



بررسی کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط آنومالی 4 کانسار گلوجه (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 فلزات‌پایه (مس، سرب و روی) و گرانبها (نقره+طلاء) آنومالی 4 کانسار گلوجه با میزان سنگهای آتشفسانی و نیمه‌نفوذی اؤوسن-الیگومن در بخش مرکزی پهنه طارم- هشتگین رخداده است. سنگهای آتشفسانی، آتشفسانی- تخریبی و نیمه‌نفوذی با ترکیب بازیک تا حدود متوسط متشكل از آندزیت، آندزیتبازالت، تراکی آندزیت، داسیت و توفها دارای بیشترین فراوانی در منطقه بوده که دارای خصوصیات سری ساب‌آلکالن تا کالک‌آلکالن غنی از پتانسیم 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 شمال‌غرب- جنوب‌شرقی با ساخت و بافت‌های نواری، برشی، رگه- رگه‌چهای و پرکننده فضای خالی و محتواهی سولفیدی 5 تا 60% متشكل از کانه‌های اصلی گالن، اسفالریت، کالکوبیریت و پیریت صورت گرفته است. مطالعات SEM حاکی از وجود مقادیر نقره (0/47 wt. %) و کادمیم (0/66 wt. %) در ساختمان گالن و آهن (0/23 wt.% FeS) در ترکیب اسفالریت است. دگرسانیهای گرمابی فیلیک (کوارتز- سریسیت- پیریت)، آژیلیک حدوداً (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 ($T_{\text{m}}^{\text{L-V}}$)، بین 223 تا 287°C و شوری 6/5 تا 17 درصد معادل نمک طعام (در میزان کوارتز) و دمای همگن‌شدن 175 تا 244°C تا 1/5 و شوری 12 درصد معادل نمک طعام (در میزان اسفالریت) است. تغییرات دمای اولین نقطه ذوب بین (T_{fm}) در میانبارهای سیال میزان اسفالریت رگه کوارتز- سولفیدی کانه‌دار، بین 23-23°C در سامانه NaCl-H₂O است.

در آنومالی 4 کانسار گلوجه، خصوصیاتی نظیر ساخت و بافت‌های رگه‌ای- برشی و نواری، حضور کانیهای دگرسان ایلیت/ مسکویت به همراه فراوانی کانه‌های گالن، اسفالریت و مقادیر کم کالکوبیریت و تنانتیت، دما و شوری متوسط تا پایین سیال کانه‌ساز، عمق کم کانی‌سازی و ترکیب آهن دار اسفالریت‌های منطقه، دارای شباهت با کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال نقره و فلزات‌پایه سولفید متوسط (IS) است که احتمالاً می‌تواند با ذخایر پورفیری مس- طلا در عمق مرتبط باشد.

واژه‌های کلیدی: فلزات‌پایه و گرانبها، دگرسانی گرمابی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط (IS)، گلوجه

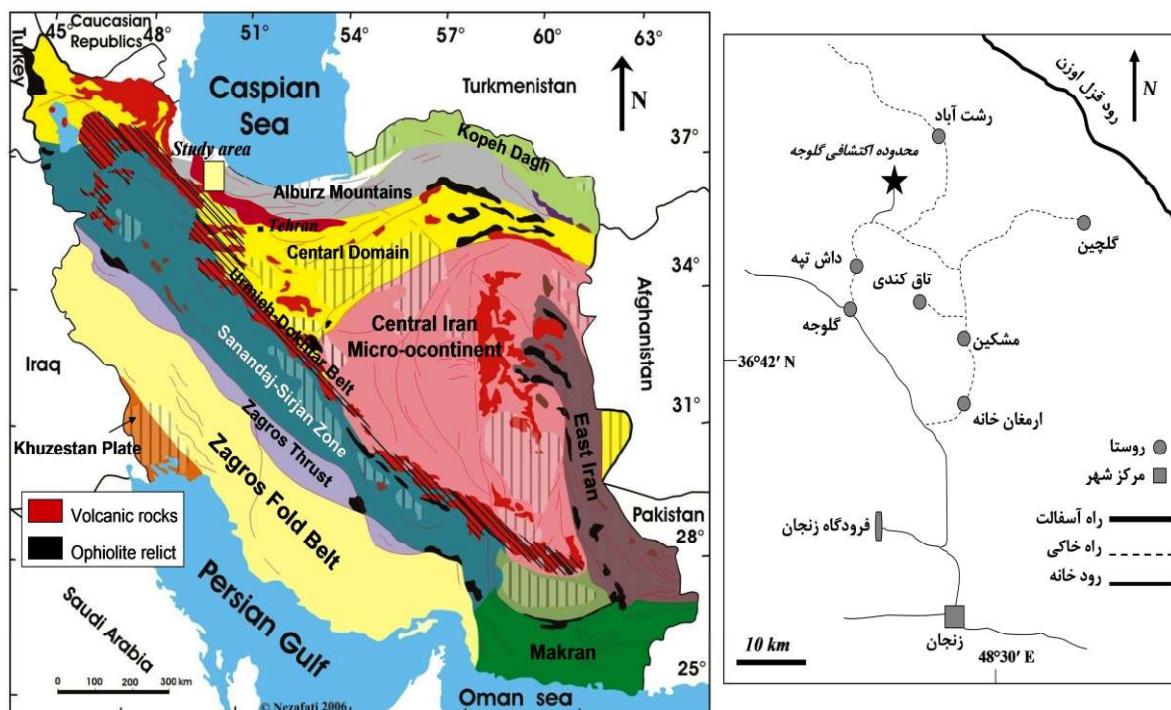
مقدمه

محدوده آنومالی شماره 4 گلوجه در 50 کیلومتری شمال استان زنجان و 4/5 کیلومتری شمال‌غربی روستای گلوجه (تاق کندی)، در بخش میانی زون طارم- هشتگین قرار گرفته است (شکلهای 1 و 2). منطقه در مختصات جغرافیایی 48° طول شرقی و 37°04' عرض شمالی قرار گرفته که در برگه‌های 1:250000 بندرانزلی و 1:100000 قرار می‌گیرد. بر مبنای

محاسبه آنومالی شماره 4 گلوجه در 50 کیلومتری شمال استان زنجان و 4/5 کیلومتری شمال‌غربی روستای گلوجه (تاق کندی)، در بخش میانی زون طارم- هشتگین 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 گلوجه معرفی کرده است که از میان آن تعداد 10 نشانه معدنی دارای اولویت اکتشافی بوده و آنومالی شماره 4 کانسار گلوجه 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 گلوجه 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، رُثوشیمی و میانبارهای سیال رگه‌های کانه‌دار در محدوده آنومالی 4 کانسار گلوجه، 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 مطالعه در بخش غربی کمان ماقمایی البرز قرار می‌گیرد که متعلق به حوضه چندفلزی طارم- هشت‌جین است (شکل 1). چرخه ماقمایتیسم البرز در اوسن- الیگوسن منجر به تشکیل مجموعه عظیمی از سنگهای آذرین نفوذی، نیمه‌نفوذی و آذرآواری از قبیل گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، رویولیتی، توف و نفوذیهای نیمه‌عمیق شده که اغلب میزبان کانه‌زایی در منطقه هستند (شکل 2). رخداد توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی با ماهیت کالک‌آلکالن تا آلکالن 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) وجود دگرسانیهای وسیع نظیر سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک حدواسط و پیشفرته، آلونیتی و پروپیلیتی [4] موجب شده تا حوضه فلزی‌ای طارم- هشت‌جین از دیدگاه کانه‌زایی و زمین‌شناسی اقتصادی همواره جزو مناطق مستعد برای ردیابی رخدادهای مختلف معدنی باشد [5 و 6]. نخستین مطالعات انجام شده در منطقه



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

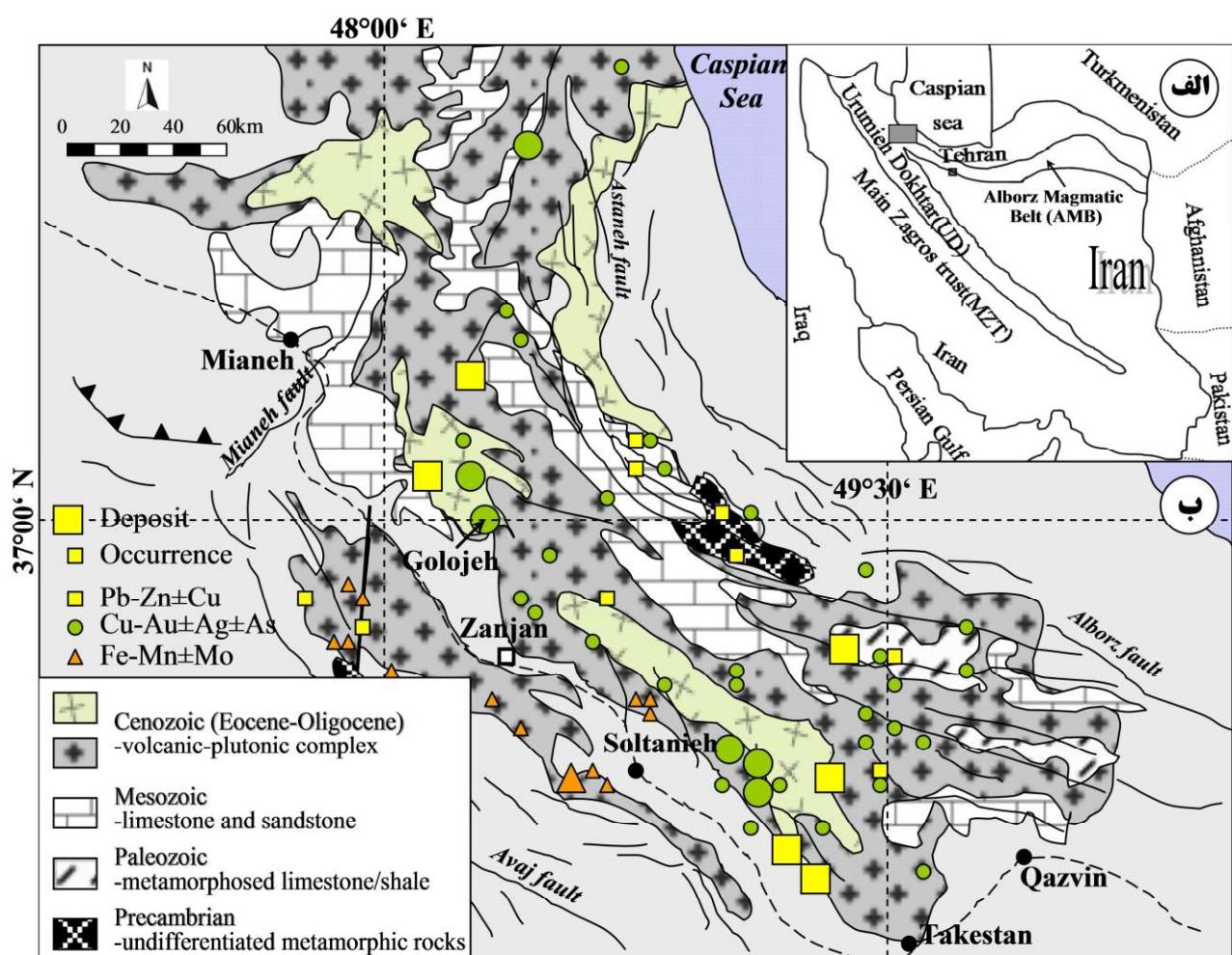
شامل، رگه‌های کوارتز- سولفیدی، هاله‌های دگرسانی و سنگ میزبان به صورت سطحی و عمقی از گمانه‌های حفاری انجام گرفت. مطالعات پتروگرافی، کانی‌شناسی و تعیین توالی پارازنتیک کانسار با تهیه مقاطع نازک، صیقلی و نازک- صیقلی توسط میکروسکپ نوری

روش مطالعه

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 دوبرصیقل و قطر متوسط 150 میکرون انجام و میانباره‌ای اولیه بزرگتر از 10 میکرون، توسط میکروسکوپ تحقیقاتی ZEISS و دستگاه لینکام مدل THM600 با کنترل کننده حرارتی TMS94 و سرد کننده LNP در دانشگاه خوارزمی تهران انجام شد.

ZEISS در دانشگاه خوارزمی تهران انجام گرفت. تجزیه به روش میکروسکوپ الکترونی روبیشی (SEM-EDS) مدل Leo-32-1440 (Torr) در مرکز پژوهش‌های 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 شیمیابی تعداد 331 نمونه توسط شرکت معنی زرآزما با استفاده از روش طیفسنج جرمی پلاریزاسیون القایی (ICP-MS) با هدف بررسیهای ژئوشیمیابی در



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

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 مژوزوئیک

زمین‌شناسی و ماقماییسم
در پهنه طارم- هشتگین، روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی همسان با دیگر مناطق البرز غربی راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی

مؤلفه چببر در آنها قابل تشخیص است. اگرچه گسلهای با درازی کمتر و راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی 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 تنفس بیشینه شمال‌غربی ایجاد شده باشند. بر همین اساس گسلهای با راستای شمال‌شرقی-جنوب‌غربی زمین‌ساختی با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی جوانتر هستند. از آنجا که رگه‌های سیلیسی کانه‌دار منطقه دارای راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی هستند، لذا نسبت به رگه‌چهای سیلیسی بی‌بار با راستای شمال‌شرقی-جنوب‌غربی 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 چین خودگی 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 به وجود آمده باشند [14].

پترولوزی سنگهای آذرین

سنگهای آتشفشاری و آتشفشاری-تخربی متعلق به سنوزوئیک با ترکیب بازیک تا حدوداً بیشترین گسترش را در منطقه گلوچه دارند (شکلهای 3 و 4). سنگهای آتشفشاری مورد مطالعه دارای طیف ترکیبی آندزیت، آندزیتبازالت، تراکی آندزیت و سنگهای آذراواری مشکل از توف‌خرده‌سنگی، توف‌بلورین، توف‌سیلیتی و توف‌ریزبلور است (شکل 5). نتایج تجزیه دستگاهی XRF نمونه‌های سنگی در جدول 1 آرائه شده است. طبق رده‌بندی لومتر [15] نیز سنگهای آتشفشاری منطقه مورد مطالعه در محدوده بازالت، بازالت-آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت تراکی آندزیت، داسیت و با استفاده از منحنی متمایزکننده سنگهای آلکالن از ساب‌آلکالن/تولئیتی در نمودار کاکس و همکاران [12] سنگها با ماهیت آلکالن تا ساب‌آلکالن واقع شده‌اند (شکل 6 الف). به ملاحظه نام‌گذاری توف‌های منطقه براساس نسبت عناصر فرعی Zr/TiO_2 در مقابل نسبت Y/Nb از نمودار وینچستر و فلواید [16] استفاده شده که بر اساس این نمودار، توف‌های منطقه با ماهیت حدوداً تا بازیک در محدوده آندزیت-بازالت تا آلکالی بازالت‌ها قرار می‌گیرد (شکل 6 ب). طبق نمودار پسیرلو و تایلور [13] و ایروین

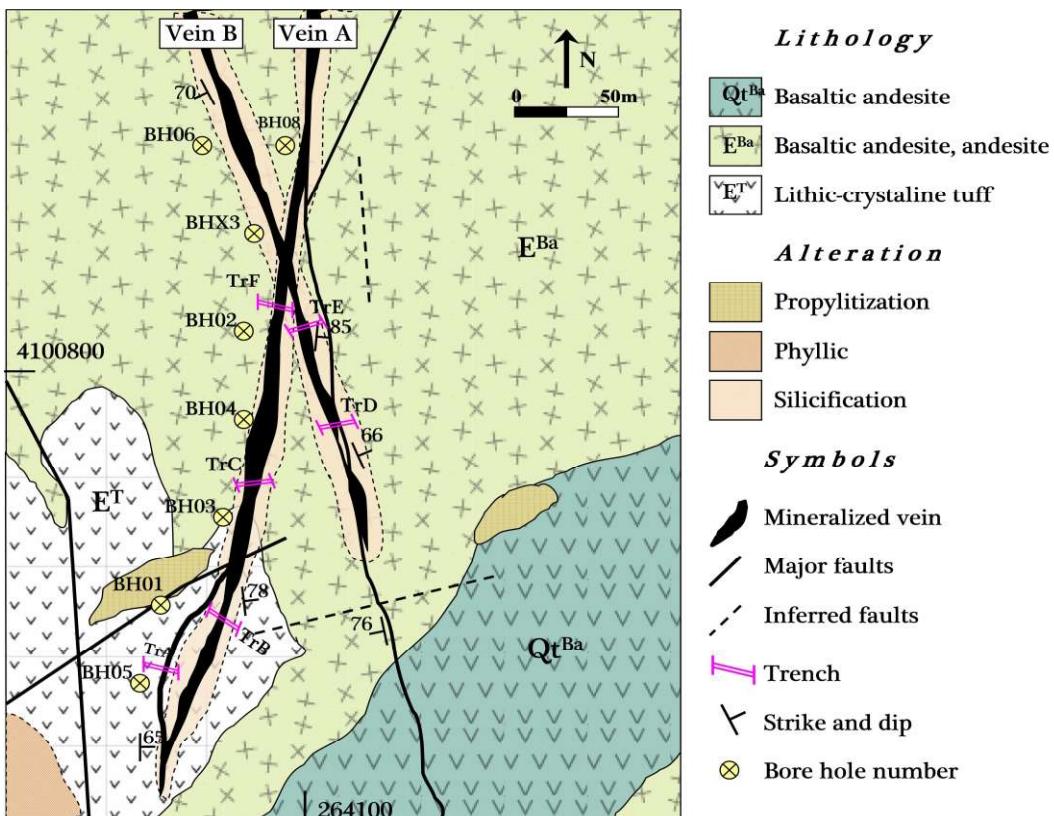
در بخش‌های شمال‌شرقی و جنوب‌غربی منطقه رخمنون دارند که در بین آنها سنگهای آتشفشاری، نفوذی و نیمه‌نفوذی سنوزوئیک (ائوسن-الیگومن) گسترش دارند (شکل 2). منطقه اکتشافی گلوچه واقع در بخش مرکزی پهنه فلز‌زایی طارم-هشت‌جین، میزبان واحدهای آتشفشاری-رسوبی اائوسن-الیگومن است. سنگهای آتشفشاری و نیمه‌نفوذی منطقه از قدیم به جدید شامل، 1- سنگهای آتشفشاری و آذرآواری ریولیت، کوارتزلاتیت، تراکیت‌لاتیت و آندزیت‌لاتیت به سن اائوسن، 2- واحد توف شیشه‌ای دارای لایه‌بندی با میان‌لایه‌های گدازه‌های آندزیت-بازالت به سن الیگومن و 3- رسوبات مارنی، رسی و توفیتی الیگومن‌بالایی-میوسن‌زیرین است [9]. بر مبنای شواهد صحرایی، واحدهای آتشفشاری و آتشفشاری-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 الیگومن، نهشته‌های اائوسن در منطقه دچار چین خودگی و گسلش شده و همزمان با آن نفوذ توده‌های متعدد در سنگهای ناحیه موجب کانی‌سازی فلاتپایه و گرانبهای شده است [10]. طبق مطالعات حاج علیلو [3] و مؤید [11] سنگهای آتشفشاری منطقه طارم بر مبنای رده‌بندی کاکس و همکاران [12] در محدوده بازالت‌آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت، داسیت و ریولیت قرار گرفته و همچنین طبق نمودار دوتایی K_2O/SiO_2 [13] نیز سنگهای منطقه با مقادیر نسبتاً بالای پتانسیم، در محدوده سنگهای کالک‌آلکالن تا آکالن غنی از پتانسیک قرار می‌گیرند.

زمین‌شناسی ساختمانی

مطالعات ساختاری در منطقه نشان‌دهنده وجود یک ساختار ناویدیسی با راستای محوری شرقی-غربی و انحصاری به سوی جنوب در توالیهای سنگی شمال محدوده اکتشافی گلوچه است. همچنین مطالعات نشان‌دهنده وجود ناپیوستگیهای هم‌شیب بین واحدهای سنگی منطقه است، به طوری که واحدهای جوانتر بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. در منطقه مورد مطالعه، گسلهای 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 شمال‌شرقی-جنوب‌غربی هستند که حرکات امتداد لغز با

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

و با اگار [17] سنگهای منطقه دارای مقادیر بالای $K_2O + Na_2O$ بوده که در محدوده سنگهای ساب‌آلکالان تا کالک‌آلکالان 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 رگه‌ای A و B نسبت به آن

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

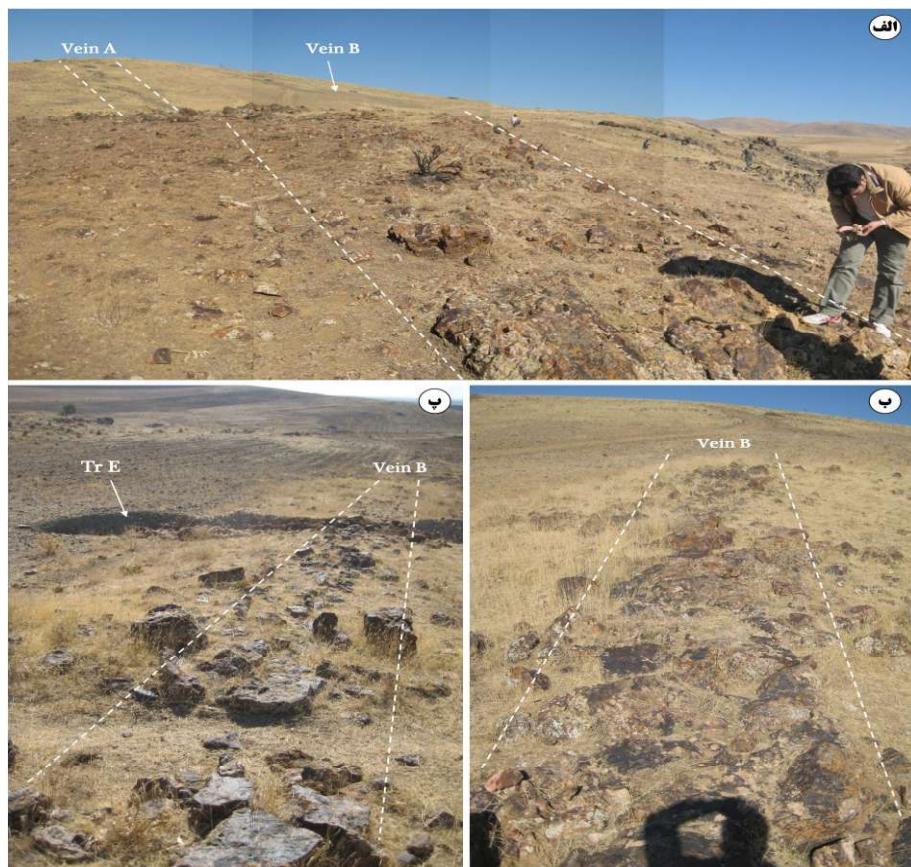
کانی‌شناسی و توالی پارازنیک
کانی‌شناسی در محدوده آنومالی 4 گلوجه، شامل مجموعه کانه‌های فلزی (سولفیدی و اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاته و کربناته) است که طی دو فاز کانی‌سازی هیپوزن (اولیه) و سوپرژن (ثانویه) شکل‌گرفته است. گالن در منطقه به عنوان فراوانترین کانه سولفیدی به صورت ادخال در میزان اسفاللیت و در مواردی به صورت آزاد متشكی از بلورهای نیمه‌خودشکل به همراه اسفاللیت 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 آنگلزیت تشکیل شده است (شکل 7 پ). مطالعه طیف EDS

کانه‌زایی

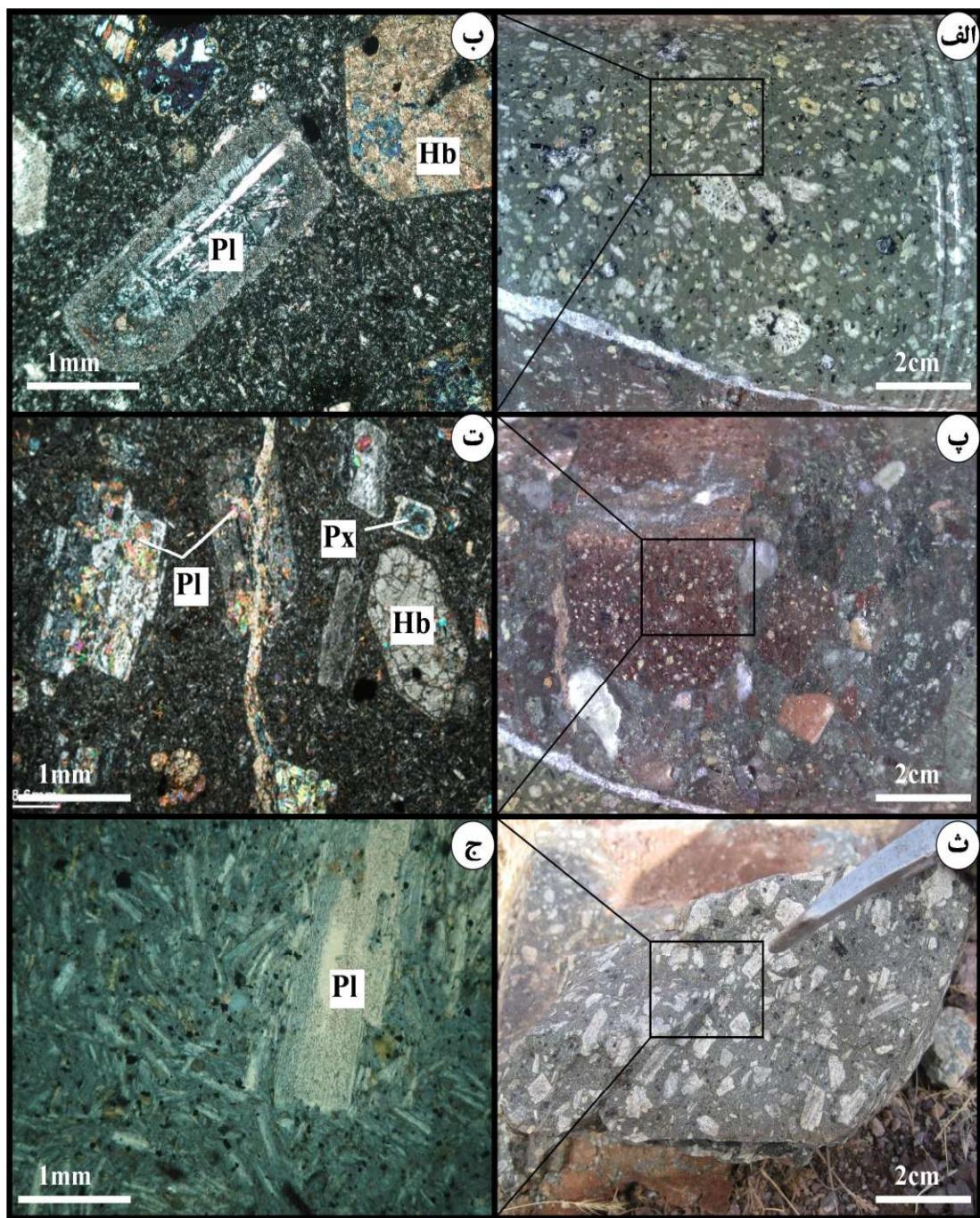
کانه‌زایی در آنومالی 4 کانسار گلوجه در دو سامانه رگه‌ای کوارتز-سولفیدی کانه‌دار (به نامهای A و B) تشکیل شده است (شکلهای 3 و 4). بر مبنای شواهد صحراوی، سامانه رگه‌ای A با طول تقریبی 400 متر و ضخامت متوسط 5 متر با راستای شمال-شمال‌شرقی و شبیه تقریبی 15 تا 30 درجه به سمت جنوب‌غربی در سنگ میزان آندزیت‌بازالت (در شمال) و توف (در جنوب) رخداده است (شکل 3). فراوانی نسی کانیها در رگه A شامل گالن و اسفاللیت (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 شبیه تقریبی 20 درجه به سمت جنوب‌شرق در میزان آندزیت‌بازالت رخداده است. فراوانی نسبی کانیها در رگه B شامل اسفاللیت (6%)، گالن (4%)، کالکوپیریت

مقدادر 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 مقدادر 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 کانسنسگ مشاهده شدند. توالی پاراژنتیک آنومالی 4 کانسار گلوجه در شکل 10 نشان داده شده است.

حاصل از مطالعات SEM حاکی از وجود مقدادری نقره (0/47 wt.% 0/66 wt.% و کادمیم 0/33 wt.% 0/72 wt.% در ساختمان گالن‌های منطقه است. اسفالریت با انعکاس درونی قهقهه‌ای عسلی پس از گالن، فراوانترین کانه سولفیدی است که بر اساس مطالعات SEM دارای مقدادری آهن (0/23 wt.% FeS) در ترکیب اسفالریت است. تنانتیت 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 گلوجه شامل، (الف) نحوه قرارگیری رگه اصلی A نسبت به رگه B در سنگ میزبان آندزیت بازلت (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)



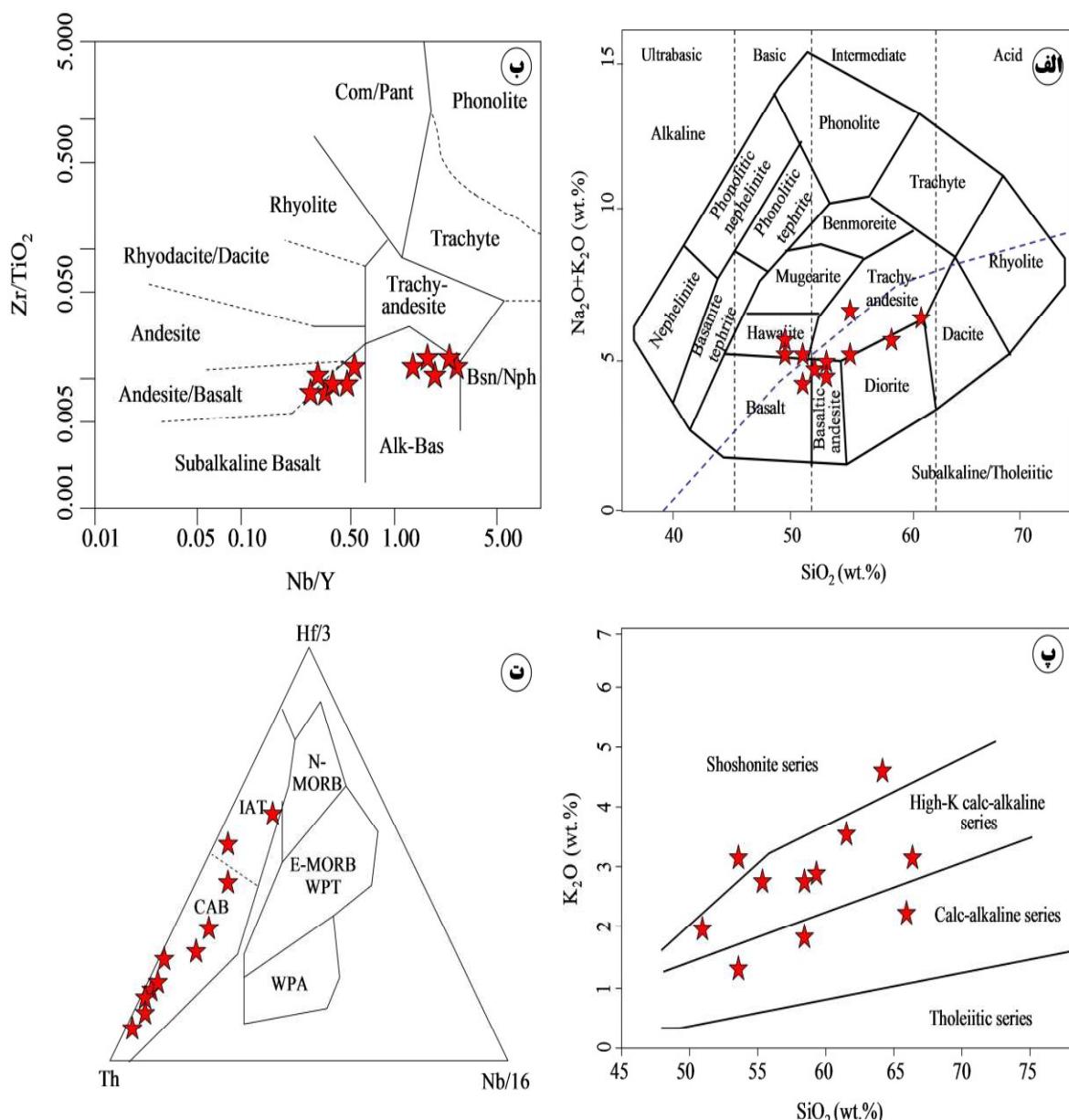
شکل 5. تصاویر سنگهای آذرین در منطقه گلوجه شامل، الف و ب) نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی از واحد آندزیت پورفیری (E^{Ba}) با حضور پلازیوکلаз (Pl) و هورنبلاد (Hb)، پ و ت) نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی از واحد آندزیت بازالت (E^{Ba}) با حضور پلازیوکلاز (Pl)، پیروکسن (Px)، پیروکسن (Px) و هورنبلاد (Hb) در زمینه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

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

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

اپیدوت تبدیل شده‌اند. در محل بلافصل رگه‌ها نیز مجموعه کوارتز-ایلیت/مسکویت (دگرسانی آرژیلیک) گسترش بیشتری داشته و فنوكریست‌های فلدسپات‌پتاسیک به‌طور کامل توسط ایلیت جانشین شده‌اند. طبق شواهد به نظر می‌رسد سیال گرمایی تدریجیً با کاهش دما مواجه شده و مسکویت به‌وسیله ایلیت جانشین شده است.

قابل تشخیص است و پروپیلیتی‌شدن با فراوانی بیشتر در سنگهای آذرین تمکر 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 فنوكریست‌های پلازیوکلاز و آمفیبیول به‌ترتیب به‌طور جزئی و یا کامل به سریسیت و کلربیت-

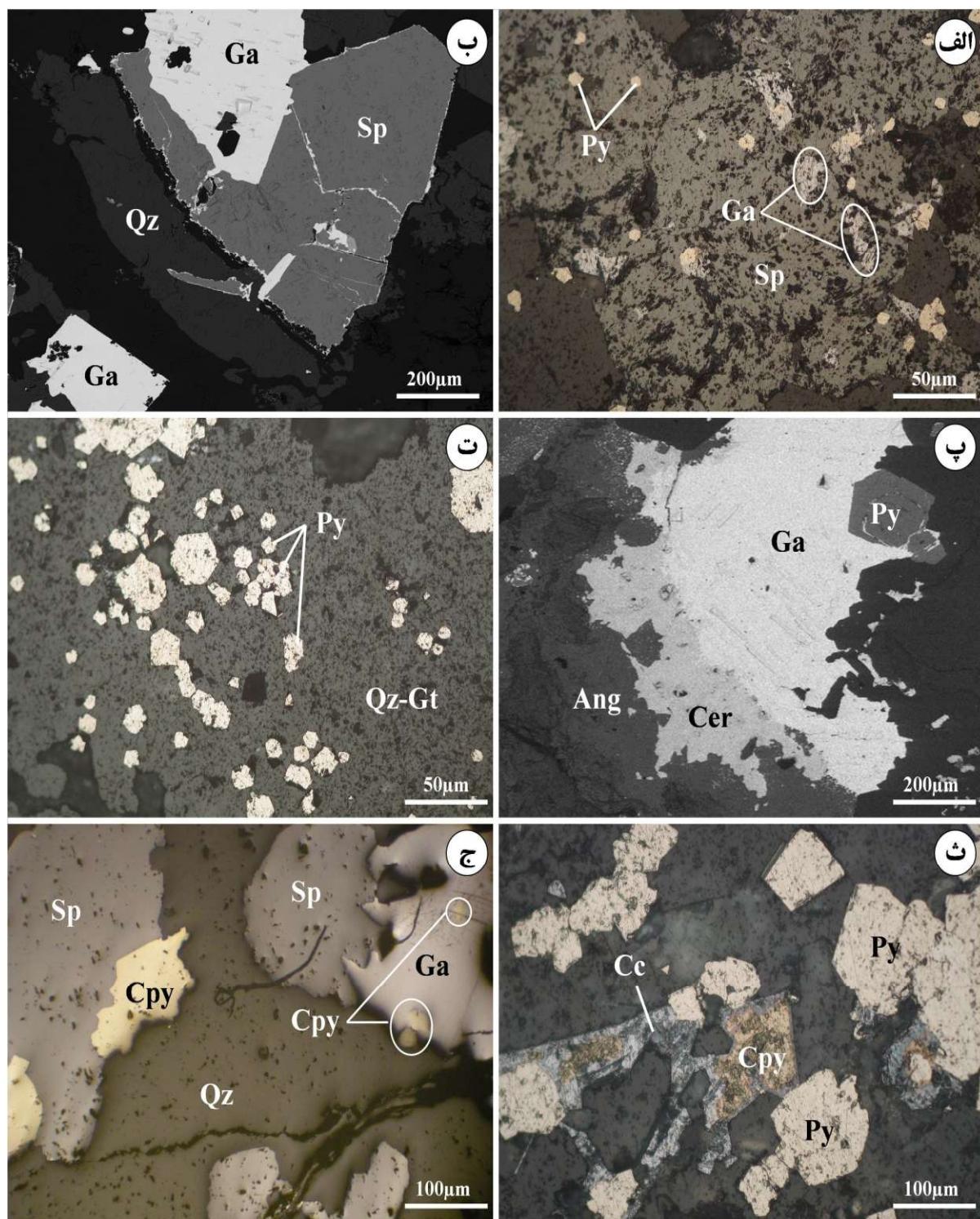


شکل ۶. نمودارهای پترولوجی سنگهای منطقه گلوچه شامل: (الف) موقعیت نمونه‌ها در نمودار دوتایی $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ [12]، (ب) ردمندی توفهای منطقه با استفاده از عناصر فرعی Zr/TiO_2 در مقابل نسبت Nb/Y [16]، (پ) ماهیت کالک‌آلکالن تا غنی از پتاسیک در نمودار دوتایی $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ [13] و (ت) نمودار تقسیم محیط‌های تکتونیکی سنگهای منطقه با استفاده از نمودار سه‌تایی $\text{Th}-\text{Hf}/3-\text{Nb}/16-\text{SiO}_2$ [18] و [19].

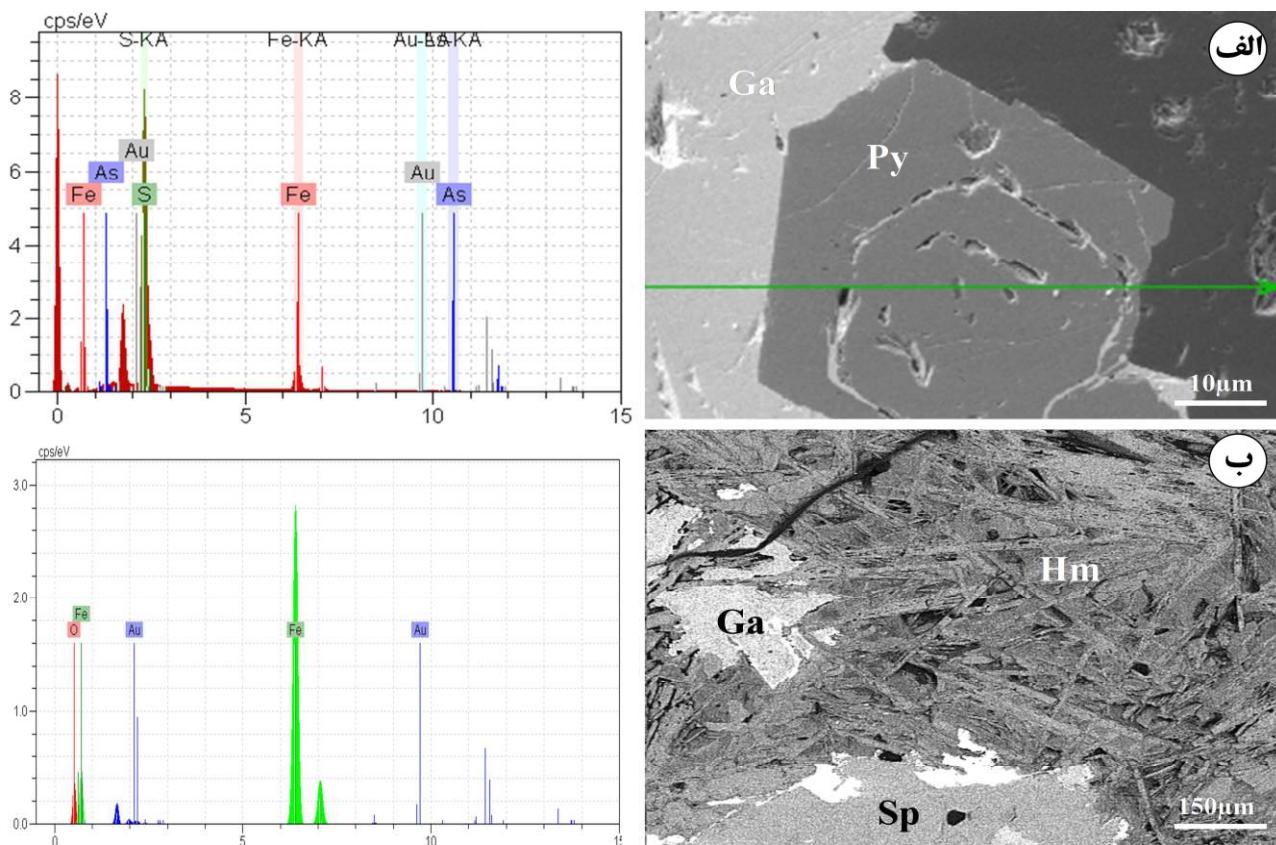
جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی ۱۱ نمونه سنگهای آذرین منطقه گلوجه به روش XRF

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 به همراه پیریت در میزبان اسفالریت، (ب) کانی‌سازی گالن و اسفالریت در کنار هم به همراه کوارتز، (پ) رخداد سروزیت و انگلزیت در حاشیه گالن‌های منطقه گلوچه، (ت) کانی‌سازی پیریت نسل اول (قبل از کانی‌سازی) به صورت پراکنده در میزبان کوارتر-گوتیت، (ث) پیریت‌های نسل دوم (همراه با کانی‌سازی) در کنار کالکوپیریت و کالکوسیت، (ج) رخداد کالکوپیریت به صورت افشان در میزبان گالن و اسفالریت. حروف اختصاری شامل: گالن (Ga)، اسفالریت (Sp)، پیریت (Py)، کالکوپیریت (Cpy)، سروزیت (Ang)، آنگلزیت (Cer)، کالکوسیت (Cc)، گوتیت (Gt) و کوارتز (Qz).



شکل 8. تصاویر الکترونی SEM شامل: (الف) پیریت نسل دوم بهمراه گالن دارای منطقه‌بندی و مقادیر طلا و آرسنیک و (ب) حضور مقادیری طلا در ساختمان هماتیت‌های تیغه‌ای. حروف اختصاری شامل: گالن (Ga)، پیریت (Sp)، پیریت (Py) و هماتیت (Hm)

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 زیشی از روش آماری چندمتغیره تجزیه خوشهای 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، آنتیمون و آرسنیک تشخیص داده شد (شکل 11 ب). همچنین تجزیه عاملی بهمنظور بررسی تغییرات Principle component همزمان عناصر بر مبنای روش 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، آنتیمون و کادمیم)، عامل دوم (آهن و بیسموت)، عامل سوم (مس و طلا) و عامل چهارم (آرسنیک و آنتیمون) شناسایی شدند.

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 (331 نمونه در آزمایشگاه SGS کانادا) و WD-XRF (11 نمونه در دانشگاه خوارزمی تهران) استفاده شده است (جدولهای 2 و 4). همچنین برای تکمیل اطلاعات، از داده‌های ژئوشیمیایی شرکت توسعه علوم زمین (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 اسپیرون- پیرسون بهره گرفته شد. بر این اساس، 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-



شکل ۹. ساخت و بافت کانی‌سازی در منطقه گلوجه شامل: (الف) ساخت نواری (Ga) و اسفالریت (Sp) (Crustiform) متشکل از گالان (Ga) و 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-رگه‌های کوارتز-سولفیدی (گالان) در میزبان آندزیت توف در گمانه شماره BH02 (عمق 45 متر)

153 تا 244°C (میانگین 209°C) به دست آمد (شکل 13).

تغییرات دمای ذوب‌نهایی یخ (Tm_{ice}) در میزبان کوارتز بین 4-13°C - برابر شوری $6/5 \pm 0/5$ تا $17 \pm 0/4$ درصد معادل نمک طعام (wt.% NaCl eq.) و در میزبان اسفالریت بین 1-8°C تا 13°C برابر شوری $1/5 \pm 0/3$ تا $12 \pm 0/6$ درصد معادل نمک طعام برای میانبارهای 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 ذوب نهایی یخ (Tm_{ice}) بین 1-4°C تا 4°C - برابر شوری $1/8 \pm 0/4$ تا $6/7 \pm 0/2$ درصد معادل نمک طعام (wt.% NaCl eq.) به دست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر شوری به دست آمده توسط رابطه هال و بودنار [21] محاسبه شده و با نرم‌افزار FLINCOR نسخه براؤن [22] کنترل شد. جدول داده‌های میانبارهای سیال و نمودار ستونی دمای همگن‌شدن و شوری میانبارها به ترتیب در جداول 5 و شکل 13 آورده شده است.

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 شفرد 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 شاهدی از حضور فاز نوزاد (S) یا CO_2 مایع (L_{CO_2}) مشاهده نشد (شکل 12). پدیده باریک‌شدنگی Necking Down نیز تشخیص داده شد که مورد مطالعه میکرو‌دماسنجری قرار نگرفت (شکل 12 پ). مطالعات میکرو‌دماسنجری 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

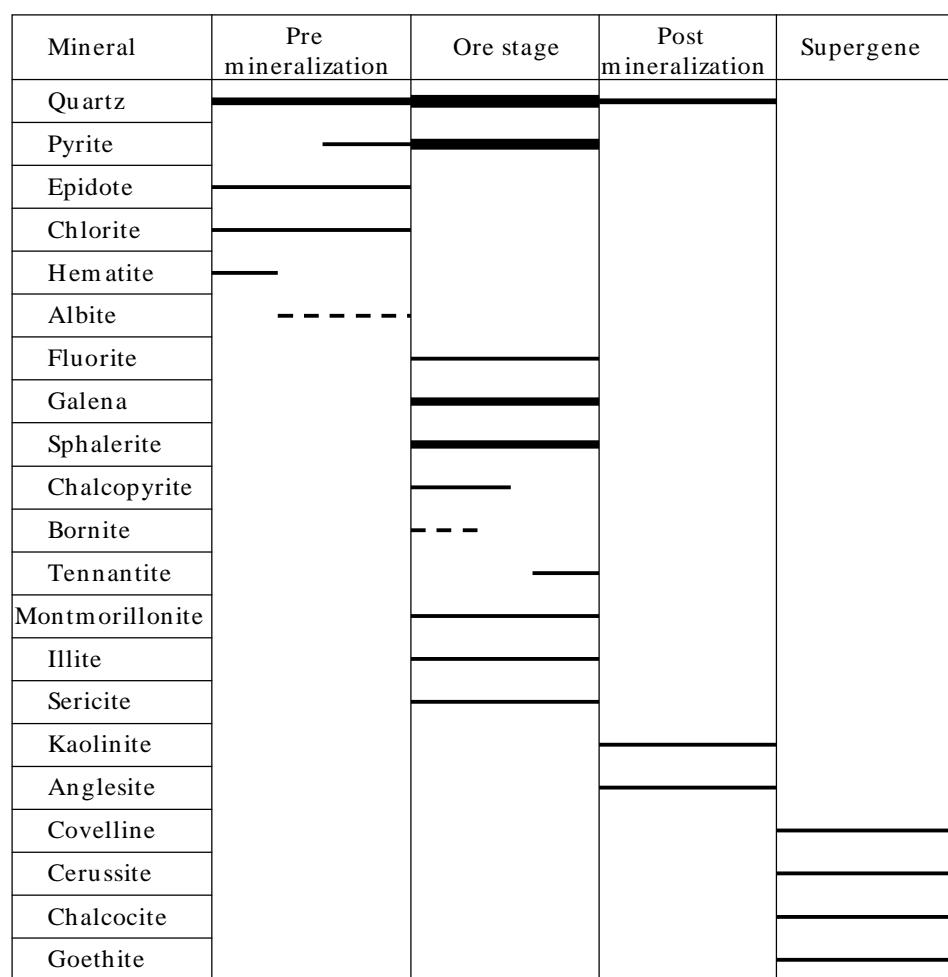
جدول 2. داده‌های تجزیه‌دستگاهی تعداد 52 نمونه معرف کائنسنگ از رگه‌های کوارتز- سولفیدی به روش ICP-MS

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 کانی‌ساز در منطقه گلوجه

	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



شکل ۱۰. توالی پاراژنیک آنومالی ۴ کانسار گلوجه (ضخامت خطوط نشان دهنده فراوانی نسبی است)

هدنکوئیست [26] می‌توان روند تحول سیال کانه‌ساز در آنومالی ۴ کانسار گلوجه را نشان داد (شکل ۱۴). 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].

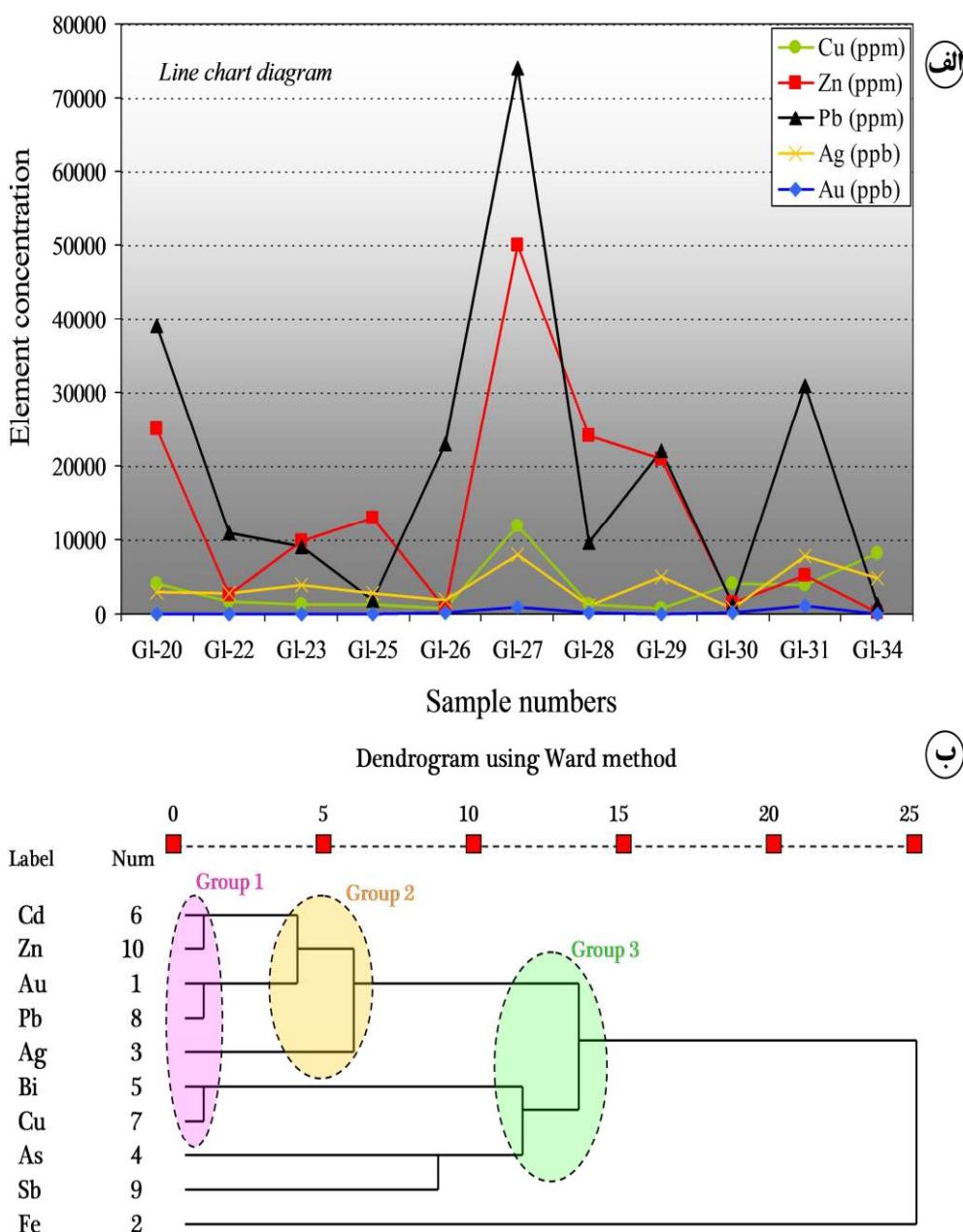
شواهدی از جمله، ۱- حضور بافت‌های اپیترمال از قبیل رگه‌های برشی کوارتز و بافت‌های حفره‌دار و نواری، ۲- رخداد کانیهای دگرسان ایلیت/ مسکویت و ۳- وجود کانیهای سولفیدی گالن، اسفالریت و مقادیر کم کالکوپیریت و تنانتیت گویای ماهیت سولفیداسیون متوسط (Intermediate sulfidation) آنومالی ۴ کانسار گلوجه است [27 و 28]. وجود دما (255°C) و شوری (۱۳ درصد معادل نمک طعام) متوسط سیال کانه‌ساز و ترکیب آهن‌دار اسفالریت‌های ($\text{Zn}(\text{Fe})\text{S}$) منطقه از دیگر شواهد ذخایر اپیترمال سولفید متوسط است (برای مثال، ذخایر مکریک و نواده، [29]). علاوه بر این با توجه به مطالعات حاج علیلو [3] و مؤید

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 گرمایی است [23]. سیالات غنی از اکسیژن پس از نفوذ به اعماق و ترکیب با آبهای ماقمایی- گرمایی دما بالا و غنی از HF و HCl 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 فلزات‌پایه (مس، سرب- روی) و گرانبهای (نقره \pm طلا) همراه با پیریت و کالکوپیریت در رگه‌های کوارتز- سولفیدی کانه‌دار صورت گرفته است (شکل ۱۴). بر این اساس، در نمودار $\log \text{fH}_2/\text{fH}_2\text{O}$ در مقابل دما ($^{\circ}\text{C}$) توسط تایلور [24] و با تغییرات توسط گیگن‌باخ [25] و

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

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



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

جدول 4. داده‌های تجزیه‌دستگاهی ICP-MS از تعداد 5 مغذه 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)، بیوپیت (Ep)، اپیدوت (Ep)، مسکوبیت (Ms).

(Chl)، سریسیت (Ser)، گوتیت (Gt)، کلریت (Gt).

جدول ۵. داده‌های میکرودماسنجی میانبارهای در گیر منطقه گلوجه (N: تعداد نمونه‌ها، Tm_{ice} : دمای ذوب نهایی بین بر حسب درجه سانتی‌گراد، $Th_{l \leftrightarrow v}$: دمای همگن‌شدن میانبار بر حسب درجه سانتی‌گراد، C: میانبارهای مجمع و I: میانبارهای منفرد)

Veins	Sample no.	Host	Type	N	Tm_{ice} (°C)	$Th_{l \leftrightarrow v}$ (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Density (g/cm³)
Quartz-sulfide veins	G-BH-1	Quartz	C	20	-3/3 to -12/3	255-270	14/2-17/0	0/88-0/91
			C	11		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	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	
			Sphalerite	C	16	-0/86 to -8/5	153-187	1/4-8/1
			I	8	227-244	9/0-11/1	0/92-0/94	
	G-BH-4	Quartz	C/I	15	-0/83 to -4/3	155-179	1/8-4/2	0/89-0/92
	I	13	203-212	5/4-7/1				
	C	28	184-196	4/1-6/5				

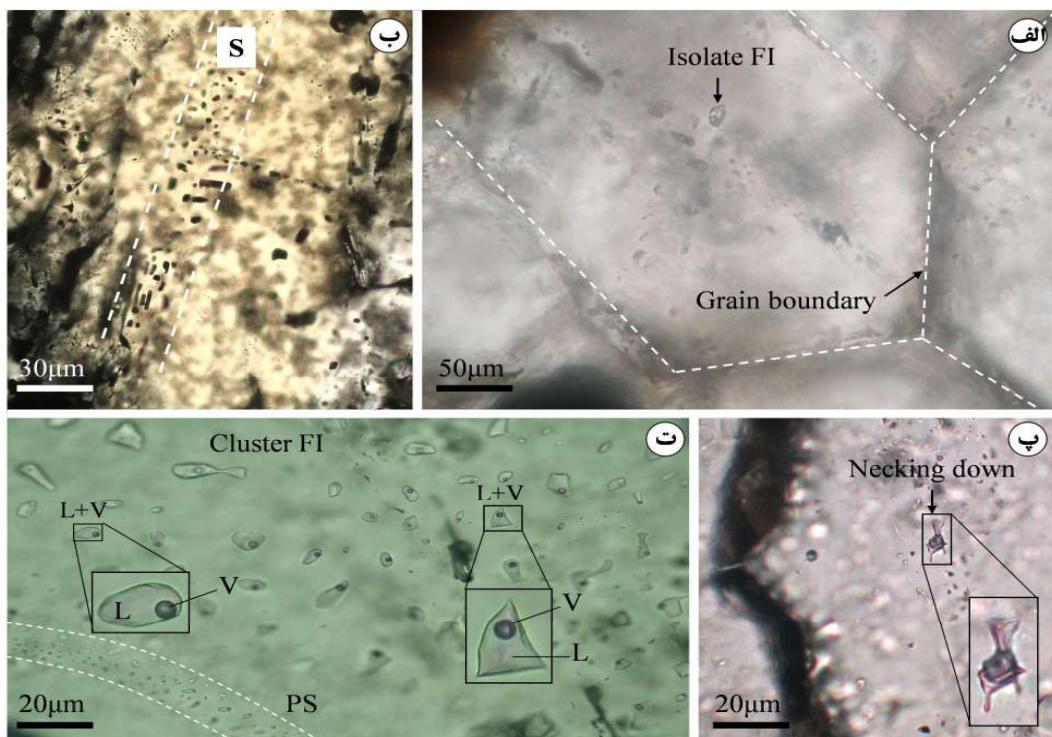
C: Cluster, I: Isolate

و شوری ۱۲ درصد معادل نمک طعام) و اسفالریت (میانگین ۲۰۹°C و شوری ۷ درصد معادل نمک طعام)، با منشأ ماقمایی و طی مرحله کانی‌سازی اصلی و رگه‌های کوارتز فاقد کانی‌سازی (ی) بار) با دمای همگن‌شدن میانگین ۱۸۴°C و شوری متوسط ۴ درصد معادل نمک طعام با منشأ سیالات جوی در مرحله پایانی کانی‌سازی رخداده است. با توجه به مطالعات دیویس [34] دمای اولین نقطه ذوب بینخ (T_{fin}) میانبارهای میزان اسفالریت در آنومالی ۴ کانسار گلوجه با تغییرات ۲۳- ۱۸°C تا ۴ کانسار گلوجه 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

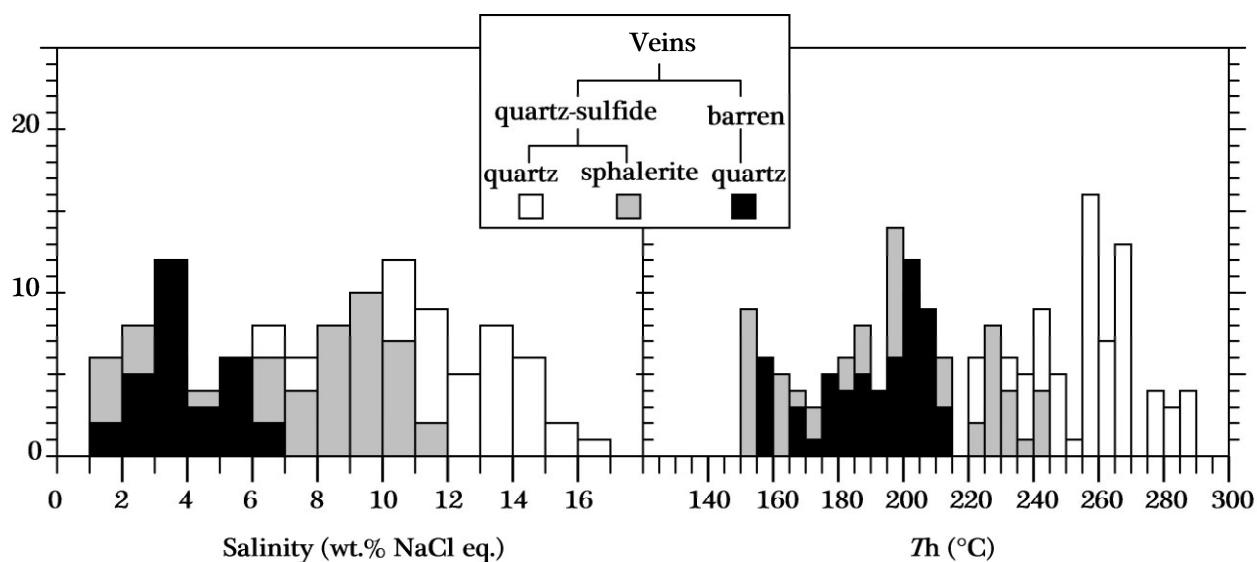
حضور میانبارهای سیال دوفازی مایع و گاز (L+V) با نسبت جباب به مایع ثابت همراه با سیالات غنی از فاز مایع و نیز تغییرات دمای همگن‌شدن نسبتاً محدود، نشان‌دهنده عدم رخداد جدایش فازی (از قبیل جوشش) طی مراحل کانی‌سازی است [33]. عدم حضور میانبارهای تک فازی مایع و گاز همراه با یکدیگر و نیز عدم تشکیل کانیهای آدولاریا 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 سیالات ماقمایی (wt% NaCl eq.)، می‌توان نقش فرآیند رقیق‌شدگی و اختلاط سیالات ماقمایی و جوی را در رخداد کانی‌سازی تشخیص داد [26] (شکل ۱۶). به‌طوری که رگه‌های کوارتز- سولفیدی فلزات پایه و گران‌بها با دمای همگن‌شدن کوارتز (میانگین ۲۵۵°C

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

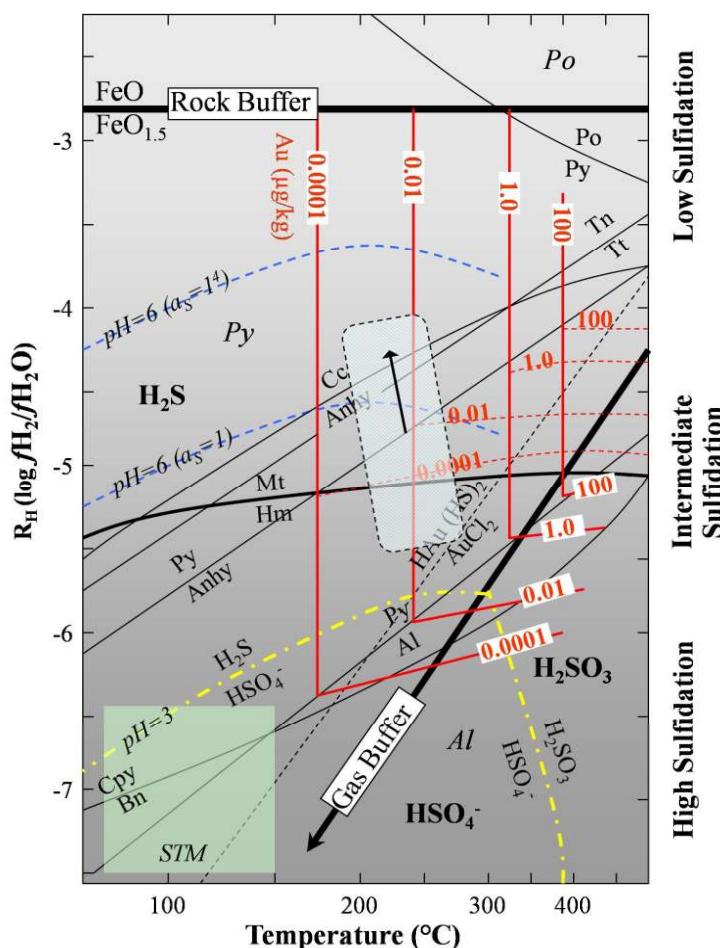
است [35]. به عقیده هدنکوئیست [30]، این ویژگی خاص کانسارهای اپیترمال سولفیداسیون متوسط است که احتماً



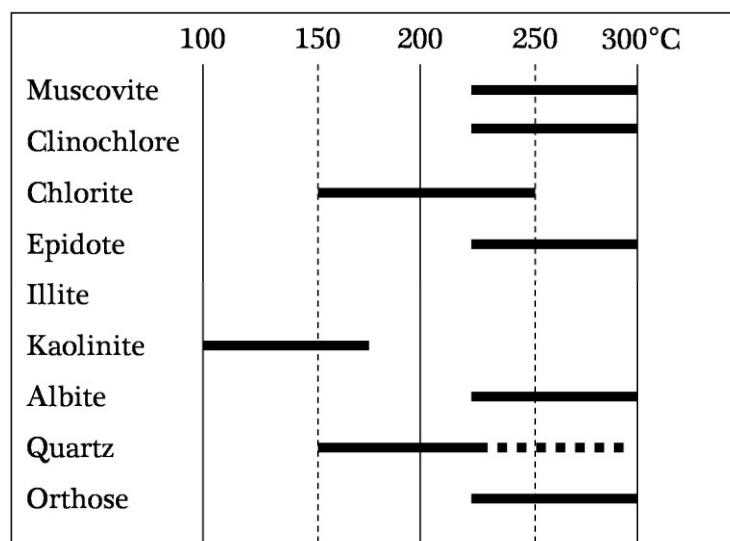
شکل 12. تصاویر پتروگرافی میانبارهای سیال (FI) شامل: (الف) موقعیت میانبار اولیه منفرد در مرکز بلور کوارتز، (ب) ردیفی از میانبارهای ثانویه (S) در اسفالریت، (پ) پدیده باریکشدن (Necking down) در میانبار و (ت) تجمع میانبارهای سیال دوفاری مایع+بخار (L+V) با شکلهای مختلف همراه با ردیفی از میانبارهای ثانویه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



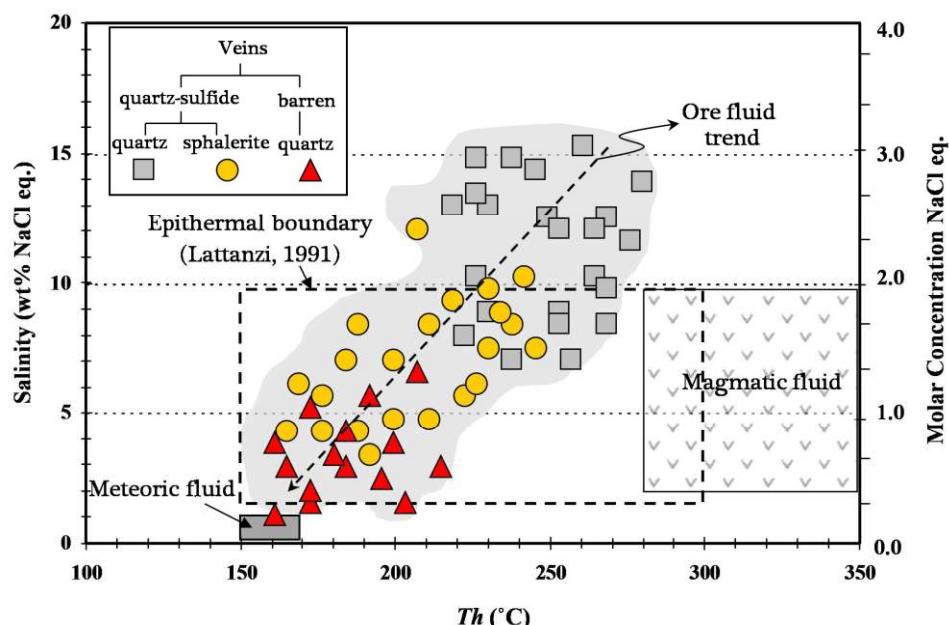
شکل 13. نمودار ستونی دمای همگن شدن ($Th^{\circ}\text{C}$) و شوری (wt.% NaCl eq.) میانبارهای سیال آنومالی 4 کانسار گلوجه در رگه‌های کوارتز- سولفیدی کانه‌دار (با میزان کانیهای کوارتز و اسفالریت) و رگه کوارتز بی‌بار



شکل ۱۴. نمودار پتانسیل احیا ($R_H = \log f\text{H}_2/f\text{H}_2\text{O}$) در مقابل دما (°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، Al (alunite) .aS (aH₂S/aSO₄) .py (pyrrhotite) .po (pyrite) .mt (magnetite) .hm (hematite) .en (enargite) .cpy (chalcopyrite) .cc (calcite) .bn (bornite) .anhy (anhydrite) .STM (steam-heated) .tn (tenantite) .(pyrite)



شکل ۱۵. تخمین دمای تشکیل کانسار توسط کانیهای رسی و دگرسان اطراف رگه‌های کانه‌دار (بر اساس [33، 32 و 31])



شکل 16. نمودار دمای همگن شدن ($Th^{\circ}\text{C}$) در مقابل شوری (wt.% NaCl eq.) سیال کانساز کانسار منطقه گلوچه که در آن پدیده اختلاط و رقیق شدگی سیال گرمابی در نمودار قابل تشخیص است. محدوده های فرضی آبهای جوی و ماقمایی و مرز کانسارهای اپی ترمال بر مبنای [37، 38 و 39] رسم شده است.

قدرتانی 1/100000)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، (1383) 147 ص.

[5] قربانی م، "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران"، انتشارات آرین زمین، (1386) 515 ص.

[6] آفتابیان 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 اقتصادی در محدوده برگه توپوگرافی 1/50000" برندق (از ورقه

بدین وسیله از جناب آقای مهندس هدایتی، مدیریت محترم و جناب آقای مهندس اقبالی، مسؤول محترم اکتشاف شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران که با فراهم کردن شرایط بازدید از منطقه و نمونه برداری از گمانه ها نقش بهسازی در انجام هر چه بهتر این پژوهش بر عهده داشته اند، قدردانی می نماییم.

منابع

- [1] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East: Scale 1:5,000,000", Tehran, Geological Survey of Iran (1991).
- [2] افتخارنژاد ج، "تفکیک بخش های مختلف ایران از لحاظ وضع ساختمنی در ارتباط با حوضه های روسیه"، نشریه انجمن نفت شماره 82 (1359) ص 19 - 28.
- [3] حاج علیلو ب، "متالوژی ترشییری البرز غربی- آذربایجان (رمیانه سیه رو) با تغیرشی بر منطقه هشت چین"، 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., Matsuhsa 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/Tespih 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) 199-185 ص.
- [11] مؤید م، "بررسیهای پترولوزیکی نوار ولکانو-پلوتونیک ترشیری البرز غربی- آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشتگین"، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، (1380) 328 ص.
- [12] Cox K. G., Bell J. D., Pankhurst 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 Kastamonon 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", *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 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaCl}-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$, and $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ ", *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.