

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

تعیین موقعیت و شیب گسل پنهان شاهرود، واقع در منطقه کال قرنو با
استفاده از دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن

دانشجو:

محسن جهان بین

اساتید راهنما:

دکتر ایرج پیروز

استاد مشاور:

دکتر مجید انصاری

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به روح عزیزترینم

تقدیر و تشکر

به نام او که زینت زبانها و یادگار جانها نام اوست

هستی را به وسعت بیکران عظمتش شکرگزارم که فالح، افتخار آن را به من ارزانی داشت تا بذر وجودم در سرزمین لاله ها و شقایق ها، در خاک گهربار ایران زمین مهد علم و ادب، رستن آغاز کند.

لیکن، پس از حمد باری تعالی بر خود واجب می‌دانم نسبت به زحمات پدر و مادر عزیزم قدر دان باشم و همچنین با سپاس فراوان از همه کسانی که یاریم کردند تا بدانم آنچه را نمی‌دانستم بفرموده اساتید گرانقدرم جناب آقای دکتر ایرج پیروز و دکتر مجید انصاری

دولت جان پرور است صحبت آموزگار فلوت بی‌مستحین، سفره بی‌انتظار

از دوستان و همکلاسی های عزیزم که در طی این دو سال و اندی، صبورانه مرا تحمل کردند و در به سرانجام رسانیدن این تمقیق مرا یاری کردند، کمال تشکر را دارم. امیدوارم که در سایه عنایت های الهی همیشه سلامت و پیروز باشم.

از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران به جهت در اختیار گذاشتن تصاویر ماهواره ای منطقه کال قرنو، تشکر و قدردانی می‌کنم.

چکیده

با توجه به اینکه گسل پنهان شاهرود از ۲ کیلومتری شمال غرب شهر شاهرود عبور کرده، از نظر لرزه خیزی برای این شهر دارای اهمیت حیاتی است، در این تحقیق از آرایش جدید قطبی - دو قطبی متقارن بمنظور اکتشاف شکل هندسی گسل مذکور استفاده شده است. در این آرایش، بمنظور افزایش نسبت سیگنال به نوفه و همچنین افزایش عمق اکتشاف، همزمان با افزایش فاصله الکتروود جریان، فاصله الکتروودهای اندازه گیری اختلاف پتانسیل نیز نسبت به مرکز آرایش افزایش می‌یابد. بعد از پردازش و مدلسازی داده ها، شکل هندسی گسل که توسط رسوبات پوشانده شده است، مشخص گردیده است.

فهرست مطالب

۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ سوابق کارهای انجام شده در منطقه
۳	۱-۲-۱- تعریف مقاومت ویژه الکتریکی
۴	۲-۲-۱- خطوط هم پتانسیل
۵	۳-۲-۱- اصول روش مقاومت ویژه
۷	۳-۱- خواص الکتریکی مواد
۹	۴-۱- کاربردهای روش مقاومت ویژه
۱۱	۵-۱- سوابق کارهای انجام شده در منطقه
۱۱	۶-۱- سابقه و ضرورت انجام تحقیق
۱۲	۷-۱- اهداف پایان نامه
۱۲	۸-۱- تعریف مساله و بیان سوالهای اصلی تحقیق
۱۲	۹-۱- روش انجام تحقیق
۱۳	۱۰-۱- ساختار پایان نامه
۱۴	فصل دوم: آشنائی با منطقه مورد مطالعه
۱۵	۱-۲- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه
۱۶	۲-۲- راههای دسترسی به منطقه
۱۷	۳-۲- زمین ریخت شناسی
۱۹	۴-۲- زمین شناسی ساختمانی منطقه
۱۹	۱-۴-۲- چین خوردگیهای منطقه
۲۰	۲-۴-۲- گسل های منطقه
۲۱	۵-۲- واحد های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

۲۳ ۱-۵-۲- واحد سازند لار (J_1) - ژوراسیک میانی - بالایی

۲۳ ۲-۵-۲- واحد Ku'

۲۴ ۳-۵-۲- واحد Q^1

فصل سوم: بررسی آرایشهای مختلف برای عملیات صحرایی یک بعدی،

۲۵

دو بعدی و سه بعدی

۲۶ ۱-۳- مقدمه

۲۸ ۲-۳- دیواره های قائم (مدل دایک مانند)

۳۱ ۳-۳- بررسی آرایشها در حالت یک بعدی

۳۱ ۱-۳-۳- آرایش و نر یک بعدی

۳۲ ۲-۳-۳- آرایش شلومبرژه یک بعدی

۳۳ ۳-۳-۳- آرایش دوقطبی-دوقطبی یک بعدی

۳۴ ۴-۳-۳- آرایش قطبی-قطبی یک بعدی

۳۴ ۵-۳-۳- آرایش مربعی α

۳۵ ۶-۳-۳- آرایش مربعی β

۴۲ ۴-۳- روش به تصویر کشیدن دو بعدی الکتریکی

۴۲ ۱-۴-۳- روش رسم شبه مقطع

۴۳ ۲-۴-۳- نحوه برداشتهای صحرایی در روش به تصویر کشیدن

۴۴ ۳-۴-۳- برنامه مدلسازی مستقیم

۴۴ ۴-۴-۳- آرایشهای مختلف در روش به تصویر کشیدن

۴۷ ۵-۳- روش به تصویر کشیدن در حالت دو بعدی:

۴۷ ۱-۵-۳- آرایش و نر دو بعدی

۴۸ ۲-۵-۳- آرایش دوقطبی-دوقطبی دو بعدی

۴۸	۳-۵-۳- آرایش ونر- شلومبرژه دو بعدی
۵۰	۳-۵-۴- آرایش قطبی- قطبی دو بعدی
۵۱	۳-۵-۵- آرایش قطبی- دو قطبی دو بعدی
۵۳	۳-۶-۶- روش به تصویر کشیدن سه بعدی
۵۳	۳-۶-۱- آرایش قطبی- قطبی سه بعدی
۵۶	۳-۶-۲- آرایش قطبی- دو قطبی سه بعدی
۵۷	۳-۶-۳- آرایش دو قطبی- دو قطبی سه بعدی
۵۷	۳-۶-۴- مقایسه آرایشهای مختلف برای برداشت های سه بعدی
۵۷	۳-۷- تکنیک roll-along
۵۸	۳-۸- برداشت سه بعدی در بیر منگام
۶۴	فصل چهارم: تئوری مبنای طرح و تفسیر کیفی داده ها
۶۵	۴-۱- مقدمه
۶۵	۴-۲- تئوری مبنای طرح
۶۶	۴-۲-۱- معرفی دو آرایش (\overline{AMN}) و (\overline{MNB})
۶۷	۴-۲-۲- روش پروفیل زنی الکتریکی توسط آرایش قطبی- دو قطبی
۶۸	۴-۲-۳- روش سونداژ زنی الکتریکی توسط آرایش قطبی- دو قطبی
۷۰	۴-۲-۴- معرفی دو آرایش قطبی- دو قطبی متقارن با فاصله الکترودهای پتانسیل متغیر
۷۱	۴-۲-۵- ماتریس مقاومت ویژه میانگین
۷۳	۴-۳- اندازه گیری و برداشت داده های صحرائی
۷۵	۴-۴- تفسیر کیفی داده ها
	۴-۴-۱- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری
۷۶	\overline{AMN} اردیبهشت ماه سال ۸۶
	۴-۴-۲- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری
۷۷	\overline{AMN} آبان ماه سال ۸۶

۷۹	۳-۴-۴ تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری (\overline{BMN}) اردیبهشت ماه سال ۸۶
۸۱	۴-۴-۴ تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری (\overline{BMN}) آبان ماه سال ۸۶
۸۳	۵-۴-۴ تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی میانگین مقاومت ویژه ظاهری اردیبهشت ماه سال ۸۶
۸۵	۶-۴-۴ تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی میانگین مقاومت ویژه ظاهری آبان ماه سال ۸۶
۸۸	فصل پنجم: مختصری بر معکوس سازی و تفسیر کمی داده ها
۸۹	۱-۵ مقدمه
۹۰	۲-۵ مدل سازی مستقیم یا پیشرو
۹۱	۳-۵ مدل سازی معکوس
۹۱	۴-۵ نرم افزارهای مورد استفاده برای مدل سازی معکوس
۹۱	۱-۴-۵ نرم افزار <i>Pole – dipole</i>
۹۲	۲-۴-۵ نرم افزار <i>Res2dinv</i>
۹۳	۵-۵ پردازش داده ها و مدل سازی
۹۴	۱-۵-۵ تفسیر کمی داده های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{AMN}) حاصل از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
۹۶	۲-۵-۵ تفسیر کمی داده های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{AMN}) حاصل از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶
۹۸	۳-۵-۵ تفسیر کمی داده های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{MNB}) حاصل از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
۹۹	۴-۵-۵ تفسیر کمی داده های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{MNB}) حاصل از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶

۱۰۰	۵-۵-۵ تفسیر کمی داده های دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن (CRP) حاصل از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶
۱۰۲	۶-۵-۵ تفسیر کمی داده های دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن (CRP) حاصل از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶
۱۰۵	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۶	نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۸	پیوست ها
۱۰۹	پیوست الف: مختصری در مورد دستگاه مورد استفاده در برداشت صحرایی
۱۱۱	پیوست ب: طریقه ساختن فایل داده های ورودی نرم افزار Res2dinv

فهرست شکل ها

فصل اول

۶	شکل (۱-۱) آرایش چهار الکترودی
---	-------------------------------

فصل دوم

۱۶	شکل (۱-۲) نقشه راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه
۱۸	شکل (۲-۲): تصویر ماهواره ای شهرستان شاهرود
۲۱	شکل (۳-۲) : تصویر ماهواره های گسل مورد مطالعه
۲۲	شکل (۴-۲) : نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (دره کال قرنو)

۲۳ شکل (۵-۲) مقطع زمین شناسی منطقه مورد نظر

فصل سوم

۲۷ شکل (۱-۳) مقایسه مسائل نوری با مسائل ژئوالکتریکی

۲۸ شکل (۲-۳) : هندسه یک دیواره و مکان تصویرها

۳۱ شکل (۳-۳) آرایش ونر

۳۲ شکل (۴-۳) آرایش شلومبرژه

۳۳ شکل (۵-۳) : آرایش دوقطبی-دوقطبی

۳۴ شکل (۶-۳) آرایش قطبی-قطبی

۳۵ شکل (۷-۳): آرایش مربعی α

۳۶ شکل (۸-۳): آرایش مربعی β

۳۷ شکل (۹-۳) : بررسی آرایشهای مختلف بر روی یک دایک نازک

۳۸ شکل (۱۰-۳) : پاسخ آرایشهای مختلف به آنومالی ۱۰ اهم متری

۳۹ شکل (۱۱-۳) پاسخ آرایشهای مختلف به یک دیواره مایل

۴۰ شکل (۱۲-۳) : منحنی های دو آنومالی مجاور

۴۱ شکل (۱۳-۳) : پاسخ آرایشهای مختلف به فصل مشترک

۴۲ شکل (۱۴-۳) : مدلهای تک بعدی ، دو بعدی و سه بعدی

۴۳ شکل (۱۵-۳) : آرایش تصویری ونر

شکل (۱۶-۳) مقایسه میزان حساسیت در آرایشهای ونر^۱ ونر-شلومبرژه و دوقطبی-

۴۵ دوقطبی

۴۷ شکل (۱۷-۳) : آرایش ونر

۴۸ شکل (۱۸-۳) : آرایش دوقطبی-دوقطبی

۴۹ شکل (۱۹-۳) : آرایش ونر-شلومبرژه

- ۴۹ شکل (۳-۲۰) مقایسه شبه مقاطع در آرایشهای ونر، ونر-شلومبرژه
- ۵۰ شکل (۳-۲۱) آرایش قطبی-قطبی
- ۵۰ شکل (۳-۲۲) میزان حساسیت در آرایش قطبی-قطبی
- ۵۱ شکل (۳-۲۳): آرایش قطبی-دوقطبی
- ۵۲ شکل (۳-۲۴): مقاطع تصویری حاصل از آرایش های ونر، قطبی-قطبی و دوقطبی-
- ۵۴ شکل (۳-۲۵): بکارگیری آرایش قطبی-قطبی در روش به تصویر کشیدن سه بعدی
- ۵۵ شکل (۳-۲۶): استقرار الکتروود جریان نسبت به الکتروودهای پتانسیل در بکارگیری آرایش قطبی-قطبی در روش به تصویر کشیدن سه بعدی
- ۵۶ شکل (۳-۲۷): استقرار الکتروود جریان نسبت به الکتروودهای پتانسیل در بکارگیری آرایش قطبی-قطبی قطری متقاطع در روش به تصویر کشیدن سه بعدی
- ۵۸ شکل (۳-۲۸): تکنیک roll-along در جهت محور Xها برای برداشت های سه بعدی
- ۵۹ شکل (۳-۲۹): تکنیک roll-along در جهت محور Yها برای برداشت های سه بعدی
- ۶۰ شکل (۳-۳۰): شبکه ۴۹ تایی از الکتروودها
- ۶۱ شکل (۳-۳۱): مقاطع افقی برای اعماق مختلف
- ۶۲ شکل (۳-۳۲): مقاطع عمودی برای Yهای مختلف

فصل چهارم

- ۶۶ شکل (۴-۱) آرایش قطبی-دوقطبی
- ۶۷ شکل (۴-۲) نمایش آرایش قطبی-دوقطبی \overline{AMN}
- ۶۷ شکل (۴-۳) نمایش آرایش قطبی-دوقطبی \overline{MNB}
- ۶۸ شکل (۴-۴) پروفیل زنی با آرایش قطبی-دوقطبی
- ۶۹ شکل (۴-۵) سونداژزنی با آرایش قطبی-دوقطبی

- ۷۰ شکل (۶-۴) داده های مقاومت ویژه حاصل از ترکیب نمودن دو روش سونداژ زنی و پروفیل زنی با آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{AMN})
- ۷۱ شکل (۷-۴) داده های مقاومت ویژه حاصل از ترکیب نمودن دو روش سونداژ زنی و پروفیل زنی با آرایش قطبی-دوقطبی \overline{MNB}
- ۷۲ شکل (۸-۴) نحوه قرار دادن الکترودها در دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن
- ۷۴ شکل (۹-۴) نحوه برداشت داده ها در عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۷۴ شکل (۱۰-۴) نحوه برداشت داده ها در عملیات صحرائی آبان ماه ۸۶
- ۷۵ شکل (۱۱-۳) محل برداشت داده ها با دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن در دره کال قرنو
- ۷۶ شکل (۱۲-۴) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۷۷ شکل (۱۳-۴) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۷۸ شکل (۱۴-۴) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶
- ۷۹ شکل (۱۵-۴) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶
- ۸۰ شکل (۱۶-۴) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری آرایش (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۸۱ شکل (۱۷-۴) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶

- ۸۲ شکل (۴-۱۸) شبه مقطع دو قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶
- ۸۳ شکل (۴-۱۹) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶
- ۸۴ شکل (۴-۲۰) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۸۵ شکل (۴-۲۱) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۸۶ شکل (۴-۲۲) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶
- ۸۷ شکل (۴-۲۳) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶

فصل پنجم

- ۹۵ شکل (۵-۱) مدلسازی معکوس داده های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش \overline{AMN} اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۹۷ شکل (۵-۲) مدلسازی معکوس داده های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش \overline{AMN} آبان ماه سال ۸۶
- ۹۸ شکل (۵-۳) مدلسازی معکوس داده های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش (\overline{MNB}) اردیبهشت ماه سال ۸۶
- ۹۹ شکل (۵-۴) مدلسازی معکوس داده های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش (\overline{MNB}) آبان ماه سال ۸۶

۱۰۱	شکل (۵-۵) مدلسازی معکوس دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن اردیبهشت ماه سال ۸۶
۱۰۳	شکل (۶-۵) مدلسازی معکوس دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن آبان ماه سال ۸۶
	پیوست ها
۱۱۰	شکل (الف-۱-۱)

فهرست جدول ها

۸

جدول (۱-۱)

۴۶

جدول (۱-۳)

فهرست علائم و اختصارات:

فاصله الکترودی در آرایش ونر : a

الکترودهای جریان : A, B, C_1, C_2

تصاویر الکترودهای جریان : C', C''

شدت جریان الکتریکی : I

E : شدت میدان الکتریکی

z : چگالی جریان

ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط : k

الکترودهای پتانسیل: M, N, P_1, P_2

مقاومت بین دو سطح هم پتانسیل: R

فاصله شعاعی در مختصات استوانه ای: r

اختلاف پتانسیل الکتریکی: ΔV

مقاومت ویژه الکتریکی : ρ

مقاومت ویژه محیط های مختلف : ρ_1, ρ_2

مقاومت ویژه ظاهری : ρ_a

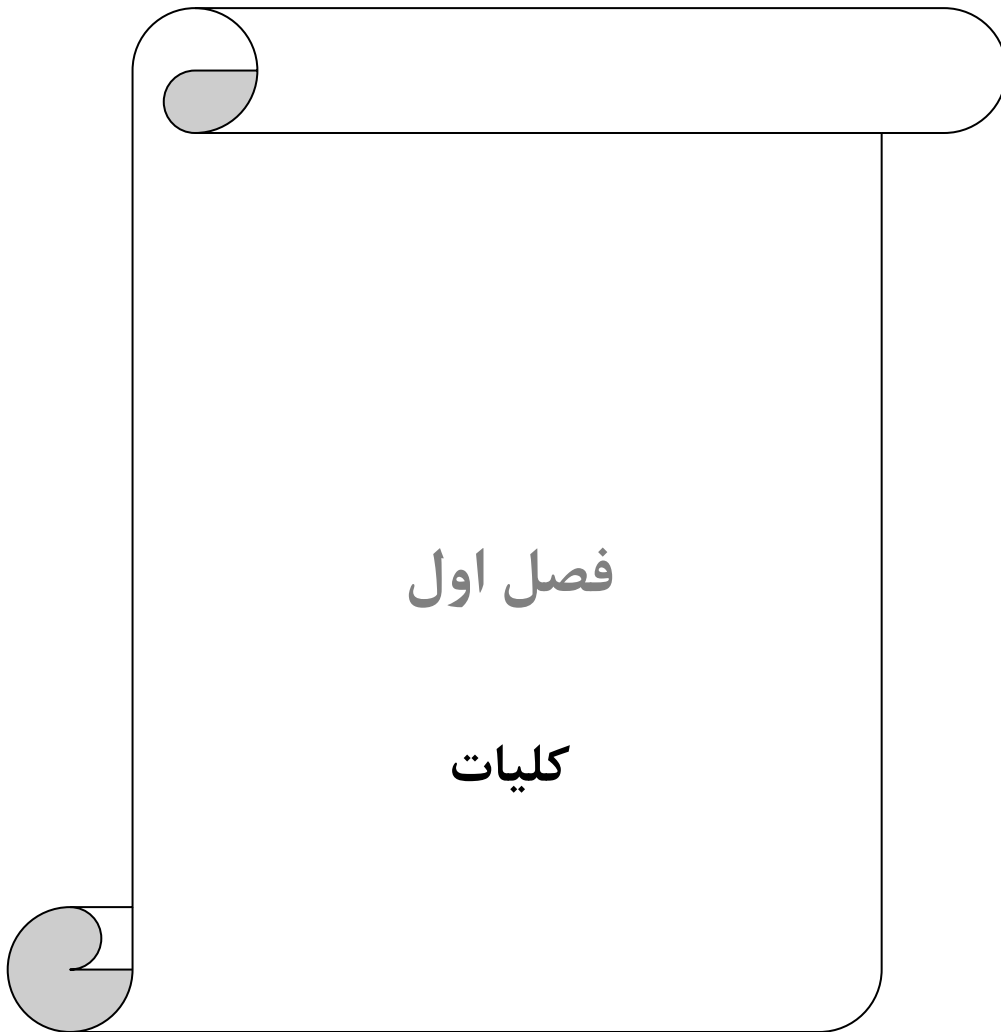
K : فاکتور هندسی

P_1, MN, P : فاصله بین الکترودهای پتانسیل

C_1, AB, C : فاصله بین الکترودهای جریان

(\overline{MNB}) : آرایش قطبی - دوقطبی معکوس

(\overline{AMN}) : آرایش قطبی - دوقطبی مستقیم



۱-۱- مقدمه

در بخش های وسیعی از زمین های کشور ما در اثر عملکرد نیروهای تکتونیکی، گسلهای بیشماری ایجاد شده اند. هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک روش مؤثر ژئوالکتریکی می باشد که توسط آن بتوان شکل هندسی گسل های پنهان شده در زیر رسوبات را اکتشاف نمود. بررسی های انجام شده نشان داده شده اند که مؤثرترین روش ژئوالکتریکی برای رسیدن به هدف فوق الذکر بکارگیری آرایش قطبی-دوقطبی متقارن می باشد.

این آرایش اولین بار توسط کاروس و پرنو^۱ در سال ۱۹۸۵ برای اکتشاف لایه های نازک گرافیت که بطور قائم تا نزدیک سطح زمین بالا آمده و توسط یک رو لایه نازک پوشانده شده بودند، ارائه گردید [۱۴]. بعلاوه این روش توسط پیروز در سال ۱۳۸۲ بمنظور اکتشافات منابع آبهای زیرزمینی در زمینهای سخت (کارست)، رگه های فلزی که بطور قائم تا نزدیک سطح زمین بالا آمده اند و همچنین گسل های قائم که در زیر آبرفت پنهان می باشند بکار گرفته شده است [۵].

در کلیه موارد فوق الذکر فاصله الکترودهای اندازه گیری اختلاف پتانسیل MN برای اکتشاف اعماق مختلف یک مقدار ثابتی انتخاب می شد که این امر برای اعماق بیشتر باعث کاهش نسبت سیگنال به نوفه^۲ و کاهش عمق اکتشاف می گردید برای رفع این نقیصه، در این پژوهش به عنوان یک روش جدید، در آرایش فوق الذکر، همزمان با افزایش فاصله الکتروود جریان، فاصله الکترودهای اندازه گیری اختلاف پتانسیل نیز نسبت به مرکز آرایش افزایش می یابد که این امر باعث شده بیشترین و صحیح ترین اطلاعات از نحوه توزیع مقاومت ویژه الکتریکی در زیر سطح زمین بدست آید. در این تحقیق، آرایش فوق الذکر بطور عمود بر امتداد گسل شاهرود بکار گرفته شده است. داده های حاصل از این اندازه گیری توسط نرم افزار Res2dinv پردازش و مدلسازی شده است.

۱-۲-۱- روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش مقاومت ویژه الکتریکی (به غیر از اکتشافات هیدروکربوری) بیشترین کاربرد را در اکتشافات ذخایر زیر زمینی در کشور ما دارد. یکی از روشهای مهم مقاومت ویژه که اخیراً بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد روش به تصویر کشیدن یا Imaging است. در این روش یک مقطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی رسم می‌گردد که در آن تصویری از زمین مورد مطالعه حاصل می‌شود. با استفاده از توزیع مقاومت ویژه در زیر سطح زمین، وضعیت لایه های زیرین شناسایی می‌شود.

در کلیه روشهای مقاومت ویژه از چشمه مصنوعی استفاده می‌گردد بدین طریق که توسط دو الکتروود نقطه ای، جریان الکتریکی به زمین تزریق می‌شود. سپس اختلاف پتانسیل توسط دو الکتروود دیگری اندازه گیری می‌گردد. بدین ترتیب می‌توان مقاومت ویژه الکتریکی زمین را محاسبه نمود.

عمده ترین عیب این روش حساسیت زیاد آن به تغییرات کوچک مقاومت ویژه در مجاورت سطح زمین است. بعبارت دیگر، سطح نوفه بالاست. این محدودیت با اضافه مشکلات عملی که در حمل چندین الکتروود وسیم های بلند در دشتهای و جنگلهای ناهموار وجود دارد موجب شده است که روش الکترومغناطیسی در اینگونه موارد از روش مقاومت ویژه متداولتر باشد. روش مقاومت ویژه بعلت کم بودن عمق اکتشاف، در اکتشافات نفت مناسب نمی‌باشد [۱].

روش مقاومت ویژه کاربرد وسیعی در تعیین عمق سنگهای بستر منابع ژئوترمال، اکتشاف کانیهای فلزی و آب دارند. این روش برای اکتشاف در اعماق کم مفید می‌باشند و نمی‌توانند اطلاعات مفیدی از اشکال زیر سطحی در اعماق بیشتر از ۵۰۰ متر بدست آورد [۱].

۱-۲-۱- تعریف مقاومت ویژه الکتریکی

مقاومت یک سیم استوانه‌ای برابر است با:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (\text{رابطه ۱-۱})$$

که در آن ρ = مقاومت ویژه الکتریکی، R = مقاومت الکتریکی استوانه به واحد اهم، L طول سیم استوانه‌ای به واحد متر و A = سطح مقطع سیم استوانه‌ای به واحد متر مربع.

طبق قانون اهم داریم:

$$\Delta V = RI \Rightarrow R = \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{رابطه ۱-۲}):$$

بنابراین با استفاده از دو رابطه (۱-۱) و (۲-۱) داریم:

$$\rho = \frac{A\Delta V}{LI} \quad (\text{رابطه ۱-۳}):$$

از رابطه اخیر برای تعیین مقاومت ویژه الکتریکی مواد همگن با اشکال هندسی منظم استفاده می‌شود. اگر در رابطه (۱-۳) طول L و سطح مقطع A آنقدر کوچک شوند که به یک مقدار حدی نزدیک شوند آنگاه به معادله زیر می‌رسیم که در آن $E =$ میدان الکتریکی و $j =$ چگالی جریان می‌باشد.

$$\rho = \frac{\lim_{L \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{L}}{\lim_{A \rightarrow 0} \frac{I}{A}} \Rightarrow \rho = \frac{E}{j} \quad (\text{رابطه ۱-۴}):$$

واحد مقاومت ویژه در سیستم M.K.S^۳ اهم متر و در سیستم C.G.S.^۴ اهم سانتیمتر می‌باشد. دامنه تغییرات مقاومت ویژه سنگها بسیار وسیع است. سنگها و کانیهایی که مقاومت ویژه آنها بین 10^{-6} تا 10^{-1} اهم-متر باشد هادی های خوب، سنگها و کانیهایی که مقاومت ویژه آنها بین ۱ تا 10^6 اهم-متر باشد هادی‌های متوسط و سنگها و کانیهایی که مقاومت ویژه آنها بین 10^7 تا 10^{15} اهم -متر باشد را هادی های بد گویند [۱].

۱-۲-۲- خطوط هم پتانسیل^۵

اگر جریان الکتریکی I توسط دو الکتروود جریان A و B که به فاصله AB از هم قرار دارند به داخل زمین تزریق شود، خطوط فرضی هم پتانسیل همیشه بر خطوط جریان عمودند. جریان الکتریسیته معمولا از الکتروود مثبت A به سمت الکتروود منفی B حرکت می‌کند.

1-Metre Kilogramme Second
2-Centimetre Gramme Second
Equipotential lines - 3

در روی خطوط هم پتانسیل، مقدار اختلاف پتانسیل (ΔV) اندازه‌گیری شده، صفر است. به سطحی که در روی آن ΔV یکسان باشد، سطح هم پتانسیل^۶ گفته می‌شود.

قابلیت هدایت سنگهای زیرسطحی یا ناهمگنی‌های جانبی در مقاومت ویژه سنگها باعث انحراف و کج‌شدگی خطوط جریان شده و این خود باعث بی‌نظمی و کج‌شدگی سطوح هم پتانسیل می‌شود. این بی‌نظمی‌ها را می‌توان به راحتی در سطح زمین توسط الکترودهای پتانسیل اندازه‌گرفت [۳].

۱-۲-۳- اصول روش مقاومت ویژه

جریان الکتریکی یکی از الکترودها (A) را در داخل محیط ایزوتوپ و همگن با مقاومت ویژه معین در نظر می‌گیریم. جریان الکتریکی به صورت شعاعی در نیمکره‌هایی در داخل زمین پخش می‌شود. حال می‌خواهیم افت پتانسیل را در نقطه P که به فاصله r از الکترودهای جریان A می‌باشد را محاسبه نمائیم. چگالی جریان برابر است با [۲]:

$$j = \frac{I}{A} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (\text{رابطه ۱-۵})$$

اگر افت پتانسیل در نقطه P (نسبت به نقطه A) V_r و افت پتانسیل در یک فاصله بسیار جزئی dr فرض گردد، اختلاف پتانسیل در دو نقطه برابر است با:

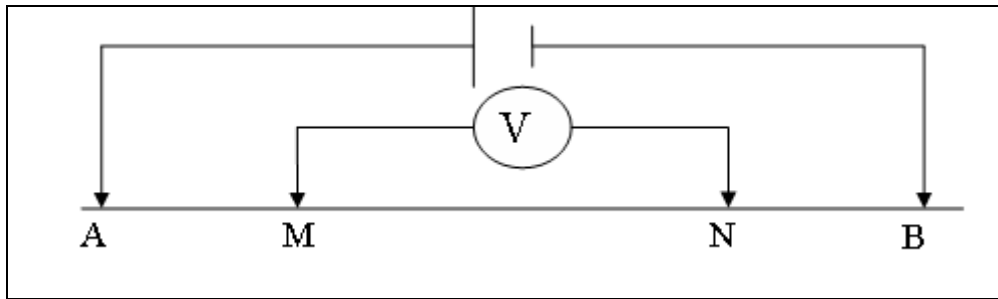
$$\Delta V = V_r - (V_r + dV) = -dV + RI \Rightarrow dV = -RI = -\rho \frac{dr}{2\pi r^2} \cdot I$$

$$\Rightarrow dV = -\frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{dr}{r^2}$$

اگر از رابطه فوق انتگرال‌گیری شود، افت پتانسیل در نقطه P به فاصله r از A بدست می‌آید:

$$V_r = -\frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \quad (\text{رابطه ۱-۶})$$

حال می‌خواهیم اختلاف پتانسیل دو نقطه از سطح زمین را در رابطه با یک جفت الکترودهای جریان A و B محاسبه کنیم. مطابق شکل (۱-۱) اگر دو الکترودهای جریان A و B که به قطب‌های مثبت و منفی یک باتری متصل می‌باشند و دو الکترودهای پتانسیل M و N که به یک ولت متر حساس متصل می‌باشند را در سطح زمین در نظر بگیریم، اختلاف پتانسیل بین دو الکترودهای M و N به شرح ذیل قابل محاسبه خواهد بود [۱]:



شکل (۱-۱): آرایش چهار الکترودی

$$\text{پتانسیل در نقطه M [۳]:} \begin{cases} V_M^A = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{AM} \\ V_M^B = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{BM} \end{cases} \Rightarrow V_M^{A,B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

$$\text{پتانسیل در نقطه N [۳]:} \begin{cases} V_N^A = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{AN} \\ V_N^B = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{BN} \end{cases} \Rightarrow V_N^{A,B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

اختلاف پتانسیل کل اندازه‌گیری شده توسط الکترودهای M, N به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V_{MN}^{A,B} = V_M^{A,B} - V_N^{A,B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\rho = \left(\frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad \text{(رابطه ۷-۱)}$$

به عبارت $\frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$ ، فاکتور هندسی آرایش الکترودی گویند و معمولاً آن را با حرف K

نمایش می‌دهند. رابطه (۷-۱) را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{(رابطه ۸-۱)}$$

اگر ρ در یک محیط ایزوتوپ و همگن اندازه‌گیری شود آن را مقاومت ویژه واقعی^۷ می‌نامند.

اما اگر اندازه‌گیری در یک محیط ناهمگن و ناهمسانگرد صورت گیرد آن را مقاومت ویژه ظاهری^۸ می‌نامند.

به عبارت دیگر بر روی یک زمین همگن و همسانگرد، این مقاومت ویژه برای هر جریان و هر آرایش الکترونی ثابت خواهد بود. یعنی، اگر جریان ثابت نگهداشته شود و الکترونها به اطراف حرکت کنند، پتانسیل ΔV در هر آرایش طوری تغییر می‌کند که حاصلضرب $(\Delta V K)$ ثابت می‌ماند.

ولی اگر زمین غیر همگن باشد و فواصل الکترونی تغییر کنند، یا فواصل ثابت مانده در حالی که مجموعه آرایش تغییر مکان یابد، حاصلضرب فوق کلاً تغییر خواهد کرد. نتیجه این است که در هر اندازه‌گیری مقدار متفاوتی از ρ حاصل می‌شود. واضح است که بزرگی این مقدار با آرایش الکترونها ارتباط نزدیک دارد. این مقدار اندازه‌گیری شده به مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) موسوم است. اگر چه این مقاومت ویژه ظاهری، تا حدودی مشخص کننده مقاومت ویژه واقعی منطقه ای در نزدیکی مجموعه الکترونهاست، ولی قطعاً یک مقدار متوسط نخواهد بود. تنها در حالت زمین همگن، مقدار ظاهری برابر مقاومت ویژه واقعی است. عبارت دیگری که اکثراً در نوشته‌ها یافت می‌شود مقاومت ویژه سطحی می‌باشد. این مقدار (ρ_s) است وقتی که با فواصل الکترونی کوچک بدست می‌آید. واضح است که این مقدار تنها موقعی برابر مقاومت ویژه سطحی واقعی است که زمین، در حجمی حدود ابعاد فواصل بین الکترونها، یکنواخت باشد [۱۲].

مقدار مقاومت ویژه ظاهری تابعی از متغیرهای زیر می‌باشد:

۱- فواصل بین الکترونها (BN , AN , BM , AM)

۲- وضعیت هندسی آرایش الکترونها

۳- مقاومت ویژه واقعی و هم چنین ضخامت، شیب و خواص ایزوتروپی لایه‌ها [۱].

۳-۱- خواص الکتریکی مواد

True resistivity - 1
Apparent resistivity - 2

جریان الکتریکی در مواد زمین در اعماق کم به دو روش هدایت الکترونی و هدایت الکترولیتی جریان می‌یابد. در هدایت الکترونی، شارش جریان توسط الکترونهاى آزاد صورت می‌گیرد. هدایت الکترونی، هنگامی که کانیهای رسانا مانند سولفید های فلزی و گرافیت موجود باشند دارای اهمیت می‌باشد. در هدایت الکترولیتی، شارش جریان به خاطر جابجایی یونها در آب موجود در سنگها انجام می‌شود.

مقاومت ویژه الکتریکی بعضی از سنگها و مواد معدنی در جدول (۱-۱) نشان داده شده است. سنگهای آذرین و دگرگونی دارای مقادیر بالای مقاومت ویژه می‌باشند. مقاومت ویژه این گونه از سنگها به میزان خردشدگی و درصد شکستگی های پر شده از آب و مقدار نمک موجود در آن وابسته است. سنگهای رسوبی، که معمولاً متخلخل بوده، بطور معمول مقاومت ویژه کمتری در مقایسه با سنگهای آذرین و دگرگونی دارند. مقاومت ویژه آنها بین $10-10000 \Omega m$ است ولی اکثراً زیر $1000 \Omega m$ می باشد. رسوبات نامتراکم عموماً مقادیر مقاومت ویژه کمتری نسبت به سنگهای رسوبی دارند و مقاومت ویژه آنها بین $10 \Omega m$ تا کمتر از $1000 \Omega m$ می‌باشد.

جدول (۱-۱) مقاومت ویژه الکتریکی بعضی از سنگها و مواد معدنی [۱]

۲۰ - ۱۰۰	خاکستر(برش)آتشفشانی
۱۰ - ۱۰۰	آب زیر زمینی
۰,۲	آب دریا
۵۰ - ۵۰۰۰	سنگ آهک
۲۰ - ۲۰۰۰	شیل
۱ - ۱۰۰	رس
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	آبرفت های دانه درشت و کنگلومرا
۱۰۰ - ۳۰۰	آبرفت های دانه متوسط
۵۰ - ۱۰۰	آبرفت های دانه ریز

۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	شن و ماسه خشک
۵۰ - ۵۰۰	شن و ماسه اشباع از آب شیرین
۰,۵ - ۵	شن و ماسه اشباع از آب شور
مقاومت ویژه (اهم متر)	سنگها و مواد معدنی
۵۰۰ - > ۱۰۰۰	آهک های آسماری
۲۰۰ - ۵۰۰	آهک های کرتاسه
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	ماسه سنگ کوارتزیت

خاکهای مرطوب و زمین های آبدار مقدار مقاومت ویژه الکتریکی کمتری دارند. خاکهای رسی معمولاً مقاومت ویژه پایین تری نسبت به خاکهای ماسه ای دارند. نکته جالب توجه اینست که، انواع سنگها و خاک ها، مقدار مقاومت ویژه الکتریکی همدیگر را پوشش می دهند. این بدین دلیل است که مقاومت ویژه سنگ یا خاک به عوامل دیگر مانند تخلخل، اشباع آب و غلظت نمکهای نامحلول وابسته است. مقاومت ویژه آب زیر زمینی با توجه به میزان نمکهای نامحلول $10-100 \Omega m$ تغییر می کند. مقاومت ویژه پایین آب دریا (در حدود $0,2 \Omega m$) بعلت میزان نمک فراوان موجود در آب دریا می باشد [۱].

۱-۴- کاربردهای روش مقاومت ویژه

روش مقاومت ویژه الکتریکی علاوه بر اکتشاف گسلهای پنهان، در مطالعات مشروحه زیر نیز مورد استفاده قرار می گیرند:

۱- مطالعه آبهای زیرزمینی

روشهای مقاومت ویژه در مطالعات آبهای زیرزمینی می تواند اطلاعات زمین شناسی زیر سطحی سودمندی فراهم نمایند که معمولاً این اطلاعات را نمی توان با سایر روشهای ژئوفیزیکی بدست آورد. در اکتشافات آبهای زیر زمینی در سنگهای کریستالین، آذرین و دگرگونی بدلیل تخلخل کم این سنگها (کمتر از ۳ درصد در صورتی که هوازده نشده باشند)، نمی توانند آبخوان مناسبی را تشکیل دهند و لذا جهت اکتشاف آبهای زیرزمینی در این نوع سنگها بایستی بدنبال زونهای گسلی بود؛ زیرا این ساختارها معبر مناسبی برای عبور آبهای زیر زمینی می باشند.

۲- تهیه نقشه کانال های رودخانه‌ای مدفون

کانال های رودخانه‌ای مدفون را می‌توان با دقت زیادی توسط نقشه‌های مقاومت ویژه مشخص کرد [۱].

۳- مشخص کردن مرز آب شور و شیرین

به کمک نقشه‌های هم مقاومت ویژه حاصله از سونداژ، با آرایش‌های شلومبرژه، ونر و دوقطبی—دوقطبی می‌توان مرز بین آب شور و شیرین را مشخص کرد.

۴- مشخص کردن سطح سفره آبهای زیرزمینی

تعیین عمق سطح سفره آبدار به طور کلی مشکل‌تر از تعیین مرز آب شور و شیرین می‌باشد. هر جا که یک سفره آب در بین یکسری طبقات با مقاومت ویژه های متفاوت قرار گرفته باشد، مشخص کردن سطح آن روی منحنی سونداژ تقریباً غیر ممکن است. در شرایط مطلوب می‌توان سطح سفره را به عنوان یک لایه روی منحنی سونداژ مشخص نمود [۱].

۵- مطالعات ژئوترمال

به کمک نقشه‌های هم مقاومت ویژه می‌توان مسیر خط گسلی را که معمولاً در امتداد آنها چشمه‌های آب گرم و آب فشانها خارج می‌شوند مشخص نمود [۱].

۶- اکتشاف مواد معدنی

روشهای مقاومت ویژه بطور گسترده در اکتشاف مواد معدنی (سولفیدها، اکسیدها و به طور کلی کانیهای که دارای جلای فلزی باشند) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش در شناسایی زون‌های خرد شده و گسله که ارتباط نزدیک با کانی سازی دارند، بسیار مثر ثمر واقع می‌گردد [۱].

۷- کارهای مهندسی عمران

در فعالیتهای عمرانی از روش مقاومت ویژه اغلب برای مشخص کردن ضخامت آبرفتها، عمق سطح سفره آبدار، عمق سنگهای بستر و شناسایی لایه‌های رسی بطور گسترده استفاده می‌شود [۱].

در مطالعات مقدماتی جهت ساخت و سازها نیز شناخت گسلهای منطقه بسیار مهم می باشد، زیرا که بسیاری از زمین لرزه ها با زونهای گسلی در ارتباط نزدیک می باشند و بنابراین در ساخت تاسیسات مهم

صنعتی مانند رادیواکتیوهای اتمی، پل ها و تونل ها و همچنین احداث شهرهای جدید بایستی گسلهای نزدیک به منطقه را در نظر داشت.

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا می توان گفت که شناخت و اکتشاف گسلها از اهمیت خاصی برخوردار می باشند و در این میان اکتشافات ژئوفیزیکی و خصوصاً ژئوالکتریکی بدلیل هزینه پایین و دقت بالای آن می تواند راه گشا باشد.

۱-۵- سوابق کارهای انجام شده در منطقه

مطالعات پروفیل زنی و سونداژ زنی در منطقه ای به نام کال قرنو (ذوب آهن) در شمال غرب شاهرود انجام شده است.

در این زمینه سه مورد تحقیقاتی انجام شده است:

- مورد اول مطالعه ژئوفیزیکی مقاومت ویژه با آرایش نیم شلومبرژه متقارن برای اکتشاف آبهای زیر زمینی در زمین های سخت (کارست) که توسط دکتر پیروز، در سال ۱۳۸۲ انجام شده است. طول خط پروفیل در این مطالعه ۱۴۰ متر بوده است و مبدأ آن نیز در فاصله ۶۰ متری غرب چاه آبی که در منطقه ای به نام چاه آب ذوب آهن معروف است قرار دارد. این چاه توسط مهندسین روسی در سال ۱۳۶۰ حفر شده است. نتیجه بدست آمده از این تحقیق، ضخامت آبرفت در محل چاه ذوب آهن را ۲۳ متر نشان می دهد که با نتایج بدست آمده از حفاری تطبیق خوبی دارد [۵].

- دومین مورد مطالعه در دره کال قرنو در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد در سال ۸۳ صورت گرفته است. در این تحقیق به بررسی قابلیت های آرایه مربعی در تعیین محل راستای شکستگی های پنهان انجام شده است. طول ضلع آرایه مربعی ۶۰ متر بوده و تمامی پروفیل ها روی یک خط راست با آزیموت ۸۸ درجه برداشت شده است. مبدأ خط پروفیل در فاصله ۶۶ متری غرب چاه فوق الذکر و فواصل ایستگاه ها روی خط پروفیل ۲۵ متر در نظر گرفته شده است [۶].

- سومین مورد مطالعه در منطقه کال قرنو در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد در سال ۸۶ توسط آقای حمیدرضا ترکمنچه صورت گرفته است. در این تحقیق به بررسی اکتشاف گسل پنهان شاهرود در محدوده منطقه کال قرنو با استفاده از آرایش و نر پرداخته است [۸].

۱-۶- سابقه و ضرورت انجام تحقیق

در رابطه با شیب گسل پنهان شاهرود تاکنون هیچگونه تحقیقات ژئوفیزیکی در منطقه یاد شده انجام نگرفته است. با توجه به نزدیک بودن محل مورد مطالعه به منطقه مسکونی شهرستان شاهرود، با شناسایی موقعیت و شیب این گسل، می توان بروز خطرات احتمالی را پیش بینی کرد و تدابیر لازم را جهت پیشگیری از خسارتهای احتمالی ناشی از وقوع زلزله اندیشید.

با توجه به اینکه گسلها مانند زهکش عمل می نمایند و می توانند آب های زیر زمینی را از مناطق پر آب به مناطق کم آب منتقل کنند و همچنین می توانند مانند یک سد در مقابل آبهای زیرزمینی عمل نمایند، لذا شناسایی شکل هندسی گسلها می تواند برای اکتشاف آبهای زیر زمینی و همچنین بهره مندی از این آبها، حائز اهمیت باشند.

۱-۷- اهداف پایان نامه

شناسایی موقعیت و شیب گسل پنهان شاهرود در محدوده مورد بررسی، تشخیص نوع گسل مذکور، تعیین وضعیت زمین شناسی تحت الارضی و عمق سنگ بستر از اهداف اصلی این مطالعه می باشد.

۱-۸- تعریف مساله و بیان سوالهای اصلی تحقیق

با استفاده از روش مقاومت ویژه و با توجه به تمایز خصوصیات الکتریکی لایه های مختلف زمین، می توان به اکتشاف وضعیت زمین شناسی تحت الارضی منطقه مورد مطالعه پرداخت. از آنجا که گسل های قائم، باعث جابجایی عمودی لایه های زیرسطحی می شوند و این امر باعث به وجود آمدن تغییرات مقاومت ویژه در زیر سطح زمین از حالت عادی خود می گردد؛ لذا می توان از این الگو جهت اکتشاف گسلهای پنهان استفاده نمود.

سوالهای اصلی که در این تحقیق مطرح هستند از این قرار است :

آیا اصلاً گسلی در زیر آبرفت وجود دارد یا خیر. در صورت مثبت بودن جواب، گسل مذکور چه نوع گسلی می باشد. آزمون امتداد آن و همچنین شیب صفحه آن هر کدام چند درجه می باشند؟

۱-۹- روش انجام تحقیق

برای انجام این تحقیق (اکتشاف موقعیت و شیب گسل پنهان شاهرود در منطقه کال قرنو)، ابتدا اطلاعاتی از قبیل مطالعات زمین شناسی، زمین شناسی ساختمانی، چینه شناسی و عکس های هوایی و ماهواره ای منطقه مورد مطالعه، جمع آوری گردید. سپس تحقیقاتی جهت انتخاب بهترین آرایش ممکن برای اکتشاف

شکل هندسی گسل یاد شده انجام گرفت که در نهایت، دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن به عنوان موثرترین و دقیق ترین آرایش برای عملیات صحرائی بر روی گسل مذکور انتخاب شد. مطلب جدید در این تحقیق نسبت به تحقیق های قبل این است که در آرایش مذکور، فاصله الکترودهای اختلاف پتانسیل MN، همزمان با افزایش فاصله الکترودهای جریان نسبت به وسط MN، افزایش یافته است. در نهایت برای مدلسازی دو بعدی از نرم افزار Res2dinv برای تعیین موقعیت و شیب گسل مذکور استفاده شده است.

۱-۱۰- ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل می باشد که فصل نخست آن با عنوان کلیات مشتمل بر سوابق کارهای انجام شده در منطقه، اهداف پایان نامه، تعریف مساله و بیان سوالهای اصلی تحقیق، روش انجام تحقیق و توضیح مختصری درباره روش مقاومت ویژه می باشد. فصل دوم با عنوان آشنائی با منطقه مورد مطالعه می باشد. فصل سوم با عنوان بررسی آرایشهای مختلف ژئوالکتریکی می باشد، فصل چهارم مربوط به تئوری مبنای طرح و تفسیر کیفی داده ها است. فصل پنجم با عنوان تفسیر کمی داده ها می باشد و در نهایت در فصل ششم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است. در پیوست این پایان نامه، مختصری راجع به روشهای مدلسازی توضیح داده شده و همچنین فهرست داده های حاصل از برداشت صحرائی این پایان نامه در این قسمت آورده شده است.



فصل دوم
آشنائی با منطقه
مورد مطالعه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه

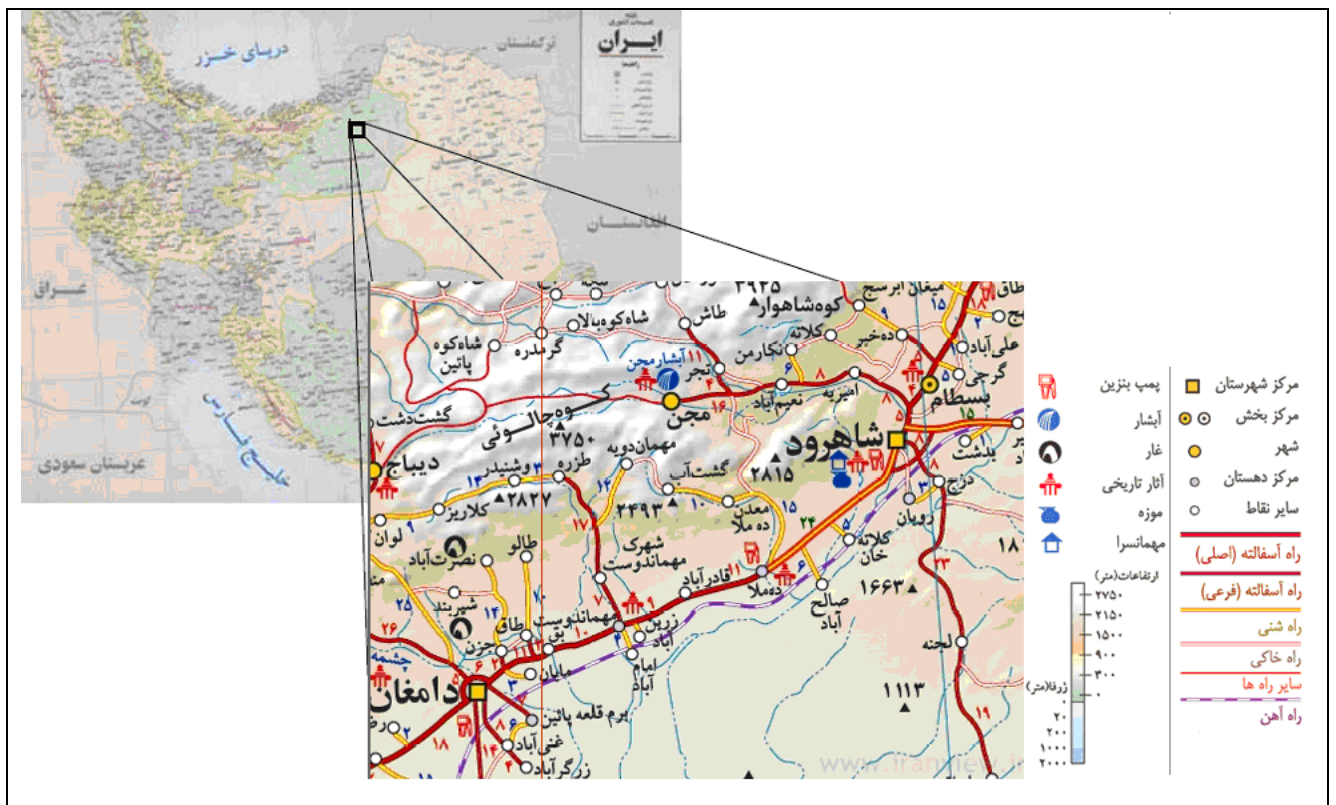
نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود بخشی از رویه چهارگوش گرگان با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ است که در حدود جغرافیائی ۵۵ - ۵۴/۳۰ درجه طول شرقی و ۳۶/۳۰ - ۳۶ درجه عرض شمالی در استان سمنان قرار دارد.

بزرگترین شهر منطقه مورد مطالعه شهرستان شاهرود با وسعت ۵۱۴۱۹ کیلومتر مربع می‌باشد که در واقع بزرگترین شهرستان استان سمنان بوده و دارای ۱۳۶۵ متر ارتفاع از سطح آبهای آزاد است. شهر بسطام در منتهی الیه شمال شرق نقشه، دومین شهر بزرگ منطقه مورد مطالعه بوده که دارای ارزش و قدمت دیرینه است [۹].

مهمترین روستاهای منطقه، روستاهای، مجن واقع در شمال غرب شاهرود، دهملا واقع در جنوب غرب شاهرود و مهماندوست، کلاته خان، حسین آباد و علی آباد واقع در جنوب غرب شاهرود، قلعه شوکت، نظام و تل واقع در جنوب شاهرود می‌باشد. منطقه شاهرود دارای دامداری و تولیدات کشاورزی قابل توجه ای نظیر سیب زمینی، فلفل، صیفی جات، پنبه، آفتابگردان، تنباکو، گندم، چغندر قند و میوه جاتی مانند انگور، زرد آلو و گلابی است. صنعت قالی بافی نیز در روستاهای شاهرود دارای رونق خاصی می‌باشد. قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه در زمستان دارای آب و هوای نسبتاً سرد و خشک، در تابستان دارای آب و هوای معتدل می‌باشد؛ اما قسمت‌های جنوبی منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک کویری با بارندگی کم و رطوبت اندک است. حداکثر درجه حرارت در منطقه ۳۹/۴ درجه سانتیگراد و حداقل درجه حرارت ۱۴/۴ درجه سانتیگراد می‌باشد. مقدار بارندگی سالیانه از ۷۲/۸ میلیمتر تا ۱۸۳/۳ میلیمتر است که در برخی از زمانها افزایش قابل توجهی نیز دارد. مهمترین رودخانه منطقه شاهرود، رودخانه تاش (شاهرود) است که از کانونهای آبگیر شاهکوه و شاهوار حد فاصل تاش و مجن سرچشمه گرفته و دارای ویژگیهای رودهای فصلی است. این رود پس از دریافت چندین رشته فرعی در ناحیه کوهستانی و پس از مشروب کردن اراضی پشت بسطام و زیراستاق به سوی کویرنمک می‌رود بیشتر قناتهای شهرستان شاهرود در بخش بسطام حفر شده است [۹].

۲-۲- راههای دسترسی به منطقه

با توجه به شکل (۱-۲) راههای اصلی منطقه مورد مطالعه، جاده های درجه یک (آسفالته) دامغان شاهرود، شاهرود به بسطام و مجن، شاهرود به ترود و جاده معدن طزره می‌باشد. سایر جاده های منطقه از نوع جاده های درجه دو مانند جاده معدن آموزشی دهملا و جاده های درجه سه می‌باشد که مجموعاً دستیابی به رخنمونهای منطقه را امکان پذیر نموده است. مطالعات پروفیل زنی و سونداژ زنی در منطقه‌ای به نام کال قرنو (ذوب آهن) در شمال غرب شاهرود انجام شده است. راه دسترسی به این منطقه خاکی است [۹].

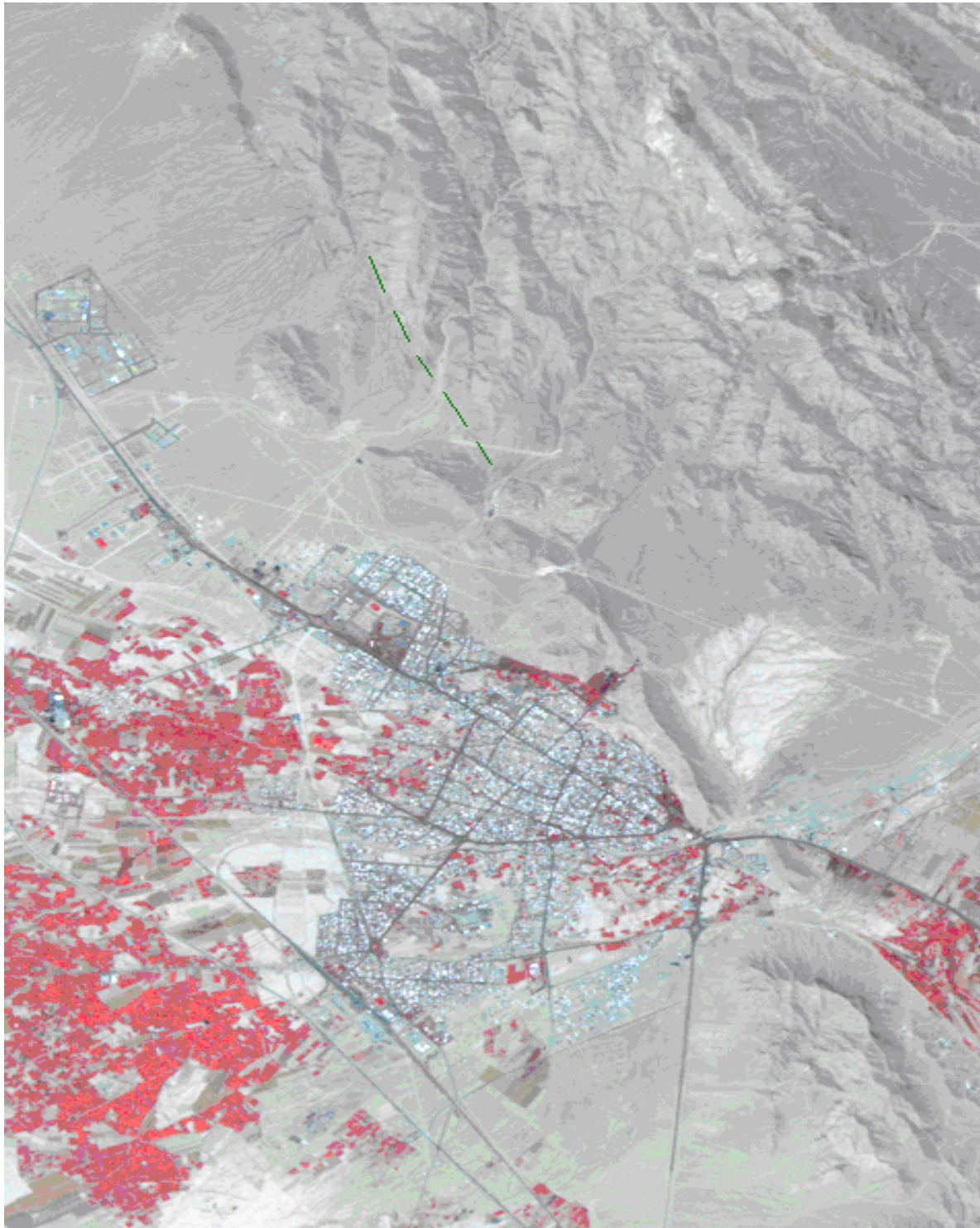


شکل (۱-۲) حدود قرار گیری منطقه مورد مطالعه

۲-۳- زمین ریخت شناسی^۹

ارتفاعات شمالی منطقه مورد مطالعه بخشی از ارتفاعات البرز خاوری است. ارتفاعات البرز خاوری نسبت به ارتفاعات البرز باختری رو به نقصان گذاشته و کم عرض تر و باریکترند تا آنکه در ۲۰۰ کیلومتری خاور دریای خزر ارتفاعات آن به دشت آرموت لی در شرق جنگل گلستان منتهی می‌شود. بخش های جنوبی نقشه نیز که سرزمین کویری می باشد بخشی از ایالت ساختاری ایران مرکز است. بلندترین نقطه منطقه مورد مطالعه را کوه چالوئی با ارتفاع ۳۷۵۰ متر از سطح دریا تشکیل شده است. نزولات جوی رشته کوههای البرز در شمال شاهرود منبع اصلی تغذیه رودها و قنوات این منطقه است. در قسمت جنوبی رشته کوههای کم ارتفاع موازی با رشته کوههای اصلی کشیده شده است که آنها نیز با نزدیک شدن به دشت کویر کم ارتفاع می‌شوند [۹].

با توجه به شکل (۲-۲) بخش اعظم رخنمون سنگهای منطقه در شمال نقشه قرار دارد که بخشی از ارتفاعات البرز خاوری را تشکیل می‌دهد که دارای روند گسترشی شمال خاوری-باختری است. این سنگها در بیشتر مناطق ارتفاعات بلند را تشکیل می‌دهد. واحدهای سنگی منطقه، اساساً از واحدهای رسوبی دریایی (سنگ آهکها) تشکیل شده‌اند که در دو مورد سنگ آهکهای سازند لار و سنگ آهکهای کرتاسه بالائی مرتفع ترین نقاط منطقه را تشکیل داده است. اما بخشهایی از سنگهای فوق اساساً از واحدهای فرسایش پذیر نظیر شیل، مارن و کنگلومرا شکل گرفته‌اند که مناطق کم ارتفاع و پست را تشکیل داده‌اند. اما همانگونه که بیان شد می‌توان ارتفاعات بلند سستیغ سازی که دارای شیب توپوگرافی زیادی بوده و پرتگاههای متعددی را پدید آورده است را در سلسله کوههای شمال منطقه مورد مطالعه، در توالیهای سازند لار و کرتاسه بالایی مشاهده نمود. البته می‌دانیم که ریخت این پستی و بلندیها به جنس واحدهای سنگی پدید آورنده آنها بستگی دارد. مکانهایی که جنس واحدهای سنگی از سنگهای مقاوم در برابر فرسایش است ارتفاع بیشتری را نسبت به مناطق دیگر تشکیل داده‌اند و مناطقی که توالیهای آن سست و ریز دانه می‌باشند در برابر فرسایش مقاوم نبوده و تحت تاثیر شدید قرار می‌گیرند ارتفاع کمتری نسبت به



شکل (۲-۲) تصویر ماهواره ای شهرستان شاهرود [۴]

توالیهای دیگر داشته و سرزمین های کم ارتفاع و پست را تشکیل می دهند. لذا در شمال منطقه مورد مطالعه که رخنمون های مربوط به سنگ آهکهای سازند لار وجود دارد مرتفع بوده و در کنار بلندیهایی از سنگ آهکهای کرتاسه بالایی گسترش قابل توجهی را با روند گسترش خاوری - باختری تشکیل می دهند. [۹].

۲-۴- زمین شناسی ساختمانی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخش‌هایی از دو ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی را در بر می‌گیرد. بخش‌های شمالی ته کوهها و ارتفاعات البرز خاوری است با توجه به شناختی که از ویژگی‌های زمین ساختی البرز وجود دارد. طبعاً در طول ادوار گذشته دستخوش رویدادها و پدیده‌های مختلفی مانند عملکرد رویدادهای کوهزائی، چین خوردگی و گسلش‌های متعدد بوده و ساختمانهای جالبی را ایجاد کرده است. بخش‌های میانی و جنوب منطقه نیز که به ایالت ساختاری ایران مرکزی تعلق دارد دستخوش پدیده‌های نظیر چین خوردگی و گسلش بوده است که در ذیل بطور اجمالی به معرفی برخی از پدیده‌های فوق می‌پردازیم [۹].

۲-۴-۱- چین خوردگی‌های منطقه

چین خوردگی‌های منطقه مورد مطالعه را اساساً ساختمانهای تاقدیسی و ناودیسی تشکیل می‌دهند که تعداد قابل توجهی را تشکیل می‌دهند. ساختمانهای فوق عمدتاً دارای گسترش شمال خاور-جنوب باختر و یا خاوری-باختری بوده و از انواع متقارن و یا نامتقارن هستند. برای مثال از مجموع فوق می‌توان به تاقدیس متقارن خربش در توالی‌های سازند سلطانیه، تاقدیس متقارن نپال در توالی‌ها ژوراسیک با میلی در جهت شمال خاور و ساختمانهای ناقدیسی و ناودیسی پیوسته حنفی، مهماندویه و جگل شاه با محوری در راستای شمال خاوری-جنوب باختری اشاره نمود [۹].

۲-۴-۲- گسل‌های منطقه

سیستم اصلی گسل‌های منطقه مورد مطالعه را راندگیها^۱ و سپس گسل‌های امتداد لغز^{۱۱} تشکیل می‌دهد. راندگی‌های موجود در منطقه دارای امتداد تقریبی خاوری-باختری بوده و حرکات قابل توجهی را از شمال به سمت جنوب در بر داشته است. این راندگیها در مکانهایی که شیب گسل نزدیک به صفر شده است، سفره

1- Thrust Faults

Strike slip Faults 2-

های رورانده^{۱۲} را بوجود آورده اند. از جمله گسل‌های راندگی منطقه شاهرود می توان گسل‌های راندگی طزره، مجن، میامی را نام برد.

به انضمام گسل های معرفی شده تعدادی نیز گسل های عادی و معکوس (با شیب بیش از ۴۵ درجه) و همچنین گسل‌های امتداد لغز که اساساً راستگرد می‌باشد بطور پراکنده در منطقه قابل رویت است [۹].
در ادامه، گسل رورانده شاهرود که موضوع مطالعه حاضر است توضیح داده می‌شود.

این گسل یکی از گسل های اصلی منطقه می‌باشد و دارای طول زیاد در راستای غرب-شرق می باشد. گسل فوق از پائین شهر بسطام و شمال شاهرود با حرکتی از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق عبور کرده و در ادامه با حرکتی از سمت شمال به طرف جنوب در مسیر خود صفحه‌های رورانده ای را نیز ایجاد کرده است که می توان در این رابطه به صفحه رورانده بزرگ سازند الیکا بر روی توالیهای سازند شمشک و در برخی مناطق بر روی توالیهای پالتوزوئیک اشاره نمود. این گسل رانده در مسیر خود یال شمالی ناودیس دهملا را نیز بریده است و موجب حذف تناوبهای سازند زاگون در این یال شده است. این گسل از منطقه مورد مطالعه (کال قرنو) عبور می‌کند [۹].

شکل (۲-۳) عکس ماهواره ای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این شکل خط سبز رنگ موازی با گسل مورد نظر کشیده شده است و خط قرمز رنگ پروفیل عمود بر امتداد گسل می باشد که عملیات برداشت داده ها بر روی این خط انجام شده است.

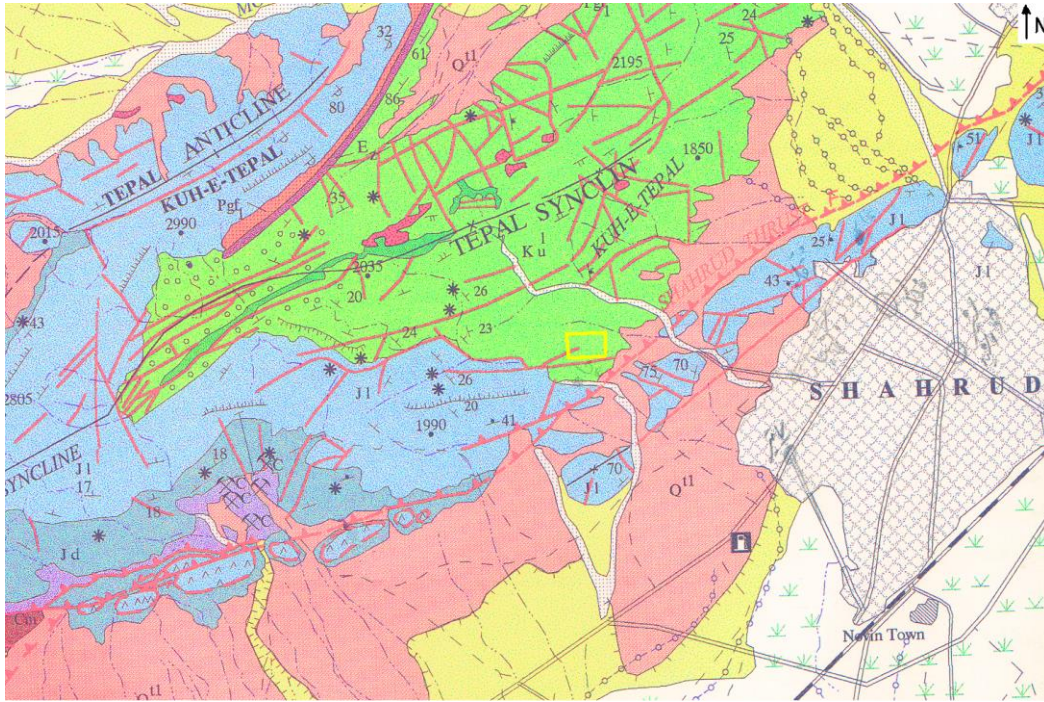




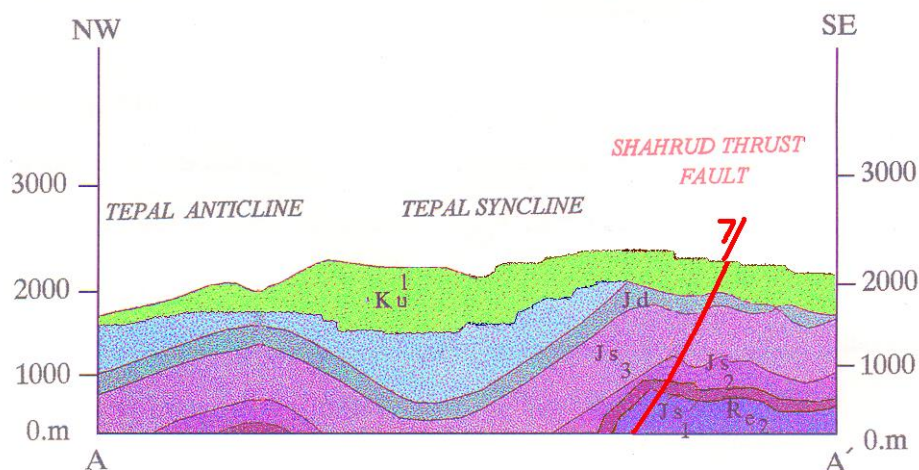
شکل (۳-۲) تصویر ماهواره‌ای گسل مورد مطالعه

۲-۵- واحد های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

شکل (۴-۲) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از قدیم به جدید به ترتیب شامل سه واحد زمین شناسی J_1 و Ku^1 و Q^{t1} می‌باشد که هر یک به طور مختصر توضیح داده می‌شود و در شکل (۵-۲) مقطع زمین شناسی ناحیه مورد نظر که با رنگ زرد مشخص شده نشان داده شده است [۹].



شکل (۲-۴) : نقشه زمین شناسی منطقه کال قرونو [۹]



شکل (۲-۵) مقطع زمین شناسی منطقه مورد نظر

۲-۵-۱- واحد سازند لار (J_1) - ژوراسیک میانی - بالایی

توالیهای سازند لار در ناحیه مورد مطالعه از سنگ آهکهای خاکستری روشن حاوی تعداد کمی آمونیت تشکیل شده است. این سنگ آهکها ابتدا ضخیم لایه بوده که تدریجاً به سنگ آهکهای توده ای و دیواره ساز تبدیل می شوند. این سنگها در قسمت‌های فوقانی خود دارای ندولهای چرت فراوان هستند.

با بررسی تغییرات عمودی رخساره های سازندهای دلیچای و لار می توان نتیجه گرفت که از زمان ژوراسیک میانی تا ژوراسیک بالایی پسروری دریا موجب شده تا رخساره های کم عمق سازند لار بر روی رخساره های عمیق سازند دلیچای رسوب گذاری شوند. توالیهای این سازند در ناحیه مورد مطالعه حدوداً دارای ۶۰۰ متر ضخامت می باشد. سن سازند لار بر اساس آمونیت‌های مطالعه شده از ژوراسیک میانی تا ژوراسیک بالایی تعیین گردیده است.

۲-۵-۲- واحد Ku^1

توالیهای اصلی با ضخامتهای زیاد سنگ آهک کرتاسه بالائی متعلق به این واحد می باشند. این واحد از تناوبهای سنگ آهک خاکستری روشن با مارنهای سبز روشن در ابتدای واحد و سپس آهکهای خاکستری متمایل به قهوه ای ضخیم لایه، توده ای و صخره ساز که به مقدار زیاد فرسایش یافته و هوازده و کریستالیزه می باشند و همچنین در اثر فرسایش حاصل از بارندگی و جریان آبهای جاری حفرات متعددی در آنها تشکیل شده است. در این سنگها صدف دوکفه ایها، فسیل اینوسراموس و هیپوریت قابل رویت است و نیز همچنین میکروفسیل‌های ریز در مقاطع نازک سنگهای فوق رویت گردیده است. بر اساس مطالعه میکروفسیل‌های این

واحد می توان سن دقیق این سنگها را به زمان سنومادین - کامپانین نسبت داد. سنگ های کرتاسه بالائی در منطقه مورد مطالعه با وجود وقفه و نبود چینه ای بر روی سنگ آهکهای سازند لار قرار گرفته و در مرز بالائی خود نیز بواسطه ناپیوستگی و نبود چینه ای توسط توالی سازند مجن پوشیده می شود. این سنگها با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر دستخوش گسل خوردگی و چین خوردگی متعددی شده اند.

۲-۵-۳- واحد Q¹

این واحد شامل پادگانه های آبرفتی قدیمی و مارنهای گراولی است که در قسمت بالا دست رودخانه ها و یا در کنار دره ها تشکیل شده اند که بخش قابل توجهی از نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه را این نوع رسوبات دربر گرفته است [۹].

فصل سوم

بررسی آرایشهای مختلف برای

عملیات صحرائی

یک بعدی، دو بعدی

و سه بعدی

۳-۱- مقدمه

ابتدایی ترین راه حل های تئوری مسائل ژئوالکتریکی با جریان مستقیم بر پایه نظریه تصاویر الکتریکی قرار دارد. اگر منبع نور نقطه ای را با منبع جریان الکتریکی و شدت نور در یک نقطه را با پتانسیل الکتریکی آن نقطه جایگزین کنیم، می توانیم نظریه تصاویر در نور را در حل مسائل ژئوالکتریکی نیز بکار ببریم (شکل ۳-۱). حالت مشابه در نور عبارت است از یک چشمه نقطه ای نور واقع در محیطی که با آینه ای نیم شفاف، با ضرایب بازتاب و عبوری K و $1-K$ ، از محیط دیگر جدا شده باشد. در اینصورت در هر نقطه از محیط اول، قسمتی از شدت نور از چشمه نقطه ای و قسمت دیگر از تصویر آن در محیط دوم تأمین می شود، در حالی که اثر دومی بلحاظ بازتاب از آینه کاهش یافته است. از طرف دیگر، شدت در نقطه ای از محیط دوم تنها از چشمه محیط اول تأمین می شود، این شدت بخاطر عبور از آینه کاهش یافته است (شکل ۳-۱ الف). اینک اگر چشمه نقطه ای جریان را جایگزین چشمه نقطه ای نوری و پتانسیل را جایگزین شدت نور در یک نقطه نمائیم، مسئله بصورت الکتریکی در می آید. از شکل (۳-۱) ب دیده می شود که پتانسیل در نقطه P از محیط اول عبارت است از:

$$V = \frac{I \rho_1}{4\pi} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{k}{r_2} \right)$$

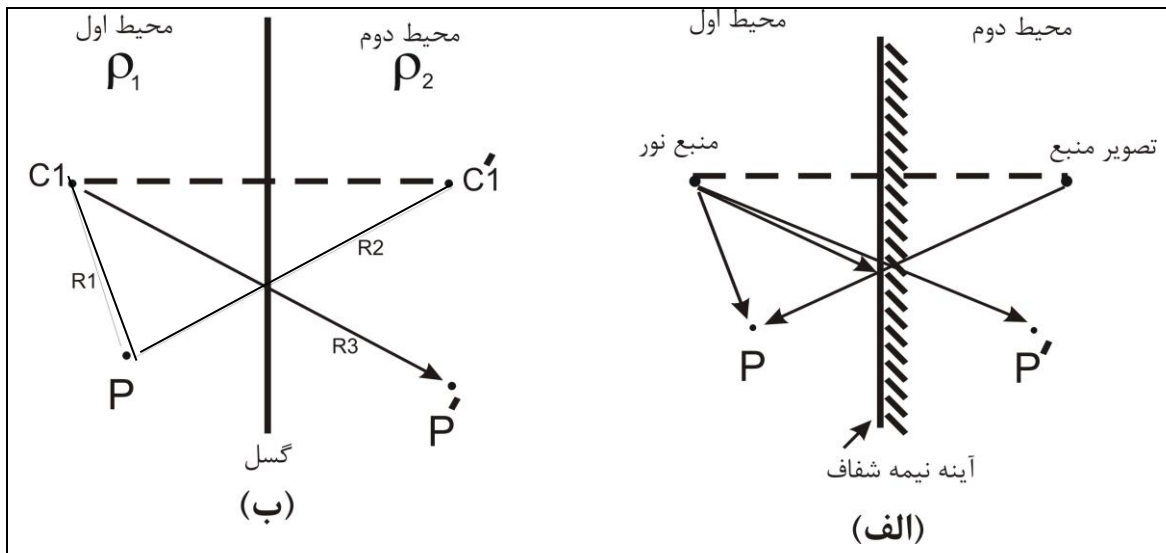
و در نقطه P' از محیط دوم

$$V' = \frac{I \rho_2}{4\pi} \left(\frac{1-k}{r_3} \right)$$

با استفاده از شرایط مرزی، این پتانسیل ها باید در سطح مشترک، یعنی وقتی $r_1 = r_2 = r_3$ است، برابر باشند داریم:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

K در این رابطه ضریب بازتاب است و مقدار آن متناسب با مقاومت‌های ویژه در دو محیط است، و مقدار آن در بازه $(-1+1)$ تغییر می‌کند.

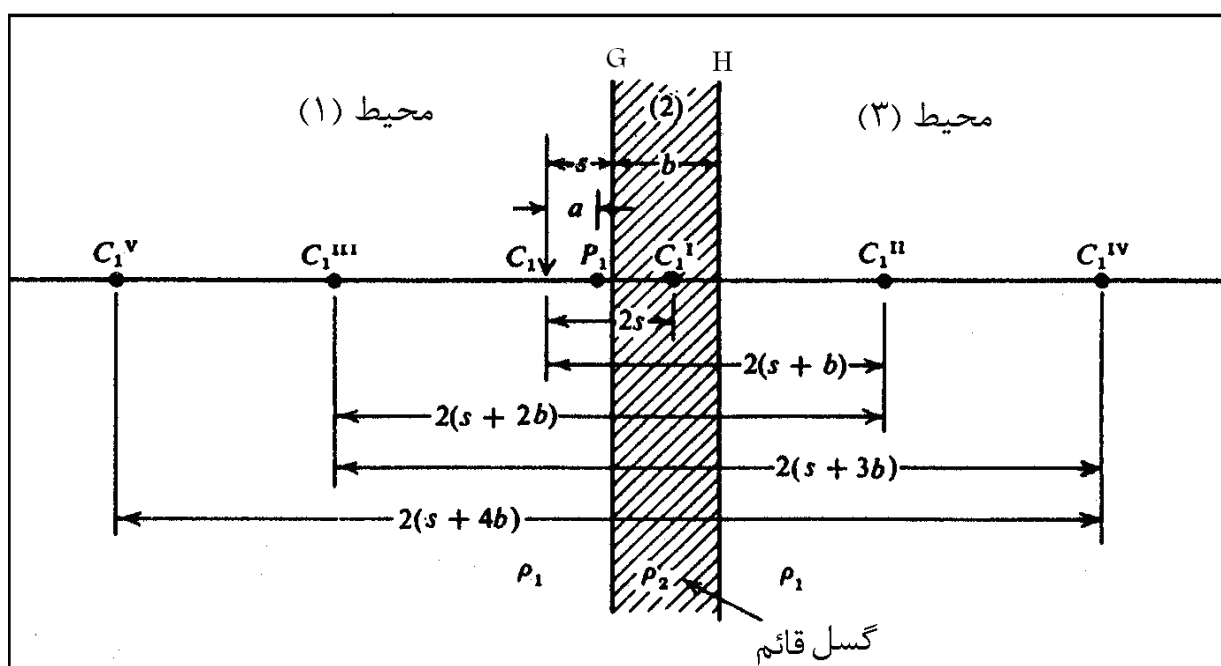


شکل (۱-۳) مقایسه مسائل نوری با مسائل ژئوالکتریکی [۱۳]

نظریه تصاویر را با موفقیت می‌توان در حل مسائل مربوط به لایه‌های افقی، گسل‌های قائم، دایک‌های قائم و کره‌های مدفون بکار برد ولی کاربرد آن در حل مسائل مربوط به لایه‌ها و گسل‌های شیب دار با محدودیت روبرو شده و تنها زمانی به حل کامل مسئله می‌انجامد که لایه کمر پایین گسل را کاملاً هادی یا مقاوم فرض کنیم. در ادامه ابتدا به حل مسئله گسل قائم با کمک نظریه تصاویر الکتریکی می‌پردازیم و سپس بدلیل پیچیدگی ریاضیات مسئله مربوط به گسل مایل، از ذکر کامل راه حل و جزئیات غیر ضروری خودداری کرده و فقط به صورت خلاصه روش کلی محاسبه منحنی‌ها را در این حالت از نظر می‌گذرانیم [۱۳].

۲-۳- دیواره های قائم (مدل دایک مانند)

در زیر، ناحیه خرد شده در اطراف صفحه یک گسل قائم را به عنوان یک دیواره قائم (مانند یک دایک) در نظر می گیریم. وقتی یک دیواره با مقاومت ویژه مشخص مورد بررسی قرار می گیرد منحنی های حاصل تحت تاثیر فاصله الکترودی قرار می گیرند



شکل (۲-۳): هندسه یک دیواره و مکان تصویرها [۱۲]

روابط پتانسیل در این حالت بسیار پیچیده خواهد بود ولی ما یک حالت تک الکترونی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. شکل کلی یک دیواره در شکل (۳-۲) آورده شده است.

در این شکل یک الکترونی جریان در محیط ۱ وجود دارد. چشمه جریان ۱ در C_1 دارای تصویری در داخل دیواره در C_1^I است که از بازتاب در مرز G بوجود می‌آید. شدت این تصویر KI و در فاصله $2s-a$ از الکترونی پتانسیل P_1 قرار دارد. یک تصویر ثانی از C_1 در اثر بازتاب از مرز H در C_1^{II} وجود دارد که در محیط ۳ و در فاصله $2b+a$ از P_1 قرار دارد. این تصویر به نوبه خود تصویری در محیط ۱ در C_1^{III} و در فاصله $2b+a$ از P_1 وجود می‌آورد. این تصویر در H بازتابیده و تصویر C_1^{IV} را در فاصله $4b+2s-a$ از P_1 بوجود خواهد آورد. این بازتابها به طور نامحدود در G و H تکرار شده و دو سری بی نهایت را بوجود می‌آورد که تنها مجموعه تصاویر محیط ۳ بر روی پتانسیل در محیط ۱ اثر دارند. وقتی الکترونی پتانسیل در محیط (۲) است، تصویر در C_1^I کاری انجام نمی‌دهد، ولی هر دو سری در محیطهای (۱) و (۳) بر روی پتانسیل اثر خواهند گذاشت. سر انجام وقتی P_1 در محیط ۳ است C_1^I و همه تصویرها در محیط (۱) بر آن اختلال ایجاد می‌کنند. در نتیجه عبارتهای پتانسیلی زیر برای محللهای مختلف P_1 بدست خواهند آمد :

محیط ۱

$$V_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a} + \frac{k}{2s-a} + A \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m+1)b+2s-a} \right\} \quad (1-3)$$

محیط ۲

$$V_2 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ B \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m+1)b+2s-a} + C \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb+a} \right\} \quad (2-3)$$

محیط ۳

$$V_3 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ D \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb+a} \right\} \quad (3-3)$$

A, B, C و D ثابتهایی هستند که با استفاده از شرایط مرزی بدست می آیند. با تحلیلی مشابه می توان پتانسیل را وقتی که الکتروود جریان در داخل دیواره است بدست آورد.

محیط اول

$$V_1' = \frac{I\rho_1}{2\pi}(1+k) \left\{ -k \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m+1)b+2s+a} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb+a} \right\} \quad (4-3)$$

محیط دوم

$$V_2' = \frac{I\rho_1(1+k)}{2\pi(1-k)} \left[\frac{1}{a} + k^2 \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m+1)b+2s+a} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m+1)b+a} \right\} - k \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m+1)b+2s \pm a} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb-(2s \pm a)} \right\} \right] \quad (5-3)$$

محیط سوم

$$V_3' = \frac{I\rho_1}{2\pi}(1+k) \left\{ -k \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb-(2s-a)} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb+a} \right\} \quad (6-3)$$

و سرانجام وقتی الکتروود جریان در سمت راست محیط (۳) و P_1 در سمت چپ C_1 است در همه حالات پتانسیل عبارتند از :

محیط اول

$$V_1'' = \frac{I\rho_1}{2\pi} (1-k^2) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb+a} \quad (7-3)$$

محیط دوم

$$V_2'' = \frac{I\rho_1}{2\pi} (1+k) \left\{ -k \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb-2s-a} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb+a} \right\} \quad (8-3)$$

محیط سوم

$$V_3'' = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a} + k \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2(m-1)b-(2s+a)} - k \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(k^2)^m}{2mb-(2s+a)} \right\} \quad (9-3)$$

از این روابط می توان مقدار مقاومت ویژه ظاهری را بر حسب مقاومت ویژه محیط اول بدست آورد و این کار را برای تمام پروفیل های عمود بر دیواره انجام داد [۱۲].

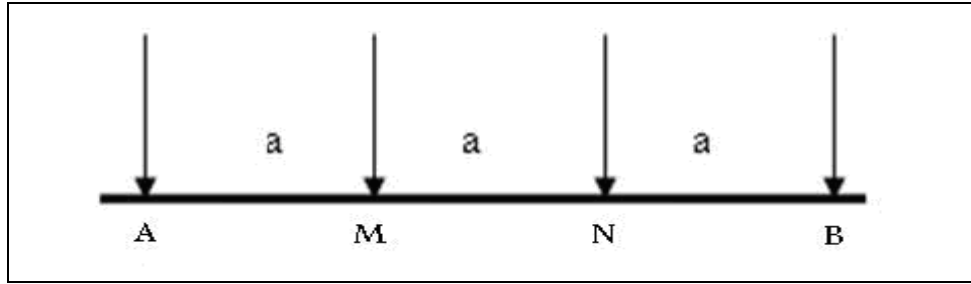
۳-۳- بررسی آرایشها در حالت یک بعدی

۳-۳-۱- آرایش ونر^{۱۳} یک بعدی

اولین بار در سال ۱۹۱۶ این آرایش توسط ونر معرفی شد. ا جریان تزریق شده به زمین می باشد. در این آرایش، چهار الکتروود A, B, M, N در روی زمین در طول یک خط راست طوری قرار می گیرند که AM = MN = NB = a باشد. B, A الکترودهای جریان و N, M الکترودهای پتانسیل هستند و مقدار مقاومت ویژه یا ρ برای این آرایش به صورت زیر محاسبه می شود [۱]:

$$\rho_w = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \cdot \frac{\Delta V}{I} = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$$\Rightarrow \rho_w = 2\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{رابطه ۳-۱۰}):$$



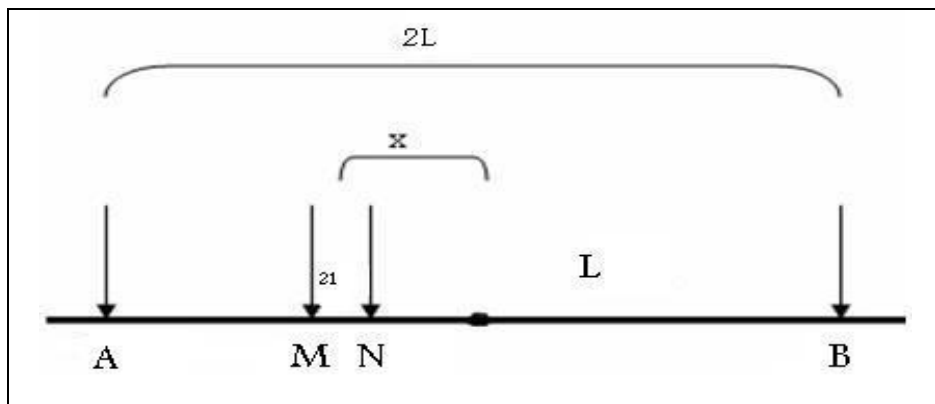
شکل (۳-۳): آرایش ونر

این آرایش، علیرغم وضع هندسی ساده اش، غالباً در کارهای صحرایی کاملاً پر زحمت است و از لحاظ نظری نیز عیوبی چند دارا می‌باشد. وقتی آرایش ونر در کاوشهای عمقی بکار رود، الکترودها نسبت به یک مرکز ثابت گسترش یافته و فاصله a به دفعات اضافه می‌شود. در کاوشهای جانبی یا به نقشه در آوردن، فاصله ثابت مانده و هر چهار الکتروده در امتداد یک خط حرکت می‌کنند. در روش به نقشه در آوردن، مقاومت ویژه ظاهری هر آرایش به مرکز آن نسبت داده می‌شود. در شکل (۳-۳) آرایش ونر نشان داده شده است [۱].

۳-۳-۲- آرایش شلومبرژه^۴ یک بعدی

در آرایش شلومبرژه الکترودهای جریان خیلی بیشتر از الکترودهای پتانسیل از هم فاصله دارند. این آرایش در شکل (۴-۳) نشان داده شده است.

در روابط زیر، $r_1=AM$ ، $r_2=BM$ ، $r_3=AN$ و $r_4=BN$ برقرار می‌باشند.



شکل (۴-۳): آرایش شلومبرژه

با توجه به شکل (۳-۴) داریم :

$$\begin{aligned} r_1 &= (L-x) - l & r_2 &= (L+x) + l \\ r_3 &= (L-x) + l & r_4 &= (L+x) - l \end{aligned}$$

که در این شکل ۲L فاصله بین الکترودهای جریان و ۲l فاصله بین الکترودهای پتانسیل می باشد. بنا بر این با توجه به رابطه (۷-۱) می توانیم رابطه مقاومت ویژه ظاهری را بنویسیم.

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \frac{1}{\left\{ \left(\frac{1}{(L-x)-l} - \frac{1}{(L+x)+l} \right) - \left(\frac{1}{(L-x)+l} - \frac{1}{(L+x)-l} \right) \right\}} \quad (۱۱-۳)$$

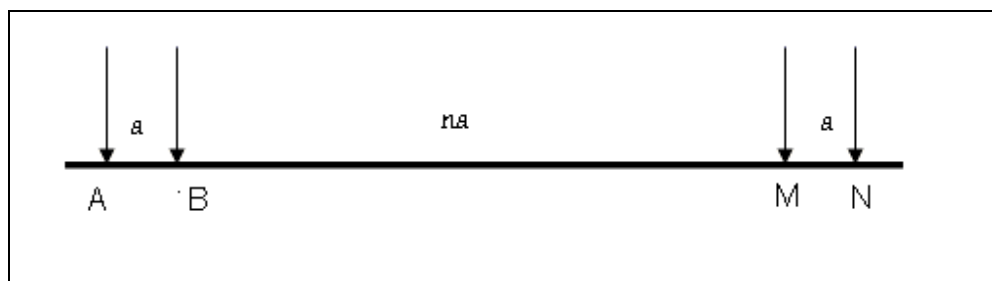
این آرایش غالباً به طور متقارن بکار می رود، عبارت دیگر، $x=0$ است، که در این صورت داریم :

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (۱۲-۳)$$

در گمانه زنی های عمقی، الکترودهای پتانسیل ثابت هستند، در حالی که فاصله الکترودهای جریان بطور قرینه نسبت به مرکز آرایش گسترش می یابند. وقتی L بزرگ است ممکن است لازم باشد که l نیز افزایش پیدا کند تا پتانسیل قابل اندازه گیری باشد. این روش راحت تر از آرایش گسترشی و نر است زیرا تنها لازم است دو الکترودهای حرکت داده شوند. بعلاوه با الکترودهای پتانسیل ثابت، اثر تغییرات مقاومت ویژه در عمق کم ثابت خواهد بود اگر در این آرایش یکی از الکترودهای جریان در بینهایت قرار بگیرد به آرایش حاصله، آرایش نیم شلومبرژه می گویند [۲].

۳-۳-۳- آرایش دوقطبی-دوقطبی^{۱۵} یک بعدی

در این آرایش الکترودهای پتانسیل به هم نزدیک و در فاصله دور از الکترودهای جریان قرار دارند که آنها نیز به هم نزدیکند. در حقیقت ما با دو دوقطبی سرو کار داریم یکی دوقطبی جریان و دیگری دو قطبی پتانسیل. شکل کلی این آرایش در شکل (۵-۳) آورده شده است.



شکل (۵-۳): آرایش دوقطبی-دوقطبی

با توجه به شکل (۵-۳) برای فواصل در این آرایش داریم:

$$AM = BN = r_1 = r_4 = a(n+1)$$

$$BM = r_2 = na$$

$$AN = r_3 = a(n+2)$$

a فاصله بین دو الکتروود جریان و دو الکتروود پتانسیل است.

بنا براین طبق رابطه (۷-۱) می توانیم بنویسیم:

$$\rho_a = \pi n(n+1)(n+2)a\left(\frac{V}{I}\right) \quad (۱۳-۳)$$

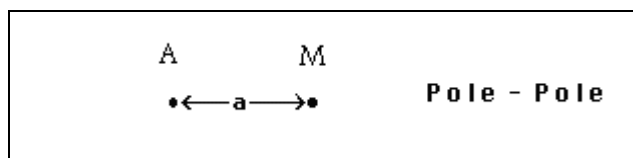
از آنجا که فاصله بین الکتروود B و M معمولا ۱ تا ۶ برابر طول دو قطبی ها است بنا براین در این آرایش جفت شدگی القایی بین کابل‌های پتانسیل و جریان کاهش می‌یابد. استفاده از آرایش‌های مختلف دوقطبی-دو قطبی در اکتشافات الکتریکی از سال ۱۹۵۰ گسترده‌تر زیاده پیدا کرده است، به خصوص از وقتی که تئوری

های مورد نیاز توسط آلپین^{۱۶} توسعه یافتند. در این روش، فاصله بین الکترودهای جریان A , B و فاصله بین الکترودهای پتانسیل M , N تقریباً ثابت بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فاصله بین مراکز دو دوقطبی یعنی d خواهد بود [۱].

از بین آرایش‌های مختلف دوقطبی-دوقطبی، آرایش‌های محوری^{۱۷} و استوایی^{۱۸} بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

۳-۳-۴- آرایش قطبی-قطبی^{۱۹} یک بعدی

در این آرایش همانطور که در شکل (۳-۶) مشاهده می‌شود یک الکتروود پتانسیل و یک الکتروود جریان در بینهایت قرار می‌گیرند.



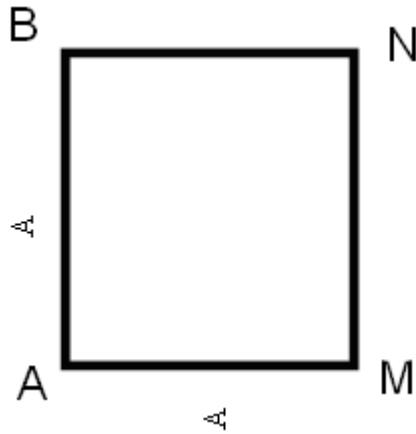
شکل (۳-۶) آرایش قطبی-قطبی [۱۰]

بنا بر این طبق رابطه (۱-۷) می‌توانیم بنویسیم:

$$\rho_a = 2\pi a \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (۳-۱۴)$$

۳-۳-۵- آرایش مربعی^{۲۰} α

در شکل (۳-۷) می‌توانیم طرز قرار گرفتن الکتروودها را در آرایش مربعی α مشاهده کنیم.



شکل (۷-۳): آرایش مربعی α

با توجه به شکل (۷-۳) فواصل را می توانیم به صورت زیر بنویسیم :

$$r_1 = r_4 = A$$

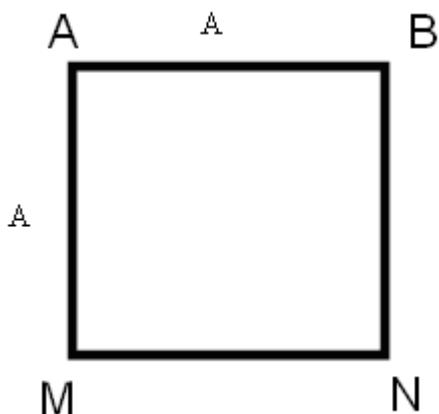
$$r_2 = r_3 = \sqrt{2}A$$

با استفاده از رابطه (۷-۱) رابطه مقاومت ویژه ظاهری به صورت زیر بدست می آید :

$$\rho_a = 2\pi A \frac{\Delta V}{I} (2 - \sqrt{2}) \quad (۱۵-۳)$$

۳-۳-۶- آرایش مربعی β

اگر در آرایش مربعی α جای B و M را با هم عوض کنیم آرایش مربعی β حاصل می شود. که در شکل (۸-۳) نشان داده شده است.



شکل (۸-۳): آرایش مربعی β

با توجه به شکل (۸-۳) فواصل را می توانیم به صورت زیر بنویسیم :

$$r_1 = r_4 = A$$

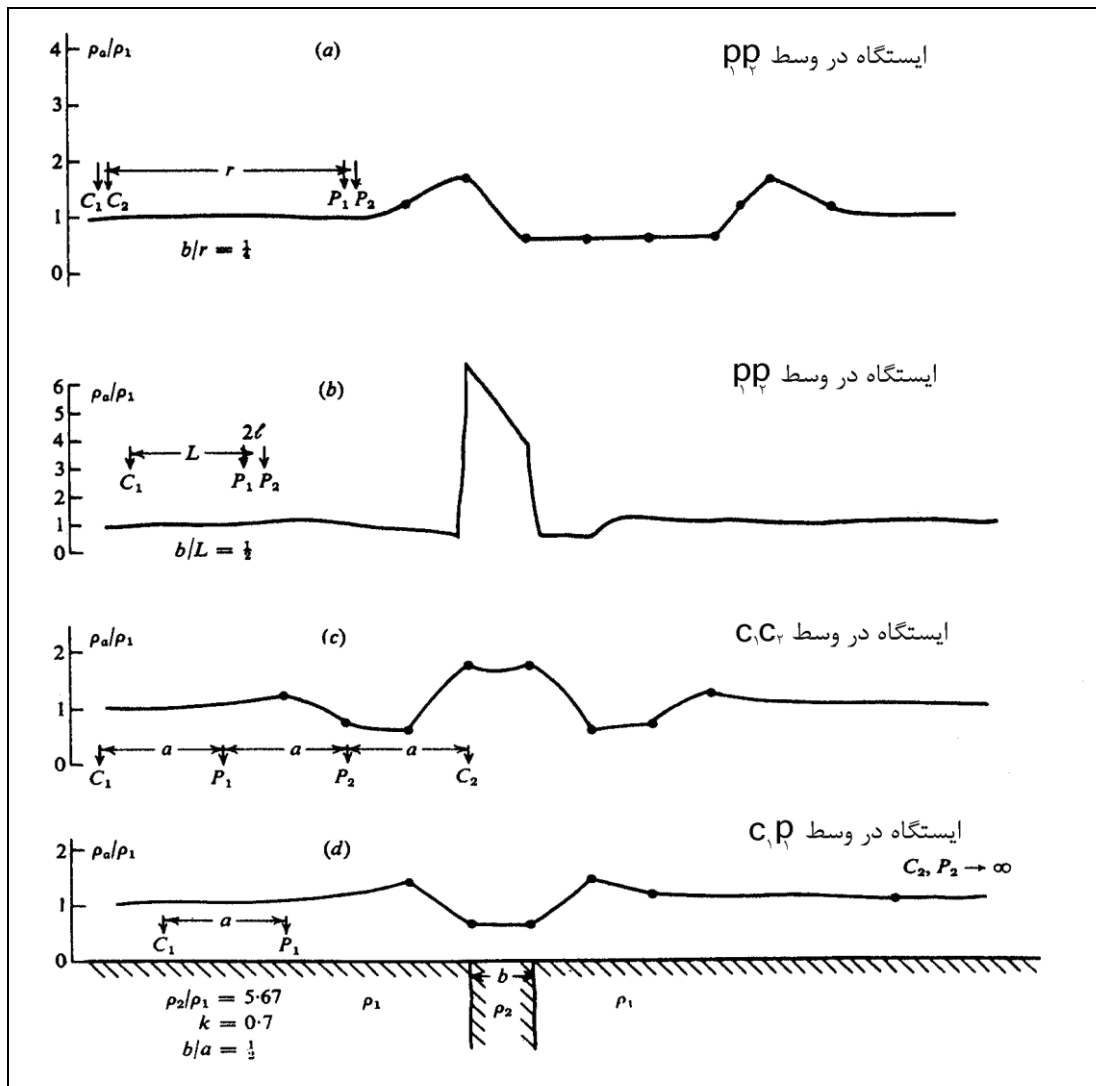
$$r_2 = r_3 = \sqrt{2}A$$

با استفاده از رابطه (۷-۱) رابطه مقاومت ویژه ظاهری به صورت زیر بدست می آید :

$$\rho_a = 2\pi A \frac{\Delta V}{I} (2 - \sqrt{2}) \quad (۱۵-۳)$$

می بینیم که فاکتور هندسی در هر دو آرایش مربعی α و β یکی می باشند.

در شکل (۹-۳) منحنی های مربوط به آرایش های مختلف که از اندازه گیری بر روی یک دایک نازک حاصل شده اند را نشان می دهد.



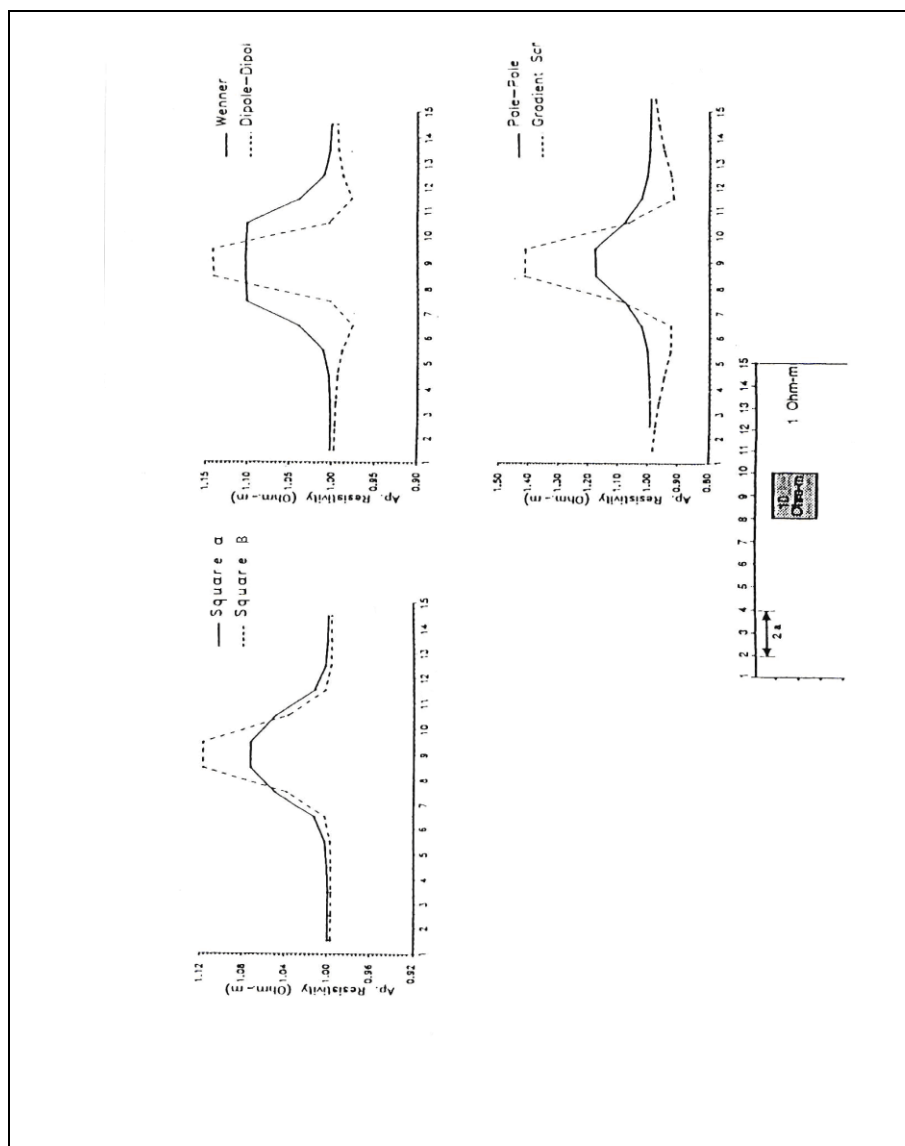
شکل (۳-۹): بررسی آرایشهای مختلف بر روی یک دایک نازک [۱۲]

در مجموع در این شکل، منحنی مربوط به آرایش نیم شلومبرژه شکل دایک را بهتر نشان می‌دهد. آرایش دوقطبی-دوقطبی دو قله را نشان می‌دهد که مربوط به دو دوقطبی جریان و پتانسیل می‌باشد [۱۲].

در مورد دیواره های مدفون مربوط به آثار باستانی، از آنجا که این دیواره ها مانند یک دایک، نامحدود نیستند ممکن است تفاوت‌های جزئی با منحنی های دایک داشته باشند اما از نظر کلی تفاوت چندانی ندارند [۱۱].

در مورد این دیواره ها بهتر است که مدلسازی نیز انجام گیرد. تسوکاس^{۲۲} در سال ۱۹۹۷ مدلهایی از آنومالی های دیواره شکل، اعم از دیواره های افقی و عمودی و مایل را با آرایشهای مختلف پروفیل زنی مدلسازی نمود که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌کنیم.

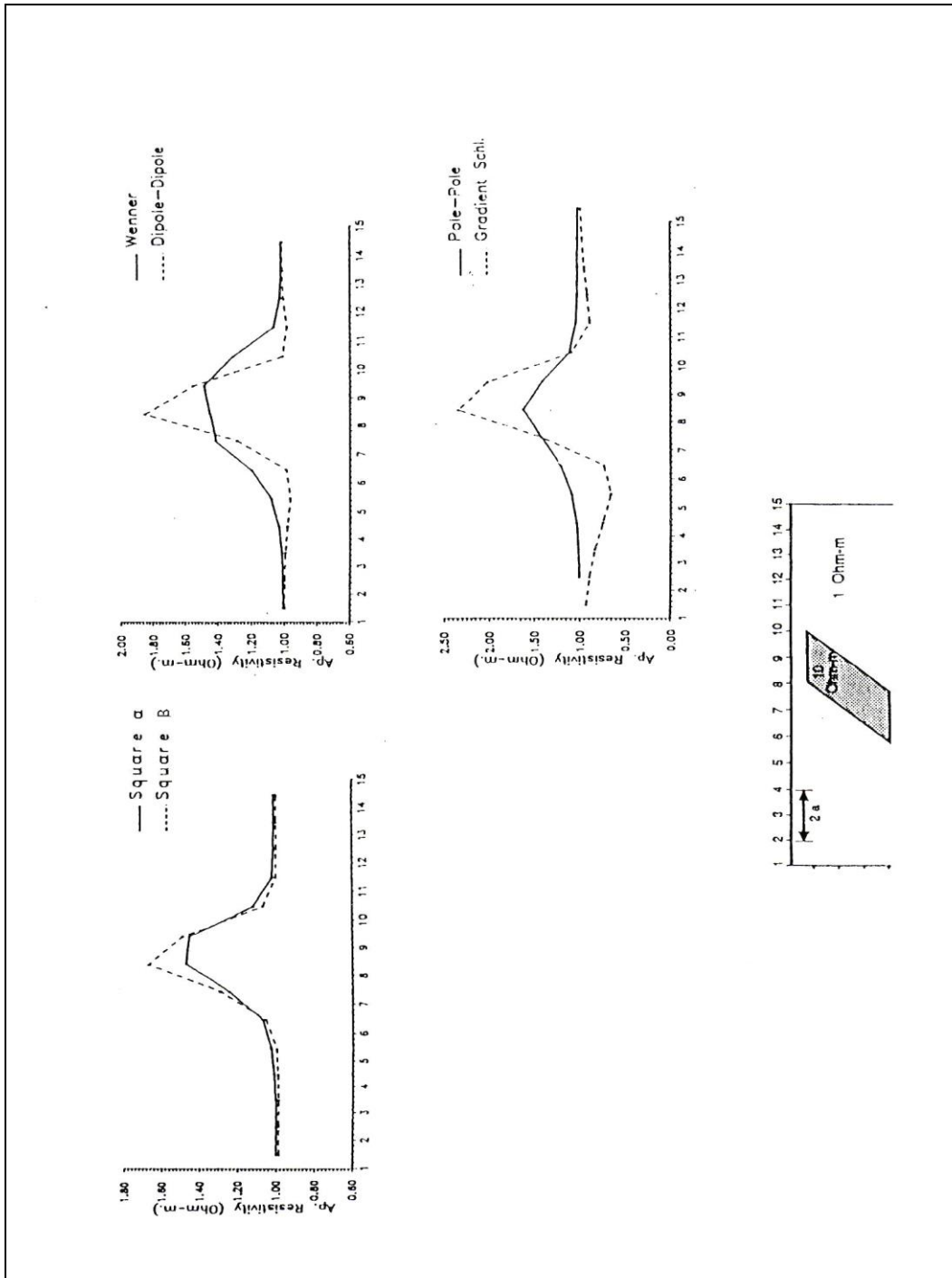
شکل (۱۰-۳) پاسخ آرایشهای مختلف پروفیل زنی را به یک آنومالی ۱۰ اهم متری در یک زمینه ۱ اهم متری نشان می دهد.



شکل (۱۰-۳): پاسخ آرایشهای مختلف به آنومالی ۱۰ اهم متری [۱۱]

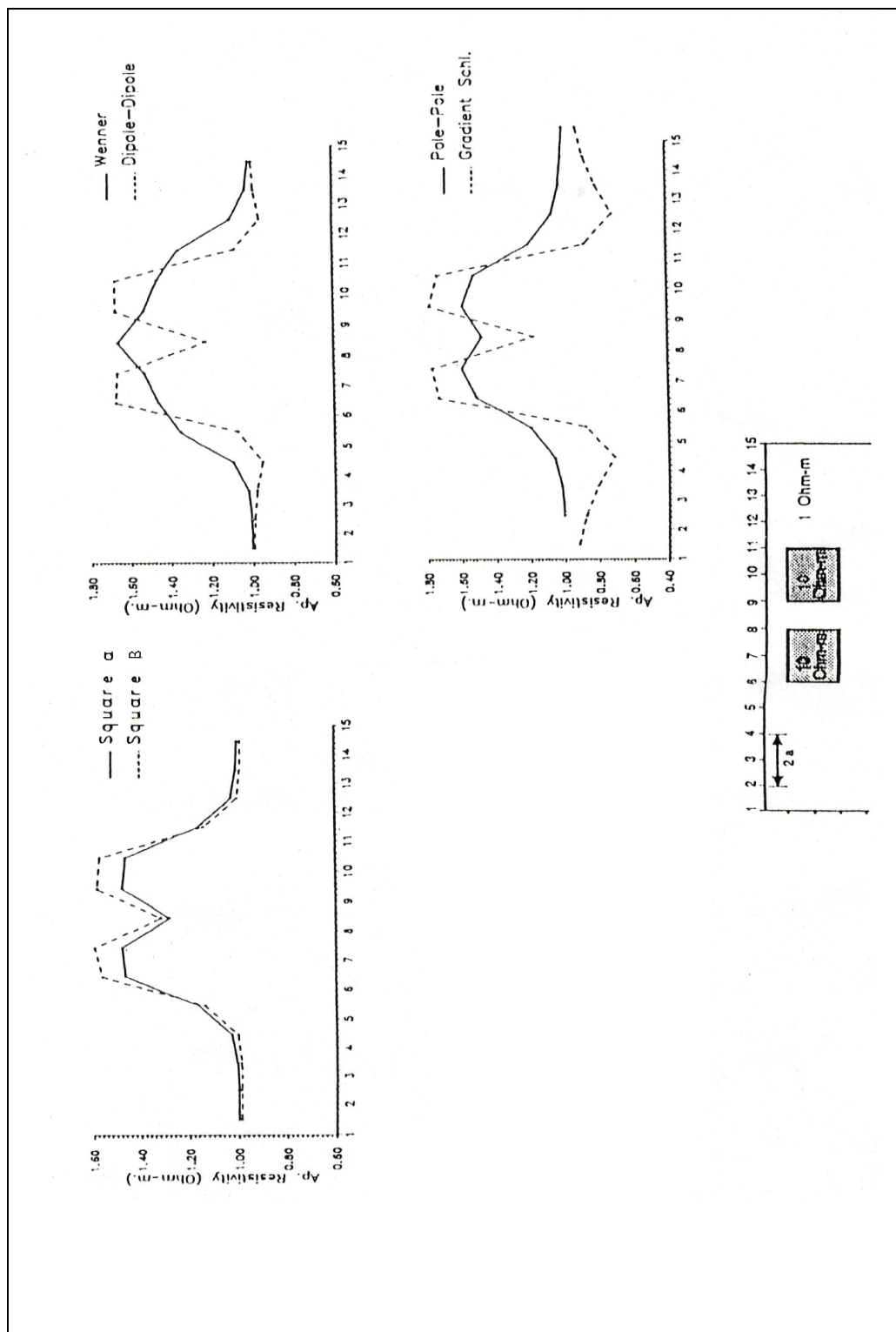
مطابق با این شکل می بینیم که آرایشهای دوقطبی-دوقطبی و مربعی پهناى دیواره را بهتر مشخص کرده است

در شکل (۱۱-۳) همین دیواره به صورت مایل مدلسازی شده است باز هم آرایشهای دوقطبی-دوقطبی و مربعی پاسخ بهتری ارائه کرده است.



شکل (۱۱-۳) پاسخ آرایشهای مختلف به یک دیواره مایل [۱۱]

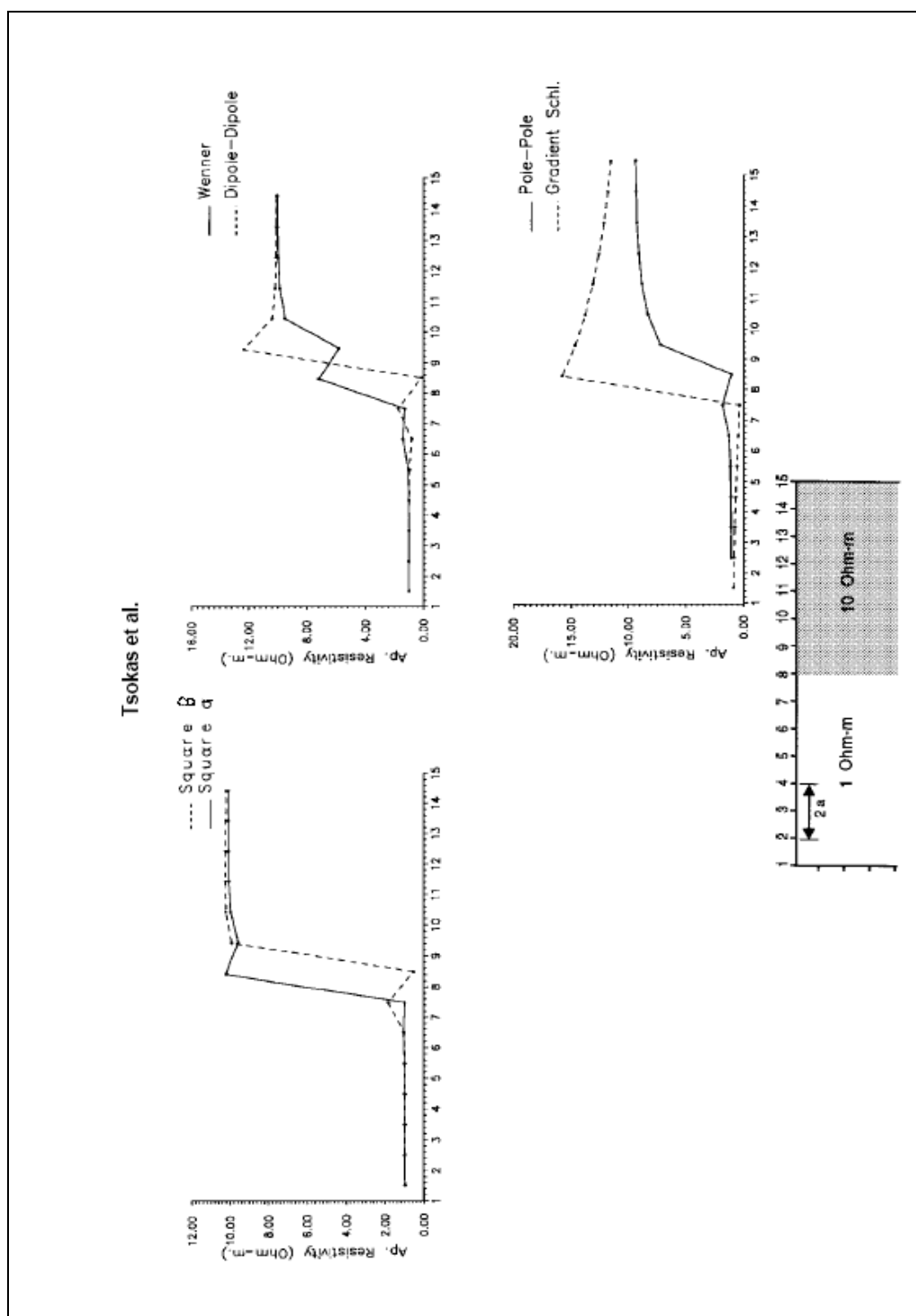
در شکل (۱۲-۳) دو آنومالی را کنار یکدیگر مشاهده می کنیم. نتایج قبلی اینجا نیز صادق است.



شکل (۳-۱۲): منحنی های دو آنومالی مجاور [۱۱]

شکل (۳-۱۳) پاسخ آرایشهای مختلف را روی یک فصل مشترک نشان می دهد.

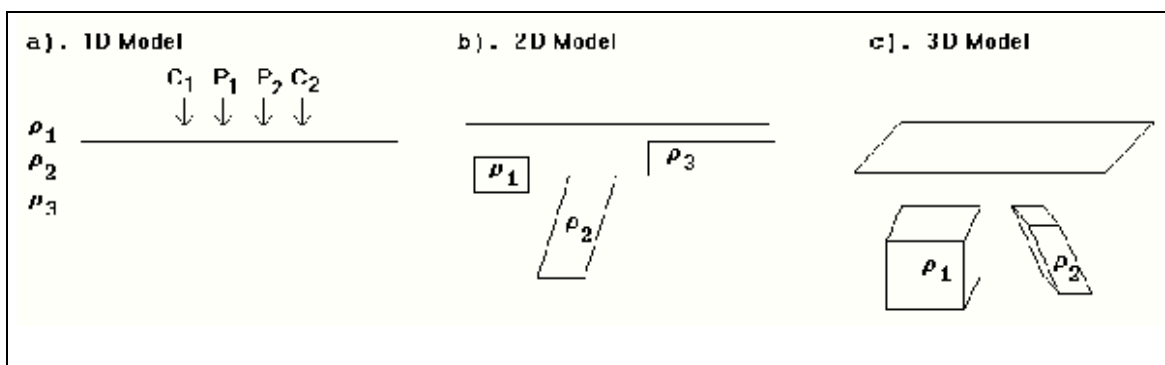
با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که آرایشهای مربعی و دوقطبی-دوقطبی بهترین جواب را ارائه می‌دهند [۱۱].



شکل (۳-۱۳): پاسخ آرایشهای مختلف به فصل مشترک [۱۱]

۳-۴- روش به تصویر کشیدن دو بعدی الکتریکی^{۲۳}

اندازه گیری های مقاومت ویژه الکتریکی به صورتهای تک بعدی ، دو بعدی و سه بعدی انجام می شود. در شکل (۳-۱۴) مدل های تک بعدی ، دو بعدی و سه بعدی را مشاهده می کنیم.



شکل (۳-۱۴): مدل های تک بعدی ، دو بعدی و سه بعدی [۱۰]

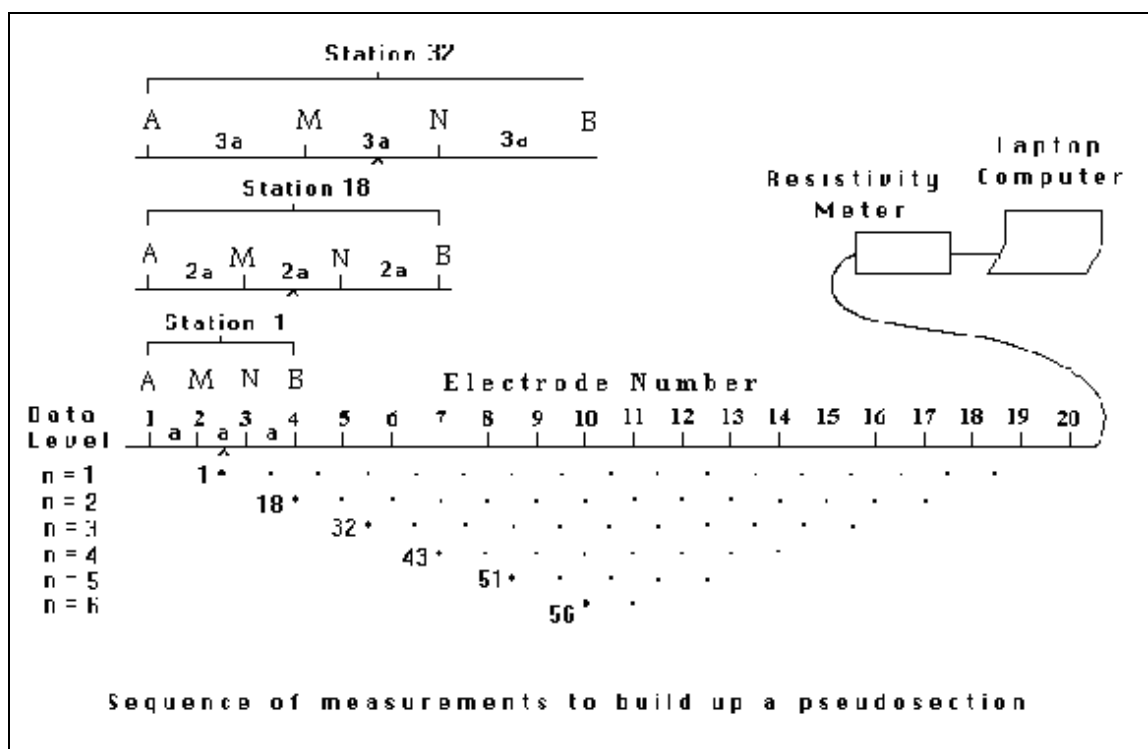
می دانیم که محدودیت اصلی در برداشت های مقاومت ویژه اثرات جانبی است. در یک مدل دو بعدی ما فرض می کنیم که تغییرات مقاومت ویژه هم به صورت عمودی و هم به صورت افقی است. اما عمود بر خط پیمایش، ما تغییر مقاومت ویژه نداریم. اگر راستای X جهت پیمایش باشد یعنی در جهت Y تغییر مقاومت ویژه نداریم. به مقطع قائم مقاومت ویژه حاصل از این اندازه گیری اصطلاحاً تصویر و یا Imaging می گویند. از نظر اقتصادی نیز برداشت های دو بعدی به صرفه تر از سه بعدی می باشد اطلاعات دریافت شده از روش دو بعدی مقاومت ویژه □ می تواند مکمل روشهای دیگر باشد، مثلاً روش لرزه نگاری در به تصویر کشیدن حفره های کوچک ، سنگها و گودالها و ضعیف است. یا روش رادار که عمق نفوذ کمی دارد. بنا براین استفاده از همه روشها توصیه می شود [۱۰].

۳-۴-۱- روش رسم شبه مقطع

برای رسم نقشه داده های دو بعدی، از روش رسم شبه مقطع استفاده می کنیم. در این حالت مکان افقی نقاط توسط مرکز الکترودها مشخص می شود، مکان عمودی مکانی است که با فاصله بین الکترودها متناسب است و برشهای قائم، تصویری از توزیع مقاومت ویژه را ارائه می دهد.

۳-۴-۲- نحوه برداشتهای صحرائی در روش به تصویر کشیدن

در روش به تصویر کشیدن از تعداد زیادی الکتروود استفاده می‌شود. در این حالت الکتروودهای چیده شده توسط کابل مادر به واحد کنترل وصل می‌شوند و بوسیله واحد کنترل بسته به اینکه از چه آرایشی استفاده کنیم اندازه گیریها انجام می‌شود. برای برداشت دو بعدی □ پوشش باید به خوبی صورت گیرد. مثلا در شکل (۱۵-۳) توموگرافی^{۲۴} آرایش تصویری ونر را با ۲۰ الکتروود مشاهده می‌کنیم.



شکل (۱۵-۳): آرایش تصویری ونر [۱۰]

در این حالت ابتدا فواصل الکتروودها a می‌باشد و از الکتروودهای ۱، ۲، ۳ و ۴ استفاده می‌شود. الکتروود ۱ به عنوان A، الکتروود ۲ به عنوان B، الکتروود ۳ به عنوان N و الکتروود ۴ به عنوان B انتخاب می‌شوند. در اندازه گیریهای بعدی الکتروودهای ۲، ۳، ۴ و ۵ استفاده می‌شوند. این حالت تا الکتروودهای ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ برای فاصله a تکرار می‌شود. سپس برای فواصل $2a$ این کار تکرار می‌شود. یعنی الکتروودهای ۱، ۳، ۵ و ۷ استفاده می‌شوند. در این حالت ۱۴ امکان اندازه گیری وجود دارد. برای فواصل $3a$ ، $4a$ ، $5a$ و ... این کار تکرار می‌شود و هر چه فواصل بیشتر می‌شود تعداد اندازه گیریها کمتر می‌شود.

روش ونر در مقایسه با روشهای دیگر کمترین اندازه گیریها را دارد. در حالت دو قطبی - دوقطبی اندازه گیریهای با فاصله $1a$ بین A و B و بین M و N شروع می‌شود. ابتدا فاکتور n (نسبت فاصله بین دو دوقطبی

به فاصله بین هر کدام از دوقطبی ها) را ۱ فرض می‌کنیم و سپس فاکتور n را تا عدد ۶ زیاد می‌کنیم و سپس کار را برای ۲a ، ۳a و انجام می‌دهیم [۱۰].

۳-۴-۳- برنامه مدلسازی مستقیم

برنامه Res2DmoD برنامه ای است که برای روشهای دو بعدی به کار می‌رود. در این برنامه زیر سطح زمین به سلولهای مستطیل شکل تقسیم می‌شود و برای هر سلول مقاومت ویژه معینی نسبت داده می‌شود و یک شبه مقطع قائم مقاومت ویژه از زیر سطح زمین بدست می‌آید. این برنامه همچنین به مفسر این امکان را می‌دهد که از آرایش دلخواه استفاده نماید. آرایشهای مورد استفاده در این برنامه عبارتند از ونر α ، ونر β ، ونر-شلومبرژه، قطبی-قطبی، دو قطبی-دو قطبی ، ... هر کدام از این آرایشها فواید و معایبی دارند. این برنامه با توجه به عمق نفوذ و قدرت تفکیک □ بهترین آرایش را پیشنهاد می‌کند [۱۰].

۳-۴-۴- آرایشهای مختلف در روش به تصویر کشیدن

انتخاب بهترین آرایش برای اندازه گیری به وضعیت نمونه ساختارهای زیر سطح زمین □ میزان حساسیت دستگاه اندازه گیری مقاومت ویژه و سطح نوفه زمینه بستگی دارد. از میان ویژگیهای یک آرایه که باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

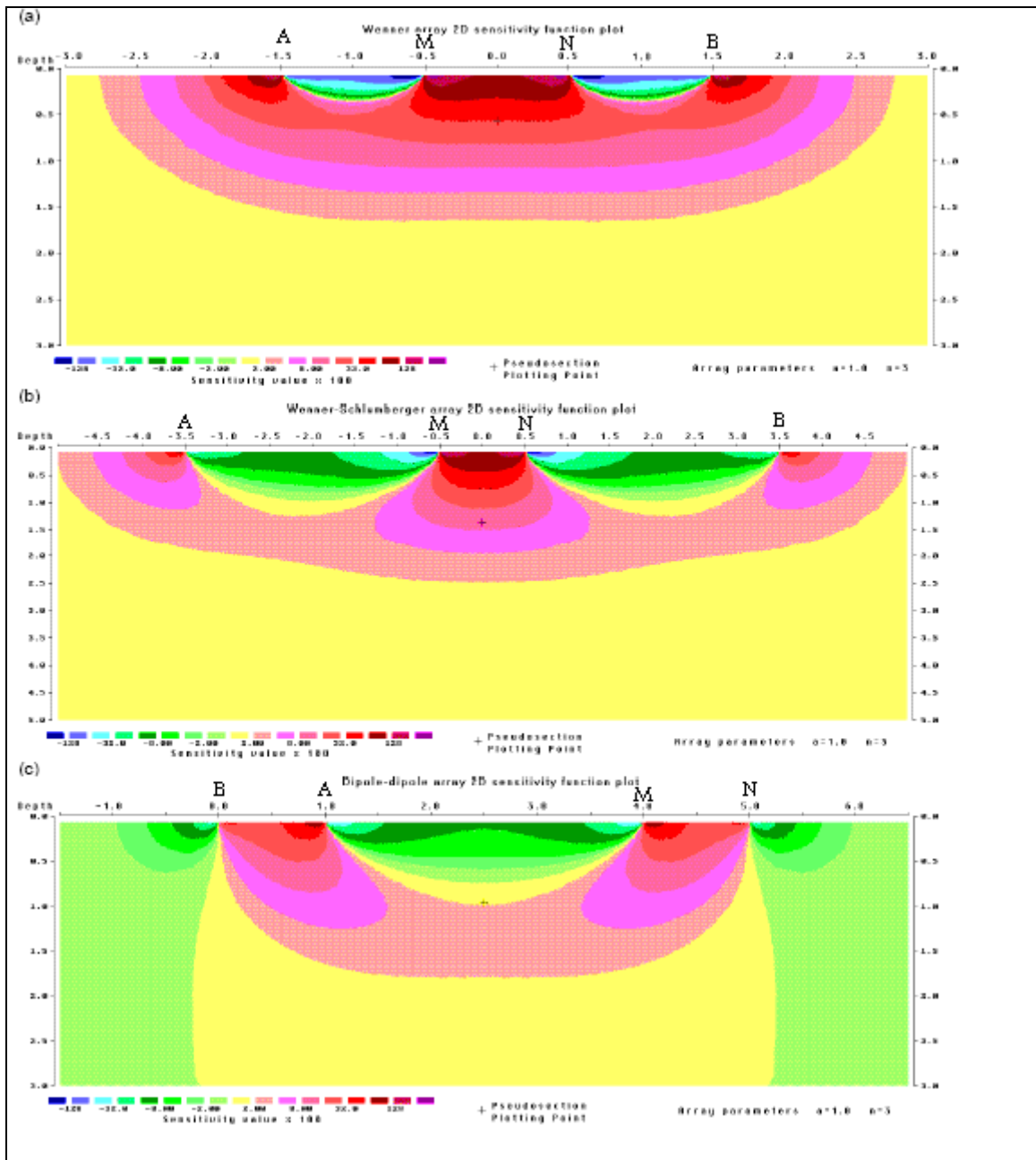
۱- حساسیت آرایه به تغییرات عمودی و افقی مقاومت ویژه سنگها در زیر سطح زمین

۲- عمق بررسی

۳- پوشش افقی داده ها

۴- قدرت سیگنال

برای آرایشهای مختلف □ مقاطع قائم مختلفی بدست می‌آیند. در شکل (۳-۱۶) میزان حساسیت آرایشهای ونر، ونر-شلومبرژه و دوقطبی-دوقطبی با هم مقایسه شده اند. برای هر سه آرایش بیشترین مقدار حساسیت نزدیک الکترودهاست □ در فاصله بیشتری از الکترودها □ شکل خطوط برای آرایش های مختلف متفاوت است. تفاوت در شکل خطوط در نقشه های مقاومت ویژه به توضیح پاسخ آرایه های مختلف برای نمونه ساختارهای مختلف کمک می‌کند [۱۰].



شکل (۱۶-۳) مقایسه میزان حساسیت در آرایشهای ونر □ ونر-شلومبرژه و دوقطبی-دوقطبی [۱۰]

آرایشهایی که عمدتاً در روش به تصویر کشیدن به کار می‌روند عبارتند از: ونر $\alpha^{۲۵}$ ، ونر $\beta^{۲۶}$ ، ونر - شلومبرژه $\gamma^{۲۷}$ ، قطبی-قطبی، دوقطبی-دوقطبی و قطبی-دوقطبی $\delta^{۲۸}$ که در زیر توضیح داده می‌شوند.

-
- 1-Wenner α
 - 2-Wenner β
 - 3-Wenner-Schlumberger
 - 4-Pole-dipole

در جدول (۱-۳) عمق نفوذ آرایشهای مختلف آورده شده است. با استفاده از این جدول بیشترین عمق نفوذ مربوط به هر آرایش را می‌یابیم [۱۰].

جدول (۱-۳) : مقایسه عمق نفوذ آرایشهای مختلف [۱۰]

Array type	z_e/a	z_e/L	Geometric Factor
Wenner Alpha	0.519	0.173	6.2832
Wenner Beta	0.416	0.139	18.850
Wenner Gamma	0.594	0.198	9.4248
Dipole-dipole			
n = 1	0.416	0.139	18.850
n = 2	0.697	0.174	75.398
n = 3	0.962	0.192	188.50
n = 4	1.220	0.203	376.99
n = 5	1.476	0.211	659.73
n = 6	1.730	0.216	1055.6
n = 7	1.983	0.220	1583.4
n = 8	2.236	0.224	2261.9
Equatorial dipole-dipole			
n = 1	0.451	0.319	21.452
n = 2	0.809	0.362	119.03
n = 3	1.180	0.373	367.31
n = 4	1.556	0.377	841.75
Wenner - Schlumberger			
n = 1	0.519	0.173	6.2832
n = 2	0.925	0.186	18.850
n = 3	1.318	0.189	37.699
n = 4	1.706	0.190	62.832
n = 5	2.093	0.190	94.248
n = 6	2.478	0.191	131.95
n = 7	2.863	0.191	175.93
n = 8	3.247	0.191	226.19
n = 9	3.632	0.191	282.74
n = 10	4.015	0.191	345.58
Pole-dipole			
n = 1	0.519		12.566
n = 2	0.925		37.699
n = 3	1.318		75.398
n = 4	1.706		125.66
n = 5	2.093		188.50
n = 6	2.478		263.89
n = 7	2.863		351.86
n = 8	3.247		452.39
Pole-Pole	0.867		6.28319

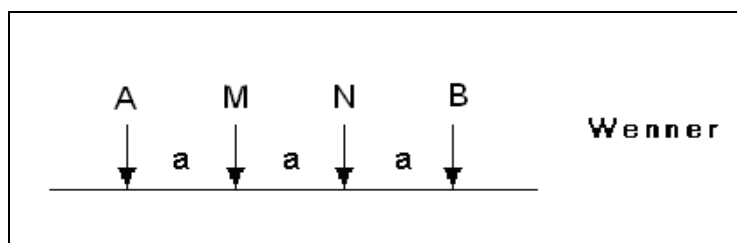
در این جدول z_e عمق نفوذ موثر، L فاصله دو الکتروود جریان و a فاصله دو الکتروود پتانسیل است. اگر ماکزیمم فاصله الکتروودی a برای آرایش ونر آلفا برابر ۱۰۰ متر باشد به عبارت دیگر ماکزیمم مقدار L برابر با ۳۰۰ متر باشد در نتیجه با توجه به فاکتور z_e/a یا فاکتور z_e/L ، ماکزیمم عمق نفوذ در حدود ۵۱ متر خواهد بود. اما برای آرایش های دوقطبی-دوقطبی، قطبی-دوقطبی و ونر-شلومبرژه فاکتور n نیز باید در

نظر بگیریم. برای مثال در آرایش دوقطبی-دوقطبی اگر ماکزیمم مقدار a برابر ۱۰ متر باشد و ماکزیمم مقدار n نیز ۶ باشد، ماکزیمم مقدار L برابر ۸۰ می باشد بنابراین ماکزیمم عمق نفوذ برابر است با:
 $80 \times 2.16 = 171$ می باشد [۱۰].

۳-۵- روش به تصویر کشیدن در حالت دو بعدی

۳-۵-۱- آرایش وئر دو بعدی

این آرایش جزء آرایشهایی است که در اندازه گیری های دو بعدی بسیار به کار می رود و برای کارهای سونداژ الکتریکی عمودی^{۲۹} بسیار مناسب است اما در سونداژ الکتریکی افقی^{۳۰} ضعیف عمل می کند. آرایش وئر بطور نسبی به تغییرات عمودی مقاومت ویژه زیر سطحی حساس است یعنی نسبت به ساختار های افقی جواب خوبی می دهد □ اما در اکتشاف تغییرات افقی □ یعنی ساختار های عمودی نازک جواب خوبی نمی دهد. با توجه به جدول (۳-۱) برای آرایش وئر □ عمق میانگین یا موثر^{۳۱} بررسی در حدود ۰.۵ برابر فاصله a است. قدرت سیگنال^{۳۲} با عکس فاکتور هندسی^{۳۳} □ $a 2\pi$ متناسب است با توجه به شکل (۳-۱۷) این فاکتور از فاکتور هندسی دیگر آرایه ها کوچکتر است.



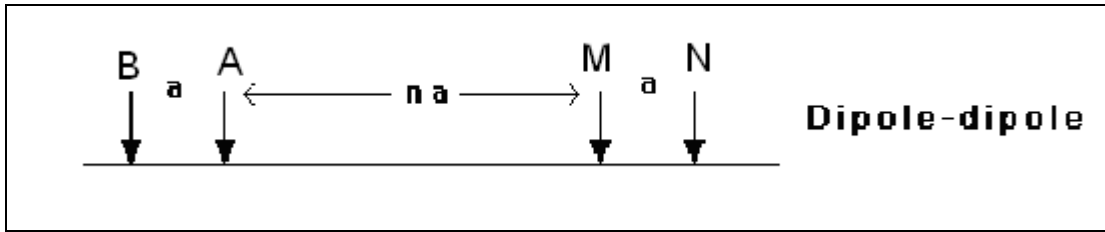
شکل (۳-۱۷): آرایش وئر [۱۰]

از نظر عمق موثر در بین این آرایشها متوسط است □ چون فاکتور هندسی مذکور کوچک است سیگنالهای قوی به زمین می فرستد بنابراین □ این آرایش در مناطقی که نوفه فراوان است بسیار به کار می رود [۱۰].

۳-۵-۲- آرایش دوقطبی-دوقطبی دو بعدی

صورت کلی این آرایش به صورت زیر است.

-
- 1- Vertical Electrical Sounding
 - 2-Horizontal Electrical Sounding
 - 3-Depth of investigation
 - 4-Signal strength
 - 5-Geometric factor



شکل (۳-۱۸): آرایش دوقطبی-دوقطبی [۱۰]

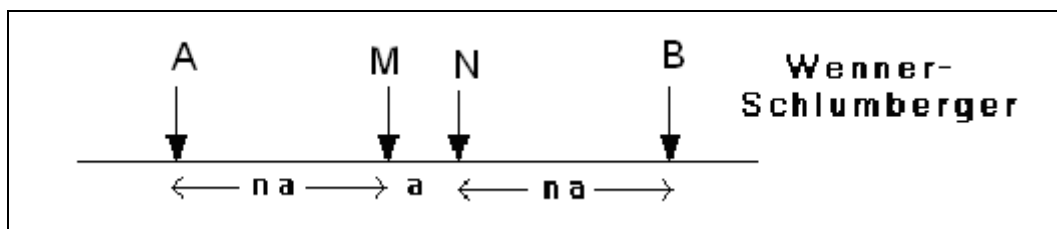
در کار کردن با این آرایش a ثابت می‌ماند و n از ۱ تا ۶ افزایش می‌یابد این آرایش نسبت به تغییرات افقی حساس است. بنا براین در ساختارهای عمودی بسیار خوب پاسخ می‌دهد (مانند سدها، دیواره های باستانی ، ...). ضعف این آرایش کم بودن سیگنالهای آن است و یک راه غلبه بر این مشکل زیاد کردن a می‌باشد. بنابراین اگر تفکیک پذیری افقی و پوشش داده ها برای ما مهم باشد و دستگاه مقاومت ویژه به اندازه کافی حساس باشد از این آرایش استفاده می‌کنیم [۱۰].

۳-۵-۳- آرایش ونر-شلومبرژه دو بعدی

این آرایش ترکیب دو آرایش ونر و شلومبرژه است. این آرایش هم به تغییرات افقی و هم به تغییرات عمودی حساس است. در حالت $n = 1$ به آرایش ونر تبدیل می‌شود. فاکتور n برای این آرایش \square نسبت فاصله A س M به MN می‌باشد.

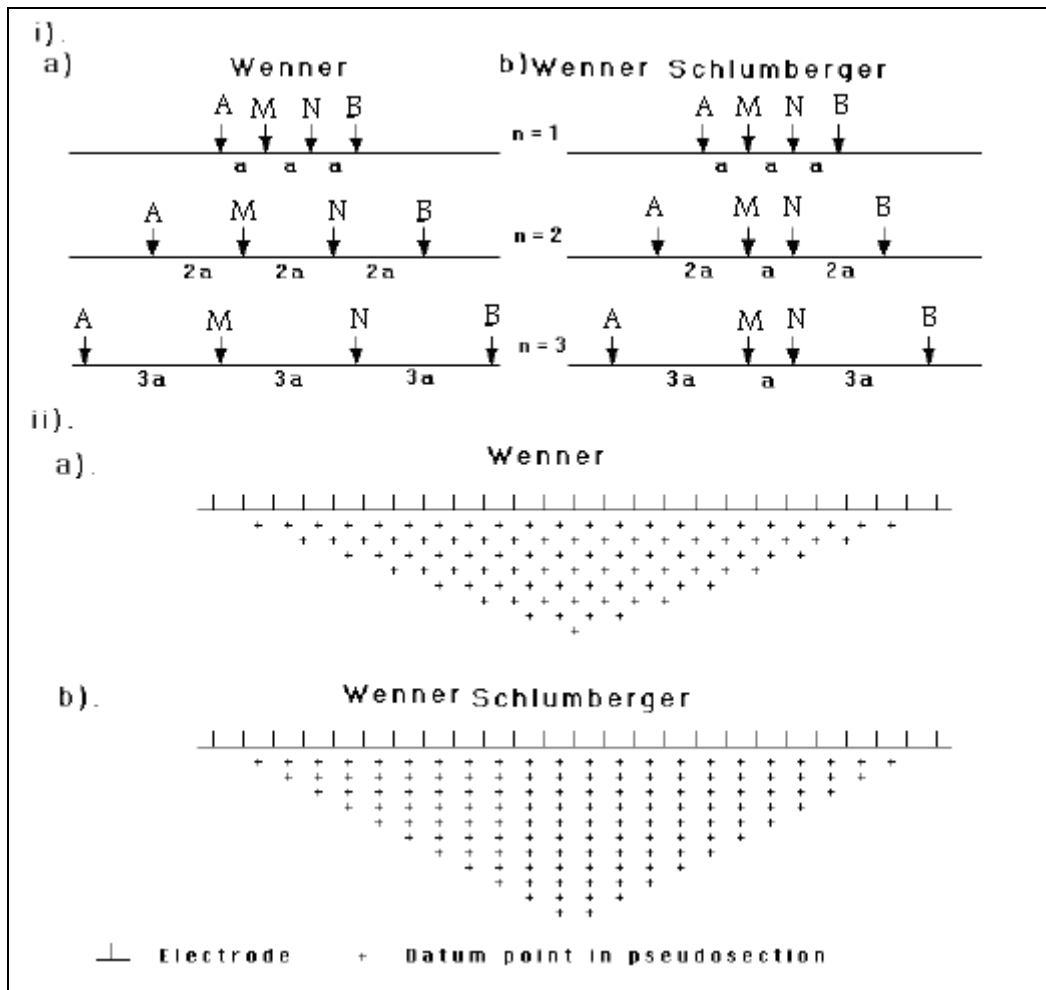
در ناحیه هایی که هر دو نمونه ساختارهای زمین شناسی وجود دارد (هم ساختارهای افقی و هم عمودی) این آرایش نسبت به آرایش ونر و دو قطبی-دو قطبی بهتر جواب می‌دهد.

برای فاصله یکسان AB برای دو آرایش ونر و ونر-شلومبرژه \square عمق موثر بررسی برای آرایش ونر-شلومبرژه 10% بزرگتر از آرایش ونر است و پوشش افقی بهتری نسبت به آرایش ونر دارد شکل (۳-۱۶) ولی پوشش افقی آن از آرایش دو قطبی-دو قطبی کمتر است [۱۰].



شکل (۳-۱۹): آرایش ونر-شلومبرژه [۱۰]

در شکل (۳-۲۰) نحوه توزیع الکترودها در دو آرایش ونر و ونر-شلومبرژه نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۰) مقایسه شبه مقاطع در آرایشهای ونر، ونر-شلومبرژه [۱۰]

۳-۵-۴- آرایش قطبی-قطبی دو بعدی

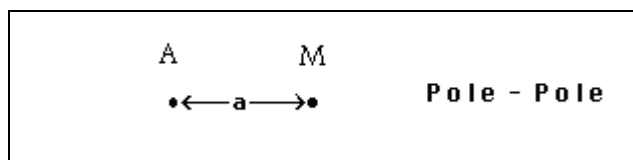
این آرایش مانند دیگر آرایشها معمول نیست. الکترودهای B و N در فاصله ۲۰ برابر فاصله AB قرار می‌گیرد شکل (۳-۲۱) و (۳-۲۲).

همانطور که در شکل (۳-۲۴) نشان داده شده است □ این آرایش بیشترین پوشش افقی^{۳۴} و عمق نفوذ بالایی دارد ولی قدرت تفکیکی آن بسیار پایین است. به دلیل فاصله بزرگ بین الکترودهای M و N

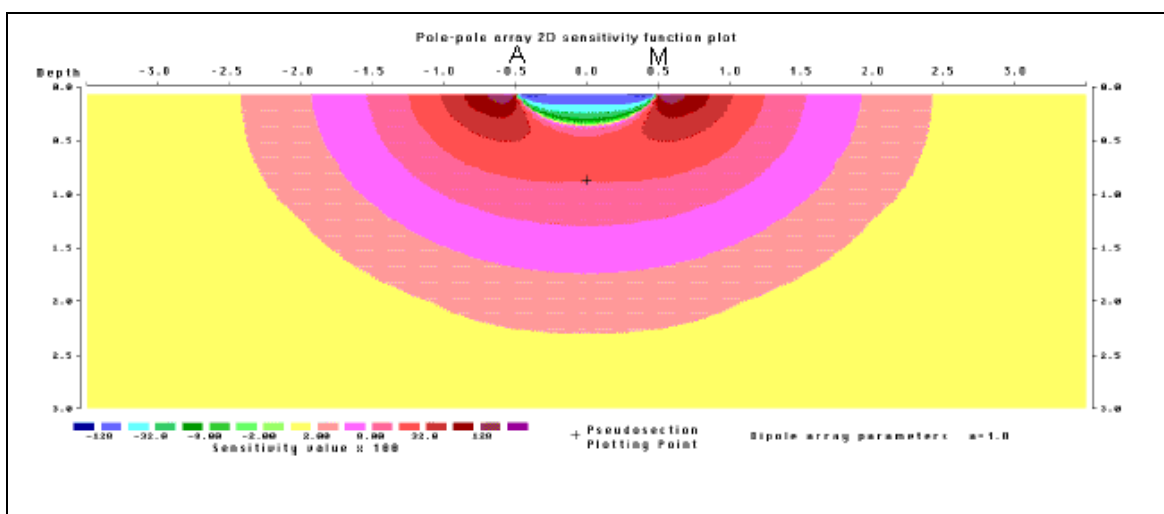
در این آرایش □ نوفه‌های تلوریک^{۳۵} باعث کاهش کیفیت داده‌های اندازه‌گیری می‌شود.

1-Horizontal coverage
2-Telluric

بنابراین □ این آرایش بیشتر در جاههایی که فاصله الکترودی نسبتاً کوچک است (کمتر از ۱۰) □ کاربرد مهمی دارد. یکی از کاربردهای مهم این آرایش در باستان شناسی است بنابراین فاصله الکترودها را کوچک انتخاب می‌کنیم [۱۰].



شکل (۳-۲۱) آرایش قطبی-قطبی [۱۰]



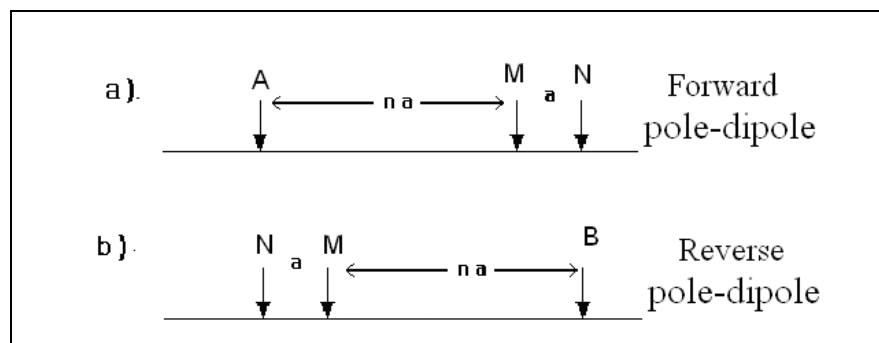
شکل (۳-۲۲) میزان حساسیت در آرایش قطبی-قطبی [۱۰]

۳-۵-۵- آرایش قطبی-دوقطبی دو بعدی

در این آرایش یکی از الکترودهای جریان در فاصله ای دور (بینهایت) نسبت به سه الکتروود دیگر قرار می‌گیرد. اصولاً در کارهای صحرایی، الکتروود بینهایت را عمود بر سه الکتروود دیگر که بر روی یک خط قرار دارند در نظر می‌گیرند. این آرایش پوشش افقی خوبی دارد و بر خلاف آرایشهای دیگر یک آرایش نامتقارن^{۳۶} است (شکل ۳-۲۳).

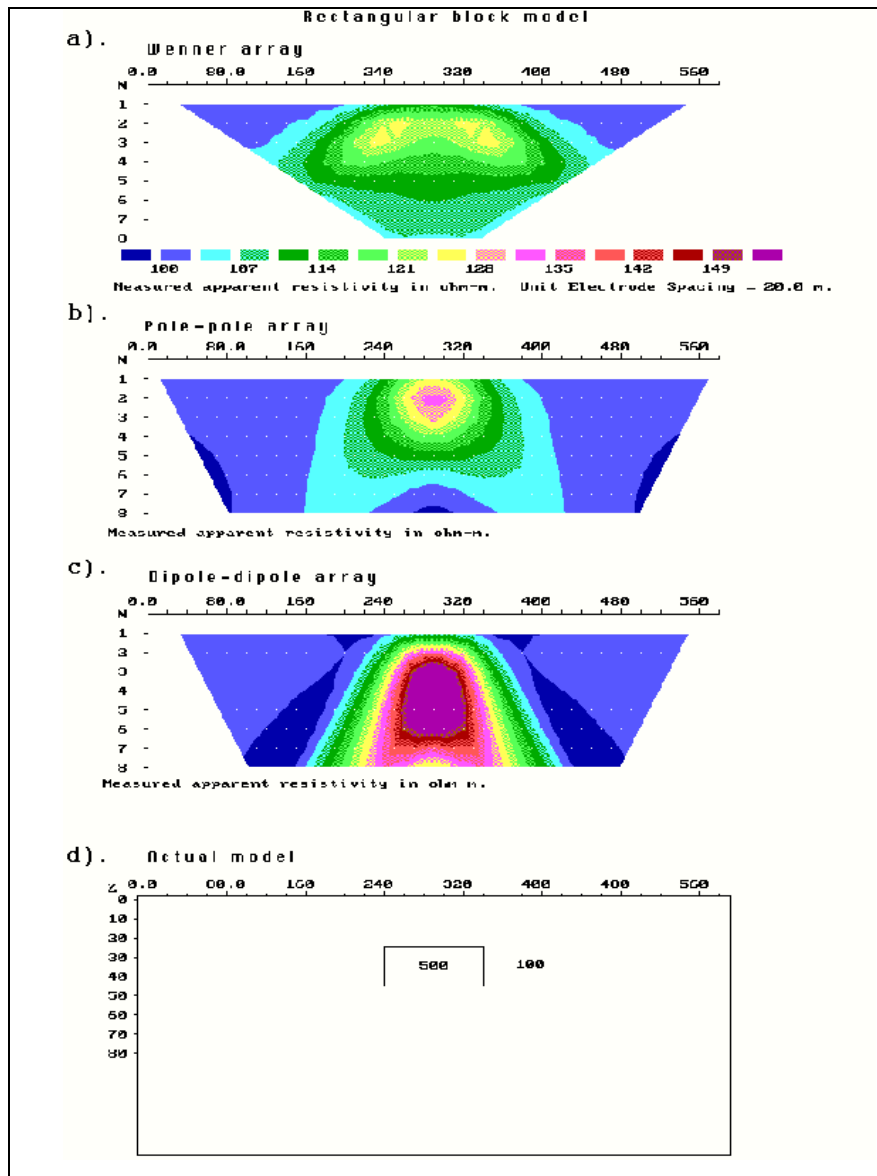
این آرایش در مقایسه با ونر و شلومبرژه □ نسبت سیگنال به نوفه کمی دارد اما نسبت به آرایش دوقطبی-دوقطبی قدرت سیگنال بیشتری دارد و نیز نسبت به آرایش قطبی-قطبی □ نسبت به نوفه های تلوریک حساسیت^{۳۷} کمتری دارد. این آرایش در روی ساختارهای زمین شناسی متقارن □ آنومالیهای مقاومت ویژه ظاهری را در شبه مقطع قائم^{۳۸} بصورت غیر متقارن نشان می دهد. عدم تقارن در مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده، ممکن است هنگام استفاده از مدلسازی سازی معکوس □ مدل نا درستی را برای ما مدلسازی کند. بمنظور به حداقل رساندن این عدم تقارن □ اندازه گیریها با الکترودهای چیده شده در جهت معکوس تکرار می شوند که در فصل چهارم بطور کامل شرح داده شده است (شکل ۳-۲۳ب).

بوسیله ترکیب اندازه گیری مستقیم و معکوس آرایش قطبی-دوقطبی^{۳۸} □ عدم تقارن در مدل بدست آمده از بین می رود. توصیه می شود در این آرایش فاکتور n را بزرگتر از ۱۰-۸ انتخاب نشود، زیرا قدرت سیگنال برای آرایش مذکور با افزایش n کاهش می یابد □ ضمناً همزمان با افزایش فاصله AM □ فاصله بین الکترودهای MN نیز باید جهت افزایش نسبت سیگنال به نوفه افزایش یابد. [۱۰]



شکل (۳-۲۳): آرایش قطبی-دوقطبی [۱۰]

در شکل (۳-۲۴) آرایشهای مختلف بر روی یک مدل واقعی بررسی شده است و مقاطع تصویری حاصله از هر آرایش نشان داده شده اند. این مقاطع به عنوان یک راهنما در تفاسیر کمی به کار می روند. آرایش دوقطبی-دوقطبی آنومالی، ۵۰۰ اهم متری را بهتر نشان می دهد و قدرت تفکیک پذیری بهتری نسبت به دو آرایش دیگر دارد. نکته دیگری که در این شکل، قابل مشاهده است اینست که پوشش افقی آرایش قطبی-قطبی نسبت به آرایش دوقطبی-دوقطبی بهتر است و نیز پوشش افقی آرایش ونر نسبت به دو آرایش دیگر خیلی پایین تر است [۱۰].



شکل (۳-۲۴): مقاطع تصویری حاصل از آرایش های ونر ، قطبی-قطبی و دوقطبی-دوقطبی

بر روی یک مدل واقعی [۱۰]

۳-۶- روش به تصویر کشیدن سه بعدی^{۳۹}

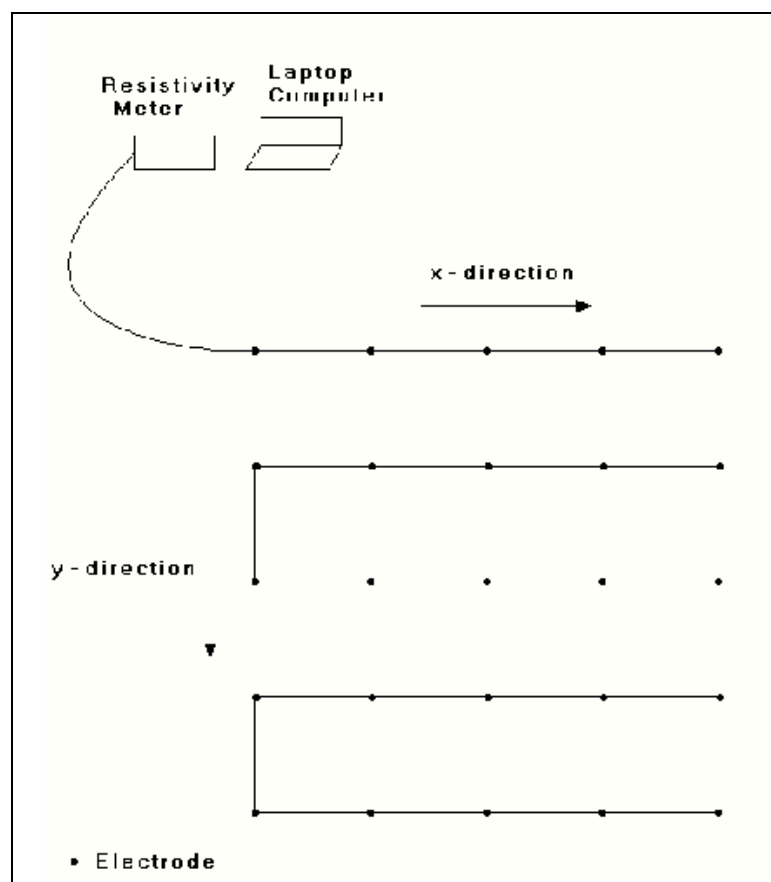
از آنجا که در طبیعت ساختارهای زمین شناسی سه بعدی هستند استفاده از مدل سه بعدی، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. در حال حاضر برداشت های سه بعدی از کارهای فعال تحقیقی محسوب می‌شوند. اما به هر حال تعداد آنها به حد و اندازه های برداشت های دو بعدی نرسیده اند. برداشت های سه بعدی از نظر هزینه بسیار هزینه برتر از دو بعدی هستند □ مخصوصاً اگر منطقه بسیار بزرگ باشد. در آینده نزدیک به دو دلیل،

برداشت های سه بعدی کاربرد بیشتری پیدا خواهند کرد. اول اینکه بخاطر دستگاههای چند کاناله \square^{40} که قادرند در یک لحظه بیش از چند داده را ثبت کنند که این مسئله مهمی در کاهش زمان برداشت است. دلیل دوم وجود میکرو کامپیوترهایی هستند که قادرند داده های خیلی زیادی را در زمان مناسبی معکوس سازی کنند.

آرایش های قطبی-قطبی، دو قطبی-دو قطبی، دو قطبی \square آرایشهایی هستند که عمدتاً در روش به تصویر کشیدن سه بعدی بکار گرفته می شوند که در زیر توضیح داده می شوند [۱۰]:

۳-۶-۱- آرایش قطبی-قطبی سه بعدی

شکل (۳-۲۵) بکارگیری آرایش قطبی-قطبی را در روش به تصویر کشیدن سه بعدی با ۲۵ الکتروود نشان می دهد. الکتروودها معمولاً در شبکه های مربع شکل چیده می شوند (با فاصله الکتروودی ثابت مشابه در جهت X و Y).

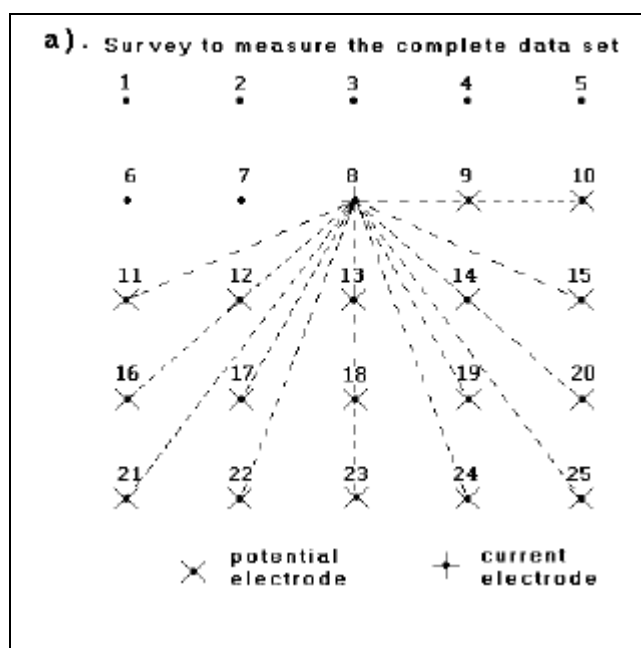


شکل (۳-۲۵): بکارگیری آرایش قطبی-قطبی در روش به تصویر کشیدن سه بعدی [10]

اگر n_{\max} بیشترین اندازه گیری باشد و n_e تعداد الکترودهای چیده شده در این آرایش باشد رابطه زیر بین آنها برقرار است:

$$n_{\max} = n_e(n_e - 1)/2 \quad (۳-۱۶)$$

در این حالت هر الکتروده می تواند به عنوان الکتروده جریان ، انتخاب شود و الکترودهای بعدی به عنوان الکترودهای پتانسیل انتخاب گردند. به خاطر خاصیت جابجایی الکترودها □ هر الکترودی که به عنوان الکتروده جریان انتخاب شده، الکترودهای بعد از آن به عنوان الکترودهای پتانسیل انتخاب می شود. این وضعیت در شکل (۳-۲۶) نشان داده شده است.

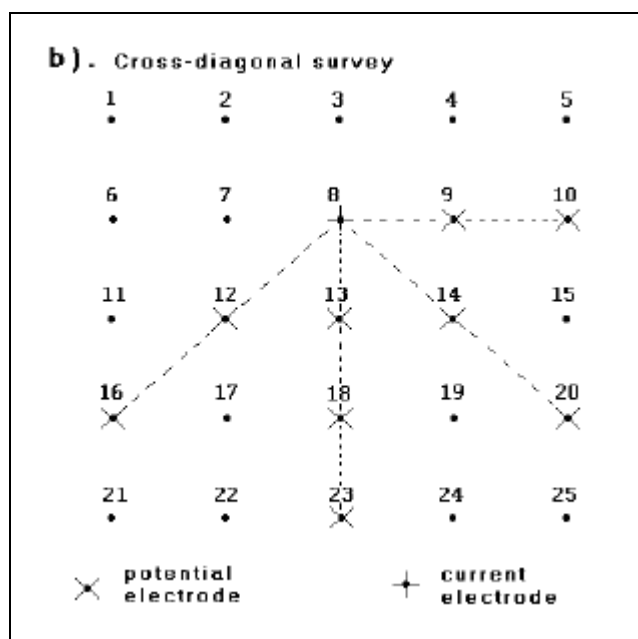


شکل (۳-۲۶): استقرار الکترودهای پتانسیل در بکارگیری

آرایش قطبی-قطبی در روش به تصویر کشیدن سه بعدی [۱۰]

از این شکل دیده می شود که تعداد اندازه گیریها بسیار زیاد می شود و وقت زیادی صرف خواهد شد. برای کاهش تعداد اندازه گیریها □ بدون لطمه زدن به اصل کار □ یک سری اندازه گیریهای رشته ای انجام می

شود که به اندازه گیریهای قطری متقاطع^{۴۱} مشهور هستند. این اندازه گیریها در شکل (۳-۲۷) نشان داده شده‌اند. در این حالت الکترودهایی که در راستای x و y در یک طرف و در راستای زاویه ۴۵ درجه قرار دارد به عنوان الکتروود پتانسیل انتخاب می‌شود. در این حالت □ اندازه گیریها به ۰/۳۳ حالت قبل کاهش می‌یابد. مثلاً در حالت قبلی در یک شبکه ۴۹ الکتروودی با ۷ الکتروود جریان □ ۱۱۷۶ اندازه گیری انجام می‌شود □ اما در شبکه جدید با ۷ الکتروود جریان □ ۴۷۶ اندازه گیری انجام می‌شود که تقریباً ۱/۳ داده های قبلی است [۱۰].



شکل (۳-۲۷): استقرار الکتروود جریان نسبت به الکتروودهای پتانسیل در بکارگیری

آرایش قطبی-قطبی قطری متقاطع در روش به تصویر کشیدن سه بعدی [۱۰]

آرایش قطبی-قطبی دو ضعف دارد. اول اینکه، قدرت تفکیک آن نسبت به آرایشهای دیگر □ پایین است. در انجام کار صحرائی برای مکان هایی که فاصله الکتروودها در طول خطوط اندازه گیری بیشتر از چند متر باشد □ پیدا کردن محل مناسب برای الکتروودهای B و N یک مشکل می‌باشد. دوم اینکه، به دلیل فاصله زیاد الکتروود های M و N، نوفه های تلوریک کیفیت داده ها را کاهش می‌دهند. بنابراین باید فاصله این الکتروود ها را نسبتاً کم انتخاب کنیم (کمتر از ۱۰). این آرایش در باستان شناسی بسیار کاربرد دارد [۱۰].

۳-۶-۲- آرایش قطبی-دو قطبی سه بعدی

این آرایش نسبت به آرایش قطبی-قطبی قدرت تفکیک بیشتری دارد و کمتر به نوفه های تلوریک حساس است. اگر چه در این آرایش نیز B در ∞ است اما اثر آن روی اندازه گیری بسیار کم است. برای اینکه این آرایش بطور متقارن انجام شود اندازه گیری هم به طور مستقیم و هم معکوس صورت می گیرد. برای دستیابی به عمق بیشتر و غلبه بر کم شدن قدرت سیگنال در n های بزرگ فاصله a را زیاد می کنیم. از این آرایش برای مناطقی که خیلی وسیع نباشد □ مثلا برای شبکه بندی های مربعی شکل با اضلاع 12×12 استفاده می شود [۱۰].

۳-۶-۳- آرایش دوقطبی-دوقطبی سه بعدی

در این آرایش شبکه بندی مربع ها باید از 12×12 بزرگتر باشند زیرا این آرایش در پوشش افقی ضعیف است □ به عبارت دیگر نسبت به دو آرایش فوق الذکر برای شرایط یکسان در طی یک عملیات صحرائی □ از منطقه کوچکتري شبه مقطع قائم رسم می کند. در اینجا نیز برای دستیابی به عمق بیشتر و غلبه بر مشکل کم شدن سیگنال باید همزمان با افزایش فاصله بین دو قطبی ها، فاصله بین هر یک از دوقطبی های AB و MN را نیز افزایش دهیم [۱۰].

۳-۶-۴- مقایسه آرایشهای مختلف برای برداشت های سه بعدی

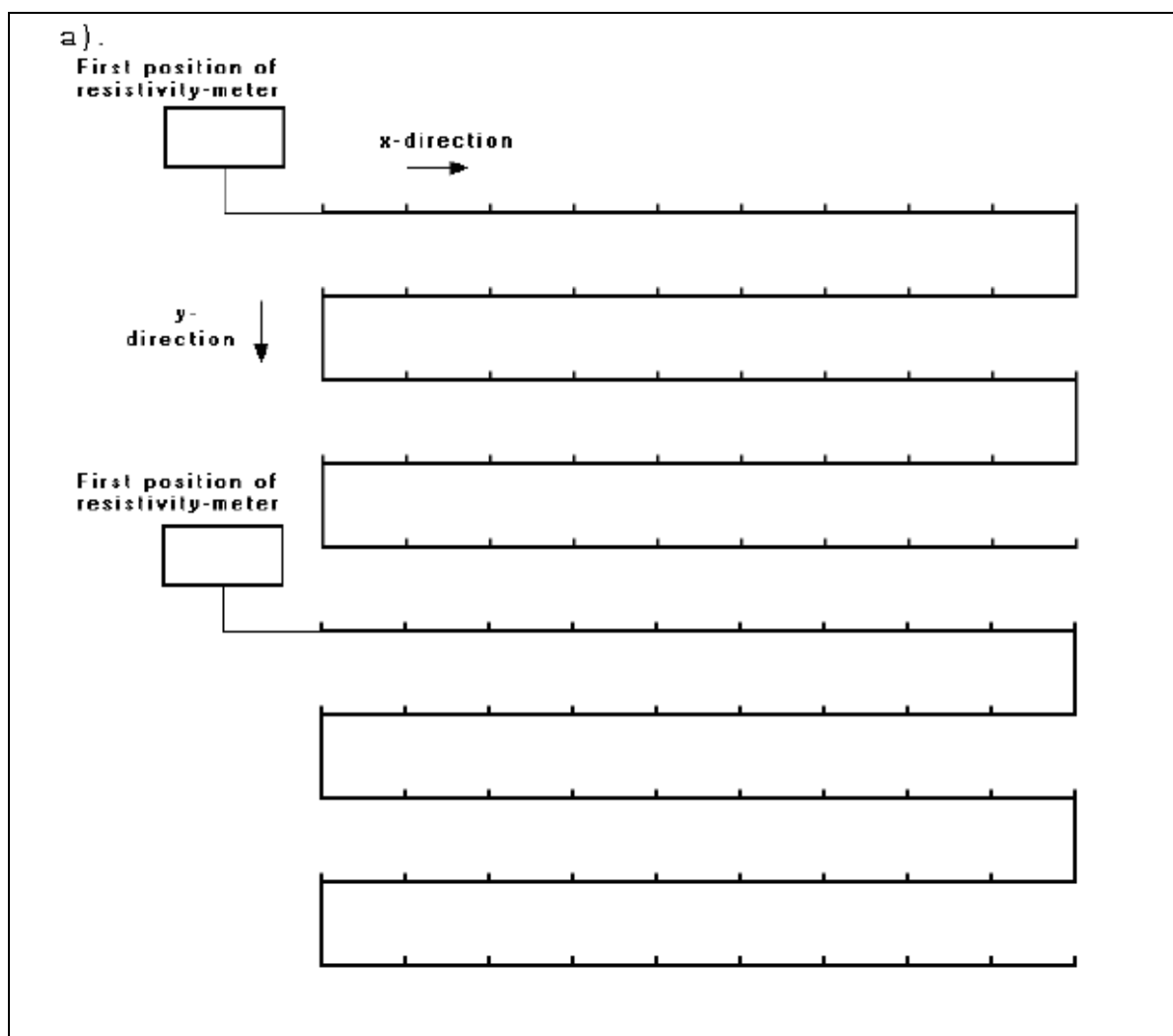
در مواردی که مناطق کوچک مد نظر باشند و مربعهای با شبکه بندی کمتر از 12×12 در نظر باشد آرایش قطبی-قطبی بهتر از سایر آرایشها جواب می دهد و پوشش بهتری ارائه می دهد. برای برداشت های کوچک □ این آرایش بهترین آرایش می باشد (برای فواصل الکترونی کمتر از ۵ متر). اما این آرایش به دلیل اینکه دو الکتروود آن در بی نهایت است، ممکن است این الکتروودها در نقطه ای دور از شبکه مربعی قرار گیرد. به دلیل فاصله زیاد بین الکتروودهای پتانسیل، این آرایش به نوفه های تلوریک حساس است.

برای مربعهای متوسط (کمتر از 12×12) آرایش قطبی-دوقطبی یک آرایش خوب می باشد. این آرایش قدرت تفکیک پذیری بیشتری نسبت به قطبی-قطبی داراست. در این آرایش فقط یک الکتروود در بینهایت است و کمتر به نوفه های تلوریک حساس است.

برای نواحی با مساحت های بزرگ که الکتروود بینهایت باید در فواصل خیلی خیلی دور قرار داشته باشد □
 آرایش دوقطبی-دوقطبی بهتر جواب می دهد [۱۰].

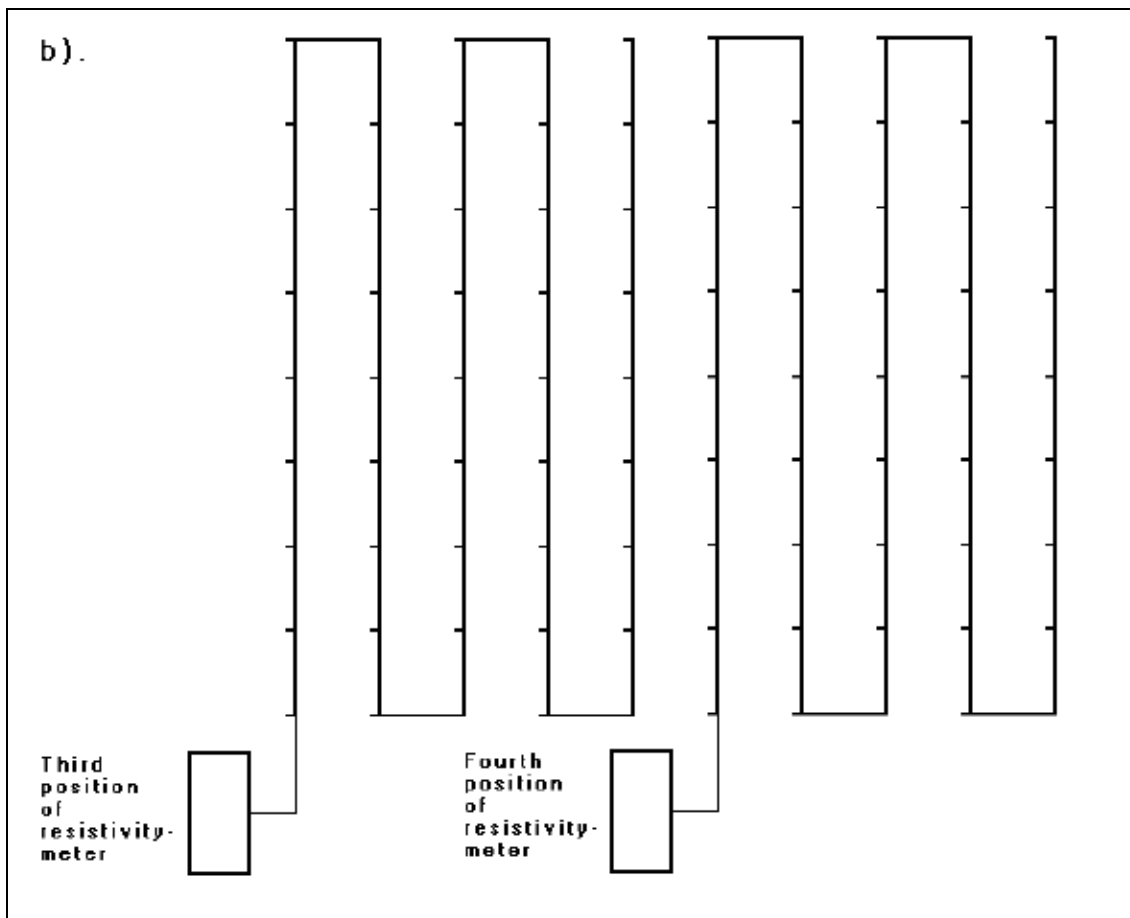
۳-۷- تکنیک roll-along

اغلب کارهای تجاری با شبکه بندی مربعی با حداقل اضلاع 16×16 انجام می شود این شبکه مربعی احتیاج به ۲۵۶ الکتروود دارد که مقدار کمی نیست. یکی از روشهای حل این مشکل اینست که الکتروودها را به طور مستطیل شکل چیده و یکبار طول مستطیل را در جهت محور x ها و یکبار دیگر طول مستطیل را در جهت محور y ها قرار می دهیم. در شکل (۳-۲۸)، ۱۰۰ الکتروود در دو شبکه ۵۰ تایی چیده شده است. در شکل (۳-۲۸) خط طویلتر در جهت x قرار دارد [۱۰].



شکل (۳-۲۸) : تکنیک roll-along در جهت محور xها برای برداشت های سه بعدی [۱۰]

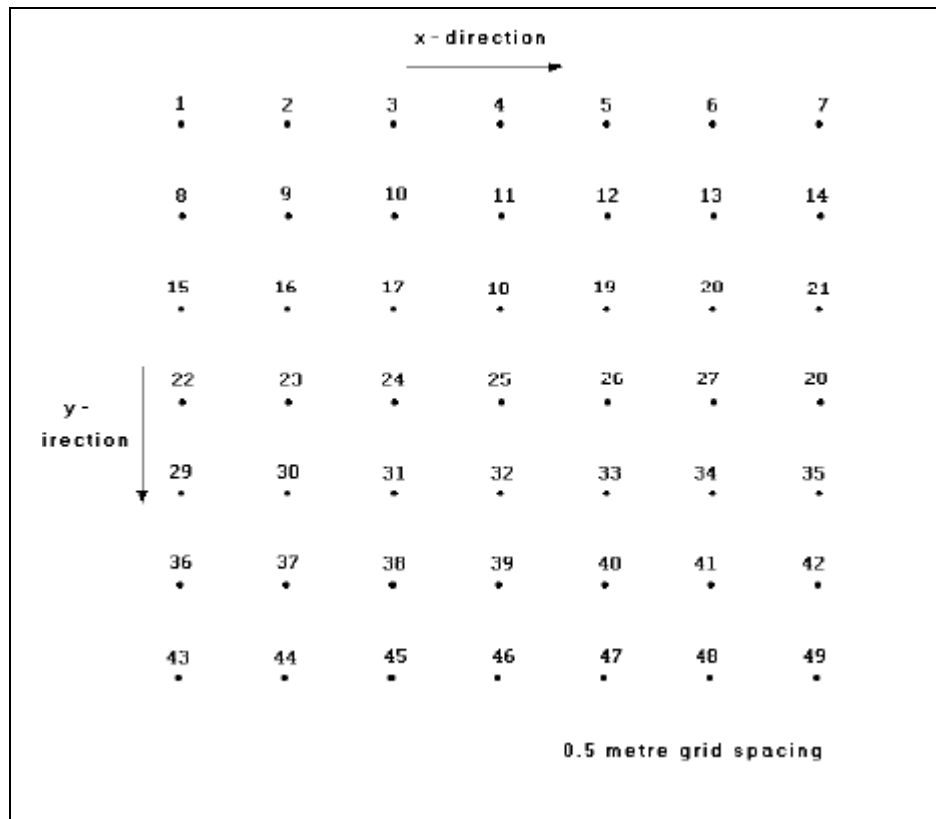
در شکل (۳-۲۹) یک بار دیگر آرایش را در جهت y قرار می دهیم.



شکل (۳-۲۹): تکنیک roll-along در جهت محور γ ها برای برداشت های سه بعدی [۱۰]

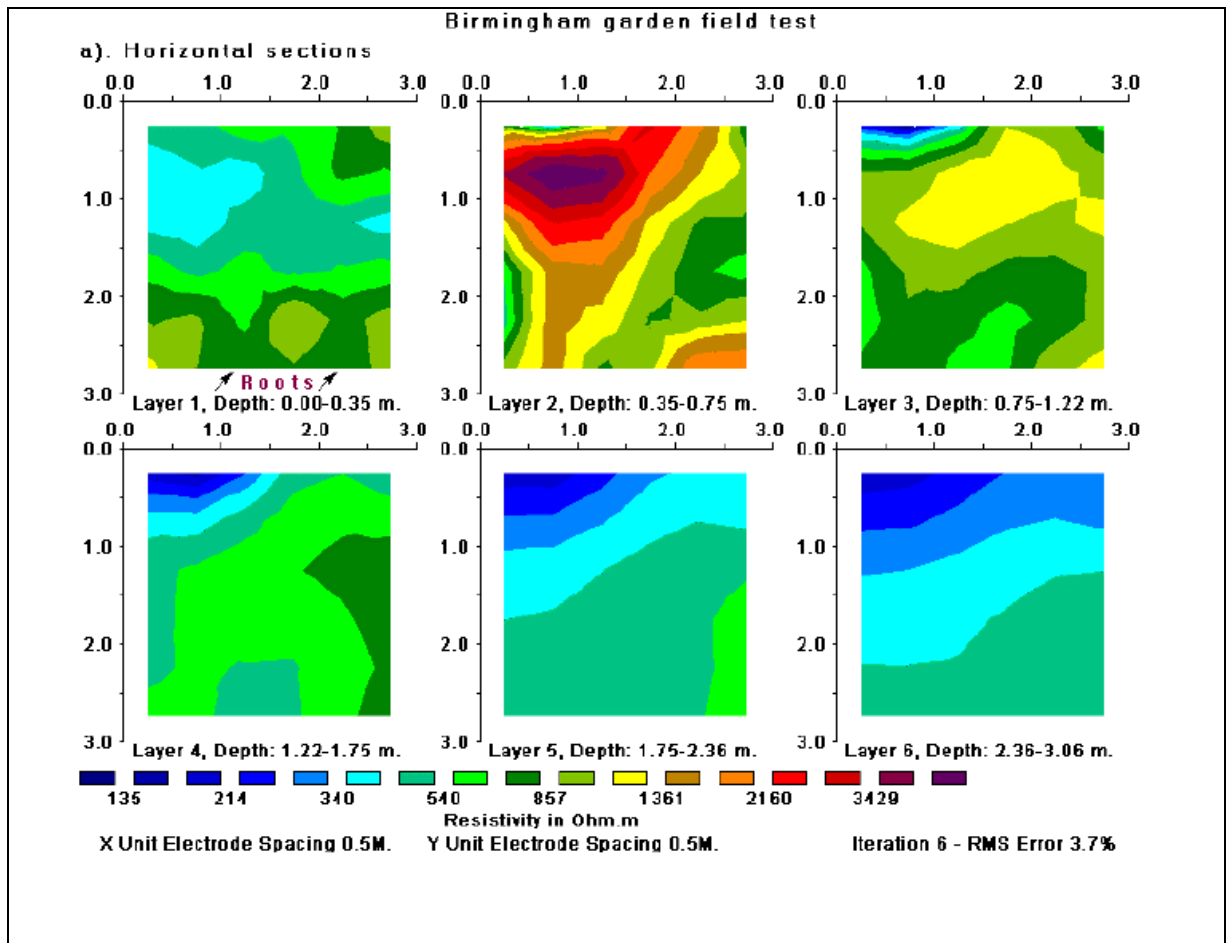
۳-۸- برداشت سه بعدی در بیرمنگام

عملیات صحرائی در منطقه ای در بیرمنگام انگلیس با ۵۰ الکتروود توسط آرایش قطبی-قطبی انجام گرفت. این الکتروودها در یک شبکه ۷ در ۷ چیده شدند که فواصل الکتروودها ۰/۵ متر انتخاب شد (شکل ۳-۳۰).



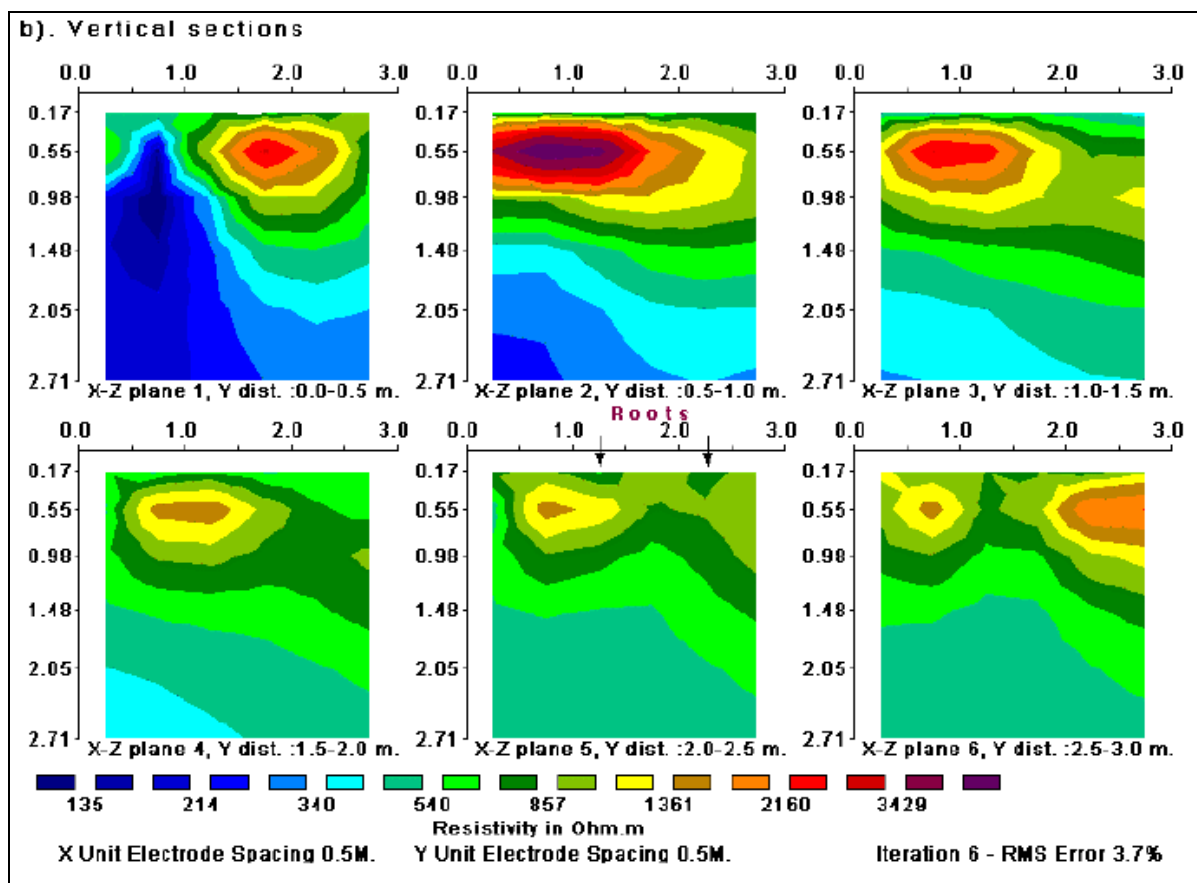
شکل (۳-۳۰) : شبکه ۴۹ تایی از الکترودها [۱۰]

دو الکترود B و N در بی نهایت در فاصله ۲۵ متری شبکه برداشت برای کاهش اثراتشان بر روی مقادیر مقاومت ویژه ظاهری انتخاب شدند. برای کاهش وقت □ آرایش قطری متقاطع مورد استفاده قرار گرفت. زمین از ماسه و گراول پوشیده شده است. شکل (۳-۳۱) مقاطع افقی را در اعماق مختلف نشان می‌دهد. دو منطقه با مقاومت بالا نشان داده شده در لایه های ۱ و ۲ در این شکل می‌تواند ناشی از بستر گراول باشد و مقاومت ویژه پایین خطی در گوشه پایین لایه ۱ نشاندهنده ریشه درخت ها می‌باشد.



شکل (۳-۳۱): مقاطع افقی برای اعماق مختلف [۱۰]

در شکل (۳-۳۲) مقاطع قائم را مشاهده می‌کنیم.

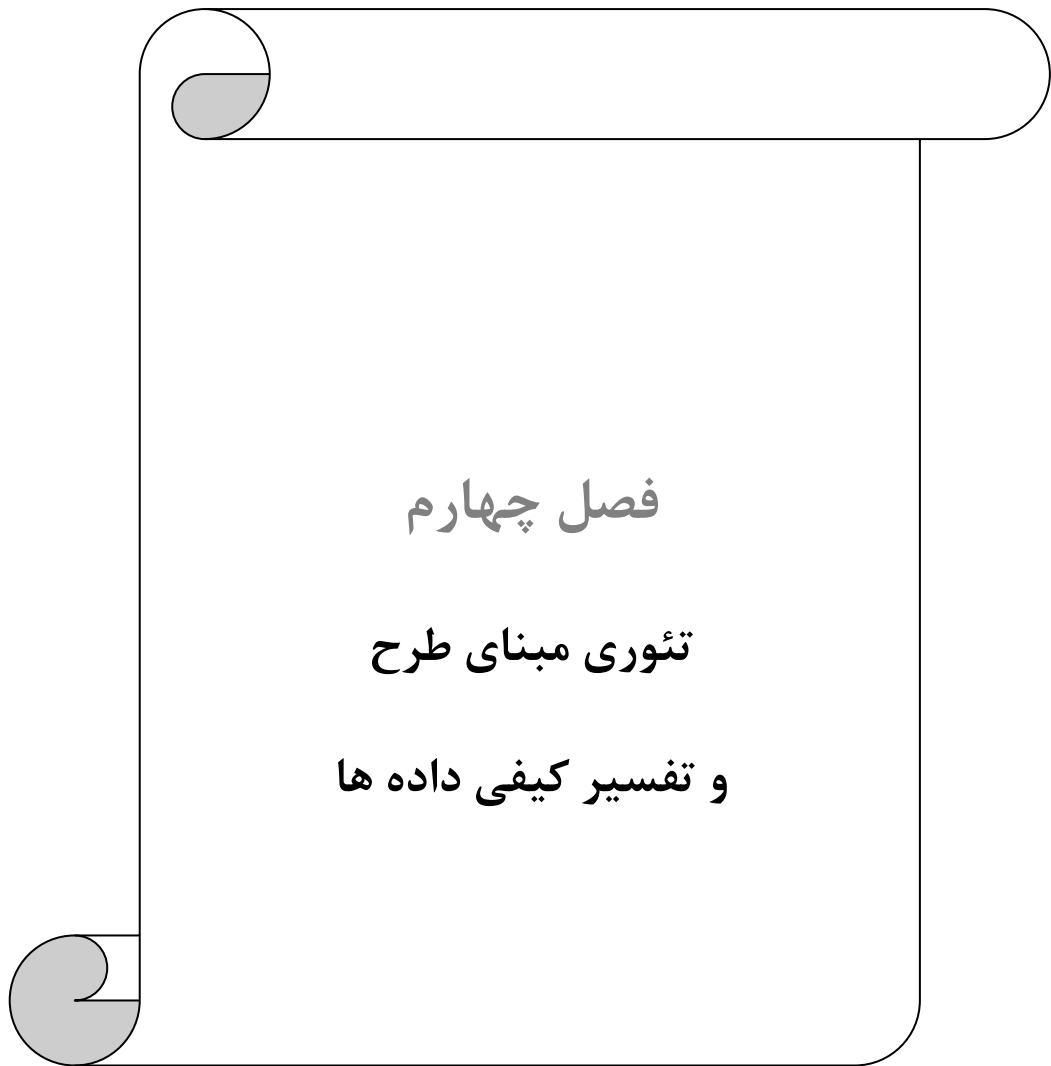


شکل (۳-۳۲): مقاطع عمودی برای γ های مختلف [۱۰]

در شکل (۳-۳۱) مقاطع افقی ترسیم شده‌اند یعنی ما یک محور افقی x داریم و یک محور افقی γ داریم که بر هم عمود هستند و برای هر عمق z نقشه مقاومت ویژه ترسیم شده‌اند اما در شکل (۳-۳۲) مقاطع بر حسب محور افقی x و محور عمودی z (عمق) رسم شده‌اند که به آنها مقاطع قائم می‌گویند. مثلاً در شکل (۳-۳۲) در ردیف بالا سمت چپ می‌توانیم یک آنومالی را تشخیص دهیم و در همین ردیف در شکل وسط ادامه این آنومالی را از طرف چپ می‌بینیم و در همین ردیف در سمت راست ادامه آنومالی مشاهده می‌شود. در واقع گسترش آنومالی در جهت γ مشاهده می‌شود.

بنا بر این همانطور که دیده شد روش به تصویر کشیدن یک روشی است که پایه و اساس آن همان آرایش های الکترودی مرسوم است با این تفاوت که یک سری مزیت ها \square این روش را در آشکارسازی برخی آنومالیا \square ممتاز کرده است. در این روش می‌توانیم کار را به صورت دو بعدی و بیشتر تعمیم دهیم و چون برای این کار اندازه گیری در دو راستای عمود بر هم انجام می‌گیرد بنابراین اثرات جانبی از بین می‌رود. علاوه بر این در بخش تفسیر چون ما مقاطع مقاومت ویژه را می‌توانیم بر حسب عمق، موقعیت x و موقعیت γ رسم نماییم به راحتی آنومالی مورد نظر را مشاهده می‌کنیم و اطلاعاتی نظیر عمق، پهنا و وسعت آنومالی

را بدست می‌آوریم. در حقیقت ما یک نوع عکسی از زیر سطح زمین بدست می‌آوریم که با مشاهده آن پی به آنومالیهای موجود در زیر سطح زمین می‌بریم [۱۰].



فصل چهارم

تئوری مبنای طرح

و تفسیر کیفی داده ها

۴-۱- مقدمه

هدف از تفسیر داده های مقاومت ویژه، بدست آوردن یک تصویر یا مدل ژئوالکتریکی قابل قبول و منطقی است که با نتایج مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی^{۴۲} مطابقت داشته باشد. در ابتدا لازم است برای

^۱-Hydrogeology

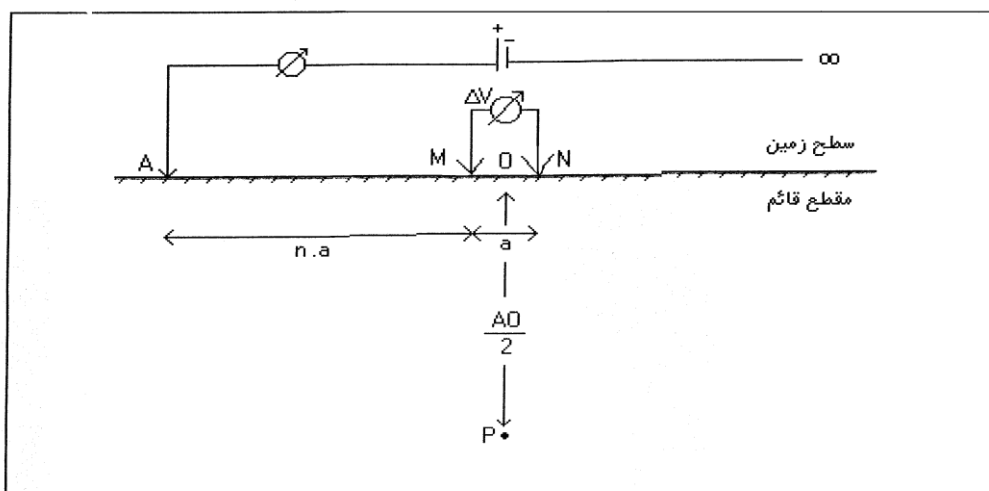
بدست آوردن یک تصویر عمومی از منطقه، تفسیر به صورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری و مقاطع ظاهری مورد ارزیابی قرار می گیرند. برای بدست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید بصورت کمی انجام گیرد. در تفسیر کمی از داده های خام (مقاومت ویژه های ظاهری)، یک سری از پارامترهای فیزیکی مانند مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه ها، معین می شوند. برای کامل تر کردن تفسیر، باید نتایج حاصله را با سایر داده های حاصل از زمین شناسی و یا اطلاعات بدست آمده از حفاری چاه ها، گمانه ها و پیزومترهای مناطق اطراف، تلفیق نمود. تفسیر کیفی داده های مقاومت ویژه در ادامه این فصل و تفسیر کمی داده های مقاومت ویژه منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدلسازی معکوس دو بعدی در فصل پنج ارائه می شوند.

۴-۲- تئوری مبنای طرح

همانگونه که در مقدمه ذکر شد هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک روش مؤثر ژئوالکتریکی می باشد که توسط آن بتوان شکل هندسی گسل های پنهان را اکتشاف نمود. بررسی های انجام شده نشان دادند که مؤثرترین روش ژئوالکتریکی برای رسیدن به هدف فوق الذکر بکارگیری آرایش قطبی-دوقطبی متقارن می باشد.

۴-۲-۱- معرفی دو آرایش (\overline{AMN}) و (\overline{MNB})

همانطور که در بخش (۳-۵-۵) گفته شد، در صورتیکه مانند شکل ۴-۱ الکتروود B را در فاصله ای دور نسبت به سه الکتروود دیگر در زمین فرو کنیم، در این صورت به الکتروود B، الکتروود بینهایت می گویند و به آرایش حاصله، آرایش قطبی-دوقطبی می گویند. مقاومت ویژه توده‌های زیر سطحی که توسط آرایش قطبی-دوقطبی اندازه گیری می‌شود از رابطه زیر بدست می‌آید [۵]:



شکل (۴-۱) آرایش قطبی-دوقطبی [۵]

مقاومت ویژه حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی:

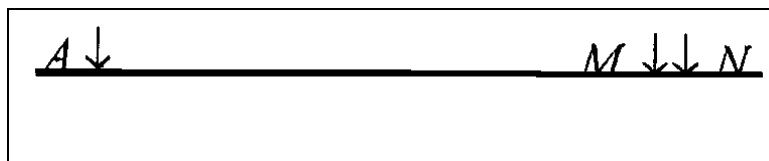
$$\rho = 2\pi na(n+1) \frac{\Delta V}{I}$$

در این رابطه a فاصله بین الکتروودهای پتانسیل M و N می‌باشد و $n.a$ برابر است با فاصله بین الکتروود A و الکتروود M، یعنی n نسبت فاصله بین الکتروودهای AM به MN می‌باشد. وسط الکتروود های M و N را نقطه O می‌نامیم.

در تفسیر کیفی داده‌ها، مقاومت ویژه ای که بدینوسیله اندازه گیری می‌گردد، به زمینی نسبت داده می‌شود که در زیر نقطه O واقع و دارای عمقی برابر $\frac{AO}{2}$ از سطح زمین می‌باشد. در بخش (۳-۵-۵) این آرایش به دو صورت مستقیم و معکوس تعریف شده است که در این فصل برای تفکیک بهتر، آنها را بصورت زیر نمایش می‌دهیم.

برای اینکه نشان دهیم الکتروود جریان، در سمت چپ الکتروود های اندازه گیری اختلاف پتانسیل MN واقع است.

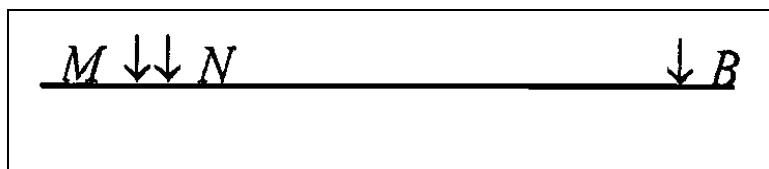
این آرایش را می توانیم بطور شماتیک بصورت شکل ترسیم نمائیم:



شکل (۲-۴) نمایش آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{AMN}) [۵]

در این صورت آرایش مذکور را توسط علامت قراردادی (\overline{AMN}) نمایش دهیم.

حال چنانچه مانند شکل (۳-۴) یک آرایش قطبی-دوقطبی دیگری را در نظر بگیریم که الکتروود های جریان قطب مثبت آن (که در این حالت B نامیده می شود) در سمت راست الکتروود های اندازه گیری اختلاف پتانسیل MN واقع می باشد، این آرایش را می توانیم بطور شماتیک به صورت شکل ترسیم نمائیم:



شکل (۳-۴) نمایش آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{MNB}) [۵]

در این صورت می توانیم آرایش مذکور را توسط علامت قراردادی (\overline{MNB}) نمایش دهیم. در هر دو آرایش (\overline{AMN}) و (\overline{MNB}) الکتروود قطب منفی در بینهایت می باشد [۵].

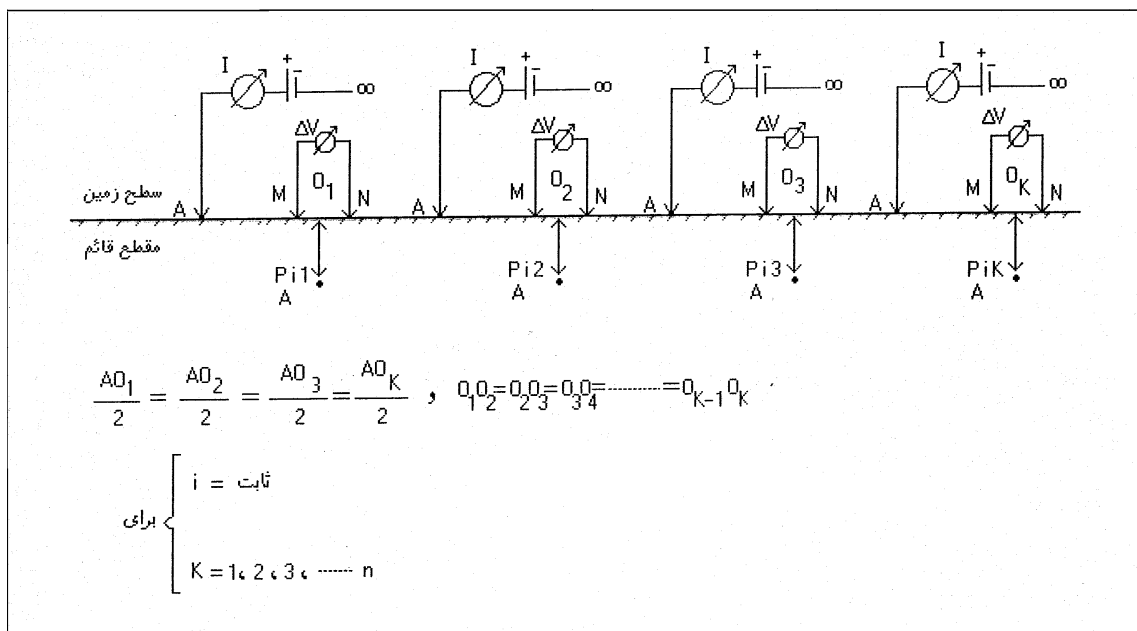
۴-۲-۲- روش پروفیل زنی الکتریکی توسط آرایش قطبی-دوقطبی

بطوریکه در شکل (۴-۴) دیده می شود، توسط اولین آرایش قطبی-دوقطبی سمت چپ، مقاومت ویژه زمین در زیر ایستگاه O_1 برای یک عمق ثابت اندازه گیری می شود. در صورتیکه بخواهیم تغییرات مقاومت ویژه زمین را بطور جانبی برای یک عمق ثابت اندازه گیری نمائیم، باید این آرایش را بدون اینکه فواصل بین الکتروود های آن را تغییر دهیم در امتداد خط پروفیل، ایستگاه به ایستگاه جا بجا کنیم. جا بجایی باید با فاصله های یکسان و بطور متوالی انجام شود. این روش را پروفیل زنی^{۴۳} می گویند.

در این روش، از اندازه گیری در هر ایستگاه، یک مقاومت ویژه بدست می آید که آنرا توسط $\rho_A^{i,k}$ نمایش می دهیم. در این نمایش i ، یک عدد ثابت است که نمایانگر یک عمق اندازه گیری ثابت می باشد. ولی برای K

$$k = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{داریم:}$$

اگر O وسط MN باشد، O_k محل های ایستگاه های اندازه گیری متوالی که با فاصله های یکسان از یکدیگر در روی خط پروفیل قرار دارند، می باشند. مقادیر $\rho_A^{i1}, \rho_A^{i2}, \rho_A^{i3}, \dots, \rho_A^{ik}$ به ترتیب مقاومت ویژه در زیر ایستگاه های $O_1, O_2, O_3, \dots, O_k$ برای یک عمق ثابت می باشد (i در اینجا یک عدد ثابت فرض شده است) [۵].



شکل (۴-۴) پروفیل زنی با آرایش قطبی-دوقطبی [۵]

۴-۲-۳- روش سونداژ زنی الکتریکی توسط آرایش قطبی-دوقطبی

بطوریکه در شکل (۴-۵) دیده می شود در صورتیکه بخواهیم تغییرات عمقی مقاومت ویژه زمین را برای یک ایستگاه ثابت (مثلاً O_k) توسط آرایش قطبی-دوقطبی اندازه گیری نمائیم، باید الکترود های M و N و الکترود جریان را بطور متوالی از وسط MN دور نمائیم.

این روش را روش سونداژ زنی الکتریکی^۴ و یا حفاری الکتریکی می نامند. بطوریکه در این شکل دیده می شود، در صورتیکه الکترود جریان A_1 در فاصله A_1O_k قرار گیرد، مقاومت ویژه ای که بدینوسیله اندازه گیری

می شود مربوط به زمینی است که در زیر نقطه O_k واقع و دارای عمقی برابر $\frac{A_i O_k}{2}$ می باشد. این مقاومت ویژه توسط ρ_A^{1k} نمایش داده می شود بنا براین با قرار دادن الکترودهای جریان، به ترتیب در موقعیت های:

$$A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$$

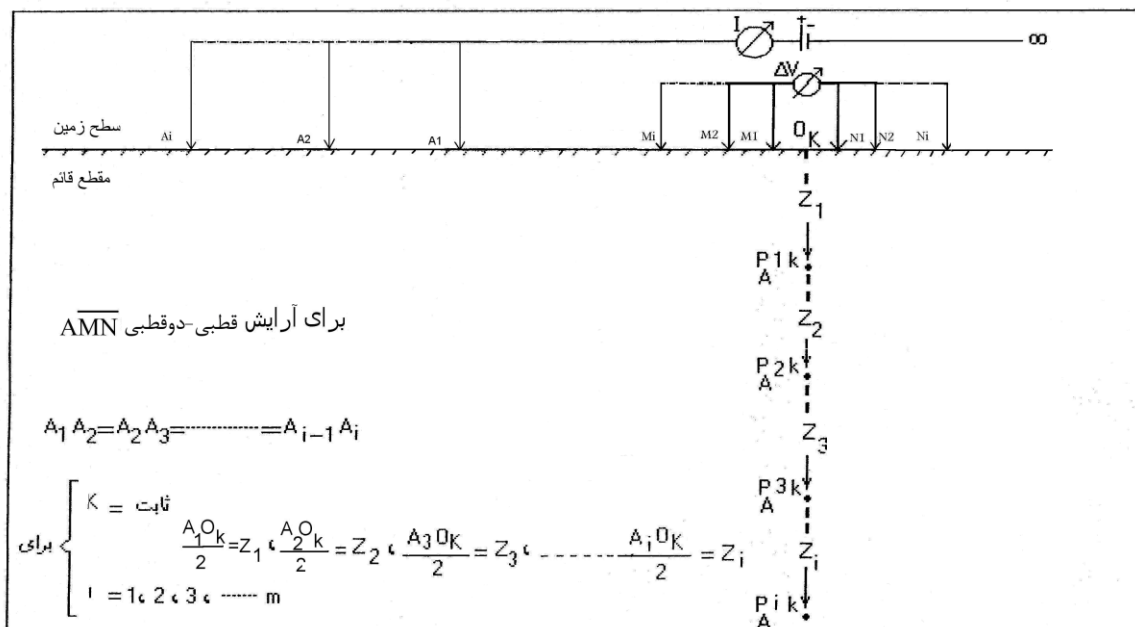
به ترتیب مقادیر:

$$\rho_A^{1k}, \rho_A^{2k}, \rho_A^{3k}, \dots, \rho_A^{ik}$$

به ترتیب برای اعماق:

$$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_i$$

برای زیر ایستگاه O_k بدست می آیند (K در اینجا یک عدد ثابت فرض شده است) [۵].



شکل (۵-۴) سونداژزنی با آرایش قطبی-دوقطبی

۴-۲-۴ - معرفی دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن^{۴۵} با فاصله الکترودهای پتانسیل متغیر

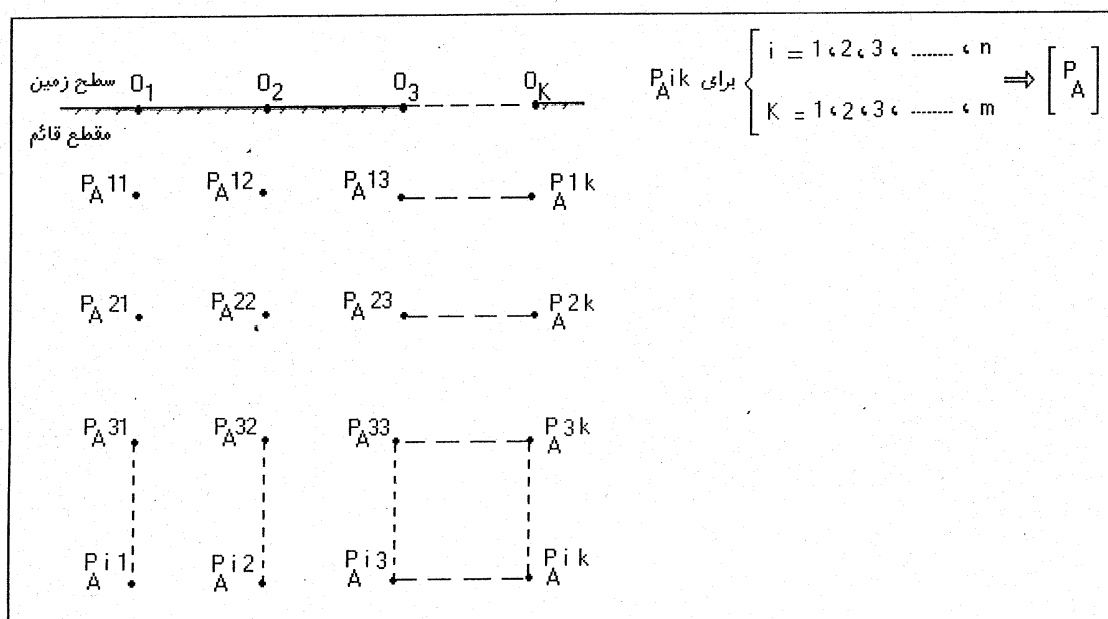
حال که با روشهای سونداژ و پروفیل زنی، توسط آرایش قطبی-دوقطبی آشنا شده ایم می توانیم این دو روش را با هم ترکیب نمائیم بدین طریق که روش سونداژ را که در شکل (۴-۵) شرح داده شد، برای تمام ایستگاههای اندازه گیری که بطور متوالی و بطور یکسان از همدیگر در روی خط پروفیل قرار دارند، به ترتیب از O_1 تا O_k را تکرار کنیم. در این صورت اگر مقادیر مقاومت ویژه های بدست آمده از هر ایستگاه را در زیر آن بنویسیم، می توان هر مقاومت ویژه اندازه گیری شده را بصورت $\rho_A^{i,k}$ نمایش داد. در این نمایش K و i هر دو متغیر هستند. بطوریکه می توانیم بنویسیم:

$$i=1,2,3,\dots,m$$

$$k=1,2,3,\dots,n$$

با این تعریف، هر $\rho_A^{i,k}$ را می توان یک عنصر از یک ماتریس تلقی نمود و ماتریس حاصله را می توان مانند

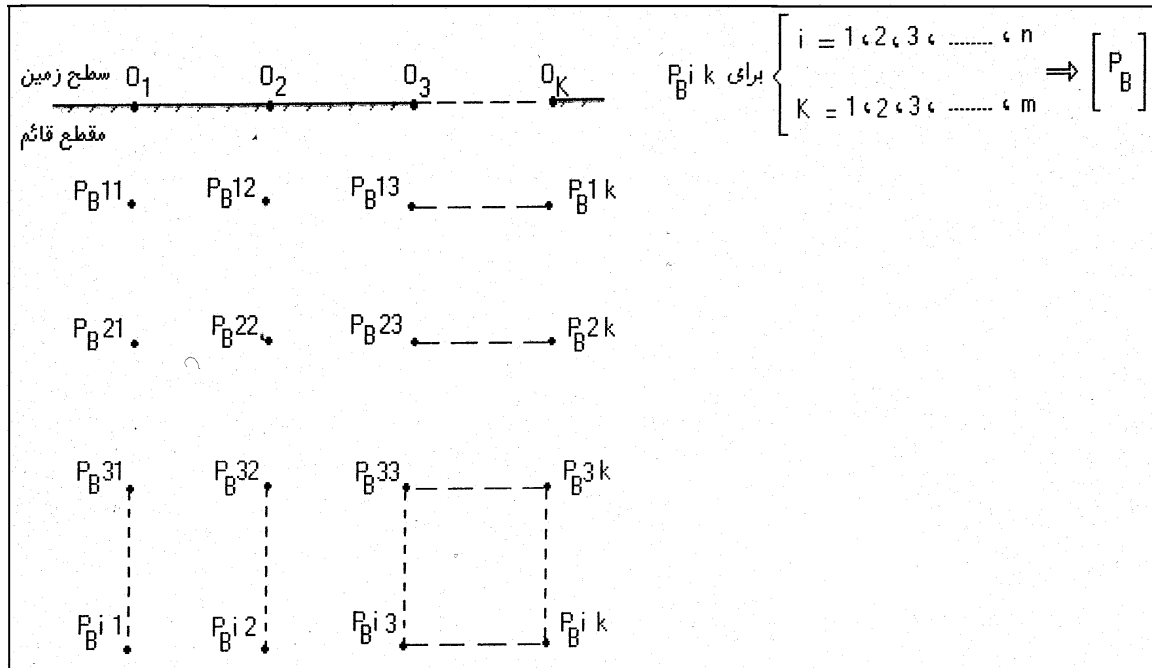
$$\text{شکل (۴-۶) بصورت } \begin{bmatrix} \rho_A \end{bmatrix} \text{ نمایش داد.}$$



شکل (۴-۶) داده های مقاومت ویژه حاصل از ترکیب نمودن دو روش سونداژ زنی و پروفیل زنی با آرایش قطبی-دوقطبی (AMN) [۵]

در نمایش فوق الذکر، اندیس های $i=1,2,3,\dots,m$ ، تغییرات مقاومت ویژه را بطور عمقی و اندیس های $k=1,2,3,\dots,n$ ، تغییرات مقاومت ویژه را بطور جانبی نشان می دهند. در این ماتریس، نوشتن اندیس A در زیر حرف ρ نمایانگر این است که الکتروود جریان، A نام دارد.

مشابه آنچه که برای آرایش (\overline{AMN}) گفته شد، توسط آرایش (\overline{MNB}) نیز می‌توان با ترکیب نمودن روشهای سونداژ و پروفیل زنی، داده های مقاومت ویژه را بصورت $\rho_B^{i,k}$ نشان داد و یک ماتریس مانند $\begin{bmatrix} \rho_B \end{bmatrix}$ بدست آورد. عناصر این ماتریس در شکل (۷-۴) نشان داده شده‌اند.



شکل (۷-۴) داده های مقاومت ویژه حاصل از ترکیب نمودن دو روش سونداژ زنی و پروفیل زنی با آرایش قطبی-دوقطبی \overline{MNB} [۵]

بطور کلی این روش را روش ترکیب یافته از سونداژ الکتریکی و پروفیل زنی الکتریکی می‌نامند [۵].

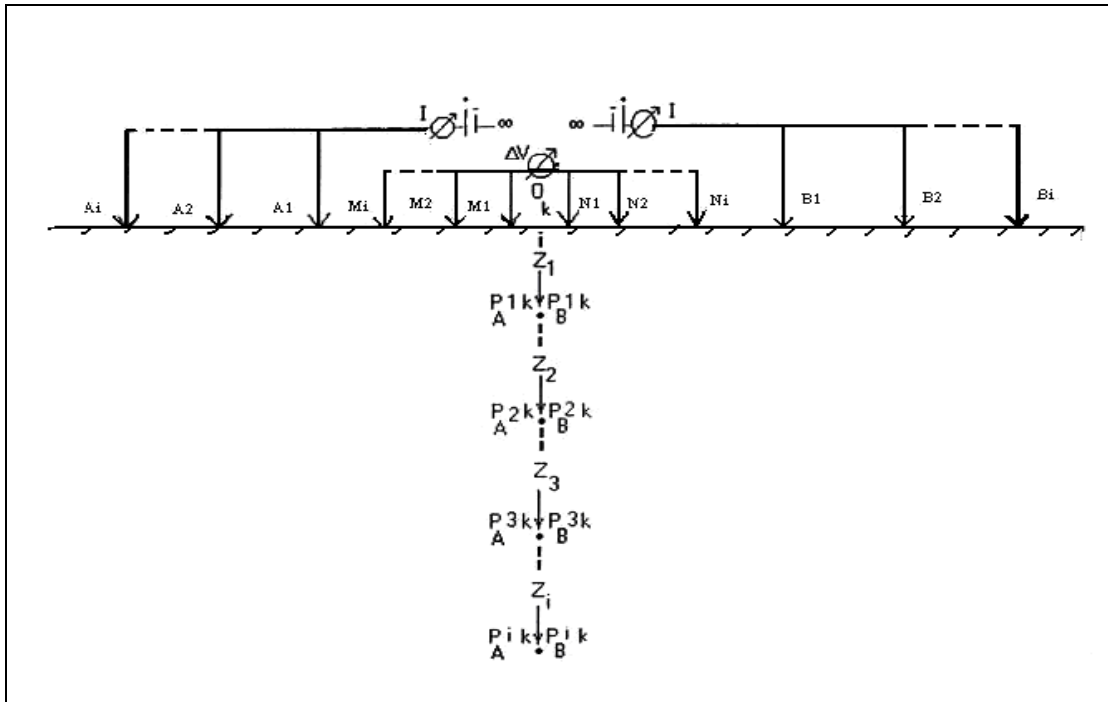
۴-۲-۵- ماتریس مقاومت ویژه میانگین

با تشکیل دو ماتریس $\begin{bmatrix} \rho_A \end{bmatrix}$ و $\begin{bmatrix} \rho_B \end{bmatrix}$ می‌بینیم که برای زیر هر ایستگاه اندازه گیری مانند O_k به هر عمق، دو داده تعلق می‌گیرد که از این دو داده، یک داده توسط آرایش (\overline{AMN}) و یک داده توسط آرایش (\overline{MNB}) اندازه گیری می‌شود. در این صورت دو آرایش (\overline{AMN}) و (\overline{MNB}) را دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن می‌نامند، (متقارن نسبت به O واقع در وسط MN). در این پژوهش همزمان با افزایش فاصله الکترودی جریان، فاصله الکترودهای اندازه گیری اختلاف پتانسیل را نیز هر بار افزایش داده ایم، بطوریکه همواره نسبت $\frac{AO}{MN} = 5$ برقرار باشد. حال چنانچه از داده های $\rho_A^{i,k}$ و $\rho_B^{i,k}$ مطابق رابطه زیر میانگین گرفته شود:

$$\rho_m^{i,k} = \frac{\rho_A^{i,k} + \rho_B^{i,k}}{2}$$

داده های حاصله تشکیل یک ماتریس مقاومت ویژه میانگین $[\rho_m]$ را می دهند. گرفتن این میانگین باعث می شود که آنومالی های مقاومت ویژه کاذبی که در اثر تصویر الکتریکی در نزدیکی فصل مشترک قائم دو محیط با مقاومت ویژه های متفاوت بوجود می آیند، تقلیل می یابند و در نتیجه محل دیواره گسل بهتر مشخص و مقدار مقاومت ویژه محاسبه شده به واقعیت نزدیک تر گردد [۵].

شکل (۸-۴) نحوه انجام آرایش قطبی-دوقطبی متقارن را برای فاصله MN متفاوت نشان می دهد.



شکل (۸-۴) نحوه قرار دادن الکترودها در دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن

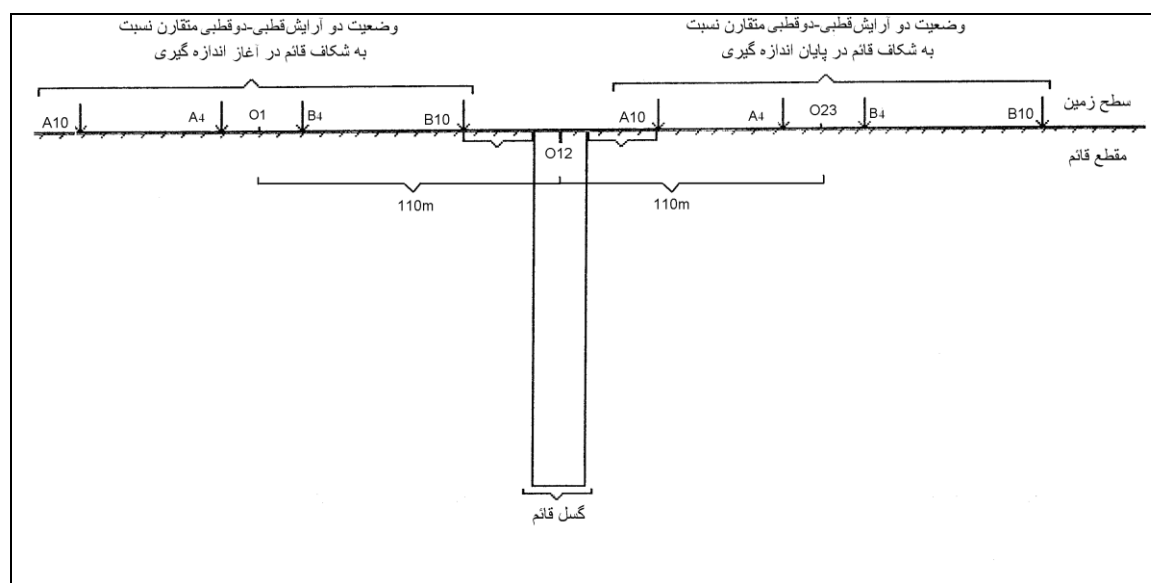
۴-۳- اندازه گیری و برداشت داده های صحرائی

دستگاه اندازه گیری بکار گرفته شده مربوط به شرکت ABEM و ساخت کشور سوئد می باشد. مدل دستگاه TERRAMETER SAS 1000 C می باشد. تصویر این دستگاه در شکل (۱-۱) (پیوست الف) نشان داده شده است.

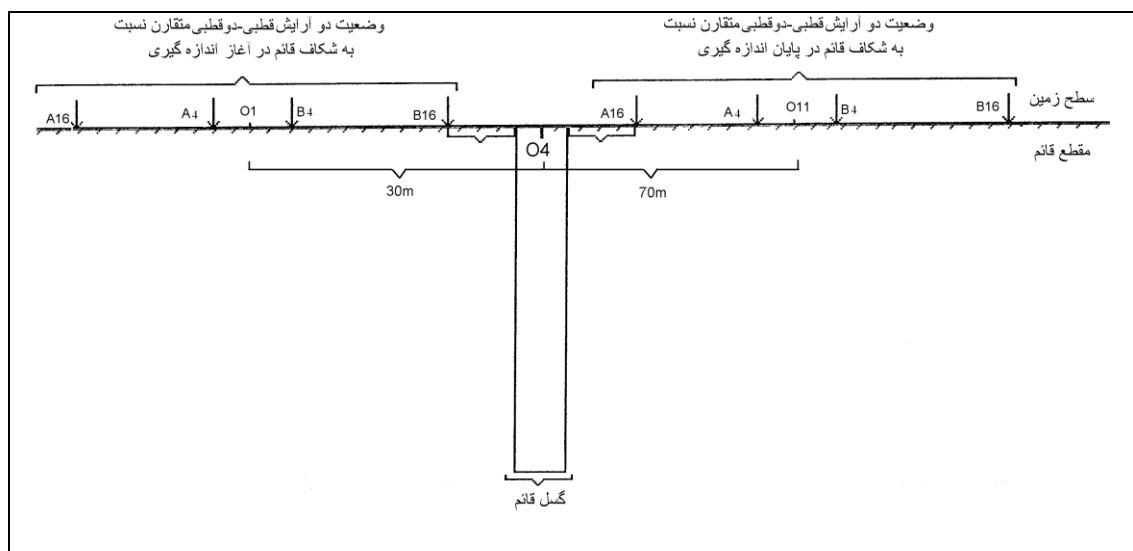
در منطقه کال قرنو جهت اکتشاف موقعیت و شیب گسل پنهان شاهرود دو عملیات صحرائی انجام شده است. اولین عملیات صحرائی در اردیبهشت ماه سال ۸۶ و دومین عملیات صحرائی در آبان ماه سال ۸۶ انجام شده است. در عملیات صحرائی اردیبهشت ماه، سونداژ زنی بر روی ۲۳ ایستگاه انجام شده است، طول پروفیل عمود بر گسل مذکور ۲۲۰ متر و حداکثر عمق نفوذی جریان بر اساس فرمول گفته شده در بخش (۴-۲-۱) ۵۰ متر بوده است.

هدف در برداشت صحرائی آبان ماه سال ۸۶، رسیدن به اعماق بیشتر به منظور بدست آوردن شکل مناسب تری از گسل مشاهده شده توسط عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶ می باشد. اما به علت بارش باران، اختلاف مقاومت الکتریکی زیادی بین داده های بدست آمده از دو برداشت صحرائی مذکور وجود داشته است، بنابراین به ناچار در عملیات صحرائی آبان ماه، کار برداشت داده ها از نو شروع شد. لازم به ذکر است که منطقه مورد مطالعه فاقد پستی و بلندی است.

با توجه به داده های بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه مذکور، این نتیجه بدست آمد که طول پروفیل باید کوتاهتر انتخاب شود و گسل تا اعماق بیشتری شناسایی شود. در عملیات صحرائی اردیبهشت ماه، بر روی ۲۳ ایستگاه عملیات پروفیل زنی انجام شده است که هر ایستگاه به فاصله ۱۰ متر از ایستگاه بعدی فاصله دارد، یعنی طول پروفیل ۲۲۰ متر است. در عملیات صحرائی آبان ماه، بر روی ۱۱ ایستگاه عملیات سونداژ زنی انجام شده است که هر ایستگاه به فاصله ۱۰ متر از ایستگاه بعدی فاصله دارد، عبارتی دیگر طول خط پروفیل عمود بر گسل مذکور، ۱۰۰ متر می باشد. طراحی عملیات صحرائی به ترتیب در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰)، بطور شماتیک نشان داده شده‌اند.



شکل (۹-۴) نحوه برداشت داده ها در اردیبهشت ماه سال ۸۶



شکل (۱۰-۴) نحوه برداشت داده ها در آبان ماه ۸۶

با توجه به شکل (۴-۱۱) آزمون امتداد گسترش الکترودها عموماً برابر ۱۱۰ درجه می‌باشند. امتداد جهت برداشت پروفیل ها نیز از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. موقعیت UTM ایستگاه اول (STO) و الکتروود بینهایت (C-INF) توسط دستگاه GPS ثبت شد و مختصات‌های بدست آمده به نرم افزار Google Earth منتقل شدند.





شکل (۳-۱۱) محل برداشت داده ها با آرایش قطبی-دوقطبی متقارن در منطقه کال قرنو

لازم بذکر است که الکتروود جریان بینهایت، در فاصله ۲ کیلومتری و عمود بر پروفیل مورد نظر در زمین کوبیده شد. در این شکل خط سبز رنگ که در امتداد جنوب غربی-شمال شرقی رسم شده است، امتداد گسل را نشان می‌دهد. خط قرمز رنگی که در امتداد شمال غربی-جنوب شرقی کشیده شده است، پروفیل برداشت داده‌ها را نشان می‌دهد. داده های برداشت شده برای آرایش قطبی-دوقطبی متقارن در پیوست (الف) آورده شده‌است.

۴-۴- تفسیر کیفی داده ها

هدف از تفسیر کیفی داده ها، به دست آوردن یک تصویر عمومی و کلی از گسل مورد مطالعه می‌باشد ولی برای بدست آوردن مدل واقعی زمین و مقاومت ویژه واقعی سنگ‌ها بایستی تفسیر کمی نیز انجام گیرد. در این بخش نخست به تفسیر کیفی شبه مقاطع قائم دو بعدی و سه بعدی رسم شده با نرم افزار Pole-dipole پرداخته می‌شود و تفسیر کمی را در فصل بعدی بررسی خواهیم کرد.

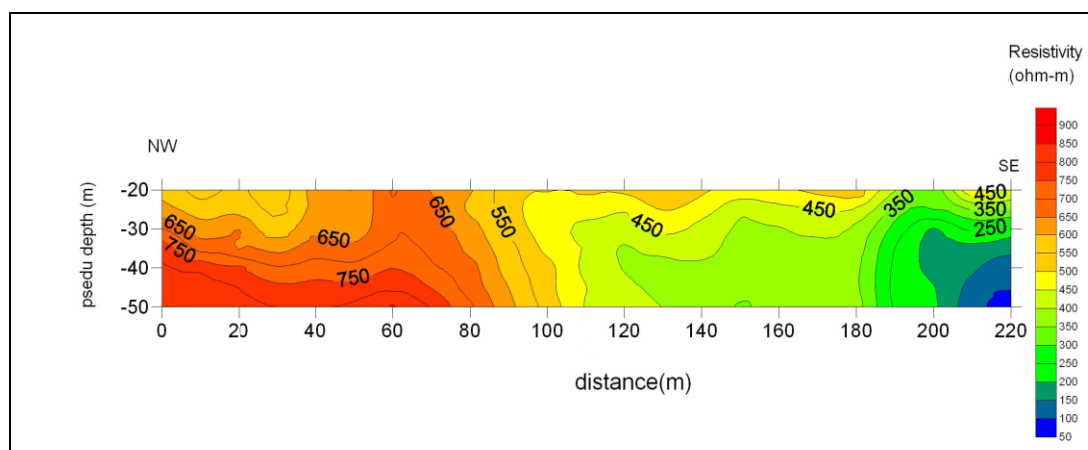
مسئله حائز اهمیت در این تحقیق این است که برای اکتشاف موقعیت و شیب گسل پنهان مذکور، باید گسترش الکتروودی، عمود بر امتداد گسل باشد، همانگونه که در قسمت (۴-۳) توضیح داده شد، امتداد آرایش قطبی-دوقطبی متقارن، عمود بر امتداد گسل پنهان، بکار گرفته شده است و داده های حاصله نخست توسط نرم افزار Pole-dipole پردازش و سپس توسط نرم افزار Surfer، شبه مقطع قائم مقاومت ویژه میانگین مربوطه

تهیه شده است. در این شبه مقاطع، توده‌های با حداقل مقاومت ویژه، توسط رنگ آبی و توده‌های با حداکثر مقاومت ویژه با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. این شبه مقاطع بمنظور بررسی نحوه توزیع مقاومت ویژه ظاهری در زیر سطح زمین مورد اندازه گیری، تهیه شده‌اند.

۴-۴-۱- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری توسط آرایش \overline{AMN}

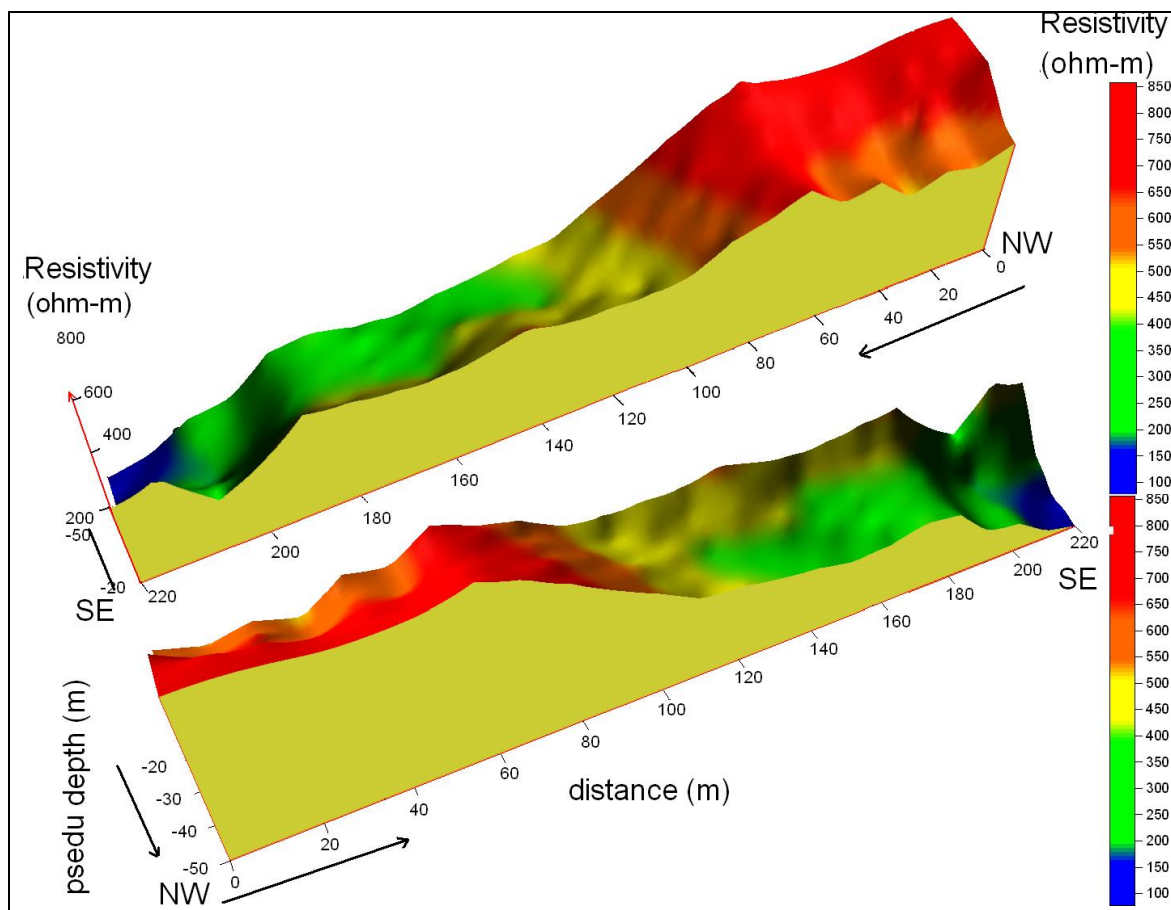
اردیبهشت ماه سال ۸۶

شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) نمایش دو بعدی و سه بعدی داده‌های حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی \overline{AMN} را برای داده های بدست آمده از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه نشان می‌دهد. لازم بذکر است که در مدل‌های سه بعدی در هر شکل دو مدل وجود دارد که این دو مدل با هم یکسان می‌باشند اما از نظر زاویه دید با هم فرق دارند. با توجه به شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود امتداد شبه مقطع شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) طول پروفیل ۲۲۰ متر می‌باشد. در این شبه مقطع و مدل سه بعدی می‌توان تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه را از فاصله ۱۱۰ متری مشاهده نمود که ایستگاه O۱۲ می‌باشد و با این پیش بینی ما، طبق شکل (۴-۹)، که ایستگاه O۱۲ روی گسل قرار دارد مطابقت دارد.



شکل (۴-۱۲) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه

سال ۸۶



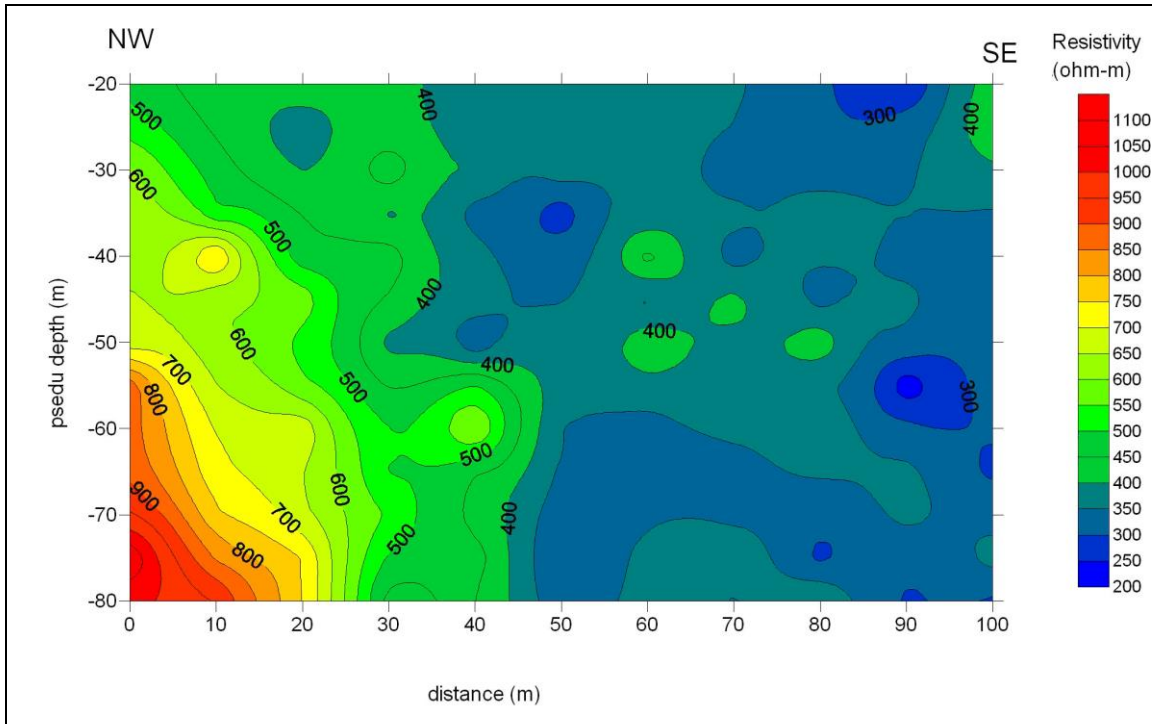
شکل (۴-۱۳) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶ با توجه به اشکال (۴-۱۲) و (۴-۱۳)، سمت راست گسل توده ای با مقاومت ویژه ظاهری پایین را نشان می دهد و در سمت چپ گسل، مقاومت ویژه ظاهری به شدت افزایش پیدا کرده است.

۴-۲- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش \overline{AMN}

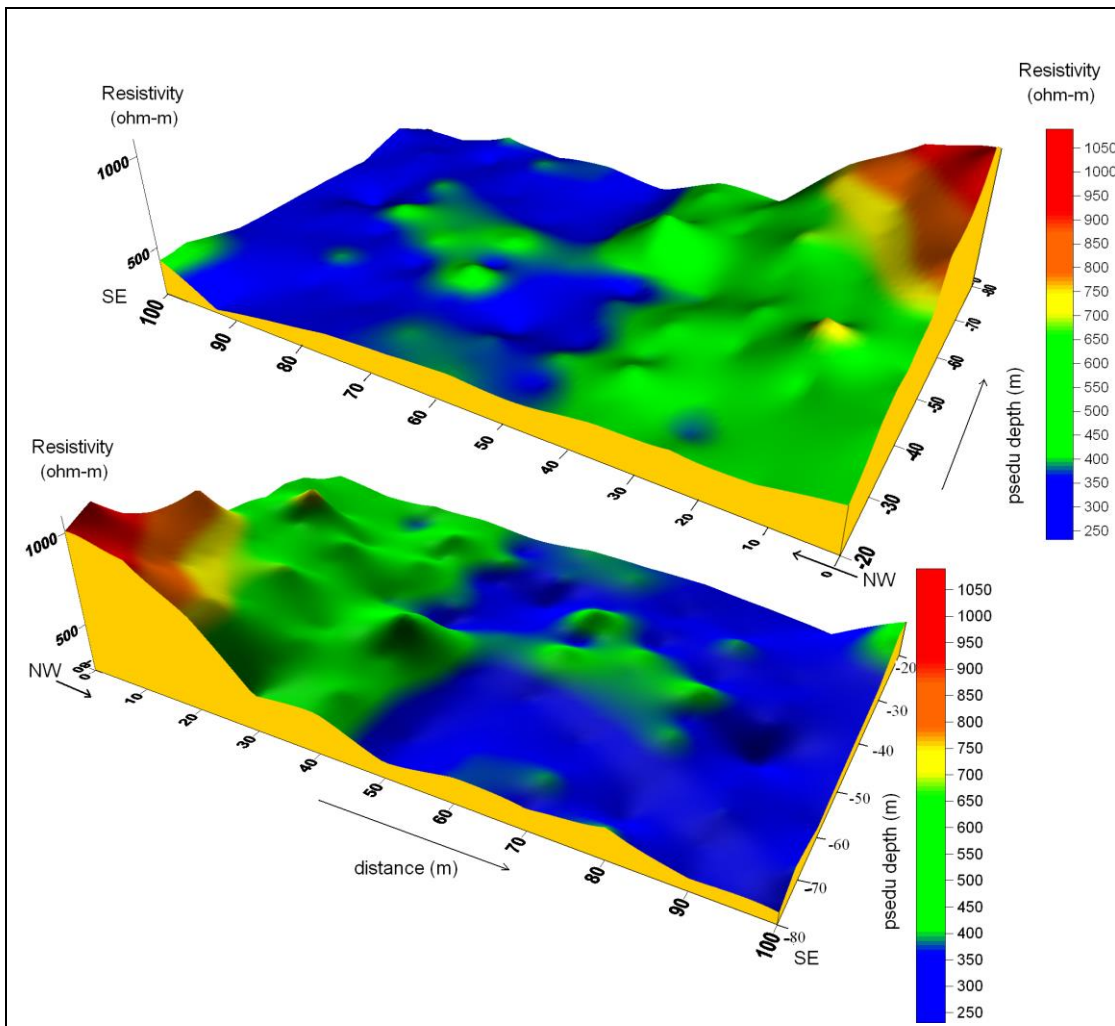
آبان ماه سال ۸۶

شکلهای (۴-۱۴) و (۴-۱۵) آرایش قطبی-دوقطبی \overline{AMN} را برای داده های بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶ نشان می دهد.

در شبه مقطع و مدل سه بعدی در اشکال (۴-۱۴) و (۴-۱۵) تغییرات مقاومت ویژه ظاهری را می توانیم در فاصله ۳۰ تا ۴۰ متری از ابتدای خط پروفیل مشاهده کنیم و این نیز با پیش بینی ما، طبق شکل (۴-۱۰)، که ایستگاه 0۴ روی گسل می باشد مطابقت دارد. بعلت عدم تقارن در آرایش قطبی-دوقطبی، و نیز نوفه ای بودن داده ها، از روی مقاطع بدست آمده، نمی توان موقعیت و شیب گسل را بطور صحیح تشخیص داد.



شکل (۴-۱۴) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶



شکل (۴-۱۵) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش \overline{AMN} بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶

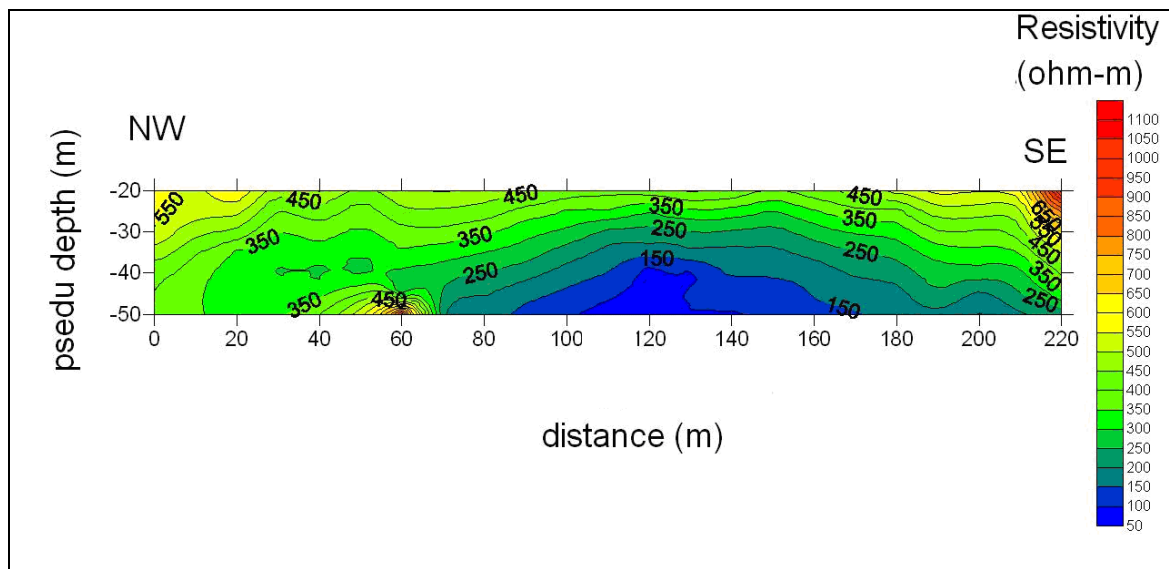
۴-۳-۴- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری آرایش (\overline{MNB})

اردیبهشت ماه سال ۸۶

شکل‌های (۴-۱۶) و (۴-۱۷) آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{MNB}) را برای داده های بدست آمده از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶، بصورت دو بعدی و سه بعدی نشان می‌دهد.

قبل از تفسیر کیفی شبه مقطع مقاومت ظاهری (\overline{MNB}) ، ذکر این نکته لازم است که بدانیم محدوده برداشتی در جنوب گسل، بعلت برداشتن لایه سطحی خاک بمنظور راه سازی، الکتروود های ما به سختی در زمین فرو می‌رفتند، لذا داده های ما دارای نوفه بیشتری می‌باشند. در شبه مقطع و مدل‌های سه بعدی شکل‌های (۴-۱۶) و (۴-۱۷) در فاصله ۸۰ متری از ابتدای خط پروفیل، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بطور محسوسی نمایان است.

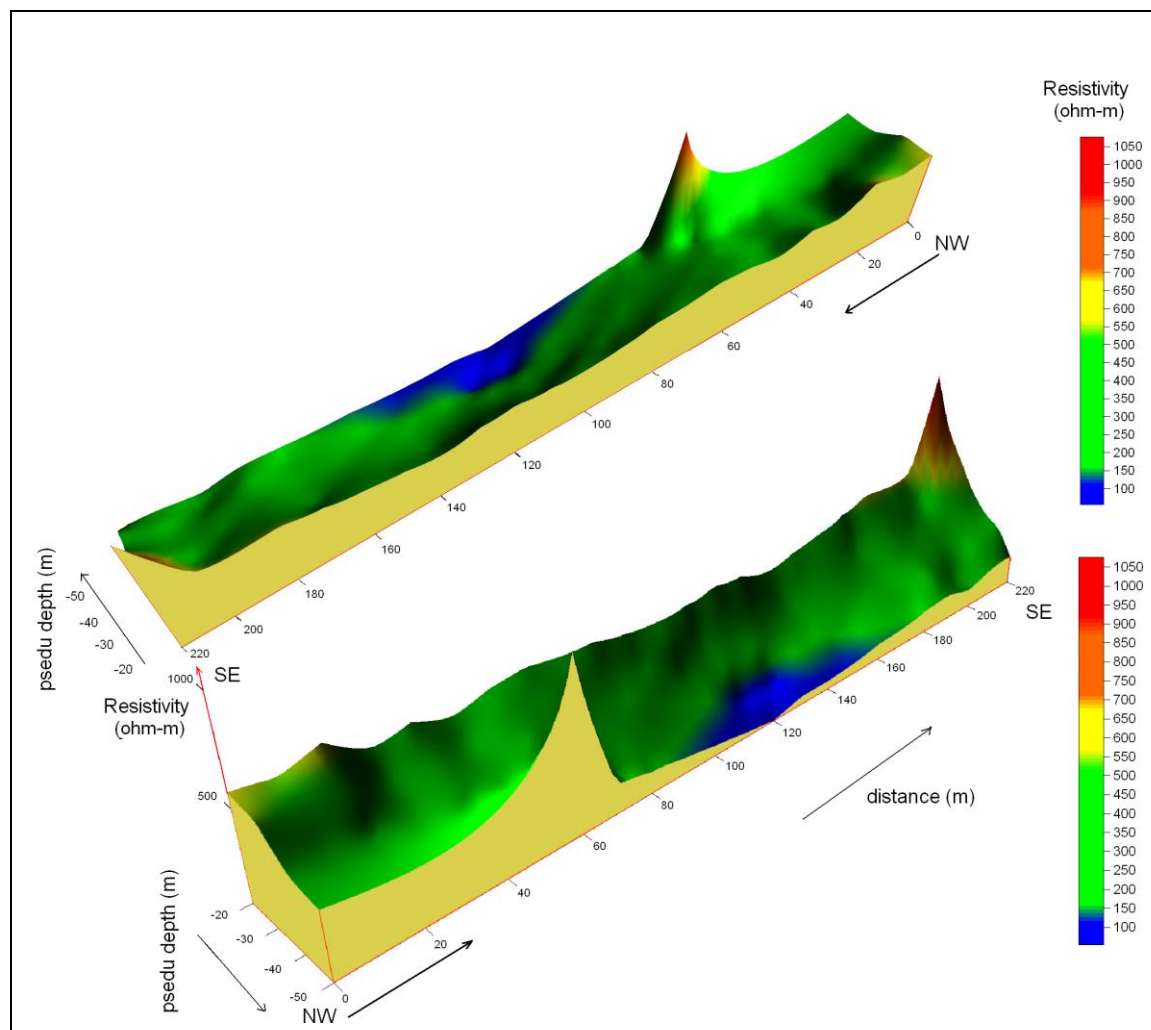
در سمت چپ گسل، مقاومت ویژه ظاهری بالاست و در سمت راست گسل مقاومت ویژه پایین می‌باشد و بطور کلی مقاومت ویژه در سطح بالاتر از سایر نقاط می‌باشد.



شکل (۴-۱۶) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری آرایش (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه

سال ۸۶

داده های بدست آمده از این آرایش (قطبی-دوقطبی معکوس) به دو دلیل برای تفسیر مناسب نیستند. دلیل اول بخاطر نا متقارن بودن آرایش مورد نظر و در نتیجه نا متقارن بودن داده های بدست آمده از این آرایش می باشد. دلیل دوم بخاطر کم بودن نسبت سیگنال به نوفه است. بنابراین با تفسیر کیفی نمی توان جواب مناسبی بدست آورد. اما تا حدودی محل گسل را نشان می دهد.



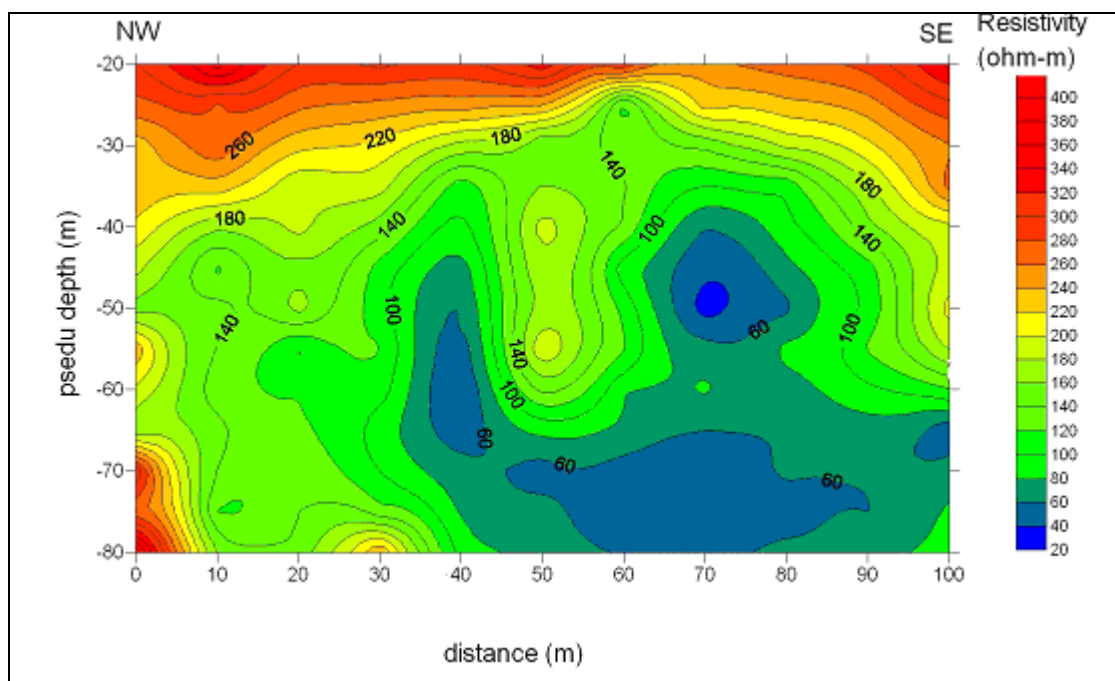
شکل (۴-۱۷) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از بکارگیری (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶

۴-۴-۴- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری آرایش (\overline{MNB}) آبان ماه

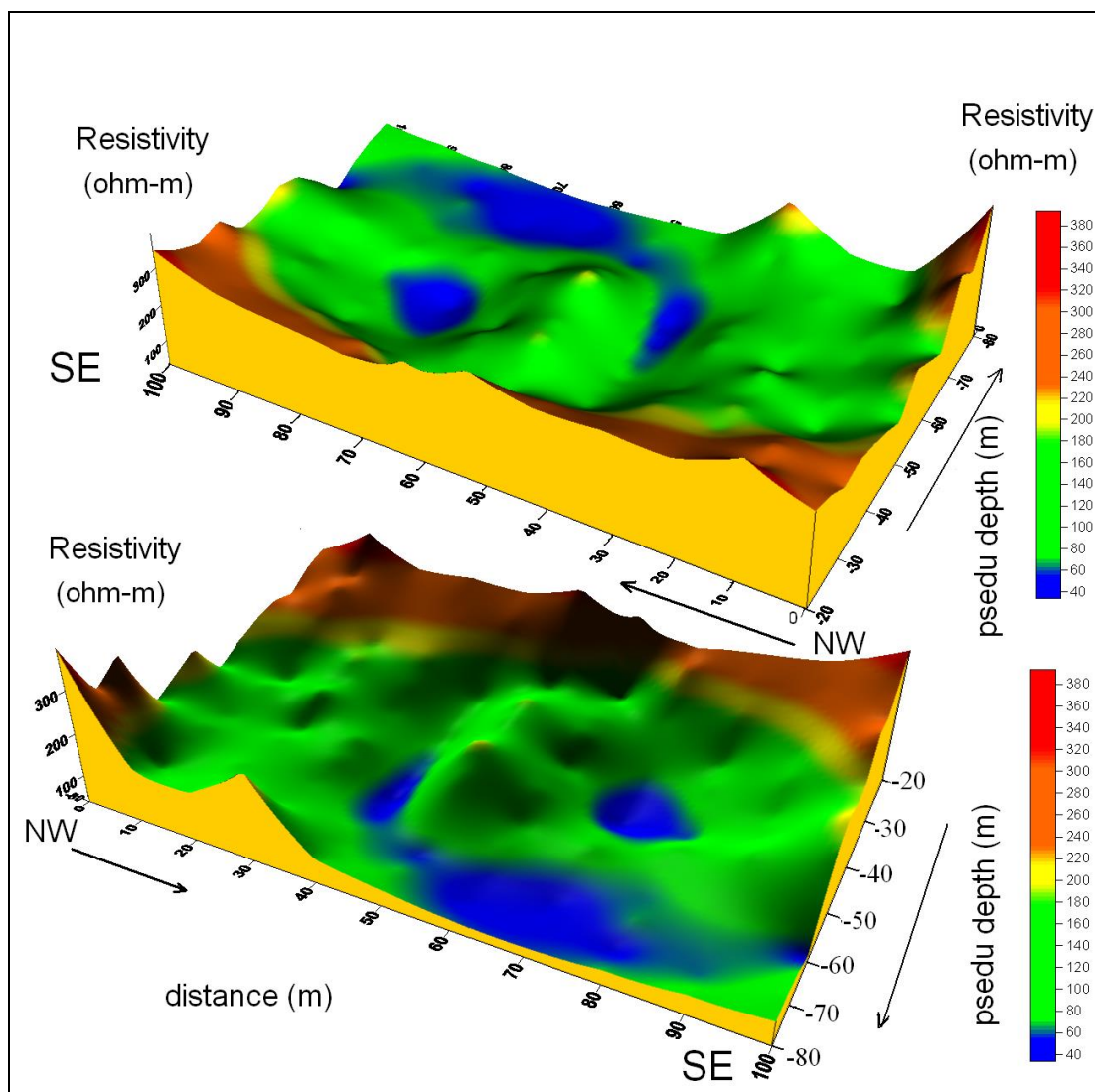
سال ۸۶

شکل های (۴-۱۸) و (۴-۱۹) آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{MNB}) را برای داده های بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶ نشان می دهد.

در این اشکال نیز تقریباً همان روندی که در بالا توضیح داده شد تکرار شده است و مقاومت ویژه بطور کلی در سطح بالاتر از سایر نقاط می‌باشد. در فاصله بین دو نقطه ۳۰ و ۴۰ متری از ابتدای خط پروفیل، تغییرات مقاومت ویژه را بطور محسوسی نشان می‌دهد. داده های بدست آمده در این آرایش نیز همانند داده های عملیات صحرایی اردیبهشت ماه، دارای نسبت سیگنال به نوفه خوبی نیستند. با توجه به مدل‌های رسم شده فقط می‌توانیم محل گسل را تشخیص دهیم.



شکل (۴-۱۸) شبه مقطع دو قائم مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش (MNB) بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶

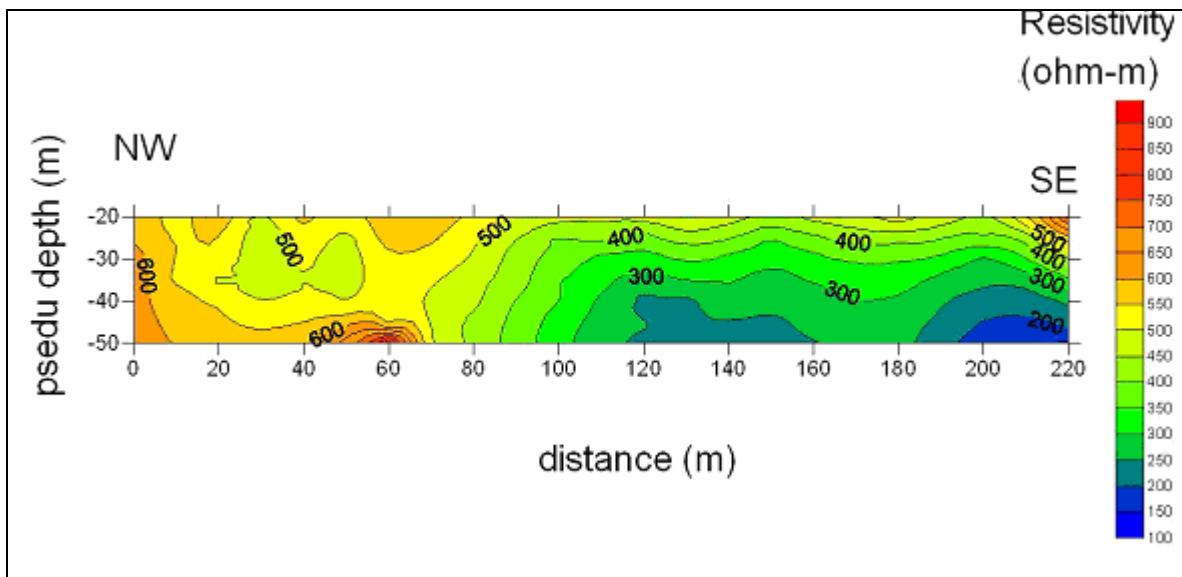


شکل (۴-۱۹) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری حاصل از آرایش (\overline{MNB}) بدست آمده از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶

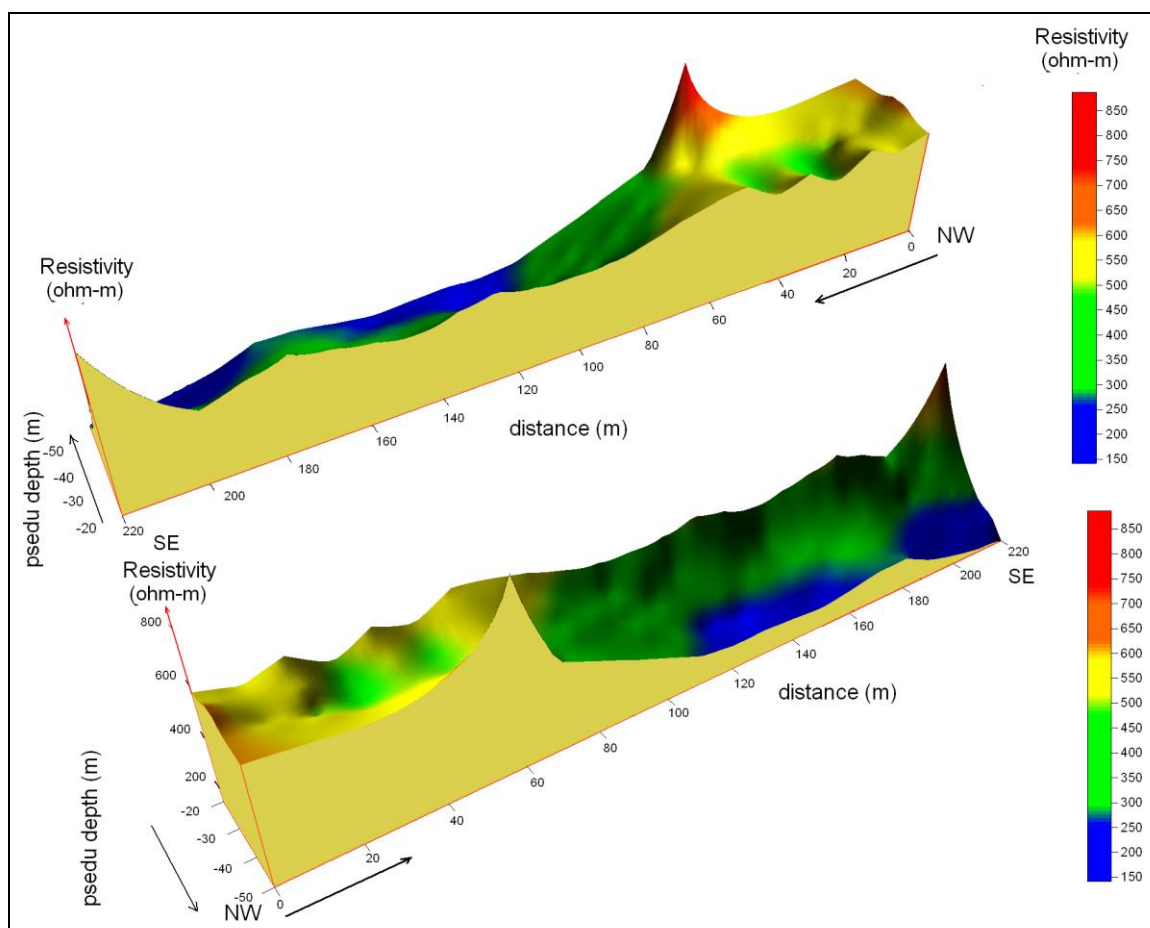
۴-۴-۵- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی میانگین مقاومت ویژه ظاهری اردیبهشت ماه

سال ۸۶

شکل‌های (۴-۲۰) و (۴-۲۱) شبه مقطع قائم و مدل سه بعدی مقاومت ویژه میانگین آرایش قطبی-دوقطبی متقارن حاصل از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶ را تا عمق ۵۰ متر نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است در فاصله ۱۱۰ متری از ابتدای پروفیل، تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه کاملاً مشخص است. در سمت چپ شکل گسل، مقاومت ویژه ظاهری بالاست و در سمت راست گسل مقاومت ویژه پایین است. در این شکل با توجه به محل گسل و خمیدگی خطوط، می‌توان گفت: توده با مقاومت ویژه بالاتر (شمال غربی) بر روی دشت شاهرود یا همان منطقه با مقاومت ویژه پایین‌تر (جنوب شرقی) رانده شده است.



شکل (۴-۲۰) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶



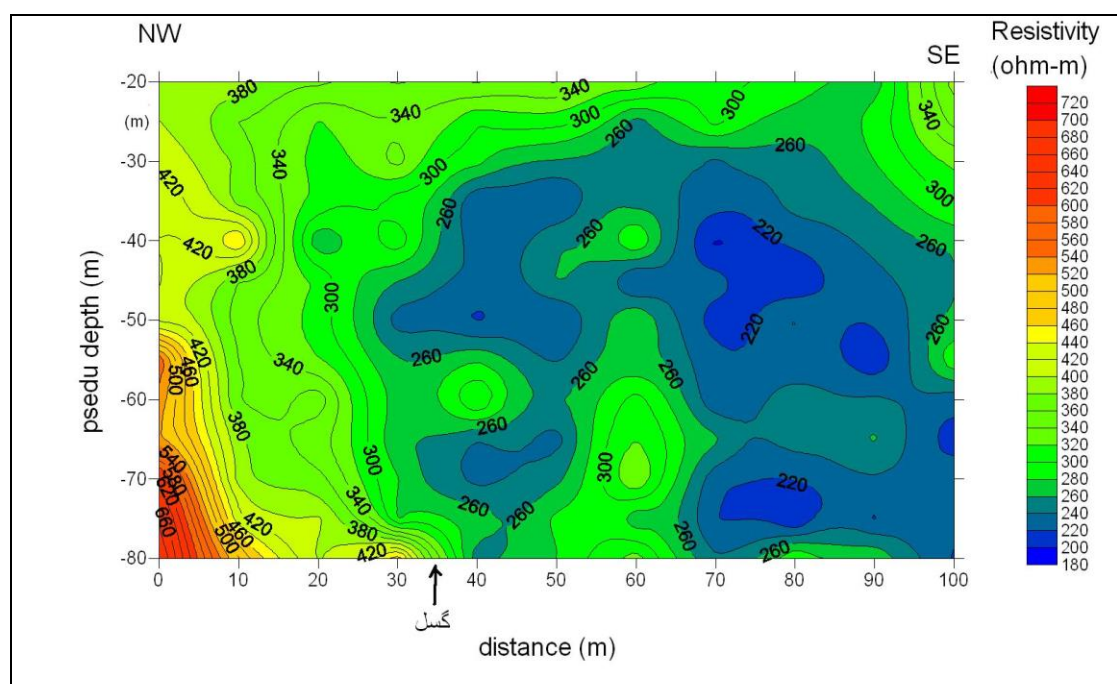
شکل (۴-۲۱) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶

۴-۴-۶- تفسیر کیفی داده های دو بعدی و سه بعدی میانگین مقاومت ویژه ظاهری آبان ماه سال

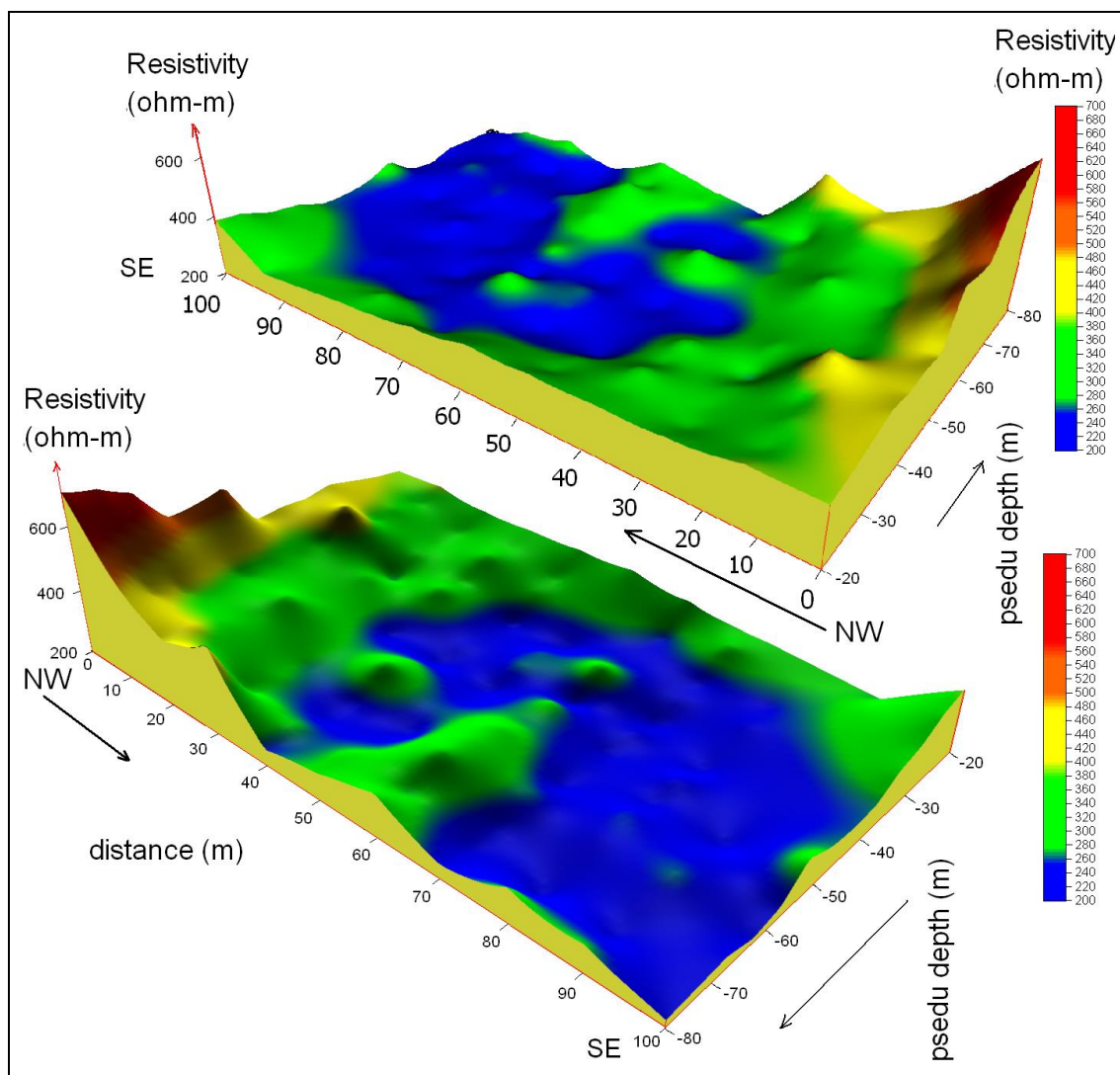
شکل‌های (۲۲-۴) و (۲۳-۴) شبه مقطع و مدل سه بعدی مقاومت ویژه قائم میانگین آرایش قطبی-دوقطبی متقارن حاصل از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶ را تا عمق ۸۰ متری نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل می‌بینیم در فاصله بین نقاط ۳۰ تا ۴۰ متری روی پروفیل که محل ایستگاه 0۴ می‌باشد تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه بطور کاملاً مشخصی دیده می‌شود.

البته ناپیوستگی‌هایی در شکل دیده می‌شود که ناشی از کاهش نسبت سیگنال به نوفه می‌باشد. لذا با توجه به اینکه در این عملیات صحرایی عمق نفوذ جریان به داخل زمین به اندازه کافی نبوده است و همچنین تا حدودی نوفه ای بودن داده‌های برداشت شده، نمی‌توان در مورد موقعیت و شیب گسل نظر قطعی را اعلام کرد.



شکل (۲۲-۴) شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶



شکل (۴-۲۳) مدل سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری میانگین بدست آمده از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶

بطور کلی با توجه به اشکال رسم شده در این فصل، می‌توان گفت که در تفسیر کیفی نمی‌توان به نتیجه و جواب مطلوبی رسید. مخصوصاً برای آرایش‌های قطبی-دوقطبی مستقیم و معکوس از روی شکل‌های رسم شده فقط می‌توانیم در مورد محل گسل اظهار نظر کنیم. در شکل‌های بدست آمده از ترکیب این دو آرایش، با وجود کاهش یافتن اثرات جانبی، از روی تفسیر کیفی نمی‌توانیم موقعیت و شیب گسل را نیز بطور دقیق تشخیص داد.

فصل پنجم

مختصری بر معکوس سازی

و

تفسیر کمی داده ها

داده های اندازه گیری شده در طی عملیات صحرائی در واقع یک سری اعداد خام می باشند که با قاعده مشخص و تحت شرایط خاصی بدست آمده اند و تعیین دقیق وضعیت لایه های زمین از روی این داده ها (بطور مستقیم) غیر ممکن است. بدین منظور تعیین رابطه بین داده های تجربی بدست آمده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و عبارت دیگر مدلسازی داده های برداشتی جهت تعیین وضعیت لایه های زیر سطحی ضروری می باشد.

افرادی چون جانسون پس از سالها تحقیق بر روی مسائل معکوس سازی، روشهای مختلفی جهت حل اینگونه مسائل ارائه نموده اند.

تمامی روشهای مذکور، یک مدل اولیه مناسب برای داده های تجربی نیاز دارند تا در کمترین زمان ممکن به مدل واقعی زمین، همگرا گردند. انتخاب مدل صحیح و مناسب به عنوان مدل اولیه در عملیات معکوس سازی از این جهت دارای اهمیت است که باعث بدست آمدن مدل واقعی زمین می گردد. لونبرگ نشان داد که با تصحیح پارامترهای مدل اولیه در تقریبات تیلور در هر مرحله از تکرار می توان از ناپایداری شدن مسئله و بدست آوردن نتایج غلط جلوگیری نمود. این نظریه چند سال بعد توسط مارکوارت (۱۹۶۳) و سپس توسط کنارد (۱۹۷۰) مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب یک الگوریتم خطی مناسب جهت مدلسازی داده های ژئوفیزیکی پیشنهاد شد که امروزه به رگریسون ریج یا روش مارکوارت- لونبرگ معروف است. اینمن و همکارانش در سال ۱۹۷۳ اولین کسانی بودند که روش معکوس سازی را روی داده های مقاومت ویژه الکتریکی بکار گرفتند.

مدلسازی ژئوفیزیکی عمدتاً به دو دسته مدلسازی فیزیکی و مدلسازی عددی تقسیم می شوند.

در روش مدلسازی فیزیکی که گاهی مدلسازی آزمایشگاهی نیز نامیده می شود، ساختارهای زمینی را در مقیاس آزمایشگاهی شبیه سازی می کنند و سپس با استفاده از آرایشهای مختلف ژئوالکتریکی و به روشهای پروفیل زنی و سونداژ زنی الکتریکی، داده های مقاومت ویژه قرائت و در نهایت با جوابهای صحرائی مطابقت داده می شوند. مدلسازی فیزیکی عمدتاً با مشکلاتی همراه است.

یکی از این مشکلات این است که، جوابهای مدلهای فیزیکی با جوابهای صحرائی به این دلیل که شرایط زمین، طبیعی و کاملاً متفاوت از شرایط کنترل شده آزمایشگاهی است، تفاوت دارد. بهر حال این روش بطور

کلی مفید است، اما همیشه جوابگو نیست. مشکل دیگر، وقت‌گیر و پرهزینه بودن آن است و از طرفی، با پیشرفت و توسعه علوم کامپیوتر، امروزه اغلب از مدل‌سازی عددی استفاده می‌شود.

مدلسازی عددی داده‌های ژئوفیزیکی را به دو نوع مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو و مدل‌سازی معکوس تقسیم بندی می‌کنند. داده‌های خام بدست آمده از زمین، هیچگونه اطلاعات کمی در رابطه با توزیع خواص فیزیکی زمین و یا عمق آنومالی‌ها ارائه نمی‌کنند. پس مدل‌سازی داده‌ها در ژئوفیزیک امری اجتناب‌ناپذیر است. هم مدل‌سازی مستقیم هم مدل‌سازی معکوس، رابطه بین توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و پاسخ ژئوفیزیکی (اندازه‌گیری صحرائی) را بیان می‌کند. اگر از توزیع خواص فیزیکی به پاسخ ژئوفیزیکی برسیم، مدل‌سازی مستقیم می‌نامند، ولی استنباط خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه از داده‌های مشاهده‌ای را، مدل‌سازی معکوس می‌گویند. ورودی مدل‌سازی معکوس، داده‌های صحرائی است که به کمک محاسبات مربوط به تئوری معکوس سازی بر روی آنها، پارامترهای مدل، به عنوان خروجی ارائه می‌شوند.

روش مدل‌سازی مستقیم دقت بالایی دارد اما بسیار کند و وقت‌گیر بوده و روابط ریاضی بسیار پیچیده و دشواری دارد. برای تعیین سریع خصوصیات مورد نظر، از مدل‌سازی معکوس استفاده می‌شود. از طرفی مدل‌سازی معکوس، روابط ریاضی پیچیده تری دارد [۷].

۵-۲ مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو^{۴۶}:

در این نوع مدل‌سازی، با وارد نمودن پارامترهای یک مدل فرضی، که با داده‌های تجربی همخوانی دارند، یکسری داده‌های تئوری منطبق بر پارامترهای مدل پیشنهادی بدست می‌آید که در صورت بالا بودن جذر میانگین مربعات خطای بین این داده‌ها و داده‌های تجربی (خطای جذر میانگین مربعات)، فرایند مدل‌سازی مجدداً تکرار خواهد شد. مدل‌سازی مستقیم شامل مراحل زیر است:

۱- فرض کردن یک مدل زمینی آزمایشی اولیه.

۲- محاسبه پاسخ مدل فرضی با استفاده از تئوری مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو.

۳- مقایسه پاسخ مدل فرضی با داده‌های صحرائی و محاسبه مقدار خطای نسبی بین آنها.

۴- بررسی نتیجه و تعدیل و تصحیح مدل آزمایشی مرحله اول تا وقتی که تطابق بین پاسخ مدل فرضی و اندازه گیری شده بهبود یابد تا جائیکه بهترین تطابق ممکن بدست آید [۷].

۵-۳ مدلسازی معکوس^{۴۷}

در مدلسازی معکوس در هر مرحله از تکرار، با اعمال یکسری عملیات ریاضی پیچیده روی داده های تجربی، پارامترهای فیزیکی مدل را بدست می آوریم. مسائل معکوس سازی بر عکس مسائل مستقیم که اغلب مستقیم، یک مرحله ای و خوش حالت هستند، بعلت وجود نوفه های زمین شناسی و نیز ناقص بودن اطلاعات و خطا در اندازه گیریها، اغلب غیر مستقیم، تکراری و بد حالت می باشند. حل اینگونه مسائل، مشکل و در برخی موارد غیر ممکن می باشد.

در معکوس سازی از روش حداقل مربعات، روش مارکوارت-لونبرگ و... استفاده می شود. می توان گفت که معکوس سازی داده های مقاومت ویژه، تعیین مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه ها با توجه به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده است [۷].

۵-۴ نرم افزارهای مورد استفاده در مدلسازی

در این پروژه برای مدلسازی از نرم افزار Pole-dipole استفاده شده است و برای مدلسازی معکوس دو بعدی از نرم افزار Res2dinV استفاده شده است که هر یک به اختصار معرفی می شوند.

۵-۴-۱ نرم افزار Pole-dipole

این نرم افزار فقط برای آرایش قطبی-دوقطبی متقارن تهیه شده است. در این نرم افزار ابتدا داده های برداشت شده پردازش می شوند سپس داده های پردازش شده را به Surfer می دهند تا شبه مقطع قائم داده های مقاومت ویژه را رسم کند.

۵-۴-۲ نرم افزار Res2dinv

نرم افزار Res2dinv برای مدل سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی توسط لوک^{۴۸} نوشته شده است. این نرم افزار کاملاً اتوماتیک بوده و تحت سیستم عامل ویندوز^{۴۹} کار می کند و برخلاف سایر نرم افزارهای مدل سازی، نیازی به دریافت یک مدل اولیه جهت شروع عملیات مدل سازی ندارد و دارای قابلیت مدل سازی تعداد زیادی از داده های ژئوالکتریکی می باشد. این نرم افزار بطور خودکار، بهترین مقادیر پارامترهای مورد نیاز را انتخاب نموده و شروع به مدل سازی می کند، هر چند که انتخاب این پارامترها توسط اپراتور نیز امکان پذیر است [۱۵].

نرم افزار Res2dinv، روش حداقل مربعات غیر خطی را بکار برده و محاسبات عددی را با روشهای تفاضل محدود^{۵۰} و اجزاء محدود^{۵۱} انجام می دهد.

روش معکوس سازی توسط این برنامه، از سه روش مختلف برای حداقل سازی مربعات استفاده می کند که عبارتند از:

۱- برنامه، اجرای روش حداقل مربعات بر پایه تکنیک بهینه سازی شبه- نیوتن را پشتیبانی می کند. این تکنیک بطور قابل توجهی سریعتر از روش حداقل مربعات معمولی (روش گوس- نیوتن) برای مجموعه داده های بزرگ است و به حافظه کمتری احتیاج دارد.

۲- می توان از روش گوس- نیوتن نیز استفاده کرد، چون در نواحی با اختلاف مقاومت ویژه بیشتر از ۱۰ برابر، نتایج بهتری بدست می دهد. این روش دارای دقت بالا ولی سرعت پائین می باشد.

۳- انتخاب سوم در این برنامه، استفاده ترکیبی از گوس- نیوتن برای ۲ یا ۳ تکرار اول و شبه- نیوتن برای تکرار های بعدی است، این روش ترکیبی، روشی نسبتاً دقیق و سریع است و در بعضی موارد، بهترین تطابق را بدست می دهد [۱۵].

برای معکوس سازی بوسیله Res2dinv، از روش حداقل مربعات هموار مقید شده^{۵۲} استفاده می گردد [۱۵].

1 - M. H. Lok
2 - Windows
- Finite Difference 3
4 - Finite Element
1- Smoothness-Constrained Least Square

مدل دو بعدی استفاده شده در این برنامه، زیر سطح را به تعدادی بلوکهای مستطیلی تقسیم می‌کند. هدف این برنامه، تعیین مقاومت ویژه بلوک های مستطیلی است که شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، که مطابق با اندازه گیری های واقعی است را تولید خواهد کرد. برای آرایش های ونر و شلومبرژه، ضخامت لایه اول بلوک ها، نصف فاصله الکترودی است. ضخامت لایه های عمیق تر بعدی بطور نرمال با ۱۰٪ یا ۲۵٪ افزایش می‌یابد. همچنین اعماق لایه ها را می توان بطور دستی افزایش داد [۱۵].

روش بهینه سازی، بطور اساسی برای کاهش اختلاف میان مقادیر مقاومت ویژه محاسبه شده و اندازه گیری شده بوسیله تعدیل مقاومت ویژه بلوک های مدل، بکار می‌رود. برنامه در هر بار تکرار، خطای RMS^{53} را محاسبه می‌کند و سعی در کاهش آن دارد. به هر حال، مدل با کمترین خطای RMS ممکن، می‌تواند بعضی اوقات تغییرات بزرگ و غیر واقعی در مقادیر مقاومت ویژه مدل نشان دهد و ممکن است همیشه بهترین مدل از یک مدل زمین شناسی را نشان ندهد.

بطور کلی، در صورتیکه خطای RMS مدل جدید، تغییر چندانی نسبت به خطای RMS مدل قبلی نداشته باشد که معمولاً بین تکرارهای سوم تا پنجم رخ می‌دهد، به عنوان مدل نهایی انتخاب می‌شود [۱۵].

۵-۵ پردازش داده ها و مدلسازی

برای بررسی نتایج هر یک از آرایش های قطبی-دوقطبی مستقیم و معکوس، داده های بدست آمده از عملیات صحرائی، هر کدام بطور جداگانه با نرم افزار Res2dinv رسم شده است تا با نتایج حاصل از ترکیب این دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن مقایسه شود.

در شکل هایی که در این فصل آورده شده است، در هر شکل سه مقطع مشاهده می شود. اولین مقطع مدل طراحی شده با داده های صحرائی می باشد. دومین مقطع با پردازش بر روی داده های خام صحرائی بدست آمده است و سومین مقطع در هر شکل، مدلسازی داده های پردازش شده در مقطع دوم می باشد. با توجه به مقطع سوم، کار تفسیر انجام می‌گیرد.

نکته مهم و قابل توجه در رسم مقطع مقاومت ویژه بوسیله نرم افزار Res2dinv برای آرایش قطبی-دوقطبی اینست، که این نرم افزار فقط برای آرایش قطبی-دوقطبی متقارن، دو آرایش مستقیم و معکوس را می‌شناسد

و داده های وارد شده را به محل مناسب آنها (با هر چه بزرگتر شدن اندازه آرایش، این محل از وسط الکترودهای پتانسیل و الکترودهای جریان، به سمت مرکز الکترودهای پتانسیل انتقال می یابد) نسبت می دهد. لذا برای رسم جداگانه مقاطع آرایش های قطبی-دوقطبی مستقیم و قطبی-دوقطبی معکوس، نرم افزار Res2dinv جهت حرکت بر روی خط پروفیل را همان جهت باز شدن یا افزایش فاصله بین الکتروود جریان و مرکز پتانسیل ها می داند. بنابراین چون در انجام عملیات صحرائی در اردیبهشت ماه و آبان ماه سال ۸۶، طبق طراحی انجام شده، شکل (۴-۹) و (۴-۱۰) جهت حرکت از چپ به راست بوده است (شمال غربی-جنوب شرقی). برای رسم مقطع مقاومت ویژه آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{MNB}) مشکلی بوجود نمی آید چون جهت باز شدن سیم جریان از چپ به راست بوده است اما برای رسم مقطع مقاومت ویژه آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{AMN})، چون جهت حرکت بر روی خط پروفیل با جهت باز شدن سیم های جریان متفاوت می باشد با مشکل مواجه می شویم، برای حل این مشکل فرض می کنیم که جهت حرکت ما بر روی پروفیل برای عملیات صحرائی اردیبهشت ماه از ایستگاه O_{23} به طرف ایستگاه O_1 می باشد یعنی ایستگاه O_{23} مبدأ گرفته شده است و ایستگاه O_1 بر روی خط پروفیل رسم شده، عدد ۲۲۰ را نشان می دهد و به همین ترتیب برای عملیات صحرائی آبان ماه، جهت حرکت بر روی خط پروفیل از ایستگاه O_{11} به طرف ایستگاه O_1 می باشد یعنی ایستگاه O_{11} را مبدأ گرفته شده است و ایستگاه O_1 بر روی خط پروفیل رسم شده عدد ۱۰۰ را نشان می دهد.

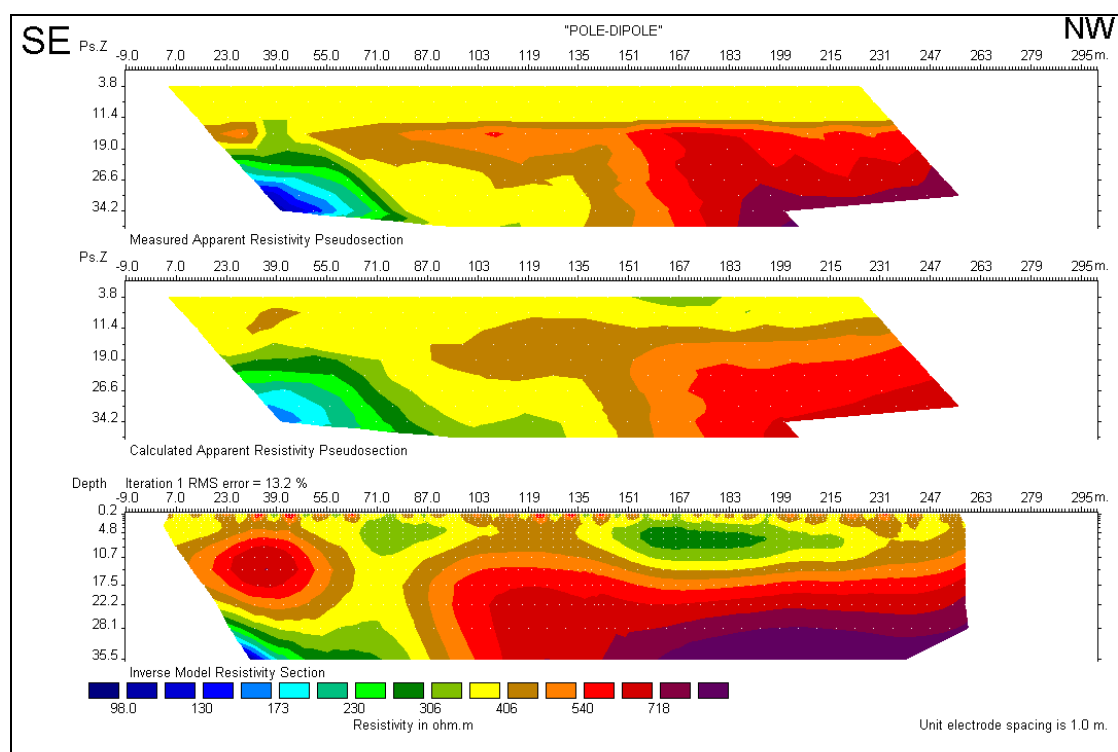
۵-۵-۱ تفسیر کمی داده های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{AMN}) حاصل از عملیات

صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶

داده های حاصل از عملیات صحرائی با استفاده از نرم افزار Res2dinv، پردازش و مدلسازی گردید شکل (۵-۱) مقطع مقاومت ویژه حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{AMN}) را برای عملیات صحرائی اردیبهشت ماه سال ۸۶ نشان می دهد.

با توجه به توضیح داده شده در بخش (۴-۵) ایستگاه O_{23} ، مبدأ خط پروفیل در نظر گرفته شده است و ایستگاه O_{12} که روی گسل واقع می باشد فاصله ۱۱۰ متری را روی خط پروفیل نشان می دهد. در فاصله ایستگاههای O_{23} تا O_{12} (فاصله ۰ تا ۱۱۰ متری) که از جنوب شرقی به سمت شمال غربی می باشد، مقاومت ویژه پایین است.

در فاصله بین ۷۰ تا ۱۱۰ متری بر روی خط پروفیل، تغییرات جانبی مقاومت ویژه بطور محسوس مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، در این فاصله، گسل مذکور بطور کاملاً واضح مشاهده می‌شود. از فاصله ۱۲۰ متری به بعد (به سمت شمال غربی)، تغییرات عمودی مقاومت ویژه را می‌توان مشاهده کرد که به سمت عمق، مقاومت ویژه افزایش می‌یابد. همانطور که در بخش (۳-۵-۵) توضیح داده شد، آرایش قطبی-دوقطبی جوابی نامتقارن ارائه می‌دهد و نیز چون جهت اندازه‌گیری بطور کلی از روی محیط با مقاومت ویژه زیاد بطرف محیط با مقاومت ویژه کم می‌باشد، لذا در این اندازه‌گیریها، آرایش‌های (\overline{AMN}) دارای اعتبار بیشتری نسبت به آرایش‌های (\overline{MNB}) می‌باشد. در اینجا تا حدودی می‌توان شیب گسل مذکور را حدس زد و با توجه به شکل (۵-۱) مشاهده می‌شود که توده با مقاومت بالا که در شمال غربی واقع است بر روی دشت شاهرود که در جنوب شرقی قرار دارد، پیشروی می‌کند یعنی شیب صفحه گسل به سمت شمال غربی است.

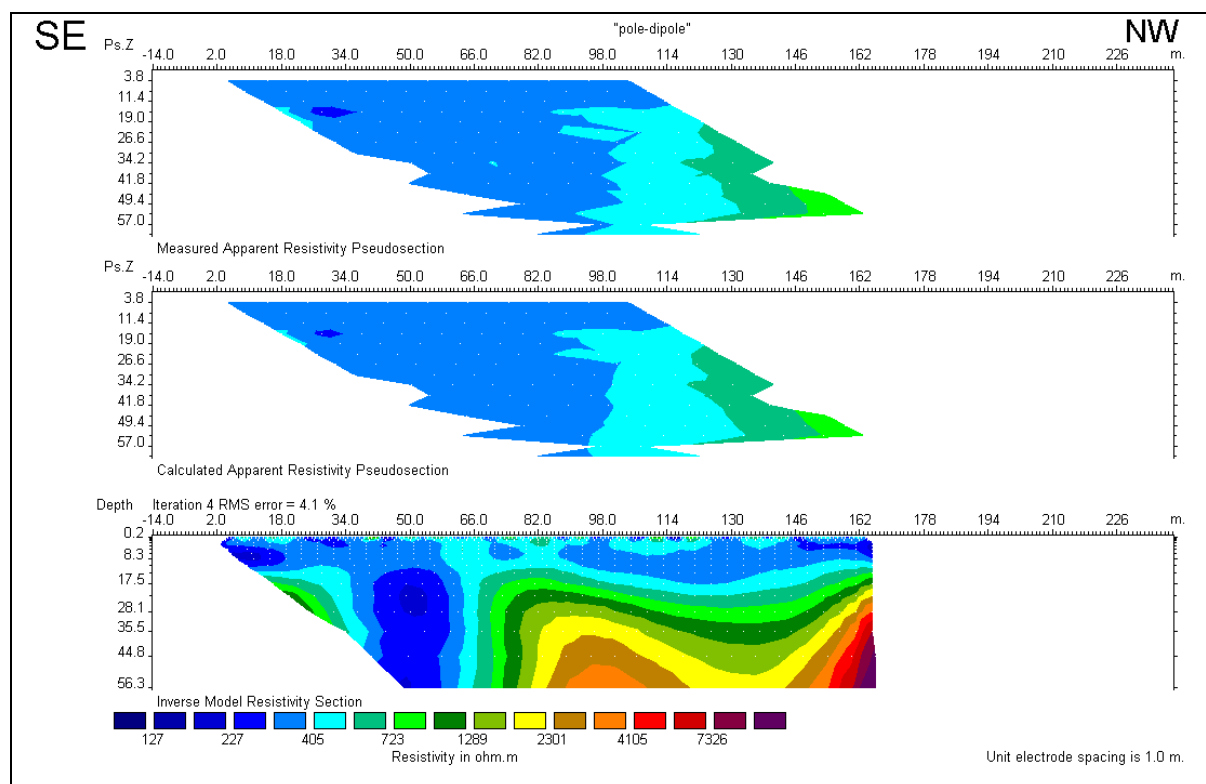


شکل (۵-۱) مدلسازی معکوس داده‌های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش (\overline{AMN}) اردیبهشت ماه سال ۸۶

۵-۵-۲ تفسیر کمی داده‌های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{AMN}) حاصل از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶

داده‌های حاصل از عملیات صحرائی با استفاده از نرم افزار Res2dinv، پردازش و مدلسازی گردید و نتیجه حاصله در مقطع قائم مقاومت ویژه در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. با توجه به توضیح داده شده در

بخش (۴-۵)، ایستگاه O_{11} ، مبدأ پروفیل در نظر گرفته شده است و ایستگاه O_4 که بر روی گسل واقع می‌باشد فاصله ۷۰ متری را روی خط پروفیل نشان می‌دهد. در ابتدای خط پروفیل یعنی از ایستگاه O_{11} تا ایستگاه O_4 (فاصله ۰ تا ۷۰ متری) مقاومت ویژه پایین است. در فاصله بین ۶۰ تا ۸۰ متری بر روی خط پروفیل تغییرات جانبی مقاومت ویژه بطور محسوسی مشاهده می‌شود، به عبارتی دیگر در این فاصله می‌توان گسل مذکور را مشاهده کرد. در روی پروفیل از فاصله ۸۰ متری به بعد (به سمت شمال غربی) تغییرات عمودی مقاومت ویژه مشاهده می‌شود که به سمت عمق، مقاومت ویژه افزایش می‌یابد. در این شکل شیب صفحه گسل تقریباً ۹۰ درجه می‌باشد. اگر در شکل (۲-۵) به فاصله بین ۶۶ تا ۹۰ متری بر روی خط پروفیل دقت شود، خم شدگی توده‌های با مقاومت ویژه بالا، به سمت جنوب شرقی مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که، چون در این عملیات صحرائی با توجه به مدلسازی نرم افزار، جریان به عمق بیشتری نفوذ کرده است لذا شیب بدست آمده در این شکل نسبت به شکل (۱-۵) دقیق تر و صحیح تر می‌باشد.



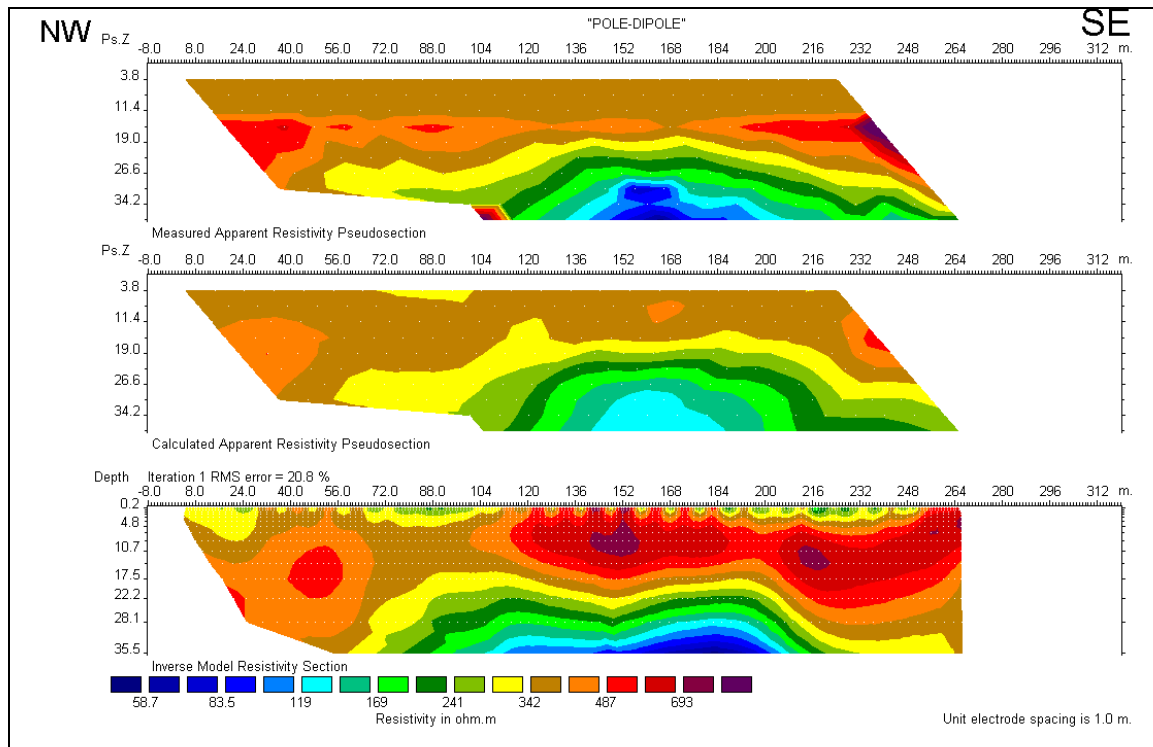
شکل (۲-۵) مدلسازی معکوس داده‌های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش (AMN) آبان ماه سال ۸۶

۵-۳-۵ تفسیر کمی داده های قطبی-دوقطبی آرایش (\overline{MNB}) حاصل از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶:

شکل (۳-۵) مقطع مقاومت ویژه حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی (\overline{MNB}) را برای عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶ نشان می دهد.

با توجه به توضیح داده شده در بخش (۳-۴)، عملیات سونداژ زنی اردیبهشت ماه سال ۸۶ بر روی ۲۳ ایستگاه انجام شده است و ایستگاه O_{12} که همان نقطه ۱۱۰ می باشد بر روی گسل مذکور واقع شده است.

همانطور که در شکل (۳-۵) مشاهده می شود تغییرات عمودی مقاومت ویژه زیاد است. مقاومت ویژه رفته رفته به سمت راست شکل، یعنی به سمت دشت شاهرود (جنوب شرقی)، به شدت کاهش یافته است. به عبارت دیگر در نقاط ابتدائی خط پروفیل مقاومت ویژه بالاست و در نقاط انتهایی خط پروفیل، مقاومت ویژه کاهش پیدا کرده است و در عمق، مقاومت ویژه نیز بتدریج کاهش یافته است. در نقطه ۶۰ تا ۷۰ متری خط پروفیل می توان به وجود گسل پی برد. در این شکل نیز شیب صفحه گسل به سمت چاه آب ذوب آهن (شمال غربی) می باشد.

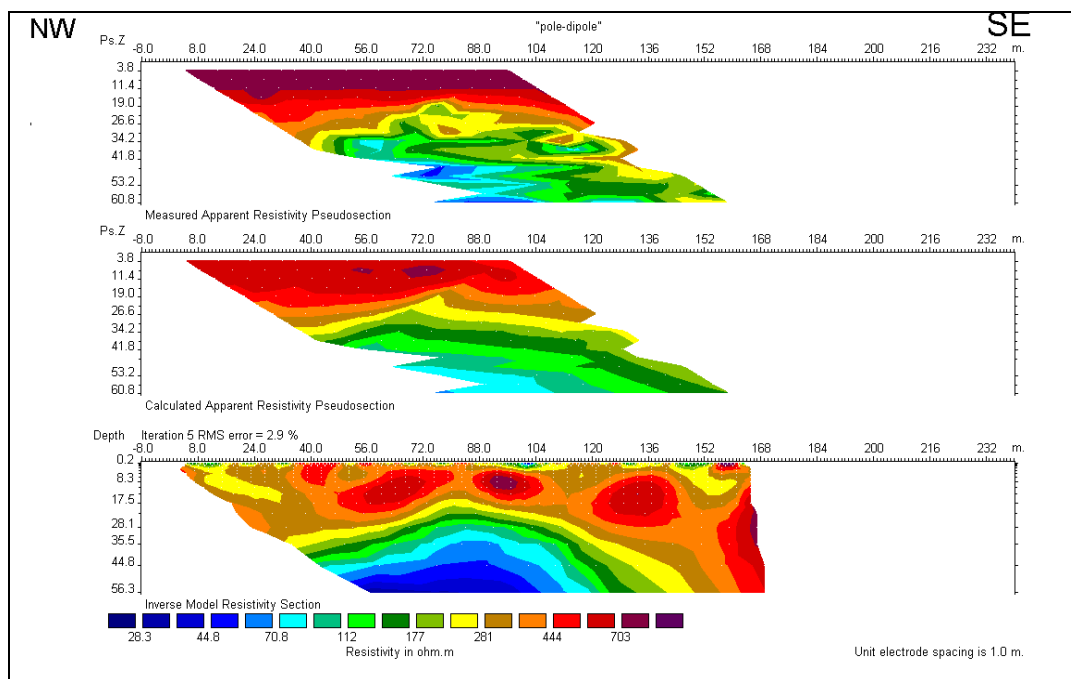


شکل (۳-۵) مدل‌سازی معکوس داده‌های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش (MNB) اردیبهشت ماه سال ۸۶

۵-۴-۵ تفسیر کمی داده‌های قطبی-دوقطبی آرایش (MNB) حاصل از عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶:

شکل (۴-۵) مقطع مقاومت ویژه حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی (MNB) را برای عملیات صحرائی آبان ماه سال ۸۶ نشان می‌دهد.

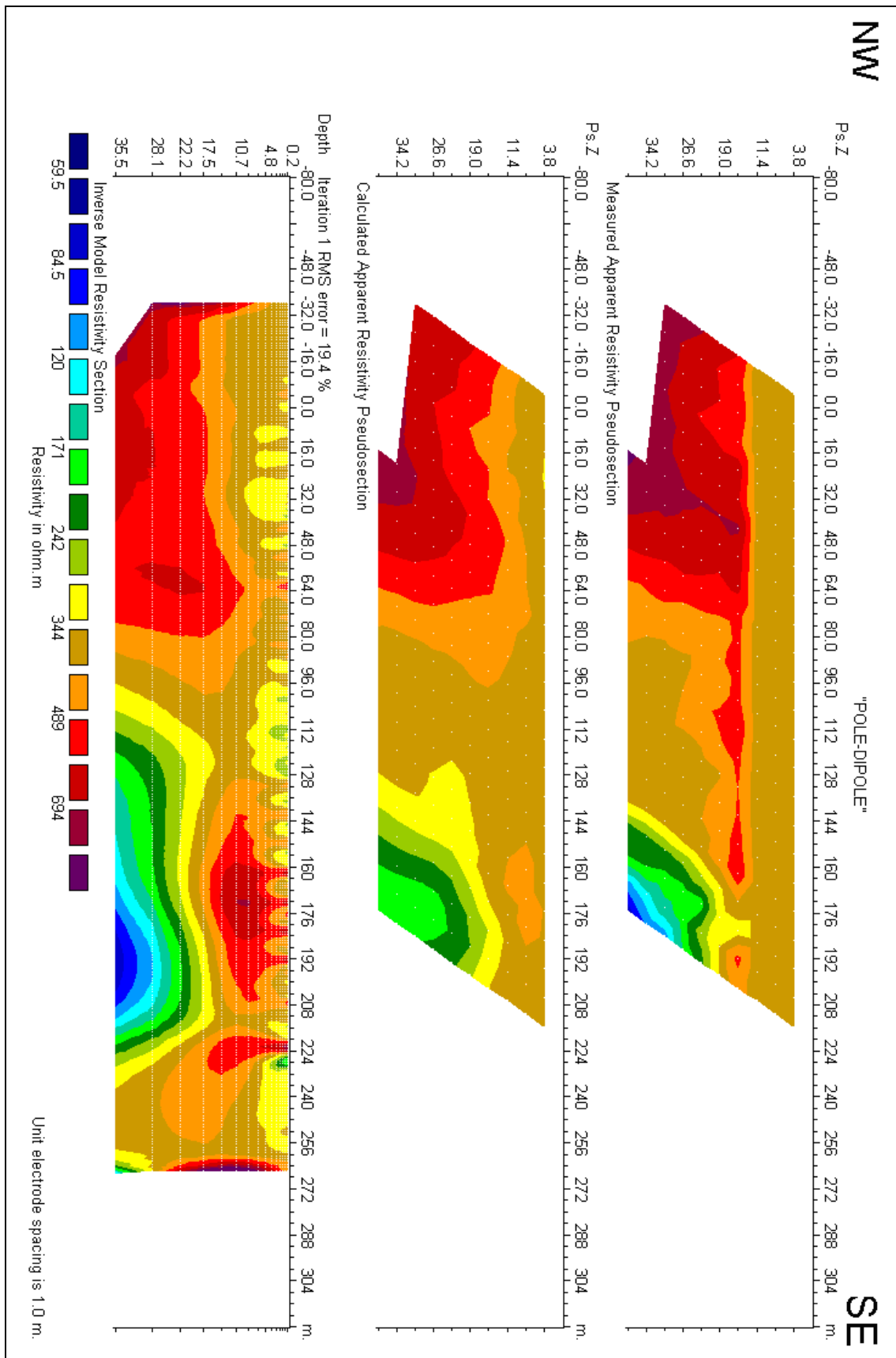
همانطور که در توضیح عملیات صحرائی گفته شده است، عملیات سونداژ زنی آبان ماه سال ۸۶ بر روی ۱۱ ایستگاه انجام شده است و ایستگاه O_۴ بر روی گسل مذکور واقع شده است. با توجه به شکل (۴-۵)، فاصله ۳۰ متری بر روی خط پروفیل، همان ایستگاه O_۴ می‌باشد که روی گسل واقع شده است. اما به دلیل اینکه فاصله ایستگاه اول تا گسل ۳۰ متر می‌باشد. همانطور که در شکل هم کاملاً مشخص است در مقطع مقاومت ویژه، نرم افزار Res2dinv برای نقطه ۳۰ بر روی پروفیل، تا عمق تقریباً ۲۵ متری را مدل‌سازی کرده است، بنابراین گسل در این مقطع نشان داده نشده است. به عبارت دیگر اگر عملیات صحرائی انجام شده بصورت متقارن انجام نمی‌شد، بهتر بود نقطه O_۶ بر روی گسل قرار می‌گرفت تا مقطع قطبی-دوقطبی (MNB)، شکل گسل را بخوبی رسم نماید. اما به دلیل اینکه عملیات صحرائی انجام شده بصورت متقارن انجام شده است، خللی در کار و تفسیر انجام گرفته، وارد نشده است.



شکل (۴-۵) مدل‌سازی معکوس داده‌های قطبی-دوقطبی حاصل از آرایش (MNB) آبان ماه سال ۸۶

۵-۵-۵ تفسیر کمی داده‌های دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن (CRP)^{۵۴} حاصل از عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶:

شکل (۵-۵) مقطع قائم مقاومت ویژه حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی متقارن را برای عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶ نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد ایستگاه O_{12} در نقطه ۱۱۰ متری روی پروفیل قرار دارد. در فاصله ۸۰ تا ۱۳۰ متری در روی خط پروفیل و در عمق ۲۲ تا ۳۵ متری، تغییرات جانبی مقاومت ویژه بطور محسوسی مشاهده می‌شود و با این فرضیه که ایستگاه O_{12} (نقطه ۱۱۰) روی گسل قرار دارد مطابقت دارد. در سمت چپ ایستگاه O_{12} ، مقادیر بالای مقاومت ویژه مشاهده می‌شود و در سمت راست ایستگاه O_{12} کاهش مقاومت ویژه کاملاً مشخص است. به دلیل اینکه در عملیات صحرایی اردیبهشت ماه سال ۸۶، پروفیل زنی بیشتر از سونداژ زنی انجام شده است لذا جریان الکتریکی به عمق کمتری نفوذ کرده است. مقطع قائم مقاومت ویژه رسم شده با نرم افزار $Res2dinv$ ، موقعیت و شیب گسل مورد نظر را بخوبی نشان می‌دهد. شیب صفحه گسل، به سمت شمال غربی می‌باشد.

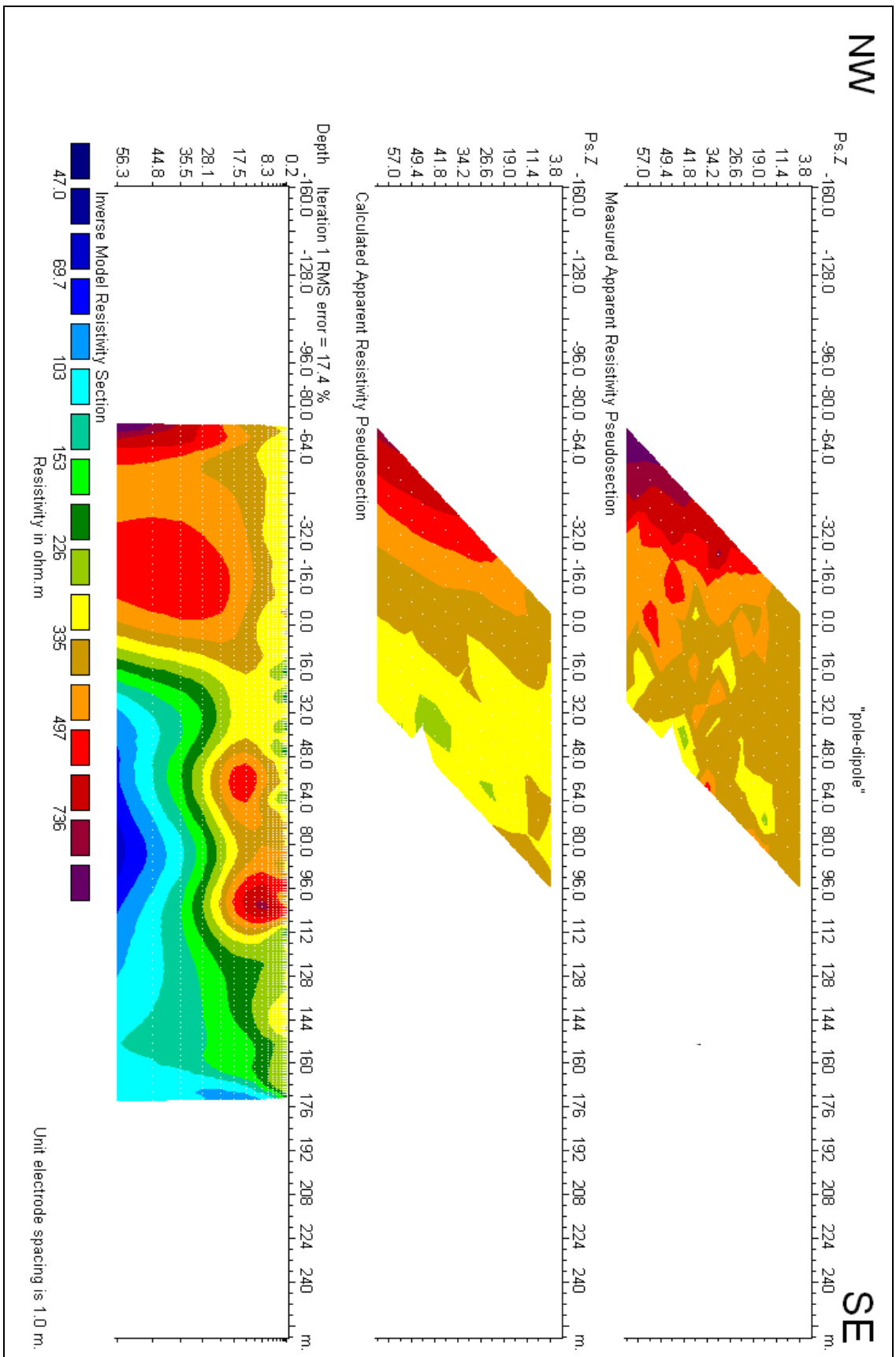


شکل (۵-۵) مدلسازی معکوس دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن اردیبهشت ماه سال ۸۶

۵-۵-۶ تفسیر کمی داده های دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن (CRP) حاصل از عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶:

شکل (۵-۶) مقطع مقاومت ویژه حاصل از آرایش قطبی-دوقطبی متقارن را برای عملیات صحرایی آبان ماه سال ۸۶ نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد ایستگاه O_۴ در نقطه ۳۰ متری بر روی خط پروفیل قرار دارد. در فاصله ۱۶ تا ۴۰ متری بر روی خط پروفیل و در عمق ۲۲ تا ۳۵ متری شکل (۵-۶) تغییرات افقی مقاومت ویژه بطور محسوسی مشاهده می‌شود و با این فرضیه که ایستگاه O_۴ (نقطه ۳۰) روی گسل قرار دارد مطابقت دارد. در سمت چپ ایستگاه O_۴، مقادیر بالای مقاومت ویژه مشاهده می‌شود و در سمت راست ایستگاه O_۴ کاهش چشم گیر مقاومت ویژه وجود دارد و این کاهش مقاومت ویژه با افزایش عمق بیشتر به چشم می‌خورد. بطوریکه در این شکل دیده می‌شود، شیب گسل مذکور تقریباً ۹۰ درجه می‌باشد و دارای شیب کمی بطرف شمال غربی می‌باشد. از سطح زمین تا عمق تقریباً ۲۰ متری، مقاومت ویژه تقریباً بطور یکنواخت توزیع شده است ولی در طرف چپ گسل در شکل (۵-۶) از این عمق به بعد، مقاومت ویژه با افزایش عمق، افزایش یافته است.

این بدین معنی است که از سطح زمین تا عمق تقریباً ۲۰ متری را رسوبات آبرفتی همگن تشکیل داده‌اند، و از این عمق به بعد سازند های آهکی متعلق به سازند لار بالا آمده‌اند. در سمت راست گسل، مقاومت ویژه با افزایش عمق کاهش یافته است.



شکل (۵-۶) مدلسازی معکوس دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن آبان ماه سال ۸۶

نکته بسیار مهم و جالب توجه در شکل‌های (۵-۵) و (۵-۶) این است که:

با توجه به اینکه این دو شکل مربوط به عملیات‌های صحرایی در دو زمان مختلف و در دو شرایط متفاوت می‌باشند، اگر به شکل (۵-۵) در عمق ۱۸ تا ۳۰ متری توجه شود یک خمیدگی و افزایش در مقاومت ویژه مشاهده می‌شود. در شکل (۵-۶) این خمیدگی و افزایش در مقاومت ویژه نیز مشاهده می‌شود که این خود دلیلی محکم بر انتخاب مناسب آرایش قطبی-دوقطبی متقارن و دقیق بودن شیب و موقعیت گسل مذکور می‌باشد.

اگر شکل (۵-۶)، با مقطع زمین‌شناسی در شکل (۲-۵) مقایسه شود، تطابق بین این دو شکل کاملاً به چشم می‌خورد که این خود دلیلی بر صحیح بودن نتایج بدست آمده است.

در حفاری چاه آبی که روسها در سال ۱۳۶۰ برای شرکت زغال سنگ البرز شرقی در حدود نیم کیلومتری در طرف چپ گسل انجام داده اند در شکل (۵-۶)، ضخامت آبرفت رودخانه ای را حدوداً ۲۳ متر و در زیر آن، سنگهای مقاوم مربوط به سازند لار را تشخیص داده اند که اندازه گیری‌های فوق‌الذکر را تأیید می‌نمایند.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری و پیشنهادات

وضوح شیب صفحه گسل بطور کامل و واضح در شکل (۵-۶)، مدیون بکارگیری روش مناسب استفاده شده در این تحقیق می باشد که باعث گردیده آنومالی های کاذبی که در اثر تصاویر چشمه الکتریکی حاصل می شوند بطور قابل توجهی کاهش یابند و همچنین باعث افزایش نسبت سیگنال به نوفه و نمایش تغییرات واقعی ناهمگنی های جانبی سنگها در زیر سطح زمین گردد و بعلاوه، استفاده از این روش باعث می شود که اکتشاف گسلهایی که در زیر یک رولایه پنهان می باشند، میسر گردد.

توسط روش ترکیب یافته آرایش قطبی-دوقطبی متقارن می توان بیشترین اطلاعات را درباره توزیع جانبی تغییرات مقاومت ویژه در زیر سطح زمین بدست آورد. این روش نه تنها برای اکتشاف گسل های پنهان در زیر آبرفت، بلکه برای اکتشاف منابع آبهای زیر زمینی در زمین های سختی که دارای درزه و شکاف و گسل می باشند نیز کاربرد دارد.

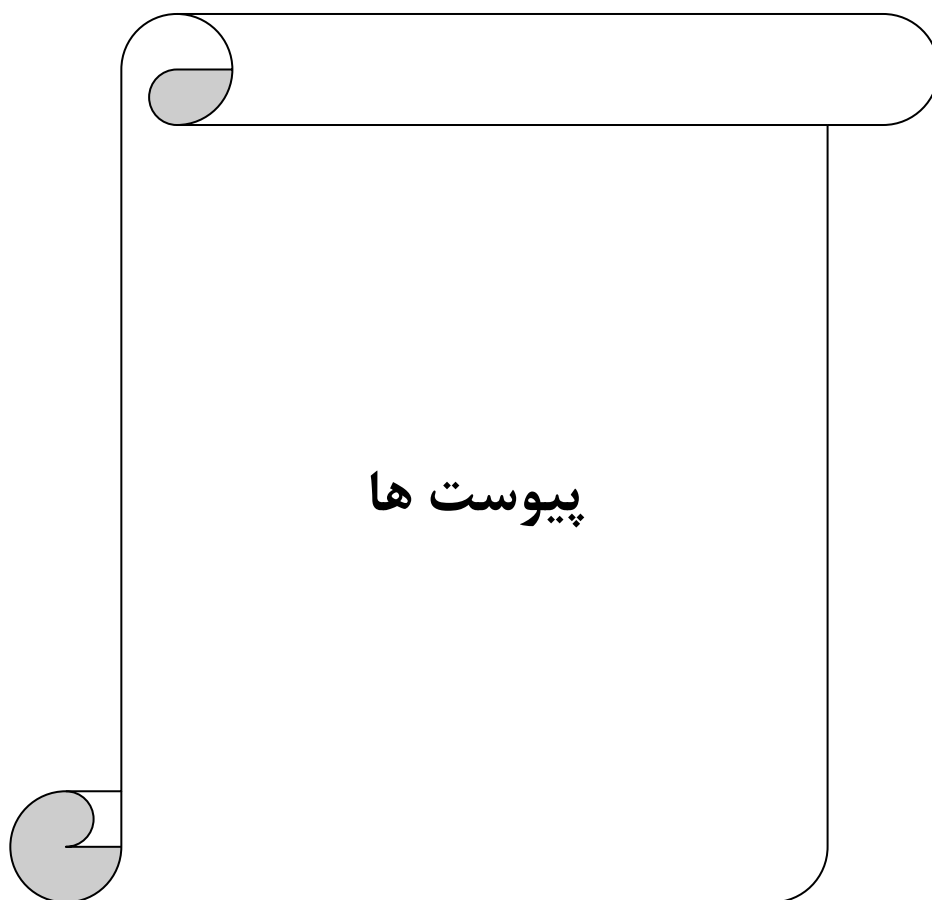
با توجه به اینکه گسلها مانند زهکش عمل می نمایند و می توانند آب را از مناطق پر آب به مناطق کم آب منتقل کنند و همچنین می توانند مانند یک سد در مقابل آبهای زیرزمینی عمل نمایند، لذا شناسایی اینگونه گسل های پنهان می تواند برای اکتشاف آبهای زیر زمینی و بهره مندی از این آبها، حائز اهمیت باشد.

یکی از معایب روش مذکور این است که این روش را در نواحی که تغییرات توپوگرافی شدید است و یا دره های عمیق و باریک و یا در مسیر های با پیچ و خم زیاد، نمی توان بکار گرفت.

با توجه به شکل های مدلسازی شده، گسل مورد مطالعه یک گسل معکوس با شیب تقریباً ۹۰ درجه و عبارت دیگر تقریباً قائم و کمی مایل بطرف شمال غربی می باشد. لذا با در نظر گرفتن این موضوع که گسل های معکوس نسبت به گسل های نرمال از نظر لرزه خیزی خطرناکتر می باشند بنابراین باید احتمال وقوع زلزله های قوی را در این منطقه زیاد دانست و تمهیدات لازم، جهت مواجهه شدن با این بلای طبیعی را فراهم نمود.

همچنین با توجه به اینکه در طرف راست گسل یاد شده (در طرف جنوب شرقی گسل) توسط اندازه گیریهای ، وضعیت ژئوالکتریکی سنگ کف مشخص نشده است (به علت عدم امکان گسترش فاصله الکترودهای جریان در امتداد یک خط راست و تنگ و پر پیچ و خم بودن منطقه کال قرونو)، لذا پیشنهاد می شود که یک برداشت لرزه ای منطبق بر خط پروفیل اندازه گیری شده فوق الذکر انجام شود.

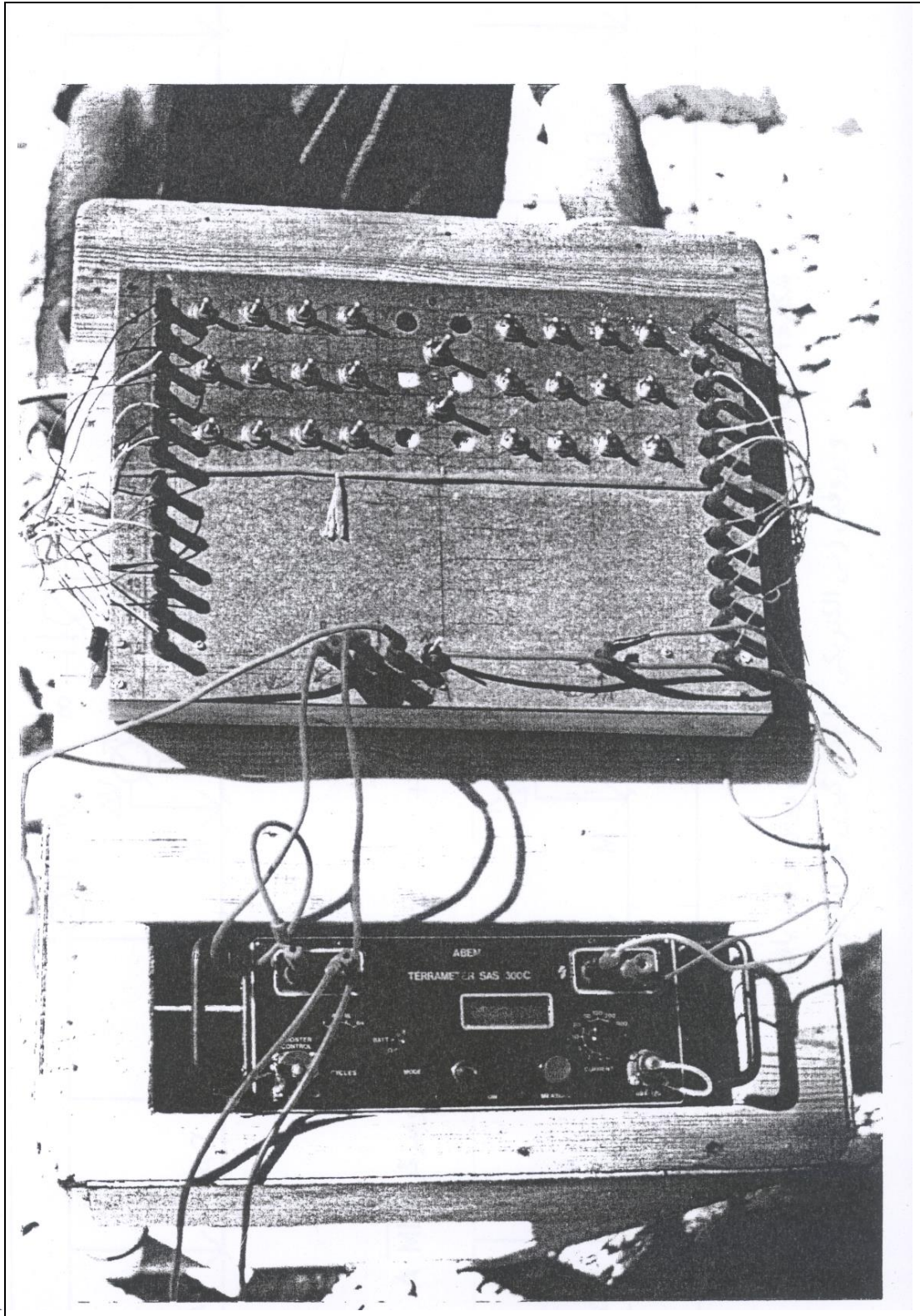
به منظور اینکه مشخص گردد که آیا غسل مذکور در دوره کواترنری فعال بوده است یا خیر لذا پیشنهاد می گردد که یک ترانسه بطور عمود بر امتداد غسل یاد شده حفر گردد.



پیوست الف: مختصری در مورد دستگاه مورد استفاده در برداشت صحرایی

به منظور سرعت بخشیدن به این نحوه اندازه گیری در صحرا، از یک کابل ۱۲ رشته ای استفاده شده است. انتهای هر یک از این رشته ها به ترتیب به یکی از الکترودهای A_4 تا A_{16} مطابق شکل (۴-۱۰) متصل شده است. ابتدای هر یک از این رشته ها به فیشی متصل است که آن نیز به صفحه کلیدی که در بالای شکل (الف ۱-۱) مشاهده می گردد وصل شده است. بطوریکه در کنار سمت چپ این صفحه کلید دیده می شود دوازده عدد فیش به صفحه کلید متصل شده اند. همچنین در قسمت سمت چپ صفحه کلید، ۱۲ عدد کلید قطع و وصل دیده می شود که هر یک از این کلیدها مربوط به یکی از فیش های مذکور می باشد. در هنگام اندازه گیری، همیشه فقط یکی از کلیدها وصل و سایر کلیدها قطع می باشند.

همین سیستم اندازه گیری برای اندازه گیری توسط الکترودهای B_4 تا B_{16} بطوریکه در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است، بکار گرفته شده است. یا به عبارت دیگر توسط یک کابل دوازده رشته ای، این الکترودها توسط ۱۲ فیش به کنار سمت راست صفحه کلید متصل شده اند که توسط ۱۲ عدد کلید قطع و وصلی که در قسمت سمت راست صفحه کلید دیده می شوند، ارتباط هر یک از الکترودهای یاد شده با دستگاه اندازه گیری برقرار می گردد.



شكل (الف-١) دستگاه SAS 1000

پیوست ب: طریقه ساختن فایل داده های ورودی نرم افزار Res2dinv

برای ساختن فایل داده های ورودی نرم افزار Res2dinv، از نرم افزارهایی مانند Surfer که قابلیت ذخیره فایل با پسوند dat دارند، استفاده می شود. نحوه وارد کردن اطلاعات بصورت زیر است:

- ۱- خط اول: عنوان مدل (نام پروفیل مورد نظر)
- ۲- خط دوم: کوچکترین فاصله الکترودی (در این پروژه، برای پروفیلهای CRP عدد ۱ را وارد می کنیم)
- ۳- خط سوم: عدد مشخص کننده نوع آرایش (آرایش قطبی - دوقطبی = ۶)
- ۴- خط چهارم: تعداد کل داده های پروفیل
- ۵- خط پنجم: مکان داده ها (اگر داده برداشت شده را به مرکز آرایش نسبت دهیم = ۱، اگر داده برداشت شده را به اولین الکترود نسبت دهیم = ۰)
- ۶- خط ششم: وجود داده های IP (وجود داشته باشد = ۱، وجود نداشته باشد = ۰)
- ۷- خط هفتم ستون اول: مختصات داده ها
- ۸- خط هفتم ستون دوم: فاصله الکترودهای پتانسیل
- ۹- خط هفتم ستون سوم: فاکتور n (نسبت فاصله الکترودهای پتانسیل و جریان به فاصله الکترودهای پتانسیل)
- ۱۰- خط هفتم ستون چهارم: داده های مقاومت ویژه

اگر داده های توپوگرافی موجود نباشند، در زیر ستون اول داده ها، ۴ عدد صفر زیر هم وارد می شود.

لازم به ذکر است که در وارد کردن داده های دو آرایش قطبی - دوقطبی متقارن، هنگام وارد کردن داده های آرایش \overline{AMN} مختصات مربوط به الکترود A باید نوشته شود و برای داده های آرایش \overline{MNB} ، مختصات مربوط به الکترود پتانسیل N را باید وارد کرد و عدد مربوط به فاکتور n نیز در منفی یک ضرب می شود.

داده های مقاومت ویژه ظاهری آرایش قطبی - دوقطبی \overline{AMN} اردیبهشت ماه سال ۸۶

POLE-DIPOLE

1			
6			
149			
0			
0			
216	8	4.5	582.5641
215	10	4.5	619.0777
214	12	4.5	705.5341
213	14	4.5	787.4581
212	16	4.5	805.2517
206	8	4.5	528.3004
205	10	4.5	572.4953
204	12	4.5	625.2016
203	14	4.5	674.1092
202	16	4.5	791.4993
196	8	4.5	563.9
195	10	4.5	581.9299
194	12	4.5	659.39
193	14	4.5	645.4946
192	16	4.5	765.0886
186	8	4.5	513.0185
185	10	4.5	535.9226
184	12	4.5	566.1507
183	14	4.5	631.938
182	16	4.5	706.0004
176	8	4.5	628.3724
175	10	4.5	610.498
174	12	4.5	643.8719
173	14	4.5	670.5188
172	16	4.5	729.4019
166	8	4.5	598.8034
165	10	4.5	604.0632
164	12	4.5	610.9145

163	14	4.5	667.2548
162	16	4.5	712.2424
156	8	4.5	706.3237
155	10	4.5	695.6425
154	12	4.5	698.0548
153	14	4.5	704.8129
152	16	4.5	751.2864
151	18	4.5	786.6685
150	20	4.5	857.041
146	8	4.5	642.5476
145	10	4.5	676.4158
144	12	4.5	670.3758
143	14	4.5	689.2979
142	16	4.5	706.4977
141	18	4.5	746.1293
140	20	4.5	799.5941
136	8	4.5	606.8982
135	10	4.5	583.9971
134	12	4.5	632.9607
133	14	4.5	632.0685
132	16	4.5	674.1683
131	18	4.5	670.4224
130	20	4.5	712.5222
126	8	4.5	519.5838
125	10	4.5	525.8663
124	12	4.5	536.905
123	14	4.5	574.1429
122	16	4.5	574.2455
121	18	4.5	600.6748
120	20	4.5	615.6271
116	8	4.5	506.4531
115	10	4.5	447.2343
114	12	4.5	472.6688
113	14	4.5	482.5977

112	16	4.5	524.0354
111	18	4.5	512.49
110	20	4.5	533.4668
106	8	4.5	510.171
105	10	4.5	477.9939
104	12	4.5	430.6281
103	14	4.5	449.4787
102	16	4.5	434.9553
101	18	4.5	453.2339
100	20	4.5	442.3849
96	8	4.5	512.5211
95	10	4.5	450.1408
94	12	4.5	430.7401
93	14	4.5	392.4234
92	16	4.5	397.7018
91	18	4.5	409.6171
90	20	4.5	432.1576
86	8	4.5	550.5455
85	10	4.5	501.6037
84	12	4.5	466.7003
83	14	4.5	410.9849
82	16	4.5	387.431
81	18	4.5	387.5429
80	20	4.5	399.424
76	8	4.5	509.8726
75	10	4.5	475.2894
74	12	4.5	427.8117
73	14	4.5	424.7373
72	16	4.5	383.9494
71	18	4.5	369.7773
70	20	4.5	380.0885
66	8	4.5	489.9651
65	10	4.5	403.8071
64	12	4.5	393.4742

63	14	4.5	379.9113
62	16	4.5	389.4703
61	18	4.5	357.1595
60	20	4.5	345.8007
56	8	4.5	494.0436
55	10	4.5	433.7585
54	12	4.5	394.7425
53	14	4.5	391.8577
52	16	4.5	372.7584
51	18	4.5	387.7668
50	20	4.5	357.0849
46	8	4.5	523.0655
45	10	4.5	433.0591
44	12	4.5	408.9177
43	14	4.5	390.5956
42	16	4.5	392.3302
41	18	4.5	388.2704
40	20	4.5	398.2117
36	8	4.5	540.3493
35	10	4.5	441.6854
34	12	4.5	385.9949
33	14	4.5	375.037
32	16	4.5	361.2442
31	18	4.5	357.9708
30	20	4.5	375.55
26	8	4.5	404.3294
25	10	4.5	328.1127
24	12	4.5	281.2288
23	14	4.5	246.913
22	16	4.5	238.7778
21	18	4.5	233.8827
20	20	4.5	240.6771
16	8	4.5	309.629
15	10	4.5	309.2591

14	12	4.5	184.1547
13	14	4.5	185.41
12	16	4.5	188.0678
11	18	4.5	203.9021
10	20	4.5	211.59
6	8	4.5	505.5081
5	10	4.5	345.21
4	12	4.5	262.0923
3	14	4.5	180.4595
2	16	4.5	160.5604
1	18	4.5	134.1684
0	20	4.5	114.0545
-4	8	4.5	451.3563
-5	10	4.5	348.2565
-6	12	4.5	221.7116
-7	14	4.5	172.1167
-8	16	4.5	109.5247
-9	18	4.5	104.0284
-10	20	4.5	77.04976
0			
0			
0			
0			
0			

داده‌های مقاومت ویژه ظاهری آرایش قطبی-دوقطبی \overline{MNB} اردیبهشت ماه سال ۸۶

POLE-DIPOLE

1

6

149

0

0			
-4	8	4.5	570.7514
-5	10	4.5	558.4134
-6	12	4.5	549.5694
-7	14	4.5	478.2457
-8	16	4.5	415.9307
6	8	4.5	536.8925
5	10	4.5	521.592
4	12	4.5	468.6588
3	14	4.5	403.4341
2	16	4.5	370.7441
16	8	4.5	596.0554
15	10	4.5	513.4941
14	12	4.5	440.5694
13	14	4.5	340.5036
12	16	4.5	321.5536
26	8	4.5	475.0687
25	10	4.5	396.7351
24	12	4.5	353.4105
23	14	4.5	313.0422
22	16	4.5	297.4557
36	8	4.5	503.5186
35	10	4.5	426.9818
34	12	4.5	374.0205
33	14	4.5	329.036
32	16	4.5	287.9807
46	8	4.5	440.4886
45	10	4.5	375.1148
44	12	4.5	344.4204
43	14	4.5	307.7763
42	16	4.5	285.3943
56	8	4.5	485.7871
55	10	4.5	439.5871
54	12	4.5	382.078

53	14	4.5	344.1158
52	16	4.5	292.1835
51	18	4.5	249.4325
50	20	4.5	916.3531
66	8	4.5	507.4852
65	10	4.5	439.2141
64	12	4.5	387.7108
63	14	4.5	322.5514
62	16	4.5	278.3813
61	18	4.5	243.2747
60	20	4.5	199.112
76	8	4.5	477.7794
75	10	4.5	429.795
74	12	4.5	357.5512
73	14	4.5	300.269
72	16	4.5	250.3542
71	18	4.5	206.3417
70	20	4.5	161.9145
86	8	4.5	474.8449
85	10	4.5	377.726
84	12	4.5	316.9466
83	14	4.5	277.856
82	16	4.5	219.3602
81	18	4.5	168.3624
80	20	4.5	135.1153
96	8	4.5	434.4455
95	10	4.5	342.1014
94	12	4.5	291.4686
93	14	4.5	224.8481
92	16	4.5	180.0899
91	18	4.5	138.8127
90	20	4.5	106.2053
106	8	4.5	415.4084
105	10	4.5	349.3134

104	12	4.5	234.003
103	14	4.5	184.4699
102	16	4.5	149.5933
101	18	4.5	111.9935
100	20	4.5	78.37402
116	8	4.5	431.8218
115	10	4.5	301.4099
114	12	4.5	232.6414
113	14	4.5	175.7745
112	16	4.5	72.44281
111	18	4.5	98.06918
110	20	4.5	54.49998
126	8	4.5	462.2613
125	10	4.5	335.4024
124	12	4.5	246.313
123	14	4.5	193.6005
122	16	4.5	84.75038
121	18	4.5	109.7749
120	20	4.5	96.45053
136	8	4.5	444.4303
135	10	4.5	329.465
134	12	4.5	242.3029
133	14	4.5	184.7746
132	16	4.5	155.2012
131	18	4.5	126.4047
130	20	4.5	95.80705
146	8	4.5	399.2188
145	10	4.5	296.9179
144	12	4.5	234.3947
143	14	4.5	188.3563
142	16	4.5	161.6049
141	18	4.5	117.9611
140	20	4.5	110.7035
156	8	4.5	435.8133

155	10	4.5	344.2619
154	12	4.5	274.6262
153	14	4.5	219.0164
152	16	4.5	169.6923
151	18	4.5	154.0967
150	20	4.5	136.4365
166	8	4.5	469.8089
165	10	4.5	386.7409
164	12	4.5	306.6323
163	14	4.5	243.3878
162	16	4.5	206.8786
161	18	4.5	174.2237
160	20	4.5	145.7218
176	8	4.5	518.8378
175	10	4.5	385.3265
174	12	4.5	323.9596
173	14	4.5	266.693
172	16	4.5	224.0505
171	18	4.5	181.9846
170	20	4.5	173.7925
186	8	4.5	567.5185
185	10	4.5	475.6158
184	12	4.5	395.8802
183	14	4.5	322.7038
182	16	4.5	273.3081
181	18	4.5	244.8946
180	20	4.5	184.713
196	8	4.5	553.3308
195	10	4.5	477.8384
194	12	4.5	391.0494
193	14	4.5	336.9567
192	16	4.5	278.6549
191	18	4.5	190.2631
190	20	4.5	147.8637

206	8	4.5	591.7531
205	10	4.5	485.0349
204	12	4.5	436.4847
203	14	4.5	354.9524
202	16	4.5	287.4585
201	18	4.5	251.1503
200	20	4.5	194.2347
216	8	4.5	1076.72
215	10	4.5	804.3192
214	12	4.5	659.4646
213	14	4.5	506.4034
212	16	4.5	403.1979
211	18	4.5	348.8502
210	20	4.5	206.8898
0			
0			
0			
0			
0			

داده‌های مقاومت ویژه ظاهری دو آرایش قطبی-دوقطبی متقارن اردیبهشت ماه سال ۸۶

POLE-DIPOLE

1			
6			
298			
0			
0			
-40	8	4.5	582.5641
-50	10	4.5	619.0777
-60	12	4.5	705.5341
-70	14	4.5	787.4581
-80	16	4.5	805.2517

-30	8	4.5	528.3004
-40	10	4.5	572.4953
-50	12	4.5	625.2016
-60	14	4.5	674.1092
-70	16	4.5	791.4993
-20	8	4.5	563.9
-30	10	4.5	581.9299
-40	12	4.5	659.39
-50	14	4.5	645.4946
-60	16	4.5	765.0886
-10	8	4.5	513.0185
-20	10	4.5	535.9226
-30	12	4.5	566.1507
-40	14	4.5	631.938
-50	16	4.5	706.0004
0	8	4.5	628.3724
-10	10	4.5	610.498
-20	12	4.5	643.8719
-30	14	4.5	670.5188
-40	16	4.5	729.4019
10	8	4.5	598.8034
0	10	4.5	604.0632
-10	12	4.5	610.9145
-20	14	4.5	667.2548
-30	16	4.5	712.2424
20	8	4.5	706.3237
10	10	4.5	695.6425
0	12	4.5	698.0548
-10	14	4.5	704.8129
-20	16	4.5	751.2864
-30	18	4.5	786.6685
-40	20	4.5	857.041
30	8	4.5	642.5476
20	10	4.5	676.4158

10	12	4.5	670.3758
0	14	4.5	689.2979
-10	16	4.5	706.4977
-20	18	4.5	746.1293
-30	20	4.5	799.5941
40	8	4.5	606.8982
30	10	4.5	583.9971
20	12	4.5	632.9607
10	14	4.5	632.0685
0	16	4.5	674.1683
-10	18	4.5	670.4224
-20	20	4.5	712.5222
50	8	4.5	519.5838
40	10	4.5	525.8663
30	12	4.5	536.905
20	14	4.5	574.1429
10	16	4.5	574.2455
0	18	4.5	600.6748
-10	20	4.5	615.6271
60	8	4.5	506.4531
50	10	4.5	447.2343
40	12	4.5	472.6688
30	14	4.5	482.5977
20	16	4.5	524.0354
10	18	4.5	512.49
0	20	4.5	533.4668
70	8	4.5	510.171
60	10	4.5	477.9939
50	12	4.5	430.6281
40	14	4.5	449.4787
30	16	4.5	434.9553
20	18	4.5	453.2339
10	20	4.5	442.3849
80	8	4.5	512.5211

70	10	4.5	450.1408
60	12	4.5	430.7401
50	14	4.5	392.4234
40	16	4.5	397.7018
30	18	4.5	409.6171
20	20	4.5	432.1576
90	8	4.5	550.5455
80	10	4.5	501.6037
70	12	4.5	466.7003
60	14	4.5	410.9849
50	16	4.5	387.431
40	18	4.5	387.5429
30	20	4.5	399.424
100	8	4.5	509.8726
90	10	4.5	475.2894
80	12	4.5	427.8117
70	14	4.5	424.7373
60	16	4.5	383.9494
50	18	4.5	369.7773
40	20	4.5	380.0885
110	8	4.5	489.9651
100	10	4.5	403.8071
90	12	4.5	393.4742
80	14	4.5	379.9113
70	16	4.5	389.4703
60	18	4.5	357.1595
50	20	4.5	345.8007
120	8	4.5	494.0436
110	10	4.5	433.7585
100	12	4.5	394.7425
90	14	4.5	391.8577
80	16	4.5	372.7584
70	18	4.5	387.7668
60	20	4.5	357.0849

130	8	4.5	523.0655
120	10	4.5	433.0591
110	12	4.5	408.9177
100	14	4.5	390.5956
90	16	4.5	392.3302
80	18	4.5	388.2704
70	20	4.5	398.2117
140	8	4.5	540.3493
130	10	4.5	441.6854
120	12	4.5	385.9949
110	14	4.5	375.037
100	16	4.5	361.2442
90	18	4.5	357.9708
80	20	4.5	375.55
150	8	4.5	404.3294
140	10	4.5	328.1127
130	12	4.5	281.2288
120	14	4.5	246.913
110	16	4.5	238.7778
100	18	4.5	233.8827
90	20	4.5	240.6771
160	8	4.5	309.629
150	10	4.5	309.2591
140	12	4.5	184.1547
130	14	4.5	185.41
120	16	4.5	188.0678
110	18	4.5	203.9021
100	20	4.5	211.59
170	8	4.5	505.5081
160	10	4.5	345.21
150	12	4.5	262.0923
140	14	4.5	180.4595
130	16	4.5	160.5604
120	18	4.5	134.1684

110	20	4.5	114.0545
180	8	4.5	451.3563
170	10	4.5	348.2565
160	12	4.5	221.7116
150	14	4.5	172.1167
140	16	4.5	109.5247
130	18	4.5	104.0284
120	20	4.5	77.04976
-4	8	-4.5	570.7514
-5	10	-4.5	558.4134
-6	12	-4.5	549.5694
-7	14	-4.5	478.2457
-8	16	-4.5	415.9307
6	8	-4.5	536.8925
5	10	-4.5	521.592
4	12	-4.5	468.6588
3	14	-4.5	403.4341
2	16	-4.5	370.7441
16	8	-4.5	596.0554
15	10	-4.5	513.4941
14	12	-4.5	440.5694
13	14	-4.5	340.5036
12	16	-4.5	321.5536
26	8	-4.5	475.0687
25	10	-4.5	396.7351
24	12	-4.5	353.4105
23	14	-4.5	313.0422
22	16	-4.5	297.4557
36	8	-4.5	503.5186
35	10	-4.5	426.9818
34	12	-4.5	374.0205
33	14	-4.5	329.036
32	16	-4.5	287.9807
46	8	-4.5	440.4886

45	10	-4.5	375.1148
44	12	-4.5	344.4204
43	14	-4.5	307.7763
42	16	-4.5	285.3943
56	8	-4.5	485.7871
55	10	-4.5	439.5871
54	12	-4.5	382.078
53	14	-4.5	344.1158
52	16	-4.5	292.1835
51	18	-4.5	249.4325
50	20	-4.5	916.3531
66	8	-4.5	507.4852
65	10	-4.5	439.2141
64	12	-4.5	387.7108
63	14	-4.5	322.5514
62	16	-4.5	278.3813
61	18	-4.5	243.2747
60	20	-4.5	199.112
76	8	-4.5	477.7794
75	10	-4.5	429.795
74	12	-4.5	357.5512
73	14	-4.5	300.269
72	16	-4.5	250.3542
71	18	-4.5	206.3417
70	20	-4.5	161.9145
86	8	-4.5	474.8449
85	10	-4.5	377.726
84	12	-4.5	316.9466
83	14	-4.5	277.856
82	16	-4.5	219.3602
81	18	-4.5	168.3624
80	20	-4.5	135.1153
96	8	-4.5	434.4455
95	10	-4.5	342.1014

94	12	-4.5	291.4686
93	14	-4.5	224.8481
92	16	-4.5	180.0899
91	18	-4.5	138.8127
90	20	-4.5	106.2053
106	8	-4.5	415.4084
105	10	-4.5	349.3134
104	12	-4.5	234.003
103	14	-4.5	184.4699
102	16	-4.5	149.5933
101	18	-4.5	111.9935
100	20	-4.5	78.37402
116	8	-4.5	431.8218
115	10	-4.5	301.4099
114	12	-4.5	232.6414
113	14	-4.5	175.7745
112	16	-4.5	72.44281
111	18	-4.5	98.06918
110	20	-4.5	54.49998
126	8	-4.5	462.2613
125	10	-4.5	335.4024
124	12	-4.5	246.313
123	14	-4.5	193.6005
122	16	-4.5	84.75038
121	18	-4.5	109.7749
120	20	-4.5	96.45053
136	8	-4.5	444.4303
135	10	-4.5	329.465
134	12	-4.5	242.3029
133	14	-4.5	184.7746
132	16	-4.5	155.2012
131	18	-4.5	126.4047
130	20	-4.5	95.80705
146	8	-4.5	399.2188

145	10	-4.5	296.9179
144	12	-4.5	234.3947
143	14	-4.5	188.3563
142	16	-4.5	161.6049
141	18	-4.5	117.9611
140	20	-4.5	110.7035
156	8	-4.5	435.8133
155	10	-4.5	344.2619
154	12	-4.5	274.6262
153	14	-4.5	219.0164
152	16	-4.5	169.6923
151	18	-4.5	154.0967
150	20	-4.5	136.4365
166	8	-4.5	469.8089
165	10	-4.5	386.7409
164	12	-4.5	306.6323
163	14	-4.5	243.3878
162	16	-4.5	206.8786
161	18	-4.5	174.2237
160	20	-4.5	145.7218
176	8	-4.5	518.8378
175	10	-4.5	385.3265
174	12	-4.5	323.9596
173	14	-4.5	266.693
172	16	-4.5	224.0505
171	18	-4.5	181.9846
170	20	-4.5	173.7925
186	8	-4.5	567.5185
185	10	-4.5	475.6158
184	12	-4.5	395.8802
183	14	-4.5	322.7038
182	16	-4.5	273.3081
181	18	-4.5	244.8946
180	20	-4.5	184.713

196	8	-4.5	553.3308
195	10	-4.5	477.8384
194	12	-4.5	391.0494
193	14	-4.5	336.9567
192	16	-4.5	278.6549
191	18	-4.5	190.2631
190	20	-4.5	147.8637
206	8	-4.5	591.7531
205	10	-4.5	485.0349
204	12	-4.5	436.4847
203	14	-4.5	354.9524
202	16	-4.5	287.4585
201	18	-4.5	251.1503
200	20	-4.5	194.2347
216	8	-4.5	1076.72
215	10	-4.5	804.3192
214	12	-4.5	659.4646
213	14	-4.5	506.4034
212	16	-4.5	403.1979
211	18	-4.5	348.8502
210	20	-4.5	206.8898
0			
0			
0			
0			
0			

داده‌های مقاومت ویژه ظاهری آرایش قطبی - دوقطبی \overline{AMN} آبان ماه سال ۸۶

pole-dipole

1
6
143

0
0
96 8 4.5 481.0621
95 10 4.5 527.2496
94 12 4.5 605.8413
93 14 4.5 636.0724
92 16 4.5 618.7357
91 18 4.5 655.8182
90 20 4.5 671.4576
89 22 4.5 878.1173
88 24 4.5 869.2765
87 26 4.5 887.1198
86 28 4.5 955.795
85 30 4.5 1092.005
84 32 4.5 1008.48
86 8 4.5 417.7337
85 10 4.5 441.3435
84 12 4.5 477.0893
83 14 4.5 510.0373
82 16 4.5 761.408
81 18 4.5 605.8786
80 20 4.5 613.3268
79 22 4.5 650.9968
78 24 4.5 694.884
77 26 4.5 716.582
76 28 4.5 758.9523
75 30 4.5 842.3529
74 32 4.5 948.695
76 8 4.5 430.852
75 10 4.5 372.1927
74 12 4.5 398.9391
73 14 4.5 447.6291
72 16 4.5 468.4287
71 18 4.5 579.6917

70	20	4.5	553.6223
69	22	4.5	563.2193
68	24	4.5	685.0733
67	26	4.5	652.4285
66	28	4.5	663.1639
65	30	4.5	748.3955
64	32	4.5	749.5456
66	8	4.5	417.7958
65	10	4.5	418.1067
64	12	4.5	480.4652
63	14	4.5	392.2929
62	16	4.5	474.0739
61	18	4.5	445.5401
60	20	4.5	387.3316
59	22	4.5	445.8976
58	24	4.5	500.5716
57	26	4.5	496.4994
56	28	4.5	545.4847
55	30	4.5	493.8477
54	32	4.5	708.8105
56	8	4.5	374.462
55	10	4.5	351.8158
54	12	4.5	402.688
53	14	4.5	331.6907
52	16	4.5	370.5603
51	18	4.5	381.0522
50	20	4.5	309.3057
49	22	4.5	503.1735
48	24	4.5	608.7509
47	26	4.5	451.9659
46	28	4.5	434.8994
45	30	4.5	472.9113
44	32	4.5	452.5127
46	8	4.5	392.0193

45	10	4.5	374.0578
44	12	4.5	376.735
43	14	4.5	273.0252
42	16	4.5	326.9004
41	18	4.5	346.7519
40	20	4.5	383.9121
39	22	4.5	378.8078
38	24	4.5	414.1028
37	26	4.5	416.4436
36	28	4.5	443.0812
35	30	4.5	404.2734
34	32	4.5	463.7036
36	8	4.5	371.5647
35	10	4.5	389.6319
34	12	4.5	364.9186
33	14	4.5	360.98
32	16	4.5	468.18
31	18	4.5	339.8415
30	20	4.5	429.6707
29	22	4.5	387.0487
28	24	4.5	484.1955
27	26	4.5	880.2498
26	28	4.5	580.4751
25	30	4.5	430.7587
24	32	4.5	601.2281
26	8	4.5	357.7874
25	10	4.5	384.816
24	12	4.5	324.9855
23	14	4.5	360.0225
22	16	4.5	330.6307
21	18	4.5	410.3725
20	20	4.5	390.1604
19	22	4.5	383.1505
18	24	4.5	363.5943

17	26	4.5	466.8371
16	28	4.5	409.701
15	30	4.5	391.1241
14	32	4.5	428.8873
16	8	4.5	307.8882
15	10	4.5	311.3107
14	12	4.5	309.7844
13	14	4.5	392.9892
12	16	4.5	355.972
11	18	4.5	332.4834
10	20	4.5	431.1628
9	22	4.5	353.538
8	24	4.5	396.2346
7	26	4.5	356.3917
6	28	4.5	316.9156
5	30	4.5	288.9133
4	32	4.5	400.5369
6	8	4.5	250.5034
5	10	4.5	327.0713
4	12	4.5	344.7189
3	14	4.5	351.0138
2	16	4.5	337.5691
1	18	4.5	357.9429
0	20	4.5	340.3606
-1	22	4.5	219.1874
-2	24	4.5	315.9954
-3	26	4.5	359.5438
-4	28	4.5	363.0907
-5	30	4.5	311.4351
-6	32	4.5	395.3916
-4	8	4.5	430.3546
-5	10	4.5	439.4006
-6	12	4.5	390.751
-7	14	4.5	345.7696

-8	16	4.5	334.734
-9	18	4.5	531.5986
-10	20	4.5	322.3618
-11	22	4.5	315.9581
-12	24	4.5	1118.984
-13	26	4.5	290.5204
-14	28	4.5	323.1922
-15	30	4.5	366.6905
-16	32	4.5	292.7058
0			
0			
0			
0			
0			

داده‌های مقاومت ویژه ظاهری آرایش قطبی-دوقطبی \overline{MNB} آبان ماه سال ۸۶

pole-dipole

1			
6			
143			
0			
0			
-4	8	4.5	298.7986
-5	10	4.5	273.4014
-6	12	4.5	229.0416
-7	14	4.5	236.3158
-8	16	4.5	216.0353
-9	18	4.5	187.7284
-10	20	4.5	152.3214
-11	22	4.5	234.8827
-12	24	4.5	23.76214
-13	26	4.5	161.7684
-14	28	4.5	318.5258
-15	30	4.5	267.1842

-16	32	4.5	393.5736
6	8	4.5	368.4934
5	10	4.5	277.9244
4	12	4.5	276.7897
3	14	4.5	231.6373
2	16	4.5	164.6066
1	18	4.5	115.3508
0	20	4.5	87.78686
-1	22	4.5	67.43175
-2	24	4.5	27.71628
-3	26	4.5	58.47587
-4	28	4.5	23.97974
-5	30	4.5	11.05107
-6	32	4.5	53.76635
16	8	4.5	298.0526
15	10	4.5	265.0703
14	12	4.5	226.2439
13	14	4.5	182.1329
12	16	4.5	59.03853
11	18	4.5	55.61907
10	20	4.5	65.7158
9	22	4.5	80.4257
8	24	4.5	254.9674
7	26	4.5	42.63445
6	28	4.5	72.41795
5	30	4.5	107.713
4	32	4.5	44.06751
26	8	4.5	304.2698
25	10	4.5	254.1281
24	12	4.5	213.7473
23	14	4.5	188.748
22	16	4.5	151.7245
21	18	4.5	75.11932
20	20	4.5	106.1898

19	22	4.5	78.30563
18	24	4.5	45.21148
17	26	4.5	32.04656
16	28	4.5	17.58224
15	30	4.5	62.20309
14	32	4.5	240.8295
36	8	4.5	294.086
35	10	4.5	251.1904
34	12	4.5	172.0051
33	14	4.5	109.258
32	16	4.5	94.8496
31	18	4.5	91.79358
30	20	4.5	122.1991
29	22	4.5	52.31774
28	24	4.5	2459.586
27	26	4.5	27.23755
26	28	4.5	32.37918
25	30	4.5	77.21762
24	32	4.5	43.9183
46	8	4.5	331.8368
45	10	4.5	240.9787
44	12	4.5	140.1388
43	14	4.5	161.1996
42	16	4.5	188.3066
41	18	4.5	247.4041
40	20	4.5	249.6828
39	22	4.5	356.6839
38	24	4.5	391.5344
37	26	4.5	48.04963
36	28	4.5	66.23805
35	30	4.5	166.3256
34	32	4.5	94.50144
56	8	4.5	298.4256
55	10	4.5	112.3759

54	12	4.5	133.9185
53	14	4.5	142.1376
52	16	4.5	137.9721
51	18	4.5	87.70915
50	20	4.5	135.5039
49	22	4.5	142.7966
48	24	4.5	3296.708
47	26	4.5	12.08313
46	28	4.5	100.0969
45	30	4.5	104.6821
44	32	4.5	59.13801
66	8	4.5	249.1978
65	10	4.5	229.5857
64	12	4.5	144.8856
63	14	4.5	171.688
62	16	4.5	60.82908
61	18	4.5	115.9104
60	20	4.5	31.86315
59	22	4.5	67.53434
58	24	4.5	82.70119
57	26	4.5	241.5413
56	28	4.5	42.99816
55	30	4.5	168.4239
54	32	4.5	55.50716
76	8	4.5	269.727
75	10	4.5	233.7978
74	12	4.5	185.1917
73	14	4.5	105.2976
72	16	4.5	94.99882
71	18	4.5	205.7458
70	20	4.5	56.57652
69	22	4.5	369.3359
68	24	4.5	114.8939
67	26	4.5	140.1077

66	28	4.5	321.7898
65	30	4.5	108.3658
64	32	4.5	201.7357
86	8	4.5	287.4709
85	10	4.5	250.4754
84	12	4.5	215.0903
83	14	4.5	174.4515
82	16	4.5	155.231
81	18	4.5	111.5739
80	20	4.5	104.6976
79	22	4.5	191.9343
78	24	4.5	169.9907
77	26	4.5	165.5267
76	28	4.5	112.3697
75	30	4.5	125.8983
74	32	4.5	159.8069
96	8	4.5	346.5965
95	10	4.5	293.9492
94	12	4.5	257.7651
93	14	4.5	266.9977
92	16	4.5	193.3549
91	18	4.5	187.3087
90	20	4.5	207.3436
89	22	4.5	276.6001
88	24	4.5	344.8308
87	26	4.5	129.6411
86	28	4.5	141.3543
85	30	4.5	82.95299
84	32	4.5	143.6919
0			
0			
0			
0			
0			

داده‌های مقاومت ویژه ظاهری دو آرایش قطبی - دوقطبی متقارن آبان ماه سال ۸۶

pole-dipole

1			
6			
286			
0			
0			
-40	8	4.5	481.0621
-50	10	4.5	527.2496
-60	12	4.5	605.8413
-70	14	4.5	636.0724
-80	16	4.5	618.7357
-90	18	4.5	655.8182
-100	20	4.5	671.4576
-110	22	4.5	878.1173
-120	24	4.5	869.2765
-130	26	4.5	887.1198
-140	28	4.5	955.795
-150	30	4.5	1092.005
-160	32	4.5	1008.48
-30	8	4.5	417.7337
-40	10	4.5	441.3435
-50	12	4.5	477.0893
-60	14	4.5	510.0373
-70	16	4.5	761.408
-80	18	4.5	605.8786
-90	20	4.5	613.3268
-100	22	4.5	650.9968
-110	24	4.5	694.884
-120	26	4.5	716.582
-130	28	4.5	758.9523
-140	30	4.5	842.3529
-150	32	4.5	948.695

-20	8	4.5	430.852
-30	10	4.5	372.1927
-40	12	4.5	398.9391
-50	14	4.5	447.6291
-60	16	4.5	468.4287
-70	18	4.5	579.6917
-80	20	4.5	553.6223
-90	22	4.5	563.2193
-100	24	4.5	685.0733
-110	26	4.5	652.4285
-120	28	4.5	663.1639
-130	30	4.5	748.3955
-140	32	4.5	749.5456
-10	8	4.5	417.7958
-20	10	4.5	418.1067
-30	12	4.5	480.4652
-40	14	4.5	392.2929
-50	16	4.5	474.0739
-60	18	4.5	445.5401
-70	20	4.5	387.3316
-80	22	4.5	445.8976
-90	24	4.5	500.5716
-100	26	4.5	496.4994
-110	28	4.5	545.4847
-120	30	4.5	493.8477
-130	32	4.5	708.8105
0	8	4.5	374.462
-10	10	4.5	351.8158
-20	12	4.5	402.688
-30	14	4.5	331.6907
-40	16	4.5	370.5603
-50	18	4.5	381.0522
-60	20	4.5	309.3057
-70	22	4.5	503.1735

-80	24	4.5	608.7509
-90	26	4.5	451.9659
-100	28	4.5	434.8994
-110	30	4.5	472.9113
-120	32	4.5	452.5127
10	8	4.5	392.0193
0	10	4.5	374.0578
-10	12	4.5	376.735
-20	14	4.5	273.0252
-30	16	4.5	326.9004
-40	18	4.5	346.7519
-50	20	4.5	383.9121
-60	22	4.5	378.8078
-70	24	4.5	414.1028
-80	26	4.5	416.4436
-90	28	4.5	443.0812
-100	30	4.5	404.2734
-110	32	4.5	463.7036
20	8	4.5	371.5647
10	10	4.5	389.6319
0	12	4.5	364.9186
-10	14	4.5	360.98
-20	16	4.5	468.18
-30	18	4.5	339.8415
-40	20	4.5	429.6707
-50	22	4.5	387.0487
-60	24	4.5	484.1955
-70	26	4.5	880.2498
-80	28	4.5	580.4751
-90	30	4.5	430.7587
-100	32	4.5	601.2281
30	8	4.5	357.7874
20	10	4.5	384.816
10	12	4.5	324.9855

0	14	4.5	360.0225
-10	16	4.5	330.6307
-20	18	4.5	410.3725
-30	20	4.5	390.1604
-40	22	4.5	383.1505
-50	24	4.5	363.5943
-60	26	4.5	466.8371
-70	28	4.5	409.701
-80	30	4.5	391.1241
-90	32	4.5	428.8873
40	8	4.5	307.8882
30	10	4.5	311.3107
20	12	4.5	309.7844
10	14	4.5	392.9892
0	16	4.5	355.972
-10	18	4.5	332.4834
-20	20	4.5	431.1628
-30	22	4.5	353.538
-40	24	4.5	396.2346
-50	26	4.5	356.3917
-60	28	4.5	316.9156
-70	30	4.5	288.9133
-80	32	4.5	400.5369
50	8	4.5	250.5034
40	10	4.5	327.0713
30	12	4.5	344.7189
20	14	4.5	351.0138
10	16	4.5	337.5691
0	18	4.5	357.9429
-10	20	4.5	340.3606
-20	22	4.5	219.1874
-30	24	4.5	315.9954
-40	26	4.5	359.5438
-50	28	4.5	363.0907

-60	30	4.5	311.4351
-70	32	4.5	395.3916
60	8	4.5	430.3546
50	10	4.5	439.4006
40	12	4.5	390.751
30	14	4.5	345.7696
20	16	4.5	334.734
10	18	4.5	531.5986
0	20	4.5	322.3618
-10	22	4.5	315.9581
-20	24	4.5	1118.984
-30	26	4.5	290.5204
-40	28	4.5	323.1922
-50	30	4.5	366.6905
-60	32	4.5	292.7058
-4	8	-4.5	298.7986
-5	10	-4.5	273.4014
-6	12	-4.5	229.0416
-7	14	-4.5	236.3158
-8	16	-4.5	216.0353
-9	18	-4.5	187.7284
-10	20	-4.5	152.3214
-11	22	-4.5	234.8827
-12	24	-4.5	23.76214
-13	26	-4.5	161.7684
-14	28	-4.5	318.5258
-15	30	-4.5	267.1842
-16	32	-4.5	393.5736
6	8	-4.5	368.4934
5	10	-4.5	277.9244
4	12	-4.5	276.7897
3	14	-4.5	231.6373
2	16	-4.5	164.6066
1	18	-4.5	115.3508

0	20	-4.5	87.78686
-1	22	-4.5	67.43175
-2	24	-4.5	27.71628
-3	26	-4.5	58.47587
-4	28	-4.5	23.97974
-5	30	-4.5	11.05107
-6	32	-4.5	53.76635
16	8	-4.5	298.0526
15	10	-4.5	265.0703
14	12	-4.5	226.2439
13	14	-4.5	182.1329
12	16	-4.5	59.03853
11	18	-4.5	55.61907
10	20	-4.5	65.7158
9	22	-4.5	80.4257
8	24	-4.5	254.9674
7	26	-4.5	42.63445
6	28	-4.5	72.41795
5	30	-4.5	107.713
4	32	-4.5	44.06751
26	8	-4.5	304.2698
25	10	-4.5	254.1281
24	12	-4.5	213.7473
23	14	-4.5	188.748
22	16	-4.5	151.7245
21	18	-4.5	75.11932
20	20	-4.5	106.1898
19	22	-4.5	78.30563
18	24	-4.5	45.21148
17	26	-4.5	32.04656
16	28	-4.5	17.58224
15	30	-4.5	62.20309
14	32	-4.5	240.8295
36	8	-4.5	294.086

35	10	-4.5	251.1904
34	12	-4.5	172.0051
33	14	-4.5	109.258
32	16	-4.5	94.8496
31	18	-4.5	91.79358
30	20	-4.5	122.1991
29	22	-4.5	52.31774
28	24	-4.5	2459.586
27	26	-4.5	27.23755
26	28	-4.5	32.37918
25	30	-4.5	77.21762
24	32	-4.5	43.9183
46	8	-4.5	331.8368
45	10	-4.5	240.9787
44	12	-4.5	140.1388
43	14	-4.5	161.1996
42	16	-4.5	188.3066
41	18	-4.5	247.4041
40	20	-4.5	249.6828
39	22	-4.5	356.6839
38	24	-4.5	391.5344
37	26	-4.5	48.04963
36	28	-4.5	66.23805
35	30	-4.5	166.3256
34	32	-4.5	94.50144
56	8	-4.5	298.4256
55	10	-4.5	112.3759
54	12	-4.5	133.9185
53	14	-4.5	142.1376
52	16	-4.5	137.9721
51	18	-4.5	87.70915
50	20	-4.5	135.5039
49	22	-4.5	142.7966
48	24	-4.5	3296.708

47	26	-4.5	12.08313
46	28	-4.5	100.0969
45	30	-4.5	104.6821
44	32	-4.5	59.13801
66	8	-4.5	249.1978
65	10	-4.5	229.5857
64	12	-4.5	144.8856
63	14	-4.5	171.688
62	16	-4.5	60.82908
61	18	-4.5	115.9104
60	20	-4.5	31.86315
59	22	-4.5	67.53434
58	24	-4.5	82.70119
57	26	-4.5	241.5413
56	28	-4.5	42.99816
55	30	-4.5	168.4239
54	32	-4.5	55.50716
76	8	-4.5	269.727
75	10	-4.5	233.7978
74	12	-4.5	185.1917
73	14	-4.5	105.2976
72	16	-4.5	94.99882
71	18	-4.5	205.7458
70	20	-4.5	56.57652
69	22	-4.5	369.3359
68	24	-4.5	114.8939
67	26	-4.5	140.1077
66	28	-4.5	321.7898
65	30	-4.5	108.3658
64	32	-4.5	201.7357
86	8	-4.5	287.4709
85	10	-4.5	250.4754
84	12	-4.5	215.0903
83	14	-4.5	174.4515

82	16	-4.5	155.231
81	18	-4.5	111.5739
80	20	-4.5	104.6976
79	22	-4.5	191.9343
78	24	-4.5	169.9907
77	26	-4.5	165.5267
76	28	-4.5	112.3697
75	30	-4.5	125.8983
74	32	-4.5	159.8069
96	8	-4.5	346.5965
95	10	-4.5	293.9492
94	12	-4.5	257.7651
93	14	-4.5	266.9977
92	16	-4.5	193.3549
91	18	-4.5	187.3087
90	20	-4.5	207.3436
89	22	-4.5	276.6001
88	24	-4.5	344.8308
87	26	-4.5	129.6411
86	28	-4.5	141.3543
85	30	-4.5	82.95299
84	32	-4.5	143.6919
0			
0			
0			
0			
0			

فهرست منابع و مآخذ

- ۱- کلاگری ع.ا. (۱۳۷۱) اصول اکتشافات ژئوفیزیکی.
- ۲- دلبلیو - ام - تلفورد، ال - پی - جرارت، ار - ای - شریف، دی - ای - کینز، مترجم دکتر حاجب حسینی، ح، دکتر زمردیان ح. (۱۳۷۵) ژئوفیزیک کاربردی ج ۲. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- دی - اچ - گریفیتس، آر - اف - کینگ، مترجم: دکتر حسن حاجب حسینی. (۱۳۷۳). ژئوفیزیک کاربردی برای زمین شناسان و مهندسان.
- ۴- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
- ۵- پیروز، ا. (۱۳۸۲) به کارگیری روش ترکیب یافته از حفاری الکتریکی و ترانشه زنی الکتریکی برای اکتشاف منابع آبهای زیرزمینی در زمینهای سخت (کارست). پروژه پژوهشی - کاربردی. دانشگاه صنعتی شاهرود. سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان سمنان.
- ۶- علیزاده، (۱۳۸۴). تهیه مدل آبخوان دشت امان آباد اراک با وارون سازی داده های مقاومت ویژه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- هلاکویی، (۱۳۸۶). مدلسازی معکوس ژئوالکتریکی دو بعدی برای تعیین هندسه زمین لغزش در ۵۲+۲۰۰ بزرگراه قزوین - رشت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۸- ترکمنچه، (۱۳۸۶) اکتشاف گسل پنهان شاهرود در محدوده دره کال قرنو با استفاده از روش ژئوالکتریک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۹- نقشه زمین شناسی شاهرود. (۱۳۸۰) مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰. ۱. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۱۰-Loke, M. H. (1997), "*Electrical Imaging Surveys For Environmental And Engineering Studies*". (Adopted from www.geoelectrical.com).

۱۱-Tsokas, G. N. and Tsourlos P. I., (1997), "*Square Array Resistivity Anomalies And Inhomogeneity Ratio Calculated By The Finite-Element Method*", *Geophysics*, VOL. 62. NO. 2. PP. 426-435.

12- Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., (1990), "*Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University Press, New York*", P 45-47 and 558- 561.

۱۳ -Robert G. Van nostrand and Kpenneth L. Cook, (1966), "*Interpretation Of Resistivity Data*", United States Government Printing Office.

۱۴-Karous, M. And Pernu, T. k., (1985), "*Combined Sounding-Profiling Resistivity Measurements With The Three-Electrode Arrays*", *Geophysical prospecting* 33,447-459.

15 - Lock, M.H., (2004), "*Res2dinv ver. 3.54, Geotomo software*", p. 1-130.

۱۶ - Adopted from www.iranview.ir.