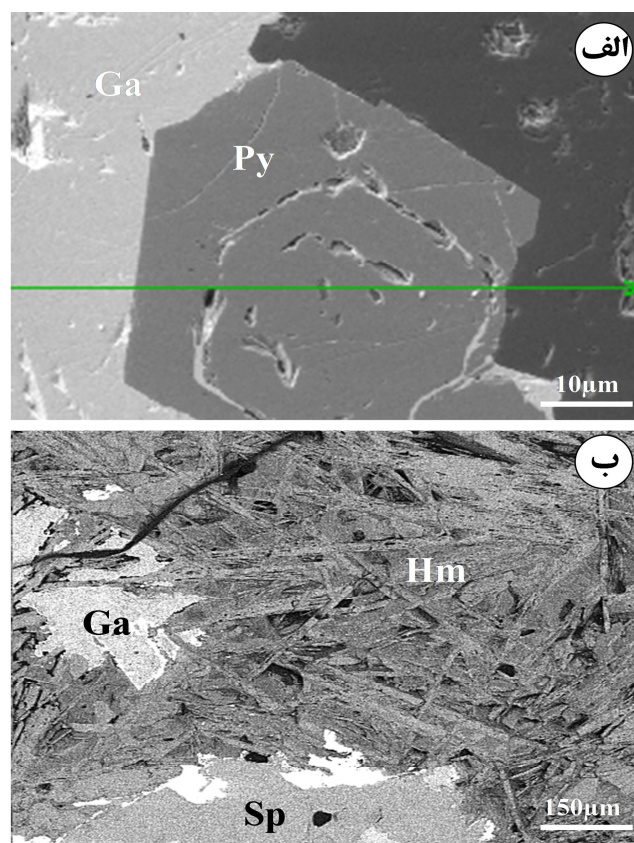
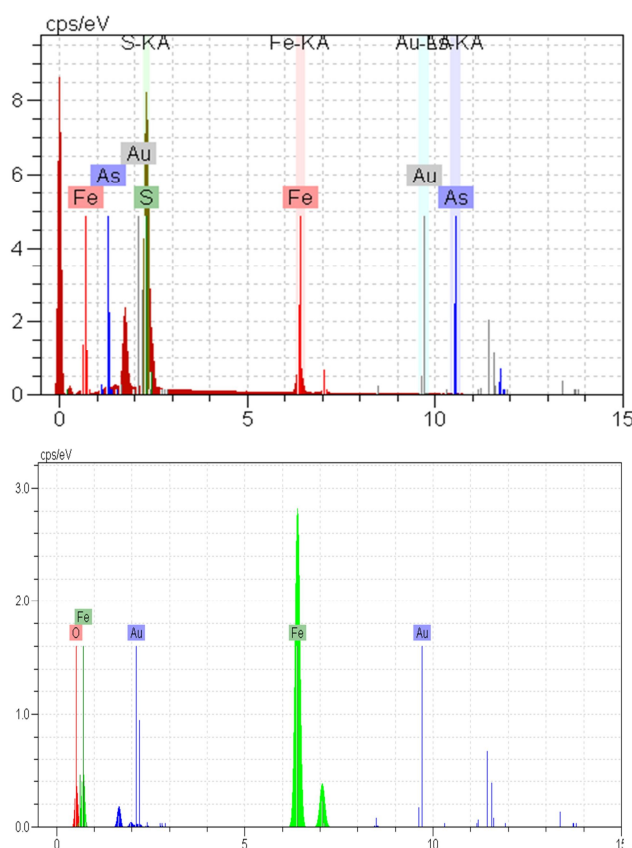
جدول 1 نتایج تجزیه شیمیایی 11 نمونه سنگهای آذرین منطقه گلوچه به روش XRF

Sample no.	H-01	H-03	H-04	A-04	BH2-30	BH1-15	BH2-53	BH2-03	HX3-02	BH2-01	TR-01
SiO ₂	55/58	50/83	63/38	68/96	54/03	51/78	51/68	51/59	48/12	47/73	51/03
TiO ₂	0/93	1/37	0/62	0/61	0/95	0/94	0/91	1/06	1/2	1/03	0/98
Al ₂ O ₃	14/62	16/07	11/21	11/16	15/61	15/18	14/3	14/23	17/63	16/17	15/16
Fe ₂ O ₃	9/75	11/78	12/7	15/03	8/77	8/64	10/65	10/5	12/94	12/01	10/81
MnO	0/17	0/03	0/2	0/05	0/02	0/02	0/02	0/03	0/22	0/18	0/14
MgO	6/24	6/75	4/16	1/47	5/78	6/58	9/15	7/96	9/42	6/31	5/87
CaO	3/65	4/17	2/68	0/6	8/87	10/85	7/21	8/03	2/39	6/89	5/91
Na ₂ O	2/41	4/56	0/77	0/24	2/03	1/94	2/35	3/27	3/19	4/3	3/5
K ₂ O	5/55	3/79	2/91	2/2	2/92	2/99	3/36	2/2	5/21	4/12	5/83
P ₂ O ₅	0/25	0/28	0/16	0/16	0/3	0/23	0/24	0/25	0/23	0/21	0/25
Sum	99/15	99/63	98/79	100/48	99/28	99/15	99/87	99/12	100/55	98/95	99/48
Sc	9/5	10	123/7	0/5	41/4	41/1	20/9	24/7	11/3	12	9/4
V	151/7	202/7	123/7	92/2	136/3	139/5	149/7	161/1	205/4	205/7	171/4
Cr	164/2	114/8	92/3	105/1	82/9	137/3	143/5	112	72/7	80/6	126/4
Co	27/4	32/8	36/7	48/7	26/4	26/1	30/5	30/2	35/7	33/3	31/3
Ni	82/9	26/5	15/6	18/1	27/2	64/1	60/2	41/8	29/7	50/1	108
Cu	246/1	361/4	114/1	747/9	111/6	89/9	139/4	531/9	254	231/1	228/9
Zn	7814/1	210/3	2248/8	5800	72/5	86/9	203/2	222/6	3479/8	4025/5	1386/9
Rb	166/1	59/9	32/3	65/6	56/7	50/9	84/8	45/3	143/4	138/1	172
Sr	137/3	485/3	231/9	24/6	603/9	543/4	554	666/7	57/8	94/2	168/5
Y	43/9	11/5	29/8	51/4	8/7	10/4	13/1	6/8	47/1	63/5	47/3
Zr	93	158/7	72/1	57/5	135/9	127/6	121/9	139/9	116/8	9/99	90/4
Nb	17/4	21/8	15/2	15/5	19/2	18/7	18	18/5	23/5	19/2	16/1
Mo	2/6	1	17/5	12/5	1	1/5	4	3/1	5/2	4	0/5
Sn	199/3	20/7	39/1	195/4	8/1	50	63/2	5/4	196/7	45/9	50/1
Cs	911/5	6/9	182	478/8	9/2	9	18/6	10/5	234/4	186	722/2
Ba	114/5	147/5	104/4	157	151/2	188/4	189/3	120/3	588/7	388/8	1236
La	28/2	7/7	19/2	6/8	6/1	6	0/8	15/4	7/3	0/7	12/1
Ce	63/7	39/3	22	32/5	40	39/8	38/5	31/3	59/4	30/7	88/6
Nd	29/7	0/7	18/5	68/5	3/9	6/7	4/1	10/3	34/7	45/3	35/2
Sm	5/9	1/2	1	2/5	1/7	0/8	0/9	2	2/6	2/1	4/7
Eu	5	1/8	6/9	0/9	2/8	2/4	2/3	1/8	7/4	5/7	3/7
Yb	2/9	1/7	1/9	2/2	1/8	2/5	2/5	2	2/3	2/6	2/8
Hf	22/8	23/4	21/7	57/5	12/2	11/9	16/2	34/5	18/5	24/8	24/7
Ta	1/5	0/3	3/3	5/1	3/5	3/5	3/1	2/3	1/5	1/6	1/7
Pb	303/7	56/4	317/9	1023/1	16/3	17/5	38/6	43/9	1003/5	1201/1	444/2
Th	42/1	9/2	39/3	63/8	8/3	9/6	2/7	9/9	45/2	94/7	49/8
As	0/2	0/4	0/2	0/1	0/4	0/4	0/4	0/4	0/1	0/2	0/1
Sb	0/7	0/8	0/7	0/2	0/9	0/9	0/8	0/7	0/7	0/8	0/7
Dy	0/2	12/3	1	14/4	10	9/3	11/2	10/7	0/2	1/3	2/9
Ho	0/5	0/7	0/4	1/2	0/5	1	0/4	0/3	0/2	0/2	0/6
Er	3/6	4/4	4/6	5/4	3/3	3/4	3/7	3/9	4/3	4/2	3/8

اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب گرم در تن است.



شکل 7. تصاویر میکروسکوپی و SEM کانه‌ها شامل: الف) کانی‌سازی دانه‌پراکنده گالن به‌همراه پیریت در میزبان اسفالریت، ب) کانی‌سازی گالن و اسفالریت در کنار هم به‌همراه کوارتز، پ) رخدادهای سروزیت و انگلریت در حاشیه گالن‌های منطقه گلوچه، ت) کانی‌سازی پیریت نسل اول (قبل از کانی‌سازی) به‌صورت پراکنده در میزبان کوارتز-گوتیت، ث) پیریت‌های نسل دوم (همراه با کانی‌سازی) در کنار کالکوپیریت و کالکوسیت، ج) رخدادهای کالکوپیریت به‌صورت افشان در میزبان گالن و اسفالریت. حروف اختصاری شامل: گالن (Ga)، اسفالریت (Sp)، پیریت (Py)، کالکوپیریت (Cpy)، سروزیت (Cer)، انگلریت (Ang)، کالکوسیت (Cc)، گوتیت (Gt) و کوارتز (Qz)



شکل 8. تصاویر الکترونی SEM شامل: الف) پیریت نسل دوم به همراه گالن (Ga)، اسفالریت (Sp)، پیریت (Py) و هماتیت (Hm) ساختمان هماتیت‌های تیغه‌ای، حروف اختصاری شامل: گالن (Ga)، اسفالریت (Sp)، پیریت (Py) و هماتیت (Hm)

ژئوشیمی

در منطقه مورد مطالعه به‌منظور دستیابی به خصوصیات ژئوشیمیایی کانسار، نمونه‌برداری به روشهای مختلف شامل نمونه‌برداری از رخنمونهای سطحی، ترانشه و گمانه‌های اکتشافی انجام و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، در تجزیه شیمیایی از روشهای دستگاهی ICP-MS (نمونه 331 در آزمایشگاه SGS کانادا) و WD-XRF (نمونه 11 در دانشگاه خوارزمی تهران) استفاده شده است (جدولهای 2 و 4). همچنین برای تکمیل اطلاعات، از داده‌های ژئوشیمیایی شرکت توسعه علوم‌زمین (1389) استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و تعبیر و تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. به‌منظور بررسی همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز با یکدیگر در منطقه از ماتریس همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن-پیرسون بهره گرفته شد. بر این اساس، به‌ترتیب، زوج عناصر کادمیم-روی (0/86)، کادمیم-سرب (0/82)، سرب-نقره (0/80)، طلا-نقره (0/75)، سرب-روی (0/70) و کادمیم-

بیسموت (0/74) دارای ارتباط معنادار در رگه‌های کوارتز-سولفیدی کانه‌دار کانسار مورد مطالعه هستند (شکل 11 الف و جدول 3). همچنین برای شناخت ارتباط زایشی از روش آماری چندمتغیره تجزیه‌خوشه‌ای استفاده شده است، که بر اساس این نمودار، سه گروه عنصری شامل: 1- گروه کادمیم، روی، طلا، سرب، مس و بیسموت، 2- گروه کادمیم، طلا، روی و نقره و 3- گروه طلا، مس، بیسموت، آنتیموان و آرسنیک تشخیص داده شد (شکل 11 ب). همچنین تجزیه عاملی به‌منظور بررسی تغییرات همزمان عناصر بر مبنای روش Principle component analysis توسط آزمون KMO و بارتلت دارای میزان اعتبار 0/75 است که بیانگر اعتبار مناسب این روش است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این روش، چهار گروه عنصری شامل عامل اول (سرب، روی، نقره، آنتیموان و کادمیم)، عامل دوم (آهن و بیسموت)، عامل سوم (مس و طلا) و عامل چهارم (آرسنیک و آنتیموان) شناسایی شدند.



شکل 9. ساخت و بافت کانی‌سازی در منطقه گلوچه شامل: الف) ساخت نواری (Crustiform) متشکل از گالن (Ga) و اسفالریت (Sp) ریزبلور در حاشیه و درشت‌بلور در مرکز به همراه باطله کوارتز (Qz) و فلوریت (Fl) ب) ساخت سیلیسی پرکننده فضای خالی (Open-space filling) در گمانه شماره BHX-3 (عمق 30 متر) و پ) ساخت رگه-رگه‌چهای کوارتز-سولفیدی (گالن) در میزبان آندزیت‌توف در گمانه شماره BH02 (عمق 45 متر)

مطالعات میانبارهای سیال

از دیدگاه پتروگرافی، مطالعات میانبارهای سیال (fluid inclusion) بر روی میانبارهای اولیه (P) با موقعیت منفرد (Isolate) و مجتمع (Cluster) در میزبان کانیهای کوارتز و اسفالریت انجام شد. میانبارهای مشاهده شده غالباً به شکلهای کروی، کشیده، مثلثی و بی‌شکل با اندازه 10 تا 20 میکرون و کوچکتر از 5 میکرون (عمدتاً در میانبارهای ثانویه و ثانویه کاذب) مشاهده شد (شکل 12). بر مبنای تقسیم‌بندیهای انجام شده توسط شفر و همکاران [20]، میانبارهای از نوع دو فازی مایع + بخار (L+V)، بخار + مایع (V+L) و تک فازی مایع و بخار تشخیص داده شد و هیچ‌گونه شاهدهی از حضور فاز نوزاد (S) یا CO₂ مایع (L_{CO2}) مشاهده نشد (شکل 12). پدیده باریک‌شدگی یا Necking Down نیز تشخیص داده شد که مورد مطالعه میکرودماسنجی قرار نگرفت (شکل 12 پ). مطالعات میکرودماسنجی بر روی رگه‌های کوارتز-سولفیدی و بی‌بار انجام شد. تغییرات دمای همگن‌شدن میانبارها به فاز مایع (Th_{v-l}) در میانبارهای دو فازی مایع و بخار در میزبان کوارتز-سولفید، بین 223 تا 287°C (میانگین 255°C) و در میزبان اسفالریت بین

153 تا 244°C (میانگین 209°C) به‌دست آمد (شکل 13). تغییرات دمای ذوب‌نهایی یخ (T_{mice}) در میزبان کوارتز بین 4- تا 13°C- برابر شوری 5/5±0/5 تا 6/4±0/4 درصد معادل نمک طعام (wt.% NaCl eq.) و در میزبان اسفالریت بین 1- تا 8°C- برابر شوری 3/3±0/1 تا 6/6±0/12 درصد معادل نمک طعام (wt.% NaCl eq.) در سامانه NaCl-H₂O به‌دست آمد. همچنین در رگه‌های بی‌بار (Barren) تغییرات دمای همگن‌شدن نهایی میانبارها به فاز مایع (Th_{v-l})، در میانبارهای دو فازی مایع و بخار (L+V) میزبان کوارتز، بین 155 تا 212°C میانگین (184°C) و تغییرات دمای ذوب‌نهایی یخ (T_{mice}) بین 1- تا 4°C- برابر شوری 4/4±0/1 تا 2/2±0/6 درصد معادل نمک طعام (wt.% NaCl eq.) به‌دست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر شوری به‌دست آمده توسط رابطه هال و بودنار [21] محاسبه شده و با نرم‌افزار FLINCOR نسخه براون [22] کنترل شد. جدول داده‌های میانبارهای سیال و نمودار ستونی دمای همگن‌شدن و شوری میانبارها به ترتیب در جدول 5 و شکل 13 آورده شده است.

جدول 2. داده‌های تجزیه‌دستگاهی تعداد 52 نمونه معرف کانسنگ از رگه‌های کوارتز- سولفیدی به روش ICP-MS

Sample No	Au (ppb)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	Sample No	Au (ppb)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)
87-GL-008	53	1825	2208	1695	12/7	G4-Tr5-S3	< 10	0/4	40	181	41
87-GL-009	68	5293	57000	34000	51	G4-Tr6-S1	< 10	0/4	156	948	248
87-GL-010	5/3	127	208	0/2	0/2	G4-Tr6-S2	< 10	0/26	147	677	105
87-GL-011	51	117	375	40	17/9	G4-Tr6-S3	21	3/8	1065	3002	1631
87-GL-012	39	279	5569	322	14/5	G4-Tr7-S1	< 10	0/4	133	1454	74
87-GL-013	112	113	2486	109	4/5	G4-Tr7-S2	10	1/6	193	2454	2569
87-GL-014	6/8	237	2541	795	3/2	G4-Tr7-S3	305	7/1	991	4674	2295
87-GL-015	65	224	2958	569	12/5	G4-Tr8-S1	< 10	0/6	81	1574	52
87-GL-016	28	345	3541	2008	2/7	G4-Tr8-S2	< 10	0/4	143	2730	62
87-GL-017	36	2732	2125	427	10/1	G4-Tr8-S3	10	0/26	80	651	78
87-GL-018	34	544	958	276	8/4	G4-Tr12-S1	< 10	0/8	96	122	165
87-GL-019	980	858	3986	1656	35	G4-Tr12-S2	14	0/5	110	113	68
87-GL-020	36	4099	39000	25000	29/2	G4-Tr12-S3	< 10	0/7	117	111	48
87-GL-022	41	1593	11000	2658	2/7	G4-Tr13-S1	232	9/9	256	2759	2395
87-GL-023	90	1230	9062	9725	39/2	G4-Tr13-S2	62	1/7	88	1932	895
87-GL-025	28	1248	1791	13000	2/7	G4-Tr13-S3	19	1/5	146	2294	855
87-GL-026	123	821	23000	792	140	G4-Tr14-S1	17	0/6	121	358	166
87-GL-027	58	3777	74000	50000	104	G4-Tr14-S2	< 10	0/7	90	249	63
G4-Tr1-S1	< 10	0/5	156	784	234	G4-Tr14-S3	< 10	0/6	106	713	182
G4-Tr1-S2	< 10	0/4	28	347	53	G4-Tr16-S1	< 10	0/7	82	369	127
G4-Tr1-S3	< 10	0/7	279	648	189	G4-Tr16-S2	< 10	0/26	60	192	111
G4-Tr1-S4	< 10	0/5	162	610	152	G4-Tr16-S3	< 10	0/7	215	225	105
G4-Tr4-S1	< 10	0/9	157	287	137	G4-Tr17-S1	18	3/3	215	168	229
G4-Tr4-S2	10	1/6	215	957	229	G4-Tr17-S2	10	2/85	221	282	1164
G4-Tr4-S3	20	0/7	353	1428	510	G4-Tr17-S3	201	4/28	239	196	2927
G4-Tr5-S1	< 10	0/28	177	159	28	G4-Tr17-S4	26	6/15	114	193	1503

Tr: ترانشه

جدول 3. ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن - پیرسون برای 10 عنصر معرف کانه‌ساز در منطقه گلوچه

	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Sb	As	Bi	Fe	Cd
Au	1									
Ag	0/75	1								
Pb	0/631	0/807	1							
Zn	0/304	0/573	0/702	1						
Cu	0/645	0/588	0/562	0/342	1					
Sb	0/506	0/577	0/490	0/482	0/315	1				
As	0/645	0/678	0/573	0/496	0/306	0/669	1			
Bi	0/266	0/260	0/305	0/273	0/363	0/174	0/258	1		
Fe	0/321	0/413	0/426	0/456	0/291	0/77	0/186	0/458	1	
Cd	0/440	0/655	0/829	0/869	0/311	0/446	0/518	0/740	0/366	1

Mineral	Pre mineralization	Ore stage	Post mineralization	Supergene
Quartz				
Pyrite				
Epidote				
Chlorite				
Hematite				
Albite				
Fluorite				
Galena				
Sphalerite				
Chalcopyrite				
Bornite				
Tennantite				
Montmorillonite				
Illite				
Sericite				
Kaolinite				
Anglesite				
Covellite				
Cerussite				
Chalcocite				
Goethite				

شکل 10. توالی پاراژنتیک آنومالی 4 کانسار گلوچه (ضخامت خطوط نشان‌دهنده فراوانی نسبی است)

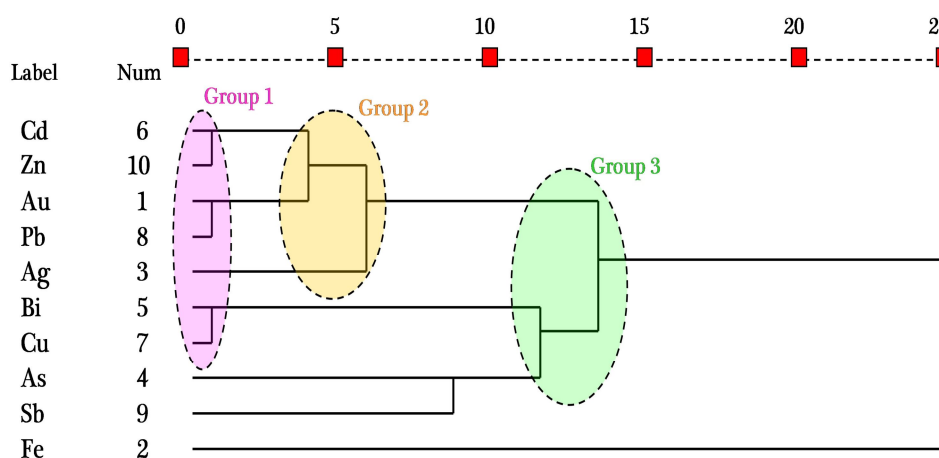
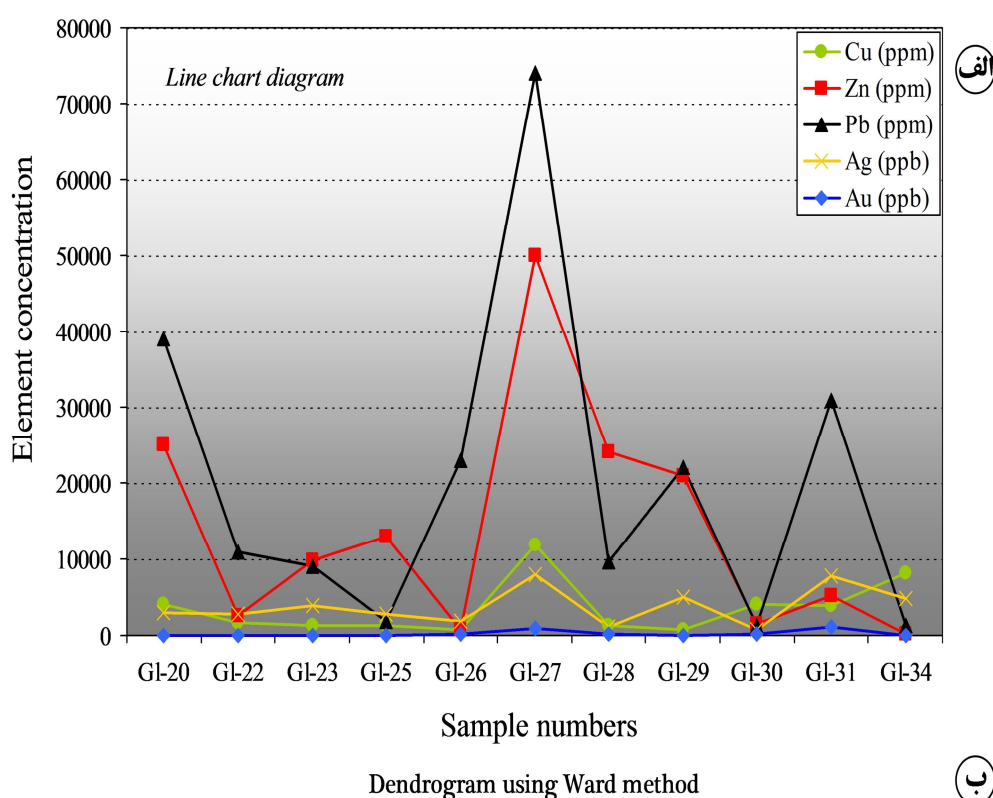
بحث و نتیجه‌گیری

در کانسارهای اپی‌ترمال نوع رگه‌ای که حاوی کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی است، تغییرات فشار نسبی اکسیژن (fO_2) و گوگرد (fS_2) محیط یکی از عوامل مهم رخداد کانی‌سازی در ذخایر گرمابی است [23]. سیالات غنی از اکسیژن پس از نفوذ به اعماق و ترکیب با آبهای ماگمایی - گرمابی دما بالا و غنی از H_2O ، HCl و HF در شرایط فشار بالای اکسیژن (fO_2) و پایین گوگرد (fS_2) باعث رخداد مجموعه هماتیت، مگنتیت و کلسیت طی مرحله نخست کانی‌سازی شده است. پس از آن که طی مراحل پایانی به تدریج با کاهش فشار نسبی اکسیژن، مقدار گوگرد در محیط افزایش یافت، کانی‌سازی فلزات پایه (مس، سرب - روی) و گرانها (نقره $\pm$ طلا) همراه با پیریت و کالکوپیریت در رگه‌های کوارتز - سولفیدی کانه‌دار صورت گرفته است (شکل 14). بر این اساس، در نمودار $\log fH_2/fH_2O$ در مقابل دما ($^{\circ}C$) توسط تایلور [24] و با تغییرات توسط گیگن‌باخ [25] و

هندکوئیست [26] می‌توان روند تحول سیال کانه‌ساز در آنومالی 4 کانسار گلوچه را نشان داد (شکل 14). علاوه بر این، با توجه به رخداد دگرسانیهای سریسیتی و آرژیلیک حدواسط (ایلیت/مسکویت) در مجاورت رگه‌های کوارتز - سولفیدی کانه‌دار می‌توان گفت PH سیال کانه‌ساز نزدیک به خنثی بوده است [25]. شواهدی از جمله، 1- حضور بافتهای اپی‌ترمال از قبیل رگه‌های برشی کوارتز و بافتهای حفره‌دار و نواری، 2- رخداد کانیهای دگرسان ایلیت/مسکویت و 3- وجود کانیهای سولفیدی گالن، اسفالریت و مقادیر کم کالکوپیریت و تنانتیت گویای ماهیت سولفیداسیون متوسط (Intermediate sulfidation) آنومالی 4 کانسار گلوچه است [27 و 28]. وجود دما ($255^{\circ}C$) و شوری (13 درصد معادل نمک طعام) متوسط سیال کانه‌ساز و ترکیب آهن‌دار اسفالریت‌های $Zn(Fe)S$ منطقه از دیگر شواهد ذخایر اپی‌ترمال سولفید متوسط است (برای مثال، ذخایر مکزیک و نوادا، [29]). علاوه بر این با توجه به مطالعات حاج‌علیلو [3] و مؤید

مبنای مطالعات آلینسون [29] و هدنکوئیست [30]، چنین عمقی متناسب کانسارهای اپی‌ترمال نقره و فلزات پایه سولفید متوسط است. در شکل 15 دمای تشکیل مجموعه کانیهای دگرسار کانسار گلوچه نشان داده شده که حد فوقانی آن تا 300°C بوده و می‌تواند مرتبط با کانسارهای پورفیری باشد [31]. [32 و 33].

[11] و رخداد عظیم ماگماتیسیم ترشیری در پهنه طارم- هشتجین متشکل از سنگهای آذرآواری، گدازه‌ها و ایگنمبریت با ضخامت تقریبی 1000 متر صورت گرفته است. به نظر می‌رسد با توجه به شواهد زمین‌شناسی و مطالعه نمودارهای حفاری منطقه، عمق کانی‌سازی در آنومالی 4 کانسار گلوچه بین 400 تا 1000 متر زیر سطح قدیمی است که در بررسیهای انجام‌شده بر روی آنومالی‌های دیگر کانسار گلوچه توسط [10] مورد تأیید است. بر



شکل 11. نمودارهای ژئوشیمیایی منطقه گلوچه شامل: الف) نمودار هم‌روندی عناصر کانه‌ساز مس، سرب، روی، نقره و طلا در رگه‌های کوارتز- سولفیدی و ب) نمودار تجزیه خوشه‌ای 10 عنصر معرف کانه‌ساز با استفاده از روش Ward که در آن سه گروه عنصری قابل تفکیک است.

جدول 4 داده‌های تجزیه‌دستگاهی ICP-MS از تعداد 5 مغزه حفاری

Bore hole no.	Depth (m)	Alteration	Host rock	Au (ppb)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)
G4-BH02-01	56-58	Qz+Ser+Py+Kal ±Gt-Hem	Quartz latite	20	451	18	147	6/9
G4-BH02-02	62-66	Qz+Py+Gt-Hem	Andesite	5	103	522	1164	6/3
G4-BH02-03	68-70	Minor	Andesite	1	107	8	124	1/4
G4-BH02-04	83-85	Qz+Kal+Ep ±Bt±Py	Andesite- Basalt	4	45	552	4257	2
G4-BH02-05	92-94	Qz+Py+Ser ±Fe oxide	Trachy andesite	53	194	2756	3741	8
G4-BH03-01	32-35	Qz+Kal+Py ±Bt	Andesite tuff	23	265	12610	4326	6/2
G4-BH03-02	43-46	Minor	Andesitic basalt	9	82	114	208	0/45
G4-BH03-03	51-54	Qz+Ms+Ill ±Py±Cal	Latite tuff	9	128	122	244	1/2
G4-BH03-04	58-63	Qz+Py+Chl ±Ep± Fe oxide	Green tuff	15	186	8262	15364	4/7
G4-BH03-05	87-90	Py+Fe oxide	Andesite	23	45	14114	19151	9/1
G4-BH04-01	23-26	Qz+Kal+Hem±Cal	Rhyodacite	4	119	15	68	0/28
G4-BH04-02	33-35	Py+Clay minerals	Rhyolitic tuff	12	122	1569	5569	0/7
G4-BH04-03	42-46	Minor	Andesitic dacite	10	87	17	73	0/27
G4-BH04-04	51-55	Ep+Chl+Cal±Py	Andesitic basalt	11	193	66	106	0/33
G4-BH04-05	74-77	Qz+Chl±Bt	Andesite	4	81	16	208	0/37
G4-BH05-01	65-67	Qz+Ser+Kal ±Chl±Py	Crystalline tuff	34	122	113	1313	0/35
G4-BH05-02	70-72	Qz+Kal+Ms ±Py	Basaltic andesite	36	274	9805	11647	22/27
G4-BH05-03	75-78	Qz+Py±Fe oxide	Basaltic andesite	34	842	8179	36208	26/73
G4-BH05-04	80-82	Qz+Py+Chl± Fe oxide	Lithic tuff	20	395	3842	10405	4/3
G4-BH05-05	85-88	Qz+Hem	Lithic tuff	20	51	962	2021	0/37
G4-BX1-01	67-69	Qz+Kal+Hem ±Cal+Ep	Dacitic tuff	6	600	37	250	0/28
G4-BX1-02	73-76	Qz+Ser+Kal ±Cal±Py	Andesite- basalt	1	115	62	1096	1
G4-BX1-03	82-84	Qz+Kal+Py ±Fe oxide	Trachytic tuff	4	1252	85	10122	4/6
G4-BX1-04	93-95	Qz+Fe oxide	Andesitic tuff	23	403	134	1941	8/9
G4-BX1-05	97-102	Chl+Ep±Ser±Cal	Basaltic andesite	21	2029	62	464	4/2

حروف اختصاری کانیها: کوارتز (Qz)، کائولینیت (Kal)، هماتیت (Hem)، کلسیت (Calcite)، پیریت (Py)، بیوتیت (Bt)، اپیدوت (Ep)، مسکویت (Ms)، سربیسیت (Ser)، گوتیت (Gt)، کلریت (Chl)

جدول 5. داده‌های میکرودماسنجی میانبارهای درگیر منطقه گلوچه (N: تعداد نمونه‌ها، $T_{m_{ice}}$: دمای ذوب نهایی یخ بر حسب درجه سانتی‌گراد، Th_{L+V} : دمای همگن‌شدن میانبار بر حسب درجه سانتی‌گراد، C: میانبارهای مجتمع و I: میانبارهای منفرد)

Veins	Sample no.	Host	Type	N	$T_{m_{ice}}$ (°C)	Th_{L+V} (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Density (g/cm ³)
Quartz-sulfide veins	G-BH-1	Quartz	C	20		255-270	14/2-17/0	0/88-0/91
			C	11	-3/3 to -12/3	223-240	6/3-11/4	
			I	4		285-287	7/9-12/3	
	G-BH-2	Quartz	I/C	5	-4/2 to -13/1	242-250	14/3-16/0	0/85-0/90
			C	15		230-245	7/0-12/3	
			C	3		281-293	10/2-13/2	
	G-BH-3	Sphalerite	C	5	-3/5 to -8/2	207-232	10/2-12/3	0/91-0/95
			I/C	4		182-202	9/0-11/1	
			C	8		165-178	6/5-10/8	
Barren veins	G-BH-4	Quartz	C/I	5	-4/2 to -12/6	275-286	13/2-15/2	0/86-0/91
			C	8		255-278	10/0-13/3	
			I	7		243-258	6/2-8/0	
			C	16	-0/86 to -8/5	153-187	1/4-8/1	0/92-0/94
			I	8		227-244	9/0-11/1	
			C	28		184-196	4/1-6/5	

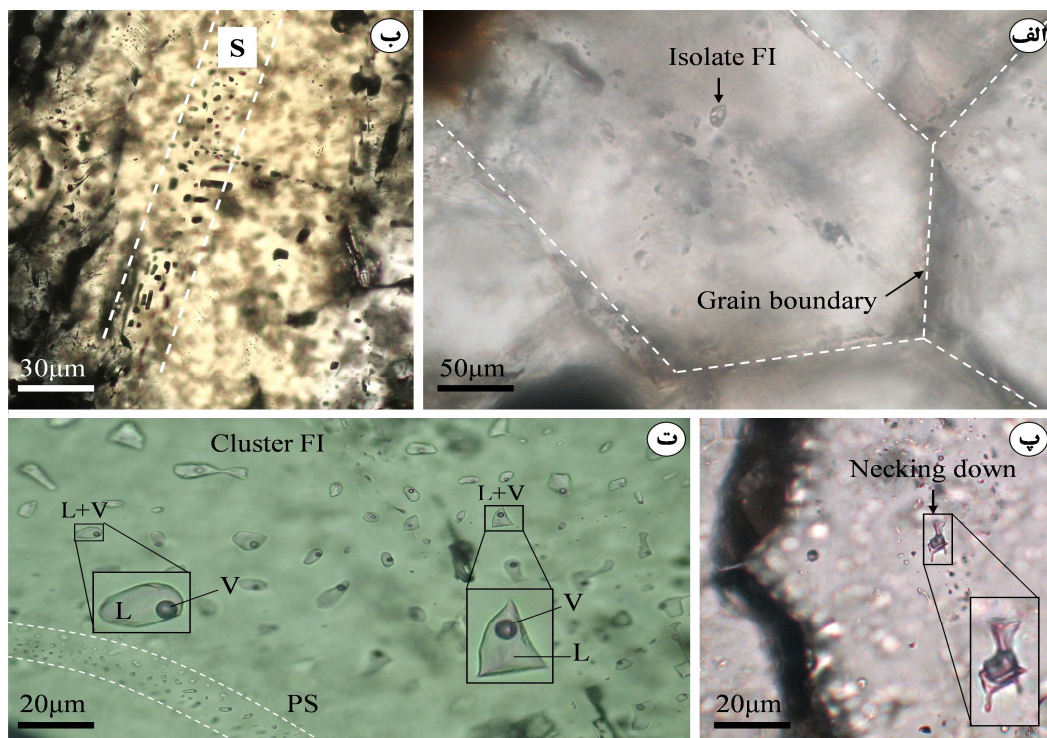
C: Cluster, I: Isolate

و شوری 12 درصد معادل نمک طعام) و اسفالریت (میانگین 209°C و شوری 7 درصد معادل نمک طعام)، با منشأ ماگمایی و طی مرحله کانی‌سازی اصلی و رگه‌های کوارتز فاقد کانی‌سازی (بی‌بار) با دمای همگن‌شدن میانگین 184°C و شوری متوسط 4 درصد معادل نمک طعام با منشأ سیالات جوی در مرحله پایانی کانی‌سازی رخ داده است. با توجه به مطالعات دیویس [34] دمای اولین نقطه ذوب یخ (T_{fm}) میانبارهای میزبان اسفالریت در آنومالی 4 کانسار گلوچه با تغییرات 23- تا 18°C - گویای تشکیل سیال کانه‌ساز فلزات پایه در سامانه $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ است. همان‌طور که اشاره شد در رگه‌های کوارتز- سولفیدی کانه‌دار منطقه مورد مطالعه کانیهای باطله کربناته (از قبیل کلسیت و دولومیت) ناچیز هستند که حضور مقادیر بالای کانیهای کربناته شاخص کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال فلزات پایه و طلا سولفیداسیون پایین

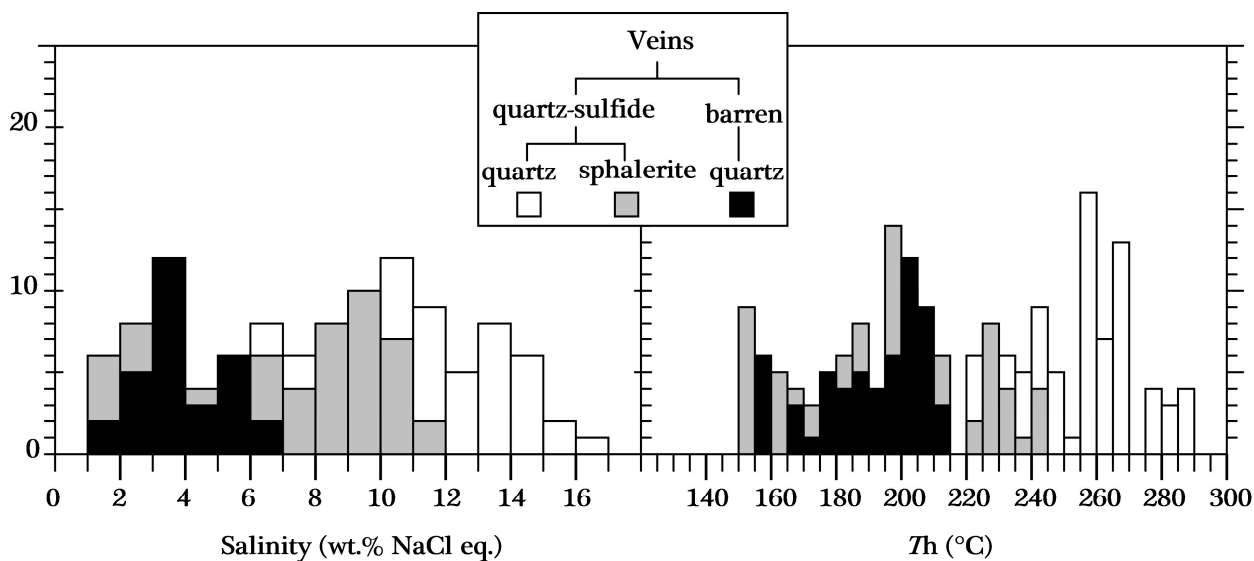
حضور میانبارهای سیال دوفازی مایع و گاز (L+V) با نسبت جابجایی به مایع ثابت همراه با سیالات غنی از فاز مایع و نیز تغییرات دمای همگن‌شدن نسبتاً محدود، نشان‌دهنده عدم رخداد جدایش فازی (از قبیل جوشش) طی مراحل کانی‌سازی است [33]. عدم حضور میانبارهای تک فازی مایع و گاز همراه با یکدیگر و نیز عدم تشکیل کانیهای آدولاریا و کلسیت تیغه‌ای نشان‌دهنده عدم رخداد جوشش در منطقه است. با توجه به حرارت نسبتاً ثابت و شوری متغیر سیال کانه‌ساز در منطقه، و نیز نمودار دمای همگن‌شدن ($Th^{\circ}\text{C}$) در مقابل شوری (wt.% NaCl eq.) می‌توان نقش فرآیند رقیق‌شدگی و اختلاط سیالات ماگمایی و جوی را در رخداد کانی‌سازی تشخیص داد [26] (شکل 16). به‌طوری که رگه‌های کوارتز- سولفیدی فلزات پایه و گران‌بها با دمای همگن‌شدن کوارتز (میانگین 255°C

می‌تواند مرتبط با ذخایر پورفیری مس - طلا در عمق باشد [36].

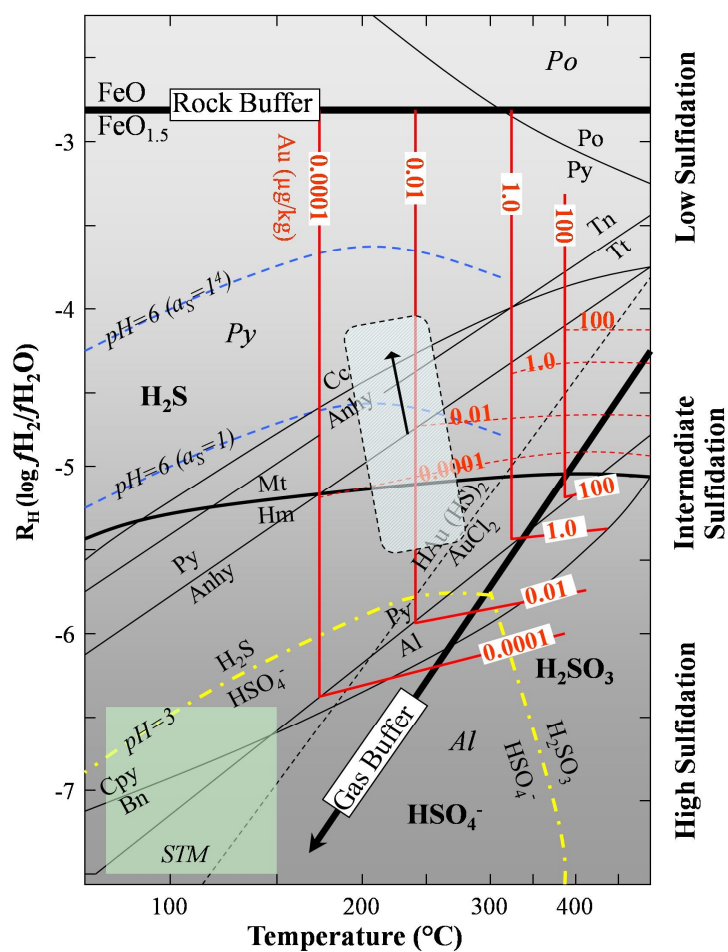
است [35]. به عقیده هدنکوئیست [30]، این ویژگی خاص کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط است که احتمالاً



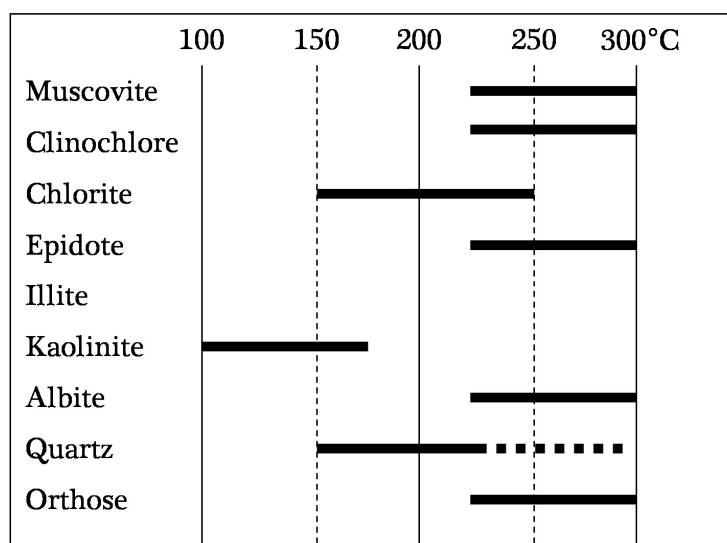
شکل 12. تصاویر پتروگرافی میانبارهای سیال (FI) شامل: الف) موقعیت میانبار اولیه منفرد در مرکز بلور کوارتز، ب) ردیفی از میانبارهای ثانویه (S) در اسفالریت، پ) پدیده باریک‌شدگی (Necking down) در میانبار و ت) تجمع میانبارهای سیال دوفازی مایع + بخار (L+V) با شکلهای مختلف همراه با ردیفی از میانبارهای ثانویه کاذب (PS) با اندازه کوچکتر از 5 میکرون



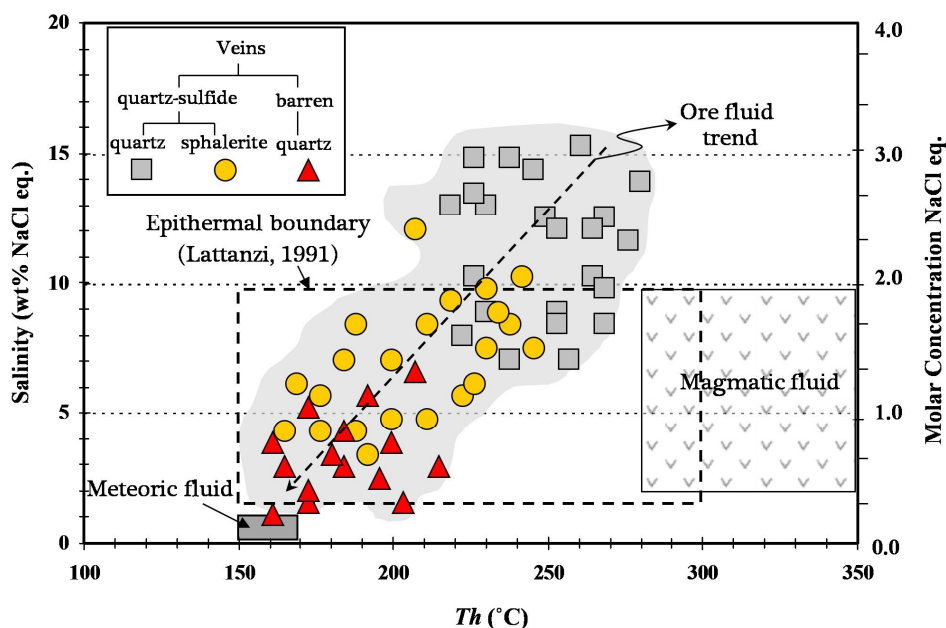
شکل 13. نمودار ستونی دمای همگن‌شدن (Th °C) و شوری (wt.% NaCl eq.) میانبارهای سیال آنومالی 4 کانسار گلوچه در رگه‌های کوارتز - سولفیدی کانه‌دار (یا میزبان کانیهای کوارتز و اسفالریت) و رگه کوارتز بی‌بار



شکل 14. نمودار پتانسیل احیا ($R_H = \log f_{H_2}/f_{H_2O}$) در مقابل دما ($^{\circ}C$) [24] که در آن موقعیت کانسار منطقه گلوجه (کادر مستطیلی سفید) و روند تحولی آن (جهت پیکان) در شکل نشان داده شده است (برای توضیحات به متن مراجعه شود). حروف اختصاری شامل، aS (a_{H_2S}/a_{SO_4}), Al (alunite), py, po (pyrrhotite), mt (magnetite), hm (hematite), en (enargite), cpy (chalcopyrite), cc (calcite), bn (bornite), anhy (anhydrite), STM (steam-heated), tn (tennantite), (pyrite)



شکل 15. تخمین دمای تشکیل کانسار توسط کانیهای رسی و دگرسان اطراف رگه‌های کانهدار (بر اساس [32 و 33])



شکل 16. نمودار دمای همگن شدن (Th °C) در مقابل شوری (wt.% NaCl eq.) سیال کانه‌ساز کانسار منطقه گلوچه که در آن پدیده اختلاط و رقیق‌شدگی سیال گرمایی در نمودار قابل تشخیص است. محدوده‌های فرضی آبهای جوی و ماگمایی و مرز کانسارهای اپی‌ترمال بر مبنای [37، 38 و 39] رسم شده است.

1/100000 (ماسوله)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم

طبیعی، دانشگاه تبریز، (1383) 147 ص.

[5] قربانی م، "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی

/ایران"، انتشارات آراین زمین، (1386) 515 ص.

[6] آقاباتی ع، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان

زمین‌شناسی کشور، (1383) 345 ص.

[7] Hirayama K., Samimi M., Zahedi M., Hushmandzadeh A.M., "Geology of Tarom district western part (Zanjan area) geology survey of Iran", Geological Survey of Iran, Tehran, Report No 80 (1965) 230 p.

[8] شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران، "گزارش نهایی فاز صفر آنومالی شماره 4 کانسار گلوچه"، (1387).

[9] Davis R.G., Hamzehpour B., Clark G.C., "Geology of Masuleh sheet (1/100000) NW Iran", Geological Survey of Iran, Tehran, Report No 24 (1972) 110 p.

[10] مهرابی ب، طالع فاضل ا، قاسمی سیانی م، اقبالی م، ع، "بررسی نحوه کانی‌سازی و تشکیل کانسار رگه‌ای مس-طلا گلوچه (شمال زنجان) بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و

قدردانی

بدین‌وسیله از جناب آقای مهندس هدایتی، مدیریت محترم و جناب آقای مهندس اقبالی، مسؤول محترم اکتشاف شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران که با فراهم‌کردن شرایط بازدید از منطقه و نمونه‌برداری از گمانه‌ها نقش به‌سزایی در انجام هر چه بهتر این پژوهش بر عهده داشته‌اند، قدردانی می‌نمایم.

منابع

[1] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East: Scale 1:5,000,000", Tehran, Geological Survey of Iran (1991).

[2] افتخارنژاد ج، "نفیک بخشهای مختلف ایران از لحاظ وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی"، نشریه انجمن نفت، شماره 82 (1359) ص 19-28.

[3] حاج‌علیلو ب، "متالورژی ترشیری البرز غربی-آذربایجان (میانة سیاه‌رود) با نگرشی بر منطقه هشتجین"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، (1378) ص 323-331.

[4] هادی‌زاده ح، "اکتشافات ژئوشیمیایی از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی در محدوده برگه توپوگرافی 1/50000 برندق (از ورقه

in *Economic Geology* 13 (2000) 221-244.

[24] Taylor B. E., "Stable isotope geochemistry of ore-forming fluids", In: Kyser T. K. (Eds.), *Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Fluids: Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook* 13 (1987) 337-445.

[25] Giggenbach W., "Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries", *Economic Geology* 87 (1992) 1927-1944.

[26] Hedenquist J. W., Matsuhisa Y., Izawa E., White N. C., Giggenbach W. F., Aoki M., "Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu district, Japan", *Economic Geology* 89 (1996) 1-30.

[27] John D. A., "Miocene and Early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western USA: characteristics, distribution, and relationship to magmatism", *Economic Geology* 96 (2001) 1827-1853.

[28] Yilmaz H., Oyman T., Sonmez F. N., Arehart G. B., Billo Z., "Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespah Dere (Lapseki/Western Turkey)", *Ore Geology Reviews* 37 (2010) 236-258.

[29] Albinson T., Norman D. I., Cole D., Chomiak B., "Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data", *Society of Economic Geology Special Publication* 8 (2001) 1-32.

[30] Hedenquist J. W., Arribas A. R., Gonzalez-Urien E., "Exploration for epithermal gold deposits", In: Hagemann, S. G., Brown P. E. (Eds) *Gold in 2000 Reviews in Economic Geology* 13 (2000) 245-277.

[31] Henley R. W., Ellis A. J., "Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review", *Earth Science Reviews* 19 (1983) 1-50.

[32] Reyes A. G., "Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 43 (1990) 279-309.

[33] White N. C., Hedenquist J. W., "Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration", *Society of Economic Geology Newsletter* 27 (1995) 1-13.

[34] Davis D. W., Lowenstein T. K., Spencer R. J., "Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-

میانبارهای سیال"، *مجله علوم دانشگاه تهران*، شماره 4 (1388) ص 185-199.

[11] مؤید م.، "بررسیهای پترولوژیکی نوار ولکانو-پلوتونیک ترشیری البرز غربی- آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشتجین"، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، (1380) 328 ص.

[12] Cox K. G., Bell J. D., Pankhursts R. J., "The interpretation of igneous rocks", *George Allen and Unwin* (1979) 450 p.

[13] Peccerillo A., Taylor S. R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey", *Contribution mineral petrology* 58 (1976) 63-81.

[14] شرکت توسعه علوم زمین، "اکتشافات طلا و عناصر همراه در منطقه گلوجه شمال زنجان"، (1384).

[15] Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A., Kellre J., Lameyre Le Bas M. J., Sabine P. A., Schmid R., Sorenson H., Streckeisen A., Woolley A., Zanettin B., "A classifications of igneous rocks and glossary of terms", *Black well scientific publications* (1989) 193 p.

[16] Winchester J. A., Floyd P. A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical Geology* 20 (1977) 325-343.

[17] Irvine T. N., Baragar W. R. A., "A guide to chemical classification of the common volcanic rocks" *Canadian journal of earth science* 8 (1971) 523-548.

[18] Wood D. A., Joron J. L., Treuil M., "A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series in different tectonic setting", *Earth and Planetary Science Letters* 45 (1979) 326-336.

[19] Pearce J. A., Can J. R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using elements analysis", *Earth planet* 8 (1973) 290-300.

[20] Sheppard T. J., Rankin A. H., Alderton, D. H., "A practical guide to fluid inclusion studies", *Glasgow Blackie and Sons, Glasgow* (1985) 239 p.

[21] Hall D. L., Bodnar R. J., "Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O", *Economic Geology* 65 (1988) 123-140.

[22] Brown P. E., "FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data", *American Mineralogist* 74 (1989) 1390-1393.

[23] Cooke D. R., Simmons S. F., "Characteristics and genesis of epithermal gold deposits", *Reviews*

- [37] Hedenquist J. W., Arribas A., "Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits", Philippines, *Economic Geology* 93 (1998) 373–404.
- [38] Naden J., Killias S. P., Darbyshire D. P. F., "Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island, Greece", *Geology* 33 (2005) 541–544.
- [39] Lattanzi P., "Applications of fluid inclusions in the study and exploration of mineral deposits", *European Journal of Mineralogy* 3 (1991) 689–697.
- grown halite crystals in systems $\text{NaCl-H}_2\text{O}$, $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$, $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, and $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ ", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54 (1990) 591–601.
- [35] Corbett G. J., Leach T. M., "High sulfidation gold-copper systems in South Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization", In: Corbett G. J., Leach T. M. (Eds.), *Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization*: Society of Economic Geologists Special Publication 6 (1998) 101–136.
- [36] Sillitoe R. H., Hedenquist J. W., "Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits", In: Simmons S. F., Graham I. (Eds.), *Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: rulers and witnesses of processes within the earth*: Society of Economic Geologists Special Publication 10 (2003) 315–343.