



بررسی‌های کانه‌زایی، سیال‌های درگیر، زمین‌شیمی و تفسیر داده‌های زمین‌فیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی/قطبش القایی منطقه فریزی، شمال شرقی ایران

محمدرضا کاظم‌پور^۱، محمدرضا حیدریان شهری^{۱*}، آزاده ملک‌زاده شفاوردی^{۲،۱}

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۱/۱۵، نسخه نهایی: ۹۷/۵/۳۱)

چکیده: منطقه پی‌جویی سرب-روی-مس فریزی در شمال غرب مشهد، در استان خراسان رضوی واقع است. کانی‌سازی به شکل رگه‌ای در سنگ میزبان اسلیت با میان لایه‌های فیلیت و ماسه سنگ کم‌دگرگون شده تریاس پسین-ژوراسیک پیشین (معادل سازند شمشک) تشکیل شده است. تنها دگرسانی سنگ میزبان سیلیسی‌شدن است. کانی‌سازی اولیه کوارتز، گالن، کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های ثانویه همتایت، گوتیت، لیمونیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت است. مقدار سرب در رگه‌ها تا ۳/۷٪، روی تا ۱/۶٪، مس تا ۴٪ و نقره تا ۰/۱۸۳٪ است. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی در سیال‌های درگیر دوفازی (مایع و بخار) نشان می‌دهد که کوارتز و کانه‌ها از یک سیال با دمای متوسط تا بالا (۲۰۰ تا ۳۴۷ درجه سانتیگراد) و شوری نسبتاً بالا (۲۰/۲ تا ۲۲/۳۵ درصد وزنی) که احتمالاً آب دگرگونی است، ریشه گرفته است. کاهش دما مهم‌ترین نقش را در کانی‌سازی سرب-روی-مس داشته است. داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی/قطبشی القایی (IP/RS) در محل پهنه‌های گوسان، رگه‌ها، کنده‌کاری‌های قدیمی و ناهنجاری‌های زمین‌شیمی، افزایش بارپذیری را نشان می‌دهد. سه بخش (A, B, C) کانی‌سازی در منطقه وجود دارد. بخش B از نظر کانی‌سازی، ناهنجاری زمین‌شیمی و بارپذیری نسبت به A و C دارای اهمیت بیشتری است. بررسی مغزه‌های حفاری بر ناهنجاری بالای شبه مقطع IP/RS در بخش B، وجود ذغال‌گرافیتی در سنگ میزبان را تایید کرد که منبع ایجاد کننده ناهنجاری است. بر اساس زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ویژگی سیال‌های درگیر، نوع کانی‌سازی فریزی رگه‌ای نوع کوهزایی است. خاستگاه فلزات کانه‌ساز در منطقه فریزی احتمالاً همان لایه‌های غنی از گرافیت بوده و طی فاز کوهزایی ژوراسیک میانی-سیمرین میانی، توسط آب‌های دگرگونی حمل شده و در فضاهای ساختاری مناسب بر جای گذاشته شده است.

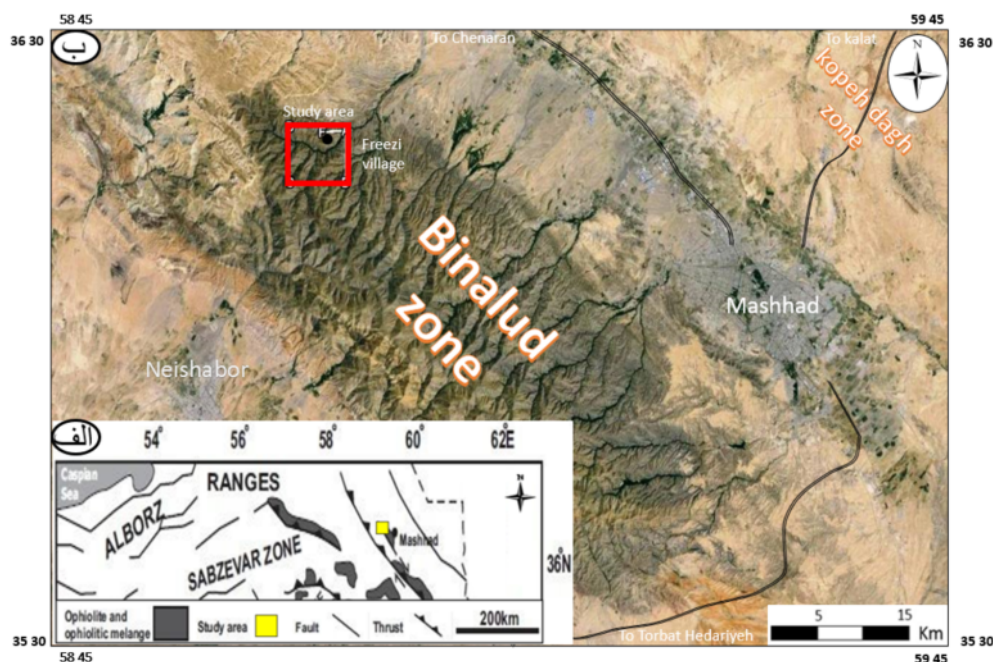
واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ زمین‌شیمی؛ سیال‌های درگیر؛ IP/RS، چاه‌نگاری؛ کوهزایی.

مقدمه

غربی-جنوب‌شرقی میان صفحه توران و خرد قاره ایران مرکزی جای دارد (شکل ۱). پهنه بینالود نتیجه برخورد صفحه توران و ایران مرکزی و بسته‌شدن دریای پالئوتتیس بوده است. این پهنه دست کم تحت تاثیر دو فاز کوهزایی قرار گرفته است. رگه‌های کانی‌سازی منطقه مورد بررسی در سنگ‌های فاز دوم کوهزایی بینالود (سیمرین میانی) قرار دارند [۲]. در منطقه‌ی مورد بررسی چند حفره‌ی استخراجی شدادی دیده می‌شود که در گذشته از آن‌ها کانه گالن استخراج می‌شده است [۳].

منطقه پی‌جویی فریزی، یک سیستم سرب، روی و مس رگه‌ای در شمال شرق ایران و ۵۲ کیلومتری شمال غرب مشهد است که در گستره طول‌های جغرافیایی ۵۴' ۵۴" تا ۵۸' ۳۴" ۵۹° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲' ۲۵" تا ۳۶' ۵۲" ۲۸° شمالی واقع است. بر اساس تقسیم بندی نبوی [۱]، منطقه مورد بررسی در پهنه زمین‌شناسی بینالود قرار می‌گیرد؛ این پهنه بخش شرقی البرز به شمار می‌آید و با روند شمال

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۵۱۶۴۲۰۰، پست الکترونیکی: hshahri@ferdowsi.um.ac.ir



شکل ۱ الف) نقشه تقسیمات ساختاری مرکز و شرق ایران و موقعیت منطقه مورد بررسی بر آن. ب) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی در پهنه بینالود (برگرفته از مراجع [۶-۱۱] با تغییرات).

از بررسی‌های اخیر انجام شده در این منطقه نیز می‌توان به گزارش اکتشافات زمین‌شیمیایی و کانی سنگین در گستره نقشه یکصد هزار نیشابور [۴] و پی‌جویی نیمه‌تفصیلی سرب و روی فریزی توسط شرکت لیان کاوان کانی‌ها و اکتشاف [۵] اشاره کرد. همچنین ۵ ترانشه به وسیله‌ی این شرکت حفر شده، تعداد ۲۱ نمونه برای تجزیه عنصری و ۱۸ نمونه برای تجزیه تک‌عنصری طلا در منطقه فریزی به وسیله‌ی این شرکت بررسی شده است. همچنین برداشت‌های IP/RS در منطقه فریزی در ۳ بخش A، B و C توسط شرکت توسعه علوم زمین انجام شده است [۳]. با این حال، تاکنون مطالعات روی نوع کانه‌زایی و نوع محلول کانه‌دار بررسی نشده و ناهنجاری‌های بالای شبه مقاطع به درستی تفسیر نشده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی‌های روابط همبرزایی کانیایی، کانی‌سازی، زمین‌شیمی، سیال‌های درگیر و نیز تفسیر داده‌های زمین-فیزیکی به روش IP/RS با بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در منطقه پی‌جویی فریزی است.

روش بررسی

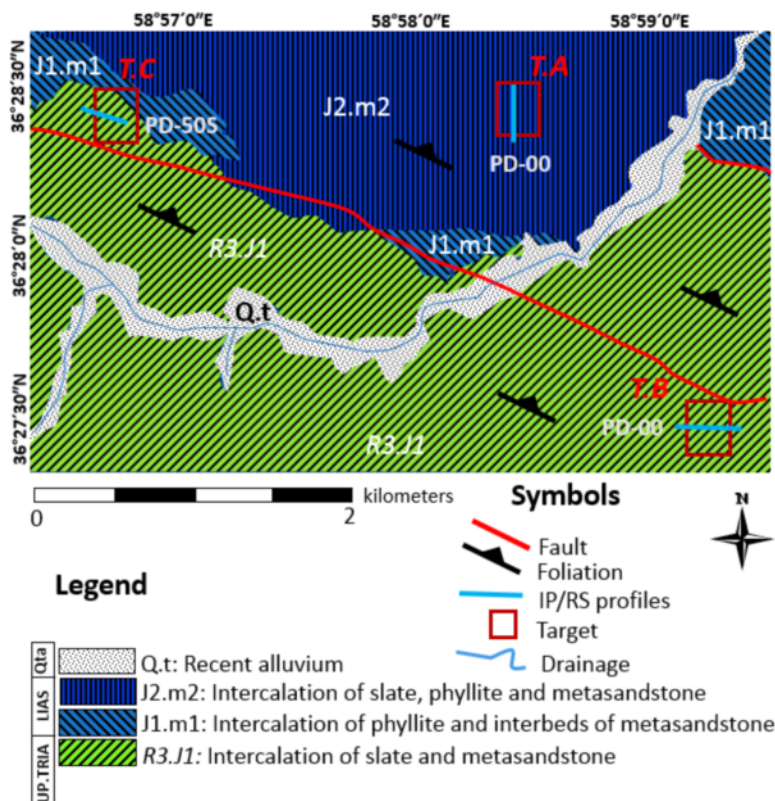
در راستای اهداف این پژوهش، مشاهدات صحرایی و نمونه-برداری از واحدهای سنگی میزبان و رگه‌های کانی‌سازی (از سطح و داخل ترانشه‌ها) انجام شد. در مجموع تعداد ۵۰ نمونه جمع‌آوری شد که از این میان ۲۶ مقطع نازک و ۱۲ مقطع

نازک صیقلی و قطعه صیقلی تهیه و بررسی شدند. نقشه زمین-شناسی سه بخش A، B و C به مساحت تقریبی ۱ کیلومتر مربع از منطقه در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. به منظور آگاهی از مقدار عناصر پایه در رگه‌ها، نتایج تجزیه ۲۱ نمونه زمین‌شیمیایی (به روش خرده‌سنگی که ۱۸ نمونه آن به روش عیارسنجی گرمایی تجزیه شده است) [۵] تفسیر شد. نمودار چاه‌نگاری زمین‌شناسی-دگرسانی چاه با مقیاس ۱:۴۰۰ با عمق ۹۲/۴ متر از بخش B تهیه گردید و با استفاده از آن، شبه مقطع IP/RS این بخش مورد تفسیر قرار گرفت. همچنین برای بررسی سیال‌های درگیر، تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل (تراشه) از کانی کوارتز (کانی اولیه همبر با کانه‌های سولفیدی) پس از مطالعات دقیق همبرزایی تهیه شد. آزمایش‌های مورد نظر با استفاده از یک دستگاه سردکننده و گرم‌کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM 600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن $\pm 1^\circ \text{C}$ و گستره دمایی آن بین -190 تا $+600$ درجه سانتیگراد بوده است. مقدار شوری براساس مرجع [۱۲] در سیستم H_2O -NaCl و مقدار چگالی شاره‌های درگیر با استفاده از نرم افزار FILINCOR و بر اساس اطلاعات دماسنجی مرجع [۱۳] محاسبه شده‌اند. نمودارهای لازم در نرم افزار SPSS ترسیم شده‌اند.

زمین‌شناسی و دگرسانی

منطقه پی‌جویی فریزی در گوشه‌ی شمال شرقی ورقه‌ی زمین‌شناسی نیشابور (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰) [۴] در پهنه زمین-ساختی بینالود واقع است. از ویژگی‌های زمین‌شناسی پهنه بینالود وجود گستره وسیعی از نهشته‌های تخریبی دگرگون‌شده تریاس پسین- ژوراسیک پیشین با روند شمال‌غربی- جنوب- شرقی است که از شمال‌شرقی شهر نیشابور تا جنوب‌غربی شهر مشهد به طور پیوسته گسترش دارند. این نهشته‌ها که ترکیب بیشتر آن‌ها اسلیت، فیلیت، ماسه سنگ‌های کم دگرگون شده هستند، به طور موضعی میزبان رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در منطقه‌ی فریزی هستند (شکل ۲). شیل و ماسه سنگ‌های (معادل گروه شمشک) به سن تریاس پسین- ژوراسیک پیشین در منطقه در مقطع زمانی رتین- ژوراسیک میانی دستخوش دگرگونی (معادل فاز کوهزایی سیمیرین میانی) شده‌اند. دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره پره‌نیت- پامپلیت تا ابتدای رخساره شیست سبز موجب تشکیل اسلیت، فیلیت و ماسه سنگ‌های کم دگرگونی شده است. وجود فسیل‌های گیاهی و لایه‌های نازک گرافیت در این توالی بیانگر این است که رسوبات اولیه در یک محیط دلتایی راسب شده‌اند. لایه‌بندی اولیه در

این سنگ‌ها به ویژه در بخش ماسه سنگی به شکل صفحه‌های دارای ساخت رسوبی چون موج‌نا و نیز لایه‌بندی چلیپایی مشخص می‌شود [۲]. ساختارهای اصلی در منطقه شامل برگوارگی و خطوارگی کانی و چین‌های مزوسکوپی است. راستای عمومی ساختارها، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است [۲]. از جمله گسل‌های اصلی منطقه، گسل راندگی شان‌دیز - سنگ بست در شمال منطقه است که بقایای پالئوتتیس و مجموعه توریداتی همراه آن یا گستره زمین درز را از پهنه بینالود جدا می‌کند [۴]. سیلیسی‌شدن در سنگ میزبان آواری کم‌دگرگون شده، تنها دگرسانی همراه با کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی است. این دگرسانی بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی در قالب رگه و رگچه‌های کوارتز به دو نسل تفکیک می‌شود: نسل اول رگه و رگچه‌های کوارتز شیری رنگی است که فاقد کانی‌سازی بوده و طی دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره پره‌نیت- پامپلیت تا ابتدای رخساره شیست سبز به وجود آمده‌اند. نسل دوم، رگه‌های کوارتز همراه با اکسید آهن بوده که همراه با کانی‌سازی است و لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع کرده و به صورت کوارتزهایی با بافت شانه‌ای در شکستگی‌های گسلی در منطقه به وجود آمده است.



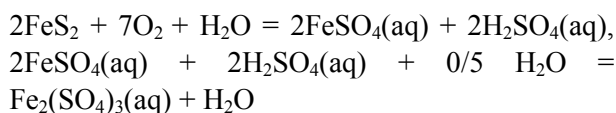
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی فریزی. موقعیت سه بخش مورد بررسی بر روی آن مشخص است. نقشه پایه برگرفته از مراجع [۱۴، ۱۵] است.

کانی‌سازی

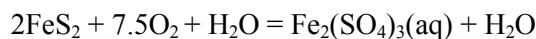
کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی دارای کنترل گسلی بوده و به صورت رگه‌ای در اسلیت، فیلیت و ماسه سنگ‌های کم دگرگون شده تریاس‌پسین- ژوراسیک‌پیشین تشکیل شده است. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای با امتداد N30W و شیب 80SW در بخش A، N20E و 35SE در بخش B و N45W و 35NE در بخش C دیده می‌شود که در پهنه گسلی تشکیل شده‌اند و لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع می‌کنند (شکل ۲). ضخامت اصلی رگه‌ها بر اثر فعالیت‌های معدنکاری قدیمی، مشخص نیست و گمان می‌رود که بیش از ۳ متر باشد. طول آن‌ها نیز از ۵۰ تا ۱۵۰ متر متغیر است. در منطقه مورد بررسی چند حفره شدادی دیده می‌شود که در گذشته از آن‌ها سرب استخراج می‌شده است [۳]. در اطراف رگه‌ها، رگچه‌هایی از کوارتز با ضخامت بین ۱ تا ۵ سانتیمتر و با تراکم ۱۰ تا ۱۵ عدد در مترمربع دیده می‌شوند که تعداد و ضخامت آن‌ها با دور شدن از محل رگه کاهش می‌یابند. رابطه‌ی بین رگه‌ها و سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی کاملاً روزادی است و سن تشکیل آن پس از تریاس‌پسین- ژوراسیک‌پیشین (سن سنگ میزبان) است. کانی‌شناسی رگه‌ها تا حدی مشابه به هم ولی از نظر نسبت فراوانی کانه‌ها با هم متفاوت‌اند و شامل کوارتز، گالن، پیریت و کالکوپیریت است. در بخش A کانی‌سازی سولفیدی با دگرسانی سیلیسی در میزبان فیلیت قرار دارد. کانی‌های اولیه شامل گالن، کالکوپیریت، پیریت و ثانویه شامل هماتیت، گوتیت و کوولیت است. در بخش B کانی‌سازی سولفیدی با دگرسانی سیلیسی در میزبان فیلیت و ماسه سنگ کم دگرگون شده قرار دارد. کانی‌سازی سولفیدی اولیه به ندرت دیده می‌شود و به انواع ثانویه هماتیت، گوتیت، لیمونیت، مالاکیت و آزوریت تبدیل شده‌اند. بافت غالب در این رگه، پرکننده فضای خالی است. در بخش C کانی‌سازی سولفیدی با دگرسانی سیلیسی در میزبان اسلیت و ماسه سنگ کم دگرگون شده قرار دارد. کانی‌سازی سولفیدی اولیه به ندرت دیده می‌شود و به انواع ثانویه (هماتیت و لیمونیت) تبدیل شده‌اند. به طور کلی کانی‌سازی در این منطقه طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد شکل گرفته است:

کانی‌سازی درون‌زاد: کانی‌سازی عمده در این مرحله شامل گالن، پیریت و کالکوپیریت است. گالن در مشاهدات صحرایی و نمونه‌های دستی فقط در بخش A به صورت درشت بلور در ابعاد ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر است و فراوانی آن در بیشتر مقاطع بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است. بافت غالب در این کانی بافت زمین-ساختی است که در اثر تنش‌های حاکم پس از ته‌نشست کانه در منطقه شکل گرفته است. آثاری از گالن در مقاطع صیقلی تهیه شده از بخش‌های B و C دیده نشد. کانی سولفیدی پیریت به صورت شکل‌دار- خرد شده در بیشتر مقاطع صیقلی و به صورت میان‌بهرایی در کانی گالن دیده می‌شود. بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش B است. ابعاد بلوری این کانی بین ۰/۱ تا ۱/۲ میلی‌متر و فراوانی آن در بیشتر مقاطع بین ۱۰ تا ۱۵ درصد است. در اثر فرآیند برون‌زادی پیریت به سولفات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت و گوتیت) تبدیل شده است. کانی سولفیدی کالکوپیریت به صورت نیمه‌شکل‌دار در بیشتر مقاطع صیقلی دیده می‌شود. بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش A است. ابعاد بلوری این کانی بین ۰/۱ تا ۱/۲ میلی‌متر و فراوانی آن در بیشتر مقاطع بین ۱۵ تا ۲۰ درصد است.

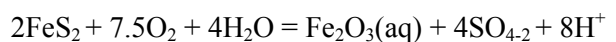
کانی‌سازی برون‌زاد: وجود شکستگی‌های فراوان و همچنین حضور کانی‌های سولفیدی سبب گسترش کانه‌سازی ثانویه شده است. اکسایش سولفیدها تابعی از بالآمدگی سنگ‌ها، آب و هوا، ترکیب سنگ اولیه (به ویژه مقدار پیریت) و ساختار سنگ میزبان (از نظر گسل خوردگی و شکستگی) است. بالآمدگی سنگ‌ها (به علت فرسایش و یا زمین‌ساخت) سبب می‌شود تا سطح سفره آب‌های زیرزمینی پایین آمده و پهنه‌های سولفیدی بخش زیرین در معرض واکنش با محلول‌های هوازده‌کننده اکسیدان قرار گیرند. اکسایش سولفیدهای آهن معمولاً باعث تشکیل اکسیدهای آهن و اسید سولفوریک می‌شود. پیریت در این فرآیند نقش مهمی دارد و در محیطی که اکسیژن به عنوان اکسید کننده عمل کند سرانجام براساس واکنش‌های زیر اکسید می‌شود [۱۶].



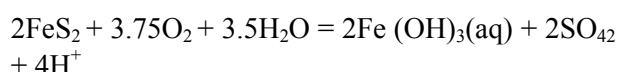
و در محیط‌های غنی از اکسیژن:



در چنین محیط‌هایی حتی پیریت می‌تواند به طور مستقیم طبق واکنش زیر به هماتیت تبدیل شود:



یا این که براساس واکنش زیر مستقیم به گوتیت تبدیل شود:



پیریت مهمترین سولفید اسیدساز محسوب می‌شود. Fe^{+3} تولید

شده طی اکسایش پیریت با افزایش pH به اکسید و هیدروکسید Fe^{+3} و دیگر ترکیبات سولفاتی آهن تبدیل می‌-

شود. Fe^{+3} خود یک عامل اکسید کننده خیلی مهم برای

سولفیدهای آهن در شرایط اسیدی است و خیلی موثرتر از

اکسیژن عمل می‌کند [۱۶]. در نتیجه می‌توان گفت که pH

محلول‌های دربردارنده اسید سولفوریک و یون آهن در اثر بالا

آمدگی و به وجود آمدن شرایط اکسیدان، بالا رفته و سبب

نهشت اکسید و هیدروکسید آهن شده است. کانی سازی عمده

در این مرحله شامل گوتیت، هماتیت و لیمونیت به همراه

مقادیر جزئی مالاکیت، آزوریت و کوولیت است.

گوتیت: به عنوان فراوانترین کانه آهن در منطقه است. که از

اولین فرآورده‌های اصلی برونزاد در توالی همبرزایی کانه‌سازی

است. این کانه در مقیاس مزوسکوپی و میکروسکوپی دارای

بافت های کلیه‌ای و کلوئیدی است. این کانی فرآورده دگرسانی

پیریت است. بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش B

است.

هماتیت: یکی از فراوانترین کانی‌های تشکیل دهنده منطقه‌ی

مورد بررسی است. این کانی فرآورده فرآیندهای برونزاد بوده و

در اثر اکسید شدن پیریت در شرایط سطحی شکل گرفته است.

بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش B و C است.

لیمونیت: در اثر دگرسانی پیریت (به صورت مخلوطی از کانی-

های گوتیت و هماتیت) تشکیل شده و به صورت آگرگات‌های

دانه‌ریز، زرد مایل به قهوه‌ای در نمونه‌های دستی قابل مشاهده

است. بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش B است.

مالاکیت و آزوریت: در اثر دگرسانی کالکوپیریت و آزاد شدن

مس، بخشی از این عنصر با کمپلکس کربناتی موجود در محیط

واکنش داده و به صورت کربنات‌های مس آبدار در پهنه

اکسیدان نهشته می‌شوند و به صورت دانه‌های آبی و سبز در

نمونه‌های دستی و میکروسکوپی قابل مشاهده است. بیشترین

فراوانی این کانی‌ها مربوط به بخش B است.

کوولیت: در اثر دگرسانی کالکوپیریت و آزاد شدن مس، این

عنصر با کمپلکس گوگردی واکنش داده و به صورت سولفید

مس در پهنه اکسیدان نهشته می‌شود و به صورت دانه ریز آبی

در نمونه‌های میکروسکوپی قابل مشاهده است.

توالی همبرزایی

گالن نخستین کانی سولفیدی تشکیل شده است که توسط

پیریت احاطه شده و درون شکستگی‌های آن میانبرهایی از

پیریت و کالکوپیریت نیز دیده می‌شوند. گالن فراوانترین کانی

سولفیدی در بخش A است که در نمونه دستی نیز دیده می‌-

شود. انحنا و جابه‌جایی چاله‌های مثلثی گالن نشان دهنده

رخداد دگرشکلی پس از ته نشینی آن است (شکل ۳ ج).

کوولیت در مرز بین گالن و کالکوپیریت و نیز در بین پیریت و

کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل‌های ۳ الف و پ). کانی‌های

ثانویه منطقه نیز کوولیت، آزوریت، مالاکیت همراه با مقادیر

زیادی از هماتیت، گوتیت و لیمونیت محصول تجزیه

کالکوپیریت هستند. بخش زیادی از کانی کالکوپیریت به

مالاکیت، آزوریت و کوولیت تبدیل شده است و باقیمانده‌های

آن اندازه‌هایی در حد ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میلیمتر دارند (شکل ۳

الف). گوتیت با بافت کلوفرم بین کالکوپیریت و پیریت به

صورت نوارهای زیگزاکی دیده می‌شود. روابط همبرزایی کانی

فریزی در شکل ۴ ارائه شده است. پیریت و کالکوپیریت بیشتر

به صورت میانبرهایی در شکستگی‌های کانی گالن وجود دارند

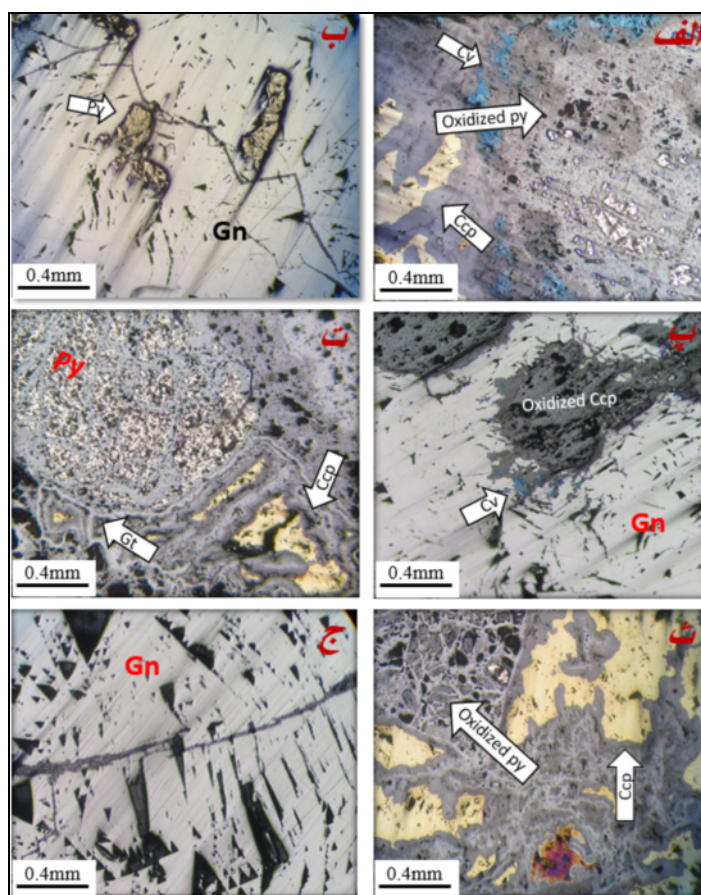
لذا تشکیل آن‌ها را می‌توان به پس از گالن نسبت داد (شکل ۳

پ). سیلیسی شدن سنگ میزبان پیش از تشکیل کانه‌ها، محیط

مناسب برای جانشینی را فراهم آورده است. کانی‌های ثانویه نیز

در اثر فرآیند اکسایش و هوازدگی سطحی کانی‌های سولفیدی

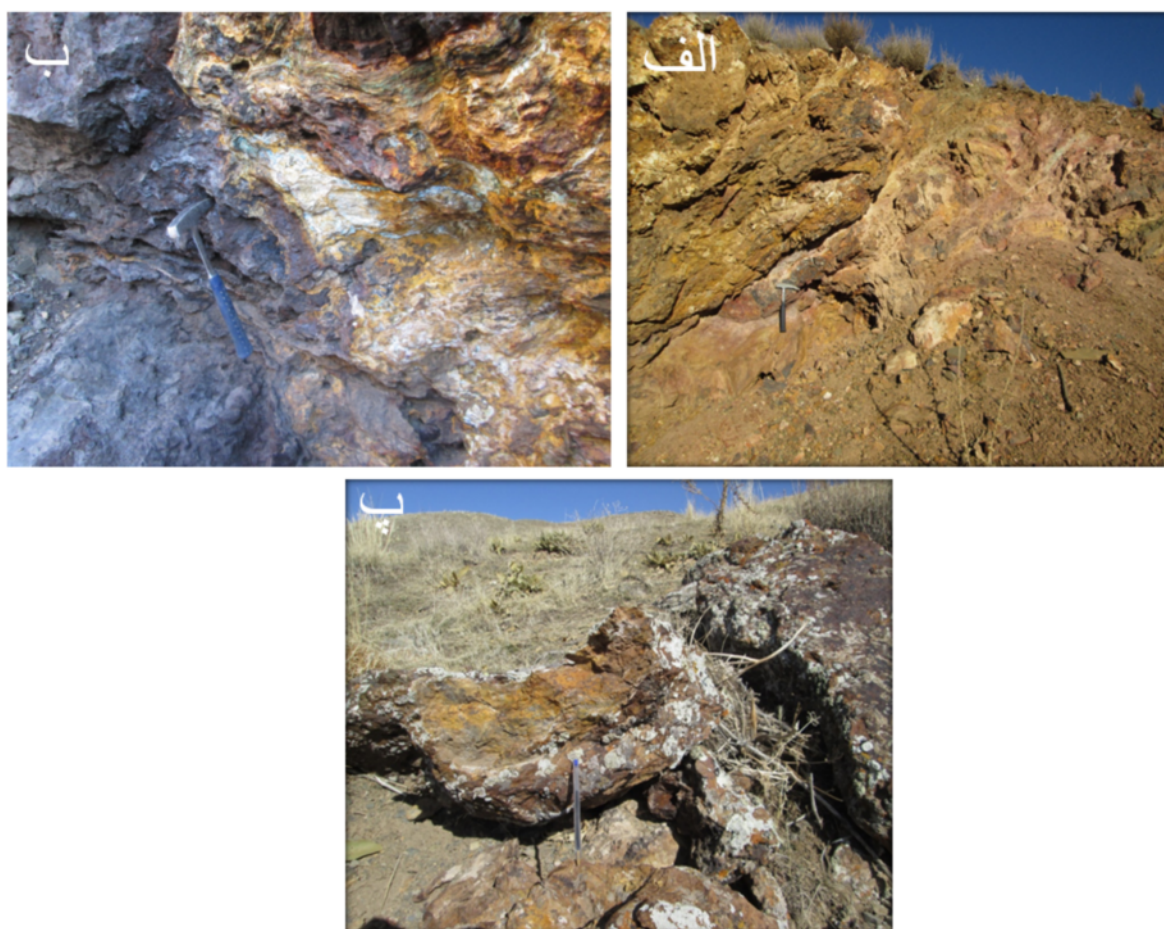
به وجود آمده‌اند (شکل ۵).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های منطقه فریزی در نور بازتابی: الف- دانه‌های پیریت، کالکوپیریت و کوولیت که پیریت به گوتیت تبدیل شده است، ب- دانه‌های پیریت که توسط گالن احاطه شده است، پ- دانه‌های کالکوپیریت که اکسید شده و توسط گالن احاطه شده‌اند، ت- دانه-های پیریت، کالکوپیریت و گوتیت با بافت کلوفر، ث- دانه‌های کالکوپیریت و پیریت اکسید شده و ج- گالن با رخ شاخص میخی. (Gn = گالن، Ccp = کالکوپیریت، Py = پیریت، Cc = کوولیت [۱۷]).

Mineral	Metamorphism stage	Early → Late	
		Hypogen	oxidized zone
Quartz		██████████	
Galena		██████████	
Pyrite		██████████	
Chalcopyrite		██████████	
Covelite			
Malachite			-----
Azurite			-----
Limonite			██████████
Hematite			██████████
Geotite			██████████

شکل ۴ توالی روابط همبرزایی در منطقه اکتشافی فریزی.



شکل ۵ رخنمون گستره کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه اکتشافی فریزی: الف و ب- نمایی از تراشه در بخش اکتشافی B، پ- نمایی از رگه سیلیسی در بخش اکتشافی C.

زمین‌شیمی رگه‌ها

مقدار عناصر مس، سرب، روی، نقره و طلا در رگه‌های معدنی A, B, C در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج، مقدار سرب از ۶ تا 37000 گرم در تن متغیر است که مربوط به حضور کانی گالن به عنوان مهمترین کانه معدنی در بخش A است. مقدار روی از ۱۴ تا ۱۵۰۰۰ گرم در تن متغیر است. این عنصر در قالب کانی‌هایی مانند اکسیدهای روی و به ندرت نوع اولیه آن اسفالریت در رگه‌ها حضور دارد. مقدار عنصر مس از ۱۶ تا ۴۰۰۰۰ گرم در تن متغیر است که بیشتر مربوط به حضور کانی‌های ثانویه مانند ملاکیت، آزوریت، کوولیت و بسیار کمتر کانی‌های اولیه کالکوپریت است. نقره از ۰/۵ تا ۱۸۴ گرم در تن متغیر است. کانی نقره‌دار مستقلاً دیده نشد و این عنصر در ساختار گالن حضور دارد. جانشینی نقره به جای سرب با توجه به شعاع یونی آن امکان‌پذیر است. مقدار طلا از ۱ تا ۴

میلی‌گرم در تن متغیر است و فقط نمونه L-PE-18 تا ۷۱ میلی‌گرم در تن طلا دارد.

بررسی سیال‌های درگیر

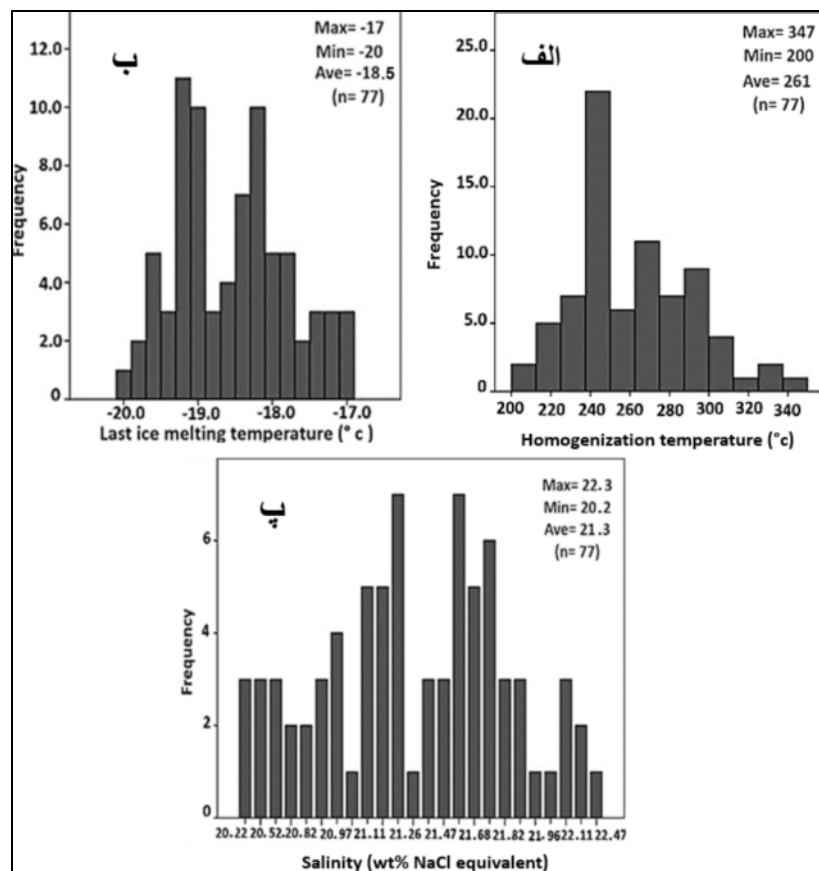
سیال‌های درگیر برای تعیین دماسنجی، تعیین نوع نمک‌ها و مقدار شوری محلول کانه‌دار در کانسارهای مختلف بررسی می‌شوند. البته پیش از آن نیاز به بررسی‌های دقیق همبرزایی است و باید کانی‌هایی انتخاب شوند که تشکیل آن‌ها از محلول کانه‌دار تأیید شده باشد. به منظور بررسی سیال‌های درگیر و انتخاب نمونه‌های مناسب برای دماسنجی تعداد ۵ مقطع دو بر صیقل از کانی کوارتز که مهمترین همبر همراه با کانه‌ها و وابسته به سیال کانه‌ساز منطقه است، تهیه و بررسی شدند. این بررسی‌ها بر ۳ نمونه از بخش B و ۲ نمونه از بخش A انجام شد که خلاصه نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. سنگ-نگاری سیال‌های درگیر در همه نمونه‌ها نشان می‌دهد که همه

و NaCl در سیال‌های درگیر اولیه وجود دارد. این نوع نمک می‌تواند در اثر چرخش شاره‌های کانه‌دار در سنگ‌های رسوبی آواری منطقه تشکیل شده باشد. دمای نهایی ذوب یخ (T_m) نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. مقدار T_m بین ۱۷- تا ۲۰- درجه سانتیگراد با میانگین ۱۸/۵۷- درجه سانتیگراد متغیر است (شکل ۶ ب). بر اساس سیستم $H_2O-NaCl$ [۱۲]، مقدار شوری بین ۲۰/۲۲ تا ۲۲/۳۸ درصد NaCl با میانگین ۲۱/۳۰ درصد است (شکل ۶ پ). مقدار چگالی سیال‌های درگیر اولیه نیز براساس معادله مرجع [۱۳] بین ۰/۰۹ تا ۱/۰۲ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر است (جدول ۲).

سیال‌های درگیر اولیه از نوع دوفازی غنی از مایع (L-V) است. بیشتر سیال‌های درگیر اولیه اندازه‌ای بین کمتر از ۵ تا ۱۵ میکرون داشتند. در مجموع ۷۷ سیال درگیر اولیه دماسنجی شدند. دمای همگن‌شدگی (T_h) سیال‌های درگیر اولیه بین ۲۰۰ تا ۳۴۷ درجه سانتیگراد با میانگین دمای ۲۶۱ درجه سانتیگراد است (شکل ۶ الف). نخستین دمای ذوب‌شدگی (T_{fm}) در سیال‌ها نیز بین ۵۵/۱- تا ۵۸/۴- درجه سانتیگراد (میانگین ۵۶/۴۶-، تعداد=۷۷) متغیر بود. نخستین دمای ذوب-شدگی رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمایی دارد [۱۸]. بر اساس مقدار T_{fm} بدست آمده، نمک‌های $CaCl_2$

جدول ۱ نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی نمونه‌های خرده سنگی به روش طیف‌سنجی جرمی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی، ICP-OES (برحسب گرم در تن) و عیارسنجی گرمایی (برحسب میلی گرم در تن) در بخش های A, B و C [۵].

نمونه	شماره هدف	Au(ppb)	Ag(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
L-PE-14	B	۶۱	۹/۹	۵۵۵	۱۳۳۳	۷۳۱
L-PE-17	B	۲۲	۵/۴	۴۱۱۷	۲۴۴۴	۲۷۲
L-PE-18	B	۷۱	۵/۸	۱۶۵۰	۱۹۰۸	۱۱۲۸
L-PE-19	B	۴۸	۱/۱	۱۱۵۸۰	۵۷۷۸	۱۸۷۷
L-PE-20	B	۰/۲۵	۱۸/۶	۸۰	۲۱	۱۲۸
L-PE-22	B	۲۱	۶	۴۱۰	۲۴۶۰	۲۷۰
92LP-12	B	۶	۰/۶	۲۵۳	۴۷۱	۹۳
92LP-13	B	-	۰/۷	۹۸	۳۲۶	۷۵۴
92LP-14	B	۱/۱	۱/۱	۴۰۰۸۹	۷۱۱۵	۱۵۸۳۳
92LP-15	B	-	۲۴/۱	۸۴۳۵	۹۴۹۸	۷۹۰
92LP-16	B	۸	۱۷/۹	۴۵۲۰	۱۱۹۳	۷۵۴
L-PE-02	A	۲۵	۴/۲	۲۱۸	۴۸۱۷	۲۶۵۲
L-PE-03	A	-	۰/۲۵	۱۸	۲۵	۸۵
L-PE-04	A	۱۸	۷/۸	۷۱	۱۲۵۸۱	۱۱۷۳
L-PE-21	A	۲۰	۸/۲	۷۵	۱۲۶۷۴	۱۱۷۶
92LP-10	A	-	۱۸/۶	۱۸۵	۳۱۰۰۱	۱۴
92LP-11	A	۶	۷/۸	۵۵۰	۳۱۰۰۱	۱۵۸۳۳
93-LP-54	A	-	۱۸۴	۱۰۲۰	۳۷۰۵۰	۳۵۹
93-LP-64	C	-	۱/۹	۱۶	۶	۲۰۳۸
93-LP-70	C	-	۰/۵	۱۷۰۱	۲۴	۱۳۶۸
93-LP-60	C	-	۰/۶۸	۲۲	۶۵۷	۲۳۶۹



شکل ۶ نتایج بررسی سیال‌های درگیر اولیه در ناحیه اکتشافی فریزی: الف- نمودار دمای همگن‌شدگی، ب- نمودار دمای نهایی ذوب یخ، پ- نمودار شوری.

جدول ۲ خلاصه نتایج بررسی سیال‌های درگیر اولیه کانی کوارتز در منطقه اکتشافی فریزی. T_h - دمای همگن‌شدگی، T_m - دمای نهایی ذوب یخ

نمونه	تعداد	اندازه (μm)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	شوری (wt.%equiv.) [۱۲]	چگالی (gr/cm^3) [۱۳]
FR 52A	۱۶	۱۵-۱۰	۳۰۱-۲۱۲	-۱۷ تا -۱۹٫۷	۲۰٫۲۲ تا ۲۱٫۲۶	۰٫۰۹-۱٫۰۱
FR 54A	۱۷	۱۵-۱۲	۳۴۷-۲۳۰	-۱۷ تا -۱۸٫۴	۲۰٫۲۲ تا ۲۱٫۲۶	۰٫۸۸-۰٫۹۹
FR 1B	۱۸	۱۵-۱۰	۲۸۹-۲۲۴	-۱۸ تا -۱۹٫۷	۲۰٫۶۷ تا ۲۲٫۱۱	۰٫۹۴-۱٫۰۱
FR 4 B	۱۵	۱۸-۱۰	۲۸۲-۲۰۰	-۱۷ تا -۱۹٫۴	۲۰٫۲۲ تا ۲۲٫۱۱	۰٫۹۵-۱٫۰۲
FR 6 B	۱۱	۲۰-۱۰	۳۳۷-۲۸۰	-۱۷٫۳ تا -۲۰	۲۰٫۴۵ تا ۲۲٫۳۸	۰٫۸۵-۰٫۹۵

تفسیر داده‌های IP/RS

ناهنجاری‌ها استفاده می‌شود. مرحله دیگر استفاده از روش‌های زمین‌فیزیکی زمینی در مراحل مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی است. در این مرحله، پس از به‌کارگیری مدل‌های زمین‌ساختی، سنگ‌نگاری و دگرسانی، با یافتن جایگاه دقیق ذخیره‌ی پنهان، شکل، گسترش و عمق آن بر پایه‌ی داده‌های زمین‌فیزیکی همراه با داده‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی و زمین‌شیمی، می‌توان مکان مناسب را برای حفاری تعیین و در صورت موفقیت مقدار ذخیره کانسار را برآورد کرد [۱۹]. روش IP/RS در پی‌جویی مکان، گسترش و عمق کانی-

امروزه به دلیل پنهان بودن ذخایر معدنی، به کارگیری روش‌های زمین‌فیزیکی در پی‌جویی ضروری است. استفاده از روش‌های زمین‌فیزیکی مناسب می‌تواند در کاهش هزینه‌های پی‌جویی و کسب اطلاعات مهم در مورد زمین‌شناسی زیرسطحی و کشف مناطق مناسب برای حفاری مفید باشد. در دو مرحله از پی‌جویی مواد معدنی می‌توان از داده‌های زمین-فیزیکی بهره برد. نخست در پی‌جویی‌های منطقه‌ای که امروزه بیشتر از داده‌های زمین‌فیزیکی هوایی برای یافتن مکان

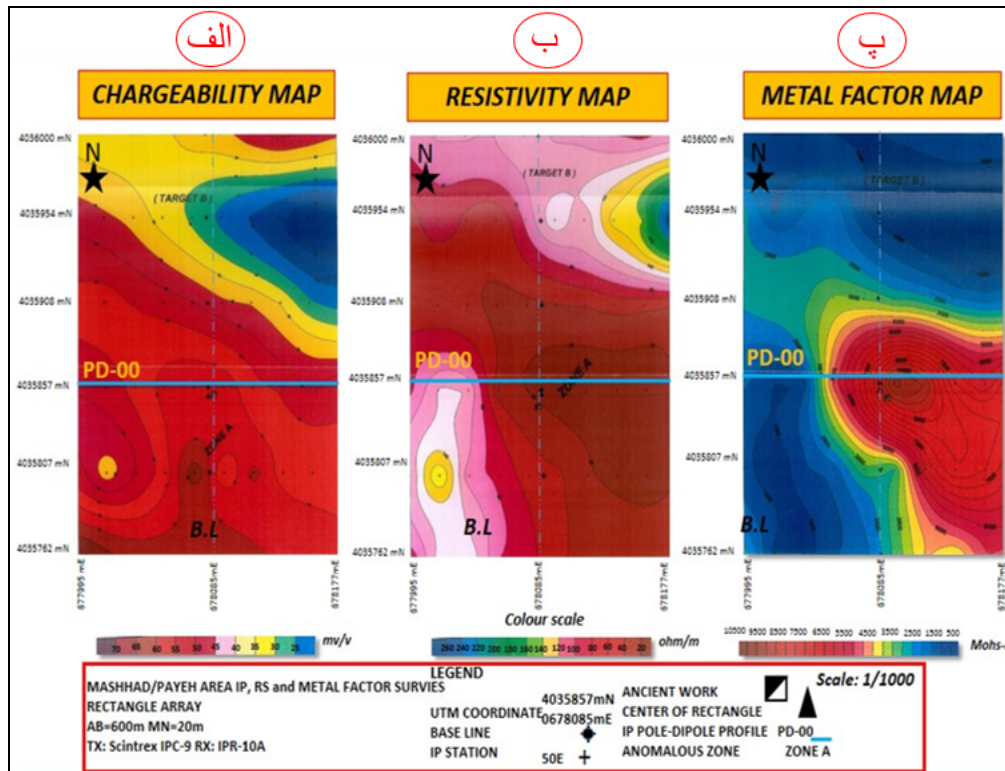
سازی سولفیدی برای اکتشاف انواع کانسارها مانند المپیک دم در استرالیا [۲۰]، ماسیوسولفاید بنامبرا در استرالیا [۲۱]، سرب و روی زی چنگ در چین [۲۲]، کانسار طلای توسکر در تانزانیا [۲۳]، مس رسوبی آدلاید جنوب استرالیا [۲۴]، منطقه کالکارو در شمال غرب معدن بروکن هیل و جنوب استرالیا [۲۵]، مس هیل [۲۶]، و بسیاری از کانسارهای ایران از جمله کانسار مس-طلا ماهرآباد [۲۷] به کار رفته است.

وجود آثار شدادی و پهنه گوسان گسترده و دگرسانی سیلیسی و ناهنجاری زمین شیمیایی در سطح سبب برداشت داده های زمین الکتریکی در سه بخش A، B و C از منطقه اکتشافی فریزی شده است [۳]. شکل ۲ موقعیت این بخش ها و شبه مقاطع را بر نقشه زمین شناسی نشان می دهد. جهت بررسی تغییرات سطحی کانی سازی سولفیدی و وجود آن در عمق، این منطقه توسط شرکت توسعه علوم زمین در سال ۱۳۸۲ با استفاده از روش قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری مورد برداشت های IP/RS قرار گرفته است [۳]. نتایج این برداشت های صحرائی به صورت نقشه های رنگی و شبه مقاطع در این بخش ها تهیه شده است. منطقه مورد بررسی جهت تعیین حضور کلی کانسار ابتدا با آرایش مستطیلی با طول خط جریان ۶۰۰ متر و فواصل الکترودی ۲۰ متر به روش قطبش القایی برداشت شده است. در این برداشت، خط مبنا در امتداد دگرسانی و پهنه گوسان به طول ۲۵۰ متر و در جهت شرقی-غربی در A و جهت شمالی-جنوبی در B و C تعریف شده است. مقطع های عرضی عمود بر خط مبنا به طول ۳۶۰ تا ۴۰۰ متر و فاصله نقاط برداشت ۲۰ متر انتخاب گردیده است (شکل ۲). لازم به یادآوری است که طول مقاطع بسته به ناهنجاری های دیده شده طی برداشت تغییر کرده است. نتایج به دست آمده از برداشت IP/RS به صورت نقشه های بارپذیری، مقاومت ظاهری، ضریب فلزی و شبه مقطع فقط برای بخش B که در آن حفاری انجام شده است در اینجا ارائه می شود.

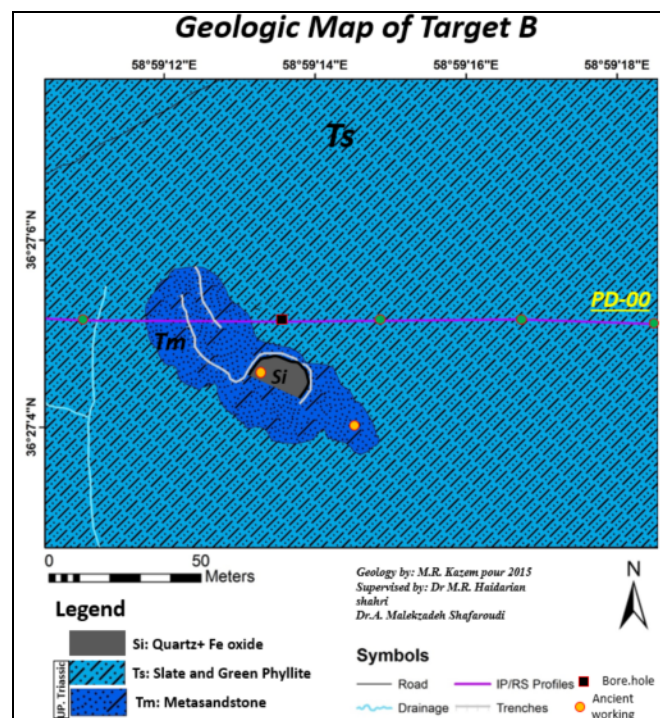
در نقشه بارپذیری بخش B (شکل ۷ الف)، بیشینه بارپذیری اندازه گیری شده به ۷۵-۸۰ میلی ولت بر ولت می رسد که در قسمت جنوب آن، با پهنه ناهنجاری A (با جهت شمال غرب-جنوب شرق) به ثبت رسیده است. این ناهنجاری در نقشه زمین شناسی (شکل ۸) منطبق بر محل کنده کاری های قدیمی است و با کانی سازی سولفیدی با دگرسانی سیلیسی در سنگ میزبان ماسه سنگ دگرگونی و پهنه گوسان

گسترده لیمونیتی-هماتیتی هم مکان است. کمترین بارپذیری اندازه گیری شده مربوط به شمال شرق بخش B است که شدت آن به ۲۵-۴۰ میلی ولت بر ولت می رسد و با واحد فیلیت فاقد کانی سازی همخوانی دارد. جهت بررسی ناهنجاری A در عمق شبه مقطع، IP/RS با آرایه قطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۲۰ متر در محل مقطع PD-00 اندازه گیری شده است (شکل ۹ الف). بررسی ناهنجاری های شبه مقطع PD-00 وجود پهنه ناهنجاری A را در عمق تأیید می کند. بیشترین بارپذیری اندازه گیری شده به ۷۰ میلی ولت بر ولت و کمترین آن به ۵ میلی ولت بر ولت می رسد. در این شبه مقطع، ناهنجاری IP گسترده قابل ملاحظه ای دارد. بارپذیری با شدت ۲۰-۳۰ میلی ولت بر ولت در فیلیت فاقد کانی سازی را می توان به عنوان حد زمینه و بارپذیری با شدت ۵۰ میلی ولت بر ولت در گستره دگرسانی با کانی سازی را به عنوان ناهنجاری IP محسوب نمود. ناهنجاری بارپذیری عمقی در شبه مقطع در سطح با دگرسانی سیلیسی همخوانی داشته و بیشینه تراکم کانی سازی سولفیدی در زیر نقاط 20W-40E قرار دارد. در نقشه مقاومت ظاهری (شکل ۷ ب)، تغییرات از نوسانات کمی برخوردار است، به طوری که کمترین مقدار اندازه گیری شده به ۲۰ اهم-متر در جنوب شرق منطقه و بیشینه آن به ۲۴۰ اهم-متر در شمال-شرق می رسد. از نقشه بارپذیری، ضریب فلزی به دست آمد (شکل ۷ پ) که بیشینه آن (۱۰۰۰۰ mhos/m) تا حدی در محل ناهنجاری بارپذیری قرار دارد. نتایج معکوس سازی هموار بر روی شبه مقطع PD-00 نشان از وجود منبعی با شارپذیری بالا در عمق دارد (شکل ۹ ب). در طول پروفیل PD-00 بین فاصله ۵- تا ۵۵ متر، توده ای با مقاومت بالا و بارپذیری پائین وجود دارد که منطبق بر رگه سیلیسی دارای کانی سازی در سطح است و تا عمق ۳۵ متر ادامه دارد. در این فاصله (۵- تا ۵۵ متر) در عمق ۷۱ تا ۷۸ متر از سطح زمین، منبعی با مقاومت پائین و بارپذیری بالا وجود دارد که در مغزه های حفاری منطبق با شیل های سیاه است (شکل ۱۰). بر ناهنجاری شبه مقطع PD-00، چاه BH-00 تا عمق ۹۲/۴ متر حفاری شده است [۵]. بررسی های سنگ شناسی، کانی سازی و دگرسانی مغزه ها در این پژوهش انجام و نمودار چاه نگاری مربوط به آن رسم شد (شکل ۱۰)، سنگ شناسی عمده در این چاه شامل واحدهای شیل سیاه رنگ حاوی ذغال کمی دگرگون شده و ماسه سنگ دگرگونی و گاهی لای سنگ دگرگونی و

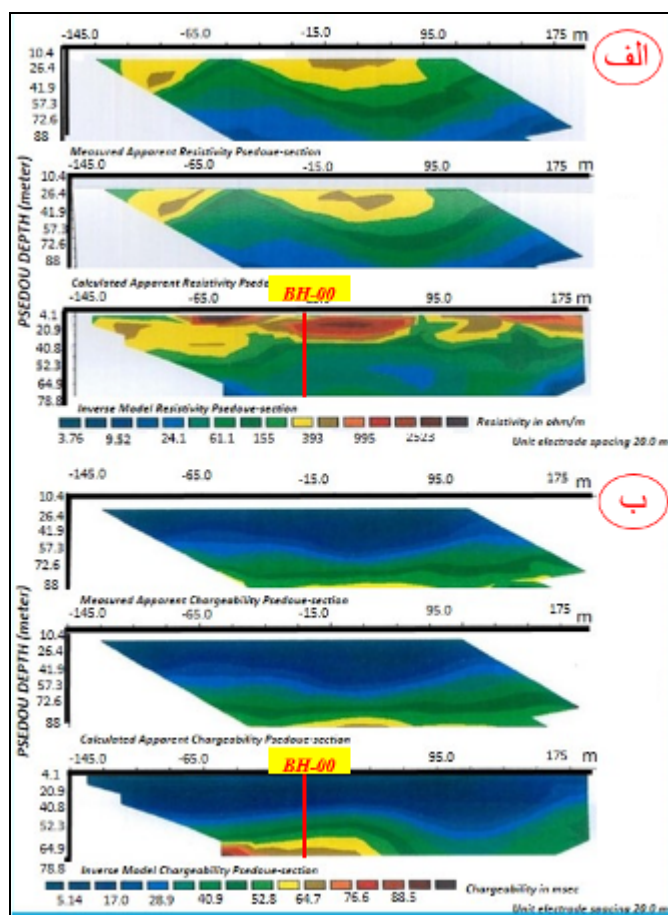
گل‌سنگ دگرگونی است. تنها دگرسانی سیلیسی بدون کانی-سازی در مغزه‌ها وجود داشت. مشخص شد که منبع ناهنجاری IP/RS دیده شده مواد آلی در شیل‌دگرگون شده است و ارتباطی با کانی‌سازی سرب و روی ندارد.



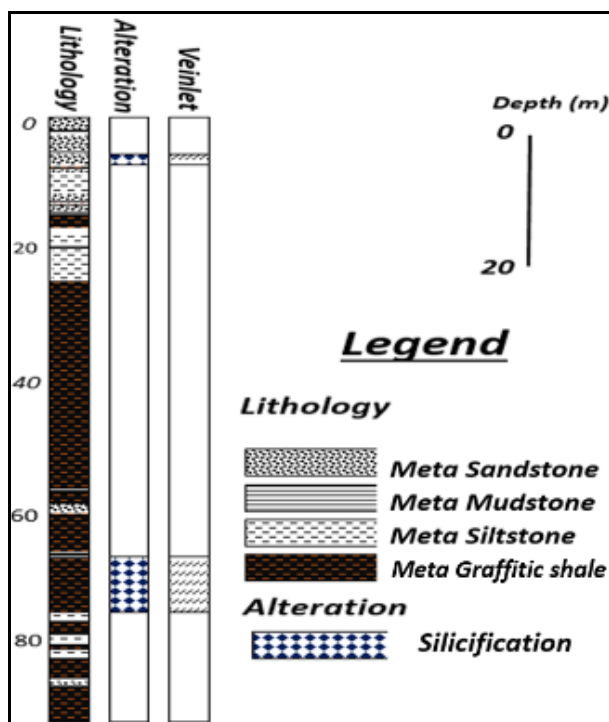
شکل ۷ الف. نقشه بارپذیری بخش B، ب. نقشه مقاومت ویژه بخش B، پ. نقشه ضریب فلزی بخش B [۳].



شکل ۸ نقشه زمین‌شناسی بخش اکتشافی B فریزی.



شکل ۹ الف. معکوس سازی هموارشبه مقطع مقاومت ظاهری مقطع PD-00 بخش B. ب. معکوس سازی هموارشبه مقطع بارپذیری مقطع PD-00 بخش B [۳].

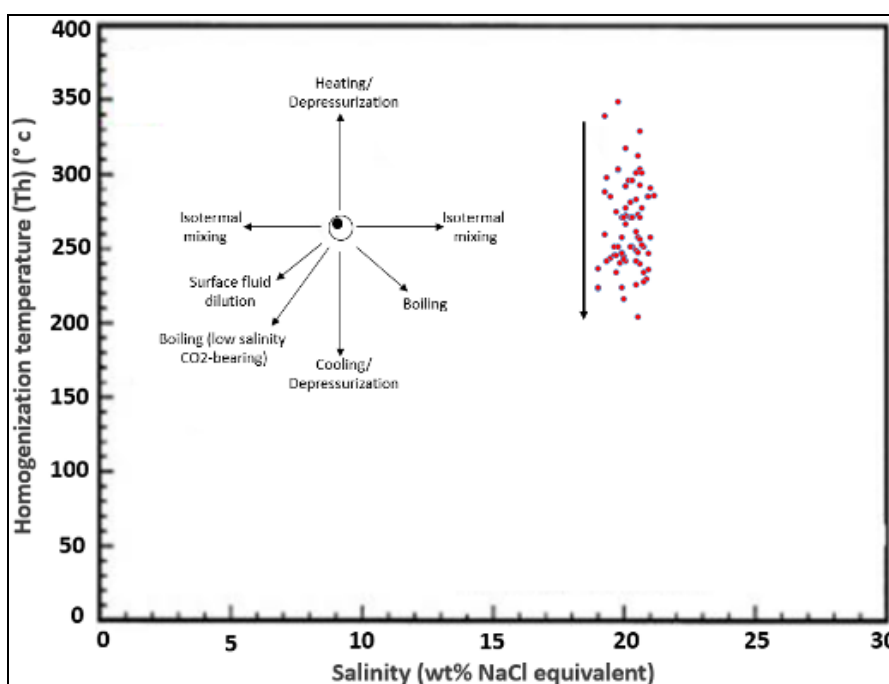


شکل ۱۰ نمودار چاه‌نگاری چاه BH-00 در بخش B منطقه اکتشافی فریزی.

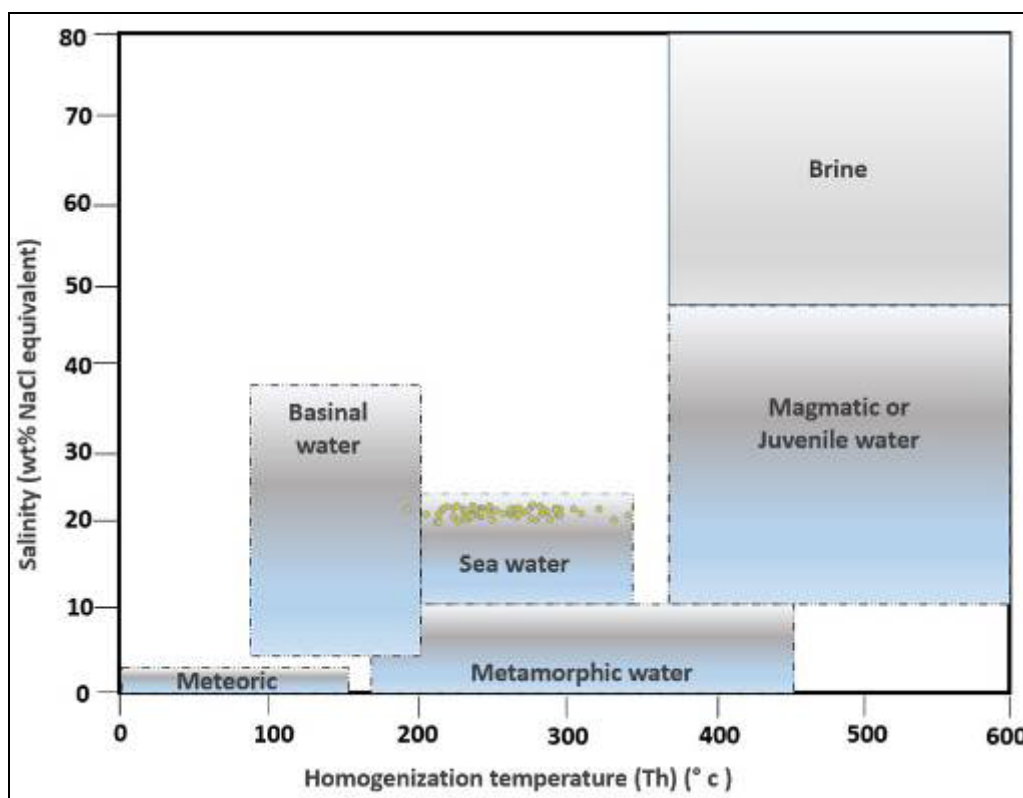
بحث و برداشت

سنگ میزبان کانی‌سازی فریزی، اسلیت، فیلیت و ماسه سنگ دگرگونی تریاس‌پسین- ژوراسیک‌پیشین (معادل سازند شمشک) است. رابطه‌ی کانی‌سازی و سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی روزادی بوده است، لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع کرده و از منطقه‌های گسلی و درز و شکستگی‌ها پیروی می‌کند. بنابراین سن رگه‌های کانی‌سازی جوانتر از سن سنگ میزبان (تریاس‌پسین- ژوراسیک‌پیشین) است. اگرچه در شمال شرقی ایران فعالیت‌های ماگمایی گسترده‌ای وجود دارد ولی منطقه‌ی فریزی با فاصله از آن‌ها قرار دارد. نزدیکترین سنگ‌های آذرین جوانتر از ژوراسیک‌پیشین به منطقه، بنا بر نقشه نیشابور [۱۵]، آندزیت و بازالت‌های ائوسن در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب غربی منطقه است. بنابراین کانی‌سازی هیچ ارتباطی به فعالیت‌های ماگمایی- گرمایی ندارد. در منطقه پی-جویی فریزی، کانی‌های سولفیدی به شکل رگه، پرکننده‌ی فضای خالی در سنگ میزبان تشکیل شده‌اند. تنها دگرسانی در سنگ میزبان شامل سیلیسی‌شدن است. مقدار عناصر سرب، روی و مس میانگین رگه‌ها به ترتیب حدود ۰٫۷۷، ۰٫۱۶ و ۰٫۳ درصد است. نتایج بررسی ریزدماسنجی سیال‌های درگیر اولیه کوارتز فریزی نشان داد که محلول کانه‌دار دمای متوسط تا بالا (۲۰۰ تا ۳۴۷ درجه سانتیگراد) و شوری نسبتاً بالا (۲۰/۲ تا

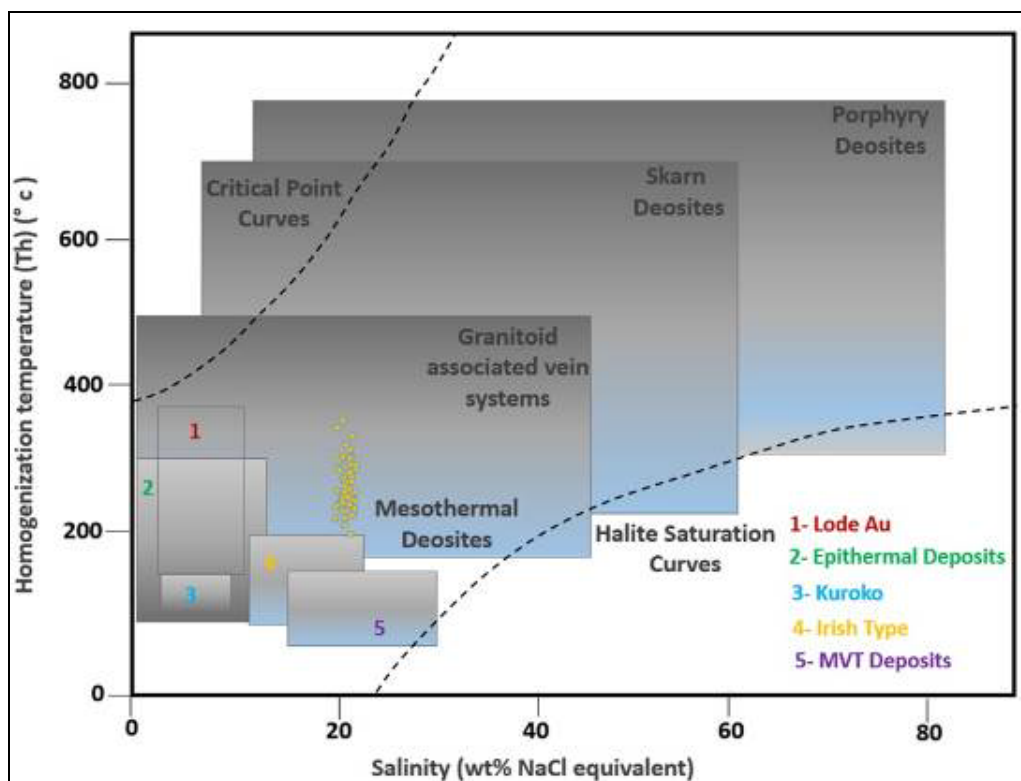
۲۲/۳۵ درصد وزنی) داشته است. اندازه‌گیری دمای همگدازی نشان‌دهنده‌ی حضور کاتیون‌های Na^+ و Ca^{++} در فاز مایع سیال درگیر اولیه است. این کاتیون‌ها احتمالاً از واحدهای رسوبی شسته شده و به وسیله همبافت کلریدی منتقل شده‌اند [۲۸]. تنه‌نشست کانه‌ها از محلول می‌تواند به وسیله‌ی عوامل مختلفی مانند کاهش دما، کاهش فشار، تغییرات pH و فشار جزئی گاز اکسیژن در سنگ میزبان واکنش داده با سیال و یا مخلوطی از همه این‌ها کنترل شود. نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری شاره‌های درگیر اولیه کوارتز فریزی نشان دهنده‌ی یک روند کاهشی برای دماست، در حالی که مقدار شوری تغییر زیادی ندارد (شکل ۱۱). این نشان می‌دهد که احتمالاً کاهش دما نقش مهمی در تشکیل رگه‌های کانی‌سازی داشته است. رابطه‌ی بین شوری و دمای همگن‌شدگی در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که ممکن است آب دریا در تشکیل کانی‌سازی نقش داشته است، اما منطقه از آنجا که دچار دگرگونی ناحیه‌ای شده است، روشن است که در زیر دریا قرار نداشته است. شوری بالای این سیال، پیامد آمیختگی آن با سنگ‌های تبخیری در مسیر حرکت سیال کانه‌دار به سمت بالا است (شکل ۱۳) که سبب قرارگیری دروغین سیال (شکل ۱۲) در گستره‌ی آب دریا شده است.



شکل ۱۱ نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری سیال‌های درگیر اولیه منطقه اکتشافی فریزی. مسیرهای روند تغییرات احتمالی برگرفته از مرجع [۲۹] هستند.



شکل ۱۲ نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر اولیه منطقه اکتشافی فریزی. گستره شارهای مختلف برگرفته از مرجع [۳۰] است.



شکل ۱۳ نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری سیال‌های درگیر اولیه منطقه اکتشافی فریزی. گستره کانسارهای مختلف برگرفته از مراجع [۲۹ و ۳۱] است.

- [2] Sheikholeslami M.R., Haghipour N., Navabpour P., Navab-Motlagh A., Kouhpani M., Mafi A., Heidarzadeh Gh., "Geology and tectonic studies of Kopeh-Dagh and Binalood", Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- [3] Earth Sciences Development Company., "Exploration report of Freezi area", (2003) 55p.
- [4] Najjaran M., Mostaan M., Omid A., "Geochemical exploration report of Neyshabour 1:100000 map", Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (2006).
- [5] Lyan Kavan Company., "Exploration report of Freezi area", (2011) 75p.
- [6] Berberian M., "Active faulting and tectonics of Iran, in Gupta", H K., and Delany F.M., editors, "Zagros- Hindakush- Himalaya geodynamic evolution", American Geophysical Union
- [7] Geodynamic Series 3 (1981) 33-69. Jackson J., McKenzie D., "Active tectonics of the Alpine-Himalaya belt between western Turkey and Pakistan", Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 77 (1984) 185-264.
- [8] Lindenberg H.G., Grolier K., Jacobshagen V., Ibbeken H., "post-paleozoic stratigraphy, structure and orogenic evolution of the southern Sabzevar zone and the Taknar block", Neues Jahrbuch für Geologie und paläontologie, Abhandlungen 168 (1984) 287-326.
- [9] Haghipour A., Aghanabati A., "Geological map of Iran (2nd edition), Tehran", Geological Survey of Iran, scale 1:2500000 (1989).
- [10] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East, Tehran", Geological Survey of Iran, scale 1:5000000 (1991a).
- [11] Ramezani J., Tucker R.D., "The Saghand region, central Iran, U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwanatectonics", American journal of science 303 (2003) 622-665.
- [12] Bodnar R. J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O- NaCl solution", Geochimica et Cosmochimica Acta 57 (1993) 683-684.
- [13] Brown P. E., Lamb W. M., "P-V-T properties of fluids in the system H₂O- CO₂-NaCl; new grations for fluid inclusion studies", Geochimica et Cosmochimica Acta 53 (1989) 1209-1221.

این نوع از آب‌های دگرگونی بهترین گزینه احتمالی برای تشکیل این کانی‌سازی است. آب بین ذرات رسوبی هرگاه در معرض فشار و دمای حاصل از دگرگونی ناحیه‌ای قرار گیرد، عناصری از سنگ‌های مسیر مهاجرت سیال را شسته، با خود حمل کرده و فضا را ترک می‌کند. این نوع سیال می‌تواند در طول مرز لایه‌ها، گسل‌ها، دگرشیبی‌ها و پهنه‌های کم فشار، کانی‌سازی خود را هنگام واکنش با سنگ میزبان بر جای گذارد. بررسی مغزه‌های حفاری بر ناهنجاری بالای شبه مقطع IP/RS در بخش B، وجود ذغال گرافیتی در سنگ میزبان را تایید کرد. ذغال کمی دگرگون شده در اسلیت و ماسه سنگ دگرگون شده می‌توانند دامنه ناهنجاری IP/RS را تا مقدار قابل مقایسه با کانی‌سازی سولفید توده‌ای بالا ببرند [۳۲] و این نباید سبب گمراهی در تفسیر ناهنجاری شود. این به خوبی نشان می‌دهد که هر ناهنجاری IP/RS لزومی ندارد منبع کانی‌سازی فلزی داشته باشد. خاستگاه فلزات کانه‌ساز در منطقه فریزی به احتمال زیاد همان لایه‌های غنی از گرافیت است که طی فاز کوهزایی سیمیرین میانی در ژوراسیک میانی توسط آب‌های دگرگونی حمل شده و در فضاهای ساختاری مناسب برجای گذاشته شده است. شکل ۱۳ گستره دما و شوری سیال‌های درگیر کانسارهای مختلف را به نمایش گذاشته است. در این نمودار، بیشتر سیال‌های درگیر فریزی در گستره‌ی کانسارهای متوسط دما قرار می‌گیرند. از آنجا که واژه متوسط دما امروزه منسوخ شده است، بنابراین منطقه‌ی فریزی به عنوان کانسار رگه‌ای نوع کوهزایی معرفی می‌شود.

قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره‌ی ۳/۳۲۳۴۰ مورخ ۱۳۹۳/۸/۱۵ انجام شده است. از شرکت لیان کاوان کانی‌ها و اکتشاف به ویژه کارشناس محترم اکتشاف جناب آقای مهندس هادی علی‌نیا به سبب در اختیار گذاشتن داده‌های زمین‌شیمی، مغزه‌های حفاری اکتشافی و همکاری‌های بی دریغشان صمیمانه سپاسگزاریم. از دوست بزرگوار جناب آقای علی منصوری که برای انجام عملیات صحرایی این پروژه کمک نمودند نیز تشکر را داریم.

مراجع

- [1] Nabavi M.H., "A Preface to Geology of Iran", Geological Survey of Iran (1973) 109p.

- [24] Dentith M., Stuart R., " *Sediment-hosted stratiform copper deposits in the Adelaide Geosyncline, South Australia*", Geophysical responses of mineralization and the mineralized environment, Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits (2002) 169-195.
- [25] Busuttill S., Law S., " *The geophysics of the Kalkaroo prospect, Olary Domain, South Australia*", Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits (2001) 121-126.
- [26] White R.M.S., Collins S., Denne R., Hee R., Brown P., " *A new survey design for 3D IP modelling at Copper hill*", Exploration Geophysics 32 (2001) 152-155.
- [27] Malekzadeh Shafaroudi A., " *Geology, mineralization, alteration, geochemistry, microthermometry, radiogenic isotopes, petrogenesis of intrusive rocks and determination of source of mineralization in Maherabad and Khopik prospect areas, South Khorasan province*", Unpublished Ph.D thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (2009) 600 p.
- [28] Sverjensky D. A., " *The diverse origin of Mississippi valley type Pb-Zn-Ba-F deposits*", Chorn Rech Min 495 (1989) 5-13.
- [29] Wilkinson J. J., " *Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits*", Lithos (2001) 229-227.
- [30] Kesler E.S., " *Fluid in Planetary Systems: ore-forming Fluids*", Element 1 (2005) 13-18.
- [31] Volkov A. V., Prokofiev V. Y., Alekseev Yu., Baksheev I. A., Sidorov A. A., " *Ore-forming Fluids and Conditions of Formation of Gold- Sulfide- Quartz Mineralization in the Shear Zone: Pogromnoe deposit (Eastern Transbaikalin region)*", Doklady AcadNauk 441 (2011) 352-357.
- [32] Dentith M., Mudge S. T., " *Geophysics for the mineral exploration geoscientists*", Cambridge University Press, (2014) 730 pp.
- [14] Pourlatifi M., " *Geological map of Torghebeh, 1:100000 scale*", Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (2001).
- [15] Ghaemi F., " *Geological map of Neyshabour, 1:100000 scale*", Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (2001).
- [16] Javidi-Moghaddam M., Hidarian Shahri M.R., Karimpour M.H., " *Geology, mineralization, geochemistry, and magnetometer studies of iron mineralization of Kalateh-Shahin area, Khorasan Razavi province*", Iranian Journal of Economic Geology 1 (2010) 77-96.
- [17] Whitney D. L., Evans B. W., " *Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [18] Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., " *A practical guide to fluid inclusion studies, Blackie*", London (1985).
- [19] Gandomkar A.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Hidarian Shahri M.R., " *Geology, alteration, mineralization, geochemistry, and interpretation of IP/RS data of Bouteh-Gaz prospect area, NE Torbat-e-Jam*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 3 (2013) 519-536.
- [20] Esdale D.J., Pridmore D. F., Coggen J. H., Muir P.M., Williams P. K., Fritz F.P., " *Olympic Dam deposit- Geophysical case history*", 5th ASEG Conference, (1987) 47-49.
- [21] Rajagopalan S., Haydon S.J., " *The Benambra volcanic hosted massive sulphide deposits*", Geological Survey of Victoria report 119, Australian Society of Exploration geophysicists special publication 11 (1999).
- [22] Guo W., Dentith M., Zhao Y., " *Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc ore field Gansu Province, China*", Exploration Geophysics 31 (2000) 243-247.
- [23] Karen P., Barry B., " *The geophysical response of the tusker gold deposit, Lake Victoria gold fields, Tanzania*" (2005).