





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوالکتریک

مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه

به منظور اکتشاف مس در منطقه بنوید، استان یزد

نگارنده: عاطفه نادری

اساتید راهنما:

دکتر علیرضا عرب امیری

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

مهندس حسن ریاحی

مهر ۱۳۹۹

شماره: ۹۹/۹۹/۴۲۰۰۲  
تاریخ: ۹۹/۹/۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

### فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم عاطفه نادری با شماره دانشجویی ۹۶۱۴۹۱۴ رشته ..... ژئوفیزیک ... گرایش ژئوالکتریک تحت عنوان اکتشاف و مدل سازی داده های ژئوفیزیکی ذخیره مس بنوید- اردکان که در تاریخ ۹۹/۷/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

|                                                                                   |                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹                    | <input type="checkbox"/> ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ |
| <input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹                               | <input type="checkbox"/> د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ |
| <input type="checkbox"/> ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد     |                                                       |
| نوع تحقیق: <input checked="" type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی |                                                       |

| عضو هیأت داوران           | نام و نام خانوادگی           | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------|------------------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنمای اول      | دکتر علیرضا عرب امیری        | دانشیار    |       |
| ۲- استاد راهنمای دوم      | دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی | دانشیار    |       |
| ۳- استاد مشاور            | مهندس حسن ریاحی              | —          |       |
| ۴- نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر محمد رداد               | استادیار   |       |
| ۵- استاد ممتحن اول        | دکتر علی نجاتی کلاته         | دانشیار    |       |
| ۶- استاد ممتحن دوم        | دکتر سوسن ابراهیمی           | استادیار   |       |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: محمد عطائی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم بہ:

پدر و مادر، ہمسر مہربانم و فرزند ان نازنینم

# تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خداوندی را که به بنده حقیر نعمت آموختن عطا فرمود.

قبل از هر کلامی شایسته است از زحمات تمامی کسانی که به هر طریق در تهیه و تدوین، ارزیابی و داوری این پایان نامه مرایاری نموده اند و یا قبول مسئولیت کرده اند، تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا از اساتید بزرگوارم دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی که اینجانب را در طول انجام این پایان نامه راهنمایی فرموده اند کمال تشکر را دارم.

از استادان گرامی دکتر سوسن ابراهیمی و دکتر علی نجابتی بهت قبول داوری اینجانب سپاسگزارم.

همچنین از آقای دکتر محمد فودازی و مهندس حسن ریاحی و مهندس نجفی کمال تشکر را می نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب عاطفه نادری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده معدن، نفت، ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به منظور اکتشاف مس در منطقه بنوید، استان یزد تحت راهنمایی دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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 مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

## تاریخ

## امضاء دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده:

امروزه استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی برای اکتشاف کانسارهای فلزی و غیرفلزی امری متداول است. در این میان روش‌های قطبش القایی (IP) و مقاومت ویژه الکتریکی (RS) به منظور شناسایی و اکتشاف مناطق کانی‌سازی فلزی و سولفیدی پراکنده، جایگاه ویژه‌ای دارند.

برداشت‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه و IP در این تحقیق، در منطقه بنوید استان یزد انجام شد. این برداشت‌ها به منظور شناسایی و اکتشاف مس در محدوده مذکور صورت گرفت. در قسمت‌هایی از محدوده مورد مطالعه اثراتی از کانی‌سازی مس و آهن در نتیجه تأثیر محلول‌های هیدروترمال بر روی سنگ-های داسیتی واحد مورد مطالعه و دگرسانی آن‌ها دیده می‌شود. همچنین رخنمون‌های وسیع از کالکوسیت، کالکوپیریت، کوولیت و بورنیت می‌تواند گویای کانی‌سازی قابل توجهی در منطقه باشد.

به منظور شناسایی مناطق امید بخش عملیات ژئوفیزیکی با روش IP و مقاومت ویژه الکتریکی در محدوده مورد مطالعه انجام شد. در این راستا سه پروفیل مورب (شمال غربی- جنوب شرقی) و با فاصله الکترودی ۲۰ متر با آرایه دوقطبی- دوقطبی طراحی و اجرا گردید. سپس مدل‌سازی وارون دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه و IP توسط نرم‌افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D انجام گردید. با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون توسط نرم‌افزارهای یاد شده بر روی داده‌های مقاومت ویژه و IP تفسیر شدند. با توجه به نتایج به دست آمده زون‌های کانی‌سازی مس، دارای بارپذیری بالا و مقاومت ویژه بالا تا متوسط می‌باشند. در آخر با شناسایی مناطق امید بخش منطقه جهت بررسی‌های بیشتر، محل-های مناسب برای انجام حفر گمانه‌های اکتشافی معرفی و پیشنهاد شد.

کلمات کلیدی: اکتشاف مس، قطبش القایی (IP)، مقاومت ویژه، آرایه دوقطبی- دوقطبی، بنوید

## فهرست مطالب

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول کلیات .....                                              | ۱  |
| ۱-۱ مقدمه .....                                                  | ۲  |
| ۱-۲ مروری بر مطالعه انجام شده .....                              | ۵  |
| ۱-۳ ضرورت و هدف از انجام تحقیق .....                             | ۵  |
| ۱-۴ روش تحقیق .....                                              | ۶  |
| ۱-۵ ساختار پایان نامه .....                                      | ۶  |
| فصل دوم مبانی تئوری روش های مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP) ..... | ۹  |
| ۲-۱ مقدمه .....                                                  | ۱۰ |
| ۲-۲ روش های مقاومت ویژه الکتریکی .....                           | ۱۱ |
| ۲-۲-۱ تقسیم بندی مواد مختلف از نظر مقاومت ویژه .....             | ۱۴ |
| ۲-۲-۲ روش های برداشت مقاومت ویژه الکتریکی .....                  | ۱۵ |
| ۲-۲-۲-۱ سونداژزنی مقاومت ویژه .....                              | ۱۵ |
| ۲-۲-۲-۲ پروفیل زنی مقاومت ویژه .....                             | ۱۶ |
| ۲-۳ روش IP .....                                                 | ۱۶ |
| ۲-۳-۱ روش های اندازه گیری IP .....                               | ۱۷ |
| ۲-۳-۲ منشاء پدیده IP .....                                       | ۲۲ |
| ۲-۳-۳ عوامل موثر بر IP .....                                     | ۲۵ |
| ۲-۳-۴ کاربرد و معایب روش IP .....                                | ۲۶ |
| ۲-۴ آرایه های الکترودی .....                                     | ۲۸ |
| ۲-۴-۱ انتخاب آرایه الکترودی مناسب .....                          | ۲۹ |
| ۲-۴-۲ آرایه دوقطبی-دو قطبی .....                                 | ۳۰ |
| ۲-۴-۳ آرایه قطبی - دوقطبی .....                                  | ۳۲ |
| فصل سوم زمین شناسی و عملیات صحرائی در محدوده مورد مطالعه .....   | ۳۵ |
| ۳-۱ مقدمه .....                                                  | ۳۶ |
| ۳-۲ موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به محدوده اکتشافی .....    | ۳۸ |
| ۳-۳ زمین شناسی ناحیه ای منطقه مورد مطالعه .....                  | ۴۰ |
| ۳-۴ زمین شناسی منطقه ای محدوده مورد مطالعه .....                 | ۴۱ |
| ۳-۵ ویژگی های کانی سازی منطقه .....                              | ۴۶ |

|       |                                                                                 |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| ۳-۶   | شرح مختصری از کانسارسازی وزمین ساخت ایران                                       | ۴۶ |
| ۳-۷   | شرح مختصری از انواع کانسارهای مس                                                | ۴۸ |
| ۳-۷-۱ | کانسارهای مس پورفیری                                                            | ۴۸ |
| ۳-۷-۲ | کانسارهای اسکارن مس                                                             | ۴۹ |
| ۳-۷-۳ | کانسارهای سولفید توده‌های                                                       | ۵۰ |
| ۳-۷-۴ | کانسارهای رسوبی شیمیایی مس                                                      | ۵۰ |
| ۳-۸   | تیپ کانپسازی منطقه                                                              | ۵۰ |
|       | فصل چهارم مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و IP                            | ۵۱ |
| ۴-۱   | مقدمه                                                                           | ۵۲ |
| ۴-۲   | روش های مدل سازی ژئوفیزیکی                                                      | ۵۲ |
| ۴-۲-۱ | مدل سازی فیزیکی                                                                 | ۵۲ |
| ۴-۲-۲ | مدل سازی عددی                                                                   | ۵۲ |
| ۴-۳   | روش مدل سازی در نرم افزار ZONDRES2D                                             | ۵۵ |
| ۴-۴   | مدل سازی و تفسیر داده های IP و مقاومت ویژه با نرم افزارهای ZONDRES2D و RES2DINV | ۵۵ |
| ۴-۵   | دستگاه مورد استفاده در برداشت داده ها:                                          | ۵۶ |
| ۴-۶   | تفسیر مقاطع برداشت شده:                                                         | ۵۷ |
| ۴-۶-۱ | تفسیر مقاطع پروفیل Profile1- (A)                                                | ۵۷ |
| ۴-۶-۲ | تفسیر مقاطع پروفیل Profile2- (B)                                                | ۶۱ |
| ۴-۶-۳ | تفسیر مقاطع پروفیل Profile3- C                                                  | ۶۵ |
|       | فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات                                                 | ۶۹ |
| ۵-۱   | جمع بندی                                                                        | ۷۰ |
| ۵-۲   | پیشنهادهای                                                                      | ۷۲ |
|       | منابع                                                                           | ۷۵ |

## فهرست اشکال

|    |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲ | شکل ۱-۲:- نحوه انتشار خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل در محیط همگن [After Knodel et al., 2009]                                                                                                                                                              |
|    | شکل ۲-۲: اندازه گیری IP در روش حوزه زمان: الف) منحنی تغییرات پتانسیل در حالت شارژ و تخلیه و تغییرات جریان تزریقی، ب) پارامتر قطبش ظاهری (سمت چپ) و بارپذیری (سمت راست) [Reynols, 1997]                                                                   |
| ۲۰ | شکل ۳-۲: افزایش زمان شارژ (a تا c)، که در پی آن فرکانس اندازه گیری کاهش و اثر ولتاژ اضافی افزایش می یابد. ( $V_{pa}$ تا $V_{pc}$ ) در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس پایین (در C)، بزرگتر از مقدار آن در فرکانس بالا (در a) می باشد. [Reynolds, 1997] |
| ۲۲ | شکل ۴-۲: نحوه گسترش IP غشایی الف) تنگ شدگی در قسمتی از یک کانال ارتباطی ب) بار منفی ذرات مسی و المان رشته ای موجود در دیواره کانال ارتباطی [After Denth and Mudge, 2014]                                                                                 |
| ۲۴ | شکل (۵-۳) قطبش الکترودی: قطبش کانی رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است                                                                                                                                                                          |
| ۲۵ | شکل (۶-۲) نمایش شماتیک از ارایه دوقطبی - دوقطبی و رسم شبهمقطع [Telford et al, 1990]                                                                                                                                                                      |
| ۳۲ | شکل ۷-۲: شمایی از ارایه قطبی - دوقطبی [Loke, 2004]                                                                                                                                                                                                       |
| ۳۳ | شکل (۱-۳) نقشه راههای دسترس به منطقه                                                                                                                                                                                                                     |
| ۳۹ | شکل (۲-۳) نقشه ایران - نقشه زمین شناسی نابین - نمایی از زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت پروفیل ها                                                                                                                                                  |
| ۴۱ | شکل (۳-۳) نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه                                                                                                                                                                                                             |
| ۴۵ | شکل (۱-۴) مدل سازی پیشرو و معکوس داده های ژئوفیزیکی                                                                                                                                                                                                      |
| ۵۴ | شکل (۲-۴) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های IP برداشت شده در طول پروفیل A نرم افزار RES2DINV                                                                                                                                              |
| ۵۹ | شکل (۳-۴) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه برداشت شده در طول پروفیل A نرم افزار RES2DINV                                                                                                                                     |
| ۵۹ | شکل (۴-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل A با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار RES2DINV به دست آمده است                                                                                     |
| ۶۰ | شکل (۵-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل A با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار ZONDRE2D به دست آمده است                                                                                     |
| ۶۰ | شکل (۶-۴) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های IP برداشت شده در طول پروفیل B نرم افزار RES2DINV                                                                                                                                              |
| ۶۳ | شکل (۷-۴) شبه مقطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون مقاومت ویژه برداشت شده در طول پروفیل B نرم افزار RES2DINV                                                                                                                                               |
| ۶۳ |                                                                                                                                                                                                                                                          |

- شکل (۸-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل B با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار RES2DINV به دست آمده است ..... ۶۴
- شکل (۹-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل B با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار ZONDRES2D به دست آمده است ..... ۶۴
- شکل (۱۰-۴) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های IP برداشت شده در طول پروفیل C ..... ۶۶
- شکل (۱۱-۴) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه برداشت شده در طول پروفیل C نرم افزار RES2DINV ..... ۶۷
- شکل (۱۲-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری در طول پروفیل C با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار RES2DINV به دست آمده است ..... ۶۷
- شکل (۱۳-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل C با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار ZONDRES2D به دست آمده است ..... ۶۸
- شکل (۱-۵) نقاط پیشنهادی حفاری پروفیل A ..... ۷۳
- شکل (۵-۲) نقاط پیشنهادی حفاری در طول پروفیل B ..... ۷۴
- شکل (۵-۳) نقاط پیشنهادی حفاری در طول پروفیل C ..... ۷۴

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲: مقاومت ویژه بعضی از سنگ ها ، کانی ها و مواد معدنی متداول [After Loke, 1999] ..... ۱۵
- جدول (۲-۲) مقدار بارپذیری برای چند کانی و سنگ رایج بر حسب میلیثانیه [Telford et al ., 1990] ..... ۲۰
- جدول (۳-۲): مقایسه ای بین خصوصیات مختلف چند آرایه الکترودی [Samouelian et al , 2005] ..... ۳۰
- جدول (۱-۳) تجزیه شیمیایی دو نمونه از سنگ های ریولیتی واحد  $K_2^v$  در بردارنده اکسیدهای زیر میباشد. .... ۴۲
- جدول (۱-۵) مختصات نقاط حفاری اکتشافی پیشنهادی ..... ۷۳

فصل اول

کلیات

## ۱-۱ مقدمه

علم ژئوفیزیک با اندازه‌گیری میدان‌های فیزیکی (میدان گرانی، میدان مغناطیسی، میدان الکتریکی، امواج لرزه‌ای طبیعی و مصنوعی، توزیع درجه حرارت و شارش گرمایی و ...) بر روی سطح زمین به بررسی عملکرد پدیده‌های فیزیکی و توزیع خصوصیات فیزیکی درونی زمین (جرم ویژه، کشسانی، چسبندگی، مغناطیس-پذیری<sup>۱</sup>، قابلیت هدایت الکتریکی، تنش‌های کشسان، فشار و درجه حرارت) پرداخته‌اند و تصویری از آنها بازسازی می‌نماید.

نیاز هر چه بیشتر به مواد معدنی، آب، نفت و ... سبب شده که بشریت از روش‌های جدیدتری برای پی‌جویی، کشف و استخراج استفاده نماید. نیاز روز افزون به مواد معدنی فلزی، غیر فلزی، نفت، گاز، زغال سنگ از یک طرف و کشف و بهره‌برداری مواد و منابع سهل‌الحصول و سطحی از طرف دیگر سبب شده، پی‌جویی و کشف این مواد هر روز دشوارتر شود و نیاز به روش‌های ژئوفیزیکی بر اساس اینکه از چه نوع سیگنالی استفاده شود، به دو گروه عمده تقسیم شود:

(۱) روش‌های طبیعی: سیگنالهایی که در این روش‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، حاصل تغییرات میدان‌های طبیعی زمین است از جمله گرانی‌سنجی، مغناطیس، رادیومتری، پتانسیل خودزا و زمین‌لرزه‌ها.

(۲) روش‌های مصنوعی: در این روش سیگنالهایی به زمین فرستاده شده و باز خورد آنها ثبت می‌شود، که این سیگنالها تحت تاثیر مواد زیر سطحی قرار گرفته و به وسیله‌ی گیرنده‌هایی ثبت می‌شوند. از جمله این روش‌ها پلاریزاسیون القایی<sup>۲</sup> مقاومت ویژه و لرزه‌نگاری می‌باشند [حجت و رنجبر ۱۳۹۰].

کاوش‌های ژئوفیزیکی به طور کلی به چند مرحله تقسیم می‌شوند:

---

1 Magnetization  
2 Induced Polarization

مرحله اول : باز دیده‌های صحرایی و زمین‌شناسی و طراحی شبکه برداشت.

مرحله دوم: اندازه‌گیری‌های صحرایی: در این مرحله هر چند نقاط برداشت بیشتر و متعدد باشد برای حذف بی‌هنجاری‌های ۱ محلی بهتر می باشد.

مرحله سوم: کار بر روی داده‌ها و پردازش آنها می‌باشد. داده‌ها از دستگاه‌ها به صورت رقومی استخراج می-شوند و پس از انجام تصحیحات به صورت مقاطع یا نقشه‌های مقادیر یکسان در می‌آیند. در این مرحله فرآیندهای فیلترکردن<sup>۲</sup> برای بهتر نمودن نسبت اطلاعات مفید به نوفه‌ها ضرورت پیدا می‌کند.

مرحله چهارم : شامل مرحله‌ی وارون‌سازی<sup>۳</sup> داده‌ها می‌باشد. وارون‌سازی عبارت است از یک فرآیند حل وارون برای رسیدن از داده‌ها به مدل فیزیکی زیر سطح، که نتیجه آن به صورت تصویری از تیپرات پارامتر فیزیکی مورد مطالعه در منطقه می‌باشد.

هر روش وارون‌سازی بر اساس تئوری یک میدان فیزیکی (نظیر پتانسیل الکتریکی) بنا شده که این تئوری در اصل دارای جواب‌های ریاضی متعددی است و هدف از وارون‌سازی رسیدن به تنها پاسخی قطعی است که بیشترین انطباق را با مدل واقعی زمین داشته باشد.

مرحله آخر : با کنار هم قراردادن تمام اطلاعات کمکی نظیر ( مشاهده زمین‌شناسی ، اطلاعات حفاری و ...) می‌توان به یک مدل زمین‌شناسی زیر سطحی دست یافت [آب پی ۱۳۹۰].

کاوش‌های الکتریکی، از متنوع‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی بر پایه آشکارسازی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریانات الکتریکی درون زمین استوار است. با بکارگیری روش‌های الکتریکی می‌توان پتانسیل و میدان‌های

---

1 Anomaly  
2 Filltering  
3 Inversion

الکترومغناطیس را که به طور طبیعی در زمین وجود دارند، یا به صورت مصنوعی در آن ایجاد می‌شوند، اندازه‌گیری نمود.

از راه‌های گوناگون می‌توان این اندازه‌گیری‌ها را انجام داد و نتایج مختلفی نیز به دست آورد. لیکن تفسیر تمامی این نتایج می‌تواند منجر به شناسایی یک موضوع شود.

یکی از ویژگی‌های الکتریکی زمین، وجود تغییرات هدایت الکتریکی در سنگ‌ها و کانی‌هاست. این ویژگی به کارگیری روش‌های الکتریکی را امکان‌پذیر ساخته است.

از مهم‌ترین روش‌های الکتریکی روش مقاومت‌ویژه می‌باشد. این روش می‌تواند با هزینه کم، اطلاعات زمین‌شناسی زیر سطحی سودمندی را فراهم نماید که معمولاً توسط روش‌های ژئوفیزیکی دیگر قابل دستیابی نمی‌باشد.

از کاربردهای روش مقاومت‌ویژه می‌توان به تشخیص کانی‌های فلزی سولفیدی، کانال‌های مدفون، مطالعات آب‌های زیرزمینی، زمین‌لغزش‌ها و ... اشاره نمود.

یکی دیگر از روش‌های ژئوالکتریکی روش IP می‌باشد که در آن جریان مصنوعی با آرایش‌های مشابه مقاومت ویژه به زمین ارسال می‌شود و اختلاف پتانسیل پس از قطع جریان اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری در دو قلمرو فرکانس و زمان انجام می‌شود.

در این پایان‌نامه جهت اندازه‌گیری میدان‌های فیزیکی درون زمین از روش ژئوالکتریک (مقاومت سنجی و روش IP) استفاده شده است. در انتخاب این روش پارامترهای مختلفی مانند اهداف مورد نظر، وسعت منطقه، ساختار زمین‌شناسی محل، محدودیت‌های موجود در توزیع ایستگاه‌های اندازه‌گیری مورد توجه قرار گرفته است.

## ۲-۱ مروری بر مطالعه انجام شده

روش مقاومت سنجی ژئوالکتریک را نخستین بار شولمبرژه، استاد فیزیک مدرسه عالی معدن پاریس در سال ۱۹۱۲ ابداع کرد.

مدت‌های مدیدی روش برداشت از نوع سونداژزنی بود و تفسیر با منحنی‌های استاندارد دو سه لایه‌ای صورت می‌گرفت.

در دهه آخر قرن بیستم، با توسعه الگوریتم‌های رایانه‌ای و سامانه‌ی کابل‌های چند الکترودی، روش‌های دو و سه بعدی توسعه چشمگیری یافت [telfordetal 1990].

لوک و بارکر (۱۹۹۶) برای تفسیر داده‌های ژئوالکتریک از روش مدل‌سازی وارون برای شناسایی یک کانال ماسه‌ای مصنوعی به ابعاد  $3 \times 3 \times 1$  مترمکعب استفاده کردند. بر اساس نتایج آن‌ها آرایه‌های ونر و ونر-شولمبرژه نتایج رضایت بخشی بدست می‌آوردند هر چند که از این مدل برای آرایه‌های دوقطبی - دوقطبی و قطبی - دوقطبی جواب مناسب بدست نیامده است [Ioke & Barke 1996].

## ۳-۱ ضرورت و هدف از انجام تحقیق

ایران با دارا بودن مواد معدنی فلزی و غیر فلزی مختلفی از جمله طلا و مس، سرب، روی، تا تراورتن و ... دارای ذخایر ارزشمندی می‌باشد و از آنجا که درصد کمی از این مقادیر اکتشاف و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌است و همچنین ذخائر معدنی جزء سرمایه‌های گرانقدر کشورها محسوب می‌شود و این گویای ضرورت انجام تحقیق و مطالعه‌های فراوان در این حوضه می‌باشد. هدف از تمام اکتشافات ژئوفیزیکی رسیدن به تصویری بهتر و دقیق از مواد زیرسطحی می‌باشد.

در این پژوهش تلاش بر آن است با پردازش و تفسیر داده‌ها و همچنین مدل سازی وارون آن ها در منطقه اردکان یزد بخش عقدا در نزدیکی روستای خلیل آباد در شهرستان نائین به مدل زیر سطحی منطقه دست- یافته و نقاطی جهت حفاری در مناطق امید بخش پیشنهاد گردد.

## ۴-۱ روش تحقیق

برداشت‌های صحرایی به منظور اکتشاف سولفیدهای مس در محدوده اکتشافی مورد مطالعه انجام شده است. این برداشت‌ها به دو روش IP و مقاومت ویژه الکتریکی در قالب ۳ پروفیل با آرایه دوقطبی- دوقطبی و فاصله- ی الکترودی ۲۰ متر صورت گرفته است. تعداد نقاط برداشت شده ۲۹۶ نقطه است.

به منظور شناسایی بی‌هنجاری‌های منطقه، مدل سازی به صورت وارون بر روی داده‌ها انجام شده است و به کمک اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، عمق و ابعاد کانی‌سازی مورد مطالعه قرار گرفته و تعیین شده است. نرم افزارهای مورد استفاده در این پایان‌نامه ZONDRES2D , RES2DIVNV می باشد.

## ۵-۱ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه موجود در قالب پنج فصل نوشته شده است.

فصل اول به بیان مقدمه و توضیحات مختصری از روش‌های بررسی و برداشت مقاومت ویژه و IP و همچنین ضرورت تحقیق و روش تحقیق می‌پردازد.

فصل دوم شامل کلیاتی از اصول روش‌های مقاومت‌ویژه و IP می‌باشد.

فصل سوم: در این فصل زمین‌شناسی و همچنین تعیین مکان نقاط برداشت و برداشت‌های صورت گرفته در منطقه توضیحاتی ارائه می‌شود.

فصل چهارم: به تفسیرهای حاصل از مدل سازی وارون داده‌ها پرداخته شده

و در نهایت:

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات انجام مطالعات آتی ذکر شده است.



## فصل دوم

مبانی تئوری روش های مقاومت ویژه

و قطبش القایی (IP)

## ۲- ۱ مقدمه

امروزه فقط با به کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی نمی‌توان منابع مدفون را شناسایی کرد. روش‌های ژئوفیزیکی در پی‌جویی و اکتشافات منابع کارایی بالایی دارند روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌هایی ارزان، قابل اعتماد و در بسیاری از موارد باعث کاهش ریسک‌های بزرگ سرمایه‌گذاری می‌شوند [Gautned and Treten., 2000]. برای انتخاب روش‌های ژئوفیزیکی مناسب در منطقه، آگاهی از خواص فیزیکی ماده معدنی موردنظر و سنگ‌های درون‌گیر آن امری ضروری است. با استفاده از عملیات زمین‌شناسی مقدماتی، می‌توان اطلاعاتی درباره سنگ‌ها بدست آورد [مدنی، ۱۳۷۶]. از روش‌های ژئوفیزیکی که برای اکتشاف کانسارها به کار می‌رود، می‌توان به روش‌های الکتریکی، الکترومغناطیسی<sup>۱</sup>، مغناطیس‌سنجی<sup>۲</sup>، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری<sup>۳</sup> اشاره کرد. از روش‌های ژئوفیزیکی در مرحله پی‌جویی، می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیک هوایی در مقیاس ناحیه‌ای، برای پیدا کردن بی‌هنجاری استفاده کرد؛

سپس در مراحل اکتشافات مقدماتی، نیمه‌تفضیلی و تفصیلی به همراه اطلاعات جانبی می‌توان محل دقیق ذخیره پنهان، شکل، گسترش جانبی و عمق آن کانسار را به دست آورد. با استفاده از اطلاعات ژئوفیزیکی همراه با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی می‌توان محل‌های مناسب برای حفاری را تعیین و در صورت موفقیت، مقدار ذخیره کانسار را نیز مشخص کرد. اکتشافات الکتریکی به طور کلی، از خواص الکتریکی سنگ‌ها استفاده می‌کنند؛ که عبارتند از [Telford et al., 1990]:

۱- مقاومت ویژه الکتریکی ۲- قطبش یا پلاریزاسیون الکتریکی ۳- ثابت دی‌الکتریک

---

1 Electromagnetic method

2 Magnetic method

3 Sismic method

در این فصل ابتدا اصول اولیه مقاومت‌ویژه و IP به طور مختصر شرح داده می‌شود؛ سپس مختصری درباره آرایه‌های الکتروودی که در این تحقیق استفاده شده؛ توضیح داده می‌شود و در انتهای فصل تئوری‌های مدل‌سازی که در این تحقیق استفاده شده، مورد بحث قرار می‌گیرند.

## ۲-۲ روش‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی

ایده اکتشافات مواد معدنی با کمک اندازه‌گیری‌های الکتریکی در حدود سال ۱۸۰۰ میلادی ارائه شد. روش‌های مقاومت‌ویژه در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند اما کاربردهای گسترده‌تر از آن در دهه ۱۹۷۰ به دلیل دسترسی به رایانه برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها گسترش پیدا کردند [Reynolds, 1990].

در روش مقاومت‌ویژه، از یک چشمه الکتریکی مصنوعی برای اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه الکتریکی استفاده می‌شود. برای این کار از دو الکتروود برای فرستادن جریان الکتریکی و دو الکتروود دیگر، برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده می‌شود [Loke, 2004].

مقاومت‌ویژه الکتریکی، اطلاعاتی از شکل و ویژگی‌های الکتریکی ناهمگنی‌های زیر سطح زمین را نشان می‌دهد. رابطه بین مقاومت‌ویژه ( $\rho$ ) یک ماده با مقاومت الکتریکی ( $R$ )، طول ( $L$ ) و سطح مقطع ( $A$ ) آن ماده، در زیر سطح زمین، به صورت رابطه (۱-۲) نشان داده می‌شود [Ozebo et al., 2008]:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-1)$$

با توجه به قانون اهم ( $V=IR$ ) معادله اخیر به صورت زیر در می‌آید:

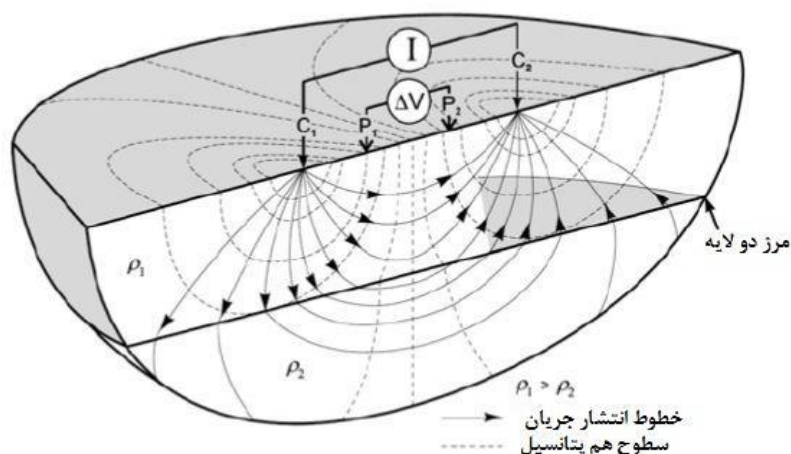
$$\rho = \frac{\Delta V \cdot A}{I \cdot L} \quad (2-2)$$

که در این رابطه، (I) شدت جریان الکتریکی و ( $\Delta V$ ) اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌باشد. این رابطه برای تعیین مقاومت ویژه یک محیط همگن<sup>۱</sup> و همسانگرد<sup>۲</sup> مناسب می‌باشد، اما برای یک محیط ناهمگن و ناهمسانگرد<sup>۳</sup> باید مقاومت ویژه را در هر نقطه مشخص نمود [ozebo et al., 2008].

شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک آرایه چهار الکترودی را نشان می‌دهد. در این شکل الکترودهای  $c_1$  و  $c_2$  را نشان دهنده الکترودهای جریان و  $p_1$  و  $p_2$  الکترودهای پتانسیل می‌باشند و اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو الکترود مذکور، طبق رابطه (۳-۲) محاسبه می‌شود [Keury et al., 2002]:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi r} \left( \frac{1}{r_{c_1 p_1}} - \frac{1}{r_{c_2 p_1}} - \frac{1}{r_{c_2 p_2}} + \frac{1}{r_{c_1 p_2}} \right) \quad (۲-۳)$$

در این رابطه،  $\Delta V$  برابر اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو الکترود پتانسیل،  $r_{c_1 p_1}$  فاصله بین الکترودهای  $c_1$  و  $p_1$  است. به همین ترتیب  $r_{c_2 p_1}$  و  $r_{c_2 p_2}$  فواصل بین الکترودهای جریان و پتانسیل ذکر شده است.



شکل ۱-۲:- نحوه انتشار خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل در محیط همگن [After Knodel et al., 2009]

1 Homegeneus  
2 Isotrop  
3 Anisotropy

انحراف از الگوی اختلاف پتانسیل‌هایی که برای زمین همگن انتظار می‌رود، اطلاعاتی را در مورد ویژگی‌های الکتریکی و ناهمگنی‌های در زیر سطح زمین فراهم می‌کند [Keury et al . 2002]. به دلیل ناهمگن و ناهمسانگرد بودن زمین، داده‌های حاصل از این روش نشان دهنده مقادیر مقاومت ویژه زمین نیست؛ این مقادیر نشان دهنده مقادیر مقاومت ویژه ظاهری<sup>۱</sup> زیر سطح می‌باشد. [Loke . 2004].

در عمل برداشت‌ها بر روی زمین غیرهمگن که مقاومت ویژه آن‌ها در سه جهت محورهای مختصاتی متغیر است، صورت می‌گیرد و هدف از این برداشت‌ها بدست آوردن اندازه مقاومت ویژه الکتریکی زمین می‌باشد. اندازه مقاومت ویژه ظاهری زمین طبق رابطه (۲-۴) محاسبه می‌شود [Loke, 2004].

$$\rho_a = \frac{\Delta v}{I} K \quad (2-4)$$

در این رابطه  $\rho_a$  مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری زمین و  $K$  ضریب هندسی<sup>۲</sup> برای آرایه مورد استفاده نامیده می‌شود و طبق رابطه (۲-۵) بدست می‌آید:

$$K = \left( \frac{1}{r_{c1p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c2p2}} \right) \quad (2-5)$$

ضریب هندسی، بستگی به چگونگی موقعیت هندسی قرارگیری الکترودها در هر آرایه‌ای بستگی دارد. دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت ویژه، معمولاً مقدار مقاومت زمین ( $R$ ) را اندازه‌گیری می‌کند. رابطه بین مقاومت اندازه‌گیری شده با دستگاه و مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری، طبق رابطه (۲-۶) تعریف می‌شود:

$$\rho_a = KR \quad (2-6)$$

همان‌طور که در بالا اشاره شده مقدار مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده به فاصله الکترودی و وضعیت هندسی الکترودها بستگی دارد [Mooney , 1980]. رابطه بین مقاومت ویژه حقیقی و مقاومت ویژه ظاهری رابطه‌ای

---

1 Apparent resistivity  
2 Geometrical factor

پیچیده است . برای تعیین مقاومت ویژه حقیقی ساختارهای زیرسطحی ، باید وارون‌سازی ۱ داده‌های مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری شده صورت گیرد؛ که این کار با برنامه‌های رایانه‌ای انجام می‌شود.

### ۱-۲-۲ تقسیم‌بندی مواد مختلف از نظر مقاومت ویژه

به منظور شناسایی مقادیر مقاومت ویژه ساختارهای زمین شناسی مختلف، آگاهی از مقادیر مقاومت ویژه مربوط به انواع مواد مختلف زیرسطحی و زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه الزامی است [Reynolds, 1997]. برای خاک‌ها و سنگ‌های آبدار، با افزایش عوامل کنترل کننده‌ی زیر، مقاومت ویژه کاهش پیدا می‌کند [Mooney, 1980]. ۱- بخشی از حجم سنگ که به وسیله آب اشغال شده است. ۲- میزان شوری یا محتوای یون‌های آزاد ۳- ارتباط بین فضاهای متخلخل ۲ (تراوایی یا نفوذپذیری) ۴- درجه حرارت یا دما. فرآیندهای زمین‌شناسی و تکنوتیکی بر روی مقاومت ویژه سنگ‌ها تاثیرگذار هستند. به عنوان مثال هوازدگی و گسل‌خوردگی باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری سیالات شده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت ویژه می‌شود. [Ward, 1990]. وجود کانی‌های فلزی باعث کاهش مقاومت ویژه می‌شود.

سنگ نیز اهمیت قابل توجهی در کنترل مقاومت ویژه الکتریکی دارد. می‌توان گفت خلل و فرج سنگ‌های قدیمی بیشتر؛ در معرض پرشدگی ثانویه توسط سایر کانی‌ها قرار می‌گیرند و در اثر تراکم سنگ‌ها، در نتیجه تخلخل و تراوایی کاهش می‌یابد و باعث افزایش مقاومت ویژه می‌شود. [Reynolds, 1997].

در جدول (۱-۲) مقادیر مقاومت ویژه مربوط به برخی سنگ‌ها، کانی‌ها و مواد مختلف زیر سطح زمین ارائه شده است. مانند سایر خواص فیزیکی، مقادیر مقاومت ویژه دارای هم‌پوشانی قابل توجهی هستند. این هم‌پوشانی‌ها باعث ابهام در تفسیر می‌شود. آشنایی با وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز کمک شایانی در رفع این ابهام می‌نماید [Loke, 2009].

---

1 Inversion  
2 Porosity

جدول ۲-۱: مقاومت ویژه بعضی از سنگ ها ، کانی ها و مواد معدنی متداول [After Loke, 1999]

| مقاومت ویژه ( $\Omega m$ )    | ماده مورد نظر | مقاومت ویژه ( $\Omega m$ ) | ماده مورد نظر |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| $50-4 \times 10^2$            | سنگ آهک       | $8-4 \times 10^3$          | ماسه سنگ      |
| $1-100$                       | رس            | $500-5 \times 10^3$        | ماسه سست      |
| $6 \times 10^2-4 \times 10^7$ | اسلیت         | $20-2 \times 10^3$         | شیل           |
| $0.2$                         | آب دریا       | $10-100$                   | آب زیر زمینی  |
| $5 \times 10^3-10^6$          | گرانیت        | $10^2-2 \times 10^8$       | کوارزیت       |
| $10^2-5 \times 10^5$          | گابرو         | $10^6-10^3$                | بازالت        |

## ۲-۲-۲ روش های برداشت مقاومت ویژه الکتریکی

داده های مقاومت ویژه با اهداف مدل سازی یک بعدی ، دوبعدی و سه بعدی برداشت می شوند [Loke, 1999]. برای برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی دو روش اصلی سونداژزنی<sup>۱</sup> (VES) و پروفیل زنی<sup>۲</sup> معمول است. در روش پروفیل زنی مقاومت ویژه الکتریکی با ثابت نگه داشتن فاصله الکترودی ( که در نتیجه ، عمق ، کاوش تقریباً ثابت می ماند)، کل آرایه روی یک مسیر مستقیم ( طول پروفیل ) جابه جا می شود. در این شیوه اطلاعات از تغییرات جانبی مقاومت ویژه الکتریکی مناسب با عمق کاوش به دست می آید. [Loke, 1999]. در روش سونداژزنی مقاومت الکتریکی با ثابت نگه داشتن مرکز آرایه ، فاصله الکترودی افزایش می یابد که در نتیجه آن عمق کاوش افزایش می یابد. [Money, 1980]

### ۲-۲-۲-۱ سونداژزنی مقاومت ویژه

در روش سونداژزنی ، تغییرات عمقی و یا قائم مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می گیرد. [Loke, 2004]. در این روش موقعیت مرکز آرایه ثابت مانده و در هر مرحله بسته به نوع آرایه، الکترودها نسبت به مرکز آرایه

1 Vertical electric sounding  
2 profiling

جابه‌جا شده و در فاصله مشخص دورتری قرار می‌گیرند. با انجام این عمل، جریان به اعماق پایین‌تر نفوذ کرده و می‌توان اطلاعاتی از لایه‌های عمیق‌تر به‌دست آورد. به‌این ترتیب، برای هر طول آرایه یک مقاومت ویژه ظاهری برای زمین در آن نقطه به‌دست می‌آید؛ که با پردازش و تفسیر این داده‌ها، می‌توان ضخامت و مقاومت ویژه لایه‌های زیر سطح زمین در آن نقطه ( محل سونداژ با مرکز آرایه الکترودی مورد استفاده را تعیین نمود.

## ۲-۲-۲-۲ پروفیل‌زنی مقاومت ویژه

در روش پروفیل‌زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه زیرسطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می‌شود. در این روش فاصله میان الکترودهای جریان و پتانسیل ثابت باقی مانده؛ ولی موقعیت مرکز آرایه با جابه‌جایی الکترودها در هر مرحله تغییر می‌کند. به این ترتیب می‌توان تغییرات جانبی لایه‌ها را در یک عمق معین بررسی کرد. [Loke , 2004].

در تفسیر این داده‌ها فرض بر افقی بودن لایه‌های زیرسطحی و عدم وجود تغییرات جانبی مقاومت ویژه است؛ که عدم وجود این فرض در طبیعت باعث ایجاد خطا در تفسیر نتایج این روش می‌گردد. [Loke, 2004].

## ۲-۳ روش IP

پدیده IP اولین بار توسط کنراد شلومبرژه در اوایل سال ۱۹۱۲ ثبت شد و از اواخر ۱۹۴۰ مورد استفاده قرار گرفت و کاربرد رایج و اساسی پی‌جویی و اکتشافات با IP در تجسس برای کانه‌های فلزی پراکنده و کانی‌های رسی و همچنین در آب زیرزمینی و مطالعات زیست‌محیطی می‌باشد. [Reynold, 1997]. روش IP به عنوان روش تکمیلی در برخی از بررسی‌های زیست‌محیطی و اکتشافی به کار می‌رود و برداشت هم‌زمان داده‌های IP به همراه روش مقاومت ویژه می‌تواند اطلاعات جزئی‌تری از سنگ‌شناسی سنگ‌میزبان ارائه دهد. [Knodel et

[2007, al.]. اندازه‌گیری‌های روش IP شباهت‌های زیادی با روش مقاومت ویژه دارد؛ در این روش از دو الکتروود جریان و دو الکتروود پتانسیل غیر پلاریزه<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. هنگامی که جریان قطع می‌شود، ولتاژ بین دو الکتروود پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود؛ زمان اندازه‌گیری می‌تواند از چند ثانیه تا چند دقیقه طول بکشد و این زمان، زمانی است که طول می‌کشد تا ولتاژ بین دو الکتروود پتانسیل به مقدار تقریبی صفر برسد، زیرا زمین در این زمان به طور موقت پلاریزه می‌شود و زمین پلاریزه شده همانند یک خازن عمل می‌کند که بعد از قطع جریان تخلیه می‌شود. اگر جریان مجدداً وصل شود، اختلاف پتانسیل بعد از یک افزایش اولیه، با گذشت یک بازه زمانی یکسان به حداکثر مقدار اولیه خود می‌رسد. [Reynolds, 1997]

### ۱-۳-۲ روش‌های اندازه‌گیری IP

اندازه‌گیری IP در دو حوزه زمان و فرکانس انجام می‌شود [Telford et al., 1997]. انتخاب روش حوزه زمان یا فرکانسی به وسایل اندازه‌گیری قابل دسترس و همچنین به تجربه شخص بستگی دارد. [Milsom, 2007].

#### الف – اندازه‌گیری IP حوزه زمان<sup>۲</sup>

برداشت داده‌های IP در حوزه زمان سریع است و در صورت مطلوب بودن شرایط محل برداشت، نتایج مفیدی ارائه می‌شود [Dahlin, 2011].

در این روش از جریان با فرکانس خیلی کم استفاده می‌شود. معمولاً جریان را بین ۱ تا ۵ دقیقه وارد زمین می‌کنند تا اختلاف پتانسیل به یک حالت ثابت و پایدار برسد. سپس جریان را ناگهان قطع می‌کنند. [کلاگری، ۱۳۷۱]. پتانسیل حالت شارژ زمین دو قسمت است: یکی مربوط به پتانسیل مربوط به جریان تزریق شده و دیگری پتانسیلی که در اثر قطبش زمین است. پس از قطع جریان، ولتاژ زمین ابتدا به میزان  $V$

---

1 Non Polarized  
2 Time –domain IP

به صورت لحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند. در ادامه ولتاژ اختلافی 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. [نوروزی، ۱۳۹۲]. اندازه‌گیری‌ها به صورت کمیت‌های متفاوت معمولاً دیده می‌شود که تغییرات ولتاژ را نسبت به زمان نشان می‌دهد.

### الف) قطبش‌پذیری

اگر اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده در زمان  $t$  (پس از قطع جریان) برابر  $\Delta V_t$  باشد؛ نسبت این اختلاف پتانسیل به مقدار اختلاف پتانسیل در حالت شارژ ( $V_0$ ) را قطبش‌پذیری می‌نامند و معمولاً بر حسب میلی-ولت بر ولت بیان می‌شود. [نوروزی ۱۳۹۲؛ حجت و رنجبر، ۱۳۹۰]

$$M = \frac{\Delta V_t}{V_0} \left( \frac{mV}{V} \right) \quad (۲-۷)$$

### ب) بارپذیری<sup>۱</sup>

در عمل اندازه‌گیری  $\Delta V_t$  بلافاصله پس از قطع جریان بسیار مشکل است. در یک زمان ثابت بعد از قطع جریان (معمولاً ۰/۵ ثانیه) اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری‌ها در یک فاصله زمانی بسیار کوتاه (۰/۱ ثانیه) با فواصل زمانی گسسته (۰/۵ ثانیه) پس از قطع جریان صورت می‌گیرد. با توجه به شکل (۲-۲) مساحت محدوده  $A$  در طی اندازه‌گیری توسط دستگاه انتگرال‌گیری و تعیین می‌شود. [Reynols, 1997].

اگر این انتگرال بر  $V_0$  تقسیم شود، مقدار به دست آمده بارپذیری ظاهری  $1 (M_a)$  نامیده می‌شود و واحد آن میلی‌ثانیه است. این انتگرال‌گیری باعث می‌شود نوقه ۲ ناشی از جفت‌شدگی متقابل کابل‌ها و پتانسیل‌های زمینه کاهش یابد [Reynols, 1997]. رابطه بارپذیری به شرح زیر می‌باشد.

<sup>1</sup> Chargeability

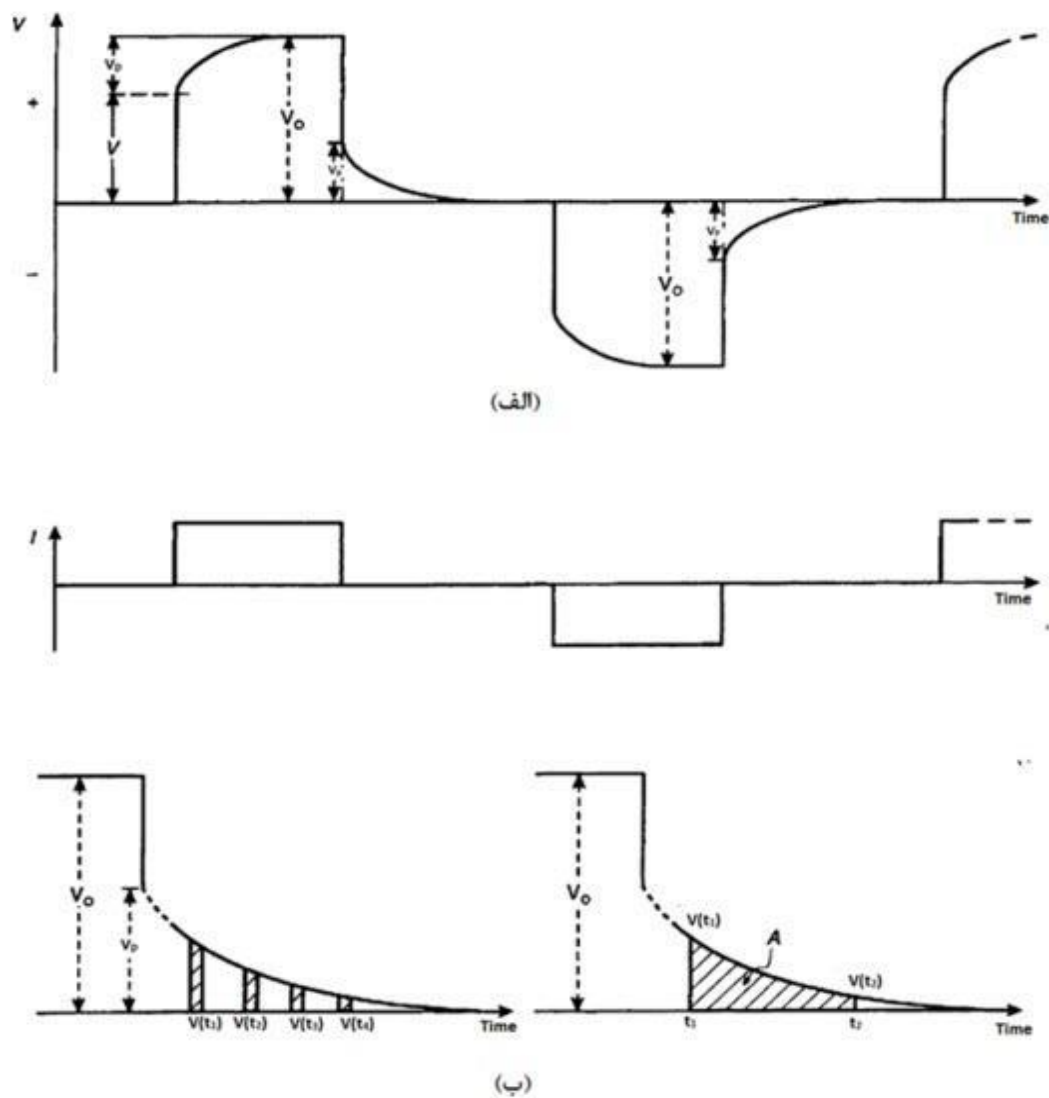
$$M_a = \frac{A}{V_0} = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (۲-۸)$$

در برداشت های صحرائی اندازه گیری بارپذیری واقعی غیر ممکن است. زیرا هر لایه مقدار مطلق مقاومت ویژه و بارپذیری واقعی خودش را داراست. پس کمیتی که در برداشت اندازه گیری می شود بارپذیری ظاهری است؛ که یک تابع پیچیده از بارپذیری های واقعی برای همه لایه هایی است که در حیطه اندازه گیری دستگاه می باشد. در یک مدت زمان شارژ کوتاه نسبت به یک مدت زمان شارژ طولانی، IP ضعیفی را نتیجه می دهد . برای یک شارژ و دوره های انتگرال گیری معین بارپذیری اندازه گیری شده یک عامل قابل تشخیص است ؛ که می تواند به صورت کیفی در تشخیص زمین شناسی ساختارهای زیرسطحی تفسیر شود.[Reynols ,1997].

---

1 Apparent chargeability

2 noise



شکل ۲-۲: اندازه‌گیری IP در روش حوزه زمان: الف) منحنی تغییرات پتانسیل در حالت شارژ و تخلیه و تغییرات جریان تزریقی، ب) پارامتر قطبش ظاهری (سمت چپ) و بارپذیری (سمت راست) [Reynolds, 1997].

جدول (۲-۲) مقدار بارپذیری برای چند کانی و سنگ رایج بر حسب میلی ثانیه [Telford et al., 1990]

| بارپذیری (ms) | کانی مورد نظر | بارپذیری (ms) | ماده مورد نظر |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 13.4          | پیریت         | 5-12          | شیست          |
| 13.2          | کالکوسیت      | 3-9           | گراول         |
| 12.3          | مس            | 3-12          | ماسه سنگ      |
| 9.4           | کالکوپیریت    | 0             | آب زیر زمینی  |
| 2.2           | مگنتیت        | 5-12          | کوارتزیت      |

## ب- اندازه‌گیری IP در حوزه فرکانس ۱

در مطالعات حوزه فرکانس (فرکانس متغیر) IP، مقاومت ویژه ظاهری در دو فرکانس کمتر از ۱۰ هرتز با استفاده از آرایه‌های الکترونی که روش‌های مقاومت ویژه جریان مستقیم و IP حوزه زمان اندازه‌گیری می‌شود.

با توجه به شکل (۲-۳) مقاومت ویژه در فرکانس پایین‌تر همواره بزرگتر از مقدار مقاومت ویژه در فرکانس بالاتر است. از این دو مقدار مقاومت ویژه برای تعیین کمیت اثر فرکانسی (FE) استفاده می‌شود و همچنین برای درصد اثر فرکانسی ۲ (PFE) استفاده کرد. رابطه اثر فرکانس به شرح زیر می‌باشد. [Reynolds, 1997]:

$$FE = (\rho_{a0} - \rho_{a1}) \frac{\rho_{a0}}{\rho_{a1}} \quad (۲-۹)$$

در این رابطه  $\rho_{a0}$  و  $\rho_{a1}$  به ترتیب مقاومت ویژه در فرکانس پایین و بالا می‌باشد. مقاومت ویژه در فرکانس پایین‌تر همواره بیشتر از مقاومت ویژه در فرکانس‌های بالاتر است. در جایی که اثر فرکانس مقادیر خیلی کوچکتر از ۱ باشد، می‌توان با بارپذیری حوزه زمان هم‌ارز شود. [Reynolds, 1997]

$$PFE = 100FE \quad (۱۰-۲)$$

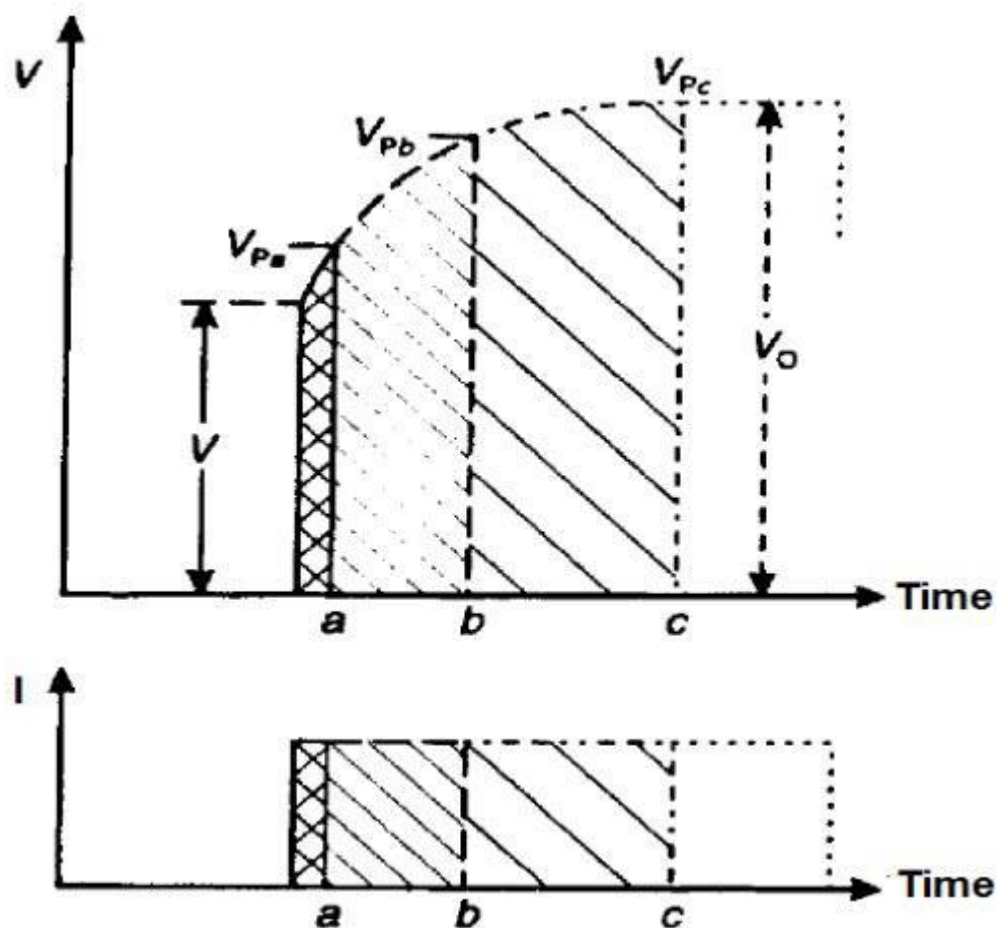
کمیت دیگری که در روش IP در حوزه فرکانس اندازه‌گیری می‌شود، عامل فلزی (MF) است [reynolds, 1997].

$$MF = A(\rho_{a0} - \rho_{a1}) / (\rho_{a0}\rho_{a1}) \quad (\text{Siemens/m}) \quad (۲-۱۱)$$

$$= A(\sigma_{a1} - \sigma_{a0})$$

1 Frequency- domain IP

2 Percent frequency effect(PFE)



شکل ۲-۳: افزایش زمان شارژ (a تا c)، که در پی آن فرکانس اندازه گیری کاهش و اثر ولتاژ اضافی افزایش می یابد. ( $V_{pa}$  تا  $V_{pc}$ ) در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس پایین (در c)، بزرگتر از مقدار آن در فرکانس بالا (در a) می باشد. [Reynolds, 1997].

## ۲-۳-۲ منشأ پدیده IP

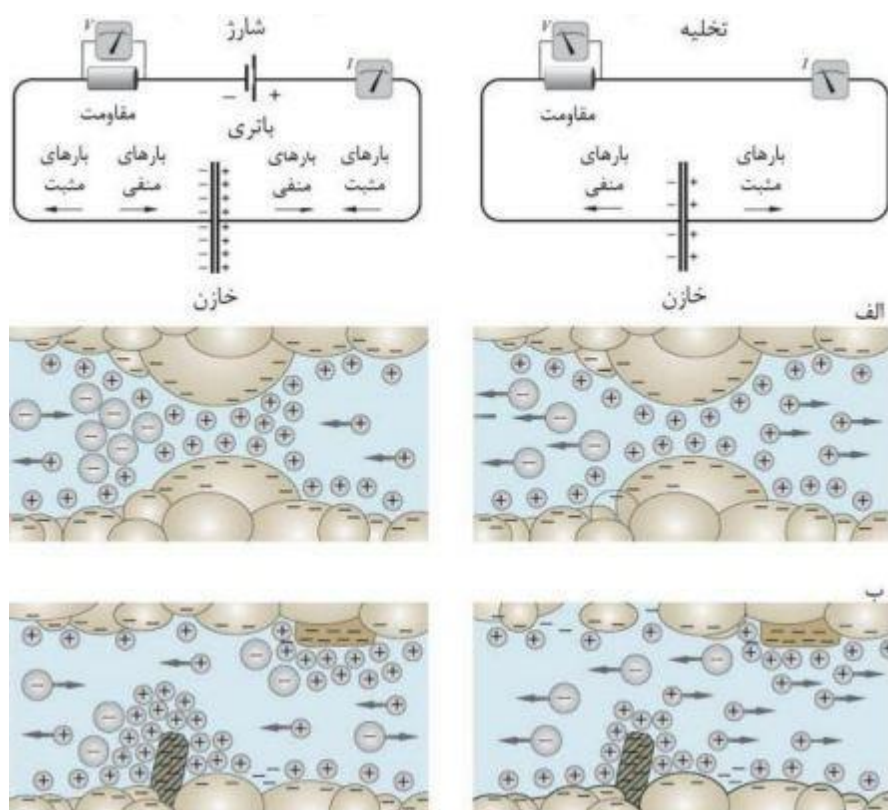
برای توجیه پدیده IP دو سازوکار اصلی داریم: یکی قطبش غشایی یا الکترولیتی یا نرمال و دیگری قطبش الکترودی یا فلزی است، که در هر دو با پدیده‌های الکتروشیمیایی در ارتباط هستند [نوروزی، ۱۳۹۲].

## الف - قطبش غشایی یا نرمال

هدایت الکترولیتی عامل غالب در بیشتر سنگ‌ها می‌باشد. هنگامی که کانی فلزی در سنگ وجود نداشته باشد، به عنوان تنها حالت مطرح می‌شود و باید سنگ تا حدودی متخلخل باشد، تا هدایت جریان امکان پذیر باشد. در اکثر کانی‌های تشکیل دهنده سنگ مقداری بار منفی در سطح مشترک بین رویه سنگ و مایع داخل خلل و فرج وجود دارد. بنابراین یون‌های مثبت به طرف این سطح جذب می‌شوند و یون‌های منفی از آن دفع می‌شوند. این تراکم یون ممکن است تا عمق حدوداً  $10^{-6}$  سانتی‌متر داخل الکترولیت گسترش یابد. اگر این رقم حدود پهنای خلل و فرج باشد، وقتی یک پتانسیل جریان مستقیم به دو سر آن وصل شود، یون‌های منفی در یک طرف آن انبار شده و از طرف دیگر دور می‌شوند. در نتیجه چنین توزیع قطبیده‌ای، جریان قطع می‌شود. با برقراری مجدد، یون‌ها به وضعیت اولیه بر می‌گردند، در حالی که این عمل در زمانی معین صورت می‌گیرد [Telford et al., 1997].

این نوع IP به بهترین وجه در حضور کانی‌های رسی صورت می‌گیرد و با افزایش شوری الکترولیت‌های موجود در حفرات، کاهش خواهد یافت.

اثر قطبش غشایی به طور عمده به علت وجود کانی رسی در سنگ‌ها یا رسوبات می‌باشد. [Loke, 2012]. مخصوصاً جایی که روزنه‌ها کوچکتر باشند بارزتر است [Telford et al., 1997]. کاربرد اثر قطبش غشایی بیشتر در برداشت‌های هندسی و زیست محیطی است [Loke, 2012]. در شکل (۲-۴) نحوه گسترش IP غشایی نمایش داده شده است.

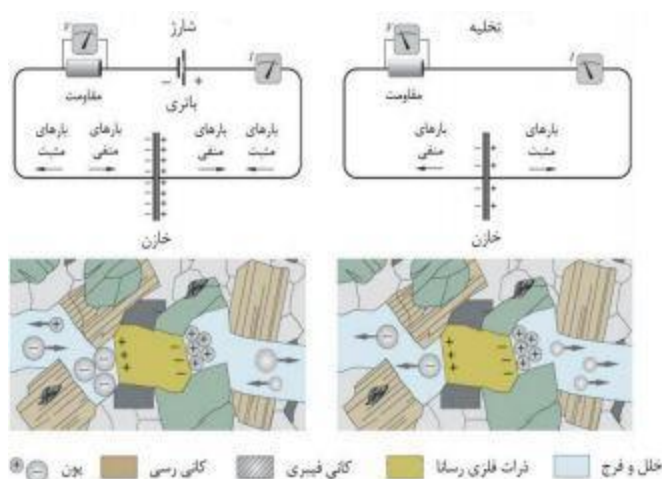


شکل ۲-۴: نحوه گسترش IP (غشایی الف) تنگ شدگی در قسمتی از یک کانال ارتباطی (ب) بار منفی ذرات مسی و المان رشته ای موجود در دیواره کانال ارتباطی [After Dent and Mudge, 2014]

## ب- قطبش الکترودی

اثر قطبش الکترودی به علت وجود کانی‌های فلزی در سنگ است. قسمتی از سنگ عبور جریان الکتریکی به صورت الکترولیتی و قسمت دیگر از طریق کانی‌های فلزی به صورت الکترونیکی انتشار می‌یابد. [Loke, 2012]. با توجه به شکل (۲-۵)، کانی فلزی باعث سد شدن راه خلل و فرج شده است؛ وقتی ولتاژ به هر طرف فضای حفره وارد می‌شود، بار مثبت و منفی روی طرفین کانی با بار مخالف تحمیل می‌شود و یون‌هایی که قصد تبادل الکترون یا کانی فلزی را دارند، بر روی هر دو طرف کانی فلزی تجمع می‌کنند. میزان عبور الکترون‌ها در فلز آهسته‌تر از میزان معاوضه الکترون‌ها از طریق یون‌ها می‌باشد. در نتیجه یون‌ها در دو طرف کانی فلزی تجمع می‌یابند و باعث جمع شدن بار الکتریکی می‌شوند. وقتی ولتاژ موثر قطع شود، یون‌ها به

طور یکنواخت پراکنده می‌شوند و به محل اولیه خود باز می‌روند و باعث افت ولتاژ می‌شوند. این اثر به عنوان قطبش الکتروودی یا ولتاژ اضافی شناخته می‌شود. وقتی کانی‌های فلزی در سنگ میزبان پراکنده هستند، اثر قطبش الکتروودی بیشتر است. زیرا سطح تماس یون‌ها برای تبادل الکترونیکی بیشتر می‌شود. با افزایش تخلخل سنگ راه‌های دسترسی دیگری برای عبور جریان به وجود می‌آید و باعث می‌شود اثر قطبش الکتروودی کاهش یابد. هر چه ولتاژ موثر و تجمع کانی‌ها بیشتر شود میزان قطبش بیشتر می‌شود. تمام کانی‌هایی که قابلیت هدایت خوبی دارند (سولفیدها، اکسیدها، گرافیتها) در این اثر شرکت می‌کنند. [Kearey et al, 2009]. اثر قطبش الکتروودی در کانی‌های فلزی سولفیدی به مراتب بیشتر از کانی‌های رسی است. [Loke, 2012].



شکل (۲-۵) قطبش الکتروودی: قطبش کانی رسا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است.

[After Dentith and Mudge, 2014]

### ۳-۲-۲ عوامل موثر بر IP

در اندازه‌گیری‌های IP عوامل مختلفی اثر می‌گذارند. این عوامل عبارتند از [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

- عیار ماده معدنی بر پاسخ IP اثر می‌گذارند. با افزایش عیار مواد معدنی، شدت IP افزایش می‌یابد.

- نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که کانی‌های دارای قابلیت هدایت الکترونیکی، IP قوی‌تر، نسبت به کانی‌هایی که دارای قابلیت هدایت الکترونیکی هستند، ایجاد می‌کنند. البته موارد استثنایی هم وجود دارد. مثلاً کانی اسفارولیت در حالی که دارای هدایت الکترونیکی است، IP ضعیفی از خود نشان می‌دهد.
- اثر IP به سطح ایجاد شده توسط دانه‌های ماده معدنی بستگی دارد. هر چقدر ماده معدنی ریزتر باشد، IP حاصل بزرگتر می‌باشد (مانند حالت پورفیری). البته باید توجه داشت، در صورتی که اندازه دانه‌بندی از یک حدی کوچکتر شود، شدت IP به جای افزایش، کاهش می‌یابد.
- مقاومت ویژه سنگ‌های دربر گیرنده کانسار نیز بر پاسخ IP اثر می‌گذارد؛ که این تاثیر، به اختلاف مقاومت ویژه بین کانسار و سنگ در بر گیرنده بستگی دارد. با افزایش مقاومت ویژه سنگ‌های در برگیرنده کانسار نسبت به مقاومت ویژه کانسار، مقدار جریان اولیه‌ای که وارد کانسار می‌شود؛ افزایش می‌یابد.
- عمق کانی‌سازی نیز در اکتشاف توده‌های معدنی به روش IP موثر است. اگر توده معدنی نسبتاً کوچک و عمیق باشد، ممکن است IP اندازه‌گیری شده، آن قدر ضعیف باشد؛ که نتوان کانسار را از سنگ در برگیرنده تفکیک کرد.

#### ۴-۳-۲ کاربرد و معایب روش IP

از مهمترین مزایای روش IP می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Telford et al , 1990]:

(۱) روش IP تنها روش منحصر به فرد برای اکتشاف کانسارهای افشان می‌باشد. به دلیل اینکه سولفیدهای پراکنده در یک سنگ میزبان نارسانا قرار دارد، قابلیت رسانی خوبی ندارند. بنابراین قابل اکتشاف با روش-های مقاومت ویژه و الکترومغناطیسی نمی‌باشد؛ اما این نوع سولفیدها، IP قوی ایجاد می‌کنند.

(۲) در روش IP با توجه به اینکه کانی‌های رسی قطبش غشایی نسبتاً بالایی دارند، لذا این روش برای اکتشاف لایه‌سازی‌های غیر قابل نفوذ رسی و سفره‌های آبدار بسیار سودمند است. همچنین در زون‌های برشی مملو از آب، IP نسبتاً بالایی از خود نشان می‌دهند.

برداشت‌های روش IP دارای معایبی مشابه برداشت‌های مقاومت ویژه است.

(۱) عملیات صحرایی روش IP کند است در نتیجه نسبت به روش مقاومت ویژه گران‌تر است.

(۲) در این روش جریان‌های تلوریک<sup>۱</sup> باعث ایجاد بی‌هنجاری کاذب می‌شوند و نوفه تلقی می‌شود [Kearey et al., 2009].

(۳) در اکتشاف کانی‌های فلزی بیشتر به اثر قطبش الکترودی تمایل است و در طی عملیات صحرایی IP تفکیک کردن قطبش غشایی از این اثر غیر ممکن است، در نتیجه قطبش غشایی باعث کاهش کارایی و خطا در برداشت IP می‌شود و به همین دلیل به عنوان نوفه زمین‌شناسی محسوب می‌شود؛ که ممکن است برابر با مقدار اثر ولتاژ اضافی سنگ که دارای ۲٪ کانی فلزی باشد [Kearey et al., 2009]

(۴) از آن جایی که در این روش از جریان متناوب استفاده می‌شود، معمولاً این جریان‌ها می‌وانند در رساناهای مجاور القاء شوند و جریان پیدا کنند، در نتیجه باعث اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی باعث به وجود آمدن اثرات IP مصنوعی می‌شود. اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی، نوفه تلقی می‌شود و باید حذف یا به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده شود، تا داده‌های قابل تفسیری به دست آید. با یک روش ساده تصحیح

---

1 Telluric current

کننده می‌توان تاثیر این نوفه را به حداقل رساند. هر چه نوع آرایه الکتروودی می‌تواند طوری انتخاب شود تا باعث کم‌شدن مشکلات جفت‌شدگی الکترومغناطیسی شود [Summer, 1992]. همچنین کابلها باید حداقل ۱۰ متر دورتر از یکدیگر باشند و اگر از هم عبور می‌کنند، باید با زاویه قائم یکدیگر را قطع کنند؛ تا اثرات القاء الکترومغناطیسی حداقل شود [Kearey et al, 2009] در روش حوزه زمان، تنها راهی که بتوان جفت-شدگی را به آسانی حذف کرد، این است که منحنی زمانی به قسمت‌های زمانی کوتاه‌تری تقسیم شود؛ که به طور موثر یک فیلتر پایین‌گذر<sup>۱</sup> را طراحی می‌کند [Summer, 1972].

## ۴-۲ آرایه‌های الکتروودی

موقعیت هندسی قرارگیری الکترودها نسبت به هم را آرایه می‌گویند. آرایه‌های الکتروودی متنوعی وجود دارد که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. انتخاب آرایه مناسب در هر روش به نیروی انسانی مورد نیاز و به فضای موجود برای گسترش آرایه بستگی دارد. [Reynolds, 1997] به کار گرفتن آرایه کاملاً خطی لزومی ندارد؛ اما در عمل الکترودها تقریباً در یک خط قرار می‌گیرند، زیرا در غیر این صورت تفسیر نتایج دشوار و عملیات صحرایی پیچیده می‌شود. [Telford et al, 1997].

آرایه‌های متداول مورد استفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه عبارتند از [Loke, 2001].

آرایه‌های ورنر<sup>۲</sup> شلومبرژه<sup>۳</sup> - دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی، قطبی - قطبی<sup>۴</sup> و مستطیلی<sup>۵</sup> اشاره نمود.

همچنین آرایه‌های متداول مورد استفاده در برداشت‌های IP عبارتند از [Loke, 2001].

آرایه‌های دوقطبی - دو قطبی، قطبی - دوقطبی، قطبی - قطبی و مستطیلی اشاره نمود.

---

1 Low Pass Filter  
2 Wernner array  
3 Schlumberger array  
4 Pole- pole array  
5 Signal to noise ratio (SNR)

## ۱-۴-۲ انتخاب آرایه الکتروودی مناسب

انتخاب بهترین آرایه الکتروودی برای اندازه‌گیری داده‌ها، به میزان نوفه زمین، حساسیت دستگاه اندازه‌گیری و همچنین ساختارهای زیر سطحی بستگی دارد. عوامل متعددی در انتخاب آرایه الکتروودی تاثیر دارند؛ که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Ward, 1990].

۱- عمق نفوذ ۲- حساسیت به عمق بی‌هنجاری‌ها (عمق هدف) ۳- حساسیت به موقعیت جانبی ۴- نسبت سیگنال به نوفه (SNR)<sup>۱</sup> ۵- جفت‌شدگی الکترومغناطیسی ۶- قابلیت تفکیک ساختارهای شیب‌دار. ۷- قدرت تفکیک‌پذیری ساختارهای افقی ۸- حساسیت نسبت به شیب ۹- حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی در عملیات سونداژزنی ۱۰- حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی در عملیات پروفیل‌زنی ۱۱- حساسیت به توپوگرافی سنگ بستر ۱۲- حساسیت به روباره‌های ۱۳- حساسیت به توپوگرافی.

مؤلفه‌های اصلی برای انتخاب آرایه عبارتند از [Loke, 2004]

(۱) حساسیت آرایه به تغییرات جانبی و عمق مقاومت ویژه الکتریکی در داخل زمین

(۲) نسبت سیگنال به نوفه

(۳) پوشش افقی داده‌ها

(۴) عمق نفوذ

جدول (۲-۳) مقایسه‌ای بین مولفه‌های مذکور برای چند آرایه الکتروودی را به صورت تعداد× بیان می‌کند.

هر چه تعداد \* برای آرایه‌ای بیشتر باشد، آرایه مذکور از نظر خصوصیات یا ویژگی‌های مورد نظر بهتر خواهد بود.

---

1 Signal to noise ratio(SNR)

جدول (۳-۲): مقایسه ای بین خصوصیات مختلف چند آرایه الکترودی [Samouelian et al , 2005]

| شلمبرژر                      | ونر  | دوقطبی - دوقطبی | قطبی-قطبی | قطبی-دوقطبی |
|------------------------------|------|-----------------|-----------|-------------|
| نسبت سیگنال به نوفه          | **** | *               | ****      | **          |
| عمق نفوذ                     | **   | *               | ****      | ****        |
| پوشش افقی داده ها            | **   | *               | ****      | ****        |
| حساسیت آرایه به ساختار افقی  | **   | ****            | *         | **          |
| حساسیت آرایه به ساختار عمومی | **   | *               | ****      | *           |

## ۲-۴-۲ آرایه دوقطبی-دو قطبی

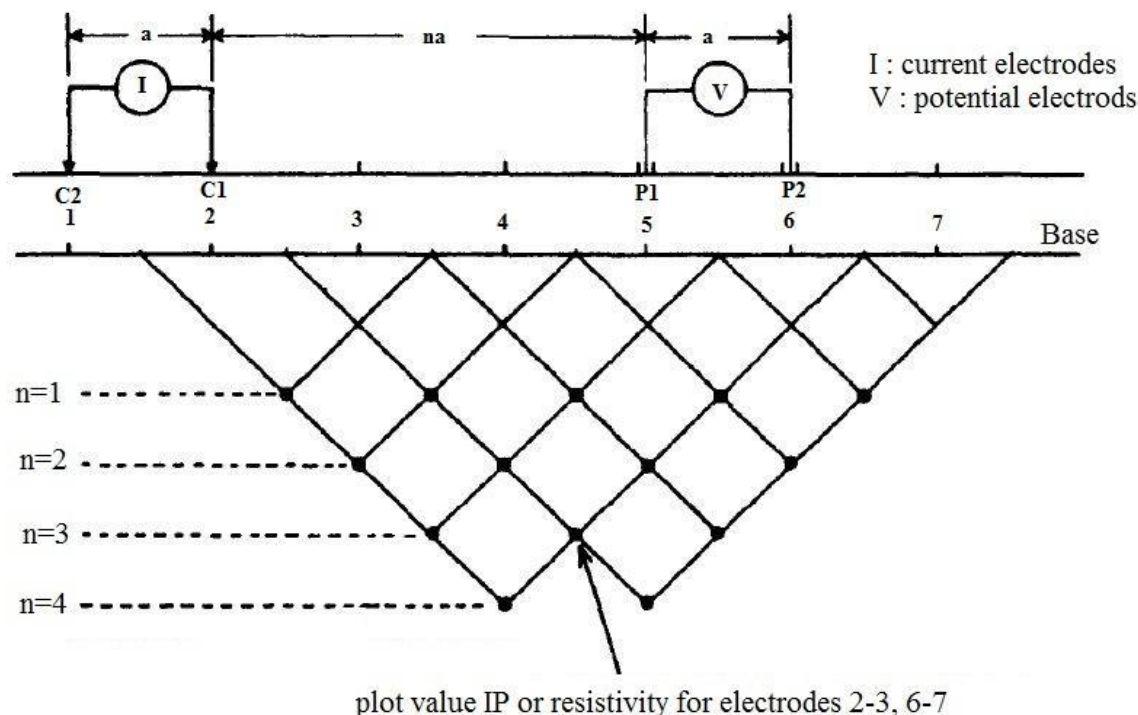
در آرایه دوقطبی- دوقطبی؛ فاصله بین الکترودهای جریان و فاصله بین الکترودهای پتانسیل تقریباً ثابت بوده است و به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فاصله بین مراکز دو داپیل است [کلاگری، ۱۳۷۱]. در این آرایه ، به دلیل این که طول سیم‌های پتانسیل و جریان، نسبت به آرایه‌های دیگر کاهش پیدا می‌کند، اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی کاهش می‌یابد.

آرایه دوقطبی- دوقطبی قدرت تفکیک‌پذیری قائم و جانبی خوبی دارد و برای شناسایی اهداف قائم باریک، قدرت تفکیک‌پذیری خوبی دارد. این آرایه نسبت به آرایه‌های قطبی- دوقطبی یا مستطیلی ، قدرت سیگنال پایین‌تری دارد [Goldie , 2007]. آرایه‌های دوقطبی - دوقطبی ، عمق نفوذ بالایی دارد، ولی به طور نسبی نسبت سیگنال به نوفه در این آرایه کم است. بنابراین برای بدست‌آوردن داده‌ها با کیفیت خوب، دستگاه باید حساسیت بالا داشته‌باشد و الکترودها به طور مناسب به زمین وصل شوند [Knodel et al , 2007] آرایه دو قطبی - دو قطبی به طور عمومی برای برداشت‌های IP و مقاومت ویژه استفاده می‌شود. زیرا جدا بودن کامل

مدار جریان و پتانسیل ، اثر نوفه القایی را کاهش می‌دهد [Milson, 2007] از رابطه (۲-۱۲) برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری در این آرایه استفاده می‌شود. [ Telford et al, 1997 ] .

$$\rho_a = \pi n(n+1)(n+2)a \frac{V}{I} \quad (2-12)$$

در این آرایه فواصل بین جفت الکترودهای جریان و جفت الکترودهای پتانسیل برابر مقدار ثابت  $a$  می‌باشد (شکل ۲-۶) . برای اندازه‌گیری با این آرایه ، فاصله  $a$  اساساً در کوچکترین واحد فاصله الکترودی ثابت نگه داشته می‌شود و معمولاً با فاصله  $a$  شروع می‌شود . فاکتور  $n$  ( که نسبت فاصله بین دو الکترود  $C1$  و  $P1$  به طول دو قطبی جریان یا پتانسیل است ) از ۱ به ۲ افزایش می‌یابد. در حالی که فاصله دوقطبی جریان با پتانسیل در  $a$  ثابت شده است. برای اندازه‌گیری‌های بعدی فاکتور  $n$  به ۲ و همین‌طور تا حدود ۶ به منظور افزایش عمق اکتشاف افزایش می‌یابد. یک عیب این آرایه قدرت سیگنال بسیار پایین پتانسیل می‌باشد. راه غلبه بر این مشکل ، افزایش فاصله  $a$  بین هر یک از دوقطبی‌های جریان و پتانسیل برای کاهش افت پتانسیل ، زمانی که طول کلی این آرایه برای افزایش عمق اکتشاف افزایش می‌یابد، است. اندازه‌گیری‌های بعدی با مقادیر مختلف فاکتور  $n$  به دست می‌آید و در صورت لزوم، می‌تواند با مقادیر بزرگتر فاصله جفت دوقطبی جریان یا پتانسیل تکرار شود [Loke, 2012]. در اصل، یک مقدار بزرگتر  $n$ ، از اعماق بیشتری اطلاعات می‌دهد [Milson, 2007]. عمق متوسط اکتشاف با این آرایه به هر دو فاکتور  $n$  و  $a$  بستگی دارد [Loke, 2012]. همان‌طور که در شکل (۲-۶) دیده می‌شود، مغادیر اندازه‌گیری شده به نقطه تقاطع خطوط مایل که با زاویه ۴۵ درجه از مراکز دوقطبی‌های جریان و پتانسیل رسم می‌شود، نسبت داده می‌شود [Milson, 2007]. مقادیر رسم شده مقادیر واقعی پارامتر در آن عمق نمی‌باشند. شکل رسم‌شده شبه‌مقطع ۱ نامیده می‌شود؛ که یک تصویر مناسب هرچند غیرواقعی از حضور بی‌هنجاری تهیه می‌کند، ولی اندازه تغییرات جانبی و عمودی حقیقی آنها را نشان نمی‌دهد. حضور ناحیه بی‌هنجاری ممکن است با انجام حفاری‌های اکتشافی بیشتر جستجو شود [Lowrie, 2007].



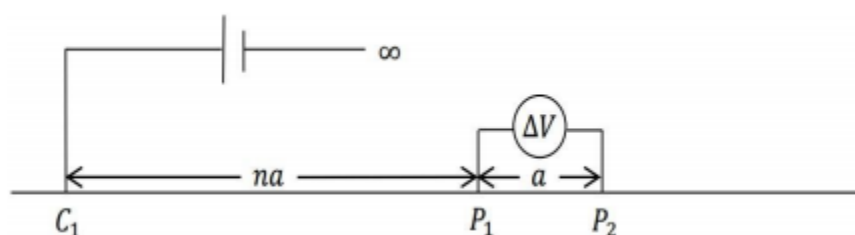
شکل (۶-۲) نمایش شماتیک از آرایه دوقطبی - دوقطبی و رسم شبه‌مقطع [Telford et al, 1990]

### ۳-۴-۲ آرایه قطبی - دوقطبی

از مزایای این آرایه الکترودی می‌توان به پوشش افقی مناسب، حساس نبودن به نوفه‌های تلوریک و همچنین بالابودن قدرت سیگنال در این آرایه (در مقایسه با آرایه دوقطبی- دو قطبی) و نیز پایین بودن جفت‌شدگی الکترومغناطیسی، به دلیل جدابودن مدار الکترودهای جریان و پتانسیل (در مقایسه با آرایه وئر و شلومبرژه) منجر شده که برای کاوش‌های IP مورد توجه قرار گیرد [Loke, 2004].

برای آرایه قطبی- دوقطبی لازم است که الکترودهای C2 در فاصله مناسب در روی خط بررسی قرار گیرد. فاکتور  $n$  که در این آرایه اهمیت دارد، برابر با نسبت فاصله بین C1 و P1 بر  $a$  است. استفاده از این آرایه برای

مقادیر ضرایب  $n$  بیشتر از ۸ توصیه نمی‌شود. زیرا وقتی که از ضرایب بالاتر استفاده می‌شود؛ باعث کاهش نسبت سیگنال به نوفه می‌شود؛ به طوری که مناطق با حساسیت مثبت در زیر خط ما بین جفت دوقطبی پتانسیل  $P1-P2$  خود را در مقاطع مدل‌سازی شده به صورت یک‌سری بی‌هنجاری با دامنه بسیار بالایی در سطح به اشتباه نمایان می‌کند؛ که غالباً پوششی بر بی‌هنجاری ساختارهای عمیق‌تر دارد. لذا فضای اکترودی  $a$  بین  $P1$  و  $P2$  برای دستیابی به شدت سیگنال قوی‌تر باید افزایش یابد؛ تا از ایجاد بی‌هنجاری‌های کاذب در سطح دوری گردد و عمق، متناسب با افزایش بیشتر شود. در شکل (۷-۲) شمایی از آرایه قطبی-دوقطبی نشان داده شده است.



شکل ۷-۲: شمایی از آرایه قطبی - دوقطبی [Loke, 2004]



# فصل سوم

## زمین‌شناسی و عملیات صحرایی در محدوده مورد مطالعه

### ۱-۳ مقدمه

مس جزو نخستین فلزاتی است که انسان کشف کرد و برای رفع نیازهای خود آن را مورد استفاده قرار داد. بسیاری از تمدن‌های قدیمی مس را می‌شناختند و از آن برای ساخت سلاح، ظروف و زیورآلات استفاده می‌کردند.

مس یک عنصر فلزی چکش خوار و هادی است که رسانای خوبی از گرما و جریان الکتریکی می‌باشد و همچنین در برابر زنگ‌زدگی مقاوم است.

با پیشرفت تمدن بشری و رشد تکنولوژی‌هایی مانند الکترونیک و ارتباطات از این فلز ارزشمند بیش از پیش استفاده شد.

و خواص و فواید آن بیشتر از همیشه شناخته شد و مورد استفاده در صنایع مختلف قرار گرفت. اگرچه قدمت کشف و استفاده از این فلز به هزاران سال قبل بر می‌گردد اما بخش عمده استخراج و کاربرد مس در دو قرن اخیر صورت گرفته است و هم اکنون کشورها و شرکت‌های بسیاری در سراسر جهان این فلز ارزشمند را استخراج، تولید و مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند.

میانگین غلظت مس در پوسته زمین حدود ۰/۰۰۶ درصد است، درحالی‌که امروزه ذخایر معدن مس حاوی حداقل ۰/۴ درصد مس و نیز احتمالاً مقادیر جزئی طلا، نقره و مولیبدن می‌باشند.

نهشته‌های مس در تمام سنین در سنگها رخ می‌دهند و از طریق فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی که باعث متراکم شدن مس پراکنده شده در میان حجم‌های بزرگی از ماگما یا سنگ می‌شوند، شکل می‌گیرند.

شایع‌ترین انواع نهشته‌های مس به علت فرآیندهای هیدروترمال تشکیل شده‌اند که در هنگامی که سولفیدهای مس و مس \_ آهن از آبهای داغ با شدت در شکستگی‌ها و سنگهای نفوذی زمین پر تاب شده‌اند، به وجود آمده‌اند

مس در اشکال مختلف به طور طبیعی در پوسته زمین رخ می‌دهد. به طوری که می‌تواند در رسوبات رده سولفید مانند (کالکوپریت، بورنیت، کالکوزیت، کوولیت) در رسوبات رده کربنات به صورت [آزوریت و مالاکیت] در رسوبات رده سیلیکات [به صورت کریزوکل و دیوپتاز] و همچنین به صورت مس فلزی یافت شود.

همچنین مس نقش مهمی در اقتصاد ملی کشورهای پیشرفته، تازه توسعه یافته و در حال توسعه دارد . استخراج معدن، فرآوری، بازیافت و تبدیل فلز به مجموعه‌ای از محصولات، شغل‌هایی را ایجاد می‌کنند و موجب تولید سرمایه می‌شوند. این فعالیت‌ها به ایجاد و نگهداری زیرساخت‌های کشورها کمک می‌کنند و فرصت‌های تجارت و سرمایه‌گذاری را ایجاد می‌کنند. مس از جمله فلزاتی است که بسیار مورد بازیافت قرار می‌گیرد. مس بازیافت شده (مس ثانویه) نمیتواند از مس اولیه (مس حاصل از سنگ معدن) متمایز شود. بازیافت مس منجر به صرفه جویی در انرژی می‌شود و کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که ما یک منبع پایدار از فلز برای نسل‌های آینده خواهیم داشت.

عملیات برداشت در محدوده اکتشافی بنوید بخش بنوید با عنوان " انجام مطالعات ژئوفیزیکی به روش مقاومت ویژه و IP" به منظور بررسی وضعیت کانی‌زایی مس در آن محدوده انجام گرفت .

در این عملیات از دستگاه GDD ساخت کانادا دارای فرستنده با توان 1800 وات و گیرنده ده کاناله استفاده شد. عملیات در راستای سه پروفیل A,B,C بصورت شمال غربی - جنوب شرقی برداشت گردیده است

و اطلاعات خام جمع آوری شده است . پروفیل ها هر کدام به طول ۳۱۰ و ۳۲۰ متر با فاصله الکترودی ۲۰ متر عمود بر روند کانی سازی طراحی و اجرا شد.

## ۲-۳ موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به محدوده اکتشافی

ورقه نائین در موقعیت ۳۰' و ۵۳° - ۰۰' و ۵۳° طول های خاوری و ۰۰' و ۳۳° - ۳۰' و ۳۲° عرض های شمالی جای دارد و در بخش های شمالی محدوده ی تحت پوشش چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ نائین قرار می گیرد. بزرگترین مرکز جمعیتی این ورقه شهرستان تاریخی نائین با جمعیتی برابر ۲۵۰۰۰ نفر است. شهر نائین در محل تقاطع دو جاده اصفهان- یزد و کاشان - اردستان - یزد قرار دارد و در حدود ۱۷۷۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. از مهم ترین آثار تاریخی این شهرستان نارین قلعه مربوط به دوره اشکانیان، مسجد جامع که یکی از کهن ترین مساجد ایران به شمار می رود و زمان ساخت آن را به قرن دوم هجری نسبت می دهند و قلعه شاه عباسی نوگنبد هستند. شمار روستاهای این ورقه بسیار کم و جمعیت آنها بیش از چند خانوار نیست و شامل چاه باشه ، اریکان، بنوید پایین ، بنوید بالا، هندچوب ، کدونوینه، لشکر، حاجی آباد ، سرار و خوگچو است.

آب و هوای منطقه گرم و خشک ، میانگین کمترین دما ۵/۲ درجه در دیماه و میانگین بیشترین دما ۲۹/۵ درجه سانتی گراد در تیرماه است. بارش باران در این شهر بسیار ناچیز است و بالاترین میزان بارندگی ۲۶/۵ میلی متر گزارش شده است. حیوانات وحشی شامل خرگوش ، شغال، کبک و مار هستند . پوشش گیاهی منطقه را گیاهان اسفند، تاق، گز، به به شور، اشنان، پرشن، ترخ ، گندبو تشکیل می دهد.

صنایع دستی شهر نایین را قالی بافی ، عبابافی ، گلیم بافی، سفالپزی ، آجرپزی تشکیل می دهد و صنایع جدید شامل تولید سیمان سفید ، تولید قطعات یدکی خودرو ، سرامیک سازی و صنعت مرغداری است که بطور گسترده ای رواج دارد.

مهم‌ترین فرآورده‌های کشاورزی منطقه گندم و جو، پنبه، حبوبات، زعفران، دانه های روغنی و پسته است.

بلند ترین کوه‌های منطقه کوه کلاغ، کاچی، سوند، شیرازکوه و کوه بیخی است. کوه کلاغ با بلندایی برابر ۲۵۵۹ متر از سطح دریا بلندترین قله ی ورقه را تشکیل می دهد. پست ترین ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۰۸۳ متر است.

منطقه مورد مطالعه در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ نائین قرار دارد فاصله این محدوده تا شهر یزد ۱۰۱ کیلومتر و در ۷۱ کیلومتری شهرستان نائین می‌باشد. شکل (۱-۳)



شکل (۱-۳) نقشه راه‌های دسترسی به منطقه

### ۳-۳ زمین شناسی ناحیه‌ای منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ساختاری ایران مرکزی است و شامل سه بخش است:

سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک که در جنوب خاور ورقه رخنمون دارد و شامل سیلتستون ، ماسه سنگ، دولومیت و آهک‌های کرینوئیددار هستند که در رخساره شیبست سبز دگرگون شده اند.

سنگ‌های رسوبی آتشفشانی و آذرین متعلق به کرتاسه و پالئوسن و سنگ‌های رسوبی آواری و آتشفشانی متعلق به الیگومیوسن

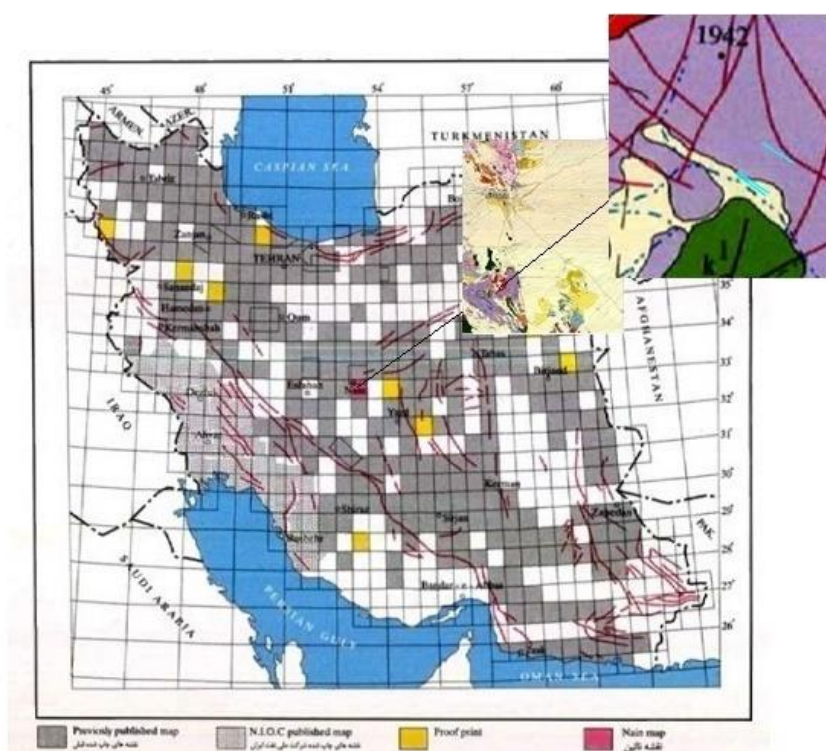
آمیزه افیولیتی در برگرفته‌ی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده در زمینه و هارزبورژیت، دایک دیابازی با دگرگونی درجه پائین و گاه متوسط، دایک‌های رودینگیتی، سنگ‌های لیستونیتی و قطعات چرت‌های رادیولاریتی و آهک‌های پلاژیک متعلق به کرتاسه بالایی است که بر روی رسوبات نوع فلیش ائوسن (سازنده آخوره) و رسوبات الیگومیوسن رانده شده‌اند.

از دیدگاه زمین ریخت شناسی می توان منطقه را به بخش های زیر تقسیم نمود:

بخش کوهستانی و کم ارتفاع شمالی شامل آمیزه افیولیتی ( پریدوتیت های سر پانتینی شده ) کم ارتفاع و پست و همچنین هارزبورژیت ها ، دایک های دیابازی، آهک‌های پلاژیک کرتاسه بالا، چرت‌های رادیولردار می‌باشند که نسبت به پریدوتیت‌های سرپانتینی شده در برابر فرسایش مقاومت بیشتری نشان داده و از ارتفاع بیشتری برخوردارند و همه آنها توسط گسل معکوس محمدیه - لشکر - حاجی آباد بر روی فلیش های ائوسن و مولاس های میوسن که حالت تپه ماهواری دارند رانده شده اند.

بخش کوهستانی و مرتفع جنوبی که تحت تاثیر عملکرد گسله‌های متعدد و نفوذ توده‌های آذرین و دگرگونی شکل گرفته است. بخش‌های رسوبی از جمله سنگ آهک‌های کرتاسه در برابر فرسایش مقاومت بیشتری

نشان داده و صخره‌ساز و مرتفع هستند. در حالی که سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب ریولیتی در برابر عوامل فرسایش و هوازدگی فیزیکی از ناپایداری بیشتری برخوردار بوده و حالت تپه ماهوری دارند. بخش کم ارتفاع جنوبی و جنوب خاوری که شامل نهشته ای ماسه سنگی، شیلی دولومیتی چین خورده پالئوزوئیک و سنگ- های رسوبی آواری و آتشفشانی میوسن بوده و از ارتفاع ناچیزی برخوردار می‌باشند و گاه حالت تپه ماهوری و پست دارند. نهشته‌های کواترنر جوان بخش کم ارتفاع و پست خاور منطقه را تشکیل می‌دهند. شکل (۲-۳)



شکل (۲-۳) نقشه ایران - نقشه زمین‌شناسی نایین - نمایی از زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت پروفیل‌ها

### ۳-۴ زمین‌شناسی منطقه‌ای محدوده مورد مطالعه

واحدهایی که در آن‌ها عملیات ژئوالکتریک جهت اکتشاف مس صورت گرفته به شرح زیر است.

کرتاسه:

واحد  $K_2^v$ :

این واحد در محدوده گسترده ای از جنوب باختر ورق گسترده دارد و در برگیرنده گدازه ها و توف های غیر قابل تفکیک ریولیتی - آندزیتی و بندرت بازالت به رنگ تیره و گاه سبز تیره و سبز زیتونی است. که گدازه های ریولیتی بخش زیادی از آن را تشکیل می دهد. ستبرای این واحد به دلیل چین خوردگی و عملکرد گسله ها به درستی قابل اندازه گیری نیست.

بافت این سنگ ها پورفیری ، پورفیری حفره دار ، پورفیری اینترسرتال و ویتروکلاسیک است و حفره ها توسط بلورهای کوارتز پر شده اند.

ترکیب کانی شناسی این سنگ ها را بلورهای پلاژیوکلاز خود شکل از نوع لابرادور تا آندزین در سنگ های بازالتی، و الیگوکلاز - آلبیت در سنگ های ریولیتی - آندزیتی ، پیروکسن، آمفیبول، و بلورهای کوارتز نیمه شکل دار تا بی شکل با حواشی خلیجی تشکیل می دهد.

زمینه سنگ را بلورهای میکروکریستالین کوترتز و فلدسپات تشکیل می دهند که گسترش بلورهای کوارتز بیشتر است. فلدستاپ های موجود در زمینه به کانیهای رسی ، کلریت و کلریت آغشته به آهن تبدیل شده است.

کانیهای ثانوی سنگ شامل کانی های رسی ، اسفن، لوکوکسن، سربیسیت، کلریت، اکسید آهن، کلسیت، کوارتز، اپیدوت هستند. و کانی فرعی شامل کانیهای اوپاک و آپاتیت است.

جدول (۱-۳) تجزیه شیمیایی دو نمونه از سنگ های ریولیتی واحد  $K_2^V$  در بردارنده اکسیدهای زیر می باشد.

| Sio2  | Al2o3 | Fe2o3 | Mgo  | Cao  | Na2o | K2o  | Mno  | Tio2 | P2o5 |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 71.11 | 13.26 | 2.94  | 0.42 | 1.71 | 3.99 | 4.07 | 0.17 | 0.21 | 0.09 |
| 71.82 | 71.82 | 14.21 | 2.98 | 0.28 | 1.56 | 3.89 | 0.15 | 0.31 | 0.12 |

نمونه های این واحد در نمودار Le Maitre (۱۹۸۹) بر اساس  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  به  $\text{SiO}_2$  در محدوده ریولیت، و بر اساس نمودار  $\text{K}_2\text{O}$  به  $\text{SiO}_2$  Le Maitre (1989) در محدوده داسیت و ریولیت پتاسیم بالا، و در نمودار Irvine & Baragar (۱۹۷۱) در محدوده کالکو آلکالن جای گرفته اند.

واحد  $k_2^1$ :

این واحد شامل سنگ آهک های بیومیکریتی کرم رنگ به سبزی چند سانتی متر تا نزدیک به ۳۰۰ متر است که به عنوان میان لایه درون سنگ های آتشفشانی  $k_2^v$  قرار گرفته اند. بررسی های میکروفسیل شناسی سن این واحد را کرتاسه پسین (کامپانین پسین - ماستریختین پسین) تعیین نموده اند.

توده نفوذی بعد از کرتاسه:

واحد گرانیت (g):

این واحد در جنوب روستای بنوید بالا رخنمون دارد و در برگیرنده ی توده های گرانیتی به رنگ خاکستری تا سفید است که واحد  $k_2^v$  را بریده است.

بافت سنگ های این واحد گرانولار - میکروگرافیکی است، و در ترکیب کانی شناسی آن ها پلاژیوکلازهای خود شکل تا نیمه شکل دار از نوع (الیگوکلاز - آلبیت) با اندازه ای نزدیک به ۰/۵ میلی متر و تجزیه شده به مقدار کم به سریسیت و کانی های رسی، بلورهای آلکالی فلدسپار (ارتوز) بی شکل تا نیمه شکل دار تبدیل شده به سریسیت، و نزدیک به ۲۰ درصد کوارتز میکرو کریستالین دیده می شود. برخی از بلورهای کوارتز با بلورهای ارتوز بافت گرافیک را نشان می دهند. کانی های فرعی را کانی های اوپاک و به مقدار کم زیرکن تشکیل می دهند.

کواترنر:

$Q^{tr}$ : این واحد در شمال باختر روستای اریکان جای دارد و شامل سنگ تراورتن است که در امتداد شکستگی های این منطقه شکل گرفته و هنوز فرآیند تشکیل آن ادامه دارد. همراه آراگونیت کانی هالیت نیز تشکیل می شود.

$Q^1$ : این واحد در برگیرنده پادگانه های آبرفتی و مخروط افکنه های قدیمی است و از کنگلومرای سست پدید آمده است. شیب لایه ها افقی است.

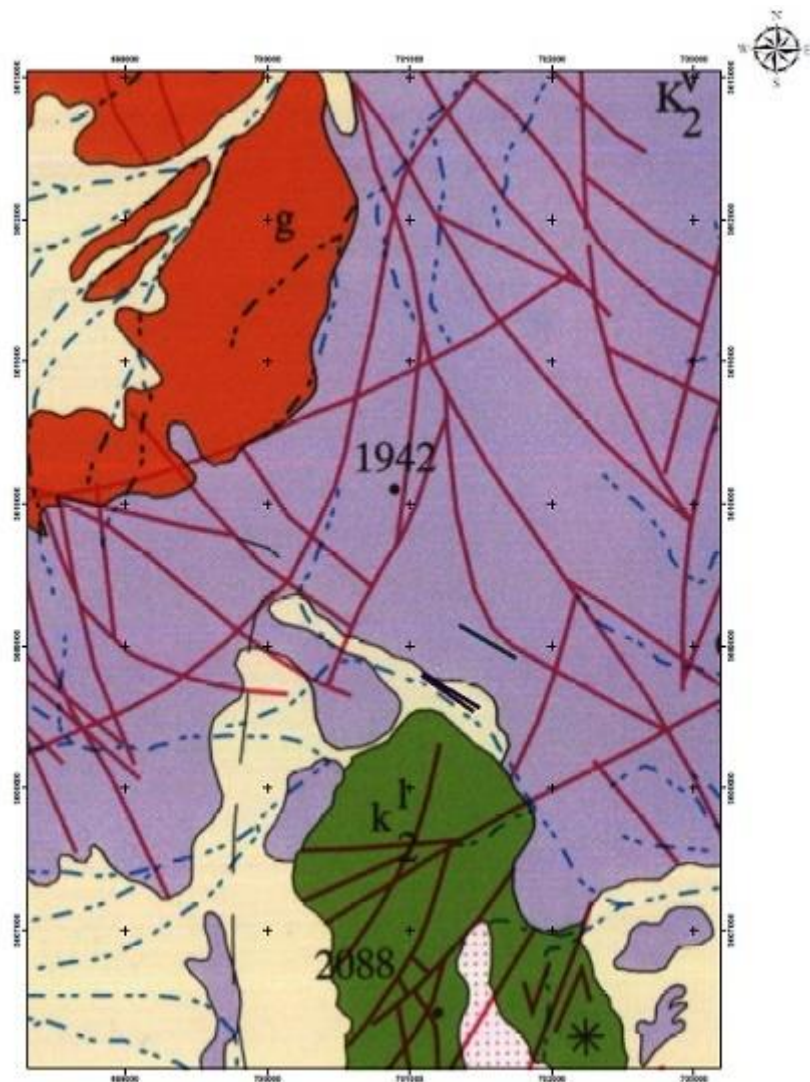
$Q^2$ : این پادگانه ها نسبت به پادگانه های قدیمی تر بلندای کمتری دارند و بخش پست منطقه و دشت را تشکیل می دهند. این نهشته ها به نسبت سست، رسی - سیلتی و کنگلومرایی هستند و قطعه های آنها را سنگ قدیمی تر پدید آورده اند.

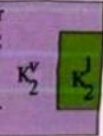
$Q^{sf}$ : این واحد در شمال روستای اریکان رخنمون دارد و شامل نهشته های رسی و کنگلومرایی حاوی نمک درون دق ها است.

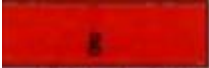
$Q^{sd}$ : این واحد در خاور روستای بافران رخنمون دارد و شامل تپه های شنی روان است.

$Q^{al}$ : این واحد در برگیرنده نهشته های رودخانه ای عهد حاضر است.

$Q^{ef}$ : این واحد در خاور و شمال خاور و جنوب شهرستان نائین رخنمون دارد و شامل نهشته های رسی است.



|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p><math>K_2^{tr}</math> : Green trachyandesitic to quartz trachyandesitic lavas.</p> <p><math>K_2^{lt}</math> : Green dacitic vitric crystal lithic tuff</p> <p><math>K_2^l</math> : Cream biomicritic limestone</p> <p><math>K_2^v</math> : Dark to olive-green mainly rhyolitic minor andesitic and rarely basaltic lavas and tuffs</p> | <p>کنگومرای قرمز و ماسه سنگ سبز رنگ با قطعات کریستال لیتیک توف آهکی<br/>گذاره های تراکی آندزیتی - کوآرتز تراکی آندزیتی سبز رنگ<br/>لیتیک توف بلورین شیشه ای سبز رنگ<br/>سنگ آهک بیومیکریتی کرم رنگ</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

 **g: Granite(white to grey granite).** گرانیت سفید تا خاکستری.

شکل (۳-۳) نقشه زمین شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه

## ۵-۳ ویژگی های کانی سازی منطقه

اثرات کانی سازی در شمال باختر، باختر، و جنوب خاور امام زاده سلطان سید محمود رخنمون دارد و نتیجه دگرسانی سنگ های داسیتی واحد  $K_2^V$  است. پی آمد تاثیر محلول های هیدروترمال بخشی از این سنگ ها ترکیب آغازین خود را از دست داده و به کانیهای کلریت و سربیسیت تغییر یافته اند. در این فرآیند کانیهای فلزی همانند منیتیت به گونه خود شکل - نیمه خود شکل تشکیل شده و ۱۵ درصد از سطح مقطع صیقلی را در بر گرفته است. هماتیت در رگچه های سنگ شکل گرفته است و همراه با هیدروکسیدهای آهن ۱۰ درصد از سنگ را تشکیل می دهند. کالکوپیریت با بلورهای بی شکل بطور پراکنده و اغلب در رگچه های سنگ تبلور یافته و بعد از کانی منیتیت بوجود آمده است و حدود ۳ درصد از سطح مقطع صیقلی را در بر می گیرد. فزون بر کالکوپیریت کانیهای کالکوسیت، کوولیت، و بورنیت نیز در سنگ های دگرسان شده این زون دیده می شوند.

## ۶-۳ شرح مختصری از کانسار سازی وزمین ساخت ایران

به طور کلی کانسار سازی در ایران را می توان نتیجه رخداد های زمین ساختی در مناطق زیر دانست:

شمال ایران - باز و بسته شدن اقیانوس هرسینین (پالئوتتیس) بین صفحه توران در شمال و صفحه ایران مرکزی شرقی در جنوب؛

جنوب غرب و شمال غرب ایران - باز و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس بین صفحه ایران در شمال و صفحه عربستان در جنوب؛

منطقه مکران - فرو رانش پوسته اقیانوسی عمان (بقایای نئوتتیس) به زیر ایران؛

شرق ایران - باز و بسته شدن اقیانوس واقع بین بلوک هیرمند در شرق و بلوک لوت در غرب،

غرب لوت - باز و بسته شدن اقیانوس واقع در غرب صفحه لوت .

ایالات فلز زایی موجود در ایران را می توان نتیجه شرایط زمین ساختی کششی ( تشکیل کافت ها و اقیانوس ها) و فشارشی (کمربندهای کوهزایی) حاکم ضمن باز و بسته شدن اقیانوسها (پالئوتتیس ، نئوتتیس و ریفت های بین قاره ای ) دانست.

جنوب غرب و شمال غرب ایران

طی پرکامبرین و پالئوزوئیک، ایران و عربستان جزو گندوانا بودند و توسط اقیانوس پالئوتتیس از صفحه توران جدا می شدند. در اواخر پالئوزوئیک و یا اوائل تریاس با باز شدن اقیانوس نئوتتیس، ایران از عربستان جدا شد و در پایان تریاس میانی با صفحه توران برخورد نمود (داودزاده و اشمیت، ۱۹۸۳). فروانش صفحه اقیانوسی عربستان به زیر صفحه ایران در اواخر کرتاسه آغاز گردید و برخورد بین این دو صفحه در نئوژن به پایان رسید . این برخورد بیشترین تاثیر را بر روی زمین ساخت ایران داشته است. در مسافتی بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر ، پوسته ضخیم شده و ضخامت آن در منطقه ی زاگرس به ۵۰ تا ۶۰ کیلومتر رسید ( گیس و همکاران ، ۱۹۸۴).

در کمر بند ارومیه - دختر ( کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی یا سهند- بزمان)، کانسارهای مس پورفیری در جنوب شرقی منطقه که در آن صفحه اقیانوسی دارای شیب بیشتری است، واقع می باشند (گیس و همکاران ، ۱۹۸۴). عکاشه و برکمه (۱۹۸۴) دریافتند که فاصله ی بین کمر بند آتش فشانی ارومیه - دختر و تراست اصلی زاگرس، از جنوب شرقی به طرف شمال غرب افزایش می یابد و از اینجا نتیجه گیری نموده اند که در شمال غرب ، صفحه اقیانوسی دارای شیب کمتری است.

علاوه بر کانسارهای مس پورفیری (نظیر میدوک )و مس مولبدین پورفیری ( نظیر سرچشمه )، تعداد زیادی کانسارهای رگه ای سولفیدی ناصر پایه و چند کانسار چند فلزی ( پلی متالیک) مانند مسکنی و طالمسی

(انارک) در کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی وجود دارد. دو کانسار اخیر حاوی سولفید مس و آهن و آرسنور نیکل و کبالت می‌باشند. در این دو کانسار، کانی سازی اورانیوم همراه با هماتیت و کوارتز، جانشین آرسنورهای مس انجام گردیده است. کانی سازی مس، مربوط به ائوسن و کانی سازی کبالت و نیکل مربوط میوسن است. در این دو کانسار ضخامت رگه ها در حد چند دسیمتر است (ترکیان و همکاران، ۱۹۸۳)، (شهاب پور، ۱۳۹۴)

## ۷-۳ شرح مختصری از انواع کانسارهای مس

### ۱-۷-۳ کانسارهای مس پورفیری

واژه مس پورفیری به کانساری اطلاق می‌شود که دارای تناژ بالا، عیار پایین، غیر همزاد و درونزا باشد واز طریق روش‌های معدنکاری بزرگ مقیاس قابل بهره‌برداری باشد.

این کانسارها به واسطه تناژ بالا و پایین بودن نسبی مخارج جداسازی از ۱۹۰۷ مورد توجه قرار گرفته‌اند. این کانسارها در ارتباط با سیستم گرمابی مربوط به توده‌های نفوذی می‌باشد. در این کانسارها دگرسانی و کانسار سازی بطور تقریباً متقارن یا نامتقارن بر روی توده‌های نفوذی و اطراف آن متمرکز می‌باشند.

یکی از خصوصیات کانسارهای مس پورفیری ساخت منطقه‌ای سولفیدی سیلیکاتی موجود در آنها است که توسط لوول و گیلبرت (۱۹۷۰) پس از مطالعه‌ی کانسار کالامازو (آریزونا) و مقایسه آن با ۲۷ کانسار مس پورفیری دیگر ارائه گردیده است.

دگرسانی در این کانسارها از داخل به طرف خارج شامل: پتاسیک ← فلیک ← رسی ← پروپیلی تیک می- باشد. این ترتیب مکانی در مناطق دگرسانی مربوط به نوعی از کانسارهای مس پورفیری موسوم به مدل لوول

و گیلبرت می باشد. و در مدل دیگر که به مدل دیوریت موسوم است، مناطق دگرسانی از داخل به خارج شامل: پتاسیک ← پرو پیلی تیک می باشد (شهاب پور، ۱۳۹۴).

## ۲-۷-۳ کانسارهای اسکارن مس

طبق تعریف واژه اسکارن به سنگ هایی اطلاق می شود که از سیلیکاتهای  $\text{Mg}$  و  $\text{Fe}$ ،  $\text{Ca}$  تشکیل شده اند و در نتیجه جانشینی  $\text{Si}$ ،  $\text{Al}$  و  $\text{Fe}$ ،  $\text{Mg}$  در سنگ های آهنی خالص و دولومیت حاصل می شوند اسکارن ها غالباً در نزدیکی توده های نفوذی تشکیل می شوند و دارای انواع مختلفی می باشند.

اکثر کانسارهای اسکارن مس همراه با استوک های گرانودیوریتی تا کوارتز مونزونیتی در کمربندهای کوهزایی حاشیه قاره ای یافت می شوند. اسکارن های مس را می توان به دو گروه تقسیم نمود: اسکارن های مس همراه با استوک های بی بر و اسکارن های مس همراه با استوک های مربوط به کانسارهای مس پورفیری (اینودی و همکاران، ۱۹۸۱).

کانسارهای اسکارن مس که همراه با استوک های بی بر یافت می شوند، معمولاً از کانسارهای اسکارن مس همراه با استوک های مربوط به کانسارهای مس پورفیری، کوچکتر می باشند و در رده کانسارهای ۱ تا ۵۰ میلیون تن (۲۵ تا ۱۲۰ هزار تن مس) قرار می گیرند (اینودی و همکاران، ۱۹۸۱).

کانسارهای اسکارن مس با نفوذی هایی که در ارتباط با کانسارهای مس پورفیری می باشند و در سنگ های کربناته جایگزین شده اند، یافت می شوند. کانسارهای اسکارنی مس مرتبط با کانسارهای مس پورفیری، همراه با مجموعه ای استوک و دایک نیمه عمیق پورفیری که ترکیبشان از گرانودیوریت تا کوارتز مونزونیت متغیر است و همراه با دودکش های برشی است یافت می شوند (اینودی و همکاران، ۱۹۸۱) (شهاب پور، ۱۳۹۴).

### ۳-۷-۳ کانسارهای سولفید توده‌ای

این کانسارها یکی از منابع اصلی مس، روی، سرب، نقره و طلا می‌باشند و عناصری نظیر قلع، کادمیوم، آنتیموان و بیسموت به عنوان محصولات فرعی از این کانسارها به دست می‌آید.

این کانسارها به کانسارهای سولفید توده‌ای ولکانوژنیک نیز موسوم می‌باشند که مفهوم آن مرتبط بودن این کانسارها با فرآیندهای آتشفشانی است، ولی این ارتباط همیشه حاکم نیست.

این کانسارها در محیط‌های زیردریایی عمدتاً همراه با سنگ‌های آتشفشانی و در سنگ‌های رسوبی از قبیل شیل و گری واک یافت می‌شوند (شهاب‌پور، ۱۳۹۴).

### ۳-۷-۴ کانسارهای رسوبی شیمیای مس

این کانسارها از لحاظ تولید مس بعد از کانسارهای مس پورفیری قرار می‌گیرند و مهمترین منبع تولید کبالت در دنیا محسوب می‌شوند. اکثر کانسارهای اصلی معمولاً در شیل‌های احيایی پیریتی غنی از مواد آلی و کربناتی و یا معادل دگرگون آن‌ها و یک سوم باقی مانده در ماسه سنگ‌ها یافت می‌شوند. این سنگ‌ها که میزبان مستقیم ماده معدنی هستند، در رسوبات دریاکناری غیر اکسیدی (یا رسوبات دریاچه‌ای شور) که درست در بالای رسوبات قرمز اکسیده آواری قاره‌ای قرار دارند، واقع می‌باشند (شهاب‌پور، ۱۳۹۴).

### ۳-۸ تیپ کانی‌سازی منطقه

تیپ کانی‌سازی مس در منطقه باتوجه به مطالعات و موارد ذکر شده احتمال می‌رود از نوع گرمابی پورفیری ورگه‌ای می‌باشد.

## فصل چهارم

### مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و IP

## ۴-۱ مقدمه

داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده یک سری داده‌های خام می‌باشند، که دارای نوفه‌های مختلفی هستند و تفسیر مستقیم آنها الزاماً نتایج مطلوبی در پی نخواهد داشت. به عبارت دیگر توجیه دقیق رفتار لایه‌های زیرسطحی از روی این داده‌ها به طور مستقیم غیر ممکن است. بنابراین تعیین رابطه بین داده‌های صحرایی به دست آمده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و به عبارت دیگر، مدل‌سازی داده‌های برداشت شده برای توجیه رفتار لایه‌های زیر سطحی، ضروری است. در مدل‌سازی ریاضی داده‌ها، روابط فیزیکی توسط یک سری معادلات دیفرانسیلی و معادلات انتگرالی بیان می‌شوند؛ به گونه‌ای که می‌توان پارامترها و خواص فیزیکی مدل را با حل این نوع معادلات ریاضی تعیین نمود. [موسوی، ۱۳۹۳]

## ۴-۲ روش‌های مدل‌سازی ژئوفیزیکی

مدل‌سازی ژئوفیزیکی به دو دسته کلی مدل‌سازی فیزیکی و مدل‌سازی عددی تقسیم‌بندی می‌شود.

### ۴-۲-۱ مدل‌سازی فیزیکی

مدل‌سازی فیزیکی شبیه‌سازی ساختار زمین در مقیاس آزمایشگاهی است. این روش مدل‌سازی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. همچنین شرایط کنترل شده آزمایشگاهی به خوبی شرایط غیر قابل پیش‌بینی زمین را فراهم نمی‌کند. با پیشرفت علوم کامپیوتر این روش عمده‌تأ جای خود را به مدل‌سازی عددی توسط برنامه‌های کامپیوتری داده است. [Dey and Morrison, 1979]

### ۴-۲-۲ مدل‌سازی عددی

تئوری روش‌های مختلف ژئوفیزیکی مجهز به ابزارهای مختلف ریاضی، مبنای حل مسائل پیشرو را تشکیل می‌دهد. تئوری این روش‌ها برای درک رفتار داده‌های ژئوفیزیکی از اهمیت شایانی برخوردار است. به دلیل

پیشرفت های خیلی سریع علوم کامپیوتر ، تکنولوژی نرم افزاری و پیشرفت روش های عددی در مدل سازی ریاضی، بهره گیری از تئوری معکوس فراهم گردیده است. توسعه چشم گیر علوم و تکنولوژی در این زمینه در طی سه دهه گذشته ، قدرت درک ژئوفیزیکست ها را از داخل زمین بهبود بخشیده است. [Ward, 1990]

#### الف: مدل سازی پیشرو ( مستقیم)

در مدل سازی پیشرو، ورودی فرآیند مدل سازی یک مدل آزمون (فرضی) از زمین می باشد و در طی فرآیند با توجه به معادلات حاکم بر مسئله ، داده های (پاسخ) مربوط به این مدل محاسبه شده و به عنوان خروجی مدل ارائه می شوند (شکل ۴-۱) . این عمل با اصلاح مدل ( تغییر پارامترها) آنقدر ادامه می یابد تا پاسخ مدل برازش خوبی با داده های صحرایی پیدا کند، یعنی از مدل داده ها به دست آید. مدل سازی پیشرو بر مبنای روش آزمون و خطا انجام می شود. در این روش یک توزیع خاص برای اجزاء زیر سطحی در نظر گرفته می شود و در قدم اول فضای زیر سطحی به تعداد زیادی سلول تقسیم می شود، سپس پاسخ این مدل تحت آرایش الکترونی مورد نظر محاسبه می شود. [Dey and Morrison, 1979]

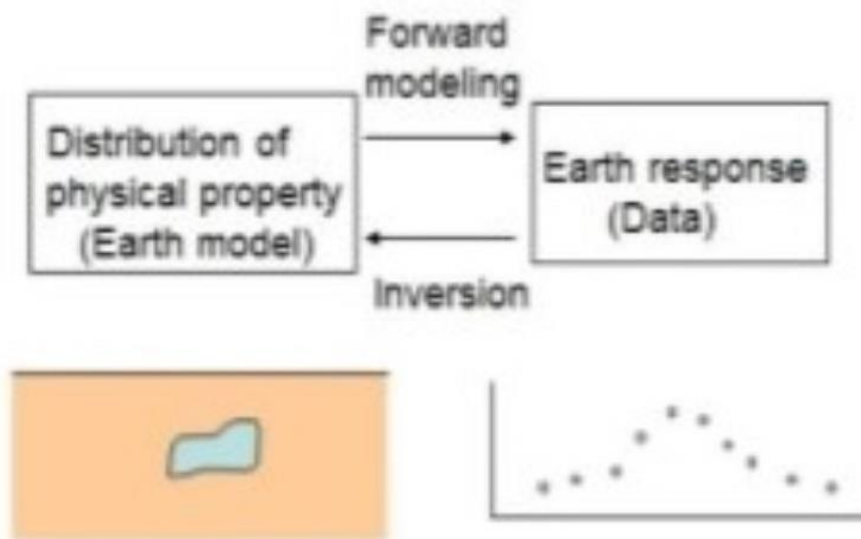
#### ب : مدل سازی معکوس (وارون)

مدل مقاومت ویژه و شارژ پذیری دو بعدی حاصل از برداشت های صحرایی با استفاده از نرم افزار Res2Dinv محاسبه و ترسیم می گردد. مدل دو بعدی استفاده شده به وسیله این برنامه شامل یک تعداد بلوک مستطیل شکل است.

در این برنامه آرایه های معمول قطبی- قطبی، دوقطبی - دوقطبی، دوقطبی- قطبی، و نر و شلومبرژه پشتیبانی می شود، علاوه بر آرایه های معمول، این برنامه حتی از آرایه های غیر متعارف نیز پشتیبانی می کند.

می‌توان شبه مقاطعی با بیش از ۱۰۰۰۰ الکتروود و ۲۱۰۰۰۰ نقطه داده را در یک زمان واحد روی کامپیوتری با RAM یک گیگا بایت پردازش کرد.

در این روش با تغییر مقاومت ویژه بلوک‌ها، اساساً سعی می‌شود اختلاف بین مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و اندازه گیری شده کاهش یابد. این اختلاف به وسیله خطای جذر متوسط مربعات (RMS) ارائه می‌شود. با این وجود مدلی با کمترین خطای RMS ممکن، می‌تواند بعضی وقت‌ها تغییرات غیر واقعی و بزرگتری را در مقادیر مقاومت ویژه نشان دهد و همیشه بهترین مدل از نظر زمین‌شناسی نباشد. در حالت عمومی بهترین روش انتخاب مدل، انتخاب در الگوریتم‌هایی است که خطای RMS به طور قابل توجهی تغییر نمی‌کند. در ضمن، تصحیح توپوگرافی بر روی داده‌ها را می‌توان با داشتن نقاط ارتفاعی، هم‌زمان با معکوس‌سازی انجام داد.



شکل (۱-۴) مدل‌سازی پیشرو و معکوس داده‌های ژئوفیزیکی

### ۳-۴ روش مدل سازی در نرم افزار ZONDRES2D

از نرم افزار ZONDRES2D به منظور مقایسه مدل های به دست آمده از نرم افزار RES2DINV با مدل های حاصل از این نرم افزار استفاده شده است. این نرم افزار یک برنامه رایانه ای برای مدل سازی داده های برداشت شده به منظور نشان دادن تصویرنگاری الکتریکی، در این نرم افزار روش اجزاء محدود به عنوان یک ابزار ریاضی برای حل مسائل مستقیم استفاده می شود. همچنین وارون سازی داده ها با روش حداقل مربعات با قید نظم دهی، پایداری در حل مسائل را افزایش داده و امکان دستیابی به مقادیر مقاومت ویژه و توزیع پتانسیل هموارتر را فراهم می کند. این نرم افزار از تمامی آرایه های الکترودی پشتیبانی می کند و امکان مدل سازی مستقیم و وارون برای داده های IP و مقاومت ویژه را دارد. در ضمن در این نرم افزار روش های مختلفی برای وارد کردن اطلاعات کمکی نظیر اطلاعات زمین شناسی، حفاری و سایر روش های ژئوفیزیکی، برای اعتبار سنجی و تفسیر دقیق تر مدل های الکتریکی وجود دارد. [Kaminisky, 2013].

### ۴-۴ مدل سازی و تفسیر داده های IP و مقاومت ویژه با نرم افزارهای RES2DINV و

#### ZONDRES2D

با توجه به آنچه در فصل سوم بیان شد سه پروفیل A، B و C در منطقه ی بنوید برداشت شده است.

در این برداشت در مجموع ۵۹۰ داده IP و مقاومت ویژه با آرایه های دو قطبی - دو قطبی برای  $n=1$  تا  $n=8$  جمع آوری شده است.

برای به دست آوردن یک مدل الکتریکی مناسب برای تفسیر، باید داده ها از کیفیت بالایی برخوردار باشند و باید نوفه ها به خوبی شناسایی شوند. از جمله نوفه هایی که باعث بی کیفیت شدن داده ها می شود می توان به موارد زیر اشاره نمود:

(۱) نوفه های سیستماتیک (دستگاهی) - که به دلیل کالیبره نبودن دستگاه رخ می دهد.

(۲) خطاهای انسانی در اندازه گیری صحرائی - که عبارتند از کاربرد اشتباه تجهیزات در بررسی های میدانی که عبارتند از قرار گرفتن الکترودها در زمین خشک، ماسه ای، سخت، کوتاه بودن الکترودها، قرار گرفتن الکترودها روی لوله های فلزی پنهان، مرطوب بودن بیش از اندازه ی زمین و یا اشتباهاتی که در هنگام متصل کردن الکترودها رخ می دهد، اتصال نادرست الکترودها به زمین، پارگی و صدمه دیدن عایق و یا لخت شدن سیم کابل ها و ... می باشد. که می توان آن ها را با هدف داده های اشتباه در شبه مقاطع عمق حل نمود.

(۳) جریان های زیر سطحی - ( پتانسیل خود را ، جریان های تلوریک، مگنوتلوریک ) که این جریان ها نسبت به زمان متغیر هستند و با بر انبارش کردن داده ها در هر برداشت می توان مقدار آنها را تقلیل داد.

(۴) اثر جفت شدگی الکترومغناطیسی - این نوفه در اثر استفاده از جریان متغیر با زمان ایجاد می شود و باعث اندازه گیری اختلاف پتانسیلی می شود که ناشی از عوارض زمین نمی باشد. برای کاهش این نوفه طول سیم - های جریان را باید کاهش داد و از جریان با فرکانس کمتر استفاده نمود.

(۵) اثر توپوگرافی - که با تصحیح توپوگرافی خطا کاهش یافته و یا دقت مدل های خروجی افزایش می یابد.

## ۵-۴ دستگاه مورد استفاده در برداشت داده ها:

برداشت داده ها با دستگاه الکتریکی شرکت کانادایی GDD انجام شده است، این دستگاه قادر است برای از بین بردن و یا کاهش نوفه های تصادفی در هر اندازه گیری به صورت پیش فرض ۵ بار قرائت انجام دهد و برای حذف کامل نوفه پتانسیل خود را از فیلتر بالا گذر استفاده می کند. همچنین می تواند کیفیت اتصال الکترودها به زمین را نیز کنترل نماید. اگر مقدار مقاومت هر الکترودها با زمین بیشتر از ۰/۱ اهم باشد اتصال خوب برقرار نمی باشد و باید آن اتصال بررسی شود.

همانطور که گفته شد دستگاه GDD به صورت پیش فرض ۵ قرائت انجام می‌دهد. این بدان معنی است که با توجه به شرایط می‌توان تعداد قرائت‌ها را در هر اندازه‌گیری کم یا زیاد نمود. مثلاً اگر شرایط زمین‌شناسی پیچیده بود تعداد بر انبارش افزایش می‌یابد البته باید در هر برداشت هزینه‌ها و زمان هم مورد توجه قرار گیرد.

اطلاعات حاصل از هر روش ژئوفیزیکی برای آنکه کامل باشد باید با اطلاعات زمین‌شناسی منطقه همراه باشد تا به تعبیر و تفسیر کامل و دقیقی ختم شود.

## **۴-۶ تفسیر مقاطع برداشت شده:**

برای تمامی پروفیل‌ها مقاطع یا مدل‌سازی وارون بدون توپوگرافی نیز آورده شده است؛ تا نتایج آن‌ها باهم مقایسه شود. در این مقاطع با توجه به اینکه فاصله‌ی الکترودی ۲۰ متر در نظر گرفته شده، عمق مدل‌سازی تا حدود ۶۰ متر انتظار می‌رود که مدل‌سازی با توجه به خواص الکتریکی لایه‌های زیر سطحی تا عمق حدود ۴۵ متر صورت گرفته است.

### **۴-۶-۱ تفسیر مقاطع پروفیل Profile1- (A)**

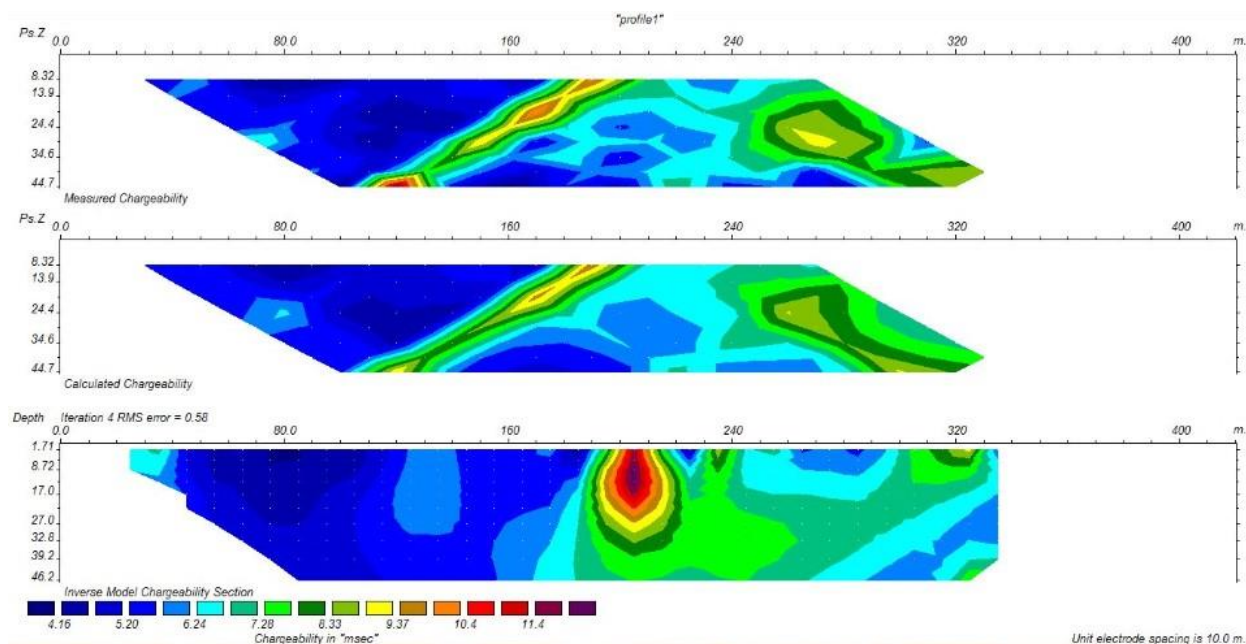
این پروفیل اولین پروفیل برداشت شده می‌باشد. طول این پروفیل ۳۲۰ متر است. موقعیت اولین الکتروود جریان نسبت به مبدأ صفر و موقعیت یا فاصله آخرین الکتروود پتانسیل نسبت به مبدأ ۳۲۰ متر می‌باشد. در طول این پروفیل ۱۰۳ نقطه برای دو پارامتر مقاومت ویژه و بارپذیری ظاهری در نظر گرفته شده است که شبه‌مقاطع و مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه و IP حاصل از وارون‌سازی مربوط به این پروفیل در شکل‌های (۲-۴) و (۳-۴) نمایش داده شده است. خطای RMS مدل‌سازی با ۴ بار تکرار در نرم‌افزار RES2DINV برای مدل وارون مقاومت ویژه ۳۵/۵٪ و برای مدل بارپذیری ۵۸/۰٪ به دست آمده است.

یک بی‌هنجاری بزرگ در محدوده ایستگاه ۲۰۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد، که این بی‌هنجاری در واقع از ایستگاه ۱۹۰ مترشروع و تا ایستگاه ۲۴۰ متر ادامه دارد که بیشترین مقدار بارپذیری آن زیر ایستگاه ۲۱۰ متر و در عمق تقریبی ۲۰ متری می‌باشد که مقدار آن به حدود ۱۲ میلی ثانیه می‌رسد. از بررسی شکل این بی‌هنجاری در مقطع IP و مقایسه‌ی آن با مقطع مقاومت‌ویژه احتمال وجود یک ساختار گسلی در این منطقه وجود دارد که این ساختار از زیر ایستگاه ۲۲۰ متر در مقطع مقاومت‌ویژه شروع شده و به سمت ایستگاه‌های ۱۶۰ متر در عمق ادامه دارد. با توجه به موارد ذکر شده در بالا احتمال داده می‌شود که این بی‌هنجاری در ارتباط با یک پرشدگی گسلی حاصل از مواد معدنی افشان می‌باشد.

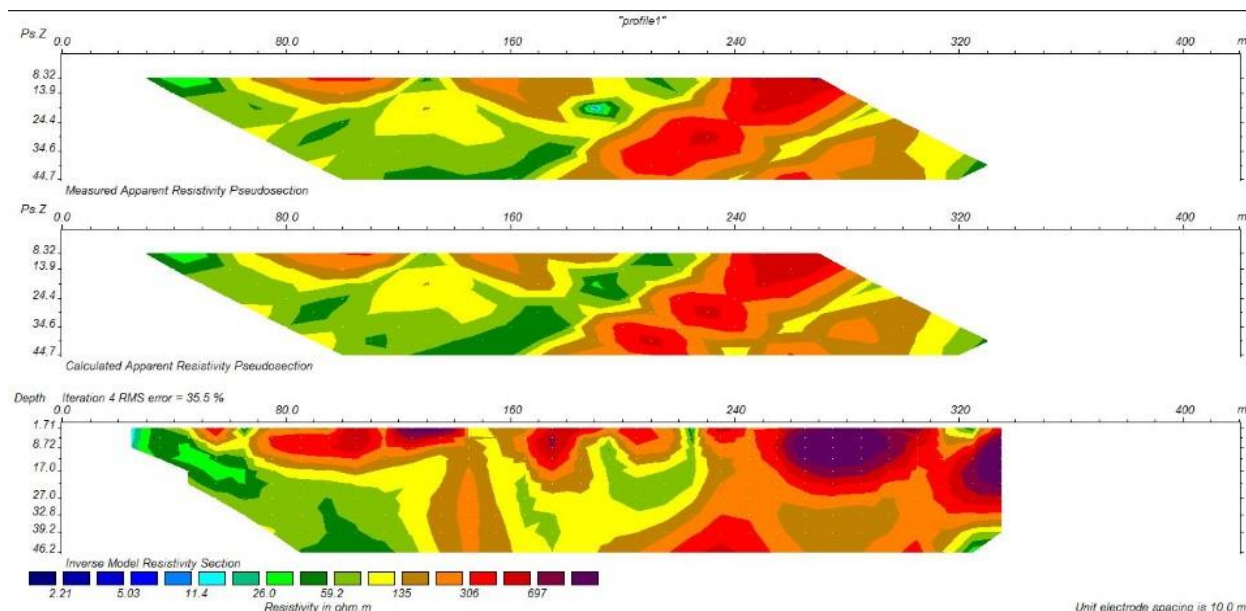
یک بی‌هنجاری کوچک و سطحی هم در زیر ایستگاه ۳۰۰ مترقابل تشخیص می‌باشد که آن هم احتمالاً در ارتباط با یک ساختار گسلی بسیار کوچک می‌تواند باشد. به منظور ارزیابی نتایج مدل‌سازی حاصل از نرم‌افزار RES2DINV مدل سازی معکوس روی داده‌های برداشت شده در طول این پروفیل نیز توسط نرم افزار ZONDRES2D انجام می‌شود، چنانچه از روی نتایج حاصل از وارون سازی داده‌ها در نرم‌افزار ZONDRES2D شکل (۴-۵) مشاهده می‌شود در همان محل ایستگاه‌های گفته شده در بالا (بین ایستگاه‌های ۱۹۰ متر تا ۲۶۰ متر) وجود بی‌هنجاری نسبتاً بزرگ توسط این نرم افزار هم مورد تایید می‌شود. ( بین ایستگاه‌های ۲۰۰ تا ۲۹۰) در ادامه در عمق این بی‌هنجاری بزرگ ( البته با شدت کمتر) به سمت ایستگاه ۳۰۰ کشیده شده است. چنانچه شکل (۴-۵) نیز نشان می‌دهد در انتهای این پروفیل یعنی از محدوده ۲۸۰-۳۰۰ متر در عمق یک بی‌هنجاری شروع می‌شود که نمی‌توان آن را به صورت یک بی-همجاری قطعی معرفی نمود و برای بررسی بیشتر باید ادامه عملیات IP در راستای همین پروفیل صورت گیرد.

در مدل‌سازی وارون حاصل از وارون‌سازی داده‌های مقاومت ویژه نرم‌افزار ZONDRES2D و مقایسه نتایج آن با مقطع یا مدل مقاومت ویژه به دست آمده از نرم‌افزار RES2DINV شباهت‌ها در وجود مکان‌های با

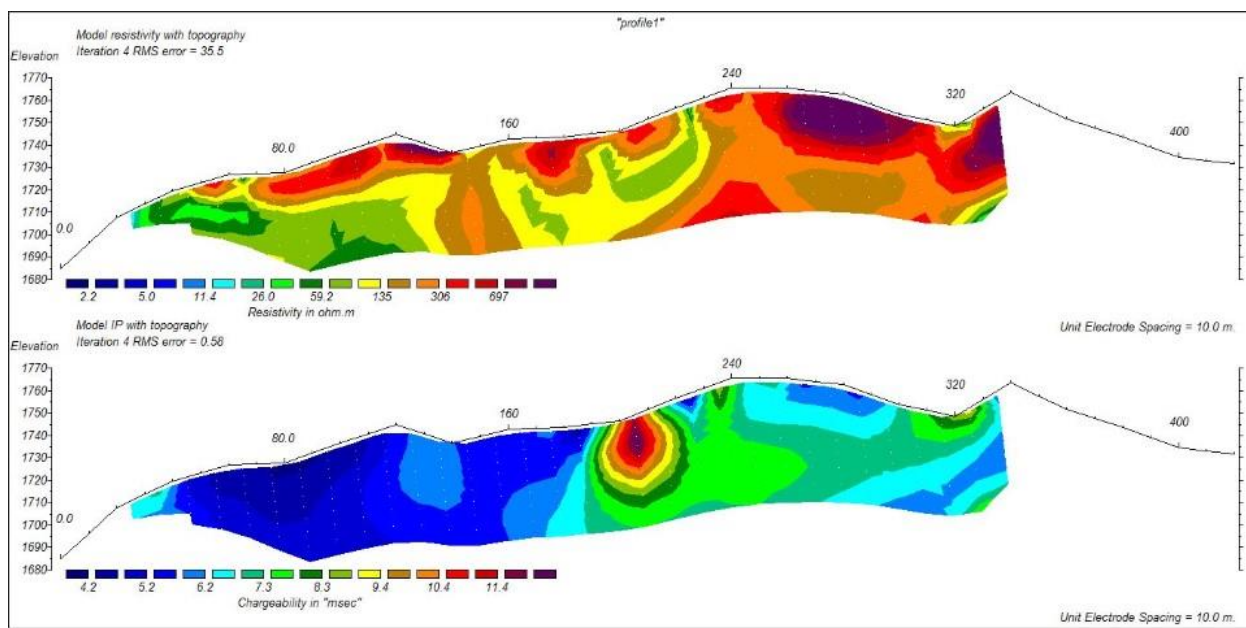
مقاومت ویژه بالا دیده می‌شود. دلیل تفاوت در برخی مناطق این دو مدل یا مقطع به دلیل تفاوت در سلول - بندی در این دو نرم‌افزار می‌باشد .



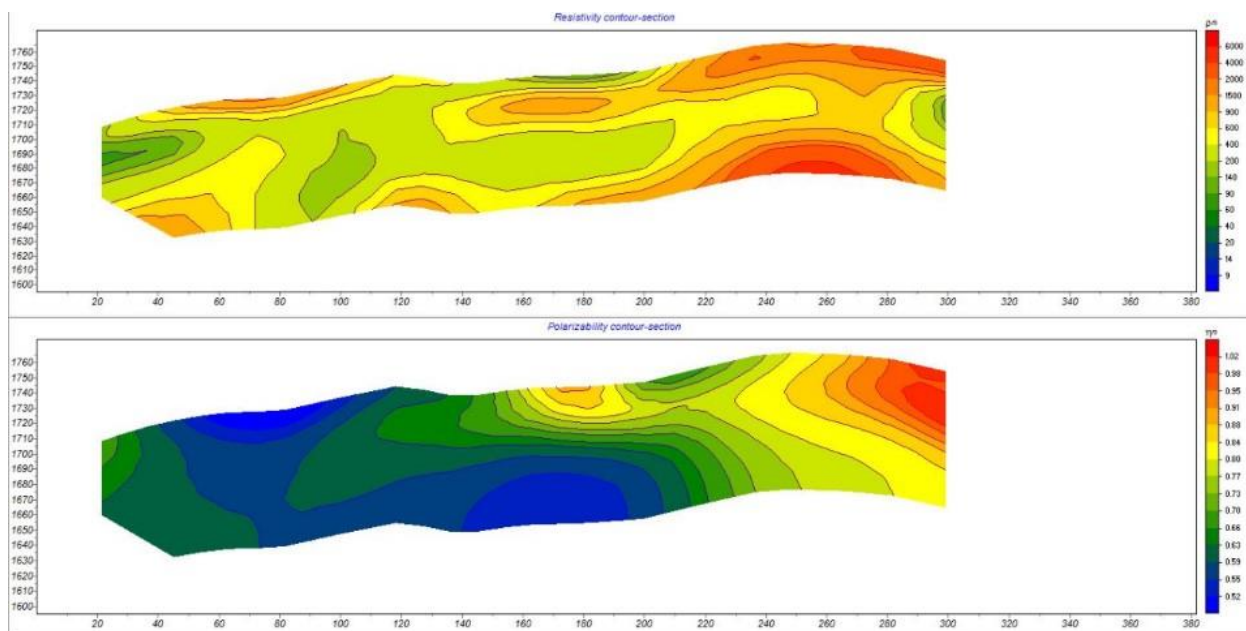
شکل (۴-۲) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های IP برداشت شده در طول پروفیل A نرم افزار RES2DINV



شکل (۴-۳) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده در طول پروفیل A نرم افزار RES2DINV



شکل (۴-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بار پذیری برداشت شده در طول پروفیل A با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار RES2DINV به دست آمده است



شکل (۵-۴) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بار پذیری برداشت شده در طول پروفیل A با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار ZONDRE2D به دست آمده است

## ۲-۶-۴ تفسیر مقاطع پروفیل (B) - Profile2

این پروفیل دومین پروفیل برداشت شده می‌باشد. طول این پروفیل ۳۴۰ متر است. و بین دو پروفیل A، C قرار دارد و راستای آن شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. موقعیت اولین الکتروود جریان نسبت به مبدأ صفر و موقعیت یا فاصله آخرین الکتروود پتانسیل نسبت به مبدأ ۳۴۰ متر می‌باشد.

در طول این پروفیل ۱۰۴ نقطه برای دو پارامتر مقاومت ویژه و بارپذیری ظاهری در نظر گرفته شده است. که شبه مقاطع و مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه و IP حاصل از وارون سازی این پروفیل در شکل‌های (۴-۶) و (۴-۷) نمایش داده شده است. خطای RMS مدل سازی با ۵ بار تکرار در نرم افزار RES2DINV برای مدل وارون مقاومت ویژه ۰/۹٪ و برای مدل بارپذیری ۰/۶۱٪ به دست آمده است.

همچنین مقاطع دوبعدی، مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل سازی وارون این پروفیل با در نظر گرفتن توپوگرافی منطقه با استفاده از نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D در شکل (۴-۸) آمده است.

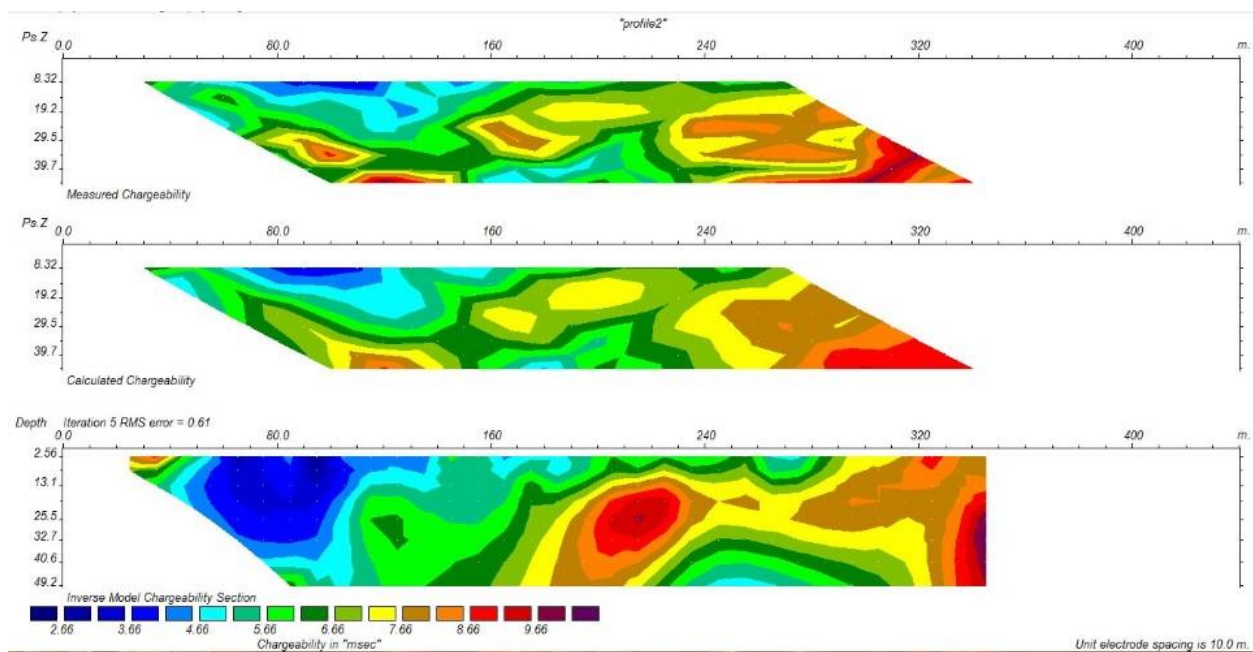
در مدل سازی وارون برای داده‌های IP در نرم افزار RES2DINV در مرکز پروفیل یک بی‌هنجاری وسیع بین ایستگاه‌های ۱۶۰-۲۴۰ متر وجود دارد (شکل ۴-۶)، که بیشترین مقدار بارپذیری آن در زیر فاصله‌ی ۲۱۵ متر از ابتدای پروفیل در عمق تقریبی ۴۰ متر به حدود ۱۰ میلی ثانیه می‌رسد. از بررسی و مقایسه‌ی مدل سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه و IP در نرم افزار RES2DINV در بین ایستگاه‌های ۱۶۰-۲۴۰ متر احتمال پرشدگی گسلی توسط مواد معدنی افشان در این محدوده وجود دارد. همچنین این گسل احتمال می‌رود در ادامه‌ی گسل دیده شده در مدل سازی‌های وارون پروفیل ۱ باشد.

بی‌هنجاری دیگر که در حاشیه این مقطع وجود دارد بین ایستگاه‌های ۳۴۰-۳۰۰ متر قرار گرفته است، که این بی‌هنجاری با بارپذیری بالاتری از ایستگاه ۳۴۰ به سمت انتهای پروفیل ادامه پیدا می‌کند. این بی-

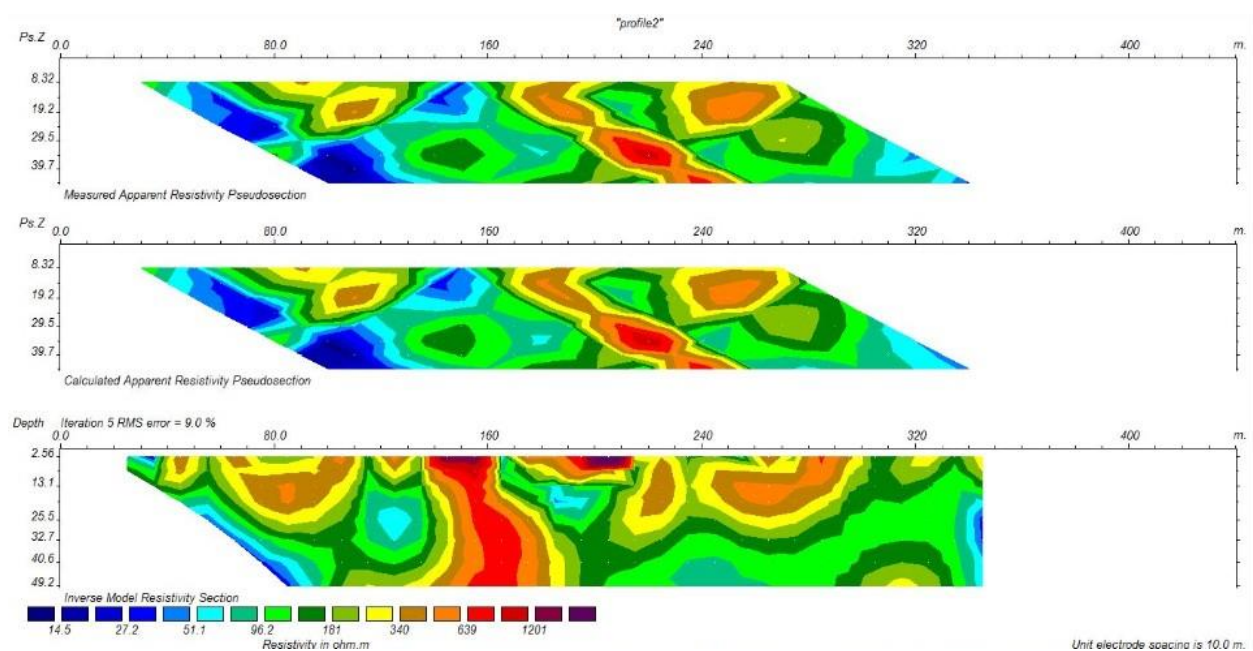
هنجاری واقع در حاشیه‌ی پروفیل می باشد و نمی توان آن را به صورت یک بی‌هنجاری قطعی معرفی نمود و به منظور بررسی بیشتر باید کار IP در ادامه‌ی همین پروفیل انجام شود.

همچنین در روی مقطع مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه در نرم‌افزار RES2DINV احتمال یک ساختار دایکی در بین ایستگاه‌های ۱۷۰-۱۴۰ وجود دارد که ارتباط کانی‌سازی مرتبط با این دایک بسیار بالا می باشد.

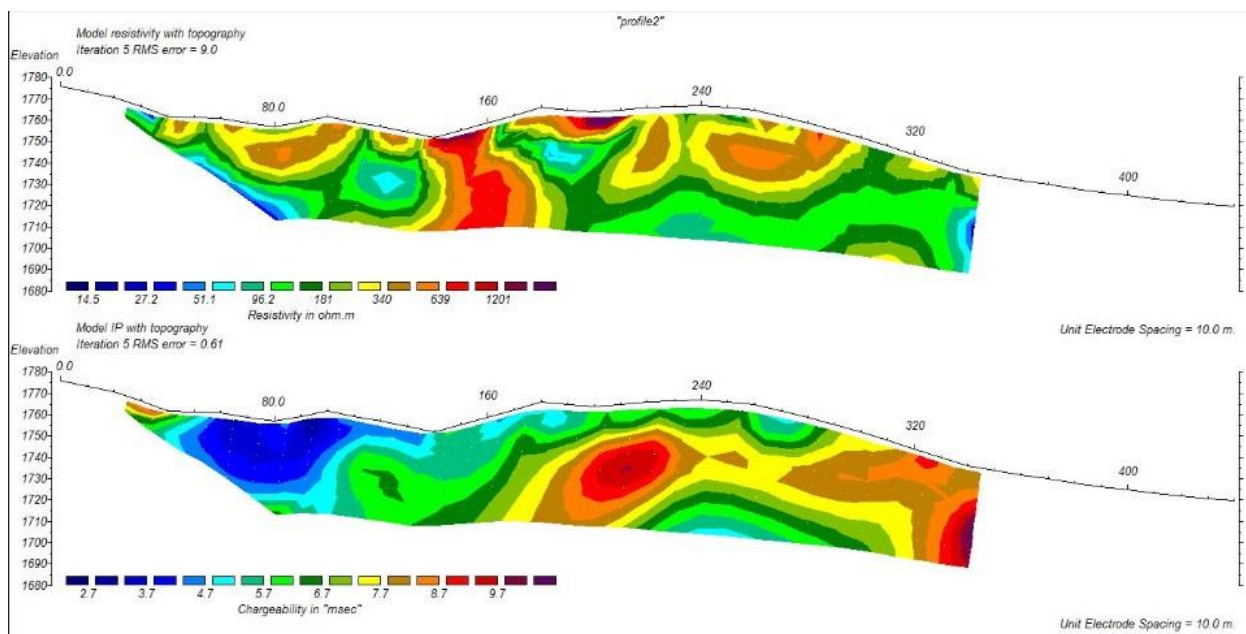
به منظور ارزیابی نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار RES2DINV مدل‌سازی وارون روی داده‌های برداشت شده در طول این پروفیل نیز با نرم‌افزار ZONDRES2D شکل (۴-۸) انجام می‌شود، چنانچه مشاهده می‌شود در همان محل ایستگاه‌های گفته شده در قبل (بین ایستگاه‌های ۲۴۰-۱۶۰ متر) وجود بی‌هنجاری وسیع مورد تأیید است. در مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه در این نرم‌افزار هم احتمال وجود یک دایک در زیر ایستگاه‌های ۱۷۰-۱۴۰ متری باشد.



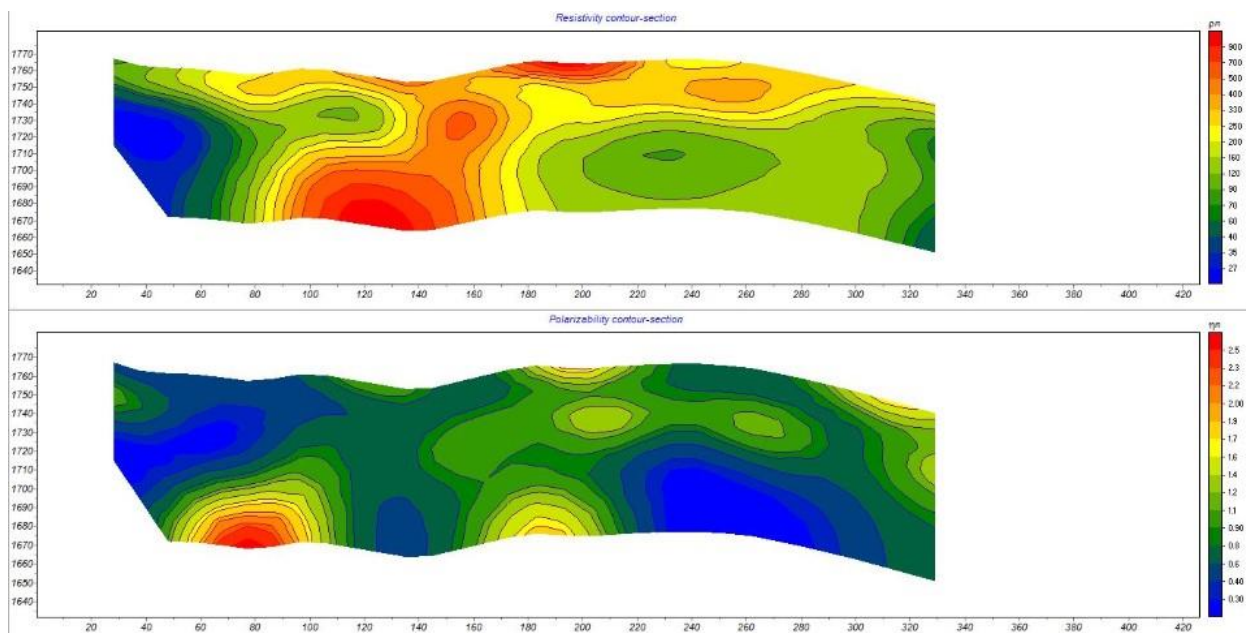
شکل (۴-۶) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های IP برداشت شده در طول پروفیل B نرم افزار RES2DINV



شکل (۴-۷) شبه مقطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون مقاومت ویژه برداشت شده در طول پروفیل B نرم افزار RES2DINV



شکل (۴-۸) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل B با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار RES2DINV به دست آمده است



شکل (۴-۹) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل B با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار ZONDRES2D به دست آمده است

### ۳-۶-۴ تفسیر مقاطع پروفیل C - Profile3

پروفیل C نیز همانند پروفیل های قبلی با جهت شمال غربی - جنوب شرقی به صورت مورب اندازه گیری شده است و همچنین همانند دو پروفیل قبلی تغییرات  $x$  و  $y$  به صورت همزمان در هر نقطه‌ی پروفیل وجود دارد. طول این پروفیل ۳۴۰ متر می‌باشد و موقعیت اولین الکتروود جریان نسبت به مبدأ صفر و موقعیت یا فاصله‌ی آخرین الکتروود پتانسیل نسبت به مبدأ ۳۴۰ متر می‌باشد. در این پروفیل ۸۸ نقطه برای دو پارامتر مقاومت ویژه و بارپذیری ظاهری در نظر گرفته شده است که شبه‌مقاطع و مقاطع دو بعدی مقاومت ویژه و IP حاصل از وارون‌سازی مربوط به این پروفیل در نرم‌افزار RES2DINV شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نمایش داده شده است.

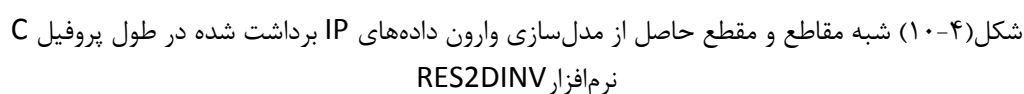
خطای RMS مدل سازی با ۴ بار تکرار در نرم‌افزار RES2DINV برای مدل مقاومت ویژه ۳/۳۸٪ و برای مدل بارپذیری ۸/۴۲٪ می‌باشد.

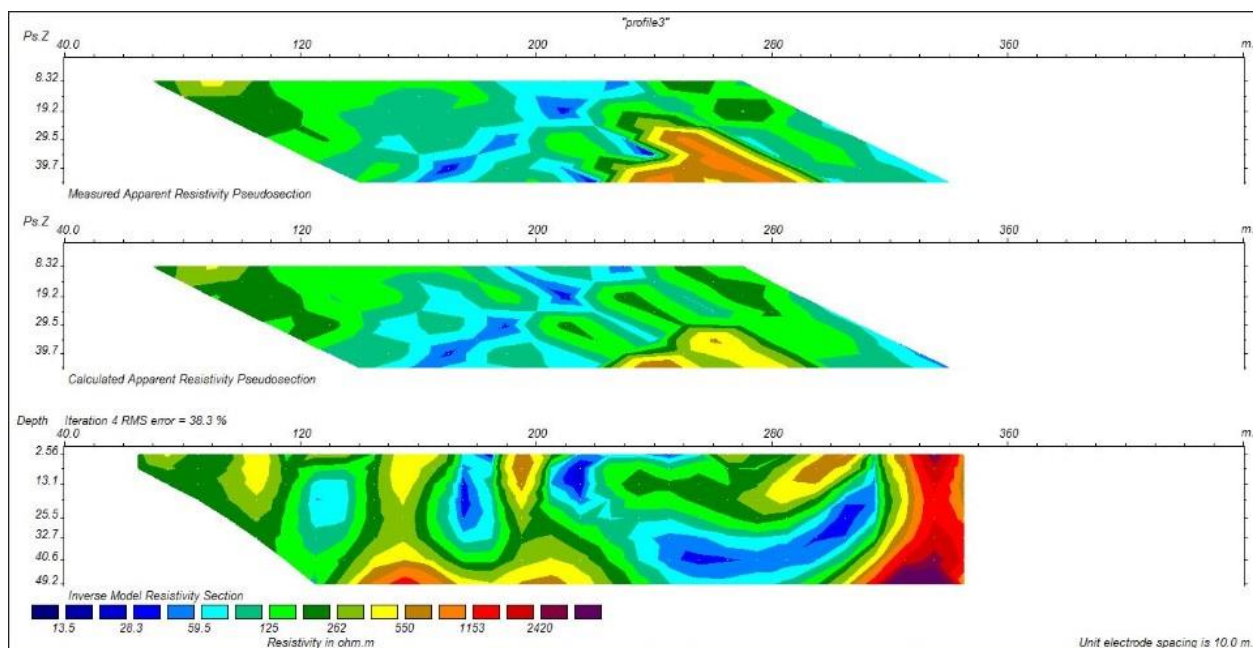
همچنین مدل‌سازی IP و مقاومت ویژه با در نظر گرفتن توپوگرافی در هر دو نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D در شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) نمایش داده شده است.

در مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های برداشت شده‌ی IP شکل (۴-۱۰) یک بی‌هنجاری در بین ایستگاه‌های ۱۹۰-۱۶۰ متر قرار دارد که با توجه به عدم ترکیب بندی رنگی خوب، به‌خوبی نمایش داده نشده است. در اصل در این قسمت مقادیر بالای IP که مقدار آن حدود ۷۰ میلی ثانیه می‌رسد برداشت شده است. ادامه این بی‌هنجاری در عمق به سمت ایستگاه‌های ۳۲۰ - ۲۹۰ متر کشیده شده است.

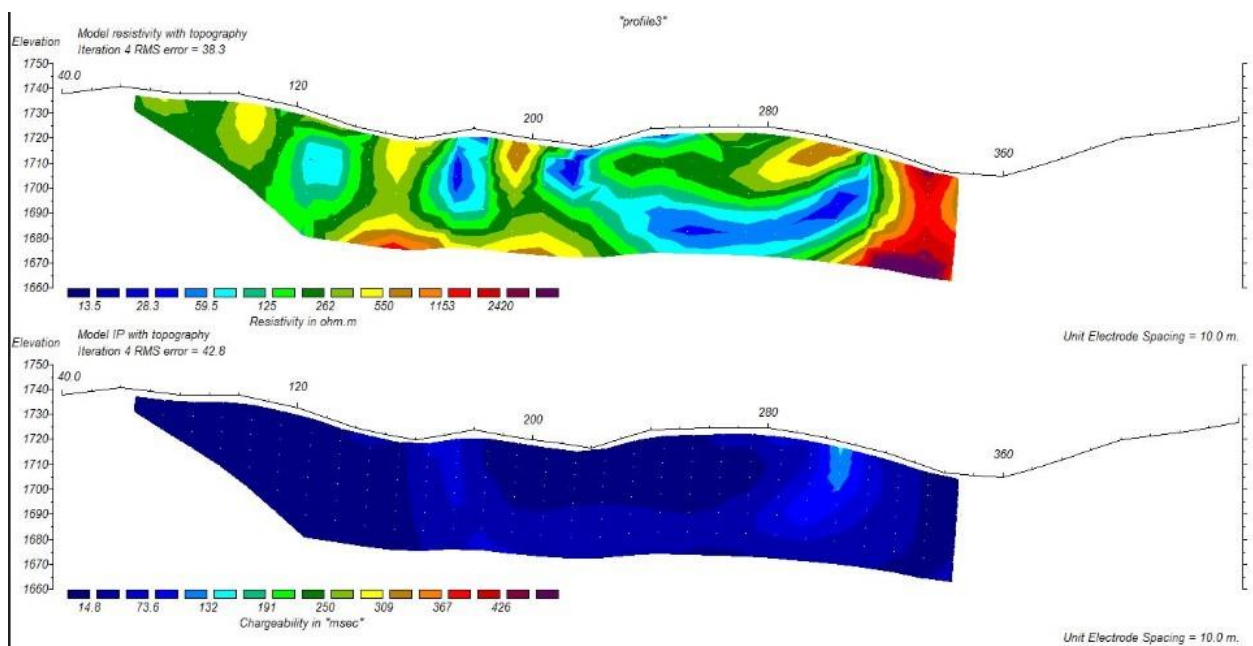
در مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های برداشت شده‌ی مقاومت ویژه شکل (۴-۱۱) وجود یک ساختارگسلی را بین ایستگاه‌های ۳۲۰ - ۳۱۰ متر شاهد می‌باشیم که این ساختار می‌تواند مرتبط با کانی-سازی ماده معدنی باشد.

جهت ارزیابی مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه و IP در نرم‌افزار RES2DINV، مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه و IP در نرم‌افزار ZONDRES2D انجام شد. شکل (۴-۱۳)، وجود بی‌هنجاری در عمق در مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های IP توسط این نرم‌افزار با مدل‌سازی وارون داده‌های IP در نرم‌افزار RES2DINV تقریباً مطابقت دارد، اما مقاطع مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه توسط هر دو نرم‌افزار شباهت قابل قبولی با هم دارند، به‌طوری که در محدوده ایستگاه‌های ۲۰۰-۲۱۰ متر در هر دو مقطع لایه‌های با مقاومت ویژه بالا دیده می‌شود. همچنین در سمت راست هر دو مقطع مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه در هر دو نرم‌افزار روند لایه‌های با مقاومت ویژه پایین یکسان می‌باشند.

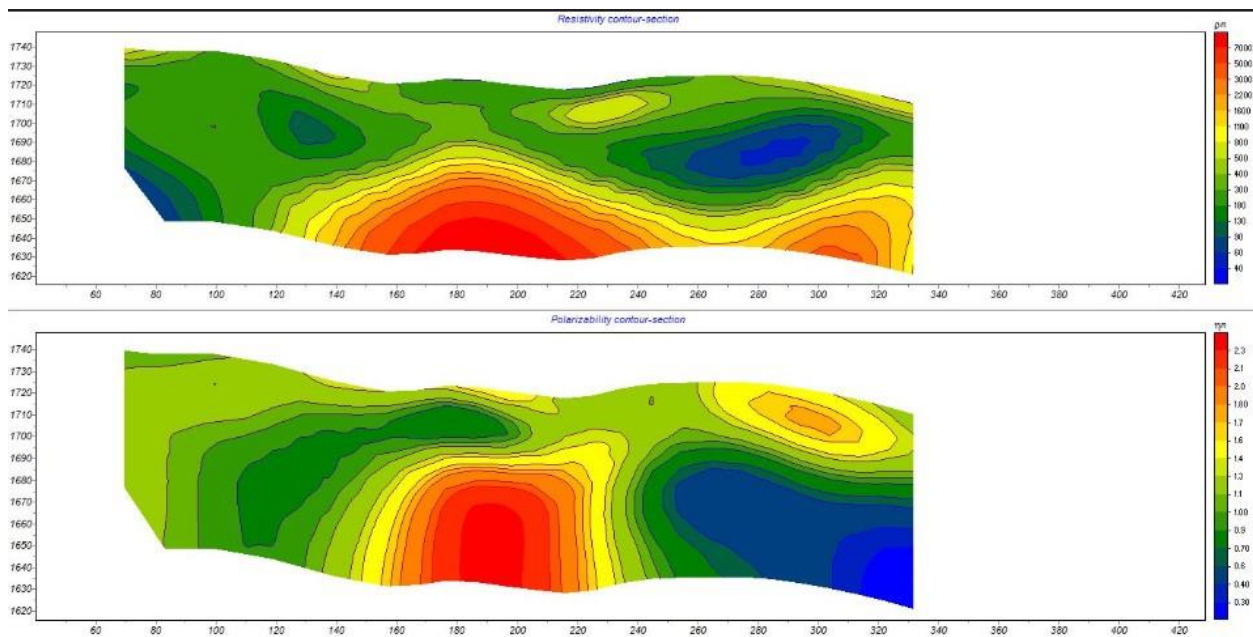




شکل (۴-۱۱) شبه مقاطع و مقطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه برداشت شده در طول پروفیل C نرم افزار RES2DINV



شکل (۴-۱۲) مقاطع حاصل از مدل سازی وارون داده های مقاومت ویژه و بارپذیری در طول پروفیل C با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار RES2DINV به دست آمده است



شکل (۴-۱۳) مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل C با در نظر گرفتن توپوگرافی که از نرم افزار ZONDRES2D به دست آمده است

## فصل پنجم

### نتیجہ گیری و پیشہادات

## ۵-۱ جمع بندی

در این پایان نامه، برداشت داده‌های ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه و IP جهت اکتشاف مناطق مستعد کانی‌سازی مس در منطقه‌ی بنوید یزد دهستان خلیل آباد انجام شده است. برداشت داده‌های مقاومت ویژه و بارپذیری با آرایه‌های دوقطبی- دوقطبی انجام شده. سپس مدل‌سازی معکوس یا وارون دو بعدی داده‌ها با نرم افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D انجام شده و مقاطع حاصل به منظور تعیین بی-هنجاری‌ها و تخمین گسترش کانی-سازی تفسیر شده‌اند.

جهت تفسیر مقاطع حاصل از مدل‌سازی اطلاعات جانبی و کمکی از جمله اطلاعات زمین‌شناسی، حفاری، ... چندانی (بجز نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه «نایین» ) در دسترس نبوده است.

نتایج حاصل به منظور انجام مناسب‌تر و دقیق‌تر مراحل بعدی اکتشاف در ادامه ارائه می‌شوند. بی‌هنجاری‌های حاصل از مدل‌سازی‌های انجام‌شده توسط نرم‌افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D انطباق قابل قبولی با هم نشان می‌دهند. هر دو این نرم‌افزارها در مدل‌سازی نزدیک مرزها، ضعیف عمل می‌کنند و در نرم‌افزار ZONDRES2D به دلیل استفاده از سلول بندی‌های بزرگ‌تر و هموارسازی بیشتر، این ضعف بیشتر است، همچنین این نرم‌افزار کناره‌های مقاطع را نیز برون‌یابی می‌کند که در نتیجه دقت مدل بدست آمده در این قسمت‌های کناری مقاطع قابل اطمینان نیست.

با وجود این که استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و IP تا حد زیادی برای شناسایی زون‌های کانی‌سازی می‌تواند موثر باشد، اما در عین حال در مواردی قادر به تعیین دقیق موقعیت این زون‌ها به خصوص در شرایط زمین‌شناسی پیچیده (مانند وجود زون دگرسان شده) نیست و نیاز به اطلاعات کمکی نظیر زمین‌شناسی و داده‌های حفاری است.

در مناطقی که IP بالا است و مقاومت ویژه بالا تا متوسط می باشد، احتمال وجود کانی سازی مس به صورت افشان یا پراکنده داده می شود و مناطقی که مقدار IP بالا بوده و مقاومت ویژه متوسط است، احتمال می رود از عیار مس بالاتری نسبت به مناطقی که هم مقدار IP و هم مقدار مقاومت ویژه بالا بوده است، برخوردار باشند.

در طول پروفیل A یک بی هنجاری نسبتاً بزرگ قابل توجهی در زیر ایستگاههای میانی دیده می شود که این بی هنجاری در مقطع مقاومت ویژه مرتبط با یک گسل در می باشد که با توجه به بررسی های انجام شده وجود این گسل تایید می شود و همچنین با توجه به اینکه در همین قسمت در مقطع IP بارپذیری بالایی مشاهده می شود احتمالاً جای گیری ماده معدنی می تواند مرتبط با همین گسل باشد. بی هنجاری کوچکی هم در بخش انتهایی این پروفیل دیده می شود که به دلیل وجود داده های معدود در این بخش، وجود قطعی آن خیلی قابل اطمینان نیست و برای تأیید آن، نیاز به بررسی های بیشتر و ادامه برداشت داده ها در این بخش است، مقاطع وارون مقاومت ویژه و IP حاصل از نرم افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D به صورت قابل توجهی با هم مطابقت دارند.

در نتیجه مدل سازی وارون داده ها در طول پروفیل B که بین دو پروفیل A و C و نزدیک تر به پروفیل A قرار دارد، و با توجه به مقطع IP حاصل از نرم افزار RES2DINV یک بی هنجاری وسیع در مرکز پروفیل در عمق حدود ۴۰ متری دیده می شود. مقطع مقاومت ویژه نیز در این قسمت حاکی از وجود یک گسل و پرشدگی گسل توسط ماده ای معدنی در این قسمت می باشد. احتمالاً این گسل می تواند در ادامه ی گسل تشخیص داده شده در پروفیل A باشد. بی هنجاری دوم در کناره یا حاشیه ی پروفیل B قابل رویت می باشد که به دلایلی که در بالا گفته شد، خیلی قابل اطمینان نبوده و نیاز به بررسی های بیشتر و ادامه برداشت داده ها در این بخش است. در مقطع مقاومت ویژه یک ساختار شبه دایک دیده می شود که احتمال کانی سازی مرتبط با این ساختار بسیار بالا می باشد.

مقایسه مدل‌ها یا مقطع حاصل از نرم‌افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D نشان می‌دهد که این مقاطع تقریباً مشابه هم بوده به طوری که وجود بی‌هنجاری‌ها در مدل‌های حاصل از هر دو نرم‌افزار در محل ایستگاه-های تقریباً یکسان و مشابهی دیده می‌شود. همان ایستگاه‌ها در مدل‌سازی حاصل از نرم‌افزار ZONDRES2D هم دیده می‌شود.

در طول پروفیل C یک بی‌هنجاری در زیر ایستگاه‌های ۱۹۰-۱۶۰ متر قرار دارد که این بی‌هنجاری در مقطع مقاومت ویژه در بین لایه‌های با مقاومت ویژه بالا و پایین قرار گرفته که احتمالاً وجود گسل را تایید می‌کند. همچنین این بی‌هنجاری در عمق به سمت ایستگاه‌های انتهایی کشیده شده که در همین قسمت هم احتمال وجود گسل و همین‌طور کانی‌سازی مرتبط با این گسل وجود دارد.

## ۲-۵ پیشنهادات

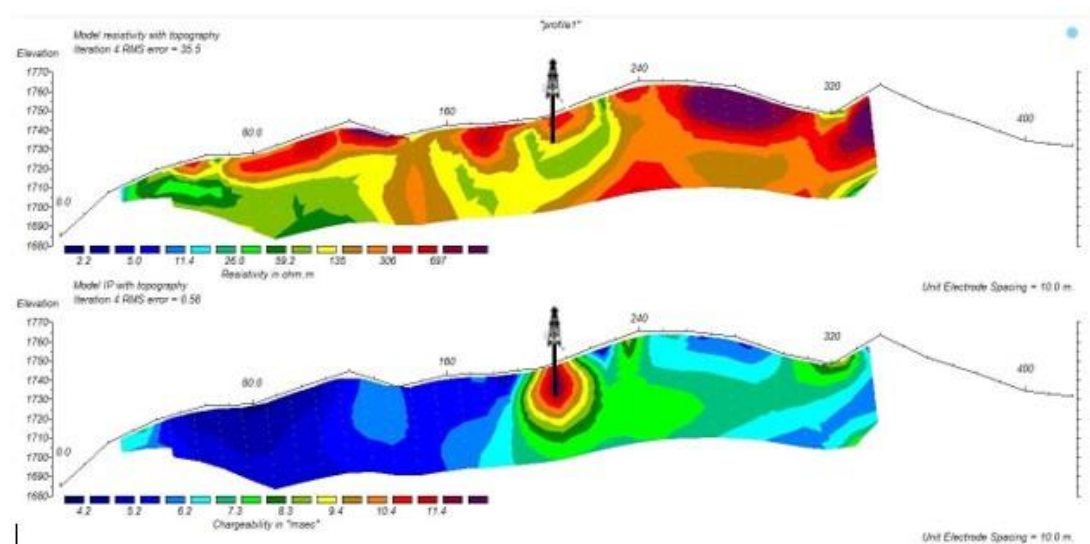
(۱) با توجه به این که در بخش پایانی پروفیل A، یک بی‌هنجاری دیده می‌شود، به نظر می‌رسد افزایش گسترش این پروفیل و برداشت داده‌ها در این بخش برای مطالعات آتی ضروری است.

(۲) با توجه به این که در بخش پایانی پروفیل B همانند پروفیل A بی‌هنجاری دیده می‌شود پیشنهاد میشود در ادامه‌ی همین مقطع و در راستای همین مقطع عملیات ژئوفیزیک صورت گیرد.

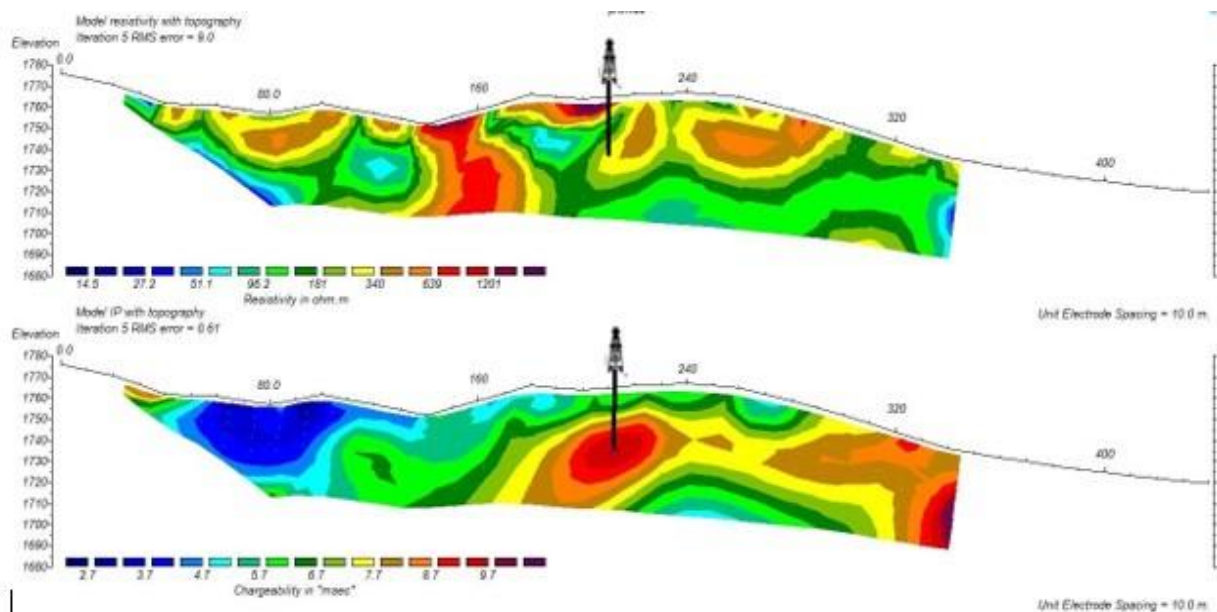
(۳) همچنین برای شناسایی‌های بهتر گسل‌های مرتبط با کانی‌سازی پیشنهاد می‌شود عملیات برداشت داده‌های IP و مقاومت ویژه با آرایش قطبی - دوقطبی یا نیم‌شولومبرژه انجام شود. به دلیل اینکه کانی‌سازی احتمالاً در ارتباط با گسل‌ها در منطقه است، بهتر است اول گسل‌ها و روند آنها در منطقه به خوبی مشخص شود که در نهایت منجر به شناخت محل‌های کانی‌سازی و روند کانی‌سازی در منطقه می‌شود. در جدول (۵-۱) و شکل‌های ۵-۱ تا ۵-۳، مختصات و جزئیات گمانه‌های اکتشافی پیشنهادی در طول پروفیل‌های A، B و C آورده شده است.

جدول (۱-۵) مختصات نقاط حفاری اکتشافی پیشنهادی

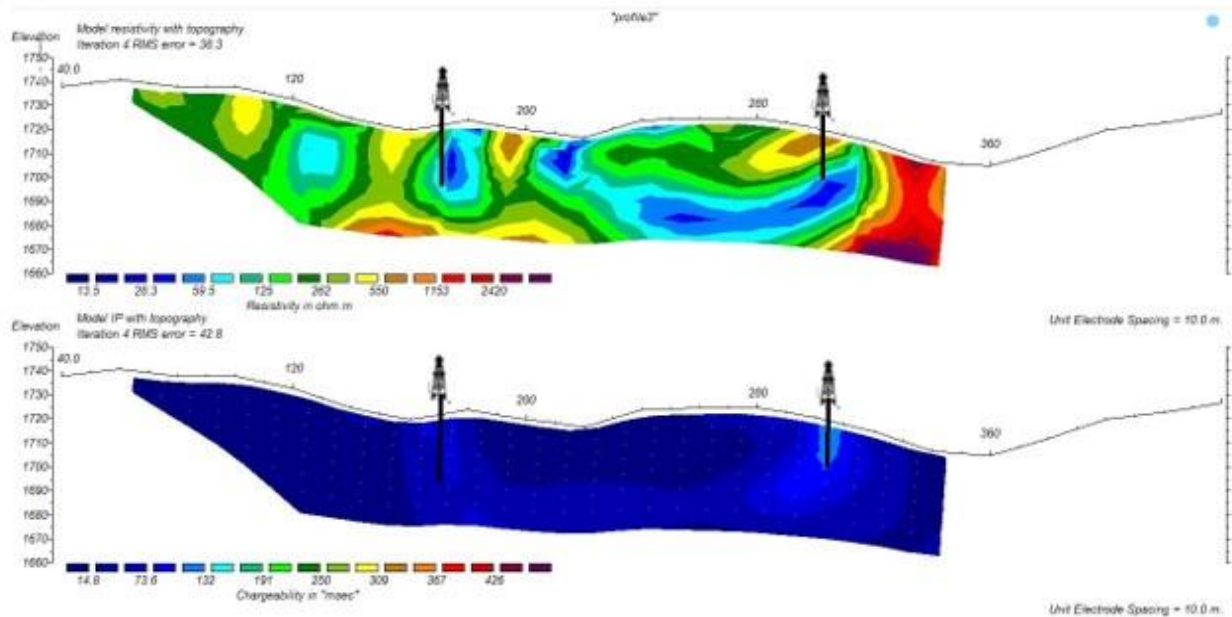
| عمق<br>حفاری<br>m | فاصله گمانه از<br>ابتدای پروفایل | عرض جغرافیایی<br>(UTM) | طول جغرافیایی<br>(UTM) | گمانه<br>پیشنهادی | پروفیل   |
|-------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------|
| 20                | 200                              | 3608677                | 701259                 | BH1               | پروفیل A |
| 40                | 220                              | 3608685                | 701293                 | BH2               | پروفیل B |
| 30                | 180                              | 3609060                | 101496                 | BH3               | پروفیل C |
| 20                | 320                              | 3608980                | 701634                 | BH4               | پروفیل C |



شکل (۱-۵) نقاط پیشنهادی حفاری پروفیل A



شکل (۵-۲) نقاط پیشنهادی حفاری در طول پروفیل B



شکل (۵-۳) نقاط پیشنهادی حفاری در طول پروفیل C

## منابع

- حجت آ، رنجبر ح، (۱۳۹۰)، " اصول ژئوالکتریک کاربردی "، چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران.
- حمزه و ، باقری ه، (۱۳۹۴) "بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی اثر معدنی مس – آهن مامونیه، شمال شرق ساوخ،" چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین ، تهران.
- رمضی ح ، (۱۳۹۰)، " اکتشاف ژئوفیزیکی کانسار مس خونیک در خراسان جنوبی با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی"، اولین همایش ملی مس.
- شریفی ف، (۱۳۹۱) ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " اکتشاف آب‌های زیرزمینی کارسنی در منطقه جنوب غربی تپال شاهرود با استفاده از مدل‌سازی با روش عددی اجزاء محدود و وارون‌سازی داده‌های ژئوالکتریکی"، دانشکده مهندسی معدن ، نفت و ژئوفیزیک ، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شمس‌الدینی نژاد م، (۱۳۹۲)، " اکتشاف ژئوفیزیکی به روش‌های IP و RS در اندیس معدنی قلعه – گنج"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی علوم زمین.
- کریم پور م ح، و سعادت س. (۱۳۸۴): " زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی " انتشارات ارسلان
- کلاگری غ ا، (۱۳۷۱) " اصول اکتشاف ژئوفیزیکی "، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز ، ص ۱۸۰
- شهاب‌پور ج، (۱۳۸۶) "زمین‌شناسی اقتصادی"، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان
- عرفانی ح، (۱۳۷۰) " زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها ۱"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران

- علائی مهابادی س، فودازی م، (۱۳۸۳) " نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی نایین "، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- محمد زاده. م. یزدانی س. سبزه پرور م، (۱۳۹۶)، " گزارش برداشت، پردازش و تفسیر ژئوفیزیک به روش IP/RS در محدوده مامونیه استان مرکزی "، شرکت کانی سنگ افق.
- مدنی ح، (۱۳۷۶)، " اصول پی جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی "، چاپ سوم، انتشارات موسسه فرهنگی انتشاراتی خانه فرهنگ.
- موسوی خ، (۱۳۹۳)، پایان نامه ارشد: " مدل سازی و تفسیر داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به منظور اکتشاف ذخایر مس در منطقه هفت کوه کرمان "، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- مهدوی ف، (۱۳۹۳)، " روش های الکتریکی در اکتشاف ژئوفیزیکی حوضه های رسوبی عمیق "، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- مهدی زاده ی، پیروز ا، عرب امیری ع، (۱۳۸۹) " نقش توبوگرافی و تصحیح آن در شکل گیری و جابجایی توده های زیر سطحی "، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.
- ملک زاده شفا رودی آ، حیدریان شهری م، کریمپور م ح، (۱۳۸۸)، " کانی سازی و اکتشافات ژئوفیزیکی به روش RS/IP و مغناطیس سنجی زمینی در محدوده MA\_I و اطراف آن، منطقه اکتشافی مس - طلا پور فیری ماهر آباد، شرق ایران " مجله زمین شناسی اقتصادی " شماره ۱، ص ۱ تا ۱۷.

- نوروزی غ ، (۱۳۹۳) ، " روشه ای الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی " ، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه

تهران، تهران ص ۳۷

- Dahlin, T. , and Loke , M.H.(1998). "Resolution of 2D Wenner resistivity imaging assessed by numerical modeling" , Journal of Applied Geophysics 38, 7- 249.
- Dentith M. T. and Mudge S.,(2014), "Geophysics for the mineral exploration" , Geoscientist, Cambridge University Press, United States of America, 235-240.
- Dey A. and Morrison H. F. , (1997), " Resistivity modeling for arbitrarily shaped three – dimensional structures" , Geophysics, 44(4), 753 -780.
- Gautneb H. and Tveten E. , (2000) , " The geology, exploration and characterization of graphite deposits in the Jennestand area, Vesteralen , northern Norway" , Geological Survey of Norway , V 436, 67-74
- Gurin G. V. tarasov A. V. II " in Y. T. Titov K. V., (2015), : Application of the Debye decomposition approach to analysis of induced-polarization profiling data (Julietta goldsilver deposit, Magadan Region)" , Russian Geology and Geophysics, N 56, 1757-1771
- Golide M. , (2007) , "A comparison between conventional and distributed acquisition induced polarization surveys for gold exploration in Nevada" , The leading Edge, 26, pp .180.
- Hedlin C. , Constable S. , (1990), " Occam's inversion to generate smooth: Two dimensional models from magnetotelluric data" , Geophysics, 55 , pp, 1613-1624.
- Howarth, R. J. , & Garrett, R. G.(2010). Statistical analysis and data display at the Geochemical Prospecting Research Centre and Applied Geochemistry Research

Group, Imperial College, London Geochemistry . Exploration, Environment, Analysis, 10(3), 289 – 315.

- Kaminsky A, (2013), “ Program for two - dimensional interpretation of data obtained by resistivity and induced polarization methods” , Saint – Petersburg .
- Kearey P. , Brooks M. and Hill I. , (2009), “ an introduction to Geophysical Exploration” , Vol. 1 , Third Edition , John Wiley & sons Ltd, Oxford, pp. 196.
- Keary P. Brooks M. Hill L. , (2002) , “ An introduction to Geophysical exploration, third edition” , Blackwell Science Ltd, UK, 281
- Knodel K, Lange G. and Voigt H. J. , (2007), “ Environmental geology: Handbook of field methods and case studies” , Vol 1 , First Edition, springer, Heidelberg, pp. 206.
- Loke M. H. and Barker R. D. , (1995), “ Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections” , Geophysics , 60 (6) , 1682-1690.
- Loke M. H. and Barker R. D. , (1996), “Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion” , Geophysical prospecting , 44(3) , 499 – 523.
- Loke M. H. , (1999) , “ Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys” , pp 1-4.
- Loke M. H. and Dahlin T. , (2002) , “A comparison of the Gauss – Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion” , J. of Applied Geophysics, 49(3) , 149-162.
- Loke M. H. , (2004a), “ RES2DINV ver. 3.54 for Windows 98/Me/2000/NT/XP/ Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least squares method”.
- Loke M. H. , (2004b), “ 2-D and 3-D electrical imaging surveys” , University of Alberta.
- Loke M. H. and Lane Jr. J. W. , (2004) , “ Inversion of data from electrical resistivity imaging surveys in water – covered areas” , Exploration Geophysics, 35(4) , 266-271.

- Loke M. H. , (2012) , “ Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys” , copyright (1996-2012).
- Loke M. H. (2014) , “ Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys” course Notes for USGS Workshop 2-D and 3-D Inversion and Modeling of Surface and Borehole Resistivity Data. Pp 172. Lowrie W. , (2007), “Fundamentals of geophysics” , Vol 1 , Second Edition , Cambridge University Press, UK 1 , pp. 266.
- Lowrie W. , (2007) , “ Fundamentals of geophysics” , Vol .1 Second Edition . Cambridge University Press , UK1, pp . 266.
- Milson J. , (2007), :Field geophysics” , Vol. 1 , Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp. 100.
- Mooney , H.M. (1980), “ Handbiik of engeeniring geophysics” , vol. 2: Electrical resistivity instrumentation Inc. , Minnesota, USA , pp. 1-27.
- Mostafaie. K, Nowrouzi. GH, Askari M . S and Shiva M, (2009), “ Stasistical analysis and R.S & IP Geophysical data modeling for Hameech mining index” , first conference of enconomic geology association of iran , Ferdowsi university of Mashhad.
- Okada, K (1995). Geophysical exploration for epithermal gold deposits: Case studies from the Hishikari gold mine , Kagoshima, Japan, The Bulletin of the Australian Society of Exploraton Geophysicists, 26 , pp . 78-83.
- Okan T. , (2002) , “ Interpretation of field observation in induced polarization” , International Conference on Earth Science and Electronic.
- Ozebo V, Odunaike R. Balogun A , (2008), “identification of depth to top of Limestone body within an concession at ibese” , J. of Earth Sciences, V 3 , 99-107.
- Reynolds J. M. , (1997), “An introduction to applied and environmental geophysics” , John Wiley and Sona Ltd, Chichester, 418-459.

- Roy K. K. (2008), “ Potential Theory in applied geophysics “ springer , pp. 671.
- Samouelian, A. , Cousin, I. , Tabbagh, A. , Bruand , A. , and Richard, G. , (2005), “ Electrical resistivity survey in soil science: a review: Soil and Tillage Research”, 83, pp 173-193.
- Saaki Y. , (1992) . “ Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation” , Geophysical prospecting , 40(4), 453-463.
- Seigel, H. O. , (1959). “ Mathematical formulation and type curves for induced polarization” , 24, 3 , pp 543-565.
- Summer, J.S. , (1976), “ Principles of induced polarization for geophysical exploration”. Elsevier. pp 277-303 . Telford W. W. M. and sheriff R. E. (1990). “Applied geophysics” , Cambridge University Press, UK, V1, 340-380.
- Ward S. H. (1990), “Resistivity and induced polarization method in geotechnical and environmental geophysics” , Society of exploration geophysics, V1, 147-189.

## **Abstract**

Today, the use of geophysical methods for the exploration of metallic and non-metallic deposits is common. Inductive polarization (IP) and electrical resistivity (RS) methods have a special place in order to identify and explore areas of dispersed metal and sulfide mineralization. Geophysical surveys using special strength and IP methods in this study were conducted in Navid region of Yazd province. These withdrawals were made to identify and explore copper in the area. In some parts of the study area, the effects of copper and iron mineralization as a result of the effect of hydrothermal solutions on dacite rocks of the studied unit and their alteration can be seen. Extensive outcrops of chalcocite, chalcopyrite, colitis and burnite can also indicate significant mineralization in the region. In order to identify promising areas, geophysical operations were performed by IP method and electrical resistivity in the study area. In this regard, three diagonal profiles (northwest - southeast) with an electrode distance of 20 meters with a dipole-dipole array were designed and implemented. Then two-dimensional inverse modeling of resistivity and IP data was performed by RES2DINV and ZONDRES2D software. Using geological information, the sections obtained from inverse modeling were interpreted on the resistivity and IP data by the mentioned software. According to the obtained results, copper mineralization zones have high load capacity and high to medium specific strength. Finally, by identifying the promising areas of the area for further studies, suitable locations for drilling exploratory boreholes were introduced and suggested.

**Keywords:** Copper Exploration, Induction Polarization (IP), Specific Resistance, Bipolar-Bipolar Array, Write



**Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering**

**M.Sc. Thesis in Geoelectrics**

Exploration and geophysical data modeling of Benvid  
deposit\_ Yazd province, Iran

By: Atefeh naderi

Supervisors:

Dr.A.Arab -Amiri

Dr.A.Kamkar \_ Rouhani

Advisor:

Eng.H.reyahi

October 2020