

کانی‌سازی و اکتشافات ژئوفیزیکی به روش IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی در محدوده MA-I و اطراف آن، منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری ماهرآباد، شرق ایران

آزاده ملک‌زاده سفارودی^۱، محمدرضا حیدریان شهری و محمدحسن کریم‌پور

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۱۲/۲۱، نسخه نهایی: ۱۳۸۸/۲/۲۴

چکیده

منطقه اکتشافی ماهرآباد اولین کانی‌سازی مس- طلا پورفیری شرق ایران است که به طور تفصیلی مطالعه شده است. ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نفوذی نیمه عمیق عمدتاً مونزونیتی با بافت پورفیری، گسترش آلتراسیون‌ها و نوع آنها شامل پتاسیک، سرسیتیک- پتاسیک، کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت، کوارتز- کربنات- پیریت، سیلیسی- پروپلیتیک و پروپلیتیک، بافت استوک‌ورک کانی‌سازی، مجموعه مینرالی هیپوژن شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مگنتیت و ناهنجاریهای بالای مس و طلا اثبات می‌کند که کانی‌سازی از نوع مس- طلا پورفیری است. محدوده MA-I به علت آلتراسیون شدید کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت و تراکم بسیار بالای رگچه‌های کوارتز- سولفیدی مهمترین بخش کانی‌سازی منطقه بوده که اطراف آن را آبرفت پوشانده است. برداشتهای IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی در محدوده اکتشافی MA-I و دشت اطراف آن انجام شد. حفاری بر روی ناهنجاری شبه‌مقطع IP به شناسایی کانی‌سازی سولفیدی در منطقه بسیار وسیعی زیر آبرفت منجر گردید. مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی سطحی و زیرسطحی گسترش کانی‌سازی پوشیده را در سمت جنوب و غرب محدوده مورد مطالعه تایید می‌کند. براساس ناهنجاری مغناطیس‌سنجی زمینی، مرکز سیستم کانی‌سازی (زون پتاسیک) در جنوب غربی محدوده شناسایی شد. زون آلتراسیون کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت که در اطراف زون پتاسیک واقع شده، دارای پاسخ مغناطیسی بسیار پایین است. برداشتهای IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی در وسعت بیشتری نسبت به قبل قویاً توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مس پورفیری، زون پتاسیک، کانی‌سازی سولفیدی، پلاریزاسیون القایی، مغناطیس‌سنجی.

مقدمه

مرحله دیگر استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در مراحل مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی اکتشاف است. در این مرحله پس از استفاده از مدل‌های تکتونیکی، پترولوژیکی و آلتراسیون و انتخاب محل مناسب، برای پیدا کردن محل دقیق ذخیره پنهان، شکل، گسترش و عمق آن می‌توان از روش یا روشهای ژئوفیزیکی مناسب استفاده کرد. بر پایه اطلاعات ژئوفیزیکی توأم با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون و ژئوشیمی می‌توان محل‌های مناسب را برای حفاری تعیین و در صورت موفقیت مقدار ذخیره کانسار را تخمین زد.

منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری ماهرآباد در شرق ایران و در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان

امروزه به علت پنهان بودن ذخایر معدنی به‌کارگیری روشهای ژئوفیزیکی در اکتشاف ضروری است. در دو مرحله از اکتشاف مواد معدنی می‌توان از روشهای ژئوفیزیکی استفاده کرد: نخست مرحله پی‌جویی است. در این مرحله می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیکی هوایی که در مقیاس ناحیه‌ای و کوچک در یک منطقه وسیع برداشت شده است، برای پیدا کردن ناهنجاریها استفاده کرد. گاهی ناهنجاریهای مغناطیسی و یا گرانی‌سنجی نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی خاصی در منطقه است که می‌توان بازدیدهای صحرائی بعدی، برداشتهای زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی دقیقتر زمینی را در مقیاس بزرگ برای آن برنامه‌ریزی کرد.

سنگها دیده می‌شود که می‌تواند با ناهنجاری مغناطیسی کم مشخص گردد؛

۴- در برخی آلتراسیون‌ها مانند پتاسیک، سیلیسی-پروپلیتیک و پروپلیتیک به علت تبدیل شدن کانیه‌های مافیک به مگنتیت و یا حضور مگنتیت اولیه محصول محلول کانه‌دار در قالب استوک‌ورک‌ها، خاصیت مغناطیسی افزایش یافته که به ناهنجاری مغناطیسی زیاد می‌انجامد؛

۵- زون پتاسیک می‌تواند ناهنجاریهای بالا برای عنصر K نشان دهد؛

۶- توده‌های نفوذی منطقه از نوع کالک‌آلکانل پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند و می‌توانند در نقشه‌های رادیومتری مشخص شوند؛

۷- توده‌های نفوذی منطقه از نوع سری مگنتیت هستند. در بخشهایی که آلتراسیون کمتر بوده و یا در قسمت‌های عمقی که مگنتیت اولیه سنگ بر اثر هوازدگی از بین نرفته است، ناهنجاری بالای مغناطیسی انتظار می‌رود؛

۸- تمرکز کانیه‌های سولفیدی هادی نیز هدف ایده‌آل برای استفاده از روش الکترومغناطیسی است.

هدف از این مقاله استفاده از روشهای IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی و تفسیر آن به کمک مطالعات زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی برای اکتشاف بخشهای پنهان و مرکز کانی‌سازی مس پورفیری در محدوده MA-I است که توسط آبرفت پوشیده شده‌اند.

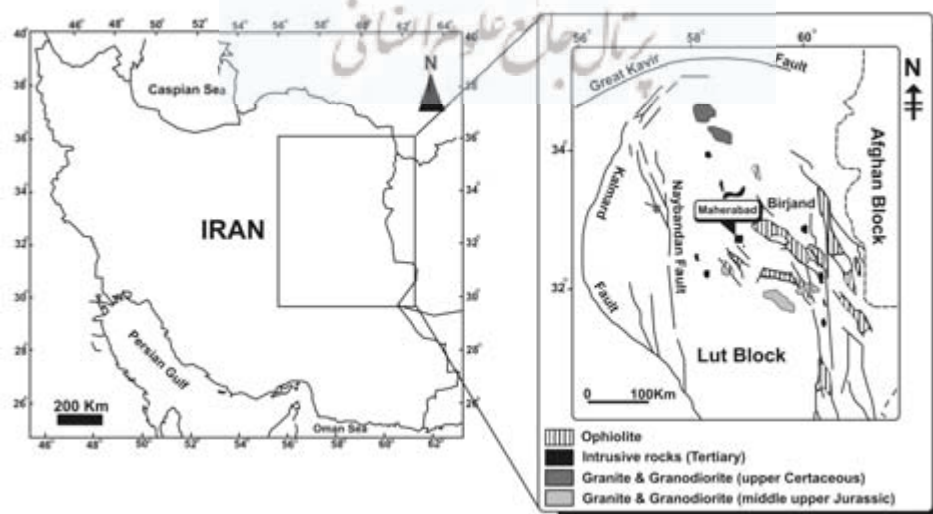
بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی، در محدوده بین طولهای جغرافیایی $58^{\circ} 49' 46''$ تا $58^{\circ} 57' 18''$ شرقی و عرضهای جغرافیایی $32^{\circ} 26' 12''$ تا $32^{\circ} 31' 45''$ شمالی قرار دارد. این کانسار از نظر تقسیمات ساختاری در شرق بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱). سه محدوده مهم کانی‌سازی در منطقه ماهرآباد وجود دارد که به ترتیب اهمیت پوشیده در دشت قرار گرفته است. محدوده MA-I به دلیل وجود بیشترین شدت آلتراسیون و بالاترین تراکم رگچه (بیش از ۶۰ عدد در مترمربع) مهمترین بخش منطقه است. مطالعات ژئوفیزیکی در این بخش از منطقه و دشت اطراف آن به منظور اکتشاف قسمت‌های پنهان کانی‌سازی انجام شده است.

بررسیهای ژئوفیزیکی در اکتشاف کانی‌سازیهای مس پورفیری در سطح ملی و بین‌المللی کاربرد زیادی دارد [۱-۷]. روشهای ژئوفیزیکی پلاریزاسیون القایی، مقاومت‌سنجی، الکترومغناطیس، مغناطیس‌سنجی و رادیومتری همانند دیگر کانسارهای مس پورفیری، مفیدترین روشها برای اکتشاف بخشهای پنهان کانی‌سازی در این ذخیره است؛ زیرا:

۱- کانیه‌های سولفیدی از جمله پیریت به مقدار فراوان در قالب رگچه‌های متعدد دیده شده که می‌توانند باعث تشکیل ناهنجاری در روش پلاریزاسیون القایی شوند؛

۲- شدت آلتراسیون بسیار بالاست و این امر باعث کاهش مقاومت ویژه سنگها می‌گردد؛

۳- در بخشهای آلتراسیون کوارتز-سرسیت-پیریت، به علت از بین رفتن کانی مگنتیت، افت شدید مغناطیسی در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری ماهرآباد در شرق ایران و بلوک لوت.

روش مطالعه

برای دستیابی به اکتشاف بخشهای پنهان کانی‌سازی و آلتراسیون پتاسیک (با توجه به نوع سیستم) مطالعات زیر در محدوده MA-I صورت گرفته است:

- ۱- مطالعه حدود ۲۰۰ مقطع نازک و نازک صیقلی از نمونه‌های سطحی و زیرسطحی
- ۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی رقومی منطقه اکتشافی MA-I با مقیاس ۱:۲۰۰۰
- ۳- تهیه نقشه آلتراسیون رقومی منطقه اکتشافی MA-I با مقیاس ۱:۲۰۰۰
- ۴- تهیه نقشه تراکم رگچه رقومی منطقه اکتشافی MA-I با مقیاس ۱:۲۰۰۰
- ۵- مطالعه جمعاً ۶۳۰ متر مغزه متعلق به چهار گمانه حفر شده
- ۶- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بیش از ۲۰۰ نمونه از توده‌های نفوذی نیمه عمیق و نمونه‌های کانی‌سازی سطحی و زیرسطحی
- ۷- تفسیر برداشتهای RS/IP و مغناطیس‌سنجی زمینی که در منطقه‌ای به وسعت تقریبی یک کیلومتر مربع در منطقه MA-I و دشت اطراف آن انجام شده است [۸]. این تفسیر با استفاده از اندازه‌گیریهای پذیرفتاری مغناطیسی و مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی سطحی و زیرسطحی انجام شده است.

زمین‌شناسی

منطقه اکتشافی ماهرآباد اولین کانی‌سازی مس-طلا پورفیری شرق ایران است که به صورت تفصیلی مطالعه شده است [۹]. شرق ایران و به‌ویژه بلوک لوت به‌علت وقوع فرورانش در زمانهای گذشته و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسم، پتانسیل بسیار مناسبی را برای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف به خصوص کانسارهای مس پورفیری دارد. شواهدی از این نوع کانی‌سازی در نقاط مختلف شرق ایران نیز معرفی شده است (مانند سرخ‌کوه [۱۰]، رحیمی [۱۱]، چاه‌شلغمی [۱۲]، ده‌سلم [۱۳] و غیره)؛ ولی تاکنون کار اکتشافی جدی بر روی آنها صورت نگرفته و هیچ‌گونه ذخیره پورفیری به مرحله

بهره‌برداری نرسیده است. به نظر می‌رسد این بخش از ایران می‌تواند دومین کمربند مهم مس پورفیری ایران پس از زون ارومیه-دختر باشد.

محدوده اکتشافی ماهرآباد از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه شمال شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سرچاه‌شور [۱۴] قرار گرفته‌است. برطبق این نقشه، بخش اعظم منطقه شامل سنگهای آتشفشانی در حد آندزیت، داسیت، ریولیت، توف و ایگمبیریت است که در برخی نقاط مورد نفوذ سنگهای نیمه‌عمیق اسیدی-حدواسط واقع شده‌اند. اما مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی این پژوهش نشان داد که بسیاری از واحدهایی که در نقشه، سنگ آتشفشانی معرفی شده‌اند، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق هستند. اکثر سنگهای آتشفشانی-نفوذی منطقه آلتزه شده‌اند و کانی‌سازی در برخی نقاط مشاهده می‌شود.

براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در محدوده اکتشافی ماهرآباد را می‌توان به ۴ بخش تقسیم نمود:

۱- سنگهای آتشفشانی قبل از ائوسن میانی که مورد نفوذ توده‌های نیمه عمیق ائوسن میانی مرتبط با کانی‌سازی قرار گرفته‌اند،

۲- توده‌های نیمه عمیق عمدتاً حدواسط ائوسن میانی مرتبط با کانی‌سازی در حد مونزونیت تا دیوریت که با شدت‌های مختلف آلتزه شده و دارای کانی‌سازی با مقادیر متفاوت می‌باشند، این توده‌ها به صورت استوک‌های کوچک تا متوسط در هم تلسکوپی شده‌اند. بیش از ۱۵ واحد نیمه عمیق مرتبط با کانی‌سازی در کل منطقه شناسایی شده است،

۳- توده‌های نیمه عمیق بعد از ائوسن میانی که در توده‌های مرتبط با کانی‌سازی نفوذ نموده‌اند. این توده‌ها نیز از دیوریت تا مونزونیت متغیر بوده و کاملاً تازه هستند. اثری از کانی‌سازی و آلتراسیون در آنها دیده نمی‌شود، و

۴- رسوبات کواترنری [۹].

توده‌های مونزونیتی به سبب همراه بودن با آلتراسیون‌های پتاسیک و کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت، تراکم بالای رگچه‌های کوارتز-سولفیدی و داشتن بالاترین ناهنجاریهای مس و طلا، منشأ کانی‌سازی در منطقه هستند. زمین‌شناسی محدوده اکتشافی MA-I شامل توده‌های

هورنبلند دیوریت پورفیری را تحت تاثیر قرار داده است. این زون در صحرا با رنگ زرد روشن مایل به کمی قهوه‌ای به علت حضور اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از اکسید شدن سولفیدها در سطح زمین مشخص می‌شود. مهمترین کانی این آلتراسیون کوارتز است که در قالب رگچه و یا در متن سنگ مشاهده می‌گردد. مقدار آن از کمتر از ۱۰ درصد تا بیش از ۷۰ درصد متفاوت است. سرسیت که حاصل آلتره شدن فلدسپاتها بوده از کمتر از ۱ درصد تا ۲۰ درصد در تغییرات می‌باشد. پیریت به عنوان مهمترین کانی سولفیدی این زون عمدتاً در رگچه‌هاست و تا ۶ درصد می‌رسد که غالباً در سطح زمین به گوتیت و گاه ژاروسیت تبدیل شده است. کالکوپیریت دومین کانی سولفیدی مهم این زون است که در سطح زمین اغلب به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده است. بیشترین تراکم رگچه‌های کانی‌سازی در این زون مشاهده می‌شود که بعضاً تا بیش از ۶۰ رگچه در مترمربع می‌رسد. عرض رگچه‌ها نیز از کمتر از ۱ میلی‌متر تا بیش از ۳ سانتی‌متر متغیر است [۹].

آلتراسیون سیلیسی- پروپلیتیک عمدتاً در واحد بیوتیت پیروکسن مونزودیوریت تا دیوریت پورفیری دیده می‌شود. این زون در صحرا با رنگ سبز به علت حضور کانیهایی مثل کلریت و اپیدوت و وجود رگچه‌های کوارتز- سولفیدی ظریف مشخص می‌شود. اولین کانی مهم این زون کوارتز است که به صورت رگچه و یا در متن سنگ مشاهده می‌شود. مقدار آن از ۲ تا ۱۵ درصد متغیر است. کلریت دومین کانی مهم است که فراوانی آن تا ۴ درصد می‌رسد. کلسیت تا ۳ درصد، اپیدوت کمتر از ۲ درصد و مقادیر جزئی سرسیت دیگر کانیهایی ثانویه این زون هستند. کلریت، اپیدوت و کلسیت عمدتاً حاصل آلتره شدن کانیهایی آهن و منیزیم‌دار مثل هورنبلند و بیوتیت و کمتر پلاژیوکلازهاست. کانیهایی فلزی این زون عمدتاً مگنتیت (کمتر از ۱ درصد) و پیریت (کمتر از ۲ درصد) است. تراکم رگچه‌ها در این بخش حداکثر به ۵ رگچه در مترمربع می‌رسد و ضخامت آنها از ۳ میلی‌متر کمتر است [۹].

آلتراسیون پروپلیتیک ضعیف در توده پیروکسن بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و بیوتیت پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری در شرق محدوده MA-I دیده می‌شود. کانی‌های اصلی این زون شامل جزئی کلریت، کلسیت و مگنتیت است. عمده این کانی‌ها حاصل آلتره شدن کانی‌های

مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت مونزونیت پورفیری، هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، هورنبلند بیوتیت مونزونیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، بیوتیت پیروکسن مونزودیوریت تا دیوریت پورفیری، بیوتیت پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری و پیروکسن بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری می‌باشند (شکل ۲) [۸]. موقعیت گمانه‌های حفر شده در این محدوده و دشت اطراف آن بر روی نقشه نشان داده شده است. عمدتاً توده‌های مونزونیتی به‌ویژه مونزونیت پورفیری و بیوتیت مونزونیت پورفیری در مطالعات زیرسطحی گمانه‌های BH-01 تا BH-03 تشخیص داده شده است. گمانه BH-04 در واحد برش هیدروترمالی حفر شده است [۹].

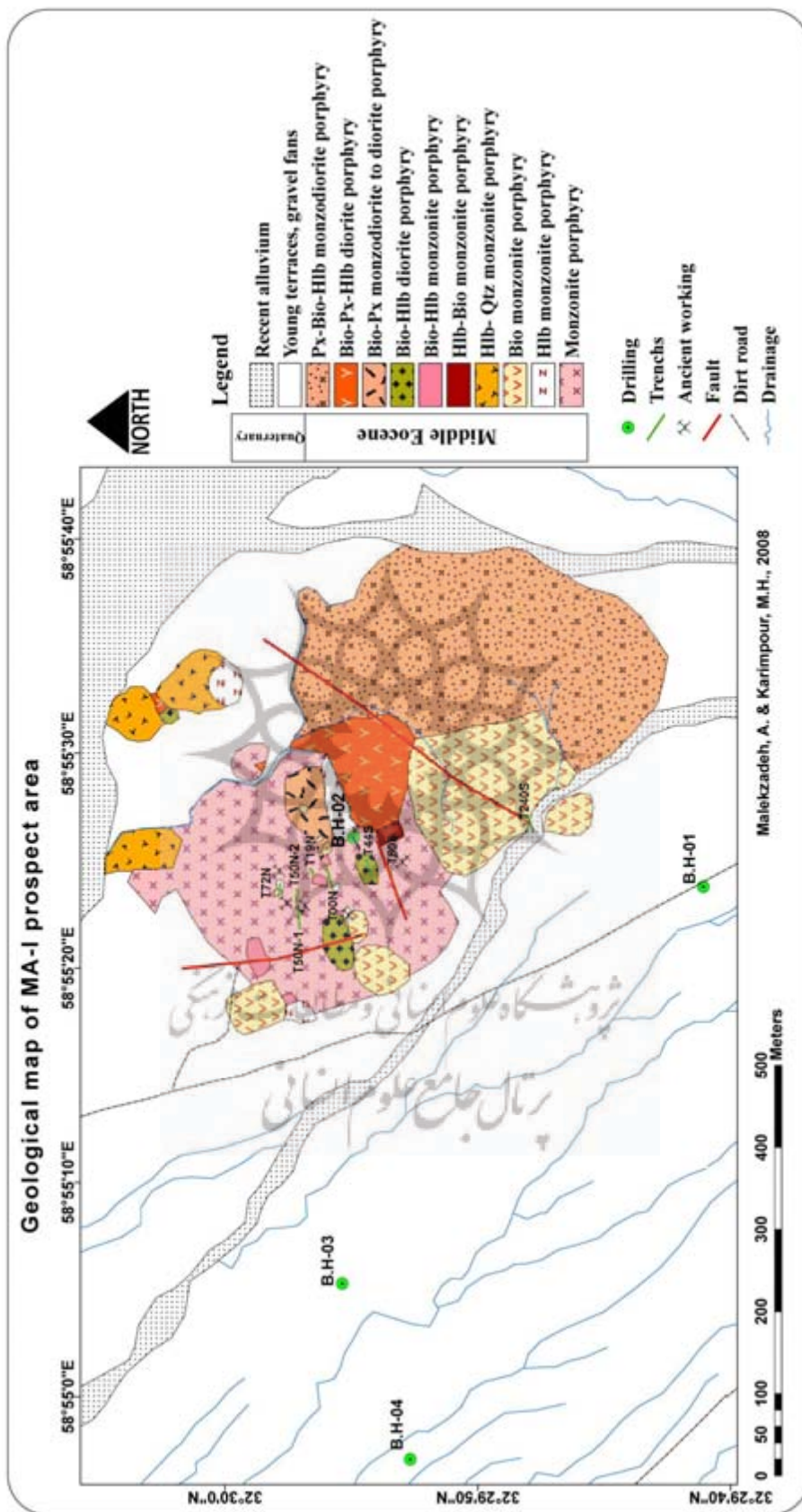
براساس اندازه‌گیریهای پذیرفتاری مغناطیسی ($300 \times > SI$) بر روی توده‌های کمتر آلتره شده، داده‌های منطقه‌ای مغناطیس هوایی و حضور کانیهایی مگنتیت، بیوتیت و هورنبلند، توده‌های نفوذی منطقه متعلق به سری مگنتیت (اکسیدان) و از نوع I هستند [۹].

آلتراسیون

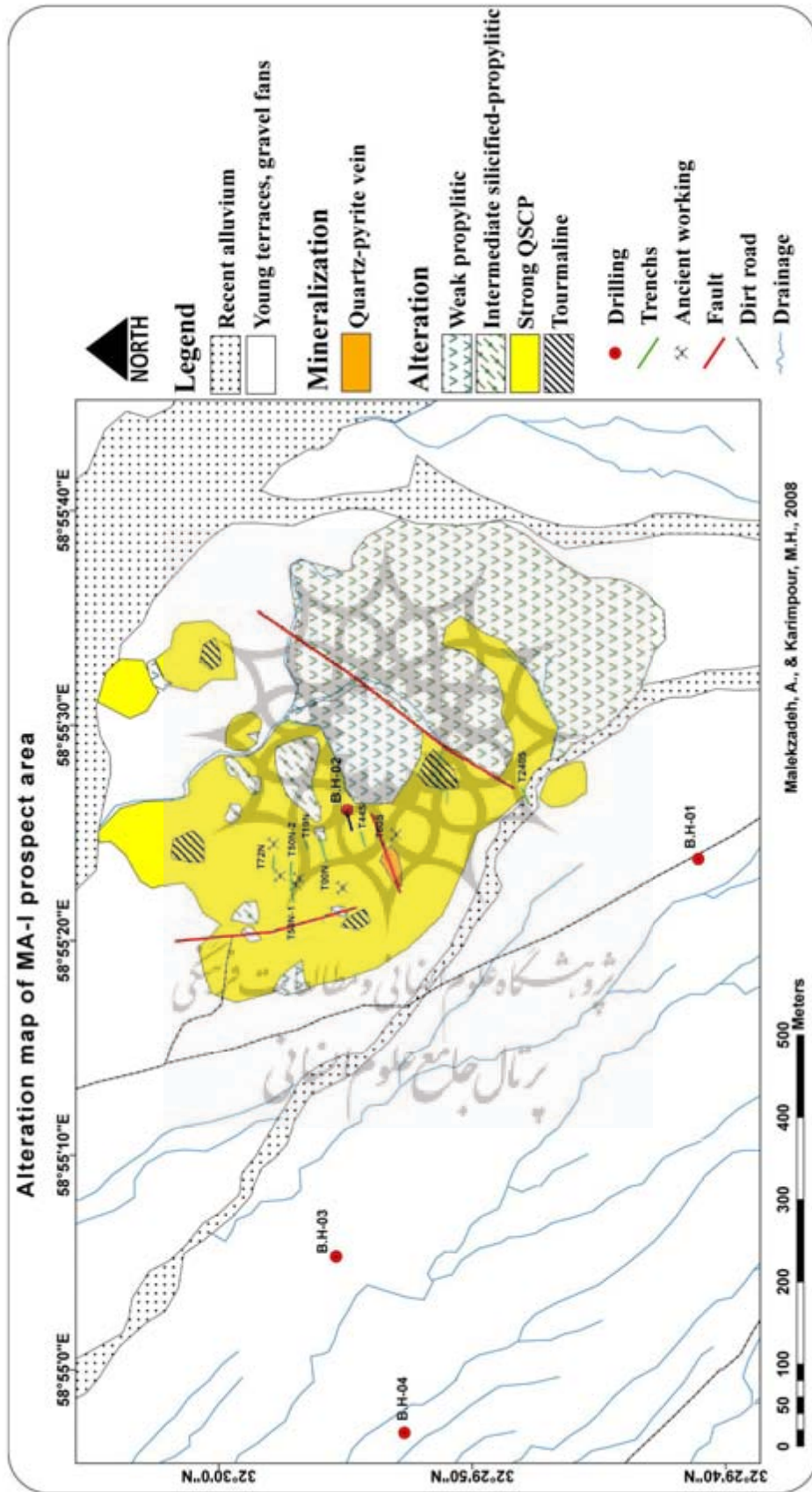
منطقه اکتشافی ماهرآباد به شدت تحت تاثیر آلتراسیون قرار گرفته است. پردازش داده‌های ماهواره‌ای به روشهای مختلف، آلتراسیون وسیع منطقه را به خوبی بارزسازی می‌کند [۱۵ و ۱۶]. گسترش آلتراسیون رابطه مستقیمی با گسترش توده‌های نفوذی دارد.

زون‌های آلتراسیون در منطقه اکتشافی ماهرآباد شامل زون‌های پتاسیک، سرسیتیک- پتاسیک، کوارتز- سرسیتیک- کربنات- پیریت، کوارتز- کربنات- پیریت، سیلیسی- پروپلیتیک، سیلیسی، پروپلیتیک و کربنات بوده که در مطالعات سطحی و زیرسطحی مشخص شده است. در سطح محدوده MA-I آلتراسیون‌های کوارتز- سرسیتیک- کربنات- پیریت با شدت بیش از ۵۰ درصد، سیلیسی- پروپلیتیک با شدت بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و پروپلیتیک ضعیف (شرق منطقه) با شدت کمتر از ۲۰ درصد حجم سنگ مشاهده می‌شود (شکل ۳).

آلتراسیون غالب در MA-I زون کوارتز- سرسیتیک- کربنات- پیریت است که واحدهای مونزونیتی و توده بیوتیت



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی MA-I [۹].



شکل ۳. نقشه آتراسیون محدوده اکتشافی MA-I [۹].

رگه‌ای. بخش عمده کانی‌های سولفیدی در زون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت و مقدار اندکی از آن در زون سیلیسی-پروپلیتیک دیده می‌شود که اغلب در مطالعات زیرسطحی تشخیص داده شده‌اند [۹].

کانی‌سازی استوک‌ورک مهمترین بافت کانی‌سازی در کل منطقه اکتشافی ماهرآباد است. نقشه تراکم رگچه‌ها به تفکیک زون‌های آلتراسیون در سطح منطقه MA-I تهیه شد (شکل ۴). رگچه‌های کوارتز-سولفیدی با تراکم بسیار بالا (حداکثر ۶۰ رگچه در مترمربع) در سطح زمین به وضوح قابل مشاهده‌اند. بخش عمده این رگچه‌ها در زون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت و به مقدار بسیار کمتر در زون سیلیسی-پروپلیتیک حضور دارند (شکل ۴). در مطالعات زیرسطحی نیز حداکثر تا ۳۰ رگچه در متر در آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت تشخیص داده شد. در زون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت ۵ نوع رگچه براساس ترکیب کانی‌شناسی و ترادف پاراژنتیکی تفکیک شد که عبارتند از: (۱) کوارتز، (۲) کوارتز-پیریت، (۳) کوارتز-کربنات-پیریت، (۴) کوارتز-کربنات-پیریت \pm کالکوپیریت \pm بورنیت \pm اسفالریت \pm گالن، و (۵) کربنات-پیریت \pm کالکوپیریت \pm بورنیت \pm اسفالریت \pm گالن \pm کوارتز. ضخامت این رگچه‌ها از کمتر از ۱ میلی‌متر تا بیش از ۴ سانتی‌متر متغیر است. ضخامت از رگچه شماره ۱ به طرف رگچه شماره ۴ (رگچه‌های جوانتر) افزایش می‌یابد. اما رگچه عمدتاً سولفیدی شماره ۵ معمولاً کمتر از ۳ میلی‌متر ضخامت دارد. تراکم رگچه‌های ۱ تا ۳ در سطح از کمتر از ۱ تا ۳۰ رگچه در مترمربع متغیر است. رگچه شماره ۴ و ۵ در سطح نیز بیشترین تراکم را در مرکز منطقه (محل ترانشه‌ها) دارد که به ۴۰ رگچه در مترمربع می‌رسد (شکل ۴). پیریت مهمترین کانی سولفیدی در رگچه‌هاست. پیریت‌ها عمدتاً شکل‌دار تا نیمه شکل‌دارند. اندازه آنها از کمتر از ۵۰ میکرون تا بیش از ۶۰۰ میکرون متغیر است. این کانی از ۰/۲ تا بیش از ۶۰ درصد کل رگچه را تشکیل می‌دهد. کالکوپیریت بین ۵ تا ۱۰ درصد، بورنیت و اسفالریت در حد ۱ تا ۲ درصد و گالن کمتر از ۰/۵ درصد در رگچه‌ها دیده می‌شود [۹].

تراکم رگچه‌ها در زون سیلیسی-پروپلیتیک از کمتر از ۲ تا ۷ رگچه در مترمربع متغیر است (شکل ۴). این رگچه‌ها

آهن و منیزیم‌دار می‌باشد کانی‌سازی چه به صورت رگچه‌ای و چه به صورت پراکنده در این زون دیده نمی‌شود [۹].

مطالعات زیرسطحی نیز نشان می‌دهد که آلتراسیون مشاهده شده در گمانه‌های BH-01 تا BH-03 عمدتاً از نوع کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت با شدت بیش از ۵۰ درصد است و آلتراسیون در گمانه BH-04 کوارتز-کربنات-پیریت می‌باشد. تنها در گمانه BH-01 از عمق ۴۷ متری به بعد به صورت ناپیوسته (اعماق ۴۷ تا ۵۹ متری، ۱۱۰/۸۰ تا ۱۱۴ متری و ۱۱۹ تا ۱۲۰ متری) زون‌های پتاسیک و سرسیتیک-پتاسیک دیده می‌شوند.

زون پتاسیک و سرسیتیک - پتاسیک با بیوتیت ثانویه، فلدسپات پتاسیم ثانویه، کلسیت و کوارتز و به صورت فرعی سرسیت، مگنتیت و بسیار جزئی انیدریت مشخص می‌شوند. حداکثر بیوتیت ثانویه که عمدتاً به صورت پولکی در متن سنگ دیده می‌شود به ۷ درصد می‌رسد. فلدسپات پتاسیم ثانویه عمدتاً در حاشیه رگچه‌ها و به‌ندرت به صورت جانیشینی در حاشیه پلاژیوکلاز، مشاهده می‌شود. مقدار فلدسپات پتاسیم ثانویه در رگچه‌ها حداکثر ۱۰ درصد رگچه و در کل متن سنگ گاه تا ۴ درصد می‌رسد. مقدار کلسیت در کل زون پتاسیک حداکثر ۱۰ درصد است. در زون سرسیتیک-پتاسیک که آلتراسیون انتقالی بین زون‌های پتاسیک و کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت است، بیوتیت ثانویه و سرسیت به مقدار قابل توجهی حضور دارند. رگچه‌های کوارتز-سولفیدی یا کوارتز-سولفید-مگنتیت در هر دو آلتراسیون مشاهده می‌شود [۹].

کانی‌سازی-ژئوشیمی

کانی‌های سولفیدی مهمی که در سطح محدوده MA-I دیده می‌شوند عمدتاً شامل پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت است. بیش از ۸۵ درصد این کانی‌ها به اکسیدهای آهن ثانویه مانند هماتیت، گوتیت و ژاروسیت تبدیل شده‌اند. ملاکیت، فیروزه و ود مس‌دار نیز کانی‌های دیگر زون اکسیدان هستند که در نقاط مختلف مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی در سطح و عمق محدوده MA-I به چهار حالت وجود دارد که عبارت است از: استوک‌ورک، پراکنده، برش هیدروترمالی و

۰/۶ میلی‌متر متغیر است. مقدار این کانی از کمتر از ۵ درصد تا ۱۳ درصد حجم سنگ در اعماق ۷۹ تا ۹۰/۱۵ متری و ۱۹۲ تا ۲۰۶/۴ متری گمانه BH-04 دیده می‌شود. همچنین کالکوپیریت و اسفالریت به صورت پراکنده به ترتیب در حد کمتر از ۱ و ۰/۵ درصد در سیمان برش‌ها مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی رگه‌ای کوارتز-پیریت (که معرف آخرین فعالیت‌های محلول‌های هیدروترمالی در ناحیه هستند) دارای پیریت‌های ریزدانه (تا ۲۰۰ میکرون) پراکنده تا ۰/۵ درصد هستند [۹].

لازم به ذکر است که به سمت شرق محدوده MA-I و در آلتراسیون پروپلیتیک ضعیف هیچ گونه رگه کانی‌سازی مشاهده نمی‌گردد. همچنین به سمت شمال شرق و شمال محدوده MA-I از تراکم رگه‌ها به تدریج کاسته شده و عمدتاً کانی‌سازی افشان حضور دارد [۹].

بخش اصلی مس و طلا در رگه‌های استوک‌ورک آلتراسیون‌های پتاسیک و کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت حضور دارد. مقدار مس در ماهرآباد تا حداکثر ۶۸۳۰ گرم در تن در گمانه BH-02 و طلا تا حداکثر ۱۱۷۴ میلی‌گرم در تن در گمانه BH-01 در آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت مشاهده می‌شود. روی سومین عنصر مهم است که تا نزدیک ۲۰۰۰ گرم در تن در گمانه‌ها می‌رسد. براساس مطالعات ژئوشیمیایی گمانه‌ها، عیار مس به‌طور متوسط حدود ۰/۵ درصد و عیار طلا میانگین حدود ۰/۴ گرم در تن است [۹].

تفسیر برداشتهای ژئوفیزیکی

• برداشت IP/RS

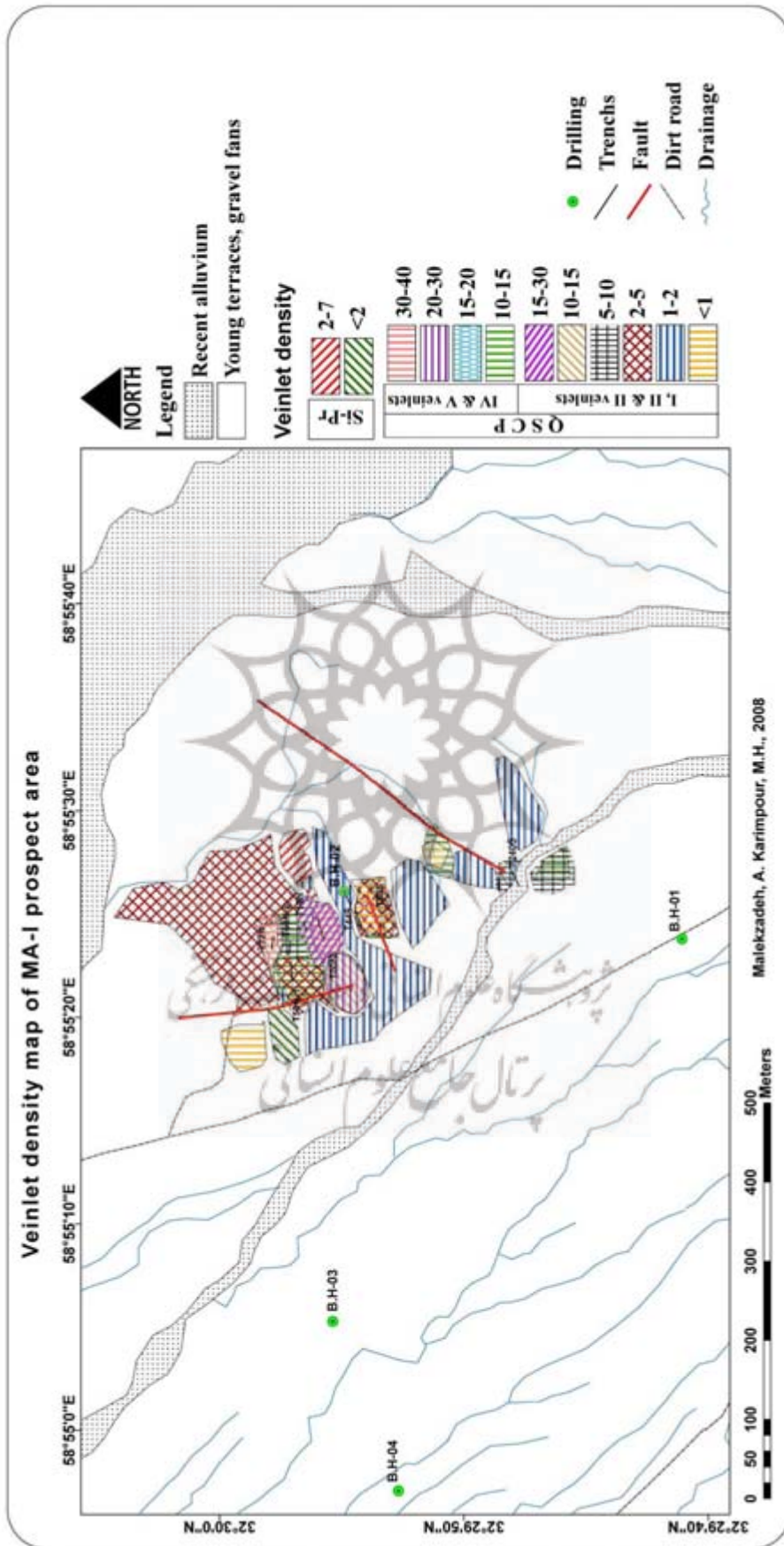
برداشت شبه‌مقاطع RS/IP با استفاده از آرایش پل-دایپیل انجام شده است. برای این منظور ابتدا یک خط مبنا با امتداد N25W که نقطه صفر آن دارای مختصات جغرافیایی $X = ۶۸۰۷۱۳$ و $Y = ۳۵۹۷۳۵۲$ می‌باشد، تعیین شد. سپس ایستگاههای پروفیل‌های برداشت که عمود بر امتداد خط مبنا می‌باشند، با فواصل ۴۰ متر در دو طرف خط مبنا علامت‌گذاری شدند. مجموعاً ۱۱ پروفیل در دو طرف خط مبنا مشخص شد که ۴ پروفیل به سمت جنوب و ۶ پروفیل به شمال محدوده می‌باشد. طول پروفیل‌ها از ۷۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر متغیر بوده است.

براساس ترکیب کانی‌شناسی به ۸ نوع رگه قابل تفکیکند: ۱- کوارتز-پیریت \pm کالکوپیریت، ۲- کوارتز-مگنتیت، ۳- کوارتز-کربنات-پیریت، ۴- کوارتز-پیریت-کربنات-کلریت، ۵- کوارتز-مگنتیت-کلریت، ۶- کوارتز-کلریت-مگنتیت-اپیدوت، ۷- کوارتز-کربنات-مگنتیت-کلریت، و ۸- کربنات-پیریت. پیریت ۱۰ تا ۳۵ درصد و کالکوپیریت کمتر از ۱ درصد در رگه‌ها متغیر است. مقدار مگنتیت در رگه تا ۲۰ درصد می‌رسد [۹].

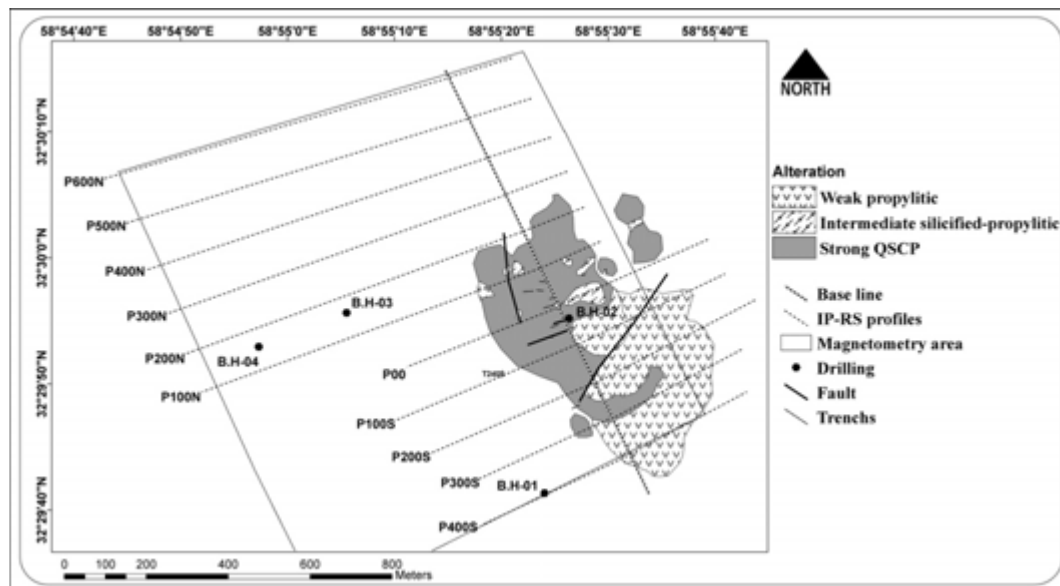
رگه‌های زون پتاسیک در گمانه BH-01 به ۱۲ نوع رگه زیر قابل تقسیم است: ۱- کوارتز، ۲- کوارتز-پیریت-کربنات، ۳- کوارتز-پیریت-کالکوپیریت، ۴- پیریت-فلدسپات پتاسیم-کربنات، ۵- کوارتز-پیریت-فلدسپات پتاسیم، ۶- کوارتز-پیریت-کربنات-فلدسپات پتاسیم، ۷- کوارتز-کربنات-پیریت-کالکوپیریت-بورنیت-اسفالریت \pm فلدسپات پتاسیم، ۸- کوارتز-کربنات-پیریت-کالکوپیریت-بورنیت-مگنتیت \pm فلدسپات پتاسیم، ۹- پیریت-کربنات-کالکوپیریت-بورنیت-اسفالریت، ۱۰- کوارتز-بیوتیت-فلدسپات پتاسیم، ۱۱- کوارتز-بیوتیت-پیریت و ۱۲- پیریت. پیریت از کمتر از ۴ تا بیش از ۸۰ درصد در رگه‌ها متغیر است. کالکوپیریت ۵ تا ۱۰ درصد و بورنیت و اسفالریت در حد ۱ درصد در رگه‌ها حضور دارند [۹].

همچنین زون سرسیتیک-پتاسیک شامل ۴ نوع رگه کوارتز-پیریت، بیوتیت، پیریت و کوارتز-پیریت-بیوتیت است [۹].

کانی‌سازی سولفیدی پراکنده (افشان)، در زون‌های آلتراسیون کوارتز-سرسیت-پیریت و سیلیسی-پروپلیتیک مشاهده می‌شود و عمدتاً شامل پیریت و کمی کالکوپیریت (تا ۳ درصد) است. کانی‌سازی در برش هیدروترمالی هم در قطعات برشی شده، سیمان بین قطعات و نیز رگه‌های قطع کننده قطعات و سیمان دیده می‌شود که بیانگر سه مرحله مختلف کانی‌سازی است. این نوع کانی‌سازی در گمانه BH-04 دیده می‌شود. کانی سولفیدی اصلی تشکیل شده همراه با کوارتز و کلسیت در مرحله برشی شدن (مرحله دوم) پیریت است. پیریت به صورت پراکنده، بخشی در حفرات و فضاهای خالی قطعات برشی شده و بخش اعظم آن در سیمان بین برش‌ها تشکیل شده است. اندازه دانه‌های پیریت از ۰/۱ تا



شکل ۴. نقشه تراکم رگچه محدوده اکتشافی MA-I [۹].



شکل ۵. موقعیت پروفیل‌های IP/RS و چهارگوش برداشت مغناطیس‌سنجی بر روی نقشه آلتراسیون محدوده MA-I.

اکسیده و آلتراسیون‌های سطحی است. تغییرات مقاومت ویژه بیش از ۱۰۰ اهم متر در محدوده رخنمونهای سنگی مرتبط با مقاومت ویژه توده‌ها و در محدوده دشت مربوط به مقاومت ویژه رسوبات آبرفتی می‌باشد [۷].

گسترش کانی‌سازی به سمت جنوب و غرب محدوده MA-I محدود شدن آن در بخش‌های شمالی و شرقی ناحیه با توجه به مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی هماهنگ با اطلاعات IP بوده و آن را تایید می‌کند. پراساس انطباق گمانه‌ها محدوده‌های MA-I تا MA-III در زیر آبرفت با یکدیگر مرتبطند و به تبع آن کانی‌سازی نیز در زیر دشت بین این سه محدوده وجود دارد. با حرکت به سمت شمال از محدوده MA-I تنها تپه‌های بسیار پست و محدودی با آلتراسیون ضعیف کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت و کانی‌سازی سولفیدی کمتر از ۰/۱ درصد به صورت افشان مشاهده می‌شود که با کمی فاصله گرفتن از آنها به توده‌های نفوذی بعد از کانی‌سازی منطقه برخورد می‌کنیم. لذا ناهنجاری IP بسیار ضعیفی در این مناطق دیده می‌شود. به سمت شرق نیز از شدت آلتراسیون‌ها بسیار کم شده به طوری که در شرق محدوده MA-I توده پیروکسن بیوتیت هورنبلند مونزودپیوریت پورفیری با آلتراسیون پروپلیتیک ضعیف با کانی‌سازی محدود افشان دیده می‌شود. حتی نتایج

در مجموع ۲۰۴۵ نقطه در کل پروفیل‌ها برداشت شده است. لازم به ذکر است که طول پروفیل‌ها بسته به ناهنجاری‌های دیده شده ضمن برداشت مشخص گردیده است [۸] (شکل ۵). شبه مقاطع RS/IP نشان می‌دهد که زون ناهنجاری شارژابیلیته نسبتاً وسیعی در بخش مرکزی و غربی محدوده MA-I وجود دارد. گسترش این زون ناهنجاری در بخش غربی محدوده، زیر آبرفت در امتداد کلیه پروفیل‌ها ادامه دارد (شکل‌های ۶ تا ۸). در بخش شمال محدوده زون ناهنجاری شارژابیلیته به تدریج عمیق شده و با رسوبات آبرفتی پوشیده می‌شود. شارژابیلیته از ۵۰ میلی‌ولت بر ولت در بخش مرکزی محدوده به ۳۰ میلی‌ولت بر ولت در بخش شمالی کاهش یافته که نشان‌دهنده محدود شدن زون ناهنجاری در بخش شمالی است. نتایج بررسی انجام شده بر روی آخرین پروفیل نشان می‌دهد که زون ناهنجاری همچنان به سمت جنوب نیز گسترش دارد. ضمن اینکه شدت تغییرات شارژابیلیته آن در مرکز زون ناهنجاری همچنان بیش از ۵۰ میلی‌ولت بر ولت می‌باشد که مبین ادامه وجود مواد هادی و سولفیدی به سمت جنوب است [۸].

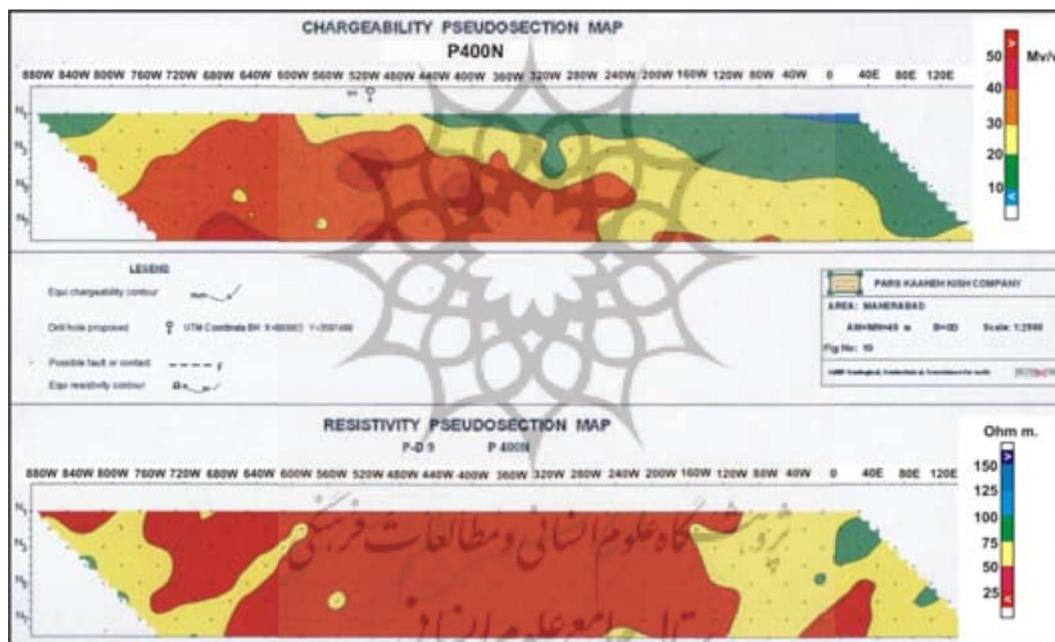
تغییرات مقاومت ویژه، نشان‌دهنده انطباق نسبی زون هادی الکتریکی (ناهنجاری شارژابیلیته) با افت مقاومت از ۱۵۰ به ۵۰ تا ۷۵ اهم متر می‌باشد (شکل‌های ۶ تا ۸). کاهش مقاومت ویژه در بخش‌های سطحی شبه‌مقاطع نیز متأثر از زون

محدوده‌ای به وسعت یک کیلومتر انجام شده است. فاصله پروفیل‌های برداشت شده ۵۰ متر و فاصله ایستگاهها ۲۰ متر بوده است. جمعاً ۱۰۴۰ ایستگاه برداشت شده و سپس با اعمال تصحیحات لازم ناشی از تغییرات روزانه ایستگاه مینا در داده‌های خام برداشتی و انجام پردازش‌ها به کمک نرم‌افزار Geosoft، نقشه‌های مختلف تهیه شدند [۷]. محدوده مورد مطالعه مغناطیس‌سنجی در شکل (۵) نشان داده شده است.

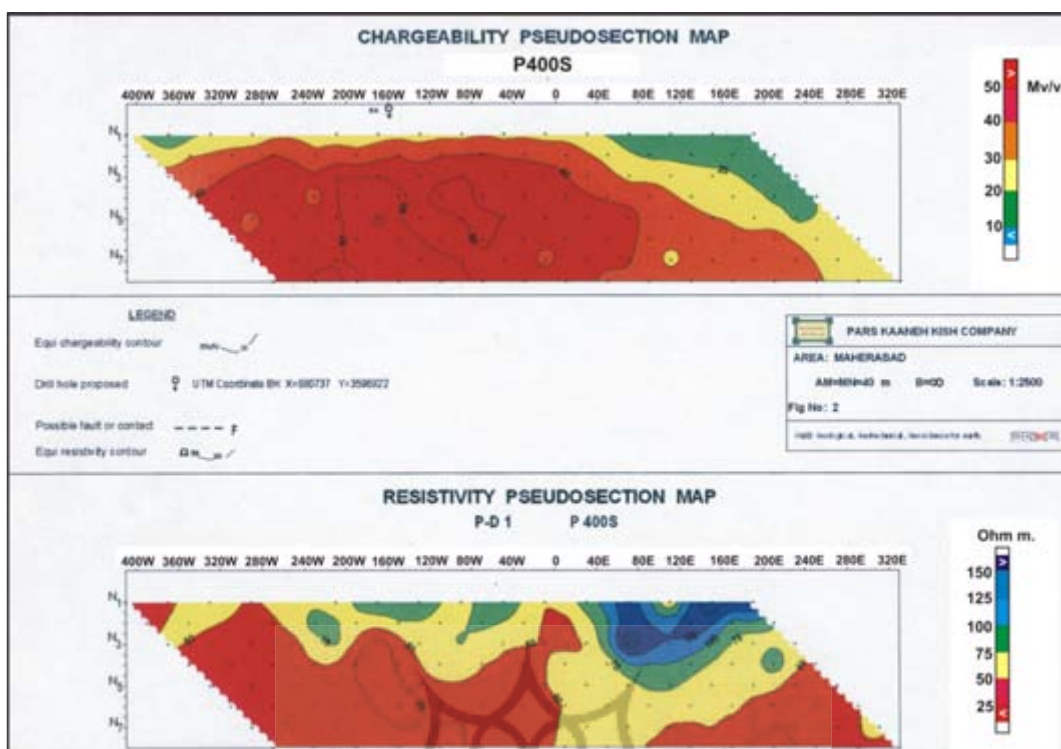
ژئوشیمیایی نیز کاهش عیار مس و طلا را در بخش شرقی نشان داده است. شبه‌مقاطع IP نیز ناهنجاری پایینی در این بخش نشان داده است. حفاریهایی که در محدوده MA-I بر اساس نتایج شبه‌مقاطع RS/IP انجام شده، به کانپهای سولفیدی در عمق حدود ۲۵ متری در زیر آبرفت برخورد می‌کند.

• برداشتهای مغناطیس‌سنجی

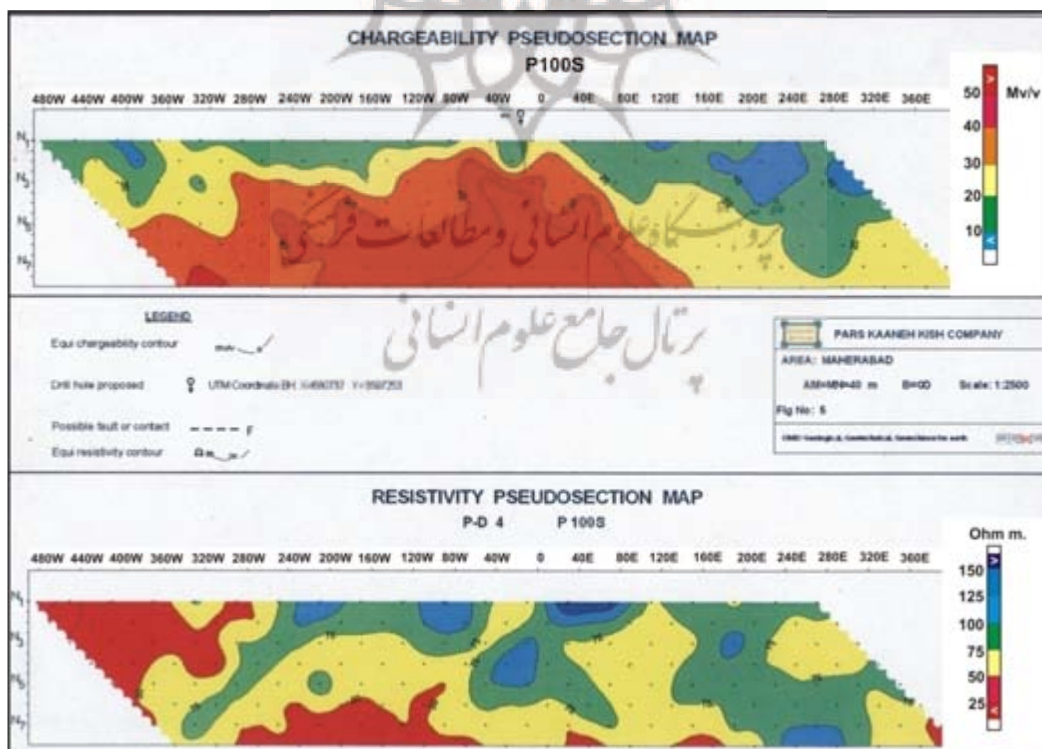
پس از پایان عملیات برداشت IP و با توجه به گسترش کانی‌سازی به سمت غرب، برداشتهای مغناطیس‌سنجی به میزان ۲۰۰ متر شرق خط مینا و ۸۰۰ متر غرب خط مینا در



شکل ۶. نمایش شبه‌مقطع شارژابیلیته و مقاومت ویژه پروفیل P400N به صورت انتخابی [۸].



شکل ۷. نمایش شبه‌مقطع شارژاییلیته و مقاومت ویژه پروفیل P400S به صورت انتخابی [۸].



شکل ۸. نمایش شبه‌مقطع شارژاییلیته و مقاومت ویژه پروفیل P100S به صورت انتخابی [۸].

در نقشه تفسیری مغناطیس‌سنجی زمینی شرکت علوم زمین امید که شامل نقشه‌های شدت کل میدان مغناطیسی، برگردان به قطب، مشتق اول قائم و ادامه فراسو ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ متری است، دو زون A در جنوب غرب نقشه و B در شمال غربی به عنوان ناهنجاریهای مهم معرفی شده است (شکل ۹). محدوده A طولی در حدود ۷۵۰ تا ۸۰۰ متر دارد که حداکثر شدت میدان در آن حدود ۴۷۹۰۰ نانوتسلا نسبت به ۴۶۵۰۰ نانوتسلا زمینی است. این محدوده با توجه به نقشه‌های مشتق اول و ادامه فراسو تا عمق بیشتر از ۱۰۰ متر امتداد دارد. همچنین نقشه برگردان به قطب و ادامه فراسوی ۳۰ متری نشان می‌دهد که توزیع کانیهای مغناطیسی در همه بخشهای آن یکسان نیست. محدوده B دارای ابعادی حدود ۳۰۰*۲۵۰ متر بوده و حداکثر شدت میدان در آن به ۴۷۸۶۰ نانوتسلا می‌رسد. روند آن شمالی- جنوبی بوده و به سمت شمال و خارج از محدوده برداشت امتداد دارد (شکل ۹) [۸].

به منظور تفسیر درست ناهنجاری مغناطیسی، پذیرفتاریهای مغناطیسی توده‌های کمتر آتره مرتبط با کانی‌سازی و نمونه‌های مختلف با آلتراسیون‌های متفاوت اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۱۰). نمونه‌های آلتراسیون‌های کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت، کوارتز- کربنات- پیریت، آرژلیک- سیلیسی و کربنات و زون رگه‌ای کوارتز- پیریت در منطقه ماهرآباد دارای پذیرفتاری مغناطیسی نسبتاً پایین هستند (عمدتاً کمتر از $SI \cdot 10^{-5}$ * ۱۰۰). درحالیکه آلتراسیون‌های پتاسیک، سیلیسی- پروپلیتیک و پروپلیتیک در هر دو منطقه دارای پذیرفتاری مغناطیسی بالایی می‌باشند (بیش از $SI \cdot 10^{-5}$ * ۵۰ تا نزدیک $SI \cdot 10^{-5}$ * ۳۰۰۰) (شکل ۱۰). این امر به علت آتره شدن هورنبلندها و آزاد شدن مگنتیت و یا حضور این کانی در رگچه‌هاست.

با توجه به اندازه‌گیریهای پذیرفتاری مغناطیسی، شدت مغناطیسی بالا در دو ناهنجاری A و B می‌تواند به سه علت زیر باشد:

- ۱- حضور توده‌های نفوذی سری مگنتیت بعد از کانی‌سازی که به علت تازه‌بودن از پذیرفتاری مغناطیسی بالایی برخوردار هستند؛
- ۲- حضور توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌سازی سری مگنتیت که کمتر آتره شده و پذیرفتاری مغناطیسی بالایی

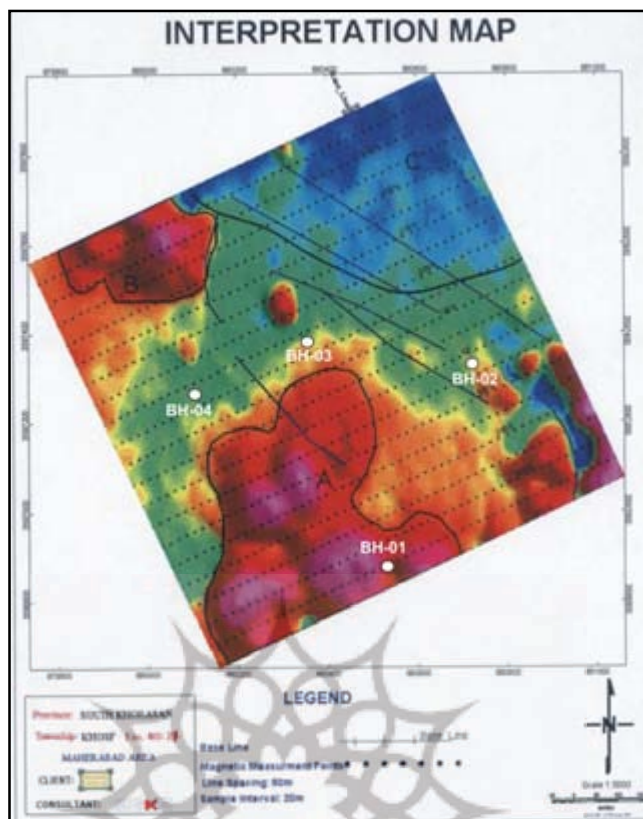
دارند؛

۳- گسترش آلتراسیون‌های ویژه‌ای که مگنتیت را یا به صورت یک کانی ثانویه حاصل آلتراسیون و یا به صورت کانی اولیه حاصل محلول کانه‌دار در رگچه‌ها دارند. از جمله این آلتراسیون‌ها می‌توان به زون‌های پتاسیک، سرسیتیک- پتاسیک، سیلیسی- پروپلیتیک و پروپلیتیک ماهرآباد اشاره کرد

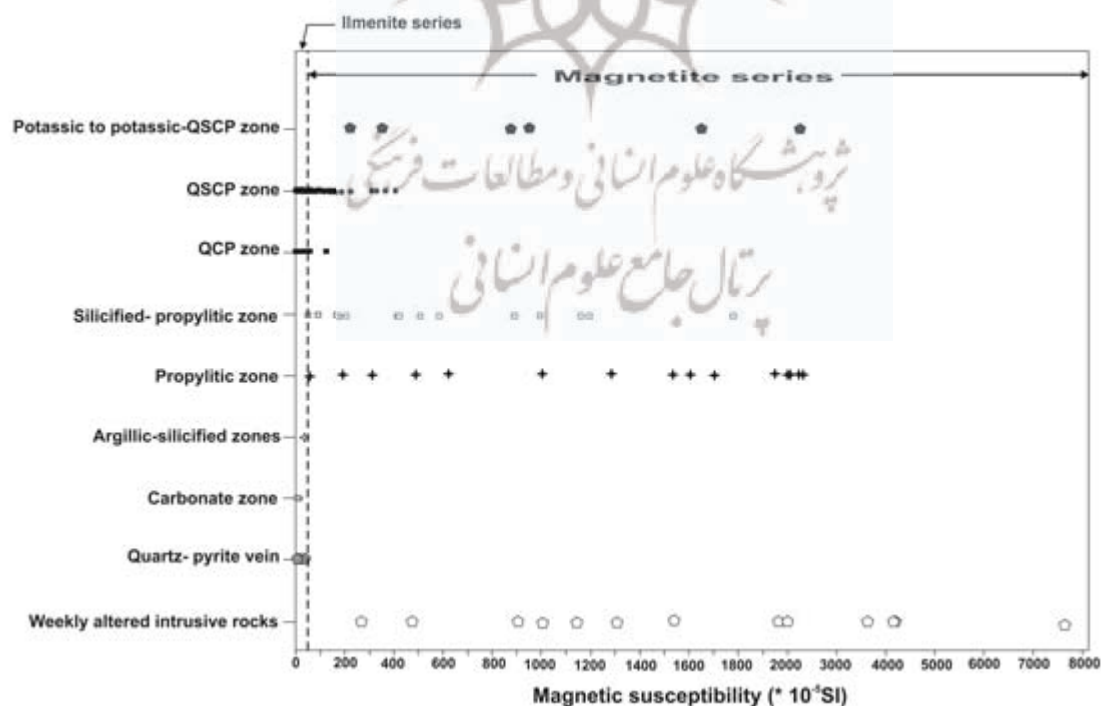
زمین‌شناسی سطحی و مطالعه مغزه‌ها نشان می‌دهد که در محدوده گمانه‌های حفاری شده (در ناحیه ناهنجاری A)، توده‌های نفوذی بعد از کانی‌سازی حضور ندارند. از طرفی شدت آلتراسیون (عمدتاً زون‌های کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت و کوارتز- کربنات- پیریت) توده‌های مرتبط با کانی‌سازی بالا بوده و میزان پذیرفتاری مغناطیسی بسیار پایین است. از آلتراسیون‌های مگنتیت‌دار نیز زون پروپلیتیک در گمانه‌ها دیده نشده، اما زون‌های سیلیسی- پروپلیتیک و پتاسیک تا سرسیتیک- پتاسیک در گمانه BH-01 حضور دارد. میزان پذیرفتاری مغناطیسی در نمونه‌های آلتراسیون سیلیسی- پروپلیتیک در این گمانه کمتر از $SI \cdot 10^{-5}$ * ۲۰۰ است، در حالیکه این خاصیت در نمونه‌های زون‌های پتاسیک تا سرسیتیک- پتاسیک بیش از $SI \cdot 10^{-5}$ * ۲۰۰ بوده و تا نزدیک $SI \cdot 10^{-5}$ * ۳۰۰۰ نیز رسیده است (شکل ۱۰).

براساس مطالعه گمانه BH-01 و مشاهده زبانه‌هایی از آلتراسیون پتاسیک با پذیرفتاری مغناطیسی بالا، این آلتراسیون می‌تواند بهترین منبع ایجادکننده ناهنجاری مغناطیسی A باشد. این ناهنجاری با گسترش طولی نزدیک به ۸۰۰ متر و عمقی بیش از ۱۰۰ متر می‌تواند معرف گسترش آلتراسیون پتاسیک در عمق باشد (شکل ۹). آلتراسیون پتاسیک در گمانه‌های BH-02، BH-03 و BH-04 مشاهده نشد و همانطور که در شکل (۹) مشخص است، گسترش ناهنجاری A به آن گمانه‌ها نمی‌رسد. شکل (۱۱) نقشه آلتراسیون بین گمانه‌ها را در عمق ۵۰ متری نشان می‌دهد. براساس ناهنجاری مغناطیسی ایجاد شده، گسترش زون پتاسیک را می‌توان به اندازه ناهنجاری A فرض کرد.

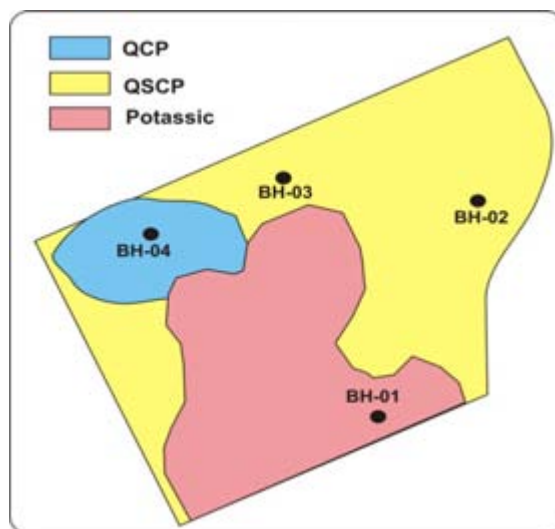
آلتراسیون پتاسیک اهمیت اکتشافی ویژه در منطقه دارد، زیرا مشخصه مرکز اصلی کانی‌سازی در منطقه بوده و از نظر مس و طلا از عیارهای قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. برای اثبات گسترش زون پتاسیک مطابق با ناهنجاری



شکل ۹. نقشه تفسیری مغناطیس‌سنجی محدوده مورد مطالعه در ناحیه MA-I و اطراف آن [۸]. موقعیت گمانه‌ها بر روی آنها مشخص است.



شکل ۱۰. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در نمونه‌های زون‌های مختلف آلتراسیون و توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌سازی با آلتراسیون کم، منطقه اکتشافی ماهرآباد.



شکل ۱۱. نقشه تفسیری آلتراسیون در عمق حدود ۵۰ متری براساس اطلاعات گمانه‌ها و تلفیق آن با مغناطیس‌سنجی زمینی.

توده‌های نفوذی دارد و شامل زون‌های آلتراسیون پتاسیک، سرسیتیک-پتاسیک، کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت، کوارتز-کربنات-پیریت، سیلیسی-پروپلیتیک و پروپلیتیک است،

۳- کانی‌سازی وسیع منطقه به شکلهای استوکورک، پراکنده و برش هیدروترمالی که مهمترین حالت آن بافت استوکورک است و در برخی نقاط از محدوده MA-I تا بیش از ۶۰ رگچه کوارتز-سولفیدی در واحد مترمربع دیده می‌شود،

۴- مجموعه مینرالی هیپوژن که شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مگنتیت است،

۵- ناهنجاری بالای مس (متوسط ۰/۵ درصد) و طلا (متوسط ۰/۴ گرم در تن).

ظاهر شدن زون آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت با تراکم بالای رگچه در سطح زمین نشان می‌دهد که بخش فوقانی سیستم دچار فرسایش شدیدی شده و بخش اصلی ذخیره هم اکنون رخنمون دارد. در چنین کانی‌سازی مس پورفیری وجود آلتراسیون پتاسیک که از آلتراسیون‌های مهم از نظر کانی‌سازی بوده و نیز مرکز سیستم را نشان می‌دهد، در عمق کم دور از انتظار نیست. همچنین از آنجایی که بخشهای اطراف محدوده MA-I را آبرفت پوشانده، انجام روشهای IP/RS و مغناطیس‌سنجی برای تعیین

مغناطیسی A، لازم است حفاریهای بیشتری در این محدوده انجام شود. علت وجود آمدن ناهنجاری مغناطیسی B به دلیل نبود اطلاعات زیرسطحی مشخص نیست

کاهش شدت میدان مغناطیسی در نیمه شرقی ناحیه که منطبق بر کانی‌سازی محدوده MA-I است، به علت آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات-پیریت و تراکم رگچه-های کوارتز-سولفیدی است که باعث تخریب و فرسایش کانی مگنتیت شده است. ناهنجاری گوشه جنوب شرقی ناحیه مورد مطالعه منطبق بر توده پیروکسن بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری با آلتراسیون پروپلیتیک ضعیف و پذیرفتاری مغناطیسی بالاست (شکل ۹).

علاوه بر آن، این نقشه گسترش کانی‌سازی به سمت جنوب و غرب و محدود شدن آن در طرفهای شمال و شرق را که توسط برداشتهای RS/IP نیز مشخص شده بود، تایید می‌کند

نتیجه‌گیری

کانی‌سازی در محدوده اکتشافی ماهرآباد و از جمله ناحیه MA-I بنا به دلایل زیر از نوع مس-طلا پورفیری است:

- ۱- ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نیمه عمیق حدواسط کالک آلکالن پورفیری در حد مونزونیت تا دیوریت،
- ۲- آلتراسیون وسیع منطقه که رابطه تنگاتنگی با

[6] Tommaso I.D., Rubinstein N., "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina", *Ore Geology Reviews* 32: (2007) 275- 290, DOI: 10.1016/j.oregeorev.2006.05.004.

[۷] سازمان زمین‌شناسی کشور؛ "گزارش یوگسلاو" (۱۳۸۴).

[۸] پارس کانه کیش؛ "گزارش پیشرفت کار شماره (۳)، برداشت داده‌های ژئوفیزیکی با استفاده از روشهای *RS*، *IP* و *MA* مغناطیس‌سنجی (*M*) و پیشنهاد نقاط حفاری در محدوده ماهرآباد"، (۱۳۸۶) ۷۹ صفحه.

[۹] ملک‌زاده شفارودی آ؛ "زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشأ کانی-سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویبک"، استان خراسان جنوبی، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸) ۶۰۰ صفحه.

[10] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No. 51 (1983) 357-383.

[۱۱] خسروی م.، "مطالعات پترولوژیکی، آلتراسیون، کانی-سازی هاله ژئوشیمیایی در منطقه رحیمی (شمال غرب فردوس)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۶۵ صفحه (۱۳۸۵).

[۱۲] کریم‌پور م. ح؛ "زون‌های آلتراسیون کوارتز حفره‌دار و کوارتز-آلونیت (سولفید زیاد) بخش فوقانی سیستم مس پورفیری منطقه چاه شلغمی، جنوب بیرجند". سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۴) ۷-۱۱.

[۱۳] ضیایی م.، عابدی آ.، "کانی‌سازی مس پورفیری در کمرند متالوژنی حاشیه کویر لوت"، یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، (۱۳۸۲) ۵۷-۵۹.

[۱۴] وثیق، ح. و سهیلی، م.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سرچاه‌شور (برگه ۷۷۵۴)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۴)

[15] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern C.R., Hidarian Shahri M.R., "Using ETM+ and airborne geophysics data to location porphyry copper and epithermal gold deposits in

گسترش کانی‌سازی پنهان بهترین راه برای یافتن محل‌های مناسب برای حفاری است.

ناهنجاریهای به‌دست آمده از برداشت‌های ژئوالکتریکی و مغناطیس‌سنجی در منطقه MA-I انطباق خوبی با یکدیگر و با مطالعات زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی دارند. هر دو روش ناهنجاریهای مثبتی به سمت جنوب و غرب محدوده برداشت نشان می‌دهند که هماهنگ با گسترش پیش‌بینی شده برای کانی‌سازی در دشت بین محدوده‌های MA-I تا MA-III است. حفاریهای انجام شده براساس بررسیهای ژئوفیزیکی حضور کانیهای سولفیدی را در زیر آبرفت تایید می‌کند. منبع ایجادکننده زون ناهنجاری مغناطیسی A در منطقه MA-I، مگنتیت در آلتراسیون پتاسیک است (با توجه به پذیرفتاری مغناطیسی بالای این زون در منطقه مورد مطالعه و حضور رگچه‌های مگنتیت‌دار) که نتیجتاً گسترش زون پتاسیک سیستم را مشخص می‌کند. این دو روش می‌توانند برای اکتشاف بخشهای پنهان کانی‌سازی سولفیدی و زون پتاسیک در دشت بین محدوده‌های MA-I تا MA-III به وسعت حدود ۱/۵ کیلومترمربع بسیار موثر باشند.

مراجع

- [1] Behn G.F., Camus P., Carrasco "Aeromagnetic signature of porphyry copper systems in northern Chile and its geologic implications". *Econ. Geol* 96 (2): (2001) 239- 248. 0361-0128/01/3132/239-10 \$6.00
- [2] Dickson B.L., Fraser S.J., Kinsey-Henderson A., "Interpreting aerial gamma-ray surveys utilizing geomorphological and weathering models". *Journal of Geochemical Exploration*, 57: (1996) 75-88.
- [3] Ford K., Keating P., Thomas M.D., "Overview of geophysical signatures associated with Canadian ore deposits", *Geophysics*, (2004) 1-21.
- [4] Ranjbar H., Hassanzadeh H., Torabi M., Ilaghi, O., "Integration and analysis of airborne geophysical data of the Darrehzar area, Kerman Province, Iran, using principal component analysis". *Journal of applied geophysics* 48: (2001) 33-41, PII: S0926-9851 01 00059-3.
- [5] Ranjbar H., Honarmand M., "Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the central Iranian volcanic belt using fuzzy classification", *International Journal of Remote Sensing* 25 (21): (2004) 4729-4741.

spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) image processing”, Journal of Applied Sciences 9 (5): (2009) 829- 842.

eastern Iran”, Journal of Applied Sciences 8 (22): (2008) 4004-4016.

[16] Malekzadeh A., Karimpour M.H., Stern, C.R., Mazaheri S.A., “*Hydrothermal alteration mapping in SW Birjand, Iran, using the advanced*

