

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
اکتشاف معدن

اکتشاف طلا با استفاده از مدل سازی و تفسیر داده های ژئوفیزیکی در
منطقه هیرد ۳، بخش خوسف استان خراسان جنوبی

مرضیه قربانی

اساتید راهنما:

دکتر علی رضا عرب امیری

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور

مهندس فیروز جعفری

بهمن ۱۴۰۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

- به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
- به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران پشتیبان است
- به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید.
- و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند

تشکر و قدردانی

اینجانب بر خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ؛ تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند اساتید گران‌قدر آقای دکتر علی‌رضا عرب‌امیری و آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی در راستای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایم.

از زحمات کارشناس محترم سازمان زمین‌شناسی مهندس فیروز جعفری که زحمت مشاوره این پژوهش را متقبل شدند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تشکر ویژه از زحمات کارشناس زمین‌شناسی، آقای مهندس رضا اخوان اقدام که در راستای انجام این تحقیق با برد باری و در کمال سعه‌صدر و با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در انجام این پژوهش دریغ نکردند. و همچنین از کمک‌ها و یاری دوستان عزیزم از صمیم قلب تشکر می‌کنم. که در انجام این پژوهش از هیچ کمکی فروگذار نکردند.

و در نهایت از پدر و مادر عزیزتر از جانم که همیشه و همه‌جا پشتیبان و مشوق اینجانب بوده‌اند.

تعهدنامه

اینجانب مرضیه قربانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - اکتشاف معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه اکتشاف طلا با استفاده از مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مغناطیس هوابرد، قطبش القایی و مقاومت‌ویژه (IP & RS) در منطقه هیرد ۳ بخش خوسف استان، تحت راهنمایی آقای دکتر علی‌رضا عرب امیری و آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood Univrsity» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

امروزه با استفاده از فناوری‌های پیشرفته اکتشاف و ارزیابی ذخایر با انجام محاسبات و مدل‌سازی‌ها موجب کاهش هزینه و وقت، بهبود میزان موفقیت شده و می‌توانند صدها و حتی کیلومترها زیر سطح زمین را ببینند. اطلاعات اکتشافی موجب شناسایی دقیق‌تر و با اطمینان بیشتر منابع معدنی می‌شود و از این نظر، مسئله‌ای حائز اهمیت است. هدف از مطالعه حاضر، پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی و مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی در منطقه هیرد ۳: واقع در بخش خوسف در استان خراسان جنوبی می‌باشد.

در این پژوهش با انجام پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مذکور در بالا، مناطق امیدبخش احتمالی تعیین شده و با بررسی نتایج ژئوفیزیکی در این مناطق امیدبخش احتمالی، نقاط بهینه برای عملیات حفاری معرفی می‌گردد. در این راستا، ابتدا داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی که بر روی پروفیل‌هایی با فواصل ۷,۵ کیلومتر برداشت شده‌اند، با استفاده از نرم‌افزار Oasis Montaj ساخت شرکت Geosoft مدل‌سازی و تفسیر شده و سپس مناطق با توده‌های نفوذی و مغناطیسی مشخص شده است. سپس به منظور شناسایی بی‌هنجاری‌های احتمالی و بررسی تغییرات عمقی برداشت‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی انجام شد.

برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی در طول ۸ پروفیل انجام شده است. پروفیل‌های برداشت به موازات هم بوده و در راستای N80E طراحی شده‌اند. داده‌های مقاومت ویژه و قطبش‌القایی در طول این ۸ پروفیل با آرایه دوقطبی - دوقطبی برداشت شده‌اند.

در ادامه داده‌های مقاومت ویژه و قطبش‌القایی توسط نرم افزار Res2Dinv مدل‌سازی شده و مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون به کمک اطلاعات زمین‌شناسی و نتایج برداشت ژئوفیزیک هوابرد تفسیر شده‌اند. عمق و محل احتمالی کانی‌سازی طلا شناسایی شده و به منظور تأیید این نتایج و مطالعات بیشتر حفاری‌های اکتشافی پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی: هیرد ۳، مغناطیس‌سنجی هوایی، روش قطبش‌القایی، روش مقاومت‌ویژه، مدل‌سازی آرایه

دوقطبی - دوقطبی، نرم‌افزار Res2Dinv

فصل اول کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ مروری بر سوابق به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در کاوش‌های معدنی.....	۳
۱ - ۳ کارهای انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه.....	۷
۱ - ۴ اهداف و ضرورت انجام تحقیق.....	۸
۱ - ۵ ساختار پایان‌نامه.....	۹
فصل دوم (مغناطیس‌سنجی، مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی).....	۱۱
۲ - ۱ مغناطیس‌سنجی هوایی.....	۱۲
۲-۱-۱ مقدمه.....	۱۲
۲-۱-۲ میدان مغناطیسی زمین.....	۱۳
۲ - ۱ - ۳ خواص مغناطیسی سنگ‌ها و کانی‌ها.....	۱۵
الف - مواد پارامغناطیس.....	۱۵
ب - مواد دیامغناطیس.....	۱۵
ج - مواد فرومغناطیس.....	۱۶
۲ - ۱ - ۴ برداشت‌های مغناطیس‌سنجی.....	۱۷
۲ - ۱ - ۵ مسیر و خطوط پرواز.....	۱۸
۲ - ۱ - ۶ دستگاه‌های اندازه‌گیری مغناطیسی‌سنجی.....	۲۰
۲ - ۱ - ۷ دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی هوایی.....	۲۰
۲ - ۱ - ۸ مزایا و معایب برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد.....	۲۱
۲ - ۲ روش‌های الکتریکی.....	۲۲
۲ - ۲ - ۱ مقدمه.....	۲۲
۲ - ۲ - ۲ رسانندگی و مقاومت‌ویژه کانی‌ها و سنگ‌ها.....	۲۲
۲ - ۳ مقاومت‌ویژه الکتریکی.....	۲۴

۲۴.....	۲ - ۳ - ۱ اصول روش مقاومت ویژه الکتریکی
۲۵.....	۲-۳-۲ روش های برداشت مقاومت ویژه الکتریکی
۲۶.....	۲-۳-۳ آرایه های الکتروودی
۳۱.....	۲ - ۳ - ۴ کاربرد های اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی
۳۱.....	۲ - ۳ - ۵ محدودیت های روش مقاومت ویژه الکتریکی
۳۱.....	۲-۳-۶ مزایای برداشت با روش مقاومت سنجی الکتریکی
۳۲.....	۲ - ۴ قطبش القایی (IP)
۳۳.....	۲ - ۴ - ۱ قطبش الکترولیتی (غشایی)
۳۵.....	۲-۴-۲ قطبش الکتروودی (فلزی)
۳۶.....	۳-۴-۲ روش های اندازه گیری IP
۳۶.....	الف (اندازه گیری در حوزه زمان
۳۷.....	۱ - درصد IP
۳۷.....	۲-انتگرال زمان واپاشی
۳۷.....	۳-بارپذیری
۳۹.....	ب) اندازه گیری در حوزه فرکانس
۴۹.....	۴-۴-۲ قطبش القایی طیفی (SIP)
۴۱.....	۲-۴-۵ مزایا و معایب برداشت با روش IP
۴۳.....	فصل سوم زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
۴۴.....	۳-۱ موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به محدوده مورد مطالعه
۴۴.....	۳ - ۲ تقسیمات منطقه هیرد
۴۹.....	۳-۳ کانی سازی در محدوده هیرد ۳
۵۰.....	۳-۴ زمین شناسی محدوده مورد مطالعه
۵۱.....	۳-۵ توپوگرافی منطقه مورد مطالعه
۵۳.....	فصل چهارم برداشت داده های ژئوفیزیکی، مدل سازی و تفسیر داده ها
۵۴.....	۴-۱ مقدمه

۲-۴ برداشت‌های مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه	۵۴
۴-۲-۱ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه	۵۴
۴-۲-۲ پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوابرد	۵۶
۳-۴ برداشت‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی	۶۴
۴-۳-۱ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه	۶۴
۲ - ۴ - ۲ مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی	۶۸
پرو فایل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر	۶۸
الف (شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۶۸
ب) شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی	۶۹
پرو فایل 200 S با فاصله ۱۰ متر	۷۱
الف (شبه‌مقاطع مقطع مقاومت ویژه	۷۱
ب) شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی	۷۱
پرو فایل 200 S با فاصله الکترودی ۲۰ متر	۷۴
الف (شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۷۴
ب (شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی	۷۴
پرو فایل 200 S با فواصل الکترودی ترکیبی ۵، ۱۰، ۲۰ متر	۷۷
الف) شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۷۷
ب) شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی	۷۷
پرو فایل 100 S	۸۰
الف (شبه‌مقاطع و مقاطع مقاومت ویژه	۸۰
ب (شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی	۸۰
پرو فایل 100 N	۸۳
الف (شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۸۳
ب (شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی	۸۳
پرو فایل 200 N	۸۶

الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۸۶
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی	۸۶
پروفیل 275 N	۸۹
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۸۹
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی	۹۰
پروفیل 400 N	۹۲
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۹۲
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی	۹۲
پروفیل 600 N	۹۵
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۹۵
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی	۹۵
پروفیل 1100 N	۹۸
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه	۹۸
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی	۹۸
فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادها	۱۰۱
۵- ۱ نتیجه گیری	۱۰۲
۵- ۲ پیشنهادها	۱۰۸
۳-۵: نمایش نقاط بهینه پیشنهادی جهت حفاری	۱۰۹
پیوست	۱۱۲
پیوست ۱	۱۱۳
منابع	۱۱۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲- ۱: اجزای مغناطیسی زمین ۱۴
- شکل ۲- ۲: مغناطیس‌سنجی هوایی با بالگرد ۱۷
- شکل ۲- ۳: شکلی شماتیک از مغناطیس‌سنج‌های نصب شده بر روی هواپیما ۱۸
- شکل ۲- ۴: انواع خطوط پرواز در مغناطیس‌سنجی هوایی ۱۹
- شکل ۲- ۵: الگوی ایده آل پرواز ۲۰
- شکل ۲- ۶: مقادیر مختلف مقاومت‌ویژه برای چند نمونه سنگ، کانی و خاک ۲۳
- شکل ۲- ۷: شکل کلی از چهار الکتروود برای اندازه‌گیری مقاومت ۲۷
- شکل ۲- ۸: شکل شماتیک آرایش و نر و نحوه قرارگیری الکتروودهای جریان و پتانسیل ۲۸
- شکل ۲- ۹: شکل شماتیک آرایش شولومبرژه و نحوه قرارگیری الکتروودهای جریان و پتانسیل ۲۹
- شکل ۲- ۱۰: شکل شماتیک آرایش قطبی - قطبی و نحوه قرارگیری الکتروودهای جریان و پتانسیل ۲۹
- شکل ۲- ۱۱: شکل شماتیک آرایش قطبی - دوقطبی و نحوه قرارگیری الکتروودهای جریان و پتانسیل ۳۰
- شکل ۲- ۱۲: شکل شماتیک آرایش دوقطبی - دوقطبی و نحوه قرارگیری الکتروودهای جریان و پتانسیل ۳۰
- شکل ۲- ۱۳: اندازه‌گیری قطبش‌القایی در یک نقطه ۳۲
- شکل ۲- ۱۴: چگونگی گسترش قطبش‌القایی غشایی ۳۴
- شکل ۲- ۱۵: شکلی شماتیک از قطبش الکتروودی ۳۵
- شکل ۲- ۱۶: اندازه‌گیری در روش حوزه زمان ۳۷
- شکل ۳- ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه اکتشافی هیرد ۴۴
- شکل ۳- ۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده معدنی هیرد و نمایش مناطق طلا دار بر روی آن ۴۷
- شکل ۳- ۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (هیرد ۳؛) برگرفته از نقشه ۱:۲۰۰۰۰ هیرد ۴۸
- شکل ۴- ۱: دستگاه مگنتومتر سزیم MMS/Cs-3 ۵۵
- شکل ۴- ۲: نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (محدوده داخل کادر مربع نشان دهنده محدوده مورد مطالعه می‌باشد) ۵۷
- شکل ۴- ۳: نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیس کل (محدوده داخل کادر نشان دهنده محدوده مورد مطالعه می‌باشد) ۵۹

- شکل ۴ - ۴: فیلتر ادامه فراسو در عمق ۱۰۰ متر ۶۰
- شکل ۴ - ۵: فیلتر ادامه فراسو در عمق ۱۰۰۰ متر ۶۱
- شکل ۴ - ۶: فیلتر ادامه فراسو ۲۰۰۰ متر ۶۱
- شکل ۴ - ۷: نقشه ادامه فراسو ۳۰۰۰ متر ۶۲
- شکل ۴ - ۸: نقشه ادامه فراسو ۳۵۰۰ متر ۶۲
- شکل ۴ - ۹: نقشه ادامه فراسو ۴۰۰۰ متر ۶۳
- شکل ۴ - ۱۰: نقشه شدت میدان مغناطیسی کل به همراه موقعیت خطوط برداشت مقاومت ویژه و IP ۶۵
- شکل ۴ - ۱۱: نحوه قرارگیری پروفیل‌های مقاومت ویژه و قطبش‌القایی در محدوده مطالعاتی بر روی Google Earth ۶۵
- شکل ۴ - ۱۲: گیرنده IPRI2 ساخت شرکت Scintrex کانادا ۶۷
- شکل ۴ - ۱۳: فرستنده TSQ-3 ساخت شرکت Scintrex کانادا ۶۷
- شکل ۴ - ۱۴: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر ۶۹
- شکل ۴ - ۱۵: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر ۷۰
- شکل ۴ - ۱۶: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر ۷۰
- شکل ۴ - ۱۷: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۱۰ متر ۷۲
- شکل ۴ - ۱۸: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۱۰ متر ۷۳
- شکل ۴ - ۱۹: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۱۰ متر ۷۳
- شکل ۴ - ۲۰: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی 20 متر ۷۵
- شکل ۴ - ۲۱: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۲۰ متر ۷۵

شکل ۴ - ۲۲: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر ۷۶

شکل ۴ - ۲۳: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متر ۷۸

شکل ۴ - ۲۴: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متری ۷۸

شکل ۴ - ۲۵: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متری ۷۹

شکل ۴ - ۲۶: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 100 S ۸۱

شکل ۴ - ۲۷: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S ۸۲

شکل ۴ - ۲۸: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 100 S ۸۲

شکل ۴ - ۲۹: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 100 N ۸۴

شکل ۴ - ۳۰: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 100 N ۸۴

شکل ۴ - ۳۱: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 100 N ۸۵

شکل ۴ - ۳۲: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 N ۸۷

شکل ۴ - ۳۳: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 N ۸۸

شکل ۴ - ۳۴: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 N ۸۸

شکل ۴ - ۳۵: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 275 N ۹۰

- شکل ۴ - ۳۶: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 275 N ۹۱
- شکل ۴ - ۳۷: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 275 N ۹۱
- شکل ۴ - ۳۸: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 400 N ۹۳
- شکل ۴ - ۳۹: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 400 N ۹۴
- شکل ۴ - ۴۰: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 400 N ۹۴
- شکل ۴ - ۴۱: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون‌القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 600 N ۹۶
- شکل ۴ - ۴۲: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 600 N ۹۶
- شکل ۴ - ۴۳: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 600 N ۹۷
- شکل ۴ - ۴۴: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 1100 N ۹۹
- شکل ۴ - ۴۵: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 1100 N ۱۰۰
- شکل ۵ - ۱: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 200 S ۱۰۳
- شکل ۵ - ۲: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 100 N ۱۰۳
- شکل ۵ - ۳: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 200 N ۱۰۴
- شکل ۵ - ۴: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 400 N ۱۰۵
- شکل ۵ - ۵: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 600 N ۱۰۶
- شکل ۵ - ۶: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 1100 N ۱۰۷
- شکل ۵ - ۷: محل حفاری پیشنهاد شده بر روی پروفیل 200 S ۱۰۹
- شکل ۵ - ۸: محل حفاری پیشنهاد شده بر روی پروفیل 100 N ۱۰۹

- شکل ۵-۹: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 200 N ۱۱۰
- شکل ۵-۱۰: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 400 N ۱۱۰
- شکل ۵-۱۱: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 600 N ۱۱۰
- شکل ۵-۱۲: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری برای پروفیل 1100 N ۱۱۱
- شکل الف - ۱ : نمایی از مدل سازی هندسی کانسار طلای شماره ۳..... ۱۱۳
- شکل الف - ۱ : نمایی از مدل سازی هندسی کانسار طلای شماره ۳..... ۱۱۳

فهرست جداول

جدول (۲ - ۱) بارپذیری کانی ها ،سنگ ها و مواد مختلف ۳۹

جدول (۵ - ۱) مشخصات نقاط حفاری پیشنهاد شده ۱۰۸

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

مسئله اکتشاف در علوم زمین به جست‌وجوی سیستماتیک با استفاده از روش‌های علمی برای منابع باارزش موجود در پوسته زمین، مانند مواد معدنی جامد، مایعات، گازها یا حتی انرژی زمین‌گرمایی اشاره دارد. اهداف معمول اکتشاف سنگ‌های حاوی، فلزات گران‌بها مانند طلا و پلاتین؛ فلزات اساسی مانند سرب و روی؛ سنگ‌های قیمتی مانند الماس و یاقوت؛ مواد معدنی صنعتی مانند سنگ آهک، فسفات و گرافیت؛ منابع انرژی مانند زغال‌سنگ، نفت، گاز، اورانیوم و مواد حیاتی که برای فناوری ضروری هستند و در معرض خطرات تأمین هستند مانند نئودیمیم (برای آهن‌ریا) و لیتیوم (برای باتری‌ها)، آب زیرزمینی که یک منبع حیاتی در بسیاری از مناطق خشک است و همچنین اشیاء با ارزش فرهنگی، مانند مکان‌های باستانی و آثار باستانی، می‌باشد. کانسارهای معدنی نادر هستند و اکتشاف آن‌ها گران می‌باشد. خوشبختانه کاوشگران علوم زمین ابزارها و روش‌های بسیاری را برای کمک به جست‌جوی زمین در اختیار دارند؛ که خطا را کاهش می‌دهد. نقشه‌برداری زمین از اساسی‌ترین آن‌هاست. زمین‌شناسان؛ ترکیب و ساختار سنگ‌هایی را توصیف می‌کنند که قرار است از زیرزمین بیرون بیایند و در معدن قرار بگیرند یا از طریق حفره‌های حفرشده در پوسته زمین بازیابی شوند. زمین‌شناسی معمولاً با مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیک همراه است، یا حتی بر آن‌ها تقدم دارد [۱].

از اواسط قرن ۲۰ عمق متوسط اکتشافات افزایش یافته؛ به‌طوری‌که روش‌های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی می‌توانند صدها و حتی کیلومترها زیر سطح زمین را ببینند و مورد استفاده قرار دهند و هر کانساری در هر منطقه زمین‌شناسی پیچیده و در اعماق بیشتر، بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. فناوری اکتشافات جدید باعث کاهش هزینه و بهبود میزان موفقیت اکتشاف شده است.

به‌طورکلی با ادامه رشد جمعیت جهانی و آرزوی شهروندان کشورهای در حال توسعه برای رسیدن به استانداردهای زندگی در جهان اول، تأمین طولانی‌مدت فلزات و مواد معدنی پیش‌شرط رفاه نسل‌های آینده است. ژئوفیزیک اکتشافی نقش مهمی در کشف کانسارهای جدید و گسترش ذخایر معدنی خواهد داشت [۱].

توانایی روش‌های ژئوفیزیکی در بررسی اعماق زمین در دهه گذشته به دلیل پیشرفت در حسگرها، سیستم‌عامل‌های مشاهده فضایی و هواپیماهای بدون سرنشین، الکترونیک، ارتباطات، محاسبات و یادگیری ماشین به طور قابل توجهی بهبود یافته است، درحالی‌که هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. ادغام روش‌های ژئوفیزیکی با روش‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی موجب بهبود وضوح و توانایی تشخیص و درنهایت افزایش میزان اکتشافات خواهد شد [۱].

۱-۲ مروری بر سوابق به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در کاوش‌های معدنی

مغناطیس هوابرد در ابتدا توسط اتحاد جماهیر شوروی سابق در سال ۱۹۳۶ استفاده شد و سپس با پیشرفت و اصلاحاتی توسط ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۴۰ مورد استفاده قرار گرفت. هر دو کشور منافع نظامی و فناوری خود را داشتند؛ به‌ویژه در شناسایی زیردریایی‌ها. پس از برخی بررسی‌ها که در سال ۱۹۴۴ در ایالات متحده انجام شد، پیشرفت شگرفی در این حوزه صورت گرفت. اولین بررسی ژئوفیزیک هوایی در برزیل حدود ۶۸ سال پیش (۱۹۵۳) در شهر سائو جو آو دل ری^۱ از ایالت میناس گرایس^۲، توسط شرکت Prospec که بعداً به Geomag تبدیل شد، انجام شد؛ که از یک هواپیما PB-5 مجهز به یک مغناطیس‌سنج فلاکس گیت قائم در دم هواپیما، برای اندازه میدان کل مغناطیسی استفاده شد. این سیستم آنالوگ بود و تمام پردازش داده‌ها به‌صورت دستی انجام می‌شد [۲].

در سال ۲۰۰۰ گود^۳ و همکاران برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی و هوایی بر روی نهشته‌های پلی‌متال انجام دادند و نتایج حاصل از برداشت‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و مقاومت‌ویژه، حضور اکسید آهن در یک منطقه بزرگ با شدت بالای پتاسیم را نشان می‌دهد. همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی طلا، کبالت، مس و بیسموت را در زمینه شایست و اکسید آهن نشان داده و درنهایت به این نتیجه رسیدند که کانی‌سازی در محیط‌های نزدیک سطح، هم‌زمان با ولکانیسم صورت گرفته است [۳].

¹ Sao Joao Del Rey

² Minas Gerais

³ Goad

جیسون^۱ و همکاران در سال (۲۰۰۵) به بررسی ساختارهای زیرسطحی در منطقه‌ی (loei) در شمال شرقی تایلند، با استفاده از داده‌های مغناطیس هوابرد و الکترومغناطیس پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از تفسیرهای هوایی؛ منطقه را به سه حوزه مغناطیسی با شدت متفاوت تقسیم کرده و گسل‌ها و روند آن‌ها در منطقه مشخص شد [۴].

سازمان زمین‌شناسی فنلاند در سال ۲۰۰۸ یک برداشت ژئوفیزیک هوایی را به‌طور موفقیت‌آمیزی برای اکتشاف طلا در کمر بند گرین استون از سنترال آپلند استفاده کرده. ترکیب سه سری داده مغناطیس، الکترومغناطیس و رادیومتری هوابرد در شناسایی مناطق آلتراسیون و دستیابی به اطلاعات بالارزش از ضخامت روباره، نتیجه انجام این پروژه بود [۵].

در سال ۲۰۰۹ صالح احمد^۲ و همکاران با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی به بررسی و مدل‌سازی طلا در منطقه‌ای در جنوب شرقی کویر مصر پرداختند. نتایج حاصل از تفسیرهای مغناطیسی، مقاومت ویژه و پتانسیل خودزا، وجود دو محدوده کانی‌سازی طلا در عمق کم را نشان داد؛ که طلا و سولفیدهای پراکنده در قسمت شرق و مرکز منطقه را پوشش می‌داد [۶].

در سال ۲۰۱۳ بوناس^۳ و همکاران با استفاده از روش‌های الکترومغناطیس هوابرد، قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه و مگنتولوریک اقدام به اکتشاف فلزات پایه بر روی منطقه‌ای در کانادا کردند، در آن منطقه همچنین برداشت‌های زمینی برای اکتشاف کانی‌سازی‌های پلی‌متال از نوع پورفیری انجام شد و یک بی‌هنجاری عمیق با بارپذیری خیلی بالا و رسانندگی خوب مشخص شد؛ که نشان‌دهنده کانی‌سازی پورفیری در عمق بود [۷].

جی یانگ چن^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۷ با بررسی‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی خاک به اکتشاف طلا در محدوده کورماله در صحرای آفریقا پرداختند. آن‌ها مطالعه بر روی ناهنجاری‌ها را در دو مرحله موردبررسی قراردادند؛ که ابتدا داده‌های مغناطیسی تصحیح، پردازش و سپس توسط Oasis Montaj و Arc Gis نقشه‌های

¹ Jayson Meyers

² Salah Ahmed

³ Bonas

⁴ Jiango Chen

یکپارچه از محدوده رسم و باهم تلفیق شدند. تفسیر نقشه‌ها دو محدوده بالقوه طلا با عیار بالا را نشان داد [۸].

میشل^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای به بررسی داده‌های ژئوفیزیکی در منطقه وسیعی از سپر عربستان پرداختند. آن‌ها با جمع‌آوری، پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی الکترومغناطیسی، گرانشی و مغناطیس‌سنجی‌هوایی به مدل‌سازی سه‌بعدی ویژگی‌های فیزیکی زیرسطحی، نشان دادند که چگونه روش‌های مدل‌سازی سه‌بعدی و معکوس‌سازی می‌تواند به‌طور مؤثر برای تفسیر داده‌های هوابرد برای اکتشاف منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد [۹].

هرچند مغناطیس هوابرد نسبت به مغناطیس زمینی در ایران نو پاتر است، خوشبختانه کارهای متعددی در این زمینه، برای بهبود طراحی و درنهایت شناسایی ناهنجاری‌ها برای پتانسیل‌یابی منابع زیرسطحی صورت گرفته است: امیر پور در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای به پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوابرد برای تعیین ساختارهای مغناطیسی و محل گسل‌های مدفون در کل پهنه ایران به‌جز حاشیه جنوب باختری پرداخت [۱۰]. زارعی و عرب‌امیری در سال ۱۳۹۲ در مقاله‌ای با عنوان «چگونگی بهبود عملیات برداشت ژئوفیزیک هوابرد به همراه یک مثال موردی» به بررسی مسائل در رابطه با طراحی برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد پرداختند [۱۱].

بادپا در سال ۱۳۹۴ ابتدا با روش مغناطیس هوابرد در شرق استان مازندران به تفکیک و تمیزسازی داده‌های منطقه کرد و با اعمال فیلتر سطوح مختلف را شناسایی و سپس به مدل‌سازی و تفسیر مقاومت‌ویژه و GPR پرداخت. با مقایسه و تلفیق داده‌ها تفسیر روشن‌تری از گسلش و ساختار زیرسطحی منطقه به دست آورد [۱۲].

حسینی و همکاران به مقایسه روش رادار نفوذی به زمین و مغناطیس‌سنجی در بررسی‌های نزدیک به سطح پرداختند [۱۳].

¹ Michael S

شرفی و آیین تبار در سال ۱۳۹۸ در مقاله‌ای با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی هوابرد و ویژگی‌های ژئومورفیک به بررسی مسیر گسل پنهان دشت خرم‌آباد پرداختند [۱۴].

مجرد و همکاران به پتانسیل‌یابی مناطق امیدبخش ژئوترمال با استفاده از سنجش‌ازدور و مقایسه آن با مطالعات مغناطیس‌سنجی هوابرد محدوده شمال سبلان تا سراب پرداختند که کلیه مناطق امیدبخش از هر دو روش با موفقیت چشمه‌های آب گرم و دگرسانی‌های موجود در منطقه که گواه روشنی از وجود ذخایر هستند، مقایسه شد [۱۵].

کوهساری و همکاران با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی و مغناطیس‌هوائی به شناسایی پتانسیل‌های احتمالی کانی‌سازی آهن و بررسی احتمالی ارتباط این پتانسیل‌ها با کانسار سنگ‌آهن گل‌گهر پرداختند؛ که درنهایت پتانسیل‌های منطقه شناسایی و مناطقی جهت بررسی‌های اکتشافی تکمیلی پیشنهاد گردید [۱۶].

هنگ تائو^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش‌های قطبش‌القایی و چند روش ژئوفیزیکی دیگر به مطالعه کانی‌سازی طلا در منطقه‌ای در شمال چین پرداختند؛ که با توجه به قرارگیری کانی موردنظر در زون‌های شکستگی و گسل‌ها، نتایج مطلوبی از تشخیص امتداد کانی‌سازی در منطقه را به دست آوردند [۱۷].

کارولینی بورساتو^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۶ به مدل‌سازی طلا با روش‌های ژئوفیزیکی قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه کردند؛ و نتیجه مدل‌سازی دو و سه‌بعدی از وجود دو محدوده کانی‌سازی طلا خبر می‌دهد [۱۸].

مهد حریری^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۹ با استفاده از روش‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی موفق به شناسایی محدوده مستعد طلاسازی در عمق حدود ۵۰ - ۲۵ متری سطح باروند شمالی- جنوبی در منطقه سواحل شرقی مالزی شدند. رسوبات طلا عمدتاً در رگه‌های هیدروترمال جای گرفته‌اند. آن‌ها استفاده از آرایه قطبی - دوقطبی را برای شناسایی کانی طلای منطقه پیشنهاد دادند [۱۹].

¹ Hong Tago

² Carolini Borsano

³ Mohd Hariri

مسعد^۱ و همکاران در سال ۲۰۲۰ با استفاده از مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی برای کاوش مواد معدنی در شمال غربی سودبری پرداختند. آن‌ها با استفاده از سیستم جریان IP با وضوح بالا قادر به اکتشاف مواد معدنی شدند. سپس با استفاده از مدل‌سازی وارون دو و سه‌بعدی محل کانی‌سازی سولفیدی (Ni – Cu) در منطقه را مشخص کردند [۲۰]. در همان سال مسعد و همکاران به بررسی روش مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی برای کانی‌های سولفیدی پرداختند [۲۱].

سمنانی نژاد (۱۳۸۷) با استفاده از چهار روش ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه، قطبش‌القایی، مغناطیس‌سنجی و VLF به مطالعه کانی‌زایی سرب و روی در منطقه معدنی انجیره - تیران پرداخت. در این مطالعه، داده‌های مقاومت‌ویژه و IP در خصوص تشخیص مناطق کانی‌زایی، پاسخ خوبی را به همراه داشتند. برداشت‌های VLF در تشخیص درزه و شکاف‌های شیب‌دار کاربرد بالایی داشتند که مرتبط با کانی‌زایی در منطقه نیز بودند [۲۲].

۱ - ۳ کارهای انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه

محدوده اکتشافی هیرد برای اولین بار در سال ۱۳۸۰، با تهیه نقشه زمین‌شناسی - معدنی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از محدوده‌ای به وسعت ۱۰۰ کیلومتر مربع، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات بر اساس مطالعات ناحیه‌ای و بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی کشور به عنوان آنومالی طلا معرفی گردید [۲۳].

اشراقی و همکاران در سال ۱۳۸۶ در مقاله‌ای تحت عنوان «کانه زایی طلای هیرد: نمونه‌هایی از ذخایر طلای مرتبط با نفوذی‌های کاهیده در ایران (جنوب بیرجند)» به بررسی این مهم پرداختند [۲۴].

قربانی و همکاران در سال ۱۳۸۸ در مقاله‌ای تحت عنوان: بررسی وضعیت ساختاری ناحیه معدنی هیرد (جنوب بیرجند) با استفاده از تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی، ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی و ارتباط آن با کانی‌زایی طلا پرداختند؛ که نتیجه تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی، دو روند اصلی کانی‌زایی در منطقه شد [۲۵].

¹ Mosaad

حیدریان و همکاران در سال ۱۳۸۷ به اندازه‌گیری مغناطیس زمینی برای اکتشاف طلا در منطقه اکتشافی هیرد، خراسان جنوبی پرداختند [۲۶].

عسکری و همکاران در سال ۱۳۹۱ به مطالعه زمین‌شناسی و کانی‌سازی کانسار طلای شماره ۳ در ناحیه معدنی هیرد پرداختند [۲۷]. مدل‌سازی هندسی و برآورد ذخیره کانسار طلای شماره ۳ هیرد نیز توسط عسکری و همکاران در سال ۱۳۹۲ انجام شد. [۲۸].

زحمتی در سال ۱۳۹۹ به اکتشاف و مدل‌سازی طلا در منطقه اکتشافی شماره ۱ در محدوده هیرد پرداخت. او با انجام روش‌های ژئوفیزیکی در منطقه، مناطق امید بخش احتمالی جهت حفاری را مشخص کرد [۲۹].

۱- ۴ اهداف و ضرورت انجام تحقیق

مواد معدنی زیربنای اقتصاد و صنعت هر جامعه را تشکیل می‌دهد. بشر از همان آغاز آفرینش خود و در طول تاریخ، برحسب نیازمندی‌ها و دانش خود از مواد معدنی استفاده کرده است. اکنون نیز با توجه به تأمین نیازهای اولیه صنایع مختلف، جستجوی آن‌ها با روش‌های کارآمد ضروری به نظر می‌رسد. از ضرورت‌های انجام تحقیق هم می‌توان به کاهش ریسک اکتشاف و جلوگیری از به هدر رفتن وقت و هزینه‌های مالی طرح اشاره کرد. مطالعات اولیه زمین‌شناسی و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در آزمایشگاه به تنهایی نمی‌توانند برای اکتشاف نهایی مدنظر قرار گیرند؛ بنابراین با انجام مطالعات تکمیلی ژئوفیزیکی سعی می‌شود تا ریسک اکتشاف کاهش یابد. از طرفی حفاری‌های اکتشافی جزء گران‌ترین مراحل اکتشافی می‌باشند؛ بنابراین باید حفر این چاه‌های حفاری به طور کامل حساب شده و محل آن‌ها حتی‌المقدور از قبل تعیین شوند؛ تا به احتمال بالایی به هدف دست یابند؛ که این مهم به وسیله پردازش، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده و تطبیق آن با مطالعات زمین‌شناسی حاصل می‌گردد.

این پژوهش به منظور بررسی پتانسیل کانی‌سازی سولفیدی به خصوص طلا، در منطقه هیرد ۳ و با تأکید بر قابلیت داده‌های ژئوفیزیکی در کشف این نوع کانسارها انجام گرفت. با توجه به نیاز روزافزون جوامع صنعتی به مواد معدنی، اکتشاف این منابع با روش‌های ارزان و کم هزینه اکتشافی امری ضروری است. به این منظور

می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی که نسبت به سایر روش‌های اکتشافی همچون حفاری، ارزان‌تر و سریع‌تر است، استفاده کرد.

در این تحقیق، ابتدا مناطق امید بخش با بررسی داده‌های مغناطیس هوابرد تعیین می‌گردد. با بررسی داده‌های مغناطیس هوابرد و به وسیله نرم‌افزارهای Geosoft مناطق مناسب برای انجام برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی به روش قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه مشخص می‌گردد. سپس نتایج حاصل از برداشت‌های قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه با استفاده از نرم‌افزار Res2Dinv مدل‌سازی و تفسیر خواهند شد. در نهایت با بررسی نتایج حاصل از داده‌های هوابرد و ژئوفیزیک زمینی، مناطق کانی‌سازی شناسایی شده و محل‌های مناسب حفاری در منطقه پیشنهاد خواهد شد.

۱- ۵ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر در پنج فصل تدوین گردیده است. فصل اول کلیاتی در مورد اکتشاف مواد معدنی و روش‌های ژئوفیزیکی، سوابق مطالعات ژئوفیزیکی در کاوش‌های معدنی و کارهای اکتشافی در محدوده مورد مطالعه و همچنین اهداف و ضرورت انجام پایان‌نامه حاضر را شامل می‌شود. فصل دوم به بیان اصول روش‌های مورد استفاده، مزایا، نفع‌ها و نحوه انجام عملیات صحرایی اختصاص یافته است. در فصل سوم با مروری کوتاه بر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تکتونیک و زمین‌شناسی اقتصادی آن نیز تا حدودی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم نیز ضمن بیان عملیات صحرایی به مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوابرد، قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه زمینی پرداخته شده است. نهایتاً در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای حاصل از انجام این پایان‌نامه آمده است.

فصل دوم

روش ها ژئوفیزیکی

(مغناطیس سنجی، مقاومت ویژه و قطبش

القایی)

ژئوفیزیک شاخه ای از علم است که به اندازه‌گیری‌های فیزیکی زمین می‌پردازد. روش‌های ژئوفیزیکی زمین بر اساس خواص فیزیکی زمین به روش‌های مختلف تقسیم می‌شوند که می‌توان به مواردی مانند روش مغناطیس‌سنجی (خاصیت مغناطیسی)، روش ژئوالکتریک (خاصیت الکتریکی و رسانندگی)، روش گرانی‌سنجی (خاصیت چگالی) و روش لرزه‌شناسی (خاصیت کشسانی) اشاره کرد. در این فصل به بررسی روش‌های مغناطیس‌هوایی و خواص الکتریکی زمین می‌پردازیم.

۲-۱ مغناطیس‌سنجی هوایی

۲-۱-۱ مقدمه

مغناطیس‌سنجی هوایی شاخه ای از علم فیزیک زمین است که در مراحل اولیه اکتشاف یا ارزیابی پتانسیل اکتشاف مواد معدنی در مناطق وسیع استفاده می‌شود [۲].

تیغه یک قطب نما تمایل به هم سو (جهت) کردن نشانه خود با میدان اصلی زمین و سمت شمال دارد؛ که توسط جریان‌های الکتریکی در هسته خارجی فلز مذاب زمین ایجاد می‌شود. به طور متوسط مغناطیس یک میدان آهنربایی خیلی بزرگ به موازات محور چرخشی زمین است. این میدان در قطب‌های مغناطیسی زمین به صورت عمودی و بیشترین مقدار و در استوا ضعیف‌ترین مقدار و به صورت افقی است. جهت‌گیری و شدت میدان مغناطیسی اصلی زمین با توجه به زمان متفاوت است و حتی قطبیت را برعکس می‌کند. سنگ‌هایی در پوسته زمین که حاوی مواد معدنی مغناطیسی هستند، معمولاً اکسیدهای آهن مانند مگنتیت که میدان نزدیک به سطح را اصلاح می‌کنند و امکان ترسیم ویژگی‌های زمین‌شناسی را فراهم می‌کنند [۱].

روش مغناطیس‌سنجی تغییرات با شدت پایین در میدان مغناطیسی زمین را اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین سنگ‌هایی را که شدت مغناطیس متغیری با اطراف خود دارند، اندازه‌گیری می‌کند [۲]. مقادیر ناهنجار شدت مغناطیسی شامل میدان‌های مغناطیسی دائمی و القایی است که با هم ترکیب می‌شوند و یک میدان کل را اندازه‌گیری می‌کند. جهت‌گیری از زمینه‌های دائمی و القایی ممکن است متفاوت باشد بنابراین اجسام با شکل‌های یکسان، بسته به شدت و جهت‌گیری دائمی، ممکن است ناهنجاری‌های کاملاً متفاوتی ایجاد کند.

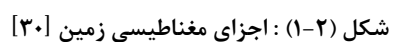
میدان مغناطیسی کل با یک مغناطیس سنج اندازه‌گیری می‌شود، ابزاری بسیار حساس که می‌تواند تغییرات به اندازه ۱۰-۵ برابر شدت زمین را اندازه‌گیری کند [۱].

از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف، ژئوفیزیک هوابرد است که در سه مرحله‌ی برداشت، پردازش و تفسیر داده‌ها صورت می‌گیرد. روش مغناطیس‌سنجی هوایی، زیر شاخه‌ای از روش اکتشافی مغناطیس‌سنجی است که با استفاده از هلیکوپتر و یا هواپیما عملیات برداشت داده‌ها صورت می‌گیرد.

شرکت‌های زیادی در سراسر جهان به منظور اکتشاف منابع هیدروکربوری، مواد معدنی و مخازن زمین‌گرمایی بهره می‌برند. در ایران متولی انجام این روش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور است از این روش که نتایج این بررسی‌ها را به صورت نقشه‌هایی منطبق بر چهارگوش‌های ۱,۲۵۰,۰۰۰ تقسیم‌بندی‌های کشوری و یا به صورت رقومی در دسترس پژوهشگران و علاقه‌مندان قرار می‌دهد. دقت برداشت مغناطیس‌سنجی هوایی معمولاً به علت به کارگیری دستگاه‌های پیشرفته‌تر هوابرد نسبت به دستگاه‌های قابل حمل زمینی بیشتر است.

۲-۱-۲ میدان مغناطیسی زمین

میدان مغناطیسی زمین یک بردار است، یعنی هم اندازه دارد و هم جهت [۳۰]. اگر یک سوزن مغناطیسی بتواند در حول یک محور از مرکز ثقلش در تمام جهات آزادانه حرکت کند، می‌تواند خود را در هر نقطه معین از سطح زمین در امتداد میدان مغناطیسی زمین (F) قرار دهد (شکل ۲ - ۱). زمین را می‌توان با شدت کل میدان (F) که با مولفه‌های میدان افقی (H) در جهت شمال (X)، شرق (Y) و میدان قائم رو به پایین (Z) و زاویه انحراف (D) و زاویه شیب یا میل (I) نشان داد. اگر F راستای میدان مغناطیسی کلی زمین در نقطه‌ای از زمین فرض شود؛ (I) زاویه بین این راستا با شمال مغناطیسی را نشان می‌دهد که به زاویه میل شناخته می‌شود. (D) زاویه انحراف بوده و زاویه بین شمال مغناطیسی در آن نقطه با شمال جغرافیایی می‌باشد [۳۱]. نیروی میدان مغناطیسی در هر نقطه از زمین را می‌توان مانند شکل (۲ - ۱) به مولفه‌های اصلی تجزیه کرد.



اگر کره زمین را همگن فرض کنیم در نیم کره شمالی، انتهای قطب شمال یاب سوزن مغناطیسی به طرف داخل زمین متمایل می شود و دقیقاً روی قطب مغناطیسی در نیم کره شمالی به حالت قائم در می آید. در نیم کره جنوبی کاملاً برعکس بوده و انتهای قطب جنوب یاب سوزن مغناطیسی به سمت داخلی زمین متمایل شده و درست بر روی قطب مغناطیسی در نیم کره جنوبی به حالت قائم در می آید [۳۱].

۲- ۱- ۳ خواص مغناطیسی سنگ ها و کانی ها

تمام مواد از جمله کانی ها از نظر خواص مغناطیسی به سه دسته ی، دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرو مغناطیس تقسیم می شوند.

الف - مواد پارامغناطیس: این مواد دارای ضریب خود پذیری (k) مثبت هستند به این معنی که زمانی که در میدان مغناطیسی خارجی قرار می گیرند، ممان های اتمی سعی در امتداد یافتن در همان جهت مغناطیسی دارند. مقدار k در این موارد بسیار پایین است. به طور کلی: میدان مغناطیسی القایی این اجسام در راستای میدان خارجی است و خاصیت مغناطیسی شدن آن ها با افزایش دما کاهش می یابد؛ به طوری که هر جسم در دمای خاصی موسوم به نقطه کوری^۱، خاصیت مغناطیسی خود را از دست می دهد. بسیاری از ترکیبات آهن نظیر لیمونیت، هماتیت، سیدریت، پیریت، بیوتیت، پروکسین و الیون، دارای این خاصیت هستند. همچنین سنگ هایی نظیر گنایس، پگماتیت، دولومیت، سینیت و سنگ های مشابه، که حاوی کانی های آهن به ویژه مگنتیت و یا ایلمنیت هستند، این خاصیت را دارند.

ب - مواد دیامغناطیس: این مواد دارای خودپذیری (k) منفی و بسیار پایین هستند. این مواد در خلاف جهت میدان مغناطیسی خارجی مغناطیده می شوند و اگر میدان خارجی حذف شود، این گونه اجسام نیز

¹ Curi Point

مغناطیس القایی خود را از دست می‌دهند. از جمله مواد معدنی مهمی که دارای این خاصیت هستند می‌توان به کوارتز، کلسیت، نمک، گالن، آب، طلا، نقره، مرمر، گرانیت، ژئیس و انیدریت و ترکیبات آلی اشاره کرد.

ج - مواد فرومغناطیس: این گروه خود به سه دسته فرو مغناطیس ایده‌آل، آنتی‌فرو مغناطیس و فری‌مغناطیس تقسیم می‌شوند.

- مواد فرو مغناطیس ایده‌آل: ضریب خود پذیری (k) در این مواد مثبت و بسیار زیاد است. هرچه جسم فرو مغناطیس حجیم‌تر شود k بزرگ‌تر می‌شود. در این مواد همه ممان‌های اتمی سعی در امتداد یافتن در یک جهت دارند. عناصر آهن، نیکل و کبالت فرو مغناطیس واقعی‌اند.
- مواد آنتی فرو مغناطیس: موادی هستند که ممان‌های اتمی سعی در قرار گرفتن به طور مساوی در یک یا دو جهت مخالف دارند. به این دلیل این نوع کانی‌ها در آنومالی‌های مغناطیسی مشارکتی ندارند مانند هماتیت و لیمونیت.
- مواد فری مغناطیس: برای مقاصد اکتشافی مورد نظر هستند که در آن‌ها ممان‌های اتمی سعی در قرار گرفتن در دو جهت مخالف را داشته که یک جهت در آن‌ها قوی‌تر است. از جمله این کانی‌ها می‌توان به مگنتیت، تیتانو مگنتیت، ایلمینیت و پیروتیت اشاره کرد.

افزایش حرارت مواد فرو مغناطیس تا دمای خاص (نقطه کوری^۱) باعث کاهش خاصیت مغناطیسی شده و ماده به پارامغناطیس تبدیل می‌شود؛ و افزایش حرارت در آنتی فرومغناطیس‌ها تا یک دمای خاص (نقطه نیل^۲)، باعث افزایش خاصیت مغناطیسی می‌شود. دمای نیل، دمایی است که در آن مواد آنتی فرومغناطیس به پارامغناطیس تبدیل می‌شود.

سنگ‌های رسوبی پایین‌ترین و سنگ‌های آذرین بالاترین خودپذیری مغناطیسی را دارند.

¹ Curie

² Neel

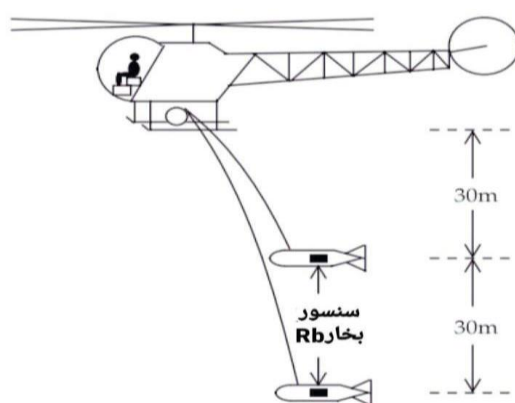
۲-۱-۴ برداشت‌های مغناطیس‌سنجی

نقشه‌برداری از ناهنجاری‌های مغناطیسی می‌تواند در خشکی، دریا و هوا انجام شود در عمل بیشترین بررسی‌های مغناطیسی با هواپیما انجام می‌شود.

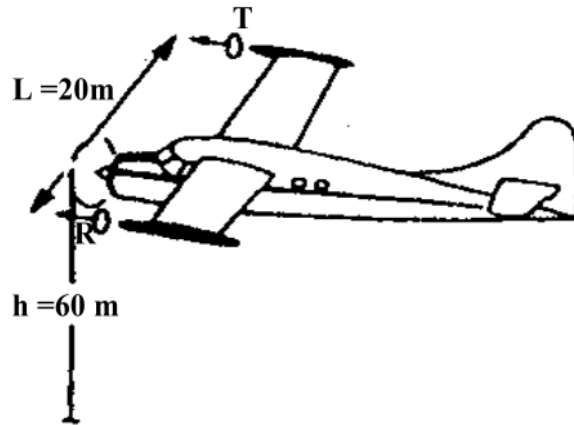
در اواخر سال‌های ۱۹۷۰ استفاده از دو نوع برداشت رایج شد. یکی برداشت با بالگرد که با تفکیک بالا صورت می‌گیرد. دستگاه فرستنده و گیرنده درون محفظه‌ای به دنبال پرنده کشیده می‌شد (شکل ۲-۲). این روش بیشتر برای مطالعات با عمق نفوذ بیشتر به کار گرفته می‌شد. مورد بعدی سیستم‌های با بال ثابت هستند؛ که سیستم‌های فرستنده و گیرنده با میله‌های صلب به نوک بال یا دماغ و دم هواپیما وصل می‌شد (شکل ۲-۳) [۳۲].

امروزه سیستم‌های هواگرد بیشتر با بالگرد انجام می‌گیرند. مزیت این روش به دلیل پیمایش مناطق وسیع و صعب‌العبور است.

مغناطیس‌سنجی هوایی یک روش اقتصادی برای شناسایی یک منطقه بزرگ در مدت‌زمان کوتاه می‌باشد [۳۰].



شکل ۲-۲: مغناطیس‌سنجی هوایی با بالگرد [۳۰]



شکل ۲- ۳: شکلی شماتیک از مغناطیس سنج‌های نصب شده بر روی هواپیما [۳۲]

۲- ۱- ۵ مسیر و خطوط پرواز

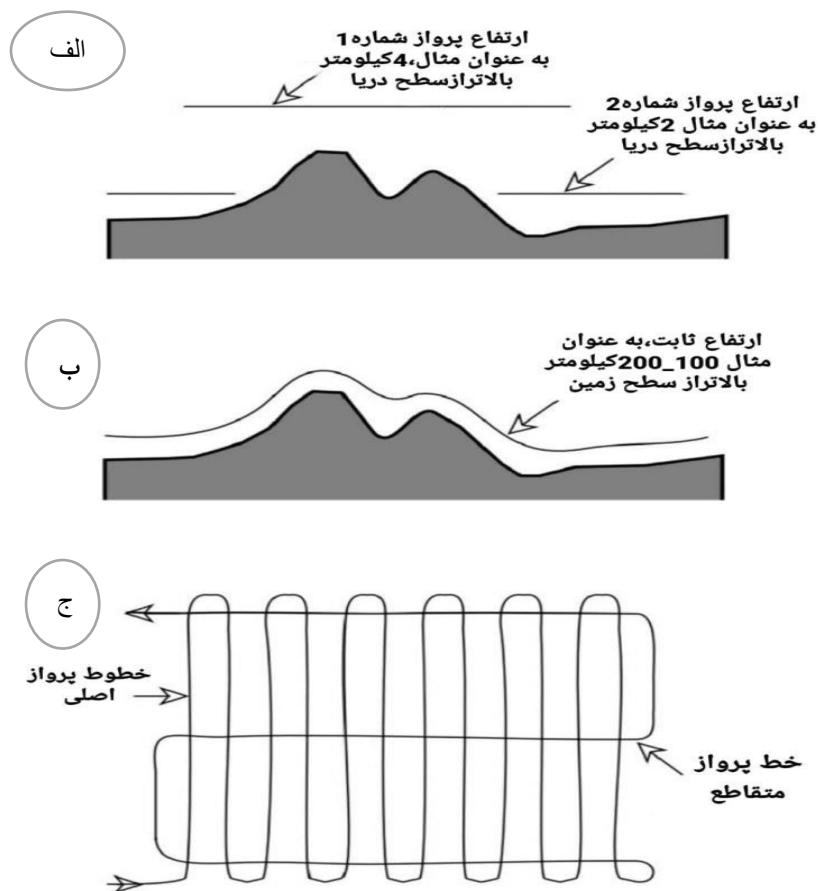
در بررسی‌های مغناطیسی منطقه‌ای، اندازه‌گیری‌ها معمولاً با یک الگوی از پیش تعیین شده انجام می‌گیرد [۲]. در نظریه‌های انجام شده با هواپیماهای با بال ثابت، معمولاً پرواز در یک ارتفاع ثابت از سطح دریا انجام می‌گیرد [۳۰].

پرواز در ارتفاع ثابت از سطح دریا (شکل ۲- ۴ الف) (پرواز بارو متریک) یا پرواز در ارتفاع ثابت از عوارض زمین (شکل ۲- ۴ ب) (پرواز آلتیمر) انجام می‌گیرد [۳۳].

ارتفاع به طور پیوسته توسط ارتفاع سنج رادیویی یا بارومتري ثبت می‌شود. خطوط پرواز به صورت موازی با هم و در حد امکان عمود بر روند اصلی زمین‌شناختی ناحیه است [۳۱].

روش معمول در بررسی یک منطقه خطوط پرواز به طور موازی است. (شکل ۲- ۴ ج) که ممکن است در هر مکان بسته به توپوگرافی، پوشش گیاهی و کیفیت جزئیات مورد نظر، این خطوط ۱۰۰ متر تا چند کیلومتر فاصله داشته باشد. جهت خطوط پرواز تا حدودی به روند زیرسطحی توده بستگی دارد [۳۰]. انتخاب فواصل بین خطوط پرواز بر اساس شکل، ابعاد و عمق هدف مورد مطالعه صورت می‌گیرد [۳۱].

در برداشت‌های هوابرد علاوه بر پوشش خط اصلی، از تعدادی خط پرواز کنترل‌کننده هم استفاده می‌شود.



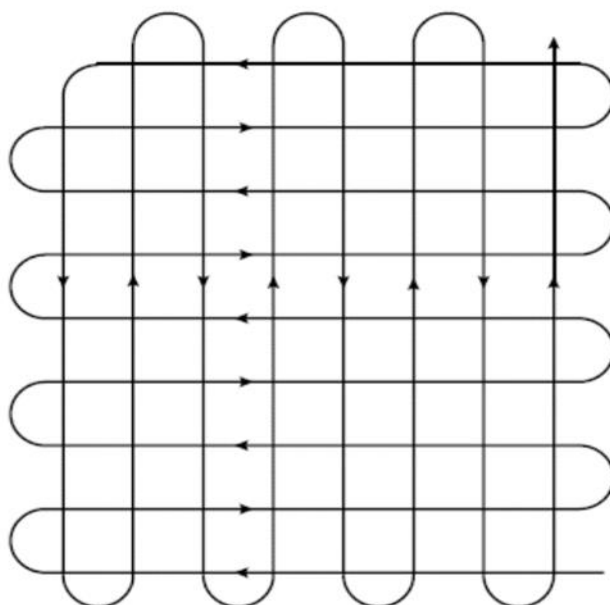
شکل ۲ - ۴: انواع خطوط پرواز در مغناطیس سنجی هوایی [۳۰]:

الف - ارتفاع ثابت از سطح دریا

ب - ارتفاع ثابت از سطح زمین

ج - الگوی پرواز شامل خطوط موازی و متقاطع

شکل (۲-۵) مسیر ایده آل از خطوط پرواز را نشان می دهد.



شکل ۲- ۵: الگوی ایده آل پرواز [۳۱]

۲- ۱- ۶ دستگاه‌های اندازه‌گیری مغناطیسی سنجی

- قدیمی‌ترین دستگاه اندازه‌گیری ترازوی اشمیت می‌باشد
- مغناطیس‌سنج فلاکس گیت: برای اندازه‌گیری مؤلفه قائم میدان
- دستگاه پروتون، تلمبه نوری (بخار قلیایی) و اسکویید برای اندازه‌گیری میدان کل

۲- ۱- ۷ دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی هوایی

به دو دلیل حساسیت مغناطیس‌سنج‌های هوابرد معمولاً بیش از آن‌هایی است که در اکتشافات مغناطیس زمینی به کار می‌رود. [۳۱]

- هزینه زیاد هواپیما و فضای کافی برای نصب دستگاه‌های هوابرد ایجاب می‌کند که عملاً دستگاه‌های مغناطیس‌سنج پیشرفته‌تری نسبت به دستگاه‌های مغناطیس‌سنج قابل حمل زمینی به کار گرفته شود.

- حساسیت بالای مغناطیس‌سنج‌های هوابرد یکی از الزامات اندازه‌گیری مغناطیسی در چند صد فوتی بالای سطح زمین است؛ درحالی‌که چنین حساسیتی معمولاً برای اندازه‌گیری‌های زمینی غیرضروری و حتی نامطلوب است.

۲- ۱- ۸ مزایا و معایب برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد

از جمله روش‌های اکتشافی است که امکان اجرای آن‌ها در مناطق وسیع و صعب‌العبور و در مدت‌زمانی کوتاه میسر است. از آنجایی‌که سرعت برداشت نسبت به وسعت منطقه زیاد است؛ این برداشت‌ها مقرون به صرفه هستند؛ بنابراین از این روش‌ها به منظور اکتشافات منطقه‌ای یا پی‌جویی استفاده می‌شود. از سوی دیگر اطلاعات جمع شده توسط روش‌های ژئوفیزیک هوابرد به شکل همگن و متوالی (پیوسته) قرار دارند؛ در صورتی‌که ماهیت همگن بودن خواص فیزیکی در روش‌های ژئوفیزیک زمینی شبیه ژئوفیزیک هوابرد نبوده و داده‌ها به صورت منقطع برداشت می‌شوند [۳۳]

به عنوان نتیجه‌گیری می‌توان گفت:

سرعت پیمایش بالا، مدت زمان پیمایش کوتاه، پیمایش وسیع، هزینه پایین و مقرون به صرفه، کاهش تأثیرپذیری از عوارض سطحی، پیمایش در شرایط نامناسب توپوگرافی و کاهش محدودیت‌های طبیعی.

۲-۲ روش‌های الکتریکی

۲-۲-۱ مقدمه

برداشت‌های الکتریکی روش‌های متنوع و گوناگونی دارد که در آن‌ها از میدان الکتریکی و الکترومغناطیسی طبیعی زمین (روش‌های غیرفعال) و نیز تزریق جریان (روش‌های فعال) به زمین استفاده می‌شود. روش‌های غیرفعال شامل پتانسیل خودزا، تلوریک و مگنوتلوریک و روش‌های فعال که تنوع بیشتری دارند، شامل روش‌های پتانسیل، مقاومت‌ویژه، پلاریزاسیون‌القایی، رادار نفوذ به زمین و الکترومغناطیس است [۳۲].

پایه بیشتر روش‌های الکتریکی، تعبیر رسانایی الکتریکی سنگ‌ها و مواد مورد تجسس است. این روش‌ها کاربرد وسیعی در اکتشاف کانسارهای فلزی دارند. دارای مجموعه متنوعی از اندازه‌گیری‌ها که حاصل انتشار میدان‌های الکتریکی و الکترومغناطیس است، می‌باشد [۳۲].

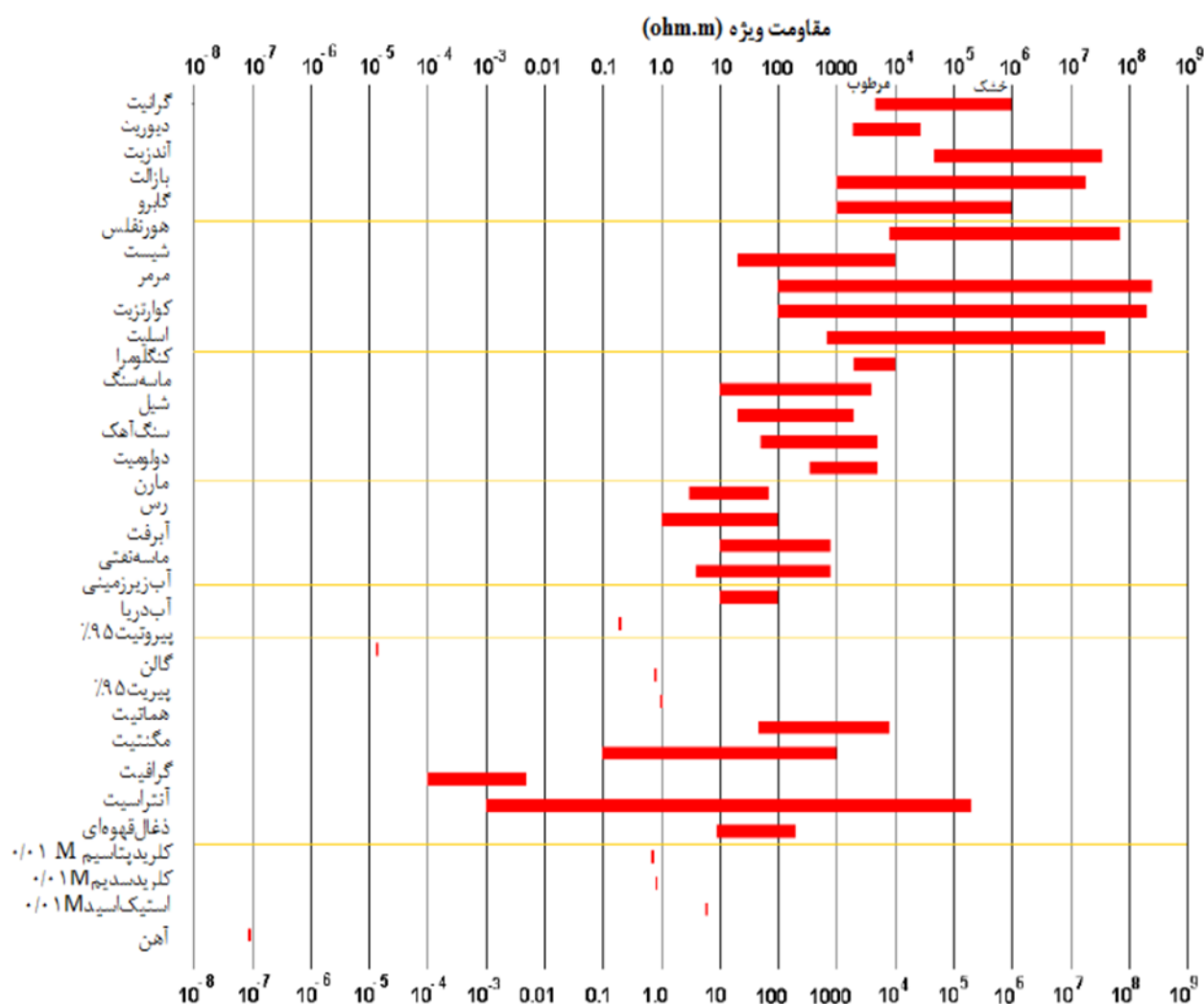
روش‌های الکتریکی زمین نشان داده که یک ابزار مفید و مؤثر در اکتشاف منابع معدنی (فلزی و غیرفلزی) است. مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی از روش‌هایی هستند که در برنامه‌های اکتشاف مواد معدنی نقش بسزایی دارند؛ به‌ویژه کانسارهای سنگ معدن دارای روباره زیاد و زمین‌شناسی پیچیده هستند [۲۰].

۲-۲-۲ رسانندگی و مقاومت‌ویژه کانی‌ها و سنگ‌ها

گسترده مقاومت‌ویژه مواد موجود در زمین (شکل ۲-۶) بسیار زیاد است؛ (از $10^{-8} \times 1,6$ تا 10^{16} اهم متر). به طور متوسط سنگ‌های آذرین بیشترین مقاومت‌ویژه را دارند و سنگ‌های رسوبی بسته به درجه تخلخل، نوع و مقدار الکترولیت موجود در خلل و فرج آن‌ها می‌توانند مقاومت‌ویژه کمتری داشته باشند. مقاومت‌ویژه سنگ‌های دگرگونی بین سنگ‌های آذرین و رسوبی قرار دارد، ولی همپوشانی زیادی دارند. سن سنگ نیز در مقدار مقاومت‌ویژه آن مؤثر است. در واقع با افزایش سن سنگ امکان پر شدن فضاهای خالی سنگ به واسطه تبلور کانی‌ها، افزایش تراکم و در نتیجه کاهش پارامترهای مؤثر روی مقاومت‌ویژه مانند تخلخل و مقدار سیال درون سنگ وجود دارد [۳۲]. همچنین مقاومت‌ویژه سنگ‌ها به شدت تحت تأثیر آب‌های زیرزمینی است. مواد معدنی که ماتریس سنگ را تشکیل می‌دهند، به طور کلی رسانای ضعیف‌تری نسبت به آب زیرزمینی است،

بنابراین رسانایی با مقدار آب زیرزمینی موجود در آن افزایش می‌یابد. رسانایی سنگ متناسب با رسانایی آب زیرزمینی است که کاملاً متغیر است. چون به غلظت و نوع مواد معدنی محلول و نمک در سنگ بستگی دارد [۳۰].

در سنگ‌های رسوبی، مقاومت‌ویژه سیال درون سنگ از اهمیت بیشتری نسبت به سنگ میزبان برخوردار است. [۳۲]



شکل ۲ - ۶: مقادیر مختلف مقاومت ویژه برای چند نمونه سنگ، کانی و خاک [۳۴]

۲ - ۳ مقاومت ویژه الکتریکی

مقاومت ویژه الکتریکی جزو روش های الکتریکی مصنوعی است؛ که به بررسی مقاومت ویژه زمین با استفاده از اتصال جریان الکتریکی و سنجش پتانسیل به وجود آمده در آن می پردازد.

روش های مقاومت ویژه الکتریکی از اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی شروع شد و از سال ۱۹۷۰ با توجه به پردازش های رایانه ای که برای تحلیل داده های آن به کار گرفته شد، گسترش یافت. در مطالعات مهندسی برای شناخت حفره های زیرسطحی، گسل ها، درزه ها و منابع آلوده کننده آب و خاک و همچنین در کاوش های باستان شناسی و بسیاری مسائل دیگر مورد استفاده قرار می گیرد [۳۲].

مقاومت، سهولت یا دشواری نسبی جریان های الکتریکی را بررسی می کند. مقاومت الکتریکی مواد بستگی به رسانایی یا نارسانایی آن ها دارد. به طوری که یک ماده نارسانا مقاومت خاصی در برابر جریان الکتریکی دارد (مقاومت بالا). میزان مقاومت مواد در برابر جریان الکتریکی، میزان مقاومت آن ماده نامیده می شود. به گونه ای که اگر ماده ای اجازه دهد جریان الکتریکی به راحتی و سریع از درونش عبور کند، نشان از مقاومت بسیار کم ماده می باشد. همچنین گفته می شود این ماده رسانا است. به عبارت دیگر، سطح هدایت مشخصی دارد که قابل اندازه گیری است [۱].

مقاومت ویژه الکتریکی بیشترین کاربرد ژئوفیزیکی در نقشه برداری عوارض و ویژگی های زیرسطحی و تغییرات زمین شناسی را دارد. مقاومت الکتریکی با مطالعه ی ماهیت جریان الکتریکی در زمین و توزیع مواد معدنی سولفیدی زیر سطح را تشخیص می دهد. زیرا به طور منحصر به فرد قادر به مشاهده و بررسی طیف وسیعی از اندازه هاست [۲۱].

۲ - ۳ - ۱ اصول روش مقاومت ویژه الکتریکی

نظریه های مقاومت الکتریکی شامل اندازه گیری پراکندگی مقاومت ناهمگنی های زیرسطحی است. جریان الکتریکی در زمین ایجاد می شود و باعث ایجاد یک جریان ثابت در زمین می شود. پتانسیل های اندازه گیری

شده، با ارائه اطلاعات در مورد خصوصیات الکتریکی آنها، ویژگی‌های سطح زیرین را اندازه‌گیری می‌کنند.

[۲۱]

برای سادگی همه لایه‌ها را افقی فرض می‌کنیم:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (۲ - ۸)$$

R مقاومت الکتریکی، A سطح مقطع، L طول

مقاومت الکتریکی $R (\Omega)$ به صورت $(۲ - ۹)$ به دست می‌آید:

$$R = \frac{V}{I} \quad (۲ - ۹)$$

که V پتانسیل، I جریان است.

۲-۳-۲ روش‌های برداشت مقاومت ویژه الکتریکی

برای ترسیم ساختارهای مقاومت ویژه الکتریکی زمین، دو روش اصلی وجود دارد. [۱]

- روش پروفیل زنی

- روش سونداژ زنی

در هر دو روش از دو جفت الکتروود استفاده می‌شود. یک جفت برای تزریق جریان و یک جفت برای اندازه‌گیری پتانسیل.

در برداشت‌های سونداژ زنی به بررسی عمقی تغییرات مقاومت ویژه اندازه‌گیری می‌شود. جریانی که در عمق عبور می‌کند، به فاصله الکتروودهای جریان بستگی دارد و می‌توان با تغییر فاصله الکتروودهای جریان، میزان جریان عبوری در عمق را کنترل کرد [۱]، که عمق نفوذ جریان الکتریکی و بنابراین عمق زمین مورد بررسی تابعی از فاصله الکتروودی هر آرایه است [۳۲]. در این روش از یک آرایش الکتروودی قابل گسترش با یک مرکز

ثابت استفاده می‌شود. با افزایش فاصله الکترودها جریان بیشتری از عمق بیشتری عبور می‌کند بنابراین مقاومت ویژه لایه‌های عمیق‌تر، تأثیر بیشتری بر مقاومت ویژه ظاهری خواهد گذاشت.

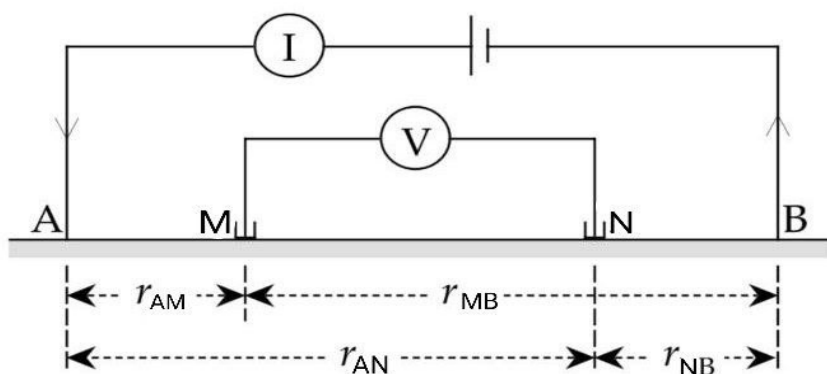
اندازه‌گیری را از کوتاه‌ترین فاصله ممکن الکترودهای جریان آغاز می‌کنند و به تدریج این فاصله را افزایش می‌دهند [۳۲].

از پروفیل‌زنی برای اندازه‌گیری تغییرات جانبی و عمودی مقاومت ویژه استفاده می‌شود. در این روش فواصل بین الکترودها ثابت است و اندازه‌گیری مقاومت با جابجایی کل آرایه در امتداد یک پروفیل می‌توان تغییرات جانبی مقاومت ویژه ظاهری را به موازات سطح را به دست آورد [۱]. پروفیل‌زنی مقاومت ویژه در اکتشاف معدن یک روش کم هزینه نسبت به سونداژزنی برای تهیه نقشه‌های مقاومت ویژه ظاهری می‌باشد [۳۲].

۲-۳-۳ آرایه‌های الکترودی

نحوه قرارگیری الکترودها نسبت به هم را آرایه می‌گویند. چندین آرایه الکترودی برای اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه و قطبش‌القایی استفاده می‌شود؛ که انتخاب هر کدام به هدف جست‌وجو، جنبه‌های زمین‌شناسی زیر سطح، اقتصادی بودن و... بستگی دارد [۲۱]. در هر آرایه چهار الکتروود استفاده می‌شود؛ اما هندسه و فاصله آن‌ها متفاوت است [۳۰]. تفکیک و عمق بررسی به جداسازی و هندسه الکترودها بستگی دارد. [۱] برای اندازه‌گیری راحت‌تر و سریع‌تر می‌توان از آرایه‌های متقارن و ساده‌تری استفاده کرد [۳۲].

در مطالعات مقاومت ویژه از دو الکتروود (A, B) برای تزریق (تأمین) جریان الکتریکی به زمین استفاده می‌شود و دو الکتروود گیرنده (M, N) اختلاف پتانسیل را در سطح زمین اندازه‌گیری می‌کنند. شکل (۲ - ۷) آرایه چهار الکتروودی را نشان می‌دهد. در بیشتر آرایه‌ها همه الکترودها در یک امتداد قرار می‌گیرند [۳۰].



شکل ۲-۷: شکل کلی از چهار الکترود برای اندازه‌گیری مقاومت،

یک جفت الکترود جریان (A, B) و یک جفت الکترود پتانسیل (M, N) [۳۲]

معادله (۲-۱۰) معادله مهم برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایه الکترودی است.

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (۲-۱۰)$$

که k از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$k = \frac{4\pi}{\frac{1}{r_{MA}} + \frac{1}{r_{MB}} - \frac{1}{r_{NA}} - \frac{1}{r_{NB}} - \frac{1}{r_{MA}} - \frac{1}{r_{MB}} + \frac{1}{r_{NA}} + \frac{1}{r_{NB}}} \quad (۲-۱۱)$$

که در آن V اختلاف پتانسیل بین دو الکترود M, N و I شدت جریان ارسالی به زمین از طریق الکترودهای A, B و k فاکتور هندسی آرایه الکترودی است.

برای انتخاب هر آرایه در اندازه‌گیری همزمان پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه ظاهری؛ باید با تکیه بر موارد زیر انجام شود [۳۲]:

– تجهیزات اندازه‌گیری در دسترس

– نسبت سیگنال به نوفه

– در اجرا و برداشت‌های صحرائی

– اثر جفت EM

– زمین شناسی و کانی سازی (توپوگرافی محل، نوع سنگ ها از نظر مقاومت، ماهیت، شکل هندسی، عیار

احتمالی و عمق بررسی)

در ادامه به بررسی متداول ترین آرایه های الکترودی و برخی مزایا و معایب آن پرداخته می شود [۳۲، ۲۱].

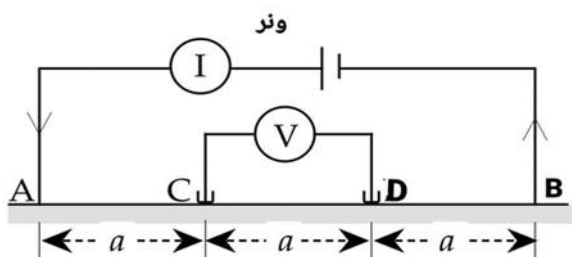
• آرایش ونر^۱

معادله:

$$\rho = 2 \pi \frac{V}{I} \quad (۲ - ۱۲)$$

مزایا: قدرت تفکیک قائم بالا، حساس به تغییرات عمودی، سادگی هندسی از نظر اجرا، مناسب پروفیل زنی

معایب: حساس به ناهمگونی جانبی مقاومت ویژه، سختی کار در اجرا، عمق نفوذ جریان الکتریکی کم



شکل ۲ - ۸: شکل شماتیک آرایش ونر و نحوه قرارگیری الکترودهای جریان و پتانسیل [۳۰]

• آرایش شولومبرژه^۲

معادله:

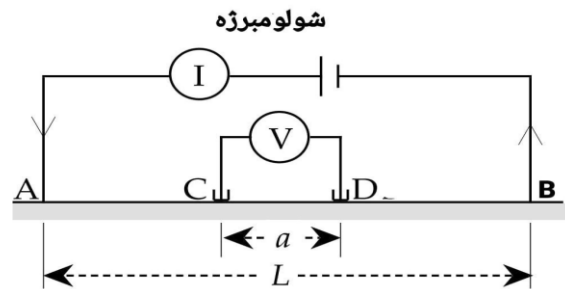
$$\rho = \pi \frac{V}{I} n (n + 1) a \quad (۲ - ۱۳)$$

مزایا: حساس به تغییرات عمودی، مناسب برای سونداژزنی

¹ Wenner

² Schlumberger

معايب: عمق نفوذ متوسط



شکل ۲-۹: شکل شماتیک آرایش شولومبرژه ونحوه قرارگیری الكترودهای جریان و پتانسیل [۳۰]

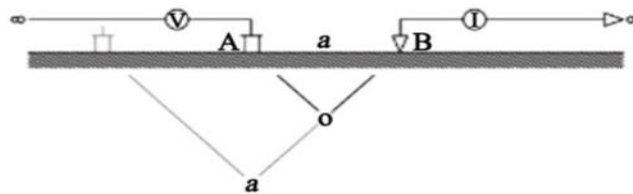
• آرایش قطبی - قطبی^۱

معادله:

$$\rho = 2 \pi \frac{V}{I} \quad (۲-۱۴)$$

مزایا: گسترده‌ترین پوشش افقی، عمیق‌ترین عمق تجسس

معايب: سایر منابع الكتريکی به راحتی می‌توانند داده‌ها را تحت تأثیر قرار دهند،



شکل ۲-۱۰: شکل شماتیک آرایش قطبی - قطبی و نحوه قرارگیری الكترودهای جریان و پتانسیل [۳۱]

• آرایش قطبی - دوقطبی^۲

معادله:

¹ Pole - pole

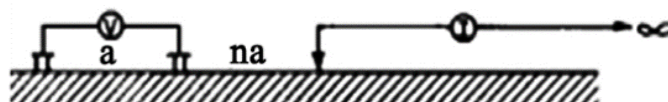
² Pole - Dipole

$$\rho = 2 \pi V / I n (n+1) a \quad (2-15)$$

مزایا: شناسایی بهتر هدف، مناسب برای اهداف عمیق، پوشش افقی خوب، قدرت نفوذ جریان بالا،

معایب: نامناسب برای تفکیک قائم، نامتقارن بودن آرایه باعث جابجایی بی‌هنجاری IP نسبت به محل کانسار،

تفسیر پیچیده



شکل ۲-۱۱: شکل شماتیک آرایش قطبی - دوقطبی ونحوه قرارگیری الکترودهای جریان و پتانسیل [۲۱]

• آرایش دوقطبی - دوقطبی^۱

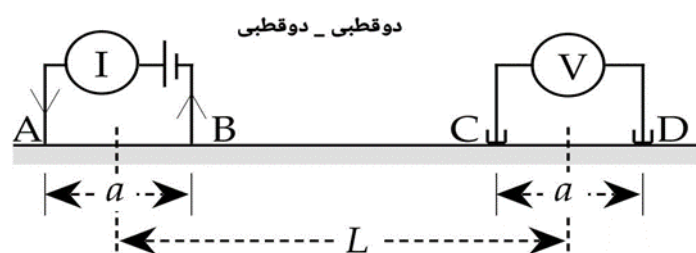
معادله:

$$\rho = \pi V / I (n+1) (n+2) a \quad (2-16)$$

مزایا: عمق نفوذ جریان بالا، مناسب در پروفیل‌زنی، دستیابی آسان به داده‌های میدانی در منطقه حساس‌ترین

آرایه به ساختار سه‌بعدی

معایب: تفکیک قائم ضعیف،



شکل ۲-۱۲: شکل شماتیک آرایش دوقطبی - دوقطبی ونحوه قرارگیری الکترودهای جریان و پتانسیل [۳۰]

در این پژوهش از آرایه دوقطبی - دوقطبی استفاده شده است. از این نوع آرایش برای مطالعه بررسی تغییرات

و گسترش بی‌هنجاری در عمق و به دست آوردن شبه مقطعی از IP و مقاومت‌ویژه ظاهری در مسیر یک

¹ Dipole - Dipole

پروفیل استفاده می‌شود. در این نوع آرایش هر چهار الکترود A، B، C، D در امتداد یک پروفیل قرار داشته و عملاً فاصله الکترودهای فرستنده AB مساوی الکترودهای گیرنده بوده و در هر اندازه‌گیری الکترودهای AB ثابت می‌باشد. و الکترودهای MN در امتداد پروفیل حرکت می‌کند؛ در نتیجه اندازه‌گیری برای عمق‌های مختلف انجام می‌گیرد.

۲-۳-۴ کاربرد های اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی

از برداشت‌های مقاومت ویژه اغلب در مرحله تفضیلی و نیمه تفضیلی استفاده می‌شود. همچنین این روش به طور گسترده در زمین‌شناسی مهندسی و اکتشاف آب استفاده می‌شود [۳۲].

امروزه در مطالعات اکتشاف معدن، از روش مقاومت ویژه بیشتر به عنوان روش مکمل در کنار روش‌هایی مانند قطبش‌القایی استفاده می‌شود، زیرا عیار و گستردگی کانی‌های رسا اغلب به گونه‌ای است که نمی‌توانند مقاومت ویژه زمین‌های مقاوم را به طور چشمگیری کاهش دهند [۳۲].

۲-۳-۵ محدودیت‌های روش مقاومت ویژه الکتریکی

- توپوگرافی و اثر تغییرات مقاومت ویژه مرتبط با ناهمگونی لایه‌های نزدیک به سطح از جمله هوازگی لایه‌ها موجب پنهان ماندن اثر مقاومت ویژه لایه‌های عمیق‌تر می‌شود.
- عمق نفوذ به مقدار توان بیشینه الکتریکی قابل تولید و فضای مورد نیاز برای باز کردن سیم‌های فرستنده و جریان الکتریکی وابسته است که به این ترتیب عمق بررسی محدود می‌شود.
- تفسیر داده‌ها اغلب دارای ابهام است.
- پاسخ روش اغلب به ساختارهای زمین‌شناسی ساده محدود می‌شود و در مناطقی که پیچیدگی ساختاری دارند؛ تفسیر داده‌ها با مشکل روبه‌رو می‌شود [۳۲].

۲-۳-۶ مزایای برداشت با روش مقاومت سنجی الکتریکی

- حساسیت کمتر نسبت به نویز

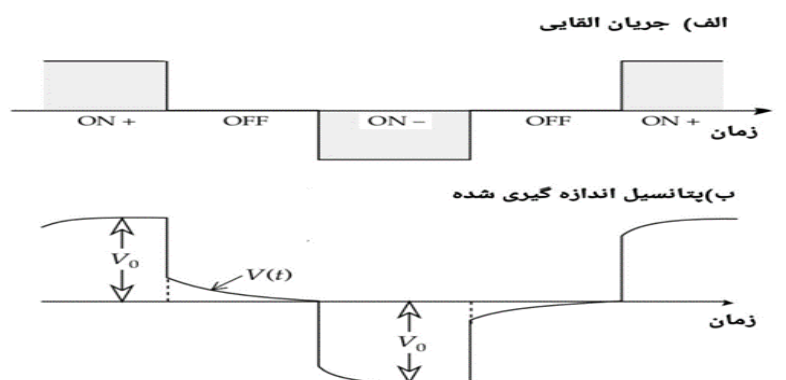
- مناسب برای لایه‌های کم عمق و ناپیوستگی‌های قائم

- سریع و نسبتاً ارزان [۳۲]

۲-۴ قطبش القایی (IP)^۱

با تزریق جریان الکتریکی به زمین (جریان القایی به شکل موج مربعی است) (شکل ۲-۱۳ الف) در برخی نقاط تمرکز بارهای الکتریکی ایجاد می‌شود. با قطع جریان ورودی؛ این بارها به توزیع اولیه خود بازمی‌گردند. ولی پتانسیل الکتریکی تداوم داشته و به یک باره صفر نمی‌شود. همچنین با اتصال مجدد جریان، دامنه پتانسیل پس از یک افزایش ناگهانی به طور تدریجی افزایش یافته؛ تا به مقدار نهایی خود برسد. (شکل ۲-۱۳ ب)؛ و قطبش القایی حاصل می‌شود [۳۰].

برخی از سنگ‌ها و مواد معدنی سازنده سنگ، در صورت وجود میدان الکتریکی، دچار قطبش الکتریکی می‌شوند [۱]. روش قطبش القایی برای نقشه‌برداری از تغییرات شارژ پذیری مواد بوده و می‌تواند سنگ‌ها و عوامل کوچکی که در روش مقاومت‌ویژه از دست رفته‌اند را شناسایی کند [۲۱]. این روش تنها روش ژئوفیزیکی است که توانایی تشخیص مواد معدنی رسانا یا نیمه‌رسانای منتشر شده در زمینه مقاومت الکتریکی بالا را دارد [۲۰].



شکل ۲-۱۳: اندازه‌گیری قطبش القایی در یک نقطه [۳۰]

الف) وصل و قطع جریان

ب) تغییرات اختلاف پتانسیل در اعمال جریان و پس از قطع آن

¹ Induced polarization (IP)

در سنگ‌ها و مواد معدنی انرژی به صورت شیمیایی، مکانیکی و الکتریکی ذخیره می‌شود؛ که قطبش‌القایی به صورت شیمیایی بوده و از دو عامل دیگر مهم‌تر است. این قطبش به دو علت به وجود می‌آید [۱] :

- تغییر تحرک یون‌ها در مایعات موجود در سنگ‌ها

- تغییر در حرکت الکترون‌ها در مواد معدنی فلزی

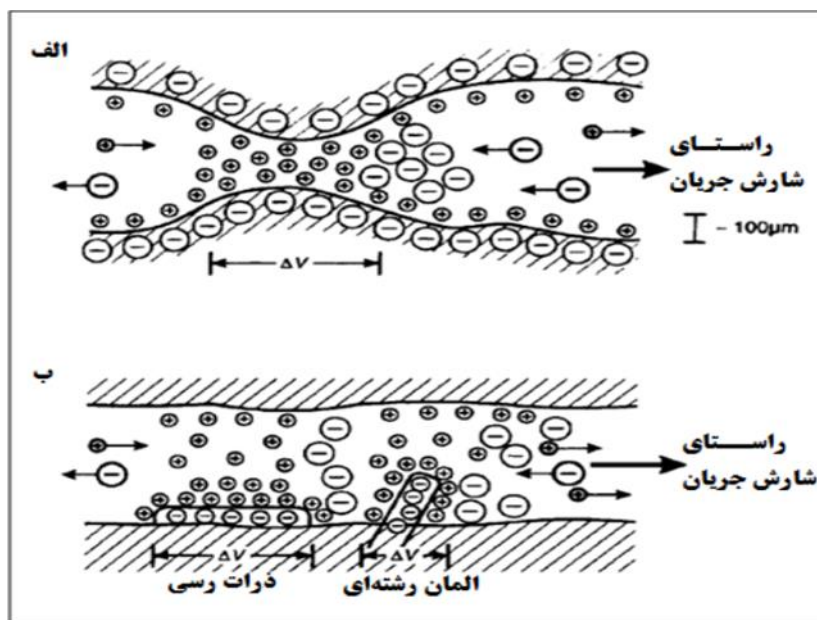
اولین عامل غشایی یا الکترولیتی و دومین عامل پلاریزاسیون الکترودی یا ولتاژ اضافی نامیده می‌شود. اولین عامل بوجود آورنده اثر زمینه و دومین عامل که با مقدار کانی‌های فلزی در سنگ‌ها در ارتباط است و معمولاً مقدار آن از عامل اول بیشتر است، به وجود آورنده پاسخ در مناطق اکتشافی است. اثر این دو عامل قابل تفکیک از هم نیست.

۲- ۴- ۱ قطبش الکترولیتی (غشایی)

قطبش غشایی که به طور معمول IP زمینه را در محدوده اکتشافی تشکیل می‌دهد، با کانی‌های غیرفلزی ارتباط دارد [۳۲].

در زمین معمولاً تعادلی بین بارهای الکتریکی در سطح ذرات کانی‌ها و یون‌های موجود در آب درون خلل و فرج وجود دارد. مواد معدنی موجود در یک سنگ به طور کلی دارای بار سطحی منفی هستند بنابراین یون‌های مثبت مایع را جذب می‌کنند. این بار تا روی دانه جمع و منافذ را مسدود می‌کنند؛ وقتی ولتاژ خارجی اعمال می‌شود؛ یون‌های مثبت می‌توانند از طریق ابر الکترونی بار مثبت عبور کنند اما یون‌های منفی جمع می‌شوند، مگر این که اندازه منافذ به اندازه کافی بزرگ باشد؛ تا بتواند انسداد را دور بزند. این پدیده مانند غشایی عمل می‌کند و اجازه عبور یک نوع یون را می‌دهد. یون‌های منفی جمع شده و توزیع یونی قطبی در سنگ به وجود می‌آید. این عمل بیشتر در سنگ‌های حاوی رس اتفاق می‌افتد. زیرا اندازه دانه‌ها و منافذ کوچک است و دانه‌های رسی یون‌ها را در سطح خود جذب می‌کنند و نسبتاً شدید بار دارند [۳۰]. (به‌طور طبیعی یون‌های مثبت آب سعی در جمع شدن در اطراف سطح ذرات با بار منفی (کانی‌های رسی) داشته و یون‌های منفی آب از آن دور می‌شوند. زمانی که الکترودهای جریان مستقیم تزریق نمایند، تعادل زمین برهم‌خورده و یون‌های

مثبت آب به سمت قطب منفی و یون‌های منفی به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند. با قطع جریان، یون‌ها به وضعیت اولیه بازمی‌گردند): (شکل ۲ - ۱۴).



شکل ۲ - ۱۴: چگونگی گسترش قطبش القایی غشایی

الف) تنگ شدگی در قسمتی از کانال ارتباطی

ب) بار منفی ذرات رسی والمان رشته‌ای موجود در دیواره کانال ارتباطی [۳۴]

پس قطبش غشایی به دو علت اتفاق می‌افتد: یکی تنگ شدن مقطع کانال‌های ارتباطی خلل و فرج و دیگری وجود کانی‌های رسی در این کانال‌ها [۳۲].

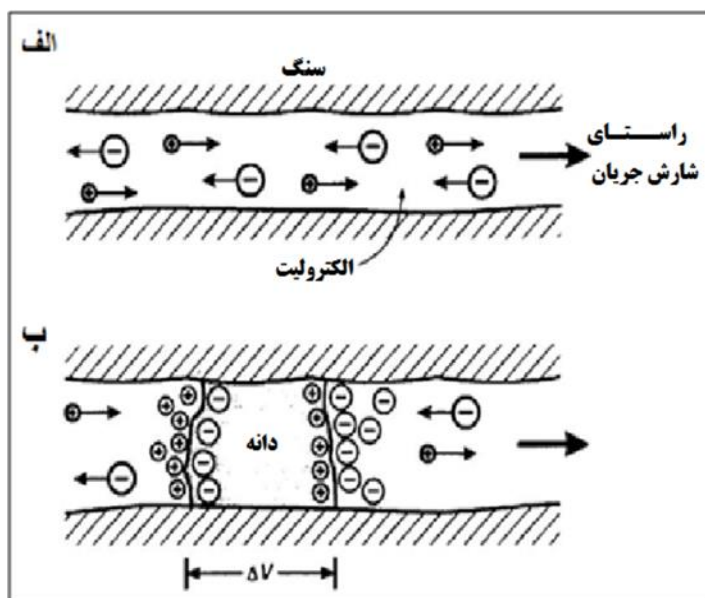
به عنوان نتیجه می‌توان گفت:

- میزان پلاریزاسیون با تراکم کانی‌های رسی به طور یکنواخت زیاد نمی‌شود، بلکه پس از رسیدن به یک حداکثر، دوباره کاهش می‌یابد.
- اثر غشایی با شوری مایع داخل خلل و فرج کاش می‌یابد.

- پلاریزاسیون غشایی در سنگ هایی که دارای کانن های رسی با تراکم نسبتاً کم ($\geq 10\%$) و آب درون آن ها دارای شوری کمی است، ماکزیمم مقدار خواهد بود.

۲-۴-۲ قطبش الکترودی (فلزی)

قطبش الکترودی (شکل ۲-۱۵) اثر مشابهی است که در حضور مواد معدنی فلزی در سنگ رخ می دهد. در این حالت بخشی از عبور جریان به صورت الکترودی و بخش دیگر به صورت الکترولیت است. دانه های فلزی با هدایت الکترونیکی بار را هدایت می کنند، درحالی که هدایت الکترولیتی در اطراف آن ها صورت می گیرد. با این حال، جریان الکتریکی از طریق فلز بسیار سریع تر از جریان یون ها در الکترولیت است، بنابراین بارهای مخالف در سطح رو به جلوی یک دانه فلزی جمع می شود؛ که مسیر جریان یونی را از طریق مایع منافذ مسدود می کند. با وصل جریان، مدتی یک ولتاژ اضافی ایجاد می شود: که اندازه آن متناسب با غلظت فلز است. پس از قطع جریان یون های جمع شده به وضع اولیه خود برمی گردند و ولتاژ اضافی به آرامی تحلیل می رود [۳۰].



شکل ۲-۱۵: شکلی شماتیک از قطبش الکترودی

الف) شارش جریان در کانال باز

ب) شارش جریان در کانال ارتباطی سنگ [۳۴]

بزرگی و شدت قطبش الکتروودی به مقدار ولتاژ تزریقی، نوع و درصد ماده معدنی، اندازه دانه‌ها، تخلخل، مقاومت و نوع الکتروولیت و مقاومت ویژه سنگ‌های دربرگیرنده بستگی دارد.

۲-۴-۳ روش‌های اندازه‌گیری IP

اثر IP را می‌توان در دو حوزه فرکانسی و زمانی اندازه‌گیری کرد [۱]. در حوزه فرکانسی، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری (p_a) در دو یا چند فرکانس متناوب (معمولاً زیر ۱۰ هرتز) اندازه‌گیری می‌شود و در حوزه زمانی، ولتاژ واپاشی با استفاده از روش‌های مختلف برحسب زمان اندازه‌گیری می‌شود.

در ابتدا و تا سال ۱۹۵۰، تمام اندازه‌گیری‌های قطبش‌القایی را با جریان پیوسته (حوزه زمان) انجام می‌دادند. در سال ۱۹۵۰ پس از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، کولت^۱ و سیگی^۲ اندازه‌گیری IP با جریان متناوب را در فرکانس‌های مختلف (حوزه فرکانس) پیشنهاد کردند. ویت^۳ و نس^۴ استفاده از روش حوزه فرکانس را در برداشت‌های صحرایی و تحقیقات آزمایشگاهی افزایش دادند [۳۲].

الف (اندازه‌گیری در حوزه زمان)

اگر در روش IP ولتاژ تخلیه به عنوان تابعی از زمان اندازه‌گیری شود IP حوزه زمان نامیده می‌شود [۳۳]. از قطع و وصل سریع جریان استفاده می‌شود. روش‌های IP حوزه زمانی معمولاً جریان را به صورت یک موج مربع تزریق می‌کنند. زمانی که جریان به زمین وارد می‌شود، زمین به شکل خازن عمل کرده و بار الکتریکی را ذخیره می‌کند. پس از قطع جریان مدتی طول می‌کشد تا پتانسیل صفر شود [۱]. (ابتدا به یک ولتاژ متوسط رسیده و سپس به تدریج صفر می‌شود). این عمل به عنوان بارپذیری مواد شناخته می‌شود. با قطع جریان میزان قطبش‌پذیری و زمان رسیدن به پتانسیل صفر را اندازه‌گیری می‌کنند. این زمان در مواد مختلف متفاوت است [۳۰]. رایج‌ترین اندازه‌گیری IP در حوزه زمان صورت می‌گیرد.

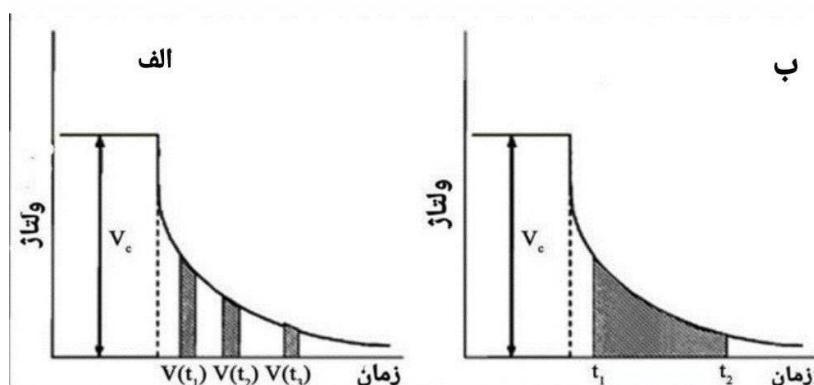
¹ Collett

² Seigel

³ Wait

⁴ Ness

در اندازه‌گیری‌های IP به طور معمول از روش بیان شده در قسمت الف شکل (۲ - ۱۶) مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۲ - ۱۶: اندازه‌گیری در روش حوزه زمان [۳۰]

الف (قطبش القایی ظاهری

ب (بارپذیری

برای اندازه‌گیری درحوزه زمان سه راه داریم :

۱ - درصد IP

ساده‌ترین روش اندازه‌گیری IP در حوزه زمانی عبارت است از نسبت ولتاژ باقی مانده $V(t)$ (در زمان t پس از قطع جریان) به ولتاژ ثابت V_c در زمان برقراری جریان، زمان t ممکن است بین ۰,۱ تا ۱۰ ثانیه باشد. چون مقدار $V(t)$ بسیار کوچک تراز V_c است. نسبت V_t به V_c برحسب میلی ولت به ولت بیان می‌شود.

۲ - انتگرال زمان واپاشی

با استفاده از دستگاه از دستگاه‌های IP می‌توان به انتگرال‌گیری از سطح زیر منحنی واپاشی در زمان‌های خیلی کوتاه پرداخت. با انتگرال‌گیری از چندین نقطه در منحنی واپاشی، مقادیر $V(t_1)$ ، $V(t_2)$ ،... و $V(t_n)$ را به دست می‌آید که از روی آن می‌توان شکل منحنی واپاشی را نیز به دست آورد.

۳ - بارپذیری

متداول‌ترین روش اندازه‌گیری IP در حوزه زمان، قابلیت شارژ (بارپذیری) است [۲۱]. متغیر بودن زمان اندازه‌گیری IP به فرد اجازه می‌دهد که بینشی از انتقال بار و مکانیسم‌های ذخیره‌سازی بار الکتریکی در یک محیط متخلخل به دست آورد که از آن به عنوان بارپذیری یا اثر خازنی ماده مربوط به شارش بار در مواد یاد می‌شود [۱].

در این روش دستگاه اندازه‌گیری مطابق (شکل الف ۲ - ۱۶) به طور خودکار با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در بازه‌های زمانی مختلف و ترسیم منحنی ولتاژ برحسب زمان، مقدار مساحت زیر منحنی را در بازه زمانی خاص و با استفاده از معادله (۲ - ۱۷) به دست آورده و از مقادیر به دست آمده میانگین گرفته و نتیجه را به صورت یک عدد نمایش می‌دهد که این عدد نشان‌دهنده میزان بارپذیری لایه مربوط به یک عمق خاص بوده و برحسب میلی‌ثانیه بیان می‌گردد. در جدول (۲ - ۱) بارپذیری مواد گوناگون جهت استفاده در تفسیر نتایج آمده است.

$$M = 1 (t) dt \frac{1}{V_p} \int_t^t V_s \quad (2 - 17)$$

V_p ولتاژ اولیه، V_s ولتاژ ثانویه، V_t فروپاشی ولتاژ در فاصله زمانی $t_1 - t_2$

واحدهای میلی‌ولت و برولت (mV/B) یا میلی‌ثانیه (ms) برای شارژ پذیری استفاده می‌شود. [۲۱]

با توجه به رابطه (۲ - ۱۷)، بارپذیری عبارت است از مساحت زیر منحنی افت پتانسیل حاصل از عملیات برداشت پس از قطع جریان به مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده، بلافاصله قبل از قطع جریان.

جدول (۲-۱) بارپذیری کانی‌ها، سنگ‌ها و مواد مختلف [۳۲]

نام کانی و سنگ	بارپذیری	نام کانی و سنگ	بارپذیری
مگنتیت	۲,۲	کالکوسیت	۱۳,۲
مس	۱۲,۳	پیریت	۱۳,۴
مالاکیت	۰,۲	گرافیت	۱۱,۲
کوارتزیت	۵ - ۱۲	توف آتش‌فشانی	۸۰۰ - ۳۰۰
ماسه‌سنگ	۳ - ۱۲	آذرین پرکامبرین	۸ - ۲۰
شن	۳ - ۹	آبرفت	۱ - ۴
آب زیرزمینی	۰	گنیس پرکامبرین	۶ - ۳۰
سنگ آهک، دولومیت	۱۰ - ۲۰	گالن	۳,۷
گرانودیویت، گرانیات	۱۰ - ۵۰	هماتیت	۰
کالکوپیریت	۹,۴	بورنیت	۳ - ۶
شیست	۵ - ۲۰	آرژیلیت	۳ - ۱۰

ب) اندازه‌گیری در حوزه فرکانس

در حوزه فرکانسی، اندازه‌گیری‌ها شامل اندازه‌گیری مقاومت در فرکانس‌های مختلف می‌باشد [۲۱]. چون جریان حاصله از IP با جهت جریان تزریقی مخالفت می‌کند، از این رو سبب ایجاد مقاومت مازاد بر مقاومت الکتریکی سنگ‌ها می‌شود. این مقاومت مازاد با افزایش فرکانس جریان تزریقی مرتباً کم می‌شود، زیرا افزایش فرکانس سبب کم شدن مقدار ولتاژ IP می‌شود. معمولاً در سنگ‌هایی که فاقد کانی‌های هادی هستند، IP خیلی کمی ایجاد می‌شود. در نتیجه، اثر ازدیاد فرکانس در کاهش مقاومت ظاهری در حدود ۱ درصد می‌باشد. ولی در سنگ‌هایی که کانی‌های هادی به مقدار قابل ملاحظه‌ای حضور دارند، مقدار IP حاصله نسبتاً زیاد و در نتیجه به ازای هر ده برابری که بر فرکانس جریان تزریقی افزوده شود، مقاومت ظاهری به اندازه ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش نشان خواهد داد.

کاهش درصد مقاومت ظاهری به صورت روابط زیر بیان می‌شوند [۳۲]:

اثر فرکانس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FE = (p_1 - p_2) / p_2 \quad (۱۸-۲)$$

و درصد اثر فرکانس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PFE = 100 FE \quad (۱۹ - ۲)$$

که در آن p_1 و p_2 به ترتیب مقاومت ظاهری را در فرکانس‌های بالا و پایین نشان می‌دهند PFE . دارای واحدهای درصدی است.

برای محاسبه بارپذیری به کمک اثر فرکانس از رابطه (۲ - ۲۰) استفاده می‌شود.

$$M = \frac{FE}{1+FE} \quad (۲۰ - ۲)$$

۲-۴-۴ قطبش القایی طیفی^۱ (SIP)

در سال‌های ۱۹۶۰، پس از موفقیت‌های روش‌های معمول IP در مطالعات اکتشاف معدن، از روش جدیدی برای جداسازی سولفیدها از دیگر مواد رسانا مانند گرافیت و همچنین سولفیدهای دارای ارزش اقتصادی از پیریت، استفاده کردند که این روش، مقاومت‌ویژه موهومی (دامنه و فاز) بود. در این حوزه تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفت که مبنای آن‌ها پارامترهای طیفی بارپذیری و ثابت زمان بود؛ که پاسخ مدل ارائه شده در برداشت‌های صحرایی نیز موفقیت‌آمیز بود. در قطبش‌القایی طیفی مشخصات فرکانسی و یا زمانی پدیده قطبش‌القایی را مطالعه می‌کنند [۳۲].

در قطبش‌القایی طیفی (SIP) جریان را به شکل یک موج سینوسی اعمال می‌کنند؛ تا تعیین کنند دامنه و فاز سیگنال ولتاژ مشاهده شده به عنوان تابعی از فرکانس تزریق تغییر می‌کند [۱]. دستگاه‌های اندازه‌گیری در این روش از فناوری پیچیده‌تری برخوردارند و امکانات حذف هرگونه نوفه در اندازه‌گیری را دارد [۳۲].

در این روش جریان الکتریکی متناوب در چندین فرکانس مختلف به درون زمین (سنگ) فرستاده می‌شود و مقاومت‌ویژه الکتریکی و اختلاف فاز بین جریان الکتریکی و پتانسیل در فرکانس‌های ارسالی اندازه‌گیری می‌شود؛ که نسبت به روش قطبش‌القایی در حوزه زمان، حاوی اطلاعات زیرسطحی کامل‌تری است. مطالعات

¹ Spectral induced polaritation

اخیر نشان داده که داده‌های SIP به هندسه تخلخل و زیرساختارهای درون لایه مرزی سنگ بستگی دارد. به همین دلیل حاوی اطلاعاتی درباره نفوذپذیری سنگ و خواص سیال موجود در منافذ سنگ نیز هست.

۲-۴-۵ مزایا و معایب برداشت با روش IP

از مهم‌ترین مزایای روش قطبش‌القایی کاربرد وسیع آن در اکتشاف کانی‌های سولفیدی پراکنده می‌باشد. همچنین برداشت به روش IP به همراه مقاومت‌ویژه در زمین‌های رسی اطلاعات بسیار خوبی را در اختیار می‌گذارد [۲۲].

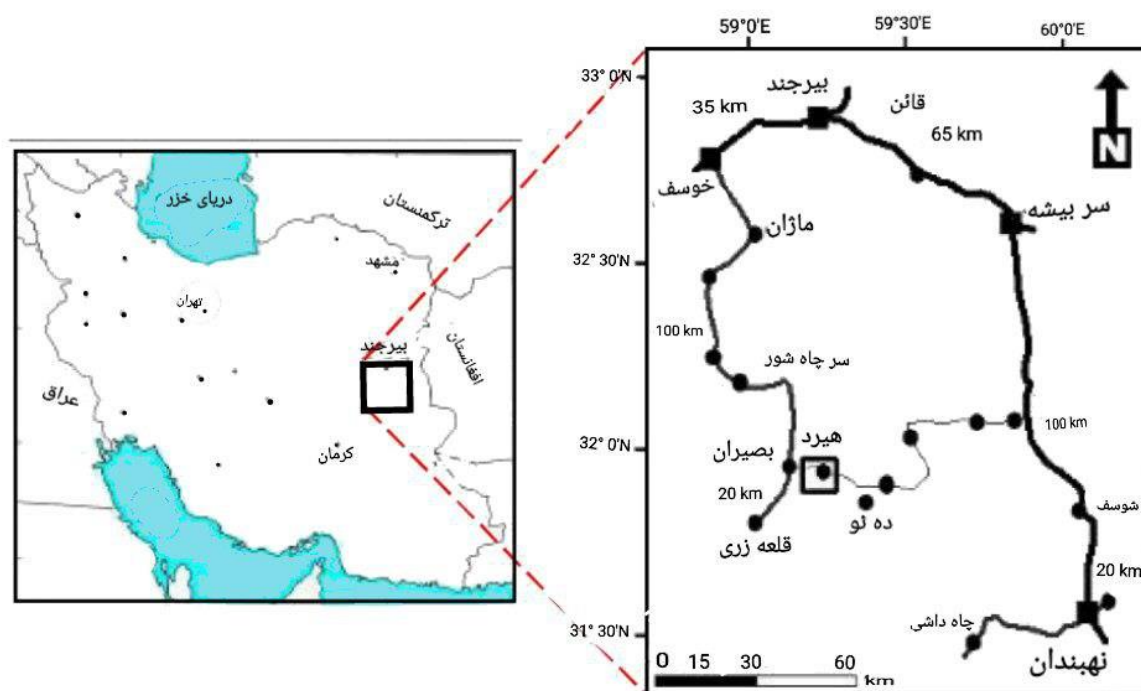
در روش IP جریان از یک چشمه الکتریکی تولید می‌گردد، اما در این حین اثر دیگر چشمه‌ها (پتانسیل طبیعی و جریان‌های تلوریک) بر اندازه‌گیری‌ها تاثیر می‌گذارد، در نتیجه این اثرات از تعیین دقیق ویژگی‌های ساختار زیر سطحی مورد بررسی جلوگیری می‌کند. برخی از اثرات مخرب سبب مخدوش شدن نتایج اندازه‌گیری‌های IP و بزرگ یا کوچک داده‌ها و یا سبب IP منفی می‌شوند. البته IP منفی زمانی ظاهر می‌گردد که شارش جریان خالص کل در زمان قطع جریان، خلاف جهت جریان خارجی باشد که بدین ترتیب باعث ایجاد ولتاژ منفی می‌گردد [۲۲].

فصل سوم

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۳-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مطالعه

محدوده اکتشافی هیرد در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند قرار دارد و در ۸۰ کیلومتری شمال غرب نهبندان در استان خراسان جنوبی و همچنین بین عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 54'$ تا $31^{\circ} 59'$ و طول‌های جغرافیایی $59^{\circ} 8'$ تا $59^{\circ} 15'$ واقع شده است (شکل ۳ - ۱). این ناحیه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران قرار می‌گیرد و از نظر تقسیمات ساختاری در منتهی‌الیه شرق بلوک لوت واقع گردیده است [۲۶].



شکل ۳ - ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه اکتشافی هیرد [۲۷]

۳ - ۲ تقسیمات منطقه هیرد

محدوده معدنی هیرد بر اساس کانی‌زایی و کانی‌شناسی به چهار بخش تقسیم می‌شود که در ادامه به بررسی موقعیت، نوع کانی‌زایی و کانی‌شناسی هر منطقه به صورت مختصر می‌پردازیم [۳۵].

• منطقه اکتشافی یک

منطقه اکتشافی شماره یک در بخش‌های میانی محدوده مطالعاتی واقع شده و از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار است (شکل ۳ - ۲). این منطقه اکتشافی مهم‌ترین بخش کانی‌سازی منطقه است. در این ناحیه زون گسلی به طول بیش از ۴ کیلومتر وجود دارد که روند بخش غربی با بخش شرقی آن متفاوت بوده و تحدیبی به سمت شمال دارد. کانی‌سازی در قسمت جنوبی گسل مشاهده و نوع آن در بخش غربی و شرقی با هم متفاوت است. از آنجایی که کانی‌سازی استوک ورک، کانی‌سازی اصلی محدوده معدنی هیرد است و منشأ محلول ماگمایی کانی‌ساز، توده‌های گرانیتوئیدی نوع I هستند، کانی‌سازی اصلی منطقه تنها در بخش شرقی منطقه اکتشافی یک (به دلیل توده‌های نفوذی I متعدد و کانی‌سازی استوک ورک در این بخش) مشاهده می‌شود. این بخش نزدیک‌ترین مکان به توده‌های منشأ کانی است. رگچه شناسی شامل عمدتاً آرسنوپیریت و پیریت است. کانی‌سازی بخش غربی منطقه اکتشافی یک (در امتداد بخش غربی گسل بزرگ) از نوع اسکارنی مرتبط با زون گسلی است. محلول کانی‌ساز، از توده‌های گرانیتوئیدی نوع I سرچشمه گرفته است و از طریق گسل به سطح راه یافته است. تفاوت کانی‌سازی در قسمت‌های مختلف منطقه باعث شده که کانی‌سازی حالت بی‌نظمی داشته و از نظر عیار غیرمتجانس باشد. کانی‌شناسی بخش غربی شامل: پیریت + آرسنوپیریت ± کالکوپیریت + اکسید آهن ثانویه + تورمالین ± کلریت ± سریسیت ± اپیدوت ± کلسیت ± ولاستونیت ± هورنبلند است.

• منطقه اکتشافی شماره دو

منطقه اکتشافی شماره دو در شمال شرق نقشه، حدفاصل روستای هیرد و منطقه اکتشافی شماره یک قرار گرفته است (شکل ۳ - ۲). کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای مرتبط با زون گسلی است. بزرگ‌ترین زون گسلی این محدوده به طول ۳۰۰ متر و با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر تا ۴ متر درون توده سنگ‌های دیوریتی‌های آتشفشانی در حد آندزیت و لاتیت است که کانی‌سازی مس به صورت کربناته و سیلیکاته در این منطقه به چشم می‌خورد.

• منطقه اکتشافی شماره سه

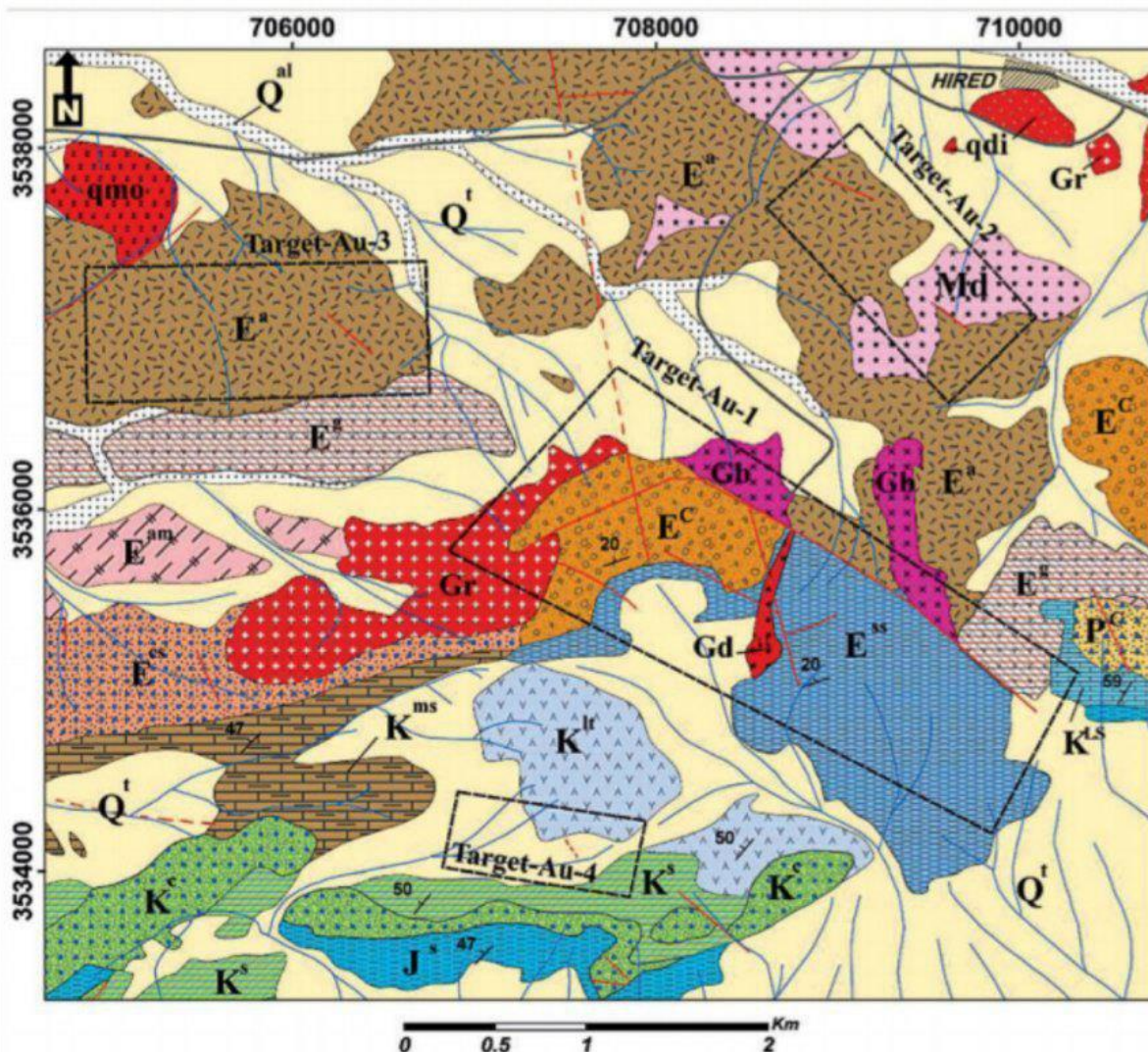
منطقه اکتشافی شماره سه در شمال غرب نقشه و در فاصله چهار کیلومتری جنوب غربی روستای هیرد واقع شده است (شکل ۳ - ۲). کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای درون زون‌های گسلی و به طور محدود جانشینی است. محلول ماگمایی-گرماپی کانی‌ساز از توده‌های گرانیتوئیدی نوع I منشأ گرفته است. کانی‌شناسی این بخش شامل پیریت + آرسنوپیریت $\pm$ کالکوپیریت + اکسید آهن ثانویه + تورمالین $\pm$ کلریت $\pm$ هورنبلند است.

• منطقه اکتشافی شماره چهار

منطقه اکتشافی شماره چهار، در جنوب محدوده معدنی هیرد در امتداد گسلی با راستای شرقی غربی قرار گرفته است. بخش اعظم آن توسط واریزه و آبرفت پوشیده شده است. کانی‌های پیریت + کالکوپیریت + کربنات‌های مس + اکسید و هیدروکسید ثانویه آهن در آن دیده می‌شود.

I - نفوذی‌های سری ایلمنیتی یا احیایی (پذیرفتاری مغناطیسی بیشتر از $SI^{-5} 10^* 70$)

II - نفوذی‌های سری ایلمنیتی یا احیایی (پذیرفتاری مغناطیسی کمتر از $SI^{-5} 10^* 55$)



LEGEND

QUT. Q^{al} : Recent alluvium
 Q^t : Old terraces

PALEOGENE
 E^a : Pyroxene andesite and highly altered intermediate rocks
 E^c : Conglomerate, sandstone, tuff, altered dacite and andesite
 E^{es} : Silicified shale, siltstone and tuff
 E^g : Green andesite and highly altered dacite
 E^{am} : Amygdaloidal andesite, altered andesite, altered rhyolite
 E^{cs} : Conglomerate with interbedded sandstone and altered tuff
 P^c : Conglomerate
CRETACEOUS
 K^{ls} : Limestone and sandy limestone
 K^{ms} : Marly limestone, marl, sandstone and sandy biosparite
 K^{lt} : Limy tuffs and thin bedded limestone
 K^s : Sandstone, sandy limestone, conglomerate and lithic arenite
 K^c : Conglomerate and sandy conglomerate
JU.
 J^s : Shale, sandstone and quartzitic sandstone and siltstone

INTRUSIVE ROCKS

Ilmenite series
 Gr : Granite and microgranite
 Gd : Granite and granodiorite
 qmo : Quartz monzonite
Magnetite series
 qdi : Quartz diorite
 Md : Monzodiorite
 Gb : Gabbro-norite, gabbro-diorite

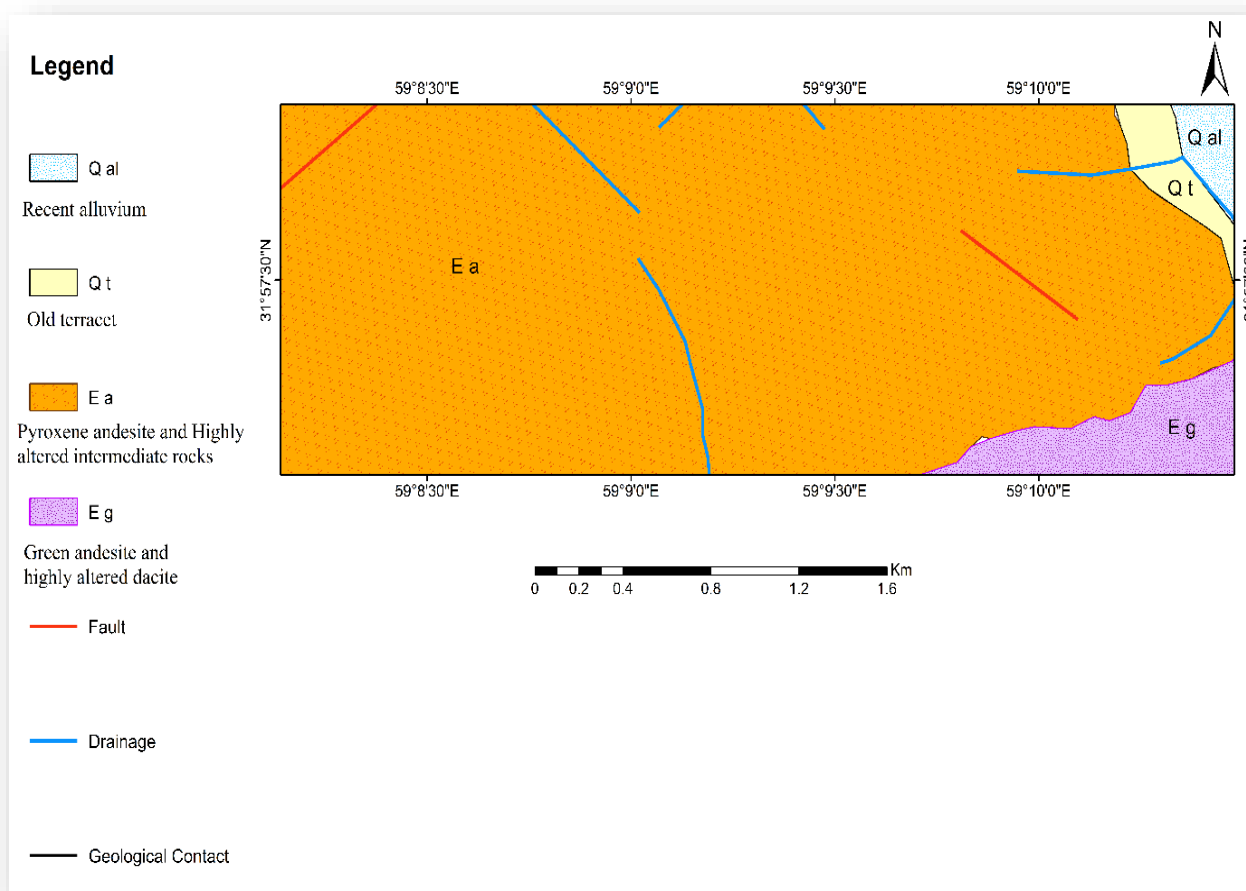
SYMBOLS

Village
 Boundary
 Target Au
 Drainage
 Fault
 Road
 45 | Dip and strike

شکل ۳-۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده معدنی هیرد و نمایش مناطق طلا دار بر روی آن [۲۳]

محدوده مورد بررسی ما منطقه اکتشافی شماره سه می‌باشد، در ادامه جزئیات بیشتری در این خصوص آمده است.

کانسار طلای شماره ۳، محدوده‌ای به وسعت ۲,۵ کیلومترمربع در بخش غربی ناحیه معدنی هیرد را تحت پوشش قرار داده است [۲۷]. هدف معدنی شماره ۳ هیرد تقریباً در مرکز نقشه زمین‌شناسی - معدنی هیرد با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ قرار دارد.



شکل ۳-۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (هیرد ۳) برگرفته از نقشه ۱:۲۰۰۰۰ هیرد

۳-۳ کانی سازی در محدوده هیرد ۳

کانی سازی در محدوده مطالعاتی به شکل رگه - رگچه هایی با ضخامت مختلف در امتداد شکستگی ها و زون های گسله دیده می شود. سنگ دربرگیرنده، تشکیلات آتش فشانی - آذرآواری منطقه بوده و کانه زایی طلا همراه با دگرسانی شدید سیلیسی کربناتی شکل گرفته است. بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، عمده کانی های فلزی شامل پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، استیبنیت، اسفالریت و به ندرت گالن و کالکوپیریت می باشد. کانی سازی در بخش های سطحی، شدیداً اکسیده بوده و گاهی پیریت و آرسنوپیریت های بسیار دانه ریز در حال تبدیل به اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لپیدوکروسیت) مشاهده می شود ولی با افزایش عمق از مقدار کانی های اکسیده کاسته شده و بر مقدار پیریت و آرسنوپیریت افزوده می گردد. طلا در زون های اکسیدی به صورت آزاد و در زون های سولفیدی غالباً همراه با آرسنوپیریت و استیبنیت مشاهده شده است. بر اساس نوع و شدت آلتراسیون و کانی های فلزی تشکیل شده، کانی سازی در محدوده کانسار طلای شماره ۳ هیرد در سه بخش قابل بررسی است [۲۷].

۱) **کانی سازی طلا همراه بارگه های کربناته - سیلیسی:** از مشخصات این کانی سازی شدت زیاد آلتراسیون کربناتی در مقایسه با آلتراسیون سیلیسی و همبستگی بالای طلا با آرسنیک است. عرض پهنه کانی سازی متغیر و بین ۱ - ۲۰ متر اندازه گیری شده است که به دلیل دگرسانی و هوازدگی، رنگ زون کانی سازی در سطح نخودی متمایل به زرد است که گاه به دلیل فراوانی اکسیدهای آهن به قرمز متمایل می شود.

۲. **کانی سازی طلا همراه بارگه های سیلیسی - کربناته:** شدت آلتراسیون سیلیسی، همبستگی زیاد با آرسنیک و آنتیموان از مشخصات این کانی سازی است. زون کانی سازی دارای ضخامت متغیر ۵ - ۱ متر است.

۳. **کانی سازی طلا، سرب و روی همراه بارگه های سیلیسی - کربناته:** این کانی سازی در شرق محدوده اکتشافی و در راستای گسلی با شیب زیاد شکل گرفته است. وجه تمایز این کانی سازی بارگه های سیلیسی - کربناتی طلا دار بیشتر به جهت همراهی عناصر سرب و روی با طلا است .

۳-۴ زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

زمین‌شناسی منطقه عمدتاً شامل تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن است؛ که از آندزیت بازالت، پیروکسن آندزیت، هورنبلند آندزیت، آندزیت، لیتیک توف، کریستال توف و ایگنیمبریت تشکیل شده است. این واحدها غالباً دگرسانی پروپلیتیک را نشان می‌دهند [۲۸].

به نقل از نقشه یک هزار هیرد ۳، عمده تشکیلات منطقه شامل تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری است؛ که در سه گروه قابل بررسی هستند [۲۷].

– **واحد لیتیک توف و پیروکسن آندوزیت (E^{lf}):** این واحد قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین واحد سنگی محدوده مطالعاتی را تشکیل داده و عمدتاً لیتیک توف بوده و تناوبی از پیروکسن آندزیت و آندزیت های پروپلیتی شده با آن مشاهده می‌شود. کانی‌های اپیدوت، کلریت، کلسیت، کوارتز و کانی‌های اپیک حاکی از دگرسانی فلدسپارها در لیتیک توف‌ها تشکیل شده است. سنگ‌های آندزیت - پیروکسن نیز دگرسانی پروپلیتی بارزی را متحمل شده‌اند. در این سنگ‌ها پلاژیوکلاز به اپیدوت، کلسیت، کلریت و پلاژیوکلازهای سدیک (نسل جدید) و کلینوپيروكسن ها به مجموعه ای از کلریت، کانی‌های اپیک، اسفن و لوکوکسن تبدیل شده‌اند.

– **واحد ویتریک توف و گدازه‌های پورفیری (E^a):** این مجموعه سنگی با امتداد شمال غرب - جنوب شرق و در شرق محدوده اکتشافی رخنمون دارد. مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها عمدتاً گدازه‌های آذرآواری (ایگنیمبریت) بوده و از کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل شده‌اند. کلسیت، سیرسیت و کلریت نیز دگرسانی فلدسپارها حاصل شده‌اند.

– **واحد آندزیت بازالت و بازالت (E^{ab}):** این واحد سنگی در دو بخش شمال و جنوب محدوده با امتداد شرقی - غربی رخنمون دارد و ارتفاعات اصلی منطقه را تشکیل می‌دهد. سنگ‌های تشکیل‌دهنده شامل آندزیت بازالت‌های دگرسان شده، پیروکسن آندزیت پروپلیتی شده، آندزیت، لیتیک و کریستال توف و هورنبلند آندزیت می‌باشد. مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی آندزیت - بازالت ها تحت تاثیر دگرسانی

به اپیدوت، کلریت و کلسیت تبدیل شده‌اند. پلاژیوکلازها در بعضی مقاطع از حاشیه به آلکالی فلدسپار تبدیل و در بعضی نمونه‌ها به اپیدوت، کلسیت، کوارتز و کلریت دگرسان شده‌اند. همچنین در نهشته‌های هورنبلند آندوزیت، کانی‌های هورنبلند تحت تاثیر محلول‌های هیدروترمال به لوکوکسن و کانی‌های مافیک تبدیل شده‌اند. همچنین آثاری از تورمالینی شدن نیز در نمونه‌های برداشت شده از این واحد سنگی نیز مشاهده شده است.

- **توده نفوذی هورنبلند - کوارتز مونزونیت (MO):** ارتفاعات شمالی محدوده مورد بررسی را تشکیل داده است. دربرگیرنده این توده؛ واحد آندزیت بازالت می‌باشد. با توجه به مطالعات پتروگرافی، میزان پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن برابر بوده و مقدار کوارتز آن از ۱۵٪ بیشتر نیست. پلاژیوکلازها شکل‌دار بوده و بعضاً به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. فلدسپارهای آلکالن به صورت پرتیت با پلاژیوکلاز و گاه‌ها هم رشدی گرافیک با کوارتز مشاهده شده‌اند. هورنبلند سبز به عنوان کانی مافیک در این سنگ تشخیص داده شده است. در حاشیه این توده نفوذی آثار دگرسانی ضعیفی مشاهده می‌شود ولی اثری از کانی‌سازی در توده و نواحی هم‌جوار با آن مشاهده نمی‌شود، لذا به نظر می‌رسد این توده نقشی در کانی‌سازی طلا ندارد.

۳-۵ توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

نهشته‌های ژوراسیک که قدیمی‌ترین رسوبات محدوده اکتشافی هیرد را در نقشه ۱:۲۰۰۰۰ تشکیل می‌دهند در جنوب منطقه و با ریخت تپه ماهوری رخنمون دارند.

سنگ‌های آتش فشانی و توده‌های نفوذی ارتفاعات صخره‌ساز را تشکیل می‌دهند. آبراهه‌ها عمدتاً در شمال نقشه ۱:۲۰۰۰۰ هیرد با جهت غالب شرقی - غربی کشیده شده‌اند.

فصل چهارم

برداشت داده‌های ژئوفیزیکی، مدل‌سازی و

تفسیر داده‌ها

۴-۱ مقدمه

در اکتشاف ذخایر معدنی، اصولاً اندازه‌گیری مغناطیسی به صورت مستقیم برای پی‌جویی کانی‌های مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما این روش برای اکتشاف کانی‌هایی که خود غیر مغناطیسی‌اند، اما با کانی‌های مغناطیسی همراه هستند، نیز به کار می‌رود. امروزه می‌توان با استفاده از ابزارهای پیشرفته اندازه‌گیری حتی تغییرات بسیار جزئی شدت میدان مغناطیسی که رابطه با سنگ‌های رسوبی، در نزدیکی سطح زمین را نیز اندازه‌گیری کرد [۳۶].

در این فصل مدل‌سازی و بررسی داده‌های ژئوفیزیکی آمده است. مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی یعنی تعیین منابع بی‌هنجاری‌های موجود در محدوده، با استفاده از داده‌ها و تغییرات آن‌ها؛ که در تفسیر کیفی به بررسی انواع ساختارهای ایجادکننده بی‌هنجاری، میزان گسترش، جهت و اندازه آن‌ها پرداخته می‌شود. در این حالت شکل، عمق، گسترش و امتداد و خواص فیزیکی بی‌هنجاری‌ها به طور نسبی تعیین می‌گردد.

۴-۲ برداشت‌های مغناطیسی هوابرد در منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۱ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه

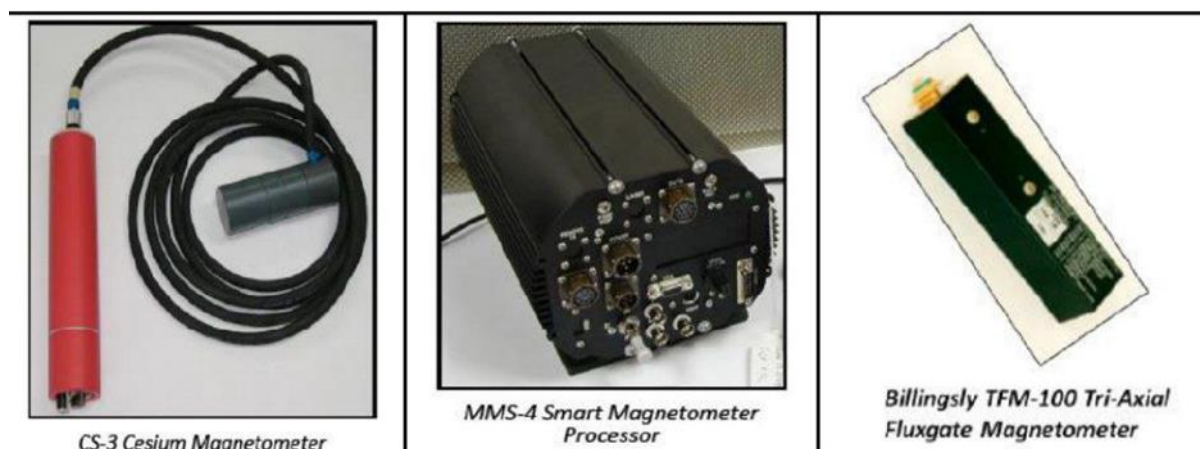
برداشت داده‌های هوابرد در سال (۱۹۷۵ - ۱۹۷۷) توسط گروه ژئوفیزیک هوایی سازمان زمین‌شناسی کشور در منطقه انجام شده است. داده‌ها توسط یک هواپیما که مگنتومتر بخار سزیم را حمل می‌کرده برداشت شده است، میانگین ارتفاع پرواز ۵۰۰ متر، فاصله خطوط برداشت ۷/۵ کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی ۴۰ کیلومتر بوده است. همچنین داده‌ها در ۳۱ خط^۱ و حدود ۱۲۰۹ نقطه برداشت شده است.

مغناطیس‌سنج‌های بخارات قلیایی^۲ با حساسیتی حدود ۰,۰۰۱ nT و نرخ نمونه برداری ۱۰ هرتز تقریباً در همان زمانی که مگنتومترهای پروتون به ابزارهای میدانی محبوب تبدیل شده بودند، در آزمایشگاه‌ها ظاهر

¹ Line

² Optical Pumping

شدند؛ و به ابزار غالبی برای بررسی‌های مغناطیسی تبدیل شدند [۳۷]. (شکل ۴-۱) نمونه ای از این مغناطیس سنج‌ها را نشان می دهد.



شکل ۴-۱: دستگاه مگنتومتر سزیم MMS/Cs-3 [۳۸]

مغناطیس‌سنج‌های بخار سزیم جزو مغناطیس‌سنج‌های بخارقلیایی می‌باشد. که بر مبنای اصل فیزیکی رقص محوری لامور^۱ و اثر زیمان^۲ طراحی شده اند. مطابق اصل فیزیک رقص لامور، حرکت اربیتالی یک ذره باردار در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی تغییر جهت می‌دهد. این تغییر جهت به نحوی است که ذره باردار به سمت میدان خارجی متمایل شده و به دور آن شروع به چرخش می کند. فرکانس زاویه ای این حرکت که به آن حرکت تقدیمی^۳ گفته می‌شود، دارای رابطه مستقیم با شدت میدان مغناطیسی خارجی است؛ به این معنی که هرچه شدت میدان مغناطیسی خارجی بیشتر باشد، ذره باردار با فرکانس زاویه‌ای بالاتری به دور میدان خارجی چرخش خواهد کرد [۳۹].

به دلیل آنکه فلزات قلیایی تنها یک الکترون در لایه طرفیت خود دارند؛ برای بهره‌گیری از اثر لامور برای طراحی مغناطیس‌سنج‌های بخار قلیایی استفاده می‌شود.

مغناطیس‌سنج بخار سزیم نوعی مغناطیس‌سنج (که به طریق نوری به آن انرژی داده شده است) که شدت مغناطیسی کل را با حساسیت بسیار زیادی به وسیله تعیین فرکانس لارمور اتم‌های سزیم اندازه‌گیری می‌نماید.

^۱ Larmor Precession

^۲ Zeeman Effect

^۳ Precession

در مغناطیس‌سنج‌های بخار سزیم، یک پرتو نور پلاریزه تقریباً در جهت میدان مغناطیسی می‌تابد. در حضور میدان مغناطیسی زمین، الکترودها در جهت میدان فرکانس اولیه لامور حرکت می‌کنند. در یک قسمت از این چرخه، یک اسپین الکترون تقریباً موازی با جهت میدان است و یک و نیم چرخه بعد تقریباً پاد موازی است. جذب متفاوت باعث نوسان شدت پرتو نور در فرکانس لامور می‌شود [۳۹].

مغناطیس‌سنج‌های بخار قلیایی به دلیل سبک و فشرده بودن، حساسیت عالی و نرخ نمونه‌برداری خوب مورد توجه گروه مغناطیس‌سنج‌ها قرار گرفته است [۳۷].

۴-۲-۲ پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوابرد

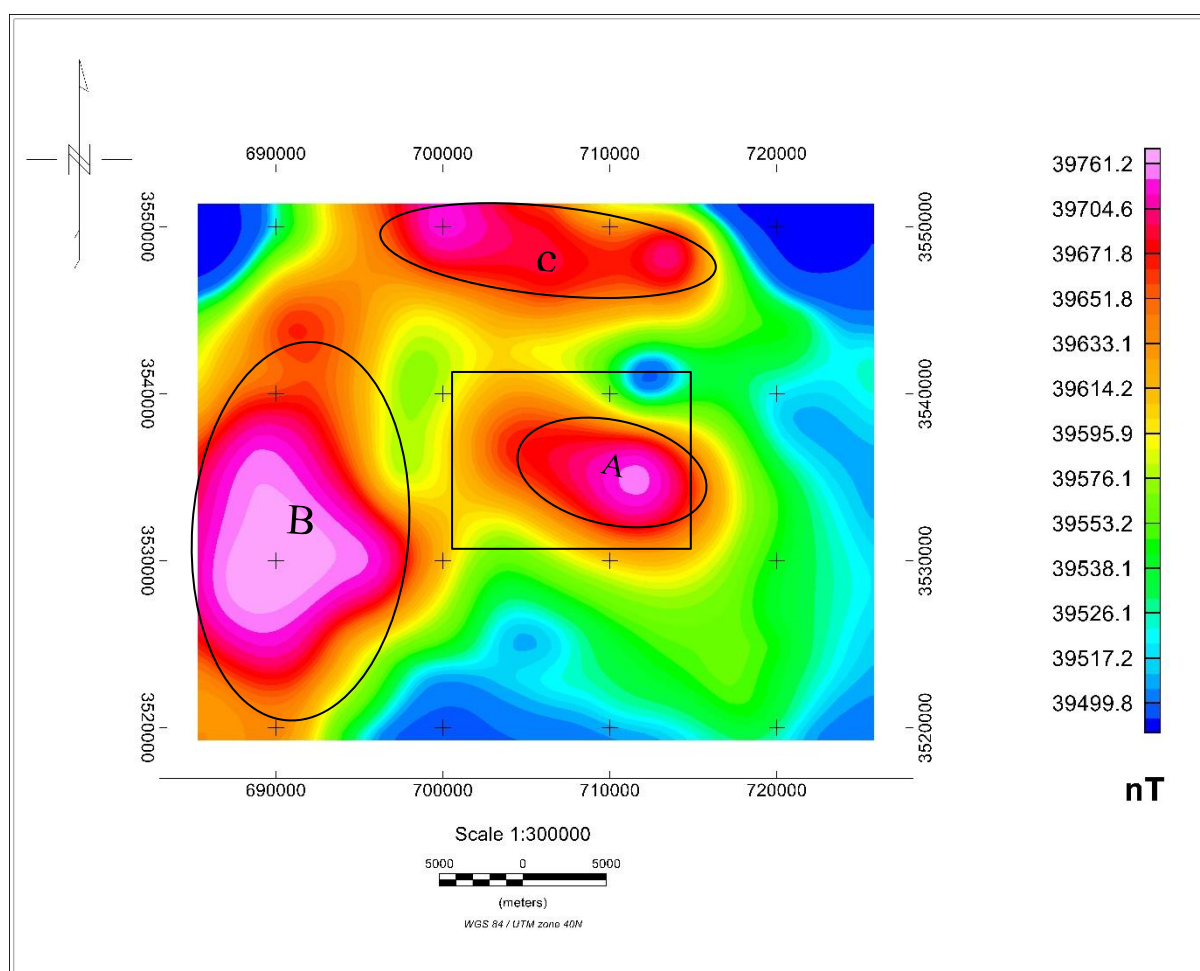
برداشت‌های مغناطیسی اصولاً در محدوده‌های وسیع و دارای شرایط توپوگرافی دشوار استفاده می‌شود و عموماً سرعت و دقت بالایی دارد که اطلاعات مغناطیسی به دست آمده برای آگاهی از تغییرات لیتولوژیکی در نواحی بدون رخنمون و شناخت بهتر ساختارهای زمین‌شناسی به کار برده می‌شود. به کمک داده‌های مغناطیسی می‌توان موقعیت، شکل و چگونگی گسترش توده‌های نفوذی مدفون را بهتر و دقیق‌تر مشخص نمود.

فیلترهای متعددی برای تعیین عمق و مرز آنومالی‌های مغناطیسی وجود دارد که این فیلترها روش‌های ریاضی شناخته‌شده‌ای هستند که بر اساس مشتقات میدان پتانسیل می‌باشند. در ادامه به بررسی نقشه میدان کل مغناطیسی و برخی از فیلترهای معمول در تفسیر کیفی بهتر داده‌های مغناطیسی اعمال می‌شود، توسط نرم‌افزار Oasis montaj شرکت Geosoft انجام شده است پرداخته می‌شود

شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه به میدان مغناطیسی و پدیده مغناطیسی باقی مانده در سنگ‌ها بستگی دارد. نقشه مغناطیس کل معمولاً به بررسی روند کلی و ناحیه‌ای محدوده مورد مطالعه می‌پردازد در شکل (۴ - ۲) که نشان‌دهنده شدت مغناطیس منطقه است به وضوح مشخص است؛ قسمت با مغناطیس بالا در بخش شرقی و جنوب شرقی محدوده تا مرکز و بخشی از غرب محدوده را فرا گرفته است. محدوده اطراف این ناحیه که بارنگ سبز مشخص شده است، زون مغناطیسی با شدت نسبی متوسط را نشان می‌دهد. محدوده نارنجی رنگ که محدوده با مغناطیس بالا را احاطه کرده است؛ به نسبت مغناطیس کمتری از بخش مرکزی خودش

دارد. اما مغناطیس خوبی را داراست. در قسمت کوچکی در شمالی شرقی، زون با شدت نسبی کمینه قابل مشاهده است (رنگ آبی).

محدوده‌های B, C (بی هنجاری B احتمالاً به دلیل نزدیکی محدوده با معدن قلعه زری می‌باشد) نیز دارای شدت بالای مغناطیسی می‌باشد که با توجه به این که جزو محدوده مطالعاتی نمی‌باشد؛ توضیح بیشتر در مورد آن‌ها نمی‌دهیم.



شکل ۴ - ۲: نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (محدوده داخل کادر مربع نشان دهنده محدوده مورد مطالعه می‌باشد)

شکل ناهنجاری مغناطیسی به شکل جسم عامل بستگی دارد؛ ناهنجاری مغناطیسی به تمایل (زاویه میل)^۱ و انحراف (زاویه انحراف)^۲ مغناطیسی توده، تمایل و انحراف میدان مغناطیسی زمین محلی و جهت‌گیری جسم نسبت به شمال مغناطیسی نیز بستگی دارد. برای ساده کردن شکل ناهنجاری، بارانوف^۳ (۱۹۵۷) و بارانوف و ناودی^۴ (۱۹۶۴) یک رویکرد ریاضی به نام برگردان به قطب (RTP)^۵ ارائه کردند. در این روش اندازه‌گیری ناهنجاری‌ها در قطب مغناطیسی انجام می‌شود؛ یعنی ناهنجاری مغناطیسی مشاهده شده را به ناهنجاری‌ای تبدیل می‌کند که میدان محیطی و مغناطیس عمود برهم هستند [۳۷].

بی‌هنجاری‌هایی که در عرض‌های جغرافیایی کمتر از ۵۰ درجه ایجاد می‌شوند، ارتباط با منبع بی‌هنجاری غیرمتقارن و گاه دارای کشیدگی و بیشینه فرعی هستند که در بی‌هنجاری‌های قطبی رخ نمی‌دهد. این انحراف از منبع تفسیر را مشکل‌تر می‌کند، بنابراین فیلتر برگردان به قطب مغناطیسی بر روی داده مغناطیسی در عرض‌های کمتر از ۵۰ درجه مغناطیسی غالباً لازم است [۳۶]. برگردان به قطب در حال حاضر به طور معمول برای همه داده‌ها به جز برای داده‌های جمع‌آوری شده در عرض‌های جغرافیایی مغناطیسی بالا اعمال می‌شود [۳۷]. با اعمال فیلتر برگردان به قطب روی داده‌ها، نقشه برگردان به قطب که در آن داده‌های مغناطیسی با استفاده از زاویه میل و زاویه انحراف مغناطیسی به قطب منتقل شده‌اند، به دست می‌آید [۳۶].

پس به طور کلی می‌توان گفت: برای جانمایی، مکان‌یابی و جهت‌گیری دقیق بی‌هنجاری‌ها و همچنین برای حذف اثرات کجی و از بین بردن نامتقارنی بی‌هنجاری‌ها، فیلتر برگردان به قطب بر روی داده‌های مغناطیس کل اعمال شده است که نتیجه آن در شکل (۴ - ۳) نشان داده شده است. برای رسیدن به اطلاعات دقیق‌تر و نتیجه‌گیری بهتر تمامی فیلترها پس از این بر روی نقشه برگردان به قطب اعمال می‌شوند.

زاویه میل مغناطیسی برابر با ۴۸,۱ و همچنین زاویه انحراف مغناطیسی ۱,۸۹ بدست آمده است.

¹ Inclination

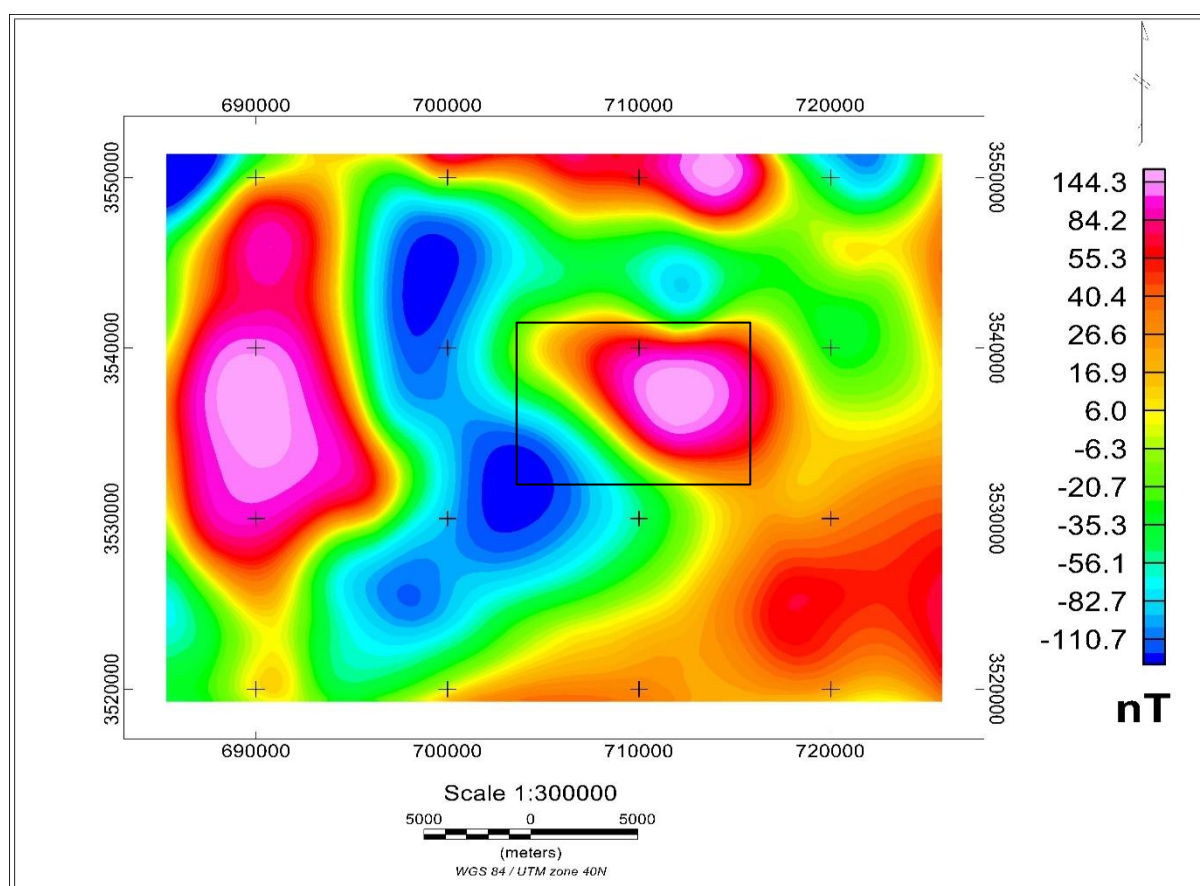
² Declination

³ Baranov

⁴ Naudy

⁵ Reduction to pole

همان طور که در شکل (۳-۴) مشخص است شکل ناهنجاری با مقداری کشیدگی به سمت شمال اندکی تغییر شکل داده است. و محدوده با بیشینه مغناطیسی در شمال شرقی، مرکز و شرق محدوده متمرکز شده است. در جنوب غربی محدوده نیز قسمتی با بی هنجاری مغناطیسی پایین که با رنگ آبی مشخص است، نمایان شد.



شکل ۴ - ۳: نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیس کل (محدوده داخل کادر نشان دهنده محدوده مورد مطالعه می‌باشد)

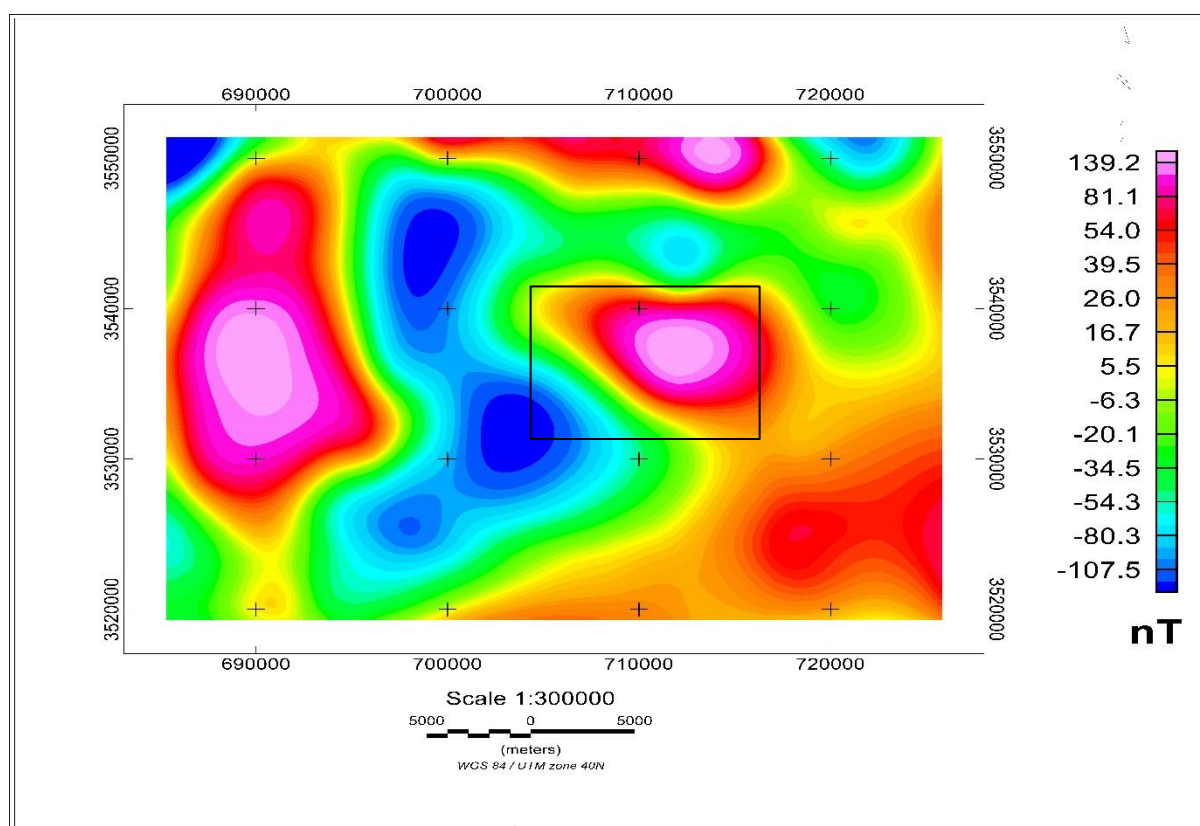
دومین فیلتر اعمالی فیلتر ادامه فراسو (گسترش رو به بالا)^۱ است.

¹ Upward continuation

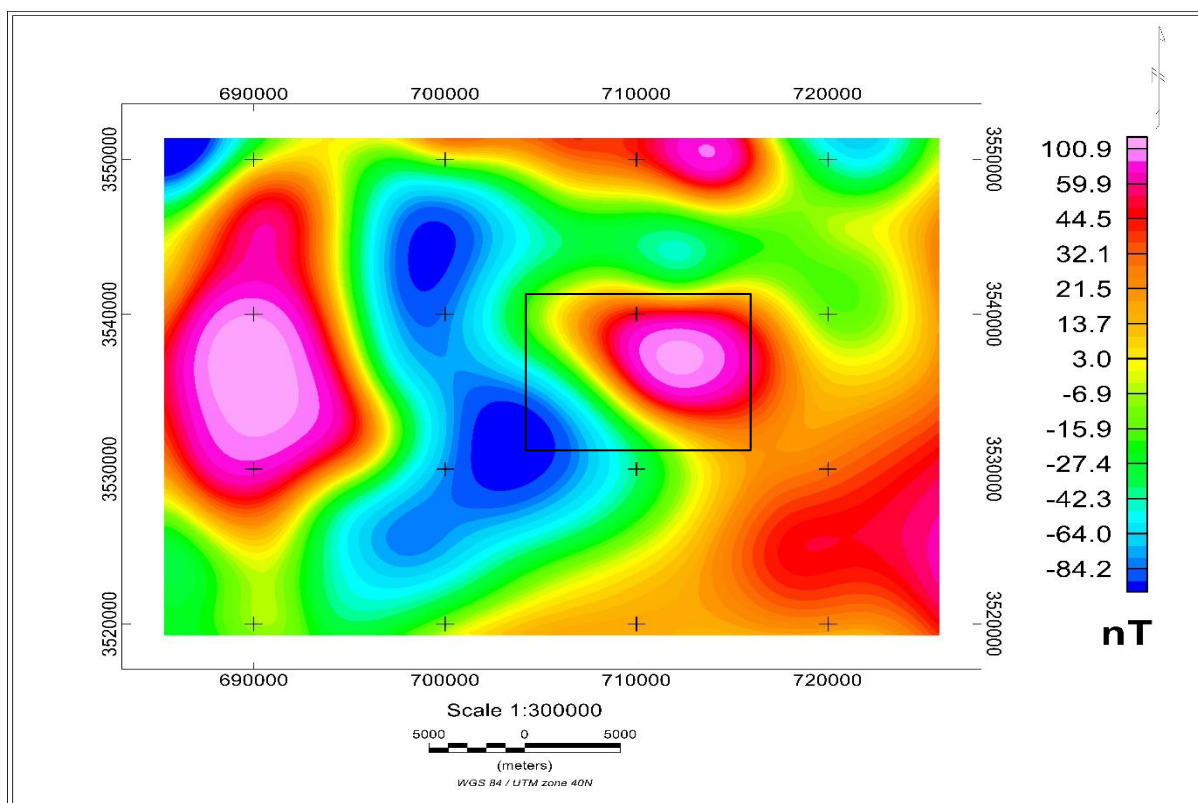
داده‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده در یک صفحه معین را می‌توان به داده‌های اندازه‌گیری شده در ارتفاع بالاتر یا پایین‌تر تبدیل کرد؛ که این عمل با تأکید یا تضعیف نمودن طول موج‌های کوتاه‌تر ناهنجاری‌ها اتفاق می‌افتد [۳۷].

روش ادامه فراسو نوعی عمل فیلتر کردن است که داده‌های میدان پتانسیل از یک سطح مبنا به سطوح تراز در بالای سطح برداشت شده تصور می‌شود؛ که این انتقال باعث می‌شود تا بدون هیچ تغییری در داده‌ها، اثر آنومالی‌های سطحی و کم عمق‌تر حذف شده و آنومالی‌های با طول موج بلندتر و عمیق‌تر با وضوح بهتر نمایان شوند. می‌توان گفت که این فیلتر برای اندازه‌گیری عمق توده‌ها استفاده می‌شود.

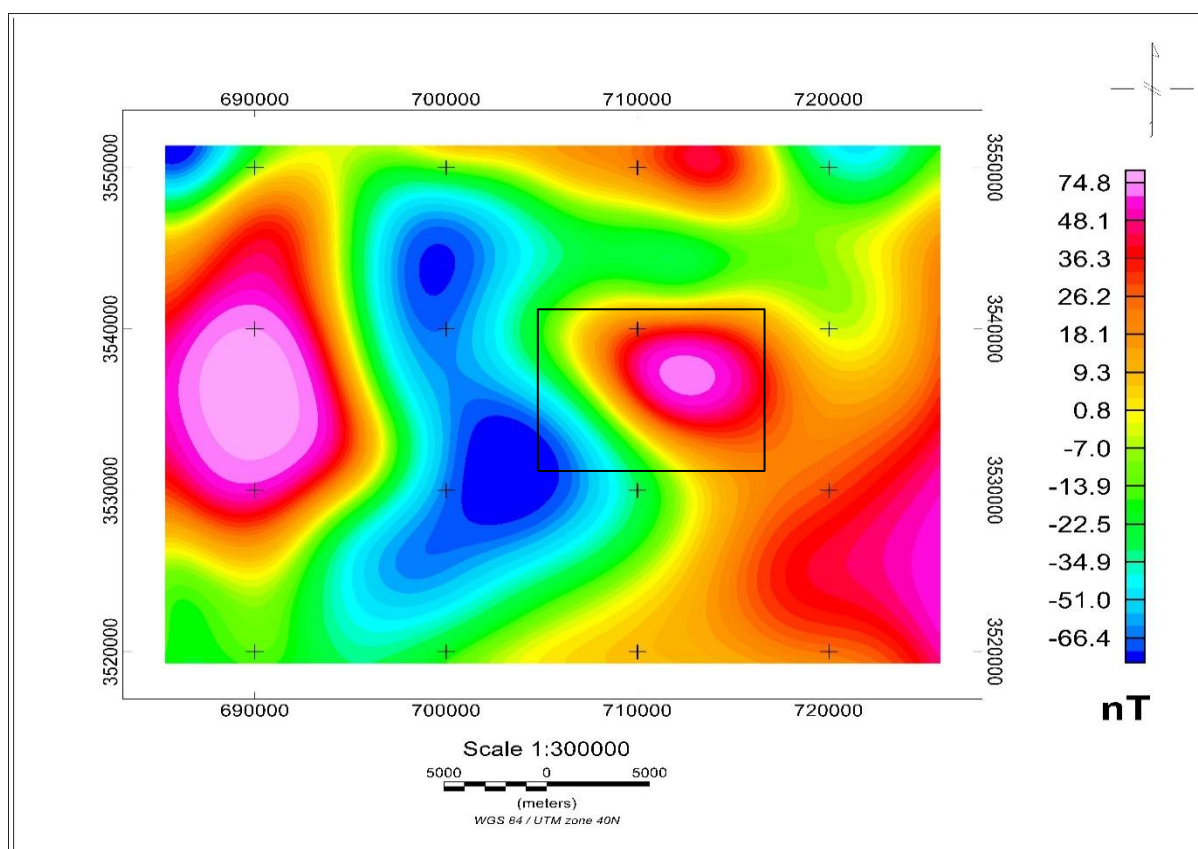
در ادامه فیلتر ادامه فراسو را در ارتفاع‌ها مختلف اعمال کرده و نقشه‌های حاصله (شکل های ۴-۴ تا ۹-۴) را مورد بررسی قرار می‌گیرند. هدف از اعمال این فیلتر شناسایی آنومالی ریشه‌دارتر و عمیق‌تر است. با اعمال فیلتر ادامه فراسو ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ متری آنومالی‌ها اثر نمایانی دارند، و کاملاً مشخص هستند.



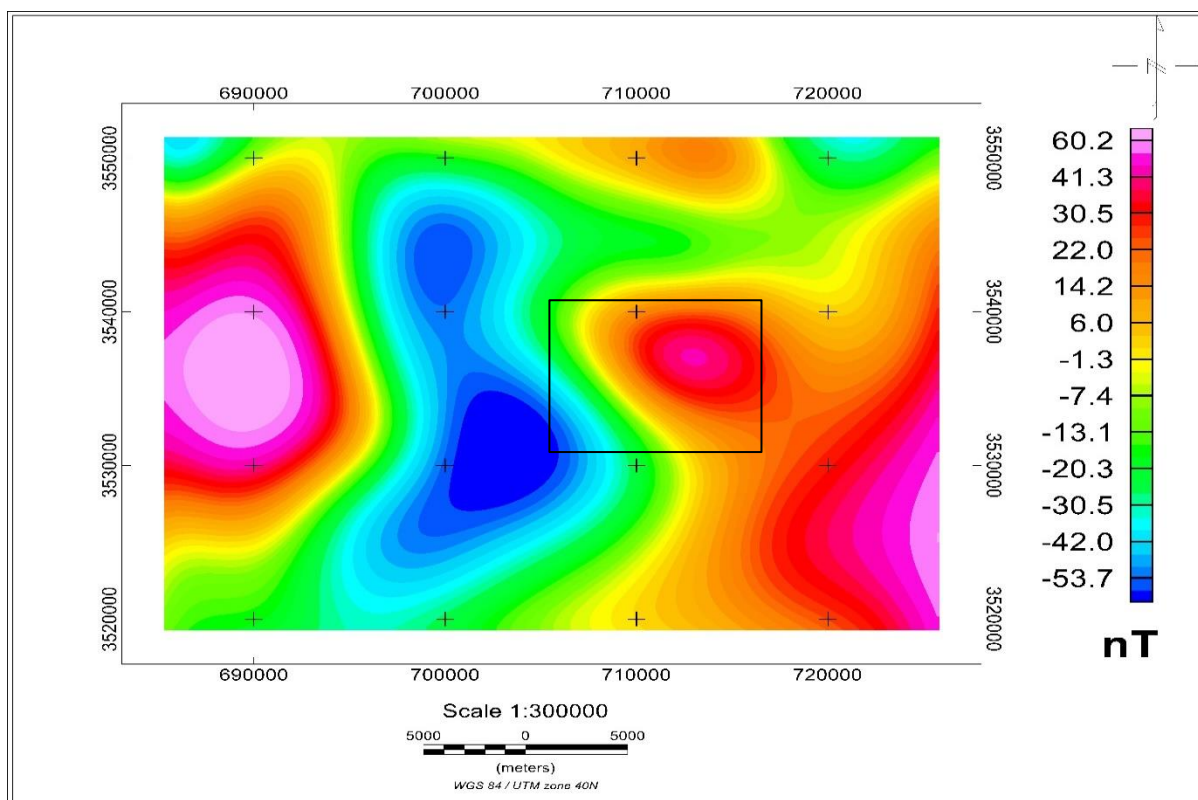
شکل ۴-۴: فیلتر ادامه فراسو در عمق ۱۰۰ متر



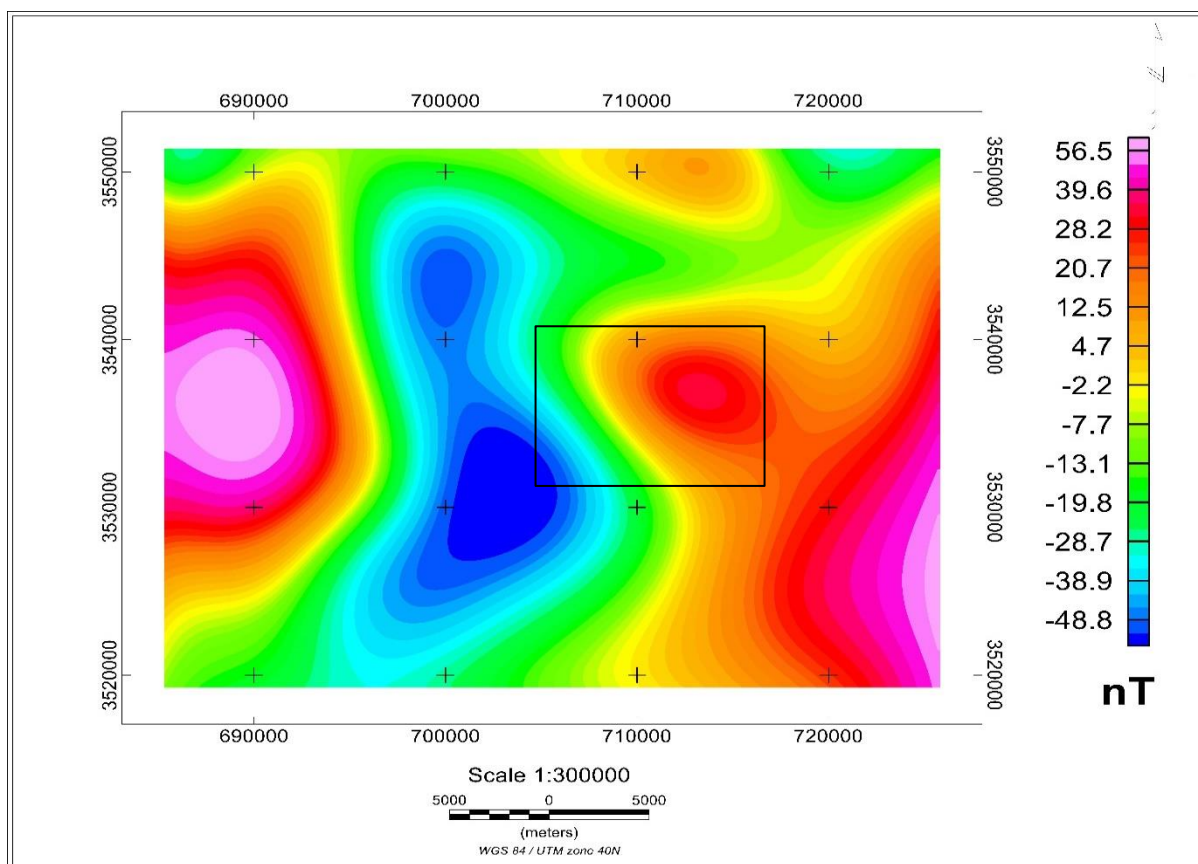
شکل ۴ - ۵: فیلتر ادامه فراسو ۱۰۰۰ متر



شکل ۴ - ۶: نقشه ادامه فراسو ۲۰۰۰ متر



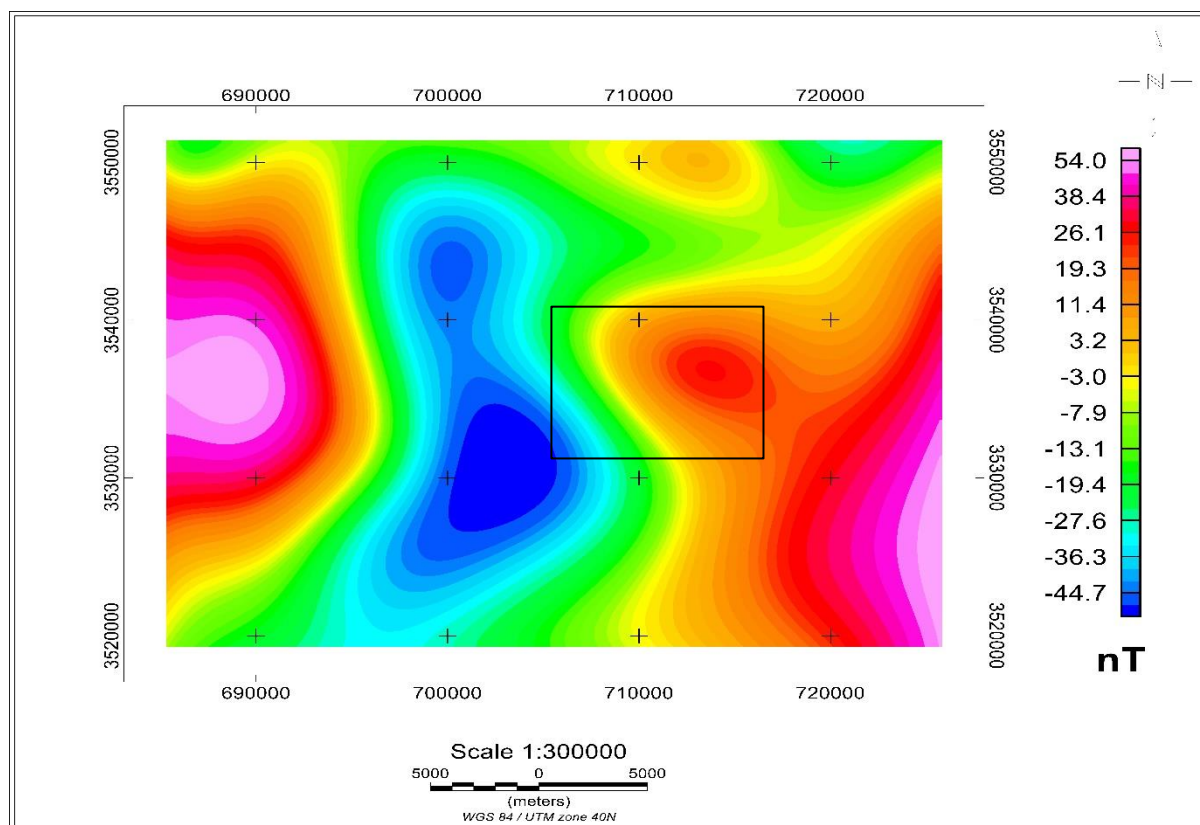
شکل ۴ - ۷: نقشه ادامه فراسو ۳۰۰۰ متر



شکل ۴ - ۸: نقشه ادامه فراسو ۳۵۰۰ متر

و در نهایت با اعمال فیلتر در عمق ۴۰۰۰ متری (شکل ۴-۹) هیچ اثری از آنومالی در محدوده نیست.

با بالا رفتن عمق در فیلتر فراسو آنومالی در بخش شرقی جمع می‌شود.



شکل ۴ - ۹: نقشه ادامه فراسو ۴۰۰۰ متر

شواهد زمین شناسی، ژئوشیمی و کانی‌سازی در محدوده هیرد ۳ همجواری توده‌های گرانیتوئیدی احیایی کانه‌ساز، بالابودن عیار طلا در رگه‌ها، همبستگی طلا با عناصر آرسنیک، آنتیموان و نقره وعدم همبستگی با عناصر مس، بیسموت و تنگستن، تشکیل کانی‌های آرسنوپیریت، اسفالریت، استینیت و گالن حاکی از مدل‌سازی طلای رگه‌ای مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی می‌باشد [۲۷].

۴-۳- برداشت‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی

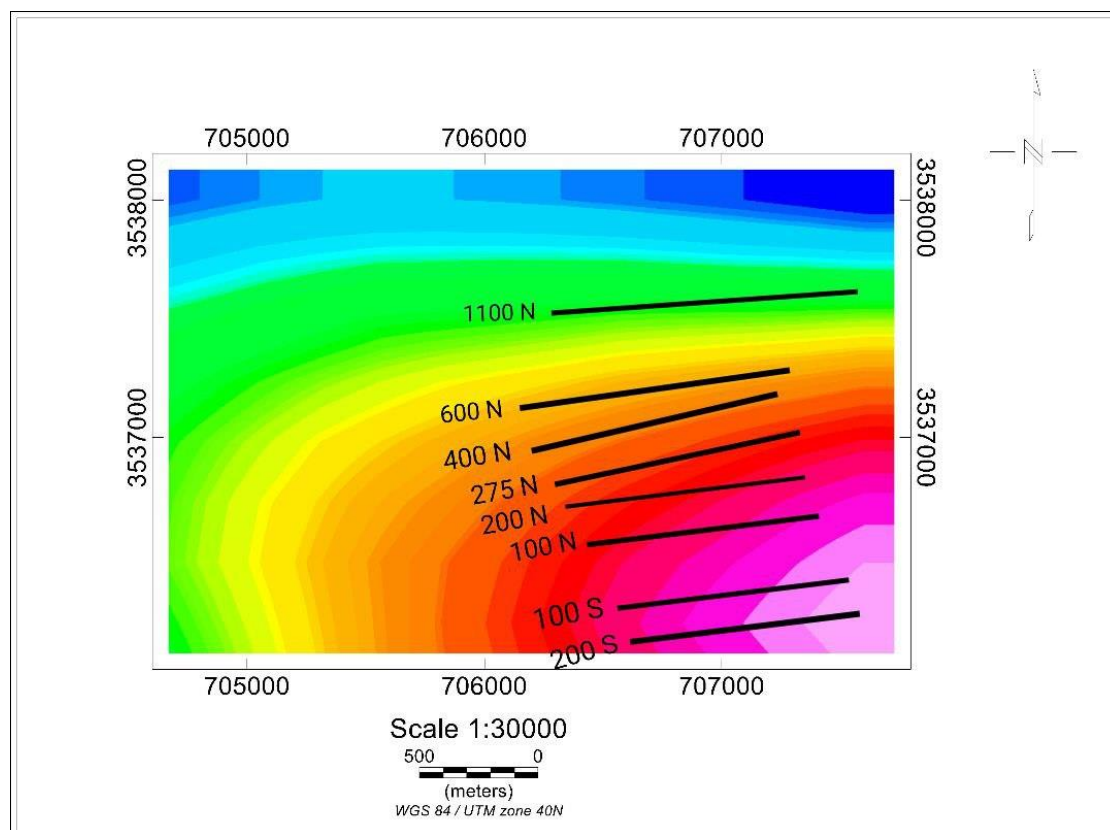
۴-۳-۱ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه

به منظور بررسی تطابق نتایج برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی با ژئوفیزیک هوابرد، بررسی عمقی بی‌هنجاری‌ها و تعیین کیفیت آن‌ها، در منطقه برداشت‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی (IP) با استفاده از آرایش‌های دوقطبی - دوقطبی بر روی مناطق آنرمال مشخص شده در نقشه‌های هوابرد انجام گرفت.

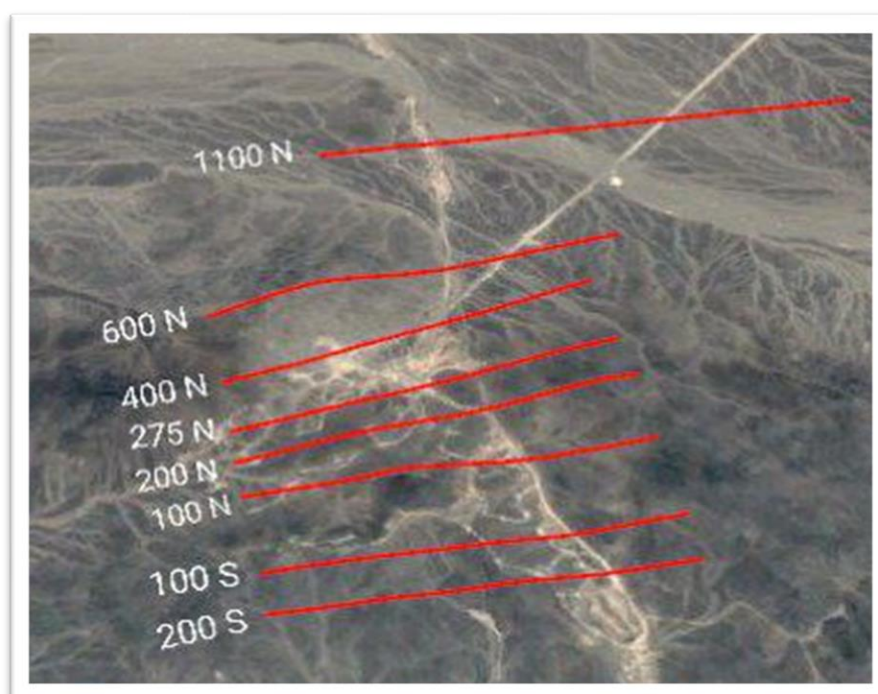
در محدوده مورد مطالعه، در کل ۱۱۲۱ نقطه با آرایش دوقطبی - دوقطبی برداشت شده است. در مجموع ۸ پروفیل به موازات هم برداشت شده که بر روی پروفیل ۲۰۰ جنوبی ۳ برداشت با فواصل الکترودی ۵ و ۱۰ و ۲۰ متر همگی بر روی یک پروفیل اجرا شده است.

نحوه قرارگیری این پروفیل‌ها در شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نشان داده شده است.

در شکل ۴-۱۱ همان‌طور که از شکل مشخص است رگه ماده معدنی با رنگ شیری روشن بر روی پروفیل‌ها مشخص است که در پیوست شماره ۱ نمایی از این رگه مدل‌سازی شده.



شکل ۴-۱۰: نقشه شدت میدان مغناطیسی کل به همراه موقعیت خطوط برداشت مقاومت ویژه و IP



شکل ۴-۱۱: نحوه قرارگیری پروفیل‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی در محدوده مطالعاتی بر روی Google Earth

برای هر پروفیل ابتدا شبه مقاطع بدون پرتوگرافی و سپس مدل‌ها با اعمال توپوگرافی اعمال شده است. کلیه نقشه‌ها در نرم Res2dinv که نرم افزار تخصصی مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی می‌باشد، ترسیم شده است.

در این مطالعات از یک سیستم اندازه‌گیری ReS& IP ساخت شرکت Scintrex کانادا استفاده شده که شامل اجزای زیر می‌باشد:

- موتور ژنراتور بنزینی جهت تولید برق ۲۲۰ ولت ۸۰۰ هرتز.

- دستگاه تقویت‌کننده، یکسو کننده و فرستنده جریان مدل TSQ-3 (شکل ۴-۱۲) ساخت شرکت Scintrex کانادا است. این دستگاه به‌گونه‌ای ساخته شده که جریان الکتریسیته را به فاصله زمانی مساوی هر ۲ ثانیه الکترودهای دستگاه گیرنده مدل IPR-12 (شکل ۴-۱۳) ساخت شرکت Scintrex با دقت ۰,۰۱ میلی ولت بر ولت است، این دستگاه قادر است مساحت زیر منحنی روبه‌زوال ولتاژ در زمان‌های T1 و T2 را در چهارده پنجره مختلف اندازه‌گیری کند و در نتیجه امکان پردازش طیفی را میسر می‌سازد.

- اندازه‌گیری هم‌زمان ۸ ایستگاه با هم، محاسبه ضریب K به طور خودکار با توجه به موقعیت الکترودهای فرستنده و گیرنده، محاسبه مقاومت ویژه ظاهری که به طور خودکار با توجه به مقدار شدت جریان الکتریکی برحسب میلی‌آمپر کنترل می‌شود، میزان اتصال الکتریکی الکترودها با زمین، اندازه‌گیری و ثبت تمام پارامترها شامل موقعیت هر ایستگاه، مقاومت الکترودها، میزان پتانسیل خودزا، اختلاف پتانسیل، شارژ پذیری ظاهری، میزان انحراف معیار، میزان مقاومت‌ویژه ظاهری، تعداد اندازه‌گیری‌ها، شارژپذیری واقعی، پارامتر TAU و امکان مشاهده نویزها بر روی هریک از الکترودها هنگام اندازه‌گیری و داشتن حافظه و امکان ذخیره سازی تمامی اطلاعات از ویژگی‌های دیگر این دستگاه است.



شکل ۴-۱۲: گیرنده IPRI2 ساخت شرکت Scintrex کانادا [۳۹]



شکل ۴-۱۳: فرستنده TSQ-3 ساخت شرکت Scintrex کانادا [۳۹]

۲-۴-۲ مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی

پروفیل S ۲۰۰ با فاصله الکترودی ۵ متر

شکل (۴-۱۴) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۵ متر و پرش ۵ متر و تا ۶ پرش برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۶۰ و ۶۵ شرقی آغاز و در جهت N80E ادامه یافته است. ۱۷ پرش و ۱۰۲ نقطه بر روی این پروفیل برای مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی اندازه گیری شده است. عمق مطالعات در شبه مقاطع با این مشخصات به صورت تئوریک متر ۱۷,۵ از سطح توپوگرافی می باشد. اما در عمل عمق حدود نصف این مقدار است.

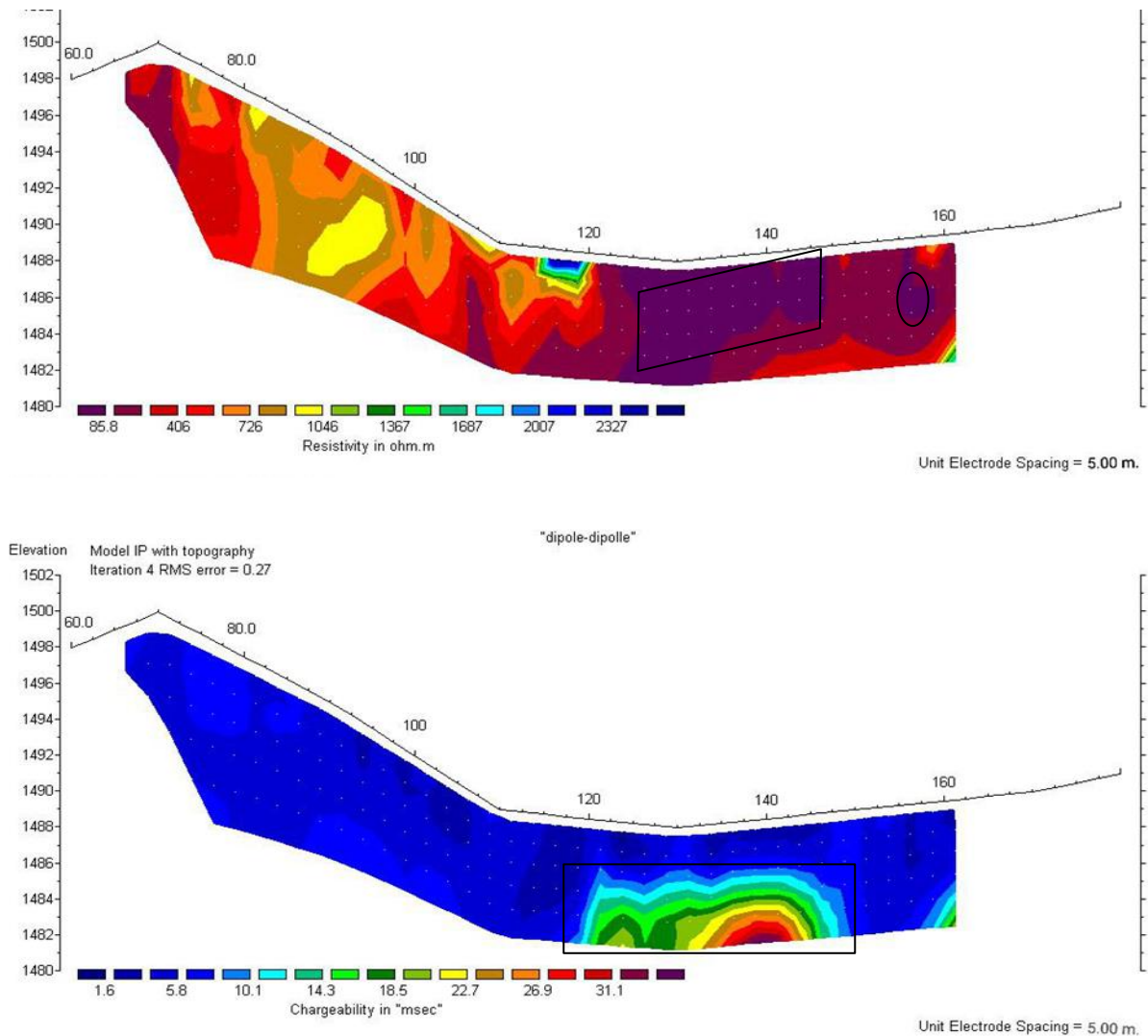
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

شکل (۴-۱۵) شبه مقطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل را نشان می دهد.

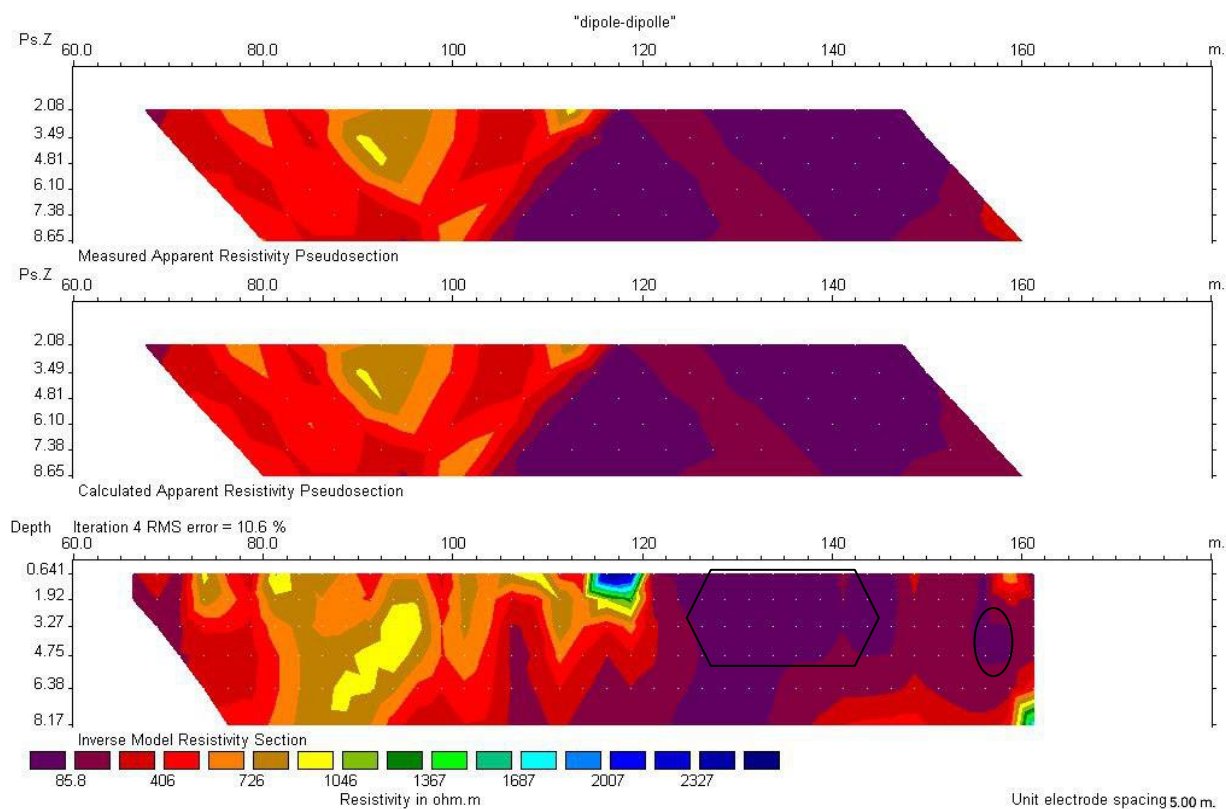
بر روی شبه مقطع مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل، بیشترین مقدار مقاومت ویژه ۹۵۳ و کمترین مقدار ۲۰ اهم متر برداشت شده است. بر روی مقطع یا مدل مقاومت ویژه این پروفیل می توان به محدوده بین ایستگاه های ۱۲۰ تا ۱۴۵ شرقی با مقاومت ویژه کم اشاره کرد. محدوده کوچک و بسته ای نیز در حدود ایستگاه ۱۵۵ شرقی دیده می شود. سایر بخش ها مقاومت ویژه بیشتری در حد سنگ های توف و آذرین خروجی واقع در این محدوده را نشان می دهد.

ب) شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

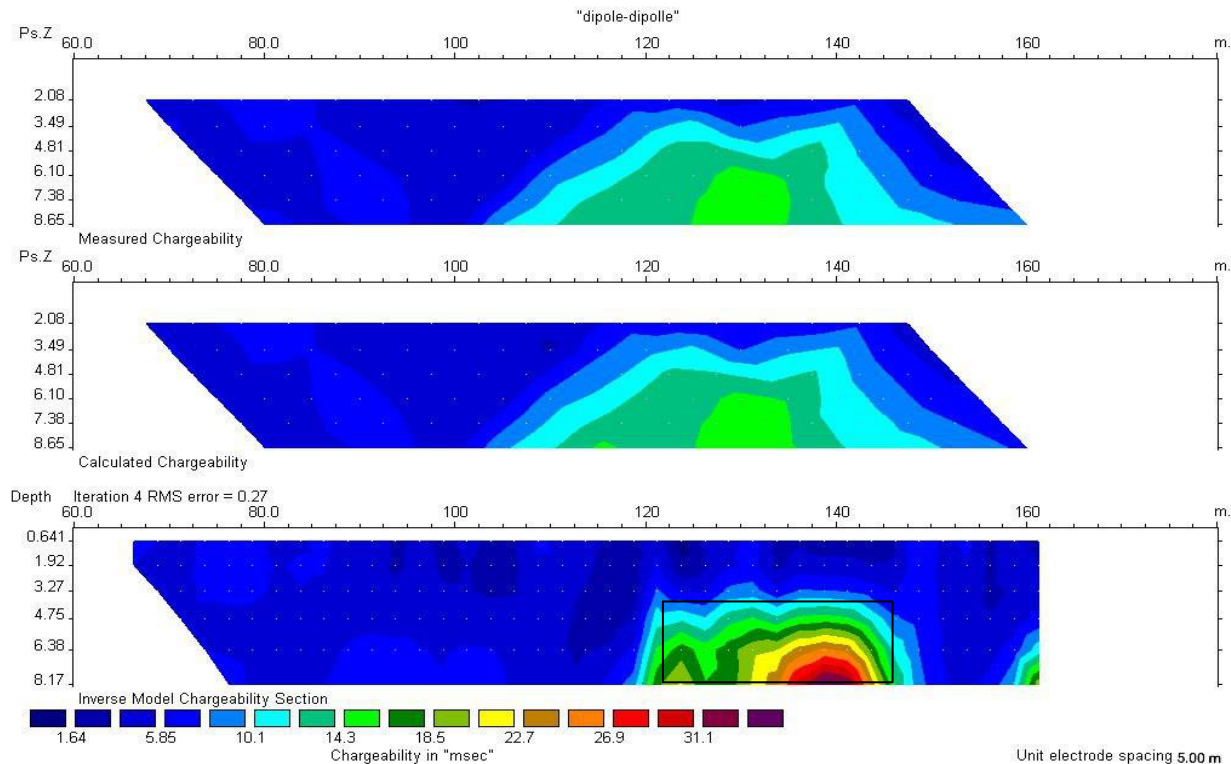
شکل (۴-۱۶) نشان‌دهنده شبه مقاطع و مدل پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های بارپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل با فاصله الکترودی ۵ متر است. همان‌طور که از روی شبه‌مقطع پلاریزاسیون القایی اندازه‌گیری شده در طول این پروفیل مشاهده می‌شود بیشترین مقدار بارپذیری اندازه‌گیری شده بر روی این مقطع ۱۶ و کمترین مقدار ۳٫۵ میلی ثانیه بوده است. همچنین همان‌طور که از روی مقطع پلاریزاسیون القایی این پروفیل دیده می‌شود بی‌هنجاری از ایستگاه ۱۲۵ تا ۱۴۵ شرقی و عمق ۳ - ۴ متر شروع و تا عمق پایین‌تر ادامه دارد.



شکل ۴-۱۶: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی روی پروفیل 200 S و با فاصله الکترودی ۵ متر



شکل ۴- ۱۵: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر



شکل ۴- ۱۶: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر

پروفیل 200 S با فاصله ۱۰ متر

شکل (۴-۱۷) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۱۰ متر، پرش ۱۰ متر و تا ۶ پرش $n = 6$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۲۰ و ۳۰ شرقی آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته است. به طوری که آخرین الکترودهای پتانسیل بر روی ایستگاه های ۲۱۰ و ۲۲۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۳ پرش برای AB جمعاً ۷۸ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر پلاریزاسیون القایی اندازه گیری شده است. عمق مطالعات در شبه مقاطع با این مشخصات به صورت تئوریک حدود ۳۵ متر از سطح توپوگرافی می باشد ولی در عمل حدود نصف این مقدار است.

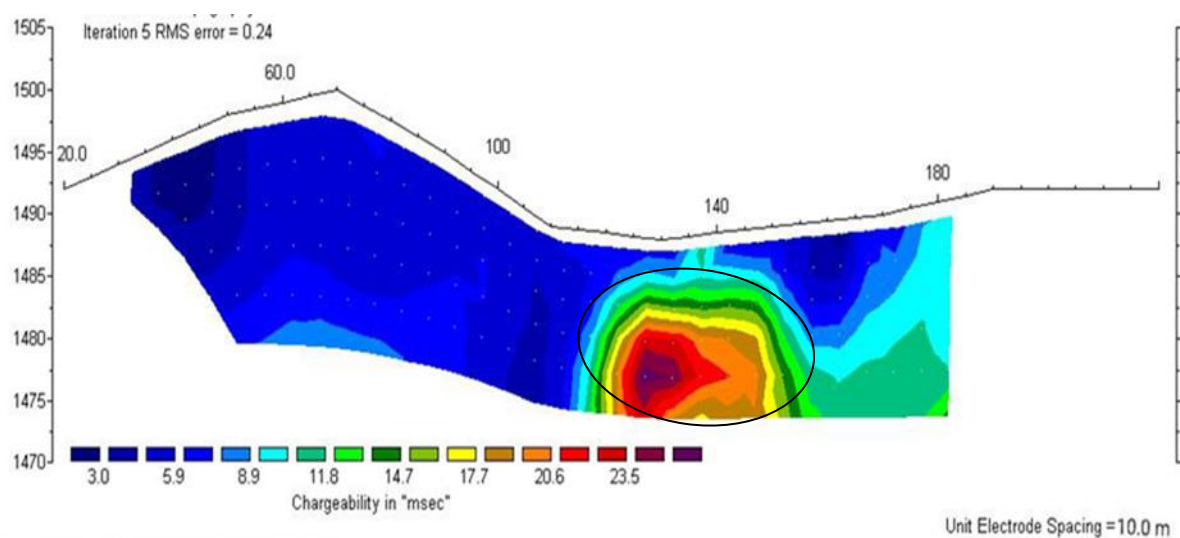
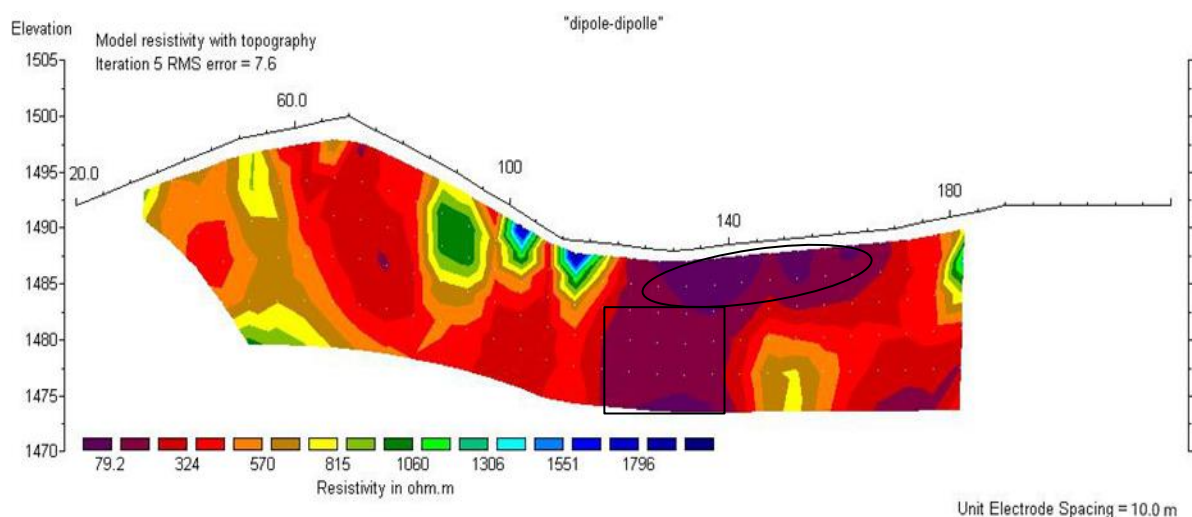
الف (شبه مقاطع مقطع مقاومت ویژه

شکل (۴-۱۸) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل را نشان می دهد.

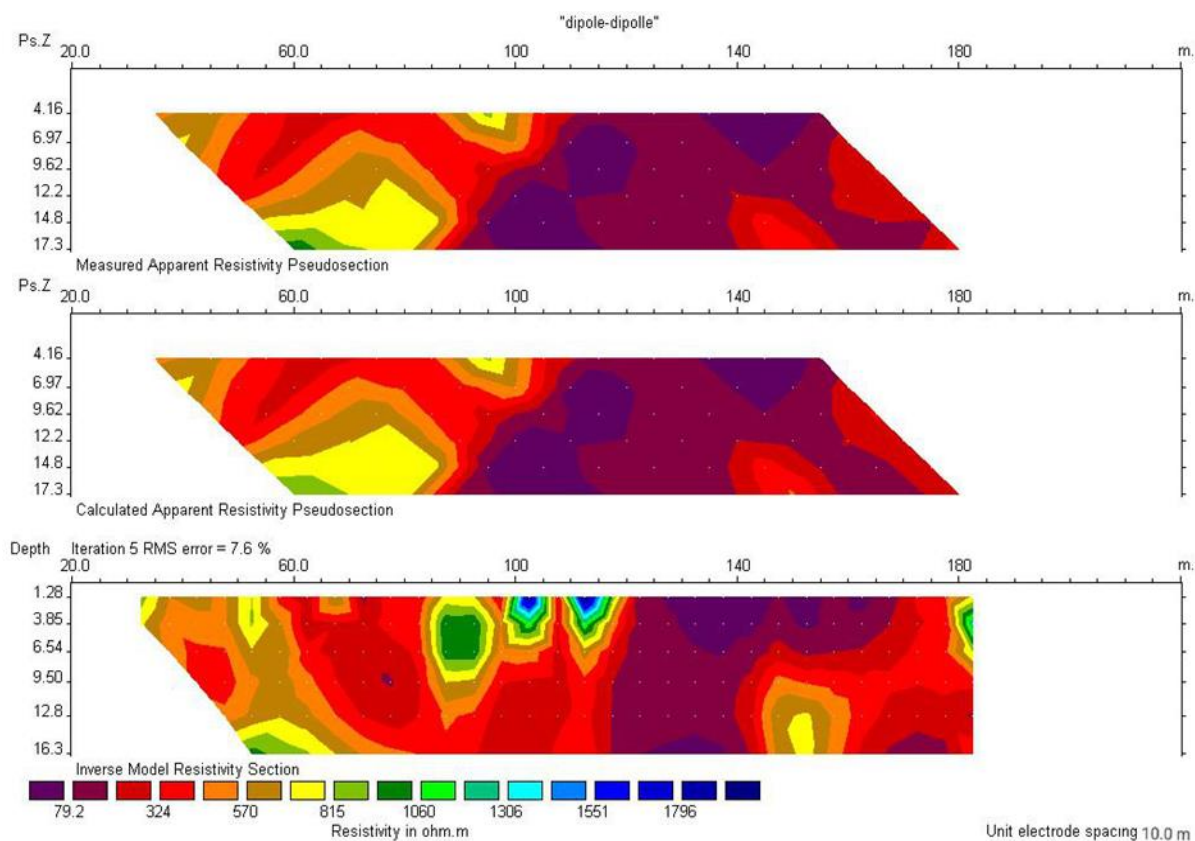
بر روی شبه مقطع مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل بیشترین مقدار مقاومت ویژه ۱۰۱۱ و کمترین مقدار ۳۵ اهم متر برداشت شده است. بر روی این پروفیل یک محدوده در تراز ۱۴۸۷، ایستگاه ۷۵ شرقی و محدوده اصلی بین ایستگاه ۱۱۵ تا ۱۶۵ شرقی دارای مقاومت ویژه کمی نسبت به سنگ های اطراف می باشد.

ب) شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

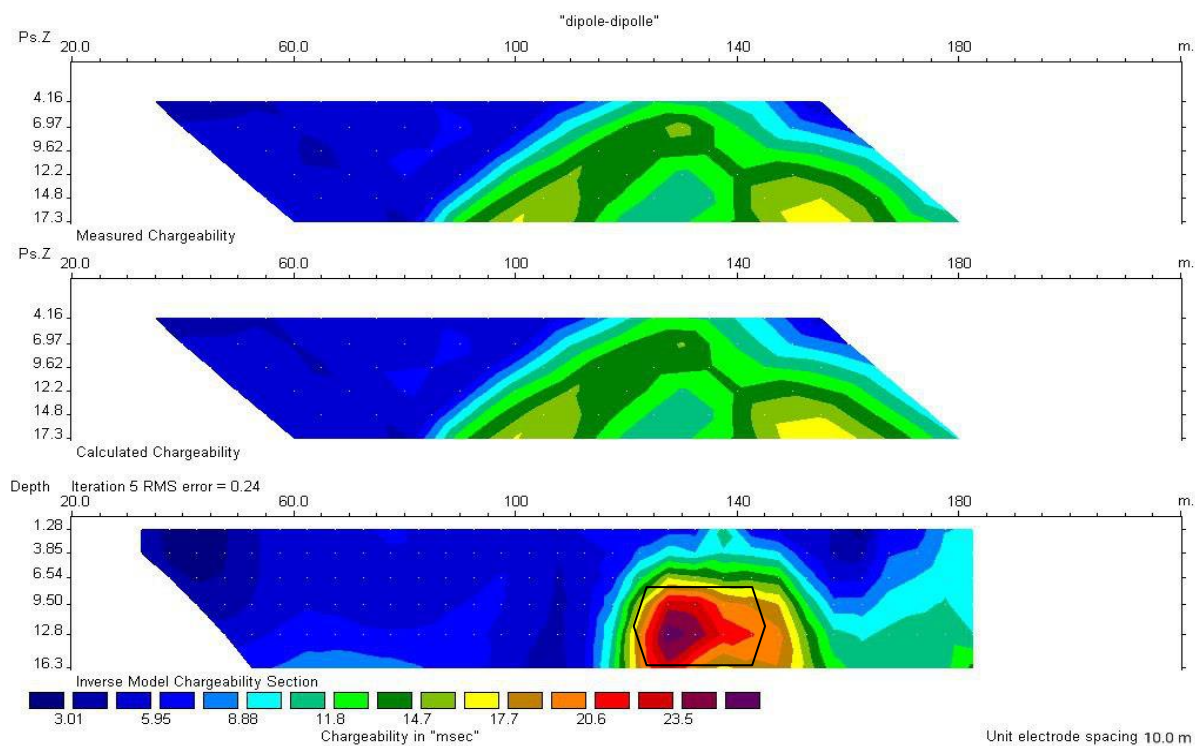
در شکل (۴-۱۹) شبه مقاطع با مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بارپذیری بدست آمده در طول این پروفیل با فاصله الکترودی ۱۰ متر آمده است؛ که بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده بر روی این مقطع ۱۶ و کمترین مقدار ۳ میلی ثانیه برداشت شده است. همچنین محدوده ای بین ایستگاه های ۱۲۰ تا ۱۴۰ شرقی پلاریزاسیون بالا را نشان می دهد.



شکل ۴- ۱۷: مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۱۰ متر



شکل ۴- ۱۸: شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۱۰ متر



شکل ۴- ۱۹: شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۱۰ متر

پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۲۰ متر

شکل (۴ - ۲۰) نشان‌دهنده مقطع مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و قطبش‌القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی می‌باشد.

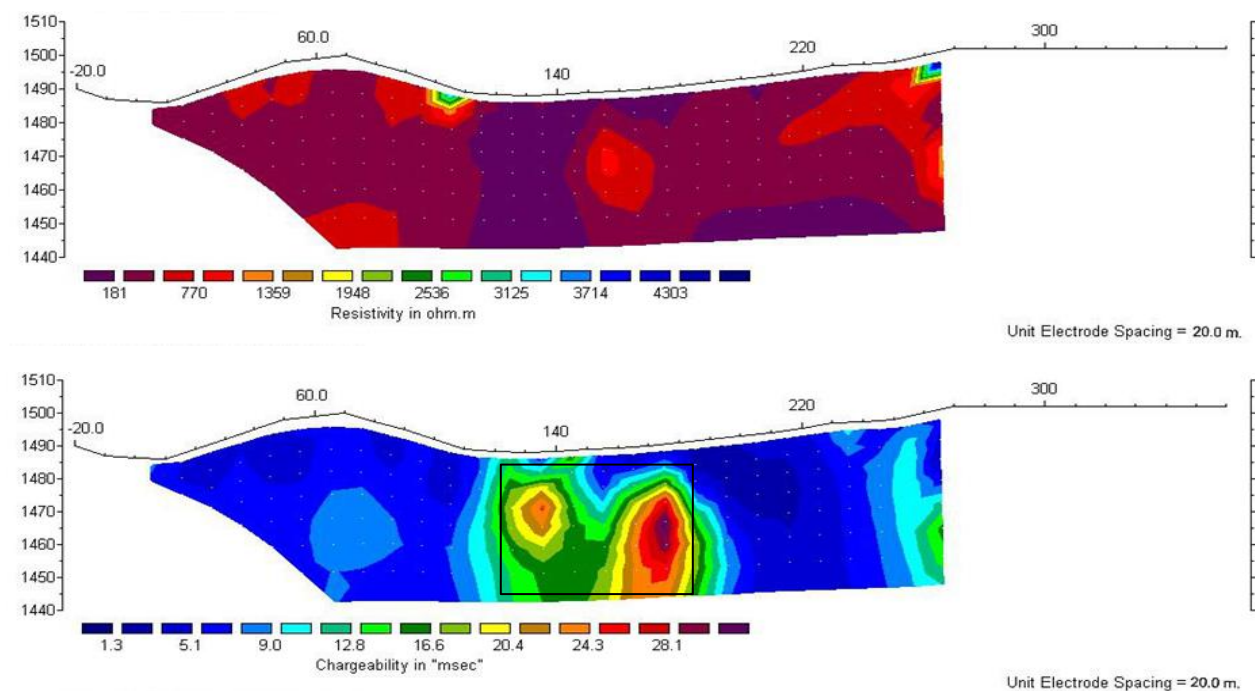
بر روی این مقطع برداشت‌ها با فاصله ۲۰ متر، پرش ۲۰ متر و تا ۸ پرش $n = 8$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه‌های ۲۰ غربی و صفر آغاز و اندازه‌گیری در جهت N80E ادامه یافته به طوری که آخرین الکترودهای پتانسیل بر روی ایستگاه‌های ۳۴۰ و ۳۶۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ پرش برای AB و جمعاً ۸۰ نقطه بر روی پروفیل برای دو پارامتر پلاریزاسیون‌القایی اندازه‌گیری شده است.

الف (شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه

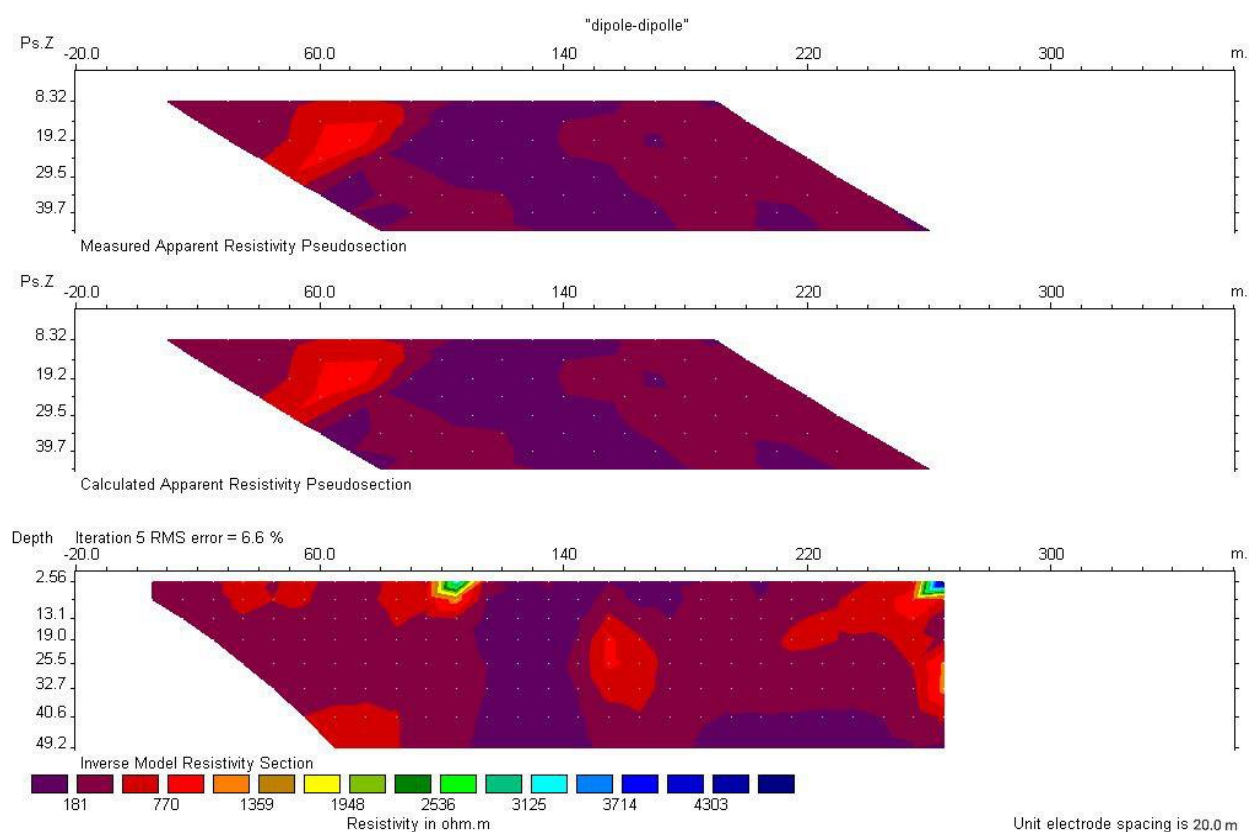
شکل (۴ - ۲۱) شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری در طول این پروفیل را نشان می‌دهد. بر روی این شبه‌مقطع، بیشترین مقدار مقاومت‌ویژه ۱۰۵۸ و کمترین مقدار ۵۱ اهم متر برداشت شده است. بر روی مقطع یا مدل مقاومت‌ویژه این پروفیل که عمق بیشتری نسبت به برداشت‌های قبلی دارد و پوشش طولی بیشتری نیز داشته؛ شکل بی‌هنجاری مقاومت‌ویژه با رنگ قرمز و مقادیر کم مانند یک شکاف در بین سنگ‌های مقاوم دیده می‌شود.

ب _ شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی

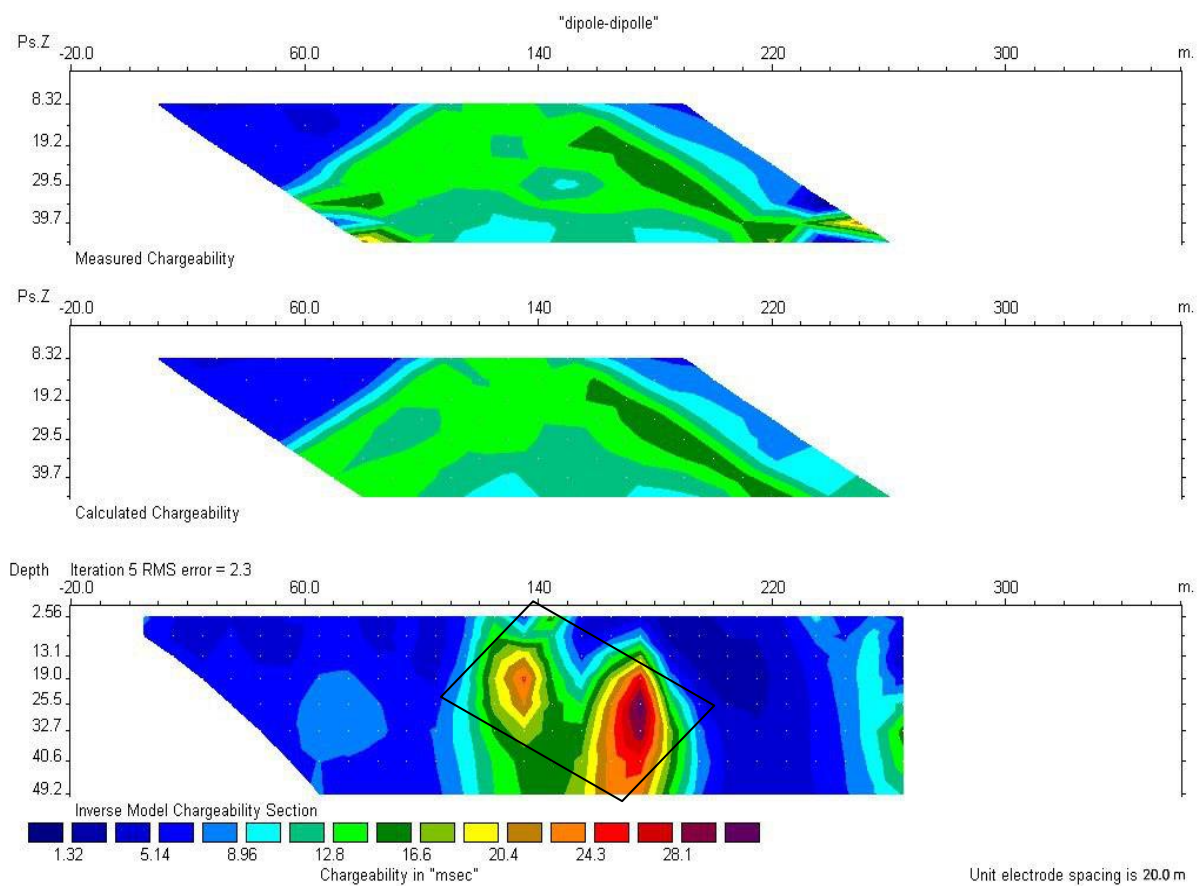
همان‌طور که در شکل (۴-۲۲) مشاهده می‌کنید بیشترین مقدار بارپذیری اندازه‌گیری شده بر روی این مقطع ۲۱,۴ و کمترین مقدار ۰,۳۶ میلی ثانیه بوده است. همچنین همان‌طور که از روی مقطع پلاریزاسیون‌القایی این پروفیل دیده می‌شود، محدوده با مقادیر پلاریزاسیون‌القایی بالا از ایستگاه ۱۲۰ تا ۱۸۰ شمالی گسترش داشته است.



شکل ۴ - ۲۰: مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۲۰ متر



شکل ۴ - ۲۱: شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۲۰ متر



شکل ۴ - ۲۲: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی -
دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵ متر

پروفیل 200 S با فواصل الکترودی ترکیبی ۵، ۱۰، ۲۰ متر

شکل (۴ - ۲۳) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه با اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

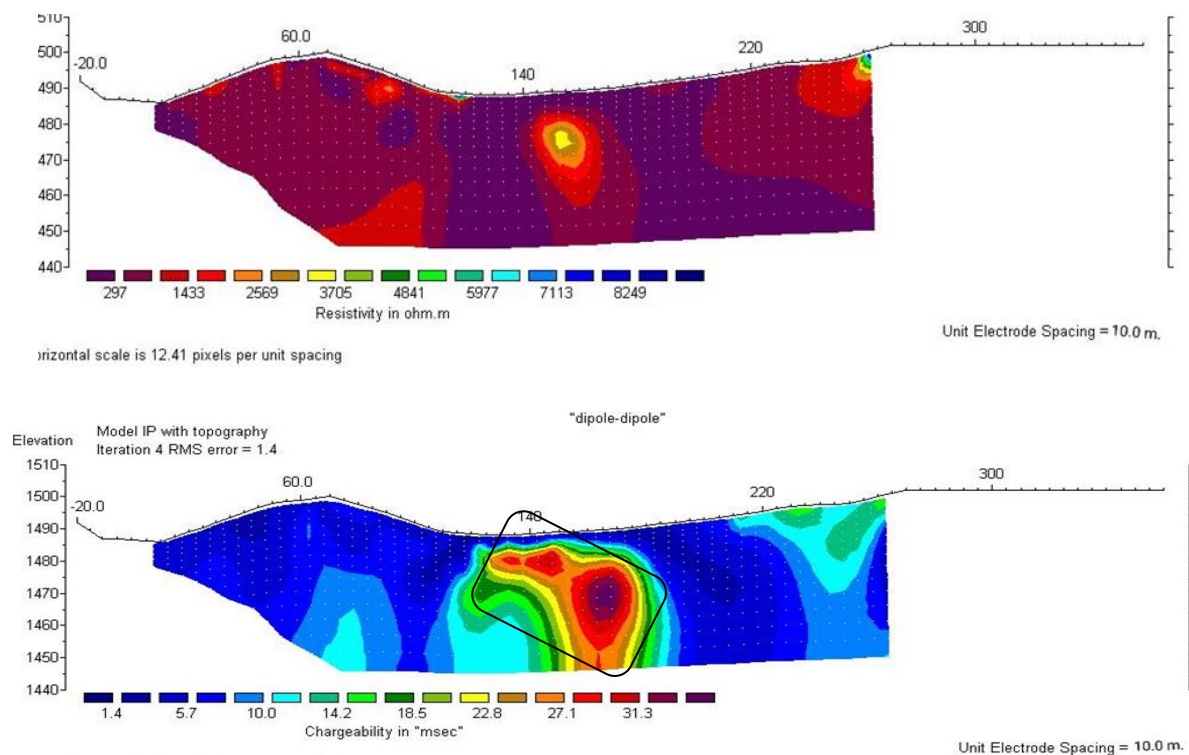
بر روی این مقطع برداشت ها با فواصل الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متر به ترتیب با پرش های ۵، ۱۰ و ۲۰ متر انجام شده پرش های ۵ و ۱۰ متری $n=6$ و پرش ۲۰ متری $n=8$ می باشد

الف) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

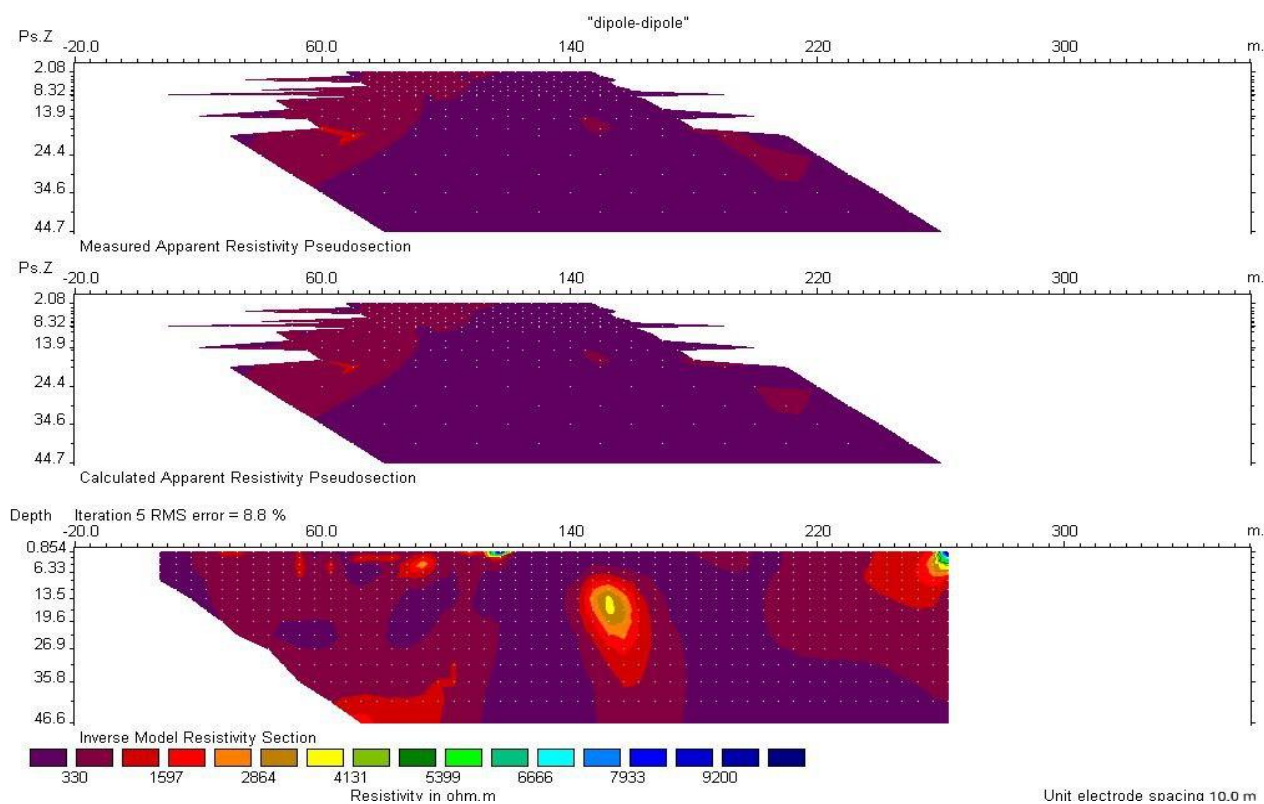
شکل (۴ - ۲۴) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل را نشان می دهد. بر روی شبه مقطع مقاومت ویژه تلفیق شده، بیشترین مقدار برای مقاومت ویژه ۱۰۵۸ و کمترین مقدار ۲۰ اهم متر می باشد.

ب) شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

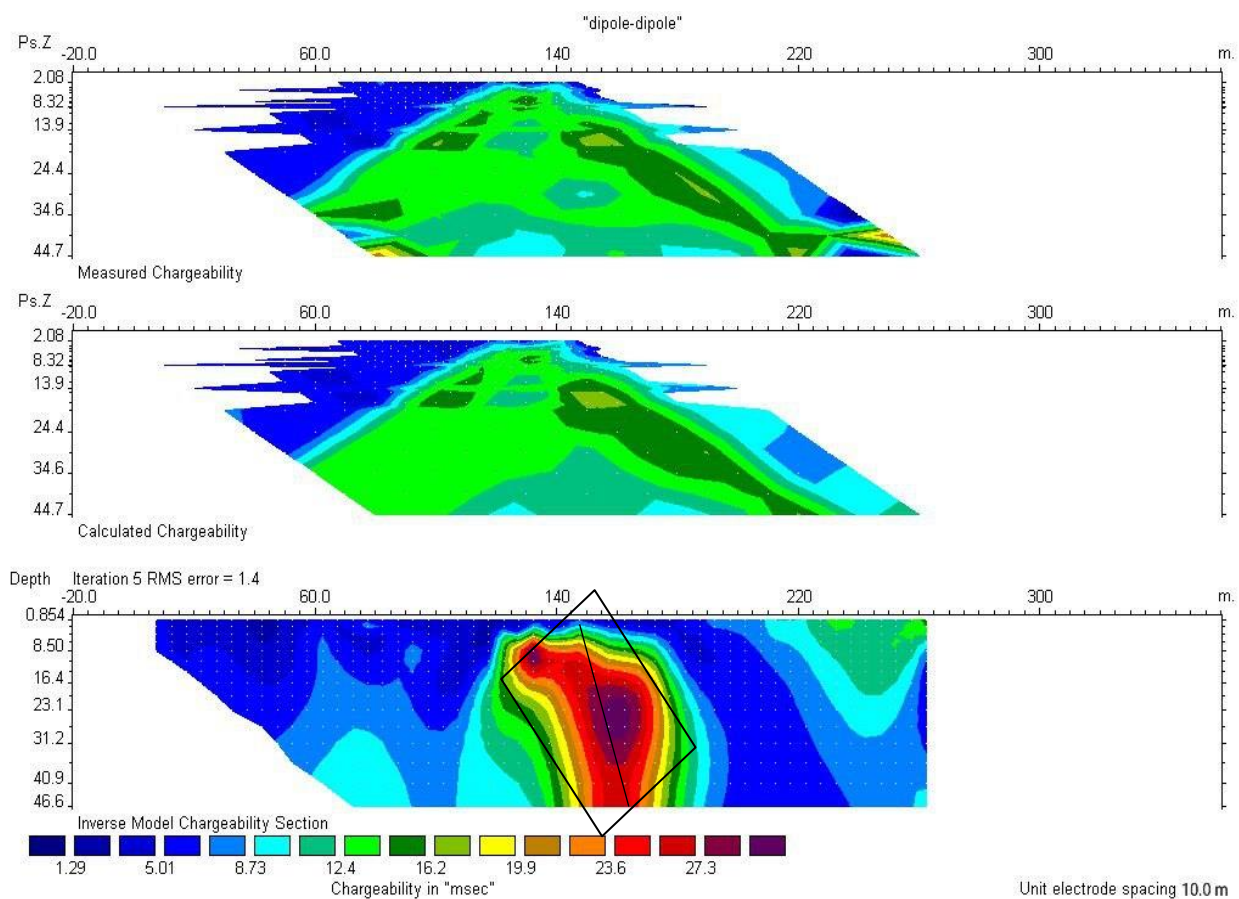
نقشه شکل (۴ - ۲۵) شبه مقطع پلاریزاسیون القایی را در این پروفیل نشان می دهد بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده بر روی این مقطع برداشت شده است ۲۱،۴ و کمترین مقدار ۰،۳۶ میلی ولت بر ثانیه بوده است.



شکل ۴ - ۲۳: مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متر



شکل ۴ - ۲۴: شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متری



شکل ۴ - ۲۵: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی -
دوقطبی در طول پروفیل 200 S با فاصله الکترودی ۵، ۱۰ و ۲۰ متری

پروفیل S 100

همان طور که در شکل (۴ - ۲۶) مشاهده می کنید، مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل همراه با اعمال توپوگرافی آمده است.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر، پرش ۲۰ متر و تا $n = 8$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۲۰ غربی و صفر آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته است به طوری که آخرین الکترو پتانسیل بر روی ایستگاه های ۳۴۰ و ۳۶۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ پرش برای AB و جمعاً ۸۰ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی اندازه گیری شده است.

الف (شبه مقطع و مقاطع مقاومت ویژه

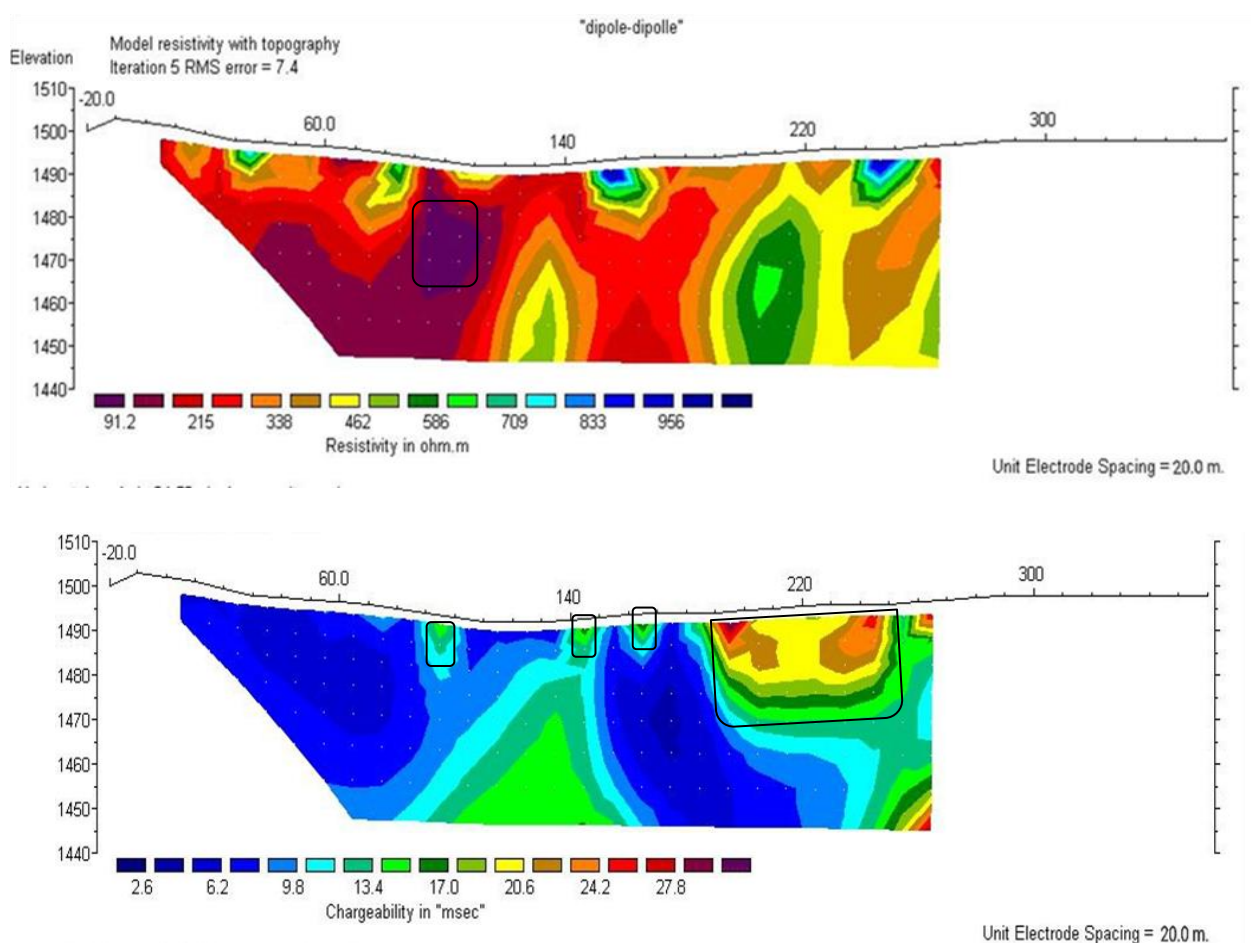
شکل (۴ - ۲۷) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل را نشان می دهد. بر روی این نقشه بیشترین مقدار برای مقاومت ویژه ۷۸۵ و کمترین مقدار ۶۷ اهم متر است. بر روی مقطع یل مدل مقاومت ویژه این پروفیل کمترین مقدار حدود ایستگاه ۱۰۰ شرقی و عمق ۱۰ متری و تا ۲۰ متری قرار گرفته است. محدوده هایی نیز با مقاومت ویژه بالا و به طور سطحی بین ایستگاه های (۳۰ و ۴۰)، (۸۰ و ۹۰)، (۱۵۰ و ۱۶۰)، (۲۴۰ و ۲۵۰) شرقی دیده می شود. زیر ایستگاه ۱۳۰ و ۲۱۰ شرقی نیز مقدار مقاومت افزایش نسبی داشته است.

ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

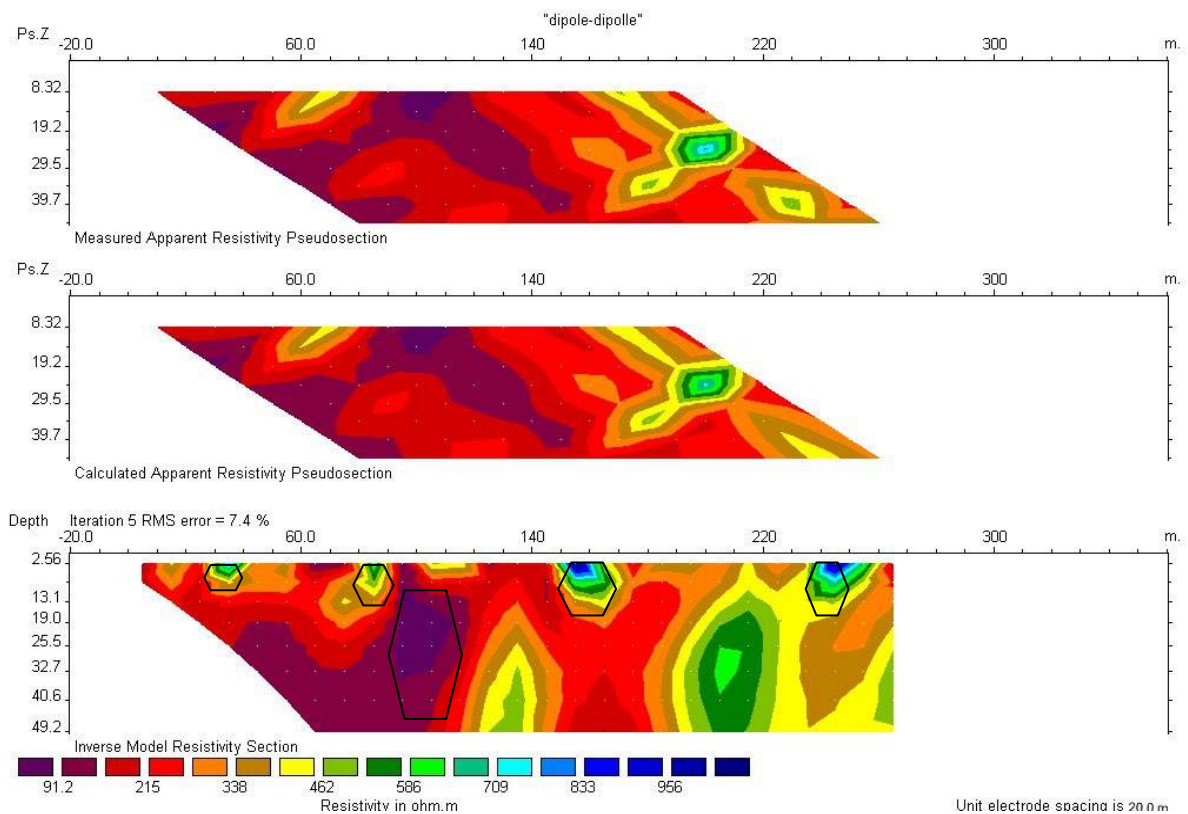
شکل (۴ - ۲۸) شبه مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بارپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل را نشان می دهد.

با توجه به شبه مقطع پلاریزاسیون القایی اندازه گیری شده در طول این پروفیل، بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده در طول این پروفیل برداشت شده است ۲۶,۳ و کمترین مقدار ۱,۷ میلی ثانیه بوده است. بر

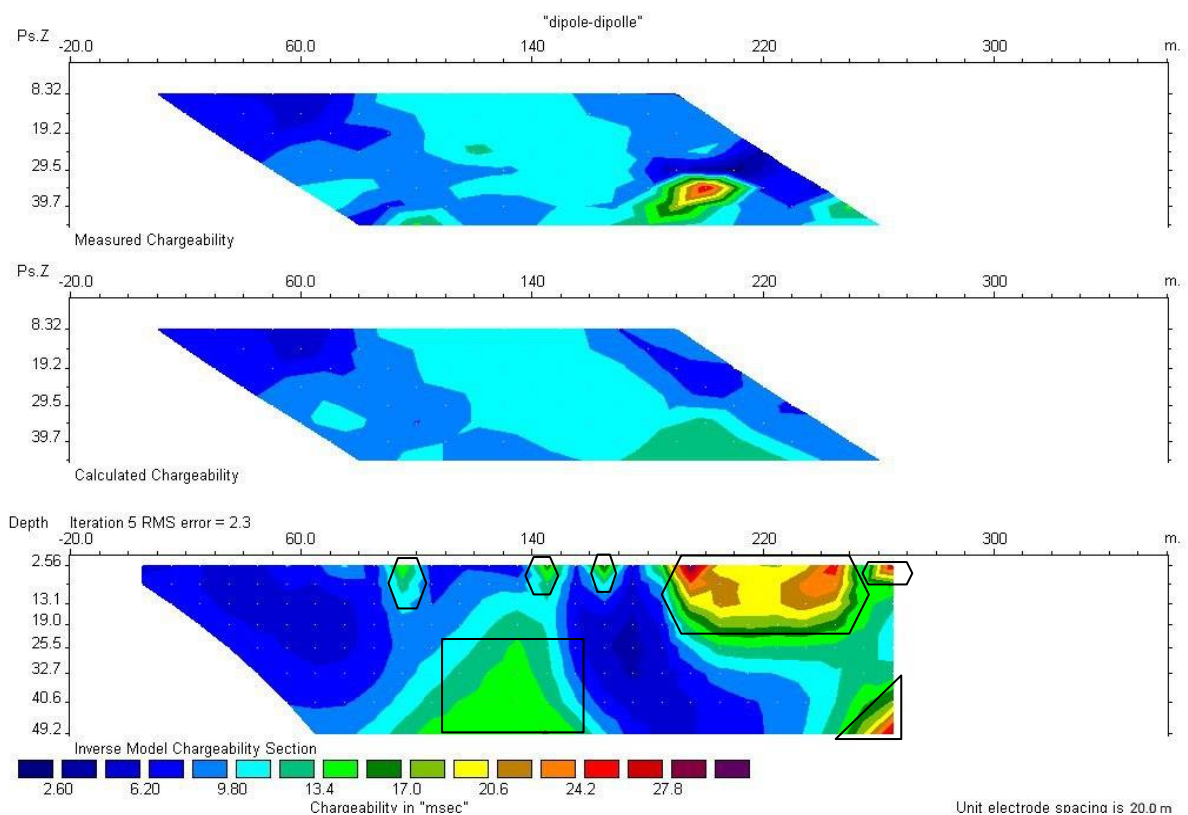
روی مدل پلاریزاسیون القایی این پروفیل IP ما بین ایستگاه‌های (۹۰ و ۱۰۰)، (۱۴۰ و ۱۵۰)، (۱۶۰ و ۱۷۰) شرقی، به مقدار کمتر و حدفاصل ایستگاه ۱۰۰ تا ۱۵۰ که از عمق ۱۵ متری شروع و تا عمق پایین‌تر ادامه دارد، به طور سطحی افزایش داشته است. همچنین همانطور که از روی مقطع پلاریزاسیون القایی این پروفیل دیده می‌شود، مقدار پلاریزاسیون القایی ما بین ایستگاه‌های ۱۹۰ تا ۲۵۰ شرقی و تا عمق ۲۰ متری به شکل هلالی افزایش داشته که در طرفین و در بین ایستگاه‌های (۱۹۰ و ۲۰۰)، (۲۴۰ و ۲۵۰) شرقی مقدار آن بیشتر هم شده است.



شکل ۴-۲۶: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 100 S



شکل ۴ - ۲۷: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 S



شکل ۴ - ۲۸: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 100 S

پروفیل 100 N

شکل (۴ - ۲۹) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر، پرش ۲۰ متر و تا ۸ پرش $n=8$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های صفر ۲۰ غربی آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته به طوری که آخرین الکترودهای پتانسیل بر روی ایستگاه های ۳۰۰ و ۳۲۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۸ پرش برای AB و جمعاً ۶۸ نقطه بر روی این پروفیل برای مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی اندازه گیری شده است.

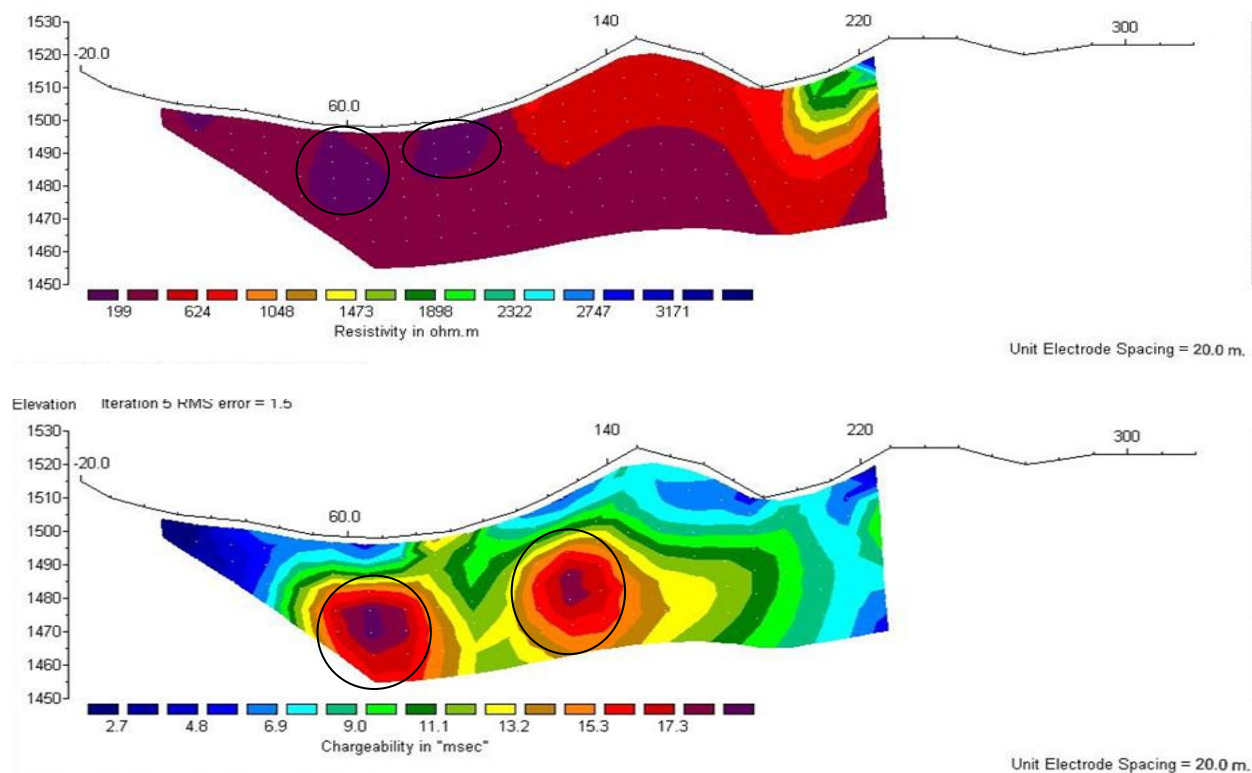
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

شکل (۴ - ۳۰) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری را بر روی این پروفیل نشان می دهد. در طول این شبه مقطع بیشترین مقدار مقاومت ویژه اندازه گیری شده ۱۴۴۶ و کمترین مقدار ۹۳ اهم متر می باشد. بر روی نقشه مقطع مقاومت ویژه این پروفیل یک کنتاکت حول ایستگاه ۹۵ شرقی دیده می شود. دو محدوده با مقاومت ویژه کم تر در ایستگاه ۹۰ و ۵۵ شرقی داریم.

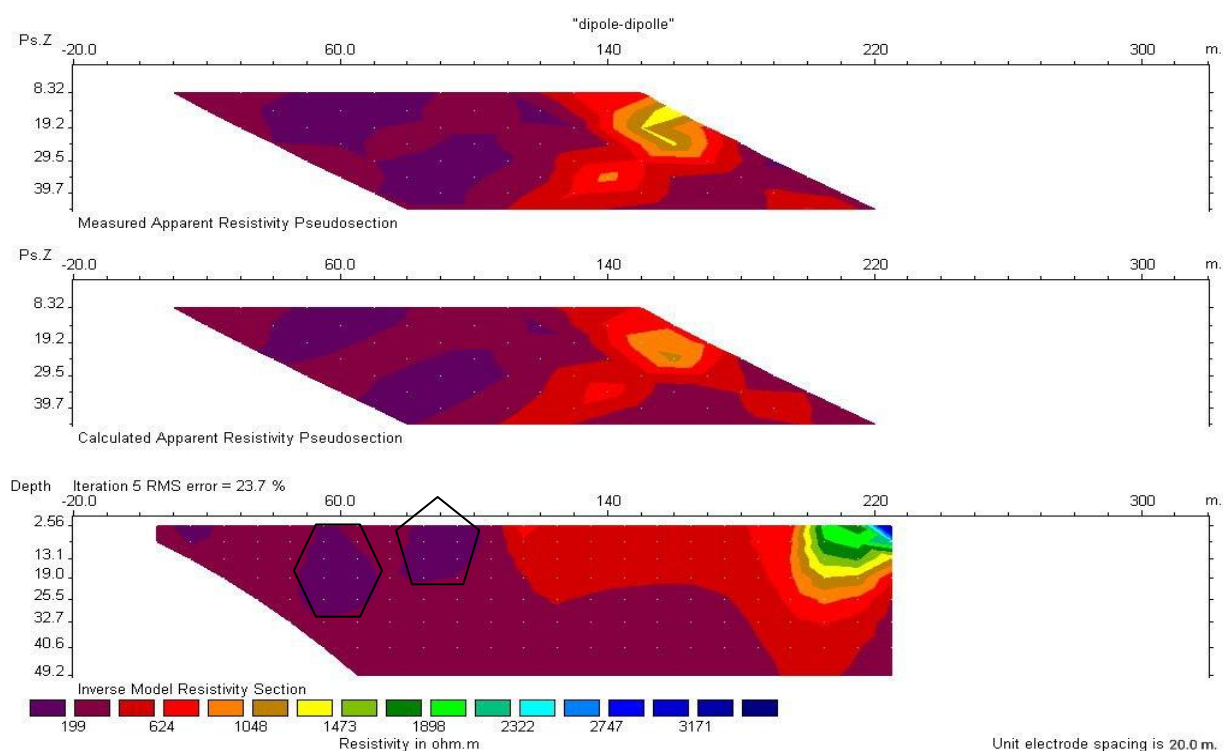
عمق مطالعات به صورت تئوریک ۹۰ متر از سطح توپوگرافی می باشد. اما در عمل حدود نصف این مقدار است.

ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

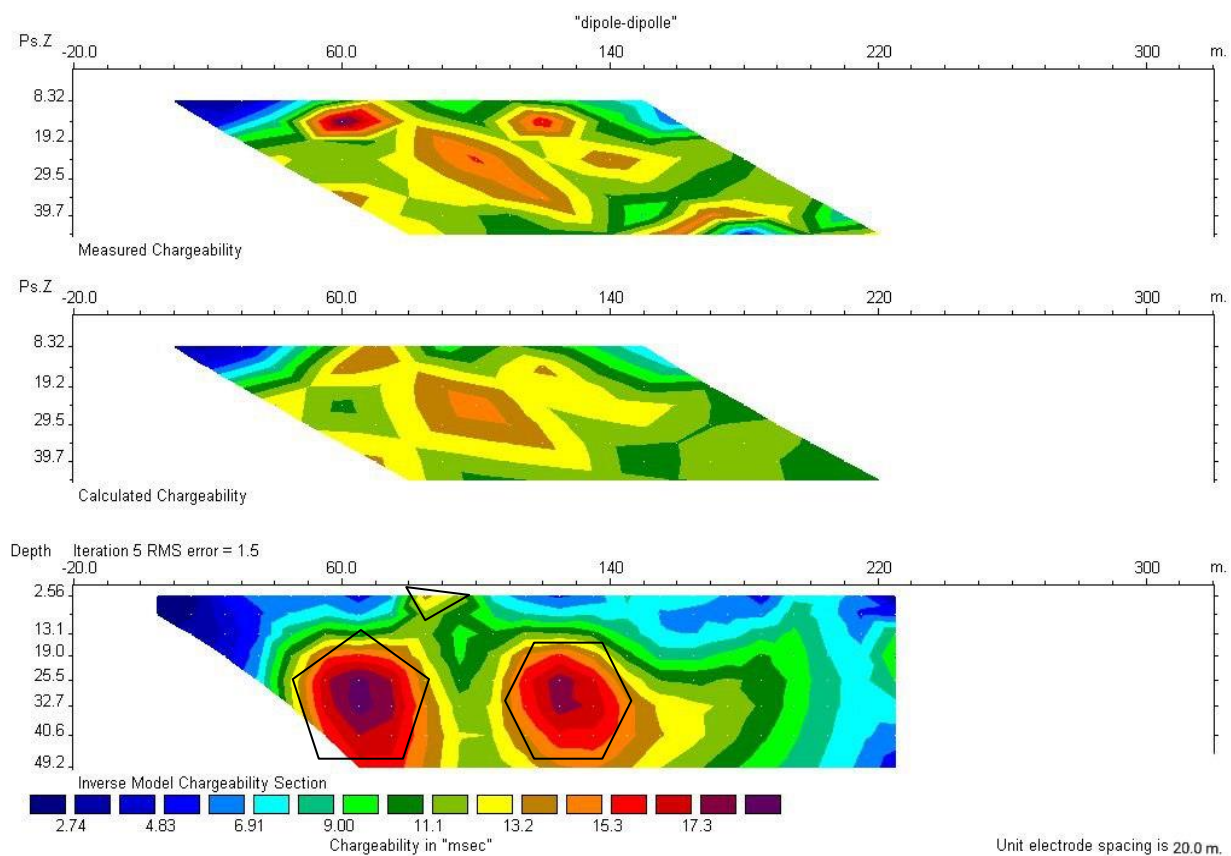
شکل (۴ - ۳۱) نشان دهنده شبه مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل است. با توجه به شبه مقطع اندازه گیری شده در طول این پروفیل بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده بر روی مقطع این پروفیل ۱۸,۹ و کمترین مقدار ۳,۳ میلی ثانیه اندازه گیری شده است. همچنین دو اثر با پلاریزاسیون القایی بالا زیر ایستگاه ۱۲۵ و ۶۵ شرقی با عمق حدود ۲۰ متر و یک اثر خفیف تر در ایستگاه ۹۰ و در نزدیکی سطح داریم.



شکل ۴-۲۹: مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 100 N



شکل ۴-۳۰: شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 100 N



شکل ۴ - ۳۱: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 100 N

پروفیل 200 N

در شکل (۴ - ۳۲) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را مشاهده می کنیم.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر و پرش ۲۰ متر و تا ۸ پرش $n = 8$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۸۰ و ۱۰۰ غربی آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته به طوری که الکترودهای پتانسیل بر روی ایستگاه های ۳۰۰ و ۳۲۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۲ پرش برش AB و جمعاً ۹۶ نقطه بر روی این پروفیل اندازه گیری شده است. عمق مطالعات به صورت تئوریک ۹۰ متر از سطح توپوگرافی بوده؛ ولی در عمل حدود نصف این مقدار است.

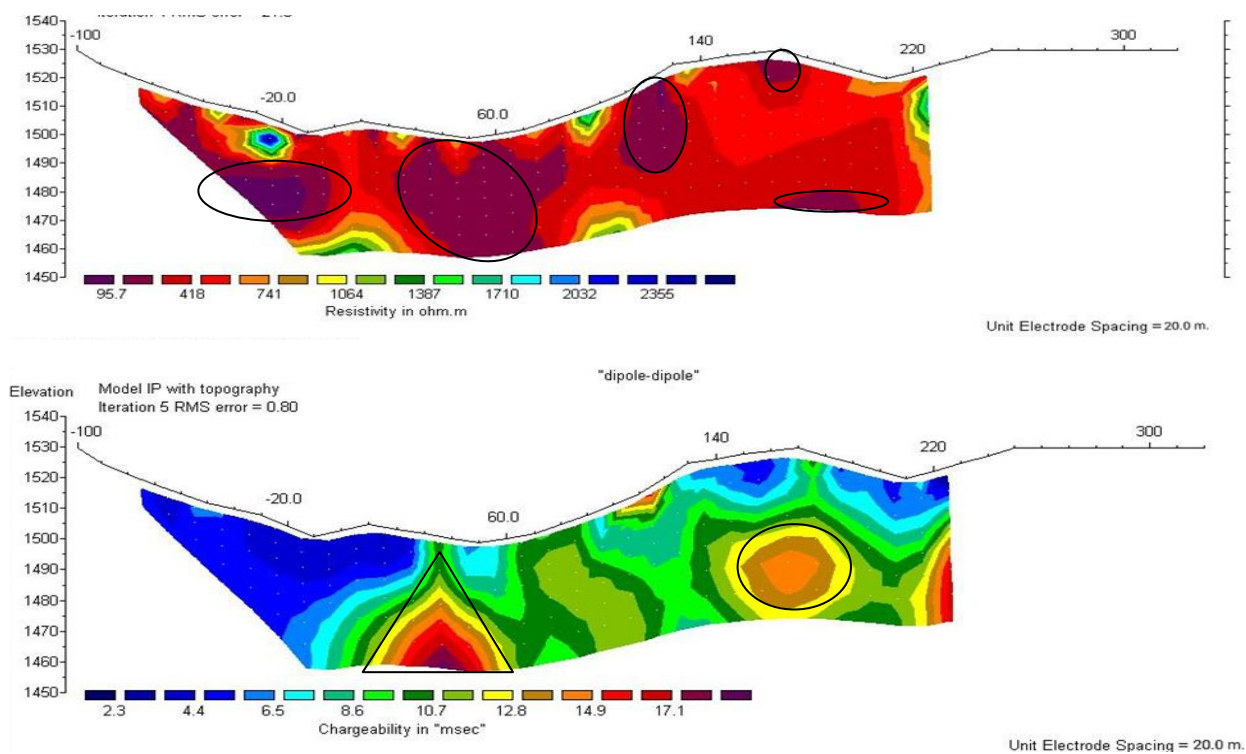
الف) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

شکل (۴ - ۳۳) نشان دهنده شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل است. همان طور که مشاهده می کنید بیشترین مقدار برای مقاومت ویژه ۹۲۶ و کمترین مقدار ۱۵ اهم متر می باشد. بر روی مقطع یا مدل مقاومت ویژه یک بخش با مقاومت ویژه کم بین ایستگاه ۲۰ تا ۸۰ و در محدوده مرکزی دیده می شود؛ که از طرفین با بخش های مقاوم تر در تماس است. مقدار مقاومت ویژه بین ایستگاه های ۱۱۰ تا ۱۳۰ و ۱۶۰ تا ۱۸۰ شرقی کاهش داشته است.

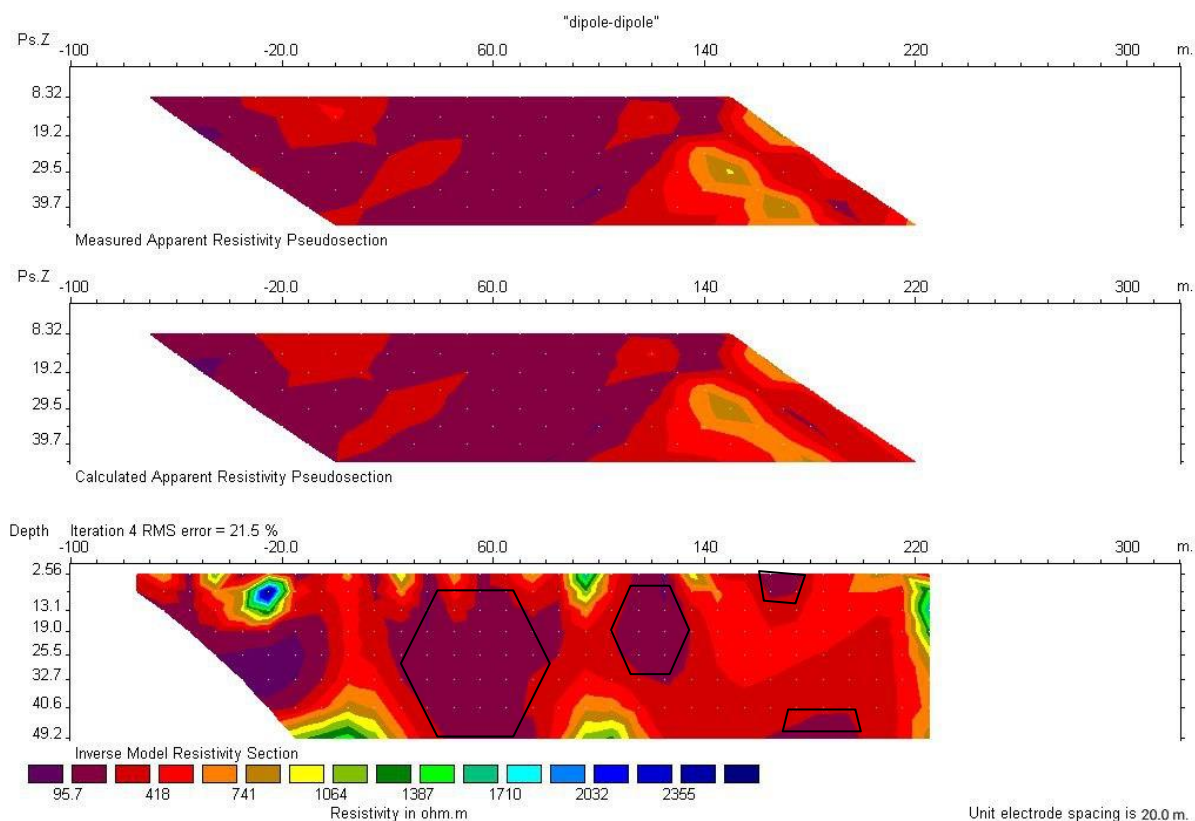
ب) شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

شکل (۴ - ۳۴) شبه مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بارپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل است. بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده بر روی این مقطع ۱۳,۱ و کمترین مقدار ۳,۲ میلی ثانیه بوده است. همچنین با توجه به مقطع پلاریزاسیون القایی این پروفیل، بی هنجاری زیر ایستگاه ۱۷۰ شرقی در عمق حدود ۲۰ متر، ایستگاه ۱۰۰ تا ۱۲۰ شرقی به طور سطحی و

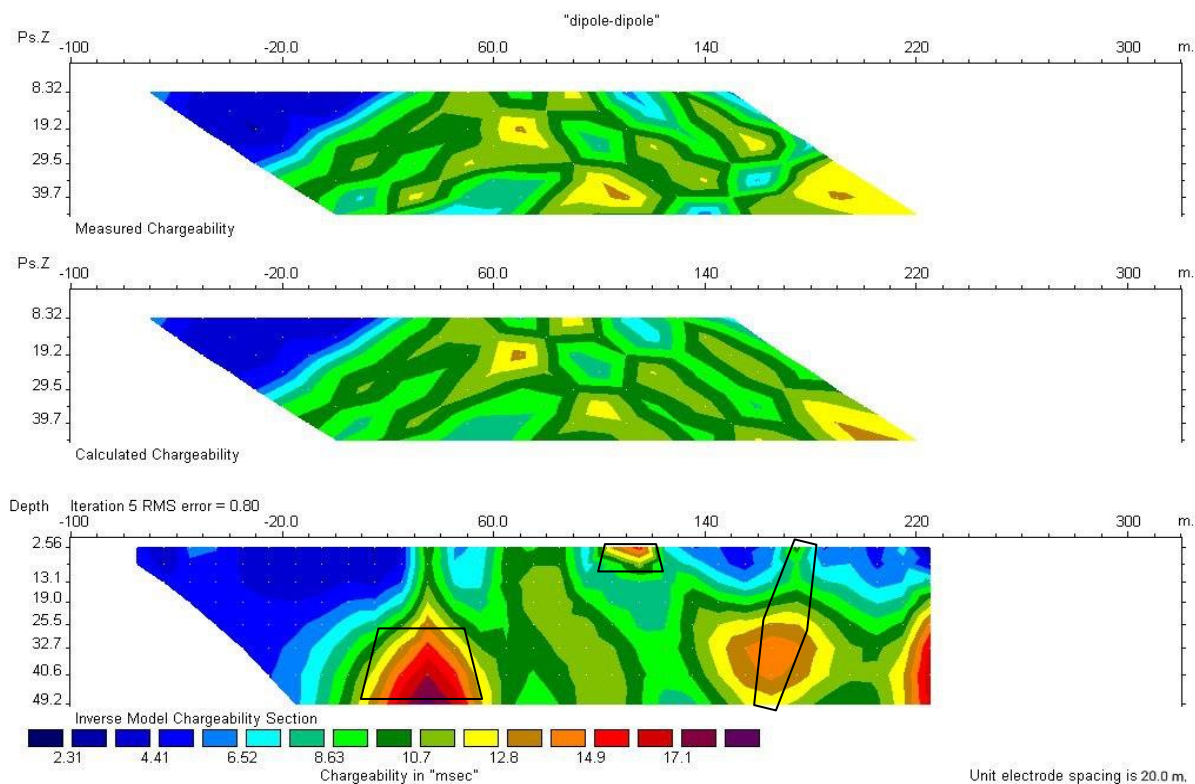
بین ایستگاه ۲۰ تا ۴۰ شرقی به شکل یک رگه که در عمق گسترده شده مقدار پلاریزاسیون القایی افزایش داشته است.



شکل ۴-۳۲: مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 200 N



شکل ۴ - ۳: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 N



شکل ۴ - ۳: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون‌القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 200 N

پروفیل N 275

شکل (۴ - ۳۵) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۴۰ متر، پرش ۴۰ متر و تا ۶ پرش برای MN انجام شده است. شروع آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۲۴۰ و ۲۸۰ غربی آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته به طوری که آخرین الکترو د پتانسیل بر روی ایستگاه های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۵۲ پرش برای AB و جمعاً ۳۱۲ نقطه بر روی این پروفیل برای مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی انجام گرفته است. عمق مطالعات بر روی این پروفیل به صورت تئوریک ۱۴۰ متر از سطح توپوگرافی می باشد که در عمل این عمق حدود نصف این مقدار است.

پروفیل ۲۷۵ شمالی به منظور بررسی عمقی تر واقع در دشت شرقی محدوده مورد مطالعه با طول بیشتری برداشت شده است. بر روی مدل این پروفیل مناطق مرتفع شرقی و دشت شرقی به علت نداشتن اطلاعات ارتفاعی ایستگاه ها تصحیح توپوگرافی نشده است.

الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

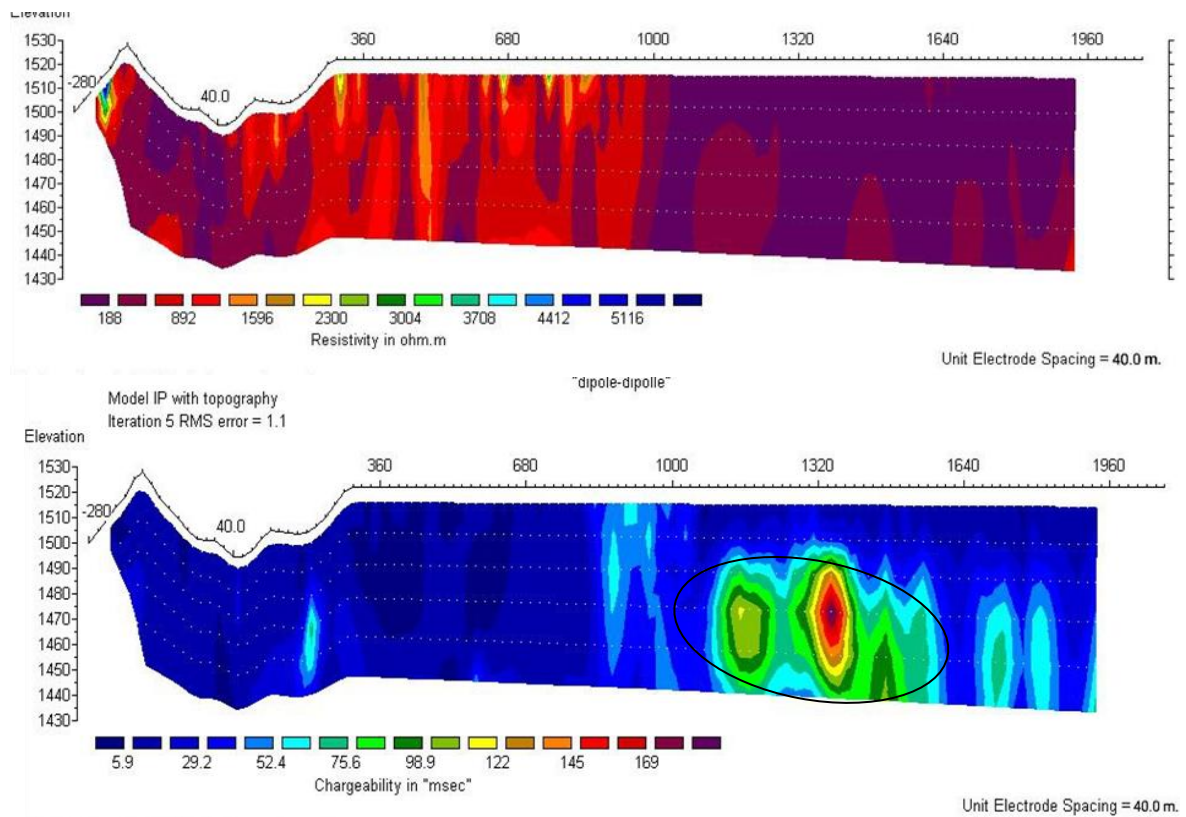
در شکل (۴ - ۳۶) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل آمده است.

بر روی این شبه مقطع مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل، بیشترین مقدار مقاومت ویژه ظاهری ۱۶۷۷ و کمترین مقدار ۳۲ اهم متر بوده است. مدل مقاومت ویژه نشان می دهد که مقدار مقاومت ویژه بر روی ارتفاعات افزایش، در دره غربی و در دشت شرقی کاهش یافته است. از نظر مقاومت ویژه شکل بی هنجاری در غرب پروفیل مشابه مدل مقاومت ویژه بر روی پروفیل ۲۰۰ شمالی است. یک بخش کم مقاومت ویژه در مرکز دره و بخشی نیز به طور سطحی در زیر ایستگاه ۸۰ غربی دیده می شود. در دشت شرقی نیز مقاومت ویژه بین ایستگاه ۱۱۲۰ تا ۱۱۶۰ و ۱۴۴۰ تا ۱۴۸۰ شرقی در عمق افزایش داشته است.

ب) شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

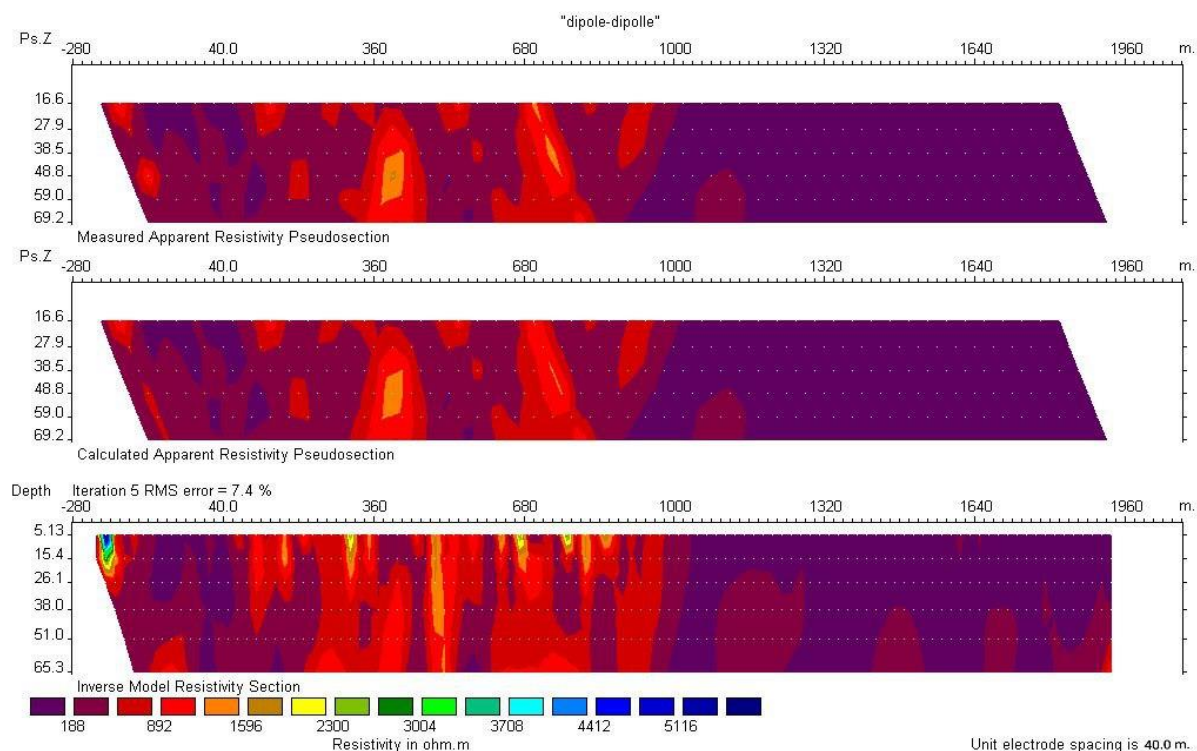
در شکل (۴ - ۳۷) شبه‌مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل‌سازی داده‌های بارپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل را مشاهده می‌کنید.

با توجه به شبه‌مقطع پلاریزاسیون القایی اندازه‌گیری شده در طول این پروفیل بیشترین مقدار برای بارپذیری اندازه‌گیری شده بر روی این مقطع ۸۲٫۶ و کمترین مقدار ۰٫۵۲ میلی ثانیه است. مقدار پلاریزاسیون القایی در ایستگاه ۴۰ شرقی واقع در کف دره غربی از سطح افزایش یافته است. همچنین مقدار پلاریزاسیون القایی زیر ایستگاه ۲۰۰ شرقی نیز به مقدار زیادی افزایش یافته است. در شرق پروفیل بین ایستگاه‌های ۱۰۸۰ تا ۱۱۸۰ و ۱۲۴۰ تا ۱۴۸۰ و در عمق ۳۰ تا ۷۰ متری بیشترین مقادیر پلاریزاسیون القایی دیده می‌شود.

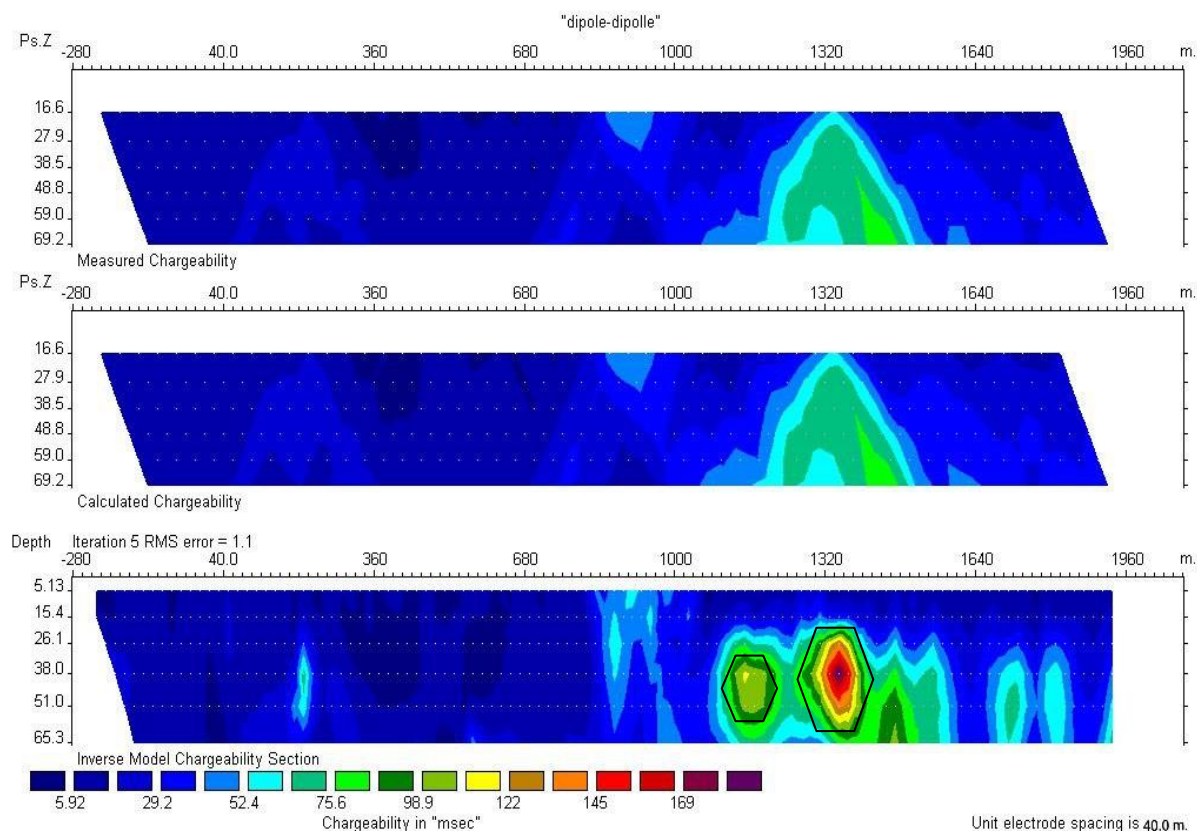


شکل ۴-۳۵: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه

دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل N 275



شکل ۴ - ۳۶: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی -
دوقطبی در طول پروفیل 275 N



شکل ۴ - ۳۷: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی -
دوقطبی در طول پروفیل 275 N

شکل (۴ - ۳۸) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر، پرش ۲۰ متر و تا ۸ پرش برای MN انجام گرفته است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۶۰ و ۸۰ غربی آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترودهای پتانسیل بر روی ایستگاه های ۴۲۰ و ۴۴۰ شرقی قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۷ پرش و جمعاً ۱۳۶ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی اندازه گیری شده است. عمق از سطح توپوگرافی به صورت تئوریک ۹۰ متر و در عمل حدود نصف این مقدار می باشد.

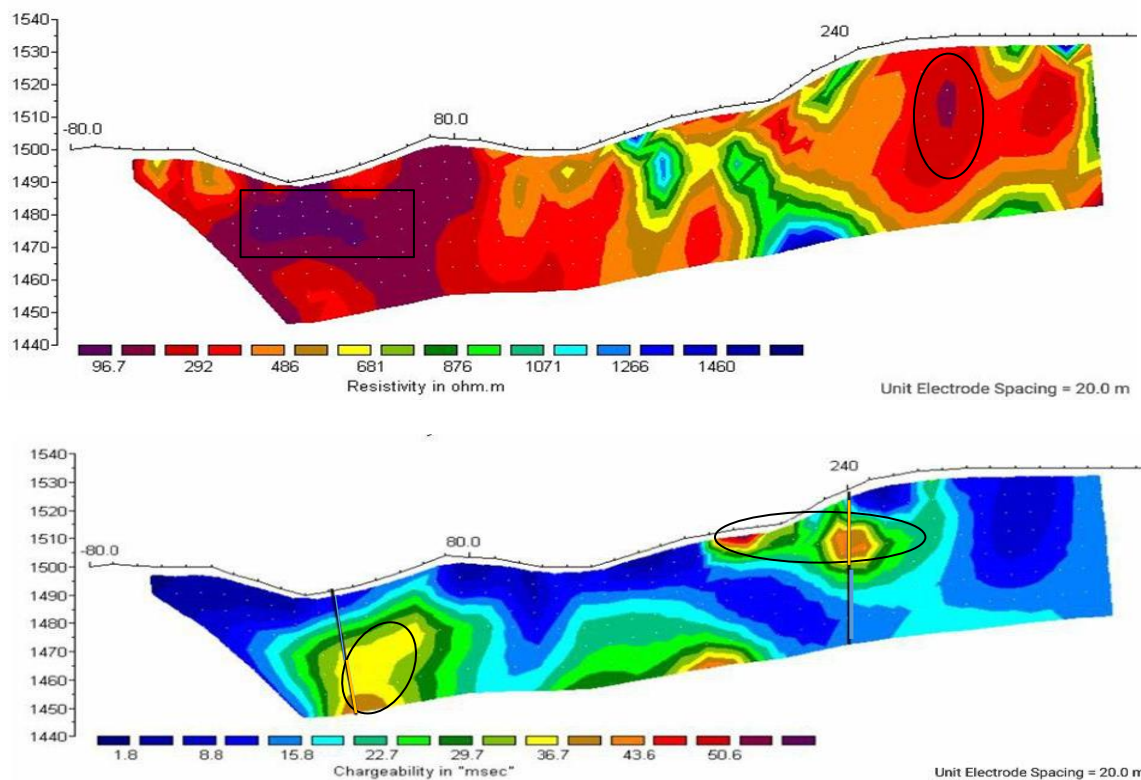
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

شکل (۴ - ۳۹) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل را نشان می دهد. در این شبه مقطع بیشترین مقدار برای مقاومت ویژه ۱۰۸۷ و کمترین مقدار ۴۸ اهم متر برداشت شده است. بر روی مقطع یا مدل مقاومت ویژه این پروفیل از ایستگاه ۱۰ غربی تا ۷۰ شرقی و ۲۶۰ تا ۲۹۰ شرقی مقدار مقاومت ویژه کاهش می یابد. در حالی که این مقدار حدود ایستگاه ۱۴۰ تا ۱۵۰ شرقی به طور سطحی در ۲۰ متری شرق آن حدود ایستگاه ۱۷۰ شرقی به سمت عمق تا ۲۴۰ شرقی مقدار مقاومت بالا می رود (بخش های سرمه ای پر رنگ).

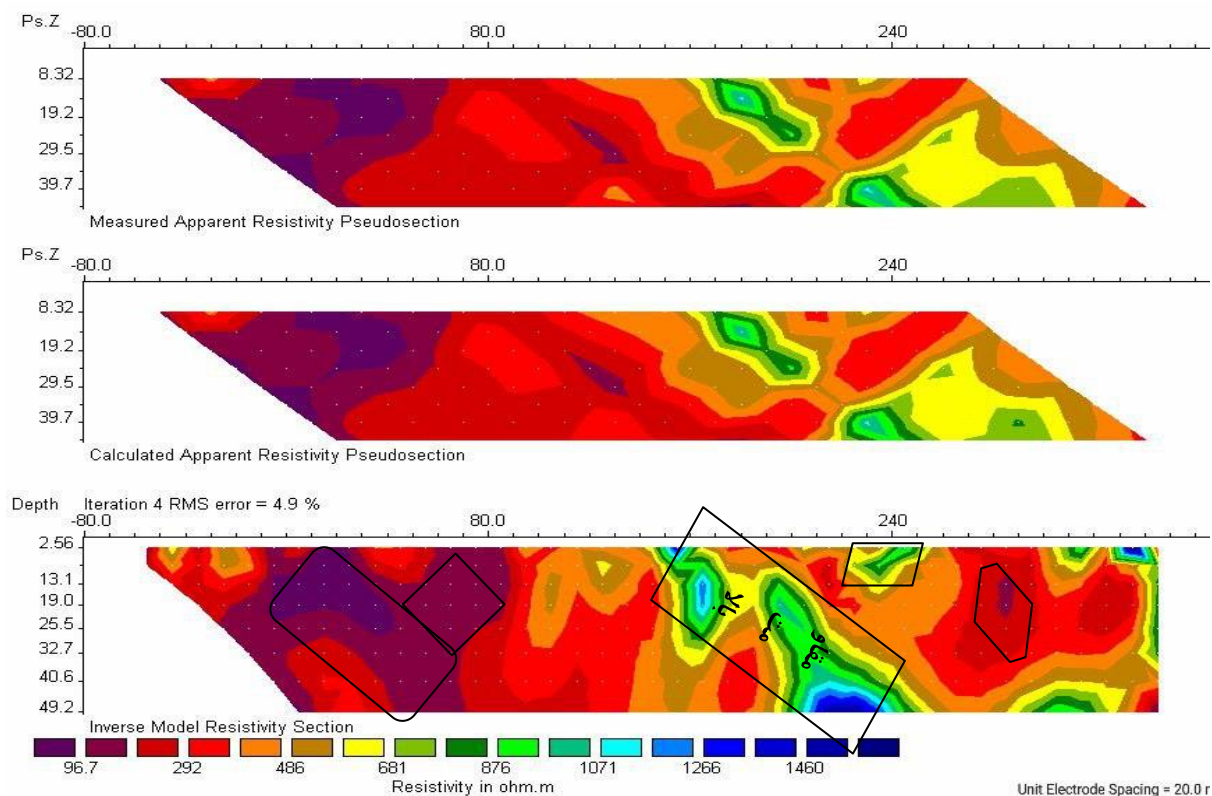
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

شکل (۴ - ۴۰) شبه مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بارپذیری بدست آمده را در امتداد پروفیل نشان می دهد. بیشترین مقدار بارپذیری بر روی این مقطع ۴۶,۹۳ و کمترین مقدار ۰,۱ میلی ثانیه برداشت شده است. بر روی مقطع پلاریزاسیون القایی این پروفیل بین ایستگاه های ۱۰

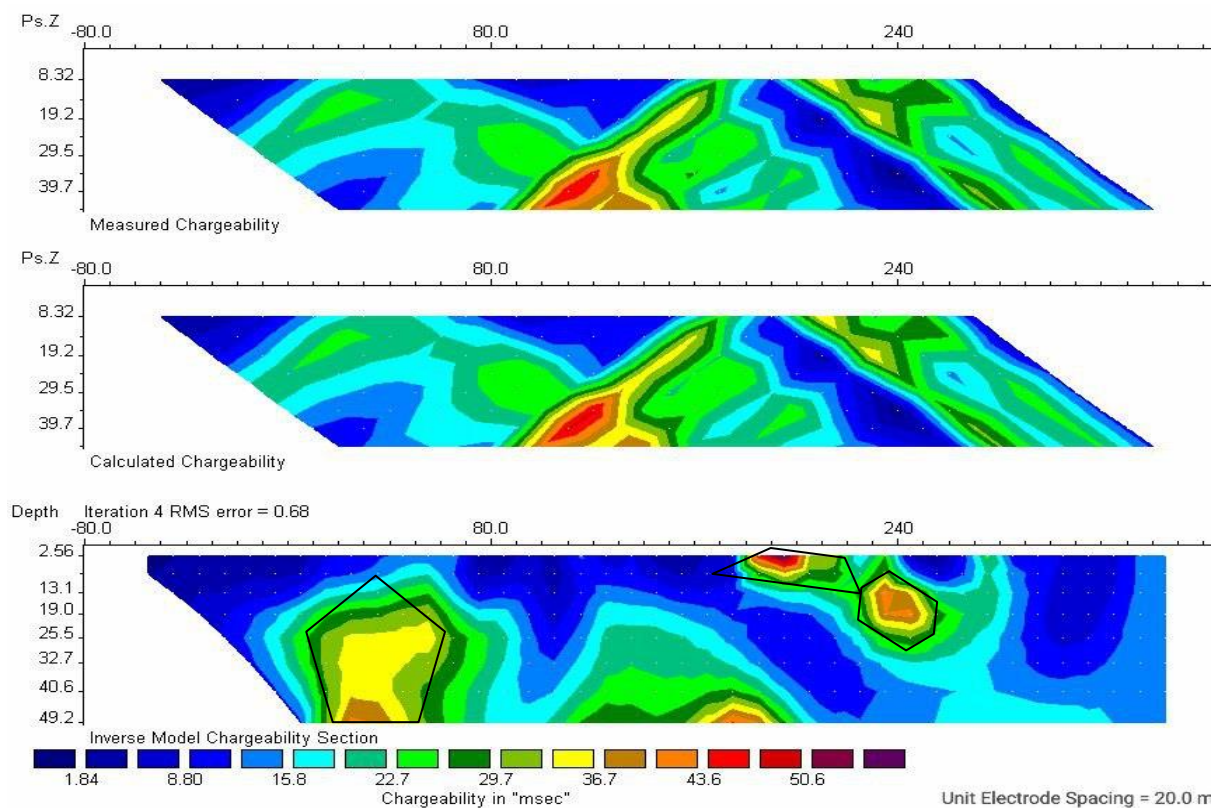
تا ۵۰ شرقی از سطح به عمق مقدار پلاریزاسیون القایی بالا رفته است. همچنین حدفاصل ایستگاه‌های ۱۷۰ تا ۲۱۰ و ۲۲۰ تا ۲۴۰ شرقی مقدار IP افزایش یافته است.



شکل ۴ - ۳۸: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 400 N



شکل ۴ - ۳۹: شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی -
دوقطبی در طول پروفیل 400 N



شکل ۴ - ۴۰: شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی -
دوقطبی در طول پروفیل 400 N

پروفیل 600 N

شکل (۴ - ۴۱) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل به همراه اعمال توپوگرافی را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر، پرش ۲۰ متر و تا ۸ پرش برای MN انجام شده است. شروع این آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۱۲۰ تا ۱۴۰ غربی آغاز و اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترودهای پتانسیل بر روی ایستگاه های ۲۶۰ تا ۲۸۰ شرقی قرار گرفته است. پس ۱۲ پرش و ۹۶ نقطه بر روی این پروفیل برای مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی اندازه گیری شده است. عمق مطالعات به صورت تئوریک ۹۰ متر و در عمل نصف این مقدار است.

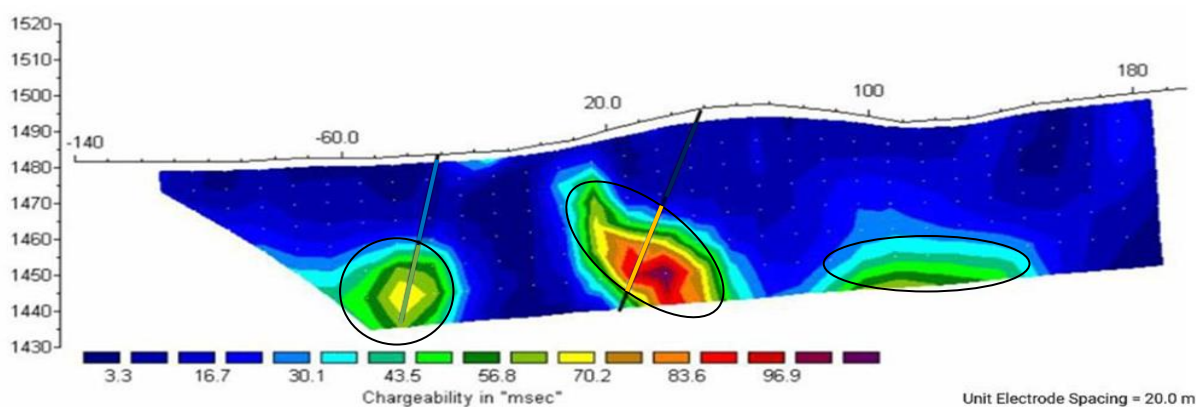
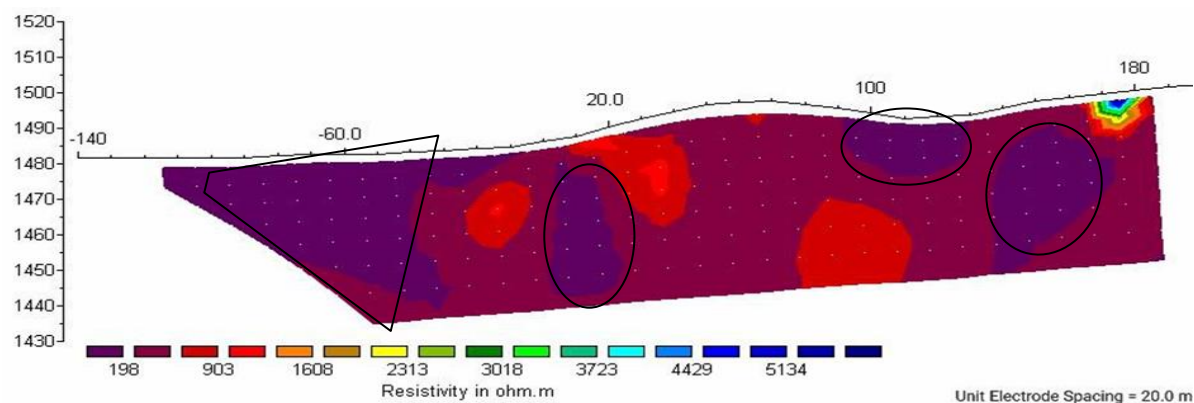
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

در شکل (۴ - ۴۲) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی این پروفیل مشاهده می شود.

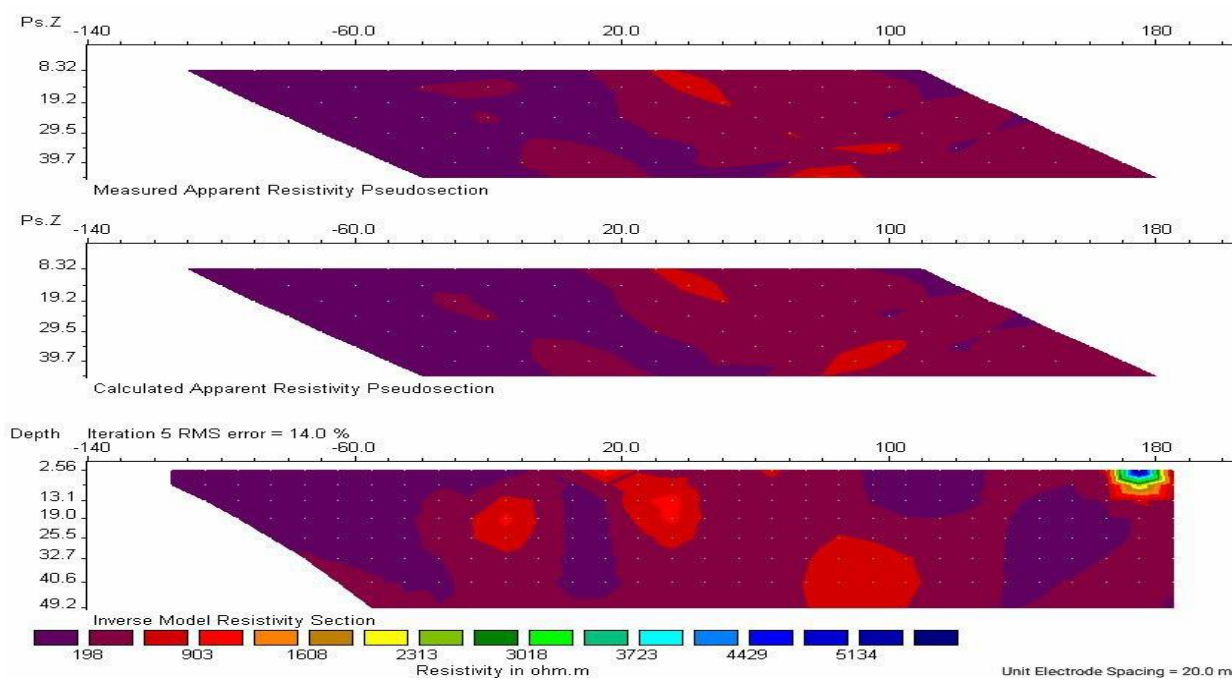
بیشترین مقدار مقاومت ویژه ظاهری ۹۸۹ و کمترین مقدار ۳۵ اهم متر، بر روی این شبه مقطع اندازه گیری شده است. بر روی مدل مقاومت ویژه این پروفیل بخش های قرمز رنگ حدود ایستگاه ۱۵۰ شرقی و ۱۱۰ شرقی، ۱۰ شرقی و ایستگاه ۱۰ غربی تا انتهای غربی پروفیل مقدار مقاومت ویژه کاهش یافته است.

ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

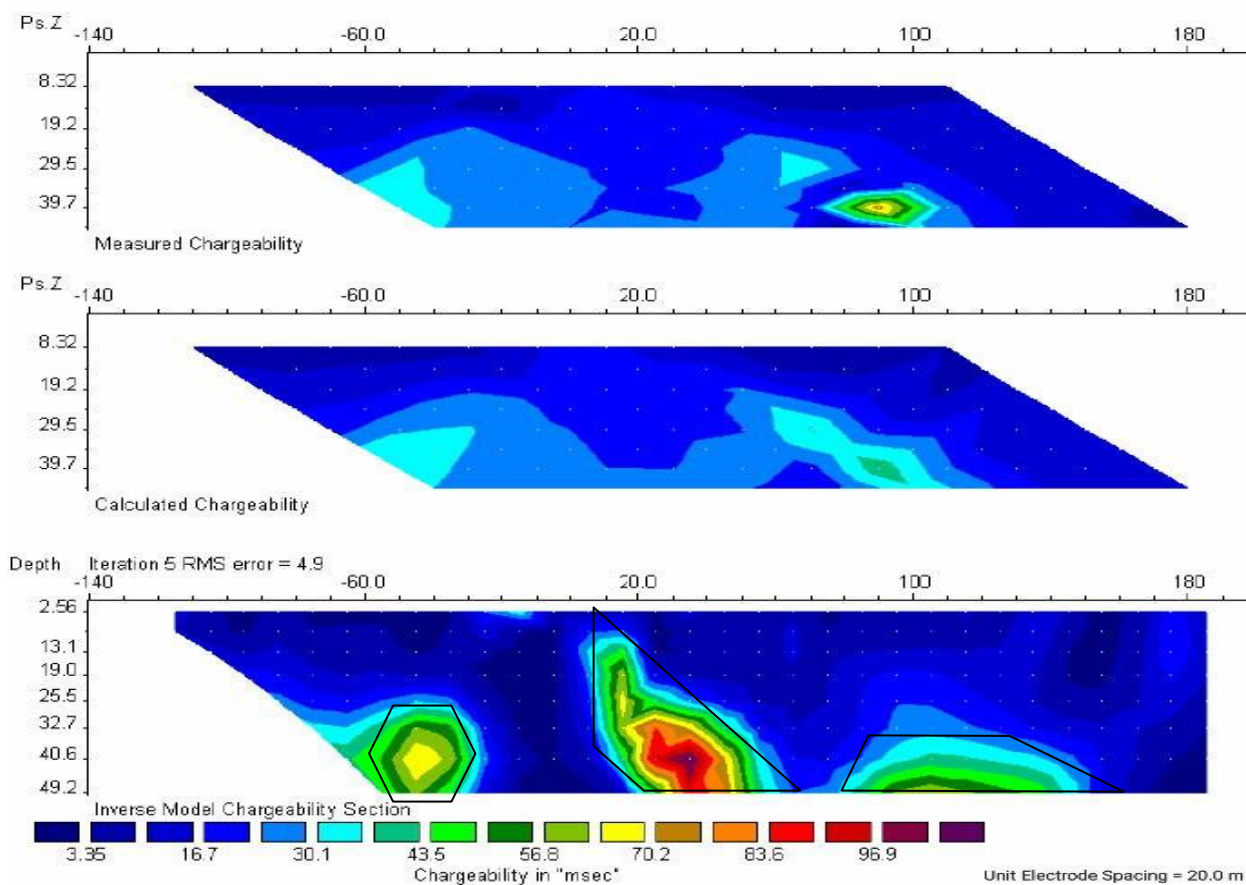
شکل (۴ - ۴۳) نشان دهنده شبه مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بارپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل را نشان می دهد. بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده بر روی این مقطع ۷۳,۶ و کمترین مقطع ۸۹,۳۳- میلی ثانیه بوده است. مقدار پلاریزاسیون القایی در عمق ۳۰ متری و از ایستگاه ۲۰ تا ۶۰ غربی همچنین از ایستگاه ۱۰ تا ۶۰ شرقی، خصوصاً در زیر ایستگاه ۳۰ به شکل مشخص افزایش یافته است. همچنین از عمق ۴۰ متری و از ایستگاه ۹۰ تا ۱۴۰ شرقی و بین ایستگاه ۱۰ تا ۲۰ غربی مقدار پلاریزاسیون القایی به طور سطحی و به مقدار کمتری افزایش یافته است.



شکل ۴-۴۱: مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و پلاریزاسیون القایی برداشت شده با آرایه دوقطبی - دوقطبی بر روی پروفیل 600 N



شکل ۴-۴۲: شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از برداشت داده های مقاومت ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 600 N



شکل ۴ - ۴۳: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 600 N

پروفیل 1100 N

شکل (۴ - ۴۴) (۴ - ۴۵) مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی بدست آمده از این پروفیل را نشان می دهد.

بر روی این مقطع برداشت ها با فاصله الکترودی ۶۰ متر، پرش ۶ متر و تا ۶ پرش برای MN انجام شده است. شروع آرایش با قرار دادن الکترودهای جریان بر روی ایستگاه های ۱۴۰ و ۲۰۰ غربی آغاز اندازه گیری در جهت N80E ادامه یافته است و آخرین الکتروده بر روی ایستگاه های ۹۴۰ و ۱۰۰۰ شرقی قرار دارد به این ترتیب ۱۳ پرش ۷۸ نقطه بر روی این پروفیل قرار گرفته است. عمق به صورت تئوریک ۲۱۰ متر از سطح توپوگرافی می باشد ولی در عمل حدود نصف این مقدار است.

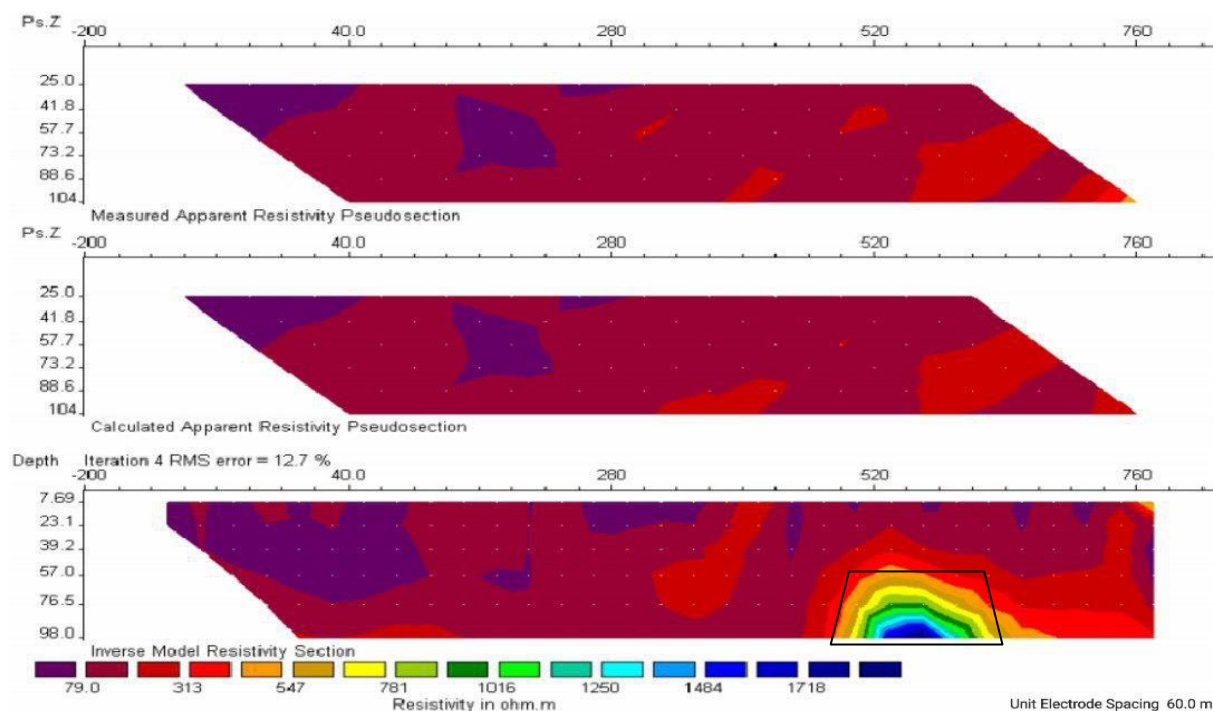
الف (شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه

در شکل (۴ - ۴۴) شبه مقاطع و مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه ظاهری بر روی شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری به همراه مدل آن بر روی پروفیل آمده است که بیشترین مقدار مقاومت برداشت شده برای آن ۴۹۹ و کمترین مقدار ۵۰ اهم متر می باشد. این پروفیل بر روی دشت شمال محدوده برداشت شده است. بر روی این مدل به غیر از یک محدوده حوالی ایستگاه ۳۸۰ که مقدار مقاومت کمی افزایش داشته، مقدار مقاومت ویژه در سطح کم بوده ولی در عین حال مقدار مقاومت ویژه از ایستگاه ۴۸۰ تا ۶۴۰ شرقی به مقدار بیشتر و در عمق بالا رفته است.

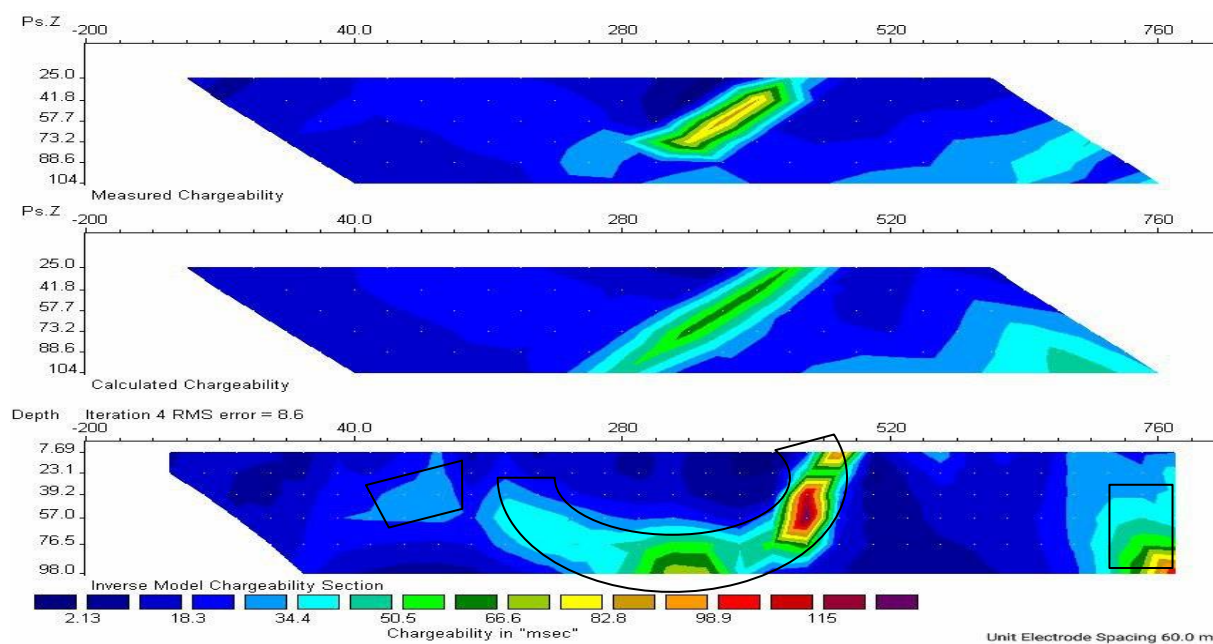
ب (شبه مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی

در شکل (۴ - ۴۵) شبه مقاطع و مدل یا مقطع پلاریزاسیون القایی حاصل از مدل سازی وارون داده های بارپذیری بدست آمده در امتداد این پروفیل آمده است. بیشترین مقدار بارپذیری اندازه گیری شده بر روی این مقطع برداشت شده است، مقدار ۸۶,۴ و کمترین مقدار ۱,۹- میلی ثانیه است. بر روی مدل این پروفیل مقدار پلاریزاسیون القایی از حدود ایستگاه ۱۶۰ شرقی به فرم یک هلال رو به افزایش گذاشته و حدود ایستگاه ۳۴۰ شرقی به عمق بیش از ۱۰۰ متر رسیده و سپس به سمت شرق تا حدود ایستگاه ۴۸۰ شرقی به سطح زمین

ادامه پیدا کرده است. ایستگاه ۱۰۰ شرقی از نزدیک سطح زمین تا عمق ۶۰ متری، ایستگاه ۵۶۰ شرقی تا عمق ۲۰ الی ۳۰ متر و شرقی ترین بخش پروفیل حدود ایستگاه ۷۰۰ شرقی به سمت شرق سایر بی‌هنجاری‌های دارای پلاریزاسیون القایی بالا بر روی این پروفیل می‌باشد.



شکل ۴ - ۴:۴: شبه‌مقاطع و مقطع مقاومت‌ویژه بدست آمده از برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 1100 N



شکل ۴ - ۴:۵: شبه‌مقاطع و مقطع پلاریزاسیون القایی بدست آمده از برداشت داده‌های بارپذیری با آرایه دوقطبی - دوقطبی در طول پروفیل 1100 N

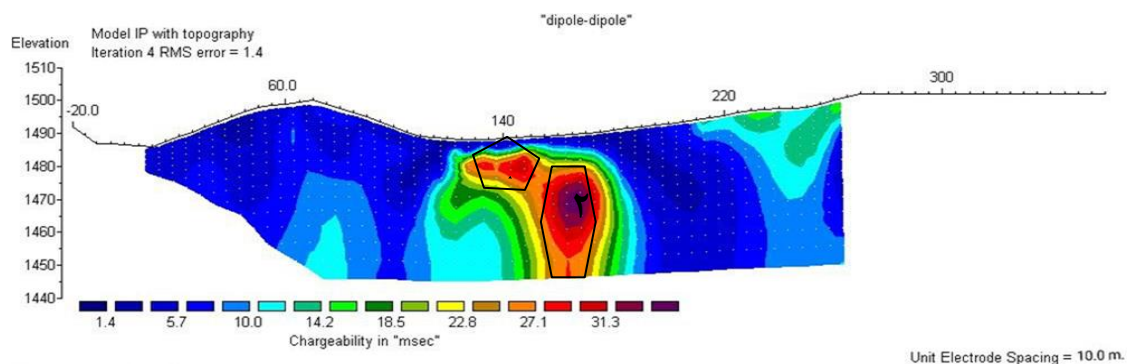
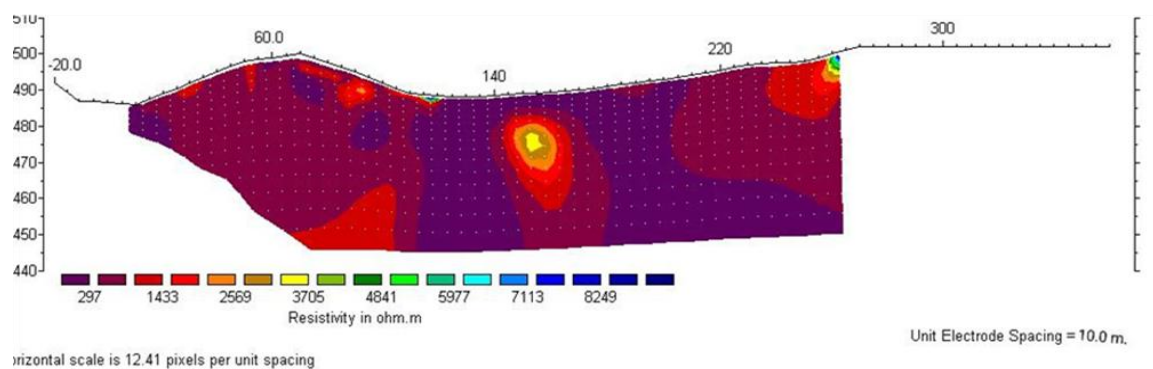
فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه گیری

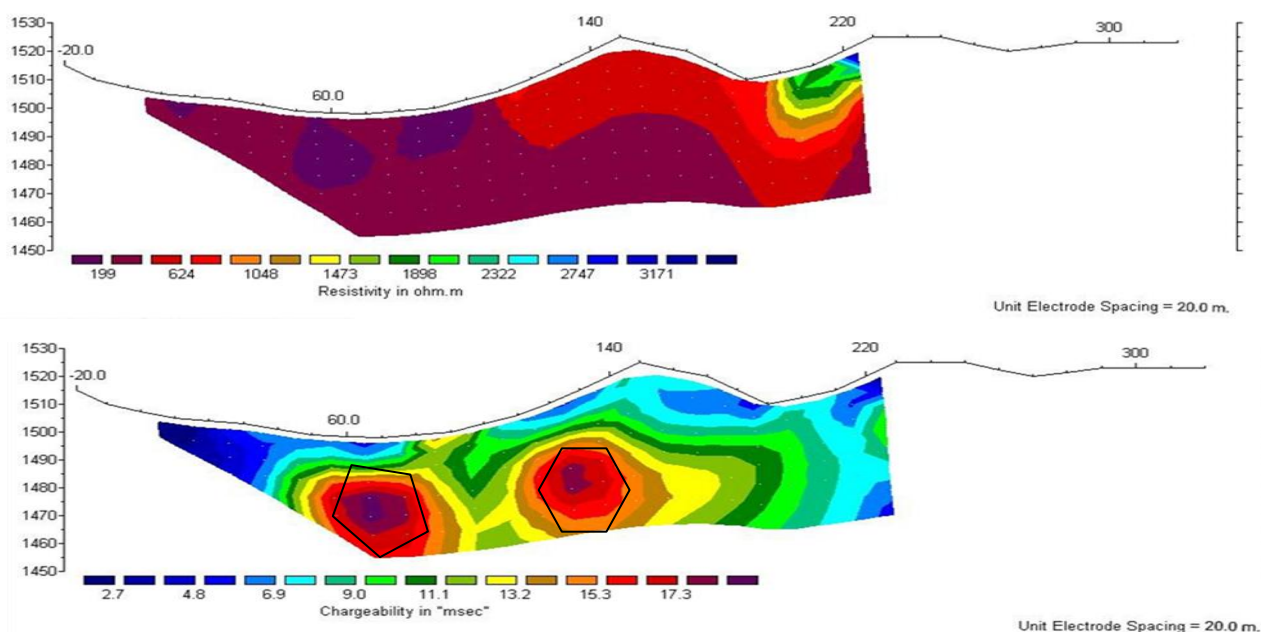
نتایج زیر از تحقیق حاضر به دست آمده است.

- در نقشه های شدت میدان مغناطیسی سه بی هنجاری که با نام های A, B, C با شدت بالای مغناطیسی دیده می شود که در بین این بی هنجاری ها؛ بی هنجاری A در محدوده مورد مطالعه در این پژوهش می باشد.
- با توجه به بررسی هایی که با استفاده از فیلتر فراسو بر روی داده های مغناطیسی انجام گرفت؛ بی هنجاری های مغناطیسی در قسمت شرقی محدوده ریشه دارتر از بخش های دیگر محدوده بوده و از اهمیت بیشتری برخوردار است به طوری که اکثر مناطق با بارپذیری بالا نیز در این قسمت قرار دارد.
- بر روی پروفیل 200 S دو بی هنجاری قابل مشاهده است (شکل ۵-۱). اولین بی هنجاری با مقاومت ویژه کم و با بارپذیری بالا؛ و دومین بی هنجاری با بارپذیری بالا که بر بخش های با مقاومت ویژه بالا منطبق شده است. بی هنجاری دوم در قسمت شرقی بی هنجاری اول قرار دارد. بی هنجاری اول می تواند ناشی از حضور سولفیدهای فلزی به صورت رگه های با خلوص بیشتر و نوع دوم می تواند به دلیل حضور سولفیدهای پراکنده در متن سنگ سیلیسی مقاوم باشد.



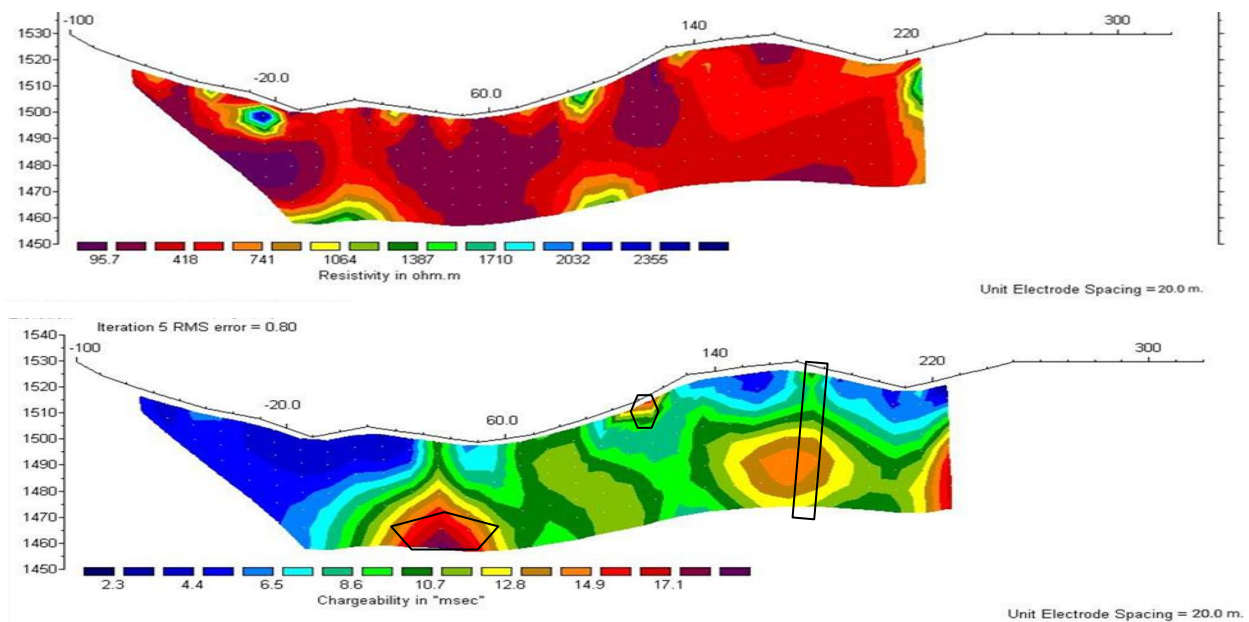
شکل ۵-۱: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 200 S

- بر روی پروفیل 100 N همانطور که از روی شکل (۵-۲) دیده می‌شود، بی‌هنجاری سطحی در ایستگاه ۹۰ با مقاومت‌ویژه کم و بارپذیری بالا قرار دارد. دو بی‌هنجاری با مقادیر بارپذیری بالا در زیر ایستگاه‌های ۶۵ و ۱۲۵ شرقی و تقریباً در کنتاک بخش‌های با مقاومت‌ویژه کم قرار گرفته است.



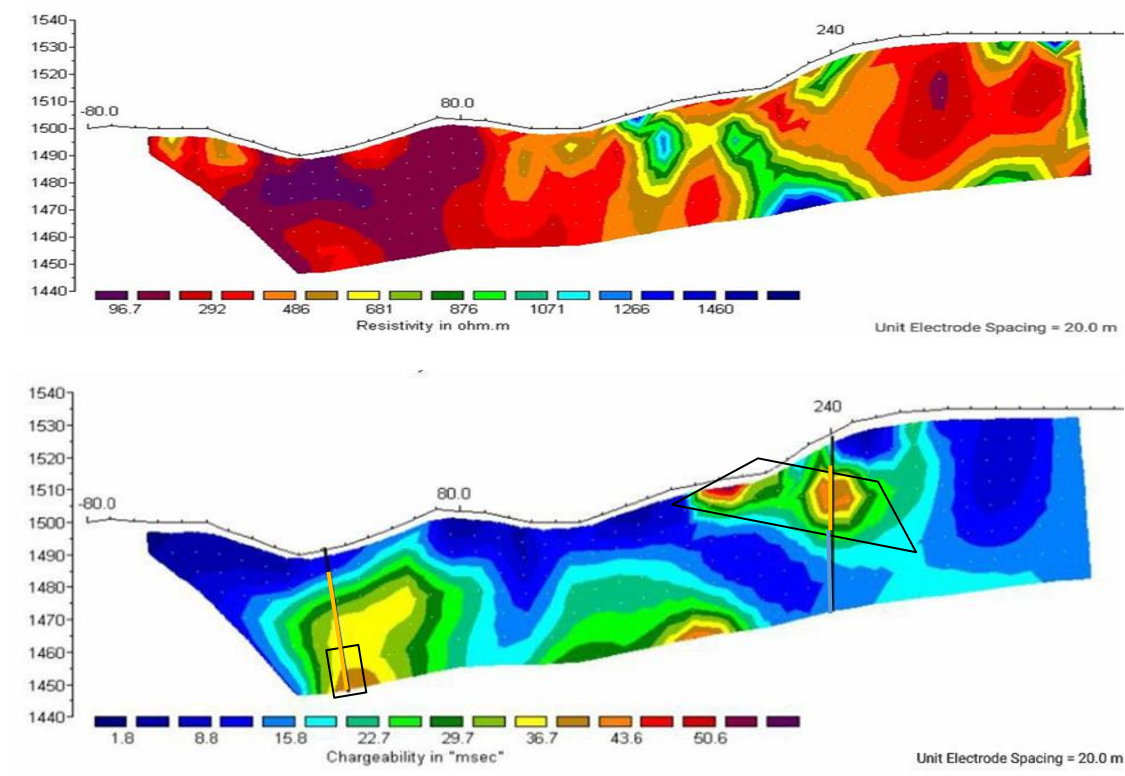
شکل ۵-۲: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 100 N

- با بررسی بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 200 N (شکل ۵-۳) می‌توان به بی‌هنجاری سطحی ۱۰۰ تا ۱۲۰ شرقی و بی‌هنجاری بین ۲۰ تا ۵۰ شرقی کنتاکت بخش‌های مقاوم و هادی اشاره کرد. بی‌هنجاری واقع در ایستگاه ۱۷۰ شرقی دارای مقاومت‌ویژه متوسط و بارپذیری نسبی بالاست. با این حال، بی‌هنجاری زیر ایستگاه ۳۵ شرقی به دلیل بارپذیری بالاتر اولویت اکتشافی بالاتری دارد.



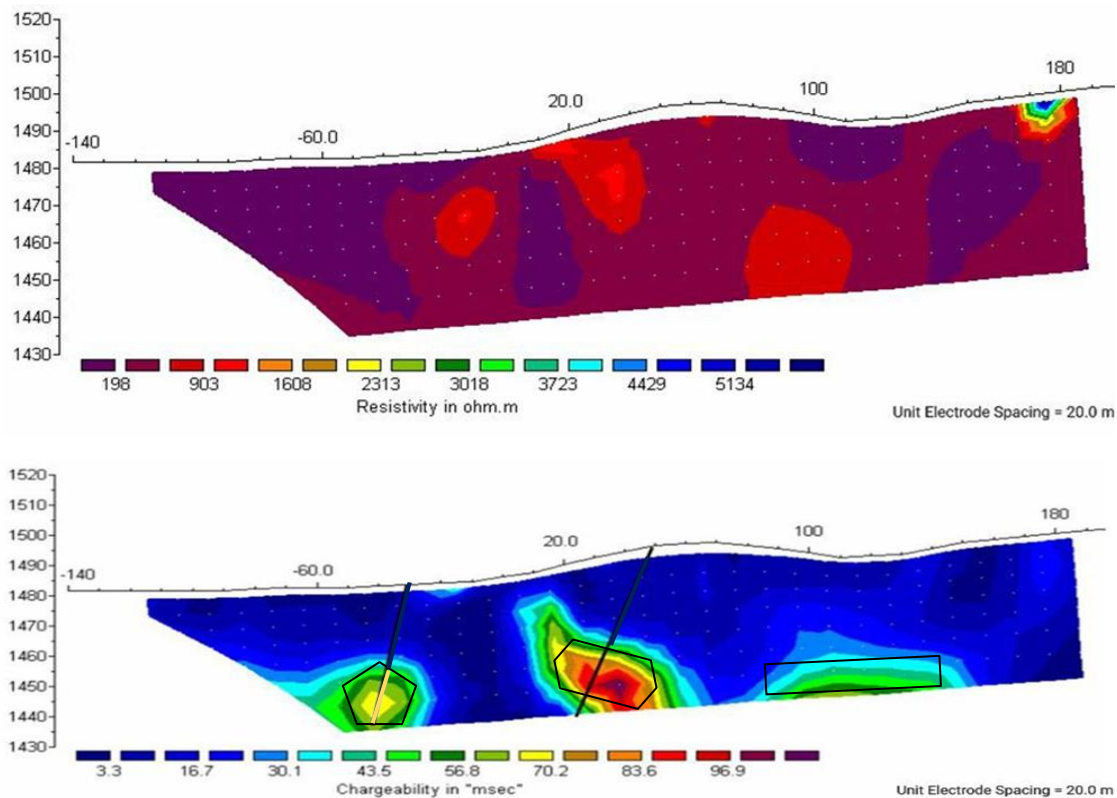
شکل ۵-۳: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 200 N

- با توجه به بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 400 N (شکل ۵-۴)، محدوده بین ۱۰ تا ۵۰ شرقی کم مقاومت و با بارپذیری بالا در اولویت اول اکتشافی بر روی این پروفیل می‌باشد محدوده بعدی که در حاشیه غربی بخش کم مقاومت زیر ایستگاه ۲۲۰ شرقی قرار دارد در اولویت اکتشافی بعدی است.



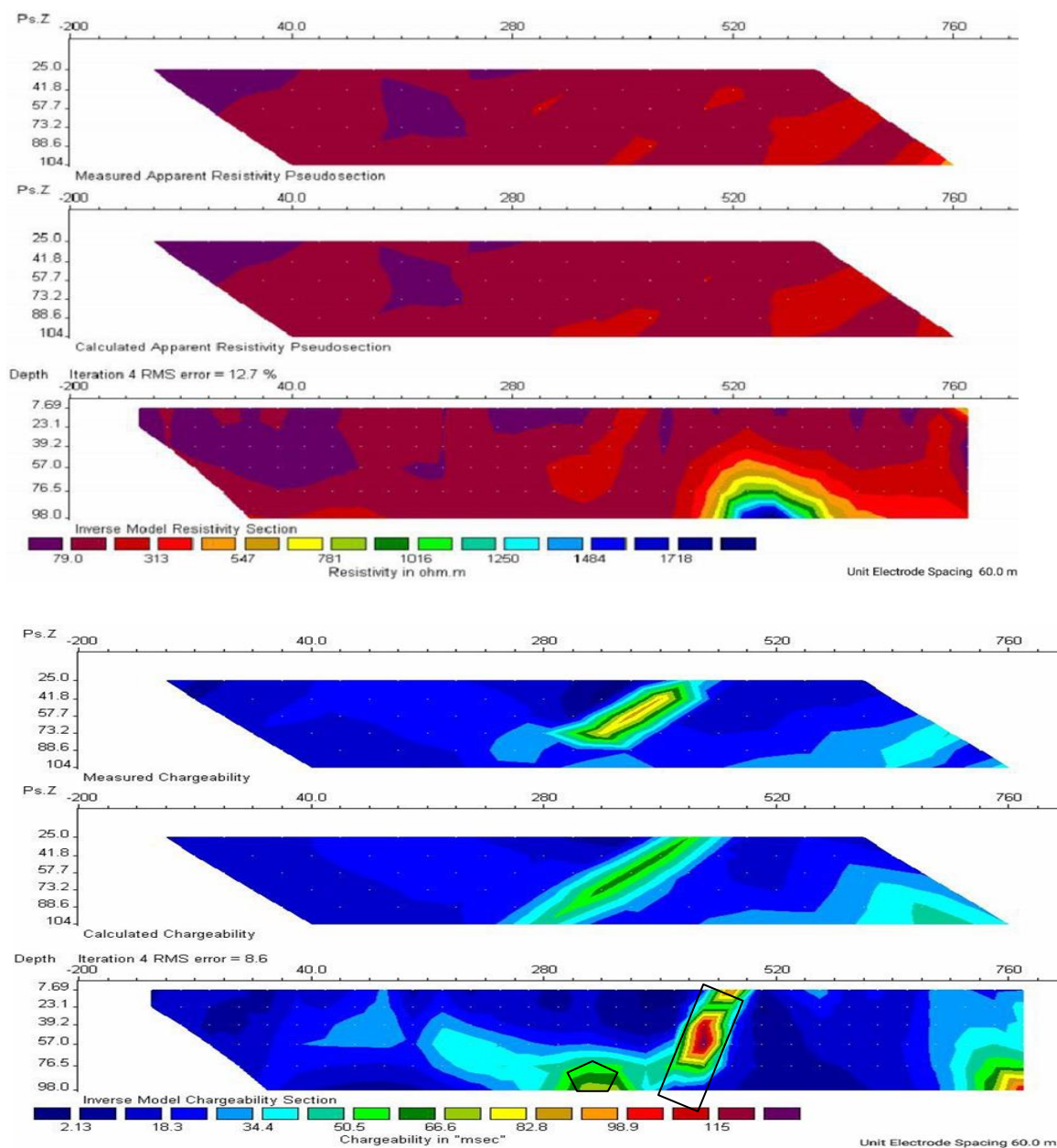
شکل ۴-۵: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 400 N

- بررسی بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 600 N (شکل ۵-۵) نشان می‌دهد که شمالی در بین ایستگاه‌های ۳۰ تا ۵۰ غربی و در عمق ۳۰ متری و همچنین در بین ایستگاه‌های ۱۰ تا ۲۰ غربی به طور سطحی بی‌هنجاری با مقاومت‌ویژه کم و بارپذیری بالا دیده می‌شود. همچنین بر روی این پروفیل بی‌هنجاری واقع در ایستگاه‌های ۳۰ تا ۵۰ شرقی با مقاومت‌ویژه متوسط و بارپذیری بالا و بی‌هنجاری واقع در بین ایستگاه‌های ۹۰ تا ۱۴۰ شرقی با مقاومت‌ویژه و بارپذیری بالا اشاره کرد. علاوه بر این، بی‌هنجاری واقع در قسمت ۴۰ غربی به دلیل بارپذیری بالاتر از اهمیت بیشتری نسبت به بی‌هنجاری واقع در محدوده ۴۰ شرقی برخوردار است.



شکل ۵-۵: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 600 N

- با توجه به بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 1100 N (شکل ۵-۶)، بی‌هنجاری واقع در ایستگاه ۴۴۰ شرقی با مقاومت‌ویژه کم و بارپذیری بالا و بی‌هنجاری واقع در ایستگاه ۳۴۰ شرقی با مقاومت‌ویژه متوسط و بارپذیری بالا مشاهده می‌شود. با این حال، بی‌هنجاری واقع در ایستگاه ۴۴۰ شرقی به دلیل مقاومت‌ویژه کم و بارپذیری بالا (بارپذیری بالاتر نسبت به بی‌هنجاری واقع در ایستگاه ۳۴۰ شرقی) اولویت اکتشافی بیشتری دارد.



شکل ۵-۶: محل بی‌هنجاری‌ها بر روی پروفیل 1100 N

۵-۲ پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی، به منظور بررسی دقیق تر و تأیید نتایج تفسیر داده های ژئوفیزیک زمینی، محل هایی که دارای اهمیت و اولویت اکتشافی بیشتری است؛ برای حفاری پیشنهاد گردید (جدول ۵-۱).

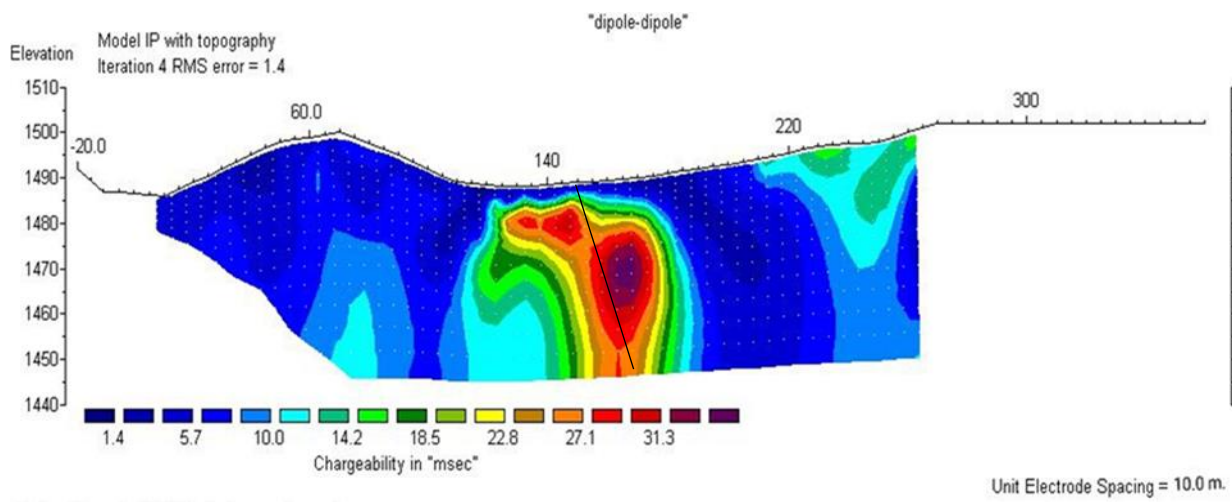
جدول (۵-۱) مشخصات نقاط حفاری پیشنهاد شده

عمق (متر)	امتداد	شیب (درجه)	ایستگاه	پروفیل
تا ۶۰ متری	N80E	۲۰	۱۵۰ شرقی	200 S
تا ۴۰ متری	N80E	۱۰	۱۲۰ شرقی	100 N
تا عمق ۴۰ متری	N80E	۱۰	۶۰ شرقی	
۶۰ متر	N80E	۹۰	۳۵ شرقی	200 N
تا عمق ۴۰ متر		۱۰	۱۶۰ شرقی	
تا عمق ۶۰ متری	N80E	۱۰	۳۰ شرقی	400 N
۴۰ متری		۹۰	۲۴۰ شرقی	
۵۰ متری	N26E	۲۰	۵۰ شرقی	600 N
تا ۴۰ متر	N26E	۱۰	۳۰ غربی	
۱۰۰ متر		۹۰	۴۵ شرقی	1100 N

۳-۵: نمایش نقاط بهینه پیشنهادی جهت حفاری

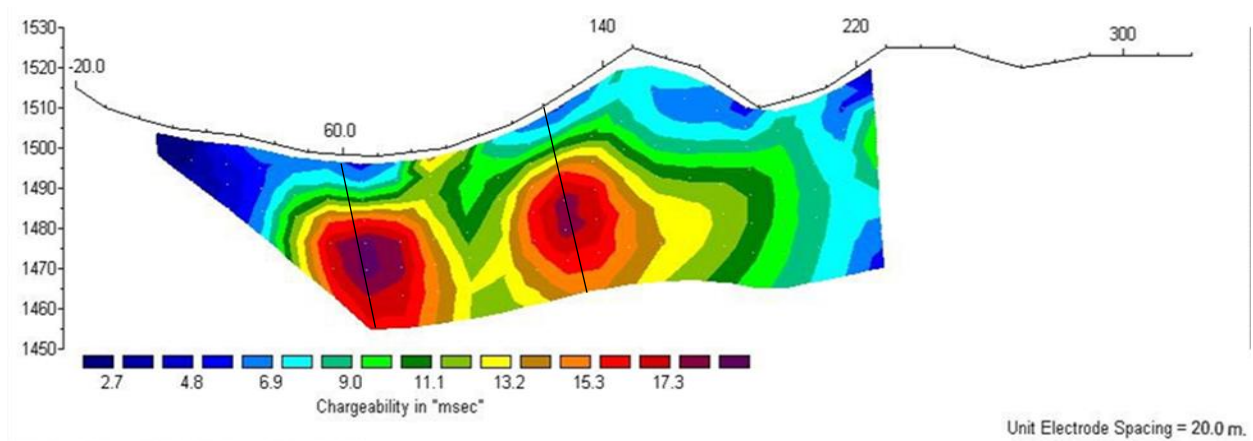
در شکل‌های ۵-۷ تا ۵-۱۲ به ترتیب محل حفاری‌های پیشنهاد شده بر روی پروفیل‌های 200 S، 100 N، 400 N، 600 N و 1100 N نشان داده شده است.

– پروفیل 200 S



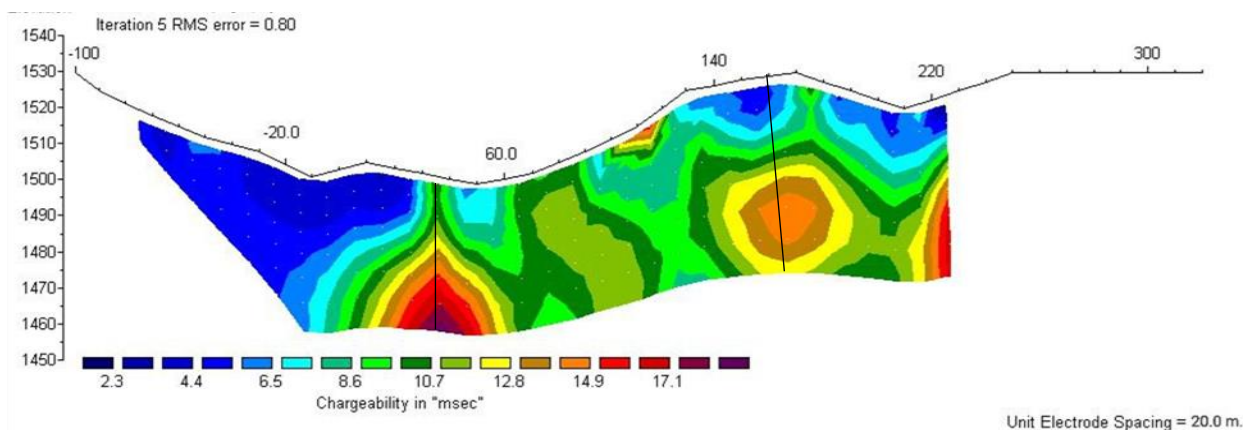
شکل ۵-۷: محل حفاری پیشنهاد شده بر روی پروفیل 200 S

– پروفیل 100 N



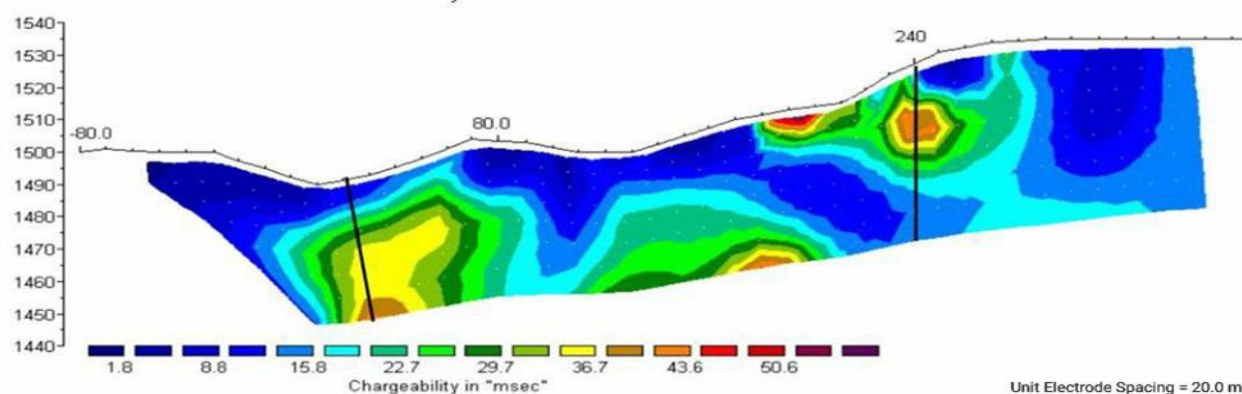
شکل ۵-۸: محل حفاری پیشنهاد شده بر روی پروفیل 100 N

– پروفیل 200 N



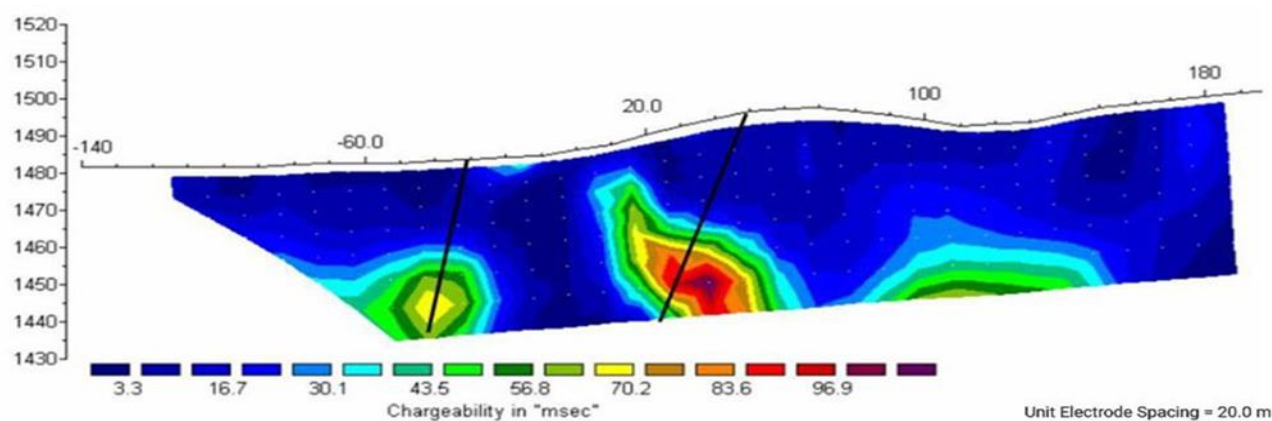
شکل ۵-۹: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 200 N

– پروفیل 400 N



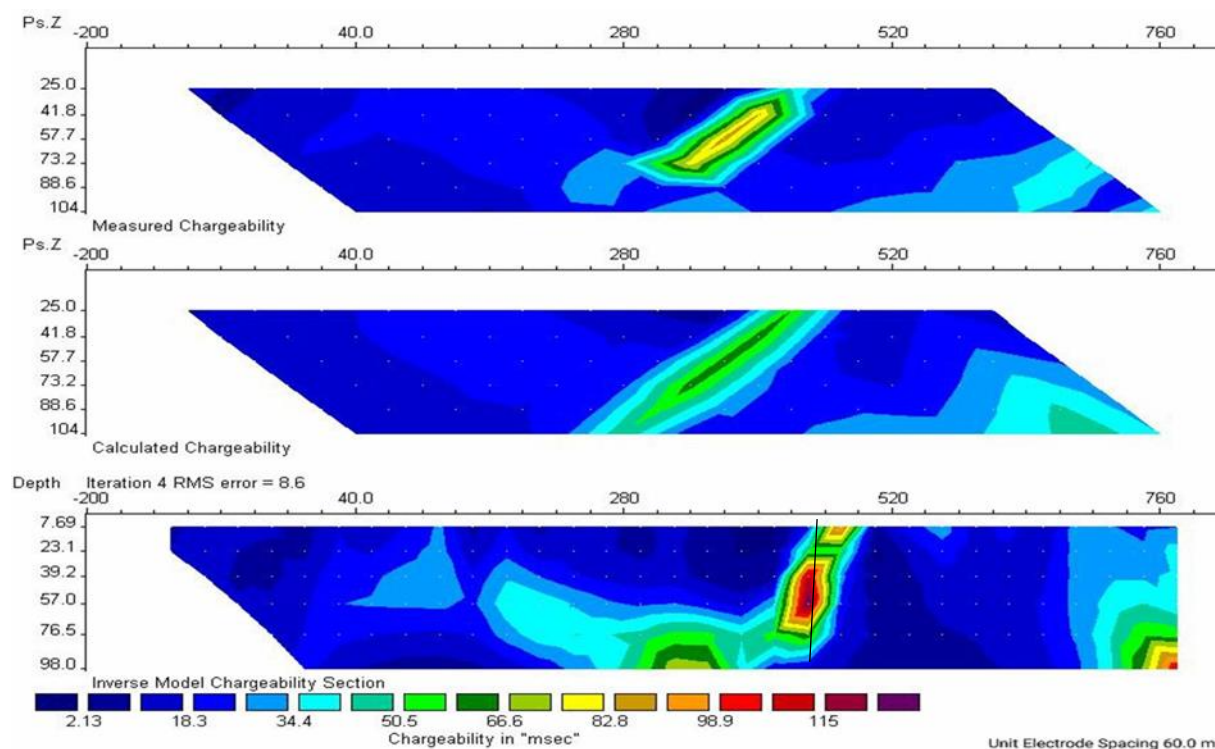
شکل ۵-۱۰: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 400 N

– پروفیل 600 N



شکل ۵-۱۱: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 600 N

– پروفیل 1100 N

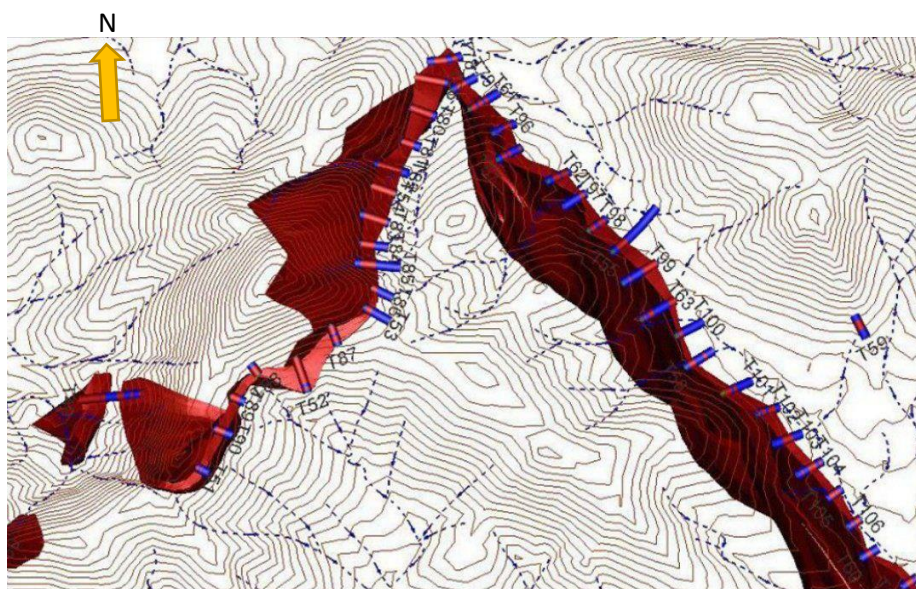


شکل ۵-۱۲: محل حفاری پیشنهاد شده برای حفاری بر روی پروفیل 1100 N

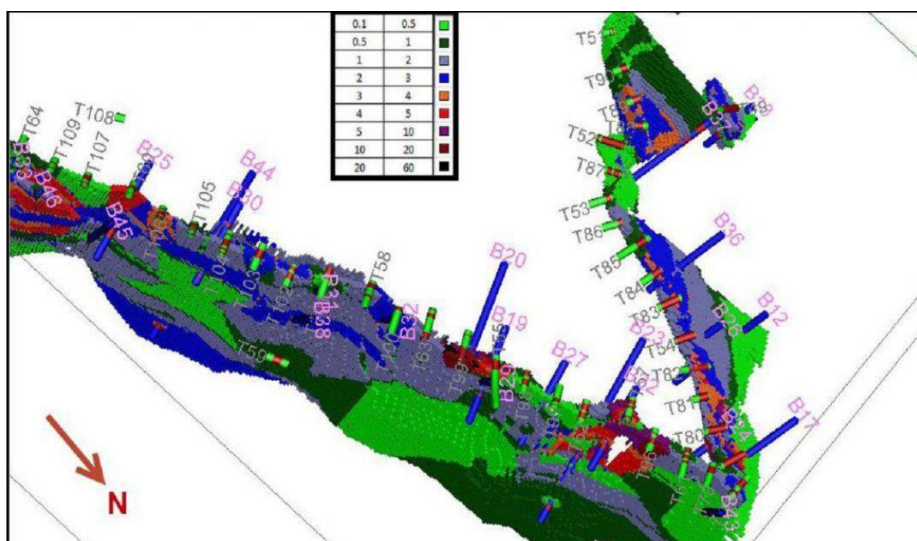
پیوست

پیوست ۱

در زیر شکل هایی از مدل سازی کانسار طلای شماره سه صورت گرفته آمده است



شکل الف - ۱: نمایی از مدل سازی هندسی کانسار طلای شماره ۳ [۲۸]



شکل الف - ۲: نمایی از مدل سازی هندسی کانسار طلای شماره ۳ [۲۸]

- 1- Raymond J Durrheim, Musa SD Manzi, and Susan J Webb , (2121) " Encyclopedia of Geology";vol 6: Exploration Geophysics. School of Geosciences, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Afric.
- 2- Erick de Barros Camara, and Suze Nei Pereira Guimarães, (2016) " Magnetic airborne survey – geophysical flight " Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 5, 181–192,
- 3- Goad R. E, Mumin A. H, Duken.A, Neale k.L, Mulligan d. L. and Camier W. J, (2000) " The NICO and Sue-Dianne Proterozoic, iron oxide-hosted, polymetallic deposits, Northwest Territories: application of the Olympic Dam model in exploration " , Exploration and Mining Geology, 2, 9, pp 123.
- 4- Kachentra Neawsuparpa, Punya Charusiria, and Jayson Meyers , (2005) " New Processing of Airborne Magnetic and Electromagnetic Data and Interpretation for Subsurface Structures in the Loei Area, Northeastern Thailand " ScienceAsia ScienceAsia 31 (2005): 283-298
- 5-Levaniemi H., Kurimo M., Beamish D., Suppala L., Jokinen T., LohVa J., Tiainen M.,(2008) "Jac 4-Frequency AEM System with case example in gold ", International Conference on Airborn Electromagnetics, Haikko Manor, Finland.
- 6-Salah Ahmed Mansour, Sultan Awad Sultan, Fernando Monteiro Santos and Ahmad Sobhy Helaly (2009) " Geophysical exploration for gold and associated minerals, case study: Wadi Beida area, South Eastern Desert, Egypt "JOURNAL OF GEOPHYSICS AND ENGINEERING. J. Geophys. Eng. **6** 345–356.
- 7- Bournas N, Clements E. and Hearst R, (2013), " Discovery of polymetallic porphyry at the Silver Queen, British Columbia using airborne EM and TITAN-24 DCIP and MT surveys ", Interpretation, 1, 1, pp 101.
- 8- Jianguo Chen, Fodé Tounkara ,Jianguo Chen, Souleymane Keita. (2017) " Integrated Interpretation of Geophysical and Soil Geochemical Anomalies in Gold Exploration: Case of Kouremale, Southern Mali-West Africa ".International Journal of Geosciences [Vol.8 No.9](#), 8, 1133-1145
- 9- Michael S , Zhdanov , Fouzan A , Alfouzan. Leif Cox , Abdulrahman Alotaibi , Mazen Alyousif , David Sunwall and Masashi Endo " Large-Scale 3D Modeling and Inversion of

Multiphysics Airborne Geophysical Data: A Case Study from the Arabian Shield, Saudi Arabia
". Minerals 2018, 8(7), 271; <https://doi.org/10.3390/min8070271> .

۱۰- امیر پور اصل میاندوآب ۱ و سهرابی. ق، (۱۳۹۱) "پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوابرد برای تعیین مرز ساختارهای مغناطیسی و محل گسل‌های مدفون ایران" دانشگاه سهند تبریز.

۱۱- زارعی م، عرب امیری ع ر، (۱۳۹۲) "چگونگی بهبود عملیات برداشت ژئوفیزیک هوابرد به همراه یک مثال موردی"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی - تخصصی علوم زمین، تهران.

۱۲- بادپا م، (۱۳۹۴) "به کارگیری روش‌های مغناطیس هوابرد، مقاومت ویژه الکتریکی و رادار نفوذ به زمین در بررسی گسل‌ها و ناپیوستگی‌های خلیل شهر" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود
۱۳- حسینی م، کامکار روحانی ا، محمدی ویژه م و پرنو س، "مقایسه روش رادار نفوذی به زمین و مغناطیس سنجی در بررسی های نزدیک به سطح: یک مطالعه موردی" مجله ژئوفیزیک ایران جلد ۱۱ شماره ۲، ۱۳۹۶ صفحه ۷۶ - ۸۷.

۱۴- شرفی س و آرین تبار ح، (۱۳۹۸) "استفاده از داده‌های مغناطیس هوابرد و شواهد ژئومورفیک در جهت بررسی مسیر گس پنهان خرم‌آباد (غرب ایران)".

۱۵- مجرد. س، نجاتی کلاته. ع، آقاجانی. ح، (۱۳۹۸) "مطالعات سنجش از دور حرارتی و مقایسه آن با مطالعات مغناطیس سنجی هوابرد در محدوده شمال سبلان تا سراب به منظور پتانسیل‌یابی مناطق امیدبخش انرژی ژئوترمال" شماره ۲۰، پاییز ۹۸، ص ۶۷-۸۰.

۱۶- کوهساری. ا. ح، انصاری. ع ح و عیسویند. س، "تلفیق داده‌های دورسنجی، زمین‌شناسی و مغناطیس در اکتشاف کانسارهای آهن در زون سنندج سیرجان، کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی.

<https://scholar.conference.ac:443/index.php/download/file/4585>

17. Hongtao, L. Jianming, L. Changming, Y. Jie, Y. and Zeng, Q, (2006) ، "Integrated geological and Geophysical exploration for concealed ores beneath in the Chaihulanzi gold field, northern China " ,Geophysical prospecting, Volume 54 Issue 5, Pages 605- 621

18- Karolliny Borssatto ،César Augusto Moreira، Shaiely Fernandes dos Santos ،Fernanda Telles Gomes Ros ،Lenon Melo Ilha " Geophysical modeling in gold deposit through DC Resistivity and Induced Polarization methods."

19. Mohd HaririArifin ، JohnStephenKayode ، Muhammad KhairIzwan ، HusseinAhmedHasanZaid،Hamzah Hussin ،" Data for the potential gold mineralization mapping with the applications of Electrical Resistivity Imaging and Induced Polarization geophysical surveys"، journal homepage: www.elsevier.com/locate/dib

20- Mosaad Ali, Shulin Sun, Wei Qian, Abdou Dodo Bohari, Dusabemariya Claire, Ajibola Richard Faruwa, and Yan Zhang (2020) " Borehole resistivity and induced polarization tomography at the Canadian Shield for Mineral Exploration in north-western Sudbury ". E3S Web of Conferences 168, 00002 .

21 - Mossad Ali; Claire Dusabemariya, Wei Qian, Romuald Bagaragaza, Ajibola Richard Faruwa (2020) " Some Experiences of Resistivity and Induced Polarization Methods on the Exploration of Sulfide: A Review " Journal of Geoscience and Environment Protection, 2020, 8, 68-92 .<https://www.scirp.org/journal/gep>

۲۲- سمنانی نژاد آ، (۱۳۸۷) پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل سازی و تفسیر توأم داده‌های پلاریزاسیون القایی و الکترومغناطیس با فرکانس پایین در محدوده معدنی انجیره - تیران"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲۳- عسکری ع. و صفری م، (۱۳۸۲): "گزارش شناسی- معدنی ناحیه معدنی امیدبخش معدنی طلای هیرد، طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲۴- اشراقی ح، راستاد آ، امامی م ه. و عسگری ع، (۱۳۸۵): "کانه زایی طلای هیرد: نمونه‌های از ذخایر طلا مرتبط با نفوذی‌های گرانیتوئیدی کاهیده در ایران (جنوب بیرجند)".

۲۵- قربانی م. ع، مجلل م، پور کرمانی م، علی محمدی م، و خیر الهی ح، (۱۳۸۸): "بررسی وضعیت ساختاری ناحیه معدنی هیرد (جنوب بیرجند) با استفاده از تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی، ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی و ارتباط آن‌ها با کانه زایی طلا". تابستان ۸۸ سال هجدهم، شماره ۷۲ ص ۱۲۱ تا ۱۲۶.

۲۶- حیدریان م ر، کریم پور م ح، ملک‌زاده شفاوردی آ، (۱۳۸۷): "اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی زمینی برای اکتشاف طلا در منطقه اکتشافی هیرد، خراسان جنوبی"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه) جلد ۳۲ - شماره ۳ سال ۱۳۸۷ - صص ۶۹.

۲۷- عسکری ع، کریم پور م. ح، مظاهری س. ا، و ملک‌زاده شفاوردی، آ. (۱۳۹۱): "زمین‌شناسی و کانی‌سازی کانسار طلای شماره ۳ در ناحیه معدنی هیرد (جنوب بیرجند)"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، ۹-۱۰ شهریور ۱۳۹۱.

۲۸- عسکری ع، کریم پور م. ح، مظاهری س. ا، و ملک‌زاده شفاوردی، آ. (۱۳۹۲): "مدل‌سازی هندسی و برآورد ذخیره کانسار طلای شماره ۳ هیرد (جنوب بیرجند)". پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۰ و ۲۱ شهریور ۱۳۹۲.

۲۹- زحمتی ک، (۱۳۹۹): "اکتشاف طلا با استفاده از مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی در منطقه هیرد ۱؛ بخش خوسف، استان خراسان جنوبی"، پایان‌نامه ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

30 – William Lowrie (2010) "Fundamentals of Geophysics Second Edition . Swiss Federal Institute of Technology, Zürich. Cambridge university Press.

31. Telford W. M, Geldart L.P. and Sheriff R. E, (1990), "Applied geophysics", Cambridge university press, pp.81

۳۲- نوروزی غ، (۱۳۹۹): "روش‌های الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی؛ مقاومت، ویژه و پلاریزاسیون، القایی"، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.

۳۳- عرب امیری ع، (۱۳۸۸) رساله دکتری "روشی بهبودیافته برای مدل‌سازی معکوس داده‌های الکترومغناطیس هلیکوپتری حوزه فرانکس"، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۴ - خاوری ح ر، (۱۳۹۴) "اکتشاف مس به کمک داده‌های تلفیقی الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین (VLF)، قطبش‌القایی (IP) و مقاومت‌ویژه (RES) در اندیس معدنی آسمانو - میامی"، پایان‌نامه ارشد، دانشکده مهندسی نفت، معدن و ژئوفیزیک. دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۵ - بیک پور ش، اسکندری م، اردبیلی ا، (۱۳۹۹): "پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده اکتشافی کانسار هیرد". فصل‌نامه پژوهشی زمین‌شناسی محیط ریست، سال چهاردهم.

۳۶ - کامکار روحانی ا و بیگی م، (۱۳۸۸)، "پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی به منظور پی‌جویی ذخایر کرومیت در منطقه سبزوار". مجله فیزیک زمین و فضا، ش ۳، د ۳۵، ص ۱۳ - ۳۶.

37 - M. N. Nabighian, V. J. S. Grauch, R. O. Hansen, T. R. LaFehr, Y. Li1, J. W. Peirce, J. D. Phillips, and M. E. Ruder: "The historical development of the magnetic method in exploration". GEOPHYSICS, VOL. 70, NO. 6 (NOVEMBER-DECEMBER 2005); P. 33ND-61ND, 6 FIGS. 10.1190/1.2133784.

38 - K.G. Abdel-Kader ،A.S.S. El-Kabbani ،A.Yahya ،F.A.S. Soliman ،A.A.M. Ismail ،A.M. Abdel-Maksood :A New Electronic Technique for Real-Time Correction of Heading and DC-Shift Noises in Airborne Magnetic Data .Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) ISSN: 2458-9403 Vol. 4 Issue 6, June – 2017.

39. www.gogole.com.

Abstract

nowadays, use of advanced technologies to explore and evaluate reserves with calculations and modeling, reduces the costs and the time, improves success rates, and makes ability to see hundreds or even kilometers below the ground. Exploratory information leads to more accurate and reliable identification of mineral resources, and accordingly, it is an important concern. The purpose of this study is to process and interpret aerial magnetometer data and special resistance and induction polarization in Heird region 3: located in Khosf section in South Khorasan province.

In this research, by processing and interpreting geophysical data in the above-mentioned methods, potential promising areas are determined and by examining the geophysical results in these promising areas, the optimal points for drilling operations are introduced. In this regard, first the aerial magnetometric data taken on profiles with distances of 7.5 km were modeled and interpreted using Geosoft Oasis Montaj software and then the areas with intrusive and magnetic masses were identified. Then, in order to identify possible abnormalities and investigate the deep changes, resistivity and induction polarizations were performed.

resistivity and induction polarization data were collected along 8 profiles. The profiles are also parallel and designed in line with N80E. The resistivity and induction polarization data were collected along these 8 profiles with a bipolar-bipolar array.

The resistivity and induction polarization data are then modeled by Res2Dinv software and the sections obtained from the inverse modeling are interpreted by using geological information and the results of airborne geophysical surveying. The depth and possible location of gold mineralization were identified and exploratory drilling was suggested to confirm these results and further studies.

Key words: Hired 3, Airborne magnetic surveys, Induced polarization, Electrical resistivity, Dipole- dipole array , Res2Dinv software



Shahrood University of Technology Engineering

**Gold exploration using modeling and interpretation of
geophysical data in Hired 3 area, Khoosf district, South Khorasan
Province**

Marzie Ghorbani

Supervisors:

Dr. A. Arab-Amiri

Dr. A. Kamkar Rouhani

Advisors:

Firouz jafari

February 2022