

بررسی نحوه کانی سازی و تشکیل کانسار رگه ای مس-طلا گلوچه (شمال زنجان) بر اساس شواهد کانی شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر

بهزاد مهربانی^۱، ابراهیم طالع فاضل^{۱*}، مجید قاسمی سیانی^۱، مهر علی اقبالی^۲

^۱ گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران، ایران

^۲ شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران

*مستئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: fazel_tale@yahoo.com

(دریافت: ۸۸/۵/۱۹؛ پذیرش: ۸۹/۳/۲۳)

چکیده

کانسار مس-طلا گلوچه در شمال غرب ایران، در ۴۵ کیلومتری شمال زنجان واقع شده و از دیدگاه ساختاری بخشی از حوزه پلی متال طارم-هشتجین در زون البرز غربی-آذربایجان است. قدیمی ترین سنگ های رخنمون یافته در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ هشتجین شامل سنگ آهک های کربونیفر، شیل و سیلتستون های ژوراسیک و سنگ آهک های بلورین کرتاسه بوده که تحت تاثیر کوهزایی لارامید (کرتاسه پایانی) به طور ضعیفی دگرگون شده اند. سنگ های آذرین منطقه شامل مجموعه ای از سنگ های ولکانیک و ساب ولکانیک با سن ائوسن-لیگوسن است که عمدتاً شامل توف، ایگنمبریت، ریولیت، گدازه های تراکی آندزیتی، واحدهای آندزیت پورفیری و ریوداسیت ها است. مهمترین دگرسانی ها در منطقه شامل دگرسانی پروپیلیتی، آرژلیک حد واسط، سیرسیتی و سیلیسی است که در اطراف رگه ها و در بخش هایی از منطقه مشاهده می شود. کانی سازی در منطقه عمدتاً در چهار رگه اصلی با عیار متوسط (ppm5/2) طلا، (۰/۶-۱/۵٪) مس، (ppm10) نقره، (۲-۳٪) سرب و (۱-۲٪) روی که به دو صورت هیپوزن شامل کانی های مگنتیت، هماتیت ورقه ای (اسپیکولاریت)، کالکوپریت، بونریت، گالن، اسفالریت و پیریت و کانی سازی سوپرزون شامل سروریت، کالکوسیت، مالاکیت-آزوریت، دیژنیت، کوولین و همی مورفیت قابل مشاهده است. کانی های باطله عمدتاً شامل کوارتز، کلسیت، گوتیت، اکسید آهن و فلوریت است. بافت شکافه پرکن، برشی و حفره ای از مهمترین بافت های کانی سازی هستند. مطالعه سیالات درگیر حاکی از تغییرات حرارتی سیال کانه ساز بین ۱۸۰-۳۲۰°C با دو فاز کانه زایی بین ۱۸۰-۲۵۰°C برای طلا-نقره و ۲۶۰-۳۲۰°C برای کانه سازی مس-سرب و روی است. طلا به صورت آزاد مشاهده نشده و غالباً همراه با رگه های سیلیسی کانه دار تشکیل شده که در برخی رگه ها به ۵ ppm نیز می رسد. مطالعات ژئوشیمیایی حاکی از همبستگی عناصر گروه مس-طلا (۰/۷۵)، سرب-طلا (۰/۸۴)، روی-طلا (۰/۸۰) و نقره-طلا (۰/۶۲) در رگه ها است. در مجموع با توجه به شواهد مورد بررسی و مطالعه سیالات درگیر کانی سازی در کانسار گلوچه در رده کانسارهای اپی ترمال نوع رگه ای تا مزوترمال قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: اپی ترمال نوع رگه ای، پلی متال، دگرسانی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانسار گلوچه

مقدمه

سنجده، چرمالو و مس بولاغی در منطقه هشتجین و اندیس های معدنی زه آباد، باریک آباد، خلیفه لو، علی آباد و گلوچه در منطقه طارم)، حضور دگرسانی های گسترده و گسترش توده های نفوذی اسیدی تا حدواسط در این بخش باعث شده تا این منطقه از نظر زمین شناسی جزء مناطق مستعد برای اکتشاف پتانسیل های معدنی فلزی و غیر فلزی باشد (هادی زاده ۱۳۸۳).

نخستین مطالعات انجام شده شامل تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان توسط هیرایاما (Hirayama et al. 1965) است. همچنین مطالعه دگرسانی ها در حاشیه رودخانه قزل اوزن در منطقه طارم توسط حاج علیلو (۱۳۷۸) انجام شده است. از مهمترین مطالعات صورت گرفته از سال ۱۳۸۰ به بعد می توان به اکتشافات

محدوده اکتشافی گلوچه به مساحت ۰/۸ کیلومتر مربع در ۴۵ کیلومتری شمال شهر زنجان با مختصات ۱۸° ۴۸' طول شرقی و ۳۷° ۰۴' عرض شمالی واقع شده است. مناسب ترین راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه، جاده آسفالت زنجان-ارمغانخانه-مشکین است که تا منطقه مورد نظر حدوداً ۳ کیلومتر فاصله دارد (شکل ۱). این ناحیه از نظر تقسیم بندی زون های زمین شناسی ایران (نبوی ۱۳۵۵) بخشی از زون البرز غربی-آذربایجان و از دیدگاه فلز زایی (آقناباتی ۱۳۸۳) متعلق به حوزه پلی متال طارم-هشتجین است و در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ هشتجین قرار می گیرد. وجود اندیس ها و معادن متروک و فعال در بخش های دیگر این حوزه (مانند معادن شاه علی بیگلر،

گرفتن جهت برش ۱۲ مقطع دو بر صیقل با ضخامت متوسط ۱۵۰ میکرون تهیه و سیالات درگیر اولیه با اندازه متوسط ۱۰ تا ۲۰ میکرون توسط میکروسکوپ تحقیقاتی Ziess و دستگاه Linkam THM600 با کنترل کننده حرارتی TMS94 و سرد کننده LNP، در دانشگاه تربیت معلم تهران انجام گرفت.

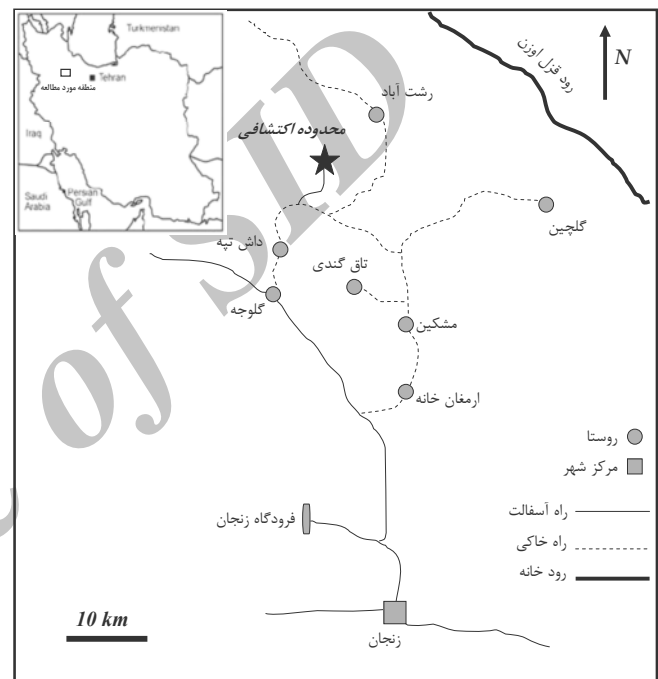
زمین شناسی منطقه

منطقه معدنی گلوچه بخشی از مجموعه ماگمایی ترشیری البرز غربی است که در جنوب نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ هشتجین در واحدهای ولکانیکی- رسوبی ائوسن-الیگوسن تشکیل شده است. بارزترین واحدهای سنگی منطقه به ترتیب از قدیم به جدید شامل سنگ های کربناته برشی شده متعلق به اواخر دونین-اوایل کربونیفر، کوارتزیت، توف و شیل های آهکی (تریاس)، ماسه سنگ، شیل و کنگلومرا (معادل سازند شمشک در ژوراسیک)، آهک های ماسه ای و سیلتی نومولیت دار (معادل سازند زیارت در پالئوسن) و سنگ های ولکانیکی و ساب ولکانیکی رخنمون یافته است که این سنگ ها به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از: (۱) سنگ های ولکانیکی و ولکانوکلاستیکی شامل ریولیت، کوارتز لاتیت، لاتیت تراکیت و لاتیت آندزیت با سن ائوسن (۲) توف های شیشه ای با لایه بندی منظم و به صورت بین لایه ای گدازه های آندزیتی-بازالتی الیگوسن و (۳) رسوبات مارنی، رسی و توفیتی الیگوسن بالایی-میوسن (Davis et al. 1972). بر مبنای شواهد صحرایی واحدهای ولکانیکی و ولکانیکی- رسوبی معادل سازند کرج بخش اعظم ناحیه را تشکیل می دهند که شامل سنگ های آندزیتی، توف های سبز، واحدهای توفیتی خاکستری متمایل به سبز با میان لایه های آندزیتی-بازالتی و واحدهای آندزیت پورفیری و ریوداسیت است. یک حاشیه دگرگونی در حد رخساره اپیدوت هورنفلس در اثر نفوذ استوک ها و دایک های الیگوسن در واحدهای ولکانیکی و ولکانیکی-رسوبی منطقه قابل رویت است. همچنین زون هایی از دگرسانی های مختلف بویژه در همبری توده های نفوذی الیگوسن به فراوانی دیده می شود که توسط رسوبات مارنی و رسی سازند قرمز بالایی در برخی نواحی پوشیده شده اند.

زمین شناسی ساختمانی

با توجه به نقشه زمین شناسی هشتجین، منطقه مذکور تحت تاثیر دو عامل ساختاری است. اولین عامل کمر بند چین خورده و رورانده البرز غربی است که بصورت رورانده بر روی واحدهای ماگمایی البرز مرکزی قرار گرفته است. دومین عامل فشارهای تکتونیکی ناشی از روراندگی از سمت شمال شرق به جنوب غرب است که سبب دگرشکلی واحدهای بخش مرکزی شده، به طوری که تقریباً واحدهای مرکزی نیز کم و

چکشی توسط سازمان زمین شناسی کشور (مهری و همکاران ۱۳۸۱) بر روی واحدهای کربناته شمال ناحیه اشاره کرد. در سال ۱۳۸۳ نقشه زمین شناسی هشتجین به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. در سال ۱۳۸۶ شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران با مشاوره شرکت توسعه علوم زمین منطقه را مورد اکتشافات تفصیلی قرار داده است. در محدوده معدنی دو دسته رگه اصلی با روند شرقی-غربی با طول متوسط ۳۵۰ متر و ضخامت ۷ متر و میانگین ۸۹/۲ ppm طلا و دو دسته رگه فرعی به موازات رگه های اصلی با طول متوسط ۱۰۰ متر و ضخامت ۲-۴ متر و میانگین ۱-۲ ppm طلا شناسایی شده است.



شکل ۱: راه های دسترسی به منطقه و موقعیت کانسار گلوچه در نقشه ایران (سازمان نقشه برداری ۱۳۸۶)

روش مطالعه

به منظور مطالعه نحوه کانی سازی در منطقه، محدوده معدنی به وسعت یک کیلوکتر مربع در مقیاس ۱/۱۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲) که طی آن حدود ۶۰ مقطع نازک، صیقلی و نازک صیقلی جهت انجام مطالعات میکروسکوپی و ۱۱ نمونه از مناطق دگرسانی اطراف رگه به همراه سنگ دیواره برای انجام مطالعات XRD تهیه شده است. همچنین طی اکتشافات چکشی انجام شده در منطقه ۴۰۱ نمونه پودر سنگی از بخش های مختلف کانسار برداشت شده که تعداد ۲۶ نمونه آن به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel استرالیا برای ۴۴ عنصر مورد تجزیه قرار گرفته است و بقیه نمونه ها نیز به روش XRF تجزیه شدند. مطالعات سیالات درگیر بر روی ۸ نمونه از ۴ رگه کوارتز کانه دار اصلی و فرعی انجام شد که با در نظر

را به سه دسته کلی شامل: ۱) تراکی آندزیت-بازالت (۲) کوارتز لایتیت، تراکی آندزیت (۳) داسیت، ریوداسیت و توف تقسیم بندی نمود. طبق رده بندی های میدلموست (Middlemost 1991)، کاکس و همکاران (Cox *et al.* 1979) و لومتر (Le Maïter 1989) سنگ های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در محدوده بازالت-آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت، داسیت و ریولیت واقع شده اند (شکل ۴الف). همچنین در منطقه گلوچه واحد های گدازه و آذرآواری دارای گسترش زیادی بوده که ترکیب آنها عمدتاً از بازیک تا حد واسط متغیر است. طبق نمودار پیرس و همکاران (Pearce & Can 1973) و ایروین و باراگار (Irvine & Baragar 1971) سنگ های منطقه دارای مقادیر بالای K_2O+Na_2O بوده که در محدوده سنگ های ساب آکالک تا کالک آکالک غنی از پتاسیم واقع می شوند (شکل های ۴ب و ج). همچنین سنگ های آذرین منطقه از لحاظ محیط تکتونو ماگمایی بر اساس نمودار وود و همکاران (Wood *et al.* 1979) در محدوده سنگ های آتشفشانی قوس قاره ای حاشیه قاره ها و فرورانش قرار می گیرند (شکل ۵د).

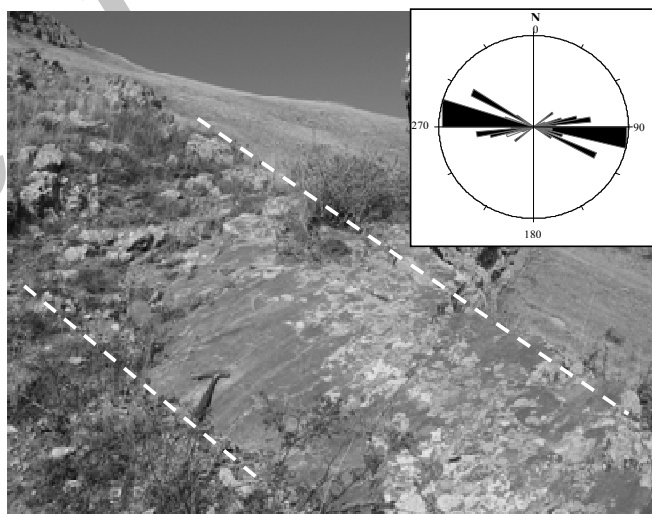
کانی شناسی رگه ها و توالی پاراژنزی

در منطقه مورد مطالعه چهار رگه اصلی سولفیدی کانه دار وجود دارد که بر مبنای شواهد صحرایی و آزمایشگاهی خصوصیات رگه های معدنی به شرح زیر است:

رگه ۱: این رگه با امتداد شرقی-غربی و شیب ۴۰ تا ۵۰ درجه به سمت جنوب، در زون های شدیداً خرد و برشی شده تشکیل و دارای مقادیر قابل توجهی اکسید های آهن نظیر هماتیت و گوتیت است. طول این رگه ۴۵۰ متر و ضخامت متوسط آن ۷/۵ متر است. در اطراف این رگه و به موازات آن در بخش جنوبی، رگه و رگچه های فراوانی دیده می شود که این رگه و رگچه ها خود دارای عیار بالای طلا ($>2\text{ppm}$) و عناصر همراه هستند. سنگ میزبان آن ریوداسیت تا لایتیت بوده که متحمل دگرسانی شدید سیلیسی و سریسیتی شدن نیز می باشد. کانی سازی در این رگه شامل مگنتیت، گالن، کالکوپیریت، سروزیت، بورنیت، مالاکیت و اکسیدهای آهن-منگنز، گوتیت و لیمونیت و به مقداری کم آزوریت بوده، ضمن آنکه عیار متوسط طلا در آن به ۲/۸۹ گرم در تن می رسد (شکل های ۵الف و ب).

رگه ۲: این رگه با امتداد تقریبی شرقی-غربی موازی با رگه قبل و شیب ۳۵ تا ۴۵ درجه به سمت جنوب، دارای بافت برشی و خرد شده به طول ۱۲۰ متر و ضخامت متوسط ۵ متر بوده که از دو بخش سولفیدی و برشی اکسید آهن دار تشکیل شده است. سنگ میزبان آن در قسمت شرقی ریولیت تا ریوداسیت دگرسان شده و در قسمت شمالی توف ها و ریوداسیت دگرسان شده است. بخش سولفیدی رگه در سمت جنوبی شامل کانی های کالکوپیریت، بورنیت، کولین، مالاکیت و آزوریت است. بخش اکسیدی در سمت شمال رگه از کانی

بیش از روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق پیروی می کنند. روراندگی کمربند چین خورده البرز غربی سبب افزایش ارتفاعات بخش شمالی رودخانه قزل اوزن بویژه در محدوده ورقه ۵۰،۰۰۰:۱۰ هشتجین شده به طوری که اختلاف ارتفاع دیواره های شمالی این رودخانه گاهی به ۱۲۰۰ متر می رسد و اکثراً باعث ایجاد ساختمان های پلکانی و تراست های رودخانه ای شده اند. گسل رشت آباد با روند تقریبی شرقی-غربی بعنوان کنترل کننده زون های برشی کانی ساز و رگه ها از مهمترین پدیده هایی است که در منطقه دیده می شود که در امتداد آن محلول های گرمابی نفوذ کرده و هاله های دگرسانی وسیعی را در منطقه تشکیل داده است. اکثر گسل های فرعی به صورت پرمانند در اطراف این گسل تشکیل شده اند که غالباً دارای روند شرقی-غربی و شمال غرب-جنوب شرق هستند که زون گسلی به ضخامت ۶۰ متر و رگه برشی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر تا ۱۲ متر را تشکیل داده اند. گسل های مذکور را می توان قدیمی ترین دسته گسل ها در منطقه به شمار آورد که موجب جابجایی زون های برشی در رگه ها شده و سطح آینه گسل در آنها بخوبی نمایان است (شکل ۳).

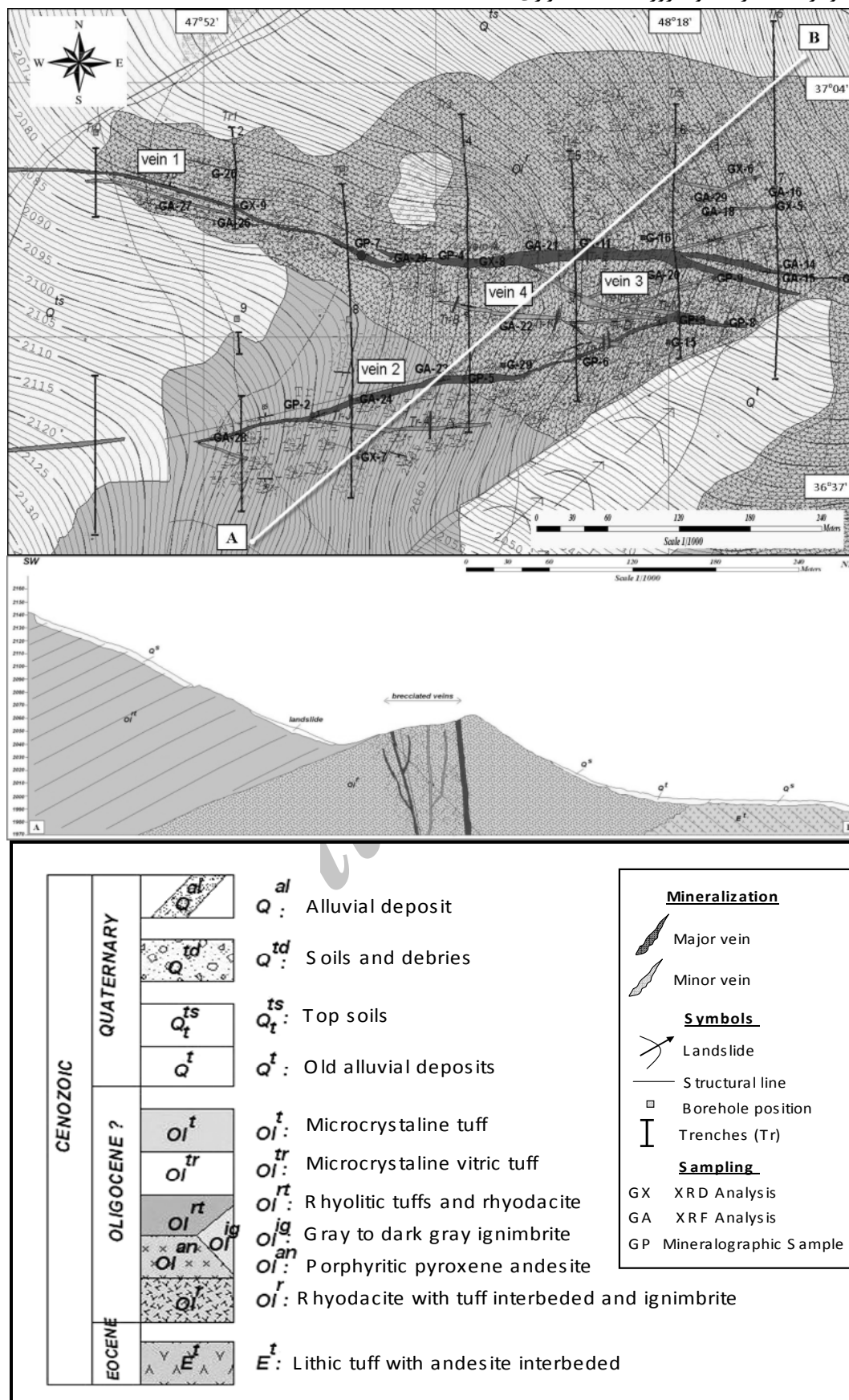


شکل ۳: دیاگرام گل سرخی گسل های منطقه و نمایی از یک آینه گسلی (دید به سمت شرق)

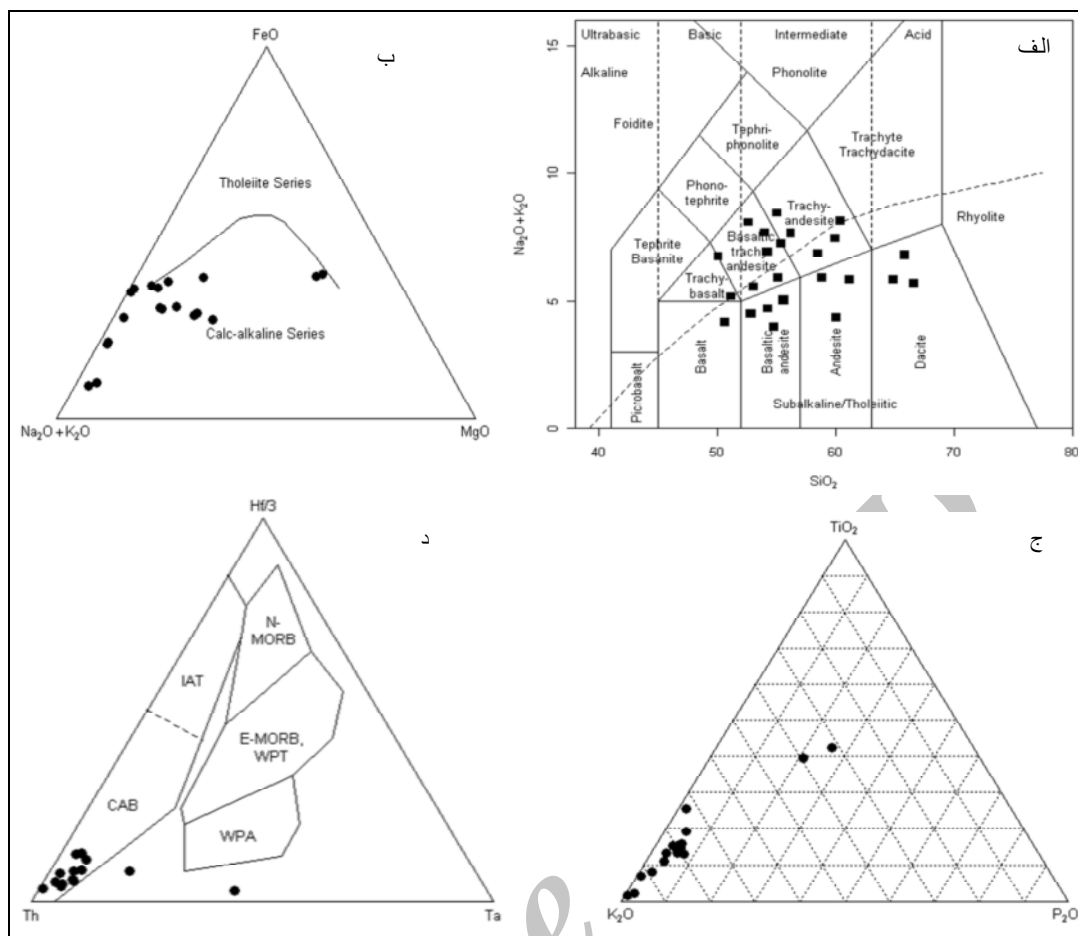
پترولوژی سنگهای آذرین

با توجه به مطالعات اشتوکلین (Stöcklin 1968)، هیرایاما (Hirayama *et al.* 1965) و معین وزیری (۱۳۸۱) در محدوده مورد مطالعه یک فاز پلوتونیسیم با سن ائوسن بالایی-لیگوسن شامل توده ای نفوذی با ترکیب حد واسط تا اسیدی و یک فاز ولکانیسم آذر آواری و آتشفشانی در زون البرز مرکزی، غربی و بخش هایی از ایران مرکزی در نتیجه فاز کوهزایی آلپی به وجود آمده است. با توجه به نتایج حاصل از رده بندی های ژئوشیمیایی و سنگ شناسی می توان سنگ های ولکانیکی منطقه

های هماتیت (اسپیکولاریت)، دیژنیت و سروزیت با بافت نواری



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ساده شده ۱/۱۰۰۰ گلوچه (شرکت توسعه علوم زمین ۱۳۸۶)



شکل ۴: (الف) نمودار رده بندی ژئوشیمیایی سنگ های آذرین منطقه براساس مقدار K_2O+Na_2O در برابر SiO_2 (کاکس و همکاران ۱۹۷۹)، (ب) نمودار مثلثی متمایز کننده سنگ های کالک آلکان از سنگ های تولییتی، (ج) سنگ های آذرین غنی از پتاسیم گلوچه در نمودار پیرس و کن (۱۹۷۳) و (د) نمودار مثلثی $Ta-Hf_3-Th$ سنگ های منطقه گلوچه که در محدوده CAB یا بازلت های کالک آلکان مناطق فرورانش قرار می گیرد (Wood et al. 1979)

تقریبی ۱۲۰ متر با امتداد تقریبی شرقی-غربی و شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه به سمت جنوب، به طرف غرب منطقه ادامه دارد. ضخامت این زون برشی و رگچه های اطراف آن به ۲ تا ۶ متر می رسد. مهمترین دگرسانی های اطراف آن از نوع آرژیلیک حد واسط، سریسیتی شدن و سیلیسیک است و کوارتزهای بلوری دانه درشت با بافت حفره ای از مشخصه های اصلی این رگه معدنی است. کانی های اصلی شامل کالکوسیت، بورنیت و مالاکیت بوده و کانی های باطله شامل پیریت، کوارتز بلوری و اکسید آهن-منگنز می باشد (شکل ۵ج). عیار متوسط طلا در این رگه و رگچه های اطراف آن ۲/۹ گرم در تن است.

در مجموع با توجه به مطالعات کانی شناسی، به نظر می رسد کانی سازی در منطقه، عمدتا در سه فاز سولفیدی، سیلیکاتی و کربناتی (گانگ) شکل گرفته است که در مجموع شامل دو بخش هیپوزن (اولیه) و سوپرزن (ثانویه) است. مرحله هیپوزن دارای سه مرحله کانی سازی شامل کانی سازی اکسیدی (مگنتیت+هماتیت (اسپیکولاریت))،

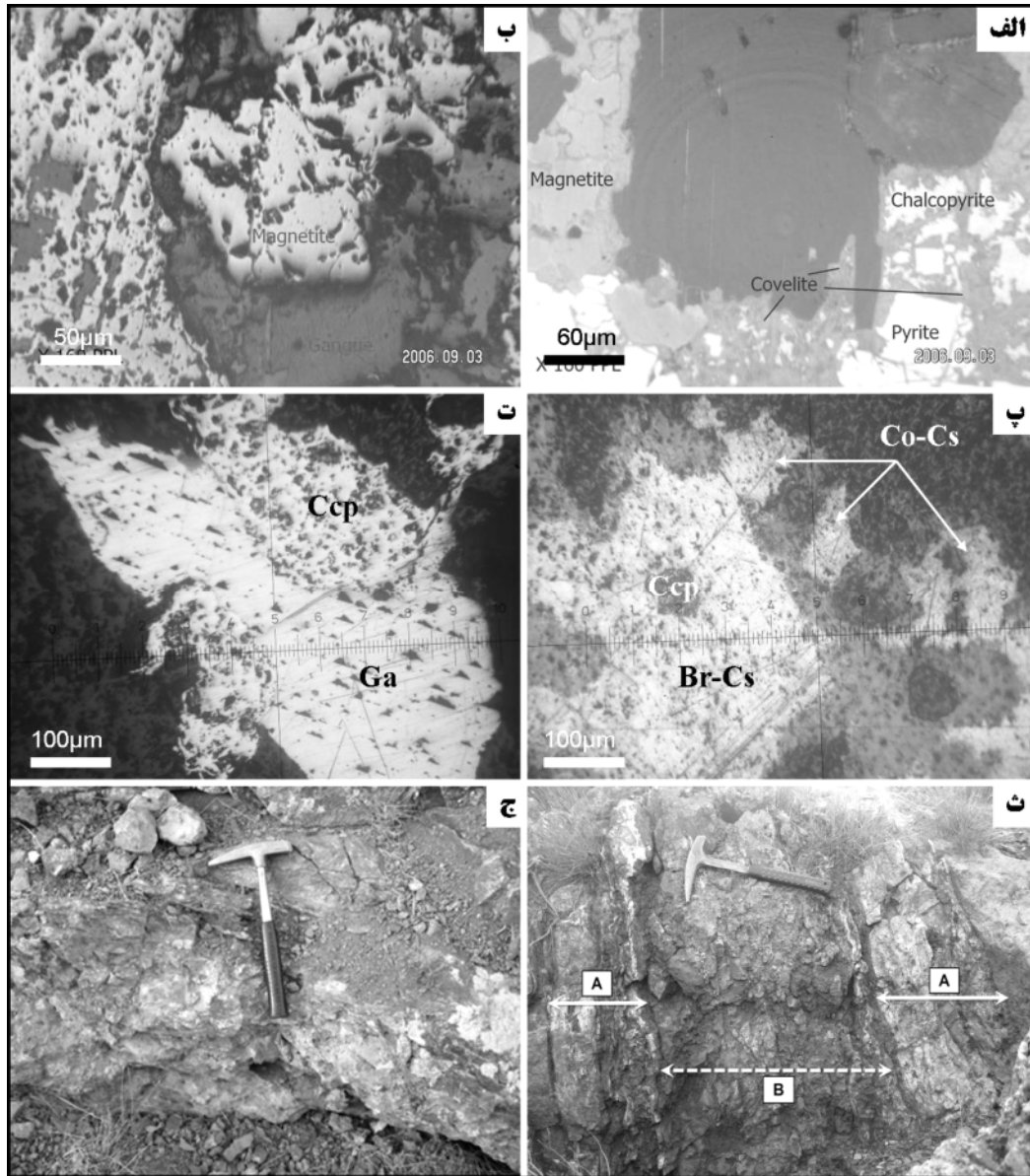
(Crustified) تشکیل شده است (شکل ۵پ و ۵ث). عیار متوسط طلا در این رگه ۳/۳ گرم در تن است.

رگه ۳: این رگه در یک زون برشی به طول ۸۰ و ضخامت متوسط ۱/۵ متر با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی و شیب ۴۰ تا ۴۵ درجه به سمت جنوب غرب در واقع شاخه فرعی از رگه ۱ محسوب می شود و در شکستگی ها و گسل های پر مانند اطراف گسل اصلی تشکیل شده است (شکل ۲). بافت مهم در این رگه شکافه پر کن بوده و سنگ میزبان آن داسیت و ریوداسیت است. مهمترین دگرسانی های اطراف آن از نوع آرژیلیک حد واسط و کلریتی شدن می باشد. کانی های اصلی نیز شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، همی مورفیت، دیژنیت و سروزیت بوده و کانی های باطله از قبیل پیریت، کوارتز، کلسیت و فلوریت هستند (شکل ۵ت). عیار متوسط طلا در این رگه ۲/۱ گرم در تن است.

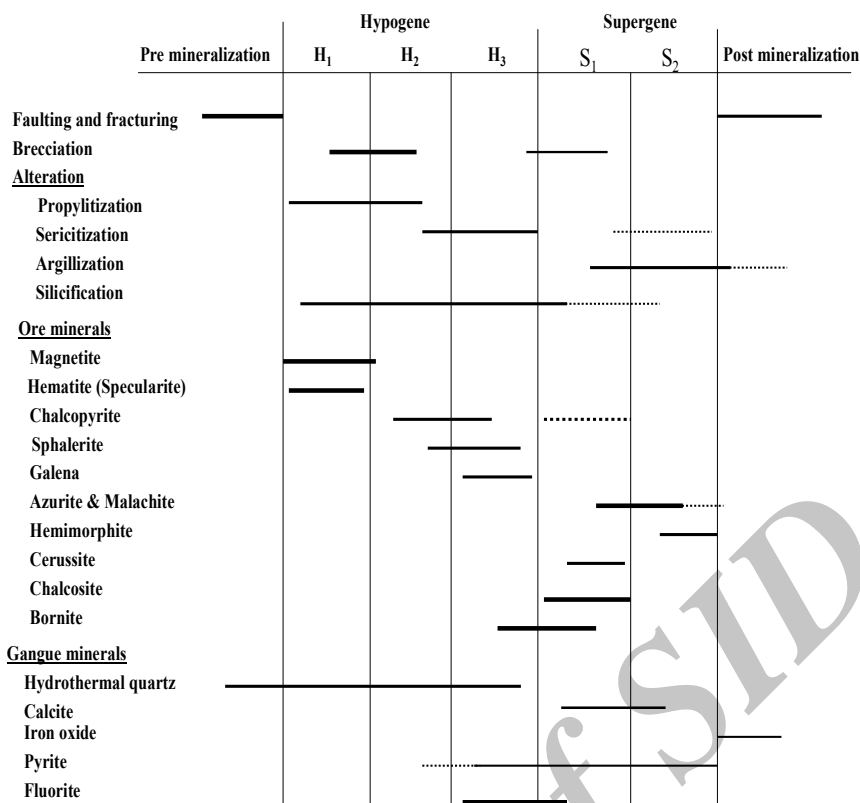
رگه ۴: این رگه به عنوان شاخه ای فرعی از رگه ۲، دارای طول

مرحله کانی سازی شامل کانی های کالکوسیت + بورنیت + پیریت ± سروزیت (S1) و کانی های مالاکیت-آزوریت + کولیت + گوتیت ± همی مورفیت ± کلسیت (S2) شکل گرفته است (شکل ۶).

اکسیدی-سولفیدی (مقادیر ناچیز مگنتیت + کالکوپیریت + گالن ± کوارتز) و سولفیدی (کالکوپیریت + گالن + اسفالریت ± پیریت ± فلوریت) است که در دمای بیش از 280°C تشکیل شده است. همچنین مرحله سوپرژن نیز در منطقه تحت کنترل سطح آب زیرزمینی، به صورت دو



شکل ۵: تصاویر میکروسکوپی و صحرایی از کانی های کانسار گلوچه شامل، (الف) حضور کالکوپیریت، مگنتیت، کولیت و پیریت در رگه ۱، (ب) رگه ۱ حاوی مگنتیت و کوارتز، (پ) کولیت-کالکوزین (Co-Cs) در کنار بورنیت-کالکوزین (Br-Cs) که دانه کالکوپیریت (Ccp) در زمینه آن دیده می شود (رگه ۲)، (ت) گالن (Ga) همراه با کالکوپیریت (Ccp) از رگه ۳، (ث) نمایی از رگه ۲ با بافت نواری که در آن کانی های اولیه کالکوپیریت در زمینه ای از سیلیس (بخش B) از حاشیه به کالکوسیت و بورنیت تبدیل شده اند (بخش A) و آغستگی مالاکیت در حاشیه کالکوسیت و سطوح درزه ها دیده می شود و (ج) نمایی از رگه سیلیسی با کانه زایی کالکوسیت، فلوریت، پیریت و سروزیت در رگه ۴.



شکل ۶: توالی پاراژنری کانسار گلوچه

دگرسانی

کند. دگرسانی سیلیسی گسترده ترین دگرسانی در ارتباط با نفوذ محلول های گرمابی غنی از سیلیس در سنگ های منطقه خصوصاً در اطراف رگه ها و زون های برشی است. کوارتز کانه اصلی این دگرسانی است که در سه نسل به صورت گرمابی و کوارتزهای خرد شده، کوارتز همرا کانی های سولفیدی و کوارتز مرحله ی اکسیدی و فاز تاخیری با بافت حفره ای و درشت بلور دیده می شود. مجموعه کانی های مشاهده شده در دگرسانی های کانسار گلوچه به طور خلاصه در (جدول ۱) آورده شده است.

دگرسانی ها در منطقه طارم-هشتجین به طور گسترده توسط حسینی (۱۳۷۴) و پیروان (۱۳۸۴) مورد بررسی قرار گرفته است، که طی آن ۶ نوع دگرسانی در منطقه شناسایی شده که دگرسانی های پروپیلیتی، آرژیلیک حد واسط، سریسیتی و سیلیسی مرتبط با تشکیل رگه و کانه سازی و دگرسانی های کم اهمیت تر شامل آلونیتی و کلریتی شدن است. دگرسانی ها در منطقه گلوچه عمدتاً منطبق با گسل رشت آباد و پهنه های برشی مرتبط با آن بوده و شدت و نوع دگرسانی ها با توجه به نزدیکی محل زون های برشی گسل ها و همچنین ارتفاع تغییر می

جدول ۱: کانی شناسی دگرسانی های کانسار گلوچه با استفاده از نتایج تجزیه XRD

نوع دگرسانی	کانی ها	موقعیت		شماره نمونه
		X	Y	
سیلیسی-آرژیلیک	کوارتز- میکروکلین- جاروسیت-ایلیت-مونتموریلونیت	264738	4107166	GX-1
سیلیسی-سرسیتیک	کوارتز- آلینت-موسکویت-کلسیت	265447	4107720	GX-2
سیلیسی-آرژیلیک متوسط	کوارتز-سانیدین-ایلینت-مونتموریلونیت	265554	4107324	GX-3
سیلیسی-هماتیتی	کوارتز-اورتوکلاز-ایلینت-دیوپسید-هماتیت-کلینوکلر	265314	4107357	GX-4
سیلیسی-سرسیتیک	کوارتز-سانیدین- دولومیت-موسکویت-ارتوکلاز	265145	4107451	GX-5
سیلیسی-آرژیلیک-کلریت	کوارتز-اورتوکلاز-کلینوکلر-ایلینت	265137	4107462	GX-6
سیلیسی-پروپیلیتیک-کلریت	کوارتز-ایلینت-میکروکلین-ایلینت-کلینوکلر	264967	4107353	GX-7
سیلیسی-آرژیلیک متوسط	کوارتز-سانیدین-جمی مورفیت-مونتموریلونیت	265017	4107429	GX-8
سیلیسی-آرژیلیک	مونتموریلونیت-کوارتز	264915	4107452	GX-9
پروپیلیتیک-گرایزن	فلوریت-کوارتز-هماتیت-کانولن	265105	4107406	GX-10
سیلیسی-آرژیلیک-کربناتی	کوارتز-کلسیت-مونتموریلونیت-دولومیت	265061	4107433	GX-11

ژئوشیمی

شناخت ارتباط ژنتیکی متقابل نیز از روش آماری چند متغیره آنالیز خوشه ای استفاده شده است، که بر اساس این دندروگرام می توان سه گروه عنصری شامل: (۱) گروه طلا، مس و نقره با ضریب همبستگی ۰/۸۴ با بالاترین ضریب همبستگی، (۲) گروه طلا، سرب و روی با ضریب همبستگی ۰/۷۶ و (۳) گروه طلا، بیسموت، کادمیوم، آنتیموان با ضریب همبستگی ۰/۵۴ را در کانسار گلوچه شناسایی کرد. با استفاده از نتایج تجزیه ژئوشیمیایی مهمترین پاراژنهای موجود که به عنوان ردیاب و معرف کانی سازی در منطقه قابل تشخیص هستند عبارتند از: مجموعه عناصر تحت کانساری همراه شامل Cu+Mo+Bi+W که می توان از این مجموعه به عنوان ردیاب کانی سازی طلا در منطقه استفاده کرد. بر این اساس، کانسار گلوچه را می توان یک کانسار از نوع طلا-مس-نقره به حساب آورد.

پس از نمونه برداری از رگه های معدنی و سنگ میزبان، نمونه ها به روش های XRF برای عناصر اصلی و ICP-MS برای عناصر جزئی از قبیل Sr, Sb, Ba, Au, Cr, Pb, Zn, Cu, Co, Mo, Hg, Bi, Sn تجزیه شدند (جدول ۲). نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل های آماری قرار گرفته و تعبیر و تفسیر داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. برای بررسی همبستگی های آماری بین متغیرهای مختلف با یکدیگر از ماتریس همبستگی رتبه ای اسپیرمن و پیرسون استفاده شده است (جدول ۳ و شکل ۷). همچنین جهت بررسی میزان تغییرات عیار طلا در منطقه و رگه های معدنی نقشه طلامتری برای عناصر طلا، نقره و مس بر مبنای اطلاعات سطحی نظیر اطلاعات ترانسه ها، نقشه زمین شناسی و نیز نمونه های پراکنده که از رگه و رگچه ها گرفته شده با استفاده از نرم افزار Surfer رسم شده است (شکل ۸). به منظور

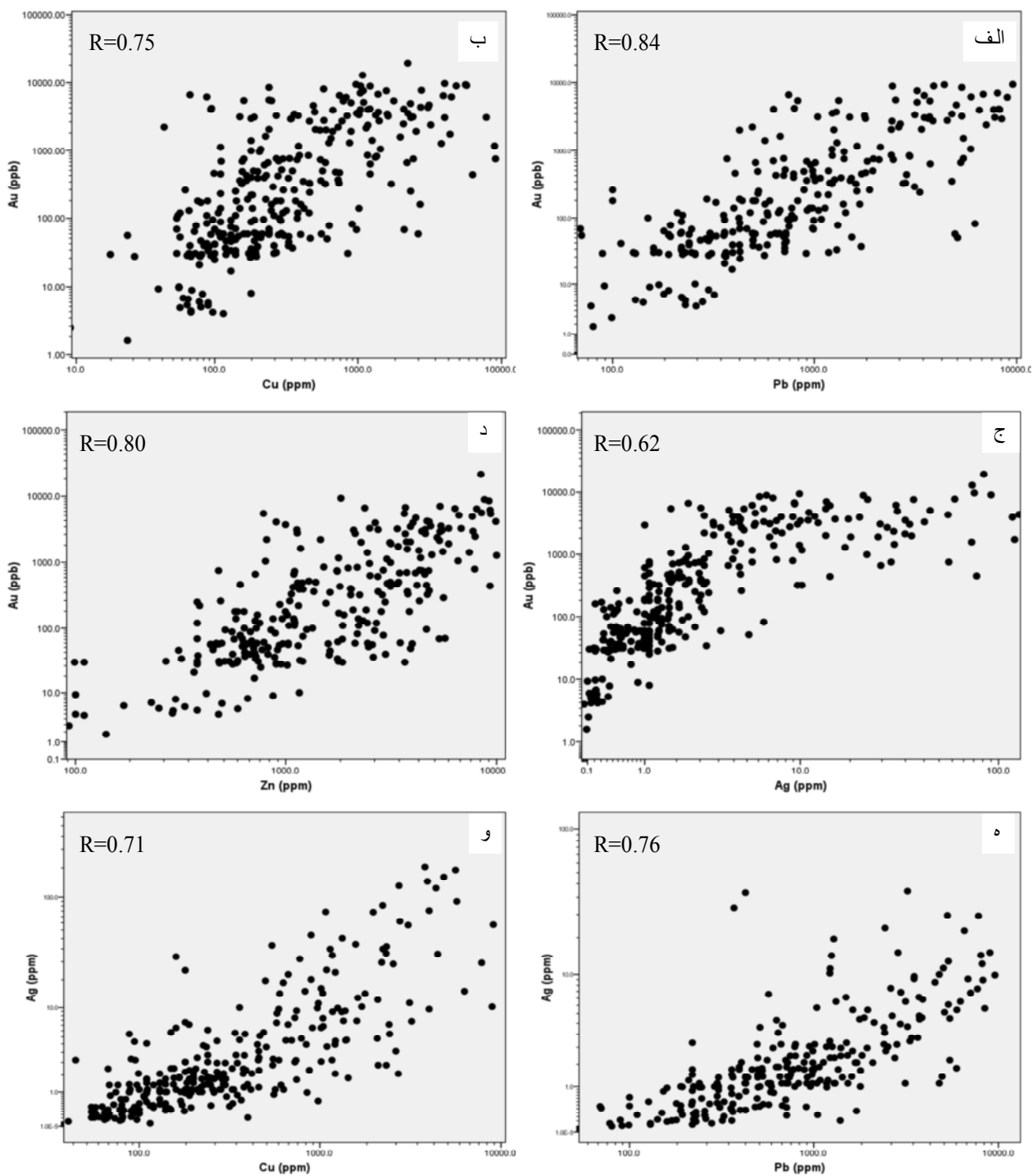
جدول ۲: داده های تجزیه دستگاهی ۱۶ نمونه معرف از سنگ میزبان و رگه ها به روش ICP-MS

Sample. No	Au	Ag	Cu (ppm)	As	Sb	Bi	Cd	Zn (ppm)	W	Mo	Pb
GTR-2-S47A [§]	269	13.85	1022.0	537.0	99.45	37.70	15.66	12375.0	138.0	6.45	7940
GTR-3-S4 [§]	250	2.35	434.60	142.0	16.86	2.59	7.25	4909.0	68.75	4.10	2448
GTR-3-S20 [§]	200	9.0	5495.0	853.0	54.20	1066	5.25	1999.0	49.03	8.48	4146
GTR-3-S23 [§]	1270	10.5	1646.0	854.6	81.14	9.64	5.70	2105.0	35.96	12.97	3778
GTR-3-S26 [¶]	34	30.5	391.7	802.0	109.45	39.90	11.35	2700.0	56.90	5.31	5332
GTR-3-S51 [§]	2940	22.7	1125.0	998.0	87.70	12.0	121.0	85400.0	780.0	10.81	14730
GTR-3-S52 [§]	6180	17.0	1122.0	69.35	68.55	38.85	14.40	17475.0	545.0	1.10	76750
GTR-4-S16 [¶]	38	13.1	637.0	920.0	70.95	38.15	8.05	6480.0	85.15	19.16	5880
GTR-4-S17 [§]	2810	28.1	2657.0	952.0	46.45	28.75	16.30	6530.0	72.65	31.88	38040
GTR-4-S-18 [¶]	300	5.4	424	814.5	29.20	6.85	6.30	4225.0	54.90	5.11	5490
GTR-4-S19 [¶]	58	7.5	672.5	452.0	70.70	20.20	21.25	2841.0	46.85	3.65	21080
GTR-4-S20A [§]	2340	13.75	590.5	435.0	42.90	14.0	10.55	2864.0	39.60	34.55	14570
GTR-4-S20 [§]	3165	11.0	3657.0	327.0	62.10	131.7	16.90	10045.0	76.55	427.6	11405
GTR-4-S21 [¶]	44	4.35	161.3	119.50	12.70	2.50	2.79	2188.0	18.75	6.70	1104
GTR-4-S22 [¶]	62	5.85	374.0	208.50	48.35	18.70	8.45	3998.0	41.60	6.82	2399
GTR-5-S35 [¶]	260	5.80	1083.0	201.80	69.25	14.0	39.50	10590.0	76.35	1.19	3245

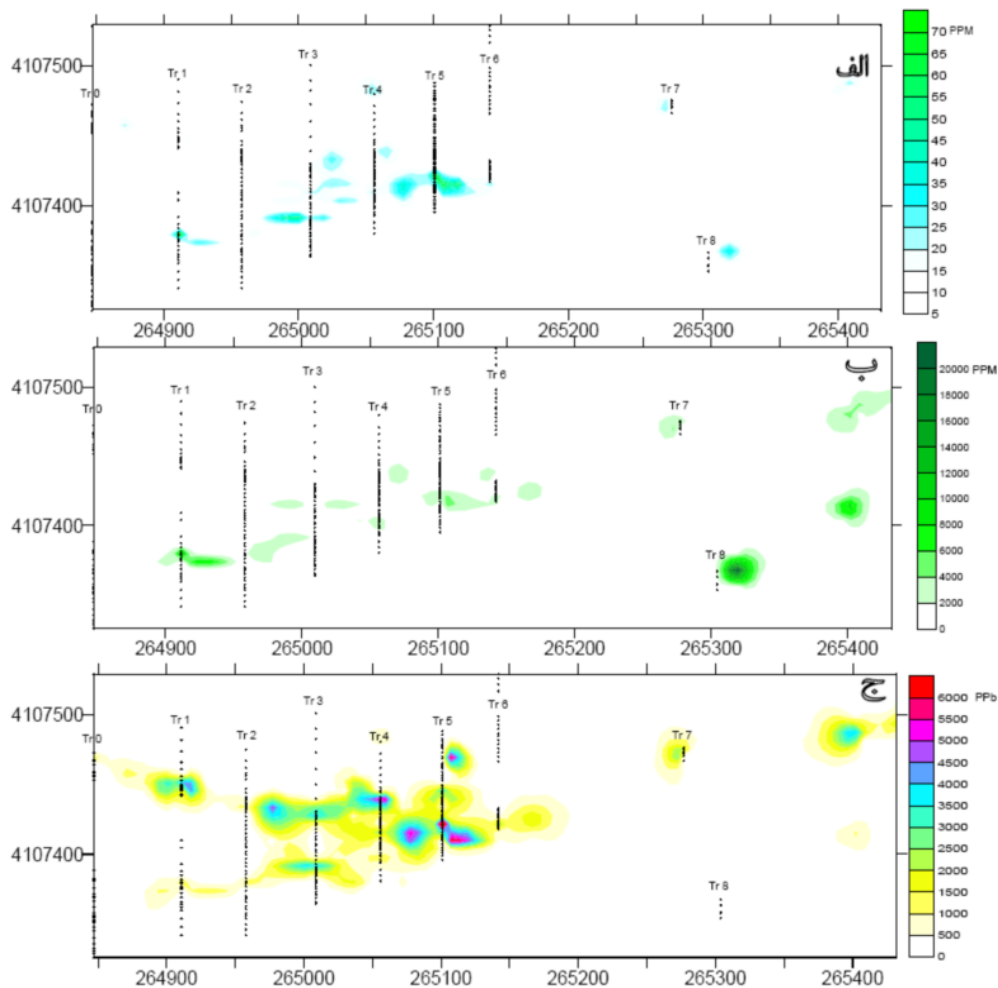
§: نمونه های برداشت شده از رگه ها - ¶: نمونه های برداشت شده از سنگ میزبان

جدول ۳: ضرایب همبستگی رتبه ای اسپیرمن-پیرسون برای عناصر کانه ساز در منطقه

Bi	As	Ag	Zn	Pb	Cu	Au
						1.000
					1.000	.754
				1.000	.198	.843
			1.000	.753	.193	.808
		1.000	.773	.799	.716	.627
	1.000	.706	-.130	-.150	-.181	.409
1.000	.863	.172	-.134	-.166	-.093	-.134



شکل ۷: نمودار همبستگی دوتایی اسپیرمن-پیرسون در کانسار گلوچه شامل، (الف) طلا-سرب، (ب) طلا-مس، (ج) طلا-نقره، (د) طلا-روی، (ه) نقره-سرب و (و) نقره-مس



شکل ۸: نقشه میزان تمرکز عناصر (الف) نقره (ppm)، (ب) مس (ppm) و (ج) طلا (ppb) در ترانسه های (Tr) حفاری شده در منطقه

سیالات درگیر

به منظور تعیین ویژگی های سیال کانه ساز، آزمایشات میکروترمومتری بر روی ۸ نمونه از ۴ رگه کوارتز کانه دار اصلی و فرعی انجام شد. از لحاظ پتروگرافی مطالعات بر روی سیالات درگیر اولیه (P) انجام شد که عمدتاً به شکل های استوانه ای، دوکی شکل، بیضوی و بی شکل با اندازه متوسط ۱۰ تا ۲۰ میکرون بوده و بر اساس تقسیم بندی های انجام شده توسط رودر (Roedder 1984)، شگرد و همکاران (Sheppard *et al.* 1985) از نوع مایع+ بخار (L+V)، بخار+مایع (V+L)، بخار (V) و فاز مایع (L) هستند و هیچگونه فاز جامد (S) یا شواهدی از حضور CO₂ مایع در سیالات مشاهده نشد (شکل ۹الف و ج). فعالیت های تکتونیکی پس از تشکیل سیالات درگیر اولیه موجب تشکیل حجم زیادی از سیالات ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) در ابعاد زیر ۵ میکرون در منطقه شده است (شکل ۹ب). در برخی مقاطع پدیده باریک شدگی یا Necking Down نیز تشخیص داده شد که مورد مطالعه قرار نگرفتند. به طور کلی با توجه به بررسی های صورت گرفته دو گروه سیال درگیر از نظر درجه پرشدگی و دمای همگن شدن

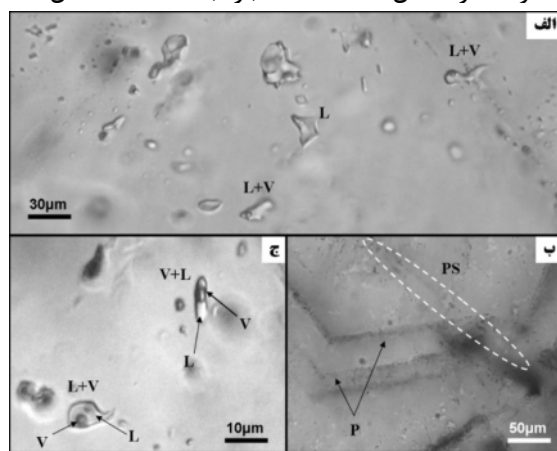
(Homogenization Temperature) تشخیص داده شد که عبارتند از: گروه ۱: سیالات درگیر مشاهده شده در رگه های ۳ و ۴ با دمای همگن شدن ۲۵۰°C تا ۳۲۰°C، درجه پر شدگی بیش از ۷۰ درصد (نسبت مایع به بخار) و چگالی متوسط بین ۰/۷۸ تا ۰/۹۲ که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده (T_{mice}) به طور متوسط بین ۱۲°C- تا ۸- بدست آمد. بر این اساس میزان شوری محاسبه شده توسط رابطه هال و بودنار (Hall & Bodnar 1988) بین ۱۰/۷ تا ۱۵/۲ درصد وزنی معادل NaCl است. گروه ۲: شامل سیالات درگیر مشاهده شده در رگه های کوارتز-کانه دار ۱ و ۲ با دمای همگن شدن ۱۴۰°C تا ۲۳۰°C، درجه پر شدگی کمتر از ۵۰ درصد (نسبت بخار به مایع بالا)، چگالی متوسط بین ۰/۶۷ تا ۰/۸۳ و شوری متوسط بین ۵/۳ تا ۱۵/۸ درصد وزنی معادل NaCl. این دسته از سیالات نشان دهنده پدیده جوشش (Boiling) در سیال کانه ساز بوده که موجب کاهش دمای ناگهانی سیال کانه دار شده و در نتیجه موجب ته نشست عناصر فلزی طلا، نقره و مقدار کمی مس شده است (شکل ۱۰). همچنین با استفاده از دیاگرام هاس (Hass 1971) و دمای بدست آمده از نتایج

فلزات پایه در عمق ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر و فشار تقریبی ۲۴۰ بار (I) و کانی سازی طلا-نقره در عمق ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر و فشار تقریبی ۱۵۰ بار (II) بر اساس نمودار هاس (Hass 1971)

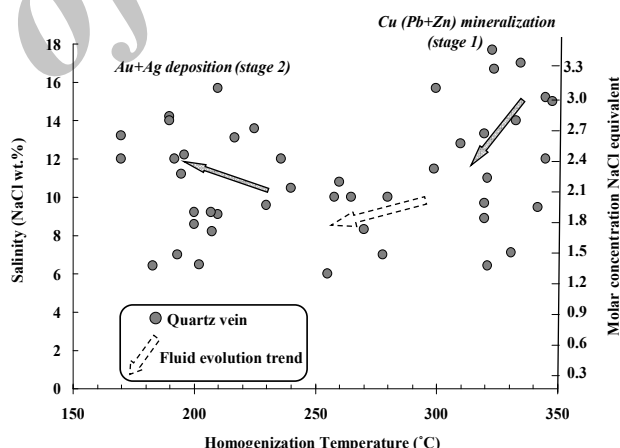
خصوصیات فیزیکوشیمیایی سیال کانه ساز

در کانسارهای رگه ای که کانی سازی سولفیدی و اکسیدی در کنار هم دیده می شوند عامل اصلی کانی سازی تغییرات فوگاسیته اکسیژن و گوگرد محیط است (Cooke & Simmons 2000)، به طوری که در ابتدا آبهای سطحی اکسیژن دار پس از نفوذ به اعماق و ترکیب با آبهای ماگمایی دما بالای غنی از H₂O, HCl, HF در شرایط فوگاسیته بالای اکسیژن و fS₂ پایین منجر به تشکیل کانی هماتیت و مگنتیت در مرحله اولیه کانی سازی شده است. پس از آنکه در مراحل پایان کانی سازی به تدریج با کاهش فوگاسیته اکسیژن، مقدار گوگرد در محیط افزایش یافت، کانی سازی طلا، فلزات پایه و پیریت در رگه های کانه دار صورت گرفته است (Kolb & Hagemann 2009). بر این اساس در نمودار LogfO₂-LogfS₂ که توسط بارتون و اسکینر (Barton & Skinner 1979) تهیه شده است می توان روند تحول سیال کانه ساز در کانسار گلوچه را نمایش داد (مسیر I به II). با توجه به شواهد ذکر شده می توان چنین استنباط کرد که محلول کانه ساز در منطقه ترکیب احیایی داشته و میزان غلظت گوگرد نیز پایین بوده است (شکل ۱۲). ضمن حرکت سیال به عمق، همراه با افزایش دما، میزان LogfO₂ (36- >) کاهش و مقدار (14 -LogfS₂) افزایش نشان می دهد. همچنین با توجه به نوع دگرسانی های رایج در اطراف رگه ها از جمله دگرسانی سربیسیتیک، می توان نتیجه گرفت که pH محلول کانه ساز خنثی بوده است. وجود سیالات درگیر غنی از فاز بخار همراه با سیالات غنی از مایع+حباب کوچک و نیز همگن شدن برخی سیالات به فاز بخار حاکی از پدیده جوشش و متعاقب آن سرد شدگی سیال کانه ساز است که شواهدی از جمله وجود کوارتزهای درشت بلور با بافت حفره ای (Vugs) در رگه های کوارتز-کانه دار شاهدهی بر پدیده جوشش در منطقه است.

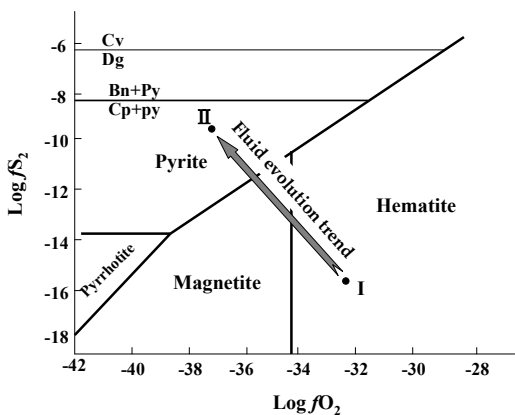
میکروترمومتری، عمق به دام افتادن سیال برای سیالات گروه اول (کانی سازی فلزات پایه) بین ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر (فشار معادل ۲۲۰ تا ۲۶۰ بار) و برای سیالات گروه دوم (کانی سازی طلا-نقره) بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر (فشار معادل ۱۳۰ تا ۱۷۰ بار) بدست آمد (شکل ۱۱).



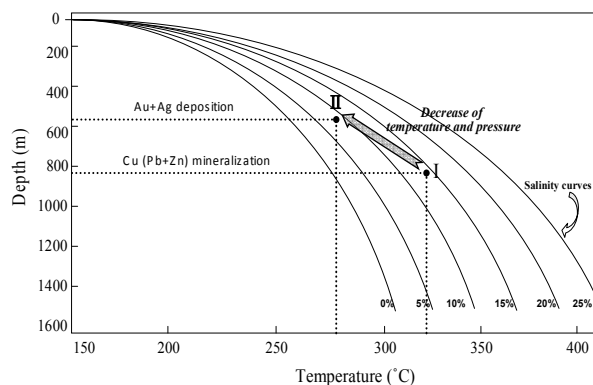
شکل ۹: سیالات درگیر مشاهده شده در رگه های کوارتز-کانه دار کانسار گلوچه شامل، (الف) سیالات دو فازی (L+V) و تک فازی (L)، (ب) سیالات درگیر اولیه (P) موازی با رشد بلور و ثانویه کاذب (PS) و (ج) سیال استوانه ای دو فازی (V+L) و دوکی شکل (L+V)



شکل ۱۰: نمودار دمای همگن شدن-شوری در سیالات درگیر اندازه گیری شده و روند کانی سازی که نشان دهنده دو نوع کانه زایی در منطقه است



شکل ۱۲: نمودار دوتایی LogfO₂-LogfS₂ و تعیین روند کانی سازی از شرایط



شکل ۱۱: عمق به دام افتادن سیالات درگیر در کانسار گلوچه با کانی سازی

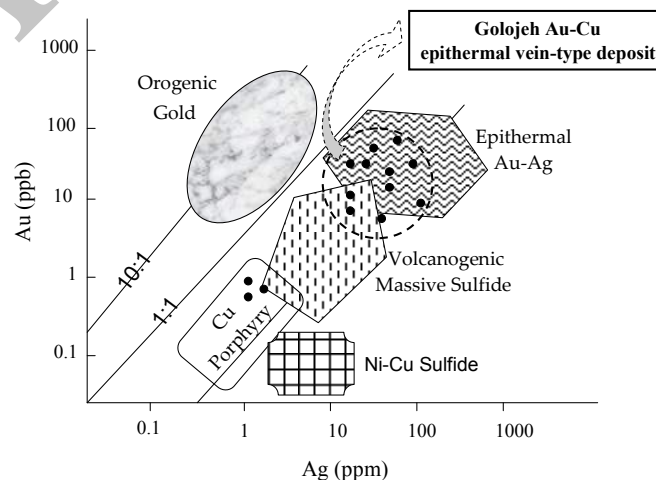
اکسیدی (I) به کانی سازی سولفیدی (II) در منطقه، بر اساس نمودار بارتون و اسکینر (۱۹۷۹) - کالکوپیریت (Cp)، بورنیت (Bn)، پیریت (Py)، کولیت (Cv) و دیژنیت (Dg)

مقایسه کانسار گلوچه با کانسارهای سولفیداسیون پایین

کانی سازی طلا در محیط های زمین ساختی متفاوتی رخ می دهد که بر اساس گروز و همکاران (Groves *et al.* 1998) مهمترین آنها شامل: (۱) زون های فرورانش به صورت سیستم های پورفیری (Mo- Au, Cu-Au, Au-Cu)، اپی ترمال سولفیداسیون و سولفیداسیون بالا، چشمه های آبگرم، اپی ترمال نوع کارلین، سولفید توده ای نوع کوروکو و تیپ اسکارنی هستند. برای توضیح بیشتر در این خصوص می توان به پژوهش های سیلیتو (Sillitoe 2002, 1997, 1995, 1993) و (Sillitoe & Hedenquist 2003) اشاره کرد. (۲) زون های برخورد قاره ای به صورت محصول جانبی برخی از کانسارهای Sn-W پورفیری و نوع رگه ای در کمر بند های کوهزایی با سنگ های دگرگونی ناحیه ای و نفوذی های مرتبط که می توان از مهمترین پژوهش ها در این خصوص به برلین و ماهر (Bierlein & Maher 2001) و گلدفار و همکاران (Goldfarb *et al.* 2001) اشاره کرد. (۳) زون های گسترش اقیانوسی همراه با سولفیدهای توده ای نوع قبرسی (Lydon 1984)

۴: مقایسه کانسار گلوچه با کانسارهای اپی ترمال نوع رگه ای (Hedenquist *et al.* 2000 ; Bartwaite *et al.* 2001)

مشخصات	کانسارهای اپی ترمال رگه ای	کانسار مس-طلا گلوچه
موقعیت تکتونیکی	-حاشیه صفحات همگرا	زون برخورد حاشیه قاره و قوس قاره ای
سنگ میزبان	آندزیت، رپولیت، توف، داسیت	ریوداسیت، تراکی آندزیت، داسیت پورفیری
سن تشکیل	عمدتاً سنوزوئیک	اوسن-الیکوسن
عمق و دمای تشکیل	-عمق کمتر از ۴ کیلومتر	-عمق کمتر از ۲ کیلومتر
دگرسانی های رایج	سرسیستیک، آچولاریا و آرزلیک متوسط	سرسیستیک، آرزلیک متوسط، سیلیسی و پروپیلیتیک
بافت	شکافه پرکن و رگه ای	شکافه پرکن، رگه ای و حفره ای
کانی شناسی	اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت	کانکوپیریت، مگنیشیت، هماتیت، گالن و اسفالریت
فلزات اصلی	Au±Ag (Pb-Zn-Cu)	Au-Pb-Zn-Cu±Ag±Fe
ماهیت سیال کانه ساز	خنثی، فقیر از گوگرد و احیایی	خنثی، فقیر از گوگرد و احیایی-اکسیدی
منشا سیال کانه ساز	آب های جوی و ماگمایی	آب های جوی و ماگمایی



شکل ۱۳: نمودار دوتایی برای تعیین نوع کانی سازی طلا در کانسار گلوچه (Hodgson 1993)

نتیجه گیری

داده های حاصل از مطالعات صحرایی، سنگ شناسی، کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و سیالات درگیر در کانسار مس-طلا گلوچه نشان می دهد که:

۱- سنگ میزبان اصلی کانی سازی در منطقه سنگ های داسیت، ریوداسیت، آندزیت و تراکی آندزیت است که کانی سازی در این سنگ ها در چهار رگه اصلی با روند تقریبی شرقی-غربی با عیار متوسط طلا (ppm5/2)، مس (۰/۶-۱/۵٪)، نقره (ppm10)، سرب (۲-۳٪) و روی (۱-۳٪) رخ داده است.

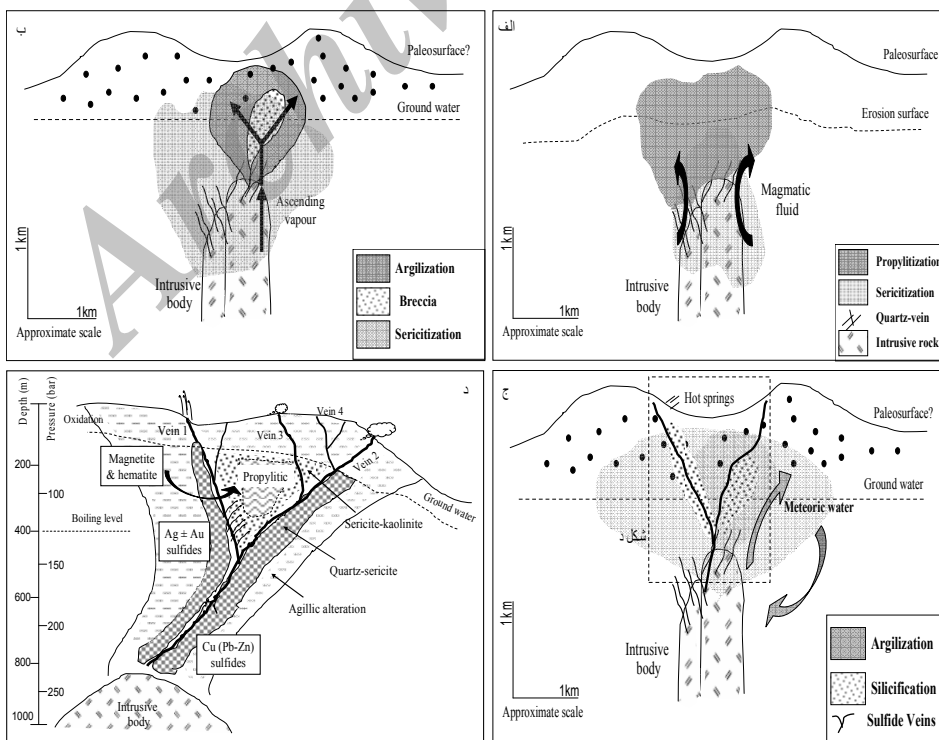
۲- کانی سازی در منطقه به دو صورت هیپوژن شامل کانی های مگنتیت، هماتیت ورقه ای (اسپیکولاریت)، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت و پیریت و سوپرژن شامل کالکوسیت، ملاکیت-آزوریت، دیژنیت، کوولین، سروزیت و همی مورفیت قابل مشاهده است. کانی های گانگ نیز عمدتاً شامل کوارتز، کلسیت، گوتیت، لیمونیت، اکسید آهن و فلوریت است ضمن آنکه بافت شکافه پرکن، برشی و حفره ای از مهمترین بافت های کانی سازی در منطقه به شمار می آیند.

۳- مهمترین دگرسانی ها در منطقه شامل دگرسانی های پروپیلیتی، آرژیلیک حد واسط، سریسیتی و سیلیسی شدن بوده که در اطراف رگه و کل منطقه قابل مشاهده هستند، ضمن آنکه دگرسانی های آلونیتی و کلریتی نیز به مقدار ناچیز قابل مشاهده است.

۴- مطالعات ژئوشیمیایی حاکی از همبستگی عناصر گروه مس-طلا (۰/۷۵)، سرب-طلا (۰/۸۴)، روی-طلا (۰/۸۰) و نقره-طلا (۰/۶۲) در رگه ها است. ضمن آنکه طلا با کادمیوم نیز همبستگی مثبت نشان می دهد.

۵- مطالعات سیالات درگیر حاکی از تغییرات حرارتی و عمق تشکیل سیال کانه ساز بوده که طی دو فاز کانه زایی بین 180-250°C و عمق تقریبی ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر برای کانی سازی طلا-نقره و 260-330°C و عمق تقریبی ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر برای کانی سازی فلزات پایه مس، سرب و روی رخ داده است. شوری سیال کانه ساز نیز در هر دو گروه غالباً کمتر از ۱۷ درصد وزنی معادل NaCl بدست آمده است.

با توجه به شواهد ذکر شده می توان چنین استنتاج کرد که کانسار مس-طلا گلوچه یک کانسار با تیپ اپی ترمال تا مزوترمال رگه ای بوده و احتمالاً بر روی یک کانسار پورفیری پنهان قرار گرفته که محلول کانه ساز در آن ترکیب احیایی و خنثی داشته و مقدار فوگاسیته گوگرد در آن ۱۴- < واحد است. وجود سیالات درگیر غنی از فاز بخار همراه با سیالات غنی از مایع+حباب کوچک و همگن شدن برخی سیالات به فاز بخار، حاکی از پدیده جوشش (Boiling) و متعاقب آن سرد شدگی (Cooling) سیال کانه ساز است که دو عامل مهم در ته نشینی مواد معدنی در این کانسار به شمار می آیند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: نمایی کلی از مراحل تکامل و نحوه کانی سازی پلی متال در کانسار رگه ای گلوچه بر اساس مدل برت وایت و همکاران (Bartwaite et al. 2001) - برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

منابع:

- پیروان ح. ۱۳۸۴: رده بندی کانی شناسی و ژئوشیمیایی سنگهای دگرسانی منطقه طارم. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. صفحات: ۴۲۷-۴۴۰.
- حاج علیلو ب. ۱۳۷۸: متالورژی ترشیری البرز باختری-آذربایجان (میان سیه رود) با نگرشی بر منطقه هشتجین، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات: ۳۲۳-۳۳۱.
- حاج علیلو ب. ۱۳۸۲: کاربرد مطالعات سیالات درگیر در اکتشافات کانسار های گرمایی با مثالی از منطقه هشتجین در جنوب خلخال، اولین همایش تخصصی زمین شناسی دانشگاه پیام نور تهران، صفحات: ۲۳۴-۲۴۰.
- حسینی م. ۱۳۷۴: آلونیت زایی در منطقه طارم، دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات: ۱۷۵-۱۸۶.
- معین وزیری ح. ۱۳۸۱: دیباچه ای بر ماگماتیسم در ایران. انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰.
- مهری ب. بابا خانی ر. و قلی پور م. ۱۳۸۱: اکتشاف ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان کربناتی در البرز. چکیده مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی ایران و اکتشافات معدنی کشور، صفحات: ۱۵۲-۱۵۵.
- نبوی م.ح. ۱۳۵۵: دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی ایران، ۱۰۹.
- هادی زاده ح. ۱۳۸۳: اکتشافات ژئوشیمیایی از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی در محدوده برکه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ برندق (از ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ ماسوله)، ۱۴۷.
- طرح اکتشاف طلا و عناصر همراه در منطقه گلوجه (شمال زنجان)، ۱۳۸۶: شرکت توسعه علوم زمین، ۲۰۰.
- نقشه راه های ایران: مقیاس ۱/۱۵۰۰۰۰، ۱۳۸۶: سازمان نقشه برداری کشور، ۴۶.
- Aghanabati A. 2003: Geology of Iran, Geol. Surv. Iran.
- Barton H.L., Skinner B.J. 1979: Sulfide mineral stabilities: in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Barnes, H.L., New York: Rinehart, and Winston.
- Bartwaite R.L., Simpson M.P., Faure K. 2001: Telescoped porphyry Cu-Mo-Au mineralization, advanced argillic alteration and quartz sulphide gold anhydrite veins in the Thames District, New Zealand. *Mineralium Deposita* 36: 623-640.
- 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.
- Cooke D.R., Simmons S.F. 2000: Characteristics and genesis of epithermal gold deposits, Rev. *Economic Geology* 13: 221-244.
- Cox K.G., Bell J.D., Pankhust R.J. 1979: The interpretation of igneous rocks: George Allen and Unwin, London.
- Davis R.G., Hamzhepour B., Clark G.C. 1972: Geology of Masuleh sheet (1/100000). NW Iran. Rep. No. 24, Geological Survey of Iran, Tehran, 110p.
- 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., Gebre-Mariam H., Hagemann and 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.I., Bodnar R.J. 1988: Freezing point depression of NaCl - KCl - H₂O. *Econ, Geol.* 65: 123.
- 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-Urrien 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.
- Hirayama K., Samimi M., Zahedi M., Hushmandzadeh A.M. 1965: Geology of Tarom district western part (Zanjan area) geology Survey of Iran, Rep, No:80.
- Hodgson C.J. 1993: Mesothermal lode-gold deposits. In: Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. 1987: Mineral Deposit modeling. *Geol. Assoc. Can. Spec* 40: 635-678.
- 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.
- 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.
- Le Maiter R.W. 1989: A classifications of igneous rocks and glossary of terms, Black well scientific publications.
- Lydon J.W. 1984: Volcanogenic massive sulfide deposits, Part 1--A descriptive model: *Geoscience Canada* 11: 195-202.
- Middlemost E.A.K. 1991: Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas, *Earth, Sci, Rev.* 31: 73-87.
- Pearce J.A., Can J.R. 1973: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using elements analysis, *Earth planet* 8: 290-300.
- Roedder E. 1984: Fluid Inclusions, Reviews in Mineralogy 12. Mineralogical Society of American.
- Sheppard T.J., Rankin A.H., Alderton D.H. 1985: A practical guide to fluid inclusion studies Glasgow, Blackie and son.

- 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: Rifting, bimodal volcanism, and bonanza gold veins: *Society of Economic Geologists* **48**: 24-26.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. 2003: Linkages between volcano-tectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits, in Simmons, S.F, and Groham, I., eds., Volcanic, Geothermal, and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes deep within the earth, Giggenbach memorial volume: Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication **10**: 315-343.
- Singer D.A. 1986a: 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.
- Slack J.F. 1993: Descriptive and grade-tonnage models for Besshi-type massive sulfide deposits, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and Duke, J.M., eds., Mineral deposit modeling, *Geological Association of Canada Special Paper* **40**: 343-372.
- Stöcklin J. 1968: Structural history and Tectonic of Iran, a review, *Am. Assoc. of Petroleum Geologists Bull* **52**: 1229-1258.
- Wood D.A., Joron J.L., Treuil M. 1979: A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series in different tectonic setting: *Earth Planet. Sci. letter* **45**: 326-336.

Archive of SID