



مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه در محدوده اکتشافی شریف آباد، شمال غرب بردسکن

هادی قنبری^۱، علیرضا عرب امیری^{۲*}، سوسن ابراهیمی^۳ و محمد مهری^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۳- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۴- کارشناس ارشد زمین شناسی، شرکت ارمغان پدیده کاشان، کاشان

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۰۶؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۵

* نویسنده مسئول مکاتبات: alirezaarabamiri@yahoo.com

چکیده

محدوده اکتشافی مورد مطالعه در شمال غرب شهر بردسکن و در استان خراسان رضوی واقع شده است. این محدوده از نظر زمین شناسی در زون زمین شناسی سبزواری و زون ماگمایی شرق ایران قرار گرفته است. سنگ میزبان کانی سازی سنگ های آتشفشانی- رسوبی اتوسن و الیگوسن می باشند و شامل ماسه سنگ، آهک، برش آتشفشانی، میکروکنگلوмера، توف شیلی، پیروکسن آندزیت و آگلوмера هستند. کانی سازی از نوع رگه ای بوده و به صورت پراکنده و رگچه های ظریف درون حفرات و شکستگی های کانی ها و سنگ میزبان تشکیل شده است و شامل مالاکیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، مگنتیت و هماتیت می باشد. مطالعات ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی با دو شبکه با آرایش مستطیلی و در مجموع پنج پروفیل با آرایش دوقطبی- دوقطبی با فاصله ی الکترودی ۲۰ متر و تعداد ۴۶۰ نقطه برداشت انجام شده است. داده های خام صحرائی حاصل از برداشت دو پروفیل DD1 و DD2، با دو نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D مدل سازی معکوس دوبعدی گردید و نتایج آن به عنوان خروجی مطالعات ژئوفیزیکی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیکی، کانی سازی را در دو سطح عمقی ۰ تا ۲۵ متری و ۳۲ تا ۴۹ متری از سطح زمین برای دو پروفیل DD1 و DD2 تأیید نمودند. در مرحله بعد نتایج ژئوفیزیکی با استفاده از داده های زمین شناسی تعبیر و تفسیر شدند و مدل های ژئوفیزیکی با استفاده از نرم افزار RockWorks به صورت سه بعدی نمایش داده شدند. بر اساس مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی انجام شده، چهار گسل احتمالی در محدوده مورد مطالعه تشخیص داده شد؛ هشت محل نیز برای حفاری گمانه های اکتشافی پیشنهاد گردید.

واژگان کلیدی

پلاریزاسیون القایی
مقاومت ویژه
دوقطبی- دوقطبی
کانی سازی مس
بردسکن

۱- مقدمه

محدوده معدنی مس شريف آباد در ۳۰ کیلومتری شمال غرب بردسکن از توابع استان خراسان رضوی واقع شده است. این منطقه در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن قرار گرفته و محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۷/۵ کیلومتر مربع در طول شرقی ۱۸°۳۶' ۵۷ تا ۲۷°۴۰' ۵۷ و عرض شمالی ۱۵°۱۹' ۳۵ تا ۳۵°۲۴' ۳۵ را شامل می‌شود. سنگ میزبان کانی‌سازی واحد آتشفشانی ائوسن و الیگومیوسن می‌باشند؛ که از نظر زمین‌شناسی در قسمت شرقی زون سبزوار قرار گرفته است. این محدوده در تقسیم‌بندی ساختاری ایران در زون ماگمایی شمال شرق ایران واقع شده است (Alavi, 1991).

وجود کانی‌سازی مس از نوع پراکنده (نوع مانتو) اولین بار توسط سامانی (۱۳۸۱) در محدوده تروند-عباس‌آباد و قم-ساوه گزارش شده؛ که می‌توان به کانسارهای محدوده معدنی عباس‌آباد (معدن بزرگ، لب‌کال، آسیادیو، دامن‌جلا) (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴)، چغندر سر (توسلی و لطفی، ۱۳۸۶) و کانسار مس چشمه‌سر در شمال غرب بردسکن (مهوشی و ملک زاده سفارودی، ۱۳۹۵) در شرق و شمال شرق ایران اشاره نمود. شناخت این نوع ماده معدنی در مناطق مرکزی، شرق و شمال شرق ایران می‌تواند چشم انداز نوینی را در اکتشاف و بهره‌برداری مس داشته باشد (سامانی، ۱۳۸۱). مطالعات تفصیلی در محدوده مورد بحث شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰۰۰، مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریک (IP, Rs)، حفر ۶ ترانشه سراسری به مترژ ۲۷۰ متر مکعب می‌باشد. از سایر مطالعات صورت گرفته با استفاده از روش مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP می‌توان به مدل‌سازی و تفسیر داده‌های IP و مقاومت‌ویژه به منظور اکتشاف ذخایر مس در منطقه هفت کوه کرمان توسط موسوی (۱۳۹۳) اشاره کرد؛ که چهار پروفیل دوقطبی-دوقطبی در مناطق مستعد وجود بی‌هنجاری برداشت شد. در نهایت، مناطق با پتانسیل بالا با داده‌های حفاری اعتبارسنجی شدند. همچنین یوچیدا و همکاران (۲۰۱۵) در ایالت نیشی‌یاما ژاپن، به منظور دستیابی به اطلاعات جزئی‌تر از ساختارهای مقاومت‌ویژه الکتریکی مخازن زمین‌گرمایی در سبهد و انتخاب نقاط بهینه برای حفاری و ایجاد چاه‌های تولید، برای اولین بار در منطقه مذکور توانستند با استفاده از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی، به تصاویر واضحی از کلاهک‌های رسی با مقاومت‌ویژه پایین و مخازن هیدروترمال با مقاومت‌ویژه بالا دست‌یافته و مرزهای با تباین مقاومت‌ویژه الکتریکی را از یکدیگر تفکیک نمایند. همچنین این تفسیرها با نتایج داده‌های گمانه‌ها سازگاری بالایی نشان داد. بکارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای حفاری امری متداول به شمار می‌رود. بنابراین برای کشف این نوع کانسار، روش‌های پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر اکتشافی نیاز می‌باشد؛ که روش‌های ژئوفیزیکی جزء این گروه به شمار می‌روند.

هدف از انجام این تحقیق، شناسایی کانی‌سازی سولفیدی مس در اعماق و تعیین نقاط حفاری می‌باشد؛ که بوسیله مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه و IP برداشت شده و سپس تحلیل و تفسیر و تطبیق نتایج ژئوفیزیکی حاصله با استفاده از مقاطع زمین‌شناسی انجام شده و با پیمایش‌های صحرائی در امتداد پروفیل‌ها نیز مقایسه شده است. قابل ذکر

است در این تحقیق، مطالعات زمین‌شناسی و پیمایش‌های صحرائی در امتداد پروفیل‌های برداشتی صورت گرفت و مقاطع زمین‌شناسی در امتداد هر پروفیل برای تطبیق نتایج ژئوفیزیکی حاصله با مطالعات زمین‌شناسی تهیه شد. این مطالعات منجر به کاهش ریسک اکتشاف و دستیابی به مختصات بهینه نقاط حفاری خواهد شد.

۲- روش تحقیق:

به منظور آگاهی از ویژگی‌های دگرسانی، کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی در محدوده مورد مطالعه ۴۰ مقطع نازک و صیقلی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. همچنین برای بدست آوردن نتایج قابل قبول از عمق بی‌هنجاری، دو شبکه با آرایش مستطیلی و در مجموع پنج پروفیل با آرایش دوقطبی-دوقطبی با فاصله‌ی الکترودی ۲۰ متر توسط شرکت زمین‌شناسی مهندسی و علوم زمین امید انجام شده است. دلیل انتخاب راستای پروفیل‌ها، شواهد کانی‌سازی سطحی موجود در منطقه و همچنین وجود گسل‌های فرعی موجود در ارتباط با گسل درونه، تکنار و کوه خالدار می‌باشد. تعداد نقاط برداشت شده حاصل از آرایش دو قطبی-دوقطبی ۴۶۰ نقطه می‌باشد. در این مقاله به تعبیر، تفسیر و مدل‌سازی دو پروفیل DD1 و DD2 پرداخته می‌شود. موقعیت پروفیل‌ها نسبت به یکدیگر در روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ با خطوط قرمز رنگ قابل مشاهده است (شکل ۱).

در مرحله پردازش داده‌ها، به منظور دسترسی به مدل واقعی‌تر، داده‌های برداشت شده قبل و یا در حین انجام مدل‌سازی مورد پردازش قرار می‌گیرند. مهم‌ترین پردازش داده‌های مقاومت‌ویژه و IP شامل حذف نوفه و تعدیل اثر توپوگرافی می‌باشد. لازم به ذکر است داده‌های جمع‌آوری شده در این برداشت به دلیل استفاده از جریان‌های بالا (بیش از ۱/۵ آمپر) و در نتیجه داشتن نسبت سیگنال به نوفه بالا، از کیفیت به نسبت مطلوبی برخوردارند و در موارد اندکی نیاز به حذف نوفه و داده‌های بد است. تعدیل اثر توپوگرافی نیز با استفاده از وارد کردن داده‌های ایستگاه‌های حاوی توپوگرافی از طریق گزینه‌های موجود در نرم‌افزارهای مورد استفاده صورت می‌گیرد.

داده‌های خام صحرائی حاصل از برداشت‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت‌ویژه و IP با دو نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D مدل‌سازی معکوس دوبعدی هموار می‌شوند و نتایج آن‌ها به عنوان خروجی مطالعات ژئوفیزیکی در نظر گرفته می‌شود؛ آنگاه نتایج ژئوفیزیکی با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی تعبیر و تفسیر خواهند شد و مدل‌های ژئوفیزیکی به صورت سه‌بعدی نمایش داده می‌شوند و در نهایت نقاط مناسب حفاری پیشنهاد خواهند شد.

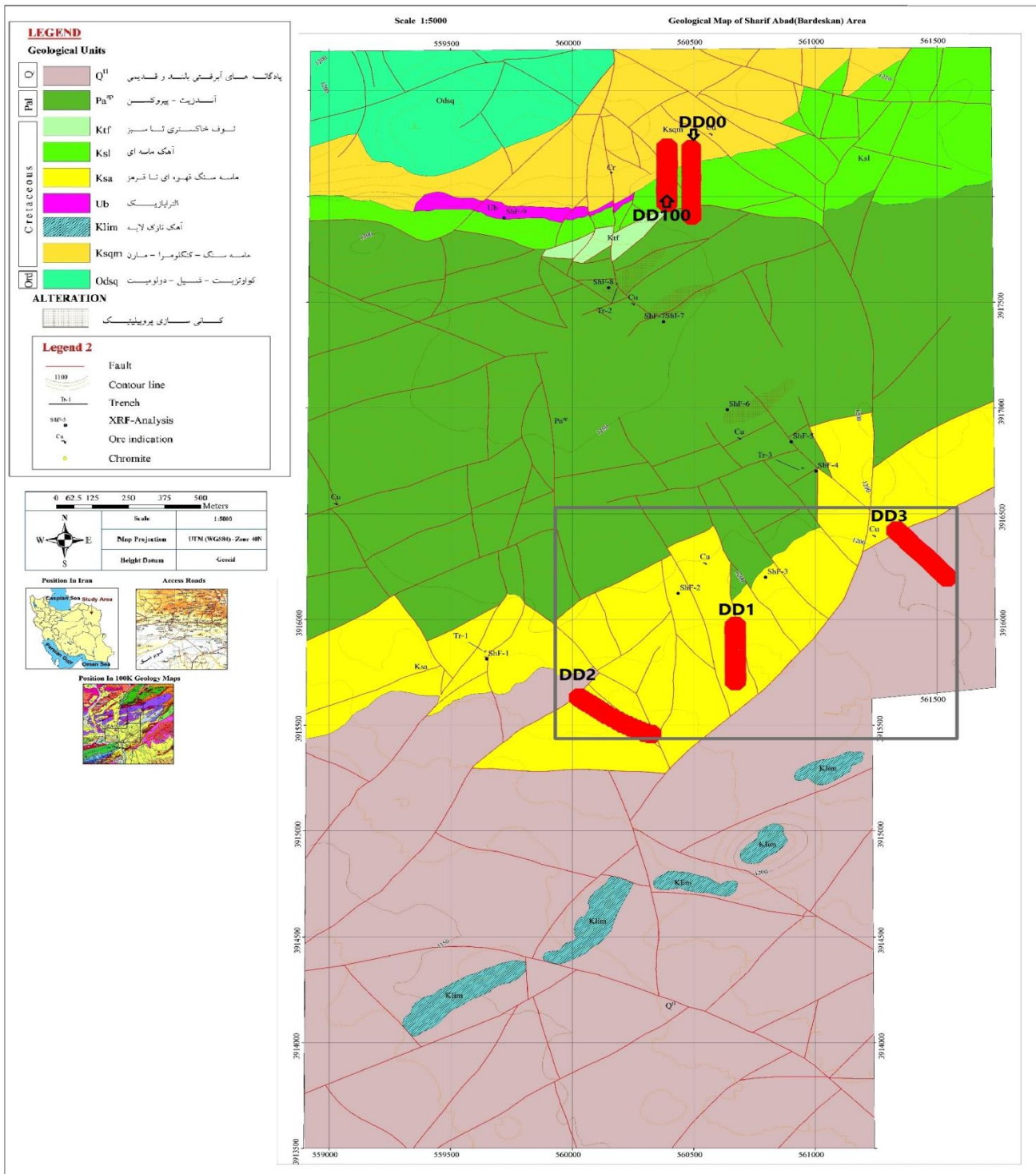
۳- زمین‌شناسی منطقه

محدوده شريف آباد از لحاظ سنگ‌شناسی به سه گروه تقسیم می‌شود (شکل ۱): قسمت جنوبی محدوده از ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن، آهک نازک لایه و رسوبات کواترنر تشکیل شده است. قسمت مرکزی محدوده که میزبان اصلی زون کانه‌دار می‌باشد؛ از سنگ‌های آندزیت و پیروکسن‌آندزیت همراه با ماسه‌سنگ تشکیل شده است. شمال محدوده در برگیرنده سنگ‌های رسوبی مانند کوارتزیت، شیل، دولومیت، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن،

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۶، شماره ۱، ۱۳۹۹.

شمال‌شرق - جنوب‌غرب با زاویه ۶۵ تا ۷۰ درجه با جهت شیب جنوب‌شرق تشکیل شده است. طول این زون ۵۵۰ متر بوده و عیار پایین‌تری از مس را نسبت به زون ۲ نشان می‌دهند. (۲) این زون دارای توالی سنگ‌شناسی ماسه سنگ، کنگلومرا، میکروکنگلومرا، شیل و پیروکسن آندزیت می‌باشد. ضخامت زون کانه‌دار در مقیاس صحرایی ۱۰ تا ۱۵ متر می‌باشد. گسل اصلی کانه‌دار در این زون راستای شمال‌شرقی - جنوب‌غربی دارد و زاویه شیب گسل ۶۵ تا ۷۰ درجه است.

توف، آهک ماسه‌ای و بخش کوچکی نیز سنگ‌های اولترابازیک می‌باشد. قسمت‌های زیادی از سنگ‌های منطقه متحمل دگرسانی پروپلیتیک، کربناتی و سیلیسی شده‌اند. دگرسانی‌های نواحی شمالی محدوده به وسیله یک گسل رورانده بر روی واحد ولکانیکی مرکزی رانده شده‌است. محدوده مورد مطالعه از نظر تکتونیکی قسمتی از یک یال چین خورده (تاقدیس) است؛ که جهت شیب جنوب‌شرق را نشان می‌دهد. منطقه معدنی شریف‌آباد از نظر سنگ‌شناسی، روابط سنی نسبی، تکتونیک و کانی‌زایی به دو زون تقسیم شده‌است. (۱) این زون کانی‌سازی در امتداد گسل نرمال با امتداد



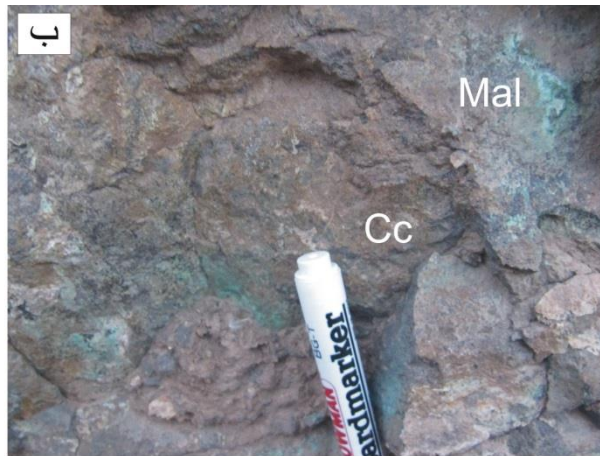
شکل ۱: نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ شریف آباد و موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی با روش دوقطبی-دوقطبی (مهری، ۱۳۹۳).

کانی‌سازی مس در محدوده مورد مطالعه، به صورت رگه و رگچه‌های چند سانتیمتری مالاکیت، کالکوسیت، کلسیت و کوارتز در داخل درزه و

شده‌اند. نفوذ محلول‌های گرمایی حاصل از توده نفوذی و هدایت آنها توسط درزه و گسل‌های موجود در منطقه نقش بسزایی در ایجاد این زون دگرسانی گرمایی و شسته شدن مس از اعماق و ته نشست آن به صورت کربنات مس (مالاکیت) و کلرید مس (آتاکامیت) در سطح دارد.



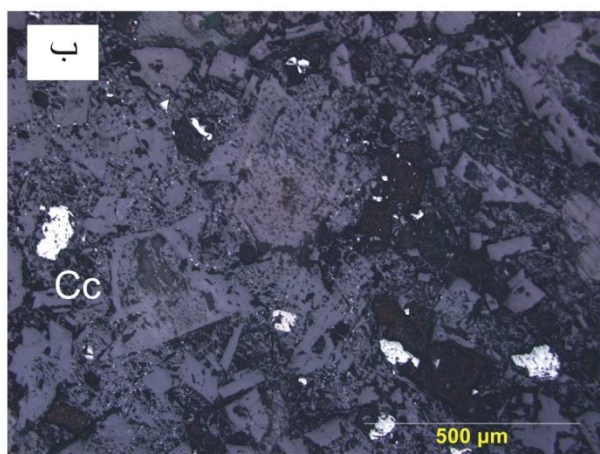
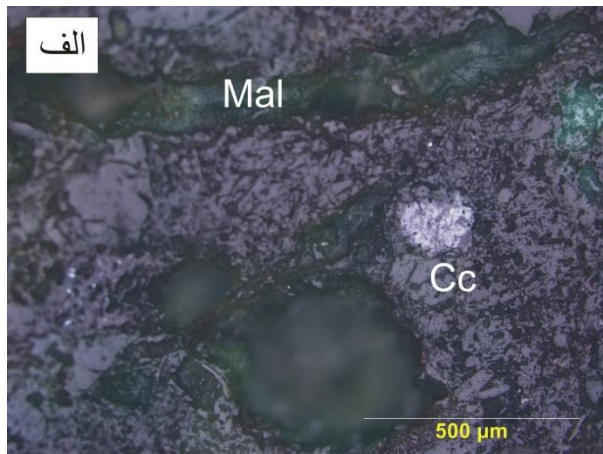
شکاف‌های واحد آتشفشانی ائوسن و الیگوسن با ترکیب آندزیتی تا آندزیت بازالتی و در بعضی نقاط آگلومرا و برش ولکانیکی و نیز سنگ‌های توفی دیده می‌شود (شکل ۲). این واحدها در برخی مناطق در اثر نفوذ یک توده آذرین با ترکیب گرانیت تا گرانودیوریت به شدت دگرسان



شکل ۲: الف) کانی‌سازی مالاکیت (سبز رنگ) همراه با رگچه‌های کلسیتی (سفید رنگ) درون سنگ میزبان پیروکسن آندزیت؛ ب) رگچه‌های مالاکیت و کالکوسیت (خاکستری تیره) درون سنگ میزبان آندزیت (کالکوسیت = Cc؛ مالاکیت = Mal؛ کلسیت = C).

مشاهده می‌شود (شکل ۳- الف و ب). کالکوپیریت با فراوانی بسیار کم به صورت دانه‌های بسیار ریز و پراکنده در حفرات سنگ و کانی دیده می‌شود. مگنتیت به صورت دانه‌های پراکنده در حفرات سنگ و کانی حضور دارد؛ که در مواردی در حال تجزیه به هماتیت است. هماتیت به صورت دانه‌های ریز و پراکنده در حفرات سنگ و کانی دیده می‌شود. گوتیت نیز با فراوانی ۱۰ تا ۲۰ درصد به صورت رگچه‌ای و پراکنده حفرات حضور دارد.

مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی‌ها به صورت رگچه‌ای، داربستی و پراکنده تشکیل شده‌اند. کانی‌ها عمدتاً شامل مالاکیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، مگنتیت و هماتیت می‌باشد. مالاکیت فراوان‌ترین کانی در سطح می‌باشد؛ که حفرات و رگچه‌های سنگ میزبان را پر کرده است (شکل ۳- الف). کالکوسیت با فراوانی کم‌تر به صورت دانه‌های پراکنده و گاه به صورت رگچه‌ای در سنگ میزبان و حفرات سنگ و کانی



شکل ۳: الف) تصاویر میکروسکوپی از ماده معدنی، دانه کالکوسیت (سفید رنگ) که حفره کانی را پر کرده است همراه با حفرات و رگچه پر شده با مالاکیت (سبز رنگ)؛ ب) بلورهای پراکنده کالکوسیت (سفید رنگ) درون حفرات کانی و سنگ (کالکوسیت = Cc؛ مالاکیت = Mal).

دیگر در این نرم‌افزار قابل مدل‌سازی هستند. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، برداشت با فواصل الکترودی ۲۰ متر انجام شده است؛ اما به منظور دستیابی به جواب‌های دقیق‌تر، در تمام مدل‌سازی‌های انجام شده با نرم‌افزار RES2DINV از شبکه‌بندی با نصف فاصله الکترودی استفاده شده است.

در این مقاله ابتدا مدل‌های به دست آمده به وسیله نرم‌افزار RES2DINV مورد تفسیر قرار می‌گیرد؛ سپس برای مقایسه و کمک به تفسیر بهتر مدل‌های نرم‌افزار RES2DINV از نرم‌افزار ZONDRES2D استفاده شده است. در نرم‌افزار ZONDRES2D، روش اجزاء محدود به عنوان یک ابزار

۴- مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV و ZONDRES2D

نرم‌افزار RES2DINV یک برنامه رایانه‌ای است که به‌طور خودکار مدلی دوبعدی (بر پایه بلوک‌بندی) از داده‌های به‌دست آمده از روش تصویرنگاری الکتریکی تولید می‌کند، که برای انجام مدل‌سازی از روش مدل‌سازی وارون هموار استفاده می‌کند (Edwards, 1977). این نرم‌افزار مدل‌سازی مقاومت‌ویژه و IP را به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهد. داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت‌ویژه حاصل از بکارگیری آرایش‌های ونر، شلومبرژه، قطبی-قطبی، قطبی-دوقطبی و دوقطبی-دوقطبی و همچنین هر آرایه عمومی

سنگ‌شناسی، بر اساس پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی-هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت دگرسان شده (دگرسانی پروپیلتیک) قرار دارد. همچنین گمانه حفاری شده توسط کارفرما در نزدیکی این بی‌هنجاری احتمالی، کانی‌سازی عمقی مس را در محل وجود بی‌هنجاری احتمالی تأیید کرده است. بی‌هنجاری احتمالی سطحی سوم با وسعت کم در منطقه در فاصله ۴۰ تا ۵۰ متری مبدأ پروفیل قرار داشته و تا عمق ۱۴ متری ادامه دارد (بی‌هنجاری احتمالی C). بر اساس پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت دگرسان شده قرار دارد. بی‌هنجاری احتمالی چهارم در فاصله ۱۱۰ تا ۱۲۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. این بی‌هنجاری نیز سطحی بوده و تا عمق ۱۵ متری ادامه دارد (بی‌هنجاری احتمالی D). بر اساس

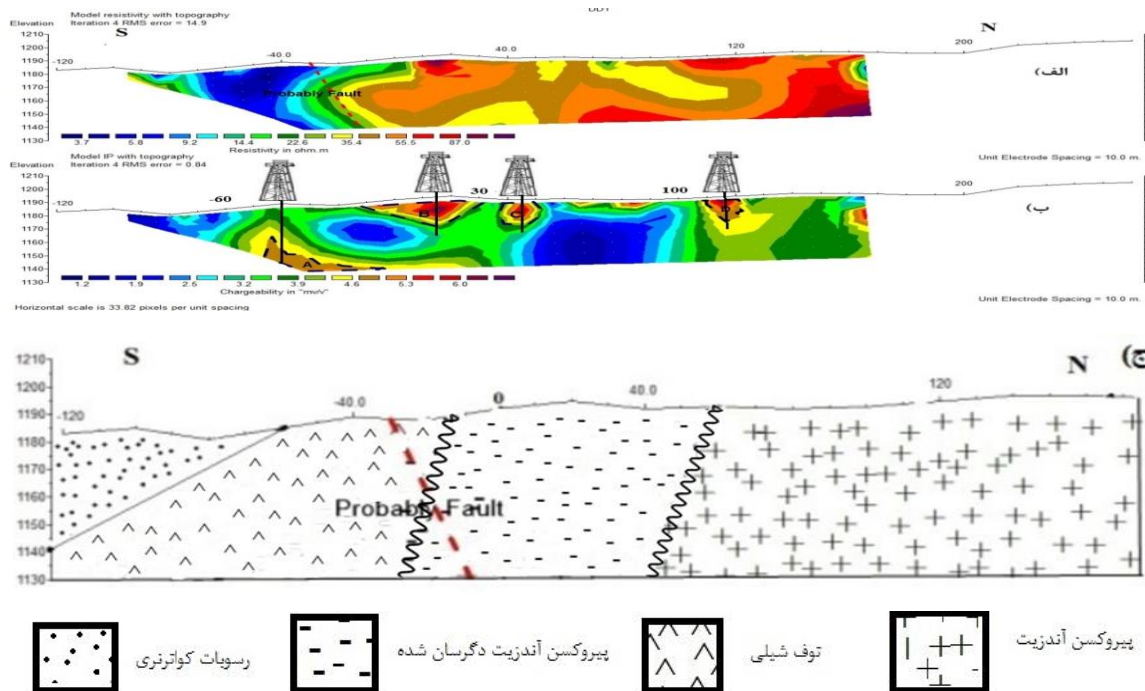
پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحدهای پیروکسن آندزیت قرار دارد. گمانه حفاری شده توسط کارفرما در نزدیکی محل این بی‌هنجاری احتمالی، وجود کانی‌سازی مس در عمق را تأیید کرده است. از آنجایی که بی‌هنجاری‌های احتمالی B, C و D به صورت سطحی می‌باشند. لذا لازم است برای کاهش ریسک اکتشاف، توسط پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل اعتبارسنجی شوند؛ که پیمایش‌های صحرایی صورت گرفته در امتداد پروفیل وجود کانی‌سازی سطحی مس به وسیله رخنمون‌های ماده معدنی موجود در این نقاط تأیید شده است.

مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار ZONDRES2D برای مقایسه و کمک به تفسیر بهتر مدل‌سازی‌های معکوس انجام شده در نرم‌افزار RES2DINV برای پروفیل DD1 انجام شد.

ریاضی برای حل مسائل مستقیم استفاده می‌شود. همچنین معکوس‌سازی با روش حداقل مربعات با قید نظم دهی انجام می‌شود. نتایج مدل‌سازی معکوس با استفاده از این نرم‌افزار نیز نتایجی مشابه نرم‌افزار RES2DINV را برای پروفیل‌های برداشت تأیید می‌کند.

پروفیل DD1

نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار RES2DINV بر روی پروفیل DD1 به همراه مقطع زمین‌شناسی تهیه شده توسط پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، در شکل ۴ نشان داده شده است. اولین بی‌هنجاری احتمالی موجود در منطقه در فاصله ۱۰- تا ۵۰- متری مبدأ پروفیل قرار دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در ۴۰- متری مبدأ پروفیل و در عمق ۴۹ متری می‌باشد؛ که مقدار بارپذیری به 5 mV/V رسیده ولی از گسترش عمقی این بی‌هنجاری در عمق اطلاعاتی در دسترس نیست (بی‌هنجاری A). از دیدگاه سنگ‌شناسی، بر اساس پیمایش‌های صحرایی در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی واحد توف شیلی قرار دارد. با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه، یک گسل احتمالی در محل حضور این بی‌هنجاری احتمالی وجود دارد. محل گسل احتمالی در ۳۰- متری مبدأ پروفیل می‌باشد؛ که در پیمایش‌های صحرایی وجود این گسل احتمالی تأیید گردید. بی‌هنجاری احتمالی دوم در فاصله ۱۰- تا ۳۰ متری مبدأ پروفیل می‌باشد. این بی-هنجاری سطحی بوده و بیشترین مقدار آن در ۱۵ متری مبدأ پروفیل و در عمق ۱۰ متری از سطح زمین می‌باشد (بی‌هنجاری B). از آنجا که این بی‌هنجاری به گسل تشخیص داده شده نزدیک است؛ لذا ممکن است در ارتباط با گسل احتمالی موجود در ۳۰- متری مبدأ پروفیل باشد. از دیدگاه



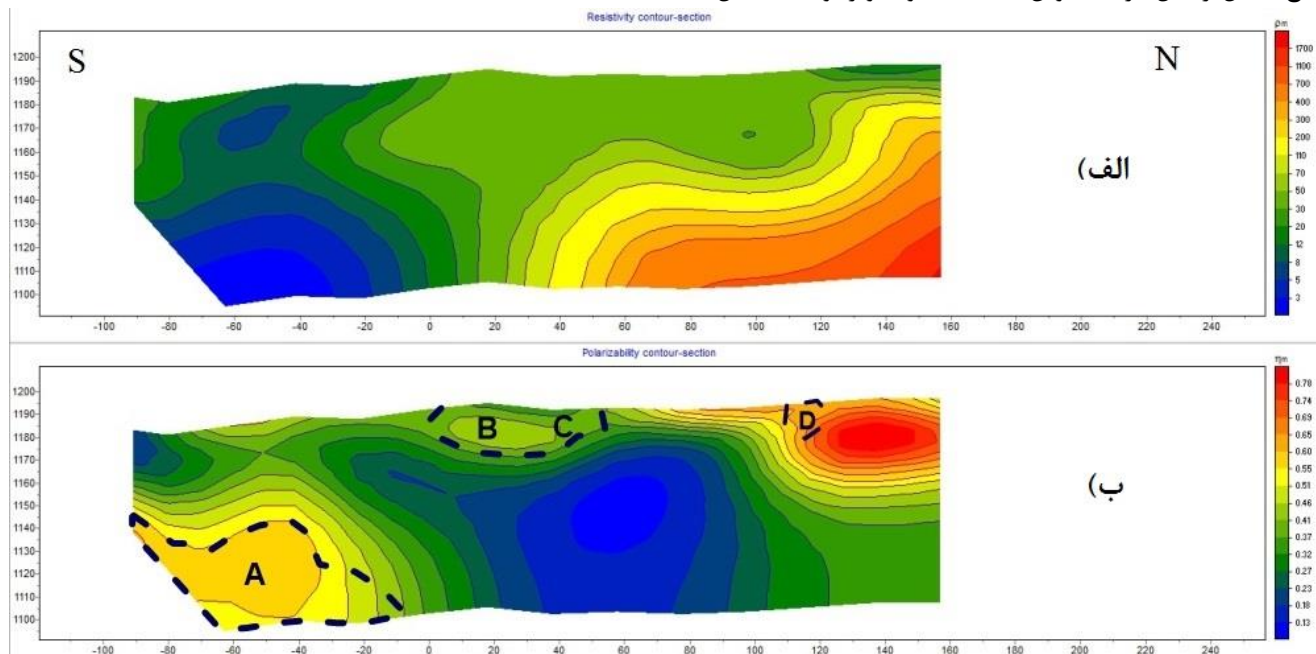
شکل ۴: نتایج حاصل از داده‌های مدل‌سازی معکوس؛ الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی؛ ب) مقطع IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در نرم‌افزار RES2DINV در طول پروفیل DD1؛ ج) مقطع زمین‌شناسی تهیه شده در امتداد پروفیل.

شده در نرم‌افزار RES2DINV را تأیید می‌کند. بر اساس مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه، بی‌هنجاری A منطبق بر مناطق با

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های معکوس صورت گرفته در نرم‌افزار ZONDRES2D وجود بی‌هنجاری‌های A, B, C و D ژئوفیزیکی حاصل

تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD1 با استفاده از نرم‌افزار ZONDRES2D نشان داده شده است. البته باید توجه داشت که خطای مدل‌سازی در نرم‌افزار ZONDRES2D نسبت به نرم‌افزار RES2DINV بیشتر است. بنابراین تفسیر مقاطع حاصل از نرم‌افزار RES2DINV از اطمینان بیشتری برخوردار است.

مقاومت‌ویژه‌های پایین می‌باشد؛ که می‌تواند مرتبط با گسل احتمالی موجود در ۳۰- متری مبدأ پروفیل و یا لیتولوژی توف شیلی موجود در این ناحیه و یا وجود زون آلتراسیون در سطح باشد. بی‌هنجاری‌های C, B و D بر روی مقاومت‌ویژه‌های متوسط رو به بالا قرار دارند؛ که دلیل آن می‌تواند لیتولوژی پیروکسن آندزیتی موجود در این نواحی باشد. در شکل ۵ نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال



شکل ۵: نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در نرم‌افزار ZONDRES2D در طول پروفیل DD1. الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی (ب) مقطع IP.

متری مبدأ پروفیل عمق گسترش این بی‌هنجاری به ۴۹ متر می‌رسد (بی-هنجاری A). بنا بر نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس، امکان وجود یک گسل احتمالی در فاصله ۳۰ متری از مبدأ پروفیل وجود دارد؛ که پیمایش‌های صحرایی نیز وجود این گسل معکوس را در منطقه تأیید می‌کند. بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری در فاصله ۴۰- تا ۱۰ متری مبدأ پروفیل بر روی توالی‌های میکروکنگلومرای دانه‌ریز و دانه درشت قرار دارد؛ ادامه بی‌هنجاری نیز بر روی واحدهای توف شیلی و توف ماسه‌ای قرار دارد. بی‌هنجاری احتمالی دوم برای این پروفیل در فاصله ۹۰ تا ۱۰۰ متری مبدأ برداشت قرار دارد. بیشترین مقدار این بی‌هنجاری در فاصله ۹۵ متری مبدأ پروفیل و در عمق ۲۷ متری از سطح زمین می‌باشد (بی‌هنجاری B). همچنین گمانه حفاری شده توسط کارفرما در نزدیکی این بی‌هنجاری احتمالی، کانی‌سازی با مقادیر بالای مس در عمق را تأیید کرده است. بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده در امتداد پروفیل، این بی‌هنجاری بر روی ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز رنگ واقع شده است. با توجه به پیمایش‌های صحرایی در منطقه و همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی موجود منطقه یک گسل احتمالی معکوس در فاصله ۱۰۰ متری از مبدأ پروفیل قرار دارد که به احتمال زیاد کانی‌زایی در ارتباط با همین گسل اتفاق افتاده است. بی‌هنجاری احتمالی بعدی در فاصله ۱۵۰ تا ۱۷۵ متری قرار دارد. این بی‌هنجاری در برخی نقاط از سطح زمین شروع شده؛ ولی گسترش اصلی این بی‌هنجاری در عمق است. بیشترین مقدار بارپذیری برای این بی‌هنجاری در ۱۶۰ متری مبدأ پروفیل و در عمق

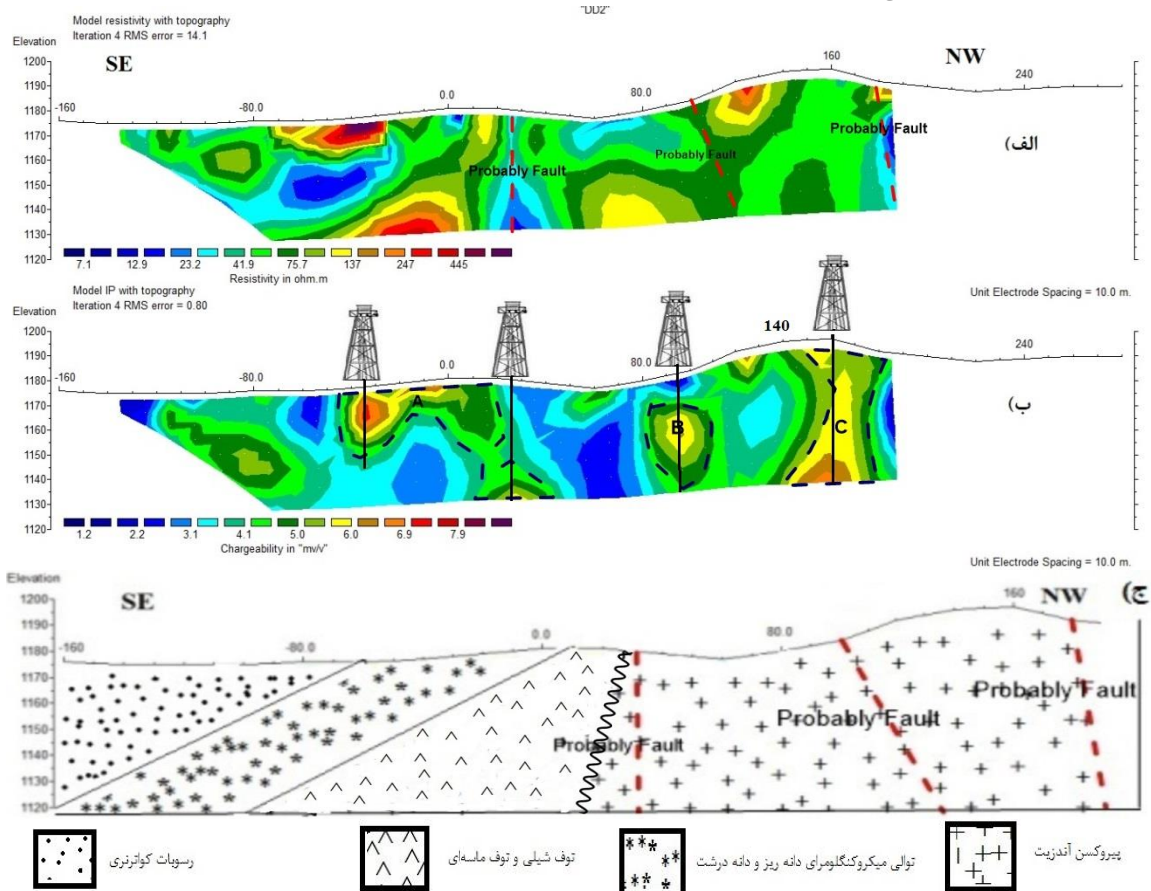
با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی موجود و همچنین مطالعات ژئوفیزیکی صورت گرفته چهار محل برای حفاری در منطقه برای پروفیل DD1 پیشنهاد می‌شود. محل حفاری اول در ۴۰- متری مبدأ پروفیل و به شکل قائم نسبت به سطح زمین پیشنهاد می‌شود. عمق بررسی این گمانه تا عمق ۴۹ متری می‌باشد. از آنجا که گسل‌های موجود در منطقه نقش موثری در حرکت سیالات داشته‌اند؛ و از آنجا که این بی‌هنجاری با گسل موجود در منطقه منطبق است؛ لذا می‌تواند نقطه مناسبی برای حفاری باشد. محل حفاری دوم در فاصله ۱۵ متری از مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۲۵ متری و محل حفاری سوم در فاصله ۴۵ متری مبدأ برداشت به شکل قائم و تا عمق ۲۵ متری از سطح زمین پیشنهاد می‌گردند. محل حفاری چهارم در فاصله ۱۱۵ متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۲۵ متری پیشنهاد می‌گردد.

پروفیل DD2:

نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار RES2DINV برای پروفیل DD2 به همراه مقطع زمین‌شناسی تهیه شده در امتداد پروفیل در شکل ۶ نشان داده شده است. بر این اساس بی‌هنجاری احتمالی اول در فاصله ۴۰- تا ۲۰ متری مبدأ پروفیل قرار دارد. گسترش این بی‌هنجاری در منطقه زیاد بوده و در برخی نقاط مانند ۱۰ متری مبدأ پروفیل یک بی‌هنجاری سطحی بوده و در برخی نقاط مانند ۲۰ متری مبدأ پروفیل این بی‌هنجاری عمیق می‌باشد. عمق این بی‌هنجاری احتمالی در فاصله ۴۰- متری تا صفر مبدأ پروفیل در حد ۲۰ متر و در زیر ایستگاه ۲۰

پروفیل قرار دارد؛ که ممکن است کانی‌زایی احتمالی مرتبط با این گسل باشد.

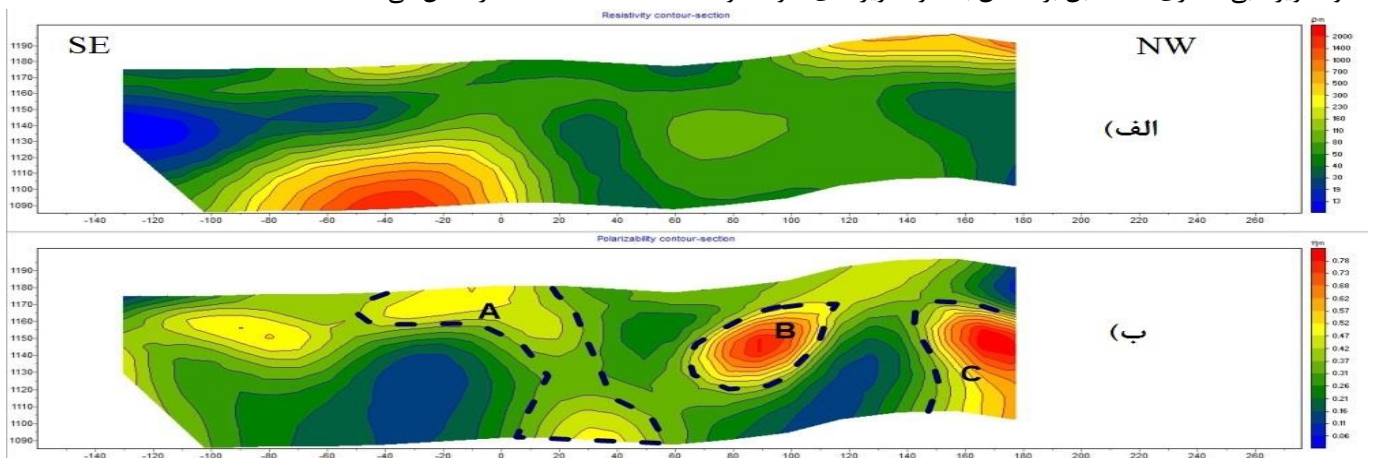
۴۵ متری می‌باشد (بی‌هنجاری C). این بی‌هنجاری نیز بر روی واحد ماسه-سنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز قرار دارد. با توجه به نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه، یک گسل احتمالی در فاصله ۱۸۰ متری مبدأ



شکل ۶: نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در نرم‌افزار RES2DINV در طول پروفیل DD2 (الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی، (ب) مقطع IP؛ (ج) مقطع زمین‌شناسی تهیه شده در امتداد پروفیل

متوسط رو به بالا، بی‌هنجاری B منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه متوسط و بی‌هنجاری C منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه نسبتاً پایین می‌باشد. شکل ۷ نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در طول پروفیل DD2 با استفاده از نرم‌افزار ZONDRES2D را نشان می‌دهد.

مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در نرم‌افزار ZONDRES2D از لحاظ گستردگی، عمق و مکان‌گیری انطباق بسیار خوبی را با مدل‌سازی‌های معکوس انجام شده در نرم‌افزار RES2DINV را نشان می‌دهد. بر اساس مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه، بی‌هنجاری A منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه‌های متوسط و

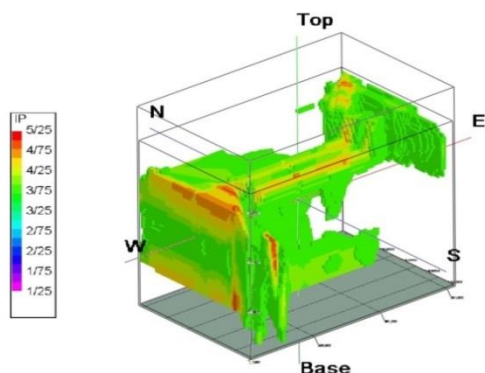


شکل ۷: نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و IP با اعمال تصحیح توپوگرافی در نرم‌افزار ZONDRES2D در طول پروفیل DD2 (الف) مقطع مقاومت‌ویژه الکتریکی (ب) مقطع IP.

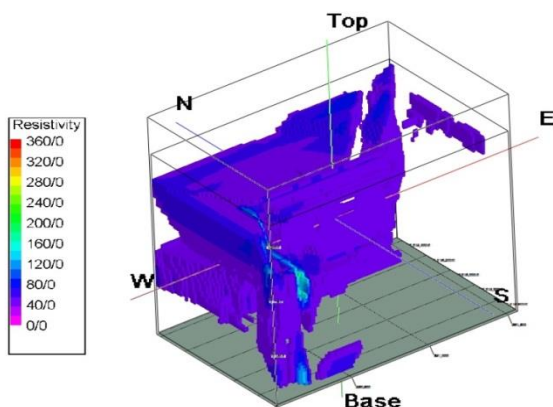
با استفاده از اطلاعات حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV و اعتبار سنجی و مقایسه آن با استفاده از نرم‌افزار

۶- اعتبارسنجی بر اساس گمانه‌های اکتشافی کارفرما

با مقایسه محل‌های حفاری انجام شده توسط کارفرما و محل‌های حفاری پیشنهادی در این مقاله مشاهده می‌شود، سه نقطه با فاصله کمی نسبت به محل‌های حفاری پیشنهادی در این مقاله حفاری شده‌است (جدول ۱). از آنجا که جهت تعیین نقاط حفاری، علاوه بر اطلاعات حاصل از نتایج ژئوفیزیک باید از اطلاعات زمین شناسی نیز استفاده کرد. لذا نقاط حفاری نهایی با توجه به توپوگرافی سطح زمین و رخنمون‌های کانی‌سازی توسط کارشناسان زمین شناس و ژئوفیزیک تعیین خواهد شد. شکل (۱۰) ستون چینه‌شناسی یک گمانه حفاری شده را بر مبنای عیار متوسط ۶ آنالیز ICP-MS نشان می‌دهد؛ که تائیدی بر حضور کانی‌سازی در منطقه می‌باشد.



شکل ۸: نمایش سه‌بعدی مقادیر بالای داده‌های IP (بر حسب میلی‌ولت بر ولت) برای پروفیل‌های DD1 و DD2.



شکل ۹: نمایش سه‌بعدی مقادیر نسبتاً پایین داده‌های مقاومت‌ویژه (بر حسب اهم‌متر) برای پروفیل‌های DD1 و DD2.

ZONDRES2D و با توجه به مطالعات زمین‌شناسی در امتداد پروفیل DD2، چهار محل برای حفاری پیشنهاد می‌شود. محل حفاری اول در فاصله ۳۵- متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۳۲ متری پیشنهاد می‌گردد. محل حفاری دوم در فاصله ۲۵ متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۴۹ متری از سطح زمین پیشنهاد می‌شود که هدف از این محل حفاری، اثبات وجود کانی‌سازی در عمق می‌باشد. محل حفاری سوم در فاصله ۹۵ متری مبدأ پروفیل و به شکل قائم تا عمق ۴۹ متری پیشنهاد می‌شود؛ که هدف بررسی گسترش عمقی این زون کانه‌دار می‌باشد. محل حفاری چهارم در فاصله ۱۶۰ متری مبدأ پروفیل به شکل قائم و تا عمق ۴۹ متری پیشنهاد می‌گردد.

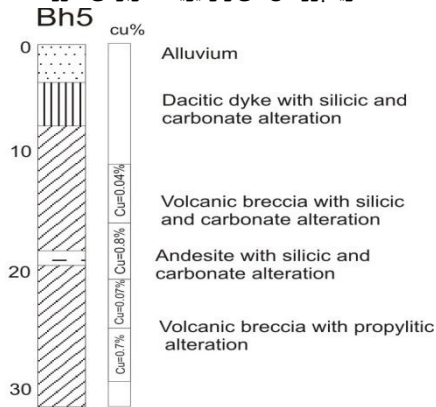
نمایش سه بعدی داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه و IP:

به‌منظور تجسم بهتر توزیع فضایی مقادیر مقاومت‌ویژه و IP و با توجه به این‌که معمولاً توزیع مقاومت‌ویژه در زمین به‌صورت سه‌بعدی می‌باشد. لذا برای دستیابی به یک دید کلی از نواحی بی‌هنجار در منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی و نمایش سه‌بعدی داده‌ها بسیار مفید است. نمایش سه‌بعدی نتایج وارون‌سازی ضمن تعریف یک فضای تخمین مناسب، نتایج وارون‌سازی پروفیل‌های مختلف را در این فضا درون‌یابی کرده و سپس با تعیین یک حد آستانه مناسب، بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی را در این فضا نشان می‌دهد.

مدل‌های دوبعدی ژئوفیزیکی برای داده‌های IP و مقاومت‌ویژه با استفاده از نرم‌افزار Rockworks به‌صورت سه‌بعدی نمایش داده شد؛ در همه نمایش‌های این بخش مقادیر مجهول در فواصل بین دو پروفیل، با روش عکس فاصله وزنی (IDW)^۱ درون‌یابی شده‌اند. دلیل استفاده از این روش، برتری آن در جستجوی جهتی برای درون‌یابی نقاط بین داده‌ای و همچنین وجود ناهمسانگردی جانبی در زیر سطح زمین می‌باشد.

با توجه به مطالعات زمین‌شناسی انجام شده و قرارگیری کانی‌سازی مس شریف‌آباد در گروه کانی‌سازی‌های مس چینه‌کران (مس نوع مانتو)؛ کانی‌سازی در اکثر موارد دارای رگ و رگچه بوده و با گسل همراه می‌باشد؛ بر این اساس مناطق بی‌هنجار ژئوفیزیکی، منطبق بر مناطقی با مقاومت‌ویژه نسبتاً پایین و بارپذیری بالا می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۸ و ۹ دیده می‌شود، مقادیر نسبتاً پایین مقاومت‌ویژه و مقادیر بالای IP به نمایش درآمده‌اند؛ تا بتوان به درک بهتر و قابل‌فهم‌تری از توزیع فضایی کانی‌سازی در زیر سطح زمین دست یافت. بر اساس شکل‌های ۸ و ۹ بخش قابل توجهی از کانی‌سازی زیرسطحی در قسمت غربی و شمالی محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌است؛ که کانی‌سازی در این مناطق می‌تواند مرتبط با گسل‌های محلی موجود در این مناطق باشد. مدل‌های سه‌بعدی به نمایش درآمده در شکل‌های ۸ و ۹ انطباق تقریباً خوبی با هم دارند و گسترش کانی‌سازی را به خوبی نشان می‌دهند. البته با توجه به فاصله زیاد بین این دو پروفیل (حدود ۷۵۰ متر) نمایش سه‌بعدی داده‌ها همواره با مقداری خطا همراه است.

^۱ Inverse Distance Weighting



شکل ۱۰: ستون چینه‌شناسی گمانه حفاری شده BH-5 در منطقه

شریف‌آباد.

استراتیفرم در عمق تشکیل شده است (Oyarzun et al., 1998)، و در مرحله دوم کانی‌های اکسیدی مس مانند مالاکیت و آزوریت همراه با کالکوسیت به صورت سوپرژن و رگه‌ای در سطح و نزدیک به سطح تشکیل شده‌است؛ به طوری که سیالات جوی یا ماگمایی مس را از قسمت‌های عمیق حمل کرده و در شکستگی‌ها و گسل‌های موجود تجمع داده است (Oyarzun et al., 1998).

در ادامه مدل‌سازی‌های IP و مقاومت‌ویژه منجر به شناسایی چهار گسل احتمالی در منطقه شده است؛ که می‌تواند با کانی‌سازی مس نیز مرتبط باشد. همچنین با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی حاصل از این تحقیق دو گروه بی‌هنجاری احتمالی در منطقه مشاهده می‌شود. گروه اول، بی-هنجاری‌های احتمالی سطحی‌تر می‌باشد؛ که حداکثر تا عمق ۲۵ متری کشیده شده‌اند و شواهد آن‌ها بر روی زمین نیز قابل مشاهده‌است. این نوع بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی منطبق بر کانی‌سازی نوع سوپرژن می‌باشند؛ که اغلب رگه‌ای بوده و غالباً با کانی‌های اکسیدی و سولفیدی همراه هستند. این موضوع با نتایج ژئوفیزیکی به خوبی تأیید شده است؛ پروفیل‌های ژئوفیزیکی، زون‌های کانی‌سازی در سطح و نزدیکی سطح زمین را به خوبی به نمایش گذاشته است (شکل‌های ۴ و ۶). گروه دوم، بی‌هنجاری‌های احتمالی که در اعماق ۳۲ تا ۴۹ متر قرار گرفته‌اند و می‌توانند با کانی‌سازی پراکنده و هیپوژن در زیر زمین منطبق باشند. این نوع بی-هنجاری‌ها با کانی‌سازی سولفیدی همراه بوده و به صورت لایه‌های استراتیفرم غنی از مس در عمق تشکیل شده‌اند. بر اساس مطالعات انجام شده هشت محل جهت حفاری گمانه‌های اکتشافی به شرح جدول ۲ پیشنهاد شده است.

جدول ۱: مقایسه مختصات نقاط حفاری انجام شده و نقاط حفاری

پیشنهادی در منطقه شریف‌آباد.

مختصات گمانه حفاری (UTM)	مختصات گمانه پیشنهادی (UTM)	شماره گمانه پیشنهادی	شماره گمانه انجام شده
X: ۵۶۰۶۸۲ Y: ۳۹۱۵۸۱۲	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۸۱۵	DD1-Bh-B	BH-5
X: ۵۶۰۱۹۳ Y: ۳۹۱۵۵۰۹	X: ۵۶۰۱۷۴ Y: ۳۹۱۵۵۳۱	DD2-Bh-B	BH-3
X: ۵۶۰۶۴۹ Y: ۳۹۱۵۸۱۲	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۹۱۵	DD1-Bh-D	BH-7

۷- نتیجه گیری:

کانی‌سازی مس شریف‌آباد در سنگ میزبان آهک، ماسه سنگ، پیروکسن آندزیت، برش آتشفشانی، توف ماسه‌ای و کنگلومرا ائوسن-الیگوسن تشکیل شده‌است که متحمل دگرسانی‌های پروپیلیتیک، کربناتی و سیلیسی شده‌اند. کانی‌سازی به صورت پراکنده، پرکننده حفرات و رگه و رگچه‌ای می‌باشند؛ که در حفرات و شکستگی‌های سنگ میزبان تشکیل شده‌است و شامل کالکوسیت، کالکوپیریت، مگنتیت، مالاکیت و همتایت است. از آنجا که کانی‌سازی مس بردسکن در افق خاصی از سنگهای رسوبی-آتشفشانی تشکیل شده‌است؛ به همین دلیل در گروه کانی‌سازی‌های مس چینه‌کران (مس نوع مانتو) محسوب می‌شود. از نظر شکل کانسار، نوع سنگ میزبان، دگرسانی‌های موجود در منطقه و ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان این ذخیره بسیار شبیه کانسارهای نوع مانتو در شیلی می‌باشد (Kojima et al., 2003; Wilson and Zentilli, 2003)، که ذخایری با همین ویژگی‌ها در آمریکا و کانادا تحت عنوان طبقات سرخ آتشفشانی و میشیگان معرفی شده‌اند (Lefebure and Church, 1996). این ذخایر با دگرسانی‌های پروپیلیتیک، کربناتی، سریسیتی، آلبیتی و ژولیتی همراه هستند و کانی‌سازی اغلب به صورت پراکنده، رگچه‌ای و پرکننده حفرات سنگ میزبان تشکیل می‌شوند که با کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، مس طبیعی، همتایت و مقادیری نقره همراه هستند (Kojima et al., 2003).

مطالعات زمین‌شناسی این نوع ذخایر نشان می‌دهد؛ کانی‌سازی در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول کانی‌های سولفیدی مس مانند پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت و بورنیت به صورت پراکنده در افق‌های

جدول ۲: مختصات نقاط پیشنهادی برای حفاری بر روی پروفیل‌های DD1 و DD2

پروفیل برداشت	گمانه پیشنهادی	شیب گمانه پیشنهادی نسبت به سطح زمین (درجه)	عمق حفاری (m)	طول و عرض جغرافیایی (UTM)	فاصله تقریبی محل حفاری از مبدأ پروفیل
DD1	BH-A	۹۰	۴۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۷۶۰	-۴۰
DD1	BH-B	۹۰	۲۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۸۱۵	+۱۵
DD1	BH-C	۹۰	۲۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۸۴۵	+۴۵

+۱۱۵	X: ۵۶۰۶۷۰ Y: ۳۹۱۵۹۱۵	۲۵	۹۰	BH-D	DD1
-۳۵	X: ۵۶۰۲۳۰ Y: ۳۹۱۵۴۹۸	۳۲	۹۰	BH-A	DD2
+۲۵	X: ۵۶۰۱۷۴ Y: ۳۹۱۵۵۳۱	۴۹	۹۰	BH-B	DD2
+۹۵	X: ۵۶۰۱۰۶ Y: ۳۹۱۵۵۷۶	۴۹	۹۰	BH-C	DD2
+۱۶۰	X: ۵۶۰۰۵۴ Y: ۳۹۱۵۶۱۵	۴۹	۹۰	BH-D	DD2

۵- منابع

- نوروزی، غ.، ۱۳۸۸، ژئوفیزیک اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Edwards L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced polarization, Geophysics, 42, pp.1020-1036
- Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista, D. & Hayashi, K., 2003. Ore mineralogy, fluid inclusion, and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coasta Cordillera of northern Chile: Mineralium Deposita, v. 38, p. 208-216.
- Muller, R., and Walter, R., 1983. Geology of the Precambrian-Paleozoic Taknar Inlier northwest of Kashmar, Khorasan Province northeast Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 50, 252 pp.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R., and Oyarzun, J., 1998, Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts: Mineralium Deposita, v.33, p. 547-559.
- Uchida T. Takakura Sh. Ueda T. S. Abe Y., (2015), "Three_ dimensional resistivity structure of the Yanaizu-Nishiyama Geothermal Reservoir, Northern japan", Proceeding Word Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April
- Wilson, N.S.F., and Zentilli, M., 2006. Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, Central Chile: International Journal of Coal geology, v.65, p. 158-169.
- پیروز، ا.، ۱۳۹۴، جزوه درس ژئوفیزیک اکتشافی پیشرفته، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- توسلی، ع.، لطفی، م.، ۱۳۸۷. مطالعات دورسنجی در پی‌جویی و اکتشافات معدنی در محدوده عباس‌آباد سمنان، شمال شمال خاوری ایران، شماره ۱، ص ۶۳-۷۹.
- حیدریان شهری، م.ر.، و ادوینز، ر.، ۱۳۸۴، مبانی اکتشافات ژئوفیزیکی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۱. متالوژی کانسارهای مس نوع مانتو در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۱۳۸-۱۴۵.
- صالحی، ل.، رساء، ا.، علیرضایی، س.، کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۹۴. کانسار معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۸، ص ۹۳-۱۰۴.
- موسوی، ح.، ۱۳۹۳، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت‌ویژه به‌منظور اکتشاف ذخایر مس در منطقه هفت کوه کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- مهوشی، م.، ملک زاده شفارودی، آ.، ۱۳۹۵، کانسار مس چشمه‌گز (نسیم) شمال غرب بردسکن: کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و تعیین مدل، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳، ص ۴۰۵-۴۳۴.



Modeling and Interpretation of the Induced Polarization and Resistivity Data in Sharifabad Exploration Area, Northwest of Bardeskan

Hadi Ghanbari¹, Alireza Arab- Amiri^{2*}, Susan Ebrahimi³ and Mohammad Mehri⁴

- 1- M.Sc. Student, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
2- Associate Professor, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
3- Associate Professor, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
4- Geologist, Armaghan Padideh Kashan Company, Kashan

Received: 27 May 2017; Accepted: 25 January 2018

Corresponding author: alirezaarabamiri@yahoo.com

Keywords

Induced polarization
Resistivity
Copper mineralization
Bardeskan
Dipole-dipole array

Extended Abstract

Summary

Sharifabad copper deposit is located on the Cenozoic volcanic belt in the northwest of Bardeskan, Khorasan Razavi Province. The host rocks of the mineralization are pyroxene andesite, tuff, agglomerate, limestone, sandstone, and micro conglomerate of the volcanic rocks of Eocene and Oligocene age. Alteration includes propylitic, silica and carbonate materials. Mineralization is restricted to the veins and veinlets and is controlled by the local faults. Mineralization mainly consists of chalcocite, magnetite, hematite, pyrite and malachite that occur in the cavities and fractures of the host rocks. Geophysical surveys using resistivity (Res) and induced polarization (IP) methods have been carried out along 5 survey lines. The results indicate high resistivity and IP values in the depth levels of 0-25 and 32-49 meters, and thus, relevant highly resistant horizons are identified. On the basis of the geological and geophysical studies in the area, eight locations for drilling exploration boreholes are

proposed that probably contain highly concentrated copper mineralization.

Introduction

The Sharifabad copper deposit is situated in the Sabzevar zone and Eastern Iran Cenozoic volcanic rocks. The area is covered by a detailed exploration program, which includes preparation of the geological map of the area at 1:5,000 scale, and drilling several hundred meters of trenches.

This study focuses on the copper bearing veins system and determination of subsurface mineralization by conducting geological and geophysical operations. For carrying out geophysical operations, 5 survey lines have been designed, and then, surveyed in the area. In this paper, the results of modeling and interpretation of geophysical data acquired along two survey lines DD1 and DD2 have been presented. The geophysical data include IP-Res measurements at 460 points along these two survey lines using dipole-dipole array with the electrode intervals of 20 meters that have been conducted by Omid Geological Engineering and Geo-Science Company.

Methodology and Approaches

The raw field geophysical data along the two survey lines DD1 and DD2 have been modeled using two-dimensional (2D) smooth Inversion by RES2DINV and ZONDRES2D software packages. The 2D model sections are displayed in three-dimensional (3D) form using RockWorks software. The inverse modeling results and geological studies lead to the recognition of the copper mineralization zones and local faults in Sharifabad area.

Results and Conclusions

The results of geophysics studies in Sharifabad area show high resistivity and IP values in two depth levels 0 to 25 m and 32-49 m. On the basis of the geological and geophysical studies, eight locations for drilling exploration boreholes are proposed, and as a result, three boreholes have been drilled up to a depth ranging 33-40 m. Drilling studies confirm copper mineralization with high copper values in the depth of about 39m. These studies have also led to the identification of four local faults near the mineralization zones.