





مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته: مهندسی معدن

گرایش: اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به منظور اکتشاف مس در

منطقه باب زنگویه، چهارگنبد کرمان

نگارنده: سعید نظری

اساتید راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر علیرضا عرب امیری

اساتید مشاور:

دکتر صادق کریم پولی

مهندس عادل حدیدی

شهریور ۱۳۹۵

تقدیم اثر

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مرا آسانی‌شان آرام، بخش آرام‌زینی‌ام است.

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم.

به سبزترین نگاه‌زدنم، چشمان سبز مادرم.

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بگو شتم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را پاس توانم بگویم.

امروز، بستی‌ام به امید شامست و فردا کلید باغ به‌شتم رضای شما. آوردی کران سنگ‌تراز این ارزان‌داشتنم تا به خاک پستان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نیم‌گونه غبار محنتیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان...

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

تقدیر و تشکر

از زحمات و راهنمایی‌های اساتید گرامتقدیر؛ جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری، جناب آقای دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی و جناب آقای دکتر صادق کریم پوری که در تمامی مراحل

مکاتش این اثر مرابری نمودند، تشکر می‌نمایم. همچنین تشکر و قدردانی از مدیریت شرکت کوکاکرین سازان جناب مهندس عادل حدیدی برای مشاوره و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان.

تعهدنامه

اینجانب سعید نظری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن- اکتشاف معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به منظور اکتشاف مس در منطقه باب زنگوییه، چهارگنبد کرمان؛ تحت راهنمایی آقایان دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 شاهرود می باشد 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 تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه ی مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه ی مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۵/۰۶/۲۱

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. 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 نمی باشد.

چکیده

ناحیه چهارگنبد کرمان از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در جنوب زون ایران مرکزی و به طور عمده در کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر قرار دارد. پی‌جویی‌های اولیه و مطالعات اکتشافی بزرگ مقیاس در این منطقه، وجود محدوده‌های پرتانسیلی از نظر کانی‌زایی مس و طلا را به اثبات رسانیده است. برای بررسی دقیق‌تر این پتانسیل‌ها، در این تحقیق از روش‌های سنجش از دور و ژئوفیزیک زمینی استفاده شد. در مطالعات سنجش از دور، تصاویر ماهواره استر برای یافتن مناطق امیدبخش به کار گرفته شد. به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای روش‌های مختلفی از قبیل ترکیب رنگی کاذب و نسبت‌گیری طیفی استفاده گردید. نتایج، حاکی از وجود آلتراسیون‌های آرژیلیک (و فیلیک) در منطقه باب‌زنگویه است که توسط آلتراسیون پروپلیتیک احاطه شده است. با تلفیق این نتایج و اطلاعات اکتشافی پیشین، این منطقه برای انجام مطالعات زمینی و عملیات ژئوفیزیک زمینی (ژئوالکتریک) انتخاب گردید. عملیات ژئوفیزیکی در منطقه باب‌زنگویه چهار گنبد کرمان به دو روش پلاریزاسیون‌القایی و مقاومت‌ویژه الکتریکی و با استفاده از آرایش قطبی-دوقطبی به اجرا درآمد. پس از تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی معکوس داده‌های برداشت شده، محدوده‌های بی‌هنجار و وضعیت کانسار شامل شکل تقریبی کانی‌سازی و عمق کانی‌سازی مشخص شدند. در نهایت نقاط مناسب برای حفاری پیشنهاد شد که نتایج انجام عملیات حفاری وجود کانی‌زایی در عمق را به اثبات رسانیده است.

کلمات کلیدی: دورسنجی، ژئوالکتریک، مدل‌سازی معکوس، باب‌زنگویه، چهارگنبد کرمان

مقالات مستخرج از پایان نامه:

۱- به کارگیری روش های دورسنجی و ژئوفیزیک زمینی در پی جویی و اکتشاف ذخایر مس در منطقه

باب زنگویه، چهارگنبد کرمان

مجله فیزیک زمین و فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۲- اکتشاف مس به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی در چهارگنبد، کرمان

هشتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه زنجان، ۲۷ و ۲۸ شهریور ۱۳۹۵

فهرست

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱	مقدمه
۳	۲-۱	مروری بر سوابق بکارگیری روش‌های دورسنجی و ژئوالکتریکی در کاوش‌های معدنی
۶	۳-۱	ضرورت انجام تحقیق
۷	۴-۱	روش انجام تحقیق
۸	۵-۱	ساختار پایان‌نامه

فصل دوم: تئوری مقاومت‌ویژه، پلاریزاسیون القایی (IP) و دورسنجی

۱۰	۱-۲	مقدمه
۱۲	۲-۲	مقاومت‌ویژه
۱۲	۱-۲-۲	اصول مقاومت‌ویژه
۱۷	۲-۲-۲	آرایش الکترودی
۲۱	۳-۲	روش IP
۲۱	۱-۳-۲	روش‌های اندازه‌گیری IP
۲۲	۲-۳-۲	حوزه فرکانس
۲۴	۳-۳-۲	حوزه زمان
۲۷	۴-۳-۲	منشا پدیده IP
۳۳	۵-۳-۲	نوفه در اندازه‌گیری‌های IP
۳۶	۴-۲	انواع برداشت‌های ژئوالکتریکی
۳۹	۵-۲	اصلاح مدل
۴۱	۶-۲	مطالعات دورسنجی
۴۱	۱-۵-۲	تصاویر رنگی و کاذب

۴۲	۲-۵-۲	تصاویر نسبتی
۴۲	۳-۵-۲	تحلیل مولفه اصلی
فصل سوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه		
۴۶	۱-۳	مقدمه
۴۷	۲-۳	موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه
۴۹	۳-۳	زمین‌شناسی محدوده
۴۹	۱-۳-۳	زمین‌شناسی کلی برگه چهار گنبد
۵۰	۲-۳-۳	زمین‌شناسی ناحیه‌ای
۵۱	۳-۳-۳	چینه‌شناسی
۵۵	۴-۳	آلتراسیون‌های منطقه
فصل چهارم: مطالعات دورسنجی، ژئوفیزیکی و حفاری‌های انجام شده		
۵۸	۱-۴	نتایج بررسی و پردازش تصویر ASTER منطقه
۵۸	۱-۱-۴	شناسایی آلتراسیون‌های آرژلیک، فلیک و پروپیلیتیک
۶۲	۲-۴	برداشت‌های مقاومت‌ویژه، IP و حفاری‌های انجام شده در منطقه
۶۵	۳-۴	تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و IP
۶۵	۱-۳-۴	تفسیر نتایج مدل‌سازی وارون پروفیل B1
۶۹	۲-۳-۴	تفسیر نتایج مدل‌سازی وارون پروفیل B2
۷۳	۳-۳-۴	تفسیر نتایج مدل‌سازی وارون پروفیل B3
۷۷	۴-۳-۴	تفسیر نتایج مدل‌سازی وارون پروفیل B4
۸۱	۵-۳-۴	تفسیر نتایج پروفیل AA`
۸۲	۶-۳-۴	نمایش سه بعدی نتایج وارون سازی

۷-۳-۴ مقطع افقی ۸۶

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵ مقدمه ۸۸

۲-۵ نتیجه گیری ۸۸

۳-۵ پیشنهادات ۹۱

پیوست ۹۵

منابع ۱۰۰

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: نمایش شماتیک برداشت‌های ژئوفیزیکی در محیط با جنس سنگ بستر متفاوت ۱۱
- شکل ۲-۲: نمایش شماتیک میدان جریان و خطوط هم‌پتانسیل ۱۳
- شکل ۳-۲: مقادیر مقاومت‌ویژه و رسانندگی الکتریکی برخی از سنگ‌ها و کانی‌های متداول ۱۴
- شکل ۴-۲: نمایش شماتیک تاثیر جنس سنگ و هندسه منافذ و پیچیدگی‌های مسیر عبور جریان بر فاکتور سازند و رسانندگی ۱۵
- شکل ۵-۲: الف: تاثیر غلظت نمک‌های محلول موجود در سنگ بر رسانندگی ۱۶
- شکل ۶-۲: نمایش شماتیک توزیع خطوط جریان و خطوط هم‌پتانسیل در یک مقطع سطحی که یک دایک قائم در آن وجود دارد ۱۶
- شکل ۷-۲: تاثیر سولفید موجود در سنگ بر رسانندگی، مربع به صورت رگه‌ای و دایره به صورت پراکنده در سنگ میزبان ۱۷
- شکل ۸-۲: نمایش شماتیک آرایش‌های متداول مورد استفاده در برداشت‌های ژئوالکتریک ۱۸
- شکل ۹-۲: آرایه‌های الکتروودی متداول فاکتور هندسی مربوط به آن‌ها در مطالعات مقاومت ویژه ۱۹
- شکل ۱۰-۲: اندازه‌گیری IP در روش حوزه فرکانس که در دو فرکانس مختلف انجام می‌شود و اختلاف فاز به دست آمده ۲۳
- شکل ۱۱-۲: اندازه‌گیری IP در روش حوزه زمان ۲۵
- شکل ۱۲-۲: قطبش الکتروودی، قطبش دانه رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است ۲۸

- شکل ۲-۱۳: چگونگی گسترش قطبش القایی غشایی ۳۰
- شکل ۲-۱۴: نمایش شماتیک بارپذیری برخی کانی‌ها ۳۱
- شکل ۲-۱۵: مطالعه موردی یک ذخیره سرب و روی و نقره در کانادا با استفاده از آرایش قطبی-دوقطبی ۳۲
- شکل ۲-۱۶: نمایش شماتیک پتانسیل الکتریکی خودزا با منشا الکتروشیمیایی و بی‌هنجاری حاصل از آن ۳۴
- شکل ۲-۱۷: نمای کلی از یک شبکه برداشت دوقطبی-دوقطبی ۳۵
- شکل ۲-۱۸: نتیجه مدل‌سازی بر روی داده‌هایی که با آرایه قطبی-دوقطبی با اندازه سلول‌های متفاوت ۴۰
- شکل ۳-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۴۷
- شکل ۳-۲: تصویر ماهواره ای منطقه و محدوده مورد مطالعه که پروفیل‌های برداشت نیز روی آن مشخص شده‌اند ۴۸
- شکل ۳-۳: موقعیت منطقه اکتشافی در نقشه زمین‌شناسی چهارگنبد ۵۴
- شکل ۳-۴: نمایش شماتیک یک ذخیره پرفیری و رابطه آن با آلتراسیون‌ها ۵۵
- شکل ۴-۱: آلتراسیون‌های آرژیلیک و فلیک به رنگ صورتی تا قرمز (مربع قرمز) و آلتراسیون پروپیلیتیک به رنگ سبز و خطوط برداشت که بر روی اندیس قرار دارند ۶۰
- شکل ۴-۲: آلتراسیون‌های پروپیلیتیک که به صورت نقاط روشن دیده می‌شوند که آلتراسیون آرژیلیک را در بر گرفته‌اند (دایره قرمز) و خطوط برداشت که در شکل مشخص هستند ۶۱
- شکل ۴-۳: تصویر ماهواره‌ای پروفیل‌ها و موقعیت نقاط حفاری شده ۶۲
- شکل ۴-۵: موقعیت پروفیل‌ها بر روی نقشه توپوگرافی ۶۴

شکل ۴-۶ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 توسط نرم افزار

۶۶ Res2DInv

شکل ۴-۷ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 توسط نرم افزار

۶۷ DC2DInvRes

شکل ۴-۸ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 توسط نرم افزار

۶۸ ZondRes2D

شکل ۴-۹ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 توسط نرم افزار

۷۰ Res2DInv

شکل ۴-۱۰ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 توسط نرم افزار

۷۱ DC2DInvRes

شکل ۴-۱۱ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 توسط نرم افزار

۷۲ ZondRes2D

شکل ۴-۱۲ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار

۷۴ Res2DInv

شکل ۴-۱۳ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار

۷۵ DC2DInvRes

شکل ۴-۱۴ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار

۷۶ ZondRes2D

شکل ۴-۱۵ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار

۷۸

Res2DInv

شکل ۴-۱۶ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار

۷۹

DC2DInvRes

شکل ۴-۱۷ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار

۸۰

ZondRes2D

شکل ۴-۱۸ : تصویر ماهواره ای پروفیل AA` که توسط نرم افزار ایجاد شده است

۸۱

شکل ۴-۱۹ : مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل AA` ایجاد شده توسط نرم افزار RockWork

۸۴

شکل ۴-۲۰ : نمایش سه بعدی رسانندگی

۸۵

شکل ۴-۲۱ : نمایش سه بعدی پلاریزاسیون القایی

۸۶

شکل ۴-۲۲ : مقطع افقی در سطح ارتفاعی ۳۱۴۰ متر

شکل ۵-۱ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار

۸۹

Res2DInv که مناطق کانی سازی با منحنی بسته (سفید) نشان داده شده است

شکل ۵-۲ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار

۹۰

Res2DInv که مناطق کانی سازی با منحنی بسته (سفید) نشان داده شده است

شکل ۵-۳ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 و نقطه پیشنهادی

۹۲

حفاری و ادامه برداشت ژئوفیزیکی

شکل ۴-۵ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 و نقطه پیشنهادی حفاری و ادامه برداشت ژئوفیزیکی

۹۳

شکل پ-۴-۶: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B1

۹۶

شکل پ-۴-۶: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B1

۹۶

شکل پ-۴-۹: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B2

۹۷

شکل پ-۴-۹: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B2

۹۷

شکل پ-۴-۱۲: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B3

۹۸

شکل پ-۴-۱۲: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B3

۹۸

شکل پ-۴-۱۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B4

۹۹

شکل پ-۴-۱۵: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B4

۹۹

فهرست جدول ها

جدول ۱-۲ : میزان پتانسیل خودزا و عوامل زمین شناسی ایجاد کننده آن

۳۵

جدول ۱-۳ : مختصات چهار گوشه محدوده مورد مطالعه در زون ۴۰

۴۸

فصل اول: کلیات

تکامل تمدن بشری بر پایه وجود فلزات پایه بوده و چرخ تولید آنها را مواد انرژی‌زایی همچون نفت، گاز، زغال‌سنگ و اورانیوم به حرکت در می‌آورند؛ که همگی از زمین استحصال می‌شوند. از آنجایی که منابع سطحی به دلیل روش‌های ساده اکتشاف به بهره‌برداری رسیدند؛ برای تداوم تکامل، به کارگیری روش‌های جدیدتر برای رسیدن به منابع عمیق‌تر زیرزمینی ضروری است. امروزه صرفاً با به کارگیری اطلاعات زمین-شناسی سطحی، نمی‌توان به منابع مدفون دست یافت؛ بلکه باید از روش‌های مکمل مانند ژئوفیزیک اکتشافی نیز بهره برد. این روش‌ها ارزان و نسبتاً قابل اعتماد هستند [عرب امیری و فتحیان پور، ۱۳۷۹].

اکتشافات معدنی به طور کلی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شوند. به روش‌هایی که به طور مستقیم با ماده معدنی در ارتباط می‌باشند، روش مستقیم، مانند روش حفاری و به روش‌هایی که به طور غیرمستقیم و بر اساس شواهد و اندازه‌گیری‌ها به اکتشاف ماده معدنی می‌پردازند، مانند روش‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیک، روش غیرمستقیم می‌گویند [نوروزی، ۱۳۹۰].

به دلیل ریسک و هزینه بالا در روش‌های مستقیم، ابتدا باید ماده معدنی به روش‌های غیرمستقیم مورد ردیابی قرار گیرد و پس از اطمینان از منطقه کانی‌زایی به حفاری و مطالعه مستقیم کانسار پرداخت. از این‌رو روش‌های غیرمستقیم روز به‌روز در حال گسترش و پیشرفت می‌باشند. مراحل اکتشافی به صورت مرتب و مداوم صورت می‌گیرند، تا بتوان با کمترین هزینه و زمان به هدف نهایی (اکتشاف کانسار) دست یافت. بنابراین همیشه باید پروژه‌های اکتشافی طبق برنامه از پیش تعیین شده و دقیقی صورت گیرند. مراحل یک برنامه اکتشافی کارآمد می‌تواند مطابق زیر باشد:

ابتدای امر، با بررسی نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی، اطلاعات دورسنجی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای، مناطق مستعد کانی‌سازی شناسایی می‌شود. سپس مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیکی به صورت کلی و ناحیه‌ای صورت می‌گیرد؛ تا یک ناحیه چندین کیلومتر مربعی به مناطق امیدبخش چند هکتاری تبدیل

شود. حال برای مطالعات دقیق تر بر روی مناطق امیدبخش، به روش های دقیق تری نیاز است. در این مرحله با استفاده از شبکه های برداشت منظم داده های ژئوشیمی و ژئوفیزیک زمینی به اکتشاف مناطق کانی زایی پرداخته می شود. انتخاب صحیح روش ژئوفیزیکی بستگی به مشخصات فیزیکی ماده معدنی مورد تجسس و مشخصات منطقه مورد مطالعه دارد. زیرا هر روش ژئوفیزیکی برای بررسی یک خاصیت فیزیکی ابداع شده است. به عنوان مثال برای بررسی مواد معدنی با چگالی زیاد مانند کرومیت از روش گرانی سنجی استفاده می شود. در انتها با استفاده از اطلاعات به دست آمده از روش های مورد نظر در تفسیر و همچنین تصویرسازی و تلفیق آنها در محیط نرم افزارهای پیشرفته (مانند GIS) می توان اطلاعات جامع و کامل منطقه را به دست آورد. برای بررسی و مطالعات دقیق ماده معدنی، چند نقطه حفاری پیشنهاد می شود. در صورتی که این نقاط تایید کننده اطلاعات اکتشافی باشند، شبکه منظم حفاری برای بدست آوردن اطلاعات کامل از جمله شکل، تیپ، ژنز، میزان ذخیره، عیار و ... برنامه ریزی می شود.

۱-۲ مروری بر سوابق بکارگیری روش های دورسنجی و ژئوالکتریک در کاوش های معدنی

نقطه آغاز علم دورسنجی مدرن را می توان از زمان توسعه پرواز دانست. در سال ۱۸۵۸، اولین عکس های هوایی توسط گاسپار فیلیکس تورناکون از فراز شهر پاریس به وسیله یک بالون تهیه شد. اما جنگ جهانی دوم، برای عکس برداری هوایی به همراه داشت؛ در این زمان بود که پیشرفت های مهمی در صنعت عکس برداری حاصل شد و استفاده از فیلم های حساس مادون قرمز رایج شد. در سال ۱۹۷۲ اولین سری ماهواره های لندست با دوربین و سنجنده های RBV، MSS و TM در چهار و هفت باند توسط ایالات متحده در مدار زمین قرار گرفته و تصاویر حاصل از آن در اختیار هزاران محقق قرار داده شد. از این مرحله که تصویر برداری از حالت آنالوگ خارج و به صورت رقومی درآمد، دریچه ای جدید برای پردازش تصاویر و در نهایت تعبیر و تفسیر آنها به روی بشر گشوده شد [ازبیری و مجد، ۱۳۸۸]. ماهواره Terra (سنجنده ASTER)، در سال ۱۹۹۸ توسط ناسا و با همکاری کشور ژاپن به فضا پرتاب شد. این ماهواره مرکب از سه سنجنده در

سیستم‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز طول موج کوتاه و مادون قرمز حرارتی است. سنجنده ASTER دارای ۱۴ باند که دامنه طول موجی ۰/۵۲ تا ۱۱/۶۸ میکرومتر را با سه محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک (باندهای ۱ تا ۳)، ۶ باند مادون قرمز طول موج کوتاه (باندهای ۴ تا ۹) و ۵ باند طیفی مادون قرمز حرارتی (باندهای ۱۰ تا ۱۴) پوشش می‌دهد [علیزاده ربیعی، ۱۳۸۰]. در ایران نیز سابقه تهیه عکس‌های هوایی سراسری از ایران به دهه ۱۳۴۰ باز می‌گردد. در کشور ما اولین فعالیت متمرکز برای وارد شدن در حوزه دورسنجی در سال ۱۳۵۳ به دنبال پرتاب اولین ماهواره منابع زمینی با تأسیس دفتر جمع‌آوری اطلاعات ماهواره‌ای در سازمان برنامه و بودجه صورت گرفت که پس از مدتی دفتر مذکور به مرکز سنجش از دور تغییر نام داد. از کارهای انجام شده می‌توان به شناسایی دگرسانی آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته با استفاده باندهای SWIR سنجنده استر در منطقه هلاک آباد خراسان رضوی [قورچی روکی و همکاران، ۱۳۸۹]، بررسی زیست محیطی دپوهای زغالسنگ و باطله‌های زغالشویی البرز شرقی با استفاده از فناوری سنجش از دور [رضایی و آقاجانی، ۱۳۹۰]، پتانسیل‌یابی مواد معدنی با فن سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ موردی نقشه‌زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه [خوشبازان و رستمی، ۱۳۹۴] و بارزسازی دگرسانی‌های گرمایی با استفاده از مطالعات سنجش از دور و زمین‌شناسی جهت اکتشاف کانسار مس مولیبدن پرفیری در منطقه کوهپایه [برک و همکاران، ۱۳۹۵] نام برد.

برداشت‌های الکتریکی روش‌های متنوعی دارد، تنوع این روش‌ها امکان کاربرد آن‌ها را در مطالعات گوناگون مانند اکتشاف معدن، هیدروژئولوژی، ژئوتکنیک، زیست‌محیطی و مهندسی فراهم ساخته است. بعضی از این روش‌ها قدمت زیادی در مطالعه‌ی سنگ‌های زیر سطحی زمین دارند. استفاده عملی از میدان الکتریکی برای تعیین مقاومت‌ویژه زمین برای اولین بار در فرانسه و به سال ۱۹۱۲ میلادی به فکر کنراد شلومبرژه خطور کرد [Mikhail, 1994]؛ اگرچه قبل از او افراد دیگری نیز در این زمینه تلاش کرده بودند. در آمریکا تقریباً به طور هم زمان ونر و افراد دیگری اولین مطالعات الکتریکی را انجام دادند. پدیده

پلاریزاسیون القایی^۱ (IP) اولین بار توسط کنراد شلومبرژه کشف شد و به طور گسترده برای اکتشاف ذخایر سولفیدی به کار گرفته شد [Mostafaie et al., 2009]. در ایران از سال ۱۳۴۲ شمسی از روش‌های الکتریکی به ویژه مقاومت‌ویژه در مقیاس وسیعی برای مطالعات هیدروژئولوژی استفاده شد و به تدریج جای خود را در مطالعات معدنی نیز باز کرد. به طور مثال استفاده از روش ژئوالکتریک (مقاومت‌ویژه) در سنجش آلودگی آب‌های زیرزمینی در یک محیط ساحلی [Reinhard et al., 1994]، اکتشاف ژئوفیزیکی کانی سازی مس-طلا پورفیری ماهرآباد شرق ایران [ملک‌زاده شفارودی و همکاران، ۱۳۸۸]، اکتشاف ژئوفیزیکی کانسار مس خونیک در خراسان جنوبی با استفاده از روش‌های ژئوالکتریک مقاومت‌ویژه و IP [مصطفایی و رمضی، ۱۳۹۰]، شناسایی ذخایر آب کارستی با استفاده از پروفیل زنی مقاومت‌ویژه دره تپال شاهرود [شریفی و همکاران، ۱۳۹۱]، اکتشاف مس در اندیس معدنی قلعه گنج [شمس‌الدینی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲] و استفاده از روش‌های مقاومت‌ویژه و IP برای اکتشاف کانی زایی مس در خضرآباد یزد [لطیف‌کار و همکاران، ۱۳۹۳].

کانی سازی مس در چهارگنبد، در سال ۱۳۳۸ کشف و عملیات اکتشافی در آن توسط شرکت کل معادن در سال ۱۳۴۲ آغاز شد. در سال ۱۳۴۵ پی جویی‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و تهیه نقشه زمین شناسی دقیق در مقیاس ۱:۲۵۰۰ و ۱:۵۰۰۰ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد. در سال ۱۳۴۶ نیز مطالعات مفصلی از طرف یوگسلاوها در رابطه با مسائل معدنی، زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی در ناحیه کرمان انجام شد؛ که شامل چهارگنبد نیز می‌شد [خویی و همکاران، ۱۳۷۸]. نتایج این بررسی‌ها در گزارش شماره ۱۶ سال ۱۳۴۷ (گزارش تفصیلی و دقیق) و گزارش شماره ۱۴ سال ۱۳۴۷ (گزارش کلی) سازمان زمین شناسی کشور آمده است.

¹ Induced Polarization

در سال ۱۳۸۵ اکتشافات مقدماتی (پردازش داده‌های ماهواره‌ای تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ و نمونه برداری ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، کانی سنگین) در محدوده‌ای به وسعت ۳۰ کیلومتر مربع توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام گردید و یک زون در منطقه بلبلی و چند زون دیگر در منطقه تخته بنه به عنوان مناسب‌ترین نقاط حاوی کانی سازی فلزی (عمدتا مس و طلا) برای اکتشافات بعدی پیشنهاد شد. به دنبال آن در سال ۱۳۸۷ در منطقه مطالعات اکتشاف نیمه تفصیلی و تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ ، نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ ، نمونه برداری سیستماتیک خاک و سنگ، حفر ترانشه و نمونه برداری و در نهایت برداشت سیستماتیک ژئوفیزیکی، به روش مقاومت ویژه و IP انجام شد و با تلفیق نتایج حاصل از اکتشافات مذکور، شش گمانه پیش آهنگ برای تعیین کانی سازی در عمق پیشنهاد گردید [شرکت مهندسين مشاور در ساپرا دازه، ۱۳۸۹].

۱-۳ ضرورت انجام تحقیق

مواد معدنی ، زیر بنای اقتصاد و صنعت هر جامعه را تشکیل می‌دهد. بشر از همان آغاز آفرینش خود و در طول تاریخ ، بر حسب نیازمندی‌ها و شناخت، از مواد معدنی استفاده کرده است . اکنون نیز انسان ، از تمام مواد معدنی به حالت وشيوه‌های گوناگون بهره‌برداری می‌نماید ، به بیانی دیگر همین مواد معدنی هستند که پایه و اساس تمدن را تشکیل می‌دهند. باتوجه به نقش مواد معدنی در تامین نیازهای اولیه صنایع مختلف، جستجوی آنها با روشهای کارآمد ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که جمعیت انسان‌ها در حال افزایش است و میزان مواد معدنی هم پیوسته افزایش می‌یابد، نیاز به علم معدن کاری بیشتر احساس و درپی این نیاز مطالعات در این زمینه گسترش یافته و این شاخه از علم رشد فزاینده‌ای داشته است.

محدوده مورد مطالعه در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب غرب شهرستان بردسیر واقع شده است. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۲۹° و ۴۴' عرض شمالی و ۵۶° و ۲۴' طول شرقی در ۳ کیلومتری شمال غرب منطقه

باب زنگوییه واقع شده است. فاصله این محدوده تا کرمان، مرکز استان، حدود ۹۰ کیلومتر است. اصلی ترین راه دسترسی به منطقه جاده کرمان-بردسیر است.

محدوده مورد مطالعه در قسمت شمالی چهارگوش زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان [Geological survey of Iran, 1981] و قسمت غربی ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد [Geological survey of Iran, 1995] قرار گرفته است. همان گونه که از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه می توان مشاهده نمود، سن واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه، مشابه سایر بخش های زون ارومیه- دختر، ائوسن است. وجود کانی سازی مس در محدوده مورد مطالعه به اثبات رسیده؛ اما برای اکتشاف مناطق کانی سازی مس در این محدوده، روش مؤثر، سریع و ارزان، استفاده از روش های ژئوفیزیکی IP و مقاومت ویژه است. نیاز روزافزون صنایع به مس در دنیا و ایران، ضرورت انجام اکتشافات مس در منطقه به منظور استخراج و استحصال نهایی مس را توجیه می نماید.

۴-۱ روش انجام تحقیق

داده های سنجش از دور از پتانسیل بالایی برای شناسایی مناطق آلتزه شده مربوط به توده های کانساری برخوردار هستند؛ داده های ASTER نسبت به داده های TM دارای قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالاتری می باشند؛ به همین دلیل برای شناسایی و نقشه برداری دقیق آلتراسیون های محدوده مورد مطالعه از داده های سنجنده ASTER استفاده شده و سپس محدوده با پتانسیل بالا برای انجام عملیات ژئوفیزیکی انتخاب گردید.

برداشت داده های IP و مقاومت ویژه به دلیل توانایی آرایش قطبی-دوقطبی که پوشش افقی نسبی خوبی دارد و سیگنال آن قوی تر است و به نوفه های تلوریک حساس نیست، با استفاده از آرایش مذکور به صورت رفت و برگشتی با فواصل الکترودی ۲۰ متر انجام شده است. هدف از این پژوهش، تعیین محدوده های

کانی‌سازی مس با وارون‌سازی داده‌های IP و مقاومت‌ویژه برداشت شده به کمک نرم‌افزارهای Res2DInv, ZondRes2D و DC2DInvRes است. لذا پس از برداشت‌های داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در این منطقه با آرایش قطبی-دوقطبی بر روی چهار پروفیل به موازی یک‌دیگر در راستای شمال شرق- جنوب غرب (در مجموع ۵۰۰ نقطه IP و مقاومت‌ویژه برداشت شده است)، مدل‌سازی داده‌ها (پیشرو و وارون) توسط نرم‌افزارهای مذکور انجام و نتایج مورد تفسیر قرار می‌گیرند. در انتها نتایج مدل‌سازی و تفسیر به دست آمده از اندازه‌گیری‌های انجام شده با استفاده از نتایج حاصله از حفاری مقایسه و صحت‌سنجی شده و دقت نتایج هر یک از مدل‌سازی‌ها و تفسیرهای صورت گرفته توسط هر یک از نرم‌افزارهای مذکور تعیین خواهد شد.

۵-۱ ساختار پایان نامه

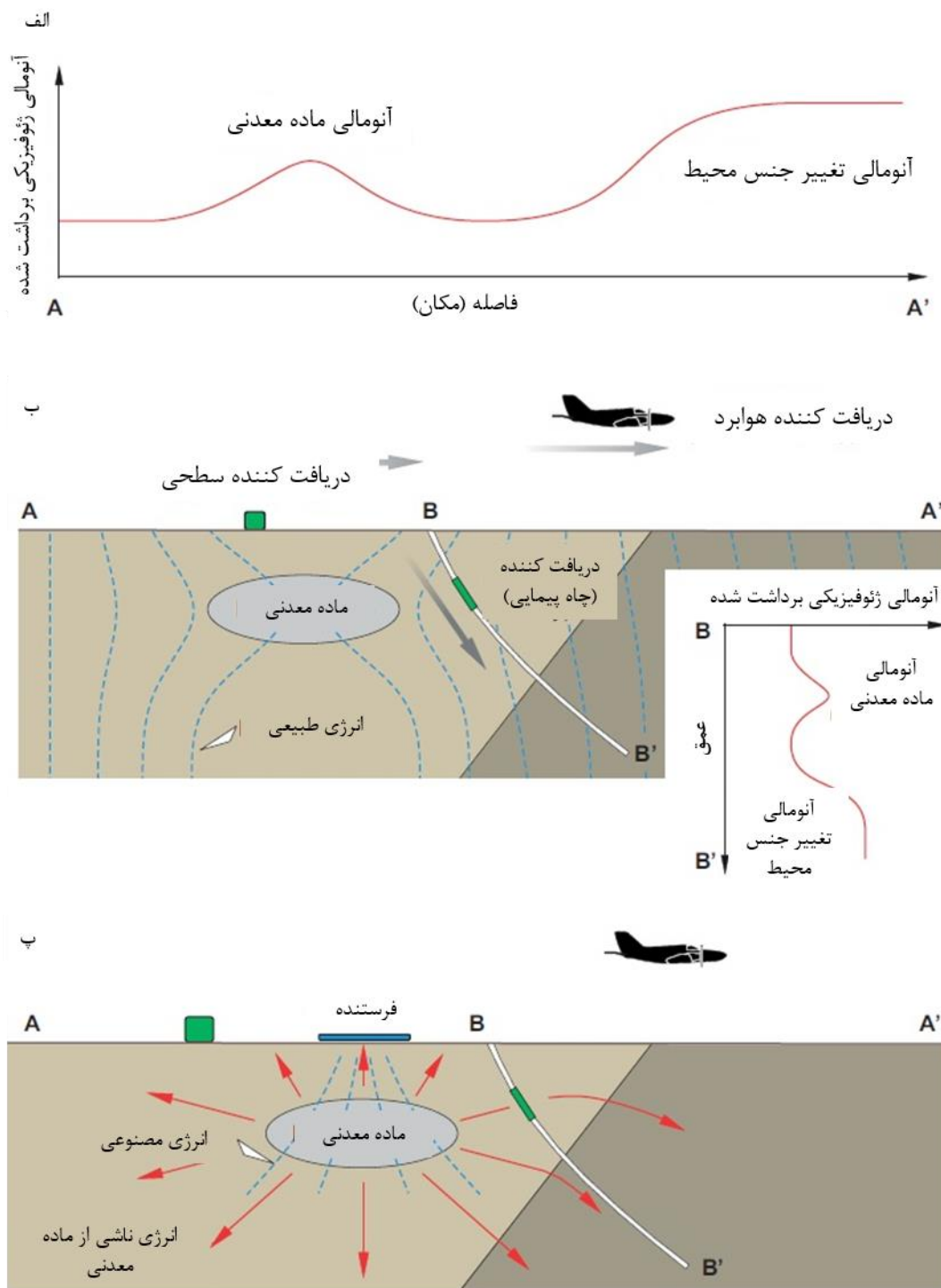
پایان‌نامه حاضر شامل پنج فصل می‌باشد؛ که فصل جاری به بیان مقدمه، مروری بر سوابق بکارگیری روش‌های ژئوفیزیکی مورد نظر در کاوش‌های معدنی، ضرورت و روش تحقیق می‌پردازد. در فصل دوم کلیاتی از روش‌های دورسنجی، مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی و برداشت‌های صحرایی بیان می‌شود. در فصل سوم زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن توضیح داده می‌شود. در فصل چهارم مناطق دارای پتانسیل به دست آمده از روش دورسنجی و مقاطع که توسط نرم‌افزارهای مدل‌سازی وارون از داده‌های صحرایی برداشت شده، به دست آمده‌اند مورد تفسیر قرار می‌گیرد و هم‌چنین تایید تفسیر مقاطع توسط حفاری‌های انجام شده که به ذخیره برخورد کرده‌اند. در فصل پنجم پیشنهاداتی در زمینه هرچه دقیق‌تر شدن نتایج آورده شده است.

فصل دوم: تئوری مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی (IP) و دور

سنجی

روش‌های ژئوفیزیکی بر اساس خواص فیزیکی زمین به روش‌های مختلف تقسیم می‌شوند؛ که می‌توان به مواردی مانند روش گرانی‌سنجی (خاصیت چگالی)، روش مغناطیس‌سنجی (خاصیت مغناطیسی)، روش- لرزه‌شناسی (خاصیت کشسانی) و ژئوالکتریک (خاصیت الکتریکی و رسانندگی) اشاره کرد. در این پژوهش به بخش الکتریکی آن پرداخته خواهد شد.

اکتشافات الکتریکی تنوع بسیاری دارند؛ که برخی از آنها از منابع انرژی الکتریکی طبیعی استفاده می‌کنند. مانند پتانسیل خودزا، جریان تلوریک و مگنتوتلوریک. برخی دیگر نیز نیاز به جریان و یا میدان الکتریکی مصنوعی دارند (شکل ۱-۲)؛ از جمله مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی (IP) [کلاگری، ۱۳۷۱ و نوروزی، ۱۳۹۲]. خصوصیات الکتریکی زیر سطح زمین را می‌توان به صورت الکتریکی و الکترومغناطیس مورد بررسی قرار داد. روش‌های الکتریکی بر مبنای شارش جریان مستقیم و متناوب در زمین استوار می‌باشند. در حالی که در روش‌های الکترومغناطیسی از پدیده القای الکترومغناطیسی و خصوصیات میدان‌های الکترومغناطیسی تبعیت می‌کنند [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰]. معمولاً روش‌های الکتریکی برای اکتشافات زیرسطحی با عمق کم مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ که از آن جمله می‌توان به پی‌جویی کانی‌های فلزی و هادی، آبیایی، کارهای مهندسی عمران (تعیین سنگ بستر) و ژئوترمال اشاره کرد [کلاگری، ۱۳۷۱].



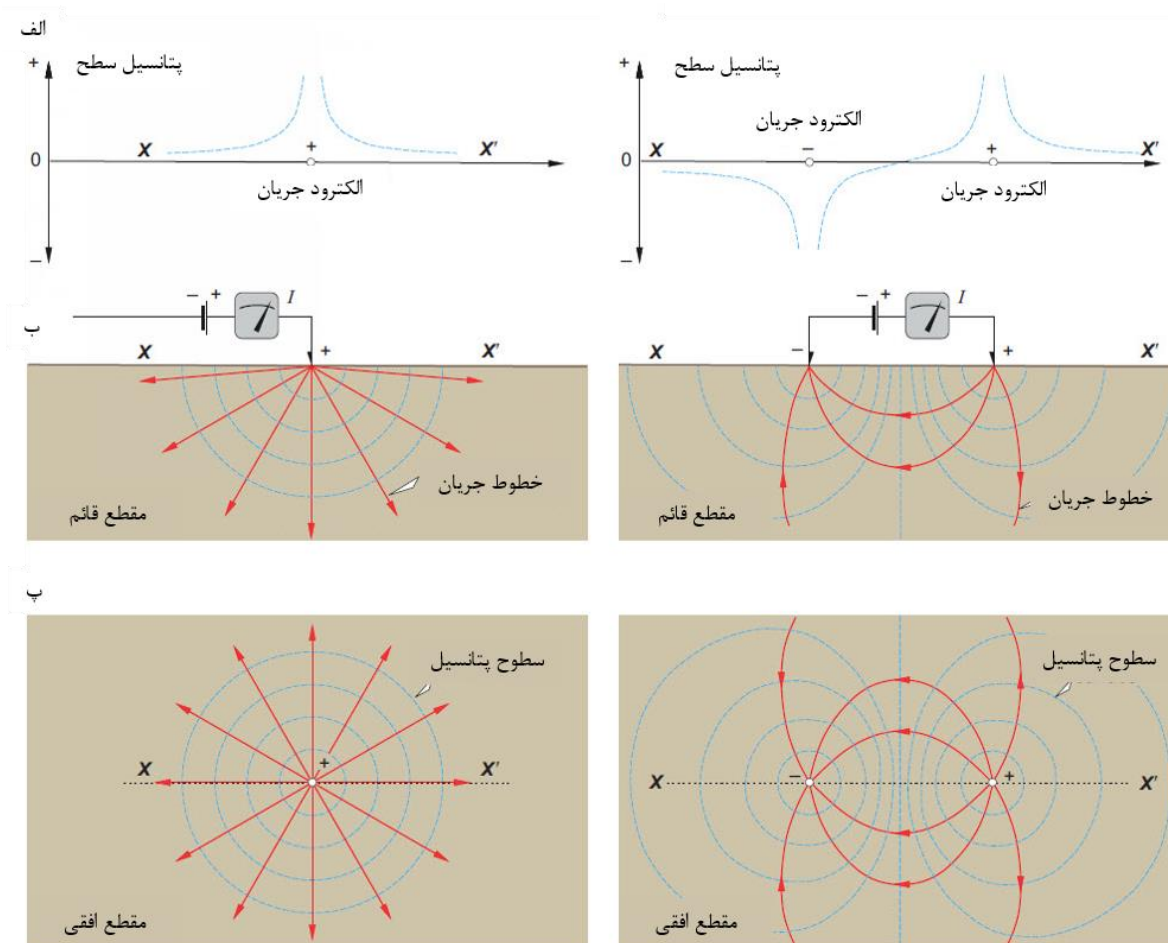
شکل ۱-۲: نمایش شماتیک برداشت‌های ژئوفیزیکی در محیط با جنس سنگ بستر متفاوت الف: نمودار نشان دهنده ناهنجاری بر حسب فاصله، ب: برداشت با استفاده از جریان‌های طبیعی زمین که در آن گیرنده می‌تواند به صورت زمینی، چاه پیمایی و هوابرد استفاده شود، پ: برداشت با استفاده از ایجاد جریان‌های مصنوعی توسط که در آن فرستنده و گیرنده می‌توانند به صورت زمینی، چاه پیمایی و هوابرد استفاده شوند. [Dentith and Mudge, 2014]

۲-۲ مقاومت ویژه

روش مقاومت ویژه از سال ۱۹۲۰ میلادی بوسیله برادران شلومبرژه آغاز شد [Loke, 2004]. در اواخر دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی به طور گسترده‌ای در جستجوی فلزات پایه و سولفیدها به کار برده شد [Paterson and Hallof, 1991]. روش‌های الکتریکی در اوایل قرن بیستم میلادی گسترش پیدا کردند؛ اما در دهه ۱۹۷۰ به دلیل پیشرفت و دسترسی آسان به کامپیوتر برای پردازش و تفسیر داده‌ها این گستردگی افزایش بیشتری یافت [Reynolds, 1997]. هدف از برداشت‌های الکتریک، تعیین توزیع زیرسطحی مقاومت ویژه به وسیله اندازه‌گیری‌های زیرسطحی و به دنبال آن تخمین مقاومت ویژه واقعی توده‌های زیرسطحی است [Loke, 2000].

۲-۲-۱- اصول مقاومت ویژه

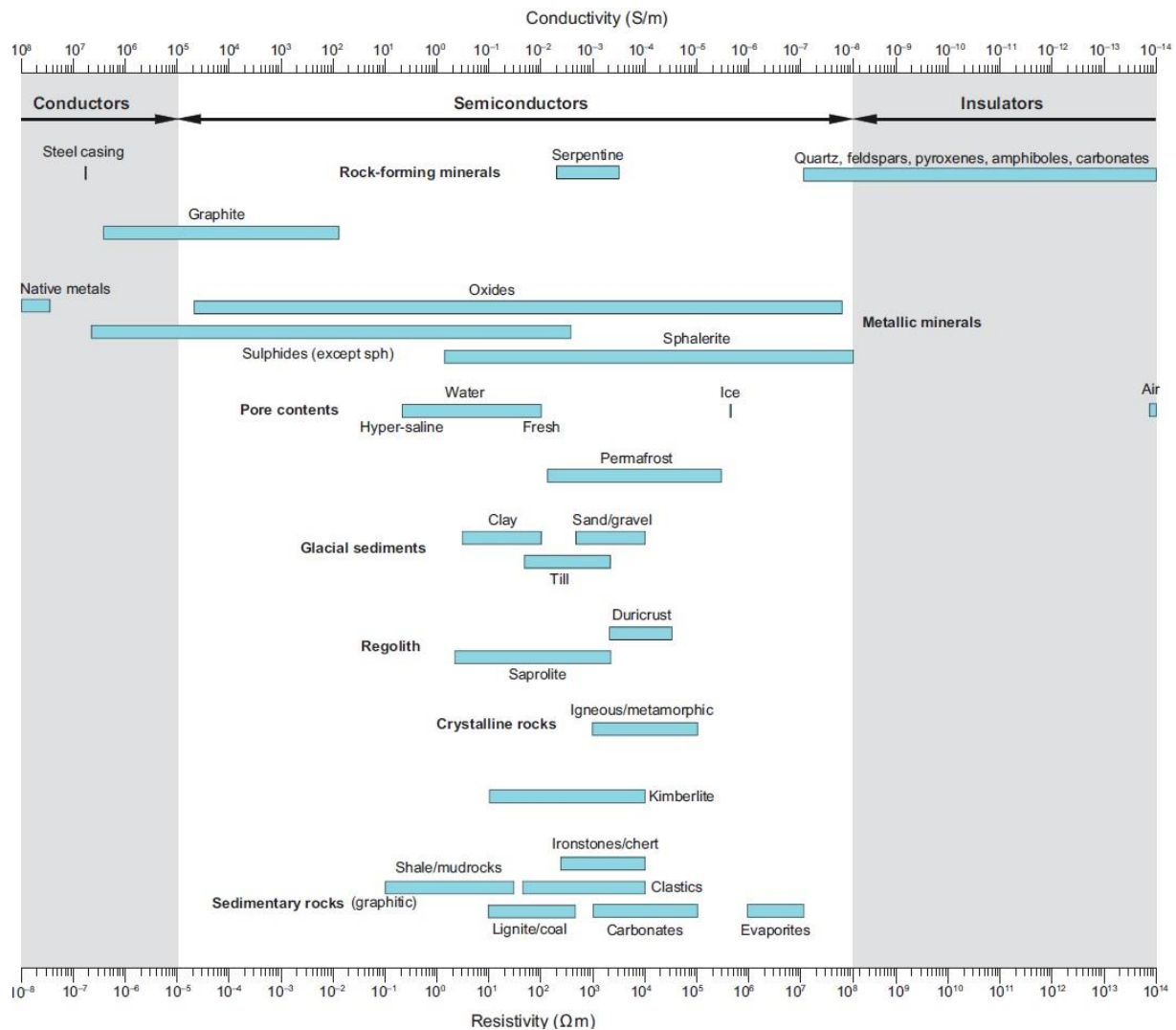
در روش مقاومت ویژه جریان الکتریکی مستقیم و یا جریان متناوب با فرکانس بسیار کم مورد استفاده می‌گیرد. مقاومت سنگ‌ها با سنگ‌شناسی آنها رابطه مخصوصی دارد. اگر جریان الکتریکی از دو الکتروود جریان به زمین تزریق شود، جریان معمولاً از یکی الکتروودها به دیگری جریان پیدا می‌کند. خطوط فرضی هم پتانسیل عمود بر خطوط جریان می‌باشند. ناهمگنی‌های جانبی در مقاومت ویژه و هدایت الکتریکی باعث انحراف خطوط جریان می‌شود؛ که در پی آن سطوح هم پتانسیل دچار بی‌نظمی می‌شوند؛ شکل (۲-۲)؛ که آثار آن به سطح زمین منتقل می‌شوند، این بی‌نظمی‌ها را می‌توان توسط الکتروودهای پتانسیل اندازه گرفت [کلاگری، ۱۳۷۱].



شکل ۲-۲: نمایش شماتیک میدان جریان و خطوط هم‌پتانسیل الف: حاصل از یک تک قطبی در مقطع عمقی ب: حاصل از یک تک قطبی در مقطع سطحی پ: حاصل از یک دو قطبی در مقطع عمقی، ت: حاصل از یک دو قطبی در مقطع سطحی [Dentith and Mudge, 2014].

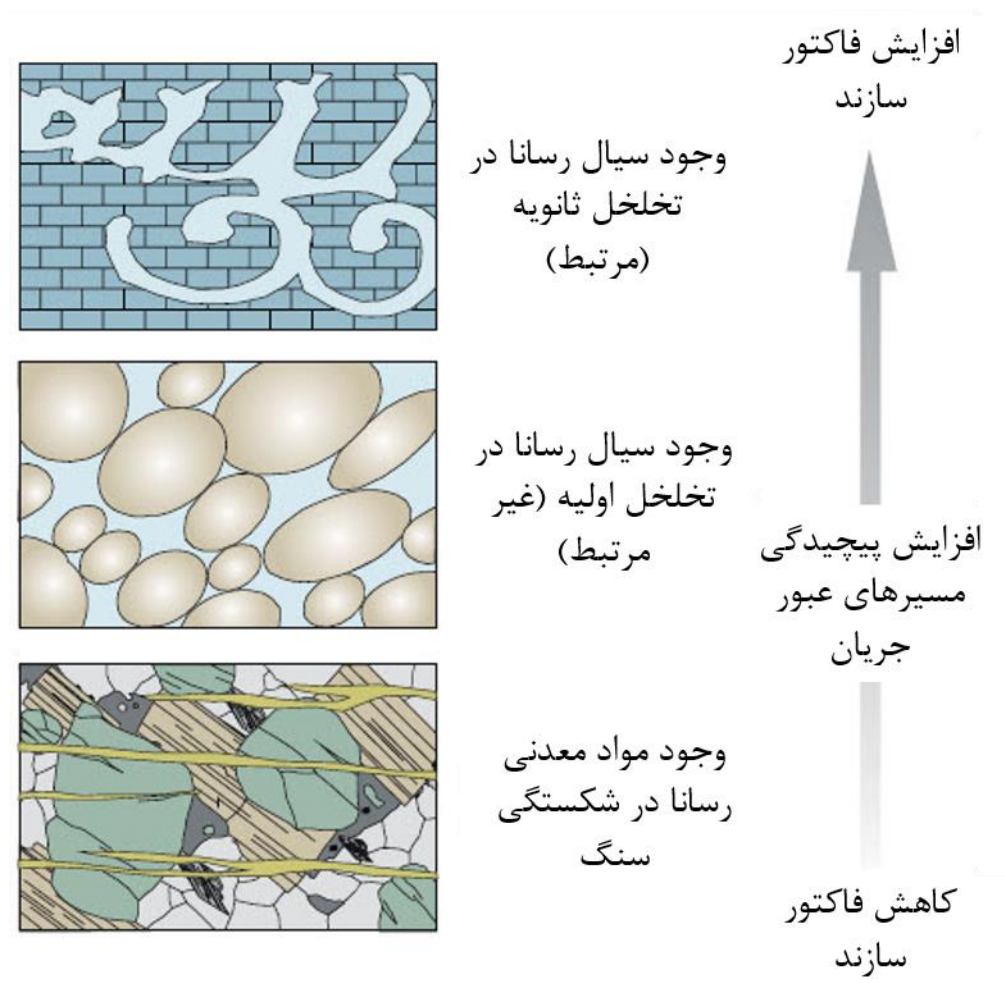
مهم‌ترین خصوصیات الکتریکی سنگ‌ها و کانی‌ها که در مطالعات ژئوالکتریکی از اهمیت بالایی برخوردارند شامل: مقاومت ویژه الکتریکی، هدایت ویژه الکتریکی (عکس مقاومت ویژه الکتریکی)، ثابت دی‌الکتریک و نفوذپذیری مغناطیسی می‌باشند. هدف اصلی برداشت‌های الکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین می‌باشد [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰؛ کلاگری، ۱۳۷۱]. گستره‌ی تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها بین $10^8 \times 1/6$ اهم‌متر تا 10^{16} اهم‌متر می‌باشد؛ که سنگ‌های آذرین معمولاً دارای بیشترین مقاومت ویژه و سنگ‌های رسوبی بسته به تخلخل، نوع و مقدار الکتروولیت موجود در خلل و فرج آنها می‌توانند مقاومت ویژه

کمتری داشته باشند [نوروزی، ۱۳۹۲]. سولفیدهای فلزی مقاومت ویژه کمتر از یک اهم متر دارند. باید توجه داشت که مقاومت ویژه یک کانسار منفرد می تواند تفاوت بالایی نسبت به بلورهای منفرد داشته باشد. وجود طبیعت کانسار فلزی نظیر توده های یا افشان بودن اهمیت بالایی دارد [Loke, 2004].



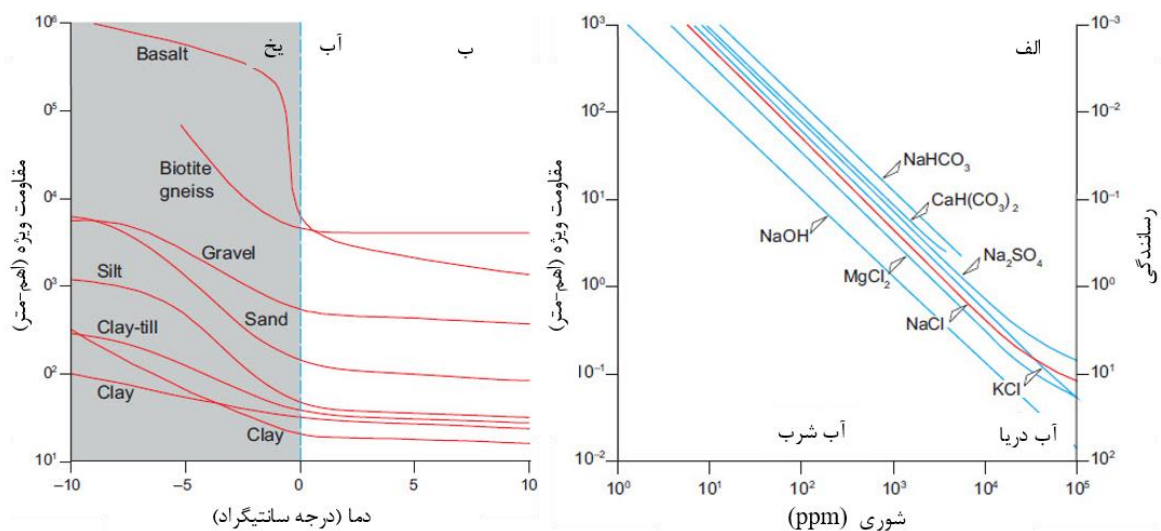
شکل ۲-۳: مقادیر مقاومت ویژه و رسانندگی الکتریکی برخی از سنگ ها و کانی های متداول [Scott et al, 1990].

جدا از آرایه الکترودی^۱ مورد استفاده در اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه با جریان مستقیم، دو روند اندازه‌گیری در مطالعات مقاومت‌ویژه وجود دارد. یکی زمانی که تغییرات مقاومت‌ویژه را در عمق بررسی می‌کنند؛ که این روش را گمانه‌زنی قائم (سونداژ) الکتریکی می‌نامند. روش دیگر دنبال کردن تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه در یک عمق نسبتاً ثابت است؛ که پروفیل‌زنی مقاومت‌ویژه می‌نامند. از تلفیق این دو روش نیز می‌توان برای تصویرسازی الکتریکی زمین استفاده کرد [انوروزی، ۱۳۹۲].

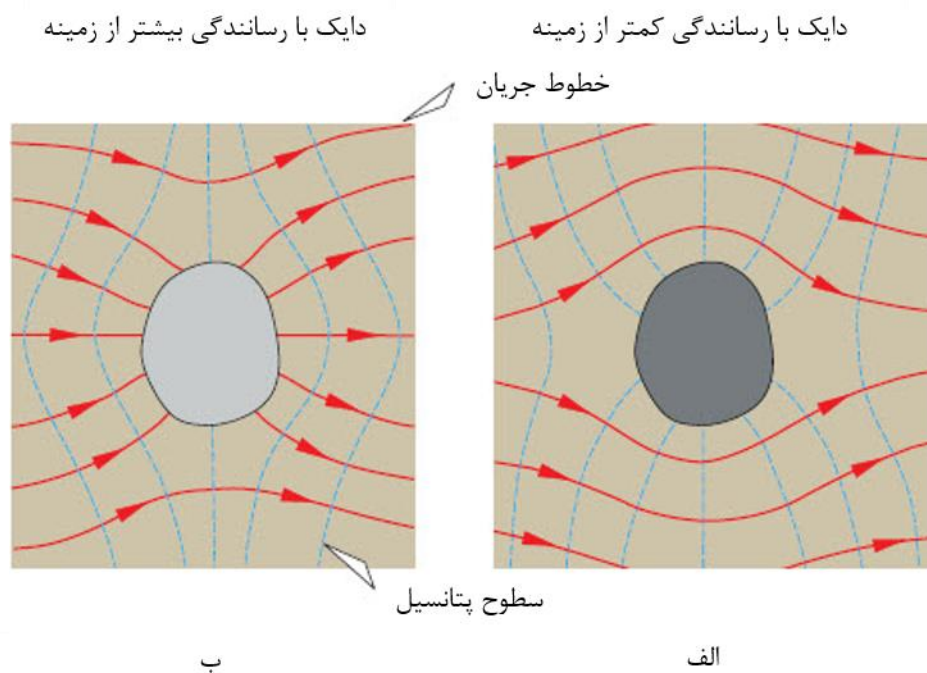


شکل ۲-۴: نمایش شماتیک تاثیر جنس سنگ و هندسه منافذ و پیچیدگی‌های مسیر عبور جریان بر فاکتور سازند و رسانندگی [Keller, 1988]

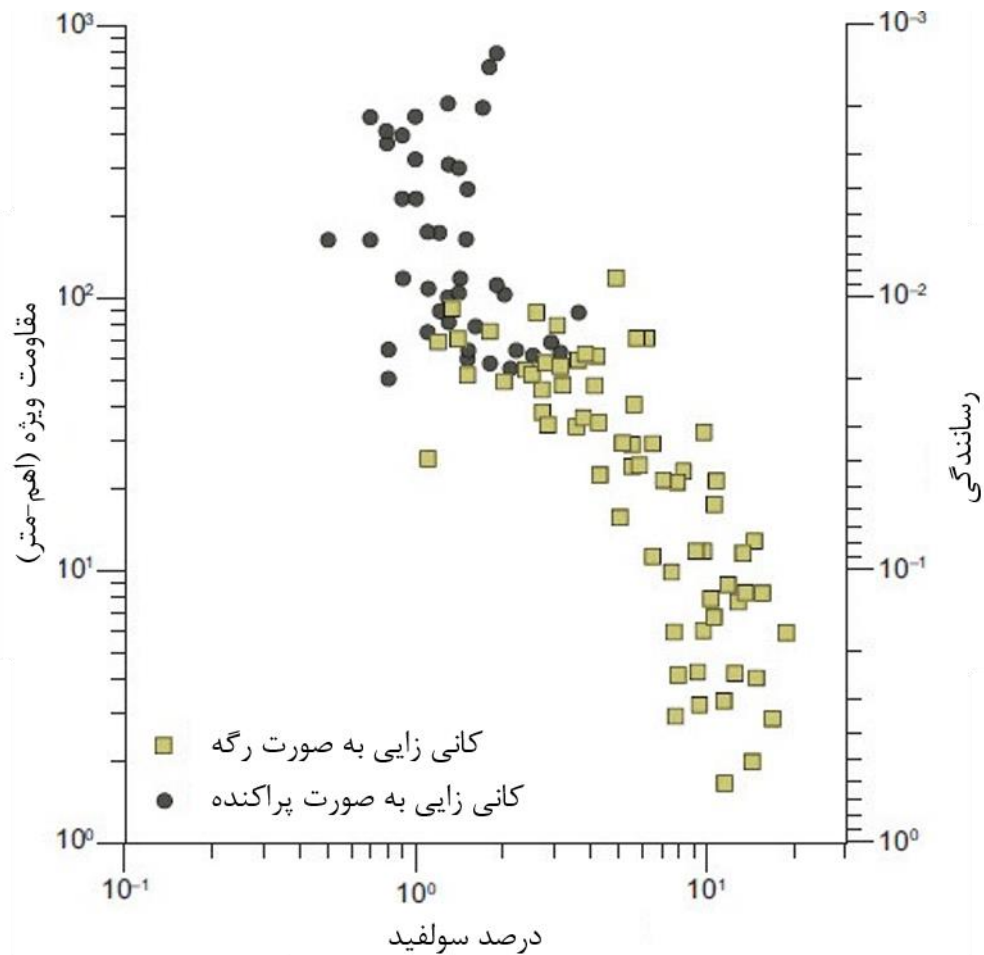
¹ Electrode array



شکل ۲-۵: الف: تاثیر غلظت نمک‌های محلول موجود در سنگ بر رسانندگی، ب: تاثیر دمای سنگ و آب محتوی آن بر رسانندگی [Beblo, 1982].



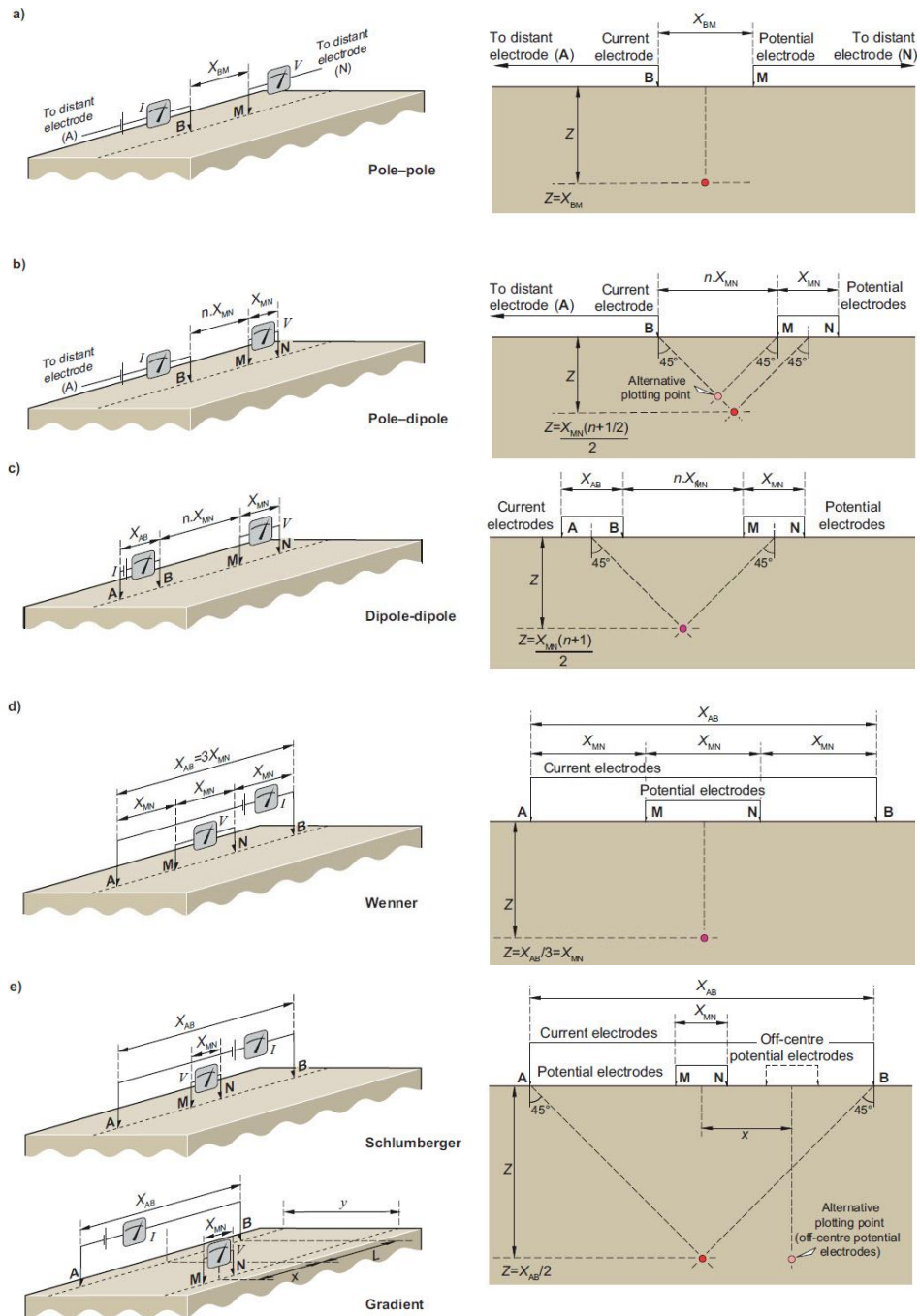
شکل ۲-۶: نمایش شماتیک توزیع خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل در یک مقطع سطحی که یک دایک قائم در آن وجود دارد. الف: رسانندگی دایک کمتر از زمینه است ب: رسانندگی دایک بیشتر از زمینه است [Dentith and Mudge, 2014].



شکل ۷-۲: تاثیر سولفید موجود در سنگ بر رسانندگی، مربع به صورت رگه‌ای و دایره به صورت پراکنده در سنگ میزبان
[Nelson and Van Voorhis, 1983]

۲-۲-۲- آرایش الکترودی

موقعیت هندسی قرارگیری الکترودها نسبت به هم را آرایه گویند. آرایه‌های الکترودی دارای تنوع زیاد می‌باشند؛ که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. انتخاب آرایه مناسب به فضای موجود برای گسترش آرایه مورد استفاده و سختی هر روش بستگی دارد [Reynolds, 1997] شکل (۲-۸) آرایه‌های الکترودی متداول را نشان می‌دهد. در اغلب آرایه‌ها همه الکترودها در یک امتداد قرار می‌گیرند. همچنین برای تسریع در برداشت از آرایه‌های متقارن و ساده‌تر استفاده می‌شود [انوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۲-۸: نمایش شماتیک آرایش‌های متداول مورد استفاده در برداشت‌های ژئوالکتریک [Dentith and Mudge, 2014]

معادله (۱-۲) معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایه الکترودی است. در زمین-های همسانگرد و همگن، مقاومت ویژه بدست آمده از این معادله، ثابت و مستقل از فاصله الکترودی و موقعیت الکترودها در سطح زمین است. در صورت وجود ناهمگنی‌های زیر سطحی، مقدار مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده با تغییر موقعیت الکترودها، تغییر می‌کند. در اینصورت، مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت ویژه ظاهری هستند [Mooney, 1980].

$$\rho_a = K \frac{V}{I} = \frac{2\pi}{\left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right\} I} V \quad (1-2)$$

که در آن V اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده دو الکترود M و N ، I شدت جریان ارسالی به درون زمین از طریق الکترودهای A و B و K فاکتور هندسی آرایه الکترودی است. متداول‌ترین آرایه‌های الکترودی مورد استفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه و چگونگی بدست آمدن ضریب هندسی برای هر آرایه در شکل (۲-۹) نشان داده شده‌اند.

آرایش الکترودی	فاکتور هندسی
قطبی-قطبی	$2\pi X_{BM}$
قطبی-دوقطبی	$2\pi n(n+1)X_{MN}$
دوقطبی-دوقطبی	$\pi n(n+1)(n+2)X_{MN}$
ونر	$2\pi X_{MN}$
شلومبرژه	$\pi \frac{(X_{AB}/2)^2}{X_{MN}}, X_{MN} \leq X_{AB}/20$
گرادیان	$2\pi \frac{L^2}{X_{MN}G}$ $G = \frac{(1-U)}{[V^2 + (1-U)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{(1+U)}{[V^2 + (1+U)^2]^{\frac{1}{2}}}}$ $U = x/L, V = y/L, L = X_{AB}/2$

شکل ۲-۹: آرایه‌های الکترودی متداول و ضریب (فاکتور) هندسی مربوط به آن‌ها در مطالعات مقاومت ویژه [Telford et al., 2014]

عوامل موثر در انتخاب آرایش الکترودی عبارتند از:

- ۱- نسبت سیگنال به نوفه هر چه بیشتر باشد تشخیص منابع زیرسطحی بهتر خواهد بود.
 - ۲- اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی برای دسترسی به دقت بالا باید به کمترین مقدار خود برسد؛ که این عامل با خارج کردن الکترودهای پتانسیل از مدار الکترودهای جریان قابل اجرا می‌باشد.
 - ۳- قدرت تفکیک برای شناسایی منابع مختلف آنومالی زیرسطحی باید بالا باشد، مخصوصاً در دو جهت باید تفکیک وجود داشته باشد، این عامل در انتخاب روش خیلی مهم است [Robinson and Corot, 1976].
- در این پژوهش از آرایه قطبی- دوقطبی استفاده شده است. با توجه به شکل (۲-۸) در این آرایه قطب فرستنده جریان (A) و دوقطبی پتانسیل (MN) در یک امتداد قرار دارند. در این آرایه معمولاً فواصل MN یکسان (مقدار a در شکل ۲-۸) و فاصله دو الکتروده B و M مضربی صحیح (n) از مقدار a انتخاب می‌شود. گام (n) از یک شروع می‌شود و با هر بار قرائت به آن اضافه می‌شود [نوروزی، ۱۳۹۲].
- تعداد گام‌ها حداکثر ده گام در نظر گرفته می‌شود. زیرا در گام‌های بالا، نسبت سیگنال به نوفه به شدت کم می‌شود [Zang and Luo, 1998]. با توجه به عوامل مذکور آرایش قطبی- دوقطبی نسبت به آرایش‌های دیگر کمترین اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی و بیشترین قدرت تفکیک را دارا می‌باشد. البته نسبت سیگنال به نوفه در این آرایش بالاترین نیست؛ اما با توجه به همه عوامل و مزایای موجود آرایش قطبی- دوقطبی از بهترین آرایش‌ها است [Robinson and Corot, 1976]. در روش IP از بین آرایه‌های الکترودی، آرایه قطبی- دوقطبی توصیه می‌شود؛ زیرا علاوه بر پوشش افقی و عمودی خوب، قدرت تفکیک بزرگتری را دارا می‌باشد [Doyle, 1990].

۲-۳ روش IP

نخستین بار در اواخر دهه ۱۹۴۰ روش IP برای اکتشاف توده‌های کانسنگی مخصوصا برای سولفیدهای پراکنده مورد استفاده قرار گرفت [Loke, 2012]. تا سال ۱۹۵۰ تمام اندازه‌گیری‌ها با جریان پیوسته (روش حوزه‌ی زمان) انجام گرفت. در سال ۱۹۵۰ اندازه‌گیری IP با جریان متناوب در فرکانس‌های مختلف (روش حوزه‌ی فرکانس) صورت گرفت [نوروزی، ۱۳۹۲].

روش IP روشی است که اغلب در اکتشافات فلزات پایه بکار گرفته می‌شود. در اکتشاف مس، روش‌های مقاومت‌ویژه و IP بسیار کارایی دارند. علاوه بر اینکه مقدار قطبش‌القایی بالا در شناسایی زون‌های سولفور از اهمیت بالایی برخوردار است. با مقایسه توام مقاطع مقاومت‌ویژه و IP می‌توان تا حدودی به نوع کانی‌زایی مس پی‌برد. به این گونه که وقتی مقدار IP بالا و مقاومت‌ویژه پایین باشد، کانسار از نوع اسکارن (دارای ضریب همبستگی منفی) و در صورتی که مقدار قطبش‌القایی بالا و مقاومت‌ویژه بالا (دارای ضریب همبستگی مثبت) است: کانسار از نوع پورفیری است [Sumner and Stewart, 1976].

۲-۳-۱- روش‌های اندازه‌گیری IP

اندازه‌گیری‌های IP را به کمک دو الکتروود جریان و دو الکتروود پتانسیل و همراه با برداشت‌های مقاومت-ویژه انجام می‌دهند. در این مطالعات از آرایه‌های دوقطبی-دوقطبی، مستطیلی و قطبی-دوقطبی بیشتر استفاده می‌کنند [نوروزی، ۱۳۹۲].

پدیده IP را می‌توان هم در حوزه‌ی زمان و هم در حوزه‌ی فرکانس برداشت نمود. اگر چه پدیده IP را می‌توان مشابه با تخلیه یک خازن (حوزه‌ی زمان) و یا تغییرات امپدانس یک مدار شامل یک مقاومت و یک خازن موازی با آن (حوزه‌ی فرکانس) دانست [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

۲-۳-۲- حوزه فرکانس

در این روش مقاومت ویژه ظاهری حداقل در دو فرکانس اندازه‌گیری می‌شود. فرکانس بالا معمولاً ده برابر فرکانس پایین‌تر است. یک واحد متداول در IP حوزه فرکانس، درصد اثر فرکانس یا PFE است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

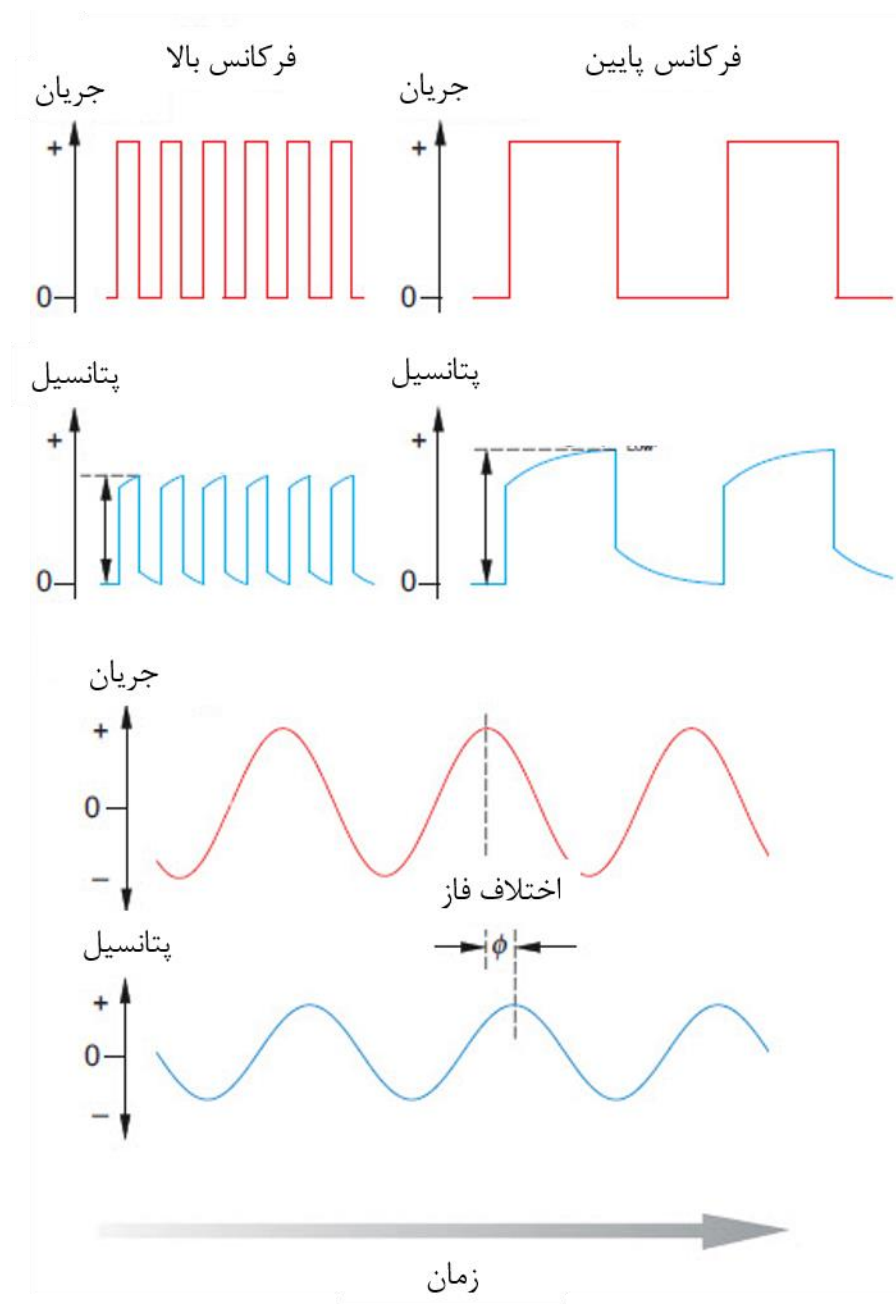
$$PFE = \frac{\rho(\omega_L) - \rho(\omega_H)}{\rho(\omega_H)} \cdot 100 \quad (۲-۲)$$

که در آن $\rho(\omega_L)$ مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس پایین و $\rho(\omega_H)$ مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس بالا می‌باشد. یکی دیگر از پارامترهای معمول که در حوزه فرکانس اندازه‌گیری می‌شود، فاکتور فلزی MF است؛ که توسط رابطه زیر تعریف می‌گردد [Loke, 2014]:

$$MF = \frac{\rho(\omega_L) - \rho(\omega_H)}{\rho(\omega_L) \cdot \rho(\omega_H)} \cdot 2\pi \cdot 10^5 \quad (۳-۲)$$

واحد فاکتور فلزی، زیمنس بر متر می‌باشد. مقدار مقاومت ویژه در فرکانس پایین همواره از مقدار آن در فرکانس بالا، بزرگتر است.

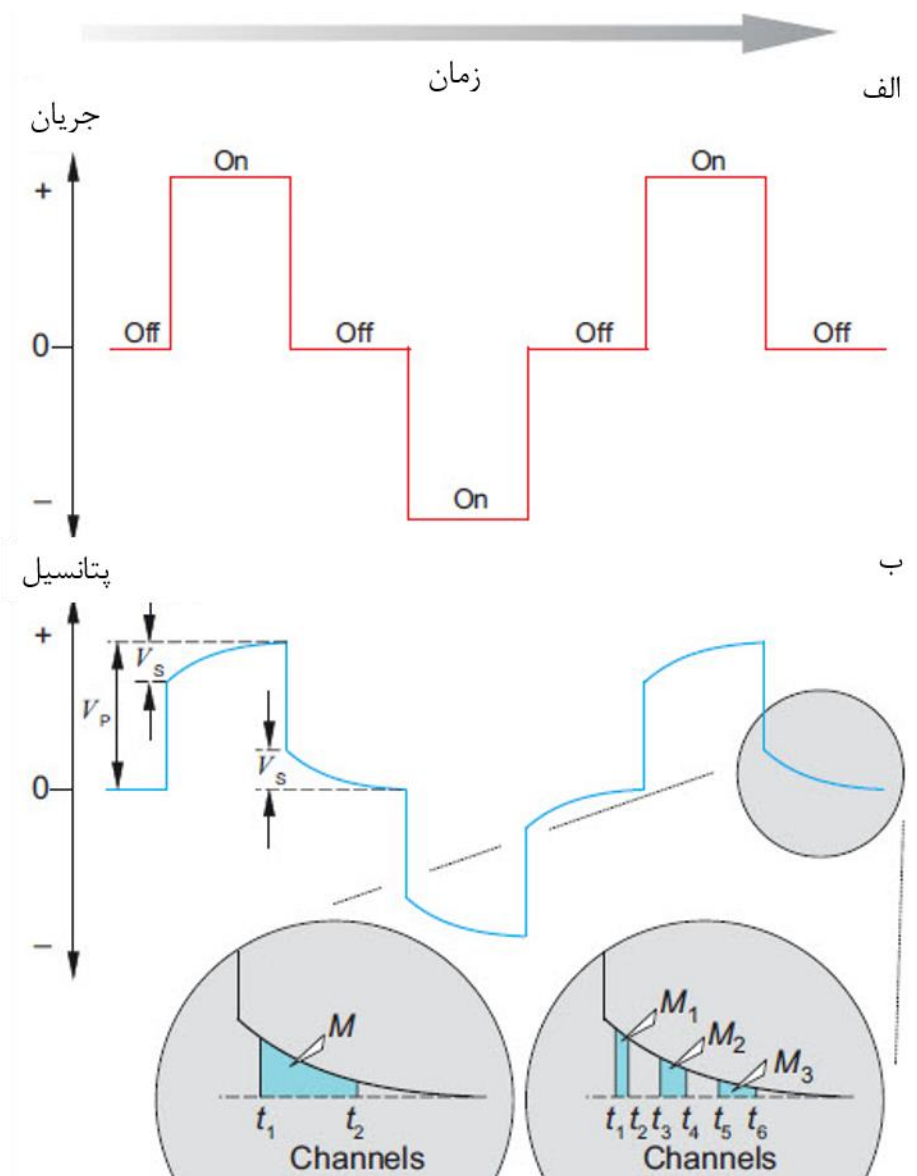
نوع دیگری از اندازه‌گیری‌های IP در حوزه فرکانس، زاویه فاز است. زاویه فاز میزان جابجایی فاز بین جریان خروجی از فرستنده و ولتاژ اندازه‌گیری شده است؛ که بر حسب میلی رادیان بیان می‌شود [Loke, 2014].



شکل ۲-۱۰: اندازه گیری IP در روش حوزه فرکانس که در دو فرکانس مختلف انجام می شود و اختلاف فاز به دست آمده [Pelton et al., 1978]

۲-۳-۳- حوزه‌ی زمان

هنگام اندازه‌گیری IP، جریان مستقیم (DC) طی مدت کوتاهی به زمین تزریق می‌شود. اگر پس از شارژ شدن زمین جریان را قطع کنند، ولتاژ اضافی (V_p) ایجاد شده بعد از زمان کوتاهی به مقدار صفر می‌رسد (شکل ۲-۱۱) [Reynolds, 1997]. پتانسیل حالت شارژ زمین (V_0) دو قسمت است: یکی پتانسیل حقیقی مربوط به جریان تزریق شده و دیگری ولتاژ اضافی که از اثر قطبش زمین ایجاد شده است. پس از قطع کردن جریان، ولتاژ زمین ابتدا به میزان V به صورت لحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند (شکل ۲-۱۱). در ادامه ولتاژ اضافی به صورت منحنی تخلیه می‌شود و به صفر می‌رسد. معمولاً اندازه‌گیری پتانسیل، روی منحنی زوال و در زمان کوتاهی پس از قطع جریان انجام می‌گیرد [انوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۲-۱۱: اندازه گیری IP در روش حوزه زمان، الف: منحنی نشان دهنده جریان متناوب تزریقی ب: منحنی تغییرات پتانسیل در حالت شارژ و تخلیه که می توان بازه زمانی (M) را به چند کانال کوچکتر ($M_1, M_2, \dots$) تقسیم کرد.

الف) قطبش پذیری^۱: اگر اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده در زمان t (پس از قطع جریان) برابر ΔV_t باشد، نسبت این اختلاف پتانسیل به مقدار اختلاف پتانسیل در حالت شارژ (V_0) را قطبش‌القایی یا قطبش-پذیری ظاهری P_a نامیده می‌شود [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰؛ نوروزی، ۱۳۹۲].

$$P_a = \frac{\Delta V_t}{V_0} \quad (۴-۲)$$

اگر ΔV بر حسب میلی‌ولت و V بر حسب ولت باشد واحد قطبش‌پذیری ظاهری، میلی‌ولت بر ولت (mVV^{-1}) می‌باشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

ب) بارپذیری^۲: در بعضی مواقع، انتگرال زمانی نرمالیزه که نشان‌دهنده مساحت زیرمنحنی زوال بین زمان‌های t_1 و t_2 بعد از قطع جریان می‌باشد، برای بیان قطبش‌القایی مورد استفاده می‌گیرد. این پارامتر بارپذیری ظاهری نامیده شده و با $(M_{t_1, t_2}^T)_a$ نشان داده می‌شود، بنابراین:

$$(M_{t_1, t_2})_a = (1/V) \int_{t_1}^{t_2} \Delta V_{IP} dt \quad (۵-۲)$$

در صورتی که ΔV بر حسب میلی‌ولت، V بر حسب ولت و زمان بر حسب ثانیه اندازه‌گیری شوند (واحدهای متداول در برداشت‌های IP)، واحد بارپذیری میلی‌ولت ثانیه بر ولت ($mVsV^{-1}$) و یا میلی‌ثانیه (ms) می‌باشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

¹ Polarization

² Chargeability

۲-۳-۴- منشا پدیده IP

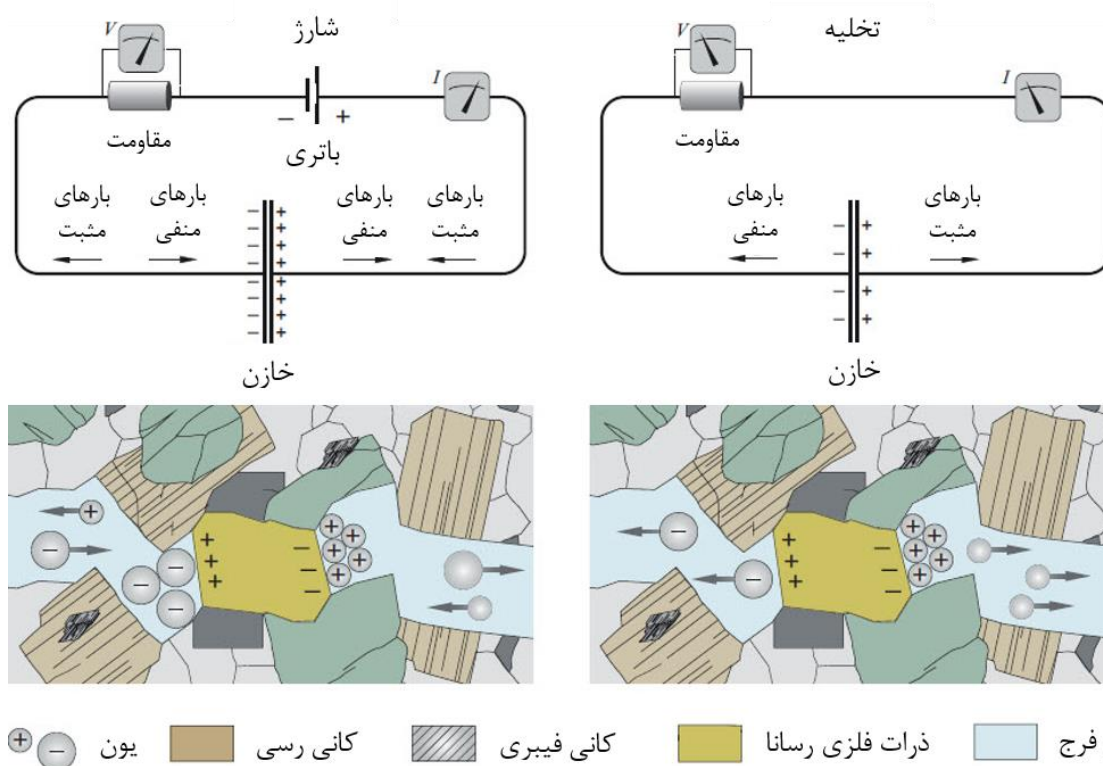
علت دقیق ایجاد پدیده IP مشخص نیست. اما دو ساز و کار اصلی برای توجیه این پدیده عبارتند از: قطبش الکترودی (فلزی)^۱ و قطبش الکترولیتی (غشایی)^۲ که هر دو با پدیده‌های الکتروشیمیایی در ارتباطند [نوروزی، ۱۳۹۲].

الف- قطبش الکترودی (فلزی)

معمولاً رسانش الکتریکی از زمین به صورت یونی انجام می‌شود، اما در برخی مواقع ممکن است مسیر حرکت یون‌ها توسط ذرات کانی‌های با قابلیت هدایت الکترونی (مانند پیریت) مسدود شود (شکل ۲-۱۲). در چنین حالتی عبور جریان الکتریکی از یک الکتروود فلزی (رسانای الکترونی) که درون یک الکترولیت فرو رفته است، در صورتی که سرعت کلیه فرآیندها در واکنش الکترولیتی یکسان نباشد، باعث تجمع پیوسته بار الکتریکی در مرز آنها می‌شود [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

¹ Electrode (Grain) polarisation

² Electrolytic (Membrane) polarisation



شکل ۲-۱۲: قطبش الکترودی، قطبش دانه رسنا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است [Dentith and Mudge, 2014]

زمانی که به این مجموعه ولتاژی اعمال می‌کنند، تعادل یونی به هم می‌خورد و در نتیجه موجب شارش جریان می‌شود؛ که تغییر اختلاف پتانسیل بین الکتروود و محلول را به دنبال دارد. هنگامی که ولتاژ اعمال شده را حذف کنند، تعادل یونی به واسطه پخش یون‌ها بر می‌گردد. این امر باعث تولید قطبش الکترودی می‌شود [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

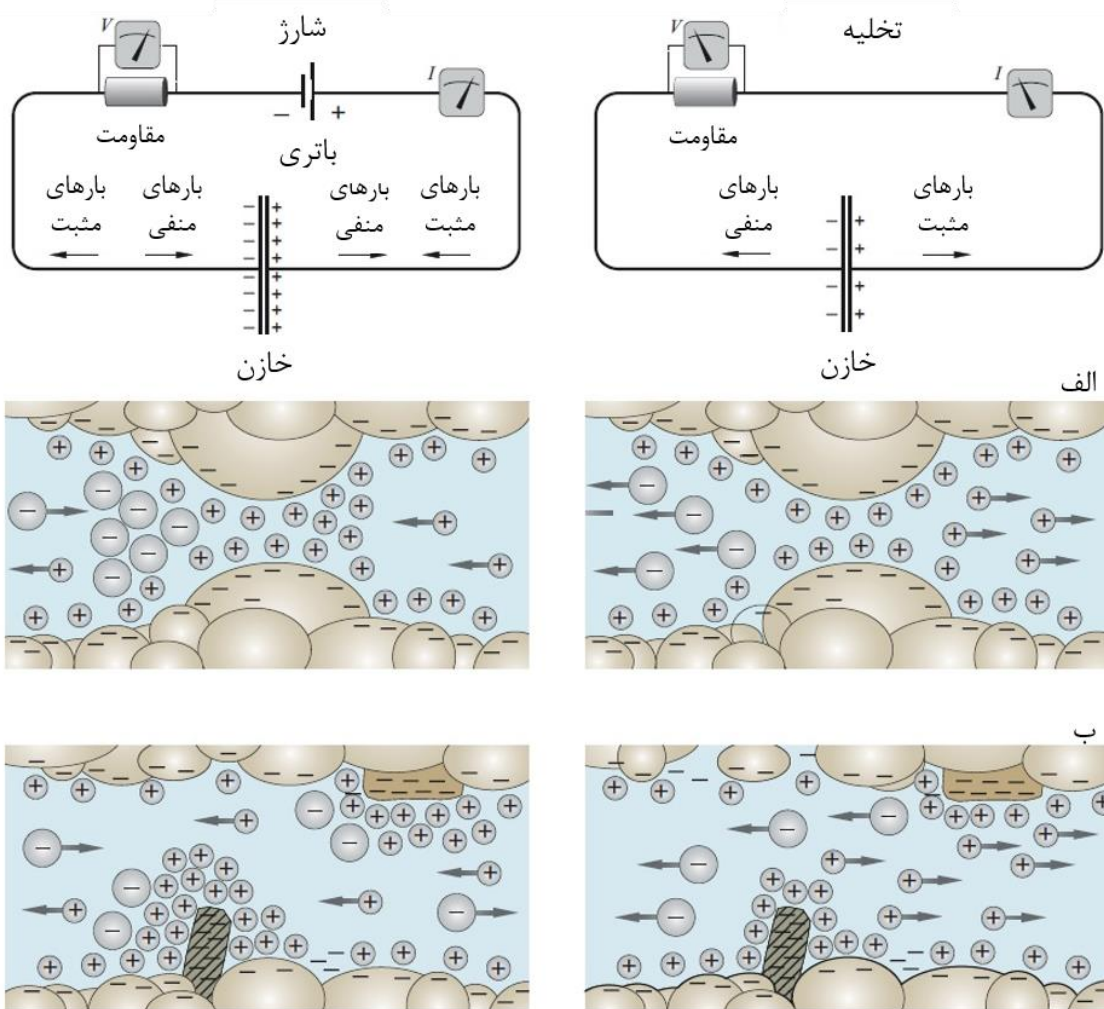
این فرآیند مبنای اندازه‌گیری زوال ولتاژ در روش اندازه‌گیری حوزه زمان است. قطبش دانه‌ها به طور عمده پدیده‌ای سطحی است و این پدیده مطابقت شکل (۲-۱۲) دلیلی بر پاسخ قابل توجه IP برای کانی-سازی‌های فلزی پراکنده است [انوروزی، ۱۳۹۲].

ب- قطبش الکترولیتی (غشایی)

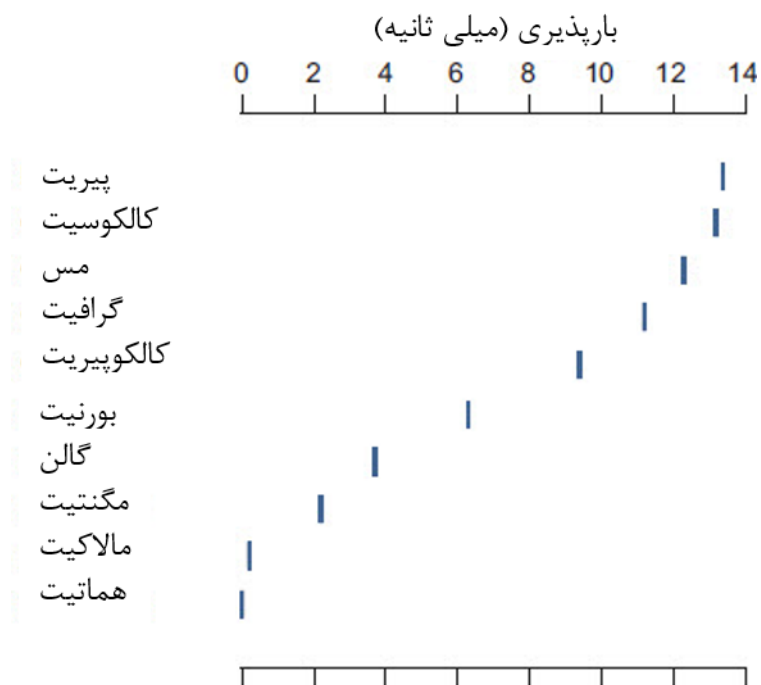
قطبش غشایی معمولاً IP زمینه محدودی اکتشافی را تشکیل می‌دهد و با کانی‌های غیرفلزی ارتباط دارد. بعضی اوقات ولتاژ اضافی در اثر این پدیده با ولتاژ کانی‌سازی ضعیف یکسان می‌شود؛ که در این صورت تفکیک آنها با روش‌های IP معمول مشکل است [کلاگری، ۱۳۷۱]. به نظر می‌رسد که در این مواقع شرط ضروری، حضور ذرات رسی باشد. زیرا قطبش‌القایی بر روی ماسه‌های کوارتزی تمیز و یا محیط‌های مشابه عاری از رس مشاهده نمی‌شود. محتمل‌ترین دلیل قطبش‌غشایی، تبادلات یونی و تشکیل پتانسیل‌های پخش است [Reynolds, 1997].

سطح ذرات رس، لبه‌های مواد لایه‌ای و رشته‌ای و سطح بلورها معمولاً دارای بارهای منفی نامتوازنی هستند؛ که ابری از یون‌های مثبت را از الکترولیت مجاور به سمت خود جذب می‌کنند. با عبور جریان الکتریکی از یک سیستم رس-الکترولیت، یون‌های مثبت به راحتی از این ابر یونی عبور می‌کنند؛ اما یون‌های منفی مسدود شده و زون‌های با تمرکز یون‌ها را تشکیل می‌دهند [Reynolds, 1997].

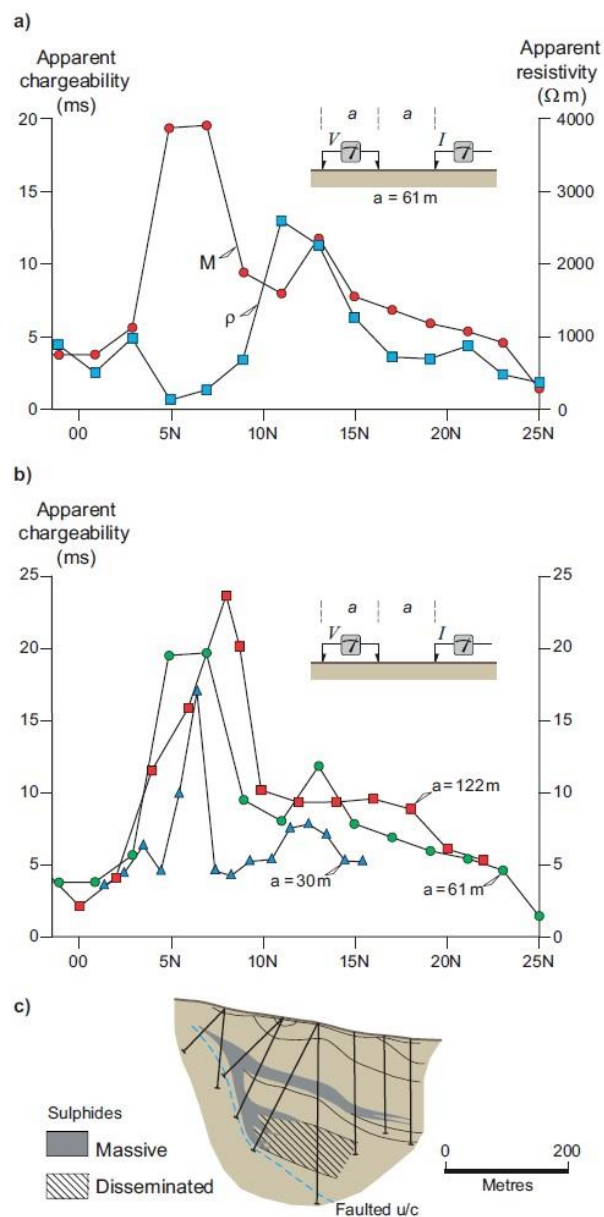
بعد از قطع جریان، بازگشت یون‌ها به حالت تعادل قبلی باعث تشکیل یک جریان بازماند شده و به صورت اثر IP ظاهر می‌شود. مشاهدات IP که تاکنون انجام شده مبنی بر این است که اثر IP الکتروودی و غشایی شباهت داشته و هیچ شاخص متمایز کننده‌ای برای تفکیک بدون ابهام این دو اثر در مشاهدات صحرائی کشف نشده است [Reynolds, 1997].



شکل ۲-۱۳: چگونگی گسترش قطبش القایی غشایی، الف: تنگ شدگی در قسمتی از یک کانال ارتباطی، ب: بار منفی ذرات رسی و المان رشته‌ای موجود در دیواره کانال ارتباطی [Dentith and Mudge, 2014]



شکل ۲-۱۴: نمایش شماتیک بارپذیری برخی کانی‌ها [Telford et al., 1990]



شکل ۲-۱۵: مطالع موردی یک ذخیره سرب و روی و نقره در کانادا با استفاده از آرایش قطبی-دوقطبی، الف: با فاصله الکترودی ۶۱ متر، ب: با فاصله الکترودی ۳۰ و ۶۱، ۱۲۲ متر و ناهنجاری‌های به دست آمده از این برداشت [Seigel, 1965]

۲-۳-۵- نوفه در اندازه‌گیری‌های IP

برای دستیابی به داده‌های با کیفیت بالا در مطالعات IP، باید نوفه‌ها و اغتشاشات الکتریکی پاسخ IP قبل از برداشت و تفسیر آن‌ها به حداقل برسد. چهار منبع عمده در ایجاد نوفه و اغتشاش روی داده‌های IP عبارت‌اند از: تغییر در الکترودهای جریان، پتانسیل خودزا^۱ (SP)، جریان تلوریک و جفت‌شدگی الکترومغناطیسی؛ که هر یک از این چهار مورد به اختصار توضیح داده می‌شوند.

الف- نوفه‌های الکترودی

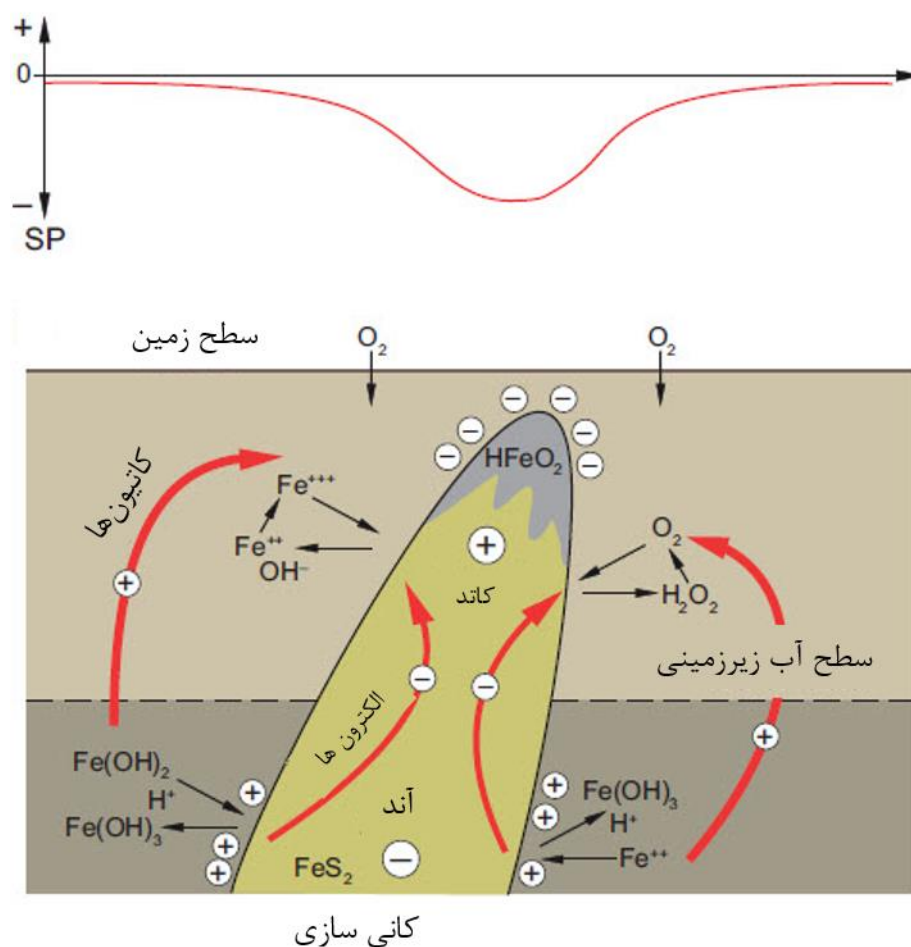
تغییر در الکترودهای جریان که مرتبط با تغییرات شارژ جریان (روش زمان - حوزه‌ای) و فرکانس (روش فرکانس - حوزه‌ای) است، موجب اغتشاش در جریان یا میدان متناوب ارسالی می‌شود. برای کاهش اثر این پدیده بر روی الکترودهای پتانسیل، لازم است این الکترودها در محل اندازه‌گیری طوری قرار داد، که بخشی از طول آن‌ها در زیر سطح زمین و در تماس پایداری با لایه زیر سطحی قرار گیرد و یا این‌که از الکترودهای غیرپلاریزه شونده برای پایداری پدیده الکتروشیمیایی حاصل از تماس الکترودها با زمین استفاده شود [انوروزی، ۱۳۹۲].

ب- نوفه پتانسیل خودزا

منشا پتانسیل‌های الکتریکی خودزا شامل پتانسیل‌های متغیر با زمان الکتروسینیتیک، الکتروشیمیایی (شکل ۲-۱۶) و پتانسیل کانی زایی که دارای مقدار ثابت با زمان است، می‌باشد. هر کدام از این پتانسیل‌ها شامل چند نوع مختلف می‌باشند [Reynolds, 1997].

¹ Self-potential

جریان‌های طبیعی SP می‌توانند اختلاف پتانسیل‌های زمینه‌ای تا چند ده میلی‌ولت و در شرایط بی-هنجاری چند صد میلی‌ولت و بیشتر را بین الکتروده‌های پتانسیل ایجاد کنند. جدول (۱-۲) برخی مقادیر پتانسیل خودزا را برای انواع مختلف آن نشان می‌دهد. این پتانسیل‌ها به دلیل پایدار بودن و تغییرات کم آن‌ها در محدوده اکتشافی، اغلب اغتشاش زیادی را در اندازه‌گیری IP به وجود نمی‌آورند و به راحتی پیش از اندازه‌گیری IP اثر آن‌ها حذف یا تعدیل می‌کنند.



شکل ۱۶-۲ : نمایش شماتیک پتانسیل الکتریکی خودزا با منشا الکتروشیمیایی و بی‌هنجاری حاصل از آن [Sato and Mooney, 1960]

جدول ۱-۲ : میزان پتانسیل خودزا و عوامل زمین‌شناسی ایجاد کننده آن [After Reynolds, 1997]

منبع ایجاد پتانسیل خودزا	نوع آنومالی ایجاد شده
۱- پتانسیل کانی‌سازی	
کانی‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت و ...) گرافیت مگنتیت و سایر کانی‌های رسانا زغال‌سنگ منگنز	پتانسیل منفی (هزاران میلی ولت)
پگماتیت رگه‌های کوارتز	پتانسیل مثبت (ده‌ها میلی ولت)
۲- پتانسیل زمینه	
جریان سیالات، فعالیت‌های شیمیایی و ...	پتانسیل مثبت با منفی کوچکتر از ۱۰۰ میلی ولت
بیوالکتریک (گیاهان و درختان)	پتانسیل منفی کوچکتر از ۳۰۰ میلی ولت
حرکت آب‌های زیرزمینی	پتانسیل مثبت با منفی هزاران میلی ولت
توپوگرافی	پتانسیل منفی بالاتر از ۲ ولت

ج- نوفه جریان تلوریک

انتشار جریان‌های طبیعی در زمین یکی از چشمه‌های ایجاد نوفه در برداشت‌های IP است. این نوفه‌ها به ویژه با افزایش شدت جریان‌های تلوریک ممکن است مشکلات جدی در برداشت‌های IP ایجاد کند. این نوفه‌ها گاهی از سیگنال‌های IP نیز قوی‌تر هستند و تداخل زمان تناوب آن‌ها با پدیده IP موجب ایجاد مشکل در این اندازه‌گیری‌ها می‌شود. منشأ جریان‌های تلوریک خارج از زمین می‌باشد و در ارتباط با تغییرات روزانه میدان‌های مغناطیسی زمین است.

د- جفت‌شدگی الکترومغناطیسی

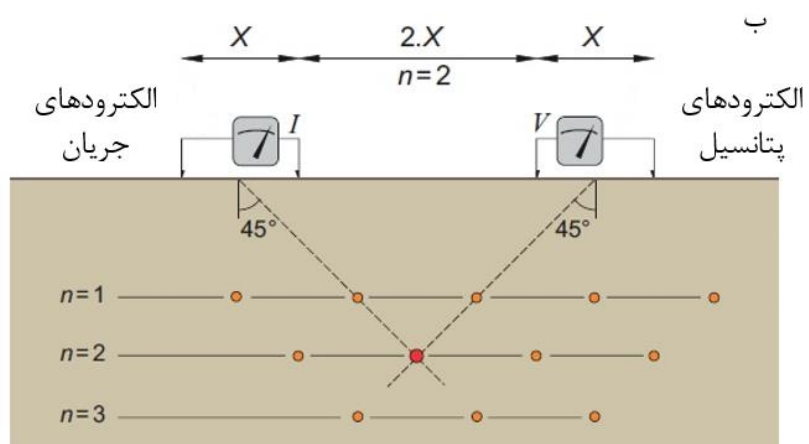
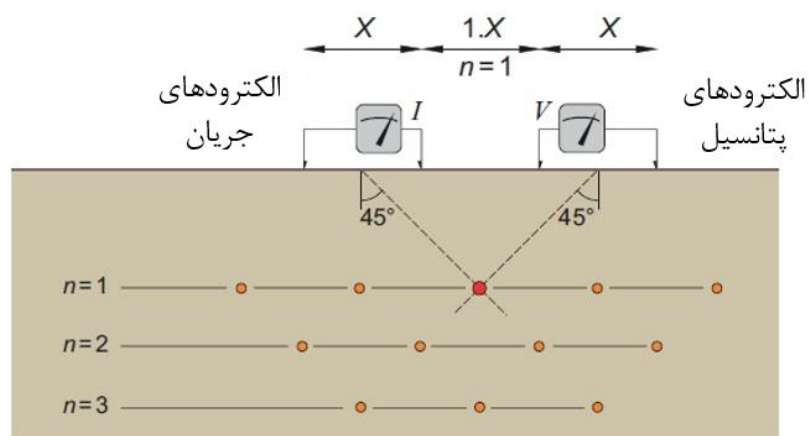
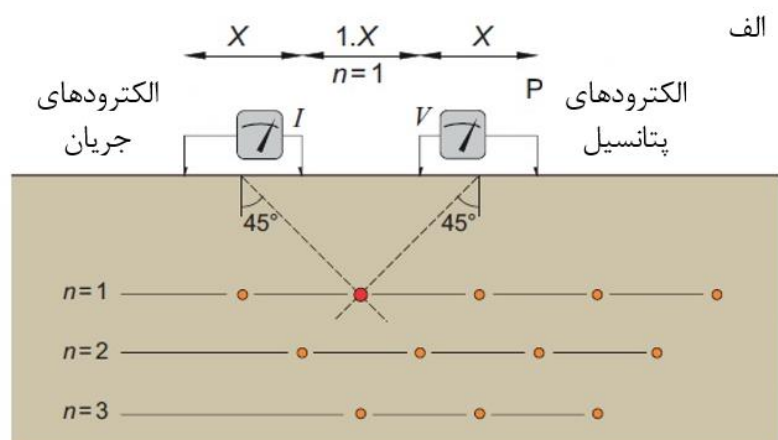
یکی از مخرب‌ترین نوفه‌ها در برداشت‌های مقاومت‌ویژه و IP می‌باشد. اگر سیم‌های اتصال الکتروندهای جریان به موازات سیم‌های اتصال الکتروندهای پتانسیل و در مجاورت آن‌ها قرار گیرند، در سیم‌ها جریانی القا می‌شود. این پدیده مشابه القایی است که در نزدیکی کابل‌های فشار قوی رخ می‌دهد. جریان‌های القا شده در سیم‌های پتانسیل موجب ایجاد ولتاژهای اضافی می‌شوند؛ که ارتباطی با ولتاژهای پدیده IP ندارند. آثار القایی نوفه ناشی از جفت‌شدگی الکترومغناطیسی به تغییرات شدت جریان اولیه در روش حوزه زمان و فرکانس در روش حوزه فرکانس بستگی دارد. علاوه بر این به شکل هندسی آرایش الکتروندها نیز بستگی دارد. همچنین وضعیت ارتباطی سیم‌های فرستنده و گیرنده نسبت به هم در روی زمین و مقاومت ویژه روباره نیز در شدت این نوفه تاثیر دارند. بنابراین برای کاهش اثر این نوفه در برداشت‌های حوزه زمان نمونه‌گیری را طوری انتخاب می‌کنند؛ که مقدار این نوفه در پایین سطح خود باشد؛ به طور معمول بیشترین اغتشاش جفت‌شدگی الکترومغناطیسی در زمان قطع جریان و مدت کوتاهی پس از آن رخ می‌دهد [انوروزی، ۱۳۹۲].

۲-۴ انواع برداشت‌های ژئوالکتریکی

برداشت‌های ژئوالکتریکی به سه صورت انجام می‌شوند: برداشت‌های سونداژزنی، برداشت‌های پروفیل‌زنی و برداشت‌های ترکیبی.

دو نوع از برداشت‌های ژئوالکتریکی به وسیله کاوشگران این رشته توسعه پیدا کرده است. که این برداشت‌ها تولید یک مجموعه از داده‌ها به صورت یک بعدی قائم (سونداژزنی) و یا یک بعدی افقی (پروفیل‌زنی) می‌کنند. برداشت‌های سونداژ زنی جهت بررسی‌های عمقی در یک نقطه مشخص بر روی سطح زمین انجام می‌شود و تولید یک مجموعه داده قائم از زیر سطح می‌کند؛ که این کار با افزایش فاصله الکترودی امکان‌پذیر

است. در روش دوم که پروفیل زنی نامیده می شود، لازم است فاصله الکترودی جفت الکترودها در طول پروفیل ثابت نگه داشته شوند و در بررسی های جانبی ساختارهای زیر سطحی مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل (۲-۱۷) این روش به صورت شماتیک نشان داده شده است. تجهیزات مدرن مقاومت ویژه و IP قادرند تا این دو روش سونداژزنی و پروفیل زنی را با هم ترکیب کنند و نمایش دو بعدی ساختارهای زیرسطحی را به نمایش بگذارند. در این تحقیق هم از این روش استفاده شده است.

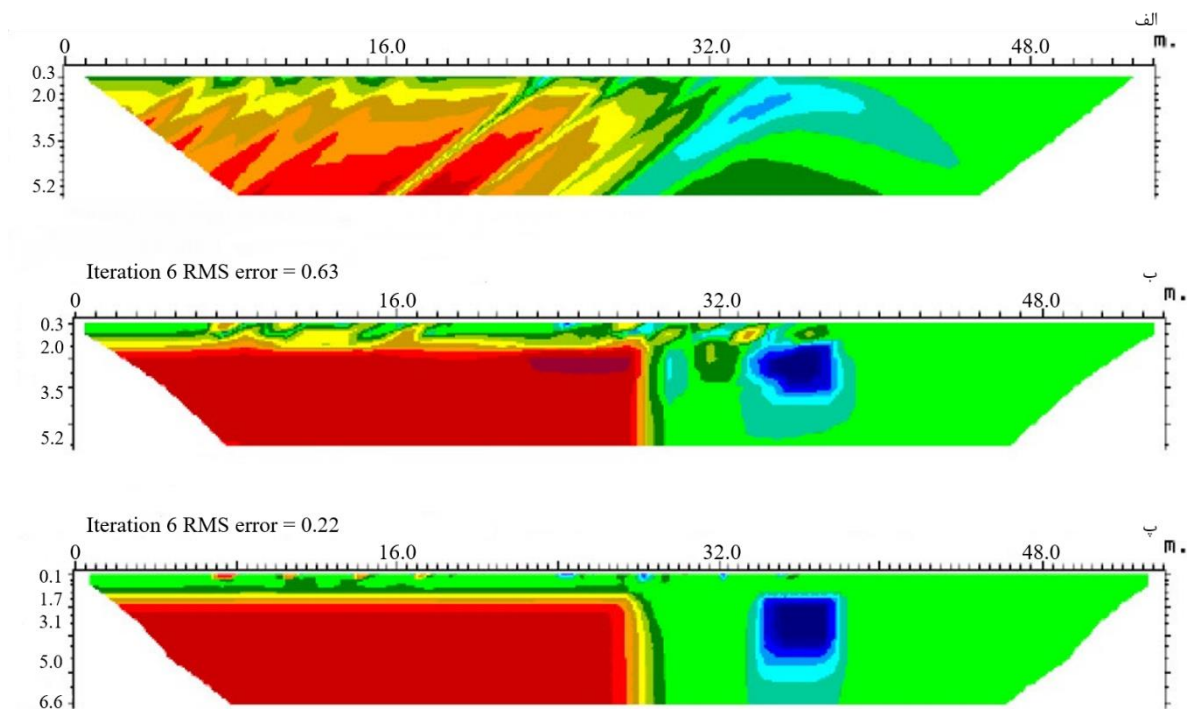


شکل ۲-۱۷: نمای کلی از یک شبکه برداشت دوقطبی-دوقطبی، الف: برداشت پروفیل زنی ب: سونداژ زنی [Dentith and Mudge, 2014]

۲-۵ اصلاح مدل

در برخی مواقع، تغییرات آشفته‌گی مقاومت‌ویژه در نزدیک سطح زمین برای محیط‌های غیر همگن بسیار زیاد است. در این بین استفاده کردن از یک مدلی با عرض سلولی کمتر می‌تواند نتیجه بهتری را برای کاهش خطا ارائه داده و به عنوان تعدیل کننده مدل بکار رود. برای این منظور از یک مدلی با نصف فضای الکترونی حقیقی استفاده شده است. (شکل ۲-۱۸)

در برخی حالات استفاده از یک مدل با عرض سلولی برابر یک سوم تا یک چهارم فضای الکترونی حقیقی هم قابل پذیرش است، به خصوص اگر در پیجویی‌های پیش رو که در آن از آرایه قطبی-قطبی یا قطبی-دوقطبی با ضریب n خیلی بزرگ استفاده گردد. اگر از عرض سلولی با یک چهارم فضای الکترونی اصلی یا کمتر استفاده کنیم، در مدل‌های مقاومت‌ویژه مقداری ایجاد ناپایداری و نوسانات در لایه‌ها می‌نماید. از این رو استفاده از مدل‌های سلولی با عرض یک چهارم و یا کمتر توصیه نمی‌شود. استفاده از یک مدل با نصف فضای الکترونی منجر می‌شود در مرزهایی که به شدت خشن می‌باشند، میزان خطا کمتر گردد. البته این کاهش فضای الکترونی که خود با افزایش تعداد سلول‌ها و پارامترهای مدل همراه است، منجر به افزایش در زمان محاسبات و افزایش حافظه استفاده شده در کامپیوتر می‌گردد.



شکل ۲-۱۸: نتیجه مدل سازی بر روی داده‌هایی که با آرایه قطبی-دوقطبی با اندازه سلول‌های متفاوت الف: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری ب: مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه با عرض سلولی یک متر که در آن یک توزیع آشفته‌گی مقاومت ویژه پایین در بالای بلوک گسلی دیده می‌شود. پ: مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه با عرض سلولی نیم متر که در آن بیشتر آشفته‌گی‌ها از بین رفته است.

۲-۶ مطالعات دورسنجی

سنجش از دور در مقایسه با دیگر روش‌های اکتشافی به علت داشتن هزینه‌های پایین و در عین حال بازدهی بالا، می‌تواند در تعیین اهداف اکتشافی اولیه نقش بسیار مهمی داشته باشد و امکان پی‌جویی‌های مقدماتی و اولیه کانسارها را فراهم می‌آورد. از آنجا که دگرسانی‌های موجود در هر منطقه در ارتباط نزدیک با رخدادهای تکتونیکی و فعالیت‌های ماگمایی آن منطقه می‌باشند؛ لذا شناخت مناطق آلتراسیونی در ردیابی کانی‌سازی فلزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از نهشته‌های معدنی همراه با مناطق گسترده دگرسانی هستند و به همین دلیل به عنوان راهنما در پی‌جویی به کار می‌روند. به همین دلیل در این تحقیق برای یافتن مناطق امید بخش از تصاویر ماهواره استر استفاده گردید و به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای تکنیک‌های مختلفی از قبیل ترکیب رنگی کاذب و نسبت‌گیری طیفی استفاده شد؛ آنگاه آلتراسیون‌های منطقه و اندیس‌های احتمالی معدنی شناسایی گردید و مناطق بهینه برای انجام عملیات ژئوفیزیکی انتخاب شد.

۲-۶-۱- تصاویر ترکیبی رنگی و کاذب

به دلیل اینکه اکثر تصاویر ماهواره‌ای به صورت چندباندی تهیه و عرضه می‌گردند؛ لذا تجزیه و تحلیل‌هایی که به تنهایی بر روی یک باند انجام می‌گیرد، قادر به استخراج حداکثر اطلاعات موجود در تصویر نخواهند بود و در چنین مواقعی، تولید تصاویر چندباندی بسیار سودمند خواهد بود با اختصاص هریک از سه رنگ اصلی یعنی قرمز، سبز و آبی که به اختصار RGB نامیده می‌شوند به سه باند انتخابی از تصویر ماهواره‌ای، تصاویر رنگی کاذب به دست می‌آیند. اگر باندهایی که برای ساخت تصاویر رنگی به کار می‌روند به طور مناسب و صحیحی انتخاب گردند و هیستوگرام باندهای استفاده شده نیز تشابه ظاهری داشته باشند، تصاویر حاصله نیز خوش ترکیب و از قابلیت تفصیر بالایی برخوردار خواهند بود [سلیمی و همکاران، ۱۳۹۱].

۲-۶-۲- تصاویر نسبتي

از تقسيم مقادير درجه روشنايي (DN) يك باند طيفي بر باند طيفي ديگر و يا به عبارت ديگر با استفاده از نسبت‌هاي باندی، تصاویر نسبتي به دست می‌آیند. این نسبت‌هاي باندی در بارزسازی اختلافات طيفي و همچنين کاهش تاثيرات توپوگرافي نقش بسزایی دارند. يعني اینکه با نسبت گيري باندی می‌توان بعضی از جنبه‌هاي نمودار انعکاس طيفي انواع پوشش‌هاي سطح زمین را آشکار و همچنين به کاهش آثار ناخواسته همچون تاثيرات توپوگرافي بر روی بازتابش ثبت شده کمک نمود. بی تردید تصاویر نسبتي حاصل از این نسبت‌هاي باندی نیز به سبب حذف عوامل و پارامترهاي نامطلوب اختلاف موجود مابين باندها را با شدت بیشتری نشان خواهد داد و تغییرات طيفي پدیده‌ها را نسبتاً بهتر از تصاویر خام به تصویر خواهند کشید. اساس کار در ساخت تصاویر نسبتي برای شناسایی پدیده‌ای خاص بر وجود اختلاف در بازتابش طيفي آن پدیده در دو باندی که برهم تقسيم می‌شوند؛ استوار است [Carranza et al, 2002].

۲-۶-۳- تحلیل مولفه اصلی^۱

تجزیه و تحلیل مولفه‌هاي اصلی (PCA) که آنالیز مولفه‌هاي اصلی نیز خوانده می‌شود؛ به ویژه در تجزیه و تحلیل‌هايی که معمولاً امکان استفاده از چند باند وجود ندارد و تنها یک باند مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاربرد فراوانی می‌تواند داشته باشد. آنالیز مولفه‌هاي اصلی در اصل جهت کم کردن داده‌ها به کار می‌رود؛ ولی در سنجش از دور جهت حذف اطلاعات تکراری یا اضافی طيفي و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم و بیش دارای همبستگی هستند؛ در یک باند با واریانس بالا به کار می‌رود. تبدیل مولفه‌هاي اصلی یک تبدیل خطی است؛ که در آن محورهاي مختصات فضایی چند باندی به گونه‌ای می‌چرخند که اولین محور در راستای حداکثر واریانس ارزش‌هاي باندها و دومین محور عمود بر محور اول و در راستای واریانس باقی

¹ Principal component analysis

مانده قرار می‌گیرد و به این ترتیب از تعداد M باند شرکت کننده در این تبدیل، N باند جدید ایجاد می‌شود؛ که فاقد همبستگی بالا با یکدیگر هستند و دو باند اول PC دارای حداکثر اطلاعات می‌باشند. به طوری که دیگر نیاز چندانی به استفاده از سایر باندهای PC در تجزیه و تحلیل‌ها نمی‌باشد. زیرا در باندهای پایین‌تر، نوفه افزایش یافته و تصویر حالت از هم پاشیدگی پیدا می‌کند [شبانکاره، ۱۳۸۶]. در این مطالعه روش تحلیل مولفه اصلی جواب مناسبی را ارائه نکرده، به همین دلیل نتایج آن آورده نشده است.

فصل سوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

ایران یکی از غنی‌ترین کشورهای دارای منابع معدنی در دنیا است. با توجه به پتانسیل‌های اقتصادی و ویژگی‌های استراتژیک بسیاری از مواد معدنی، اکتشاف و استخراج مواد معدنی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. مس، از جمله مهم‌ترین مواد معدنی است؛ که به دلیل استفاده گسترده در صنعت، یکی از عناصر استراتژیک و راهبردی توسعه محسوب شده و ارزش آن نیز روز به روز رو به افزایش می‌باشد. کانی‌سازی مس در چهارگنبد، در سال ۱۳۳۸ کشف و عملیات اکتشافی در آن توسط شرکت کل معادن در سال ۱۳۴۲ آغاز شد. در سال ۱۳۴۵ پی جویی‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و تهیه نقشه زمین‌شناسی دقیق در مقیاس ۱:۲۵۰۰ و ۱:۵۰۰۰ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد. نتایج این بررسی‌ها در گزارش شماره ۱۶ سال ۱۳۴۷ (گزارش تفصیلی و دقیق) و گزارش شماره ۱۴ سال ۱۳۴۷ (گزارش کلی) سازمان زمین‌شناسی کشور آمده است. در سال ۱۳۴۶ نیز مطالعات مفصلی از طرف یوگسلاوها در رابطه با مسائل معدنی، زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی در ناحیه کرمان انجام شد که شامل چهارگنبد نیز می‌شود [خویی و همکاران، ۱۳۷۸].

در سال ۱۳۸۵ اکتشافات مقدماتی (پردازش داده‌های ماهواره‌ای تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ و نمونه برداری ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، کانی سنگین) در محدوده‌ای به وسعت ۳۰ کیلومتر مربع انجام شد و یک زون در منطقه بلبلی و چند زون دیگر در منطقه تخته بنه به عنوان مناسب‌ترین نقاط حاوی کانی‌سازی فلزی (عمدتاً مس و طلا) برای اکتشافات بعدی پیشنهاد شد. به دنبال آن در سال ۱۳۸۷ در منطقه مطالعات اکتشاف نیمه تفصیلی و تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ و نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰، نمونه برداری سیستماتیک خاک و سنگ، حفر ترانشه و نمونه برداری و در نهایت برداشت سیستماتیک ژئوفیزیکی، به روش مقاومت ویژه و IP نمود و با تلفیق نتایج حاصل از اکتشافات مذکور، شش گمانه پیش‌آهنگ برای تعیین کانی‌سازی در عمق پیشنهاد گردید [شرکت مهندسين مشاور درسا پرداز، ۱۳۸۹].

۲-۳ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب غرب شهرستان بردسیر واقع شده است. این منطقه در مختصات جغرافیایی $29^{\circ}44'$ و $56^{\circ}24'$ و طول شرقی در 3° کیلومتری شمال غرب منطقه باب زنگویه واقع شده است. فاصله این محدوده تا کرمان، مرکز استان، حدود ۹۰ کیلومتر است. اصلی‌ترین راه دسترسی به منطقه جاده کرمان-بردسیر است. موقعیت خاص جغرافیایی این منطقه و هم‌جواری با ارتفاعات موجب شده است که منطقه دارای آب و هوای معتدل کوهستانی باشد و همین امر باعث زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم شده است.

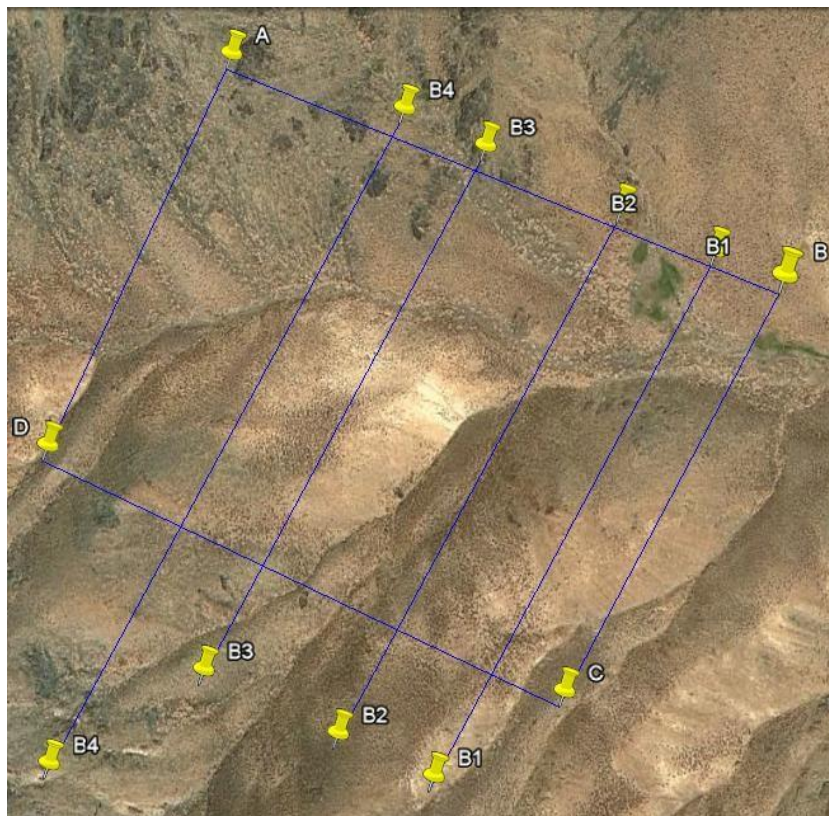


شکل ۳-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه [گزارش نقشه راه‌ها معاونت هماهنگی و راهداری امور استان‌ها، ۱۳۹۴]

مشخصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه به شرح جدول (۱-۳) می باشد

جدول ۱-۳ : مختصات چهار گوشه محدوده مورد مطالعه در زون ۴۰

چهار گوشه محدوده مورد مطالعه	سیستم تصویر UTM	
	X	Y
A	۴۴۲۴۱۵	۳۲۹۰۴۰۲
B	۴۴۲۷۸۵	۳۲۹۰۲۵۰
C	۴۴۲۶۳۶	۳۲۸۹۹۷۵
D	۴۴۲۲۹۰	۳۲۹۰۱۴۱



شکل ۲-۳ : تصویر ماهواره ای منطقه و محدوده مورد مطالعه که پروفیل های برداشت نیز روی آن مشخص شده اند

۳-۳ زمین شناسی محدوده

این محدوده در قسمت شمالی چهارگوش زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان [Geological survey of Iran, 1981] و قسمت غربی ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبند [Geological survey of Iran, 1995] قرار گرفته است. همان گونه که از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه می توان مشاهده نمود، سن واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه، مشابه سایر بخش های زون ارومیه- دختر، ائوسن است.

وجود کانی سازی مس در محدوده مورد مطالعه به اثبات رسیده؛ اما برای اکتشاف مناطق کانی سازی مس در این محدوده، روش مؤثر، سریع و ارزان، استفاده از روش های ژئوفیزیکی IP و مقاومت ویژه است.

۳-۳-۱- زمین شناسی ناحیه ای برگه چهارگنبند

ریخت شناسی برگه مورد مطالعه، توسط سه عامل فرآیندهای زمین ساختی، فرسایش و لیتولوژی کنترل شده و می شود. چکادهای نوک تیز و دیواره های بلند و پرشیب و دره های ژرف با دیواره های تقریباً قائم در کوه ها، به ویژه در دامنه های کوه چهلتن و کوه بیدخوان دلیل خوبی است؛ که منطقه مورد مطالعه هنوز در زمان جوانی به سر می برد. وجود زمین ریخت تپه ماهوری به ویژه در بخش مرکزی برگه به دلیل سست بودن لیتولوژی است تا شدت فرسایش، ولی در عین حال پدیده فرسایش باعث شده تا برونزد گرانیتی در حدفصل معدن چهارگنبند تا چنار کف فرسوده شود و زمین های پست بوجود آید.

پیدا نشدن دره ها به دلیل رویداد گسلش از جمله فراوان ترین ریخت های موجود در محدوده مورد بررسی است. این دره ها با توجه به شیب لایه و جنس سنگ ها، شکل های گوناگونی دارند. در نقاطی که سنگ ها سخت و پایدارند؛ دره ها به شکل V و برعکس در نقاطی که جنس مواد سازنده سست و ناپایدار هستند، دره هایی به شکل U پدیدار شده اند. بیشتر این دره ها دارای تقارن محوری می باشند.

بودن ته‌نشست‌های دانه‌ریز در کناره رودخانه سرخ گواه آن است که رودخانه کنونی نخست به صورت شاخه‌های بی‌شمار وجود داشته است (در فاز رسوبگذاری)؛ ولی با آغاز فازهای فرسایشی در منطقه، این شاخه‌ها به تنها دره موجود امروزی تبدیل شده و در نتیجه رودخانه توانسته مصالح درشت دانه را نیز با خود حمل نماید، به طوری که در دیواره‌های رودخانه مصالح دانه ریزرسی - سیلتی و ماسه‌ای، گاه با لایه‌هایی از شن قابل دیده است، در حالی که در بستر رودخانه آبرفت‌های دانه درشت و شنی را می‌توان دید (شکل ۳-۳).

۳-۳-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ناحیه چهارگنبد از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در جنوب زون ایران مرکزی و به طور عمده در کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر قرار دارد. کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر به صورت نوار طولی با روند شمال غرب- جنوب شرق از سه‌پند تا بزمان و به موازات زون دگرگون شده سنندج- سیرجان کشیده شده است. این نوار به طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ترسیر تشکیل شده است به طوری که در ورقه چهارگنبد حدود ۷۰ درصد رخنمون‌های سنگی متعلق به سنگ‌های آتشفشانی است. فعالیت پلوتونیسم به صورت جایگیری توده‌های درونی و نیمه‌عمیق در زمان‌های الیگوسن و میوسن میانی و بالایی صورت گرفته است. همچنین در بخش‌های جنوبی ناحیه واحدهای افیولیتی کرتاسه در حد واسط دو زون ارومیه-دختر و سنندج- سیرجان قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۳).

در ناحیه چهارگنبد به جز برونزد بسیار کوچکی از نهشته‌های دگرگونی (به سن پالئوزوئیک بالایی)، رسوبات قدیمی مربوط به پرکامبرین و پالئوزوئیک مشاهده نمی‌شود. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه عبارتند از:

الف- مزوزوئیک

مجموعه افیولیتی کرتاسه: این مجموعه در بخش جنوبی ورقه چهارگنبد با روند شمال غرب- جنوب شرق و با همبری گسلی نسبت به واحدهای جوانتر حضور دارد. همچنین بخش‌های مختلف این مجموعه با روابط گسلی به صورت یک آمیزه تکتونیکی در کنار هم قرار گرفته‌اند. مجموعه افیولتی از واحدهای دیوریتی- گابرو آلتیره، هارزبورژیت، بازالت و آندزیت، بازالتی کاوک‌دار، اسپیلیت به همراه توف‌اسیدی، اسپیلیت و دیاباز، ولکانیک آندزیتی به همراه سنگ‌های اسپیلیتی و آگلومرا و واحدی از آهک‌های ژرف دریایی تشکیل شده است. گذشته از بخش‌های جنوبی، رخنمون کوچکی از این مجموعه در غرب روستای تنگو مشاهده می‌شود؛ که به صورت یک سفره راندگی بر روی واحدهای آتشفشانی ائوسن قرار گرفته است.

ب- سنوزوئیک

بخش عمده ورقه چهارگنبد توسط واحدهای سنگ چینه‌ای سنوزوئیک بویژه ائوسن پوشیده شده است. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن: این سنگ‌ها حاصل تناوبی از فعالیت‌های آتشفشانی انفجاری و غیرانفجاری هستند که به صورت واحدهای گدازه‌ای، آذرآواری و یا تناوبی از گدازه و توف دیده می‌شوند.

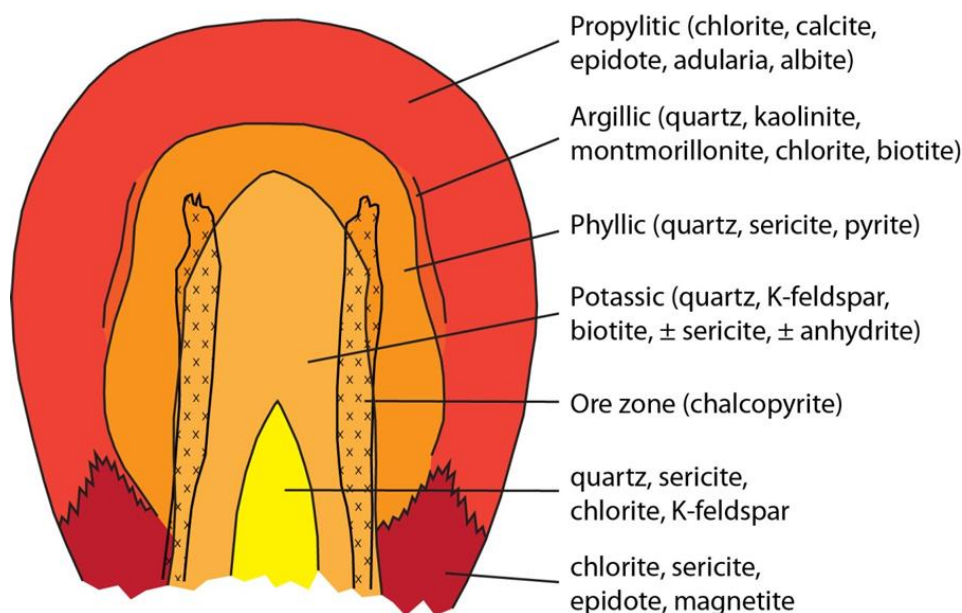
ج- واحدهای گدازه‌ای ائوسن

گدازه‌های آتشفشانی ائوسن عموماً با ترکیب حدواسط تا بازیک در بخش‌های شمالی، مرکزی و شرقی منطقه برونزد دارند و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ منطقه به صورت واحدهای Epa ، E mpa ، Etav و Ep تفکیک شده‌اند. قدیمی‌ترین گدازه‌های ائوسن (Epa) در شمال منطقه در طاق‌دیس چهلتن برونزد دارند. این واحد متشکل از سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی است و به طرف بالا بوسیله گدازه‌های آندزیتی واحد Eta پوشیده می‌شود. در ناودیس گیدیچ و اطراف آن واحدهای آتشفشانی به صورت ترادفی از گدازه‌های پیروکسن آندزیتی با ردیف‌هایی از آندزیت پورفیری و آندزیت بازالتی واحد Eabv مشاهده می‌شود. همچنین در شرق منطقه در ارتفاعات چهلتن واحدهای گدازه‌ای با ترکیب کانی‌شناسی تراکمی آندزیت، آندزیت، بازالت و کوارتزلاتیت حضور دارند که در نقشه زمین‌شناسی به صورت واحدهای Etav و Ep تفکیک شده‌اند. بافت این واحدها عموماً پورفیریتیک با زمینه میکرولیتیک است. واحدهای گدازه‌ای ائوسن از نظر سنگ‌شناسی شامل ترادفی از گدازه‌های با ترکیب تراکی آندزیت، آندزیت و ندرتاً الیوین بازالت هستند. واحدهای آذرآواری ائوسن: سنگ‌های آذرآواری دارای گسترش بیشتری نسبت به واحدهای گدازه‌ای بوده و در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوب منطقه برونزد دارند. این واحدها شامل ترادف‌هایی از توف‌های ریزدانه مثل خاکستر توف تا توف‌های درشت‌دانه مثل توف برش و آگلومرا هستند. ترکیب شیمیایی این سنگ‌های عموماً حدواسط تا اسیدی است و در نقشه زمین‌شناسی به صورت واحدهایی از تناوب توف و ماسه‌سنگ (Eta) ، برش‌های داسیتی (Eat) ، توف‌های سبز و توفیت (Et) ، تناوبی از توف‌های داسیتی همراه با گدازه (Edv) ، مجموعه‌ای از توف‌های ریزدانه تا توف برش حاوی لایه‌هایی از ایگنمبریت (Edvt) ، توف‌های با ترکیب حدواسط-بازیک (Edt) ، تناوبی از توف‌های ریزدانه همراه با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های توفی (Ea) ، توف‌های رنگین، توفیت، ماسه‌سنگ‌های توفی و توف برشی (Eta) ، توف‌های برشی و لاپیلی

توف (E_v) ، توف و توف برش‌های حدواسط تا اسیدی (E_{tvt}, E_{avb}) و توف‌های ریزدانه با ترکیب ریولیتی-
داسینی (E_t) تفکیک شده‌اند.

۴-۳ آلتراسیون‌های منطقه

منطقه اکتشافی چهارگنبد به شدت تحت تاثیر آلتراسیون قرار گرفته است. پردازش داده‌های ماهواره‌ای به روش‌های مختلف، آلتراسیون وسیع منطقه را به خوبی بارز سازی می‌کند. همان طور که در شکل (۴-۳) دیده می‌شود، گسترش آلتراسیون رابطه‌ی مستقیمی با گسترش توده‌های نفودی دارد [Malekzaeh et al., 2009]. زون‌های آلتراسیون در منطقه اکتشافی ماهر آباد شامل زون‌های پتاسیک، سرسیتیک پتاسیک و پروپیلیتیک بوده؛ که در مطالعات سطحی و زیر سطحی مشخص شده است.



شکل ۴-۳: نمایش شماتیک یک ذخیره پرفیری و رابطه آن با آلتراسیون‌ها

فصل چهارم: مطالعات دورسنجی، ژئوفیزیکی و حفاری‌های

انجام شده

۱-۴ نتایج بررسی و پردازش تصویر ASTER منطقه

برای شناسایی آلتراسیون‌های منطقه از تصاویر ماهواره استر استفاده شد. به این وسیله آلتراسیون‌های موجود برای یافتن مناطق دارای پتانسیل مطلوب شناسایی شدند [Carranza, 2002] و [Sabins, 1999]. همانطور که در شکل‌های (۱-۴) و (۲-۴) قابل مشاهده است، آلتراسیون‌های نشان داده شده نمایان‌گر وجود ذخیره احتمالی می‌باشند و وجود اندیس معدنی در نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز تایید کننده آن است. به این وسیله بهترین مکان برای انجام عملیات ژئوفیزیک انتخاب گردید.

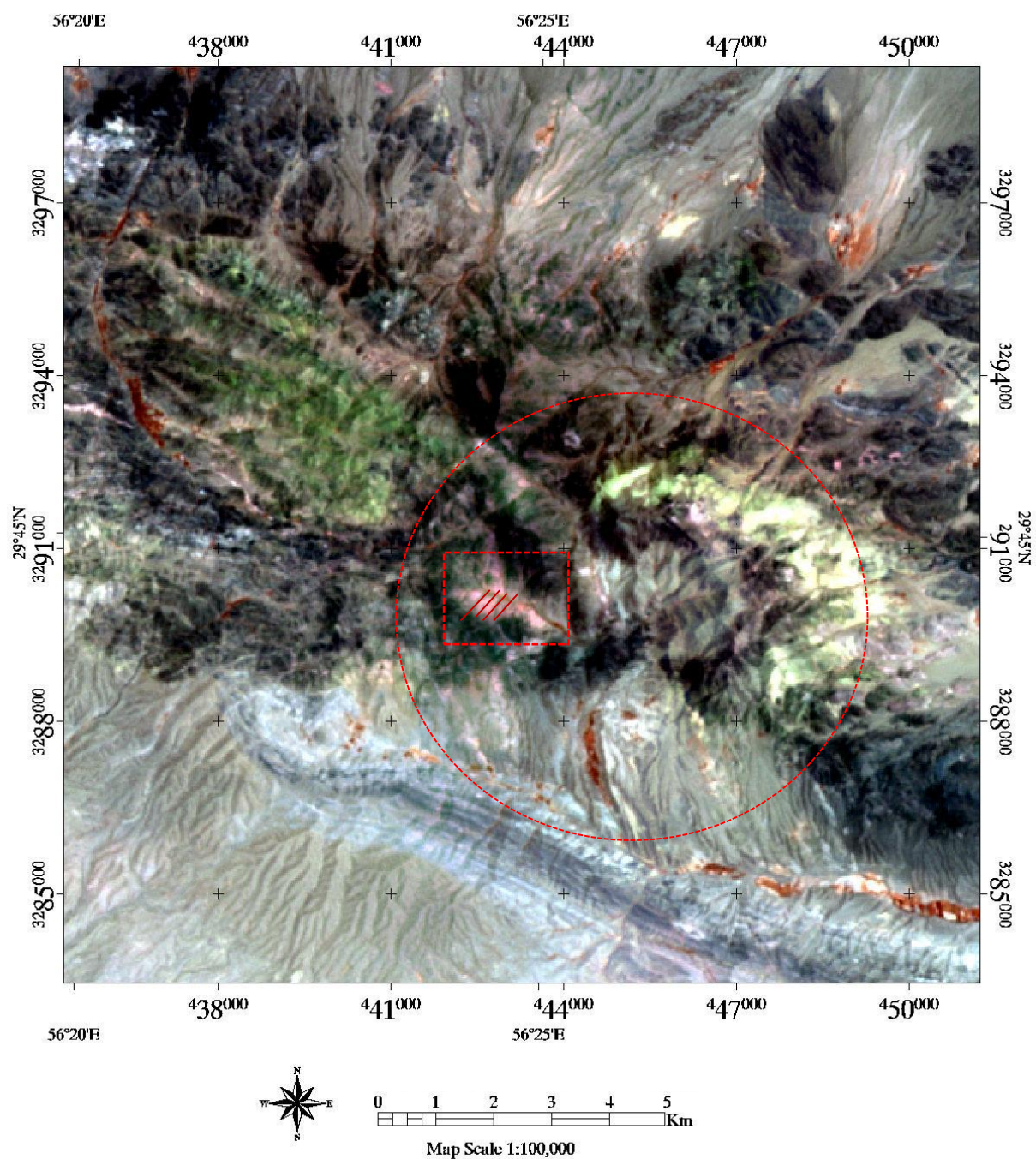
۱-۱-۴-۱ شناسایی آلتراسیون‌های آرژیلیک، فلیک و پروپلیتیک

منحنی‌های استاندارد^۱ USGS نشان می‌دهند [Clark et al., 1995] که کانی‌های مونت موریونیت، کائولینیت، موسکویت و ایلیت (شاخص زون‌های آلتراسیون آرژیلیک و فلیک) در باند ۴ قلمرو SWIR دارای حداکثر انعکاس و در باند ۶ به دلیل وجود پیوند Al-OH دارای انعکاس پایین و کانی‌های کلریت و اپیدوت در باندهای ۵ و ۶ انعکاس بالا و در باند ۸ به دلیل پیوند Mg-OH انعکاس پایین را نشان می‌دهند. بنابراین در ترکیب رنگی کاذب ۴۶۸ زون‌های آلتراسیون آرژیلیک و فلیک به رنگ قرمز تا صورتی و آلتراسیون پروپلیتیک به رنگ سبز نمایان می‌شود [عباس زاده و همکاران، ۱۳۸۹]. شکل ۱-۴ تصویر به دست آمده بر اساس این ترکیب رنگی کاذب را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این شکل آلتراسیون آرژیلیک به رنگ صورتی (مربع قرمز رنگ) و آلتراسیون پروپلیتیک به رنگ سبز دیده می‌شود.

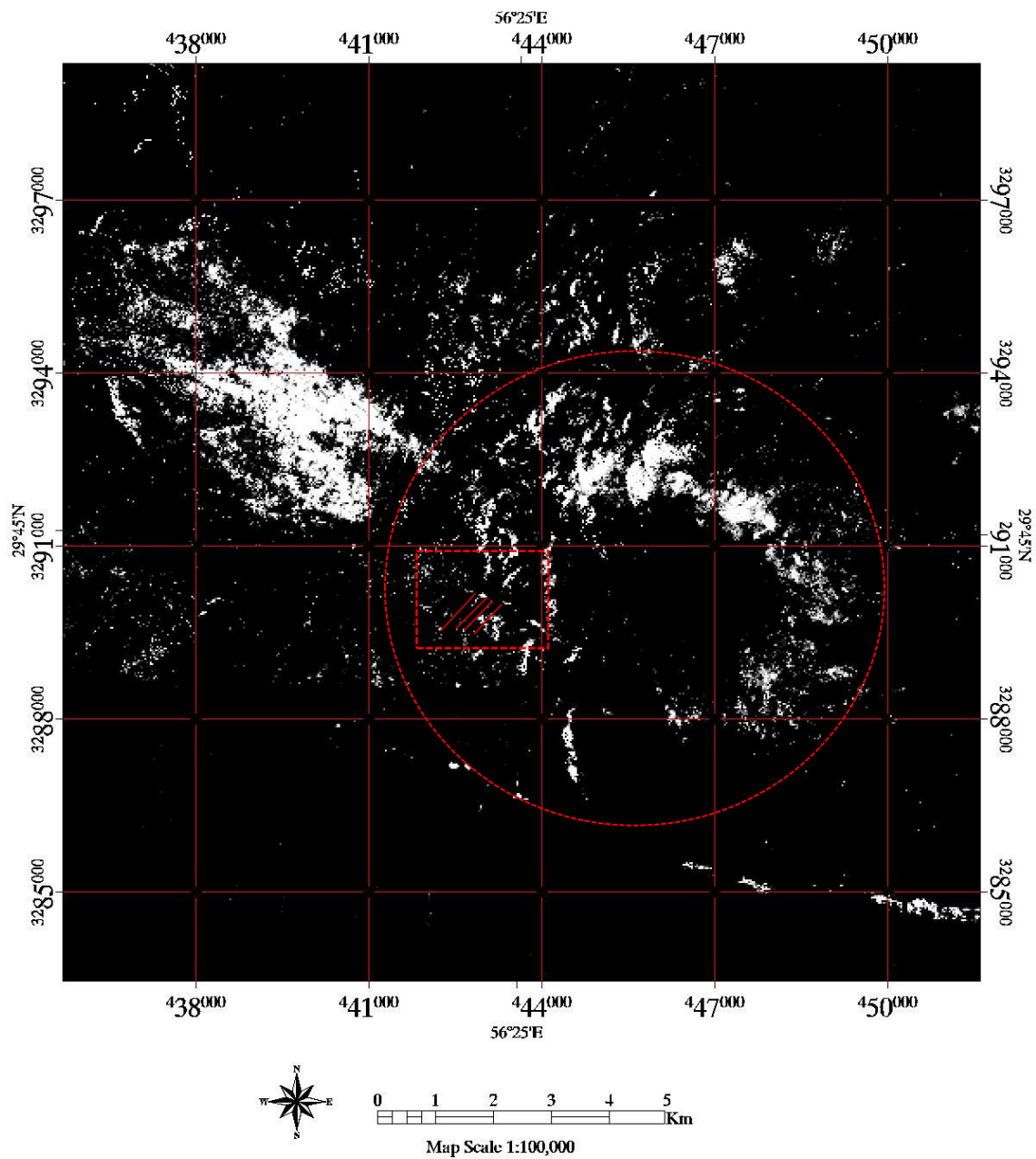
برای شناسایی آلتراسیون‌های پروپلیتیک موجود در منطقه از روش نسبت‌های باندی استفاده شده است [Crosta, 2003]. باتوجه به میزان انعکاس بالای کانی اپیدوت (کانی شاخص در آلتراسیون پروپلیتیک) در باند ۵ و میزان جذب بالا در باند ۸ به دلیل پیوند Mg-OH؛ لذا نسبت باندی ۵/۸ برای بارزسازی

^۱ United States Geological Survey

آلتراسیون پروپیلیتیک مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴-۲) [Beiranvand Pour, 2012]. تایید کننده آلتراسیون پروپیلیتیک به دست آمده در شکل (۴-۱) است. همان‌طور که در تصویر نیز مشاهده می‌شود، آلتراسیون پروپیلیتیک مانند قیفی آلتراسیون آرژلیک را در برگرفته است (دایره قرمز رنگ) و در نتیجه اندیس معدنی صورتی رنگ که در شکل (۴-۱) نیز دیده می‌شود، دارای بیشترین پتانسیل برای انجام عملیات ژئوفیزیکی می‌باشد و انتخاب می‌گردد.



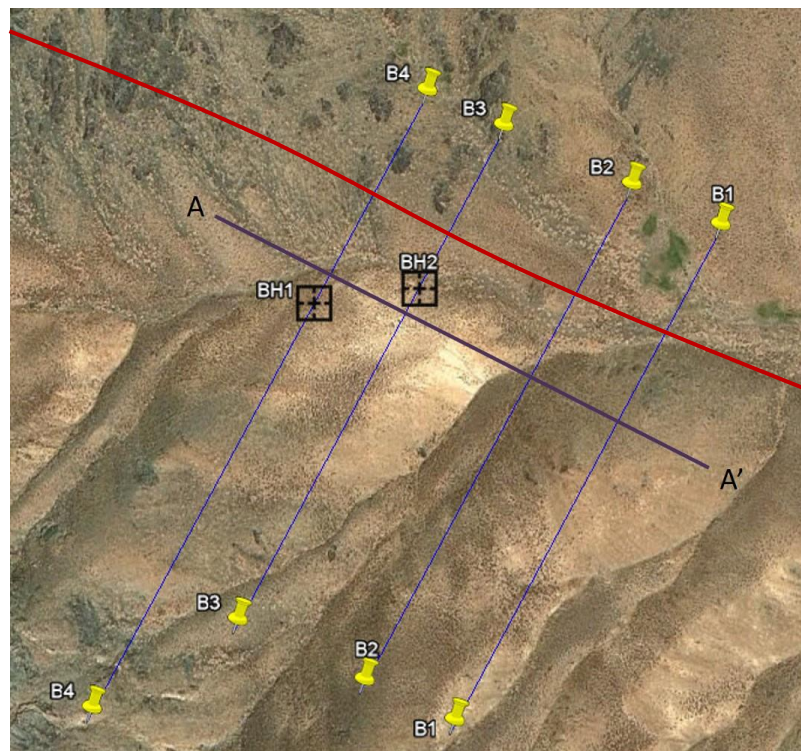
شکل ۴-۱: آلتراسیون‌های آرژیلیک و فیلیک به رنگ صورتی تا قرمز (مربع قرمز) و آلتراسیون پروپیلیتیک به رنگ سبز و خطوط برداشت که بر روی اندیس قرار دارند



شکل ۴-۲: آلتراسیون‌های پروپلیتیک که به صورت نقاط روشن دیده می‌شوند که آلتراسیون آرژلیک را در بر گرفته‌اند (دایره قرمز) و خطوط برداشت که در شکل مشخص هستند

۲-۴ برداشت‌های مقاومت‌ویژه، IP و حفاری‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه

باتوجه به آلتراسیون‌های به دست آمده در سطح و کارهای دورسنجی انجام شده به منظور اخذ حداکثر اطلاعات عمقی و تغییرپذیری توزیع مقاومت ویژه حقیقی و بارپذیری توده‌های زیرسطحی تعداد ۴ پروفیل با امتدادهای شمال شرق به جنوب غرب به طول‌های ۳۵۰ تا ۵۰۰ متر عمود بر روند آلتراسیون‌های به دست آمده از دورسنجی و روند کانی‌سازی مشاهده شده بر روی زمین انتخاب گردیدند. این پروفیل‌ها با استفاده از آرایه قطبی-دوقطبی به صورت رفت و برگشتی و با فواصل الکترودی ۲۰ متر و پرش‌های بین ۱ تا ۱۰ برداشت گردیدند. تعداد کل داده‌های برداشت شده حدود ۵۰۰ نقطه می‌گردد یک پروفیل (AA') نیز به صورت عمود بر ۴ پروفیل توسط نرم افزار RockWork محاسبه گردید و پس از تفسیرهای اولیه دو نقطه حفاری پیشنهاد و حفاری انجام شد که در شکل (۳-۴) تصویر ماهواره‌ای پروفیل‌ها و نقاط حفاری و در شکل (۴-۵) موقعیت پروفیل‌ها و نقاط حفاری بر روی نقشه توپوگرافی تولید شده توسط نرم‌افزار RockWork قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۴: تصویر ماهواره‌ای پروفیل‌ها، موقعیت نقاط حفاری شده و گسل موجود در منطقه [Google Earth]

در مناطق مورد مطالعه برای اندازه‌گیری فاکتورهای IP و مقاومت ویژه از دو سری دستگاه‌های IP استفاده گردیده، که شامل یک دستگاه گیرنده رقومی و یک دستگاه ترانسمیتر و یک دستگاه ژنراتور می‌باشد (شکل ۴-۴). اندازه‌گیری در حوزه زمان انجام می‌گیرد و مشخصات دستگاه‌های گیرنده و ترانسمیتر آنها بصورت زیر است:

گیرنده (WDJS-2 receiver):

طیف ولتاژ اولیه از ۳۰ میکرو ولت تا ۳۰ ولت

دقت اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده 0.1mv/v

دقت پتانسیل خودزا ۱٪

وزن ۲ کیلوگرم

این دستگاه مقدار شارژاییلیته را پس از خنثی کردن پتانسیل طبیعی زمین در ۴ پنجره زمانی در منحنی دشارژ می‌تواند اندازه‌گیری کند.

ترانسمیتر (WDFZ-5 transmitter)

قدرت خروجی حداکثر ۵۰۰۰ وات

حداکثر ولتاژ خروجی از ۱۰۰۰ ولت

حداکثر جریان خروجی ۵ آمپر

دقت قرائت ۱ میلی آمپر

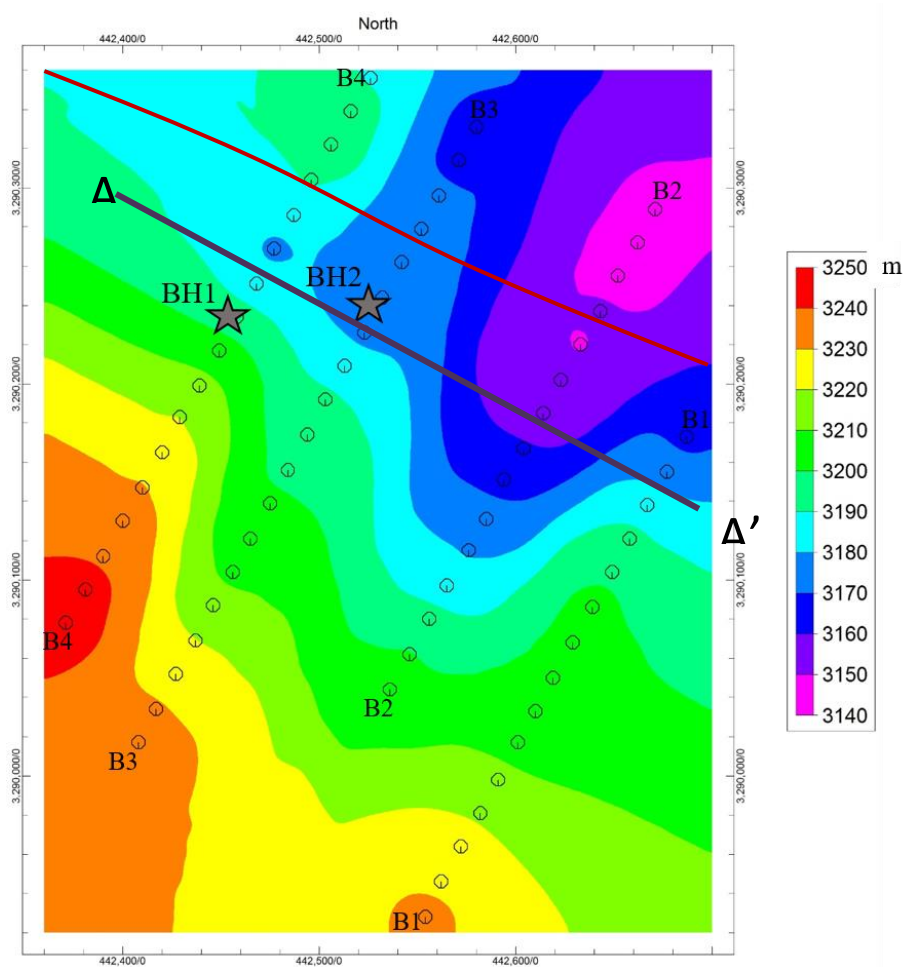
درجه حرارت مجاز محیط اندازه‌گیری از 50°C تا 10°C -

الکترودها

برای ارسال جریان، الکترودهای آهنی و برای اندازه‌گیری از الکترودهای غیرقابل پلاریزه استفاده می‌شود.



شکل ۴-۴: راست به چپ: دستگاه‌های گیرنده، Rectifying power supply و ترانسمیتر



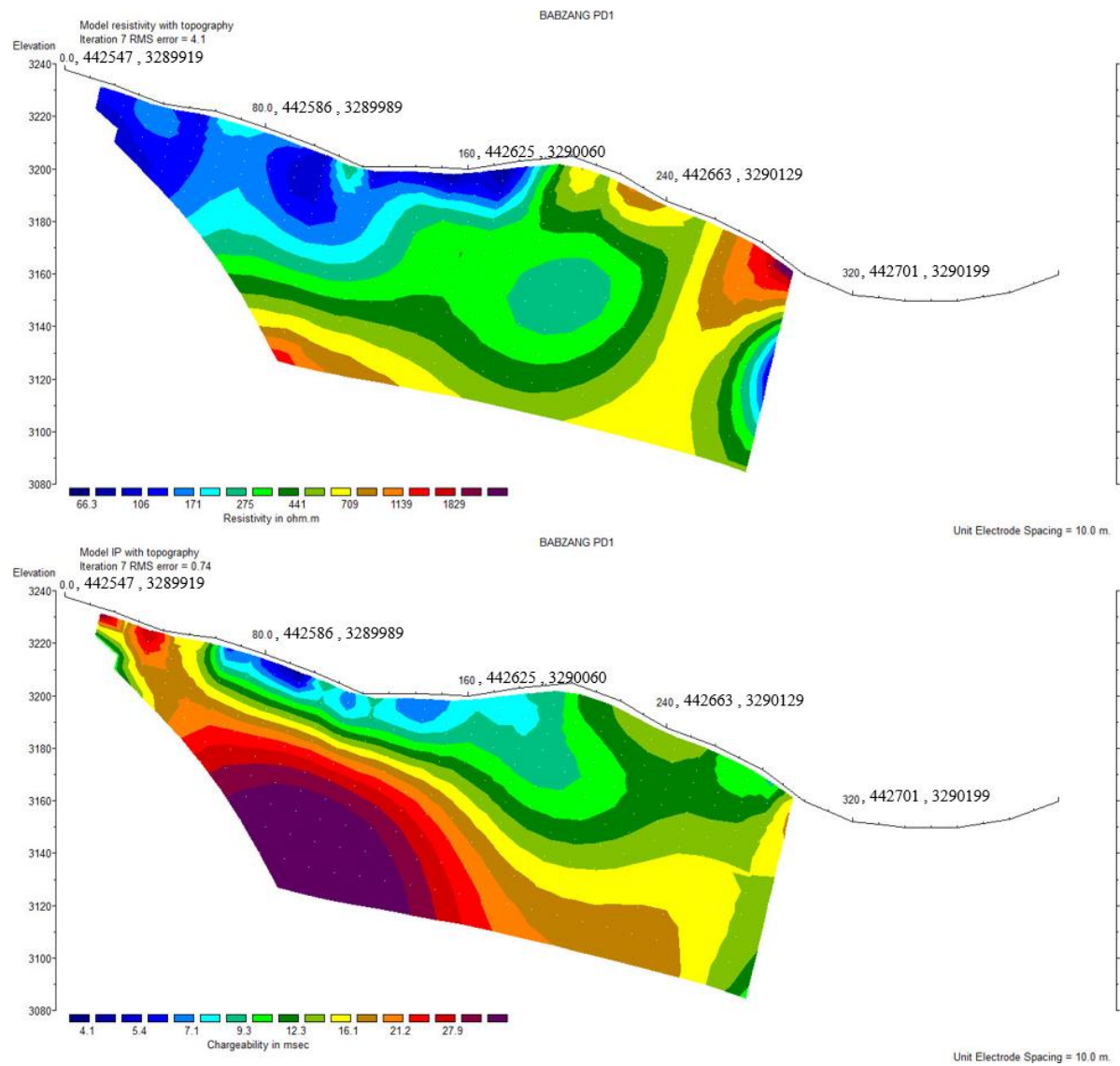
شکل ۴-۵: موقعیت پروفیل‌ها، نقاط حفاری و گسل موجود (خط قرمز) بر روی نقشه توپوگرافی

۳-۴ تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و IP

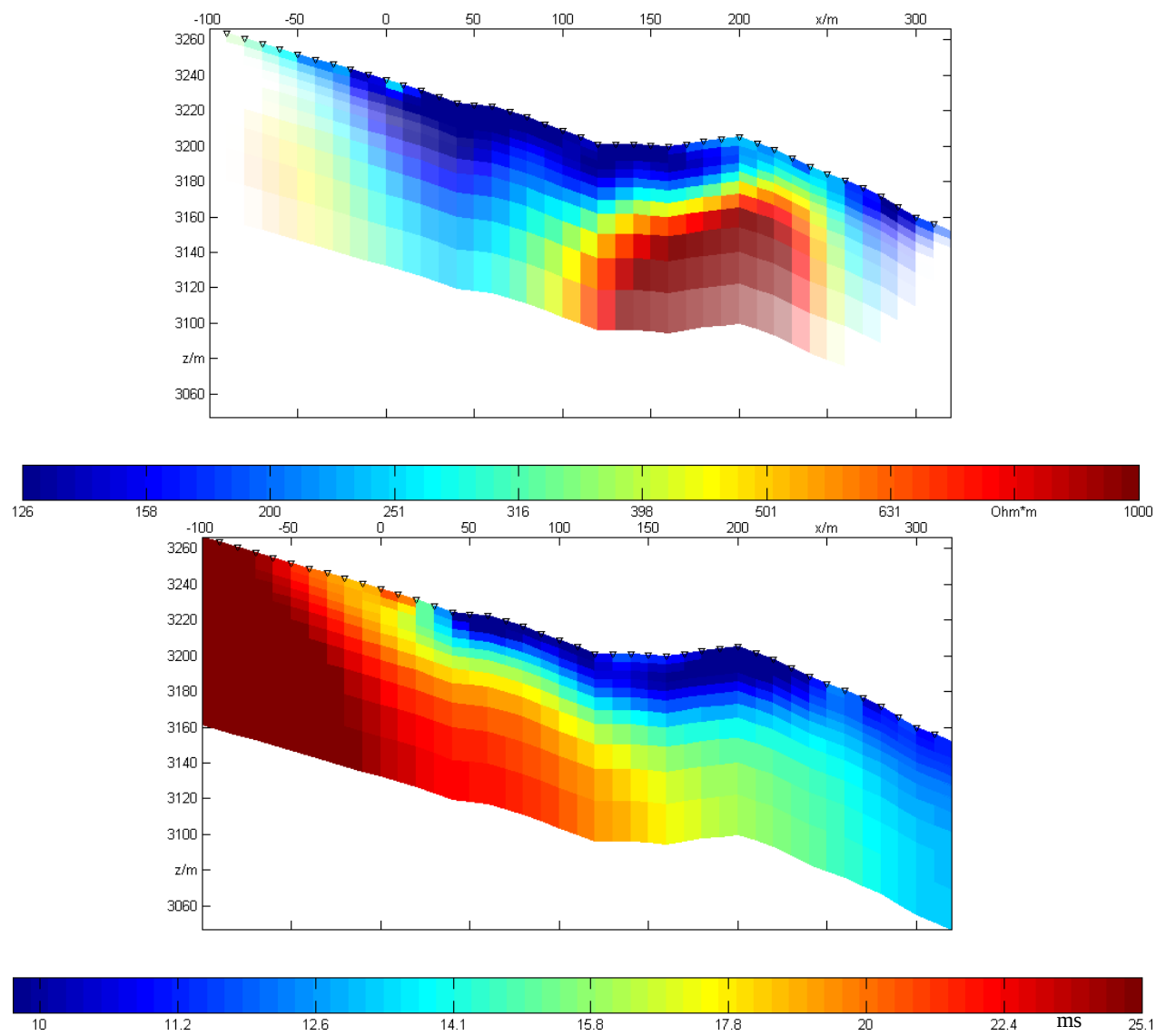
نقشه زمین‌شناسی که برای ناحیه مس چهارگنبد و اطراف آن تهیه شده، نشان می‌دهد که کانی‌سازی به طور عمده در مناطق گسل‌دار و از راه فعالیت گرمایی صورت گرفته است و غنی‌ترین بخش معدن معمولاً در محل برخورد گسل‌هایی که جهت مختلف دارند، قرار دارد. ماده معدنی اولیه کالکوپیریت و پیریت است؛ که در رگه‌هایی یافت می‌شود؛ که این رگه‌ها به علت ضخیم شدن و نازک شدن به شکل عدسی‌ها و هم‌چنین رگچه‌ها و به صورت پراکنده تظاهر می‌کنند. گانک از کلسیت و کوارتز است. سنگ‌های اطراف رگه‌ها به شدت سیلیسی شده‌اند و با هوازدگی به صورت ظاهری نسبتاً ناهموار و به رنگ خرمایی مایل به خاکستری در آمده‌اند. در نتیجه در تفسیر مقاطع باید به دنبال نقاط و محدوده‌های با IP بالا و مقاومت‌ویژه متوسط و متوسط به پایین بود.

۳-۴-۱- تفسیر نتایج مدل‌سازی وارون پروفیل B1

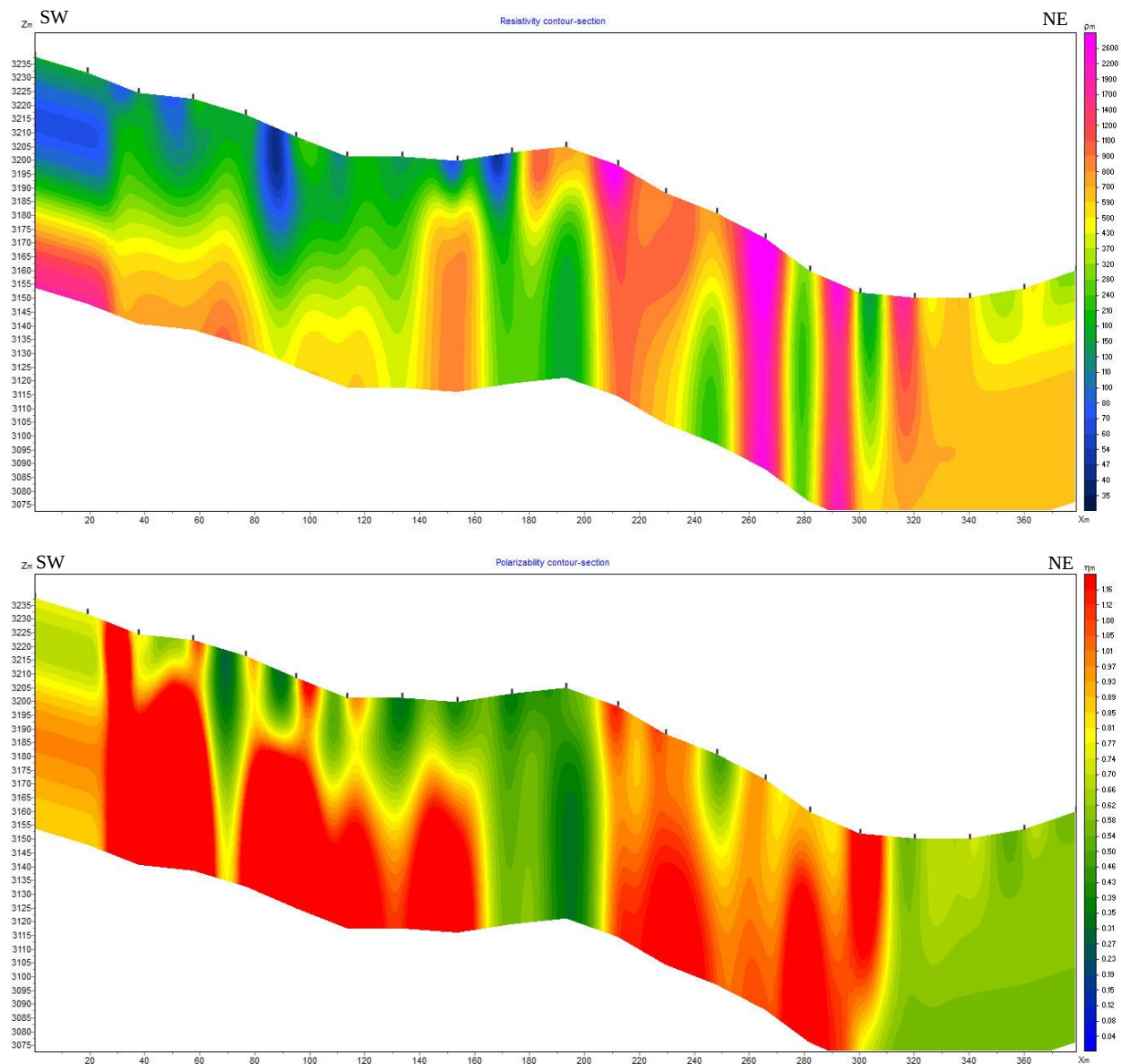
این پروفیل با امتداد شمال‌شرق-جنوب‌غرب و به طول ۴۰۰ متر و شامل ۱۰۰ نقطه برداشت گردیده است. بیشینه مقاومت‌ویژه در این مقطع، ۱۸۲۹ و کمینه آن ۶۶ اهم‌متر می‌باشد. این تغییرات می‌تواند به دلیل وجود زون آلتراسیون در سطح که مقاومت پاییینی از خود نشان می‌دهند باشد. مقاومت‌ویژه بالا که در بخش انتهای پروفیل دیده می‌شود می‌تواند به دلیل وجود یک توده نفوذی باشد. حداکثر میزان بارپذیری ۲۸ و حداقل آن ۴ میلی‌ثانیه است که احتمال وجود یک توده خرد شده را افزایش می‌دهد و احتمالاً حاوی مقادیر زیادی کانی‌های سولفیدی فلزی می‌باشد. نتایج مدل‌سازی وارون این مقطع توسط نرم‌افزارهای ZondRes2D و DC2DInvRes ، Res2DInv در شکل‌های (۴-۶) ، (۴-۷) و (۴-۸) مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۶: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 توسط نرم افزار Res2DInv



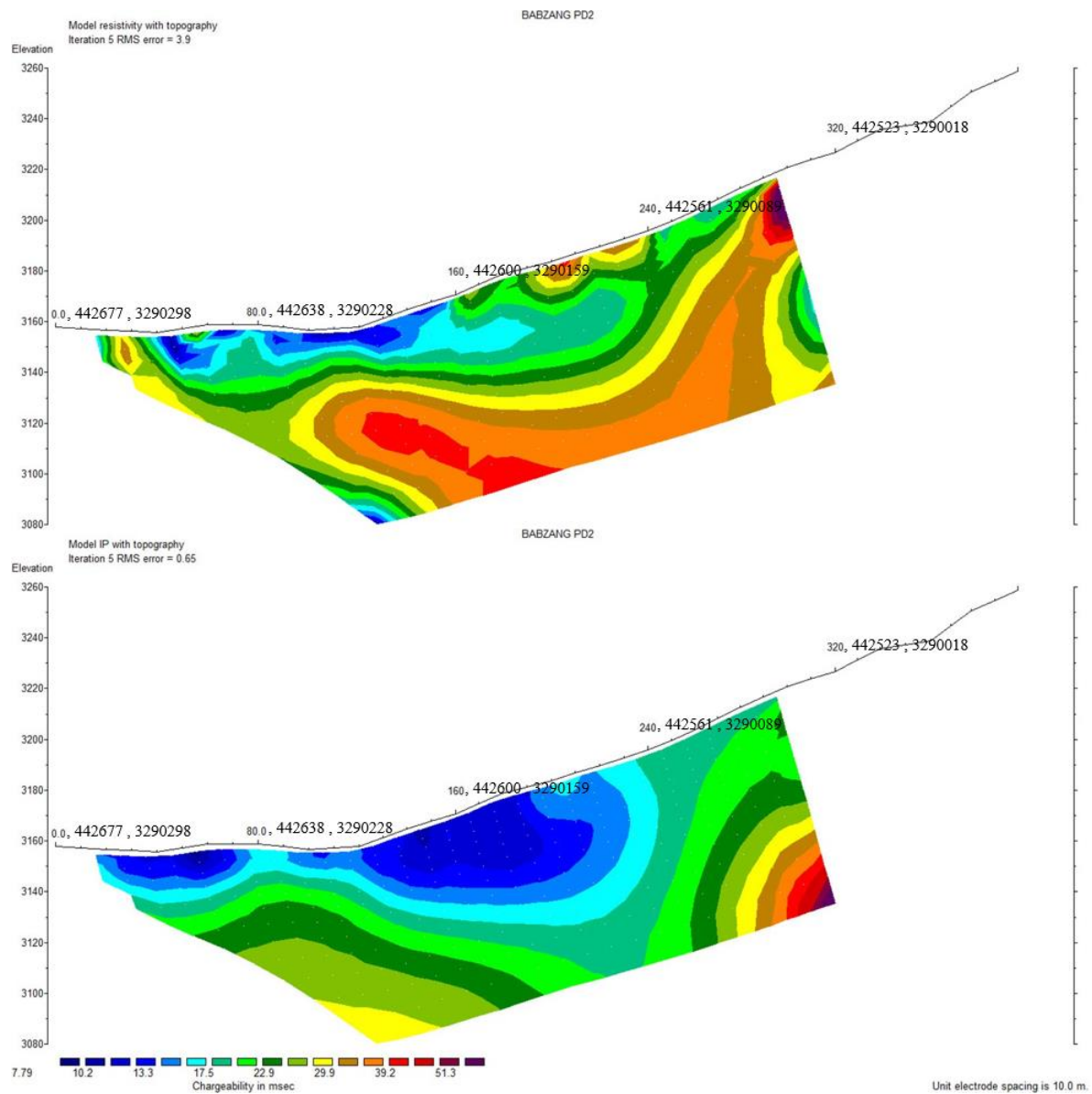
شکل ۴-۷: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 توسط نرم افزار DC2DInvRes



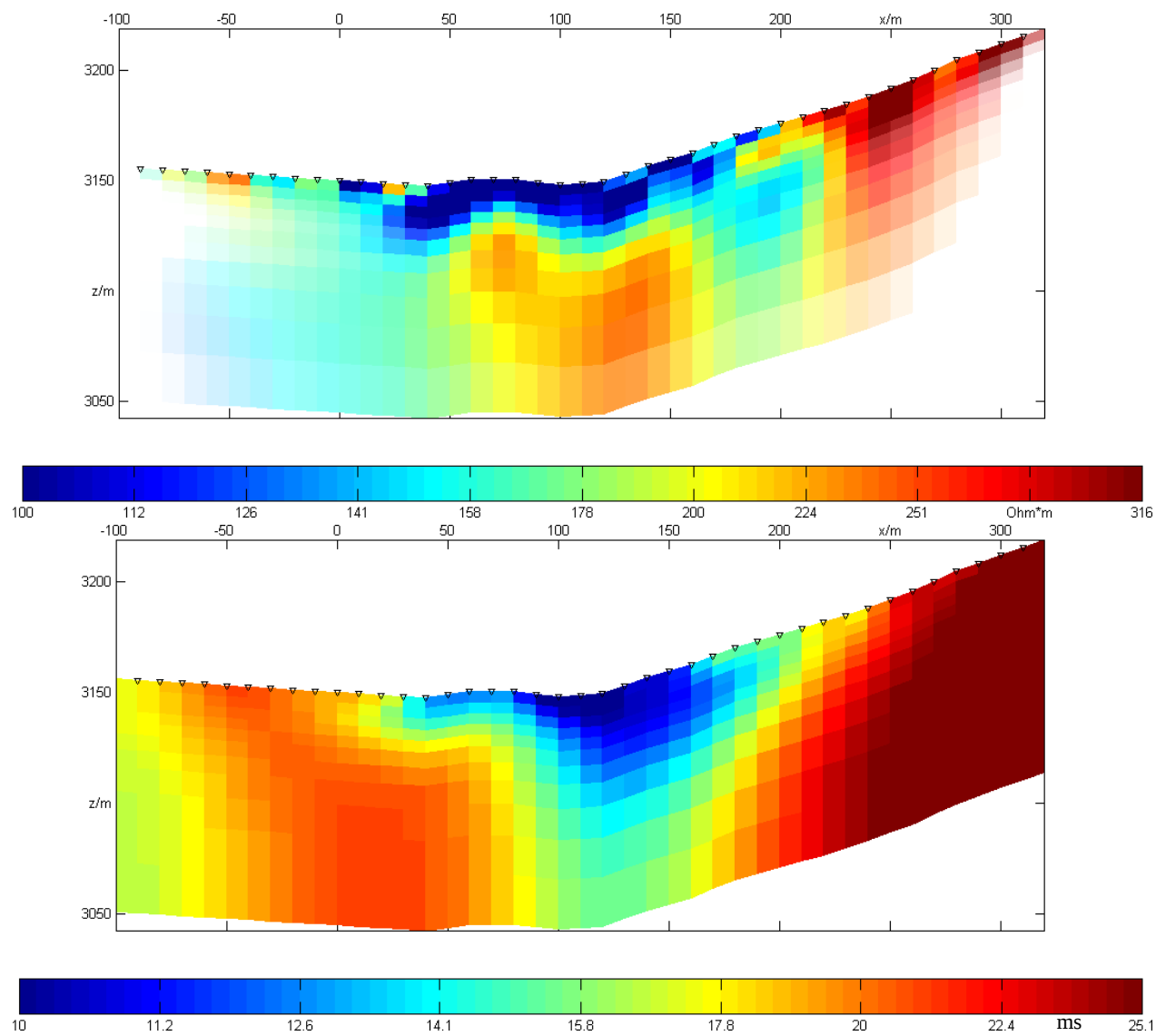
شکل ۴-۸: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 توسط نرم افزار ZondRes2D

۴-۳-۲- تفسیر نتایج مدل سازی وارون پروفیل B2

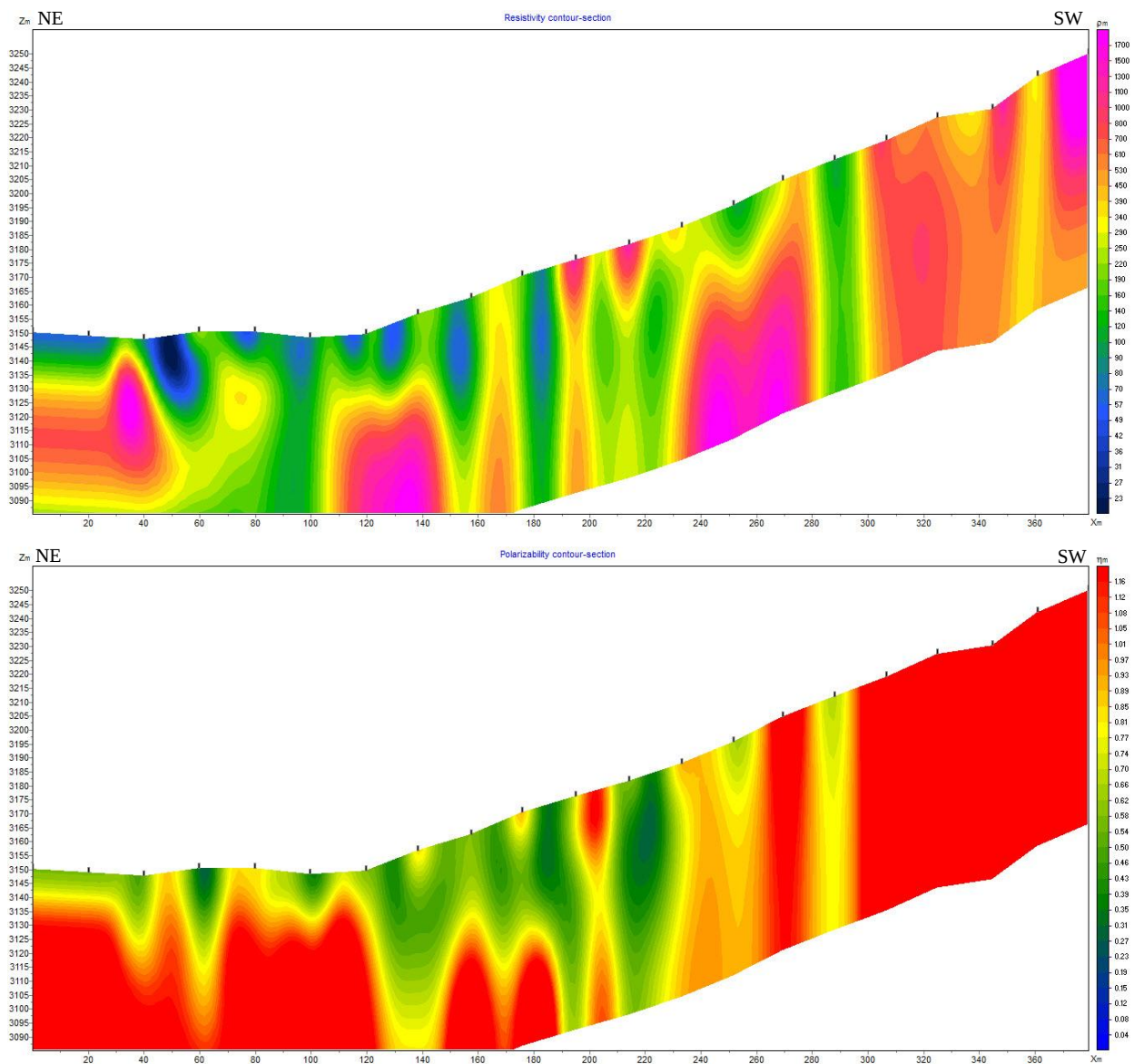
این پروفیل با امتداد شمال شرق-جنوب غرب و به طول ۴۲۰ متر و شامل ۱۰۵ نقطه برداشت گردیده است. بیشینه مقاومت ویژه در این مقطع، ۵۲۸ و کمینه آن ۵۸ اهم متر می باشد. این تغییرات می تواند به دلیل وجود زون آلتراسیون در سطح که مقاومت پایینی از خود نشان می دهند باشد. مقاومت ویژه در این مقطع افت زیادی را نشان می دهد؛ که احتمالاً در اثر یک توده نفوذی رسانا می باشد. حداکثر میزان بارپذیری ۵۱ و حداقل آن ۸ میلی ثانیه است که احتمال وجود یک توده خرد شده را در بخش انتهایی پروفیل و در عمق ۷۴ افزایش می دهد و احتمالاً حاوی مقادیر زیادی کانی های سولفیدی فلزی می باشد. نتایج مدل سازی وارون این مقطع توسط نرم افزارهای Res2DInv ، DC2DInvRes و ZondRes2D در شکل های (۴-۹) ، (۴-۱۰) و (۴-۱۱) مشاهده می شود.



شکل ۴-۹: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 توسط نرم افزار Res2DInv



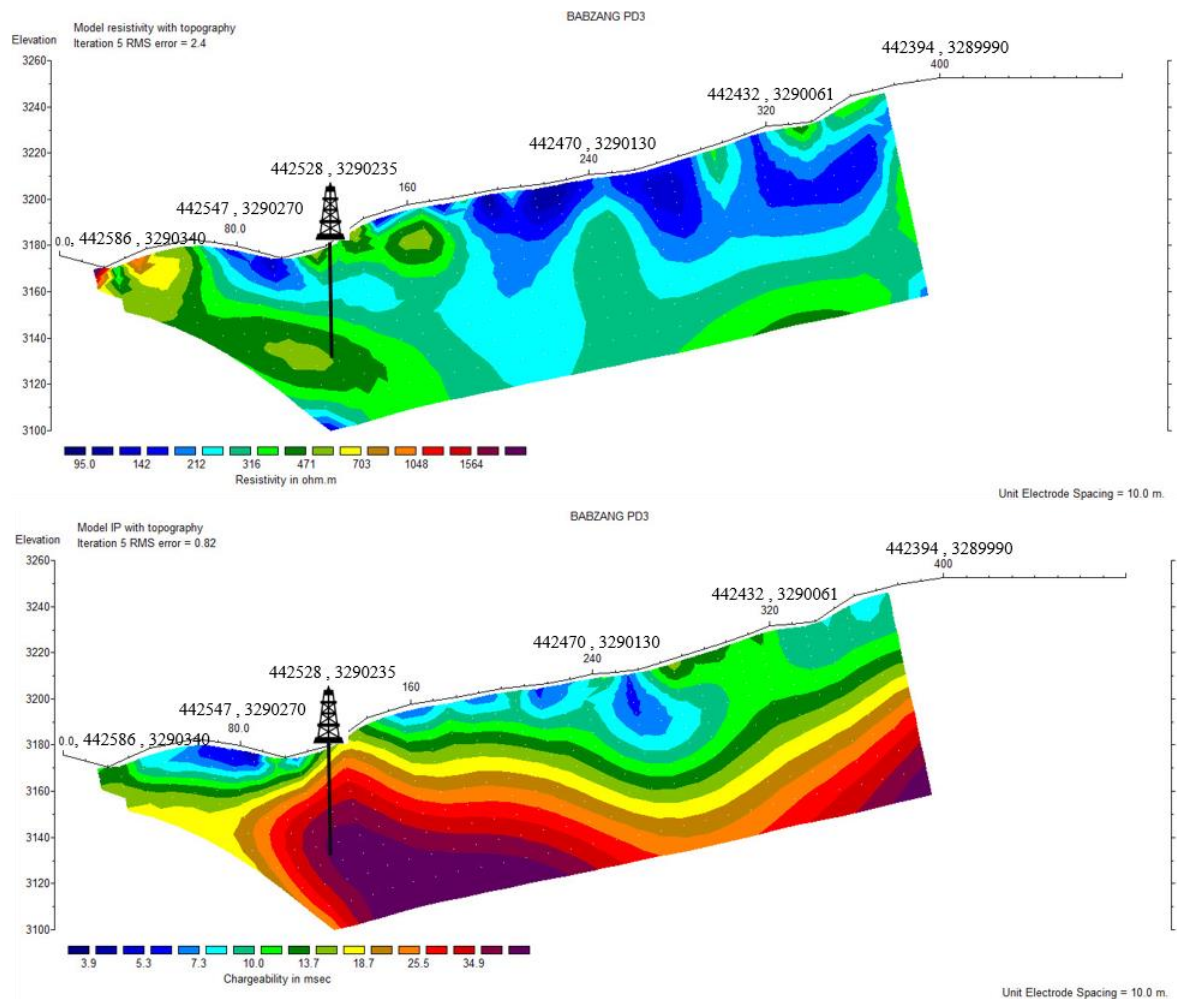
شکل ۴-۱۰: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 توسط نرم افزار DC2DInvRes



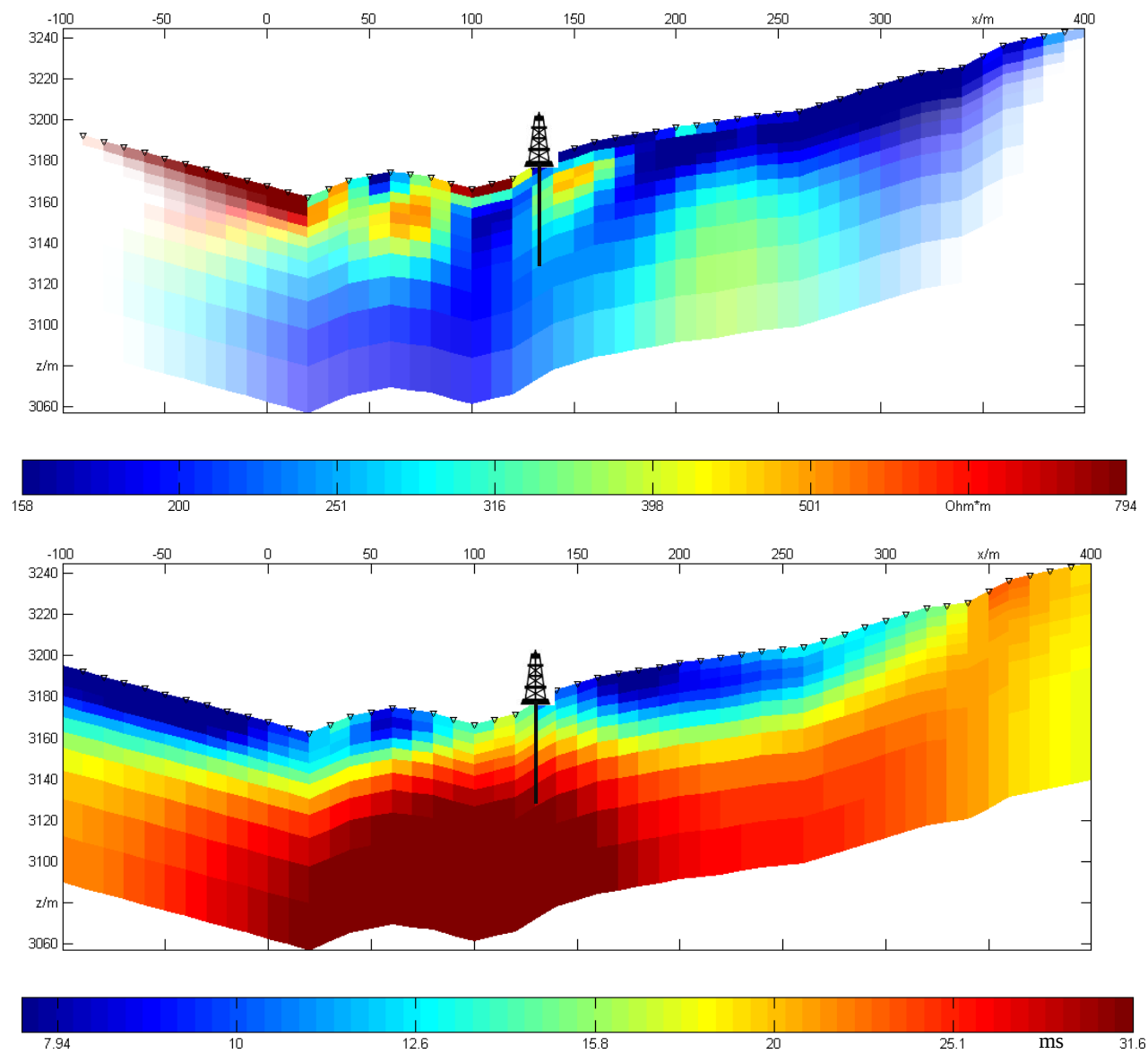
شکل ۴-۱۱ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 توسط نرم افزار ZondRes2D

۴-۳-۳- تفسیر نتایج مدل سازی وارون پروفیل B3

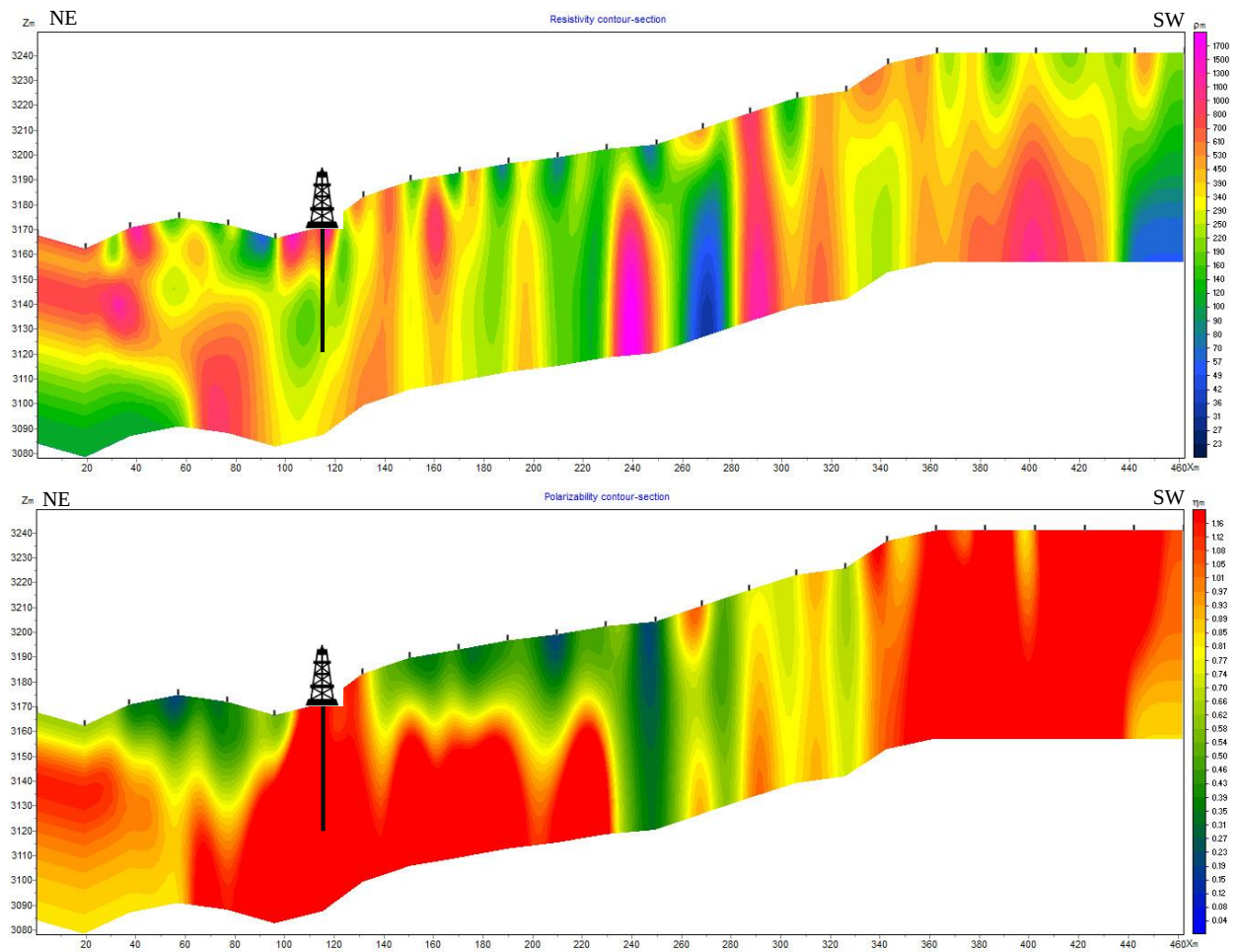
این پروفیل با امتداد شمال شرق-جنوب غرب و به طول ۴۸۰ متر و شامل ۱۵۰ نقطه برداشت گردیده است. بیشینه مقاومت ویژه در این مقطع، ۱۵۶۵ و کمینه آن ۹۵ اهم متر می باشد. این تغییرات می تواند به دلیل وجود زون آلتراسیون در سطح که مقاومت پایینی از خود نشان می دهند باشد. مقاومت ویژه در این مقطع افت زیادی را وسط پروفیل نشان می دهد؛ که احتمالاً در اثر وجود گسل و یا یک توده نفوذی رسانا می باشد. حداکثر میزان بارپذیری ۳۵ و حداقل آن ۴ میلی ثانیه است، که پایین بودن مقاومت ویژه در این محدوده احتمال وجود یک توده خورد شده را در بخش ابتدایی پروفیل پروفیل و در عمق ۴۵ تا ۵۰ متری افزایش می دهد و احتمالاً حاوی مقادیر زیادی کانی های سولفیدی فلزی می باشد و دارای پتانسیل بالایی در وجود ذخیره می باشد و در نتیجه یک گمانه در این نقطه زده شده؛ که در عمق ۵۰ متری به ذخیره برخورد کرده است. نتایج مدل سازی وارون این مقطع و محل حفاری توسط نرم افزارهای Res2DInv ، DC2DInvRes و ZondRes2D در شکل های (۴-۱۲) ، (۴-۱۳) و (۴-۱۴) مشاهده می شود.



شکل ۴-۱۲: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار Res2DInv



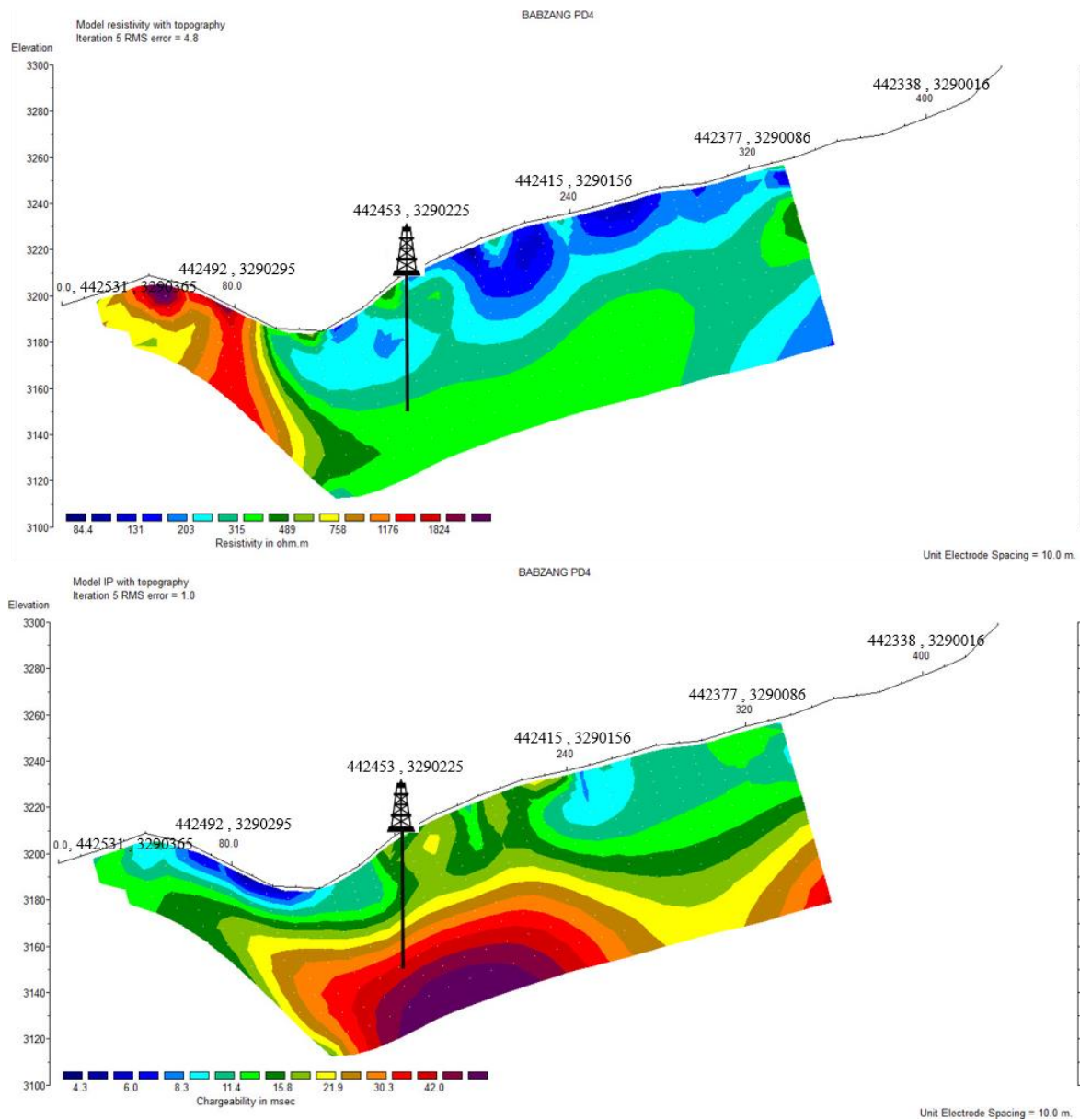
شکل ۴-۱۳: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار DC2DInvRes



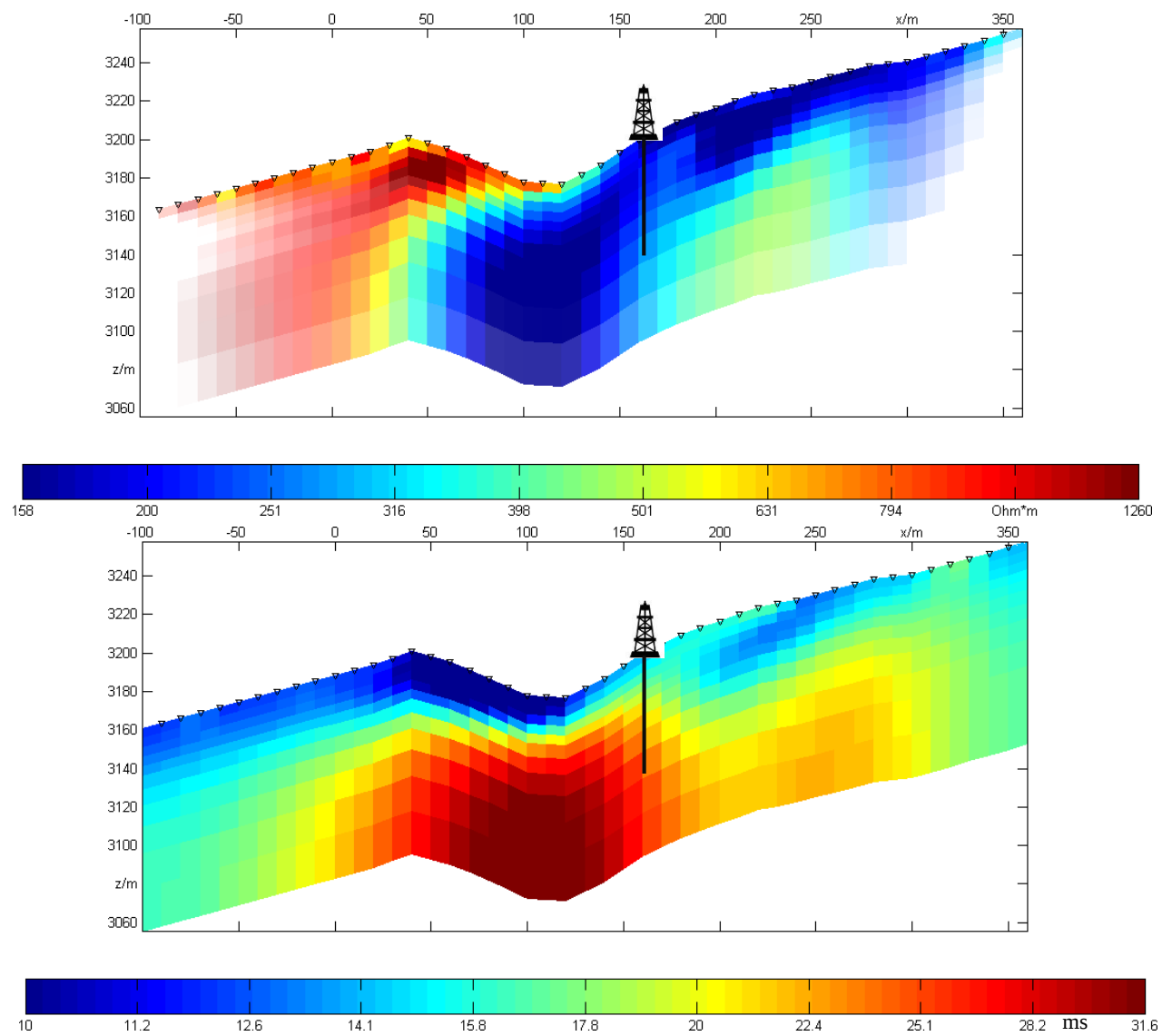
شکل ۴-۱۴ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم افزار ZondRes2D

۴-۳-۴- تفسیر نتایج مدل سازی وارون پروفیل B4

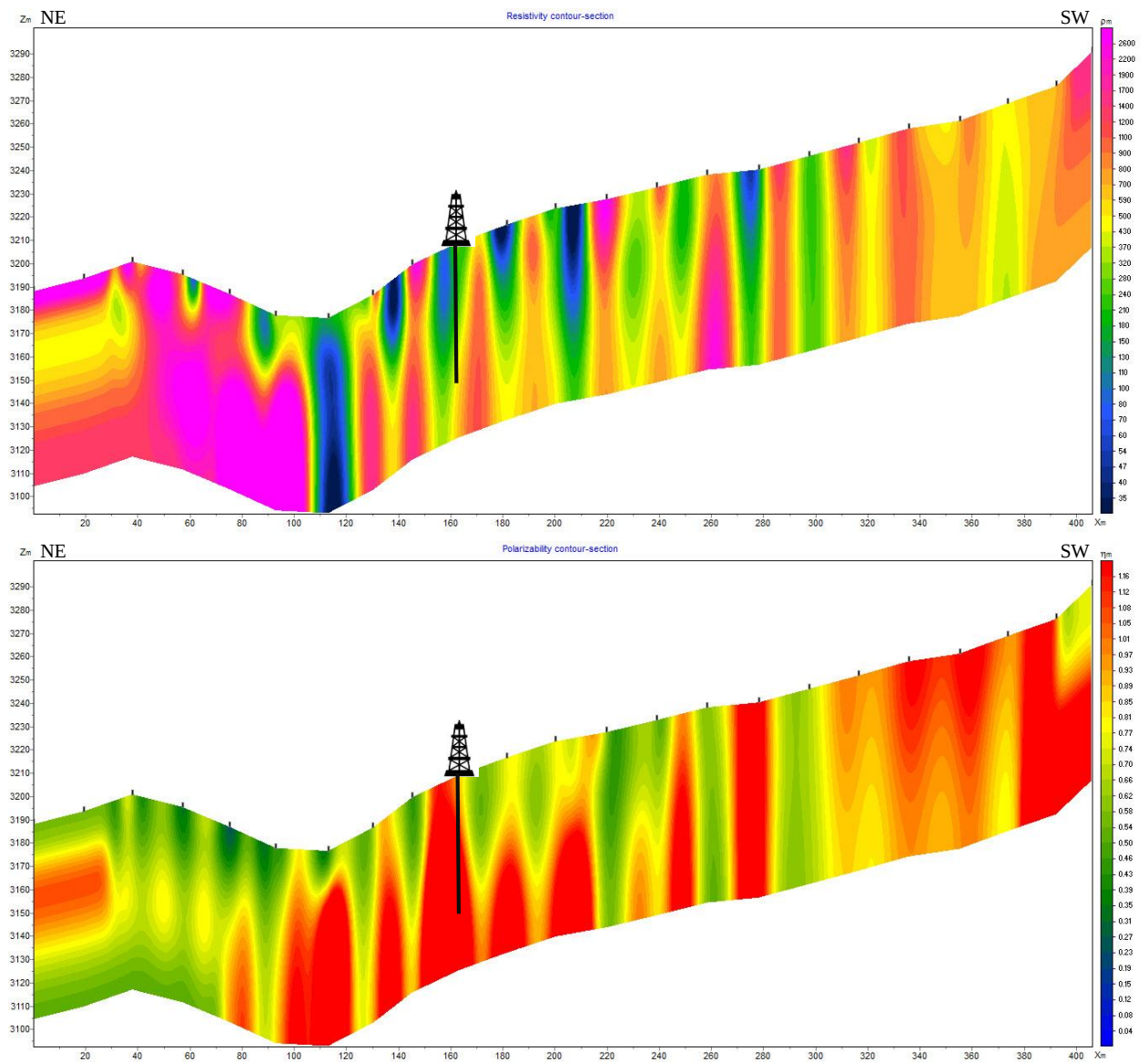
این پروفیل با امتداد شمال شرق-جنوب غرب و به طول ۴۴۰ متر و شامل ۱۳۰ نقطه برداشت گردیده است. بیشینه مقاومت ویژه در این مقطع، ۱۸۲۴ و کمینه آن ۸۴ اهم متر می باشد. این تغییرات می تواند به دلیل وجود زون آلتراسیون در سطح که مقاومت پاییینی از خود نشان می دهند باشد. حداکثر میزان بارپذیری ۴۲ و حداقل آن ۴ میلی ثانیه است و در محدوده ای که دارای پلاریزاسیون بالایی است؛ مقاومت ویژه پاییینی مشاهده می شود؛ که احتمال وجود یک توده خرد شده با پراکندگی پاییین را در بخش میانی پروفیل و در عمق ۵۰ تا ۶۰ متری افزایش می دهد و احتمالاً حاوی مقادیر زیادی کانی های سولفیدی فلزی می باشد. بنابراین این پروفیل نیز دارای پتانسیل بالایی برای حفر گمانه اکتشافی بود و یک گمانه در آن حفر شد و در عمق ۵۴ متری به ذخیره برخورد نمود؛ که نتایج مدل سازی وارون این مقطع توسط نرم افزارهای Res2DInv ، DC2DInvRes و ZondRes2D و محل حفاری در شکل های (۴-۱۵) ، (۴-۱۶) و (۴-۱۷) مشاهده می شود.



شکل ۴-۱۵: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار Res2DInv



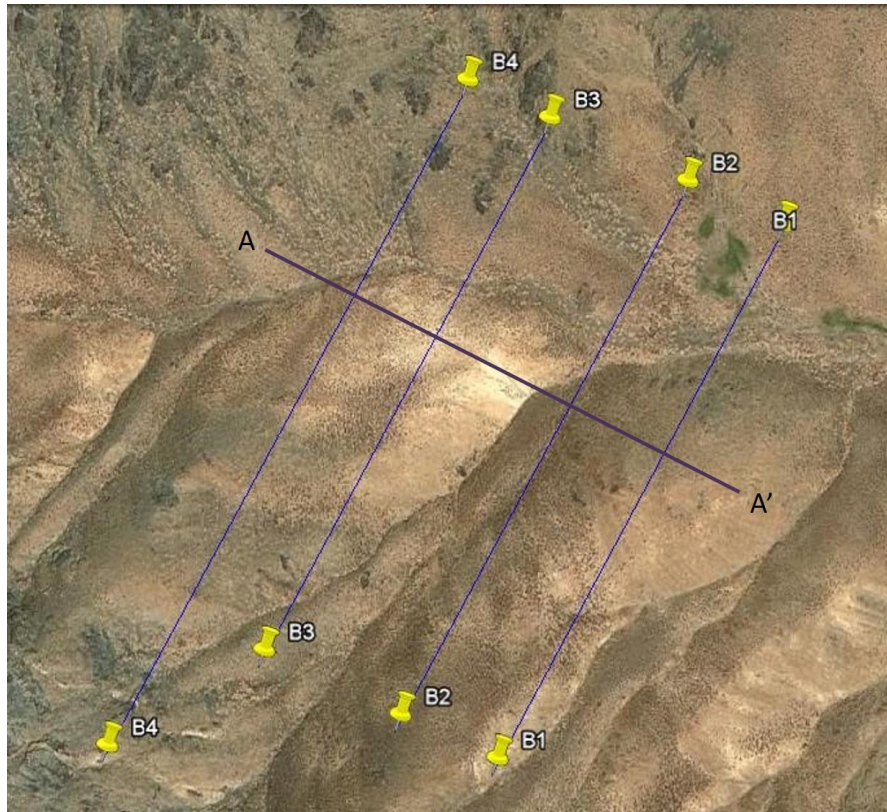
شکل ۴-۱۶: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار DC2DInvRes



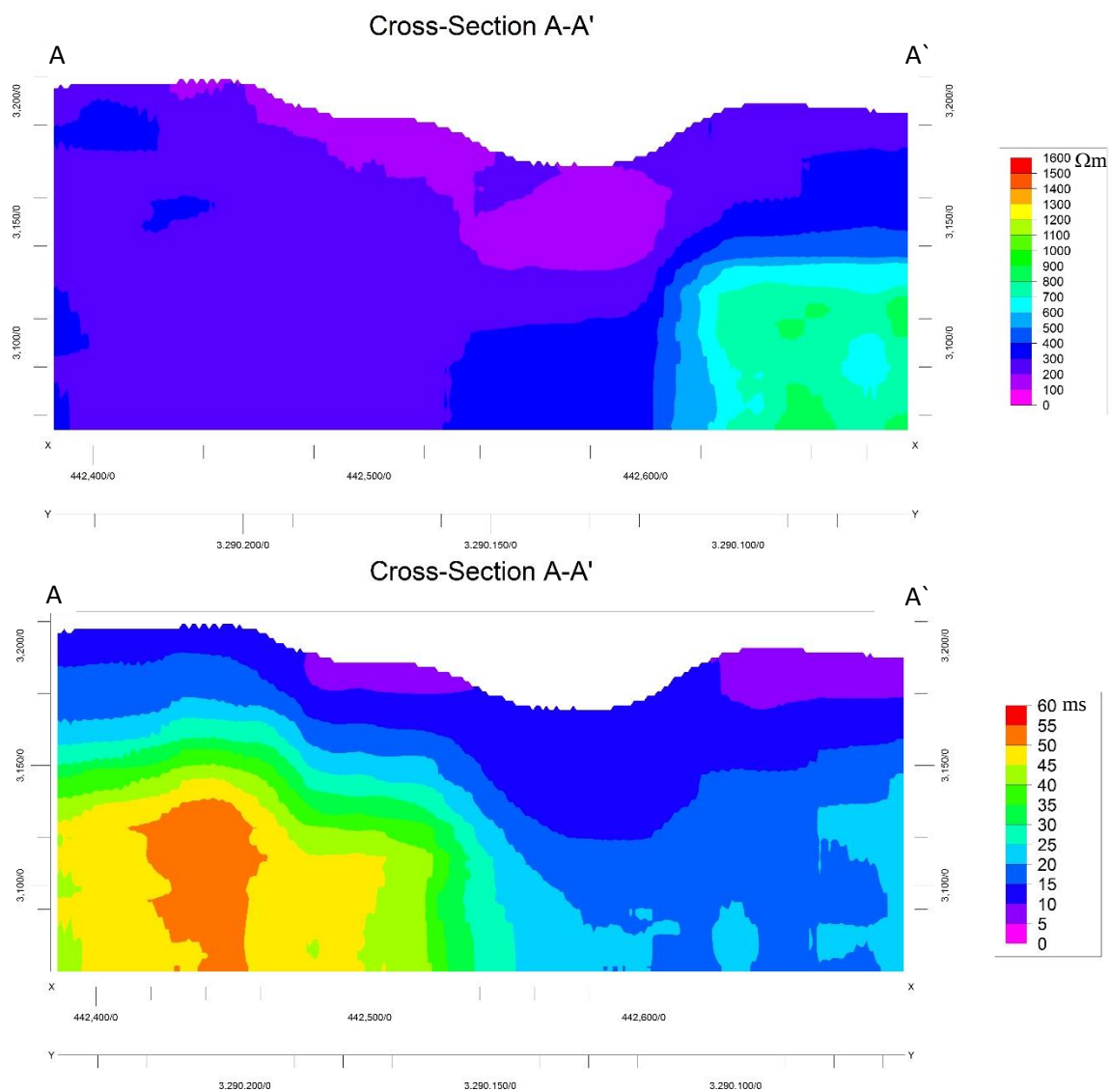
شکل ۴-۱۷ : نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار ZondRes2D

۴-۳-۵- تفسیر نتایج پروفیل AA`

برای داشتن دید بهتر و به علت نبود پشتیبانی مالی کافی برداشت پروفیل پنجم به صورت عمود بر این چهار پروفیل امکان پذیر نبوده و به همین دلیل پروفیل ها به عنوان ورودی به نرم افزار RockWork داده شدند و توسط درون یابی این مقطع توسط نرم افزار RockWork و به صورت یک مقطع عمود رسم شده است و همان طور که در شکل (۴-۱۹) مشاهده می شود در این مقطع به وضوح ناحیه با پلاریزاسیون القایی بالا و مقاومت ویژه متوسط مشاهده می شود؛ که احتمالاً یک توده نفوذی با خرد شدگی می باشد؛ که پراکندگی آن زیاد نمی باشد.



شکل ۴-۱۸ : تصویر ماهواره ای پروفیل AA` که توسط نرم افزار ایجاد شده است



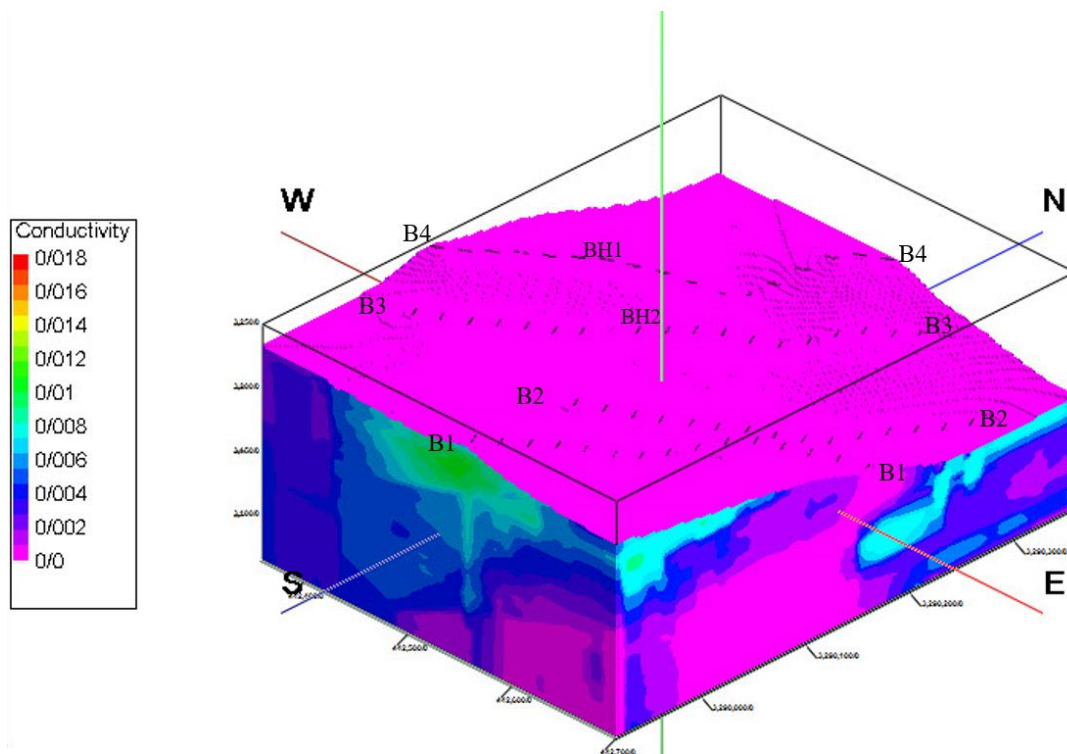
شکل ۴-۱۹: مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل AA' ایجاد شده توسط نرم افزار RockWork

۴-۳-۶- نمایش سه بعدی نتایج وارون سازی

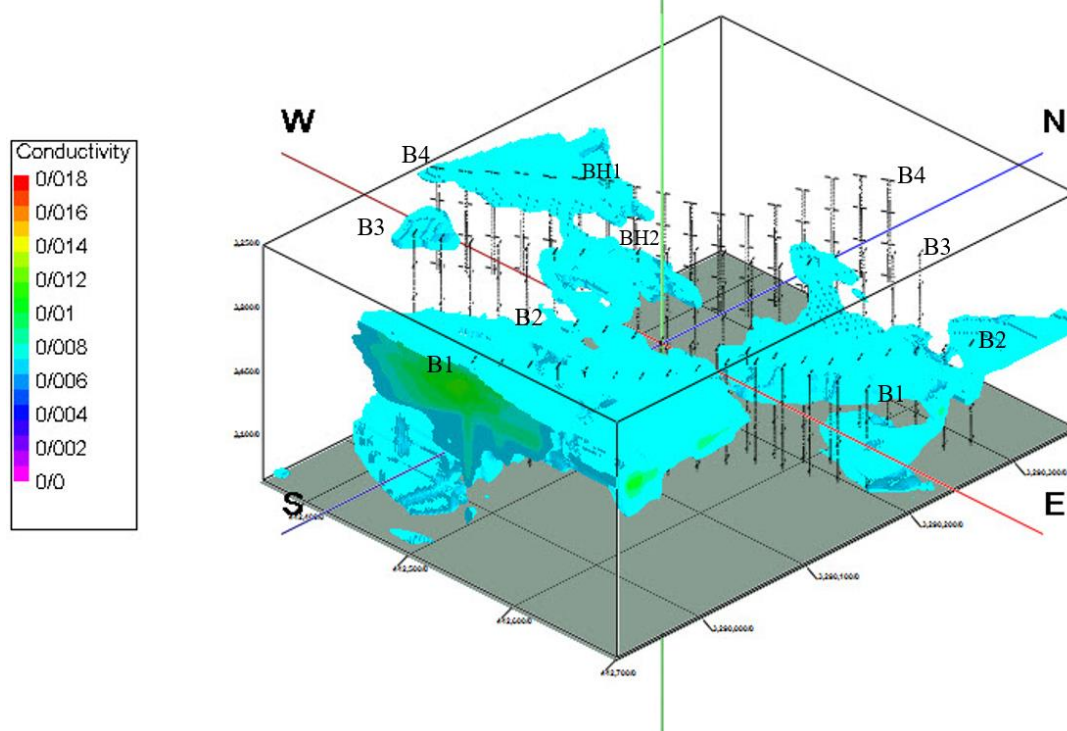
یکی از مشکلاتی که در تفسیر پروفیل های مختلف دو بعدی رخ می دهد، آن است که ستون های رنگی استفاده شده در همه پروفیل ها یکسان است. این در حالی است که مقدار عددی رنگ های استفاده شده با یک دیگر متفاوت است. این امر اگر مفسر را به اشتباه نیاندازد، کار تفسیر دقیق و تعیین ارتباط بین آنومالی های پروفیل های مختلف را بسیار دشوار می نماید. یک راه ساده برای رفع این مشکل آن است که ضمن

تعریف یک فضای تخمین مناسب، نتایج وارون‌سازی پروفیل‌های مختلف را در این فضا درونیابی کرده و سپس با تعیین یک حد آستانه مناسب، آنومالی‌های ژئوفیزیکی را در این فضا رسم نمود [جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳]. برای رسیدن به ایده‌ای بهتر، نتایج مدل‌سازی وارون انجام شده با نرم افزار Res2DInv و مختصات XYZ این مقادیر به وسیله نرم‌افزار RockWorks به صورت سه‌بعدی به نمایش درآمده و نتایج آن در شکل‌های (۴-۲۰) و (۴-۲۱) نشان داده شده است.

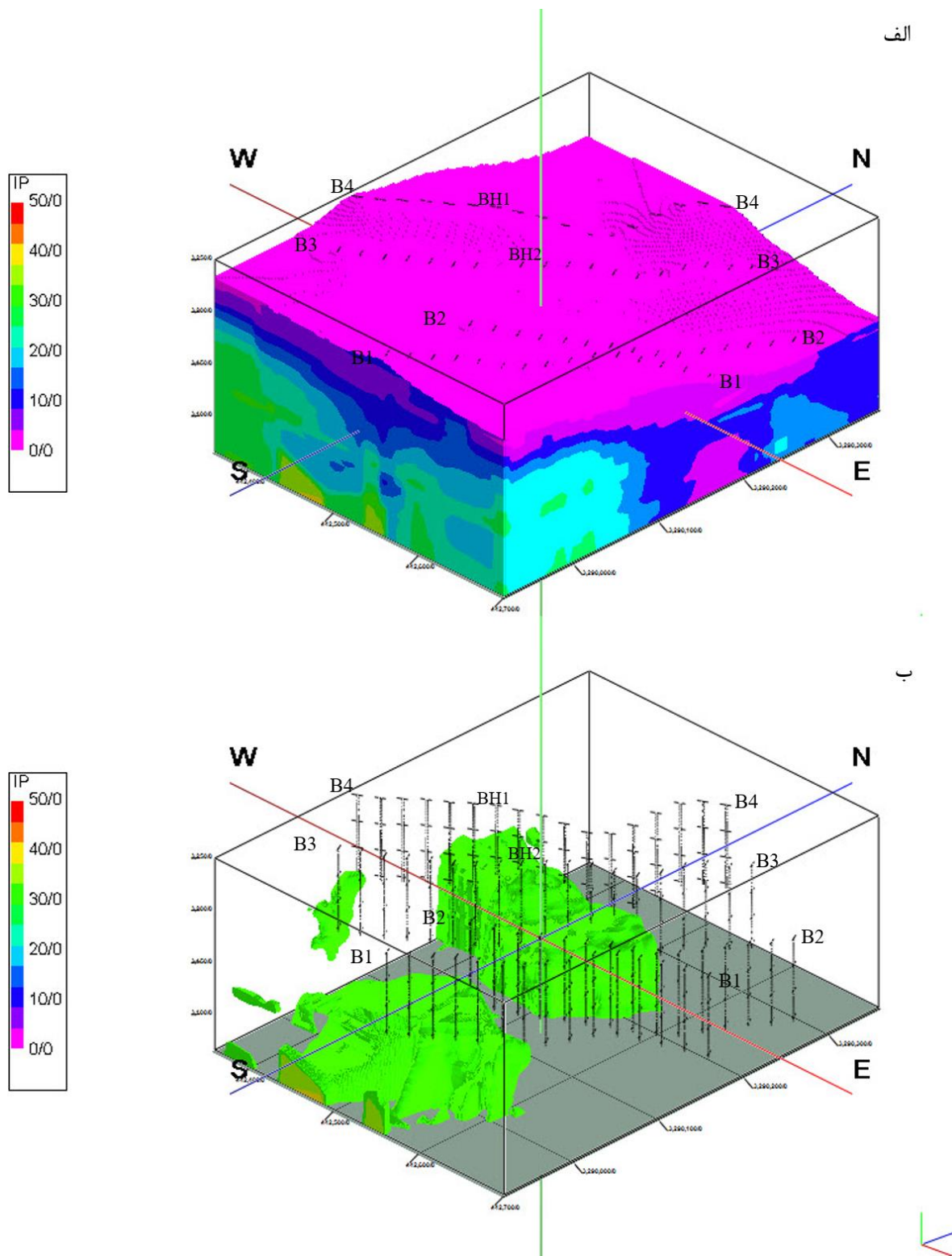
الف



ب



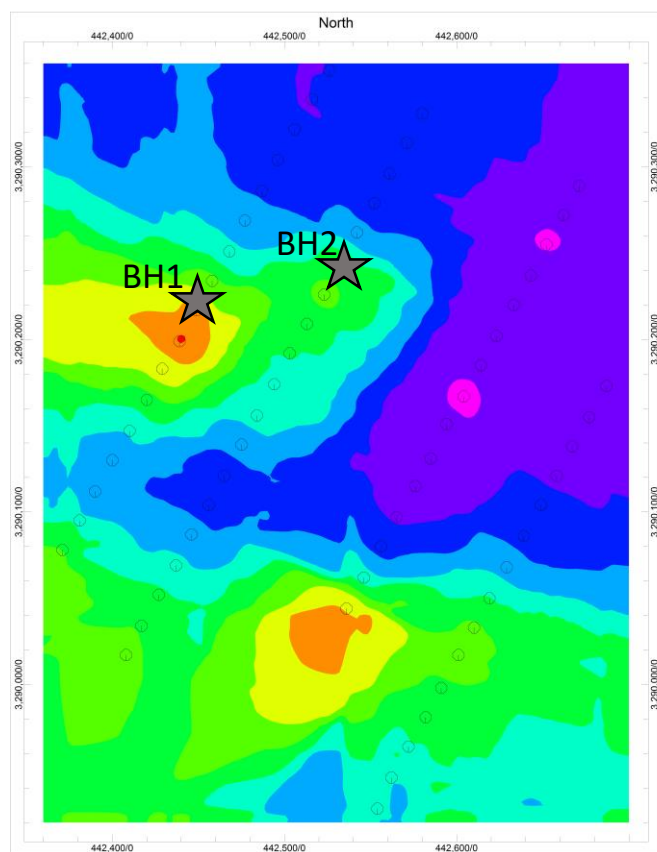
شکل ۴-۲۰: الف: نمایش سه بعدی رسانندگی. ب: نمایش سه بعدی مقادیر رسانندگی بالاتر از ۰/۰۰۸ (زیمنس بر متر)



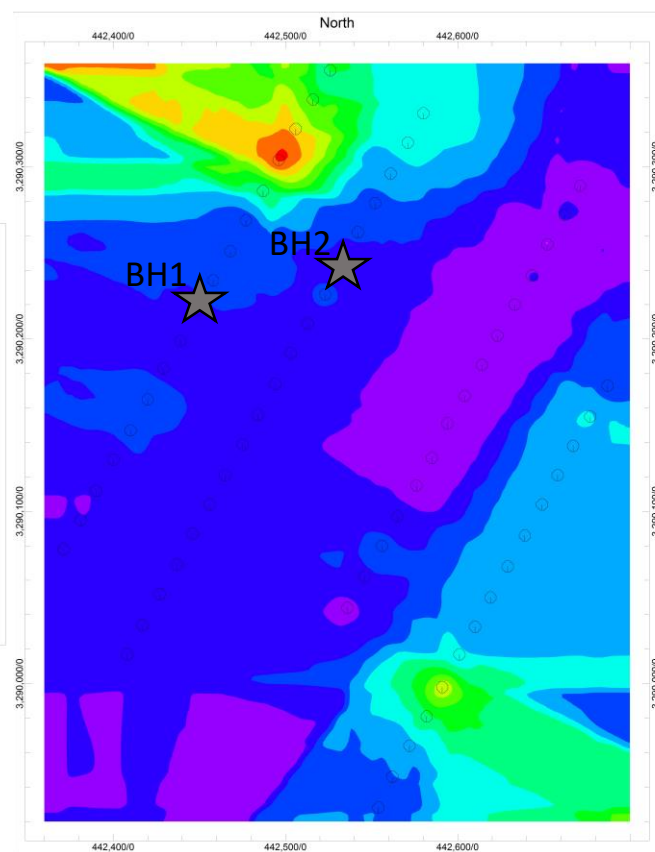
شکل ۴-۲۱: الف: نمایش سه بعدی پلاریزاسیون القایی. ب: نمایش سه بعدی پلاریزاسیون القایی با مقادیر بیشتر از ۳۸ms

۴-۳-۷- مقطع افقی

پس از به نمایش در آمدن نتایج وارون سازی برای این که بتوان به صورت یک نقشه پتانسیل محدوده را بررسی کنیم یک مقطع افقی در سطح ارتفاعی ۳۱۴۰ متر توسط نرم افزار RockWork تولید شد که در شکل (۴-۲۲) همانطور که مشاهده می شود، حفاری ها دقیقاً بر روی مناطق با IP بالا و مقاومت ویژه متوسط انجام شده اند و به کانی سازی مس برخورد کرده اند.



ب



الف

شکل ۴-۲۲ : مقطع افقی در سطح ارتفاعی ۳۱۴۰ م تر. الف: مقاومت ویژه (اهم متر) ب: پلاریزاسیون القایی (میلی ثانیه)

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

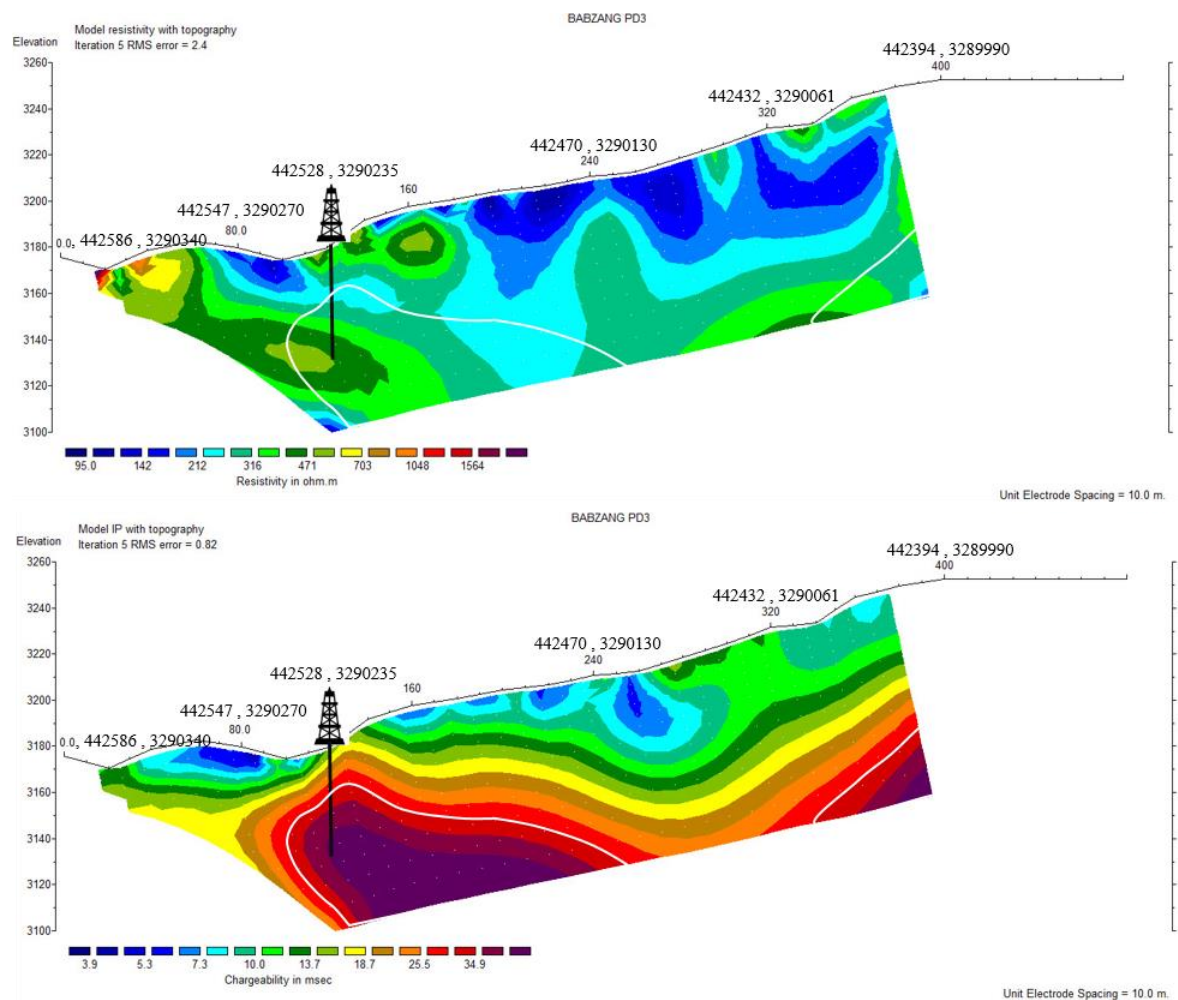
در این مورد مطالعاتی ابتدا با استفاده از تصاویر دورسنجی مناطق آلتراسیون که در رابطه با کانی‌سازی هستند شناسایی شد و سپس برداشت‌های ژئوفیزیکی [توسط شرکت کوشا گرین سازان] به روش‌های مقاومت‌ویژه و IP و دو نقطه حفاری در مناطق پتانسیل‌دار، در منطقه باب‌زنگویه، چهارگنبند کرمان انجام گرفت. مدل‌سازی وارون داده‌های برداشت شده توسط نرم‌افزارهای ZondRes2D ، Res2DInv و DC2DInvRes انجام شد و مقاطع حاصل به منظور تخمین گسترش کانی‌سازی فلزی تفسیر شدند. نتایج ZondRes2D و Res2DInv همخوانی بالایی دارند و تفاوت ظاهری موجود در مقاطع به دلیل مقیاس رنگی متفاوت و اینکه مقادیر IP در ZondRes2D درصد پلاریزاسیون و در Res2DInv میلی ثانیه است و میزان هموارسازی که در ZondRes2D بیشتر انجام می‌شود، می‌باشد. از طرفی مقاطع Res2DInv و DC2DInvRes همخوانی مناسبی را دارند که دلیل آن تفاوت در مقیاس رنگی، تفاوت در اندازه پیکسل‌ها می‌باشد و میزان هموارسازی که در دو نرم‌افزار اعمال می‌شود می‌باشد.

۵-۲ نتیجه‌گیری

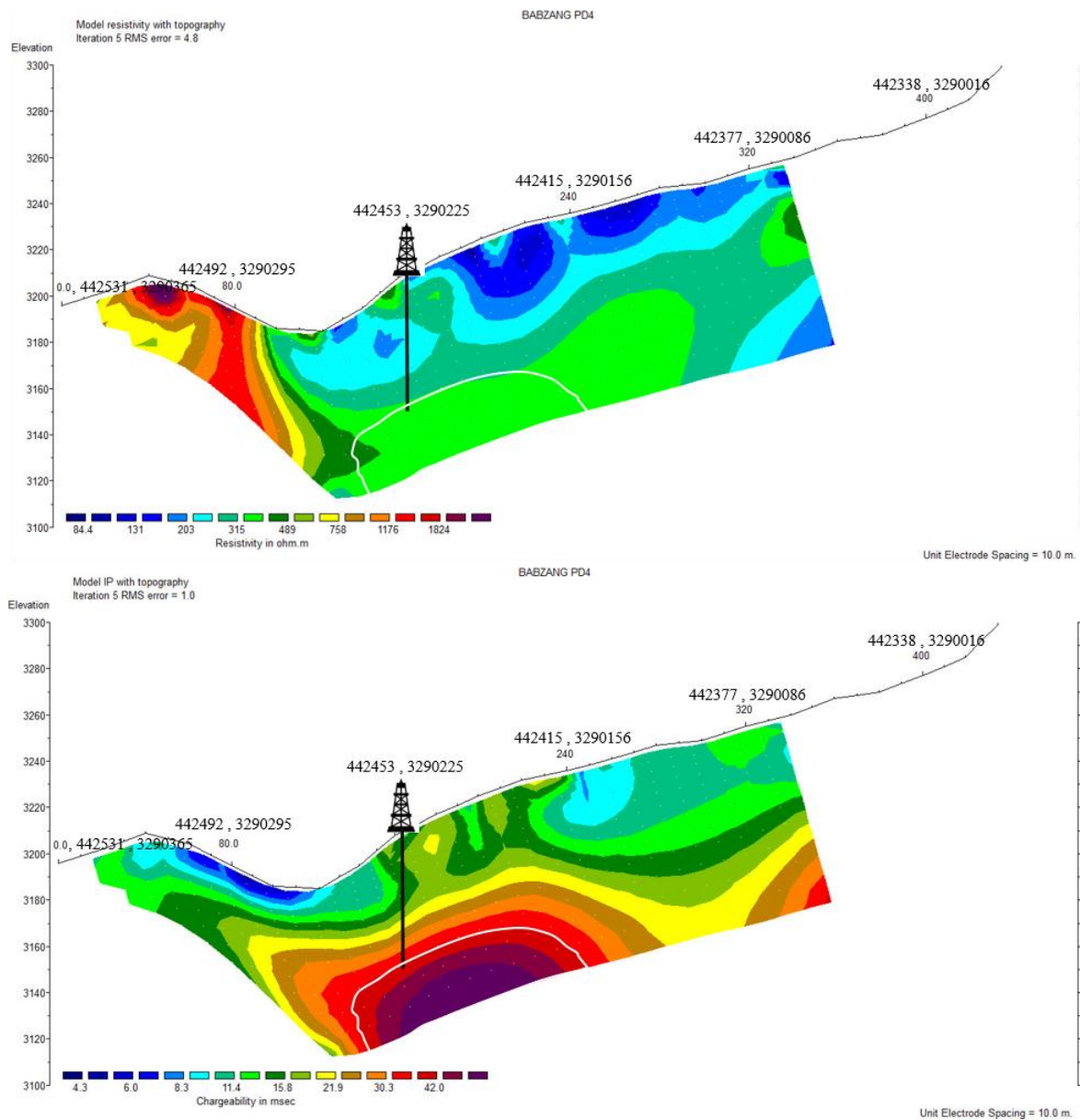
شبه‌مقاطع حاصل از داده‌های ژئوفیزیکی تحت تاثیر عوامل مختلف مانند وجود نوفه، بی‌هنجاری‌های کاذب، خطای اپراتور و خطای ناشی از دستگاه قرار دارند؛ که به هیچ وجه نمی‌توانند تصویر دقیقی از زیر سطح زمین ارائه دهند. این عوامل تاثیری بر روی شبه‌مقاطع می‌گذارند که تفسیر مستقیم و بدون محاسبات پیچیده ریاضی را غیر ممکن می‌سازند.

در مقاطع با مقدار IP بالا مانند پروفیل‌های B3 و B4 نتایج حفاری نشان داده که این مناطق با کانی‌سازی مس همراه هستند (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲). در مناطق با مقادیر IP نه چندان بالا نیز می‌توان انتظار کانی‌سازی مس را داشت؛ که مطابق با برداشت‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی انجام شده است و بهتر است

که به دنبال محدوده‌های با مقادیر IP بالا برای انجام حفاری باشیم. تجربه نشان داده است که بین مقادیر مقاومت‌ویژه و IP رابطه کلی نمی‌توان برقرار کرد تا با آن بهترین نقاط را برای حفاری تعیین کرد و یا بتوان فقط با تکیه بر مقاطع مقاومت‌ویژه به وجود کانی‌سازی برد.



شکل ۵-۱: نتایج مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B3 توسط نرم‌افزار Res2DInv که مناطق کانی‌سازی با منحنی بسته (سفید) نشان داده شده است



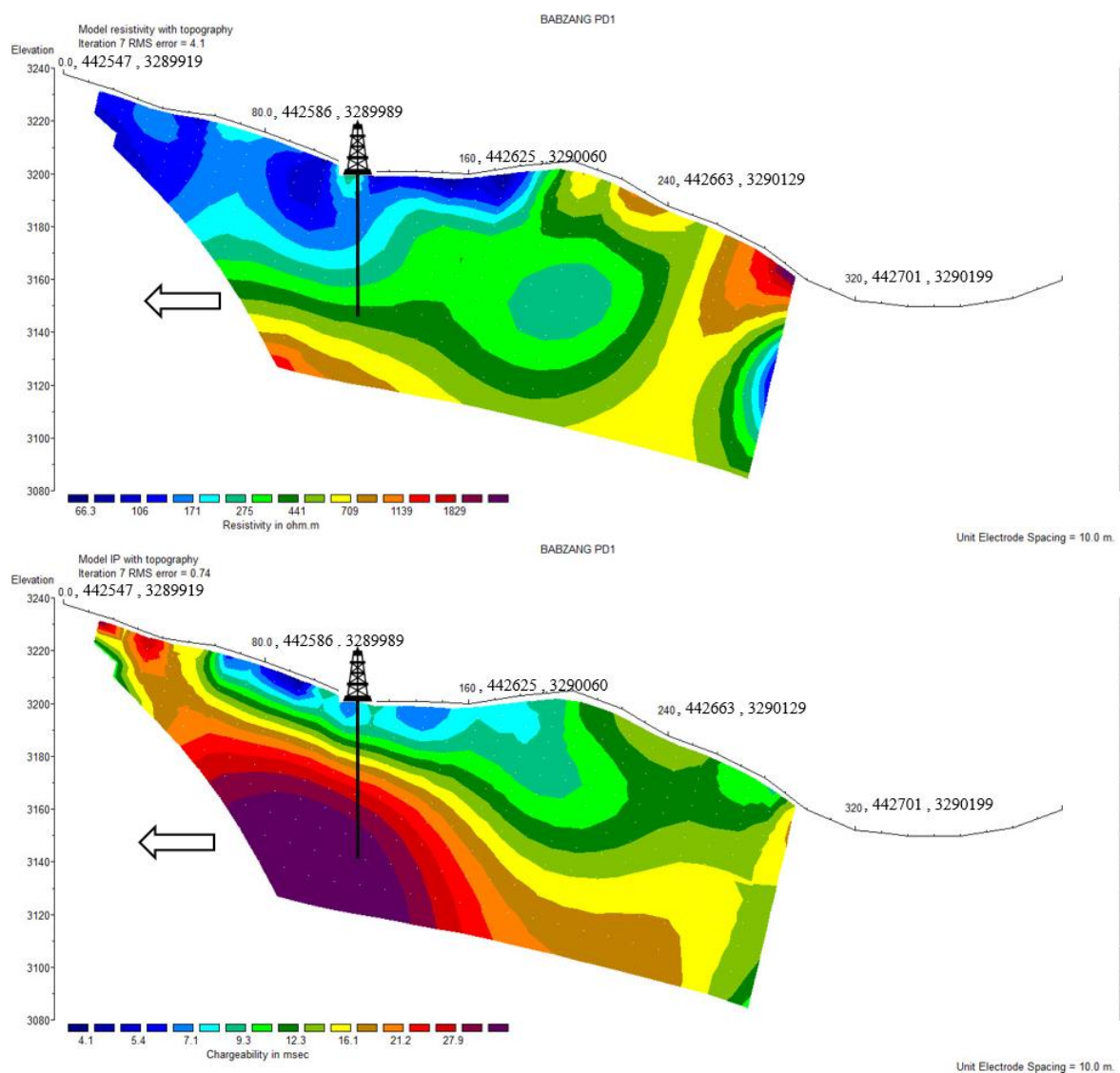
شکل ۵-۲: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B4 توسط نرم افزار Res2DInv که مناطق کانی سازی با منحنی بسته (سفید) نشان داده شده است

۳-۵ پیشنهادات

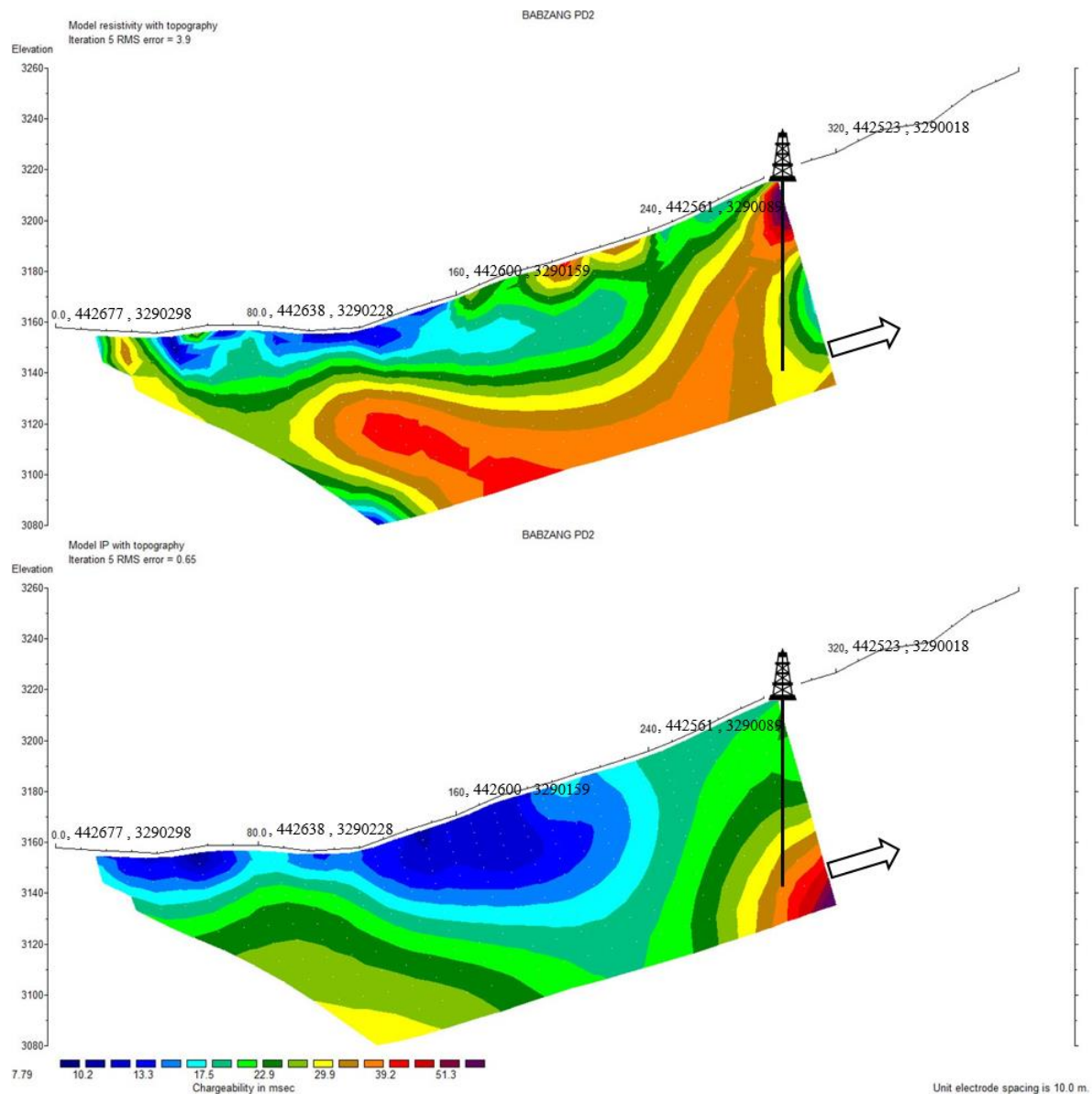
پیشنهاد می‌گردد برای دستیابی به اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر از منطقه مورد مطالعه، از روش‌های تکمیلی دیگر مانند روش پلاریزاسیون القایی طیفی^۱ (SIP) در برداشت‌ها استفاده گردد. این روش قابلیت تفکیک کانی‌های رسی و پیریت را از سایر کانی‌های سولفیدی دارد. بنابراین با استفاده از روش SIP می‌توان پیریت و کانی‌های رسی را از کانی‌های هدف مانند مالاکیت و کالکوپیریت تشخیص داد. از آن جایی که این تمایز با استفاده از روش‌های به کار رفته در این برداشت امکان پذیر نیست و همچنین احتمال وجود و همراهی پیریت با کانی‌های هدف وجود و حتی حضور پیریت به تنهایی باعث ایجاد بی‌هنجاری‌های کاذب می‌شود؛ بنابراین استفاده از روش SIP می‌تواند بسیار مفید واقع شود. نتایج تفسیر داده‌های SIP و مقاومت-ویژه تخمین قابل قبولی از گسترش عمقی بی‌هنجاری‌ها به دست می‌دهد که پارامتر بسیار مهمی در انتخاب نقاط حفاری است. برای تعیین گسترش زون کانی‌سازی در امتداد پروفیل B1 نیاز است تا طول برداشت افزایش یابد تا آنومالی موجود در چپ به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد و یک نقطه حفاری نیز برای تایید کانی‌سازی مس و صحت مدل‌سازی‌های انجام شده مطابق شکل (۳-۵) پیشنهاد می‌گردد. برای بررسی کامل آنومالی موجود در سمت راست پروفیل B2، پیشنهاد می‌شود طول پروفیل آنقدر افزایش یابد که آنومالی به طور کامل بررسی شود و یک نقطه حفاری جدید نیز پیشنهاد می‌گردد این حفاری به منظور بررسی هرچه دقیق‌تر بی‌هنجاری مشاهده شده در انتهای سمت راست پروفیل IP (شکل ۴-۵) پیشنهاد می‌شود. زیرا از آنجایی که نرم افزار Res2DInv به دلیل بزرگی سلول دقت چندانی در گوشه‌ها ندارد؛ این بی‌هنجاری باید با دقت بالاتری بررسی شود. البته پیشنهاد می‌شود قبل از اجرای عملیات حفاری از تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در محیط GIS در مقیاس ناحیه‌ای و محلی استفاده شود. تلفیق نتایج مدل‌سازی ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی به همراه مدل دگرسانی‌ها می‌تواند مختصات نقطه بهینه حفاری را

¹Spectral induced polarization

مشخص نماید. پیشنهاد می‌شود برداشت داده‌های ژئوفیزیکی بر روی یک پروفیل عمود بر پروفیل‌های برداشت شده مانند پروفیل AA` ادامه یابد؛ به طوری که محل تقاطع آن‌ها محل بی‌هنجاری‌های به دست آمده در برداشت اولیه باشد. این کار به تعیین شکل بی‌هنجاری‌ها، بالاتر بردن دقت تفسیر و همچنین تخمین میزان عیار ذخیره کمک قابل توجهی خواهد کرد.

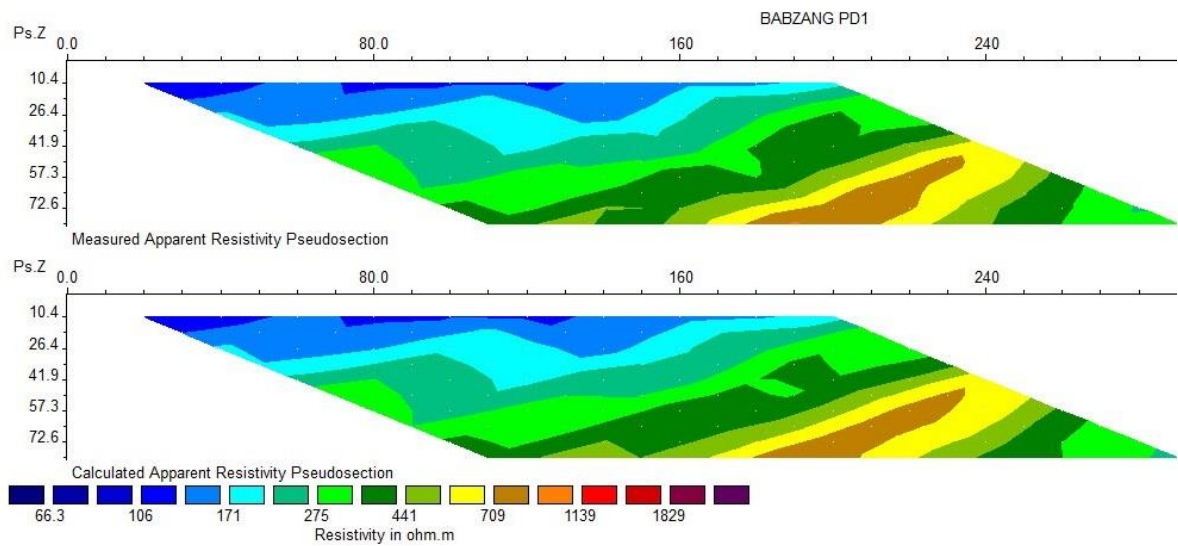


شکل ۳-۵: نتایج مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B1 و نقطه پیشنهادی حفاری و ادامه برداشت ژئوفیزیکی

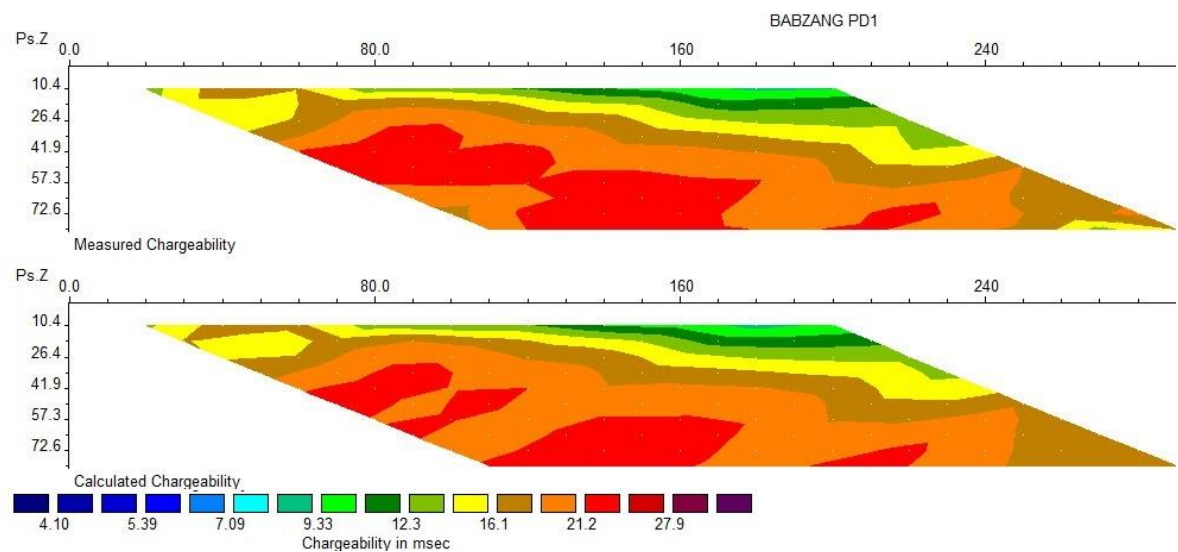


شکل ۴-۵: نتایج مدل سازی وارون مقطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پروفیل B2 و نقطه پیشنهادی حفاری و ادامه برداشت ژئوفیزیکی

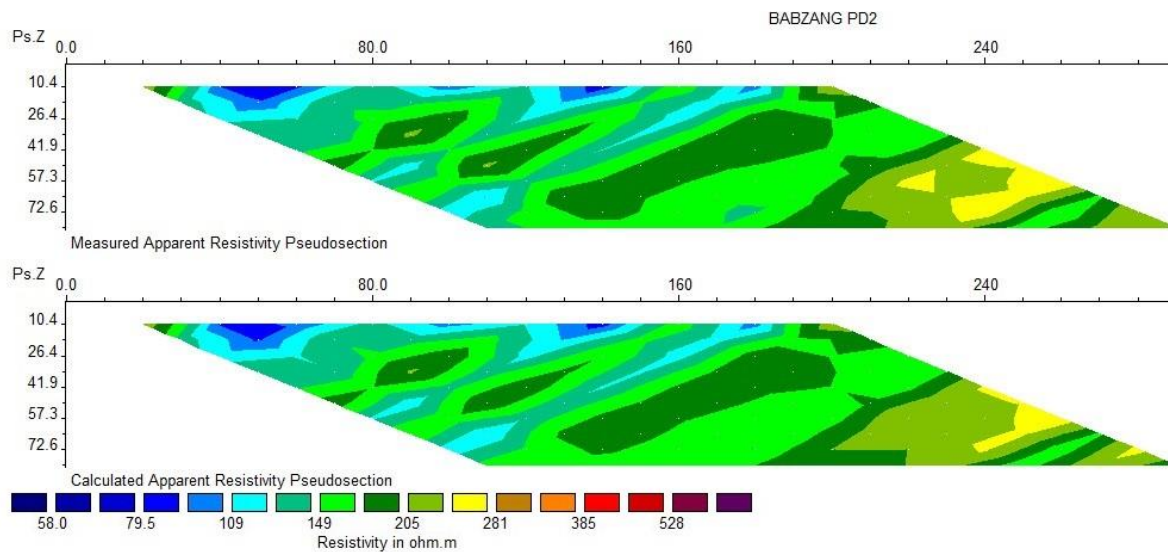
پیوست



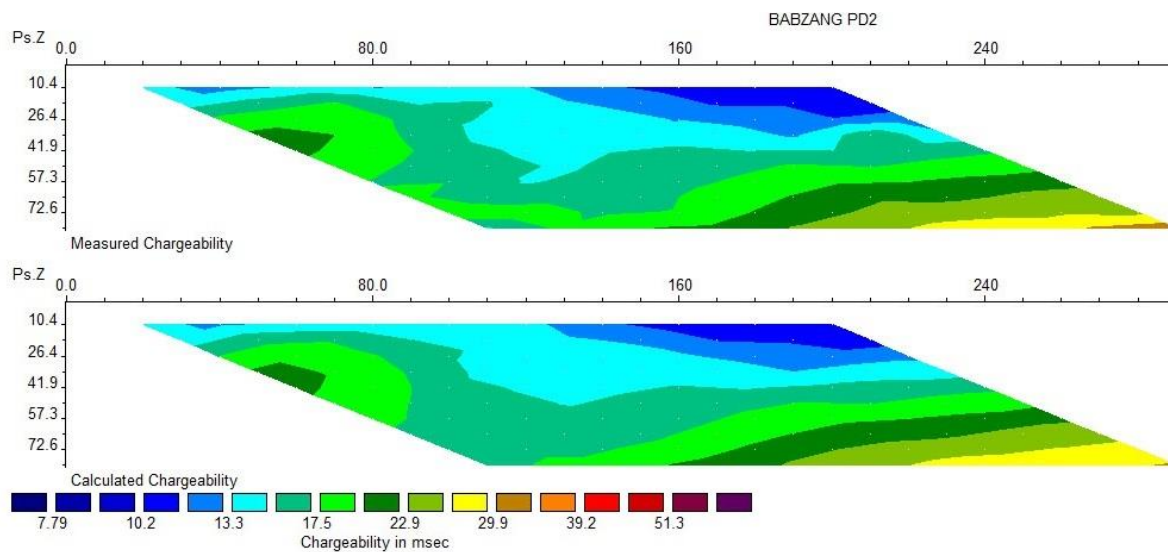
شکل پ-۴-۶: شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری اندازه‌گیری شده (بالا)، مقاومت‌ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B1



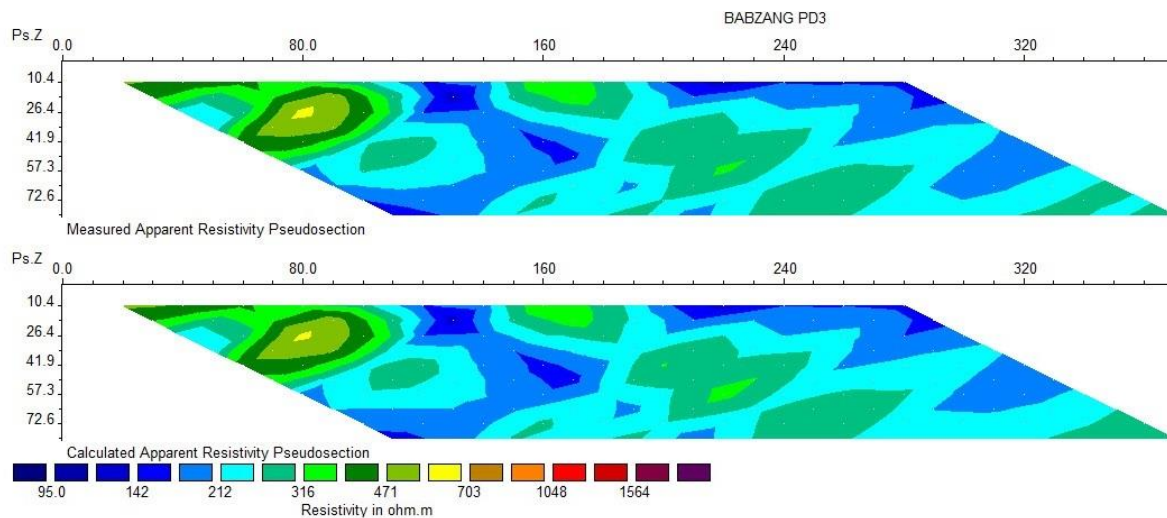
شکل پ-۴-۶: شبه‌مقاطع IP اندازه‌گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B1



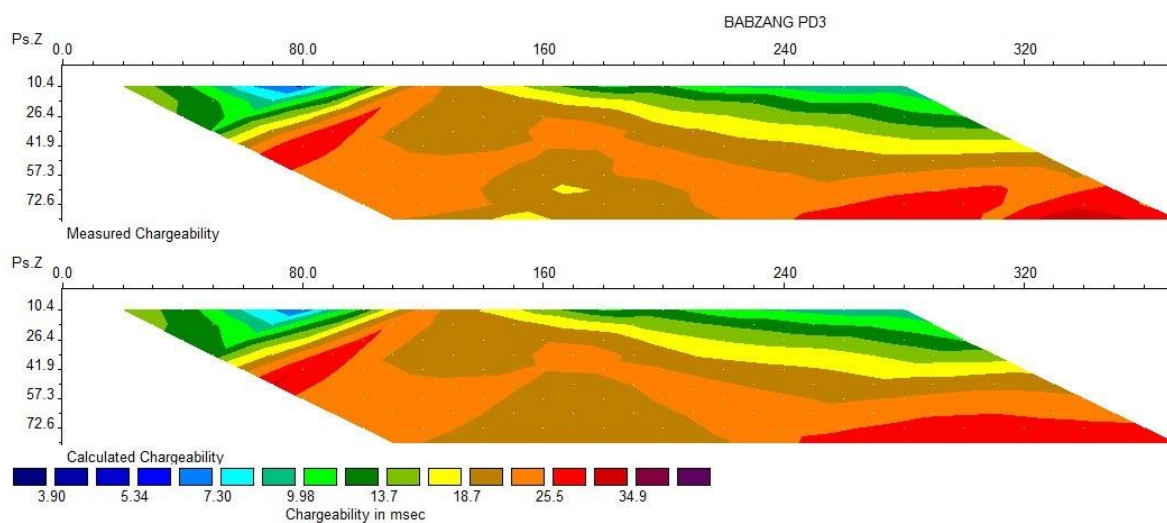
شکل پ-۴-۹: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B2



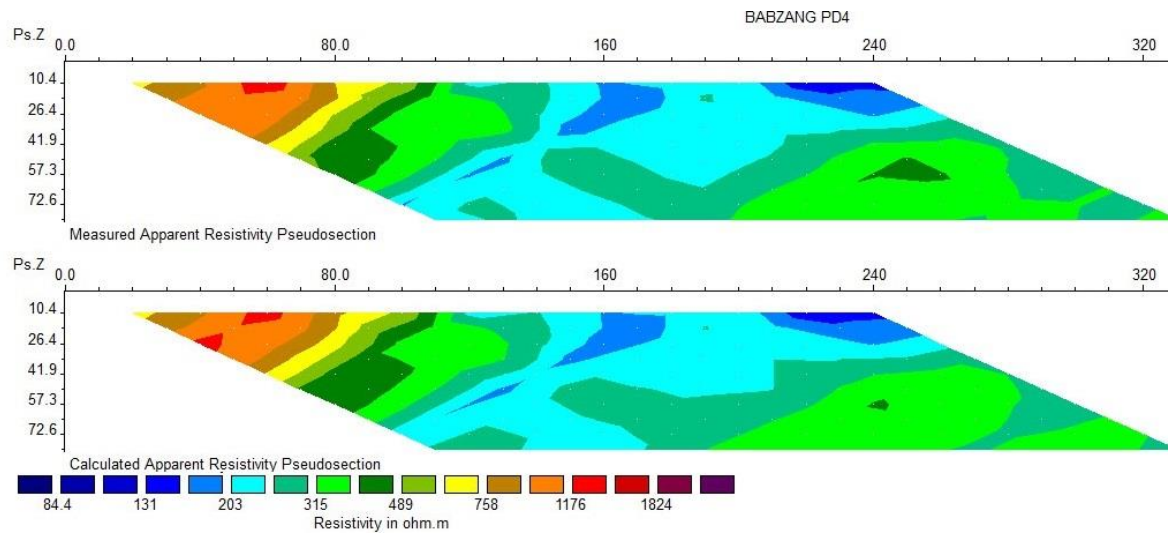
شکل پ-۴-۹: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B2



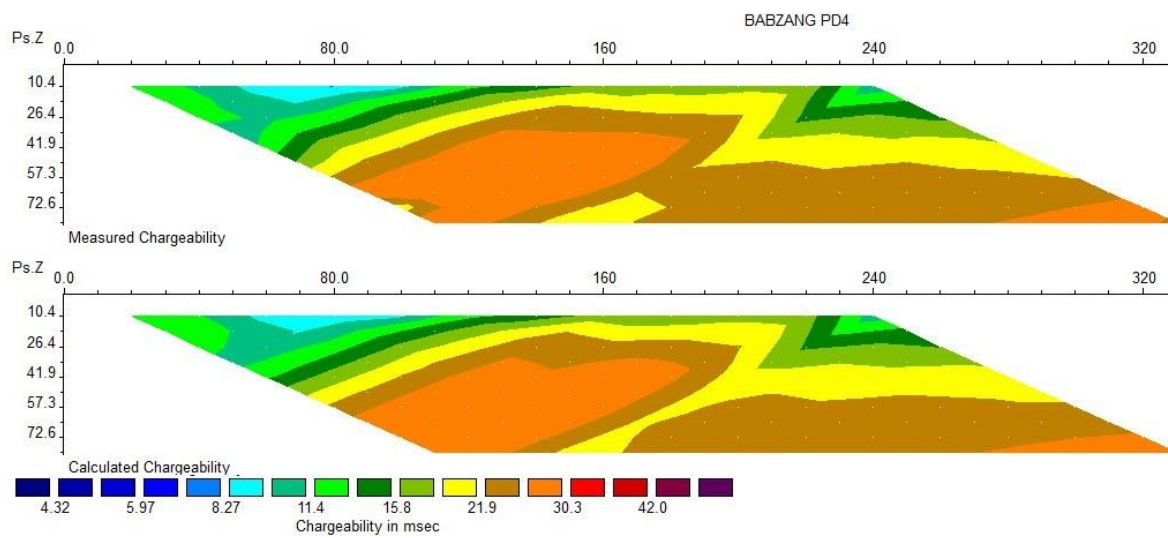
شکل پ-۴-۱۲: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B3



شکل پ-۴-۱۲: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B3



شکل پ-۴-۱۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده (بالا)، مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده (پایین) پروفیل B4



شکل پ-۴-۱۵: شبه مقاطع IP اندازه گیری شده (بالا)، IP محاسبه شده (پایین) پروفیل B4

منابع:

- برک، س. بحرودی، ع. اصلانی، س. محبی، آ. (۱۳۹۵)، "بارزسازی دگرسانی های گرمایی با استفاده از مطالعات سنجش از دور و زمین شناسی جهت اکتشاف کانسار مس مولیبدن پرفیری در منطقه کوهپایه" کنفرانس منطقه ای آسیب شناسی چالش های حوزه معدن-محیط زیست، میاندوآب.
- جلیلی، ص. کریم پولی، ص. ستاری، آ. محمدعلی پور، ز (۱۳۹۳)، "ترکیب وارون سازی معکوس دوبعدی و مدل سازی سه بعدی داده های ژئوالکتریک در محدوده اکتشافی مس خلیفه لو، خرمدره، زنجان" سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- حجت، آ. رنجبر، ح. (۱۳۹۰)، "اصول ژئوالکتریک کاربردی"، چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران.
- خوشبازان، ی. رستمی، ذ. (۱۳۹۴)، "پتانسیل یابی مواد معدنی با فن سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره ای ETM+ موردی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه"، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز.
- خویی، ن. قربانی، م. تاجبخش، پ. (۱۳۷۸)، "کانسار مس در ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- رضایی، م. آقاجانی، ح. (۱۳۹۰)، "بررسی زیست محیطی دپوهای زغالسنگ و باطله های زغالشویی البرز شرقی با استفاده از فناوری سنجش از دور"، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- رمزی، ح. مصطفایی، ک. (۱۳۹۰)، "مثال اکتشاف ژئوفیزیکی کانسار مس خونیک در خراسان جنوبی با استفاده از روش های ژئوالکتریکی". اولین همایش ملی مس، پژوهشکده صنایع معدنی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

- روشن روان، ب. (۱۳۹۳)، "طراحی نقاط حفاری تکمیلی در کانسار مس-طلای شادان با استفاده از مدل-سازی تلفیقی داده‌های اکتشافی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- زبیری، م. مجد، ع. (۱۳۸۲)، "آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد آن در منابع طبیعی (اطلاعات ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و فضایی)" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- سلیمی، ا. خالوکاکائی، ر. ضیائی، م. (۱۳۹۱)، "مطالعات دورسنجی و شناسایی و تفکیک آلتراسیون‌های منطقه‌ی جبال بارز با استفاده از تصاویر ماهواره‌های ASTER و ETM+ " چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، انجمن مهندسی معدن دانشگاه تهران، تهران.
- شبانکاره، م. (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی زون متالوژنی کاشان-نائین در محیط GIS با استفاده از شبکه عصبی-فازی" دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- شرکت مهندسی مشاور درسپردازه، (۱۳۸۹)، گزارش تخمین ذخیره در محدوده معدنی مس چهارگنبد، سیرجان.
- شریفی، ف. عرب‌امیری، ع. کامکارروحانی، ا. (۱۳۹۱)، "شناسایی ذخایر آب کارستی با استفاده از پروفیل-زنی ژئوالکتریک - مطالعه موردی: دره تپال-شاهرود"، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، انجمن مهندسی معدن دانشگاه تهران، تهران.
- شمس‌الدینی نژاد، م. سلیمانی دلفارد، ک. شمس‌الدینی فرد، ع. کردستانی، م. (۱۳۹۲)، "اکتشافات ژئوفیزیکی به روش RS و IP در اندیس معدنی مس قلعه گنج". سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، دانشگاه یزد، یزد.
- عباس زاده، م. هزارخانی، ا. (۱۳۸۹)، " نقشه برداری دگرسانی‌های گرمابی با استفاده از تصاویر استر در منطقه رابر، کرمان" فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۸۷، صفحه ۱۲۳-۱۲۸.

- عرب‌امیری، ع. فتیحیان‌پور، ن. (۱۳۷۹)، "تعیین مناطق کانی‌سازی با استفاده از پردازش داده‌های قطبش -

القایی طیفی و مقاومت‌سنجی تپه سرخ ایرانکوه" فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۵۷، ص ۵۵.

- علیزاده ربیعی، ح. (۱۳۸۰)، "سنجش از دور (اصول و کاربرد)" سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، تهران.

- قورچی روکی، م. کریم‌پور، م. ابراهیمی، خ. (۱۳۸۹)، "دگرسانی آرژلیک و آرژلیک پیشرفته با استفاده باندهای SWIR سنجنده استر در منطقه هلاک آباد خراسان رضوی" نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

- کلاگری ع، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشاف ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات تابش، تهران، ص ۵۸۸.

- لطیف کار، م. عرب‌امیری، ع. کامکارروحانی، ا. (۱۳۹۳)، "استفاده از روش مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی برای اکتشاف کانی‌زایی مس"، همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز.

- ملک‌زاده شفارودی، آ. حیدریان شهری، م. کریم‌پور، م. (۱۳۸۸)، "کانی‌سازی و اکتشافات ژئوفیزیکی به روش IP/Res و مغناطیس‌سنجی زمینی در محدوده MA-I و اطراف آن"، منطقه اکتشافی مس-طلا پورفیری ماهرآباد، شرق ایران، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱، صفحات ۱-۱۷.

- مهدوی، ف. (۱۳۸۳)، "روش‌های الکتریکی در اکتشاف ژئوفیزیکی حوضه‌های رسوبی عمیق". جلد ۱، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

- نوروزی غ، (۱۳۹۲)، "روش‌های الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۷۵.

- وزارت راه و ترابری، سازمان نقشه برداری کشور، گزارش نقشه راه‌ها معاونت هماهنگی و راهداری امور استان‌ها ۱۳۹۴، تهران

- پایگاه داده‌های علوم زمین www.ngdir.ir

- Beblo, M. (1982), “**Electrical conductivity (resistivity) of minerals and rocks at ordinary temperatures and pressures** **Physical Properties of Rocks**”, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Group V: Geophysics and Space Research, Vol. 1b. pp, 239–307.
- Beiranvand Pour, A., Hashim, M. (2012), “**The application of Aster remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits**” , Ore Geology Reviews, Volume 44, pp 1-9.
- Carranza, J, Hale, M. (2002), “**Mineral Imaging with Landsat TM data for hydrothermal alteration mapping in heavily-vegetated terrane**” International Journal of Remote Sensing, 23(22), 4827-4852.
- Carranza, E. J. M. (2002), “**Geologically- Constrained Mineral Potential Mapping (Examples from the Philippines)**” M.S. thesis, ITC Publication, Number 86.
- Clark, R.N., G.A. Swayze, (1995), “**Automated spectral analysis: mapping minerals, amorphous minerals, environmental materials, vegetation, water, ice and snow, and other materials: the USGS tricorder algorithm (abstract)**” , Lunar and Planetary Science XXVI, pp 255-256.
- Crosta, C.R., (2003), “**Targeting Key Alteration Minerals in Epithermal Deposits in Patagonia- Argentina Using ASTER Imagery and Principal Component Analysis**” , Geosciences Institute, University of Campinas.
- Dentith, M. T.Mudge, S. (2014), “**Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist**” , Cambridge University Press, United States of America, pp 235-340.
- Doyle, H. A., (1990), “**Geophysical exploration for gold- A review**”, Geophysics, 55, 2, 134- 146.
- Gautneb, H. & Tveten, E, (2000). The geology, “**exploration and characterization of graphite deposits in the Jennestad area, Vesteralen, northern Norway**”, Geological Survey of Norway Vol. 436, pp. 67-74.
- Geological Survey of Iran, 1981, Report and geological map of Sirjan 1:1250000, Tehran, Iran
- Geological Survey of Iran, 1995, Report and geological map of Chahargonbad 1:100000, Tehran, Iran

- Keller, G.V., (1988) **“Rock and mineral properties in Electromagnetic Methods in Applied Geophysics”** Volume 1, Society of Exploration Geophysicists, Investigations in Geophysics 3, pp 13–51.
- Loke M. H.(2014), **“2-D and 3-D Electrical imaging surveys Course Notes for USGS Workshop 2-d and 3-d Inversion and Modeling of Sourface and Borehole Resistivity Data.** Pp 152.
- Loke M. H., (2000), **Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys.**
- 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 Sourface and Borehole Resistivity Data.** Pp 172.
- Luo, Z.Z. And Zang, G. (1998). **"Theory and application of Spectral Induced Polarization, Geophysical monograph series"** SEG Publication., 8, pp 163.
- Malekzaeh A. Marimpour M.H. Stern, C.R. (2009), **“Hydrothermal alteration mapping in SW birjand, Iran, using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer processing”**, Journal of Applied Sciences 9, pp. 829-842.
- Mikhail. Z. S, (1994). **“the geo electrical methods in geophysical exploration”**, Elsevier.
- Mooney, H. M. (1980). **"Handbook of engineering Geophysics"**, Vol. 2. Electrical Resistivity Bison Instruments. Inc., Minneapolis, Minnesota.
- Mostafaie. K, Nowrouzi.Gh , Askari.M. S. and Shiva.M, (September 2009), **“Statistical analysis and RS & IP Geophysical data modeling for Hameech mining index”**, First Conference of Economic Geology Association of Iran, Ferdowsi University of Mashhad.
- Nelson, P.H. Van Voorhis, G.D. (1983). **“Estimation of sulfide content from induced polarization data”** Geophysics, 48, pp 62–75.
- Paterson, N. R., and Hallof, P., G., (1991), **Gold metallogeny and exploration-Geophysical exploration for gold**, Springer.
- Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, P.G., Sill, W.R. and Nelson, P.H., (1978) **“Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP”** Geophysics, 43, pp 588–609.

- Reinhard k. Daniel w. James F. (1994). **“Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment”**, Journal of Applied Geophysics, Volume 32, Issues 2–3, pp. 139–154.
- Reynolds, J. .M. 1997. **An introduction to applied and environmental Geophysics**. John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Sabins, F.F., (1999), **“Remote Sensing for mineral exploration”** , Ore Geology Reviews, Vol. 14. PP. 157-183.
- Sato, M. and Mooney, H.M., (1960) **“The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials”** Geophysics, 25, pp 226–249.
- Seigel, H. O., (1959), **“Mathematical formulation and type curves for induced polarization,”** 24,3,pp 543-565.
- Seigel, H.O., (1965) **“Three recent Irish discovery case histories using pulse-type induced polarization”** Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 58, pp 1179–1184.
- Scott, W.J., Sellmann, P.V. and Hunter, J.A., (1990) **“Geophysics in the study of permafrost”** Geotechnical and Environmental Geophysics, Volume 1: Review and Tutorial. Society of Exploration Geophysicists, Investigations in Geophysics 5, pp 355–384.
- Sumner. Stewart j, (1976), **Principles of induced polarization for geophysical exploration.**
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., (1990). **“Applied Geophysics”** Cambridge University Press.
- www.earthexplorer.usgs.gov
- www.esri.com
- www.mirageoscience.com
- www.resistivity.net
- www.rockware.com
- www.zond-geo.ru

Abstract

Chahar-Gonbad region of Kerman is geologically located in the southern part of central Iran zone and dominantly in Uromieh-Dokhtar. Large scale exploration studies in this region in reconnaissance phase have proved some high potential areas of Cu and Au mineralization. For a more accurate study of these potentials, remote sensing and field geophysics methods were used in this paper. In remote sensing studies, an ASTER satellite image was applied and different processing technics such as false color composites and spectral ratios were implemented. Results showed argillic (and phillic) alteration in Bab-Zangoeie area surrounded by propylitic alteration. Integrating these results and previous exploration studies led to select this area for ground study and field geophysics with geoelectric method. Geophysical data in Bab-Zangoeie area of Chahar-Gonbd region were acquiesced with both induced polarization and resistivity methods by a pole-dipole array. After statistical analysis and inverse modeling of surveyed data, anomalous areas and position of deposit containing its approximate shape and depth were determined. Finally, drilling targets were proposed. Results from drilling operation have proved existence of mineralization in depth.

Keywords: Remote sensing, Geoelectric, Inverse modeling, Bab-Zangoeie, Chahar-Gonbad



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

MSc Thesis in Mining Exploration

**Modeling and interpretation of induced polarization and
resistivity data for exploration of copper ore deposits in
Babzangoeie Chahargonbad area, Kerman**

Saeed Nazari

Supervisors:

Dr A. Kamkar Rouhani

Dr A. Arab Amiri

August 2016