



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

محمد رضا کاظم‌پور^۱، محمد رضا حیدریان شهری^{*}، آزاده ملک‌زاده شفارودی^۲

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)

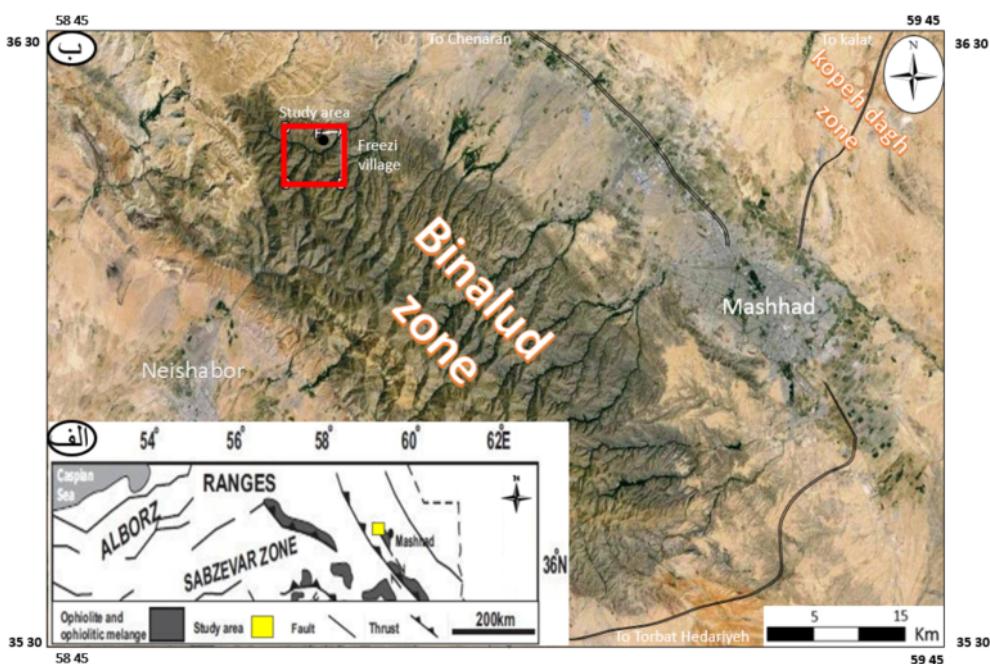
چکیده: منطقه بی‌جویی سرب- روی- مس فریزی در شمال غرب مشهد، در استان خراسان رضوی واقع است. کانی‌سازی به شکل رگه‌ای در سنگ میزبان اسلیت با میان لایه‌های فیلیت و ماسه سنگ کم‌دگرگون شده تریاس پسین- ژوراسیک پیشین (معادل سازند شمشک) تشکیل شده است. تنها دگرسانی سنگ میزبان سیلیسی‌شدن است. کانی‌سازی اولیه کوارتز، گالن، کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های ثانویه هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کوولیت، ملاکیت و آزوریت است. مقدار سرب در رگه‌ها تا ۳٪، روی تا ۱،۶٪، مس تا ۴٪ و نقره تا ۰،۰٪ است. اندازه‌گیری‌های ریزدانسانجی 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٪ تا ۲۲٪ درصد وزنی) که احتمالاً آب دگرگونی است، ریشه گرفته است. کاهش دما مهمنترین 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 مغزهای حفاری بر ناهنجاری بالای شبه مقطع IP/RS در بخش B وجود ذغال گرافیتی 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 پالئوتیس 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 بی‌جویی فریزی، یک سیستم سرب، روی و مس رگه‌ای در شمال شرق ایران و ۵۲ کیلومتری شمال غرب مشهد است که در گستره طول‌های جغرافیایی "۵۸° ۵۴' ۵۴" تا "۳۴° ۵۸' ۵۴" و عرض‌های جغرافیایی "۳۶° ۲۵' ۳۲" تا "۲۸° ۵۲' ۰۵" شرقی و "۳۶° ۲۵' ۳۲" تا "۳۶° ۲۵' ۳۲" 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



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 [۱۱-۶] با تغییرات).

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 خردمنگی که ۱۸ نمونه آن به روش عیارسنگی 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 همierzایی تهیه شد. آزمایش‌های مورد نظر با استفاده از یک دستگاه سردکننده و گرم کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM 600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن $C \pm 1^\circ$ 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 دماسنگی مرجع [۱۳] محاسبه شده‌اند. نمودارهای لازم در نرم افزار SPSS ترسیم شده‌اند.

از بررسی‌های اخیر انجام شده در این منطقه نیز می‌توان به گزارش اکتشافات زمین‌شیمیایی و کانی سنگین در گستره نقشه یکصدهزار نیشابور [۴] و پی‌جوبی نیمه‌تفصیلی سرب و روی فریزی توسط شرکت لیان کاوان کاویان 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 همierzایی کانی‌بایی، کانی‌سازی، زمین‌شیمی، سیال‌های درگیر و نیز تفسیر داده‌های زمین‌فیزیکی به روش IP/RS با بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در منطقه پی‌جوبی فریزی است.

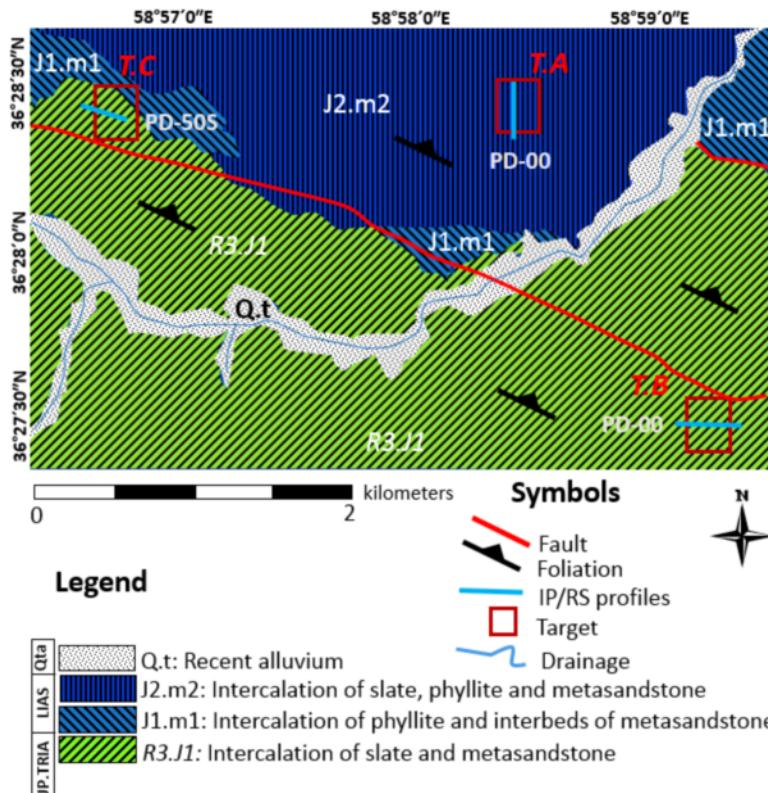
روش بررسی

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

این سنگ‌ها به ویژه در بخش ماسه سنگی به شکل صفحه‌های دارای ساخت رسوی چون موجنما و نیز لایه‌بندی چلیپایی مشخص می‌شود [۲]. ساختارهای اصلی در منطقه شامل برگوارگی و خطوطارگی 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 پالنتوتیس و مجموعه توربیداتی 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 صحراوی 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.

زمین‌شناسی و دگرسانی

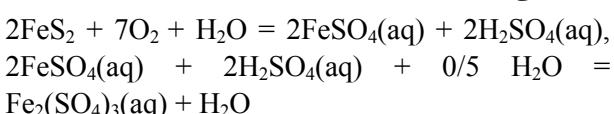
منطقه پی‌جوبی فریزی در گوشی شمال شرقی ورقه‌ی زمین‌شناسی نیشابور (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰) [۴] در پهنه زمین‌ساختی بینالود واقع است. از ویژگی‌های زمین‌شناسی پهنه بینالود وجود گستره وسیعی از نهشته‌های تخریبی دگرگون شده تریاپس پسین- ژوراسیک پیشین با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است که از شمال‌شرقی شهر نیشابور تا جنوب‌غربی شهر مشهد به طور پیوسته گسترش دارند. این نهشته‌ها که ترکیب پیشتر آن‌ها اسلیت، فیلیت، ماسه سنگ‌های سیلیسی کانه‌دار در هستند، به طور موضعی میزبان رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در منطقه‌ی فریزی هستند (شکل ۲). شیل و ماسه سنگ‌های (معادل گروه شمشک) به سن تریاپس 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 راسپ شده‌اند. لایه‌بندی اولیه در



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 درونزاد: کانی‌سازی عمدۀ 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 تنש‌های 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 میانبارهایی در کانی گالن دیده می‌شود. بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش B است. ابعاد بلوری این کانی بین ۰/۱ تا ۰/۱۲ 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 ۰/۲ 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 بالاً‌آمدگی سنگ‌ها، آب و هوا، ترکیب سنگ اولیه (به ویژه مقدار پیریت) و ساختار سنگ میزبان (از نظر گسل خوردگی و شکستگی) است. بالاً‌آمدگی 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 هوایی کننده 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].



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 N45W در بخش A، N20E و 35SE در بخش B 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 [۲]. 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. کانی‌شناختی 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:

درونزاد و برونزاد شکل گرفته است:

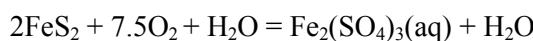
مس، بخشی از این عنصر با کمپلکس کربناتی موجود در محیط واکنش داده و به صورت کربنات‌های مس آبدار در پهنه اکسیدان نهشته می‌شوند و به صورت دانه‌های آبی و سبز در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی قابل مشاهده است. بیشترین فراوانی این کانی‌ها مربوط به بخش B است.

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 همبازایی

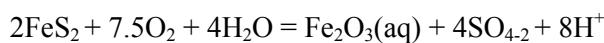
گالن نخستین کانی سولفیدی تشکیل شده است که توسط پیریت احاطه شده و درون شکستگی‌های آن میانبارهایی از پیریت و کالکوپیریت نیز دیده می‌شوند. گالن فراوانترین کانی سولفیدی در بخش A است که در نمونه دستی نیز دیده می‌شود. انحنا و جایه‌جایی چاله‌های مثلثی گالن نشان دهنده رخداد دگرشکلی پس از ته نشینی آن است (شکل 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 همبازایی کانی فریزی در شکل ۴ ارائه شده است. پیریت و کالکوپیریت بیشتر به صورت میانبارهایی در شکستگی‌های کانی گالن وجود دارند لذا تشکیل آن‌ها را می‌توان به پس از گالن نسبت داد (شکل ۳ پ). سیلیسی‌شدن 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).

و در محیط‌های غنی از اکسیژن:

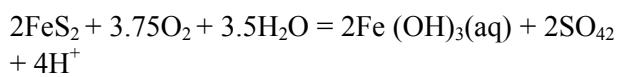


در چنین محیط‌هایی حتی پیریت می‌تواند به طور مستقیم

طبق واکنش زیر به هماتیت تبدیل شود:



با این‌که 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

pH اکسیژن عمل می‌کند [۱۶]. درنتیجه 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 فرآوردهای اصلی برونزاد در توالی همبازایی کانه‌سازی

است. این کانه در مقیاس مزووسکوپی و میکروسکوپی دارای

بافت‌های کلیه‌ای و کلوبنیدی است. این کانی فرآورده دگرسانی

پیریت است. بیشترین فراوانی این کانی مربوط به بخش B

است.

هماتیت: یکی از فراوانترین کانی‌های تشکیل دهنده‌ی 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.

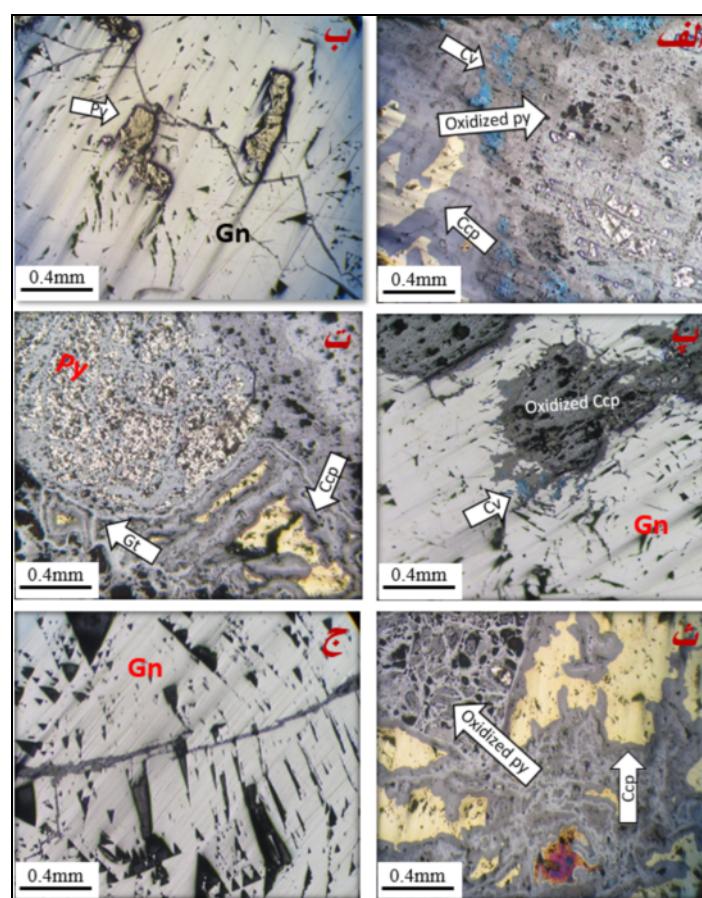
لیمونیت: در اثر دگرسانی پیریت (به صورت مخلوطی از کانی-

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.

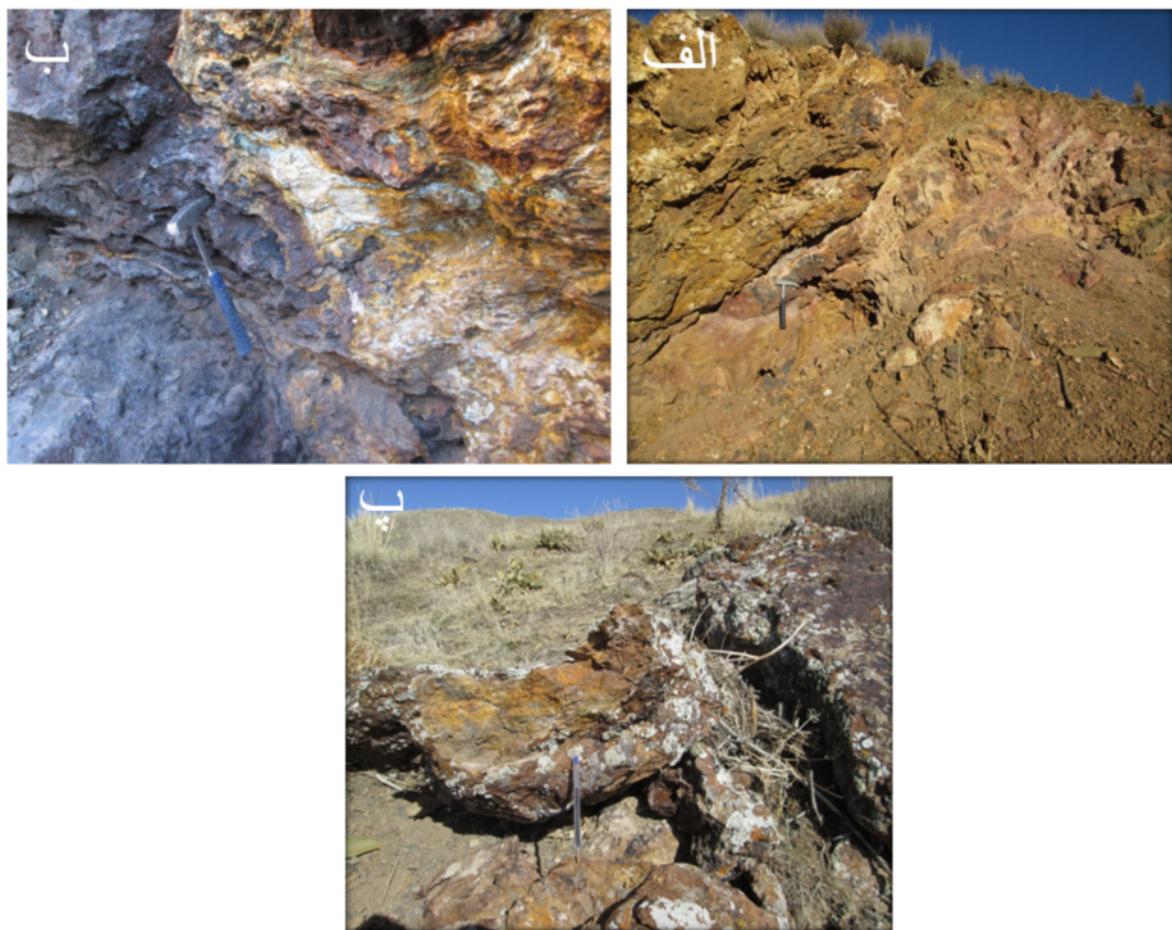
مالاکیت و آزوریت: در اثر دگرسانی کالکوپیریت و آزاد شدن



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- دانه‌های پیریت، کالکوپیریت و گوتیت با بافت کلوفرم، ث- دانه‌های کالکوپیریت و پیریت اکسیده شده و ج- گالن با رخ شاخص میخی. (Gn=گالن، Gt=گوتیت، Ccp=کالکوپیریت، Py=پیریت، Cov=Covellite، Cv=کوولیت [۱۷]).

Mineral	Metamorphism stage	Early → Late	
		Hypogen	oxidized zone
Quartz		—	—
Galena		—	—
Pyrite		—	—
Chalcopyrite		—	—
Covellite		—	—
Malachite		—	—
Azurite		—	—
Limonite		—	—
Hematite		—	—
Geotite		—	—

شکل ۴ توالی روابط همبازایی در منطقه اکتشافی فریزی.



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

میلی‌گرم در تن متغیر است و فقط نمونه ۱۸-PE-L تا ۷۱ میلی‌گرم در تن طلا دارد.

بررسی سیال‌های درگیر

سیال‌های درگیر برای تعیین دماسنجدی، تعیین نوع نمک‌ها و مقدار شوری محلول کانه‌دار در کانسارهای مختلف بررسی می‌شوند. البته پیش از آن نیاز به بررسی‌های دقیق همبازی 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 دماسنجدی تعداد ۵ مقطع دو بر صیقل از کانی کوارتز که مهمترین همیر 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

زمین‌شیمی رگه‌ها

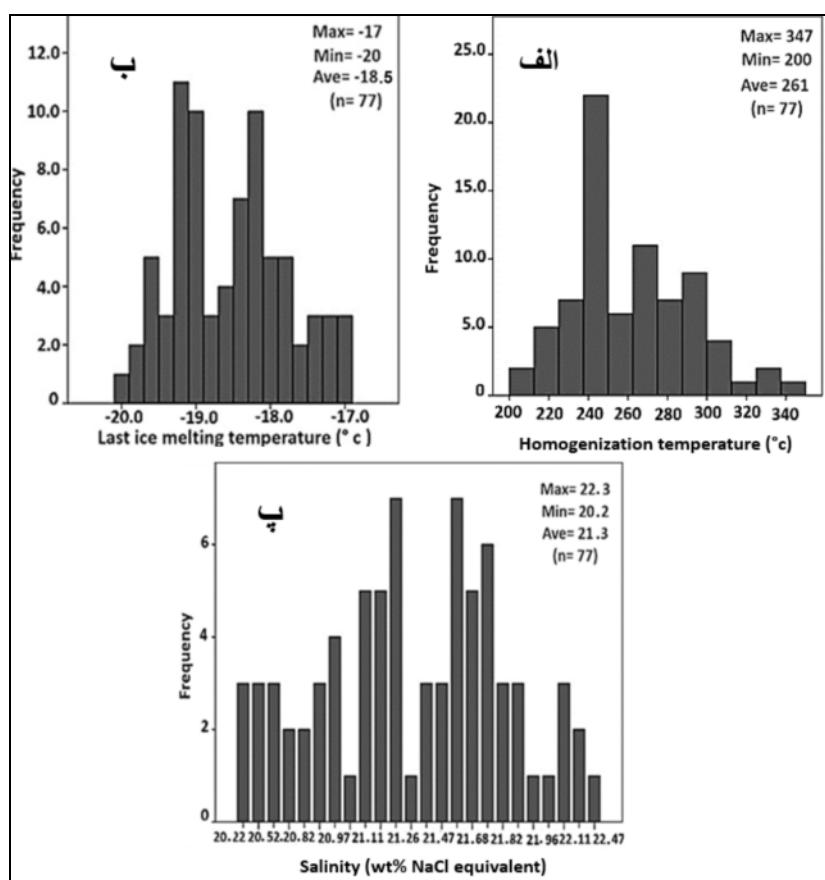
مقدار عناصر مس، سرب، روی، نقره و طلا در رگه‌های معدنی A, B, C در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج، مقدار سرب از ۶ تا ۳۷۰۰۰ گرم در تن متغیر است که مربوط به حضور کانی گالن به عنوان مهمترین کانه معدنی در بخش A است. مقدار روی از ۱۴ تا ۱۵۰۰۰ گرم در تن متغیر است. این عنصر در قالب کانی‌هایی مانند اکسیدهای روی و به ندرت نوع اولیه آن اسفالریت در رگه‌ها حضور دارد. مقدار عنصر مس از ۱۶ تا ۴۰۰۰ گرم در تن متغیر است که بیشتر مربوط به حضور کانی‌های ثانویه مانند ملاکیت، آزوریت، کوولیت و بسیار کمتر کانی‌های اولیه کالکوپیریت است. نقره از ۰/۵ تا ۱۸۴ گرم در تن متغیر است. کانی نقره‌دار مستقلی 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

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 بخ (T_m) نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. مقدار T_m بین ۱۷-۲۰ تا ۲۰ درجه سانتیگراد با میانگین ۱۸,۵۷- درجه سانتیگراد متغیر است (شکل ۶ ب). بر اساس سیستم H₂O-NaCl با میانگین ۲۱,۳۰ 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 ۰,۱۰۲ 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 دماستنجی شدند. دمای همگن شدگی (T_h) سیال‌های درگیر اولیه بین ۲۰۰ تا ۳۴۷ درجه سانتیگراد با میانگین دمای ذوب شدگی سانتیگراد است (شکل ۶ الف). نخستین دمای ذوب شدگی (T_{fm}) در سیال‌ها نیز بین ۵۵,۱-۵۸,۴ تا ۵۶,۴-۵۷,۷ متغیر بود. نخستین دمای ذوب شدگی رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمابی CaCl₂ دارد [۱۸]. بر اساس مقدار T_{fm} بدست آمده، نمک‌های

جدول ۱ نتایج تجزیه زمین‌شیمیابی نمونه‌های خرد سنگی به روش طیفسنجی جرمی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی، (برحسب گرم در تن) و عیارسنجی گرمابی (برحسب میلی گرم در تن) در بخش‌های 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 همگن شدگی، ب- نمودار دمای نهایی ذوب یخ ، پ- نمودار شوری.

جدول ۲ خلاصه نتایج بررسی سیال‌های درگیر اولیه کانی کوارتز در منطقه اکتشافی فریزی. Th- دمای همگن شدگی، Tm- دمای نهایی ذوب یخ

نمونه	تعداد	اندازه(μm)	T _h (°C)	T _m (°C)	[۱۲](wt.%equiv.)	شوری (۱۳)(gr/cm ³)	چگالی
FR 52A	۱۶	۱۵-۱۰	۳۰۱-۲۱۲	-۱۹,۷ تا -۱۷	۲۱,۲۶ تا ۲۰,۲۲	۱,۰۱-۰,۰۹	
FR 54A	۱۷	۱۵-۱۲	۳۴۷-۲۲۰	-۱۸,۴ تا -۱۷	۲۱,۲۶ تا ۲۰,۲۲	۰,۹۹-۰,۸۸	
FR 1B	۱۸	۱۵-۱۰	۲۸۹-۲۲۴	-۱۹,۷ تا -۱۸	۲۲,۱۱ تا ۲۰,۶۷	۱,۰۱-۰,۹۴	
FR 4 B	۱۵	۱۸-۱۰	۲۸۲-۲۰۰	-۱۹,۰ تا -۱۷	۲۲,۱۱ تا ۲۰,۲۲	۱,۰۲-۰,۹۵	
FR 6 B	۱۱	۲۰-۱۰	۳۳۷-۲۸۰	-۲۰ تا -۱۷,۳	۲۲,۳۸ تا ۲۰,۴۵	۰,۹۵-۰,۸۵	

ناهنجاری‌ها استفاده می‌شود. مرحله دیگر استفاده از روش‌های زمین‌فیزیکی زمینی در مراحل مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی است. در این مرحله، پس از به کارگیری 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 کانسوار را برآورد کرد [۱۹]. روش IP/RS در پی‌جویی مکان، گسترش و عمق کانی-

تفسیر داده‌های IP/RS

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 زمین‌فیزیکی بهره برد. نخست در پی‌جویی‌های منطقه‌ای که امروزه بیشتر از داده‌های زمین‌فیزیکی هوایی برای یافتن مکان

گستره لیمونیتی-هماتیتی هم مکان است. کمترین بارپذیری اندازه‌گیری شده مربوط به شمال شرق بخش B است که شدت آن به ۴۰-۲۵ میلی ولت بر ولت می‌رسد و با واحد فیلیت فاقد کانی‌سازی همخوانی دارد. جهت بررسی ناهنجاری A در عمق شبه مقطع IP/RS با آرایه قطبی-دوقطبی با فاصله الکتروودی ۹۰ متر در محل مقطع PD-00 اندازه‌گیری شده است (شکل ۹ الف). بررسی ناهنجاری‌های شبه مقطع PD-00 وجود پهنه ناهنجاری A را در عمق تأیید می‌کند. بیشترین بارپذیری اندازه‌گیری شده به ۷۰ میلی ولت بر ولت و کمترین آن به ۵ میلی ولت بر ولت می‌رسد. در این شبه مقطع، ناهنجاری IP گستره قابل ملاحظه‌ای دارد. بارپذیری با شدت ۲۰-۳۰ میلی ولت بر ولت در فیلیت فاقد کانی‌سازی را می‌توان به عنوان حد زمینه و بارپذیری باشد ۵۰ میلی ولت بر ولت در گستره دگرسانی با کانی‌سازی را به عنوان ناهنجاری IP محسوب نمود. ناهنجاری بارپذیری عمقی در شبه مقطع در سطح با دگرسانی سیلیسی همخوانی داشته و بیشینه تراکم کانی‌سازی سولفیدی در زیر نقاط ۲۰W-40E قرار دارد. در نقشه مقاومت ظاهری (شکل ۷ ب)، تغییرات از نوسانات کمی برخوردار است، به طوری که کمترین مقدار اندازه‌گیری شده به ۲۰ اهم-متر در جنوب شرق منطقه و بیشینه آن به ۲۴۰ اهم-متر در شمال-شرق می‌رسد. از نقشه بارپذیری، ضریب فلزی به دست آمد (شکل ۷ پ) که بیشینه آن ($mhos/m$) ۱۰۰۰۰ تا حدی در محل ناهنجاری بارپذیری قرار دارد. نتایج معکوس‌سازی هموار بر روی شبه مقطع PD-00 نشان از وجود منبعی با شارژ‌پذیری بالا در عمق دارد (شکل ۹ ب). در طول پروفیل PD-00 بین فاصله ۵-تا ۵۵ متر، توده‌ای با مقاومت بالا و بارزپذیری پائین وجود دارد که منطبق بر رگه سیلیسی دارای کانی‌سازی 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 بارزپذیری بالا وجود دارد که در مغزه‌های حفاری منطبق با شیل‌های سیاه است (شکل ۱۰). بر ناهنجاری شبه مقطع PD-00، چاه BH-00 تا عمق $92/4$ متر حفاری شده است [۵]. بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی مغزه‌ها در این پژوهش انجام و نمودار چاهنگاری مربوط به آن رسم شد (شکل ۱۰)، سنگ‌شناسی عمدۀ در این چاه شامل واحدهای شیل سیاه رنگ حاوی ذغال کمی دگرگون شده و ماسه سنگ دگرگونی و گاهی لای سنگ دگرگونی و

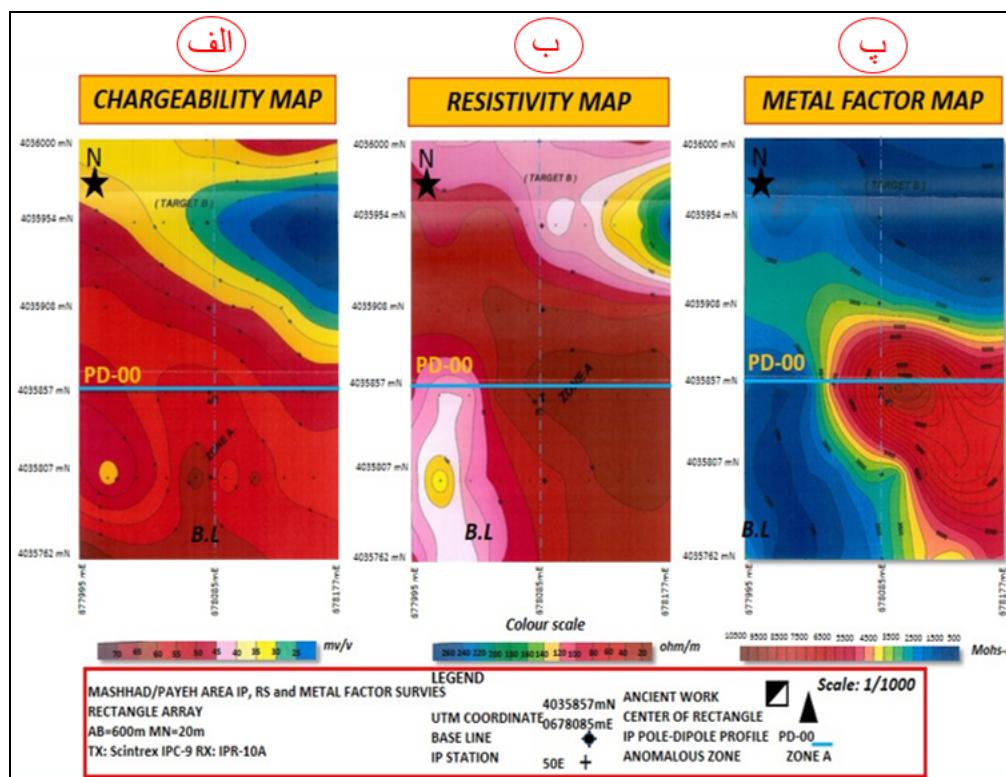
سازی سولفیدی برای اکتشاف انواع کانسارها مانند المپیک دم در استرالیا [۲۰]، ماسیوسولفاید بنامبرای در استرالیا [۲۱]، سرب و روی زی چنگ در چین [۲۲]، کانسار طلای توسکر در تانزانیا [۲۳]، مس رسوی آدلاید جنوب استرالیا [۲۴]، منطقه کالکارو در شمال غرب معدن بروکن هیل و جنوب استرالیا [۲۵]، مس هیل [۲۶]، و بسیاری از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

وجود آثار شدادی و پهنه گوسان گستره و دگرسانی سیلیسی و ناهنجاری زمین‌شیمیایی در سطح سبب برداشت داده‌های زمین‌الکتریکی در سه بخش A، B و C از منطقه اکتشافی فریزی شده است [۳]. شکل ۲ موقعیت این بخش‌ها و شبه‌مقاطع را بر نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهد. جهت بررسی تغییرات سطحی کانی‌سازی 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 برداشت‌های IP/RS قرار گرفته است [۳]. نتایج این برداشت‌های صحرایی به صورت نقشه‌های رنگی و شبه‌مقاطع در این بخش‌ها تهیه شده است. منطقه مورد بررسی جهت تعیین حضور کلی کانسار ابتدا با آرایش مستطیلی با طول خط جریان ۶۰۰ متر و فواصل الکتروودی ۲۰ متر به روش قطبش القایی برداشت شده است. در این برداشت، خط مبنا در امتداد دگرسانی و پهنه گوسان به طول ۲۵۰ متر در جهت شرقی-غربی در A و جهت شمالی-جنوبی در B و C تعریف شده است. مقاطع‌های عرضی عمود بر خط مبنا به طول ۴۰۰ تا ۳۶۰ متر و فاصله نقاط برداشت ۲۰ متر انتخاب گردیده است (شکل ۲). لازم به یادآوری است که طول مقاطع بسته به ناهنجاری‌های دیده شده طی برداشت تغییر کرده است. نتایج به دست آمده از برداشت IP/RS به صورت نقشه‌های بارپذیری، مقاومت ظاهری، ضریب فلزی و شبه مقطع فقط برای بخش B که در آن حفاری انجام شده است در اینجا ارائه می‌شود.

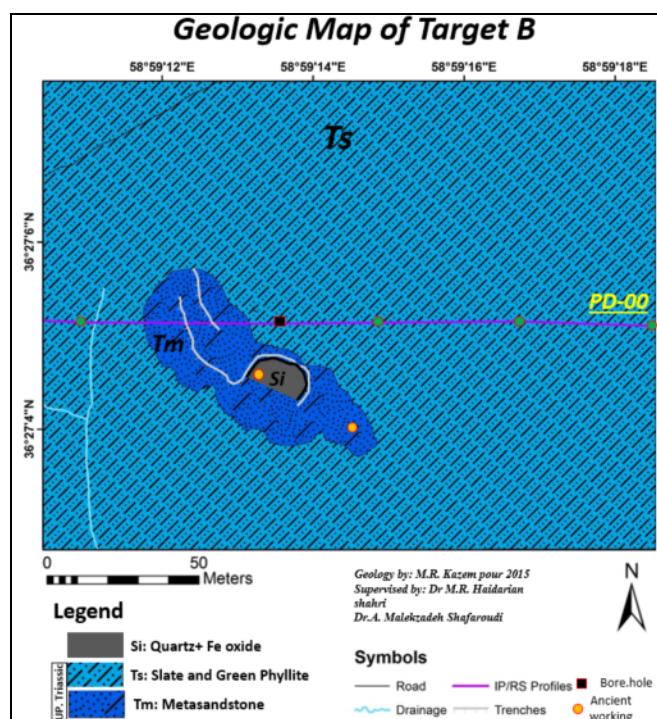
در نقشه بارپذیری بخش B (شکل ۷ الف)، بیشینه بارپذیری اندازه‌گیری شده به ۷۵-۸۰ میلی ولت بر ولت می‌رسد که در قسمت جنوب آن، با پهنه ناهنجاری A (با جهت شمال غرب-جنوب شرق) به ثبت رسیده است. این ناهنجاری در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۸) منطبق بر محل کنده‌کاری های قدیمی است و با کانی‌سازی سولفیدی با دگرسانی سیلیسی در سنگ میزبان ماسه سنگ دگرگونی و پهنه گوسان

IP/RS دیده شده مواد آلی در شیل‌دگرگون شده است و ارتباطی با کانی‌سازی سرب و روی ندارد.

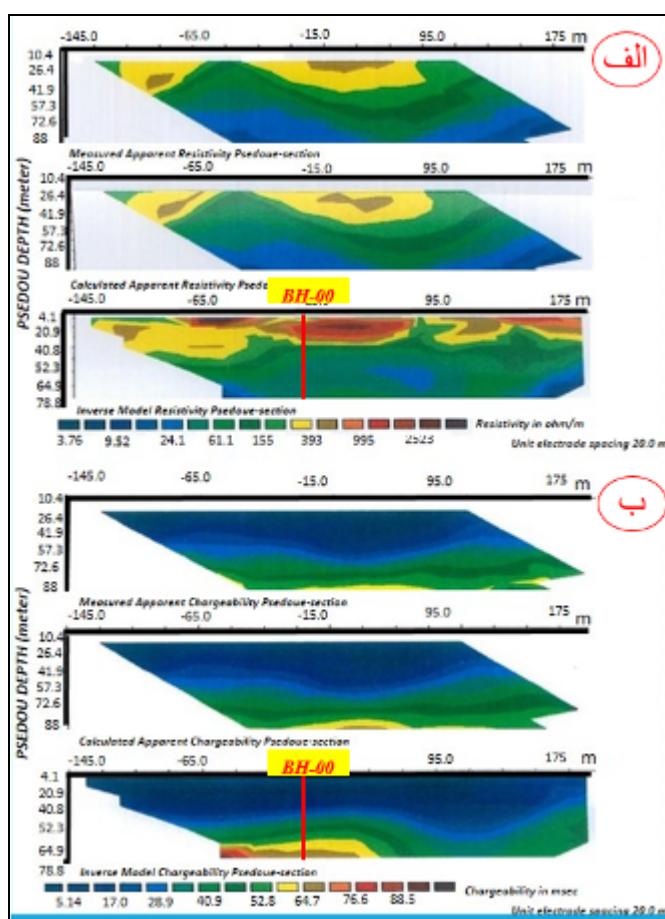
گلسنگ دگرگونی است. تنها دگرسانی سیلیسی بدون کانی‌سازی در مغزه‌ها وجود داشت. مشخص شد که منبع ناهمجاري



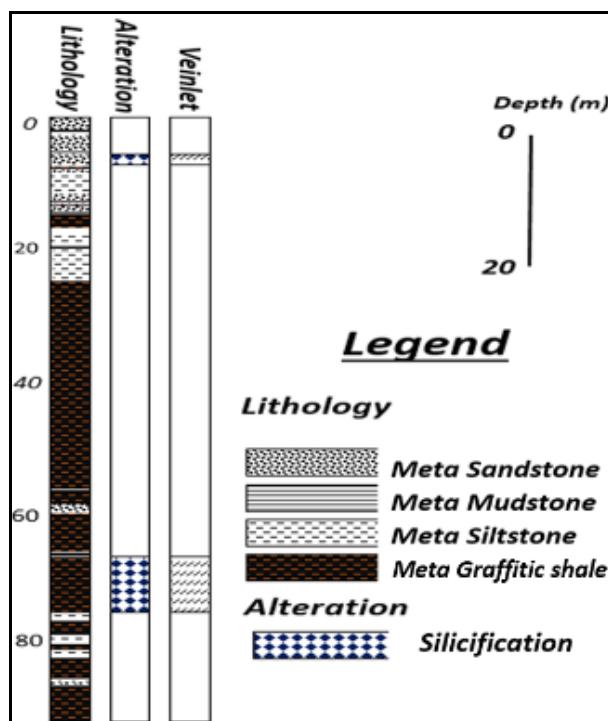
شکل ۷ الف. نقشه بارپذیری بخش B، ب. نقشه مقاومت ویژه بخش B، پ. نقشه ضریب فلزی بخش B [۳].



شکل ۸ نقشه زمین‌شناسی بخش اکتشافی B فریزی



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

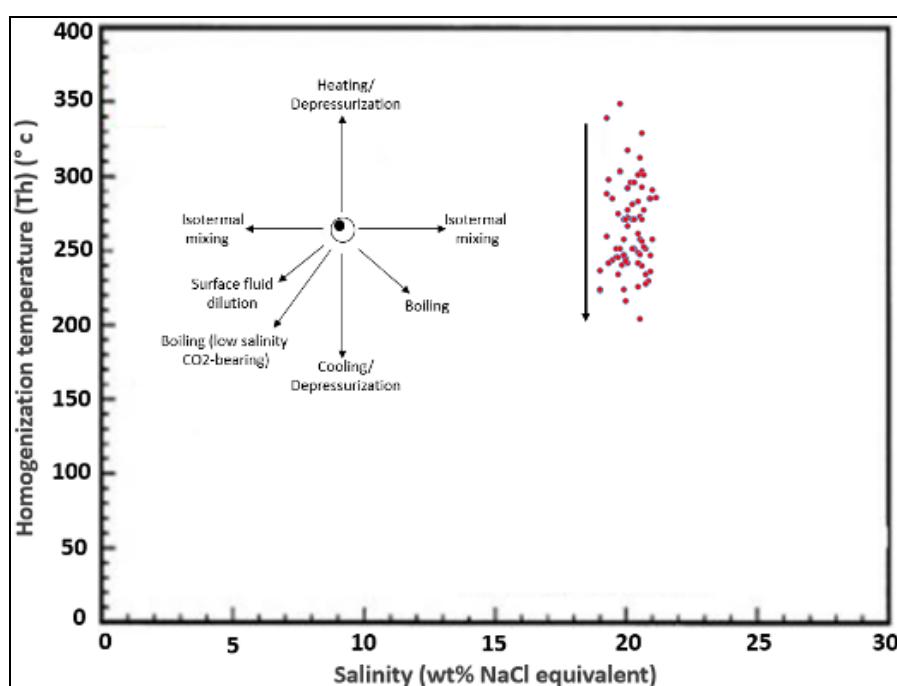


شکل ۱۰ نمودار چاهنگاری چاه BH-00 در بخش B منطقه اکتشافی فریزی.

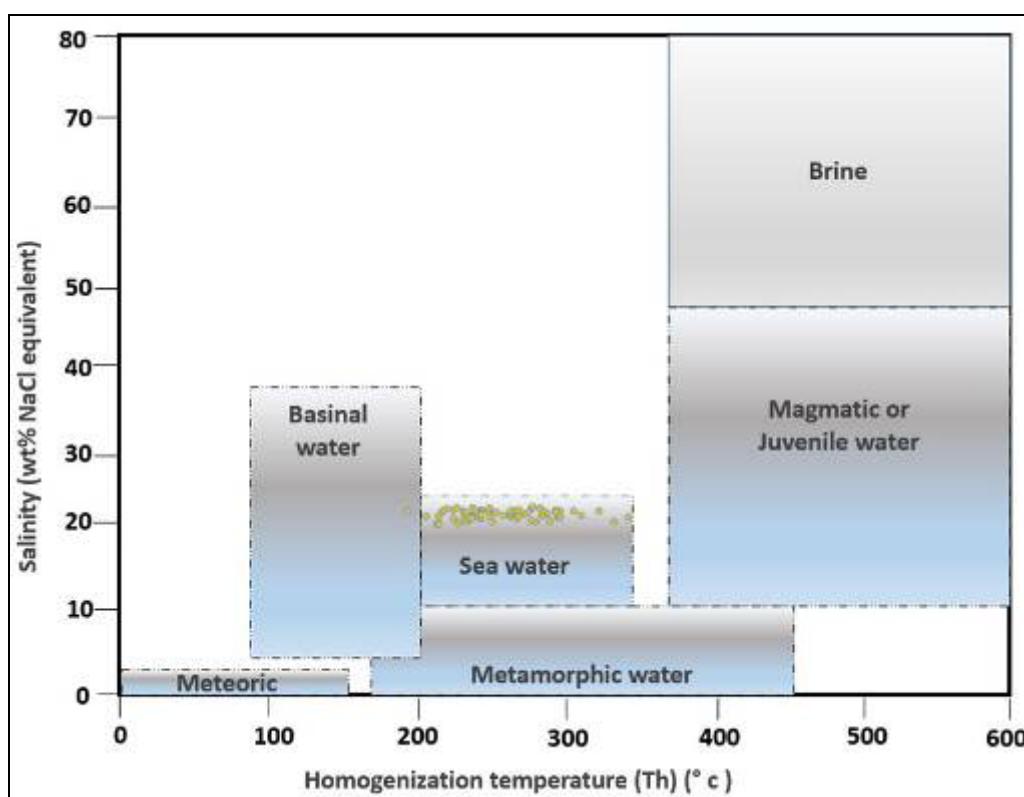
۲۲/۳۵ درصد وزنی) داشته است. اندازه‌گیری دمای همگذاری نشان‌دهنده‌ی حضور کاتیون‌های Na^+ و Ca^{++} در فاز مایع سیال درگیر اولیه است. این کاتیون‌ها احتمالاً از واحدهای رسوبی شسته شده و به وسیله همبافت کلریدی منتقل شده‌اند [۲۸]. تنهایت کانه‌ها از محلول می‌تواند به وسیله‌ی عوامل مختلفی مانند کاهش دما، کاهش 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 منطقه‌ی 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.

بحث و برداشت

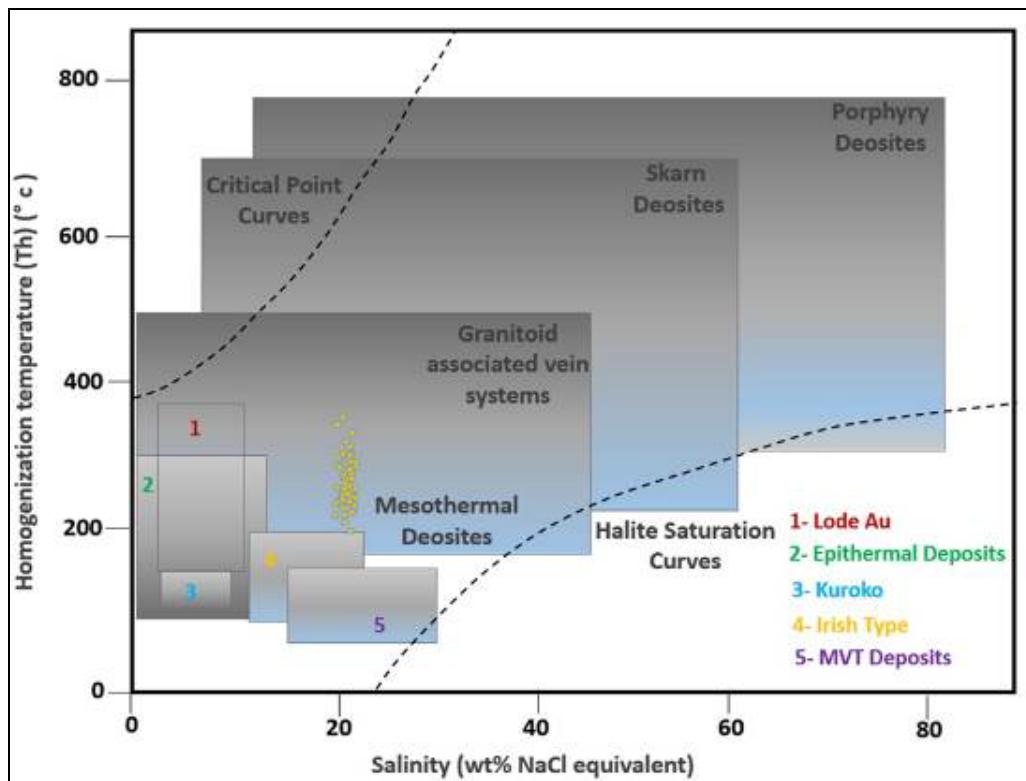
سنگ میزبان کانی‌سازی فریزی، اسلیت، فیلیت و ماسه سنگ دگرگونی تریاس‌پسین- ژوراسیک‌پیشین (معادل سازند شمشک) است. رابطه‌ی کانی‌سازی و سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی روزادی بوده است، لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع کرده و از منطقه‌های گسلی و درز و شکستگی‌ها پیروی می‌کند. بنابراین سن رگه‌های کانی‌سازی جوانتر از سن سنگ میزبان (تریاس‌پسین- ژوراسیک‌پیشین) است. اگرچه در شمال شرقی ایران فعالیت‌های ماقمایی گستردگی وجود دارد ولی منطقه‌ی فریزی با فاصله‌ی از آن‌ها قرار دارد. نزدیکترین سنگ‌های آذرین جوانتر از ژوراسیک پیشین به منطقه، بنا بر نقشه نیشابور [۱۵]، آندزیت و بازال‌های اوسن در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب غربی منطقه است. بنابراین کانی‌سازی هیچ ارتباطی به فعالیت‌های ماقمایی- گرمابی ندارد. در منطقه پی-جوبی فریزی، کانی‌های سولفیدی به شکل رگه، پر کننده‌ی 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 ۰/۱۶، ۰/۷۷ 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



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 همگن شدن سیال‌های درگیر اولیه منطقه اکتشافی فریزی. گستره شاره‌های مختلف برگرفته از مرجع [۳۰] است.



شکل ۱۳ نمودار دمای همگن شدن سیال‌های درگیر اولیه منطقه اکتشافی فریزی. گستره کانسارهای مختلف برگرفته از مراجع [۳۱ و ۳۲] است.

- [2] Sheikholeslami M.R., Haghipour N., Navabpour P., Navab-Motlagh A., Kouhpima 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., Omidi 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, "Zagrouss- 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., Groler K., JacobshagenV., Ibbeken H., "post-paleozoic stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the southern Sabzevar zone and the Taknar block", Neuesjahrbach for Geologie und palaontologie, Abhandlungen168 (1984) 287-326.
- [9] Haghipour A., Aghanabati A., "Geological map of iran(2ndedition), 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, centeral Iran, U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwanatectonics", American journalof 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 thesystem 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 می‌تواند 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 کوهزادی سیمیرین میانی در ژوراسیک میانی توسط آب‌های دگرگونی حمل شده و در فضاهای ساختاری مناسب بر جای 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 منسخ شده است، بنابراین منطقه‌ی فریزی به عنوان کانسار رگه‌ای نوع کوهزادی معرفی می‌شود.

قدرتانی

این پژوهه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره‌ی ۳/۳۲۳۴۰ ۱۳۹۳/۸/۱۵ مورخ ۳۲۳۴۰ 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 پژوهه 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] Busuttil 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., HeeR. 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., Prokofive 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 Acad Nauk 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 Torghabeh, 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 deposite- 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 orefield Gansu Province, China", Exploration Geophysics 31(2000) 243-247.
- [23] Karen P., Barry B., "The geophysical response of the tusker gold deposite, Lake Victoria gold fields, Tanzania" (2005).