



مدل سازی دوبعدی داده‌های ژئوفیزیکی در محدوده پلی متال بنوید - استان اصفهان

مینا امیرنیا^۱، علیرضا عرب‌امیری (نویسنده مسئول)^۲، محمد فیلبندی کشکولی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود minaaamirnia91@gmail.com

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود alirezaarabamiri@yahoo.com

^۳ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، kashkoulimohammad@gmail.com

چکیده

محدوده معدنی موضوع این تحقیق که به اختصار محدوده اکتشافی بنوید نامیده می‌شود، به مساحت ۵۰ هکتار در شرق استان اصفهان و تقریباً در ۱۳ کیلومتری جنوب روستای بنوید از توابع شهرستان نائین واقع شده است. در این محدوده اکتشافی شواهدی از کانی‌سازی مس، در فازهای اکسید (مالاکیت) و سولفید (کالکوپیریت) در واحدهای ولکانیکی دیده می‌شود؛ که همین موضوع انگیزه مطالعات بیشتر در محدوده را فراهم می‌کند. با توجه به مشاهده رخنمون‌های سطحی از کانی‌سازی در محدوده معدنی بنوید؛ با هدف اکتشاف مس و کانی‌های همراه و به منظور بررسی امکان وجود زون‌های بی‌هنجار قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه ظاهری مرتبط با کانی‌سازی کانی‌های سولفیدی مطالعات الکتریک به روش IP/Res در نه پروفیل برداشت شده است. هدف از اجرای مطالعات ژئوفیزیکی به روش IP/Res در این محدوده بررسی احتمال وجود بی‌هنجاری‌های قطبش‌القایی می‌باشد. در این مطالعه وارون‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv انجام شده است. نتیجه حاصل از مدل‌سازی دو پروفیل منجر به تعیین سه منطقه کانی‌سازی احتمالی شده است، که پیشنهاد محل انجام حفاری مغزه‌گیری آن‌ها داده شده است.

واژه‌های کلیدی

مدل‌سازی، مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی، کانی‌سازی، مس، بنوید



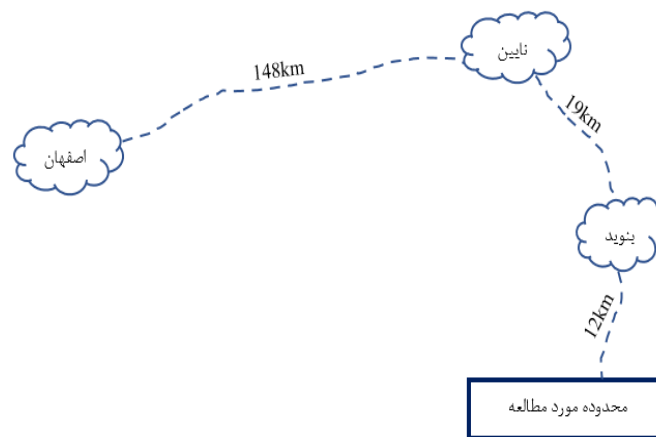
۱.۱. مقدمه

با توجه به نقش مواد معدنی در تامین نیازهای اولیه‌ی مختلف، جستجوی آن‌ها با روش‌های کارآمد ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی به همراه اطلاعات زمین‌شناسی می‌تواند به گردآوری اطلاعات اکتشافی قابل اعتمادتری منجر شود [۱]. روش‌های ژئوفیزیکی، یکی از روش‌های اکتشافی غیرمخرب هستند که به طور غیرمستقیم به بررسی بی‌هنجاری‌های زیر سطحی پرداخته و نسبت به روش‌هایی مثل حفاری ارزان‌تر هستند [۲]. روش‌های ژئوالکتریک، یکی از انواع روش‌های ژئوفیزیکی هستند؛ که بر مبنای مطالعه ویژگی‌های الکتریکی زمین ایجاد شده‌اند [۳]. روش قطبش‌لقایی و مقاومت‌ویژه، دو روش مهم در این دسته هستند که برای شناسایی گستره‌های کانی‌سازی سولفیدی بسیار کارآمد هستند. در زون‌های کانی‌سازی مس نیز این دو روش کارایی بالایی دارند. با توجه به کارایی بالای روش‌های ژئوالکتریک در شناسایی بی‌هنجاری‌های زیرسطحی، ترکیب نتایج این روش‌ها و استفاده همزمان از آن‌ها، می‌تواند به شکلی کارآمد در شناسایی اهداف مورد نظر در اکتشافات معدنی مورد استفاده قرار گیرد [۴].

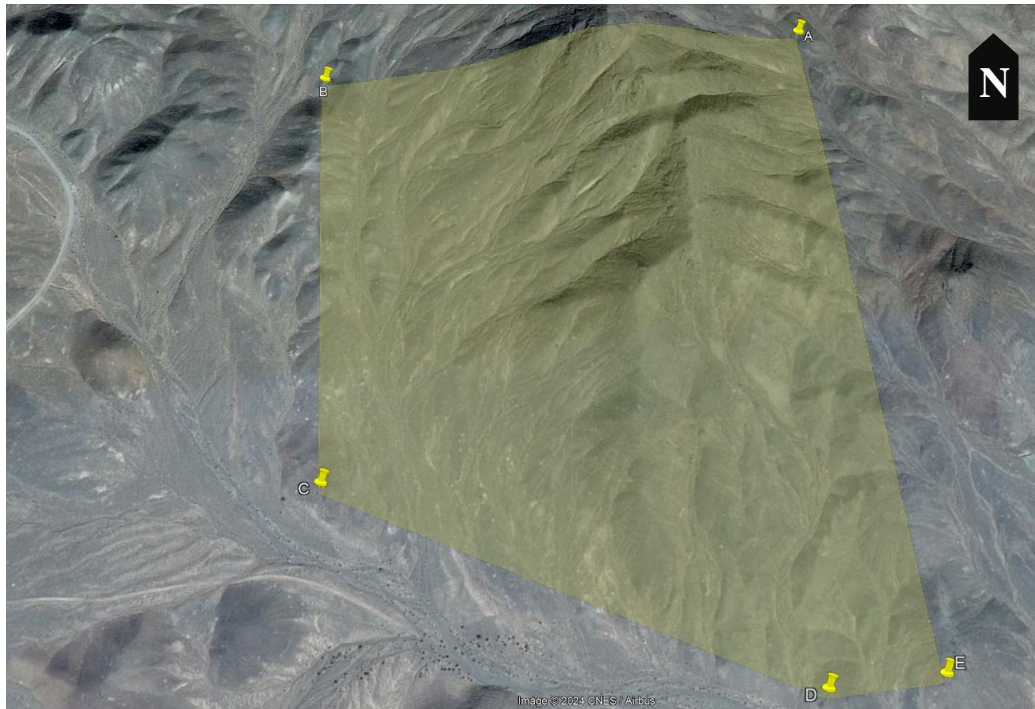
۲.۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی

بنوید روستایی، از توابع شهرستان نائین است و دارای دو بخش مجزاء به نام‌های بنوید علیا و بنوید سفلی می‌باشد، محدوده اکتشافی بنوید، به مساحت ۵۰ هکتار در شرق استان اصفهان، جنوب شهرستان نائین و تقریباً در ۱۳ کیلومتری جنوب روستای بنوید واقع شده است [۵].

مسیر دسترسی به این محدوده، از طریق جاده آسفالته اصفهان-نائین پس از عبور از روستای بنوید با پیمودن مسیر جاده خاکی حدود ۱۲ کیلومتر در راستای جنوب به ضلع غربی محدوده میسر می‌گردد (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه دارای ارتفاعات نیمه خشن و بخش جنوبی و غرب به صورت دشت و آبرفت می‌باشد.



شکل ۱: راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه



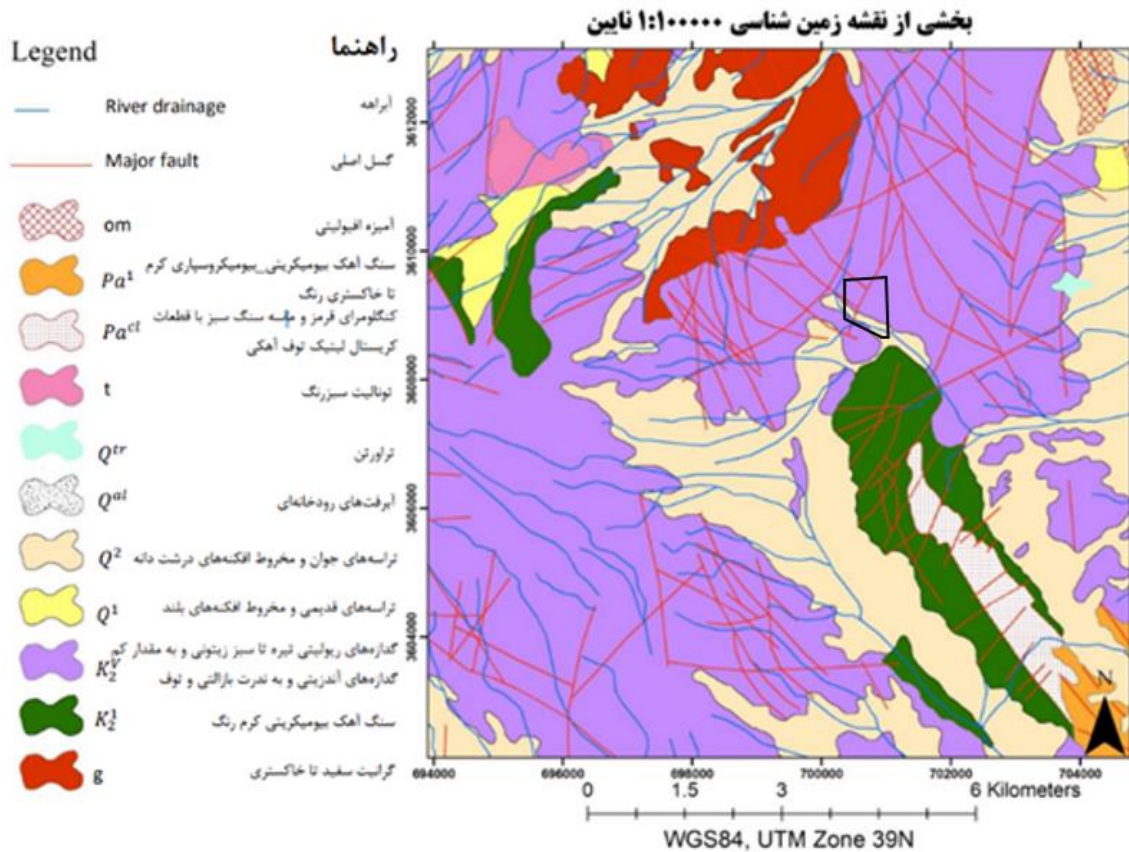
شکل ۲: موقعیت محدوده برداشت بر روی تصاویر ماهواره‌ای [۶]

۳.۱. سوابق مطالعات و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

تاکنون تحقیقات فراوانی در ناحیه نایین (شرق اصفهان)، در ارتباط با واحدهای ولکانیک و کانه‌زایی‌های متنوع صورت گرفته است. محدوده مورد اکتشاف در بخش جنوب غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نایین قرار دارد (شکل ۳). با توجه به نقشه زمین‌شناسی بخش اصلی رخنمون‌های سنگی این منطقه عبارتند از گدازه‌های ریولیتی تیره و گدازه‌های آندزیتی و به ندرت بازالتی و توف با سن کرتاسه بالایی (K_2^v) و تراسه‌های جوان با مخروط افکنه‌های دانه درشت با سن کواترنر (Q^2) می‌باشد [۷].

محدوده اکتشافی بنوید از نظر موقعیت زمین‌شناسی و زمین‌ساختاری در بخش میانی نوار ماگمایی ارومیه-دختر در شرق استان اصفهان می‌باشد [۸]. از منظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، این زون مانند دیگر کمان‌های ماگمایی حاشیه قاره آند (آمریکای جنوبی) و کردیلرا (آمریکای شمالی)، میزبان کانسارهای مس پورفیری و دیگر کانسارها از جمله طلا، آهن و مولیبدن می‌باشد [۹، ۱۰]. فعالیت آتشفشانی-نفوذی در این زون از دوره زمانی ائوسن آغاز شد؛ در طول این دوره توده‌های پلوتونیک-مزوزوئیک پسین و پالئوزن درون سنگ‌های رسوبی کرتاسه نفوذ کرده‌اند [۹، ۱۰].

از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های پیروکلاستیک، دیوریت، گابرو، تراکی آندزیت، داسیت، و توف می‌باشد. این سنگ‌ها توسط توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی با سن الیگومیوسن قطع شده‌اند. در این ناحیه ساختاری، توده‌های گرانیتوئیدی که همراه با کانسارهای مس پورفیری هستند، به نوع کالک آلکالن و شبه آداکیتی تعلق دارند. این توده‌ها باعث ایجاد کانسارهای مس در مناطقی همچون سرچشمه، دالی، میدوک، سونگون، پرکام، دره زرشک، علی‌آباد و مس ایرانیان شده‌اند [۱۰، ۱۱].



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه [۱۲،۱۳]

۴.۱. روش‌های ژئوفیزیکی مناسب

برای اکتشاف مناطق کانی‌سازی، ترکیب گسترده‌ای از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده می‌شود، از جمله روش‌های مورد استفاده می‌توان مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی (IP\Res) را نام برد [۱۴]. روش‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی (IP\Res) اطلاعات بیشتری از ویژگی‌های الکتریکی زیرسطحی فراهم می‌کنند؛ همچنین می‌توانند در تشخیص معدن‌های سولفیدی یا اکسیدی به کار روند [۱۵]. روش‌های الکتریکی قابلیت اندازه‌گیری قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه را دارا هستند؛ و می‌توانند به طریق کارآمدی در کشف مناطق کانی‌سازی مس مورد استفاده قرار گیرند [۱۶]. این ترکیب از روش‌ها به همراه یکدیگر، تصویر جامعی از ویژگی‌های زیرسطحی منطقه را ارائه می‌دهد و به بهترین شکل ممکن در فرآیند اکتشاف و تعیین پتانسیل معدنی موقعیت مورد نظر کمک می‌کند [۱۷، ۱۸]. در محدوده معدنی بنوید با هدف اکتشاف مس و کانی‌های همراه به منظور بررسی امکان وجود زون‌های بی‌هنجار قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه ظاهری مرتبط با کانی‌سازی کانی‌های سولفیدی مطالعات ژئوفیزیکی به روش (IP\Res) در امتداد نه پروفیل برداشت شده است.

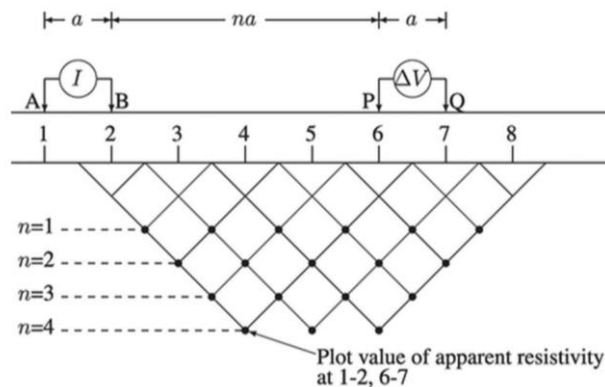
۵.۱. طراحی آرایش الکترودی و شبکه برداشت

برداشت‌های ژئوفیزیکی قابل اجرا در تمام مراحل اکتشافی از شناسایی تا تفصیلی می‌باشد. انتخاب آرایش الکترودها به عوامل مختلفی وابسته است. هدف اصلی دستیابی به بهترین آرایش الکترودی است؛ که با در نظر گرفتن تمام شرایط مرتبط با کار صورت می‌گیرد [۱۹، ۲۰]. آرایش دوقطبی-دوقطبی با توجه به اینکه اثر کوپلینگ الکترومغناطیسی در آن نسبت به روش‌های الکترودی دیگر، کمترین مقدار را داراست؛ انتخاب شده است. علاوه بر این، آرایش دوقطبی-دوقطبی به عنوان یک روش الکترودی، از نظر عملکرد و کیفیت اطلاعات به دلیل کاهش نویزهای محیطی و کمتر شدن اثرات جانبی مورد توجه است. این روش اغلب در مطالعات ژئوفیزیکی با



هدف تفسیر دقیق و دقیق‌ترین اطلاعات مربوط به زیرسطحی کره زمین به کار می‌رود. این آرایه به علت کوچک بودن مقدار جفت‌شدگی مغناطیسی که بین سیم جریان و پتانسیل رخ می‌دهد، بیشترین عمق نفوذ، قدرت تفکیک جانبی و قائم خوب و بهترین مشخصه آن، قدرت تفکیک برای اهداف قائم باریک استفاده می‌شود. عیب این آرایه قدرت سیگنال پایین در مقایسه با آرایه مستطیلی و آرایه قطبی-دوقطبی می‌باشد [۲۱]. (شکل ۴) نمایش شماتیک از آرایه دوقطبی-دوقطبی با رسم شکل شبه مقطع را به ما نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود فواصل بین جفت الکترودهای جریان و پتانسیل برابر مقدار ثابت a می‌باشد. فاکتور n هم که در این آرایش اهمیت دارد برابر فاصله بین $C1$ و $P1$ بر a است. برای برداشت با این آرایش، a در طول برداشت ثابت می‌ماند و مقدار n از ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ به منظور افزایش عمق نفوذ افزایش می‌یابد. یکی از راه‌کارهای غلبه بر سیگنال بسیار پایین این آرایه برای مقادیر بالای n افزایش فاصله a بین هر یک از دوقطبی‌های جریان و پتانسیل برای کاهش افت پتانسیل، زمانی که طول کلی این آرایه برای افزایش عمق اکتشاف افزایش می‌یابد، می‌باشد. در صورت لزوم، اندازه‌گیری‌ها می‌توانند با مقادیر بیشتر فاصله جفت الکترودهای جریان یا پتانسیل و مقادیر مختلف n تکرار شوند n های بزرگتر اطلاعات از اعماق بیشتری به ما می‌دهد [۲۲، ۲۳].

این آرایه نسبت به تغییرات افقی مقاومت‌ویژه برعکس تغییرات عمودی بسیار حساس است که این بدین معنی است که برای نقشه کردن ساختارهایی مانند دایک و حفره که عمودی هستند مناسب است، اما برای ساختارهای افقی مانند سیل یا لایه‌های رسوبی مناسب نیست. میانگین عمق نفوذ این آرایه بستگی به فاصله الکترودی a و فاکتور n دارد، در مجموع این آرایه عمق نفوذ کمتری نسبت به آرایه ونر دارد.

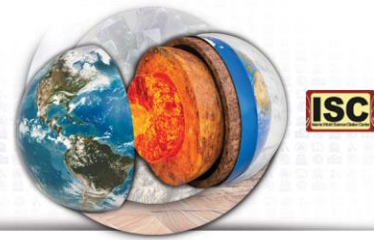


شکل ۴: نمایش شماتیک از آرایه دوقطبی-دوقطبی و رسم شکل شبه مقطع [۱]

این روش به دلیل مزایایی که ارائه می‌دهد، به ویژه در محدوده اکتشافی، شواهدی از کانی‌سازی مس در فازهای اکسید (مالاکیت) و سولفید (کالکوپیریت) در واحدهای ولکانیکی را نمایان می‌سازد. برای شناسایی محدوده‌های مستعد، مطالعات مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی ($IP \setminus Res$) در این منطقه با آرایش دوقطبی-دوقطبی در امتداد نه پروفیل با فواصل الکترودهای ۲۰ و ۴۰ متر برداشت گردید. در ادامه به دلیل محدودیت‌ها تنها دو پروفیل آماده‌سازی شده است [۲۴].

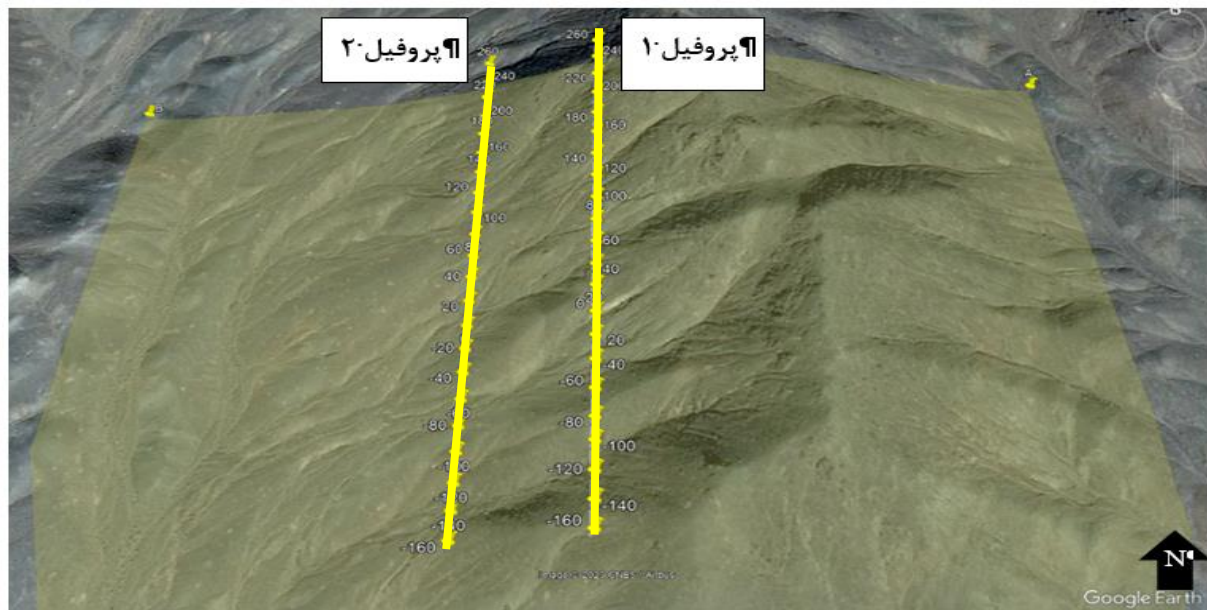
جدول ۱: مختصات جغرافیایی و محلی ایستگاه‌های برداشت در امتداد پروفیل شماره یک

Station	X	Y	Z
-۱۶۰	۷۰۰۶۷۰	۳۶۰۹۱۶۲	۱۸۱۰۰۷۶
-۸۰	۷۰۰۶۷۰	۳۶۰۹۲۳۹	۱۸۲۴۰۰۸
۰	۷۰۰۶۷۰	۳۶۰۹۳۲۰	۱۸۲۴۰۰۸
۸۰	۷۰۰۶۷۰	۳۶۰۹۴۰۰	۱۸۷۱۶۴
۱۶۰	۷۰۰۶۷۰	۳۶۰۹۴۸۱	۱۸۷۱۶۴
۲۴۰	۷۰۰۶۷۰	۳۶۰۹۵۶۰	۱۸۹۷۰۹۶



جدول ۲: مختصات جغرافیایی و محلی ایستگاه‌های برداشت در امتداد پروفیل شماره دو

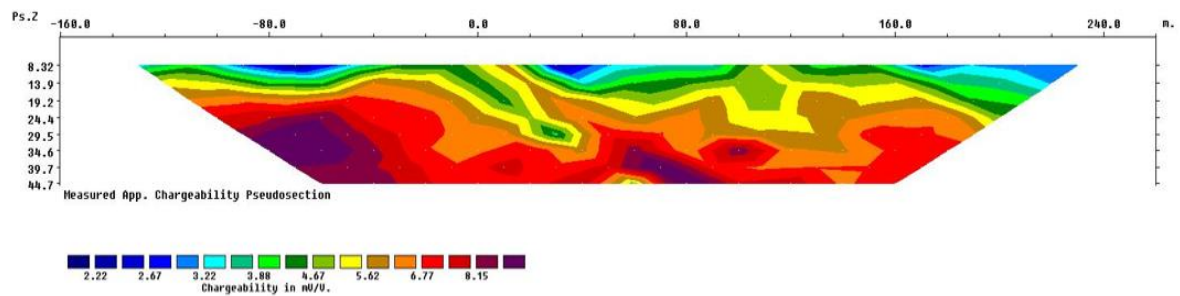
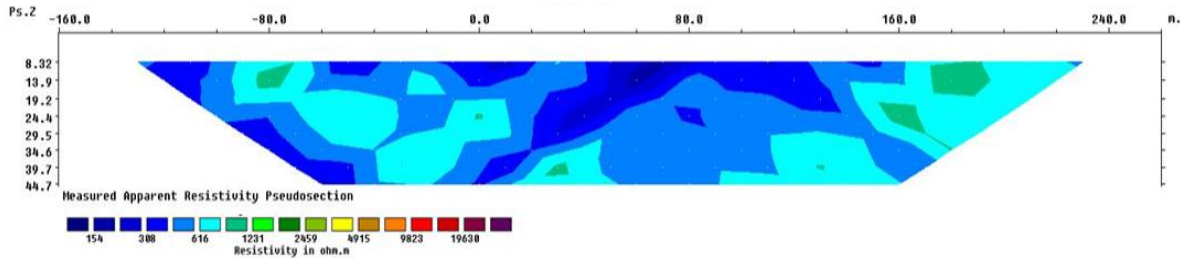
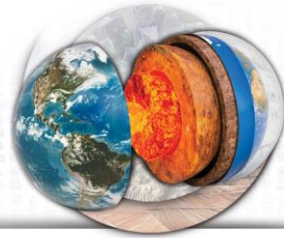
Station	X	Y	Z
-۱۶۰	۷۰۰۵۹۰	۳۶۰۹۱۶۰	۱۸۱۰.۷۶
-۸۰	۷۰۰۵۹۰	۳۶۰۹۲۴۰	۱۸۲۴.۰۸
۰	۷۰۰۵۹۰	۳۶۰۹۳۱۹	۱۸۲۴.۰۸
۸۰	۷۰۰۵۹۰	۳۶۰۹۴۰۰	۱۸۴۰.۲۸
۱۶۰	۷۰۰۵۹۰	۳۶۰۹۴۸۰	۱۸۴۰.۲۸
۲۴۰	۷۰۰۵۹۰	۳۶۰۹۵۵۹	۱۸۵۳.۷۲



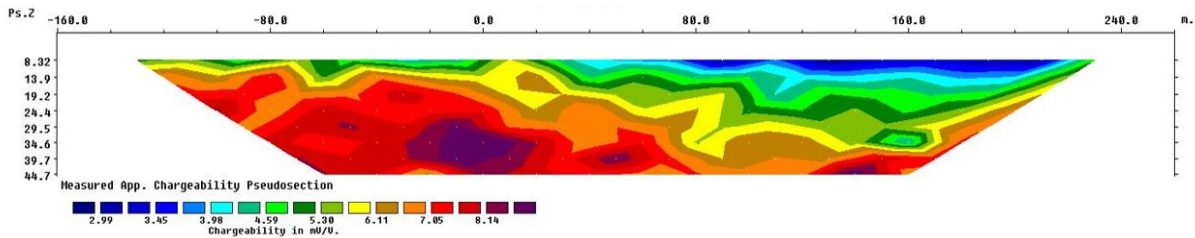
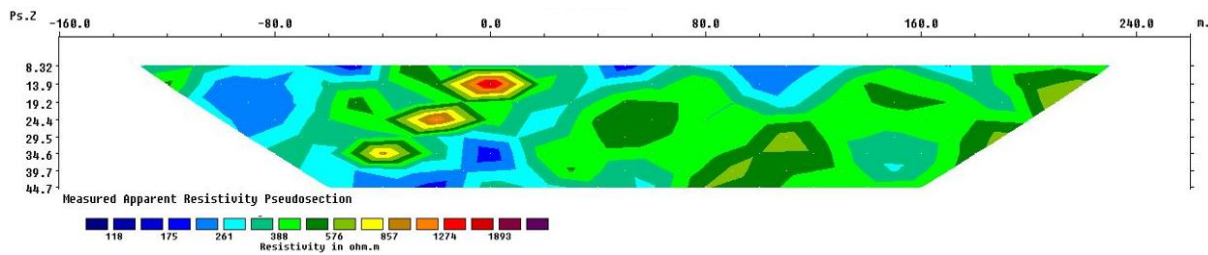
شکل ۵: نمایش پروفیل‌های برداشت شده بر روی تصویر ماهواره‌ای [۶]

۶.۱. ارائه داده‌های خام

قبل از اینکه هیچ عملیات فیلترگذاری و آماده‌سازی خاصی بر روی داده‌های برداشت شده اولیه انجام شود؛ شبه مقاطع منطبق بر پروفیل‌های مربوط به مقادیر قطبش القایی (IP) و مقاومت‌ویژه ظاهری (Res) به طور جداگانه ارائه می‌شود. (شکل ۶ و ۷) [۲۵]. همان طور که در شکل ۶ مشخص است شبه مقطع قطبش القایی دو زون بی‌هنجار شارژ ایلینته را در عمق نشان می‌دهد در حالی که هیچ آنومالی قابل توجهی در شبه مقطع مقاومت‌ویژه مشاهده نمی‌شود. اما در شکل ۷ یک زون بی‌هنجار شارژ ایلینته و سه زون بی‌هنجار مقاومت‌ویژه در عمق‌های مختلف آشکار است. از آنجایی که شبه مقاطع ارائه شده تنها یک دید کلی از محل یا محل‌های کانی‌سازی را ارائه می‌دهند، ضروری است که کل داده‌های خام پس از اعمال تصحیحات لازم برای کاهش تأثیرات توپوگرافی و حذف داده‌های ناکارآمد، مدل‌سازی شوند. این اقدام به منظور به دست آوردن تصویر دقیق‌تری از گسترش جانبی و عمقی زون‌های کانی‌سازی انجام می‌شود. بنابراین، تصمیم‌گیری‌ها باید بر اساس نتایج مدل‌سازی‌های دقیق‌تر و بدون تأثیرات زائد در نظر گرفته شوند.



شکل ۶: شبه مقاطع داده‌های خام مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی پروفیل شماره‌ی یک محدوده مورد مطالعه



شکل ۷: شبه مقاطع داده‌های خام مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی پروفیل شماره‌ی دو محدوده مورد مطالعه



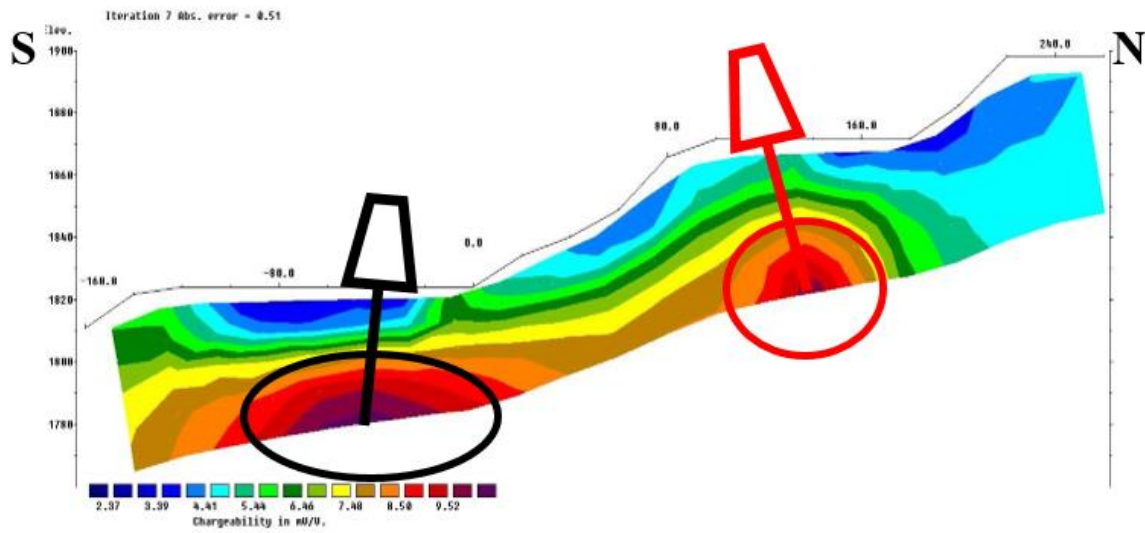
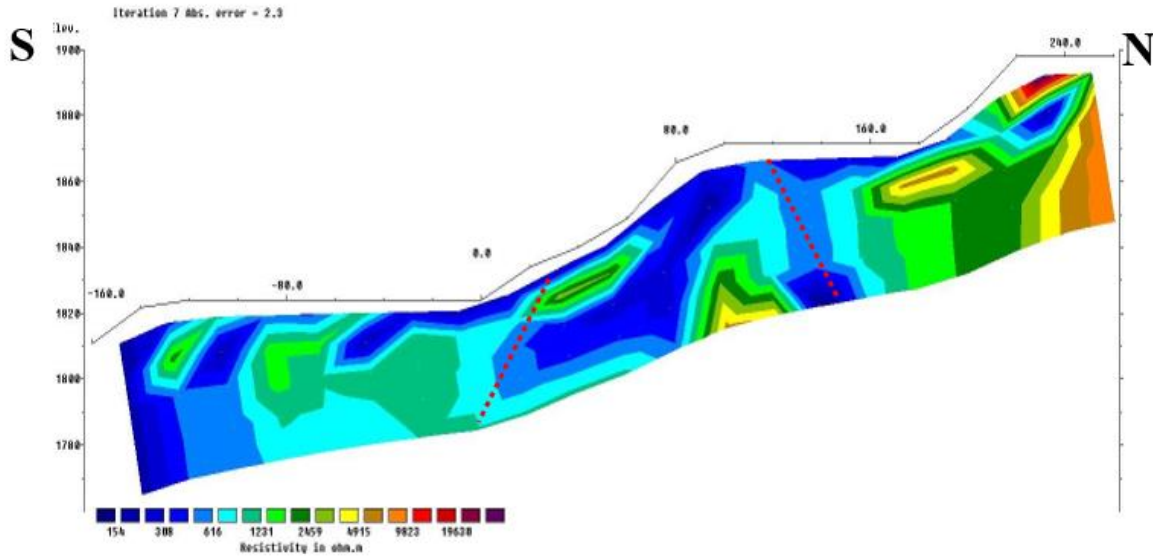
۷.۱. مدل‌سازی داده‌ها

از آنجایی که شبه مقاطع ارائه شده تنها یک دید کلی از محل یا محل‌های کانی‌سازی را ارائه می‌دهند، ضروری است که کل داده‌های خام پس از اعمال تصحیحات لازم برای کاهش تأثیرات توپوگرافی و حذف داده‌های ناکارآمد، مدل‌سازی شوند. این اقدام به منظور به دست آوردن تصویر دقیق‌تری از گسترش جانبی و عمقی زون‌های کانی‌سازی انجام می‌شود. بنابراین، تصمیم‌گیری‌ها باید بر اساس نتایج مدل‌سازی‌های دقیق‌تر و بدون تأثیرات زائد در نظر گرفته شوند. وارون‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و IP به روش وارون‌سازی هموار به کمک نرم افزار Res2dinv انجام می‌شود. این نرم‌افزار یک مدل فیزیکی از زمین به ما می‌دهد که با شرایط زمین‌شناسی انطباق دارد. یکی از روش‌های مناسب برای معکوس‌سازی داده‌های اندازه‌گیری شده که قطعاً حاوی خطاست و از حیث تعداد هم ناقص است؛ اعمال شرایط هموار است. این روش راهی ساده و ارزان برای حل مسائل ناپایدار یا مسائل با داده‌های کم است و در عین حال اگر محدودیت‌های اولیه یا مدل اولیه در دسترس نباشد بهترین است. در فرمولاسیون مسائل معکوس‌سازی هموار، مطلوب آن است که پارامترهای مدل نسبت به مکان با تغییرات کمی همراه باشند. در این صورت می‌توان اختلاف بین پارامترهای مجاور را به حداقل رساند [۲۶]. این مدل‌ها در واقع نمایش دوبعدی مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی هستند. در این پژوهش، تفسیر و مدل‌سازی وارون هموار داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی به همراه توپوگرافی، با استفاده از نرم‌افزار ذکر شده برای دو پروفیل صورت گرفته است.

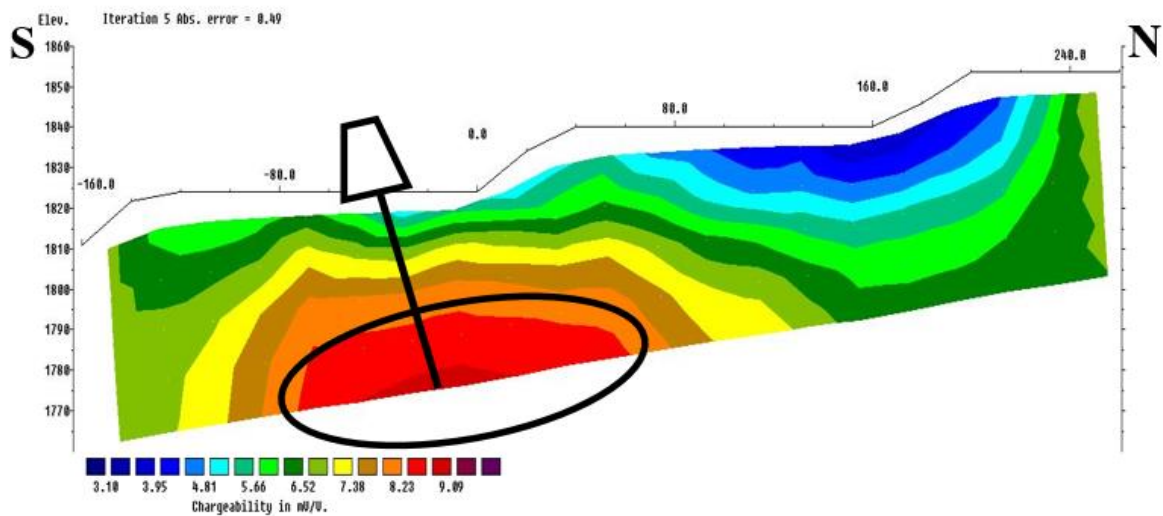
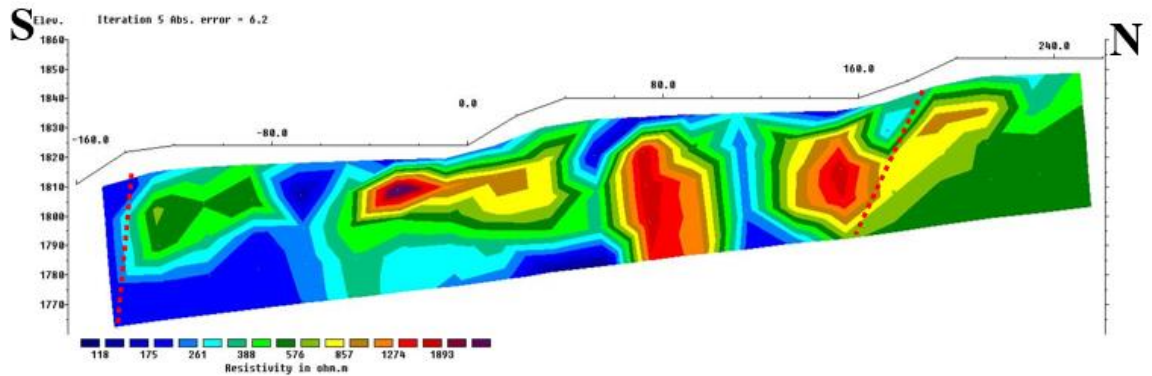
۸.۱. تعبیر و تفسیر نتایج مدل‌سازی‌ها

پروفیل شماره یک به طول ۴۲۰ متر با روند شمالی-جنوبی و آرایش دوقطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۲۰ متر و با عمق نفوذ تقریبی ۵۰ متر می‌باشد. در مقطع شماره یک، دو زون بی‌هنجار شارژابلیته در قسمت شمالی و جنوبی این مقطع مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری جنوبی که در تصویر با پلیگون مشکی نمایش داده شده است؛ در ایستگاه ۱۰۰- تا ۲۰- و از عمق ۱۷۹۰ تا اعماق بیشتر ادامه دارد، البته این ناهنجاری در مقطع مقاومت‌ویژه دارای مقاومت کمتر از ۱۰۰۰ اهم‌متر و مقدار شارژپذیری آن تا ۱۰ میلی‌ولت بر ولت می‌باشد، این بی‌هنجاری از نظر ژئوفیزیکی اهمیت دارد. همچنین بی‌هنجاری شمالی که در تصویر با پلیگون قرمز نمایش داده شده است؛ در ایستگاه ۱۲۰ تا ۱۴۰ و از عمق ۱۸۲۵ تا اعماق بیشتر ادامه دارد، البته این ناهنجاری در مقطع مقاومت‌ویژه دارای مقاومت کمتر از ۹۰۰ اهم‌متر و مقدار شارژپذیری آن تا ۱۰ میلی‌ولت بر ولت می‌باشد، این بی‌هنجاری‌ها از نظر ژئوفیزیکی اهمیت دارد و با توجه به مقاومت بالا احتمال می‌دهیم که توده سولفیدی وجود دارد. در شبه مقطع مقاومت‌ویژه می‌توان خط‌چین‌ها را گسل احتمالی در نظر گرفت.

پروفیل شماره دو به طول ۴۲۰ متر با روند شمالی-جنوبی و آرایش دوقطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۲۰ متر و با عمق نفوذ تقریبی ۵۰ متر می‌باشد. در مقطع شماره دو، یک زون بی‌هنجار شارژابلیته در این مقطع مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری که در تصویر با پلیگون مشکی نمایش داده شده است؛ در ایستگاه ۶۰- تا ۲۰ و از عمق ۱۷۸۰ تا اعماق بیشتر ادامه دارد، البته این ناهنجاری در مقطع مقاومت‌ویژه دارای مقاومت کمتر از ۱۲۰۰ اهم‌متر و مقدار شارژپذیری آن تا ۱۰ میلی‌ولت بر ولت می‌باشد، این بی‌هنجاری از نظر ژئوفیزیکی اهمیت دارد و با توجه به مقاومت بالا احتمال می‌دهیم که توده سولفیدی وجود دارد. در شبه مقطع مقاومت‌ویژه می‌توان خط‌چین‌ها را گسل احتمالی در نظر گرفت.



شکل ۸: تغییرات مقاومت ویژه و قطبش القایی در امتداد پروفیل شماره یک محدوده مورد مطالعه



شکل ۹: تغییرات مقاومت ویژه و قطبش القایی در امتداد پروفیل شماره دو محدوده مورد مطالعه

۹.۱. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همان طور که گفته شد هدف از اجرای مطالعات ژئوفیزیکی به روش IP/Res در این محدوده بررسی احتمال وجود بی‌هنجاری‌های شارژ‌ابلیته می‌باشد. با توجه به افزایش مقادیر شارژ‌ابلیته احتمال وجود کانی‌های سولفیدی به خصوص پیریت و کالکوپیریت در محدوده وجود دارد و نتایج حاصل از عملیات ژئوفیزیکی نشان از پتانسیل نسبی کانه‌زایی مس به صورت رگه‌ای در محدوده بنوید دارد لذا جهت بررسی دقیق‌تر بی‌هنجاری‌ها پیشنهاد می‌شود پروفیل‌های بیشتری برداشت شود.

قابل ذکر است با توجه به فرارگیری معدن مس پورفیری ایرانیان در شرق محدوده می‌توان با تکمیل اکتشافات به وجود تیپ مس پورفیری در عمق نیز امیدوار بود.

علاوه براین، با توجه به اینکه مدل‌سازی Res2dinv معکوس سازی هموار می‌باشد و مرز مشخص تغییرات را نمی‌توانیم با این نرم‌افزار نشان بدهیم پیشنهاد می‌شود: روش‌های دیگر معکوس سازی استفاده کنیم و روش‌هایی ارائه دهیم که این مرز مشخص تغییرات را نمایش دهد و پیشنهاد نگارندگان در این بخش استفاده از نرم‌افزارهای [۲۷] ResIPy و [۲۸] ZondRes2D برای مدل‌سازی است.

جهت بررسی دقیق‌تر بی‌هنجاری‌های ثبت شده نقاط حفاری پیشنهادی در پروفیل شماره یک در ایستگاه ۴۰- از سطح تا عمق ۳۰ و ایستگاه ۱۲۰ از سطح تا عمق ۴۰، در پروفیل شماره دو در ایستگاه ۶۰- از سطح تا عمق ۴۰ متر می‌باشد.



منابع

- [1] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., (1990). "Applied Geophysics". Cambridge University Press, pp 522-539.
- [2] Loke M.H. and Barker R.D., (1996). "Practical techniques for 3D resistivity surveyse and data inversion. Geo physical prospecting", 44(3), pp, 499-523.
- [۳] کلاگری ع، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۱۸۰.
- [۴] افشار، ا، عابدی، م. و نوروزی، غ.م، ۱۳۹۷- مدل سازی ژئوفیزیکی جهت تصویرسازی ژئوالکتریکی کانهزایی مس؛ مطالعه موردی محدوده یحیی آباد زنجان، کنفرانس ملی مدل سازی در مهندسی معدن، صص. ۳۷ تا ۴۵.
- [۵] نادری، ع، (۱۳۹۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد، مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به منظور اکتشاف مس در منطقه بنوید"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [6] www.google earth.com
- [۷] کریم پور م.ج، سعادت س، زمین شناسی اقتصادی کاربردی، ویرایش دوم، نشر مشهد، (1381).
- [۸] نبوی م. ح، (۱۳۵۵)، "دیباجه ای بر زمین شناسی ایران". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱۰۹.
- [۹] شهاب پور ج، (۱۳۸۲ و ۱۳۹۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [۱۰] اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوپر (۱۹۵۷)، "بررسی مقدمات زمین شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [11] Berberian, M. & King, G., 1981- Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Science, 18, 210–265.
- [۱۲] علائی مهابادی، س، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ناپین، ۱۳۸۳، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- [13] www.esri.com
- [14] Reynolds, J.M.(1998), "An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics John Willy and Sons Ltd.
- [15] Paterson N.R., and Hallof p.,G.,(1991), Gold metallogeny and exp;oration Geophysical exploration for gold, Sprivger.
- [16] Kim J., Yi, M., Supper, R. & Ottowitz, D., (2014). "Simultaneous inversion of resistivity structure and electrode locations in ERT", in 20th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics: Near Surface (2014), pp. 560–564, Athens, Greece.
- [17] Loke M., (2017). RES2DINV:" Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion using the Least-squares Method", Geotomosoft Solutions. Loke M., (2017). RES2DINV:" Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion using the Least-squares Method", Geotomosoft Solutions.
- [18] Loke M., Wilkinson, P. & Chambers, J., (2015). "Rapid inversion of data from 2- D and from 3-D resistivity surveys with shifted electrodes", in Near Surface Geoscience 2015-21st European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Turin, Italy.
- [۱۹] نوروزی غ، (۱۳۹۲)، "روشهای الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۵۷.
- [20] MOREIRA CA, LOPES SM, SCHWEIG C & DA ROSA SEIXAS A. 2012. Geoelectrical prospecting of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã sedimentary basin, Rio Grande do Sul state, Brazil. Brazilian Journal of Geophysics, 30(2): 169–179.
- [21] CÔRTEZ AR, MOREIRA CA, VELOSO DI, VIEIRA LB & BERGONZONI FA. 2016. Geoelectrical prospecting for a copper-sulfide mineralization in the Camaquã sedimentary basin, Southern Brazil. Geofísica Internacional, 55(3): 165–174.
- [22] Zhou, J., A. Revil, M. Karaoulis, D. Hale, J. Doetsch, and S. Cuttler (2014), Imageguided inversion of electrical resistivity data, Geophys. J. Int. 197, 1, 292- 309, DOI: 10.1093/gji/ggu001.



- [23] Saneiyan, S., Blanchy, G., Boyd, J. & Binley, A. pyR2: an opensource standalone graphical user interface for inversion of electrical resistivity and induced polarization measurements. SAGEEP 2019-32nd Annual Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, 2019.
- [24] عرب‌امیری، ع.ر.، ۱۳۸۲، تعبیر و تفسیر و مدل‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی اندیس معدنی پاینده.
- [25] Ahmadi, R., and M. Lashgari, 2021. Using probabilistic neural network method to classify the grade of Aliabad copper deposit, Yazd. Journal of Engineering Geology, 14(3): 65-76 (In Persian) Retrieved March 22, 2023 from https://www.jiraeg.ir/article_133732.html.
- [26] EarthImager (2009) EarthImager 2D. Resistivity and IP inversion software. Instruction manual, , Advanced Geosciences, Inc., Austin, USA, 139 pp.
- [27] Blanchy, G., Saneiyan, S., Boyd, J., McLachlan, P., and Binley, A., 2020, ResIPy, an intuitive open source software for complex geoelectrical inversion/modeling, Computers & geoscience, 137.
- [28] Kaminsky A, (2013), "Program for two-dimensional interpretation of data obtained by resistivity and induced polarization methods" , Saint-Petersburg.