



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۳، صص ۴۹۳-۴۷۸

ارزیابی و مدل‌سازی مطالعات ژئوفیزیک با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی (مطالعه موردی: ناحیه کهدلان، استان آذربایجان شرقی)

مرتضی مملوکی

دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

Morteza_mamlouki@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸

چکیده

مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی از جمله روش‌هایی هستند که در مرحله اکتشافات تفصیلی به منظور شناسایی مکان کانی‌سازی زیرسطحی و پنهان در عمق مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی و مدل‌سازی مطالعات ژئوفیزیک با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی در منطقه کهدلان استان آذربایجان شرقی می‌باشد. منطقه کهدلان در استان آذربایجان شرقی، به دلیل موقعیت زمین‌شناسی منحصر به فرد و قرارگیری در کمربند فلززایی اهر-جلفا، از نظر پتانسیل‌های معدنی و منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت است. در این پژوهش، به منظور ارزیابی دقیق پراکندگی کانسارهای معدنی از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و قطبش القایی استفاده شده است. داده‌های حاصل از برداشت‌های صحرائی با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی پردازش و تفسیر شده و نقشه‌های مغزه‌ای و مقاطع ژئوفیزیکی تهیه گردیده است. همچنین با استفاده از آرایش دایپل-دایپل بر روی سه پروفیل با طول‌های متفاوت و فاصله الکترودی مساوی ۲۰ متر در مجموع ۹۷۶ ایستگاه اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. عمق مطالعات از سطح تا حداکثر ۵۰ متری با استفاده از مدل‌های نهایی حاصل از معکوس‌سازی داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه الکتریکی به کمک نرم‌افزار تخصصی Res2Dinv مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی مناطق امید بخش حاوی ماده معدنی، بصورت بی‌هنجاریهای ژئوفیزیکی در هر مقطع بطور جداگانه مشخص شدند و به منظور بررسی آنها نقاطی برای انجام حفاری‌های اکتشافی پیشنهاد گردید. نتایج این پژوهش، ضمن کمک به توسعه پایدار منطقه کهدلان، زمینه ساز انجام اکتشافات دقیق تر و هدفمند برای شناسایی و بهره‌برداری از منابع معدنی و آب‌های زیرزمینی این ناحیه خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: پروفیل، مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، اکتشافات ژئوفیزیکی، کهدلان.

مقدمه

اکتشافات ژئوفیزیکی، مرحله اول در امر بهره‌برداری از کانی‌های متفاوت و مختلف می‌باشد. در رابطه با کانی‌های فلزی به دلیل رسانایی بالای فلزات پایه، روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP) از جمله روش‌های عمده ژئوفیزیکی محسوب می‌گردد. حل مسائل ژئوفیزیکی به معنای تکرار معینی از زوج تفسیر و مدل‌سازی است. برای بعضی موارد مدل‌های مختلف نظری وجود دارند. اما این موارد به ندرت در محیط طبیعی پیدا می‌شوند. بنابراین مشکلات مدل‌سازی هنگامی پیچیده می‌شود که عمق کاوش افزایش پیدا می‌کند و این مسئله همراه با افزایش اثرات ثانوی متأثر از پستی و بلندی و ناتعادلی زمین‌شناسی در عمق زمین خواهد بود. از طرفی اولین بررسی‌های قطبش القایی در ایران به سال ۱۹۴۶ بر می‌گردد، و تقریباً روی تمامی معادن فلزی شناخته شده ایران روش IP/RS انجام شد (آرشیو گزارش‌های ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی ایران). در بیش‌تر پژوهش‌های نوین ژئوفیزیک نقش عمده و خاصی در پی‌جویی و نمایش ذخایر پنهان در عمق دارد (Bishop et al., 1999). با استفاده و تحلیل داده‌های ژئوفیزیک همراه با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی و ژئوشیمی می‌توان نقاط مناسب برای حفاری را پیشنهاد کرد و سپس با پیوند این اطلاعات، عمق، شکل و اندازه ذخیره کانسار را ارزیابی و برآورد کرد (اعلمی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹). به عبارتی دیگر روش‌های ژئوفیزیکی اصولاً برای دستیابی به نتایج مفید و بهینه در اکتشاف کانسارها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gautneb and Tveten, 2000). همچنین در مرحله پی‌جویی می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیک هوایی که در مقیاس ناحیه‌ای در منطقه‌ای گسترده برداشت شده است، برای دستیابی به ناهنجاری‌هایی استفاده کرد. گاهی ناهنجاری‌های مغناطیسی یا گرانی‌سنجی تیم را در دستیابی به کانسار هدایت می‌کند (واحدی و همکاران، ۱۳۹۴).

مرحله دیگر به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در مراحل اولیه، نیمه تفضیلی و تفضیلی اکتشاف است. در این وهله پس از استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی، پترولوژیکی و آلتراسیون‌ها و تعیین حدود محدوده مورد مطالعه جهت مشخص کردن مکان دقیق ذخیره پنهان، شکل، عمق و گسترش آن می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی مناسب بهره جست. روش قطبش القایی در مطالعه و بررسی سولفیدهای پراکنده نیز عملکرد خوبی دارد (Telford et al., 1990). تاکنون در رابطه با مطالعات ژئوفیزیکی با استفاده از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه مطالعات زیادی انجام شده است. برای مثال، اعلامی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹)، کانی‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک را با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی در منطقه طلا - آنتیموان حسن آباد در شمال شرق ایران مورد مطالعه و پژوهش قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش مقاومت ویژه الکتریکی در نیمرخ 150 w با توده شبه آتشفشانی کوارتز مونوزودیوریت پورفیری وابسته است که در گمانه‌ها مشاهده شده و به نظر می‌رسد سن آن جوانتر از گرانیتهاست. همچنین بررسی‌های تفضیلی زمین‌شناسی، دگرسانی، و کانی‌سازی سطحی و زیرسطحی گمانه‌ها برازش خوبی با بی‌هنجاری‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی دارد و آن را تایید می‌کند. در پژوهشی دیگر سدینی و حفیظی (۱۳۹۰)، کاربرد روش قطبش القایی در اکتشافات معادن پلی‌متال مورد مطالعه قرار دادند. رمضی و همکاران (۱۹۹۳)، ارتباط بین مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی را با روش‌های زمین‌آماری مورد پژوهش قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که

در میزان بالای شارژابلیته پیوند بین مقاومت ویژه و قطبش القایی یک پیوند خطی مستقیم با ضریب همبستگی 0.75 می‌باشد و در محدوده‌هایی که میزان خیلی کم است یعنی مناطق فاقد کانی ساز باز هم یک پیوند خطی ولی بصورت وارون می‌باشد. در پژوهشی دیگر پورقربان (۱۹۳) روش المان محدود را برای بی‌هنجاری‌های مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی در اکتشافات معدنی پرداختند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۴)، به منظور آنالیز داده‌های ژئوفیزیکی، مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در منطقه طرق کاشمر را با هدف اکتشاف کانسار مس مورد مطالعه قرار دادند. واحدی و همکاران (۱۳۹۴)، مطالعات ژئوفیزیکی را با استفاده از روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در منطقه اندیس مس عباس آباد چوپانان مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای این منظور در منطقه مورد مطالعه 1500 نقطه برداشت نمودند. همچنین از آرایش قطبی-دوقطبی استفاده کرده و با تحلیل آماری و مدل‌سازی مستقیم و معکوس داده‌های مقاومت ویژه و بارپذیری پروفیل‌های برداشت شده در منطقه را تفسیر کردند. پس از تفسیر نهایی منطقه‌های بی‌هنجار، وضعیت کانسار شامل شکل تقریبی کانسار، عمق کانی‌سازی و ... مشخص شدند و نهایت مناطق مناسب برای حفاری پیشنهاد کردند. رنگرز فروغ (۱۴۰۳)، در پژوهشی نیز به ارزیابی توان میراث زمین‌شناختی شهرستان مراغه پرداخت. منطقه کهدلان در استان آذربایجان شرقی به دلیل پتانسیل‌های معدنی و هیدروژئولوژیکی، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و مهندسان قرار گرفته است. با توجه به پیچیدگی ساختار زمین‌شناسی این منطقه و وجود منابع آب زیرزمینی، انجام مطالعات ژئوفیزیکی دقیق و جامع امری ضروری است. مطالعات ژئوفیزیکی با روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی، ابزارهای قدرتمندی برای شناخت بهتر منطقه کهدلان و بهره‌برداری بهینه از منابع آن هستند. انجام این تحقیق می‌تواند به توسعه پایدار این منطقه و بهبود زندگی مردم محلی کمک شایانی کند. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی و مدل‌سازی مطالعات ژئوفیزیک با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی در منطقه کهدلان در استان آذربایجان شرقی می‌باشد.

روش تحقیق

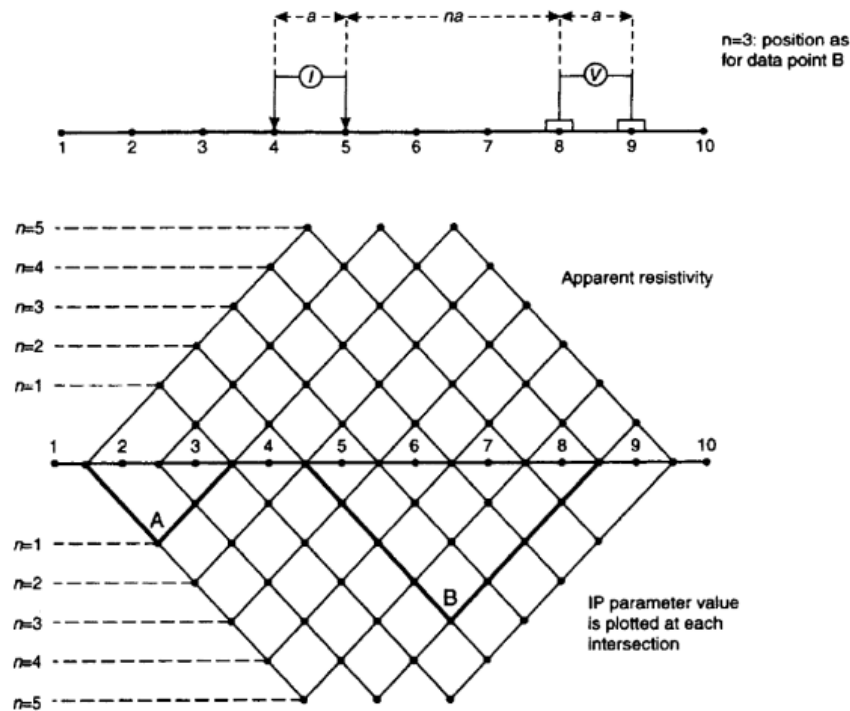
منطقه مورد مطالعه

منطقه کهدلان، واقع در جنوب باختری شهرستان سراب استان آذربایجان شرقی، بخشی از پهنه ماگمایی ارومیه-دختر و کمر بند فلز زایی تارم-هشجین محسوب می‌شود. این منطقه به عنوان بخشی از محور فلز زایی اهر-جلفا شناخته می‌شود که از نظر فعالیت‌های ماگمایی، کانی‌سازی و دگرسانی، منحصر به فرد بوده و با سایر مناطق آذربایجان متفاوت است. محور اهر-جلفا پس از کرمان، یکی از غنی‌ترین مناطق فلزی ایران محسوب می‌شود و از نظر فعالیت ماگمایی با آن قابل مقایسه است. در این محور، دگرسانی گسترده و ناحیه‌ای به چشم می‌خورد، اما دگرسانی‌های موضعی در مناطقی که فعالیت ماگمایی فاز C رخ داده، از اهمیت بیشتری برخوردارند. این دگرسانی‌های موضعی عموماً با کانی‌سازی همراه بوده و پتانسیل بالایی برای اکتشافات معدنی دارند (لطفی و همکاران، ۱۴۰۱؛ قربانی، ۱۳۸۷).

شرح تئوری آرایش مورد استفاده در عملیات صحرائی انجام شده

منظور از آرایش که به آن آرایه نیز گفته می‌شود، نحوه چیدمان الکترودهای فرستنده و گیرنده بر روی زمین است. تکنیک‌ها و چیدمان‌های بسیار متفاوتی برای منظورهای متفاوت در روش‌های مطالعات ژئوالکتریک بکار گرفته می‌شود که به شرح آرایه دوقطبی-دوقطبی که در این مطالعه از آن استفاده شده است پرداخته می‌شود (Donald et al., 1990).

از این نوع آرایش برای مطالعه و بررسی تغییرات و گسترش بی‌هنجاری در عمق و بدست آوردن شبه مقطعی از IP و مقاومت ویژه ظاهری در مسیر یک پروفیل استفاده می‌شود (Fox et al., 1980). در این نوع آرایش هر چهار الکترودهای A, B, M, N در امتداد یک پروفیل قرار داشته و عملاً فاصله الکترودهای فرستنده AB مساوی فاصله الکترودهای گیرنده MN و برابر با a می‌باشد. در هر اندازه‌گیری الکترودهای AB ثابت بوده و الکترودهای MN در امتداد پروفیل به اندازه a حرکت می‌کند، در نتیجه اندازه‌گیری برای عمق‌های مختلف انجام می‌گیرد. فاصله بین نزدیکترین الکترودهای جریان و پتانسیل برابر na می‌باشد (n=1, 2, 3, ...). عدد اندازه‌گیری شده برای نقطه‌ای به محل تلاقی دو خط با زاویه‌ای ۴۵ درجه نسبت به سطح زمین که از وسط AB, MN رسم شده نسبت داده می‌شود. شکل (۵-۱) چگونگی برداشت داده‌های پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی به ازای n‌های مختلف با استفاده از آرایش دایپل-دایپل در امتداد یک خط پروفیل برداشت را نشان می‌دهد (Geotomo, 2004).



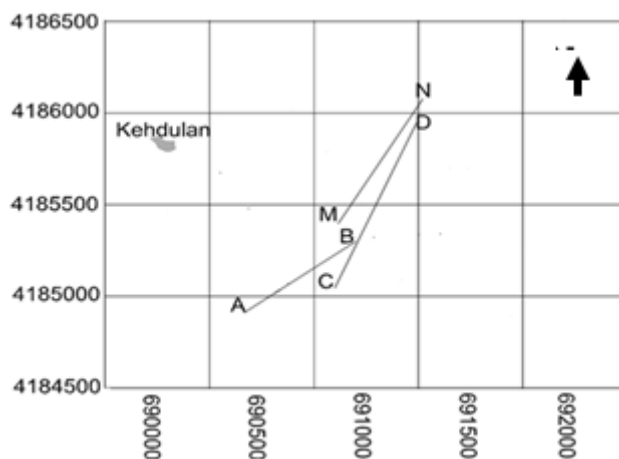
شکل ۱: چگونگی برداشت و ترسیم داده‌های پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایه دایپل-دایپل به ازای گام‌های جدایش مختلف در امتداد خط پروفیل. برای مثال موقعیت قرارگیری الکترودهای جریان و پتانسیل برای $n=3$ که به نقطه B نسبت داده می‌شود، مشخص شده است.

عملیات صحرائی انجام شده در محدوده کهدلان

عملیات برداشت داده‌های ژئوفیزیک به روش پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی (IP & RS) در محدوده کهدلان بر روی سه پروفیل AB، CD و MN صورت گرفت که در ادامه نتایج مربوط مدل‌سازی داده‌های پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی برای هر یک از پروفیل‌ها مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت. شکل (۲) نمای عمومی از محدوده مورد مطالعه و همچنین شکل (۳) موقعیت نسبی پروفیل‌های برداشت شده را نشان می‌دهد. مشخصات مربوط به هر یک از پروفیل‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در مجموع حدود ۹۷۶ نقطه اندازه‌گیری در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در فصل اول نیز ذکر شد پروفیل‌های برداشت شده به روش پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی در زون آلتزه شده مرتبط با کانی زائی مس واقع شده‌اند. واحدهای سنگی در این زون عمدتاً سنگ‌های آندازیتی و داسیتی می‌باشند.



شکل ۲: نمای عمومی از محدوده عملیاتی ژئوفیزیک در منطقه کهدلان (دید به سمت شرق)



شکل ۳: موقعیت پروفیل‌های برداشت شده در محدوده مطالعاتی کهدلان نسبت به هم

جدول ۱: مشخصات مربوط به پروفیل‌های برداشت شده در محدوده کهدلان

Profile	Length	X ₁ , Y ₁		X ₂ , Y ₂	
		X _A	Y _A	X _B	Y _B
AB	660 (m)	690167	4184912	690700	4185300
CD	980 (m)	690597	4185046	690990	4185945
MN	800 (m)	690615	4185396	691022	4186080

نتایج مطالعات انجام شده بصورت مقاطع ژئوفیزیکی برای داده‌های پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه به صورت جداگانه با استفاده از معکوس سازی داده‌ها به کمک نرم افزار تخصصی Res2Dinv ارائه شده است. Res2Dinv نرم افزاری است که یک مدل مقاومت و یا شارژپذیری دو بعدی برای زیر سطح زمین با استفاده از برداشت الکتریکی ایجاد می‌نماید و یک برنامه تحت ویندوز است. برای تخمین داده‌های ظاهری از یک سابرترین مدلسازی مستقیم و برای مدلسازی معکوس از روش بهینه سازی کمترین مربعات غیر خطی استفاده می‌شود. این برنامه از هر دو روش مدلسازی مستقیم اجزای محدود و تفاوت محدود پشتیبانی می‌نماید. از این برنامه برای مدلسازی داده‌های حاصل از برداشت به روش‌های ونر، قطبی-قطبی، قطبی-دوقطبی، ونر شولومبرگر و دوقطبی-دوقطبی استفاده می‌نمایند. علاوه بر این آرایش‌های معمول، این برنامه از آرایش‌های غیر معمول حاصل از جابجایی تعداد بیشمار از الکترودها نیز حمایت می‌نماید (Khesin et al., 1997). در این نرم افزار، تصحیح توپوگرافی بر اساس روش المان محدود انجام می‌شود. این روش توسط تانگ و یانگ در سال ۱۹۹۰ ابداع شد و در سال ۱۹۹۶ توسط لوک، در نرم‌افزار Res2dinv به کار گرفته شد (Loke, 1999). در این روش به دلیل ماهیت روش المان محدود، امکان انطباق شبکه‌بندی‌ها بر روی سطح توپوگرافی واقعی وجود دارد. این روش قادر است مستقیماً توپوگرافی ناهموار را با مدل معکوس تلفیق نماید، لذا پس از انجام آن دیگر نیازی به استفاده از یک روش تصحیح توپوگرافی جداگانه نیست (Milson, 1989). پس از تهیه مقاطع مذکور و تفسیر آنها، نهایتاً نقاطی برای انجام حفاری پیشنهاد میگردد. انتخاب محل‌های حفاری در این گزارش، اصولاً بر مبنای اطلاعات ژئوفیزیک بدست آمده ارائه شده است. لذا ممکن است عواملی از جمله وضعیت دسترسی، هزینه‌های احداث راه، حتی نوع حفاری در تصمیم‌گیری هنگام اجرای حفاری تاثیر گذار باشند. همچنین سعی شده تا حداکثر نقاط امید بخش حتی با ریسک بالا نیز برای انجام حفاری پیشنهاد گردد.

پروفیل AB

طول این پروفیل ۶۶۰ متر و امتداد آن تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی است. شکل (۴) نمای عمومی از زون‌های آتره شده و رخنمون واحدهای سنگی در محل برداشت پروفیل AB را نشان می‌دهد.

شکل (۵) مقطع حاصل از نتایج معکوس‌سازی داده‌های پلاریزاسیون القائی مربوط به پروفیل AB را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از مقادیر شارژپذیری حکایت از وجود دو بخش حائز اهمیت در امتداد این پروفیل دارد که با بیضوی‌های ۱ و ۲ در بخش مدل شارژپذیری نشان داده شده‌اند. در این دو بخش میزان شارژپذیری بیش از سایر بخشها می‌باشد بی‌هنجاری شماره ۱ که در سطح در فواصل ۶۰ تا ۱۲۰ متری مشاهده می‌شود با یک شیب تند به سمت شمال شرقی در قسمت‌های عمیق‌تر تا فاصله حدود ۱۸۰ متری کشیده شده است. این زون از سطح تا عمق ۴۶ متری مشاهده می‌شود و به نظر می‌رسد تا عمق‌های پایینتر نیز ادامه دارد. با نگاهی به نقشه (۶) این بی‌هنجاری به ویژه در بخشی که شدیدتر شارژ شده است با بخشهای با مقاومت بالا در نقشه مقاومت ویژه الکتریکی مشخص شده

¹ - Tong and Yang

است، اما در حاشیه‌ها بخش شارژپذیر با بخش‌های کم مقاومت الکتریکی همراه شده است که بخش پرمقاومت ناشی از وجود رخنمون‌های سنگی واحدهای آندزیتی و داسیتی و بخش با مقاومت ویژه پائین حاشیه‌ها مرتبط با بخش‌های آلتزه شده دانست. عامل دیگر کاهش مقاومت ویژه که در بیشتر بخش‌های مقطع نیز مشهود است وجود آب می‌باشد. لازم به ذکر است که در بسیاری از قسمت‌های ناحیه برداشت دره‌های کوچک تا متوسط آبدار دیده می‌شود. با توجه به دو بخش پرمقاومت و کم مقاومت در طرفین بی‌هنجاری ۱ در نقشه مقاومت ویژه حاصل از پروفیل AB، حاکی از وجود گسل در این محل‌هاست. این گسل‌ها به صورت خط چین سیاه رنگ در مقطع مقاومت ویژه الکتریکی مشخص شده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این گسل‌ها عامل کانی زایی در این بخش از پروفیل با شارژپذیری بالا در نقشه پلاریزاسیون القائی بوده‌اند و فرضیه تزریق محلول‌های گرمابی از داخل این شکستگی‌ها را قوت می‌بخشد، اگر چه با توجه به مقدار پایین میزان شارژپذیری کانی سازی ضعیف در این قسمت محتمل‌تر است. بی‌هنجاری ۲ در مقطع پلاریزاسیون القائی حاصل از پروفیل AB با شارژ بالا، در سطح در حوالی ایستگاه ۳۲۰ متری با ضخامت کم مشاهده می‌شود که با یک شیب نسبتاً تند به سمت جنوب غربی (در جهت معکوس بی‌هنجاری ۱) تا قسمت‌های عمیق‌تر (بیش از ۵۰ متر) با ضخامت بیشتر در فاصله ۲۴۰ تا ۳۰۰ متری ادامه دارد. این بی‌هنجاری در نقشه مقاومت ویژه الکتریکی با بخش مقاومت ویژه پائین تا متوسط منطبق است که حاکی از قسمت‌های آلتزه شده می‌باشد. همانند بی‌هنجاری ۱ اگرچه میزان شارژپذیری در این قسمت نسبت به سایر قسمت‌های مقطع بالا می‌باشد، اما در حالت کلی مقدار شارژپذیری در این قسمت نیز پائین بوده و حکایت از کانی سازی ضعیف دارد که با شکستگی مشاهده شده در حوالی ایستگاه ۳۶۰ متری در ارتباط است.

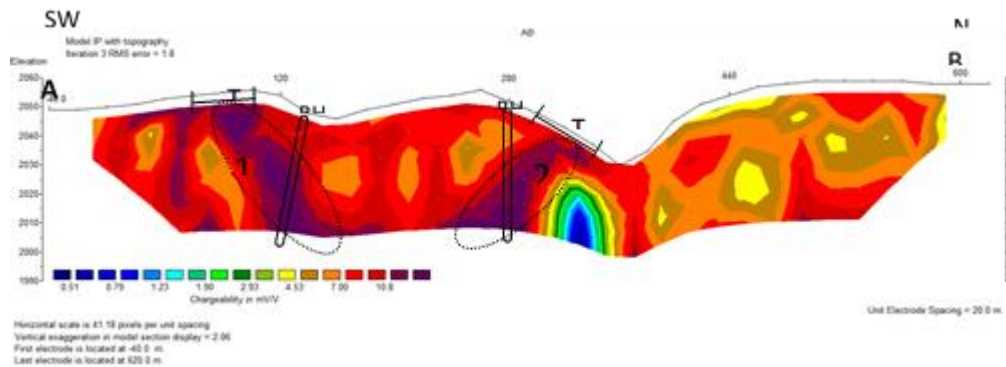


شکل ۴: نمای عمومی از واحدهای سنگی و زون آلتزه شده در محل اجرای پروفیل AB (دید به سمت جنوب شرقی)

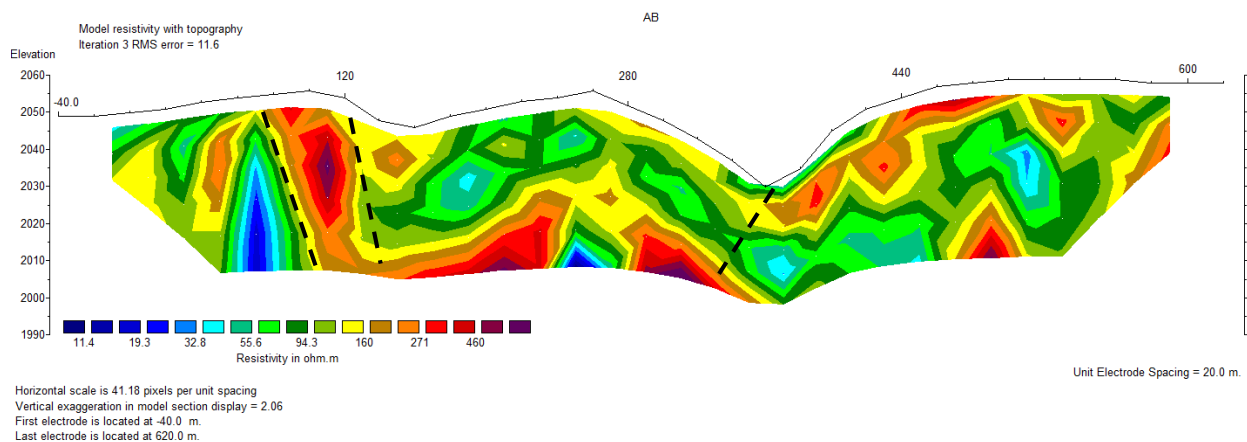
با توجه به اینکه در محدوده مورد مطالعه هیچگونه ترانشه‌ای حفر نگردیده است، فلذا قبل از هرگونه حفر گمانه اکتشافی در محدوده حفر تعدادی ترانشه و یا حتی چاهک‌های اکتشافی توصیه می‌گردد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی مربوط به پروفیل AB جهت بررسی بی‌هنجاری‌های سطحی مشاهده شده حفر دو عدد ترانشه قبل از حفر گمانه‌های اکتشافی اولی (ترانشه T1 مشخص شده در شکل ۶)، در محدوده مختصات (690246E, 4184969N) تا (690279E, 4184993N) و دومی (ترانشه T2) در محدوده مختصاتی (609440E, 4185112N) تا (690473E, 4185136N) پیشنهاد می‌گردد. برای بررسی دقیق‌تر بی‌هنجاری‌های ۱ و ۲ مشاهده شده در پروفیل AB دو حلقه گمانه اکتشافی به شرح جدول (۲) پیشنهاد می‌گردد:

جدول ۲: گمانه‌های پیشنهادی بر روی پروفیل AB

نام پروفیل	نام حفاری	مختصات		جهت حفاری	زاویه حفاری نسبت به قائم	طول حفاری
		X	Y			
AB	BH1	690311	4185017	N240E	۲۰ درجه	۷۰ متر
AB	BH2	690425	4185100	.....	0	۷۰ متر



شکل ۴: نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های قطبش القایی با استفاده از نرم افزار Res2dinv برای پروفیل AB همراه با توپوگرافی



شکل ۵: نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از نرم افزار Res2dinv برای پروفیل AB همراه با توپوگرافی.

پروفیل MN

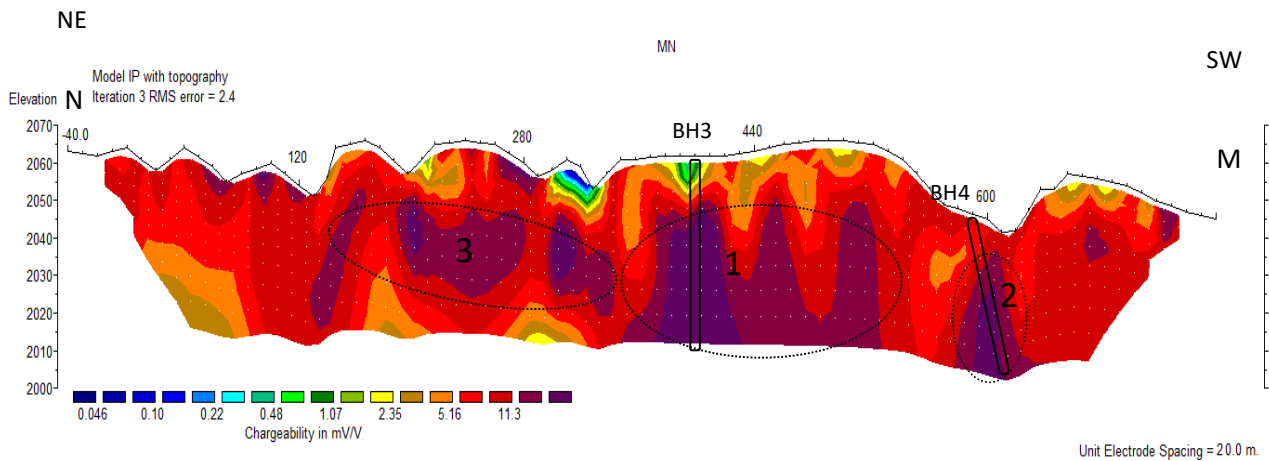
طول این پروفیل ۸۰۰ متر و امتداد آن تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی با زاویه‌ای با میل بیشتر به سمت شمال نسبت به پروفیل AB می‌باشد. شکل (۷) نمای عمومی از مسیر برداشت پروفیل MN و رخنمون واحدهای سنگی مربوط به این پروفیل را نشان می‌دهد.

مقطع حاصل از نتایج معکوس‌سازی داده‌های پلاریزاسیون القائی مربوط به پروفیل AB در شکل (۸) ارائه شده است. قویترین بی‌هنجاری در این پروفیل تقریباً در وسط مقطع پلاریزاسیون القائی دیده می‌شود که با بیضوی خط چین شماره ۱ مشخص شده است. این بی‌هنجاری از عمق حدود ۱۰ متری شروع شده و تا عمق ۴۷ متری مشاهده می‌شود و به نظر می‌رسد تا عمق‌های پایینتر نیز ادامه دارد. بخش با شارژپذیری بالاتر در این زون در فاصله ۳۸۰ تا ۴۲۰ متری دیده می‌شود. این بی‌هنجاری در مقطع بدست آمده از داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی (۹) تا عمق حدود ۴۰ متری با بخش با مقاومت ویژه پائین منطبق است اما در عمق‌های بیش از ۴۰ متری این زون با بخش با مقاومت بالا مطابقت دارد. بنابراین بنظر می‌آید این بخش بیشتر بیانگر زمین‌شناسی واقعی منطقه باشد، بطوریکه مقاومت ویژه در عمق‌های سطحی‌تر متأثر از زون‌های آلتزه شده و همچنین وجود آب کاهش یافته است و می‌توان گفت که شارژهای بالا در مقطع پلاریزاسیون القائی عمدتاً در ارتباط با بخش آلتزه شده هستند و کمتر تحت تاثیر شارژ فلزی قرار گرفته‌اند. لیکن جهت رفع ابهام موجود حفاری‌های با ریسک بالا نیز در زون‌های با شارژ بالا پیشنهاد می‌گردد. بی‌هنجاری ۲ که در حوالی ایستگاه ۶۰۰ متری دیده می‌شود روند مشابهی به لحاظ عمق قرارگیری و منطبق شدن بخش با شارژ بالا با مقاومت ویژه پائین و بالا به ترتیب در اعماق کمتر و بیشتر با بی‌هنجاری ۱ دارد.

بی‌هنجاری ۳ به صورت زون‌های کوچک جدا از هم در سمت شمال شرقی مقطع پلاریزاسیون القائی مشخص هستند. این بی‌هنجاری در عمق متوسط واقع شده و با توجه به فاکتور آلتزه شدن منطقه و وجود آب در نقشه مقاومت ویژه الکتریکی مربوط به پروفیل MN با بخش با مقاومت ویژه پایین مطابقت دارد. این بی‌هنجاری نسبت به بی‌هنجاری‌های ۱ و ۲ از اهمیت کمتری برخوردار است. همچنین برای بررسی دقیق‌تر بی‌هنجاری‌های ۱ و ۲ پروفیل MN دو حلقه گمانه اکتشافی به شرح جدول (۳) پیشنهاد می‌گردد.

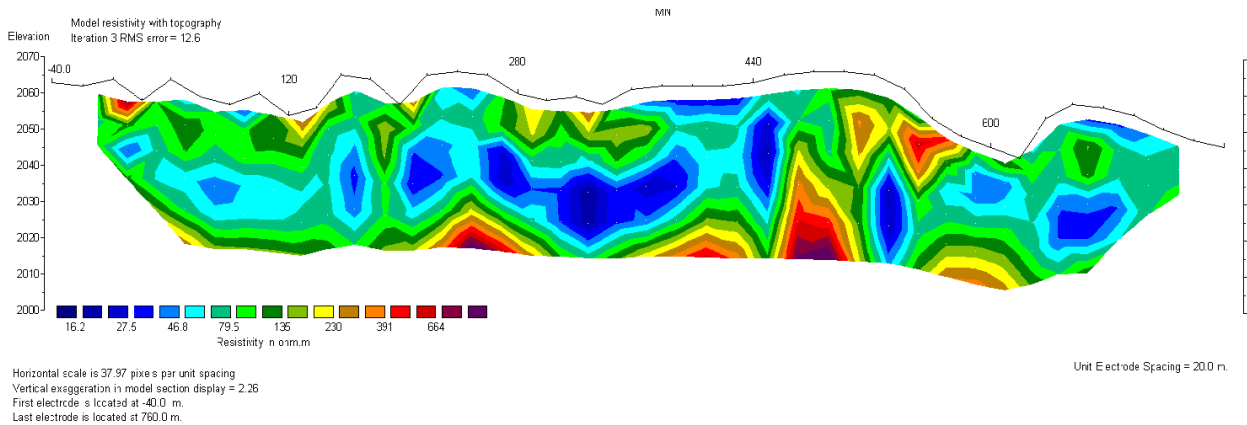


شکل ۷: نمای عمومی از مسیر پروفیل MN در محدوده مورد مطالعه کهدلان (دید به سمت جنوب شرقی)



Horizontal scale is 37.97 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 2.26
First electrode is located at -40.0 m.
Last electrode is located at 760.0 m.

شکل ۸: نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های قطبش القایی با استفاده از نرم افزار Res2dinv برای پروفیل MN همراه با توپوگرافی



Horizontal scale is 37.97 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 2.26
First electrode is located at -40.0 m.
Last electrode is located at 760.0 m.

شکل ۹: نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از نرم افزار Res2dinv برای پروفیل MN همراه با توپوگرافی

جدول ۳: گمانه های پیشنهادی بر روی پروفیل MN

نام پروفیل	نام حفاری	مختصات		جهت حفاری	زاویه حفاری نسبت به قائم	طول حفاری
		X	Y			
MN	BH3	690796	4185702	.....	0	۶۰ متر
MN	BH4	690694	4185529	N250E	۱۰ درجه	۷۰ متر

پروفیل CD

طول این پروفیل ۹۸۰ متر و امتداد آن شمال شرقی-جنوب غربی و تقریباً به موازات پروفیل MN می‌باشد. شکل (۱۰) نمای عمومی از مسیر برداشت پروفیل CD و رخنمون واحدهای سنگی مربوط به این پروفیل را نشان می‌دهد.



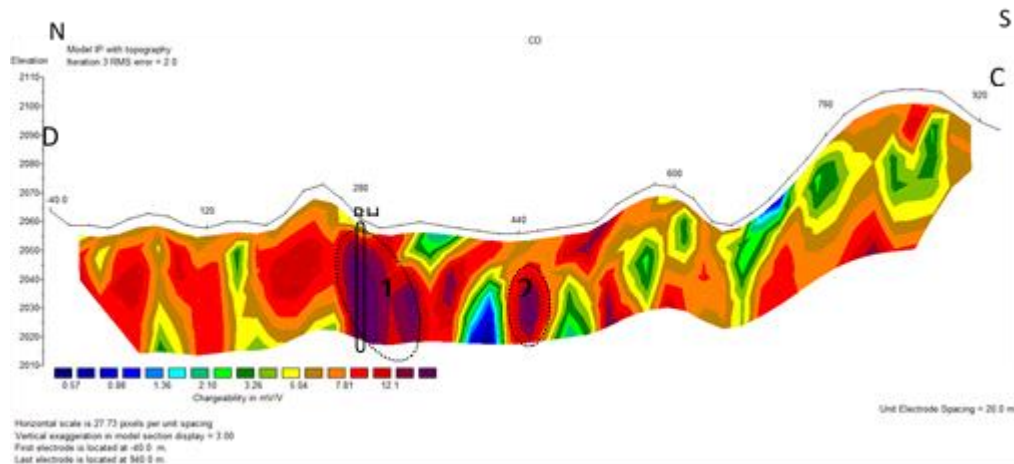
شکل ۱۰: نمای عمومی از واحدهای سنگی در محل اجرای پروفیل CD (دید به سمت شرق)

شکل (۱۱) مقطع حاصل از نتایج معکوس سازی داده‌های پلاریزاسیون القائی مربوط به پروفیل CD را نشان می‌دهد. قویترین بی‌هنجاری در طول این پروفیل در فاصله ۲۶۰ تا ۳۰۰ متری از مبدا دیده می‌شود. این بی‌هنجاری که با بیضوی شماره ۱ در مقطع پلاریزاسیون القائی مشخص شده است، از عمق حدود ۸ متری شوع شده و تا عمق ۴۷ متری مشاهده می‌شود، بطوریکه در عمق‌های متوسط حدود ۳۰ متری این زون به سمت راست هرچند بصورت یک جدایش کوچک ادامه یافته است و بنظر می‌آید تا عمق‌های بیشتر نیز ادامه داشته باشد. زون اصلی بی‌هنجاری ۱ در مقطع بدست آمده از داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی (شکل ۱۲) با بخش با مقاومت ویژه بالا منطبق است که حکایت از کانی سازی احتمالی در سنگ‌های با مقاومت بالا را دارد. در حوالی فاصله ۲۸۰ متری وجود یک شکستگی احتمالی با توجه به دو بخش پر مقاومت و کم مقاومت مشاهده می‌شود که با خط چین سیاه رنگ مشخص شده است. بنابراین

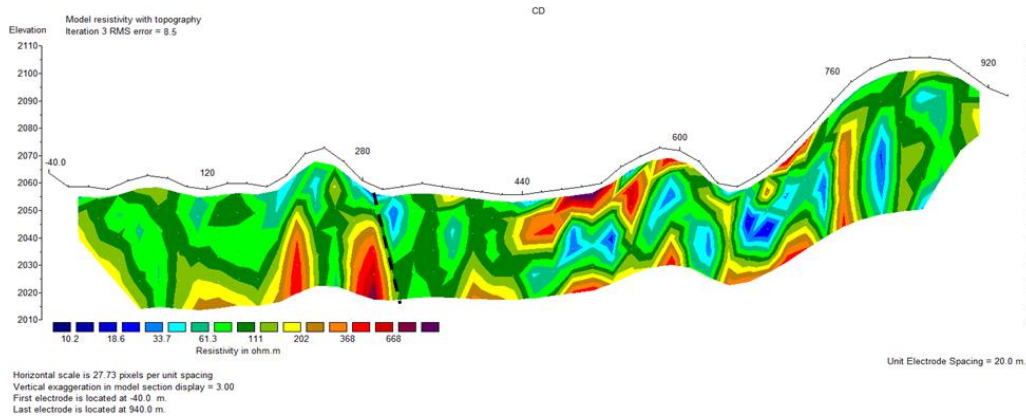
این احتمال می‌رود که این شکستگی باعث عبور محلول‌های گرمابی در این قسمت شده است، هرچند همانند پروفیل‌های قبلی با توجه به مقدار پائین شارژپذیری کانی سازی ضعیف در این قسمت نیز محتمل‌تر است. بی‌هنجاری شماره ۲ در نقشه پلاریزاسیون القایی در حوالی فاصله ۴۴۰ متری از عمق حدود ۲۵ تا ۴۵ متری دیده می‌شود. این بی‌هنجاری کوچک بوده و نسبت به بی‌هنجاری ۱ از اهمیت کمتری برخوردار است. بی‌هنجاری ۲ در نقشه مقاومت ویژه الکتریکی (شکل ۱۲) با بخش با مقاومت پائین مطابقت دارد که ناشی از آلتزه شدن محیط در این بخش می‌باشد. بی‌هنجاری‌های کوچک دیگری نیز در مقطع به صورت پراکنده دیده می‌شوند که از اهمیت خاصی برخوردار نیستند. برای بررسی دقیقتر بی‌هنجاری حفر یک عدد ترانسه در حوالی ایستگاه ارائه شده در جدول (۴) و سپس بعد از تأیید نتایج حاصل حفر یک حلقه گمانه اکتشافی پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۴: گمانه‌های پیشنهادی بر روی پروفیل CD

نام پروفیل	نام حفاری	مختصات		جهت حفاری	زاویه حفاری نسبت به قائم	طول حفاری
		X	Y			
CD	BH5	690845	4185612	.....	0	۷۰ متر



شکل ۱۱: نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های قطبش القایی با استفاده از نرم افزار Res2dinv برای پروفیل CD همراه با توپوگرافی.



شکل ۱۲: نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از نرم افزار **Res2dinv** برای پروفیل **CD** همراه با توپوگرافی

نتیجه‌گیری

به منظور اکتشاف بخش‌های دارای پتانسیل معدنی از نوع کانی‌های مس در محدوده مورد مطالعه کهدلان با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک و بر اساس بررسی دو پارامتر فیزیکی شامل میزان شارژپذیری و مقاومت الکتریکی انجام شد. از این‌رو با استفاده از آرایش دایپل-دایپل بر روی سه پروفیل با طول‌های متفاوت و فاصله الکترودی مساوی ۲۰ متر در مجموع ۹۷۶ ایستگاه اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. عمق مطالعات از سطح تا حداکثر ۵۰ متری با استفاده از مدل‌های نهایی حاصل از معکوس‌سازی داده‌های پلاریزاسیون القائی و مقاومت ویژه الکتریکی به کمک نرم افزار تخصصی **Res2Dinv** مورد بررسی قرار گرفت.

مناطق امید بخش حاوی ماده معدنی، بصورت بی‌هنجاریهای ژئوفیزیکی در هر مقطع بطور جداگانه مشخص شدند و به منظور بررسی آنها نقاطی برای انجام حفاری‌های اکتشافی پیشنهاد گردید. جدول زیر خلاصه‌ای از گمانه‌های اکتشافی پیشنهادی بر روی سه پروفیل را نشان می‌دهد.

جدول ۵: گمانه‌های اکتشافی پیشنهادی بر روی سه پروفیل (AB، MN و CD)

نام پروفیل	نام حفاری	مختصات		جهت حفاری	زاویه حفاری نسبت به قائم	طول حفاری
		X	Y			
AB	BH1	690311	4185017	N240E	۲۰ درجه	۷۰ متر
AB	BH2	690425	4185100	.....	0	۷۰ متر
MN	BH3	690796	4185702	.....	0	۶۰ متر
MN	BH4	690694	4185529	N250E	۱۰ درجه	۷۰ متر
CD	BH5	690845	4185612	.....	0	۷۰ متر

اعلمی نیا، ز.، کریم پور، م. ح.، حیدریان شهری، م. ر.، همام، م. ۱۳۸۹. کانی سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک به روش IP/RS در منطقه طلا آنتیموان حسن آباد، شمال شرق ایران، بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۱۸(۴): ۷۳۴-۷۲۳.

پورقربان، ا. ح. ۱۳۹۳. روش المان محدود برای بی‌هنجاری‌های مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی در اکتشافات معدنی، اولین همایش کاربرد ریاضیات در علوم زمین، دانشگاه شیراز.

رحیمی، ع.، عابدی، م.، اسلام کیش، ت. ۱۳۹۴. آنالیز داده‌های ژئوفیزیک (مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی) منطقه طرق کاشمر به منظور اکتشاف کانسار مس، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، ۱۸ و ۱۹ شهریور، دانشگاه دامغان.

رمضی، ح.، نعمت الهی، م. ص.، رضایی شاد، م. ۱۳۹۳. بررسی ارتباط بین مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی با روش‌های زمین آماری، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک، ۲۳ تا ۲۵ اردیبهشت، ۱۶۲-۱۵۸.

رنگرز فروغ، ف. ۱۴۰۳. ارزیابی توان ژئوتوریستی میراث زمین شناختی شهرستان مراغه، جغرافیا و روابط انسانی، انتشار آنالین، [10.22034/GAHR.2024.437346.2042](https://doi.org/10.22034/GAHR.2024.437346.2042)

سدیفی، ا. ح.، حفیظی، م. ک. ۱۳۹۰. کاربرد روش قطبش القایی در اکتشافات معادن پلی متال، زمین، ۶(۱۹): ۸۱-۹۷. قربانی، م. ۱۳۸۷. زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، آراین زمین، ۱: ۵۲۲.

لطفی، ر.، یزدی، م.، رسا، ا.، قربانی، م. ۱۴۰۱. ارزیابی توان کانه زایی مس بر پایه شواهد کانی شناسی و زمین شیمیایی در محدوده کهدلان، آذربایجان شرقی، شمال باختر ایران، پترولوژی، ۱۳(۵۲): ۸۶-۵۷.

واحدی، م.، باقری، ه.، صفایی، ه. ۱۳۹۴. مطالعات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در محدوده اندیس مس عباس آباد چوپانان، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، ۱۸ و ۱۹ شهریور، دانشگاه دامغان.

Bishop J.R., Lewis R. J. G. 1992. Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive sulfide deposits, *Economic Geology*, 87, 913-930.

Donald, B, Hoover and Klein, D.P., Campbell, D.C. 1990. Geophysical methods in Exploration and mineral environmental investigation: Society of Exploration Geophysicist.

Fox, R. C., G. W. Hohmann, T. J. Killpack, and L. Rijo, 1980, Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys: *Geophysics*, 45, 75-93.

Gautneb, H., Tveten, E. 2000. The geology, exploration and characterization of graphite deposits in the Jennestad area, Vesteralen, northern Norway, *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*, 436, 67-74.

Geotomo Software, 2004, RES2DINV, Ver.3.54 manual

- Khesin B., Alexeyev V. 1997. Rapid methods for interpretation of induced polarization anomalies, *Journal of applied Geophysics*, 37, 117-130
- Loke, M. H. 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys.
- Milson, G. 1989. *Field Geophysics*, Halsted press, London.
- Telford, W., Geldart L., Sheriff, R . 1990. *An Introduction to Applied Geophysics*, Cambridge University Press. New York. 283-292.