

زمین شیمی ایزوتوپ اکسیژن و میانبارهای سیال در کانسار مس و روی سرگز، شمال غرب جیرفت، جنوب شرق ایران

حمید رستمی پور^(۱)، مهرداد بهزادی^(۲)

۱. دانشجوی دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲. دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

چکیده

کانسار مس و روی سولفید توده‌ای سرگز در ۳۰ کیلومتری هوایی شمال غرب شهرستان جیرفت و جنوب شرق ایران قرار دارد. بازالت‌های بالشی با سن تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین میزبان کانه‌زایی مس و روی سولفید توده‌ای می‌باشند. این کانسار در زون ساختاری سنندج-سیرجان واقع شده است. در این محدوده زون سولفید توده‌ای در مرز ژاسپر و بازالت قرار دارد، به صورتی که از سطح به عمق ابتدا واحد فلیشی و به ترتیب آندزیت، پیروکلاستیک، ژاسپر، سولفید توده‌ای، استرینگر برشی شده، استرینگر فاقد کانه‌زایی و بازالت رویت می‌شود. کانه‌زایی همراه با دگرسانی سیلیسی-کلریتی می‌باشد. این دگرسانی‌ها از لحاظ مکانی وابسته به کانه‌زایی هستند. در این پژوهش منشأ سیالات کانسار ساز به همراه شوری، عمق به دام افتادن و فشار محیط تشکیل کانسار مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه میانبارهای سیال نشان داد سیال گرمابی مولد کانه‌زایی متشکل از آب اقیانوسی و دگرگونی می‌باشد. مقادیر ایزوتوپ اکسیژن سیال محاسبه شده بین ۱/۲- تا ۱۳/۳۶- در هزار می‌باشد که نشان از اختلاط چند سیال با منشاهای متفاوت (آب جوی و آب اقیانوسی) است، بنابراین کانسار سرگز از سیالاتی با ماهیت جوی، اقیانوسی، حوضه‌ای و دگرگونی تشکیل شده است. مطالعه میانبارهای سیال نشان داد سیالات کانه‌زا در عمق کم و فشار پایین باعث تشکیل کانسار مس و روی سرگز شده است.

واژه‌های کلیدی: زمین شیمی، ایزوتوپ اکسیژن، میانبارهای سیال، سرگز، جیرفت

Oxygen isotope geochemistry and fluid inclusions in Sargaz copper and zinc deposit, northwest of Jiroft, southeast of Iran

Abstract

The copper and zinc sulfide deposit of Sargaz is located 30 aerial kilometers northwest of Jiroft city and southeast of Iran. Upper Triassic to Lower Jurassic pillow basalts host massive copper and zinc sulfide mineralization. This area is located in the structural zone of Sanandaj-Sirjan. In this area, there is a massive sulfide zone at the border of jasper and basalt, so that from the surface to the depth, first the flysch unit and andesite, pyroclastic, jasper, massive sulfide, sheared stringer, non-mineralized stringer and basalt can be seen. Mineralization is accompanied by siliceous-chlorite alteration. These alterations are spatially related to mineralization. In this research, the origin of ore-forming fluids along with salinity, trapping depth and pressure of the deposit formation environment have been investigated. The study of fluid inclusions showed that the hydrothermal fluid that produces mineralization consists of ocean water and metamorphism.

The calculated oxygen isotope values range from -1.2 to -13.36 per thousand, which indicates the mixing of several fluids with different origins (atmospheric water and oceanic water), so the Sargaz deposit is composed of atmospheric, oceanic, and basinal fluids and transformation is formed. The study of fluid inclusions showed that ore-forming fluids at shallow depth and low pressure caused the formation of Sargaz copper and zinc deposit.

Keywords: *Geochemistry, Oxygen isotope, Fluid inclusions, Sargaz, Jiroft.*

۱- مقدمه

نهیسته‌های (VMS) یکی از مهمترین منابع روی، مس، سرب، نقره و طلا در دنیا هستند. با وجود پژوهش‌های گسترده در مقیاس نهشته و در مقیاس ناحیه‌ای، هنوز ویژگی‌های کنترل‌کننده مکان رخداد اقتصادی این نهشته‌ها به خوبی شناخته نشده است. بر پایه دانش امروزی، نهشته‌های سولفید توده‌ای به صورت اتفاقی و تصادفی رخ نمی‌دهند، بلکه در زمانها و افق‌های چینه‌شناسی خاص در دریا و در حوضه‌های کششی فعال (از دید فعالیت آتشفشانی) تشکیل می‌شوند [۱]. نهشته‌های سولفید توده‌ای مرتبط با آتشفشان عمدتاً انباشت چینه‌ای سولفیدی هستند که از سیالات گرمایی در کف دریا یا زیر آن، در طیف وسیعی از فعالیت‌های زمین‌شناسی قدیمی و عهد حاضر تشکیل می‌شوند. این کانسارها در توالی چینه‌شناسی رسوبی-آتشفشانی رخ می‌دهند و معمولاً منطبق با سنگ‌های آتشفشانی میزبان هستند. به عنوان یک دسته‌بندی، آنها منبع قابل توجهی از عناصر مس، روی، سرب، طلا و نقره جهان را با Co, Ba, S, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga و Ge را شامل می‌شوند. درک بهتر تشکیل کانسارهای VMS قدیمی به شدت تحت تاثیر کشف و مطالعه دودکش‌های فعال و رسوب دهنده فلزی در کف دریا است. در طی سه دهه گذشته، بررسی‌های زیادی بر روی نهشته‌های سولفید توده‌ای کف دریا و دودکشهای سیاه انجام شده و تشابه زیادی بین نهشته‌های عهد حاضر و نهشته‌های VMS قدیمی ارائه شده است [۲ و ۳].

کانسار مس و روی سرگز در جنوب استان کرمان، فاصله ۳۰ کیلومتری هوایی شهرستان جیرفت واقع شده است. موقعیت آن در سیستم مختصات جغرافیایی $28^{\circ}45'07''$ و $28^{\circ}43'22''$ شرقی و $57^{\circ}20'57''$ و $57^{\circ}23'09''$ شمالی است. برای دسترسی به کانسار مورد نظر می‌توان از جاده آسفالت جیرفت-اسفندقه و راه خاکی شوسه معدن استفاده نمود. محدوده مورد نظر در نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار ورقه اسفندقه واقع شده که از نظر ساختاری در بخش جنوب‌شرقی زون سندنج-سیرجان قرار دارد. رشته کوه‌های منطقه سرگز شامل واحدهای آتشفشانی تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین، واحدهای پیروکلاستیکی به همراه زون فلیش در ژوراسیک می‌باشد که کانه زایی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نیز در این واحدها رخ داده است. نزدیکترین اندیس‌های معدنی مس به محدوده مورد مطالعه، کانسارهای متاع و سورگاه در جنوب‌شرق این محدوده است که هر دو از نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد می‌باشند. منطقه سرگز از نظر کانه‌زایی فلزی بسیار قابل توجه است به طوری که در این منطقه چندین معدن آهن و منگنز وجود دارد (سایت کاداستر معادن). منطقه سرگز عمدتاً از واحدهای آتشفشانی و رسوبی تشکیل شده است که نشان‌دهنده فعالیت آتشفشانی در یک حوضه رسوبی کم عمق تا فازهای پیروکلاستیکی است [۴ و ۵]. بدرزاده با مطالعه سنگ‌نگاری، شیمی سنگهای منطقه سرگز، پیکره کانسار، تکتونیک منطقه و همچنین پاراژنز کانیاپی، کانسار سرگز را یک کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد با بایمدال مافیک معرفی کرده است [۶]. اما تاکنون پژوهشی بر روی میانبارهای سیال و ایزوتوپهای اکسیژن سیالات مولد کانه‌زایی در این کانسار انجام نگرفته است. از آنجاییکه بیشترین حجم حفاری مغزه‌گیری و پودری در این کانسار مربوط به بعد از سال ۱۳۹۸ می‌باشد که منجر به کشف

زون‌های جدید کانه‌زایی نیز شده است، لذا اطلاعات کافی حفاری از بخش‌های مختلف کانسار جهت پژوهش‌های جدید در دسترس می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی زمین‌شیمی ایزوتوپ اکسیژن و میانبارهای سیال در کانی کوارتز موجود در دگرسانی کوارتز-کلریت جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ژنز سیالات کانه‌دار می‌باشد.

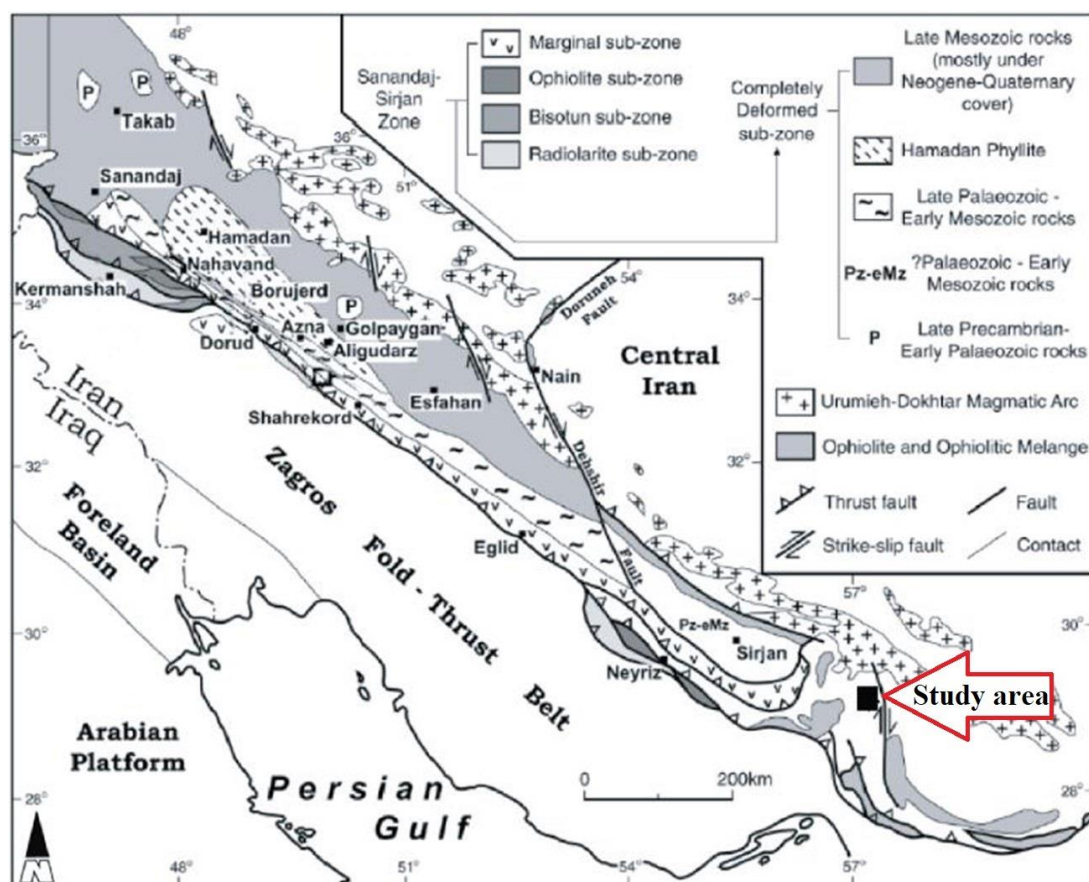
روش مطالعه

به دلیل هوازدگی‌های سطحی سعی بر این شد نمونه‌های سنگی از مغزه‌های حفاری برداشت گردند. تعداد ۴۰ نمونه برای تهیه مقاطع نازک و ۲۰ نمونه برای تهیه مقاطع صیقلی برای مطالعات کانی‌شناسی و کانه‌نگاری از مغزه‌های حفاری و تعداد کمی نیز از رخنمون‌های سطحی تهیه شد و در آزمایشگاه میکروسکوپی دانشگاه شهید بهشتی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس فراوانی و شفافیت، کانی کوارتز برای مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ اکسیژن انتخاب شد. از آنجایی که در بخش سولفید توده‌ای کانسار هیچگونه کانی اکسیدی رویت نگردید، برای مطالعه ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، منبع و تحول سیال کانه‌دار، ۹ مقطع دوبر-صیقلی (از کانی کوارتز در زون استرینگر) تهیه شد. پس از سنگ‌نگاری، تعداد ۸۹ میانبار سیال برای اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی انتخاب شد و توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد بررسی قرار گرفت. ریزدماسنجی توسط دستگاه THMSG Linkam ۶۰۰ در آزمایشگاه ریزدماسنجی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری محدوده دمایی ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. پارامترهای قابل اندازه‌گیری در مرحله سرمایش شامل: نقطه یوتکتیک (ظاهر شدن اولین مایع بعد از یخ زدن کامل) [7]، نقطه ذوب نهایی یخ و هیدروهالیت [8] هستند، و در مرحله‌ی گرمایش دمای همگن شدگی (ناپدید شدن حباب گاز) اندازه‌گیری شد. تعداد ۵ نمونه برای مطالعات ایزوتوپ اکسیژن، از زون استرینگر حاوی کانه‌زایی برداشت گردید. پس از پیرولیز یک نمونه جامد در دمای بالا (۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) در آنالیزور عنصری، تمام اتم‌های اکسیژن موجود در مولکول بر روی کربن سیاه و کربن شیشه‌ای به CO تبدیل شدند. گاز CO تولید شده از سیستم و ستون عبور می‌کند و از آب موجود در تله آب و همچنین CO در ستون تصفیه و تله خارج می‌شود. پس از حذف همه گازهای مزاحم، ستون دفع CO تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود و گاز نمونه CO با عبور از تله آب دوم و به داخل دستگاه IRMS آزاد شده و ایزوتوپ اکسیژن آن اندازه‌گیری می‌شود. آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های ایزوتوپ اکسیژن در آزمایشگاه ایزوتوپی دانشگاه اراک انجام شد.

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

محدوده مورد مطالعه در زون ساختاری سنندج-سیرجان واقع شده است. برخی نویسندگان زون سنندج-سیرجان با روند شمال-غرب-جنوب‌شرق را بخشی از کمربند کوه‌زایی زاگرس می‌دانند [۹ و ۱۰]. ویژگی‌های بارز سنندج - سیرجان به ویژه فرآیندهای دگرگونی آن در همه جا یکسان نیست. در نیمه جنوب شرقی این زون پدیده‌های دگرگونی به طور عمده حاصل عملکرد کوه‌زایی سیمین پیشین است در حالی که در نیمه شمالی آن رویدادهای سیمین میانی به ویژه کوه‌زایی لارامید از عوامل پلوتونیزم و دگرگونی هستند. مرز شمال‌شرقی آن با ایران مرکزی به دلیل پوشش گسترده واحدهای ترشیری و عهدحاضر به خوبی قابل تشخیص نمی‌باشد [۱۱] (شکل ۱). ویژگی‌های زمین‌ساختی این ناحیه متأثر از فرایند کافت اقیانوسی، گسترش اقیانوس نتوتیس، فرورانش و سرانجام بسته شدن این حوضه اقیانوسی است [۱۲]. طبق نظرات ارائه شده در مورد تاریخچه تکامل پهنه مزبور، از آغاز تریاس پسین، لیتوسفر اقیانوسی تتیس جوان در اثر فرورانش به زیر ورقه ایران، شروع به از میان رفتن کرده است و موجب جایگیری قوس ماگمایی سنندج-سیرجان به سن تریاس فوقانی شده است [۱۳]. بدرزاده با مطالعه زمین‌شیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرگز

این منطقه را حاصل ایجاد یک حوضه پشت قوسی قاره‌ای می‌داند که در اثر فروانش نتوتیس به زیر ایران مرکزی و نازک‌شدگی پوسته قاره‌ای ایجاد شده است [۶].



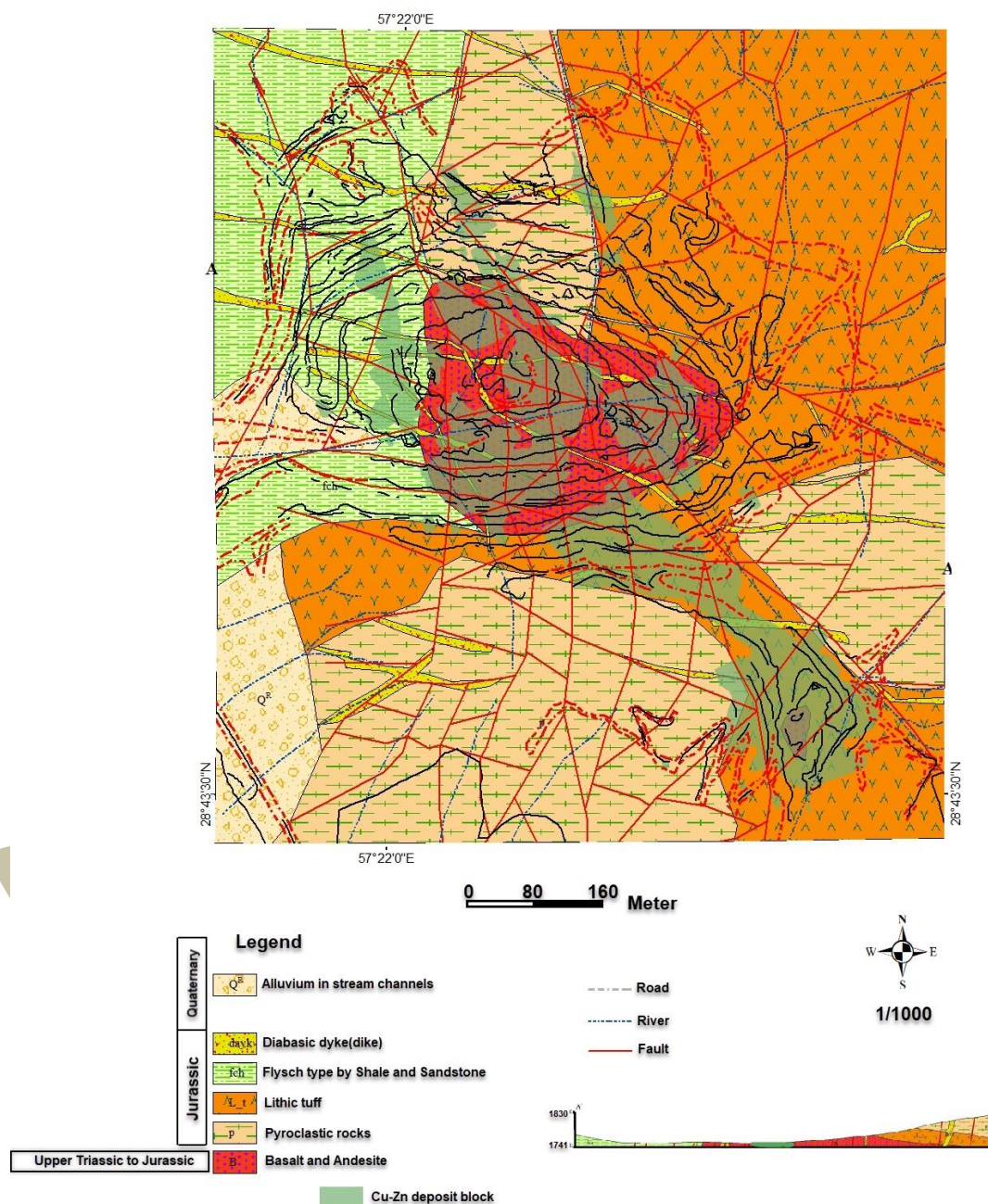
شکل ۱- پهنه ساندج-سیرجان به همراه موقعیت محدوده مورد مطالعه. [۱۴ و ۱۵].

۳- زمین شناسی کانسار

از قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه سرگز می‌توان به مجموعه‌های دگرگونی شیست، مرمر، فیلیت و آمفیبولیت اشاره کرد [۱۵]. توالی مزوزوئیک شامل توده‌های نفوذی گرانودیوریتی منطقه سرگز (۶ کیلومتری جنوب کانسار سرگز)، تناوبی از ماسه-سنگ، سنگ‌آهک توفی، سنگ‌آهک، سنگ‌های آذرآواری و سنگ‌های آتشفشانی بازیک و حدواسط است که واحدهای بازالتی با ساخت بالشی در بخش زیرین این توالی قرار دارند. سنگ‌های بازالتی میزبان کانه‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشانزاد سرگز می‌باشند [۱۶ و ۴]. همانگونه که در شکل ۲ مشخص است روند کانه‌زایی شمال‌غرب-جنوب‌شرق می‌باشد که تحت تاثیر گسلهایی با روند شمال-شرقی-جنوب‌غربی و شمال‌غربی-جنوب‌شرقی قرار گرفته‌اند، به نحوی که در برخی از بخشهای کانسار، مرز کانه‌زایی توسط گسلهای عمده رورانده جابجا شده و کنترل می‌شود.

همانطور که در بالا گفته شد، گسل‌های محدوده عمدتاً روورنده بوده و تاثیری در جابجایی افقی زون کانه‌زایی ندارند. دایک‌های محدوده آخرین فعالیت آذرین محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شوند و تمامی واحدهای سنگی را اعم از فلیش تا بازالت را قطع کرده‌اند. کانسار سرگز یک کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد بایمدال مافیک (نوراندا) می‌باشد [۴ و ۶]. زون کانه‌زایی سولفید توده‌ای به صورت چین‌ه‌سان مابین بازالت و ژاسپر به علاوه کلسیت در زیر واحدهای فلیش و آذرآواری قرار دارد.

Geological map of Sargaz

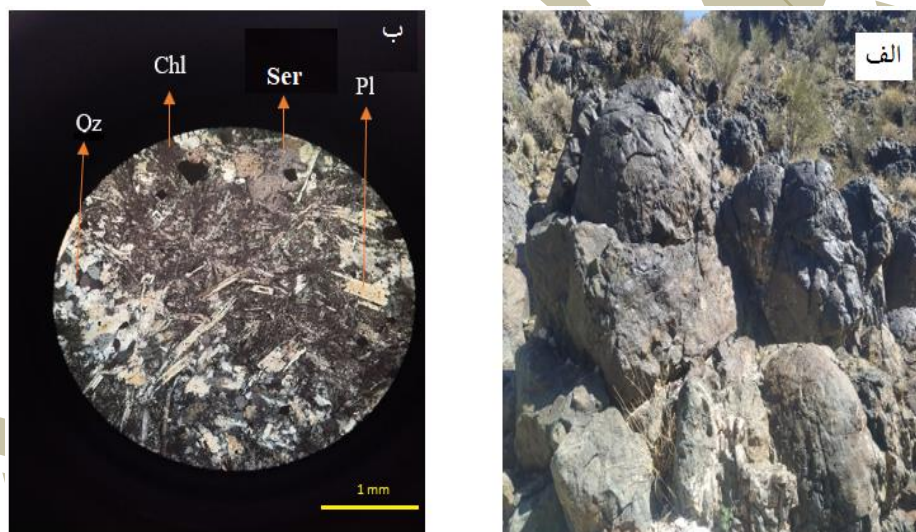


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ محدوده مورد مطالعه. روند کانه‌زایی به صورت شمال‌غرب-جنوب شرق می‌باشد.

کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری

بازالت

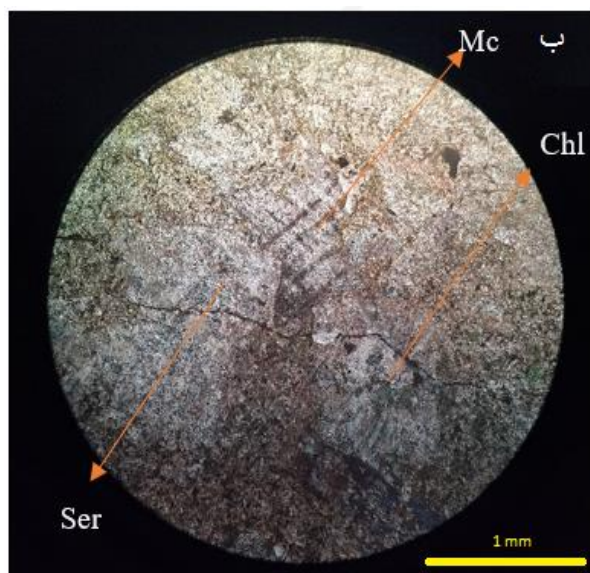
این واحد به طور معمول در بخش‌های شرقی محدوده رخنمون دارد که به صورت بالشی نیز دیده می‌شود. به دلیل فعالیت آتشفشانی در کف دریا و تاثیر آب دریا بر روی کانی‌های واحدهای آتشفشانی، این واحدها با هوازدگی همراه هستند، به صورتی که در مقاطع نازک کانی‌های مافیک سالم به ندرت قابل مشاهده می‌باشند. در مقاطع نازک مورد مطالعه تمامی کانی‌های مافیک به کلریت تبدیل شده‌اند. پلاژیوکلاز بعضاً در حال تبدیل به سربسیت می‌باشد. نکته قابل توجه حضور پلاژیوکلازهای دم پرستویی می‌باشد که نشان از سرد شدن سریع گدازه در کف اقیانوس است [۱۷]. در مقطع مورد مطالعه رگچه‌های کوارتز ثانویه نیز مشاهده گردید (شکل ۳).



شکل ۳- الف-بازالت با ساخت بالشی در محدوده مورد مطالعه، ب- مقطع میکروسکوپی XPL از بازالت‌های محدوده مورد مطالعه. Oz: کوارتز، Chl: کلریت، Ser: سربسیت، Pl: پلاژیوکلاز [۱۸].

آندزیت

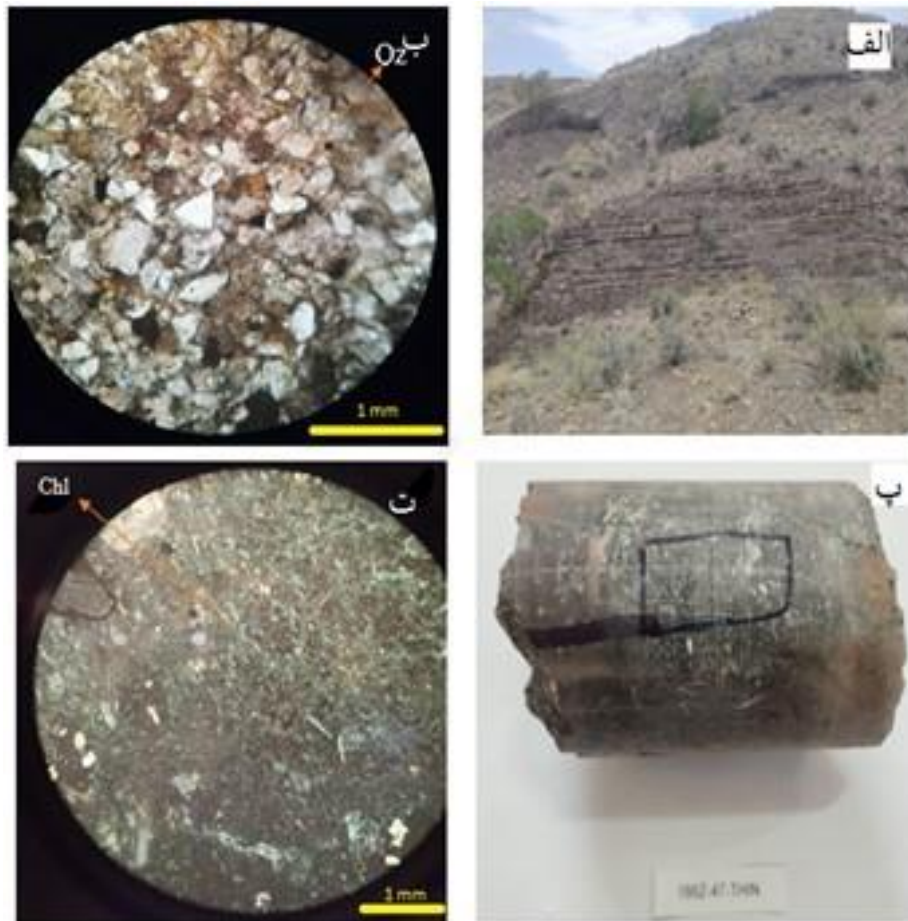
قسمت اعظم محدوده را این واحد سنگی به همراه واحدهای پیروکلاستیک تشکیل می‌دهد. از نظر زمانی واحد آندزیت و پیروکلاستیک پس از واحد بازالتی تشکیل شده‌اند. این واحد نیز مانند بازالت‌های محدوده دستخوش هوازدگی شده است به نحوی که کانی‌های مافیک عمدتاً به کلریت دگرسان شده است. این واحد در محدوده به رنگ سبز کم‌رنگ دیده می‌شود و بافت آن در مقطع میکروسکوپی پورفیری می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- الف- واحد آندزیتی در نمونه دستی و ب- همان نمونه در مقطع میکروسکوپی XPL که دگرسانی سرسیتی و کلریتی در آن مشاهده می‌گردد. Chl: کلریت، Ser: سرسیت، Mc: میکروکلین [۱۸].

فلیش و واحدهای پیروکلاستیکی

بخش مرکزی و بعضاً غربی محدوده را واحدهای سنگی فلیش با سنگ‌های شیل به همراه میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ تشکیل می‌دهد که بر روی واحدهای پیروکلاستیکی (و بعضاً آندزیتی) واقع شده است. این واحدها به صورت شیب ملایمی به سمت شمال‌غرب رانده شده‌اند. واحدهای پیروکلاستیک عمدتاً از نوع توف و ایگنمبریت می‌باشند (شکل ۵). در شکل ۶ نمایی کلی از محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



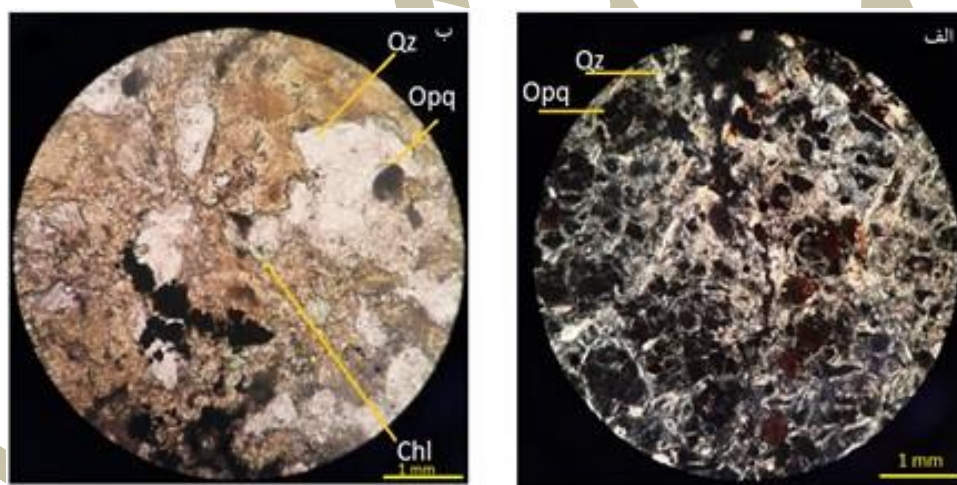
شکل ۵- الف- واحد ماسه سنگ با میان لایه های شیل (دید به سمت شمال غرب)، ب- مقطع نازک XPL از واحد ماسه- سنگی، پ- نمونه دستی از واحد توفی در محدوده مورد مطالعه و ت- مقطع نازک XPL همان نمونه که با زمینه شیشه (سیلیس مخفی بلور) و کلریت قابل مشاهده می باشد [۱۸].



شکل ۶- نمایی از محدوده مورد مطالعه و واحدهای دربرگیرنده کانسار (معدن) سرگز (دید به سمت شمال). نقشه یک هزار تهیه شده بخشی از این تصویر را دربرمی گیرد.

دگرسانی

کانی کوارتز معمولاً عضو جدایی ناپذیر سامانه های گرمایی می باشد. بررسی دگرسانی سیلیسی و کلریتی در کانسار سرگز از آن جهت اهمیت دارد که با کانه زایی رابطه مستقیم داشته و تقریباً در تمامی مغزه های حفاری مورد مطالعه همراه با کانه زایی مس و روی مشاهده می گردد (شکل ۷). دگرسانی سیلیسی به رنگ دودی تا شیری و دگرسانی کلریتی به رنگ سبز تیره قابل مشاهده است. به سمت توده معدنی، نسبت دگرسانی سیلیسی بیشتر از دگرسانی کلریتی است و در مغزه های حفاری بعضاً ضخامت این زون دگرسانی به بیش از ۴۰ متر می رسد. در فواصل دورتر از کانه زایی دگرسانی پروپیلیتیک از گستردگی بالایی برخوردار است. در مقاطع مورد مطالعه گاهی تمامی سنگ مادر به سیلیس تبدیل شده است اما در پهنه هایی که میزان دگرسانی کلریتی بیشتر است هنوز فابریک سنگ میزبان تا حدودی حفظ شده است کما اینکه پلاژیوکلازها درون سنگ میزبان طی مراحل بعدی دچار هوازدگی شده اند. در بخش های سطحی کانسار گاهی در اثر اکسیداسیون پیریت و کالکوپیریت، دگرسانی اکسید آهن و مالاکیت نیز رویت می شود.



شکل ۷- الف- کانی کواتز (Qz) و کانی های سولفیدی اوپک (Opq) در نور XPL و ب- کانی کوارتز (Qz)، کلریت (Chl) و کانی های اوپک (Opq) در نور PPL [۱۸].

کانه نگاری

کالکوپیریت

کانه کالکوپیریت مهمترین کانه سولفیدی مس می باشد که به صورت توده ای و رگه ای در نمونه ها همراه با پیریت، پیروتیت، اسفالریت و تنانتیت حضور دارد (شکل ۸). این کانه بی شکل بوده و در هیچ نمونه ای به تنهایی رویت نگردید.

پیریت

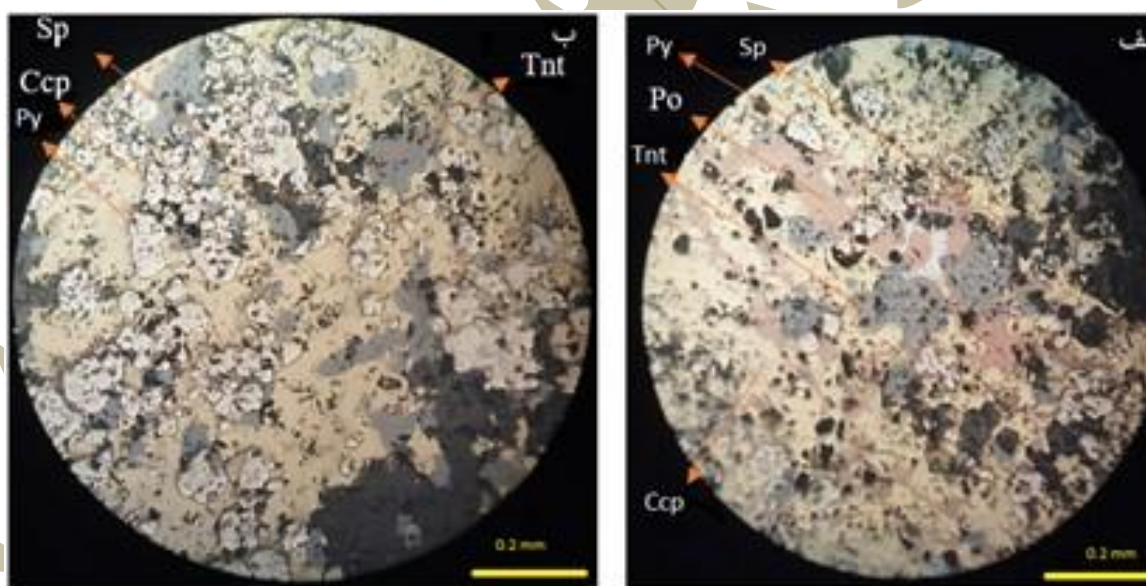
در مقاطع صیقلی پیریت به صورت شکل‌دار، نیمه شکل‌دار و بدون شکل مشاهده می‌شود. این کانه بیشترین همبستگی را با کالکوپیریت و اسفالریت دارد به طوریکه در تمامی مقاطع صیقلی سایر کانی‌های سولفیدی به همراه این کانه مشاهده می‌گردد. بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری، کانه پیریت تقریباً در تمامی زون‌های پرعیار، کم‌عیار و حتی باطله نیز قابل رویت است (شکل ۸ و ۹).

تنانتیت

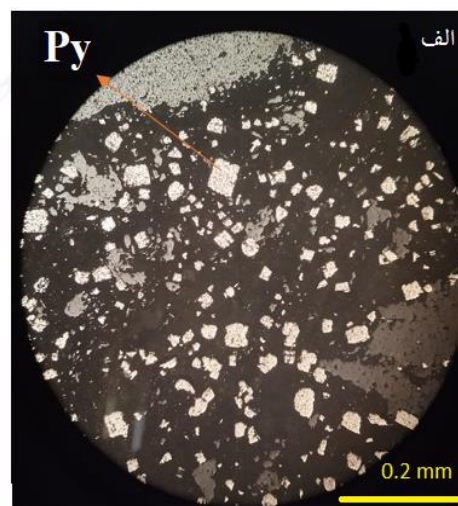
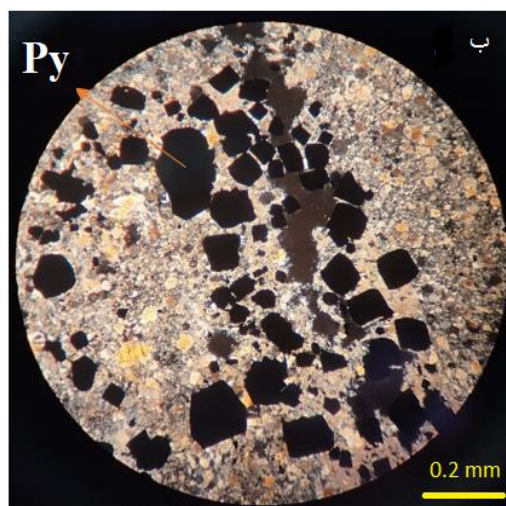
کانه تنانتیت در مقطع صیقلی به رنگ خاکستری روشن دیده می‌شود، این کانه بی شکل بوده و پاراژنز کانه‌های کالکوپیریت، اسفالریت و پیریت است (شکل ۸). از کانه‌های دیگر مشاهده شده در مقاطع صیقلی می‌توان به پیروتیت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و ملاکیت اشاره کرد (شکل ۱۰).

اسفالریت

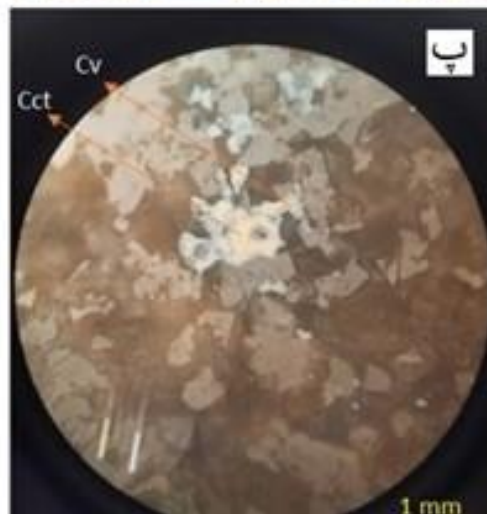
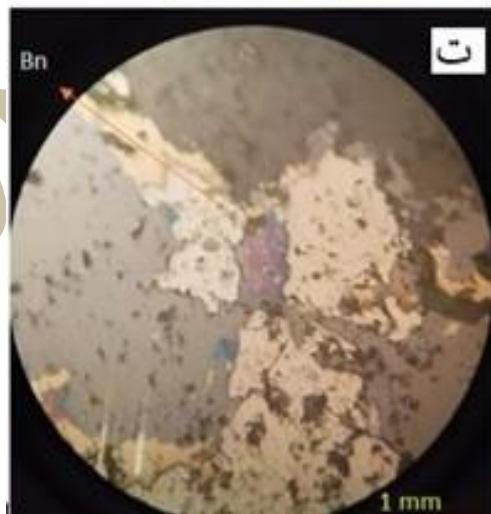
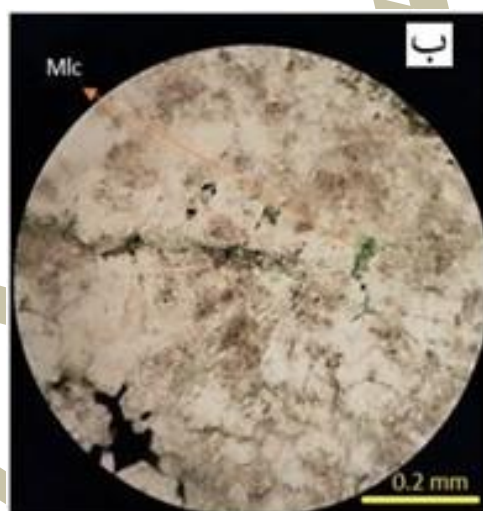
کانه اسفالریت کاملاً بی شکل بوده و با کانه‌های پیریت، تنانتیت، پیروتیت و کالکوپیریت به صورت هم‌رشدی قابل مشاهده است (شکل ۸). کانه اسفالریت بعضاً از حاشیه در حال جانشینی توسط گالن می‌باشد (شکل ۱۱).



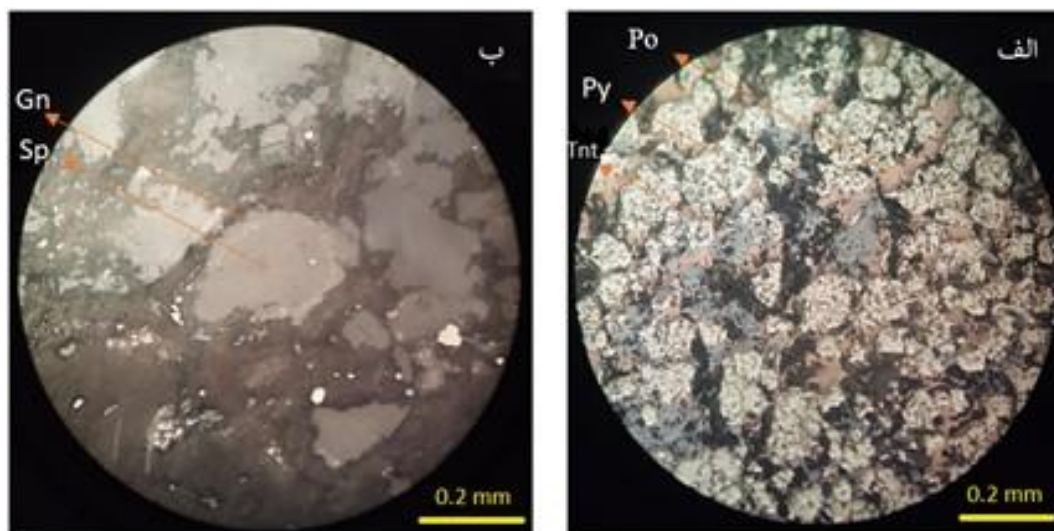
شکل ۸- الف - وجود ادخال بی شکل پیریت (Py)، پیروتیت (Po)، کالکوپیریت (Ccp)، اسفالریت (Sp) و تنانتیت (Tnt) در مقطع صیقلی و ب-کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و تنانتیت در مقطع صیقلی مشاهده می‌گردد [۱۸].



شکل ۹- الف- نمونه کانی شکل‌دار و نیمه شکل‌دار پیریت (Py) در مقطع صیقلی و ب- همان نمونه در مقطع نازک XPL [۱۸].



شکل ۱۰- الف- کانه‌زایی مالاکیت (Mlc) به صورت رگچه‌ای به همراه دگرسانی اکسید آهن به رنگ نارنجی و قهوه‌ای که شکاف بین واحدهای بازالتی را پر کرده است و ب- مقطع صیقلی کانی مالاکیت که به رنگ سبز مشاهده می‌شود و پ- مقطع صیقلی کالکوسیت (Cct) به رنگ سفید تا زرد روشن که از حاشیه در حال تبدیل شدن به کوولیت (Cv) به رنگ آبی کم‌رنگ می‌باشد و ت- بورنیت‌های (Bn) بدون شکل در مقطع صیقلی. نشانه‌های اختصار کانی‌ها از Whitney و Evans (۲۰۱۰) برگرفته شده است [۱۸].

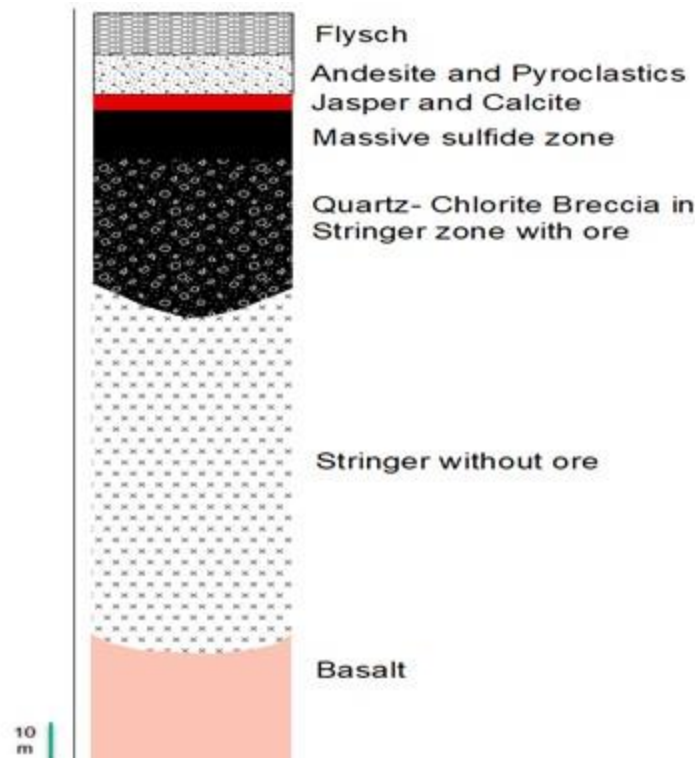


شکل ۱۱- الف- مقطع صیقلی کانی نیمه شکل‌دار پیریت (Py) به همراه پیروتیت (Po) و تنانتیت (Tnt) و ب- کانی بدون شکل اسفالریت (Sp) که از حاشیه در حال جانشینی توسط گالن (Gn) می‌باشد [۱۸].

بر پایه اطلاعات مغزه‌های حفاری و با توجه به شکل ۱۲ و ۱۳ به طور ایده‌آل درون مغزه‌های حفاری به ترتیب از سطح به عمق (۱) ابتدا فلیش و (۲) پس از آن آندزیت و پیروکلاستیک مشاهده می‌گردد. ضخامت هر کدام از این افقها حداقل ده متر می‌باشد. (۳) در زیر واحد پیروکلاستیک یک افق نازک ژاسپری-کلسیتی وجود دارد (شکل ۱۲-الف) که (۴) در زیر آن کانه‌زایی سولفید توده‌ای با کانه‌های کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، پیروتیت و تنانتیت مشاهده می‌گردد (شکل ۱۲-ب و پ). ضخامت افق کانه‌دار بین ۸ تا ۲۱ متر و به طور متوسط ۱۵ متر می‌باشد (شکل ۱۳). (۵) به سمت پایین، کانه‌زایی سولفید توده‌ای با زون استرینگر برشی شده کوارتز-کلریتی حاوی مقدار کمی پیریت-کالکوپیریت-اسفالریت جایگزین می‌شود، میزان دگرسانی سیلیسی از دگرسانی کلریتی بیشتر است (شکل ۱۲-ت). (۶) زون استرینگر فاقد کانه‌زایی با رگچه‌های پیریت و سیلیس همراه است (شکل ۱۲-ث). سنگ میزبان زونهای استرینگر بازالت می‌باشد که بافت اولیه آن در زون استرینگر فاقد کانه‌زایی تا حدودی حفظ شده است. ضخامت این زون در مغزه‌های حفاری بیشتر از سایر افقها می‌باشد (شکل ۱۳).



شکل ۱۲- الف- مرز بین کانه‌زایی سولفید توده‌ای با ژاسپر و کلسیت درون مغزه حفاری برش خورده که به رنگ نارنجی نشان داده شده است .
 [۱۸]. ب- نمونه دستی از کالکوپیریت در زون سولفید توده‌ای. پ- کانه‌زایی سولفید توده‌ای درون مغزه‌های حفاری در زیر افق ژاسپری. ت-
 زون استرینگر برشی درون مغزه حفاری که با رنگ نارنجی مشخص شده است. این زون نیز در زیر زون سولفید توده‌ای قرار دارد و حاوی
 مقادیر کمی کانی پیریت و کالکوپیریت می‌باشد. ث- زون اسرینگر با زمینه بازالت به همراه رگچه‌های پیریتی و سیلیسی و ج- بازالت تحتانی



شکل ۱۳-مقطع چینه‌شناسی کانسار سرگز

استفاده از آنالیزهای ایزوتوپی برای تعیین منشأ سیالات گرمایی دارای اهمیت ویژه‌ای است [۱۹]. مقادیر اندازه‌گیری شده ایزوتوپ اکسیژن کوارتز بین $+0.64$ تا $+11.9$ با میانگین $+6.3$ در هزار نسبت به استاندارد آب اقیانوس‌ها می‌باشد (جدول ۱). ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سیال کانه‌زا در کانسار مس سرگز در تعادل با کوارتز با استفاده از معادله تفکیک ایزوتوپی کوارتز-آب [20] از مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ کوارتز تفکیک شد. برای این کار از معادله شارپ به صورت زیر:

$$1000\ln\alpha = 4.28 \frac{10^6}{T^2} + -3.5 \frac{10^3}{T}$$

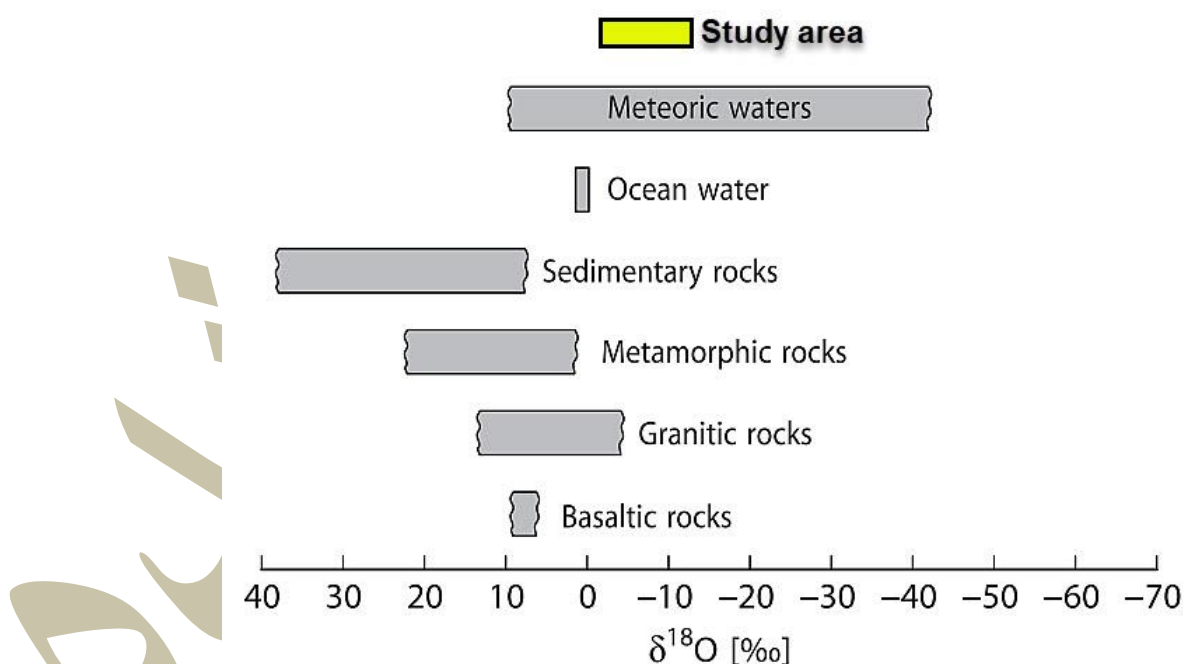
کار برده شد [20].

جدول ۱- مقادیر ایزوتوپ اکسیژن سیال نسبت به ایزوتوپ اکسیژن کوارتز

Sample Name	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Quartz}} (\text{‰}) \text{ vs } V_{\text{SMOW}} \pm 1\sigma$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Water}} (\text{‰}) \text{ vs } V_{\text{SMOW}} \pm 1\sigma$
186-87-IS, O	+11.9	-2.1
198-81-IS, O	+0.64	-13.36
195-52-IS, O	+5.3	-8.7
195-76-IS, O	+6.0	-8

180-107-IS-O	+7.7	-6.3
--------------	------	------

مقادیر ایزوتوپ اکسیژن سیال محاسبه شده بین ۱۳/۳۶- تا ۲/۱- در هزار می‌باشد. بر اساس شکل ۱۴، منشأ اکسیژن سیال گرمابی مولد کانه‌زایی متشکل از آب جوی، آب سنگهای گرانیتی و آب اقیانوسی می‌باشد. در ۶ کیلومتری جنوب کانسار سرگز یک توده نفوذی گرانودیوریتی به سن ژوراسیک پسین به درون واحدهای آتشفشانی و رسوبی منطقه نفوذ کرده است [21]. این احتمال وجود دارد که پس از تشکیل کانسار سرگز، سیالات گرمابی این توده این کانسار را نیز تحت تاثیر قرار داده باشند و اثرات این سیالات بیگانه در نمودار ایزوتوپ اکسیژن کانسار مشهود باشد. آبهای جوی ممکن است تحت تاثیر فعالیتهای گرمابی بعد از تشکیل کانسار به درون رگه‌ها نفوذ کرده باشند. از آنجایی که تیپ کانسار مس و روی سرگز سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نامگذاری شده است، بنابراین می‌توان گفت اختلاط آبهای جوی و آبهای اقیانوسی سبب بوجود آمدن سیالات گرمابی مولد کانه‌زایی شده و یا اینکه آبهای جوی تشکیل‌دهنده عمده سیالات کانه‌ساز بوده‌اند که ترکیب ایزوتوپی آنها در نتیجه واکنش با سنگهای آتشفشانی - رسوبی تغییر یافته است [22].

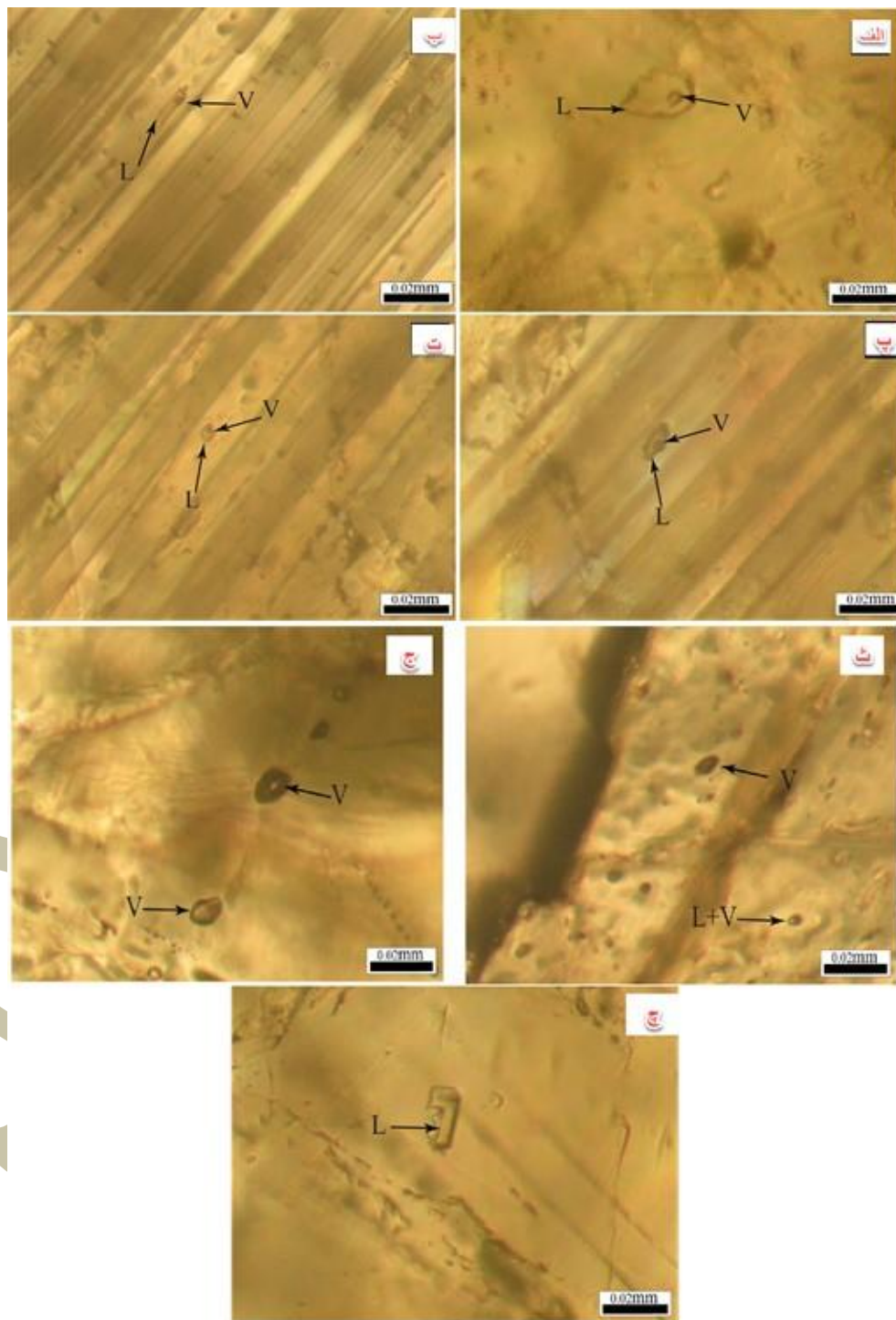


شکل ۱۴- موقعیت ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سیال مولد کانه‌زایی در کانسار سولفید توده‌ای سرگز نسبت به منابع تعیین شده [23].

مطالعه سیالات درگیر

شکل میانبارهای سیال تا حدودی توسط ساختمان بلوری کانی میزبان کنترل می‌شود [24]. رایج‌ترین شکل میانبارهای سیال در نمونه‌ها، انفرادی و دنباله‌ای است. میانبارهای سیال اولیه با شواهدی چون قرارگیری در پهنه‌های رشد بلور، توزیع تصادفی در سه بعد، مجزا بودن از میانبارهای سیال کناری و اندازه قابل توجه نسبت به کانی میزبان تشخیص داده می‌شوند [25]. بر اساس

تقسیم‌بندی Goldstein [26]، در نمونه‌های مورد مطالعه ۳ نوع میانبار سیال قابل تشخیص است که عبارتند از دو فاز غنی از مایع و گاز، تک فاز غنی از گاز و تک فاز غنی از مایع. (۱) در میانبار سیال دوفازی، فاز حباب گاز همراه با فاز مایع وجود دارد. بیشترین حجم میانبار سیال را فاز مایع دربرمی‌گیرد و فاز گازی تنها ۵ تا ۳۰٪ حجم میان‌بارهای سیال مطالعه شده را شامل می‌شود. بیشترین نوع میان‌بار سیال مطالعه شده در نمونه‌ها این نوع میان‌بارهای سیال می‌باشد (شکل ۱۵-الف تا ت). (۲) در میان‌بارهای سیال تک فاز غازی حباب تنها فاز تشکیل دهنده می‌باشد. بنابراین از این نوع سیالات نمی‌توان برای اندازه‌گیری میکروترموتری استفاده نمود. این میان‌بارها فراوانی زیادی در نمونه‌ها دارند و به صورت ثانویه نیز مشاهده می‌گردند. بیشتر به شکل بیضوی با رنگ تیره و کمتر به رنگ روشن دیده می‌شوند (شکل ۱۵-ث و ج). اندازه‌ی آنها از ۲ تا ۱۰ میکرون می‌باشد. (۳) میان‌بارهای تک فاز غنی از مایع فراوانی کمی در نمونه‌ها دارند و بیشتر به شکل نامنظم و بیضوی دیده می‌شوند (شکل ۱۵-ج). اندازه‌ی آنها از ۵ تا ۱۲ میکرون می‌باشد. در این تیپ از میان‌بارهای سیال فاز مایع تمام حجم میان‌بارهای سیال را در بر می‌گیرد و فاز گازی وجود ندارد. لذا از این نوع از سیالات نمی‌توان جهت اندازه‌گیری میکروترموتری استفاده نمود. فراوانی این نوع میان‌بارهای سیال بسیار کم می‌باشد. عدم حضور فاز جامد (هالیت) در میان‌بارهای سیال به دلیل شوری متوسط تا پایین سیالات کانه‌ساز است [27].



شکل ۱۵- تصویر میکروسکوپی از میانبار سیال. الف- میانبار سیال دوفازی مایع-گاز با اشکال مختلف، ب- کشیدگی میانبار سیال که می‌تواند ناشی از به دام افتادن سیال در جهت رخ‌های کانی کوارتز حین تبلور باشد. پ و ت- میانبار سیال دو فازی مایع و بخار، ث- میانبار سیال تک فازی گازی و دوفازی مایع و گاز، ج- میانبار سیال تک فازی گازی ثانویه که در یک ردیف قرار گرفته‌اند و چ- میانبار سیال تک فازی مایع.

منشا سیال کانه‌ساز و عمق تشکیل کانسار

همانگونه که در (شکل ۱۶-الف) مشخص است، کمینه و بیشینه دمای همگن‌شدگی مایع و بخار ۹۸ و ۲۶۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بنابراین عمق جوشش سیالات کانه‌زا بین ۰ تا ۴۱۰ متر متغیر است. از آنجایی که کانسار سرگز از نوع سولفید توده‌ای است، می‌توان عمق جوشش سیال در عمق صفر متری را به دودکش‌های سیاه حاوی کانه‌زایی یا تشکیل چرت در بخش بالایی آن و عمق ۴۱۰ متر را به قسمت‌های تحتانی زون استرینگر ارتباط داد. کمینه همگن‌شدگی مایع و بخار ۹۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به نمونه مغزه از عمق ۳۸ متری برداشت شده و بیشینه دمای همگن‌شدگی مایع و بخار ۲۶۴ درجه سانتی‌گراد مربوط به نمونه مغزه از عمق ۱۸۰ متری برداشت شده است. بنابراین جابجایی ترازهای ارتفاعی توسط گسل‌های قدیمی و خطای دستگاهی را نیز باید در نظر گرفت. در محدوده دمای همگن شدن سیال بین ۹۸ تا ۲۶۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، درجه شوری بین ۱/۷۴ تا ۱۰/۷۳ با میانگین ۵/۵۳ درصد، معادل درصد وزنی نمک طعام است. در جدول ۲ داده‌های میانبارهای سیال نشان داده شده است. از آنجایی که قسمت اعظم میانبارهای سیال کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز در محدوده سیالات با منشأ دریایی، سیال حوضه‌ای (حوضه‌های آبی ساحلی جدامانده از آب اقیانوسها) و دگرگونی قرار دارد (شکل ۱۶-ب)، به نظر می‌رسد چند سیال در تشکیل کانسار مورد مطالعه مشارکت داشته است [28] که نقش سیال با منشأ دریایی بیشتر از سایرین می‌باشد. با توجه به نقشه یکصد هزار ورقه اسفندقه، در مسیر رودخانه (منطقه) سرگز رخنمون‌هایی از واحدهای دگرگونه میکاشیست، سربانتینیت شیست، آمفیبولیت شیست، گارنت شیست و اکتینولیت شیست به سن پالئوزوئیک-تریاس وجود دارد. سنگ میزبان کانه‌زایی مس سرگز نیز ژوراسیک می‌باشد [21]، بنابراین این احتمال وجود دارد سیال دگرگونی که در تشکیل کانسار سرگز نقش داشته است، از واحدهای دگرگونه قدیمی این منطقه تامین شده باشد.

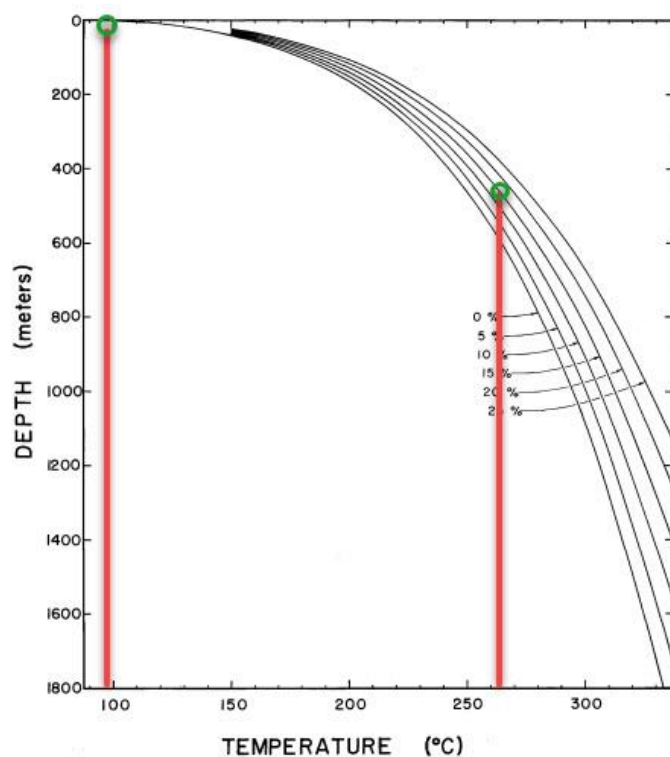
جدول ۲- داده‌های میانبارهای سیال کانسار سرگز

No	sample	phase	Tice	Th V-L	salinity
1	117-38-FI	L-V	-1.2	98	2.07
2	117-38-FI	L-V	-3.2	160	5.26
3	117-38-FI	L-V	-3	125	4.96
4	117-38-FI	L-V	-3.5	164	5.71
5	117-38-FI	L-V	-4	173	6.45
6	117-38-FI	L-V	-2.5	186	4.18
7	117-38-FI	L-V	-3.9	163	6.30
8	117-38-FI	L-V	-4.3	175	6.88
9	117-38-FI	L-V	-2.6	143	4.34
10	117-38-FI	L-V	-3.3	139	5.41
11	186-90-FI	L-V	-1.4	136	2.41
12	186-90-FI	L-V	-1.8	138	3.06
13	186-90-FI	L-V	-2.2	139	3.71
14	186-90-FI	L-V	-2.5	136	4.18
15	186-90-FI	L-V	-1.9	138	3.23
16	186-90-FI	L-V	-1.5	135	2.57

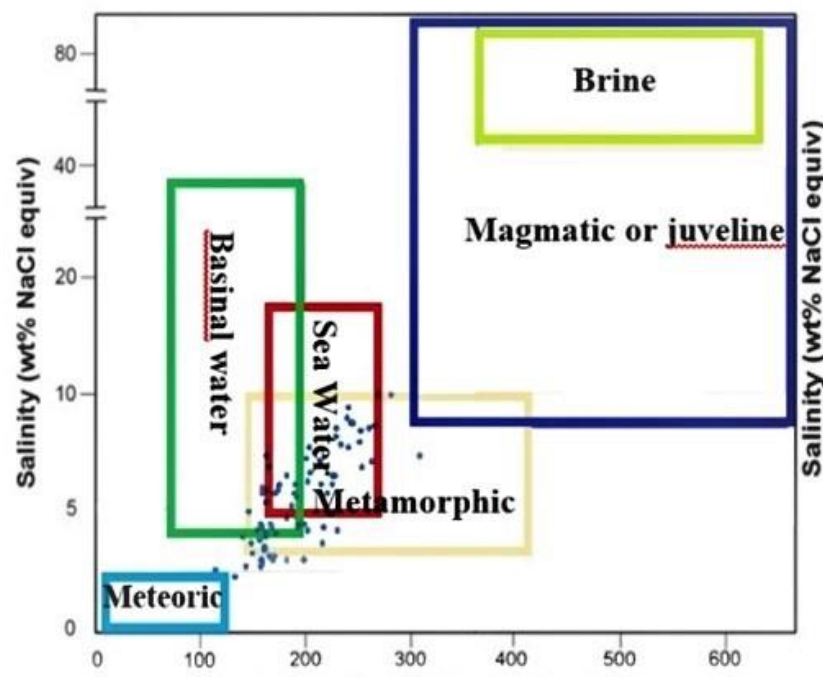
17	186-90-FI	L-V	-5.4	215	8.41
18	186-90-FI	L-V	-5.9	223	9.08
19	186-90-FI	L-V	-4.7	225	7.45
20	186-90-FI	L-V	-1.6	142	2.74
21	186-90-FI	L-V	-2.4	132	4.03
22	186-90-FI	L-V	-2	127	3.39
23	186-90-FI	L-V	-1.6	146	2.74
24	186-90-FI	L-V	-2.3	139	3.87
25	186-90-FI	L-V	-3.6	189	5.86
26	186-90-FI	L-V	-1.5	170	2.57
27	186-90-FI	L-V	-2.8	156	4.65
28	186-90-FI	L-V	-3.7	139	6.01
29	186-90-FI	L-V	-4.5	142	7.17
30	194-180-FI	L-V	-2.1	134	3.55
31	194-180-FI	L-V	-2.5	144	4.18
32	194-180-FI	L-V	-6.70	206	10.11
33	194-180-FI	L-V	-4.90	264	7.73
34	194-180-FI	L-V	-3.7	149	6.01
35	194-180-FI	L-V	-4.2	195	6.74
36	194-180-FI	L-V	-2.50	165	4.18
37	194-180-FI	L-V	-6.1	210	9.34
38	194-180-FI	L-V	-5.2	174	8.14
39	194-180-FI	L-V	-1.5	136	2.57
40	194-180-FI	L-V	-2.3	147	3.87
41	194-180-FI	L-V	-3.6	146	5.86
42	194-180-FI	L-V	-2.4	197	4.03
43	194-180-FI	L-V	-1.3	135	2.24
44	195-80-FI	L-V	-7.2	241	10.73
45	195-80-FI	L-V	-5.3	200	8.28
46	195-80-FI	L-V	-2.2	120	3.71
47	195-80-FI	L-V	-6.3	205	9.60
48	195-80-FI	L-V	-5.9	196	9.08
49	195-80-FI	L-V	-4.5	217	7.17
50	195-80-FI	L-V	-6.1	208	9.34
51	195-80-FI	L-V	-4.8	172	7.59
52	195-80-FI	L-V	-3.9	193	6.30
53	195-80-FI	L-V	-2.6	135	4.34
54	195-80-FI	L-V	-5	179	7.86
55	195-49-FI	L-V	-2	185	3.39

56	195-49-FI	L-V	-1.5	156	2.57
57	195-49-FI	L-V	-2.4	173	4.03
58	195-49-FI	L-V	-1.5	145	2.57
59	195-52-FI	L-V	-5.6	196	8.68
60	195-52-FI	L-V	-3	189	4.96
61	195-52-FI	L-V	-5.2	206	8.14
62	195-52-FI	L-V	-4.7	183	7.45
63	198 -70-FI	L-V	-1.3	123	2.24
64	198 -70-FI	L-V	-1.7	128	2.90
65	198 -70-FI	L-V	-4.2	156	6.74
66	198 -70-FI	L-V	-3.9	184	6.30
67	198 -70-FI	L-V	-2.6	165	4.34
68	198 -70-FI	L-V	-1	114	1.74
69	198 -70-FI	L-V	-4.9	139	7.73
70	198 -70-FI	L-V	-3.6	136	5.86
71	198 -70-FI	L-V	-4.2	193	6.74
72	198 -70-FI	L-V	-2.6	170	4.34
73	193-105-FI	L-V	-3.9	150	6.30
74	193-105-FI	L-V	-5.8	216	8.95
75	193-105-FI	L-V	-6	227	9.21
76	193-105-FI	L-V	-2.9	192	4.80
77	193-105-FI	L-V	-3.8	136	6.16
78	193-105-FI	L-V	-7.2	230	10.73
79	193-105-FI	L-V	-3.6	162	5.86
80	19-72-FI	L-V	-1.3	123	2.24
81	197-72-FI	L-V	-1.7	128	2.90
82	197-72-FI	L-V	-4.2	156	6.74
83	197-72-FI	L-V	-3.9	184	6.30
84	197-72-FI	L-V	-2.6	165	4.34
85	197-72-FI	L-V	-1	114	1.74
86	197-72-FI	L-V	-4.9	139	7.73
87	197-72-FI	L-V	-3.6	136	5.86
88	197-72-FI	L-V	-4.2	193	6.74
89	197-72-FI	L-V	-2.6	170	4.34

از شکل ۱۶-ب می‌توان چنین استنباط کرد که با توجه به محیط دریایی تشکیل کانسار، منشأ سیال کانه‌زایی از اختلاط آب دریا و آب حوضه‌ای با آبهای دگرگونی واحدهای زیرین می‌باشد که در آن نسبت آب دریا بیشتر بوده است، سپس چرخش سیال گرمایی در بازالت‌های بالشی موجب هضم عناصر در خود شده است [29].



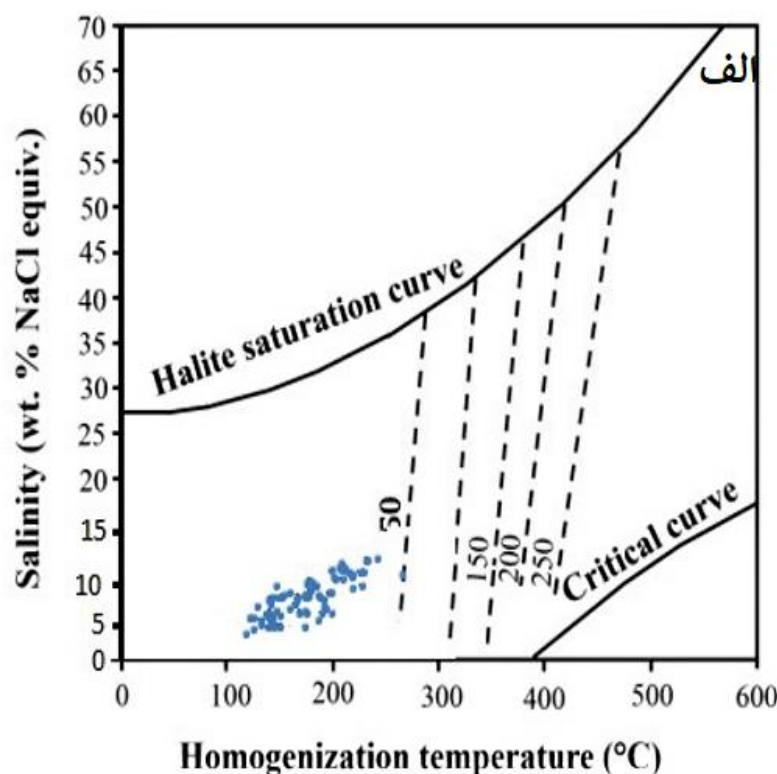
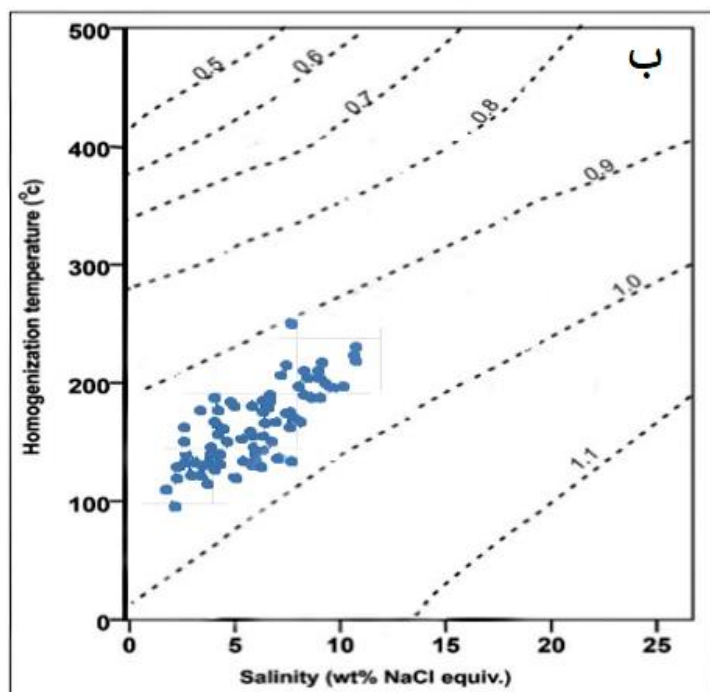
شکل ۱۶-ب منحنی دمای همگن‌سازی سیال برای میانبرهای غنی از مایع و بخار که روی منحنی‌های عمق نقطه جوش برای سیالات با شوری‌های مختلف قرار گرفته‌اند [30]. در دمای ۲۶۴ درجه همگن‌شدگی - شوری سیال نزدیک به ۱۰ می‌باشد و بر روی منحنی شوری ۱۰ قرار می‌گیرد.



شکل ۱۷- موقعیت دمای همگن شدگی میانبارهای سیال در مقابل شوری [31] و همانگونه که مشخص است بیشتر نقاط در محدوده آب دریایی، آب دگرگونی و کمتر آب حوضه ی و جوی قرار دارند به صورتی که اکثر نمونه‌ها در محدوده آب دریایی قرار گرفته‌اند.

تعیین فشار و چگالی

برای تعیین فشار تشکیل کانسار از منحنی دمای همگن شدگی در مقابل شوری استفاده شد (شکل ۱۷-الف). همانگونه که در این شکل مشخص است تمامی نمونه‌ها در زیر منحنی اشباع نمک قرار گرفته‌اند. قرار گرفتن نمونه‌ها بین منحنی بحرانی و منحنی اشباع نمک نشان‌دهنده دما و شوری نسبتاً پایین این نمونه‌ها می‌باشد [32]. بر اساس نمودار بدست آمده از دمای همگن شدگی و شوری، کانسار در فشار ۵۰ بار و کمتر از آن تشکیل شده است (شکل ۱۷-الف) و با توجه به میانگین شوری ۷ درصد، تشکیل کانسار در عمق کمتر از ۵۵۰ متر می‌باشد [30]. مطابق شکل ۱۷-ب کاهش دمای همگن شدگی از ۲۶۴ درجه سانتی‌گراد به ۹۸ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش چگالی از ۰/۹ تا نزدیک به ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌شود. بر این اساس، یک انطباق منفی چگالی نسبت به افزایش شوری و دما وجود دارد. این احتمال وجود دارد که در دماهای کمتر، مقدار بخار بیشتری در کانی‌ها محبوس گردد.



شکل ۱۷-الف- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری، منحنی اشباع نمک و منحنی بحرانی [33] و ب- منحنی شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی سیال برای تعیین چگالی سیال [34].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری به همراه مطالعات ایزوتوپی اکسیژن و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میانبارهای سیال کوارتز در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز مورد بررسی قرار گرفت. کانه‌زایی به صورت سولفید توده‌ای و استرینگر می‌باشد. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سیال کانه‌زا در کانسار مس و روی سرگز در تعادل با رگه‌های کوارتزی تفکیک شد. بررسی‌ها نشان داد سیال گرمابی مولد کانه‌زایی متشکل از آب جوی و اقیانوسی می‌باشد. شواهد ریزدماسنجی میانبارهای سیال کانسار مس و روی سرگز نشان‌دهنده منشأ عمدتاً دریایی و دگرگونی سیالات کانسار ساز می‌باشد. اغلب میانبارها دوفازی با فاز غالب مایع می‌باشند. شواهد فیزیکوشیمیایی میانبارهای سیال بیانگر تشکیل کانسار در فشار کمتر از ۵۰ بار و عمق بین ۰ تا ۴۱۰ متر می‌باشد. در بررسی‌های سنگ‌شناسی میانبارهای سیال هیچگونه فاز جامدی رویت نگردید که می‌تواند به دلیل کم بودن شوری سیال جهت تشکیل بلور باشد، همانگونه که چگالی سیال نیز کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان مقاله از زحمات شرکت طلایه داران مس جیرفت و شرکت بهساز کانسار پارس بوم کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

1. Allen, R. L., Weihed, P., Blundell, D., Crawford, T., Davidson, G., Galley, A., Gibson, H., Hannington, M., Herzig, P., Large, R., Lentz, D., Maslennikov, V., McCutcheon, S., Peter, J. M. & Tornos, F. "Global comparisons of volcanic-hosted massive sulphide districts. In: Blundell, D. J., Neubauer, F. and Von Quadt, A. (editors), *The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen*", Iran. Geological Society, London, Special Publications, 204 (2002), 13-37. <https://doi.org/10.1007/s00126-012-0407-6>
2. Hannington, M.D., Jonasson, I.R., Herzig, P.M., and Petersen, S. "Physical and chemical processes of seafloor mineralization at midocean ridges, in Humphris, S.E., Zierenberg, R.A., Mullineaux, L.S., and Thomson, R.E., eds., *Seafloor hydrothermal systems: Physical, chemical, biological and geological interactions: Geophysical Monograph*", American Geophysical Union, 91 (1995), 115–157. <https://doi.org/10.1029/GM091p0115>
3. Rona, P.A., and Scott, S.D. "A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New perspectives–Preface", *Economic Geology*, 88 (1993), 1933–1976. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.88.8.1935>
4. Badrzadeh, Z., Timothy, J., Barrett, M., Gimeno, D., Sabzehei, M., Aghazadeh, M. "Geology, mineralogy, and sulfur isotope geochemistry of the Sargaz Cu–Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Sanandaj–Sirjan Zone", Iran. *Miner Deposita journal*. 46 (2011), 905–923. <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-011-0357-4>
5. Badrzadeh, Z., Sabzehei, M., Rastad, E., Emami, E. H., Gimeno, D. "Various stages of Sulfide mineralization in Sargaz volcanogenic massive sulfide deposit, Northwest Jiroft, Soudern Sanandaj-Sirjan", Iran. *Geosciences*. 19 (2010), 71-78. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.55653>
6. Badrzadeh, Z., "petrology, geochemistry and petrogenesis of pillow lavas in Sargez region (north west of Jiroft) with a special view on copper ore and massive zinc (VMS) associated with them", Iran. PhD thesis, Tarbiat Modares University, (2009) 139.
7. Mosera, M.R., Rankin, H.A., Milledge. "Hydrocarbon-bearing fluid inclusions in fluorite associated with the Windy Knoll bitumen deposit, UK", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56 (1992), 155-168. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90123-Z](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90123-Z)
8. Haynes, F.M. "Determination of fluid inclusion compositions by sequential freezing". *Economic Geology* 80 (1985), 1436–1439. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.80.5.1436>
9. Mohajjel, M., Fergusson, C. L. "Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, Western Iran", Iran. *Journal of Structural Geology*. 22 (2000), 1125–1139. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)00023-7)
10. Soleimani, M., Faghih, A., Bagherpour, B., Adibinejad, M., Sobhani, S. "Deformation microthermometry in the Toutak gneiss dome based on petrofabric characteristics of quartz crystal, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt", Iran. *Advanced applied geology Journal*. 14 (2024), 106-121. <https://doi.org/10.22055/AAG.2023.43423.2360>
11. Aghanabati, A. "Geology of Iran". Geological and mineral exploration organization of Iran, (2004).
12. Sheikholeslami, M.R, "Tectonostratigraphic units of southeastern part of Sanandaj-Sirjan zone", Iran. *geosciences*, 95 (2015), 243-252. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42068>

13. Ghasemi, A. & Talbot, C. J. "A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian geosciences* 26 (2006), 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2005.01.003>.
14. Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R. "Cretaceous– Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, Western Iran", *Iran. Journal of Asian Earth Sciences*, 21 (2003), 397–412. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4).
15. Badrzadeh, Z. "Mineralogy and geochemistry of hydrothermal alteration zones underlying the Sargaz Volcanic–Hosted Massive Sulfide Deposit, SE of Kerman", *Iran. Petrology journal*. 48 (2022), 77-100. <https://dx.doi.org/10.22108/ijp.2022.132135.1262>.
16. Babakhani, A. *Geological map of Sabzevaran (scale 1: 250.000)*, Iran. Geology survey of Iran, (1992).
17. Michael, P. J., and Chase, R. L. "The influence of primary magma composition, H₂O and pressure on Mid-Ocean Ridge basalt differentiation", *Mineral Petrol*, 96 (1987), 245-263. <https://doi.org/10.1007/BF00375237>.
18. Whitney, D., Evans, B. "Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals". *American Mineralogist*. 95 (2010), 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
19. Huang, D. Z., Wang, X. Y., Yang, X. Y., Li, G. M., Huang, S. Q., Liu, Z., Peng, Z. H., and Qiu, R. L. "Geochemistry of gold deposits in the Zhangbaling tectonic belt, Anhui province, China", *International Geology Review*. 53 (2011), 612–634. <http://DOI: 10.1080/00206814.2010.496225>.
20. Sharp, ZD., Gibbons, JA., Maltsev, O., Atudorei, V., Pack, A., Sengupta, S., Shock, EL., Knauth, LP. "A calibration of the triple oxygen isotope fractionation in the SiO₂–H₂O system and applications to natural samples", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 186 (2016), 105-119. <http://DOI: 10.1016/j.gca.2016.04.047>.
21. Shahraki ghadimi, A. "Esfandagheh geological map of 1:100000", Iran. Geological and mineral exploration Survey of Iran, (2004).
22. Esmaeli, M., Lotfi, N., Nezafati, N. "Mineralogy, and genesis of Khalyfehlou copper deposit based on host rock geochemical data and O-S isotope characteristics", *Iran. Geosciences*, 28 (2019), 33-46, <https://doi.org/10.22071/gsj.2019.84248>.
23. Hoefs, J. "Stable Isotope Geochemistry", 4th edn. Springer-Verlag, Berlin, (1997), 68. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-60382-3_10.pdf.
24. Sabahi, F., Lotfi, M., Afzali, P., Nezafati, N. "Mineralization, Fluid inclusion and Sulfur stable isotope studies in the Gardane-shir Pb–Zn deposit, Ardestan, Isfahan province", *Iran. Journal of Earth Sciences*. 119 (2021), 177-186. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.115540.1377>.
25. Rahimi cheshmegachi, H., Yazdi, M., Gholizadeh, K. "Mineralogy, Geochemistry, fluid inclusions of Karat iron Skarn deposit, Sangan, NE of Iran", *Iran. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 32 (2024), <http://ijcm.ir/article-1-1862-fa.html>
26. Goldstein R.H. "Petrographic Analysis of Fluid Inclusions. In: Samson, I. Anderson, A. Marshall D. (Ed.), *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*", Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook, 32 (2003), 9-53.
27. Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M H., Javidi Moghaddam, M. "Alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion studies in Chah Noghereh Pb–Zn deposit, NW Birjand, Lut Block", *Iran. Advanced Applied Geology*. 11 (2021), 298-317. <https://doi.org/10.22055/AAG.2020.32440.2088>.

28. Cruz Perez, M., Canet, C., Franco, S., Camprubi, A., González Partida, E., Rajabi, A. "Boiling and depth calculations in active and fossil hydrothermal systems: A comparative approach based on fluid inclusion case studies from Mexico", Ore Geology Reviews Journal. 72 (2016), 603-611. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.08.016>.
29. Jamieson, J.W., Hannington, M.D., Petersen, S., Tivey, M.K. "Volcanogenic Massive Sulfides". In: Harff, J., Meschede, M., Petersen, S., Thiede, J. (eds) Encyclopedia of Marine Geosciences. Springer, Dordrecht, (2014). https://doi.org/10.1007/978-94-007-6644-0_37-1
30. Haas, J.L. "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure". Economic Geology Journal. 66 (1971), 940– 946. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.66.6.940>.
31. Kesler, S.E. "Ore-forming fluids", Elements, 1 (2005), 13–18. <https://doi.org/10.2113/gselements.1.1.13>
32. Nam nabat, e., Ghorbani, M., Tabatabaei, S H. "Characteristics of the ore-forming fluid of the gold-bearing quartz vein system, based on the investigation of fluid samples, Anderian, North-West of Iran", Iran. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 27 (2019), 723-738. <https://doi.org/10.29252/ijcm.27.3.723>.
33. Roedder E., "Fluid inclusions, Reviews in Mineralogy", Mineralogical Society of. America., Washington, (1984). <https://doi.org/10.1515/9781501508271>
34. Zhang, Y.G., Frantz, J.D. "Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaClKClCaCl₂H₂O using synthetic fluid inclusions", Chemical Geology. 64 (1987), 335-350. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90012-X).