

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی به منظور

اکتشاف کانسار مس دوچپله - میامی

دانشجو: یزدان گرگانی

اساتید راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر علیرضا عرب امیری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای یزدان گرگانی

تحت عنوان: تلفیق داده های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی به منظور اکتشاف

کانسار مس دوچپله- میامی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه
مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی: دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی: دکتر علیرضا عرب امیری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر علی نجاتی		نام و نام خانوادگی : دکتر ایرج پیروز
			نام و نام خانوادگی : دکتر حمید آقاجانی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به:

پدر و مادرم

آنان که عشق را در تار و پود داستان پینه بسته‌شان یافتم...

تشکر و قدردانی:

اینجانب بر خود واجب می‌دانم از راهنمایی‌های اساتید گران‌قدر خود، جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه مرا یاری نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم. بسیاری از اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از جمله داده‌های آنالیز شیمیایی نمونه‌ها، اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، و داده‌های توپوگرافی توسط دوست گرامی مهندس هادی بیاری کارفرمای طرح در اختیار اینجانب گذاشته شده است که نهایت تشکر و قدردانی را از ایشان دارم. از دوستان گرامی آقای سعید پرنو که در کار برداشت داده‌های ژئوفیزیکی و همچنین آقای محمد امین پناه که در تهیه منابع مورد نیاز برای انجام تحقیق و مشاوره در بسیاری از مراحل پایان نامه مرا یاری نمودند، بسیار ممنونم. از خداوند متعال برای ایشان موفقیت، سربلندی و سلامتی را خواهانم.

تعهد نامه

اینجانب **یزدان گرگانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتربیکی و پلاریزاسیون القایی به منظور اکتشاف کانسار مس دوچپله-میامی تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه 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 صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

هدف این پایان نامه اکتشاف کانسار مس دوچپله- میامی با استفاده از نتایج مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی (IP) برداشت شده در طول پروفیل‌های متعدد بر روی این کانسار است. کانسار مذکور بر اساس شواهد عینی و نتایج برداشت‌های زمین‌شناسی در منطقه، به صورت رگه‌ای و بعضاً دارای ماهیت پراکنده است؛ لذا بهترین روش مطالعه ژئوفیزیکی برای اکتشاف این کانسار، روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی و IP هستند. بررسی‌های ژئوفیزیکی بر روی این کانسار در مناطقی که رخنمون-های معدنی مس گسترش بیشتری داشتند و همچنین در مناطقی که اطلاعات برداشت شده گویای وجود احتمالی کانی‌سازی مس بود ولی ایده‌ای از روند عمقی آن وجود نداشت، به اجرا درآمد. به دنبال طراحی برداشت داده‌های ژئوفیزیکی در کانسار مورد مطالعه، ۸ پروفیل با آرایه دوقطبی- دوقطبی، هر کدام به طول تقریبی ۲۸۰ متر، با استفاده از دستگاه ABEM SAS4000 در دو فاز شمالی و جنوبی که شرایط زمین‌شناختی تقریباً مشابه داشتند، انجام شد. مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه و IP توسط نرم‌افزار RES2DINV ver. 3.54.44 انجام و سپس مقاطع دو بعدی به دست آمده مورد تفسیر قرار گرفتند. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Oasis montaj کلیه مقاطع با هم‌دیگر ترکیب شده و یک نمای سه‌بعدی از آن‌ها ارائه شد که در ارائه تفسیرهای دقیق و جامع اکتشافی از کانسار بسیار مفید واقع شد. ترکیب تفسیرهای مقاطع دو بعدی و نمای سه بعدی آن‌ها هم‌بستگی بسیار خوبی با شواهد زمین‌شناسی و اطلاعات حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از ترانسه‌ها نشان می‌دهد. نتایج مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی، احتمال کانی‌زایی فلزی را در هر دو فاز مطالعاتی (فاز شمالی و فاز جنوبی) تشخیص داده است. همچنین از تفسیر مقاطع دو بعدی و بررسی نمای سه بعدی آن‌ها، یک پیوستگی و ارتباط نزدیک بین کانه‌زایی در اعماق ۳۰ متر به بالا در پروفیل‌های اجرایی تشخیص داده شد. همچنین شکستگی‌هایی در منطقه بر روی پروفیل‌ها تشخیص داده شد که این شکستگی‌ها می‌توانند مکان‌هایی

امید بخش از لحاظ کانه‌زایی فلزی باشند. در همین راستا بر روی یکی از پروفیل‌ها نقطه‌ای برای انجام عملیات حفاری اکتشافی جهت انجام مطالعات تکمیلی پیشنهاد شد که اطلاعات به‌دست آمده از این حفاری، نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده و در نتیجه درصد موفقیت بالای این برداشت‌های ژئوفیزیکی را تأیید می‌نماید.

واژگان کلیدی:

کانسار مس، مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی (IP)، دوچپله

فهرست مطالب

۱	۱ فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ کارهای انجام شده قبلی در منطقه
۳	۳-۱ ارتباط موضوع تحقیق با کارهای قبلی
۴	۴-۱ هدف و ضرورت تحقیق
۴	۵-۱ روش انجام تحقیق
۵	۶-۱ سازماندهی پایان نامه
۷	۲ فصل دوم: مبانی روش‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی (IP)
۸	۱-۲ مقدمه
۸	۲-۲ روش مقاومت ویژه الکتریکی
۹	۱-۲-۲ روابط پایه در روش مقاومت ویژه الکتریکی
۱۱	۲-۲-۲ آرایه‌های الکترودی متداول
۱۲	۳-۲-۲ مقاومت ویژه سنگ‌ها
۱۳	۳-۲ روش قطبش القایی (IP)
۱۳	۳-۲-۳ اثر IP
۱۶	۲-۳-۲ منشأ پدیده IP
۱۷	۳-۳-۲ اندازه‌گیری‌های IP
۱۷	۱-۳-۳-۲ اندازه‌گیری در حوزه زمان
۱۹	۲-۳-۳-۲ اندازه‌گیری در حوزه فرکانس
۲۲	۴-۳-۲ نوفه‌ها در اندازه‌گیری قطبش القایی
۲۲	۴-۲ آرایه‌های الکترودی مناسب و طراحی شبکه برداشت
۲۲	۱-۴-۲ آرایه دوقطبی - دوقطبی
۲۳	۱-۴-۲ روش پیمایش صحرائی و اندازه‌گیری دو بعدی
۲۶	۳ فصل سوم: موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی منطقه و عملیات صحرائی برداشت داده‌ها
۲۶	۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه
۲۸	۲-۳ زمین‌شناسی منطقه‌ای
۳۰	۱-۲-۳ ائوسن
۳۱	۲-۲-۳ کوترنر

۳۰	۳-۳ نقشه توپوگرافی
۳۱	۴-۳ مراحل کانی‌زایی در منطقه دوچيله
۳۲	۱-۴-۳ مرحله اول
۳۲	۲-۴-۳ مرحله دوم
۳۳	۵-۳ ژنز کانسازي
۳۳	۶-۳ زون‌های کانه‌درا حاوی ماده معدنی
۳۵	۱-۶-۳ زون کانی‌سازی ZA
۳۵	۲-۶-۳ زون کانی‌سازی ZB
۳۶	۳-۶-۳ زون کانی‌سازی Z
۳۶	۴-۶-۳ زون کانی‌سازی ZD
۳۷	۵-۶-۳ زون کانی‌سازی ZE
۳۹	۷-۳ عملیات صحرایی برداشت داده‌های مقاومت ویژه و IP
۳۸	۱-۷-۳ روش برداشت
	۴ فصل چهارم: تفسیر مقاطع دو بعدی حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP و تجزیه و تحلیل نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی
۴۳	
۴۵	۱-۴ مقدمه
۴۴	۲-۴ تفسیر مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه و IP
۴۵	۱-۲-۴ تفسیر پروفیل‌های جنوبی
۴۶	۱-۲-۴-۱ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj01
۴۷	۲-۲-۴-۱ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj02
۴۹	۳-۲-۴-۱ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj03
۵۲	۴-۲-۴-۱ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj04
۵۴	۲-۲-۴ تفسیر پروفیل‌های شمالی
۵۴	۱-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p01
۵۵	۲-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p04
۵۶	۳-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p05
۵۸	۴-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p06
۵۹	۳-۲-۴ تجزیه و تحلیل نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه و IP
۶۰	۱-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل‌های جنوبی
۶۲	۲-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل‌های شمالی

۶۵	۳-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل‌های جنوبی (دید از پایین)
	۴-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل‌های شمالی (دید از پایین)
	۶۷
۵	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۰	
	۱-۵ مقدمه
۷۱	۱-۱-۵ حفاری مغزه‌گیری
۷۱	۱-۱-۱-۵ نوع حفاری و روش کار
۷۱	۲-۱-۱-۵ مشخصات نقاط حفاری مغزه‌گیری
۷۳	۳-۱-۱-۵ تلفیق نتایج و اطلاعات مربوط به مغزه‌های حفاری
۷۳	۲-۵ نتیجه‌گیری
۷۶	۳-۵ پیشنهادات
۷۷	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: شارش جریان از یک منبع نقطه‌ای جریان
- شکل ۲-۲: یک نوع آرایش متداول الکترودهای پتانسیل و جریان در اندازه‌گیری مقاومت ویژه
- شکل ۳-۲: آرایه‌های الکترودی متداول و فاکتور ژئومتریکی مربوط به آنها
- شکل ۴-۲: مقاومت ویژه سنگ‌ها، خاک‌ها و کانی‌ها
- شکل ۵-۲: اندازه‌گیری ولتاژ اولیه و بازماند در IP حوزه زمان
- شکل ۶-۲: برگشت به حالت اول بعد از اغتشاش وارد شده پس از تزریق دوباره جریان
- شکل ۷-۲: مدل ساده از مدار الکتریکی معادل برای مدل کول-کول
- شکل ۸-۲: قطبش غشایی
- شکل ۹-۲: قطبش الکترودی یا فلزی
- شکل ۱۰-۲: اندازه IP برحسب میلی ولت بر ولت برای تعدادی از سنگ‌ها و کانی‌ها
- شکل ۱۱-۲: دو ترتیب متفاوت انجام پذیر برای یک اندازه‌گیری با آرایه دوقطبی-دوقطبی
- شکل ۱۲-۲: مقاطع حساسیت دوبعدی برای آرایه دوقطبی-دوقطبی
- شکل ۱-۳: حدود قرارگیری اندیس مورد مطالعه
- شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه
- شکل ۳-۳: نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ و محل قرارگیری پروفیل‌های اجرایی
- شکل ۴-۳: مقاطع نازک-صیقلی مربوط به زون کانی‌سازی ZA
- شکل ۵-۳: مقاطع نازک-صیقلی مربوط به زون کانی‌سازی ZB
- شکل ۶-۳: مقاطع نازک-صیقلی مربوط به زون کانی‌سازی ZC
- شکل ۷-۳: مقاطع نازک-صیقلی مربوط به زون کانی‌سازی ZD
- شکل ۸-۳: مقاطع نازک-صیقلی مربوط به زون کانی‌سازی ZE
- شکل ۹-۳: موقعیت پروفیل‌های اجرایی در مختصات UTM
- شکل ۱۰-۳: روش اجرای پیمایش دو بعدی با آرایه دوقطبی-دوقطبی
- شکل ۱۱-۳: تیم اجرا در حال برداشت داده‌های مقاومت ویژه و IP
- شکل ۱-۴: مدل دوبعدی مقاومت ویژه و IP در راستای پروفیل paj01
- شکل ۲-۴: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل paj02
- شکل ۳-۴: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل paj03
- شکل ۴-۴: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل paj04
- شکل ۵-۴: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p01

- شکل ۴-۶: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p04 ۵۷
- شکل ۴-۷: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p05 ۵۹
- شکل ۴-۸: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p06 ۵۹
- شکل ۴-۹: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل‌های جنوبی ۶۱
- شکل ۴-۱۰: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل‌های جنوبی ۶۲
- شکل ۴-۱۱: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل‌های شمالی ۶۴
- شکل ۴-۱۲: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل‌های شمالی ۶۴
- شکل ۴-۱۳: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل‌های جنوبی (دید از پایین) ۶۵
- شکل ۴-۱۴: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل‌های جنوبی (دید از پایین) ۶۶
- شکل ۴-۱۵: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل‌های شمالی (دید از پایین) ۶۷
- شکل ۴-۱۶: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل‌های شمالی (دید از پایین) ۶۸
- شکل ۵-۱: تیم حفاری در حال انجام عملیات حفاری مغزه‌گیری در محل گمانه D.BH.1 ۷۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: بارپذیری مواد، سنگ‌ها و کانی‌های مختلف بر حسب میلی‌ثانیه ۲۰
- جدول ۲-۲: اندازه فاکتور فلزی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف بر حسب موهو بر متر ۲۱
- جدول ۱-۳: مختصات منطقه مورد مطالعه ۲۷
- جدول ۱-۵: خلاصه آنالیز نمونه‌های مغزه‌گیری گمانه D.BH.1 اجرا شده بر روی پروفیل paj03 ۷۳

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

پیشرفت روز افزون در زمینه‌های صنعتی، نیاز دائمی و روبه افزایش صنایع را به مواد اولیه مورد نیاز برای تولیدات به‌همراه دارد. در این راستا منابع فلزی جزء لاینفک تداوم صنعت و بسیاری دیگر از جنبه‌های زندگی بشر می‌باشد. بر اثر تقاضای بالا برای این منابع شاهد می‌باشیم که منابع سطحی رو به افول نهاده‌اند، بنابراین بسیار ضروری است که منابع عمیق‌تر مورد اکتشاف و بهره‌برداری قرار بگیرند. بر همین اساس، روش‌های قدیمی اکتشاف که بیشتر منابع سهل‌الوصول سطحی را هدف قرار می‌داد دیگر کارایی لازم را برای اکتشاف منابع عمیق‌تر ندارند، بنابراین با پیشرفت علم و تکنولوژی در زمینه‌های گوناگون، امروزه سعی شده است که در زمینه اکتشاف منابع معدنی نیز روش‌های نوین و پیشرفته‌ای به‌کار برده شود. روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی از جمله روش‌های نوین امروزی است که تحولی عظیم در اکتشاف منابع عمیق زیرزمینی به‌وجود آورده است. روش‌های مختلفی در زیرمجموعه روش‌های ژئوفیزیکی قرار می‌گیرند که گاه می‌توان از ترکیب چند روش به‌منظور اکتشاف استفاده کرد. روش‌های گرانی سنجی، مغناطیس سنجی، لرزه‌ای، الکتریکی و الکترومغناطیسی از آن جمله‌اند، که هر کدام نیز خود دارای چندین روش جانبی می‌باشند. این روش‌ها مزایای بسیاری دارند که می‌توان مهم‌ترین آن‌ها را نسبتاً ارزان و قابل اعتماد بودن آن‌ها نسبت به دیگر روش‌های اکتشافی دانست. البته قابل اعتماد بودن به معنی خالی از ریسک نبودن عملیات ژئوفیزیکی نیست، اما به‌دلیل اصل مرحله‌ای بودن این نوع اکتشافات، امکان کاهش ریسک آن در سطح بالایی امکان‌پذیر می‌باشد. به‌طور کلی و خلاصه می‌توان مراحل منطقی برای طراحی عملیات اکتشاف ژئوفیزیکی را به‌صورت زیر بیان کرد:

نخست با استفاده از مطالعات اولیه بزرگ مقیاس مانند؛ سنجش از دور و ژئوفیزیک هوایی، نواحی تحت اکتشاف مورد شناخت قرار می‌گیرند. سپس از برداشت‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی برای شناخت مناطق دارای آنومالی استفاده می‌شود. در گام بعدی با شناخت درست هدف و ویژگی ژئوفیزیکی شاخص

آن، بر پایه میزان حساسیت هر روش ژئوفیزیکی نسبت به آن ویژگی، توانایی‌ها و محدودیت‌ها، مزایا و معایب این روش‌ها، توپوگرافی و عوارض غالب منطقه، یک یا ترکیبی از روش‌ها انتخاب می‌گردد. با انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی گام بعدی طراحی نوع برداشت بر اساس شکل، اندازه احتمالی و راستای گسترش آنومالی و منابع نوفه^۱ می‌باشد. گام پایانی پردازش داده‌های برداشت شده، طراحی مدل ژئوفیزیکی این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی موجود و سپس تفسیر این مدل‌ها می‌باشد.

[عرب امیری، ۱۳۷۹؛ حدیدی، ۱۳۸۷؛ کلاگری، ۱۳۷۱]

۲-۱ کارهای انجام شده قبلی در منطقه

در چند نقطه از منطقه آثار معدن‌کاری شدادی و کوره‌های ذوب فلزات دیده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه و در یک مرحله اکتشاف مقدماتی، نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه شده است. همچنین حدود ۱۶ ترانسه با حجم بالغ بر ۹۰۰ متر مکعب در منطقه حفر و تعدادی نمونه آنالیز شیمیایی شدند و تعدادی مقاطع نازک و صیقلی نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ضمناً هیچ‌گونه مطالعات ژئوفیزیکی در این منطقه قبلاً انجام نشده است. مطالعه ژئوفیزیکی انجام شده در این پایان نامه اولین پروژه ژئوفیزیکی برای اکتشاف کانسار مس در این منطقه می‌باشد.

۳-۱ ارتباط موضوع تحقیق با کارهای قبلی

از آنجا که عملیات اکتشاف ژئوفیزیکی در گروه مطالعات غیرمستقیم اکتشافی قرار می‌گیرد، همواره برای ارزیابی روش‌های غیرمستقیم، به‌کارگیری مطالعات مستقیم اکتشافی مورد نیاز است. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از اطلاعات زمین‌شناسی و مدل‌سازی‌های معکوس داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی (IP)، پیشنهاد چندین نقطه حفاری بر روی پروفیل‌های اجرایی برای بررسی‌های بیشتر اکتشافی و

^۱ Noise

تأیید زون‌های کانی‌سازی ارائه می‌گردد.

۴-۱ هدف و ضرورت تحقیق

مهم‌ترین هدف تحقیق حاضر، اکتشاف کانسار مس در منطقه دوچپله با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و IP می‌باشد. از ضرورت‌های انجام این تحقیق نیز می‌توان، کاهش ریسک اکتشاف و جلوگیری از به‌در رفتن وقت و هزینه‌های مالی طرح را برشمرد. مطالعات اولیه زمین‌شناسی و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در آزمایشگاه به‌تنهایی نمی‌توانند برای اکتشاف نهایی مد نظر قرار بگیرند، بنابراین با انجام مطالعات تکمیلی ژئوفیزیکی سعی در کاهش ریسک اکتشاف و پیشنهاد بهترین نقاط برای حفاری داشتیم که در پایان تحقیق مشاهده می‌شود که به این مهم دست پیدا کرده‌ایم.

۵-۱ روش انجام تحقیق

مطالعات ژئوفیزیکی در مناطقی که برونزدها گسترش بیشتری داشتند و همچنین در مناطقی که اطلاعات برداشت شده گویای وجود احتمالی کانی‌سازی بود ولی ایده‌ای از روند عمقی آن وجود نداشت، به اجرا درآمد تا نتایج معتبرتری حاصل شود. در این مطالعه اکتشاف کانسارهای مس مدنظر است و این کانسارها بر اساس شواهد عینی و نتایج برداشت‌های زمین‌شناسی، در منطقه به‌صورت رگه‌ای و افشان هستند، لذا بهترین روش مطالعه ژئوفیزیکی، روش‌های IP و مقاومت ویژه الکتریکی می‌باشند. پس از طراحی عملیات برداشت، در دو منطقه مجزا اما با شرایط زمین‌شناختی تقریباً مشابه، ۸ پروفیل در دو فاز شمالی (۴ پروفیل) و جنوبی (۴ پروفیل) طراحی و کار برداشت ژئوفیزیکی در مدت دو هفته به اجرا درآمد. در مراحل بعد تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از برداشت صحرائی انجام، مدل‌های زمین‌شناسی ترسیم و مقاطع به‌دست آمده از مدل‌سازی معکوس داده‌ها، تحلیل و تفسیر شدند. در نهایت نتایج تفسیر روش‌های مختلف اکتشافی با یکدیگر ترکیب شده تا نتیجه مطمئن و قابل اعتمادتری برای انجام مراحل نهایی

اکتشاف به دست دهد.

۱-۶ سازماندهی پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر پنج فصل می باشد. فصل جاری به مقدمه، مروری بر کارهای انجام شده قبلی، ضرورت و روش انجام تحقیق حاضر اختصاص داده شده است. در فصل دوم مروری داریم بر مبانی روش-های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و IP که در انجام این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند. در فصل سوم ابتدا موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، سپس نمونه برداری از ترانشه های حفر شده و نتایج کلی آنالیز شیمیایی آنها بررسی شده است و در ادامه توضیحاتی در مورد عملیات حفاری اکتشافی انجام شده در منطقه و نتایج آن، برداشت داده های ژئوفیزیکی و نحوه برداشت این داده ها داده شده است. در فصل چهارم، مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و IP آورده شده و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفته است. مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و IP با استفاده از نرم افزار RES2DINV رسم شد و در پایان این فصل نیز با استفاده از نرم افزار Oasis montaj کلیه مقاطع به دست آمده از نتایج مدل سازی معکوس دوبعدی داده های مقاومت ویژه و IP با همدیگر ترکیب شده و یک نمای سه بعدی از مقاطع دو بعدی ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت در فصل پنجم که فصل آخر این تحقیق می باشد، نتایج و پیشنهادات لازم ارائه گردیده است.

فصل دوم

مبانی روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه

و پلاریزاسیون القایی (IP)

۲-۱ مقدمه

ایده اکتشاف مواد معدنی با کمک اندازه‌گیری‌های الکتریکی در حدود سال‌های ۱۸۰۰ ارائه شد، اما کاربرد عملی و نتیجه بخش این روش حدود یک قرن بعد میسر گردید. روش‌های الکتریکی که با تزریق جریان الکتریکی به زمین انجام می‌پذیرد، برای اکتشاف مواد معدنی و همچنین آب‌های زیرزمینی کاربرد گسترده‌ای دارد [تلفورد و همکاران، ترجمه حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۸۷].

در اکتشاف ذخایر سولفیدی افشان، مناسب‌ترین روش ژئوفیزیکی، روش IP می‌باشد. همچنین به دلیل وجود احتمالی ساختمان‌های پیوسته کانی‌سازی (نوع رگه‌ای)، از روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی، الکترومغناطیسی و مغناطیس‌سنجی نیز می‌توان استفاده نمود. در محدوده مورد مطالعه استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و IP در حوزه زمان، به دلیل وجود شواهدی از حضور کانی‌زایی به دو روش رگه‌ای و افشان، مناسب‌تر تشخیص داده شد. لذا در زیر مختصری از مبانی هر دو روش مذکور ارائه می‌شود.

۲-۲ روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش مقاومت ویژه به‌عنوان یک روش اکتشافی، در ابتدا توسط برادران شلومبرژه در دهه ۱۹۲۰ به کار گرفته شد. اساس کار این روش تزریق جریان الکتریکی مستقیم یا متناوب (با فرکانس کم، در حد چند هرتز) به داخل زمین و اندازه‌گیری آن در فواصل منظم بر روی زمین یا داخل چاه می‌باشد. برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی به دو صورت پروفیل‌زنی^۱ (فرآیندی که توسط آن تغییرات جانبی مقاومت ویژه سنگ‌های زیرسطحی اندازه‌گیری می‌شود) و سونداژزنی^۲ (فرآیندی که توسط آن تغییرات عمقی مقاومت ویژه لایه‌های زیرسطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرد) انجام می‌گیرد. توسط این روش، مقاومت ویژه زیر سطح با اندازه‌گیری تغییرات پتانسیل الکتریکی به دست می‌آید.

^۱ Horizontal Profiling (H.P)

^۲ Vertical Electric Sounding (V.E.S)

۲-۱-۲ روابط پایه در روش مقاومت ویژه الکتریکی

قانون فیزیکی پایه در پیمایش‌های مقاومت ویژه الکتریکی قانون اهم^۱ است. معادله قانون اهم به صورت برداری برای عبور جریان الکتریکی در یک محیط پیوسته با فرمول زیر تعریف می‌شود:

$$J = \sigma E \quad (1-2)$$

که σ رسانندگی محیط، J چگالی جریان الکتریکی و E شدت میدان الکتریکی است. در عمل، آنچه که اندازه‌گیری می‌شود، پتانسیل میدان الکتریکی می‌باشد. در پیمایش‌های ژئوالکتریکی مقاومت ویژه محیط (ρ) که برابر با عکس رسانایی است ($\rho = \frac{1}{\sigma}$)، مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه بین پتانسیل الکتریکی و

شدت میدان الکتریکی توسط معادله؛

$$E = -\nabla\phi \quad (2-2)$$

تعریف می‌شود، از ترکیب معادله (۱-۲) و (۲-۲) داریم:

$$J = -\sigma\nabla\phi \quad (3-2)$$

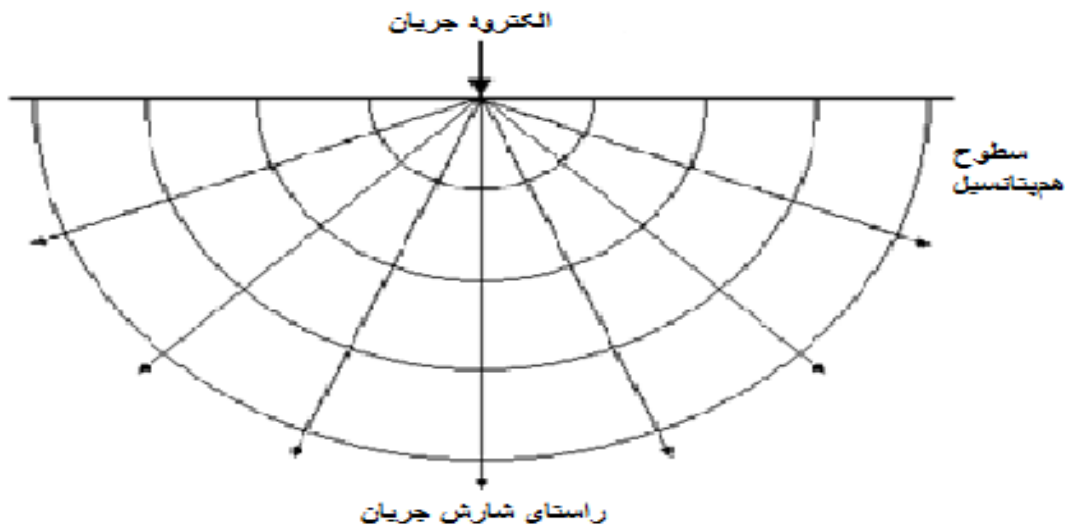
تقریباً در همه پیمایش‌ها، منابع جریان به صورت منابع نقطه ای هستند. ساده‌ترین مدل، یک زمین هموزن^۲ و یک منبع نقطه‌ای جریان است (شکل ۱-۲). در این حالت جریان به صورت شعاعی از منبع جدا می‌شود و پتانسیل با عکس فاصله از منبع کاهش پیدا می‌کند. صفحات هم‌پتانسیل به صورت نیم‌کره هستند که خطوط جریان عمود بر آن‌ها شارش می‌یابند. در این حالت پتانسیل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\phi = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (4-2)$$

که در اینجا، r فاصله هر نقطه در محیط از الکتروود است.

^۱ Ohm's Law

^۲ Homogenous



شکل ۱-۲: شارش جریان از یک منبع نقطه‌ای جریان و نتیجه توزیع پتانسیل به صورت سطوح همپتانسیل [Loke, 2012].

یک نوع نمادین از آرایش چهار الکتروودی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: یک نوع آرایش متداول الکتروودهای پتانسیل و جریان در اندازه‌گیری مقاومت ویژه زیر سطح [Loke, 2012].

پیمایش‌های واقعی در صحرا بر روی محیط‌های ناهمگن که مقاومت ویژه زیر سطح توزیع سه بعدی دارد اجرا می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها در این شرایط نیز توسط دو الکتروودی که جریان را به زمین تزریق کرده (C_1, C_2) و دو الکتروود دیگر که اختلاف پتانسیل را قرائت می‌کند (P_1, P_2)، صورت می‌گیرد. مقاومت ویژه ظاهری^۱ (ρ_a)، از میزان تزریق جریان (I) و اختلاف پتانسیل به دست آمده ($\Delta\phi$)، حاصل می‌گردد؛

$$\rho_a = k \frac{\Delta\phi}{I} \quad (5-2)$$

که:

^۱ Apperant resistivity

k فاکتور ژئومتریک^۱ است که به نحوه آرایش چهار الکتروستاتیک بستگی دارد. دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت

ویژه معمولاً مقاومت الکتریکی را می‌دهند ($R = \frac{\Delta\varphi}{I}$)، بنابراین در عمل مقاومت ویژه از رابطه زیر به-

دست می‌آید:

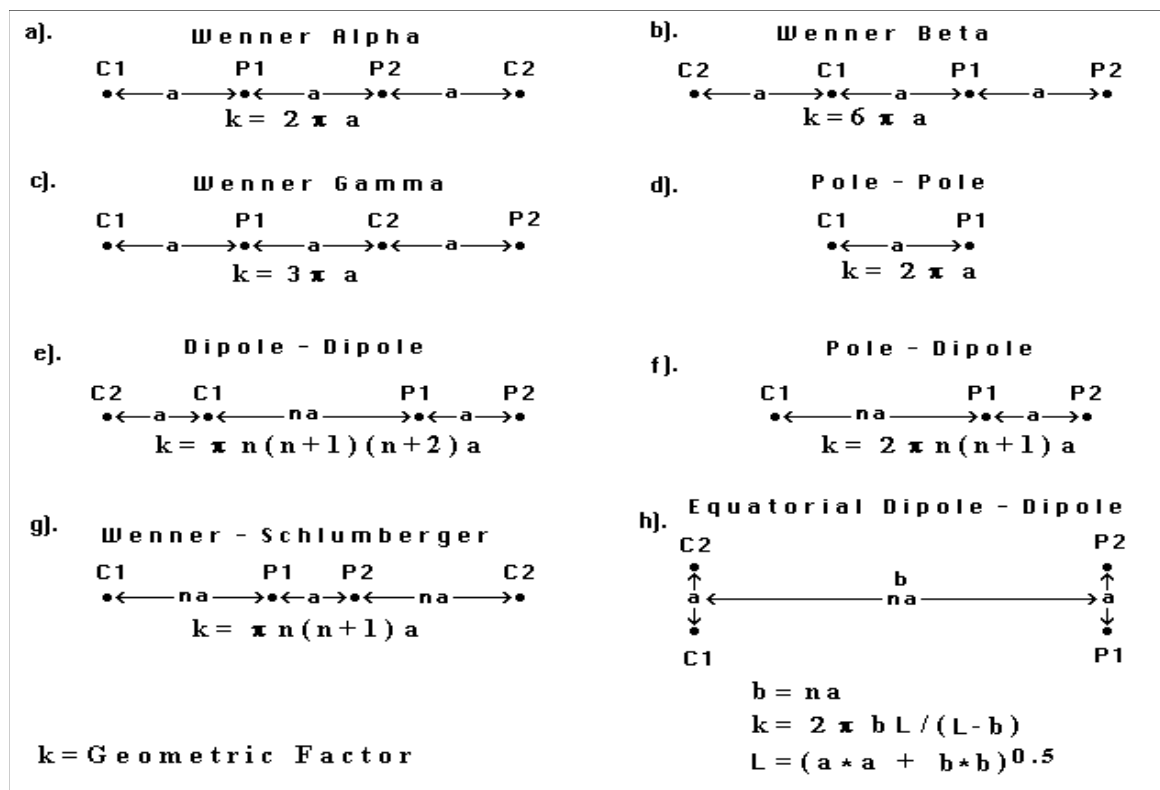
$$\rho_a = kR \quad (۶-۲)$$

مقدار مقاومت ویژه محاسبه شده، مقدار واقعی مقاومت ویژه زیر سطح نمی‌باشد، بلکه مقدار ظاهری آن است.

۲-۲-۲ آرایه‌های الکترودی متداول

در شکل ۲-۳ تعدادی از آرایه‌های الکترودی متداول به همراه فاکتور ژئومتریک مربوط به هر آرایه که در کاوش‌های ژئوالکتریکی به روش مقاومت ویژه به کار می‌روند، نشان داده شده است.

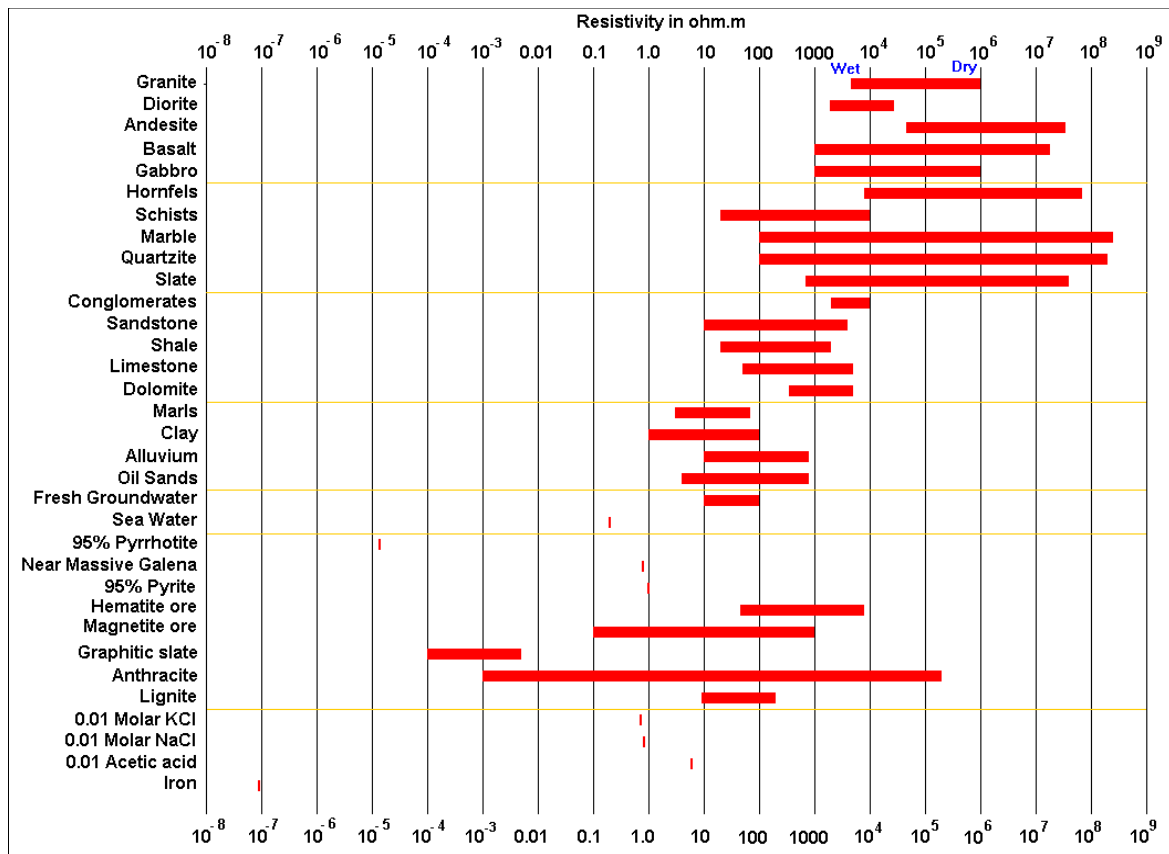
^۱Geometric factor



شکل ۲-۳: آرایه‌های الکترودی متداول و فاکتور ژئومتریک مربوط به آن‌ها در مطالعات مقاومت سنجی. (a) ونر آلفا، (b) ونر بتا، (c) ونر گاما، (d) قطبی - قطبی، (e) دوقطبی - دوقطبی، (f) قطبی - دوقطبی، (g) ونر - شلومبرژه، (h) دوقطبی - دوقطبی استوایی [Loke, 2012].

۳-۲-۲ مقاومت ویژه سنگ‌ها

دامنه تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها بسیار وسیع می‌باشد. مقاومت ویژه برخی از کانی‌ها و سنگ‌های معمول در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.



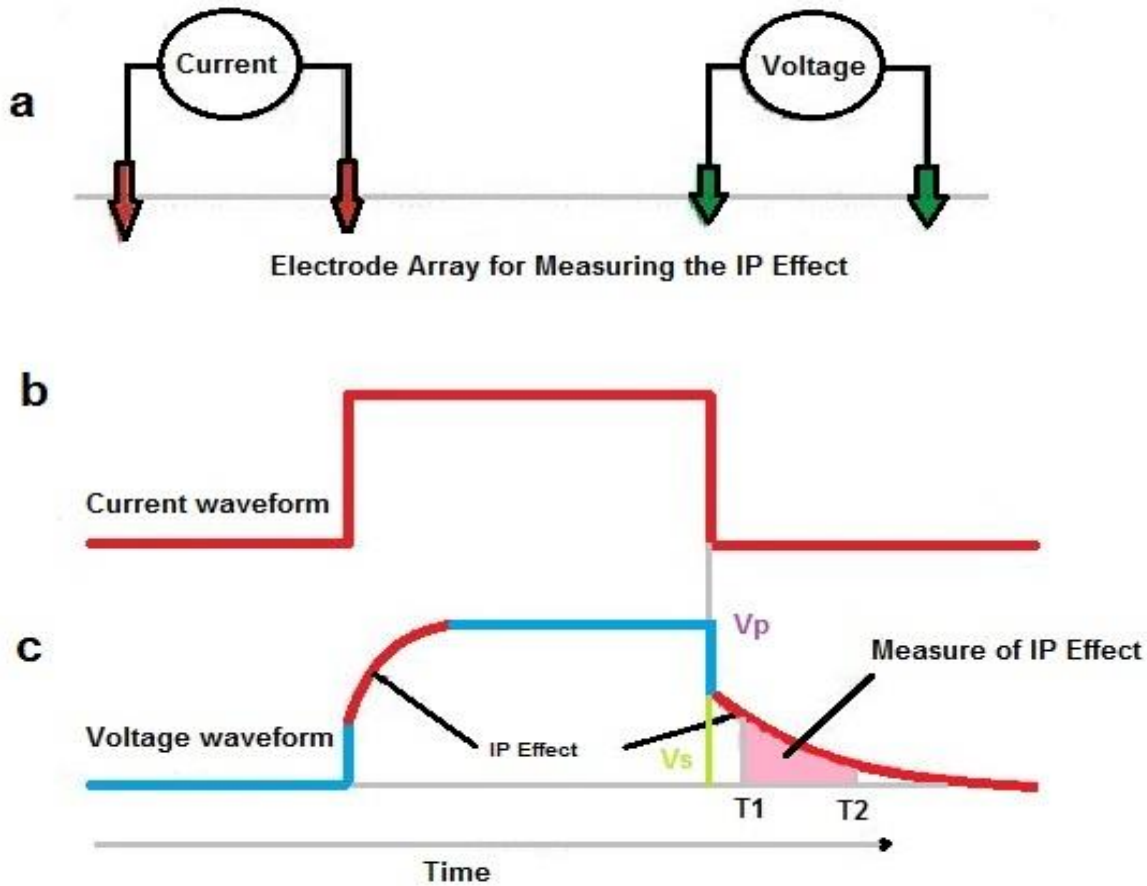
شکل ۲-۴: مقاومت ویژه سنگ‌ها، خاک‌ها و کانی‌ها [Loke, 2012].

۳-۲ روش قطبش القایی (IP)

۳-۲-۱ اثر IP

پدیده IP اولین بار توسط شلومبرژه، زمانی که به دنبال سولفیدهای فلزی بود شناسایی شد. وی حین انجام مطالعات مقاومت ویژه مشاهده کرد که بعد از قطع جریان، اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده توسط دو الکتروود پتانسیل فوراً صفر نمی‌شود، بلکه ابتدا یک افت ناگهانی نشان می‌دهد و بعد به تدریج و طی زمانی معین به سمت صفر می‌رود (شکل ۲-۵). شلومبرژه این اختلاف پتانسیل را پلاریزاسیون تحریک

شده^۱ نامید [کلاگری، ۱۳۷۱].



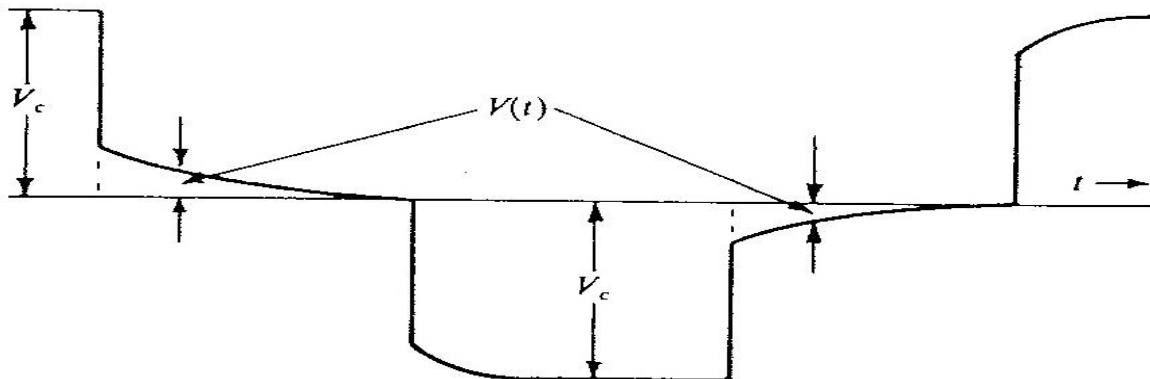
شکل ۲-۵: a) یک نوع آرایش متداول و نحوه قرارگیری الکترودهای پتانسیل و جریان در پیمایش IP، b) یک نمونه از سیگنال جریان در پیمایش‌های مقاومت ویژه و IP، c) اندازه‌گیری ولتاژ اولیه و بازماند در IP حوزه زمان. [www.cflhd.gov]

منحنی ولتاژ یک افزایش تدریجی در لحظه تزریق جریان و یک کاهش تدریجی در لحظه قطع جریان نشان می‌دهد. V_p ولتاژ اولیه و V_s ولتاژ بازماند می‌باشد. T_1 , T_2 لحظه شروع و پایان انتگرال‌گیری در IP حوزه زمانی می‌باشند.

نمایشی از IP را می‌توان با استفاده از یک آرایش استاندارد مقاومت ویژه چهار الکترودی جریان مستقیم به‌دست آورد که در آن جریان دفعتهاً قطع می‌شود. عموماً ولتاژ در دو سر الکترود پتانسیل به یک‌باره صفر

^۱ provoked polarization

نمی‌شود بلکه بعد از یک کاهش بزرگ از حالت پایدار، به آهستگی واپاشی^۱ می‌یابد (شکل ۲-۵ c). زمان این واپاشی در حدود چند ثانیه یا حتی چند دقیقه است. اگر جریان دوباره متصل شود، دامنه پتانسیل بعد از یک افزایش ناگهانی در ابتدای امر، در طول زمان مشابه، افزایش تدریجی یافته و به مقدار نهایی خود می‌رسد (شکل ۲-۶) [تلفورد و همکاران، ترجمه حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۸۷].



شکل ۲-۶: برگشت به حالت اول بعد از اغتشاش وارد شده پس از تزریق دوباره جریان [Telford, 1990].

یک مدل ریاضی برای توضیح تغییر مقاومت ویژه با تغییر فرکانس که در روش IP مشاهده می‌شود، مدل کول-کول^۲ است که به صورت زیر تعریف می‌شود (شکل ۲-۷):

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right] \quad (7-2)$$

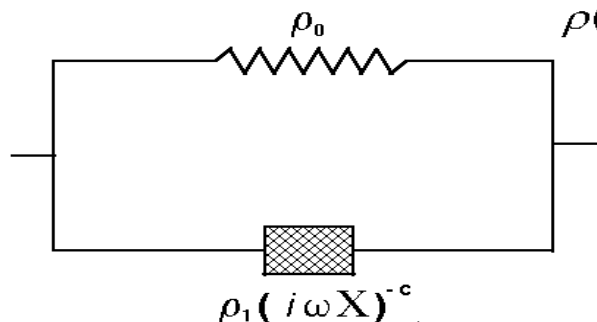
که در اینجا ρ_0 مقاومت ویژه جریان مستقیم، ω فرکانس زاویه‌ای $(2\pi f)$ ، τ ثابت زمانی و c ثابت نمایی یا تقلیل^۳ هستند.

^۱ Decay

^۲ Cole-cole

^۳ Exponent or relaxation

a). Equivalent circuit



$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right]$$

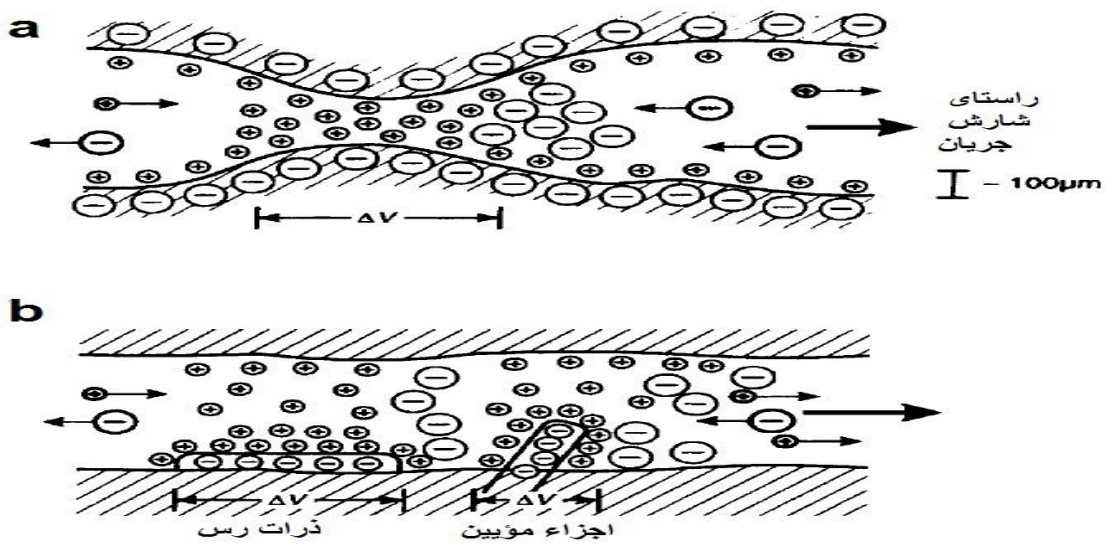
$$m = \rho_0 / (\rho_0 + \rho_1)$$

$$\tau = X (\rho_0 + \rho_1)^{1/c}$$

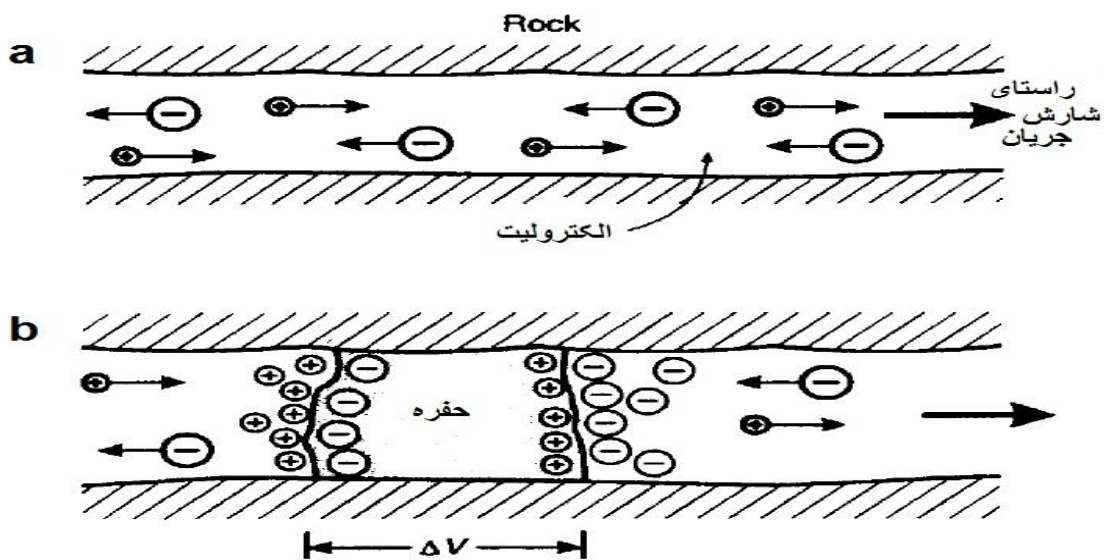
شکل ۲-۷: مدل ساده از مدار الکتریکی معادل برای مدل کول-کول [پلتون و همکاران، ۱۹۷۸].

۲-۳-۲ منشأ پدیده IP

به نظر می‌رسد که مقداری از انرژی وارد شده به داخل زمین در زیر سطح ذخیره می‌شود. بیشتر این انباشت انرژی به صورت شیمیایی است که به علت‌های زیر نتیجه می‌شود: الف: تغییر در تحرک یون‌ها در مایعات درون ساختارهای سنگ، ب: تغییر در رسانندگی یونی و الکترونی در جاهایی که کانی‌های فلزی وجود دارد. اثر اول به نام قطبش غشایی یا الکترولیتی نام دارد که اثر IP زمینه را به وجود می‌آورد، این اثر ممکن است در سنگ‌هایی که کانی‌های فلزی ندارند، روی دهد (شکل ۲-۸). اثر دوم به نام قطبش الکترودی یا فلزی نامیده می‌شود. مقدار این اثر بزرگ‌تر از زمینه بوده و با مقدار کانی‌های فلزی موجود در سنگ ارتباط دارد (شکل ۲-۹) [تلفورد و همکاران، ترجمه حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۸۷].



شکل ۸-۲: قطبش غشایی. (a) حفره درون سنگ قبل از تزریق جریان. (b) به هم خوردن تعادل یونی در الکترولیت درون حفره پس از تزریق جریان [Reynolds, 1997].



شکل ۹-۲: قطبش الکترودی یا فلزی. (a) یون‌های مثبت و منفی در درون الکترولیت داخل حفره سنگ قبل از تزریق جریان به صورت یکنواخت پراکنده شده‌اند. (b) در اثر تزریق جریان به داخل زمین تعادل یونی در درون حفره‌ای که توسط کانی هادی مسدود شده برهم خورده است [Reynolds, 1997].

۳-۳-۲ اندازه‌گیری‌های IP

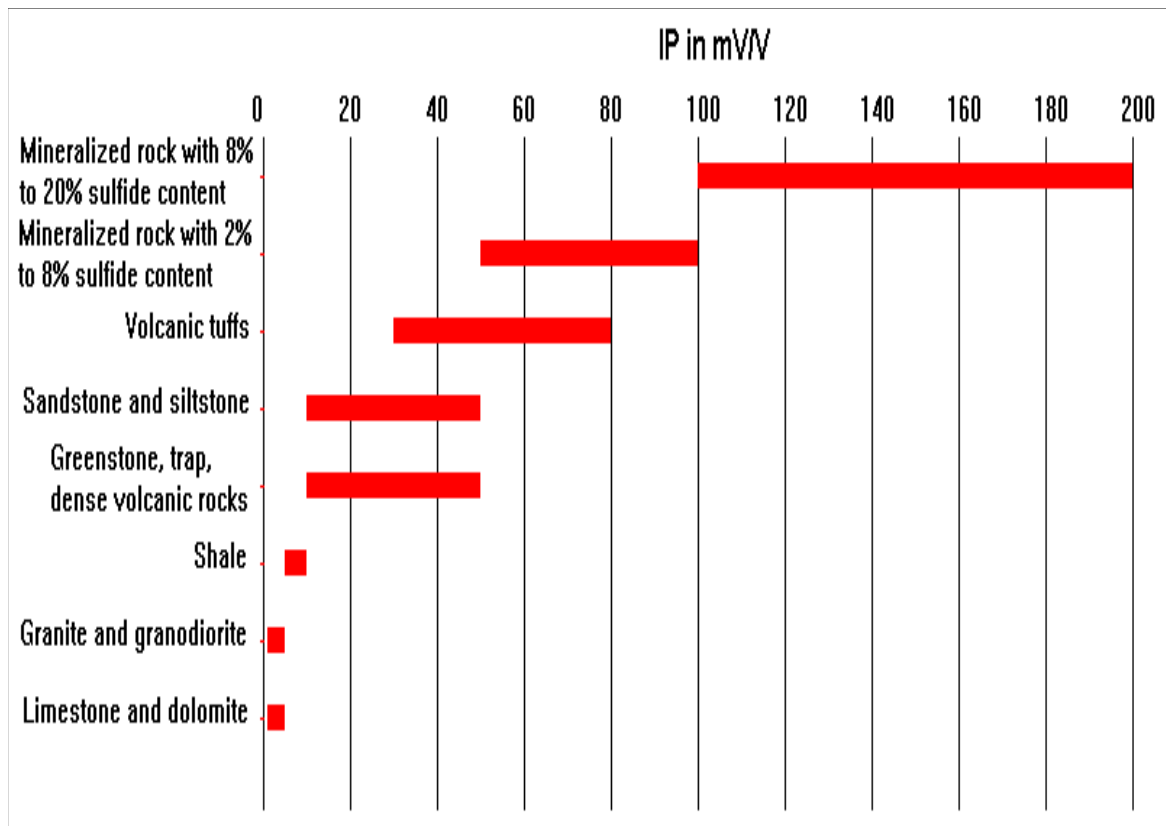
با وجود اینکه بارپذیری به صورت نسبت ولتاژ ماندگار با پتانسیل جریان مستقیم (شکل ۲-۵ c)، درست در لحظه قطع جریان تعریف می‌شود، در کارهای صحرایی واقعی این تعریف استفاده نمی‌گردد. اندازه‌گیری‌های صحرایی IP را می‌توان به دو دسته اصلی، روش IP در حوزه زمان و حوزه فرکانس تقسیم کرد.

۱-۳-۳-۲ اندازه‌گیری در حوزه زمان

در روش اندازه‌گیری در حوزه زمان، ولتاژ ماندگار درست پس از قطع جریان اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری درست در لحظه قطع جریان امکان‌پذیر نمی‌باشد، زیرا رویدادها درست در لحظه قطع مدار جریان گذرا هستند. بعضی از دستگاه‌ها مقدار دامنه ولتاژ باقیمانده را در بازه‌های زمانی گسسته بعد از قطع جریان، قبل از اینکه ولتاژ به سطح نوفه زمینه کاهش یابد، اندازه‌گیری می‌کنند. از این طریق درصد IP برحسب mv/v حاصل می‌شود. یک روش متداول، محاسبه انتگرال زیر منحنی افت ولتاژ باقی‌مانده در یک فاصله زمانی است. از این طریق بارپذیری (m_t) توسط رابطه زیر حاصل می‌شود [Loke, 2012]:

$$m_t = \frac{1}{v_{dc}} \int_{t_1}^{t_2} v_s(t) dt \quad (۸-۲)$$

زمان شروع (t_1) و پایان (t_2) انتگرال‌گیری طوری باید انتخاب گردد که هم از زمان گذار (نوفه الکترومغناطیسی) لحظه قطع جریان جلوگیری شود و هم سیگنال ولتاژ باقی‌مانده به نوفه زمینه نزدیک نشود. بازه انتگرال‌گیری ایده‌آل را ۰/۱ تا ۱۰ ثانیه و اغلب ۰/۲ تا ۰/۶ ثانیه در نظر می‌گیرند [سامنر، ۱۹۷۶].



شکل ۲-۱۰: اندازه IP بر حسب میلی ولت بر ولت برای تعدادی از سنگ‌ها و کانی‌ها [Loke, 2012].

جدول ۱-۲: بارپذیری مواد، سنگ‌ها و کانی‌های مختلف بر حسب میلی‌ثانیه [Telford, 1990].

Material	Chargeability (ms)
Pyrite	13.4
Chalcocite	13.2
Copper	12.3
Graphite	11.2
Chalcopyrite	9.4
Bornite	6.3
Galena	3.7
Magnetite	2.2
Malachite	0.2
Hematite	0.0
20% sulfides	2,000 – 3,000
8 – 20% sulfides	1,000 – 2,000
2 – 8% sulfides	500 – 1,000
Volcanic tuffs	300 – 800
Sandstone, siltstone	100 – 500
Dense volcanic rocks	100 – 500
Shale	50 – 100
Granite, grandodiorite	10 – 50
Limestone, dolomite	10 – 20
Ground water	0
Alluvium	1 – 4
Gravels	3 – 9
Precambrian volcanics	8 – 20
Precambrian gneisses	6 – 30
Schists	5 – 20
Sandstones	3 – 12
Argillites	3 – 10
Quartzites	5 – 12

۲-۳-۳-۲ اندازه‌گیری در حوزه فرکانس

در روش اندازه‌گیری در حوزه فرکانس، مقاومت ویژه ظاهری حداقل در دو فرکانس (بین ۱/۱۰-۰/۱ هرتز) اندازه‌گیری می‌شود. فرکانس بالا معمولاً ۱۰ برابر فرکانس پایین‌تر است. یک واحد متداول در IP حوزه فرکانس، درصد اثر فرکانس یا PFE^۱ است که به صورت زیر تعریف می‌شود [Loke, 2012]:

$$PFE = \frac{\rho(\omega_L) - \rho(\omega_H)}{\rho(\omega_H)} \times 100 \quad (۹-۲)$$

که در آن $\rho(\omega_L)$ مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس پایین و $\rho(\omega_H)$ مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس بالا

^۱ Percent Frequency Effect

است. یکی دیگر از واحدهای معمول در این حوزه، فاکتور فلزی MF^۱ است که توسط رابطه زیر تعریف می‌گردد (Loke, 2012):

$$MF = 2\pi \times 10^5 \frac{\rho(\omega_L) - \rho(\omega_H)}{\rho(\omega_L)\rho(\omega_H)} \quad (10-2)$$

نوعی دیگر از اندازه‌گیری‌های اثر IP در حوزه فرکانس، زاویه‌ی فاز است. زاویه‌ی فاز، میزان جابجایی فاز بین جریان خروجی از فرستنده و ولتاژ اندازه‌گیری شده است که بر حسب میلی رادیان به دست می‌آید [Loke, 2012].

جدول ۲-۲: اندازه فاکتور فلزی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف بر حسب موهو بر متر [Telford, 1990].

Material	Metal factor (mhos/cm)
Massive sulfides	10,000
Fracture-filling sulfides	1,000 – 10,000
Massive magnetite	3 – 3,000
Porphyry copper	30 – 1,500
Dissem. sulfides	100 – 1,000
Shale-sulfides	3 – 300
Clays	1 – 300
Sandstone – 1 – 2% sulfides	2 – 200
Finely dissem. sulfides	10 – 100
Tuffs	1 – 100
Graphitic sandstone and limestone	4 – 60
Gravels	0 – 200
Alluvium	0 – 200
Precambrian gneisses	10 – 100
Granites, monzonites, diorites	0 – 60
Various volcanics	0 – 80
Schists	10 – 60
Basic rocks (barren)	1 – 10
Granites (barren)	1
Groundwater	0

^۱ Metal Factor

۲-۳-۴ نوفه‌ها در اندازه‌گیری قطبش القایی

جریان‌هایی مزاحم در پیمایش‌های IP وجود دارند که سبب مخدوش شدن اندازه‌گیری‌ها می‌شوند. این نوفه‌ها عبارتند از؛ جریان‌های مربوط به پتانسیل خودزا^۱ (SP)، جریان ایجاد شده در اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی^۲ سیم‌ها، نشت جریان از سیم‌ها (در اثر آسیب دیدگی روکش سیم)، جریان حاصل از قطبش الکترودهای پتانسیل، جریان‌های سرگردان موجود در مناطق صنعتی و جریان‌های تلوریک [کلاگری، ۱۳۷۱].

دستگاه‌های جدید به راحتی جریان‌های SP را خنثی می‌کنند. جریان حاصل از جفت‌شدگی الکترومغناطیسی، توسط القای متقابل بین سیم‌های جریان ایجاد می‌شود. پتانسیل القایی هم به طور مستقیم و هم از راه زمین مجاور صورت می‌گیرد. این نوفه یکی از نوفه‌های آزار دهنده در این روش است. در مواقعی که از آرایش‌های با سیم طویل و با فرکانس‌های بالا استفاده می‌شود، اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی می‌تواند خیلی بزرگ باشد. برای کم کردن جفت‌شدگی حاصل از سیم‌های طویل، از آرایه‌های قطبی- دوقطبی و دوقطبی- دوقطبی استفاده می‌شود و معمولاً فرکانس‌های پایین (کمتر از ۱۰ هرتز) به کار می‌رود، ضمناً تا حد امکان سیم‌های پتانسیل و جریان از هم دور نگه داشته می‌شوند. پتانسیل حاصل از قطبش الکترودهای پتانسیل با به کارگیری الکترودهای قطبش ناپذیر^۳ خنثی می‌گردد. نوفه تلوریک را می‌توان به طور موفقیت آمیزی با یک فیلتر بالا گذر (در درون دستگاه) کاهش داد، به خصوص زمانی که فرکانس پایینی فرستنده کمتر از ۰/۳ هرتز نباشد [تلفورد و همکاران، ترجمه حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۸۷].

^۱ Self potential

^۲ Electromagnetic coupling

^۳ Nonpolarization

۲-۴ آرایه‌های الکترودی مناسب و طراحی شبکه برداشت

در مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه و IP، انتخاب آرایه الکترودی مناسب تابع چندین پارامتر است که با در نظر گرفتن کل پارامترها سعی بر آن است که بهترین آرایه انتخاب گردد. در زیر به‌طور خلاصه چند پارامتر مهم که باید مورد توجه قرار گیرند آمده است:

-نسبت سیگنال به پارازیت

-اثر کوپلینگ الکترومغناطیسی

-قدرت تفکیک قائم و افقی

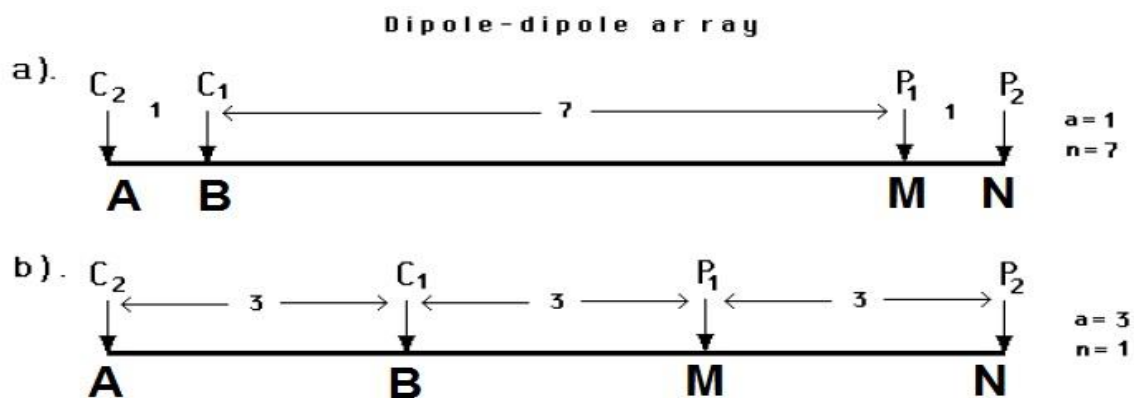
-عمق تجسس [عرب امیری ع، ۱۳۷۹؛ حدیدی ۱۳۸۷]

با در نظر گرفتن پارامترهای بالا، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آرایه مطلوب برای انجام تحقیق حاضر، آرایه دوقطبی - دوقطبی می‌باشد. در بخش بعدی به شرح آرایه دوقطبی - دوقطبی می‌پردازیم.

۲-۴-۱ آرایه دوقطبی - دوقطبی

۲-۴-۱-۱ روش پیمایش صحرائی و اندازه‌گیری دو بعدی

در این نوع از آرایش الکترودی فاصله بین الکترودهای جریان A و B (AB) و فاصله بین الکترودهای پتانسیل M و N (MN) تقریباً ثابت بوده و کمتر از فاصله بین مرکز دو دایپل (r) می‌باشد (شکل ۲-۱۱). آرایه دوقطبی - دوقطبی به چند حالت مختلف (محوری، استوایی، شعاعی، موازی، عمودی و آزیموتی) انجام می‌گیرد. در تحقیق حاضر از آرایه دوقطبی - دوقطبی محوری استفاده شده که توضیحات آن در ادامه می‌آید:

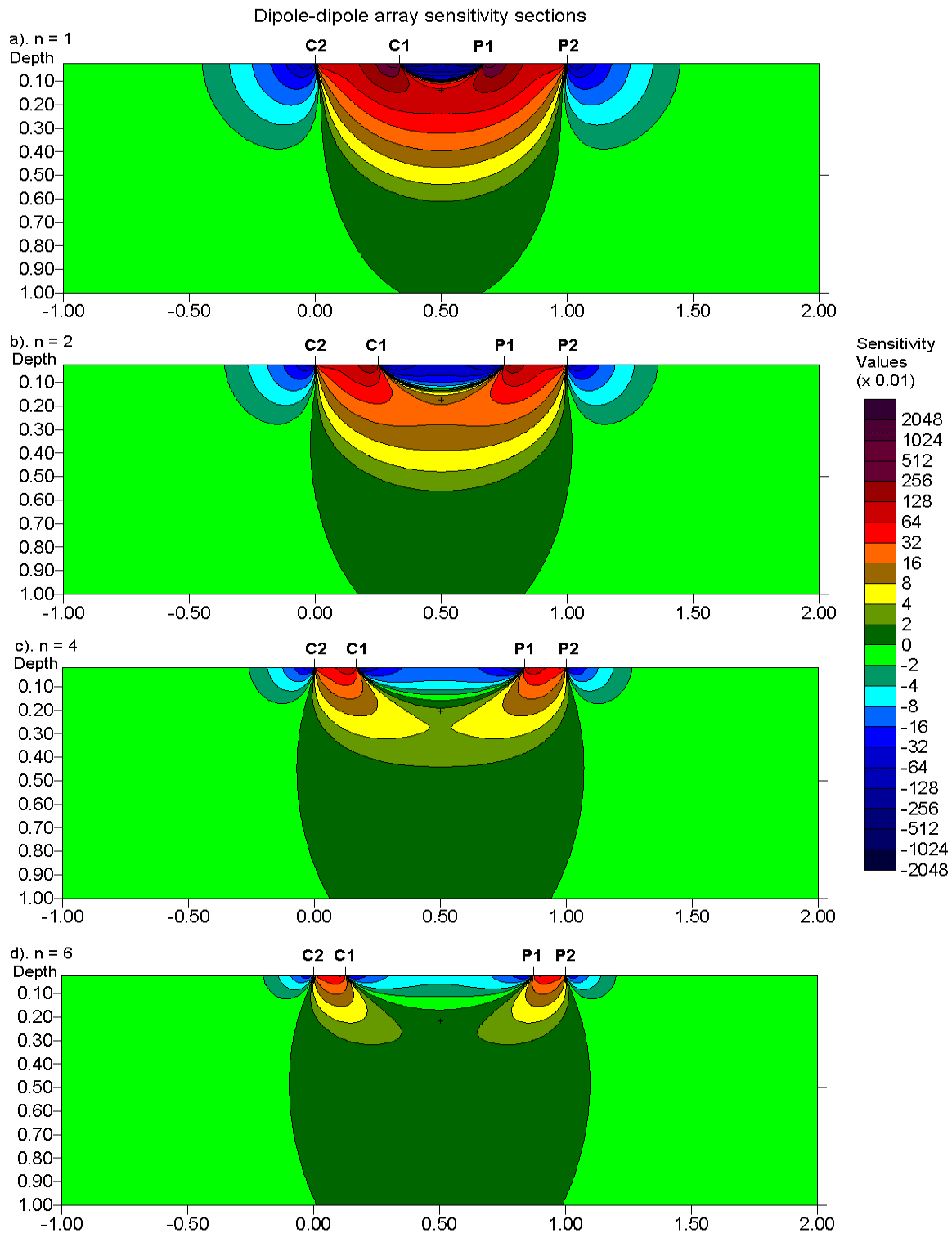


شکل ۱۱-۲: دو ترتیب متفاوت انجام پذیر برای یک اندازه‌گیری با آرایه دوقطبی- دوقطبی [Loke, 2012].

مقاومت ویژه ظاهری حاصل از این آرایه توسط رابطه زیر به دست می‌آید [کلاگری، ۱۳۷۱]؛

$$\rho_{dd} = \pi \left(\frac{r^2}{AB} - r \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (11-2)$$

آرایش دوقطبی- دوقطبی که به دلیل جفت‌شدگی الکترومغناطیسی پایین کاربرد گسترده‌ای در برداشت‌های مقاومت ویژه و IP دو بعدی دارد، دارای بیشترین حساسیت در منطقه زیر دوقطبی‌های جریان و پتانسیل است. با افزایش n ، یعنی نسبت فاصله دوقطبی‌ها از یکدیگر به طول دوقطبی‌ها (یا همان فاصله الکترودی a)، تمرکز حساسیت در نواحی فوق‌الذکر افزایش یافته و الگوی کانتورها تقریباً افقی می‌گردد. به همین دلیل این آرایش به شدت به تغییرات افقی یا به عبارتی مرزهای عمودی حساس بوده اما در مورد مرزهای افقی ضعیف عمل می‌کند. در n های بالا تخمین عمق ساختار با خطای زیادی همراه است. این به دلیل کاهش زیاد قدرت سیگنال در n های بالا می‌باشد که یک عیب برای این آرایه محسوب می‌شود (شکل ۱۲-۲). یک راه‌حل می‌تواند افزایش طول دوقطبی a بجای افزایش n برای کاوش مناطق عمیق‌تر باشد. ترتیب درست آرایش الکترودی در این آرایه به صورت $C_2-C_1-P_1-P_2$ می‌باشد، در غیر این صورت مقادیر فاکتور ژئومتریکی منفی به دست می‌آید [Loke, 2012].



شکل ۲-۱۲: مقاطع حساسیت دوبعدی برای آرایه دوقطبی-دوقطبی. مقاطعی با: a) $n=1$, b) $n=2$, c) $n=4$ و d) $n=6$. [Loke, 2012]

فصل سوم

موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی منطقه

و عملیات صحرائی برداشت داده‌ها

۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه

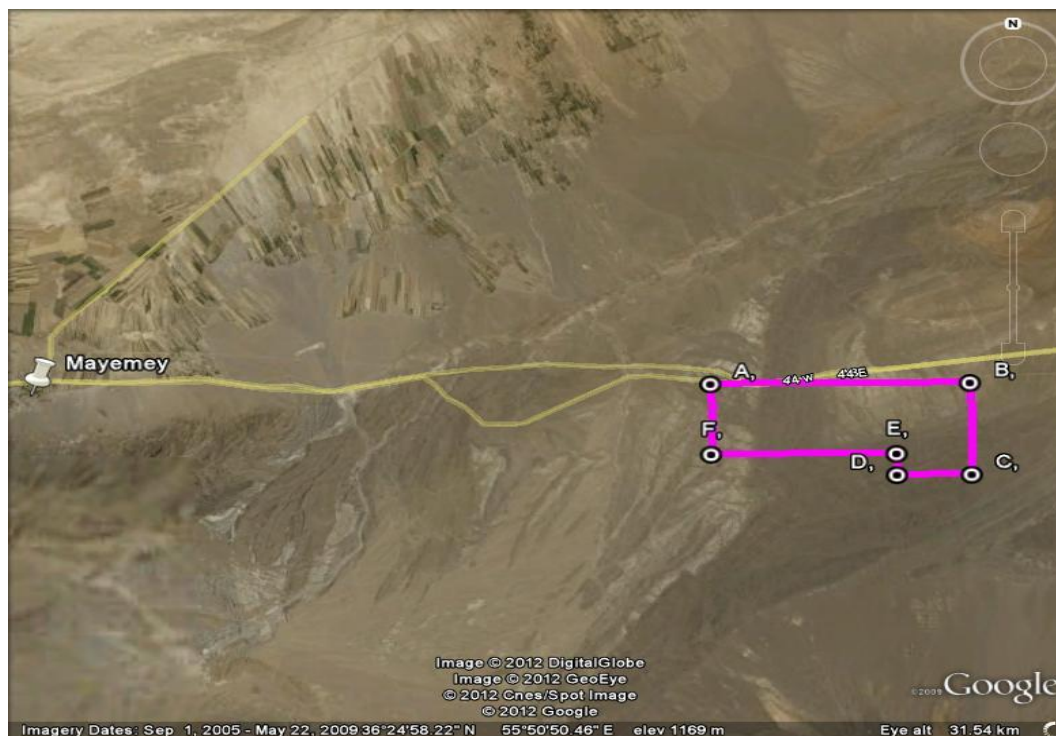
کانسار مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی استان سمنان و شهر میامی در زون 40N واقع شده است. بررسی مسائل مربوط به آن در حیطه اختیارات سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سمنان و در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی به مختصات جدول ۱-۳ واقع شده است.

جدول ۱-۳: مختصات منطقه مورد مطالعه

رئوس	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1
طول	55° 54' 42"	55° 58' 55"	55° 58' 46 "	56° 0' 34.81"	56° 0' 41"	55° 54' 43 "
عرض	36° 23' 20"	36° 23' 16"	36° 22' 42"	36° 22' 48"	36° 24' 43"	36° 24' 46"

دسترسی به منطقه از مسیر راه آسفالتی درجه یک تهران- مشهد می‌باشد که پس از طی مسافتی حدود ۳۰ کیلومتر از شهر میامی به سمت راست تغییر مسیر داده و وارد یک جاده خاکی جیب رو شده و طی مسافتی حدوداً یک کیلومتری با عبور از چند تپه ماهوری امکان پذیر است. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه از سطح دریا ۱۳۰۰ متر است. شکل ۱-۳ نمایانگر حدود قرارگیری اندیس مورد مطالعه بر روی نقشه تهیه شده از گوگل مپ^۱ می‌باشد.

^۱Google map



شکل ۳-۱: حدود قرارگیری اندیس مورد مطالعه (تهیه شده از Google map).

۲-۳ زمین شناسی منطقه‌ای

منطقه مورد نظر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ میامی، در قسمت جنوب غربی چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰۰ جاجرم و در شرق استان سمنان واقع شده است. در کل منطقه با توجه به تنوع در ترکیب نهشته‌ها، نوع فرسایش و گسترش واحدهای سنگی یکسان نیست. سنگ‌های آهکی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن، بخش‌های مرتفع و سنگ‌های سست (مارن و ماسه‌سنگ) نفوژن نواحی پست را درست کرده‌اند. از طرفی گسل میامی که از شمال برگه مورد مطالعه عبور می‌کند، گسل‌های اصلی چاه سیدآباد و گسل کی‌کی با روند جنوب شرقی- شمال غربی در شکل‌گیری مورفولوژی منطقه نقش اساسی را دارند. ناحیه بین این گسل‌ها بالا آمده و بخش مرتفع را پدید آورده است. دشت میامی در شمال و دشت بیارجمند در جنوب، در کناره این گسل‌ها شکل گرفته است. ورقه میامی بخش کوچکی از انتهای شمالی پهنه ایران مرکزی است. واحدهای سنگی منطقه در برگیرنده ردیفی از سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد و حجم قابل

توجهی از نهشته‌های رسوبی و آتشفشانی ائوسن و سرانجام نهشته‌های نئوژن و کواترنر هستند. سه توده آذرین در میان سنگ‌های منطقه نفوذ کرده و باعث دگرگونی گرمایی آن‌ها شده است [سازمان زمین‌شناسی کشور].

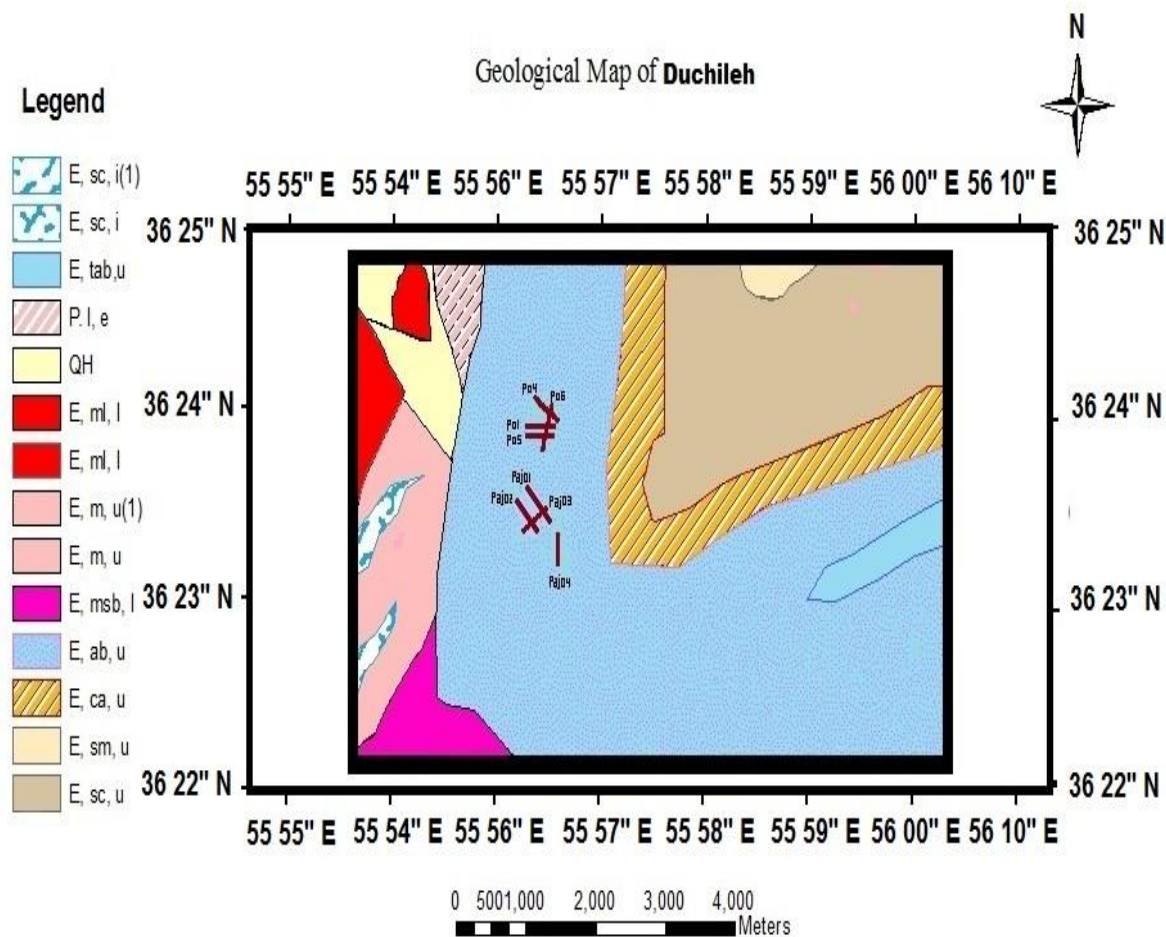
گستره‌ی مورد بررسی در منطقه‌ی مرزی پهنه ایران مرکزی و پهنه بینالود جای دارد. بخش اصلی ورقه میامی که در جنوب گسل میامی قرار گرفته، در پهنه ایران مرکزی و مناطق شمالی این گسل، در محدوده پهنه‌ی بینالود واقع شده است [سازمان زمین‌شناسی کشور].

نهشته‌های ژوراسیک عمدتاً در جنوب شرقی شهر میامی قرار گرفته است. به دلیل زمین ساخت شدیدی که منطقه را تحت تأثیر قرار داده و به طور کامل چین خورده است، این نهشته‌ها در بخش‌هایی تحت تأثیر توده‌های آذرین قرار گرفته و متحمل دگرگونی مجاورتی شده است. لیتولوژی غالب واحدهای ژوراسیک؛ شیل، ماسه‌سنگ، شیل آهکی و کنگلومرا می‌باشد [سازمان زمین‌شناسی کشور].

واحدهای ائوسن رسوبی، بیشترین گسترش را در منطقه دارد و با یک امتداد شمال شرق-جنوب غرب ارتفاعات نه چندان بلندی را می‌سازد. در ناحیه میامی نهشته‌های ائوسن بیشتر از سنگ‌های رسوبی و کمتر از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده است. واحدهای رسوبی عمدتاً از ماسه سنگ، مارن و کنگلومرا تشکیل شده است. واحدهای آتشفشانی ائوسن غالباً از توف، گدازه‌های آندزیتی سبز رنگ، آندزیت، بازالت‌های قهوه‌ای و سبز و تراکی بازالت‌های تجزیه شده تشکیل شده‌اند [سازمان زمین‌شناسی کشور].

محدوده معدنی دوچپله در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی در واحد E_{II}^{ab} قرار گرفته است (شکل ۳-۲) که یک بازالت قهوه‌ای و سبز رنگ با بافت پورفیریتیک با زمینه میکرولیتیک و پورفیری‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن است و در بعضی موارد به یک برش با ترکیب آندزیتی تبدیل می‌شود. ضخامت این واحد حدود ۱۳۵۰ متر است. بخش کانی‌سازی مس در این واحد قرار گرفته و تقریباً روند شمالی-جنوبی دارد

که در این امتداد به طور پراکنده در حدود ۱/۵ کیلومتر رخنمون دارد. کانی‌سازی به صورت ملاکیت، آزوریت، مس طبیعی و کوپریت قابل مشاهده است. شکل ۲-۳ اندیس مورد مطالعه و واحدهای زمین‌شناسی قرار گرفته در آن را نشان می‌دهد [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].



شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری پروفیل‌های اجرایی بر روی نقشه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی، سازمان زمین‌شناسی کشور).

در ذیل، شرح مختصری در مورد واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه بیان می‌شود:

۱-۲-۳ ائوسن

- واحد E_1^{ml} : شامل تناوبی از مارن سبز با میان لایه‌های آهکی مارنی.

- واحد E_u^{tba} : شامل تراکی بازالت و بازالت تجزیه شده می باشد.

- واحد E_u^{ab} : این واحد گسترش قابل توجهی دارد و یک بازالت قهوه‌ای و سبز رنگ است. بخش

کانی‌سازی مس در این واحد قرار گرفته است و تقریباً یک روند شمالی - جنوبی دارد.

- واحد E_u^{ca} : شامل کنگلومرای متوسط تا درشت دانه می باشد.

- واحد E_u^{sc} : تناوب ماسه‌سنگ و کنگلومرای متوسط تا ریزدانه.

- واحد E_u^{sm} : تناوب ماسه‌سنگ و مارن نازک لایه، با لایه‌بندی منظم [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

۲-۲-۳ کواترنر

- واحد Q^{lt} :

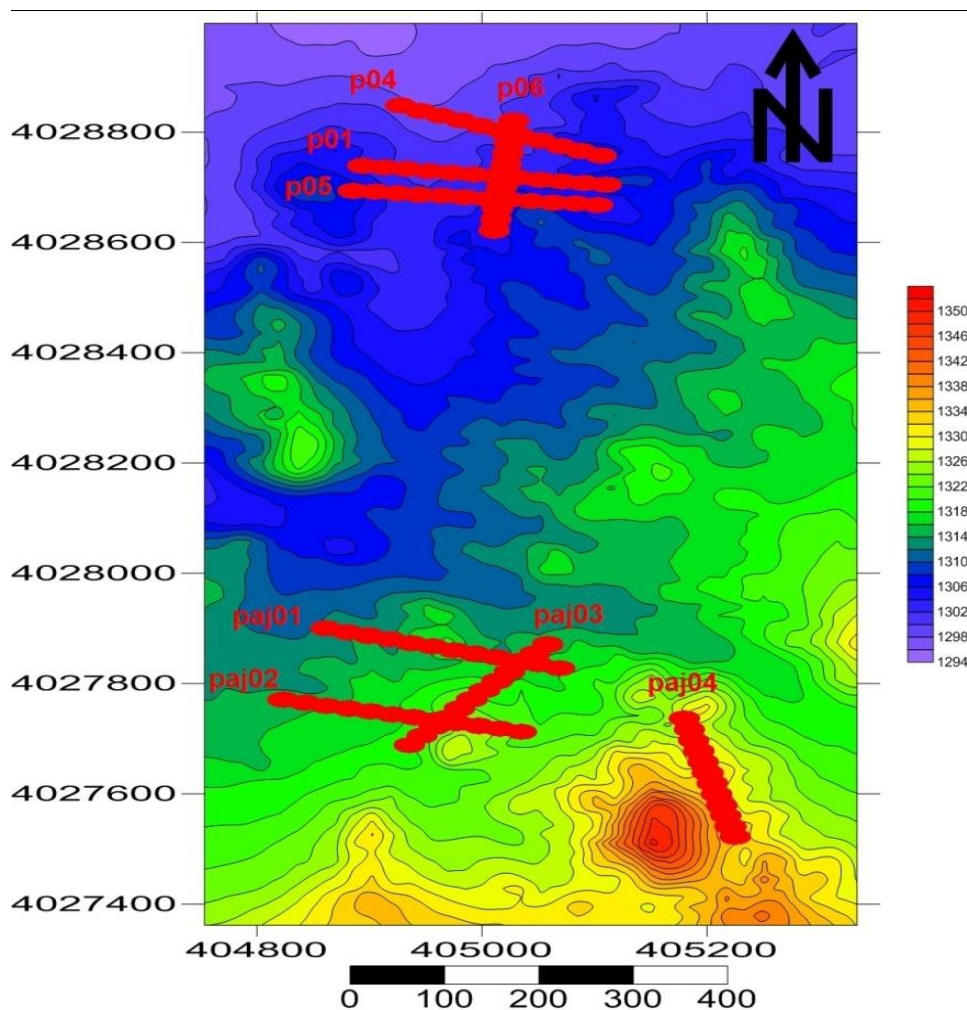
در این واحد، لایه‌ها بیشتر افقی بوده و گاه از شیب توپوگرافی پیروی نموده‌اند و رسوبات کمتر سخت شده

نیز در حد قلوه‌سنگ و پاره‌سنگ و ریگ همراه با میان لایه‌های دانه‌ریزتر ماسه‌ای و رسی‌اند.

۳-۳ نقشه توپوگرافی

در شکل ۳-۳ نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ منطقه و همچنین موقعیت قرارگیری پروفیل‌های

اجرایی بر روی آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۳: نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ و محل قرار گیری پروفیل‌های اجرایی.

۴-۳ مراحل کانی‌زایی در منطقه دوچپله

بر اساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی در مرحله اکتشاف سطحی، دو مرحله کانی‌سازی در منطقه دوچپله قابل تشخیص است:

۱-۴-۳ مرحله اول

در این مرحله مس خالص به صورت پراکنده در حفرات سنگ نهشته شده است که ابعاد آن تا ۵۰۰ میکرون هم می‌رسد و گاهی به صورت دانه‌های ریز در داخل کالکوسیت مشاهده می‌شود. مگنتیت به صورت بلورهای وجه‌دار با ابعاد ۴۰-۵۰۰ میکرون وجود دارد که در بیشتر موارد هماتیت جایگزین آن

شده است. کالکوسیت نیز با ابعاد بسیار دانه ریز کمتر از ۵۰ میکرون به صورت پراکنده در متن سنگ و در حفرات کانی‌هایی مانند الیوین و پیروکسن تشکیل شده است [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

۲-۴-۳ مرحله دوم

در این مرحله هیدروکسیدهای آهن در اثر دگرسانی سوپرژن از کانی‌های آهن‌دار تشکیل شده است. کانی‌ها در این مرحله به صورت رگه و رگچه‌ای و گاهاً به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود. مس خالص، کوپریت، مالاکیت و کالکوسیت در داخل شکستگی‌ها در این مرحله تشکیل شده‌اند [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

۳-۵ ژنز کانسار

بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه دوچپله، کانی‌سازی به صورت پراکنده و رگه‌ای در آلکالی بازالتهای ائوسن تشکیل شده است. کانی‌سازی شامل مس طبیعی، کالکوسیت، مگنتیت، کوپریت و مالاکیت است که با دگرسانی اکسید آهن، کلریت و زئولیت-کربنات همراه است. مشخصات کانی‌سازی با کانی‌سازی مس تیپ میشیگان مشابهت‌های زیادی دارد که مشخصات کلی کانسارهای تیپ میشیگان به شرح زیر می‌باشد [ابراهیمی س، ۱۳۹۱]:

- ۱- کانی‌سازی شامل مس طبیعی، کالکوسیت، دیژنیت و مالاکیت است که همراه با نقره می‌باشد.
- ۲- سنگ میزبان این تیپ کانی‌سازی، بازالتهای حفره‌دار و یا در زمینه‌ای از لایه‌های کنگلومرا در فوران‌های بازالتهای است.
- ۳- کانی‌سازی به صورت رگه‌ای و پراکنده صورت گرفته است.
- ۴- دگرسانی در دیواره رگه‌ها با آلبیتی شدن پلاژیوکلازها، کلسیتی، کلریتی، اپیدوتی، و زئولیتی شدن همراه است.

۵- این نوع کانسارها در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه و فشار پایین تشکیل می‌شوند. به نظر می‌رسد مس و سایر مواد ضمن دگرگونی‌های خفیف از سنگ‌های مافیک آزاد شده و با سیال‌های نه چندان داغ به طرف مناطق کم فشار حرکت کرده است و کانی‌های مس را درون حفرات و شکستگی‌های موجود در بازالت‌ها تشکیل داده است [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

۳-۶ زون‌های کانه‌درا حاوی ماده معدنی

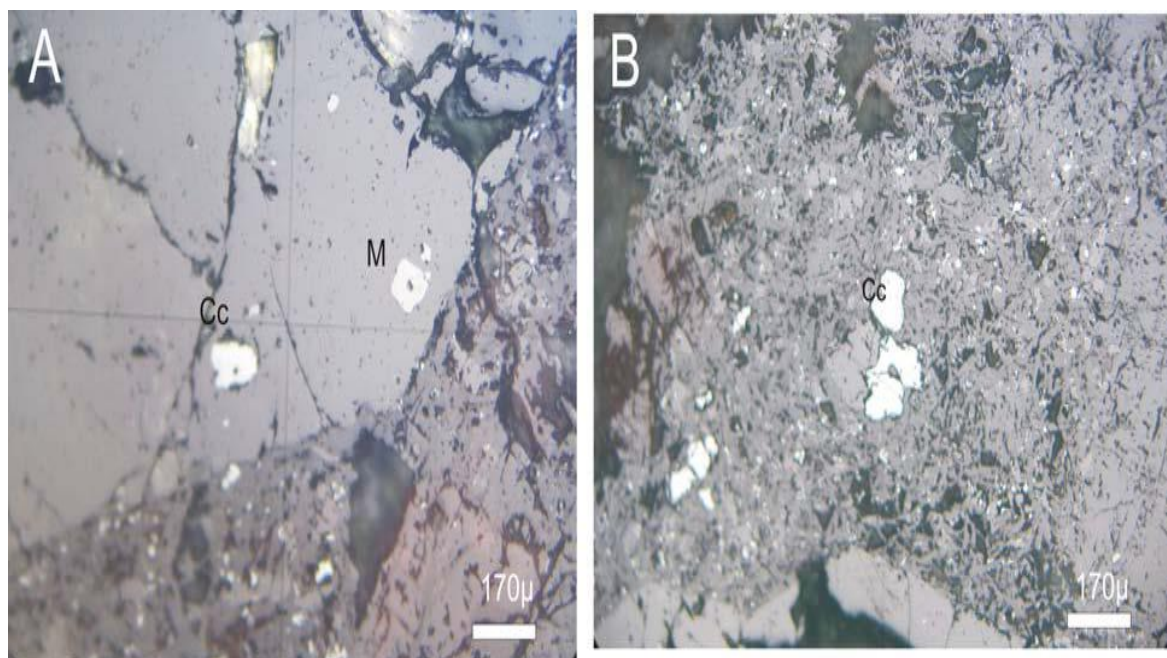
در محدوده کانی‌سازی دوچپله، ۱۶ رگه و رخنمون مشاهده شده است. پهنای بخش کانی‌زایی از ۵٪ تا حدود ۱۰ متر و طول آن‌ها از ۱۰ تا حدود ۸۰ متر در ترانشه‌ها متغیر می‌باشد. حداکثر مقدار مس مربوط به رگه MCTR6 می‌باشد که حاوی ۹۰۴۵۱ ppm مس است. بررسی‌های کانی‌شناسی در منطقه، همراهی مس با کانی‌های سولفیدی و اکسیدی مانند مس طبیعی، کالکوسیت، مگنتیت، کوپریت و مالاکیت را نشان می‌دهد. دگرسانی‌های وسیع زئولیتی - کلریتی در قسمت میانی منطقه گسترش دارد. همچنین در حاشیه رگه‌ها، زون‌های دگرسانی کلریتی و اکسید آهن توسعه یافته که در ارتباط با کانی‌زایی است. رگه‌ها غالباً در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند که به عنوان مجرای عبور محلول‌ها عمل کرده و نیز مکان‌های مناسبی برای کانی‌سازی بوده‌اند [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

با توجه به مطالعات انجام شده، کانی‌سازی مس دوچپله در ارتباط با فعالیت‌های گرمایی بوده و به صورت رگه و رخنمون در تراکی بازالت‌های ائوسن و به صورت پراکنده در متن سنگ‌های آتشفشانی به وقوع پیوسته است [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

با توجه به ویژگی‌های محدوده مورد نظر و پیشینه کارهای انجام گرفته، ۵ زون کانی‌سازی در منطقه مشاهده می‌شود که در زیر توضیحات مربوط به هر یک از این زون‌ها آورده شده است [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

۱-۶-۳ زون کانی سازی ZA

در این زون کالکوسیت به صورت دانه‌های ریز و پراکنده با ابعاد کمتر از ۲۰۰ میکرون در متن سنگ و در حفرات وجود دارد. مگنتیت به صورت دانه‌های وجه‌دار کوچکتر از ۵۰۰ میکرون مشاهده می‌شود که در بعضی قسمت‌ها به هماتیت تبدیل شده است. هیدروکسیدهای آهن که حاصل تجزیه پیروکسن‌ها است نیز مشاهده می‌شود که در مواردی حاصل تجزیه کانی‌های اکسید آهن مانند مگنتیت و یا هماتیت است (شکل ۳-۴) [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

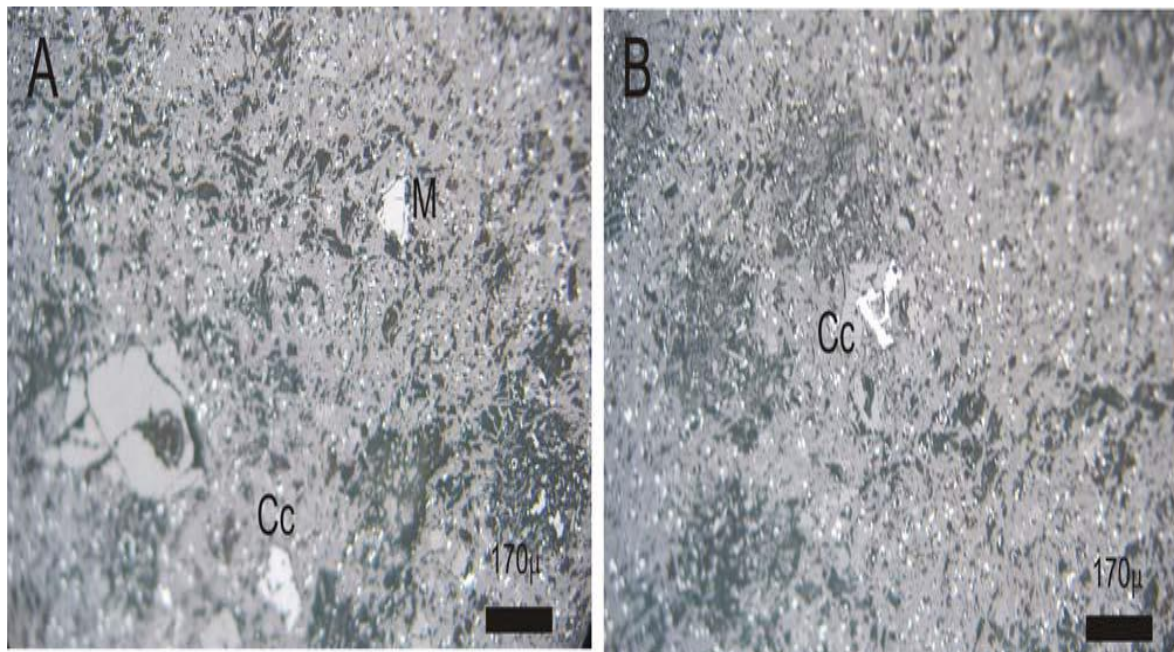


شکل ۳-۴: (A) کانی‌های شکل دار مگنتیت (M) و نیمه شکل دار کالکوسیت (Cc) در حفرات کانی، (B) کانی کالکوسیت به صورت پراکنده در متن سنگ.

۲-۶-۳ زون کانی سازی ZB

در این زون کالکوسیت به صورت دانه‌های ریز تا ۳۰۰ میکرون در متن سنگ پراکنده است و گاه در حفرات کانی‌ها نیز تشکیل شده است. مگنتیت به صورت دانه‌های وجه‌دار تا نیمه وجه‌دار کوچکتر از ۵۰۰ میکرون مشاهده می‌شود که در بعضی قسمت‌ها به هماتیت تبدیل شده است. هیدروکسیدهای آهن که

حاصل تجزیه پیروکسن‌ها است نیز مشاهده می‌شود که در مواردی حاصل تجزیه کانی‌های اکسید آهن مانند مگنتیت و یا هماتیت است (شکل ۳-۵) [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

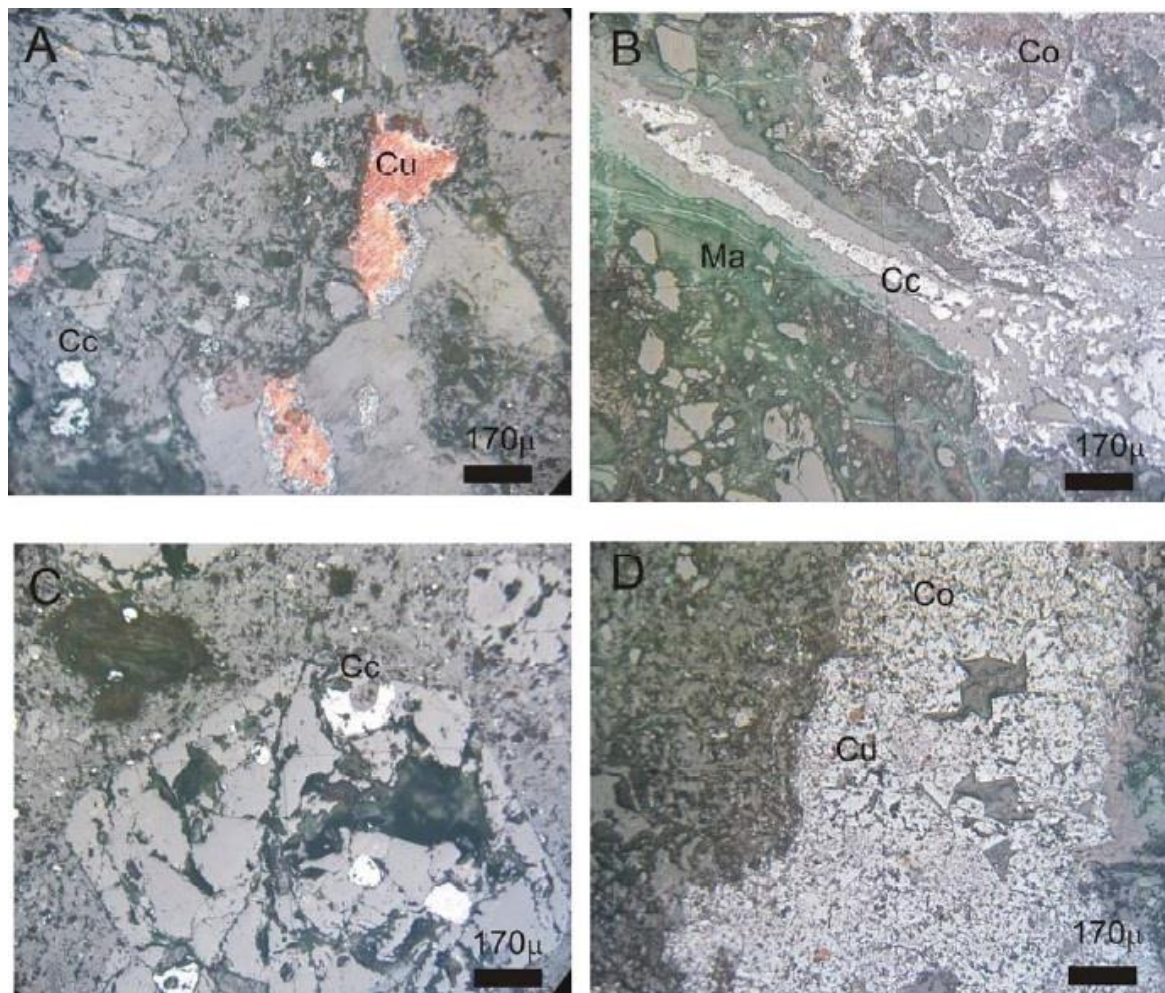


شکل ۳-۵: (A) کانی‌های شکل دار مگنتیت (M) و نیمه شکل دار کالکوسیت (Cc) در حفرات کانی، (B) کانی کالکوسیت به صورت پراکنده در متن سنگ.

۳-۶-۳ زون کانی‌سازی ZC

در این زون کالکوسیت به صورت دانه‌های ریز و پراکنده در متن سنگ و در داخل حفرات کانی‌ها وجود دارد. همچنین کالکوسیت به صورت رگچه‌ای که به کوپریت تبدیل شده است، مشاهده می‌شود. مگنتیت به صورت دانه‌های وجه دار تا نیمه وجه دار کوچکتر از ۵۰۰ میکرون که در بعضی قسمت‌ها به هماتیت تبدیل شده است مشاهده می‌شود. هیدروکسیدهای آهن که حاصل تجزیه پیروکسن‌ها است نیز قابل مشاهده است که در مواردی نیز حاصل تجزیه کانی‌های اکسید آهن مانند مگنتیت و یا هماتیت است. کوپریت به صورت رگچه‌ای در مقطع دیده می‌شود که در بیشتر موارد حاصل تجزیه کالکوسیت است. مس خالص نیز با ابعاد ۵۰۰ میکرون در داخل شکستگی‌ها و در داخل متن سنگ مشاهده می‌شود و گاهی نیز

به صورت دانه‌های بسیار ریز در داخل کالکوسیت و کوپریت مشاهده شده است. مالاکیت به صورت آغستگی و همچنین در مجاورت کوپریت داخل شکستگی‌ها را پر کرده است (شکل ۳-۶) [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

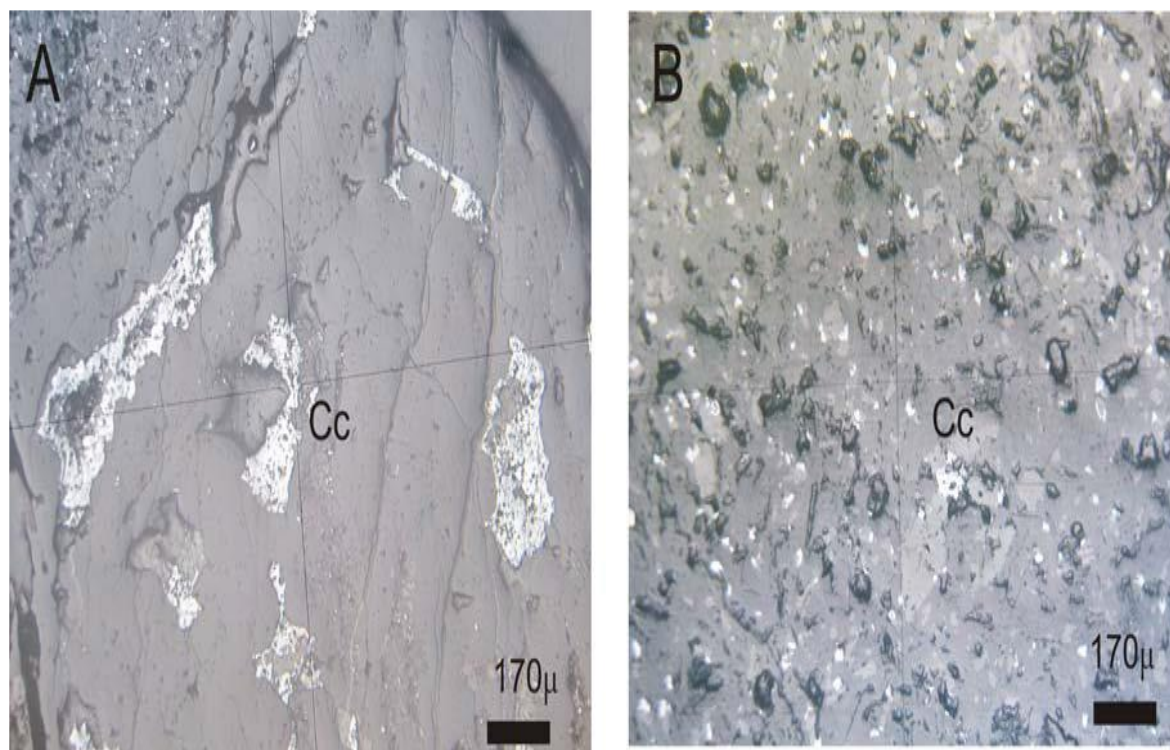


شکل ۳-۶: (A) کانی نیمه شکل‌دار مس خالص (Cu) و نیمه شکل‌دار کالکوسیت (Cc) در متن سنگ، (B) کانی کالکوسیت به صورت رگچه‌ای در کنار مالاکیت (Ma) و کوپریت (Co)، (C) کانی کالکوسیت در داخل حفرات کانی‌ها، (D) کانی مس خالص در داخل کوپریت به صورت رگچه‌ای.

۴-۶-۳ زون کانی‌سازی ZD

در این زون کالکوسیت به صورت دانه‌های ریز و پراکنده و بی‌شکل به رنگ خاکستری تا آبی در سنگ مشاهده می‌شود. اندازه آن‌ها تا ۱۰۰ میکرون می‌باشد و فراوانی آن در سنگ تا ۱۵ درصد هم می‌رسد که گاهی به صورت پرکننده شکاف‌ها نیز دیده می‌شود. مگنتیت به صورت دانه‌های وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار

کوچکتر از ۵۰۰ میکرون مشاهده می‌شود. رنگ مگنتیت متمایل به قهوه‌ای است که نشان دهنده مقدار بالای تیتانیوم در مگنتیت است. در بعضی قسمت‌ها مگنتیت به هماتیت تبدیل شده است. هیدروکسیدهای آهن که اغلب گوتیتی می‌باشند و حاصل تجزیه پیروکسن‌ها هستند نیز مشاهده می‌شود. کوپریت به صورت رگچه‌ای در مقطع دیده می‌شود که در بیشتر موارد حاصل تجزیه کالکوسیت است. مالاکیت به صورت آغشتگی و همچنین در مجاورت کوپریت‌ها داخل شکستگی‌ها را پر کرده است (شکل ۳-۷) [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

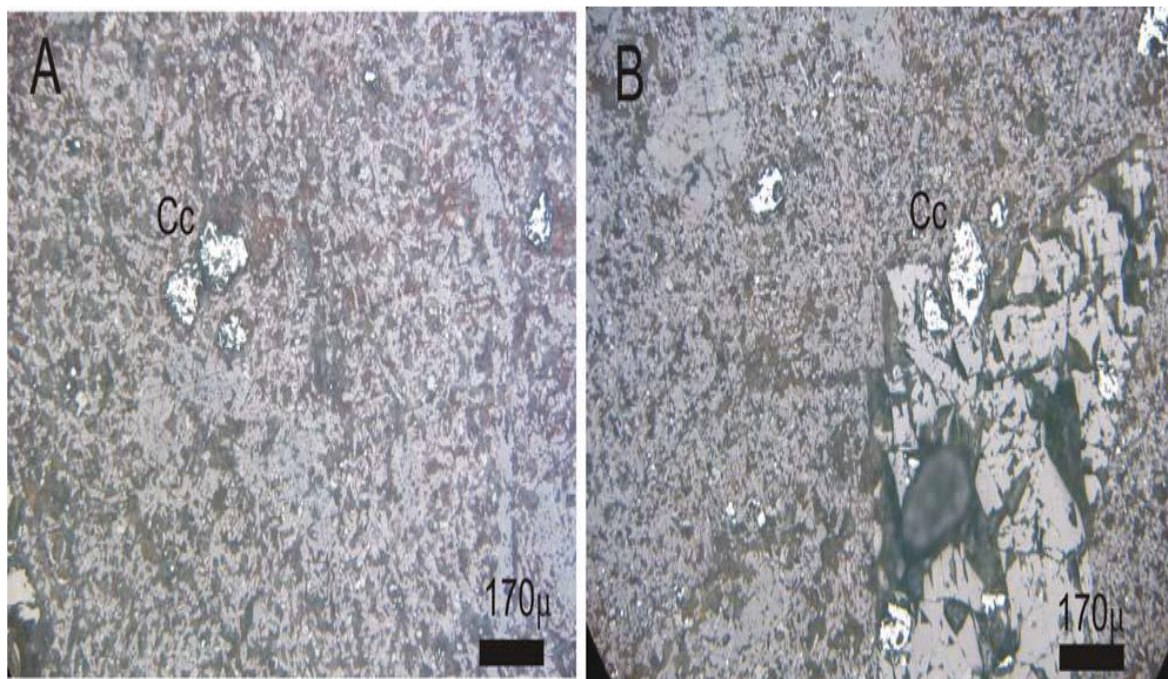


شکل ۳-۷: (A) کانی نیمه شکل دار کالکوسیت (Cc) در شکستگی‌ها، (B) کانی کالکوسیت به صورت پراکنده در متن سنگ.

۳-۶-۵ زون کانی‌سازی ZE

در این زون کالکوسیت به صورت دانه‌های ریز و پراکنده در متن سنگ و در حفرات کانی‌ها مشاهده می‌شود. مگنتیت به صورت دانه‌های وجه دار تا نیمه وجه دار کوچکتر از ۵۰۰ میکرون وجود دارد که در بعضی قسمت‌ها مگنتیت به هماتیت تبدیل شده است. هیدروکسیدهای آهن که حاصل تجزیه پیروکسن‌ها

هستند نیز قابل تشخیص است. هیدروکسیدهای آهن در مواردی حاصل تجزیه کانی‌های اکسید آهن مانند مگنتیت و یا هماتیت است (شکل ۳-۸) [ابراهیمی س، ۱۳۹۱].

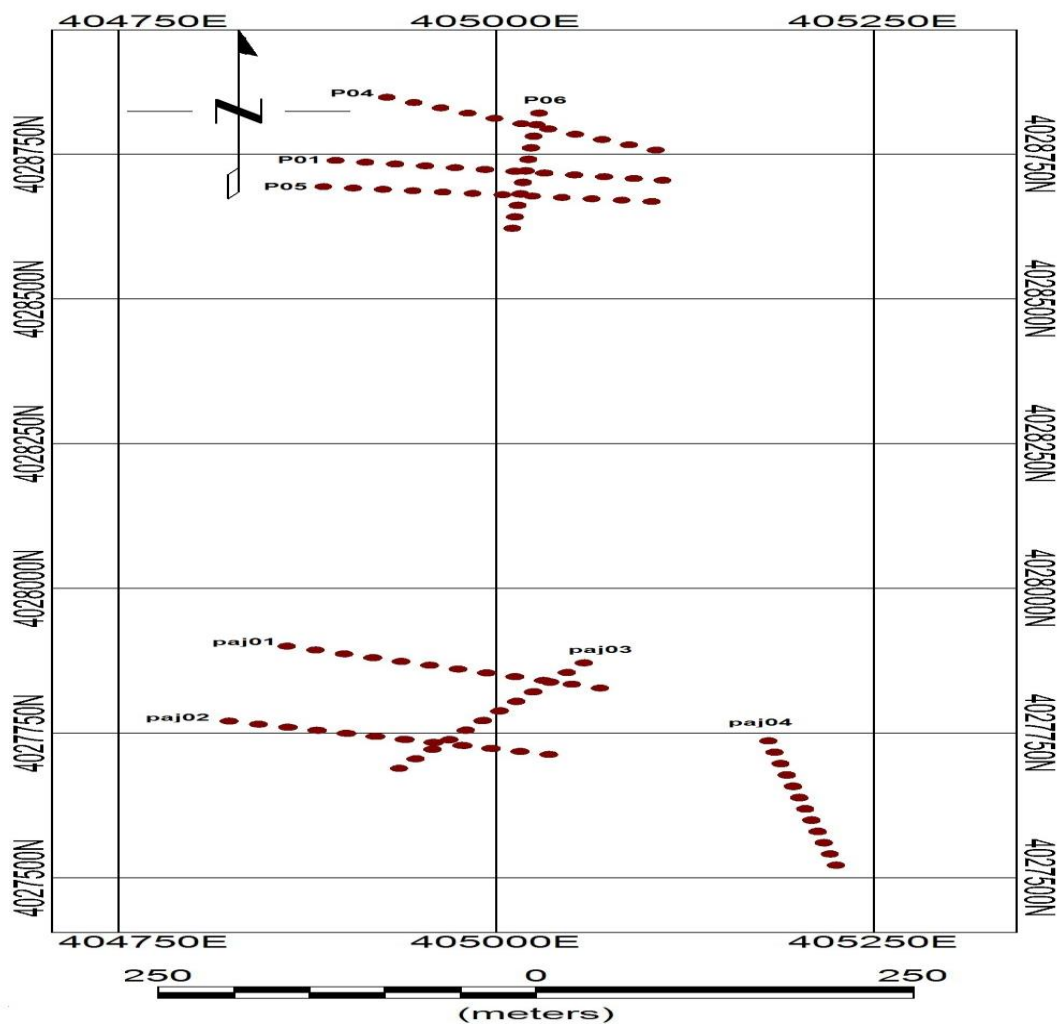


شکل ۳-۸: (A) کانی نیمه شکل دار کالکوسیت (Cc) در متن سنگ، (B) کانی کالکوسیت به صورت پراکنده در متن سنگ و در حفرات کانی.

۳-۷ عملیات صحرائی برداشت داده‌های مقاومت ویژه و IP

۳-۷-۱ روش برداشت

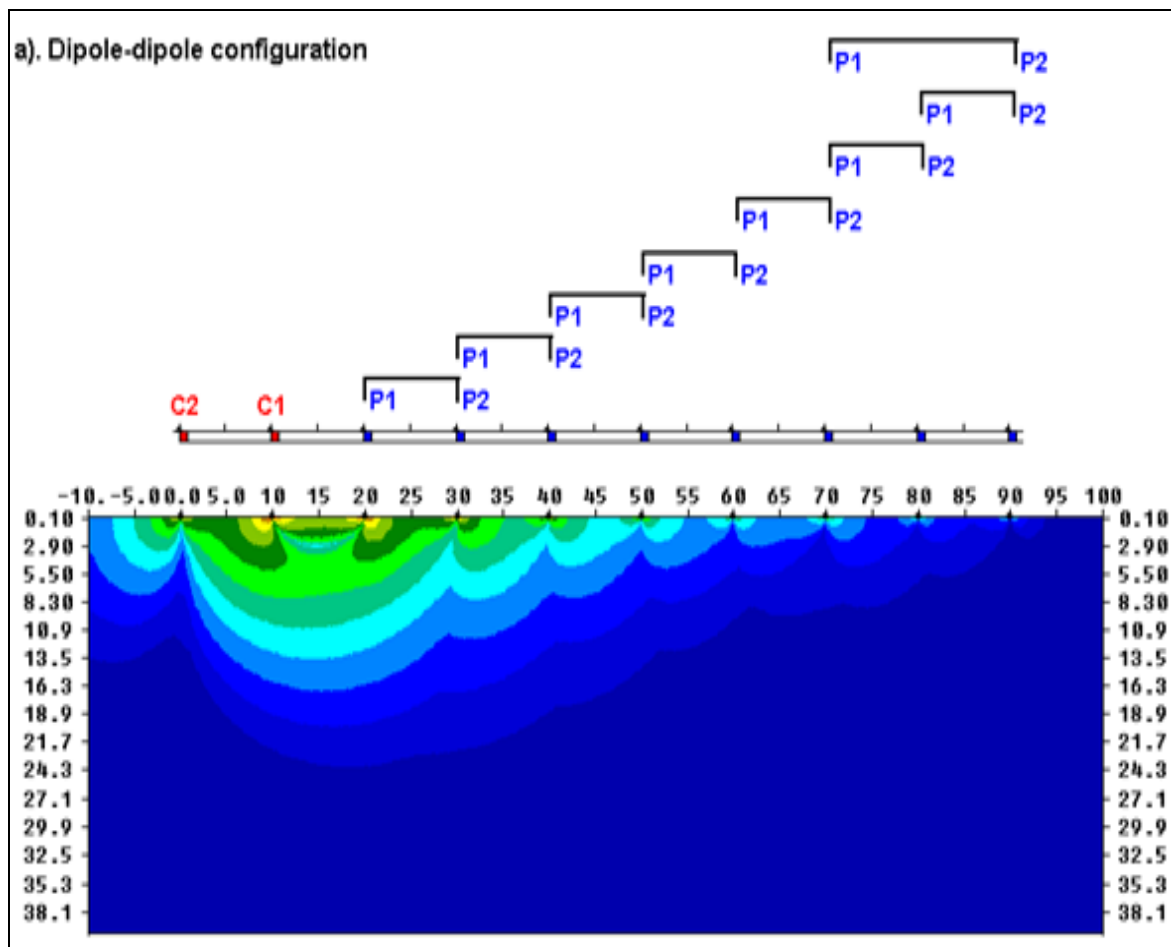
مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده در منطقه دوچپله در دو مرحله در قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه به اجرا در آمده است. ۸ پروفیل برداشت شده در دو منطقه مجزا انجام شد که موقعیت هر کدام از پروفیل‌ها در مختصات UTM در شکل ۳-۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۹: موقعیت پروفیل‌های اجرایی در مختصات UTM.

پروفیل‌ها با آرایش دوقطبی- دوقطبی و عمود بر ساختارهای زمین‌شناسی اجرا شدند. فاصله بین الکترودها ۲۰ متر و طول تقریبی هر پروفیل ۲۸۰ متر بود. از الکترودهای فلزی به‌عنوان الکتروود جریان و از الکترودهای غیرپلاریزه (pot) به‌عنوان الکترودهای پتانسیل استفاده شد. با ثابت نگه داشتن الکترودهای جریان و جابجایی الکترودهای پتانسیل سونداژزنی و پروفیل‌زنی به‌طور هم‌زمان انجام می‌گیرد. جابجایی الکترودهای پتانسیل نهایتاً تا $n=8$ صورت گرفت. معمولاً هر چه فاصله الکترودها (n) بیشتر باشد عمق بیشتری تحت تأثیر جریان قرار می‌گیرد (شکل ۲-۱۲).

شکل ۳-۱۰ روش اجرای پیمایش دو بعدی را توسط الکترودهای قرار گرفته بر روی یک خط راست نشان می‌دهد که در برداشت داده‌های ژئوفیزیکی در این تحقیق از این روش استفاده شده است. فاصله الکترودها معمولاً یکسان هستند. روند برداشت متناسب با تعداد الکترودها، تعداد سطوح برداشت و نوع آرایه انجام می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰: روش اجرای پیمایش دو بعدی با آرایه دوقطبی-دوقطبی [Loke, 2012].

در شکل ۱۱-۳ تیم کارشناسی دانشگاه صنعتی شاهرود را در حین انجام عملیات برداشت داده‌های ژئوفیزیکی می‌بینید.



شکل ۱۱-۳: تیم اجرا در حال برداشت داده‌های مقاومت ویژه و IP.

فصل چهارم

مدل سازی و تفسیر داده‌های مقاومت

ویژه و IP و تحلیل و بررسی نمای سه

بعدی مقاطع دوبعدی

۴-۱ مقدمه

امروزه به کارگیری روش‌ها ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای اکتشاف امری متداول به شمار می‌رود. انتخاب روش یا روش‌های مناسب برای تعیین محل یک کانسار، با طبیعت کانی‌های موجود در آن معدن و سنگ‌های دربرگیرنده آن سروکار دارد. گاهی ممکن است یک روش نشانه مستقیمی از وجود کانی مورد نظر را در اختیار قرار دهد و گاهی نیز امکان دارد، تنها نشانه‌ای از مناسب بودن شرایط برای حضور ماده معدنی باشد [کریم پور و همکاران، ۱۳۸۴].

برداشت‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه و IP با توجه به ساختار کانی‌زایی منطقه مناسب تشخیص داده شدند. تفسیر همزمان نتایج این روش‌ها با نتایج حاصل از حفاری مغزه‌گیری و اطلاعات زمین‌شناسی می‌تواند تخمینی از گسترش کانی‌سازی فلزی را ارائه نماید. در این فصل، نتایج برداشت‌های ژئوفیزیکی در منطقه ارائه شده و بر این اساس تفسیر اکتشافی لازم ارائه شده است.

۴-۲ تفسیر مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه و IP

نتایج اندازه‌گیری مقاومت ویژه و IP با آرایه دوقطبی- دوقطبی به صورت مقاطع دوبعدی حاصل از مدل- سازی وارون ارائه شده است. مدل‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و IP به‌طور همزمان با استفاده از نرم افزار RES2DINV انجام گرفته است.

در این نرم افزار مدل‌سازی معکوس، با روش اجزاء محدود و تفاضل محدود برای تعداد بسیار بالای داده- های صحرائی قابل انجام است. امکان تصحیحات توپوگرافی بر روی شبکه نیز مقدور می‌باشد. منطقه دارای توپوگرافی نسبتاً ملایمی می‌باشد که تصحیح توپوگرافی حین مدل‌سازی انجام گرفت. در روش معکوس سازی داده‌های ژئوفیزیکی، هدف ارائه مدلی است که بیشترین تطابق را با داده‌های صحرائی داشته باشد. در حقیقت مدل به‌دست آمده بیانگر یک پاسخ ریاضی مطابق با ساختار زمین‌شناسی می-

باشد. در عملیات معکوس سازی در یک فرآیند تکراری پارامترهای مدل آنقدر تغییر می‌یابند تا بیشترین تطابق بین پاسخ مدل ارائه شده و داده‌های صحرائی حاصل گردد. مدل به دست آمده بایستی با داده‌های زمین‌شناسی تطبیق داده شود تا صحت آن نیز از نظر زمین‌شناسی مورد تأیید قرار بگیرد [Loke, 2012]. با توجه به این‌که بر اساس اطلاعات به دست آمده از مطالعات زمین‌شناسی و داده‌های حفاری مغزه‌گیری، سنگ میزبان در سطح و تا عمق حدوداً ۸۰ متری بازالت‌های آکالن می‌باشد که در قسمت‌های عمیق‌تر، از عمق حدود ۳۰ متری، کانه‌زایی بیشتر به صورت افشان است و در عمق‌های کمتر از ۱۵ متر کانه‌زایی بیشتر به صورت رگه‌ای دیده می‌شود. کانی‌سازی در سطح به صورت سوپرژن و در رگه و رگچه‌ها تشکیل شده است که می‌توان گفت تا حدود زیادی از گسل‌های موجود در منطقه تبعیت کرده است. با عنایت به این اطلاعات، در ادامه نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP پروفیل‌های اجرایی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده در منطقه دوچپله در دو مرحله در قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه به اجرا در آمده است، بنابراین سعی شده است در اینجا نیز تفسیر پروفیل‌ها در دو قسمت جداگانه انجام شود. چون فاصله بین پروفیل‌ها در شمال و جنوب منطقه زیاد است نمی‌توان آن‌ها را یک‌جا تفسیر کرد.

۴-۲-۱ تفسیر پروفیل‌های جنوبی

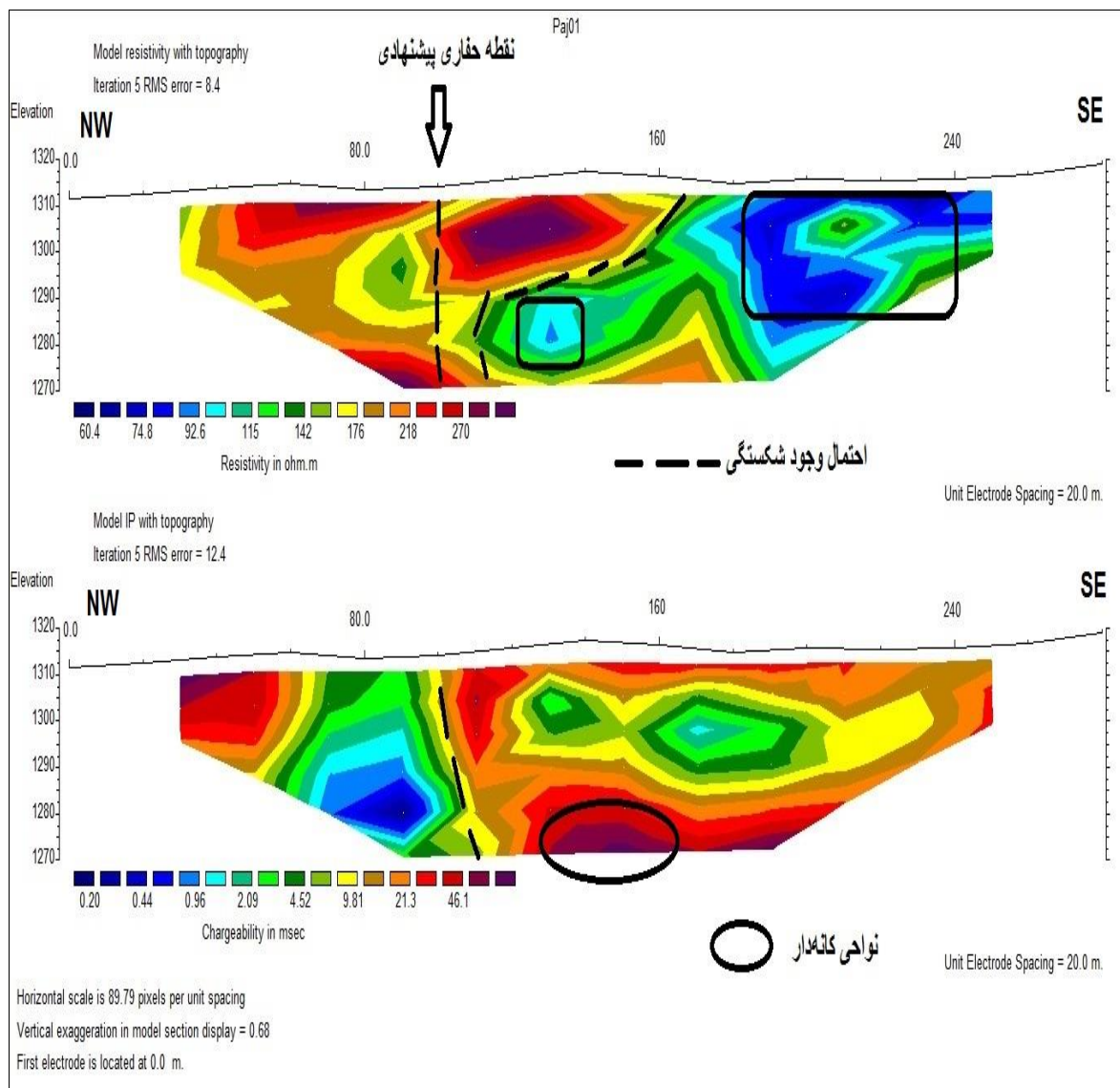
در این مرحله به تفسیر پروفیل‌هایی که در جنوب منطقه مورد مطالعه اجرا شده‌اند، پرداخته شده است.

۴-۲-۱-۱ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj01

شکل ۴-۱ پروفیل paj01 به طول ۲۸۰ متر با آزیموت ۱۰۵ درجه را نشان می‌دهد که در جهت شمال غرب به جنوب شرق اجرا شده است. مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP در امتداد این پروفیل

توانسته است تا عمق ۵۰ متر از زمین را پوشش دهد. با توجه به این که بازالت‌ها مقاومت ویژه نسبتاً بالایی از خود نشان می‌دهند (جدول ۵-۱)، اما ما در این مقطع شاهد افت مقاومت ویژه در چند زون می‌باشیم که می‌تواند به علت نفوذ کانی‌های رسانا در این زون‌ها باشد. همان‌طور که در مقاطع دو بعدی مشاهده می‌شود یک بی‌هنجاری بارپذیری نسبتاً بالا بر روی مقطع بارپذیری و مقاومت ویژه پایین بر روی مقطع مقاومت ویژه که از ایستگاه ۱۲۰ تا ۲۰۰ متر در عمق بیش از ۴۰ متر قابل مشاهده است می‌تواند بیانگر قطبش بالای ذرات فلزی در این محدوده از پروفیل باشد. با توجه به وجود سنگ بازالت به‌عنوان سنگ میزبان فلزی در این قسمت و عدم وجود کانی‌های رسی و گرافیت، می‌توان حدس زد که بارپذیری بالا در این قسمت تماماً به دلیل کانی‌سازی فلزی باشد. همچنین در فاصله ایستگاه‌های ۹۰ تا ۱۱۰ از سطح تا عمق حدوداً ۲۰ متری یک ناحیه بارپذیری بالا مشاهده می‌شود که در همین موقعیت بر روی مقطع مقاومت ویژه شاهد افت مقاومت ویژه می‌باشیم و با در نظر گرفتن این که در این ناحیه یک کنتراست بالا بین مقاومت ویژه بالا و پایین و بارپذیری بالا و پایین وجود دارد که به‌عنوان جداکننده این زون‌ها عمل کرده است، می‌توان آن را به دلیل وجود شکستگی احتمالی در نظر گرفت و این که از نظر زمین‌شناسی احتمال کانه‌زایی در زون‌های شکسته بسیار بالاست، می‌توان این زون را احتمالاً به‌عنوان یک زون کانه‌زایی مهم در نظر گرفت. همچنین در زیر ایستگاه ۱۶۰ نیز می‌توان با در نظر گرفتن همین شرایط، شکستگی دیگری را تشخیص داد که آن هم به‌عنوان یک ناحیه امید بخش از لحاظ کانه‌زایی معرفی می‌شود.

یک زون دیگر در این پروفیل که آن هم به دلیل مقاومت ویژه پایین و بارپذیری متوسط به بالا احتمالاً می‌تواند دارای کانی فلزی باشد در فاصله بین ایستگاه‌های ۲۰۰ تا ۲۴۰ قرار دارد که از سطح تا عمق حدوداً ۳۰ متری گسترش دارد. بنابراین با در نظر گرفتن موارد ذکر شده در بالا، یک نقطه حفاری اکتشافی در زیر ایستگاه ۱۰۰ بر روی این پروفیل پیشنهاد داده می‌شود.

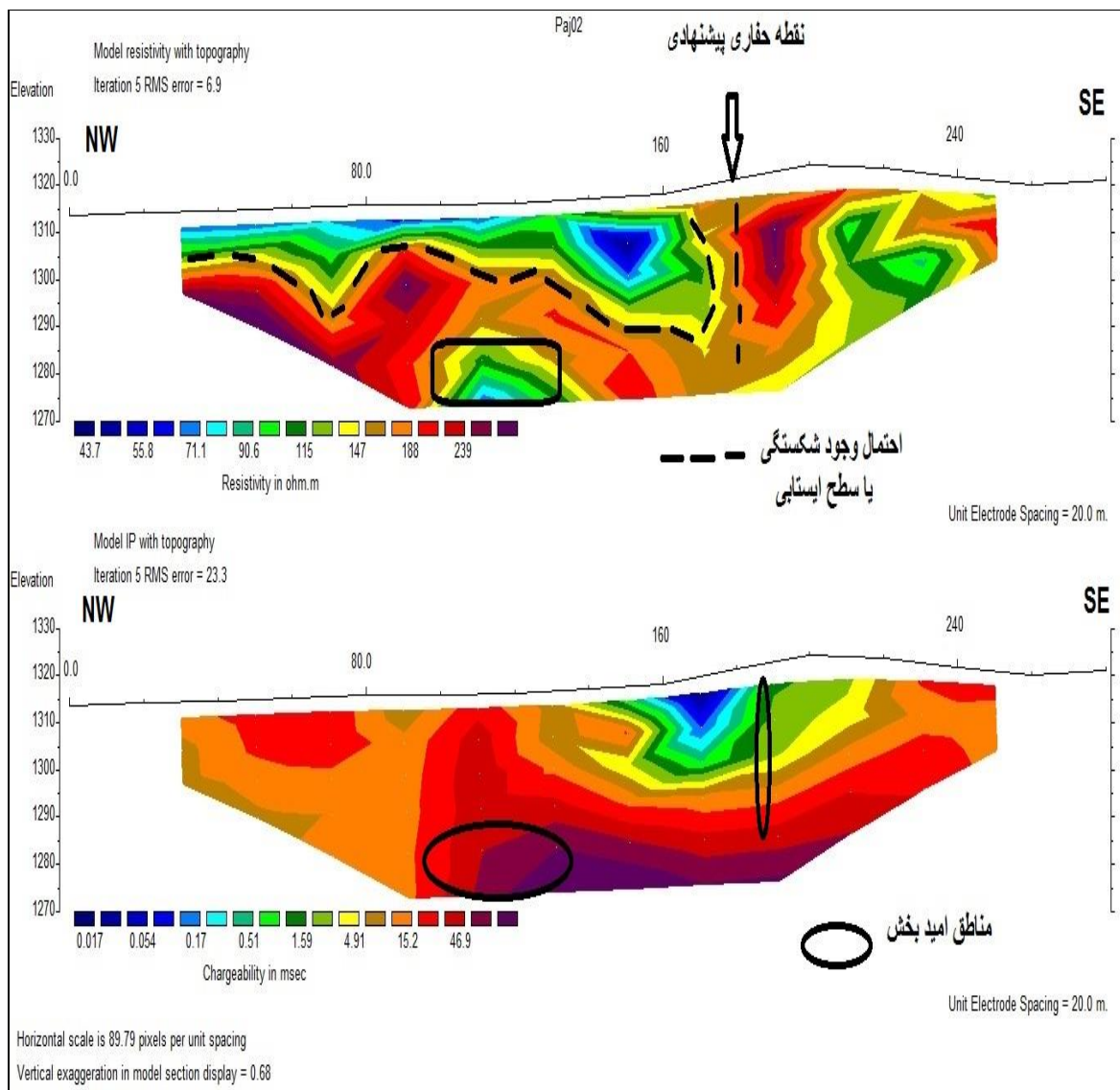


شکل ۴-۱: مدل دوبعدی مقاومت ویژه و IP در راستای پروفیل paj01 (مقطع مقاومت ویژه در بالا و IP در پایین).

۴-۱-۲-۴ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj02

شکل ۴-۲ پروفیل paj02 به طول ۲۸۰ متر با آزیموت ۱۱۰ درجه را نشان می‌دهد که در جهت شمال غرب به جنوب شرق اجرا شده است. مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP در امتداد این پروفیل توانسته است تا عمق ۵۰ متر از زمین را پوشش دهد. یکی از موارد خیلی مهم و حیاتی در تفاسیر پخته ژئوفیزیکی بررسی صحرایی آنومالی‌ها (در صورت وجود رخنمون) می‌باشد، در این مرحله ماهیت آنومالی‌های کانساری از غیر کانساری تفکیک می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴-۲ دیده می‌شود، رسوبات

به صورت یک لنز با مقاومت ویژه پایین و بارپذیری متوسط تا پایین از ابتدا تا ۱۲۰ متری پروفیل بر روی مقطع قابل تشخیص است که می تواند حکایت از کانه‌زایی در عمق باشد که البته در این ناحیه نیز کانه-زایی می تواند به صورت رگه‌ای اتفاق افتاده باشد. همین اتفاق به صورت مشابه در فاصله ایستگاه‌های ۱۴۰ تا ۱۶۰ نیز تکرار شده است. با عنایت به این مسئله و توجه به مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری می توان یک زون کم مقاومت با بارپذیری بالا را در فاصله ایستگاه‌های ۱۰۰ تا ۱۳۰ متری که از عمق حدوداً ۳۰ متری شروع و با افزایش عمق گسترش می‌یابد، به عنوان یک زون با کانی‌سازی فلزی بسیار قوی معرفی کرد. حال با توجه به اینکه این زون کانی‌سازی در پروفیل paj01 نیز در همان حد و حدود تشخیص داده شد، احتمال کانی‌سازی فلزی در این محدوده بسیار تقویت می‌شود. همچنین با بررسی دقیق تر مقطع paj02 یک زون شکسته مانند را در سمت راست مقطع در زیر ایستگاه ۱۸۰ می توان تشخیص داد که به صورت جدا کننده دو زون هادی و مقاوم و همچنین جدا کننده دو زون با بارپذیری بالا و پایین عمل کرده است. جالب این که همین مورد نیز در مقطع paj01 قابل تشخیص است که با توجه به اینکه دو پروفیل در راستای هم می‌باشند و با عنایت به ارتباط تشخیص داده شده از لحاظ کانه‌زایی بین دو پروفیل، می توان این مورد را در هر دو پروفیل با درصد بالایی مرتبط به هم دانست و آن را به عنوان یک شکستگی که کانه‌زایی فلزی با احتمال بسیار زیاد در آن اتفاق افتاده باشد در نظر گرفت. با در نظر گرفتن این شکستگی احتمالی و این که در زیر این ایستگاه مقاومت ویژه پایین و بارپذیری بالا می‌باشد می توان این نقطه را به عنوان بهترین نقطه برای انجام عملیات حفاری اکتشافی پیشنهاد داد.

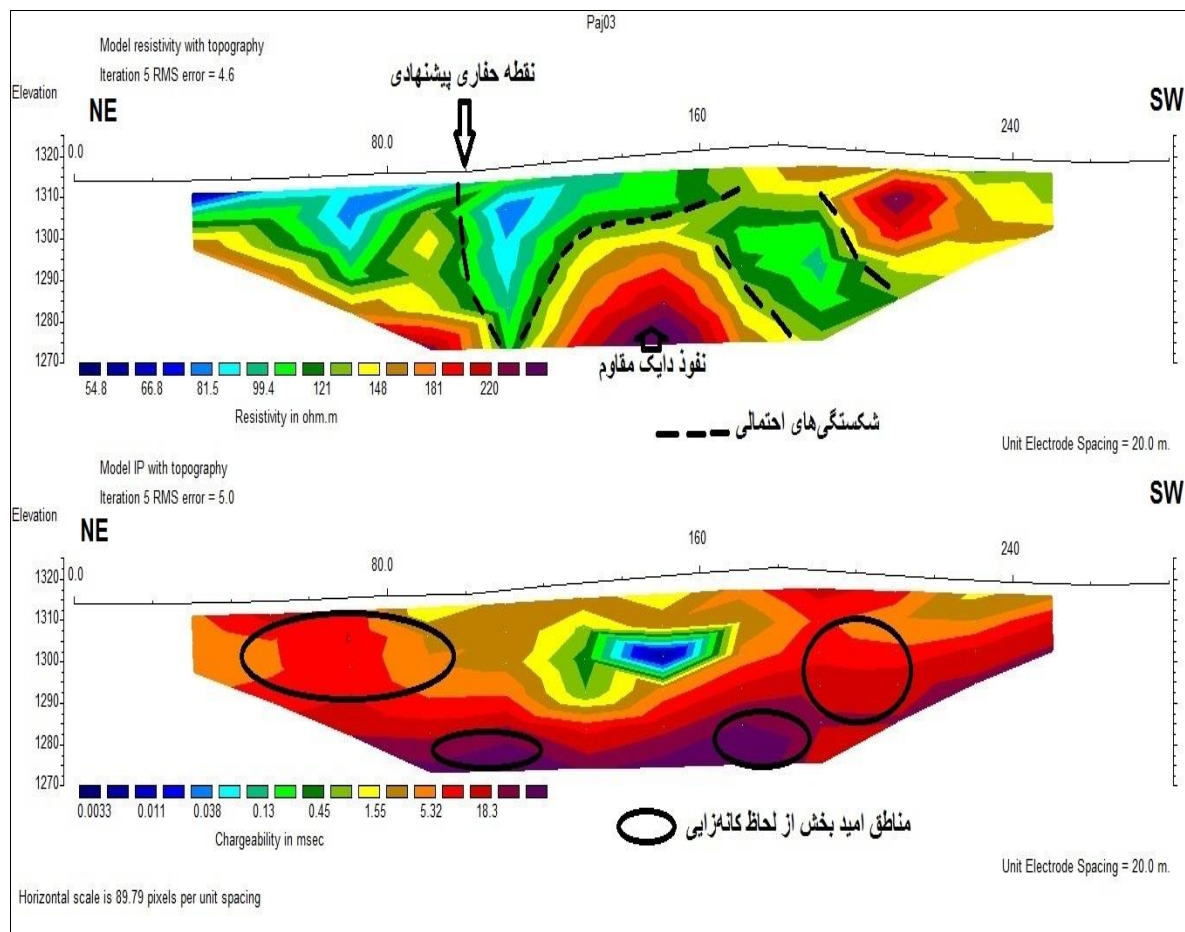


شکل ۴-۲: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل paj02

۴-۱-۲-۴ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj03

شکل ۴-۳ پروفیل paj03 به طول ۲۸۰ متر در عرض دو پروفیل قبلی با آزمون ۱۱۰ درجه را نشان می‌دهد. این پروفیل در جهت شمال شرقی به جنوب غربی اجرا شده است. مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP در امتداد این پروفیل توانسته است تا عمق ۵۰ متر از زمین را پوشش دهد. همان‌طور که در شکل ۴-۳ دیده می‌شود، رسوبات به صورت یک لنز با مقاومت ویژه پایین و بارپذیری متوسط تا پایین در فاصله بین ایستگاه‌های ۴۰ تا ۱۴۰ بر روی مقاطع به‌عنوان رخنمون کانی فلزی در سطح قابل

تشخیص است که می‌تواند نشانه‌ای از کانه‌زایی در عمق باشد. در همین فاصله نشانه‌هایی از وجود شکستگی‌های احتمالی به چشم می‌خورد که احتمال کانه‌زایی در این ناحیه را بسیار بالا می‌برد. در فاصله ایستگاه‌های ۸۰ تا ۱۱۰ در عمق ۴۰ متر و بالاتر یک زون بارپذیری بالا بر روی مقطع بارپذیری و مقاومت ویژه پایین بر روی مقطع مقاومت ویژه قابل تشخیص است که می‌تواند نشانه‌ای از وجود کانی‌زایی فلزی پراکنده باشد. همین روند در فاصله ایستگاه‌های ۱۶۰ تا ۱۸۰ و در همان عمق مذکور تکرار شده است که همان تفسیر قبلی را می‌توان در مورد این زون نیز ارائه داد. اما در فاصله بین ایستگاه‌های ۱۲۰ تا ۱۶۰ در عمق‌های بالاتر از ۳۰ متر یک زون با مقاومت ویژه بالا و بارپذیری پایین بر روی مقاطع قابل تشخیص است که احتمال می‌رود یک دایک مقاوم باشد که در یک زون کم مقاومت نفوذ کرده است. نشانه‌ای از تکرار شکستگی‌ها در سمت راست پروفیل و از ایستگاه ۱۶۰ به بعد نیز به چشم می‌خورد که باز احتمال کانه‌زایی فلزی را در این نواحی بالا می‌برد. در کل این پروفیل را می‌توان مهم‌ترین پروفیل برای انجام کار حفاری اکتشافی به کارفرما معرفی کرد که همین امر نیز اتفاق افتاد و ایستگاه ۱۰۰ برای حفاری پیشنهاد شد که اطلاعات به‌دست آمده از حفاری بر روی این پروفیل (جدول ۳-۲) بسیاری از نتایج ژئوفیزیک اکتشافی را تأیید کرده است.



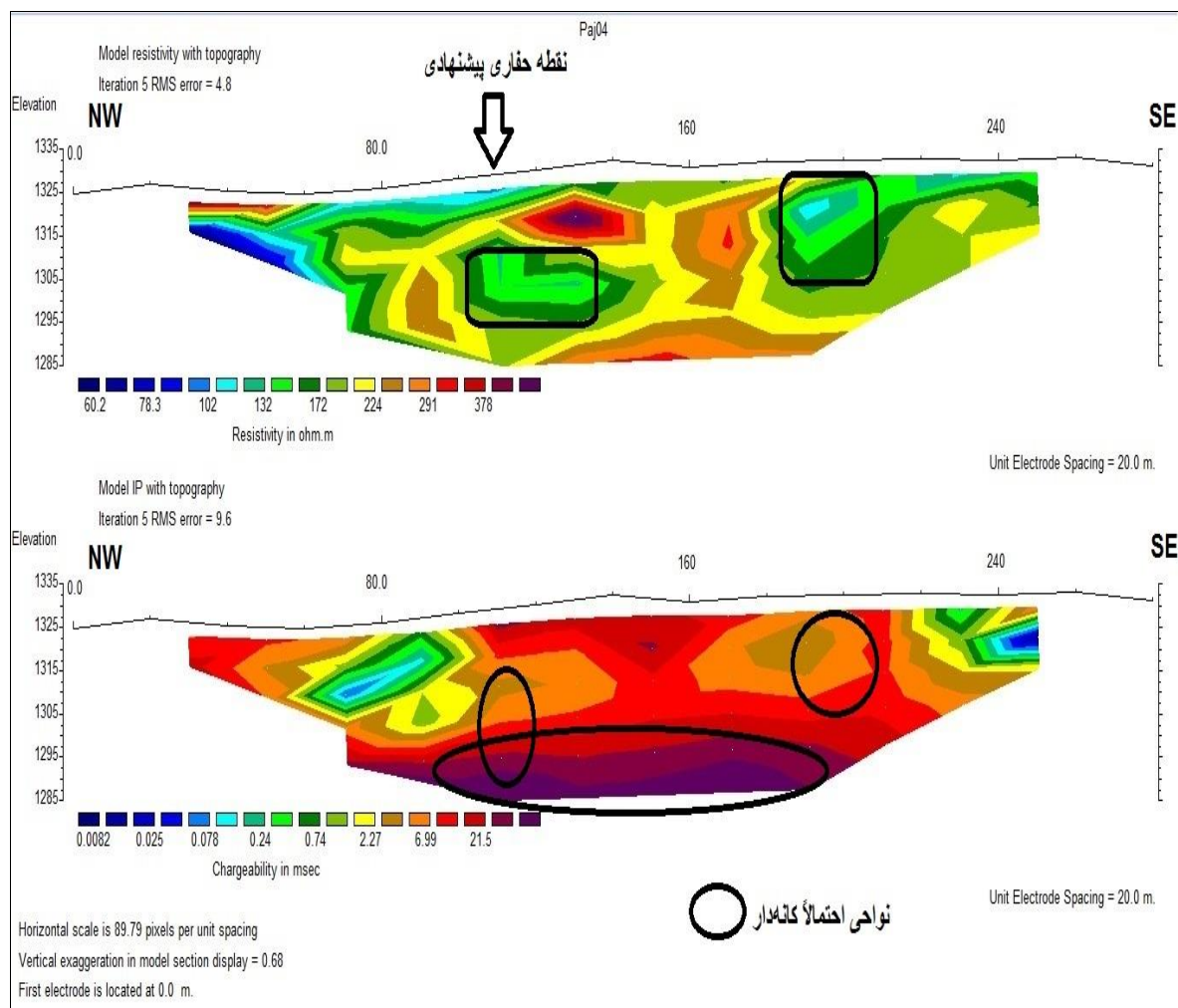
شکل ۴-۳: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل paj03

۴-۱-۲-۴ تفسیر مدل دوبعدی حاصله از پروفیل paj04

شکل ۴-۴ پروفیل paj04 به طول ۲۸۰ متر و با آزیموت ۱۱۰ درجه که از شمال غرب به جنوب شرق، در جنوبی‌ترین قسمت منطقه که در ناحیه‌ای جدا از سه پروفیل قبلی اما تقریباً با همان شرایط زمین‌شناسی به اجرا درآمده است را نشان می‌دهد. مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP در امتداد این پروفیل توانسته است تا عمق ۵۰ متر از زمین را آشکارسازی کند. روند کانه‌زایی که در پروفیل‌های قبلی بر روی مقاطع مربوطه در عمق‌های بالا تشخیص داده شد، به‌وضوح در این مقطع نیز قابل تشخیص است. با بررسی مقطع مربوط به پروفیل paj04 در شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود که بی‌هنجاری بالای بارپذیری بر روی این مقطع در فاصله بین ایستگاه‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ در عمق حدود ۳۵ متر به بالا اتفاق افتاده است

که بر روی مقطع مقاومت ویژه نیز در همین عمق و فاصله، میزان مقاومت ویژه متوسط به پایین است که حکایت از روند کانه‌زایی به عمق را دارد. در فاصله بین ایستگاه‌های ۱۸۰ تا ۲۰۰ ناحیه دیگری از سطح تا عمق حدوداً ۳۰ متری وجود دارد که با افت مقاومت ویژه و بارپذیری بالا مواجه شده است که می‌تواند به- عنوان یکی دیگر از نواحی امید بخش از لحاظ کانه‌زایی بر روی این پروفیل معرفی شود. همچنین ناحیه دیگری تقریباً با همین مشخصات در فاصله بین ایستگاه‌های ۱۰۰ تا ۱۴۰ که از عمق حدوداً ۱۵ متری شروع می‌شود و به عمق گسترش می‌یابد وجود دارد.

بر همین اساس نقطه‌ای برای حفاری اکتشافی در زیر ایستگاه ۱۱۰ پیشنهاد داده می‌شود.



شکل ۴-۴: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل paj04

۲-۲-۴ تفسیر پروفیل‌های شمالی

فاز دوم تفسیر، تجزیه و تحلیل مقاطع مربوط به پروفیل‌هایی است که در قسمت شمالی منطقه اجرا شده است.

۱-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p01

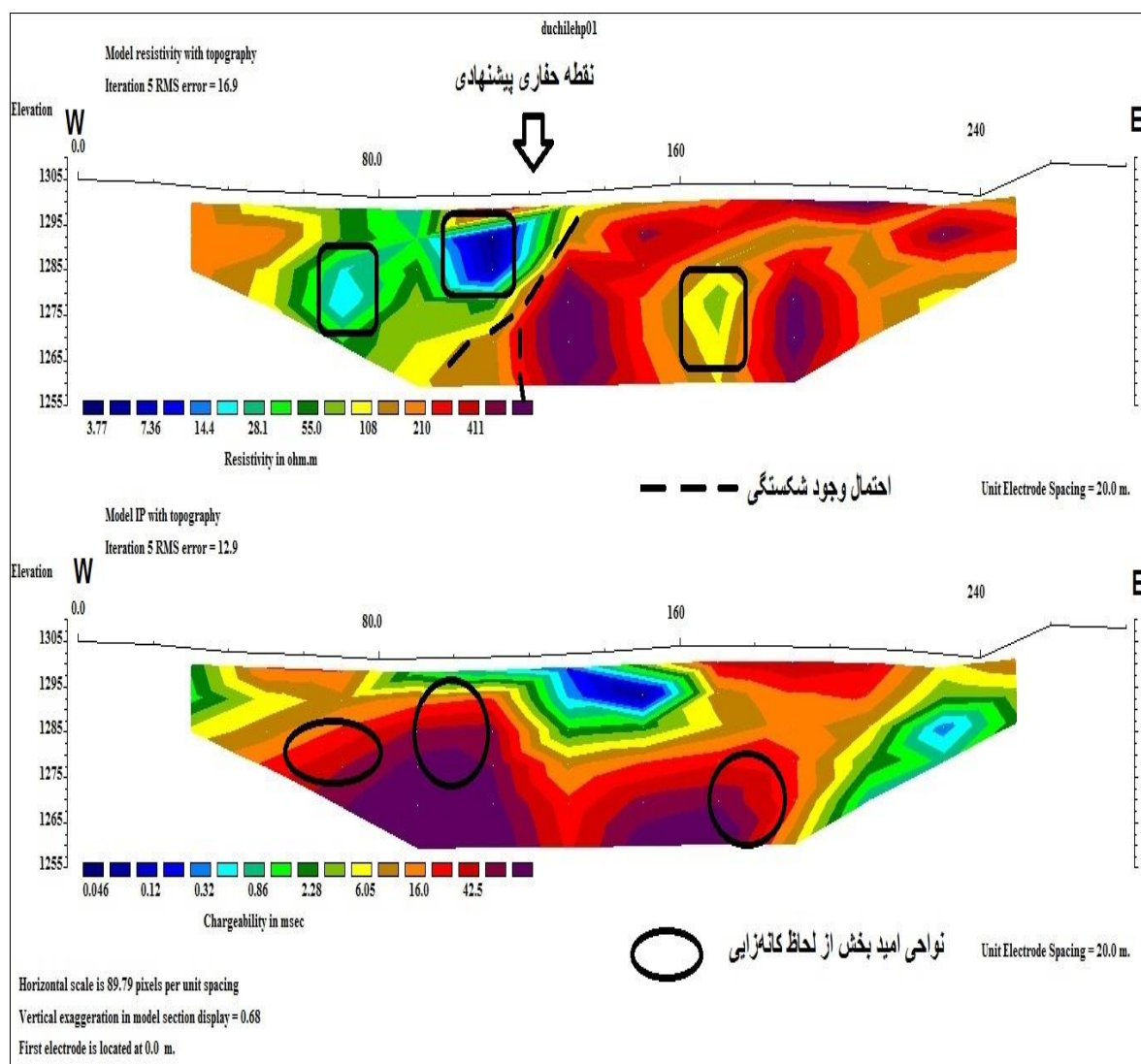
شکل ۴-۵ پروفیل Duchileh p01 به طول ۲۸۰ متر و با آزیموت ۱۱۰ درجه که تقریباً راستای غربی-شرقی دارد را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۵ مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه (در بالا) و قطبش القایی (در پایین) آورده شده است. با بررسی مقاطع مشاهده می‌شود که از ابتدای پروفیل تا انتهای آن، در یک زون بسیار مهم شواهدی از وجود آنومالی به چشم می‌خورد. این زون در فاصله بین ایستگاه‌های ۶۰ تا ۹۰ و از عمق حدود ۱۵ تا ۲۵ متر قرار دارد که با توجه به مقاومت ویژه پایین و شارژیبیلیته بالا و با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی، هاله‌ای از توده آنومالی را که به تدریج به زمینه تقلیل می‌یابد می‌توان در نظر گرفت. می‌توان گفت که کانی‌زایی در عمق کم (۵ تا ۲۵ متر) به صورت رگه‌ای و در عمق‌های بیشتر با توجه به بارپذیری بسیار بالاتر به صورت پراکنده انجام گرفته است. همچنین در فاصله بین ایستگاه‌های ۹۰ تا ۱۲۰ ناحیه دیگری با همین مشخصات وجود دارد که در عمق بین ۵ تا ۱۵ متر قرار دارد.

در زیر ایستگاه ۱۴۰ ناحیه‌ای مشاهده می‌شود که به صورت جدا کننده دو زون با مقاومت ویژه بالا و پایین و همچنین دو زون با بارپذیری بالا و پایین عمل کرده است که احتمال وجود یک شکستگی در این ناحیه می‌تواند باشد که با توجه به اینکه درزه، شکاف و شکستگی‌ها را می‌توان به عنوان زون‌هایی در نظر گرفت که احتمال کانی‌زایی در آن‌ها بسیار بالا می‌باشد، این ناحیه را می‌توان به عنوان یکی از نواحی امید بخش از لحاظ کانه‌زایی معرفی کرد.

در فاصله بین ایستگاه‌های ۱۶۰ تا ۱۸۰ از عمق ۳۰ متر به بالا یک ناحیه وجود دارد که با افت مقاومت ویژه و افزایش بارپذیری مواجه شده است که احتمال رخ دادن فرآیند کانه‌زایی در این زون هم داده می‌-

شود.

بر روی این پروفیل مانند پروفیل‌های جنوبی نمی‌توان با همان میزان احتمال نقاط امید بخش را معرفی کرد اما به احتمال کمتر مهم‌ترین زون کانه‌زایی را می‌توان در زیر ایستگاه ۱۲۰ تشخیص داد و این نقطه را برای انجام عملیات حفاری اکتشافی پیشنهاد نمود.

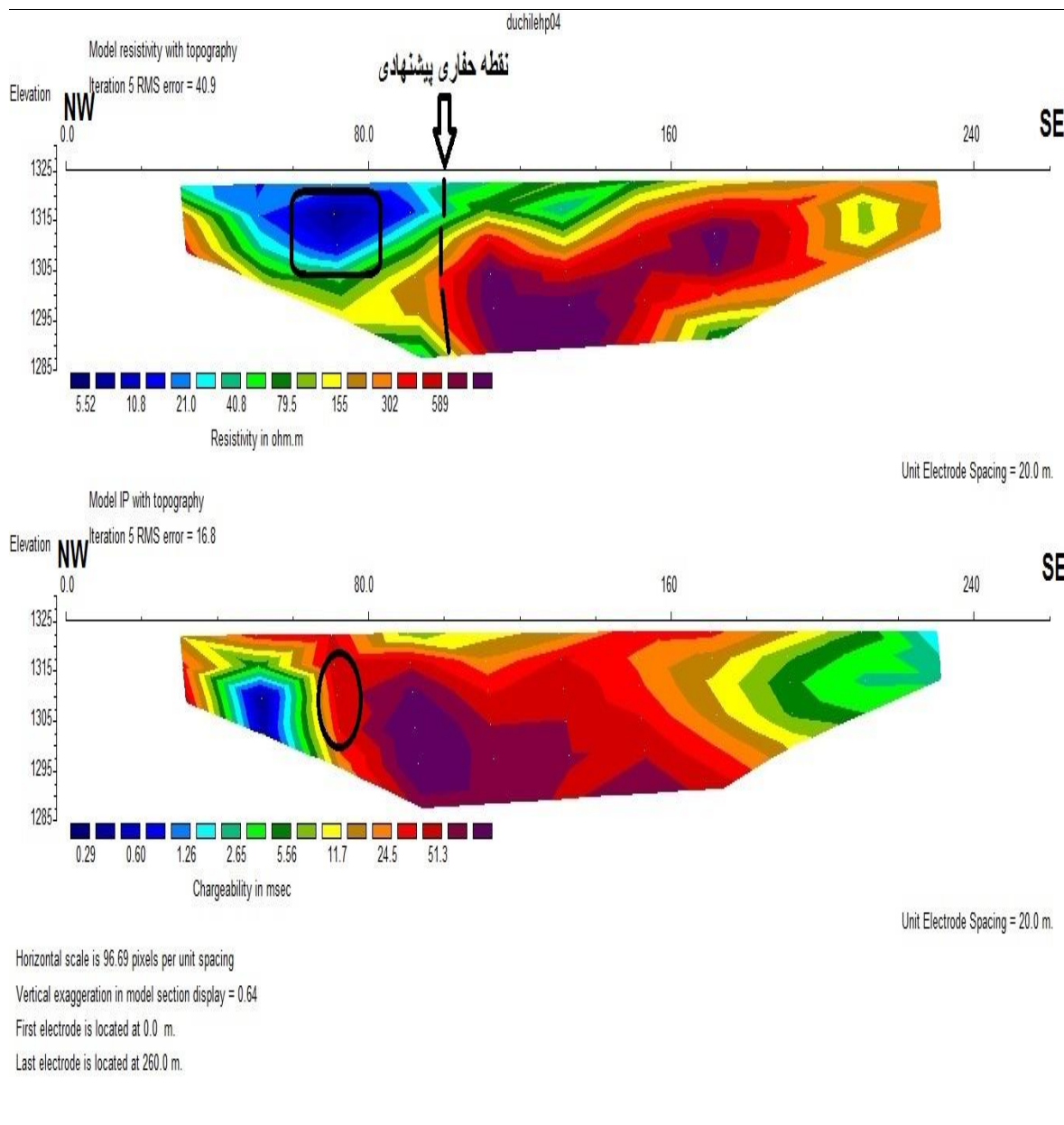


شکل ۴-۵: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p01

۴-۲-۲-۲ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p04

شکل ۴-۶ پروفیل Duchileh p04 به طول ۲۸۰ متر و با آزیموت ۹۷ درجه در موازات با پروفیل قبلی که

از شمال غرب به جنوب شرق به اجرا درآمده است را نشان می‌دهد. در این پروفیل بر روی مقطع بارپذیری (شکل ۴-۶ پایین) در فاصله بین ایستگاه‌ها ۶۰ تا ۸۰ در اعماق کم، زونی با مقاومت ویژه پایین و بارپذیری نسبتاً بالا وجود دارد که احتمالاً حاوی کانی‌های فلزی می‌باشد. در فاصله بین ایستگاه‌های ۸۰ و ۱۰۰ از عمق ۱۰ متر تا اعماق بالاتر نیز یک زون با بارپذیری بالا مشاهده می‌شود که با بررسی مقطع مقاومت ویژه مشاهده می‌شود که در این ناحیه مقاومت ویژه نیز نسبتاً بالا است، با در نظر گرفتن این حالت می‌توان حدس زد که در این زون کانی‌سازی فلزی بسیار پراکنده در متن سنگ مقاوم رخ داده باشد. همچنین کنتراست مقاومت ویژه بسیار بالا که در پروفیل قبلی بدان اشاره شد در مقطع مقاومت ویژه مربوط به این پروفیل نیز با حدوداً ۲۰ متر جابجایی به سمت چپ نسبت به کنتراست مشاهده شده بر روی پروفیل قبلی در زیر ایستگاه ۱۰۰ به چشم می‌خورد. با توجه به این که این دو پروفیل تقریباً در موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند و این روند در هر دو پروفیل در یک ناحیه مشابه به چشم می‌خورد، احتمال وجود شکستگی را در این زون بسیار بالا می‌برد که می‌تواند از لحاظ کانه‌زایی زون مهمی باشد و آن را به‌عنوان نقطه حفاری پیشنهاد داد.

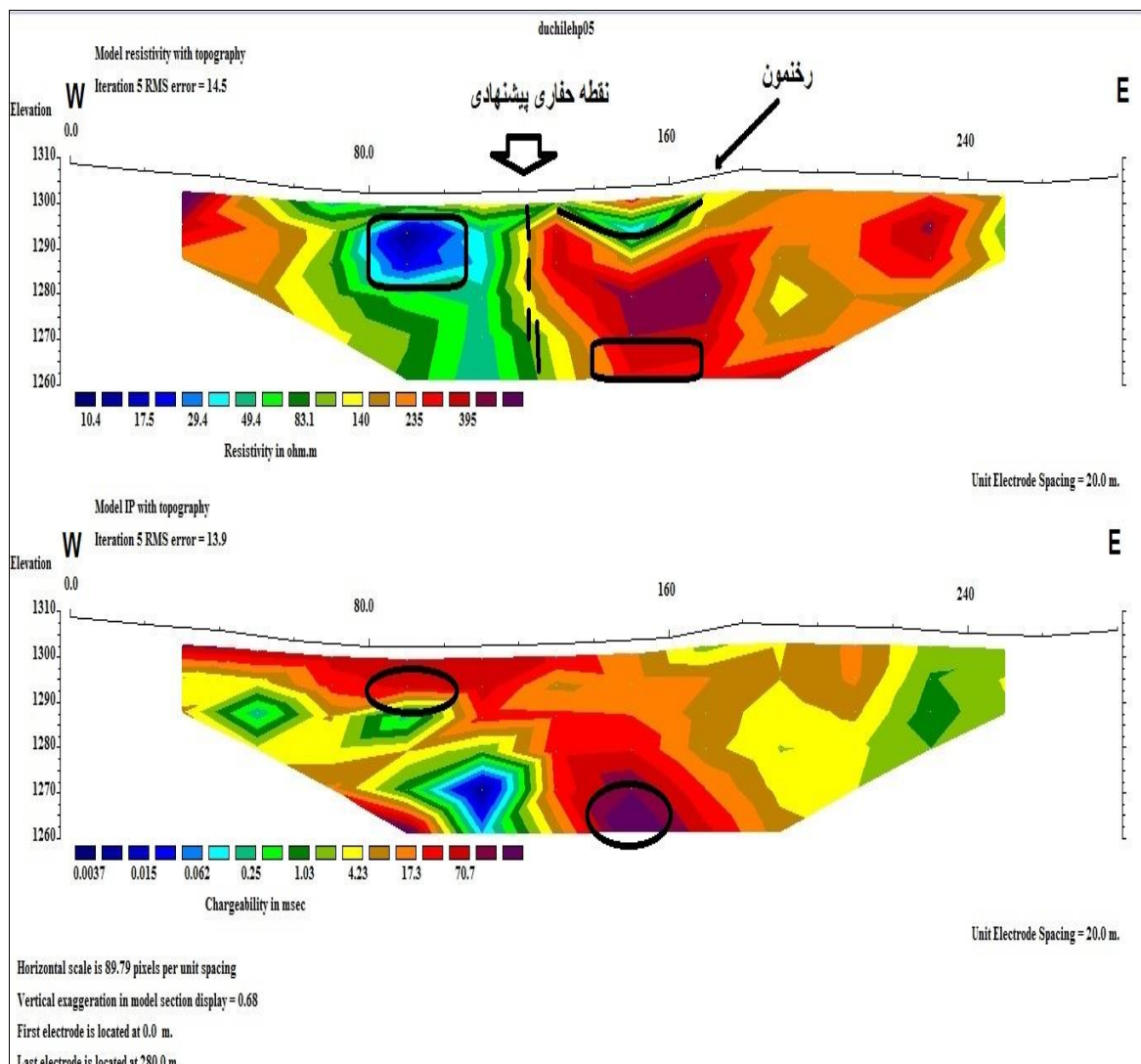


شکل ۴-۶: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p04

۴-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p05

شکل ۴-۷ پروفیل Duchileh p05 به طول ۲۸۰ متر و با آزیموت ۱۱۰ درجه که در موازات با دو پروفیل قبلی که تقریباً در جهت غربی- شرقی اجرا شده است را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این که این پروفیل نیز تقریباً به موازات دو پروفیل قبلی اجرا شده است، می‌توان شکستگی ذکر شده در دو مقطع

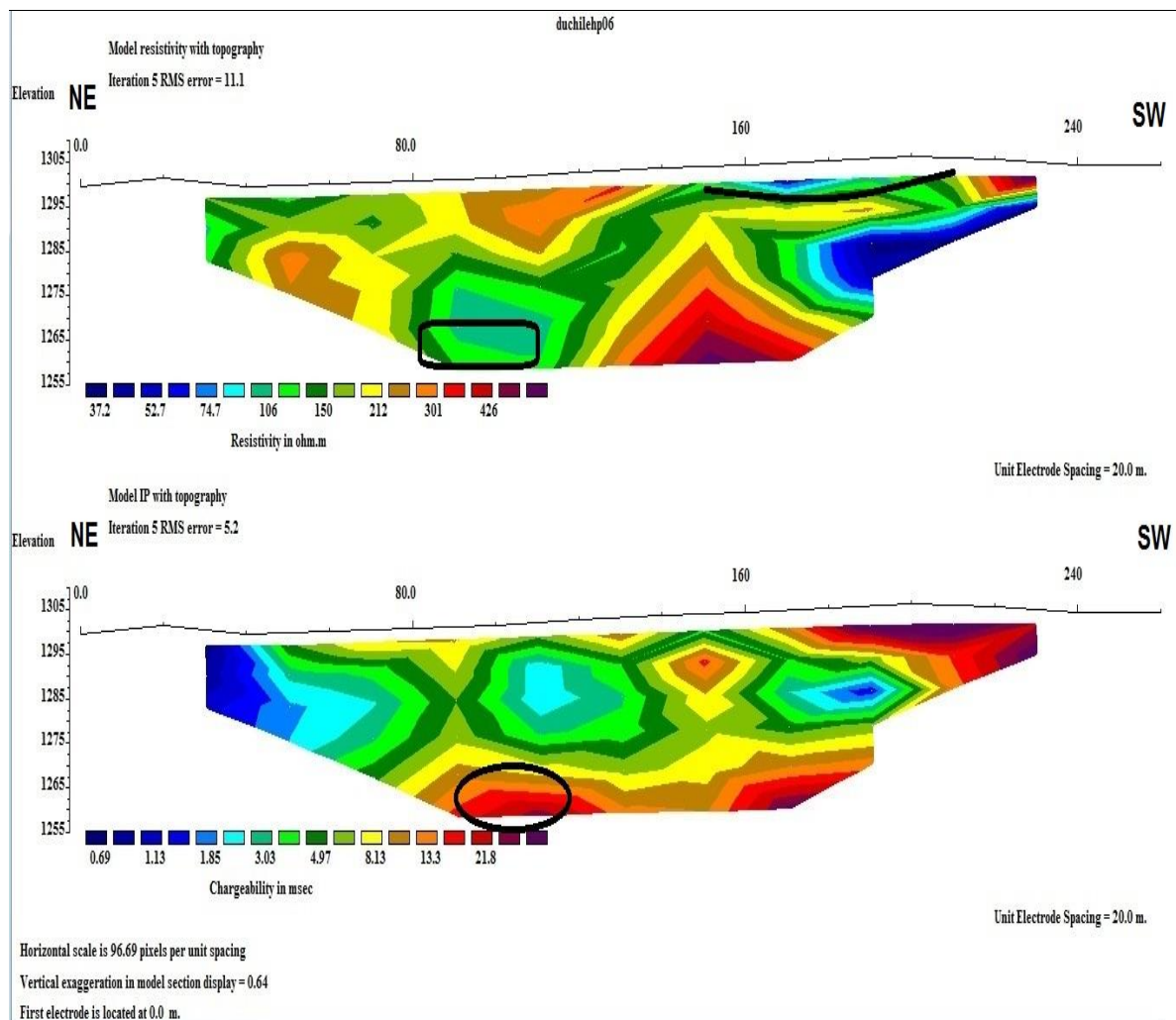
قبلی را به نوعی در این مقطع نیز حدس زد، با توجه به این که آزمون این پروفیل با پروفیل p01 یکسان می باشد این بار شکستگی ذکر شده جابجایی مکانی بسیار کمی با شکستگی پروفیل p01 داشته و می توان آن را در زیر ایستگاه ۱۲۰ در نظر گرفت و همین نقطه هم برای حفاری اکتشافی پیشنهاد داده می شود. در فاصله بین ایستگاه های ۷۰ تا ۱۱۰ متر از سطح تا عمق تقریباً ۲۰ متری نیز بر روی مقاطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی شاهد یک آنومالی با مقاومت ویژه پایین و بارپذیری متوسط هستیم که با در نظر گرفتن اطلاعات زمین شناسی می تواند مربوط به کانه زایی سوپرژن باشد که به صورت رگه ای اتفاق می افتد. همچنین در فاصله بین ایستگاه های ۱۴۰ تا ۱۶۰ در اعماق بالاتر از ۳۵ متر بر روی مقطع IP یک ناحیه با بارپذیری بالا مشاهده می شود که با بررسی مقطع مقاومت ویژه شاهد این هستیم که مقاومت ویژه در این ناحیه به تدریج از بالا به پایین کم می شود، با استفاده از شواهد زمین شناسی مانند رخنمونی که در همین فاصله و در سطح مشاهده می شود و موارد ذکر شده این امر می تواند حاکی از روند کانه زایی به عمق باشد.



شکل ۴-۷: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p05

۴-۲-۲-۴ تفسیر مقطع مربوط به پروفیل Duchileh p06

شکل ۴-۸ پروفیل Duchileh p06 با آزیموت ۱۸۰ درجه به طول ۲۸۰ متر در عرض سه پروفیل قبلی که در جهت شمال شرق به جنوب غرب اجرا شده است را نشان می‌دهد. با احتمال کم می‌توان شواهدی از حضور آنومالی را در فاصله بین ایستگاه‌های ۸۰ تا ۱۲۰ در اعماق بالاتر از ۲۰ متر در این پروفیل نیز حدس زد. همچنین در فاصله بین ایستگاه‌های ۱۶۰ تا ۲۲۰ می‌توان رخنمونی از ماده معدنی را در سطح مشاهده نمود که احتمالاً حاکی از رخ دادن کانه‌زایی در عمق می‌باشد.



شکل ۴-۸: مدل دو بعدی قطبش القایی و مقاومت ویژه در راستای پروفیل p06

۳-۲-۴ تجزیه و تحلیل نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه و IP

در این مرحله از کار سعی شده است که با استفاده از نرم‌افزار Oasis montaj نمایی سه بعدی از مقاطع دو بعدی حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP ترسیم شود تا با تجزیه و تحلیل مقاطع از زوایای مختلف، دقت در تفسیرهای ارائه شده در بخش‌های قبل را بالا ببریم.

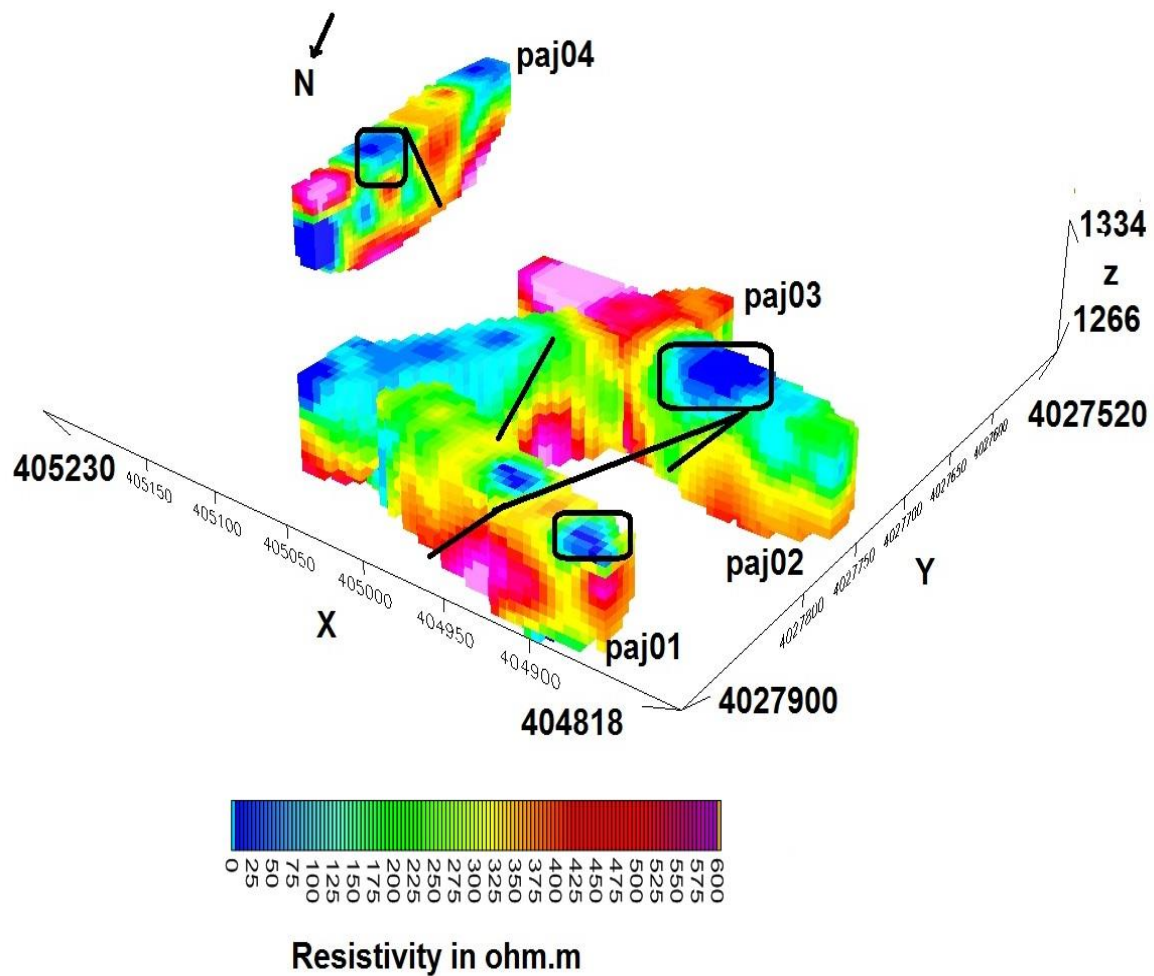
یک نکته که باید مورد توجه قرار بگیرد این است که ما در این تحقیق از به‌کار بردن واژه مدل‌سازی سه

بعدی اجتناب کرده‌ایم زیرا که برای انجام دادن مدل‌سازی سه بعدی بر روی داده‌های ژئوفیزیکی، برداشت داده‌ها باید به صورت کاملاً سیستماتیک و خاص انجام شود که در منابع مختلفی به آن اشاره شده است [Loke, 2012]. حداکثر کاری که می‌توانستیم در این تحقیق بر روی داده‌ها انجام دهیم ترسیم نمایی سه بعدی از مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس بر روی داده‌ها بود. حسن انجام این کار در ادامه توضیح داده خواهد شد.

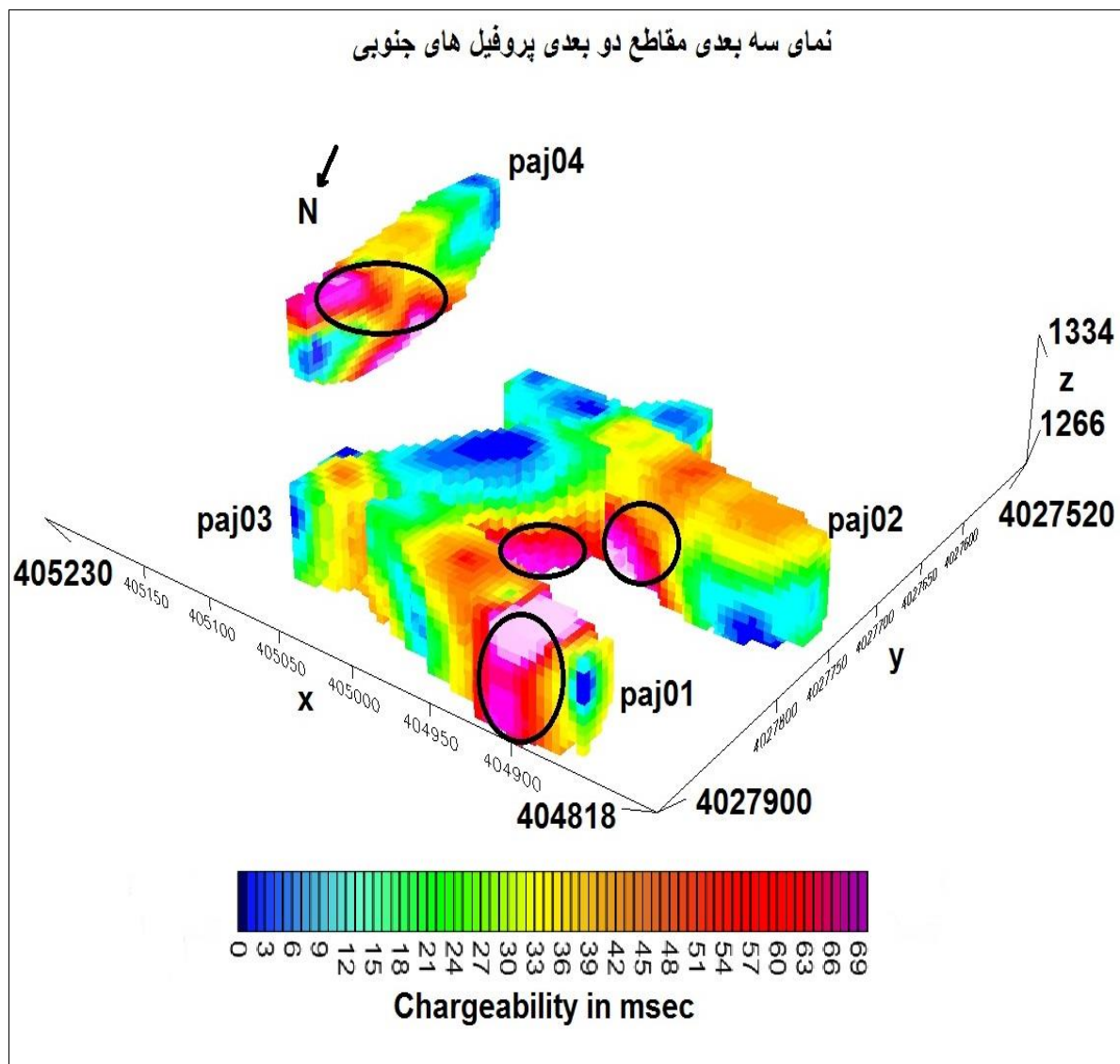
۱-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل‌های جنوبی

در این مرحله به تفسیر پروفیل‌هایی که در جنوب منطقه مورد مطالعه اجرا شده‌اند، پرداخته شده است. متأسفانه به دلیل همپوشانی مقاطع در نمای سه بعدی آن‌ها، در بعضی موارد، آنومالی‌های تشخیص داده شده در تفسیر مقاطع دوبعدی، از دید پنهان شده‌اند. اما انجام این کار خالی از حسن نبوده است زیرا که در این مقاطع سه بعدی ارائه شده، می‌توان ارتباط بین کانه‌زایی اتفاق افتاده در پروفیل‌ها را بهتر از مقاطع دوبعدی حدس زد و مشاهده کرد. به همین دلیل تجزیه و تحلیل ما بر روی این تصاویر بیشتر بر محور تشخیص ارتباط ساختارهای زمین‌شناسی و یا کانه‌زایی بین پروفیل‌های اجرا شده در منطقه می‌چرخد. در تصاویر زیر (شکل ۴-۹ نمای سه بعدی مقاطع مقاومت ویژه و شکل ۴-۱۰ نمای سه بعدی مقاطع IP)، پروفیل‌های جنوبی نشان داده شده است. در اشکال زیر و همچنین اشکال سه بعدی دیگری که در ادامه می‌آیند، شکستگی‌ها به صورت خط و نواحی احتمالاً کانه دار بر روی مقاطع مقاومت ویژه با مستطیل و بر روی مقاطع بارپذیری با بیضی مشخص شده‌اند. در شکل ۴-۹، بر روی مقاطع سه بعدی مقاومت ویژه شاهد ارتباط خوبی بین شکستگی‌ها در دو پروفیل paj01, paj02 می‌باشیم که همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، از نظر زمین‌شناسی این شکستگی‌ها می‌توانند زون‌های بسیار مهمی از لحاظ کانه‌زایی فلزی باشند. همچنین یک شکستگی احتمالی دیگر بر روی پروفیل paj04 مشاهده می‌شود که در مقطع دوبعدی مربوطه زیاد مشهود نیست.

نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی پروفیل های جنوبی



شکل ۴-۹: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل های جنوبی.



شکل ۴-۱۰: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل های جنوبی.

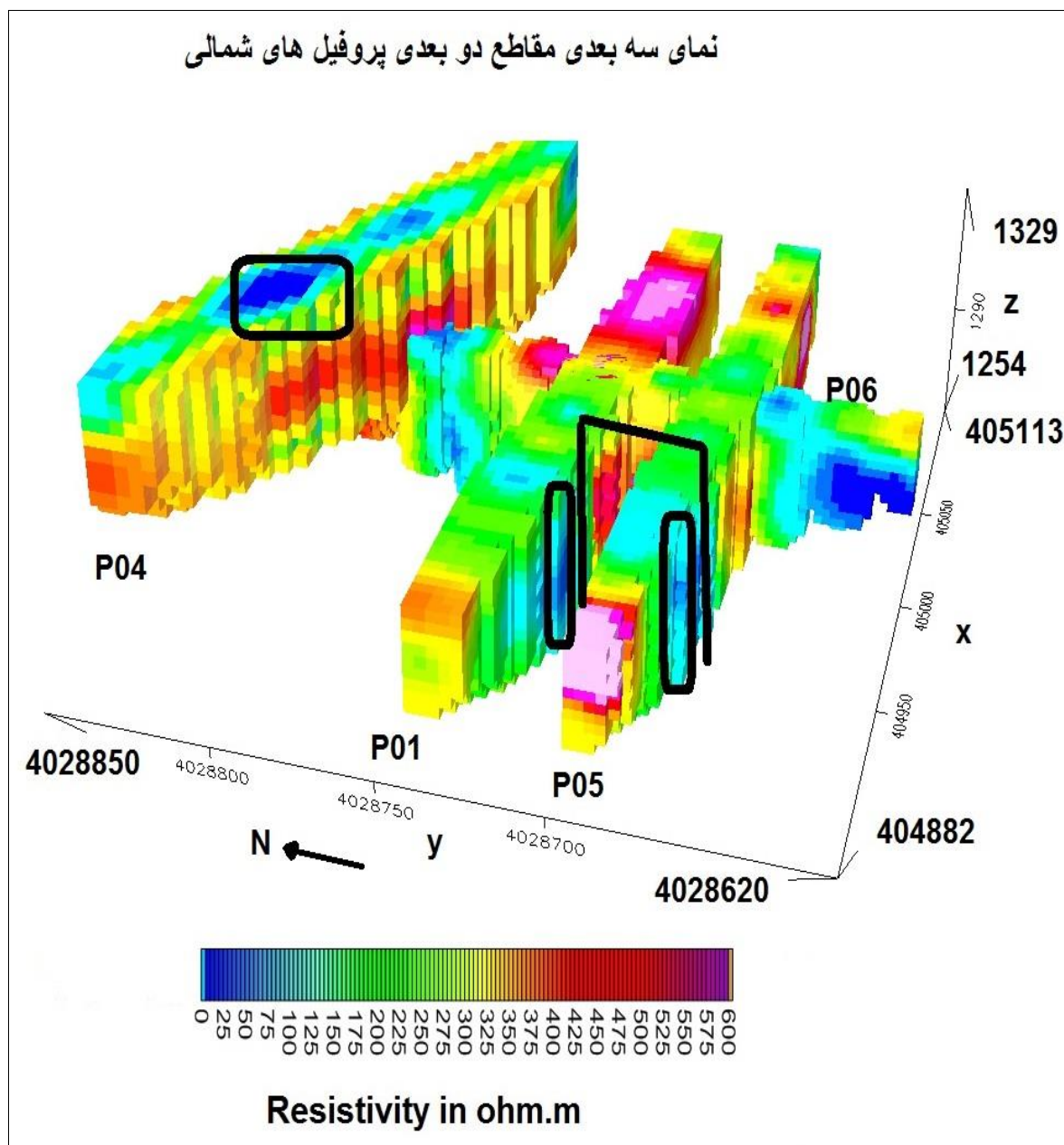
۲-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل های شمالی

در تصاویر زیر (شکل ۴-۱۱ نمای سه بعدی مقاطع مقاومت ویژه و شکل ۴-۱۲ نمای سه بعدی مقاطع IP) پروفیل های شمالی نشان داده شده است.

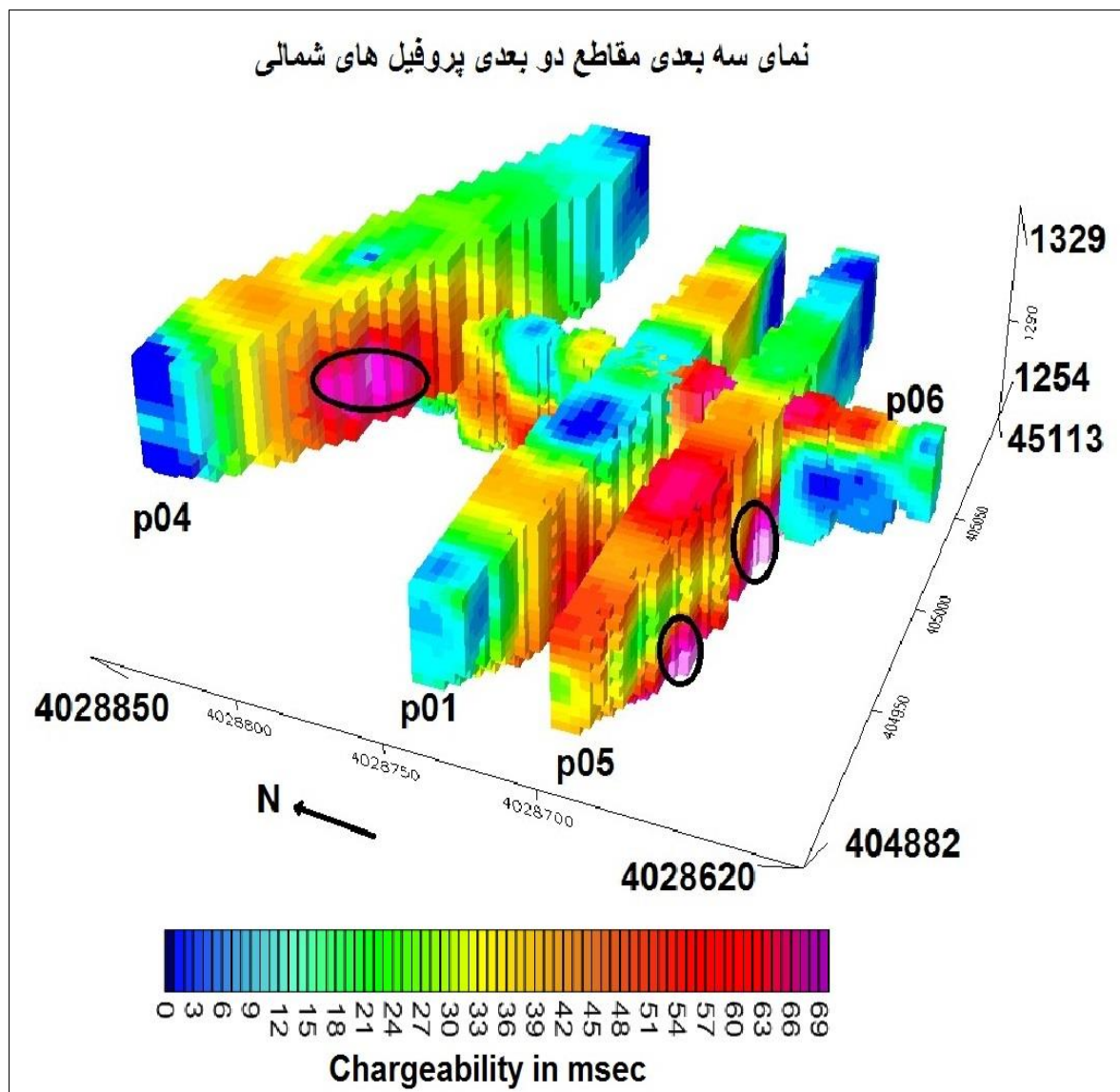
در این تصاویر ارتباطی بین شکستگی ها در پروفیل های p01, p05 مشاهده می شود. این خط شکستگی در تفسیر مقاطع دوبعدی در پروفیل p04 نیز تشخیص داده شده بود اما متأسفانه به دلیل همپوشانی در این

تصاویر و درصد کمی هم ضعف نرم‌افزاری، شکستگی مذکور در پروفیل p04 در این اشکال قابل تشخیص نیست.

بر روی این تصاویر نواحی احتمالاً کانه‌دار با بارپذیری بالا و مقاومت ویژه پایین با اشکال مستطیلی بر روی مقاطع مقاومت ویژه و بیضی بر روی مقاطع بارپذیری مشخص شده‌اند.



شکل ۴-۱۱: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل های شمالی.



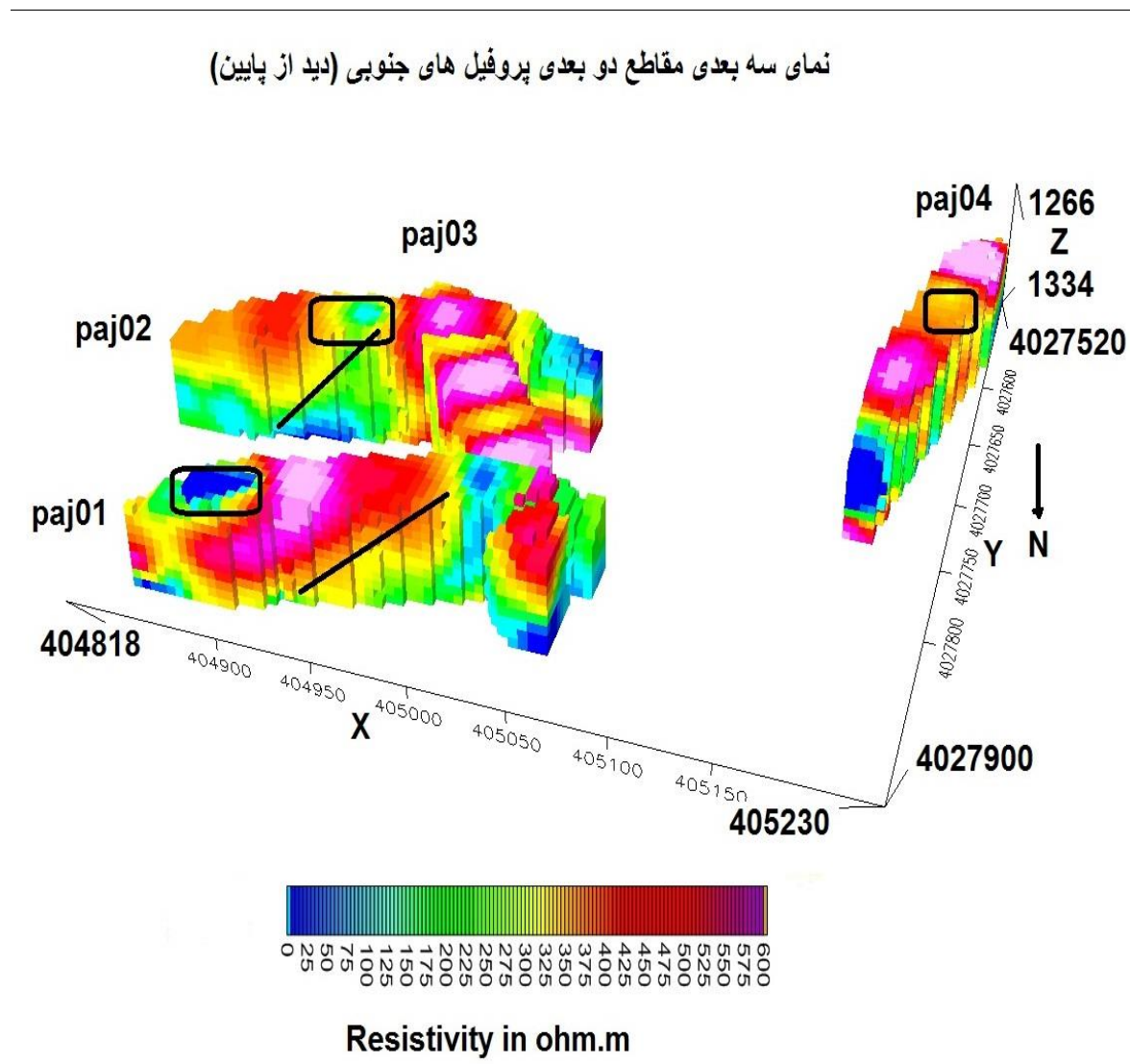
شکل ۴-۱۲: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل های شمالی.

۳-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل های جنوبی (دید از پایین)

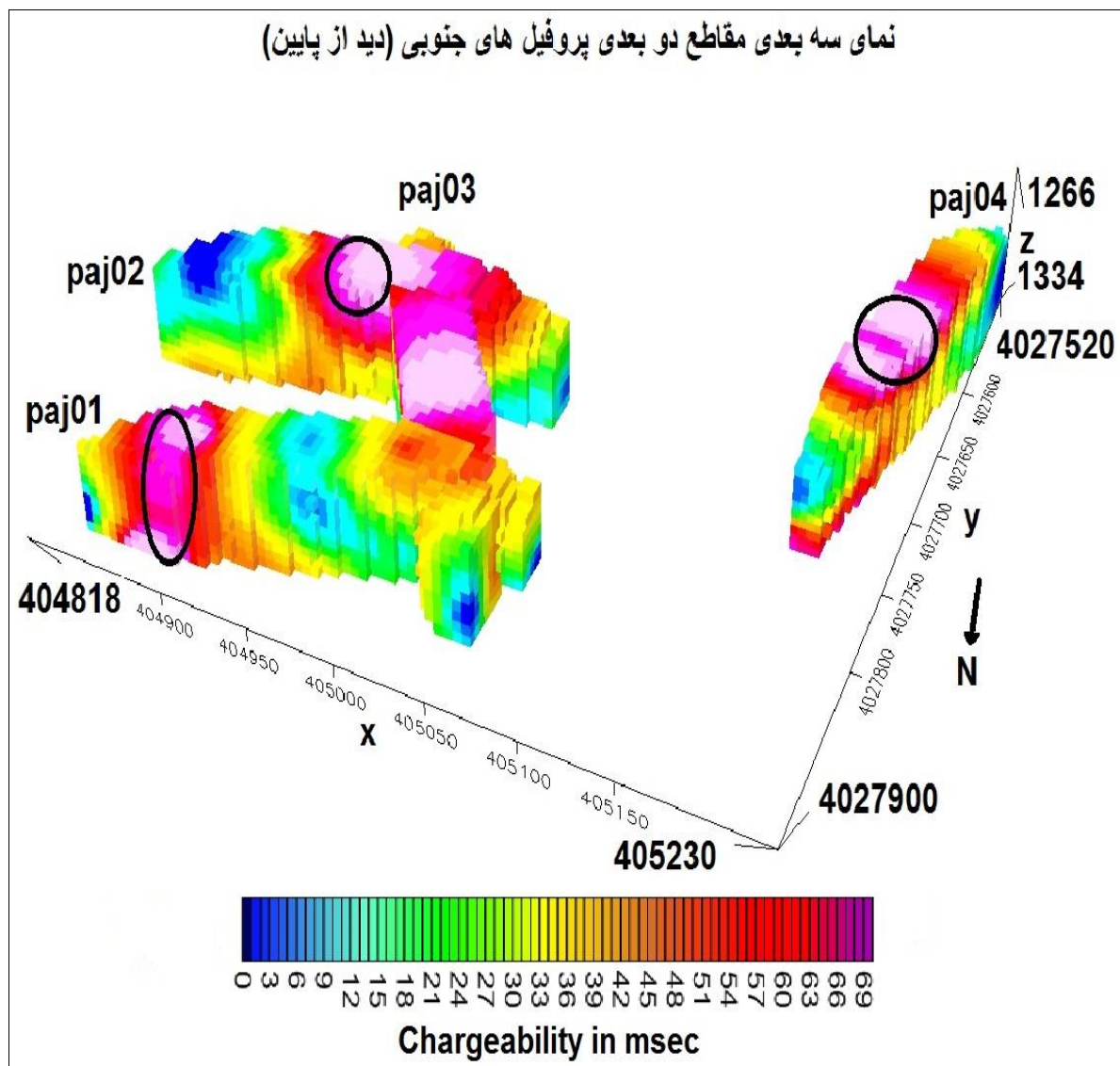
کار دیگری که در ترسیم مقاطع سه بعدی مفید فایده واقع شده است، نشان دادن نمای سه بعدی مقاطع با دید از پایین می باشد. با توجه به این که در تفسیر مقاطع دو بعدی احتمال کانه زایی در اکثر پروفیل ها بیشتر در عمق تشخیص داده شده بود، تجزیه و تحلیل این مقاطع از روی نمایی سه بعدی از زیر آنها بسیار نتیجه بخش بوده است.

در تصاویر زیر (شکل ۴-۱۳ سه بعدی (دید از پایین) مقاطع مقاومت ویژه و شکل ۴-۱۴ نمای سه بعدی مقاطع IP) پروفیل‌های جنوبی نشان داده شده است. در این تصاویر نیز مانند تصاویر قبل نواحی احتمالاً کانه‌دار بر روی مقاطع مقاومت ویژه با مستطیل و بر روی مقاطع بارپذیری با بیضی و همچنین شکستگی‌ها با خط راست مشخص شده است.

در تصاویر زیر مشاهده می‌شود که شکستگی‌های paj01, paj02 با اندکی جابجایی نسبت به هم تقریباً در یک راستا قرار گرفته‌اند که از لحاظ کانه‌زایی نواحی مهمی به‌شمار می‌آیند.



شکل ۴-۱۳: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل‌های جنوبی (دید از پایین).

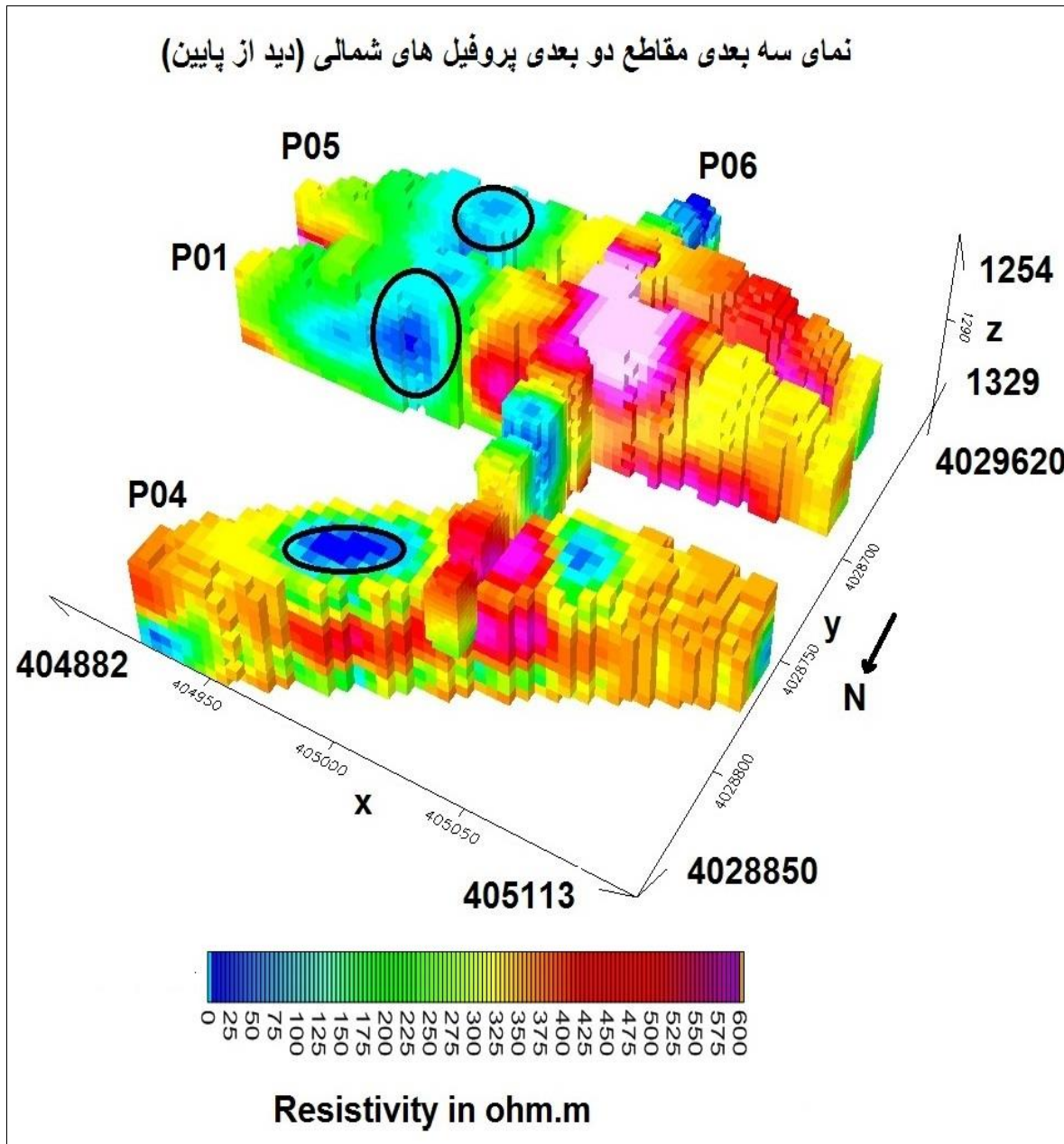


شکل ۴-۱۴: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل های جنوبی (دید از پایین).

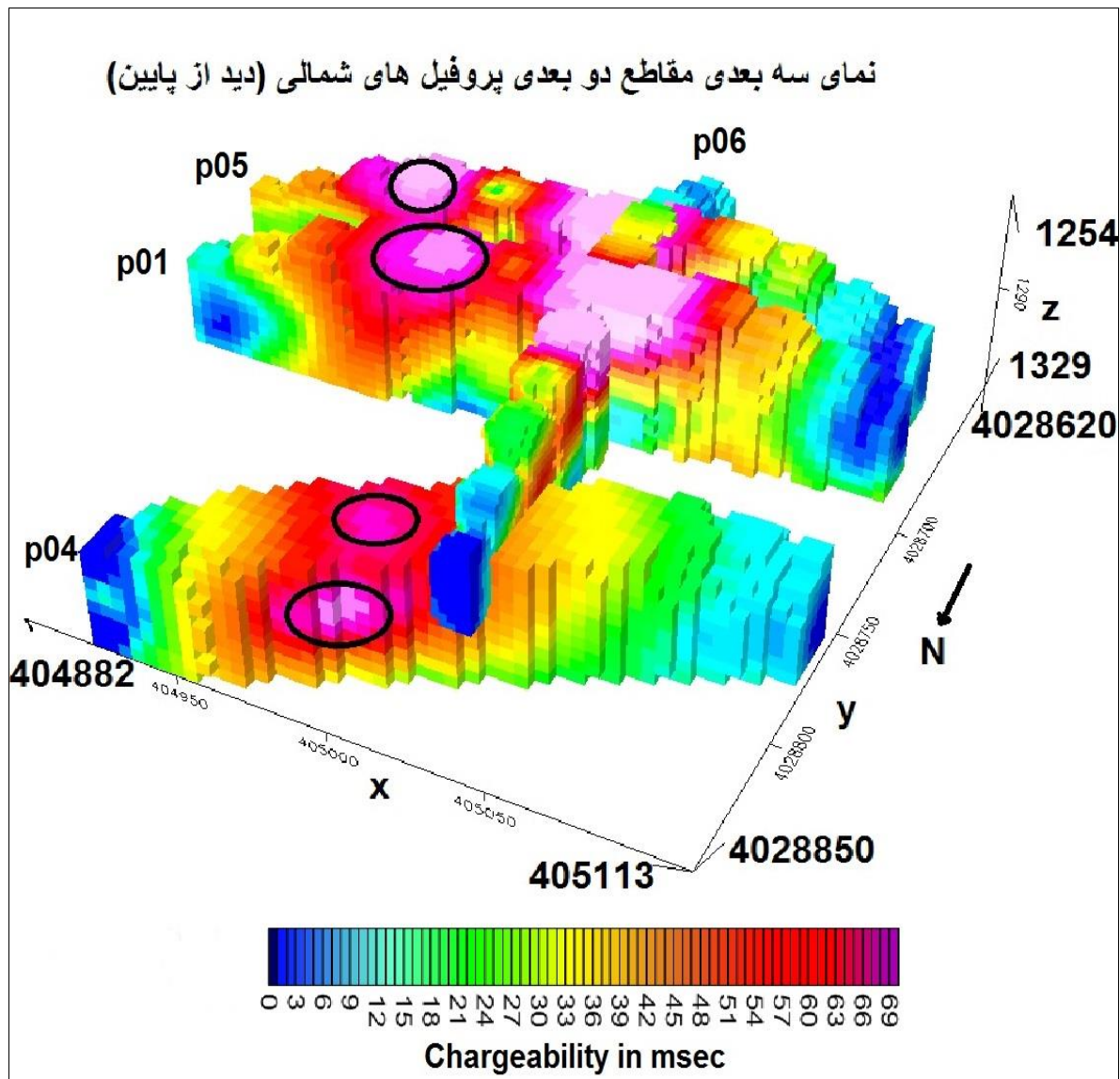
۴-۳-۲-۴ تفسیر نمای سه بعدی پروفیل های شمالی (دید از پایین)

در تصویر زیر (شکل ۴-۱۵) نمای سه بعدی (دید از پایین) مقاطع مقاومت ویژه و شکل ۴-۱۶) نمای سه بعدی (دید از پایین) مقاطع (IP) پروفیل های شمالی نشان داده شده است. شاید در هیچ کدام از تصاویر سه بعدی ارائه شده، ارتباط بین آنومالی ها در پروفیل های اجرایی به اندازه این تصویر بارز و مشهود نباشد. همان گونه که در شکل های (۴-۱۵ و ۴-۱۶) مشاهده می نماید نواحی احتمالاً کانه دار در این پروفیل ها

تقریباً در یک راستا قرار گرفته‌اند و این قضیه می‌تواند نتایج استنباط شده از تفسیر مقاطع دو بعدی این پروفیل‌ها را با درصد بالایی تأیید نماید.



شکل ۴-۱۵: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه پروفیل‌های شمالی (دید از پایین).



شکل ۴-۱۶: نمای سه بعدی مقاطع دو بعدی بارپذیری پروفیل های شمالی (دید از پایین).

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

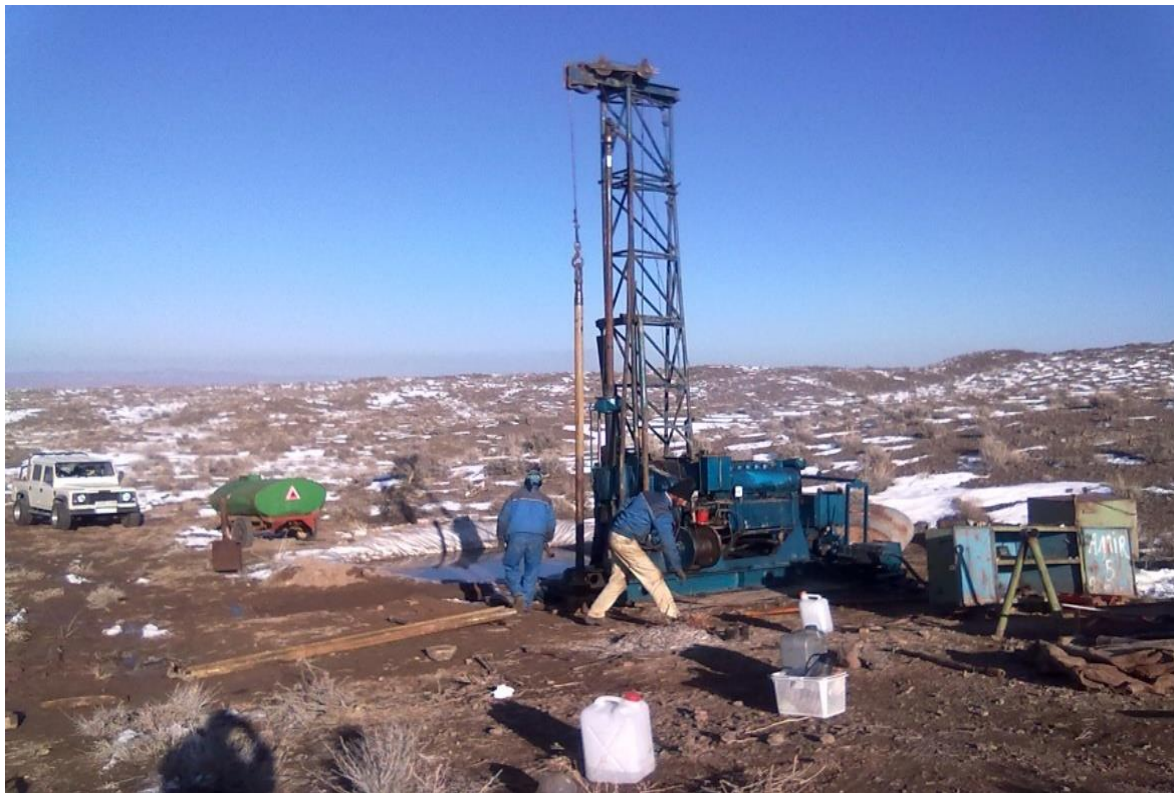
۵-۱ مقدمه

برداشت داده‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه و IP به منظور پتانسیل یابی کانسار مس در اندیس معدنی دوچپله در ۳۰ کیلومتری شرق میامی انجام شد. تفسیر همزمان نتایج روش‌های مذکور و تلفیق اطلاعات و داده‌های حاصله با اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات زمین‌شناسی، نمونه برداری و ترانسه‌ها، می‌تواند تخمینی از گسترش کانی‌سازی فلزی را ارائه نماید. در زیر شرح مختصری از حفاری انجام گرفته بر روی پروفیل (paj03) به همراه نتایج حاصل از حفاری مغزه‌گیری آورده شده است که در تفسیر اکثر مقاطع دوبعدی حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و IP این اطلاعات در نظر گرفته شده است.

۵-۱-۱ حفاری مغزه‌گیری

۵-۱-۱-۵ نوع حفاری و روش کار

در این مرحله ۳۰۰ متر حفاری پیش‌آهنگ پیش‌بینی شده بود. عملیات حفاری در این محدوده به‌وسیله یک دستگاه حفاری D.B.850 ساخت بلژیک و با روش دورانی مغزه‌گیری و با سیستم WireLine به انجام رسید. این گمانه با سایز HQ بر روی پروفیل paj03 در ایستگاه ۱۰۰ آن حفاری شده است. در شکل ۵-۱ عکسی از تیم حفاری در حین انجام عملیات حفاری مغزه‌گیری می‌بینید.



شکل ۵-۱: تیم حفاری در حال انجام عملیات حفاری مغزه گیری در محل گمانه D.BH.1

۲-۱-۱-۵ مشخصات نقاط حفاری مغزه گیری

محل حفر گمانه‌ها بر روی زون‌های کانه‌دار و با توجه به شرایط زمین‌شناسی، رخنمون سطحی واحدهای سنگی کانه‌دار و شیب و امتداد آن‌ها، اطلاعات حاصل از ترانشه‌ها و اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک تعیین گردیدند. مهم‌ترین عاملی که در تعیین نقاط حفاری در این محدوده نقش داشت، نتایج حاصل از ژئوفیزیک و همچنین شرایط زمین‌شناسی و رخنمون‌های سطحی کانه‌دار بود. در مرحله طراحی گمانه‌های اکتشافی از شواهدی نظیر رخنمون سطحی مناسب تابع ضخامت رگه، عیار، نتایج آنالیزهای شیمیایی و ترانشه‌های حفر شده و همچنین نتایج بررسی‌های ژئوفیزیک در این محدوده استفاده شد. گسترش طولی رگه اصلی، محدود بودن مترژ حفاری و افزایش شدید هزینه‌های مربوطه، عملاً امکان طراحی سیستماتیک نقاط حفاری را در این مرحله از عملیات غیرممکن نمود.

جدول ۵-۱: خلاصه آنالیز نمونه‌های مغزه‌گیری گمانه D.BH.1 اجرا شده بر روی پروفیل paj03

Run	Top(m)	Base(m)	Lith	Altr	Mineral
1	0.00	2.00	بازالت	ژئولیتی - کربناتی	-
2	2.00	4.00	"	"	-
3	4.00	5.50	"	"	-
4	5.50	7.20	"	"	کوپریت
5	7.20	9.30	"	"	-
6	9.30	12.20	"	"	-
7	12.20	15.10	"	"	-
8	15.10	17.00	"	"	مالاکیت
9	17.00	18.00	"	"	مالاکیت - مس طبیعی
10	18.00	20.80	"	"	مالاکیت
11	20.80	23.70	"	"	-
12	23.70	26.50	"	"	-
13	26.50	29.50	"	ژئولیتی - کلریتی	مالاکیت
14	29.50	32.40	"	ژئولیتی - کلریتی	-
15	32.40	35.10	"	ژئولیتی - کلریتی	-
16	35.10	38.20	"	ژئولیتی - کلریتی	مالاکیت - مس طبیعی
17	38.20	41.80	"	ژئولیتی	-
18	41.80	44.00	"	"	-
19	44.00	47.00	"	"	-
20	47.00	50.05	"	"	مس طبیعی - کالکوپیریت
21	50.05	53.10	"	ژئولیتی - کلریتی	"
22	53.10	55.10	"	"	"
23	55.10	56.10	"	"	-
24	56.10	59.10	"	"	پیریت - کالکوپیریت
25	59.10	62.00	"	"	"
26	62.00	65.00	"	"	-
27	65.00	65.60	"	"	-
28	65.60	68.40	"	"	پیریت - کالکوپیریت
29	68.40	70.90	"	"	"
30	70.90	73.90	"	"	-
31	73.90	76.60	"	"	-
32	76.60	79.60	"	"	-
33	79.60	81.10	"	"	-

۳-۱-۱-۵ تلفیق نتایج و اطلاعات مربوط به مغزه‌های حفاری

بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه دوچپله کانی‌سازی به‌صورت پراکنده و رگه‌ای در آلکالی بازالت‌های ائوسن تشکیل شده است. مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی از دو گمانه حفاری شده در منطقه دوچپله نشان می‌دهد که سنگ میزبان در سطح و در عمق تغییری نکرده است و مطابق با اطلاعات زمین‌شناسی، این سنگ تا عمق ۸۰ متری بازالت‌های آلکالی می‌باشد. دگرسانی‌های موجود همچنان دگرسانی کلریتی، زئولیتی، کربناتی و اکسید آهنی است.

مطالعات کانی‌شناسی بیش از ۴۰ مقطع نازک- صیقلی نشان می‌دهد کانی‌سازی در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول سیال حاوی مس و کربنات، کانی‌های مس را به‌صورت کالکوپیریت، پیریت، مس خالص و در مواردی جزئی بورنیت، در درون حفرات موجود در بازالت‌ها و عمدتاً داخل کانی‌های پیروکسن و در رگچه‌های کربناتی تشکیل داده است. کانی‌سازی در این مرحله اغلب به‌صورت پراکنده و کمتر به‌صورت رگچه‌ای است. این کانی‌ها غالباً در عمق‌های بیش از ۳۰ متر در گمانه‌ها مشاهده شده است. در مرحله دوم کانی‌های مس در عمق، دچار فرآیندهای هوازدگی سوپرژن گردیده و به‌صورت کانی‌های کالکوسیت، کوپریت و مالاکیت به‌صورت رگه و رگچه در قسمت‌های سطحی (در عمق‌های کمتر از ۱۵ متر) مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در سطح به‌صورت سوپرژن و در رگه و رگچه‌ها تشکیل شده است، که می‌توان گفت تا حدود زیادی از گسل‌های موجود در منطقه تبعیت کرده است.

۲-۵ نتیجه‌گیری

در زیر خلاصه‌ای از نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته در این پایان نامه ارائه می‌شود:

۱- با در نظر گرفتن شرایط و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه می‌توان گفت که به احتمال زیاد در اکثر

پروفیل‌ها در زون‌هایی که با افت مقاومت ویژه و بارپذیری بالا مواجه می‌شویم، علت آن ایجاد

کانی‌سازی فلزی در این نواحی می‌باشد.

۲- بر روی اکثر پروفیل‌ها زون‌های مشکوک به شکستگی تشخیص داده شد که اطلاعات زمین-شناسی منطقه نیز این موضوع را تأیید می‌نماید، به همین دلیل در تفسیرها تأکید زیادی روی این نواحی شد، زیرا که از لحاظ زمین‌شناسی احتمال کانی‌سازی فلزی در درزه، شکاف و شکستگی‌ها بالا می‌باشد و این نواحی می‌توانند حاوی کانی‌های فلزی باشند.

۳- اکثر نقاط پیشنهاد داده شده برای حفاری اکتشافی بر روی پروفیل‌ها در نقاطی بود که در زیر آن‌ها شکستگی تشخیص داده شده بود. به‌عنوان مثال بر روی پروفیل paj03 در زیر ایستگاه ۱۰۰ با تشخیص یک شکستگی پیشنهاد حفاری داده شد که عملیات حفاری توسط کارفرمای طرح به انجام رسید و نتایج به‌دست آمده گویای موفقیت مطالعات ژئوفیزیکی در این طرح با درصد بسیار بالا بود.

۴- بر روی چند پروفیل در زون‌هایی که در عمق قرار داشتند و احتمال کانه‌سازی در آن‌ها می‌رفت در همان حد و حدود بر روی سطح زمین رخنمون‌هایی با شرایط ژئوفیزیکی تقریباً مشابه کانه-زایی‌های عمقی تشخیص داده شد که با یک بررسی اجمالی زمین‌شناسی در این نواحی می‌توان گفت که در صورت وجود شواهد کانی‌زایی فلزی در سطح، احتمالاً همان کانه‌زایی در عمق نیز اتفاق افتاده است.

۵- در این تحقیق سعی شده است با ترسیم نمایی سه بعدی از مقاطع دو بعدی حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی، تحلیل و تفسیرهای دقیق‌تری ارائه شود که تا حدودی در این امر موفق بوده‌ایم. حسن بارز این کار، تشخیص ارتباط بین کانه‌زایی در پروفیل‌های اجرایی بوده است.

۳-۵ پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات انجام شده در محدوده مورد مطالعه و سایر مطالعات، موارد زیر جهت مطالعات بیشتر در رابطه با این تحقیق پیشنهاد می‌شود:

۱- بر اساس تفسیرهای انجام شده از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی بر روی پروفیل‌ها در ایستگاه‌هایی که احتمال رخ دادن کانه‌زایی در زیر آن‌ها می‌رفت، نقاطی برای حفاری‌های اکتشافی تکمیلی به شرح زیر پیشنهاد داده می‌شود (پروفیل p01 ایستگاه ۱۲۰، پروفیل p04 ایستگاه ۱۰۰، پروفیل p05 ایستگاه ۱۲۰، پروفیل paj01 ایستگاه ۱۰۰، پروفیل paj02 ایستگاه ۱۸۰، paj03 ایستگاه ۱۰۰ و پروفیل paj04 ایستگاه ۱۱۰).

۲- از روش‌های تکمیلی دیگر به ویژه قطبش القایی طیفی (SIP) به منظور بررسی دقیق‌تر بافت و ابعاد کانی‌سازی در منطقه و تفکیک انواع منابع IP از جمله رس‌ها و تفکیک کانی‌های فلزی از یکدیگر استفاده شود.

۳- در این پایان‌نامه برای تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و IP از مدل‌سازی وارون دو بعدی استفاده شد اگرچه نمای سه بعدی مقاطع حاصل از این مدل‌سازی نیز ارائه شد با این حال مدل‌سازی سه بعدی می‌تواند تفسیر دقیق‌تری از زیر سطح زمین ارائه دهد به همین علت برداشت‌های سه بعدی داده‌ها با هدف مدل‌سازی سه بعدی بر روی منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود. مدل‌سازی سه بعدی منوط به برداشت‌های سه بعدی می‌باشد که در منابع مختلفی از جمله (Loke, 2012) به آن پرداخته شده است.

۴- در اکثر پروفیل‌ها عمده کانه‌زایی در عمق‌های بالا تشخیص داده شد و عموماً عمق‌های بیشتر از ۵۰ متر مورد اکتشاف قرار نگرفته بود، این در حالی است که بر اساس داده‌های حاصل از حفاری اکتشافی در منطقه، کانه‌زایی در عمق‌های بیشتر از ۵۰ متر نیز اتفاق افتاده است، بنابراین

پیشنهاد می‌شود که پروفیل‌های مقاومت ویژه و IP جدیدی با همان آرایه الکترودی مورد استفاده در این تحقیق (آرایه دوقطبی - دوقطبی) اما با طول آرایه بزرگ‌تر به منظور اکتشاف عمق‌های بیشتر طراحی و اجرا شود.

منابع

منابع فارسی:

ابراهیمی س، (۱۳۹۱)، "گزارش زمین‌شناسی نقشه ۱:۱۰۰۰ منطقه مس دوچپله"، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

امین پناه تاته رشید م، حفیظی م ح، (۱۳۹۱)، "اکتشاف طلای اپی‌ترمال با تلفیق داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه در نیکوئیه-قزوین"، پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ص ۴، تهران.

پایگاه داده‌های علوم زمین www.ngdir.ir

پایگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور www.gsi.ir

ترابی ح، انصاری ع، اسدی هارونی ه، (۱۳۸۹)، "تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی در محدوده شرقی اندیس مس-مولیبدن پورفیری کهنک"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ص ۵، تهران.

تلفورد دی آی، جلدارت ال پی، شریف آر آی و کیز دی آی، (۱۳۸۷) "ژئوفیزیک کاربردی" جلد اول، ترجمه، حاجب حسینی و زمردیان، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۶۹۶.

تلفورد دی آی، جلدارت ال پی، شریف آر آی و کیز دی آی، (۱۳۸۷) "ژئوفیزیک کاربردی" جلد دوم، ترجمه، حاجب حسینی و زمردیان، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۵۷۹.

چاکری م، (۱۳۸۴)، پایان نامه ارشد: "مدل‌سازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

حدیدی ع، (۱۳۸۷)، پایان نامه ارشد: "تفسیر داده‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، مغناطیس سنجی و تلفیق آن با نتایج داده‌های زمین‌شناسی برای اکتشاف ذخایر سرب و روی محدوده جنوبی چیچکلو (شرق تکاب) در محیط GIS"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رحمانی جوینانی، م، (۱۳۸۷)، "خودآموز کامل نرم افزار مهندسی RES2DINV Ver3.25"، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ص ۱۸۶.

ژولیده سر ف، نوروزی غ، جهان تیغ م، حسینیان ش، (۱۳۹۰)، "بررسی اندیس معدنی درج با استفاده از مدل سازی وارون داده های ژئوفیزیکی (M,IP,RS)"، اولین همایش ملی مس، ص ۱۰، کرمان.

شاهی ح، کامکار روحانی الف، ضیایی م، (۱۳۸۹)، "تحلیل و تفسیر داده های مقاومت ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی با استفاده از مدل سازی پیشرو جهت تعیین محل دقیق کانی زایی"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ص ۶، تهران.

طلوعی م، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "برداشت، مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه جهت اکتشاف سرب و روی در منطقه خلخال"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

عرب امیری ع ر، (۱۳۷۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی کانی سازی روی و سرب در غرب معدن تپه سرخ از مجتمع معادن ایرانکوه به کمک روش های زمین شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

عرب امیری ع ر، (۱۳۸۵)، گزارش قرارداد پژوهشی: "برداشت، مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی محدوده معدنی سرب و روی تاش و مجن"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کریم پور م. ح و سعادت س، (۱۳۸۴) "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ص ۵۲۲.

کلاگری ع، (۱۳۷۱) "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات علی اصغر کلاگری، تهران، ص ۵۸۸.

گریفیتس دی اچ ، کینگ آر اف ، (۱۳۷۳)، "ژئوفیزیک کاربردی برای زمین‌شناسان و مهندسان"، ترجمه، دکتر حاجب حسینی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۱۶.

مهدی زاده ی، (۱۳۸۹)، سمینار ارشد: "بررسی روش‌های تفاضل محدود و المان محدود در مدل‌سازی داده‌های ژئوالکتریکی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نوبهاری ح، (۱۳۷۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تفسیر داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه با استفاده از روش فیلتر کردن در کانسار اسکارن سرب و روی نمارستاق"، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، دانشگاه تهران.

- ABEM Instrument AB, ABEM Terameter SAS 4000/ SAS 1000 Manual.
- Dey, A., & Morrison, H. F. (1973). "Electromagnetic coupling in frequency and time-domain induced-polarization surveys over a multilayered earth" .*Geophysics*, 38(2) , 380-405.
- Dey, A., & Morrison, H. F. (1979). "Resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures". *Geophysical Prospecting*, 27(1) , 106-136.
- Fox, R. C., Hohmann, G. W., Killpack, T. J., & Rijo, L. (1980). "Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys" . *Geophysics*, 45(1) , 75-93.
- Geotomo Software, 2004, RES2DINV ver .3 .54 .44 Manual.
- Henkel, J. H. and Collins, T. C. (1961). "Induced polarization in electrolyte saturated earth plugs". *Geophysics*, 26:205–210.
- Keller, G. V. and Frischknecht, F. C. (1966). "Electrical Methods in Geophysical Prospecting", volume 10. Pergamon Press Inc.
- Loke, M. H. (2012) , "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys" Course Notes for USGS Workshop 2-D and 3-D Inversion and Modeling of Surface and Borehole Resistivity Data. pp 172.
- Mooney, H. M. (1980). "Handbook of Engineering Geophysics" , Vol. 2. Electrical Resistivity. Bison Instruments. Inc., Minneapolis, Minnesota.
- Mooney, H. M. (1980). "Handbook of engineering geophysics" . (Vol. 1). Bison Instruments.
- Nabighian, M. N. and Elliot, C. L. (1976). "Negative IP effects from layered" media: *Geophysics*, Soc. of Expl. Geophys., 41, 1236-1255.
- Nelson, P. H., Hansen, W. H., and Sweeney, M. J. (1982). "Induced-polarization response of zeolitic conglomerate and carbonaceous siltstone". *Geophysics*, 47:71–88.
- Oldenburg, D. W., & Li, Y. (1999). "Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys". *Geophysics*, 64(2) , 403-416.
- Parasnis, D. S. (1962). "Principles of applied geophysics" . *GFF*, 84(4) , 534-535.
- Pelton, W. H., Rijo, L., & Swift Jr, C. M. (1978). "Inversion of two-dimensional resistivity and induced-polarization data" . *Geophysics*, 43(4) , 788-803.

Pelton, W. H., Ward, S. H., Hallof, P. G., and Nelson, P. H. (1978). "Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP". *Geophysics*, 43:588–609.

Reynolds, J. M. (2011). "An introduction to applied and environmental geophysics". Wiley.com.

Roy, K. K. and Elliot, H. (1980). "Model studies on some aspects of resistivity and membrane polarisation behaviour over a layer Earth". *Geophysical prospecting*, 28:759–775.

Spiegel, R. J., Sturdivant, V. R., & Owen, T. E. (1980). "Modeling resistivity anomalies from localized voids under irregular terrain". *Geophysics*, 45(7), 1164-1183.

Sumner, J. S. (1976). "Principles of Induced Polarisation for Geophysical Exploration". Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Sumner, J. S. and Zonge, K. L. (1980). "Induced polarisation for exploration geophysics" short course. South African Geophysical Association, The University Of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.

Telford, W. W. M., & Sheriff, R. E. (1990). "Applied geophysics" (Vol. 1). Cambridge University Press.

Van Voorhis, G. D., Nelson, P. H., & Drake, T. L. (1973). "Complex resistivity spectra of porphyry copper mineralization". *Geophysics*, 38(1), 49-60.

Vanhala, H., & Peltoniemi, M. (1992). "Spectral IP studies of Finnish ore prospects". *Geophysics*, 57(12), 1545-1555.

www.cflhd.gov

Abstract

This thesis aims to explore the copper deposit Duchileh - Miami model results and interpretation of the data - the resistivity and induced polarization (IP) harvested during multiple profiles on the deposit . The deposit is based on objective evidence and geological interpretations of the results in the region - veins and some scattered nature , so the best method of geophysical exploration of the deposit , are method for electrical resistivity and IP. Geophysical studies on ore mine in areas where outcrops were expanded and harvested in areas where data indicate the possible presence of copper mineralization, but there was an idea of the depth, was carried out. Followed by removal of the deposits studied geophysical data, 8 array of structures with dipol - dipol , each with an approximate length of 280 meters , using ABEM SAS4000 cognitive phases north and south ground conditions were almost identical , done. Inverse Modeling of the data - the resistivity and IP software RES2DINV ver. 3:54:44 perform the two-dimensional sections the results were interpreted . The Oasis montaj software using all the sections together again combines a three-dimensional view of offering interpretations that provide accurate and comprehensive exploration of the deposit was terrific . Two-dimensional and three-dimensional view of the interpretation of the combined slice it also depends very well with geological evidence and information obtained from chemical analysis of samples taken from trenches will show . geophysical model of the data , creating the potential for metallic minerals, each study phase (Phase northern and Phase South) has been identified . Also, the interpretation and evaluation of two-dimensional cross sections of three-dimensional view of the and creating a cohesive and close association between the mineralization at depths up to 30 m in profiles was diagnosed executive . Fractures in the region of the profiles detected that these fractures are hopeful that the ore locations can be metal speciation . In this regard, on one of the profiles spot for drilling operations for exploratory studies suggest that information obtained from this drilling , results obtained from the model and interpretation of geophysical harvested , resulting in a high success rate confirms this impression geophysical track.

Keywords

Copper deposit , resistivity, induced polarization (IP), Duchileh.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

**Combining electrical resistivity and induced polarization
geophysical data in order to explore copper deposit
Duchileh - Miami**

Yazdan Gorgani

Supervisors:

Dr. A. Kamkar rohani

Dr. A. Arab amiri

February 2014