



دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده معدن و ژئوفیزیک  
پایان نامه کارشناسی ارشد

برداشت، مدلسازی و تفسیر داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه  
جهت اکتشاف سرب و روی در منطقه خلخال

گردآورنده :

محمد طلوعی

اساتید راهنما:

دکتر علی مرادزاده

دکتر فرامرز دولتی اردجانی

استاد مشاور :

مهندس علیرضا عرب امیری

تقدیم به :

مادرم ؛

آنکه مهربانی مهربانش باران نوازشی است بر لبهای ترک خورده ام، و آنکه آغوش پر آرامش تنها امنیت امن زندگی ام است.

پدرم ؛

آنکه صلابت شاهبالهای زرینش مرا از زخم تازیانه بادهای این کویر وحشت می رهاند و دستان گرم تنومندش از سقوط به قعر پرتگاه بی پناهییم حفظ می کند.

همسرم؛

آنکه اقیانوس وجودش، کویر وجودم را سیراب کرد و در آن گل امید را شکوفا ساخت.

## تقدیر و تشکر :

بسیار بجاست در اینجا از جناب آقای دکتر مرادزاده استاد راهنمای گرانقدر اینجانب که طی این سالهای کثیر ، همه روزه شاهد زحمات بی حد و حصر ایشان جهت آموزش و ارتقای سطح علمی دانشجویان این رشته بوده و در این برهه از تکلیف، همواره مرا یار و پشتیبان بوده و از هیچ همراهی و کمکی دریغ نورزیدند و نیز دکتر دولتی مدیر گروه اکتشاف و استاد راهنمای دیگر این بنده حقیر که دلسوزانه مرا در این امر یاری و هدایت کردند و مهندس عرب امیری که زحمت مشاوره مرا در این پروژه بر دوش کشیدند و بی هیچ تردیدی، علم و تجربه خویش را بر من عرضه کردند و دکتر کاکایی رئیس دانشکده معدن که با سختکوشی و مجاهدتهای بی وقفه خود، یکی از ارکان اصلی پیشرفت دانشکده معدن این دانشگاه بوده و دکتر کامکار روحانی که همواره فراتر از یک استاد، همچون یک دوست مرا یار و همراه بوده و دکتر ایرج پیروز این استاد مهربان که با تجربه و علم گرانبه خویش به راستی نقطه عطف این دانشکده می باشد و سایر اساتید بزرگواری که در دوران تحصیل در این دانشگاه در خدمتشان بودم و از محضرشان فیض بردم، کمال تشکر و قدردانی را دارم و آرزوی موفقیت این عزیزان را در تداوم گسترش علم و سایر مراحل زندگی دارم.

## چکیده :

این تحقیق شامل پیمایش صحرایی، برداشت داده ها، تهیه شبه مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری، مدلسازی و تفسیر داده ها جهت اکتشاف سرب و روی در منطقه خلخال است. روش ژئوفیزیکی منتخب، روش مقاومت سنجی و قطبش القایی (IP) می باشد. آرایش مورد استفاده دو قطبی - دو قطبی است که در مجموع این پیمایش ۱۰ پروفیل دو قطبی - دو قطبی برداشت گردید.

از آن جهت که از هر پروفیل اطلاعات محدودی بدست می آید و این اطلاعات باید به حجم وسیعی از منطقه تعمیم داده شوند، لذا هدف اصلی در این تحقیق، تعمیم صحیح داده های اکتسابی با انتخاب روش صحیح مدلسازی و آگاهی از شرایط توپوگرافی، زمین شناسی و سوابق معدنکاری قدیمی و دیگر عوامل موثر جهت اکتشاف سرب و روی در مناطقی از خلخال، که پتانسیل وجود این مواد معدنی در فعالیتهای اکتشافی گذشته مثبت گشته، می باشد.

از آنجا که مدل بدست آمده و تجزیه و تحلیل آن برای ادامه عملیات اکتشافی در آن منطقه و تعیین نقاط حفاری به کار می رود، لذا با کسب مدل بهینه در این پروژه می توان ریسک ادامه کارهای اکتشافی را تا حد زیادی کاهش داد و هدف نهایی، یعنی اکتشاف آنومالی سرب و روی را در صورت وجود، به بهترین نحو ممکن سازد.

تهیه شبه مقاطع و مدلسازی داده ها با استفاده از دو نرم افزار RES2DINV و RESIXIP2DI صورت گرفته است. با نرم افزار RES2DINV مدلسازی معکوس هموار و در نرم افزار RESIXIP2DI، مدلسازی معکوس و به روش پارامتری انجام می گیرد.

برای انتخاب روش مدلسازی، آگاهی از تئوری روش منتخب و چگونگی محاسبات ریاضی، اولویت دارند. چرا که آگاهی از این موضوع می تواند در تعیین سطح اعتماد به مدل بدست آمده، تحلیلها و تفسیرها بسیار موثر و مفید باشد. بدین منظور مدلسازی با دو روش هموار و پارامتری با دو نرم افزار متفاوت انجام شد تا با مقایسه نتایج این دو الگو، مدلی که بیشترین تطابق را با واقعیت دارد، انتخاب شود.

تحلیلها و تفسیرها همانگونه که ذکر شد بر مبنای مدلسازیهای صورت گرفته و تا حدی نتایج و اطلاعات زمین شناسی و نتایج آنالیز نمونه ها که در دیگر مراحل اکتشافی این پروژه انجام شده و نتایج آنها موجود است، صورت می گیرد. به طور مفصل در این تفسیرها بیان خواهد شد که در دو پروفیل بالاکوه ۴ و بالاکوه ۵ آنومالی فلزی مشاهده گردید و مابقی پروفیلها از این لحاظ عقیم می باشند. بر این مبنای پیشنهادات لازم برای ادامه مراحل اکتشافی ارائه می گردد.

## فهرست مطالب

### فصل اول

۱	کلیات .....
۲	۱-۱ مقدمه .....
۵	۲-۱ ساختار پایان نامه .....
۵	۳-۱ مروری بر کارهای انجام شده .....
۷	۴-۱ سابقه و ضرورت انجام تحقیق .....
۷	۵-۱ تعریف مساله و بیان سوالهای اصلی تحقیق .....
۸	۶-۱ اهداف تحقیق .....
۹	۷-۱ روش انجام تحقیق .....
۹	۸-۱ روش مقاومت ویژه .....
۱۲	۱-۸-۱ اصول روش مقاومت ویژه .....
۱۴	۲-۸-۱ انواع آرایش‌های الکترودی .....
۱۵	۳-۸-۱ مقایسه اندازه‌گیریهای حاصل از آرایش‌های الکترودی مختلف .....
۱۶	۴-۸-۱ عمق تجسس .....

۱۷	..... کاربرد روشهای مقاومت ویژه	۵-۸-۱
۱۷	..... روش قطبش القایی الکتریکی	۹-۱
۲۱	..... منشا قطبش القایی	۱-۹-۱
۲۶	..... شیوه های برداشت صحرائی و تفسیر	۲-۹-۱
۲۷	..... تجهیزات مورد استفاده	۳-۹-۱
۲۸	..... سونداژ و پروفیل زنی در روش قطبش القایی	۴-۹-۱
۲۹	..... تهیه شبه مقطع مقاومت ویژه و بار پذیری با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی	۵-۹-۱
۳۰	..... چشمه های نويز	۶-۹-۱

## فصل دوم

۳۲	..... بررسی مدلسازی عددی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی	۳۲
۳۳	..... مقدمه	۱-۲
۳۳	..... ۲-۲- مختصری از سوابق کارهای انجام شده در زمینه مدلسازی عددی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی	۳۳
۳۷	..... ۳-۲- مدلسازی پیشرو	۳۷
۳۸	..... ۱-۳-۲- روش عددی تفاضل محدود	۳۸
۳۹	..... ۲-۳-۲- روش عددی عناصر محدود	۳۹
۴۰	..... ۳-۳-۲- روش معادلات انتگرالی	۴۰
۴۰	..... ۴-۲- مدلسازی وارون	۴۰
۴۵	..... ۱-۴-۲- مدلسازی وارون پارامتری	۴۵
۴۶	..... ۲-۴-۲- مدلسازی وارون هموار	۴۶

۴۸	.....	۵-۲ نرم افزار RESIXIP2DI
۵۰	.....	۶-۲ نرم افزار RES2DINV
<b>فصل سوم</b>		
۵۲	.....	<b>برداشت، مدلسازی و تفسیر داده ها</b>
۵۳	.....	۱-۳ مقدمه
۵۴	.....	۲-۳ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی
۵۵	.....	۳-۳ شرایط آب و هوایی
۵۶	.....	۴-۳ مورفولوژی منطقه
۵۷	.....	۵-۳ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
۵۹	.....	۶-۳ چینه شناسی
۶۱	.....	۷-۳ مدلسازی عددی و تفسیر داده ها
۶۱	.....	۱- ۷-۳ پروفیل گندم آباد ۱
۶۵	.....	۲- ۷-۳ پروفیل گندم آباد ۲
۶۹	.....	۳- ۷-۳ پروفیل گندم آباد ۳
۷۲	.....	۴- ۷-۳ پروفیل بالاکوه ۱
۷۶	.....	۵- ۷-۳ پروفیل بالاکوه ۲
۷۹	.....	۶- ۷-۳ پروفیل بالاکوه ۴
۸۵	.....	۷- ۷-۳ پروفیل بالا کوه ۵
۹۱	.....	۸- ۷-۳ پروفیل رکن آباد ۱
۹۶	.....	۹- ۷-۳ پروفیل رکن آباد



## فصل چهارم

- ۱۰۱ ..... نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات لازم
- ۱۰۲ ..... نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات لازم
- ۱۰۴ ..... فهرست منابع و مأخذ
- ۱۰۷ ..... ضمائم
- ۱۰۸ ..... عنوان و چکیده پایان نامه به انگلیسی

- شکل ۱-۱: اثر قطبش القایی. (الف) خطوط شارش جریان اولیه و جریان قطبش در زمین برای یک کانسار قطبش پذیر. (ب) ولتاژ  $V_p$  اندازه گیری شده بین  $P_1P_2$  در فاصله زمانی  $t_0$  تا  $t_1$ . ولتاژ IP برابر  $V_p$  است ..... ۲۰
- شکل ۲-۱: مکانیسم تشکیل پلاریزاسیون غشایی ..... ۲۳
- شکل ۳-۱: مکانیسم تشکیل پلاریزاسیون الکتروودی ..... ۲۵
- شکل ۱-۴: نمایش آرایش دوقطبی - دوقطبی در امتداد یک محور ..... ۲۹
- شکل ۱-۵: نمایش شماتیکی از وضعیت هندسی الکترودهای جریان (A و B) و پتانسیل (M و N) در آرایش دوقطبی - دوقطبی و همچنین نحوه جابجایی آنها را برای تهیه یک شبه مقطع پلاریزاسیون القایی و یا مقاومت ویژه ..... ۳۰
- شکل ۱-۳: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل گندم آباد ۱ ..... ۶۳
- شکل ۲-۳: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم آباد ۱ ..... ۶۴
- شکل ۳-۳: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل گندم آباد ۲ ..... ۶۶
- شکل ۳-۴: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم آباد ۲ ..... ۶۷
- شکل ۳-۵: مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم آباد ۲ ..... ۶۸
- شکل ۳-۶: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل گندم آباد ۳ ..... ۷۰

شکل ۳ - ۷: مدل مقاومت ویژه ، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم

آباد ۳ ..... ۷۱

شکل ۳ - ۸: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۱ ..... ۷۳

شکل ۳ - ۹: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاکوه ۱

..... ۷۴

شکل ۳ - ۱۰: مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاکوه ۱ ..... ۷۵

شکل ۳ - ۱۱: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۲ ..... ۷۷

شکل ۳ - ۱۲: مدل مقاومت ویژه ، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل

بالاکوه ۲ ..... ۷۸

شکل ۳ - ۱۳: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۴ ..... ۸۱

شکل ۳ - ۱۴: مدل بارپذیری از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۴ ..... ۸۲

شکل ۳ - ۱۵: مدل مقاومت ویژه ، Zong Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل

بالاکوه ۴ ..... ۸۳

شکل ۳ - ۱۶: مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاکوه ۴ ..... ۸۴

شکل ۳ - ۱۷: مدل بارپذیری از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۵ ..... ۸۷

شکل ۳ - ۱۸: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۵ ..... ۸۸

شکل ۳ - ۱۹: مدل بارپذیری ، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاکوه ۵

..... ۸۹

شکل ۳ - ۲۰: مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاکوه ۵ ..... ۹۰

شکل ۳ - ۲۱: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل رکن آباد ۱ ..... ۹۳

شکل ۳ - ۲۲: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل

رکن آباد ۱ ..... ۹۴

شکل ۳ - ۲۳: مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل رکن آباد ۱ . ..... ۹۵

شکل ۳ - ۲۴: مدل بارپذیری از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل رکن آباد ۲ ..... ۹۸

شکل ۳ - ۲۵: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل

رکن آباد ۲ ..... ۹۹

شکل ۳ - ۲۶: مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل رکن آباد ۲ ..... ۱۰۰

## فهرست ضمایم

۱ - داده های خام پروفیل بالاکوه ۳ ..... ۱۰۴

## فصل اول

### کلیات

#### ۱-۱- مقدمه

مطالعه حاضر در راستای تکمیل بخشی از پروژه اکتشافی نیمه تفصیلی سرب و روی، در منظر خلخال از استان اردبیل می باشد که طی طرحی مدون از طرف سازمان صنایع و معادن استان اردبیل ارائه گردید. این طرح اکتشافی شامل مراحل اکتشاف مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی است. مرحله اکتشاف مقدماتی دربرگیرنده جمع آوری و تدوین اطلاعات مربوط به سوابق معدنکاری گذشته و بررسیهای اولیه زمین شناسی به منظور یافتن مناطق دارای پتانسیل معدنی و آنالیز نمونه های نسبتاً زیادی از منطقه بود که پس از اجرای این مرحله از طرح، توسط شرکتهای معدنی مختلف، گزارشهای مربوطه تهیه گردید و با توجه به نتایج این بررسیها، چند منطقه که احتمال کانی سازی اقتصادی سرب و روی در آنها بیشتر وجود داشت، معرفی گردید تا ادامه عملیات اکتشافی بر روی این مناطق متمرکز شود و از پراکندگی عملیات اکتشافی جلوگیری گردد. لذا برنامه اکتشافی نیمه تفصیلی طراحی گردید. این مرحله شامل تهیه نقشه های زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ از کل محدوده و مقیاس ۱:۱۰۰۰ از منطقه کانی سازی شده و نقشه برداری و تهیه نقشه توپوگرافی و از همه مهمتر عملیات ژئوفیزیکی می باشد که این سه عملیات همزمان و در غالب تیمهای مجزایی در منطقه انجام گرفت که عملیات ژئوفیزیکی مربوطه و مدلسازی و تفسیرهای آن مضمون این پروژه می باشد. مرحله اکتشاف تفصیلی شامل یک سری حفاریها و احداث ترانشه و گمانه است که موقعیت این حفاریها بر اساس یافته های عملیات ژئوفیزیکی تعیین می گردد.

در اکتشافات ژئوفیزیکی، مبنای انتخاب روش، خصوصیات فیزیکی جسم می باشد. بدینگونه که چنانچه یک خاصیت فیزیکی جسم یا ماده مورد نظر، مرز برجسته و قابل جدایشی با همان خاصیت فیزیکی در ماده دربرگیرنده جسم مورد بررسی داشته باشد، این ویژگی ملاک قرار گرفته و بر اساس آن، روش ژئوفیزیکی خاص تعیین می گردد.

از آنجا که هدف در مطالعه حاضر اکتشاف سرب و روی می باشد، در قدم نخست از بین گزینه های مختلف ژئوفیزیکی، به خاطر فلزی بودن این دو عنصر، روشهای ژئوالکتریک انتخاب شدند. سپس با توجه به پورفیری و افشان بودن این کانسار، روش قطبش القایی<sup>۱</sup> (IP) مورد نظر قرار گرفت. لذا روش قطبش القایی به عنوان روش نخست ژئوفیزیکی انتخاب شد. اما همراه با این روش، داده های مقاومت ویژه نیز برداشت می شود که با تلفیق داده های این دو روش می توان مدلسازی بهتر و در نتیجه تفسیر دقیقتر و نزدیکتری به واقعیت ارائه کرد.

نوع آرایش بکار رفته برای برداشت داده ها، دوقطبی - دوقطبی<sup>۲</sup> می باشد. مزایای این روش از این قرار است که داده های حاصل از این آرایش، یک شبهه مقطع دو بعدی از مقادیر بارپذیری فراهم می سازد. تهیه این شبهه مقطع بصورت دستی می تواند سریع و آسان صورت گیرد و لذا می توان از آن در صحرا و در حین برداشت استفاده نمود و با توجه به آن یک دید اولیه از وضعیت زیرسطحی پیدا کرد. و نیز اینکه بدلیل جدا بودن کابلهای جریان و پتانسیل، فرآیند کوپلینگ<sup>۳</sup> الکترومغناطیسی که نوعی نوفه<sup>۴</sup> و عامل مزاحم می باشد، کاهش می یابد. این آرایش همچنین نسبت به تغییرات جانبی و ویژگیهای الکتریکی زمین، حساستر از سایر آرایشهای الکترودی می باشد. لذا روی هم رفته در شرایط یکسان، این آرایش نسبت به سایر آرایشهای الکترودی رجحان دارد.

---

۱ - Induced polarization

۲ - Dipole-dipole

۳ - Coupling

۴ - Noise



## ۱-۲- ساختار پایان نامه

نخستین قدم این تحقیق، برداشت داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP) در منطقه خلخال می باشد که توسط تیم مجری در تابستان ۱۳۸۴ صورت پذیرفت. این پایان نامه که بر اساس یافته های این تحقیق تنظیم گشته شامل فصول ذیل می باشد:

در فصل اول؛ کلیات، مختصراً به معرفی روشهای ژئوفیزیکی به کار گرفته شده و اصولی از این تحقیق پرداخته شده. فصل دوم به بررسی مدلسازی عددی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی پرداخته و اطلاعاتی محدود درباره دو نرم افزار RESIXIP2DI و RES2DINV را عنوان می کند. فصل سوم با عنوان برداشت، مدلسازی و تفسیر داده ها، ابتدا به معرفی منطقه پرداخته و سپس مدلسازی و تفسیر داده ها را ارائه می کند. در فصل چهارم نیز نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات لازم بیان شده است.

## ۱-۳- مروری بر کارهای انجام شده

در این قسمت بصورت گذرا به معرفی بعضی کارها و فعالیتهای صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه پرداخته می شود.

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ساختاری البرز - آذربایجان بوده و به دلیل قرار گرفتن در محل خمش رشته کوه البرز دارای شرایط زمین شناسی خاصی است که در بسیاری از موارد متفاوت از بخشهای دیگر البرز است. با این وجود همانند اکثر مناطق ایران مطالعات مفصلی روی آن انجام پذیرفته است. وجود سنگهای دگرگونی با ماهیت شناخته نشده، گسترش سازند شال و سنگهای کربناته با سن مشخص نئوکومین (کرتاسه زیرین) در منطقه باعث توجه ویژه زمین شناسان به منطقه شده است. با این وجود تنها مطالعات بسیار اندک و انگشت شماری در این رابطه در منطقه صورت پذیرفته است که در ادامه شرح داده می شوند:

- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرانزلی که توسط سازمان زمین شناسی کشور تهیه شده و منطقه مورد مطالعه بخشی از آن است.
  - نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماسوله که توسط سازمان زمین شناسی کشور تهیه شده و منطقه مورد مطالعه بخشی از آن است.
  - نقشه مغناطیس هوایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بندرانزلی سال ۱۳۷۸.
  - گزارش زمین شناسی منطقه کلور که توسط بزرگمهر حمزه پور در سازمان زمین شناسی کشور تهیه شده است [۸].
  - گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ورقه خلخال در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط اداره کل معادن و فلزات استان گیلان در سال ۱۳۷۷ تهیه شده است [۹].
  - گزارش پتانسیل یابی مواد معدنی در منطقه جنوب خلخال که توسط اداره کل معادن و فلزات استان اردبیل در سال ۱۳۷۴ تهیه شده است [۱۰].
  - گزارش شناسایی مواد معدنی در سازندهای کربناته بخش نمین و خلخال در استان اردبیل که توسط سازمان معادن و فلزات استان اردبیل در سال ۱۳۷۹ تهیه شده است [۱۱].
  - گزارش پی جویی مقدماتی گیوی پایین، از منطقه خلخال که توسط اداره کل معادن و فلزات استان اردبیل در سال ۱۳۷۳ تهیه شده است [۱۲].
- علاوه بر موارد ذکر شده که منطقه مورد مطالعه دقیقاً در آنها واقع است، در نواحی اطراف (خلخال) نیز مطالعات اکتشافی و زمین شناسی مختلف صورت پذیرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره می شود:
- بررسی مصالح ساختمانی خاک رس، سنگ آهک و گچ در استان آذربایجان شرقی؛ اطراف شهرهای اردبیل، خلخال، گیوی و مشکین شهر؛ توسط امیر شاه بیک؛ سازمان زمین شناسی کشور، سال ۱۳۶۰.

= مطالعه چینه شناسی حد کرتاسه - ائوسن در نواحی خلخال توسط آل هاشم و خسرو تهرانی در دانشگاه تهران سال ۱۳۵۱ [۱۳]

#### ۱-۴- سابقه و ضرورت انجام تحقیق

همانگونه که در مقدمه فصل قید شد، این تحقیق، در راستای یک طرح اکتشافی مدون در منطقه خلخال به منظور اکتشاف فلزات سرب و روی انجام گرفته. در مراحل ابتدایی این طرح، بررسی های زمین شناسی و آنالیزهای شیمیایی کیفی و کمی عناصر صورت پذیرفت. پس از انجام این مرحله از طرح اکتشافی، مشخص گشت که در بخشهایی پتانسیل وجود کانسارهای فلزی، از جمله سرب و روی وجود دارد، ولی اطلاعات زیادی در مورد محدوده گسترش آنها در سطح و عمق وجود ندارد. از آنجا که آثار معدنکاریهای قدیمی (مربوط به ۵۰ تا ۸۰ سال قبل) نیز بوفور در منطقه مشاهده شده که در این معدنکاریها، آثاری از فلزات سرب و روی وجود دارد، لذا ضروری است تا با مطالعه ژئوفیزیکی به این موارد پاسخ داده شود و با سطح اعتماد بیشتری وجود و یا عدم وجود کانسار؛ و در صورت وجود، محدوده و عمق کانسار را تعیین کرد.

#### ۱-۵- تعریف مسئله و بیان سؤالی اصلی تحقیق

در اکتشاف نیمه تفضیلی مواد معدنی، یکی از کاربردی ترین روشها، ژئوفیزیک می باشد. در این مرحله هر هدفی با توجه به خصوصیات خود، روش منحصر به خود را می طلبد تا محل تمرکز مواد معدنی با دقت هر چه بیشتر برای ادامه عملیات اکتشافی تعیین گردد.

به منظور اکتشاف مواد معدنی فلزی، روش ژئوالکتریک یکی از رایج ترین روشها می باشد. در این پروژه که هدف اکتشاف سرب و روی است، با توجه به وجود کانیهای گالن و اسفالریت که از کانیهای سولفیدی می باشند و با توجه به ویژگی احتمالی پورفیری بودن کانسار، روش اکتشافی منتخب روش قطبش القایی به همراه مقاومت ویژه است که در مدلسازی از هر دو سری این داده ها استفاده می شود و هر کدام با توجه به الگوی انتخابی، مدلی خاص ارائه می کنند.

سوال اصلی و مطرح در این پروژه میزان تطابق مدل انتخاب شده با واقعیات است که این سوال باید با بررسی تئوری هر الگوی مدلسازی پاسخ داده شود و با کمک روشهای مختلف مدلسازی و سایر پارامترهای تاثیر گذار از قبیل مسائل زمین شناسی، ویژگیهای کانسار، توپوگرافی منطقه، نتایج نمونه برداری های صورت گرفته و ... بهترین روش مدلسازی و لذا دقیقترین مدل انتخاب شود.

#### ۱-۶- اهداف تحقیق

در این طرح تحقیقاتی هدف اصلی این است که داده های خام برداشت شده توسط عملیات ژئوفیزیکی پس از اصلاحات و ویرایشهای لازم، با استفاده از نرم افزارهای مناسب، مورد بررسی و پردازش قرار گرفته و سپس با استفاده از الگوی معکوس سازی دو بعدی، مدلسازی شوند. البته برای بدست آوردن تصویر واقعی تری از آنومالی های زیر سطحی، از شواهد زمین شناسی، وضعیت توپوگرافی منطقه، سوابق معدنکاری قدیمی و دیگر عوامل موثر در فرایند مدلسازی استفاده می شود. بنابراین از آنجا که مدل بدست آمده و تجزیه و تحلیل آن برای ادامه عملیات اکتشافی در آن منطقه و تعیین نقاط حفاری به کار می رود، لذا می توان از طریق کسب مدل بهینه در این پروژه، ریسک ادامه کارهای اکتشافی را تا حد زیادی کاهش داد.

## ۱-۷- روش انجام تحقیق

- مطالعه و بررسی شرایط مورد نیاز منطقه از قبیل وضعیت زمین شناسی، سوابق معدنکاری، توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی منطقه.
- برداشت داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی در منطقه مورد نظر. ( لازم به ذکر است که برداشت داده ها در تابستان ۱۳۸۴ توسط اینجانب به اتفاق استاد راهنمای اول صورت گرفته است )
- مطالعه و شرح روشهای مختلف مدلسازی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه و مقایسه آنها.
- اخذ داده ها و تشکیل فایل کامپیوتری با فرمت قابل قبول برای نرم افزارهای مورد استفاده.
- آشنایی با نرم افزار های RES2DINV و RESIX IP2DI و مدلسازی داده های مختلف با آنها.
- ارائه مدل بهینه برای هر یک از پروفیل‌های مورد نظر .
- تحلیل و تفسیر مدل‌های بدست آمده و ارتباط آنها با مسائل و جنبه های زمین شناسی کانسار.
- تهیه و ویرایش گزارش نهایی.

## ۱-۸- روش مقاومت ویژه

روشهای ژئوالکتریک نسبت به سایر روشهای ژئوفیزیک دارای تنوع بیشتری می باشد. برخی از روشهای ژئوالکتریک مانند روش پتانسیل خودزا (sp)، تلوریک و مگنتوتلوریک از منابع انرژی الکتریکی طبیعی استفاده می کنند. برخی دیگر از روشهای ژئوالکتریک مانند روش قطبش القایی (IP) و مقاومت ویژه نیاز به میدان الکتریکی به طور مصنوعی دارند [۱].

روشهای ژئوالکتریک کاربرد وسیعی در تعیین عمق سنگهای بستر منابع ژئوترمال و اکتشاف کانی‌های فلزی و آب دارند. به جز روش تلوریک، سایر روشهای ژئوالکتریک، برای اکتشاف در اعماق کم مفید می‌باشند و نمی‌توانند اطلاعات مفیدی از اشکال زیر سطحی در اعماق بیشتر از ۵۰۰ متر فراهم نمایند [۱].

روشهای ژئوالکتریک با سه خاصیت زیر در سنگها، ارتباط دارند:

الف - رزیستیویته<sup>۷</sup> یا مقاومت ویژه ( $\rho$ )

ب - فعالیت الکتروشیمیایی

ج - ثابت دی الکتتریک.

**الف - مقاومت ویژه:** عکس قابلیت هدایت الکتریکی ( $\sigma$ ) می باشد. مقاومت یک سیم استوانه‌ای برابر است با:

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

که در آن  $\rho$  = مقاومت ویژه،  $R$  = مقاومت الکتریکی استوانه به واحد اهم،  $L$  = طول سیم استوانه‌ای به واحد متر و  $A$  = سطح مقطع لوله استوانه‌ای به واحد متر مربع. طبق قانون اهم داریم:

$$\Delta V = RI \Rightarrow R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2-1)$$

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

$$\rho = \frac{A \Delta V}{LI} \quad (3-1)$$

از رابطه اخیر برای تعیین مقاومت ویژه مواد همگن با اشکال هندسی منظم استفاده می شود. اگر در رابطه (۳-۱) طول  $L$  و سطح مقطع  $A$  آنقدر کوچک شوند که به یک مقدار حدی نزدیک شوند داریم:

---

<sup>۷</sup> - Resistivity

$$\rho = \frac{\lim_{L \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{L}}{\lim_{A \rightarrow 0} \frac{I}{A}} \Rightarrow \rho = \frac{E}{j} \quad (4-1)$$

که در آن  $E$  = میدان الکتریکی و  $j$  = چگالی جریان می باشد.

واحد مقاومت ویژه در سیستم M.K.S اهم متر و در سیستم C.G.S اهم سانتی متر می باشد. 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 1 تا  $10^6$  اهم- متر باشد هادی های متوسط و سنگها و کانیهایی که مقاومت ویژه آنها بین  $10^7$  تا  $10^{15}$  اهم- متر باشد را هادی های بد گویند [۱].

**ب - فعالیت الکتروشیمیایی:** فعالیت الکتروشیمیایی در واقع به ترکیب شیمیایی سنگها، ترکیب و غلظت الکترولیت های محلول در آب های زیرزمینی بستگی دارد [۱].

**ج - ثابت دی الکتریک:** ثابت دی الکتریک یا ثابت نارسانایی میزان قابلیت پلاریزه شدن یک جسم را در یک میدان الکتریکی نشان می دهد. مقدار پلاریزاسیون الکتریکی جسم ( $\rho$ ) در یک میدان الکتریکی برابر است با گشتاور الکتریکی حاصل بر واحد حجم جسم که به میدان الکتریکی اعمال شده ( $\epsilon_0$ ) بستگی دارد [۱]:

$$\rho = X E_0 \quad (5-1)$$

در این رابطه  $X$  = ثابت تناسب یا سسپتیویلیتی الکتریکی  $^{\wedge}$  می باشد. از اثر پلاریزاسیون الکتریکی جسم در یک میدان الکتریکی  $\epsilon_0$  میدانی دیگر در جهت مخالف ایجاد می شود ( $E'$ ) که مقدار آن برابر است با:  $E' = -4\pi\rho$

میدان کل الکتریکی در داخل جسم دی الکتریک ( $E$ ) برابر است با [۲]:

$$E = E_0 + E' \Rightarrow E = E_0 - 4\pi\rho \Rightarrow E = E_0 - 4\pi * E_0$$

$^{\wedge}$  - Electrical susceptiblity

$$\Rightarrow E = E_0(1 - 4\pi x)$$

عبارت  $\varepsilon = 1 - 4\pi x$  را ثابت دی الکتریک می گویند. همچنین رابطه بالا را می توان به صورت زیر

ساده کرد:

$$E = \varepsilon E_0 \Rightarrow \varepsilon = \frac{E}{E_0} \quad (۶-۱)$$

### ۱-۸-۱- اصول روش مقاومت ویژه

جریان الکتریکی یکی از الکترودها (A) را در داخل محیط ایزوتوپ و همگن با مقاومت ویژه معین در نظر می گیریم. جریان الکتریکی به صورت نیمکره‌هایی در داخل زمین پخش می شود. حال می خواهیم افت پتانسیل را در نقطه P که به فاصله r از الکترودها جریان A می باشد را محاسبه نمائیم. چگالی جریان برابر است با [۲]:

$$j = \frac{I}{A} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (۷-۱)$$

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:

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

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

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

$$V_r = -\frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r} \quad (۸-۱)$$

حال می خواهیم اختلاف پتانسیل هر نقطه از سطح زمین را در رابطه با یک جفت الکترودها جریان A و B محاسبه کنیم. اگر دو الکترودها جریان A و B و دو الکترودها پتانسیل M و N را در سطح زمین در نظر بگیریم، اختلاف پتانسیل بین دو الکترودها M و N به شرح ذیل قابل محاسبه خواهد بود [۱]:



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

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

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:

$$\rho = \left( \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (9-1)$$

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 (9-1) را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{رابطه 10-1}):$$

اگر  $\rho$  در یک محیط ایزوتوپ و همگن اندازه‌گیری شود آن را مقاومت ویژه واقعی<sup>۹</sup> می‌نامند. اما اگر اندازه‌گیری در یک محیط ناهمگن و آنیزوتروپ صورت گیرد آن را مقاومت ویژه ظاهری<sup>۱۰</sup> می‌نامند.

مقدار مقاومت ویژه ظاهری تابعی از متغیرهای زیر می‌باشد:

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

۹ - True resistivity

۱۰ - Apparent resistivity

۲- وضعیت هندسی آرایش الکترودها

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

### ۱-۸-۲- انواع آرایش‌های الکترودی

چند نوع از آرایش‌های الکترودی مرسوم در برداشتهای الکتریکی عبارتند از:

الف - آرایش ونر<sup>۱۱</sup> ب - آرایش لی پار تیشینینگ<sup>۱۲</sup>

پ - آرایش شلومبرگر<sup>۱۳</sup> ت - آرایش دو قطبی - دو قطبی

ث - قطبی - دو قطبی ج - قطبی - قطبی

چ - آرایش CRP ح - آرایش Rectangle

در این مبحث برای جلوگیری از تکرار مکررات از توضیحات این آرایشها، بجز آرایش دو قطبی - دو قطبی، که آرایش مورد استفاده در این تحقیق می باشد، خودداری شده است.

**آرایش دو قطبی - دو قطبی:** استفاده از آرایش‌های مختلف دو قطبی - دو قطبی در اکتشافات الکتریکی از سال ۱۹۵۰ گستردگی زیادی پیدا کرده است، به خصوص از وقتی که تئوری های مورد نیاز توسط آلپین<sup>۱۴</sup> 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 دایپل یعنی d خواهد بود [۱].

میدان الکتریکی حاصل از یک دایپل در نقطه معین با توان سوم فاصله یعنی d رابطه عکس دارد و همچنین برای یک زاویه آزمون، مقدار معین  $\rho_a$  می‌باشد. از بین آرایش‌های مختلف دو قطبی - دو قطبی، آرایش‌های محوری<sup>۱۵</sup> و استوایی<sup>۱۶</sup> بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش

۱۱ - Wenner Array

۱۲ - Lee - Partitioning Array

۱۳ - Schlumberger Array

۱۴ - Alpin

۱۵ - Axial

فاصله AB، جریان الکتریکی لازم برای تولید اختلاف پتانسیل در یک فاصله معین d کاهش می یابد.

$\rho$  حاصله از آرایش دو قطبی - دوقطبی محوری (قطبی) از رابطه زیر محاسبه می شود [۲]:

$$\rho_{dd} = \pi \left( \frac{d^2}{AB} - r \right) \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (11-1)$$

### ۱-۸-۳- مقایسه اندازه گیریهای حاصل از آرایشهای الکترودی مختلف

با ابداع روش دایپل - دایپل در آمریکا و روسیه، مزایای استفاده از آنها نسبت به آرایش شلومبرگر

مشخص شد. این مزایا عبارتند از: [۲]

۱- با فواصل نسبتاً کم AB, MN می توان اعماق زیادی را تجسس کرد.

۲- فواصل کم AB, MN باعث کاهش کار صحرایی و افزایش کارایی و راندمان می شود.

۳- به علت فواصل کم AB, MN سیمها کوتاه بوده و مسائلی از قبیل نشت جریان از جانب سیمهای

لخت شده وجود ندارد.

۴- تجسسات دو جانبه (سونداژ زنی و پروفیل زنی الکتریکی) را ممکن می سازد، از این رو علاوه بر

مقاومت ویژه اطلاعات مفصل تری درباره جهت شیب افقهای الکتریکی فراهم می کند.

آرایش دو قطبی - دوقطبی دو اشکال عمده نیز دارد:

الف - به خاطر کم بودن فاصله AB، یک ژنراتور بزرگ لازم است تا مقادیر زیادی جریان الکتریکی

تولید کند.

ب - برای تعبیر و تفسیر یافتهها، مسائل تئوریک آن باید بیشتر توسعه یابند [۲].

#### ۱-۸-۴- عمق تجسس<sup>۱۷</sup>

در یک محیط ایزوتوپ، همگن و نیمه نامحدود<sup>۱۸</sup> یک رابطه بین فاصله AB و عمق نفوذ جریان وجود دارد. مثلاً ۵۰٪ جریان تا عمق  $\frac{AB}{2}$ ، ۷۰٪ آن تا عمق AB نفوذ می کند. بنابراین هر چقدر فاصله الکترودهای AB بیشتر شود مقدار بیشتری از جریان می تواند تا یک عمق معین نفوذ کند. رابطه زیر در این مورد صادق است: [۲۵]

$$\frac{I_z}{I_{\infty}} = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{2Z}{AB} \right) \quad (12-1)$$

که در این رابطه  $I_z$  = جریان موجود از سطح تا عمق Z و  $I_{\infty}$  = کل جریانی است که به داخل زمین نفوذ می کند. این رابطه را نمی توان به عنوان یک قاعده کلی عمق نفوذ مورد استفاده قرار داد. این رابطه را هم چنین نمی توان برای یک محیط ناهمگن و غیر ایزوتوپ به کار برد. برای یک محیط ناهمگن، درصد کل جریانی که تا عمق Z نفوذ می کند نه تنها به فاصله بین الکترودها بلکه به مقاومت ویژه لایه های زیر سطحی نیز بستگی دارد. در واقع در تعبیر و تفسیر مقاومت ویژه، درصد جریانی که تا عمق معین به داخل زمین نفوذ می کند اهمیت چندانی ندارد زیرا با اندازه گیری کل جریان (I) و اختلاف پتانسیل ( $\Delta V$ ) می توان به راحتی  $\rho_a$  را بدست آورد. [۲۵]

#### ۱-۸-۵- کاربرد روشهای مقاومت ویژه

- مطالعه آبهای زیرزمینی
- تهیه نقشه کانال های رودخانه ای مدفون
- مشخص کردن مرز آب شور و شیرین
- مشخص کردن سطح سفره آبهای زیرزمینی

<sup>۱۷</sup> - Probing depth

<sup>۱۸</sup> - Semi - infinite

- مطالعات ژئوترمال

- استفاده از روش مقاومت ویژه در 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 روش‌ها در شناسایی زون‌های خرد شده و گسله که ارتباط نزدیک با کانی سازی دارند، بسیار مثمر ثمر واقع می‌گردند [۱].

- استفاده از روش مقاومت ویژه در کارهای مهندسی عمران

#### ۱-۹- روش قطبش القایی الکتریکی

روش قطبش القایی الکتریکی به طور گسترده برای اکتشاف توده‌های کانسنگی بالأخص برای سولفیدهای پراکنده (افشان) مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این روش برای اکتشاف آبهای زیرزمینی نسبتاً محدود است [۱].

نمایشی از قطبش القایی را می‌توان با استفاده از یک آرایش استاندارد مقاومت ویژه چهار الکترودی جریان مستقیم بدست آورد که در آن جریان دفعتاً قطع نمی‌شود. عمدتاً ولتاژ در دو سر الکترودهای پتانسیل یکباره صفر نمی‌شود، بلکه پس از یک کاهش بزرگ از حالت پایدار، به آهستگی افت<sup>۱۹</sup> می‌کند. زمان این افت در حدود چند ثانیه یا حتی چند دقیقه است. اگر جریان دوباره متصل شود، دامنه پتانسیل، پس از یک افزایش ناگهانی در ابتدای امر، در طول زمانی مشابه افزایش تدریجی یافته و به مقدار اولیه خود می‌رسد [۲].

در نوعی آشکار ساز قطبش القایی، افت ولتاژ بر حسب تابعی از زمان و به طرق مختلف اندازه گیری می‌شود. این روش را حوزه زمانی<sup>۲۰</sup> قطبش القایی می‌نامند. چون زمان افزایش تدریجی نیز محدود

۱۹ - Decay

۲۰ - Time - domain

است، واضح است که مقاومت ویژه ظاهری باید با فرکانس تغییر کند؛ به گونه ای که وقتی فرکانس زیاد می شود مقاومت ویژه ظاهری کم می شود. لذا اندازه گیری  $\rho_p$  در دو یا چند فرکانس متناوب، غالباً زیر ۱۰ هرتز، روش دیگری از آشکارسازی است. این روش را حوزه فرکانسی<sup>۲۱</sup> قطبش القایی می نامند [۲].

میانگین رسانایی الکتریکی یک کانسار افشان که در آن تنها درصد کوچکی از ذرات کانه با هم در تماس می باشند، خیلی کمتر از این مقدار در یک جسم توده ای با اندازه یکسان است. در نتیجه آشکارسازی کانه های فلزی افشان با روشهای الکترومغناطیسی یا مقاومت ویژه دشوار می باشد. ولی وقتی آب در خلل و فرجها و ترکها وجود دارد، به هنگام عبور جریان مستقیم، بعضی از انواع کانه ها که حالت افشان دارند، پدیده ای از خود نشان می دهند که امروزه به قطبش القایی (IP) موسوم است. در اثر واکنشهای الکتروشیمیایی انرژی الکتریکی انبار می شود. پس از قطع جریان، این انرژی انبار شده تخلیه شده و باعث شارش جریان در زمینهای اطراف می گردد که در سطح زمین قابل آشکار سازی است [۳].

رابطه تخلیه  $V_t$  را می توان به صورت جمع چندین تابع نمایی زیر تعریف کرد:

$$V_t = V_0 \exp(-t/\tau) \quad (13-1)$$

که در آنها ثابت زمانی  $\tau$  متغیر می باشد و دو ثابت زمانی کافی است تا دوره ای بین یک و ده ثانیه را پوشش دهد. این نوع اندازه گیری قطبش القایی «حوزه زمان»<sup>۲۲</sup> نامیده می شود که این چرخه اندازه گیری با چرخه دیگری با قطبیت<sup>۲۳</sup> معکوس دنبال می شود [۳].

بدین ترتیب قطبش القایی هم با زیاد شدن و هم با کم شدن اختلاف پتانسیل اولیه مخالفت می کند، لذا گاهی به آن ولتاژ اضافی اطلاق می شود؛ زیرا پتانسیلی اضافی و بیشتر از پتانسیل لازم برای فائق آمدن بر مقاومت اهمی لازم است تا جریان را از داخل کانه عبور دهد. توجه شود که این پتانسیل

۲۱- Frequency - domain

۲۲ -Time domain

۲۳ -Polarity

ثانوی  $V_t$  که باید در موقع وصل جریان تشکیل شود، همان مقدار باقیمانده است که پتانسیل، در موقع قطع جریان، به آن افت پیدا می کند. پدیده قطبش القایی خطی عمل می کند، به طوریکه هر گونه تغییر در مقدار جریان و لذا در ولتاژ اولیه سبب تغییری معین در قطبش القایی می شود. در نتیجه نسبت مقدار لحظه ای پتانسیل باقیمانده به پتانسیل اولیه ( $V_t/V_p$ ) مستقل از جریان زمینی بوده و از لحاظ نظری شاخص خوبی برای نشان دادن قطبش القایی خواهد بود. در عمل زمان کوتاهی طول می کشد تا پتانسیل القایی در زمین از بین برود و لذا اندازه گیری  $V_t$  تا چند ده میلی ثانیه پس از قطع جریان انرژی دهنده انجام نخواهد گرفت. همچنین به ولتاژ اولیه معمولاً فرصت برای رسیدن به حالت پایدار داده نخواهد شد، ولی این موضوع به شرط آنکه زمان برای همه اندازه گیری ها ثابت نگه داشته شود اهمیتی ندارد. نسبت  $V_t/V_p$  به بارپذیری معروف است و به زمانی بستگی دارد که  $V_t$  نمونه برداری شده است. تجهیزات لازم برای چندین بار نمونه برداری از قسمت گذرای منحنی در مدت زمان کاهش تدریجی نیز در دستگاه منظور شده است [۳].

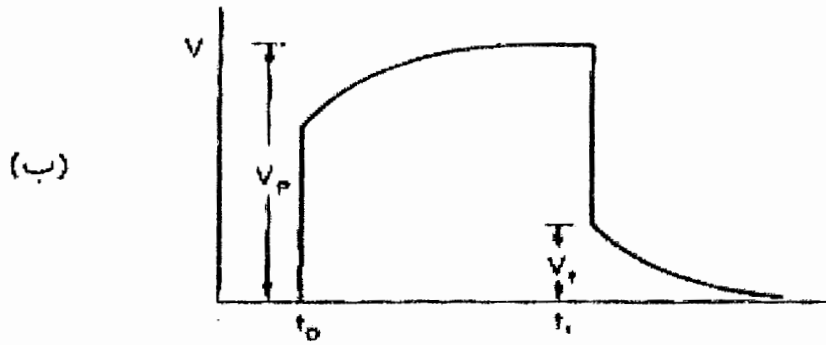
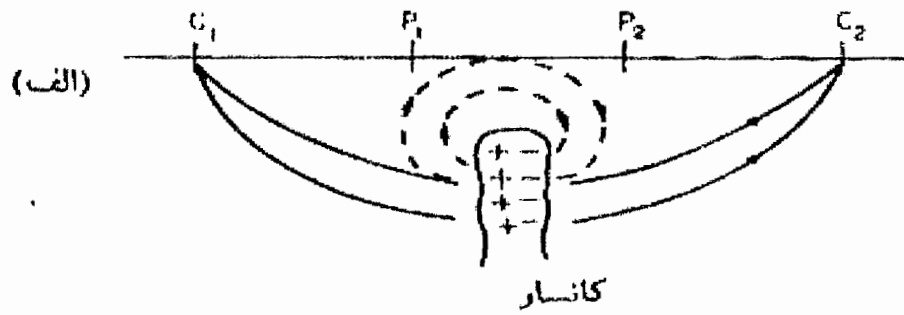
کانه به طور کیفی بصورت خازن خیلی بزرگی عمل می کند که انرژی الکتریکی در آن ذخیره می شود. بنابراین اگر به جای جریان DC، جریان AC به زمین داده شود، نسبت ولتاژ به جریان اندازه گیری شده، به جای مقاومت، امپدانس<sup>۲۴</sup> (مقاومت ظاهری) خواهد بود و انتظار می رود که مقدار آن با فرکانس تغییر کند. در واقع نیز چنین است، ولی بیشتر این تغییر بین ۱ و ۱۰ هرتز صورت می گیرد. اگر این اثر را حاصل از خواص دی الکتریک سنگ به حساب آوریم، این گستره فرکانس خیلی کم خواهد بود ولی اگر مکانیسم ذخیره انرژی الکتروشیمیایی باشد این گستره نامناسب نیست. بنابراین اثر IP را میتوان با استفاده از جریان متناوب نیز اندازه گیری کرد، که این رهیافت به «حوزه فرکانس»<sup>۲۵</sup> معروف است [۳].

۲۴ - Impedance

۲۵ - Frequency domain

جریان اولیه

جریان قطبش



شکل ۱-۱: اثر قطبش القایی. (الف) خطوط شارش جریان اولیه و جریان قطبش در زمین برای یک کانسار قطبش پذیر. (ب) ولتاژ  $V_p$  اندازه گیری شده بین  $P_1P_2$  در فاصله زمانی  $t_0$  تا  $t_1$ . ولتاژ IP برابر  $V_r$  است.



### ۱-۹-۱ - منشأ قطبش القایی

منشأ ایجاد قطبش القایی هنوز بطور کامل شناخته نشده است. رسانش در داخل زمین از طریق الکترولیت موجود در خلل و فرجها و شکافهای سنگ صورت می گیرد و لذا از نوع یونی است. بسیاری از مسیرهای رسانش در کانسار افشان توسط ذرات کانی که حاملهای جریان در آنها الکترونها هستند مسدود می شود. در سطح دانه ها واکنشهای پیچیده ای به وقوع می پیوندد و وقتی جریان عبور می کند تعادلهای یونی به هم می خورد و منجر به جمع شدن بارهای مثبت و منفی در سطح های متقابل به هم و متعاقباً منجر به قطبیدگی<sup>۲۶</sup> کانه می گردد. لذا هر کانه به طور کیفی همچون یک خازن عمل می کند، هر چند ثابت زمانی تخلیه برای اینکه این اثر از نوع دی الکتریک محسوب شود، بسیار زیاد است. با قطع جریان، یونها به حالت تعادل خود برگشته و باعث می شوند جریانی که تدریجاً کاهش یابنده است، بوجود آید که جهت آن در داخل کانه مخالف و در خارج کانه موافق جریان انرژی دهنده اولیه است، به طوریکه یک اختلاف پتانسیل بر روی سطح زمین قابل اندازه گیری خواهد بود[۳].

از آنجا که هر تخلخل مسدود شده ای، پلاریزه می گردد، قطبش القایی کل به تعداد این خلل و فرجها بستگی دارد. لذا نه تنها به حجم کانه بلکه به حالت افشان شدگی آن نیز بستگی خواهد داشت. دانه های بسیار ریز، مقاومت سطحی خیلی بالایی دارند به طوریکه جریان انرژی دهنده در یک کانه ریز افشان ترجیح می دهد که از داخل خلل و فرجهای مسدود نشده عبور کند و حدی برای دامنه قطبش القایی بوجود آورد. تخلخل بالا و رسانندگی بالای آب زیرزمینی نیز قطبش القایی را کاهش می دهد. زیرا هر دو سبب اتصال جریان دهنده و عبور آن از مسیرهای مسدود نشده خواهد شد[۳].

هر چند درجه قطبش انواع کانه های مختلف با هم تفاوت دارد و تا اندازه ای شکل منحنی های کاهش آنها نیز متفاوت است، ولی عوامل نامربوط زیادی دامنه IP اندازه گیری شده را کنترل می کنند و تا کنون تمایز بین کانه های مختلف با استفاده از روشهایی که در بالا ذکر شد، امکان پذیر نبوده است. تکنیکهای جدیدتر اخیر که در آنها هم پاسخ دامنه و هم پاسخ فاز، که نه تنها در دو فرکانس مجزا بلکه در گستره کاملی از فرکانس، اندازه گیری می شود، ممکن است در این زمینه موفقیت هایی کسب کند. تکنیکهایی چون « مقاومت ویژه مختلط<sup>۲۷</sup> » توانسته اند خلاء هایی را که تا کنون بین رهیافتهای مقاومت ویژه و قطبش القایی وجود داشته است را پر کنند [۳].

بار دیگر به منشأ این پتانسیل باز می گردیم. در طول شارش جریان، مقداری انبارش انرژی در جسم صورت گرفته است. اگر چه چنین انرژی انبار شده از لحاظ نظری می تواند و باید با اشکال گوناگون وجود داشته باشد، مثلاً بصورت مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی، ولی مطالعات آزمایشگاهی قطبش در انواع مختلف سنگها ثابت کرده است که انرژی شیمیایی به مراتب مهمتر از سایرین است [۲].

این انبارش انرژی شیمیایی به علت های زیر نتیجه می شود: (الف) تغییر تحرک یونها در مایعات موجود در ساختار سنگها، (ب) تغییر در رسانندگی یونی و الکترونی در جاهاییکه کانیهای فلزی وجود دارند. اثر اول « قطبش غشایی<sup>۲۸</sup> » نام دارد و اثر قطبش القایی زمینه یا اثر قطبش القایی نرمال را بوجود می آورد. این اثر ممکن است در سنگهایی که شامل کانیهای فلزی نیستند نیز روی دهد. اثر دوم به نام قطبش الکترودی یا ولتاژ اضافی می باشد. مقدار این اثر عموماً بزرگتر از زمینه است و با مقدار کانیهای فلزی موجود در سنگها ارتباط دارد. این دو اثر توسط قطبش القایی قابل تمایز از یکدیگر نیستند. بعلاوه، به نظر می آید که این اثرها مستقل از ساختار اتمی و مولکولی در سنگها و کانیها هستند. به عبارت دیگر، قطبش القایی یک اثر توده ای<sup>۲۹</sup> (حجمی) است [۲].

---

۲۷ - Complex resistivity

۲۸ -Membrane polarization

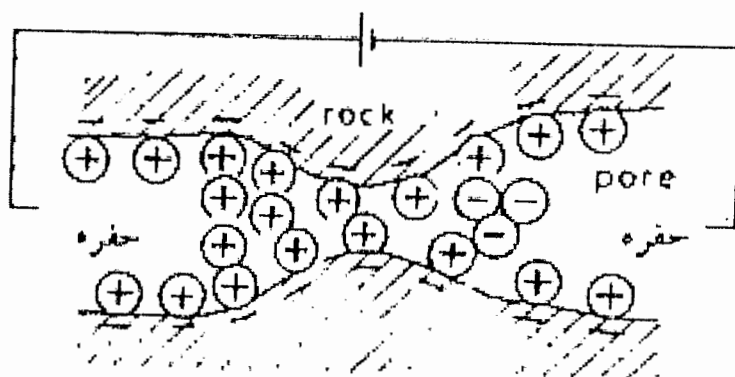
۲۹ -Bulk

## الف - قطبش غشایی یا قطبش القایی غیر فلزی

عبور جریان الکتریکی از داخل اغلب سنگها توسط الکترولیتهای موجود در خلل و فرج آنها صورت می گیرد [۱].

اغلب کانیهای تشکیل دهنده سنگها دارای بار منفی در سطح تماس خود با الکترولیت موجود در حفرات می باشند و در نتیجه یونهای مثبت را به طرف خود جلب می کنند. تجمع یونهای مثبت در مجاورت سطح کانیها معمولاً قشری به ضخامت یکدهم میکرون (از سطح کانیها به داخل الکترولیت) بوجود می آورد [۱].

اگر ضخامت این قشر در حدود قطر روزنه های ارتباطی حفرات باشد، باعث جلوگیری از تحرک یونها (حاصله از جریان تزریقی) در الکترولیت می شود. در نتیجه، یونهای مثبت و منفی در دو طرف سد ایجاد شده تجمع یافته و تعادل قشرهای مثبت و منفی در سطح کانیها به هم می خورد. بعد از گذشت زمانی اندک، یک تعادل جدید پدید خواهد آمد. حال اگر ولتاژ تزریقی ناگهان قطع شود بعد از مدت زمانی کوتاه، یونها دوباره به محل اولیه خود بازمی گردند و سبب ایجاد ولتاژ رو به زوال پلاریزاسیون القایی می گردند. این نوع قطبش القایی به بهترین وجه در حضور کانیهای رسی (که خصوصاً دارای فضاهای بسیار کوچک می باشند) رخ می دهد و با افزایش شوری الکترولیتهای موجود در حفرات، کاهش می یابد [۱].



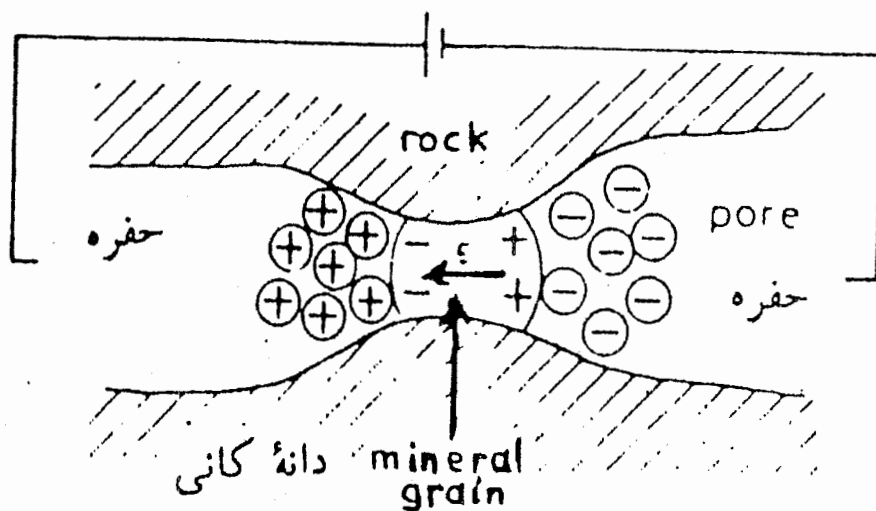
شکل ۱-۲: مکانیسم تشکیل پلاریزاسیون غشایی

## ب- قطبش الکتروودی و یا قطبش فلزی

معمولاً میزان سرعت هدایت الکترونها از طریق ذره فلزی کمتر از سرعت تبادل الکترونی بین یونها و ذره فلزی خواهد بود. در نتیجه در دو طرف ذره فلزی، یونهای مثبت و منفی (که هنوز بار خود را از دست نداده اند) تجمع پیدا می کنند. هنگامی که جریان تزریقی بطور ناگهانی قطع شود، یونها به آهستگی پراکنده شده و به محل اولیه خود مراجعت می کنند و سبب ایجاد ولتاژ ضعیف و رو به زوال قطبش القایی خواهند شد. تمام کانیهایی که قابلیت هدایت خوبی دارند (مثل سولفیدهای فلزی، اکسیدها، گرافیت و غیره) سهم بسزایی در این نوع قطبش القایی دارند. طول مدت دوام ولتاژ رو به زوال پلاریزاسیون القایی در داخل زمین به عواملی مثل ساخت سنگها، تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت هدایت الکتریکی کانیهای فلزی و قابلیت هدایت الکتروولیت موجود در حفرات سنگها بستگی دارد [۱].

بزرگی و شدت قطبش القایی فلزی به مقدار ولتاژ تزریقی، نوع ماده معدنی، درصد ماده معدنی، اندازه ذرات، تخلخل، مقاومت و نوع الکتروولیت و مقاومت ویژه سنگهای دربرگیرنده بستگی دارد. هر چه ماده معدنی هادی تر و درصد آن بیشتر باشد قطبش القایی بزرگتر و هر چه کانیها پراکنده تر در متن سنگ میزبان باشند، قطبش القایی برجسته تر خواهد بود. زیرا در این حالت سطح تماس جهت تبادل الکترونی - یونی به حداکثر خواهد رسید. با افزایش تخلخل مقدار قطبش القایی کاهش می یابد زیرا مسیرها و معابر موجود برای هدایت یونی (بجای الکترونیکی) به اندازه کافی افزایش می یابند. واضح است در اکتشاف کانسارهای فلزی، قطبش القایی فلزی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. معمولاً در حین اندازه گیری قطبش القایی نمی توان اثر قطبش غشایی را از قطبش فلزی تشخیص داد. در نتیجه قطبش غشایی در اندازه گیریهای قطبش القایی برای اکتشاف ذخایر فلزی هادی، پارازیت محسوب می شود که مقدار آن ممکن است به اندازه قطبش القایی فلزی حاصله از یک سنگ حاوی ۲٪ کانی فلزی باشد [۱].

اگر بجای جریان تزریقی DC از جریان AC استفاده شود ، مقدار IP فلزی با افزایش فرکانس جریان تزریقی، کاهش خواهد یافت. زیرا زمان لازم برای تشکیل ولتاژ قطبش القایی، طولانی تر از دوره جریان AC تزریقی می باشد [۱].



شکل ۱-۳: مکانیسم تشکیل پلاریزاسیون الکترودی

## ۱-۹-۲ - شیوه های برداشت صحرائی و تفسیر

رهیافت استاندارد در بررسیهای قطبش القایی برای کانسارها عبارت است از برداشت مجموعه ای از بیمایشهای موازی که عمود بر روند ساختاری در سرتاسر محل کاوش صورت می گیرد. برای اینگونه برداشتها آرایش دو قطبی - دو قطبی نسبت به سایر آرایشها چندین مزیت دارد: به کار گیری آن آسان است، زیرا به هیچگونه اتصالی بین زوجهای دوقطبی نیاز ندارد، و علاوه بر این جدا بودن کابلهای جریان و پتانسیل از جفت شدگی (کوپلینگ) الکترومغناطیسی را پایین آورده و لذا دامنه هر گونه سیگنال مزاحم را کاهش می دهد. آرایه های دوقطبی - دوقطبی همچنین نسبت به تغییرات جانبی ویژگیهای الکتریکی زمین حساستر از سایر آرایشهای الکترودی می باشند [۳].

پس از این برداشتها می توان یک شبه مقطع از مقادیر درصد اثر فرکانس (PFE) رسم کرد. درصد اثر فرکانس اولیه اصولاً اندازه گیری کوپلینگ پلاریزاسیون مثبت می باشد. محاسبات از داده های مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس ۰,۱ هرتز و ۱ هرتز (در PDP-8) بدست می آیند :

$$PFE = \frac{\rho_{0.1} - \rho_1}{\rho_1} * 100\% \quad (1-14)$$

محاسبات میدان اولیه به منظور بدست آوردن پارامتر فاز در ۰,۱ هرتز و پارامتر میانگین هندسی در ۰,۹ و ۱,۱ هرتز (PDP-8) و یا ۰,۱۲۵ و ۱ هرتز (GPD) به کار میروند .

موقعیت کانسار از روی مقادیر بالای کنتورها در این شبه مقاطع تشخیص داده می شود. البته نقش این کنتورها نمایانگر شکل درست کانسار نیست. مثلاً یک رگه قائم منجر به یک سطح مثلثی شکل از مقادیر بزرگ قطبش القایی خواهد بود، در حالیکه کنتورها رو به پایین از هم باز می شوند. این موضوع به سادگی چنین توجیه می شود که زیاد شدن فاصله الکترودی نه تنها به عمق بررسی بیشتر بلکه به شعاع بررسی بیشتر نیز منجر خواهد شد. علاوه بر این زیاد شدن مقادیر قطبش القایی در اثر

کانه ای که مثلاً دورتر از انتهای یک آرایش دیده می شود، مستقیماً در زیر آن آرایش رسم می گردد [۳].

کانسارها ممکن است شکل‌های پیچیده ای داشته باشند و سنگ‌های میزبان که آنها را دربر گرفته اند اغلب غیر همگن می باشند. گذشته از اینها، وقتی محل کاوش آشکار سازی شد باید حفاری انجام شود. بنابراین در گذشته چندان تحرکی برای ابداع روش‌های کمی تفسیر در اندازه گیری‌های قطبش القایی وجود نداشته است. ولی پیشرفتهایی که در تکنیک‌های محاسبه و روش‌های صحرایی اخیر بوجود آمده سبب شده که توجه زیادی به این موضوع شود [۳].

#### ۱-۹-۳- تجهیزات مورد استفاده

اساس تجهیزات برداشت دستگاه IP اساساً ساده می باشد ولی پیشرفتهایی که در ده سال اخیر بوقوع پیوسته، این دستگاه را کاملاً پیچیده نموده است. در دستگاه‌های سبک، تغذیه به کمک باتری صورت می گیرد. دستگاه‌هایی که برای نفوذ عمیق‌تر طرح ریزی شده، نیاز به قدرت بیشتری دارند. بنابراین از مولدهای AC تا چند کیلووات و یکسوکننده‌هایی که جریان ثابت DC تولید می کنند، استفاده می نمایند. در دستگاه حوزه زمان، جریان ثابت DC به طور خودکار و آهنگی ثابت، بریده شده و معکوس می شود. مثلاً دو ثانیه وصل و دو ثانیه قطع و سپس معکوس، که روی هم یک چرخه ۸ ثانیه ای بوجود می آورد. معکوس سازی و انتگرال گیری بر روی شماری از چرخه‌ها، نسبت سیگنال به نویز را بهتر می سازد و اثر دیگر جریان‌ات زمینی را میانگین گیری می کند. در دستگاه‌های جدید از این نوع، گیرنده لزوماً به فرستنده وصل نیست. این نوع دستگاه دارای یک چرخه اندازه گیری برنامه ریزی شده است که توسط یک وسیله حساس آغاز به کار می کند و خود وسیله حساس با تزریق جریان در زمین به کار می افتد. نمونه برداری از منحنی کاهش تدریجی در

دستگاههای مختلف از راههای متفاوتی انجام می شود. در دستگاه هانتک<sup>۳۰</sup> این عمل در چهار فاصله معین انجام می گیرد و ولتاژ متغیر در هر اندازه گیری، در فاصله زمانی کوتاهی اندازه گیری می شود. دستگاه به چرخه خود ادامه می دهد، باریذیری را میانگین گیری می کند تا پایداری برقرار شود. چهار مقدار مربوط به نقاط مختلف بر روی منحنی کاهش تدریجی توسط ولتتر به نمایش در می آید [۳].

دستگاههای مختلفی برای اندازه گیری اثر فرکانس سازگار شده اند. امروزه معمول این است که اندازه گیریهای مقاومت ویژه ظاهری در دو فرکانس همزمان انجام گیرد. سیستم مک فار<sup>۳۱</sup> این کار را با ارسال یک موج دو فرکانسی انجام می دهد. دو فرکانس در گیرنده از هم جدا شده و دامنه های آنها اندازه گیری می شود. سپس اثر فرکانس به صورت خودکار محاسبه می گردد. شرکت سینترکس<sup>۳۲</sup> دستگاهی ساخته است که در آن موج مربعی فرکانس کوتاه ارسال می شود. از آنجا که موج مربعی ترکیبی از کلیه هارمونیکهای فرد است، این امکان وجود دارد که با استفاده از فیلترهای مخصوص فرکانس اصلی ( $f$ ) و سومین هارمونیک آن ( $3f$ ) را از هم جدا و اثر فرکانس بین آن دو را اندازه گیری کرد [۳].

#### ۱-۹-۴- سونداژ و پروفیل زنی در قطبش القایی

تکنیکهای سونداژ زنی که در اندازه گیریهای مقاومت ویژه به کار می روند، در متد قطبش القایی نیز به کار می رود. تکنیک سونداژ زنی قطبش القایی را نیز می توان با آرایشهای شلومبرگر، ونر و دوقطبی - دوقطبی اجرا نمود و بار پذیری ظاهری را نسبت به فواصل الکترودها روی مختصات لگاریتمی رسم نمود و منحنی سونداژ قطبش القایی حاصله را همانند روش مقاومت ویژه، با منحنیهای تئوری انطباق داد. یک منحنی سونداژ قطبش القایی می تواند مکمل منحنی سونداژ مقاومت ویژه باشد [۱]

۳۰ - Huntcc

۳۱ - Mc Phar

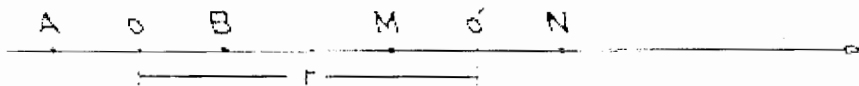
۳۲ - Scintrex



### ۱-۹-۵- تهیه شبه مقطع مقاومت ویژه و بار پذیری با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی

به منظور تهیه یک شبه مقطع مقاومت ویژه و بار پذیری معمولاً طرز عمل بدین صورت است که یک خط پروفیل در جهت عمود بر امتداد ساختها، کانسارها و لایه های زیرسطحی در نظر می گیرند و عملیات اندازه گیری با آرایش دوقطبی - دوقطبی ( محوری ) در روی این پروفیل انجام می شود (شکل ۱-۱) [۲].

در این آرایش  $AB=L_1$  ،  $MN=L_2$  و  $OO' = r = L_3$  می باشند. در حقیقت O و O' به ترتیب مراکز الکترودهای A-B و M-N می باشند [۳].

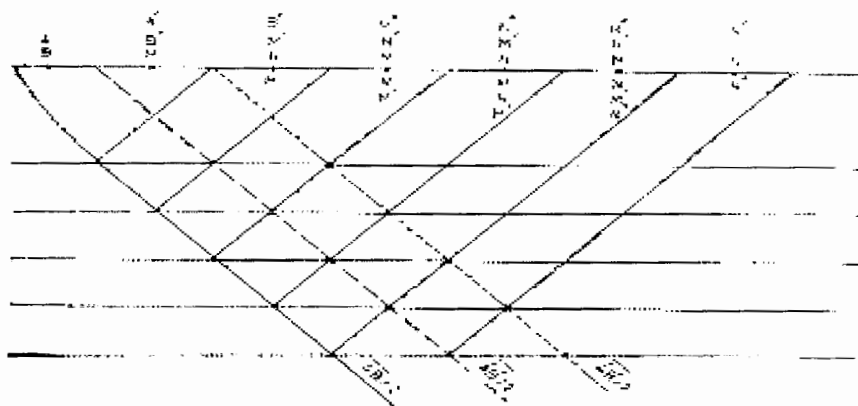


شکل ۱-۴: نمایش آرایش دوقطبی - دوقطبی در امتداد یک محور [۲].

در عمل  $L_1 = L_2 = L$  و  $r=nL$  انتخاب می شود. در شروع کار  $r=2L$  خواهد بود. اعداد اندازه گیری شده توسط الکترودهای M و N، معمولاً در محل برخورد خطوطی که با زاویه ۴۵ درجه از O و O' رسم می شوند، نسبت داده می شوند. عمق نفوذ با زیاد شدن r زیاد می شود [۳].

نخست A و B را ثابت نگه داشته و الکترودهای M و N را در طول پروفیل و هر بار به اندازه L جابجا می کنند. در این حالت عمق نفوذ برابر  $nL/2$  خواهد بود. سپس الکترودهای A و B را به اندازه L در طول پروفیل جابجا می کنند و عمل فوق را تکرار می کنند. اعمال فوق معمولاً تا انتهای پروفیل انجام

می گیرد (شکل ۱ - ۲). سپس مقادیر بدست آمده از هر کمیت (IP و یا مقاومت ویژه) را کانتور می نمایند و به صورت یک شبه مقطع بار پذیری و یا مقاومت ویژه در می آورند. به کمک این شبه مقاطع می توان نحوه قرار گرفتن افقهای ژئوالکتریک را نیز در داخل زمین نشان داد [۲].



شکل ۱ - ۵: نمایش شماتیکی از وضعیت هندسی الکترودهای جریان (A و B) و پتانسیل (M و N) در آرایش دوقطبی - دوقطبی و همچنین نحوه جایجایی آنها برای تهیه یک شبه مقطع پلاریزاسیون القایی و یا مقاومت ویژه [۲].

#### ۱-۹-۶- چشمه های نويز

چشمه های نويز زمينه، گذشته از SP که بسادگی جبران می شود، عبارتند از جریانهای تلوریک، جفت شدگی ظرفیتی (خازنی) و الکترومغناطیسی و اثر کلی قطبش القایی حاصل از سنگهای عقیم [۲].

جفت شدگی ظرفیتی: این اثر ممکن است بین الکترودهای جریان و سیمهای پتانسیل و یا برعکس اتفاق بیفتد، که علت آن جریانهای نشتی یا نشت بین سیمهای جریان و پتانسیل می باشد. اثر ظرفیتی معمولاً به اندازه کافی کوچک و قابل اغماض می باشد، مگر آنکه روکش سیمها فاسد یا این سیمها خیلی نزدیک به الکترودهایی باشند که به سیمهای دیگر اتصال دارند. در چاه پیمایی قطبش

القایی که کابلها پهلو به پهلو ی یکدیگر قرار دارند، لازم است که از کابل‌های محافظ دار استفاده شود [۲].

**جفت شدگی الکترومغناطیسی:** از القای متقابل بین سیم‌های جریان و پتانسیل که هم مستقیماً و هم از راه زمین مجاور تاثیر می گیرد، انجام می شود. در مواقعی که از آرایشهایی با سیم طویل یا فرکانسهای بالا استفاده می شود، اثر EM ممکن است خیلی بزرگ باشد. برای کم کردن جفت شدگی حاصل از سیم‌های طویل، آرایشهای دوقطبی - دوقطبی و قطبی - دوقطبی ( با N کمتر از ۱۰ ) بکار گرفته می شود و فرکانسها معمولاً پایینتر از ۱۰ هرتز نگاه داشته می شوند. محاسبه تقریبی جفت شدگی بین دو سیم در زمین یکنواخت امکان پذیر است. تغییرات مقاومت ویژه در سطح قائم نیز بطور قابل ملاحظه ای در میزان جفت شدگی مغناطیسی تاثیر می گذارد [۲].

## فصل دوم

بررسی مدلسازی عددی داده های مقاومت ویژه و قطبش  
القایی

## ۲-۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم در تفسیر داده های ژئوفیزیکی، مدلسازی آنها می باشد که در این فصل به تشریح انواع روشهای مدلسازی می پردازیم.

نخستین نکته ای که در این مبحث باید به آن اشاره کنیم پاسخ به این سوال است که اصولاً چرا باید مدلسازی صورت گیرد؟ پاسخ به این سوال در واقع اهداف و خواسته های ما را از مدلسازی تبیین می کند. این اهداف به شرح زیر می باشند [۴]:

۱- داده ها از ماهیت توصیفی ( کیفی ) به ماهیت عددی ( کمی ) تبدیل شوند.

۲- فهم درست و کامل از داده ها

۳- تعیین هندسه و عمق قرارگیری اهداف مورد مطالعه

۴- تعیین ساختار لایه های زیرسطحی

اصولاً داده های اکتشافی به سه شکل نمایش داده می شوند [۴]:

- به شکل نقشه

- بصورت شبه مقاطع

- مقاطع مدلسازی شده

در اینجا به شکل مدلسازی شده داده ها پرداخته می شود، زیرا کاملترین نحوه نمایش یک سری داده می باشد. وقتی در یک پروژه اکتشافی یک سری داده که هر داده مختص مکان خاصی می باشد،

برداشت شود، این داده ها باید به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شوند. از آنجا که حجم نقاطی که ما اطلاعات آنها را برداشت کرده ایم نسبت به حجم نقاط مورد مطالعه که اطلاعات آنها برای ما مجهول است، بسیار کم است، لذا همیشه این تعمیم با خطا همراه است. برای غلبه بر این محدودیت روشهای مختلف مدلسازی تعمیم یافته اند. بدینگونه که هر یک از این روشها با در نظر گرفتن شرایط خاصی که بر محیط، داده ها و دیگر پارامترهای تاثیرگذار حاکم است، سعی در کاهش خطا در این تعمیم دارند. لذا برای حل یک مسئله مدلسازی ابتدا باید تمامی شرایط و قیود حاکم بر محیط و داده های خام را دانست و سپس با اشراف کامل بر چگونگی شکل گیری یک مدل در یک روش خاص مدلسازی، روش مناسب و بهینه را انتخاب و با تعیین درست گزینه های انتخابی در آن روش مدلسازی، بهترین مدل را با کمترین خطای ممکن ارائه نمود [۴].

مدلسازیها در دسته بندی اولیه به دو دسته مدلسازی آزمایشگاهی<sup>۳۳</sup> (و یا فیزیکی) و مدلسازی عددی<sup>۳۴</sup> تقسیم می شود [۴].

مدلسازی عددی خود به دو دسته مدلسازی عددی پیشرو<sup>۳۵</sup> و مدلسازی عددی وارون<sup>۳۶</sup> تقسیم می شود که باز هر کدام از این روشها خود زیر مجموعه هایی مجزا و روشهای مختلفی دارند. که ادامه این فصل به همین موضوع اختصاص دارد.

---

۳۳ - Scale modeling  
۳۴ - Numerical modeling  
۳۵ - Forward modeling  
۳۶ - Inverse modeling

۲-۲- مختصری از سوابق کارهای انجام شده در زمینه مدلسازی عددی داده های مقاومت ویژه و

### قطبش القایی

در زمینه مدلسازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی فعالیتهای متنوعی صورت گرفته است که از پیشگامان این محققان می توان به کاگون<sup>۳۷</sup> [۱۶] اشاره کرد که وی در سال ۱۹۷۱ با مدلسازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی با روش اجزا محدود، دریچه ای جدید در این علم گشود. نرم افزارهای مورد استفاده در این مدلسازی ها اصولاً دو نرم افزار RES2DINV و RESIXIP2DI می باشند که این دو نرم افزار نیز سیر تکاملی خاصی داشته اند.

نرم افزار RES2DINV نخستین بار توسط پروفیسور لوک<sup>۳۸</sup> طراحی شد [۲۵] و نرم افزار RESIXIP2DI نیز توسط شرکت InterPex ارائه گردید [۲۹]. این دو نرم افزار بعدها بر حسب نیاز تکامل یافتند. به عنوان مثال پس از پی بردن به مزاحمت بعضی عوامل یا همان نویزها، شخصی به نام دیویس<sup>۳۹</sup> در سال ۱۹۸۰ در نرم افزار RESIXIP2DI، یک فیلتر خطی به منظور از بین بردن و یا به حداقل رساندن این آثار طراحی کرد. از آنجا که این فیلتر خطی کارآیی بهینه ای نداشت، لذا در سال ۱۹۸۷ دو محقق به نامهای سیرا و گراند<sup>۴۰</sup> یک فیلتر دیجیتالی طراحی کردند [۲۹]. در ادامه به بعضی از تحقیقات شاخص در این زمینه اشاره می شود.

- چگونگی معکوس سازی رگرسیون خطی و تخمینهای غیر خطی در سال ۱۹۷۰ توسط مارکوارت<sup>۴۱</sup> تشریح شد. وی وارون تعمیم یافته را برای حل ماتریسهای غیر مربعی و تکین را پیشنهاد کرد [۲۵].

- کاگون در سال ۱۹۷۱ در مقاله ای مدلسازی الکتریکی و الکترومغناطیسی به روش اجزاء محدود را تشریح کرد. [۱۶] در این مقاله ابتدا به تشریح کامل این الگوی مدلسازی پرداخته شده و سپس با

۳۷ - Coggon , J.H ,1971

۳۸ - Loke,M.H

۳۹ - Davis

۴۰ - Granda & Seara

۴۱ - Marquardt , D.W

ارائه یک مطالعه موردی به چگونگی کاربرد این الگو برای داده های الکتریکی و الکترومغناطیسی پرداخته است.

- پارکر و کانستیبیل<sup>۴۲</sup> در سال ۱۹۷۸ مقاله ای پیرامون معکوس سازی اوکام، با عنوان یک الگوریتم کاربردی برای ایجاد یک مدل هموار از داده های سونداژ الکترومغناطیسی، منتشر کرده است. در این مقاله بر روی تغییرات مقاومت ویژه در اثر تغییرات موقعیت جسم مثلاً دو سوی مرزهای تیز و یا ناهمگنی های مقاومت ویژه تاکید شده است [۱۷].

- ژیراسیک و هولوکومب<sup>۴۳</sup> در سال ۱۹۸۴ در مقاله ای به تصحیحات سه بعدی عوارض زمین، در برداشتهای مقاومت ویژه پرداخته است. در این مقاله روی تاثیر توپوگرافی در اعماق مختلف کار شده است و نشان داده اند که اثرات توپوگرافی با عمق کاهش می یابد [۲۴].

- دایمری<sup>۴۴</sup> در سال ۱۹۹۲ در مقاله ای به تئوری واپیچیدگی<sup>۴۵</sup> و فرآیند معکوس سازی و کاربردهای آن در مسائل ژئوفیزیکی پرداخته است [۲۰].

- اولدنبرگ و الیس<sup>۴۶</sup> در سال ۱۹۹۴ مقاله ای با عنوان معکوس سازی در ژئوفیزیک کاربردی در مجله بین المللی ژئوفیزیک منتشر کرده اند. در این مقاله با تاکید بر روی اطلاعات اولیه، اصلاحاتی روی تمام پارامترهای متغیر و همین طور روش اوکام صورت گرفت و شاخص عمق اکتشافی ارائه شد [۲۱].

- بارکر و لوک<sup>۴۷</sup> در سال ۱۹۹۵ مقاله ای با عنوان واپیچیدگی روش کمترین مربعات در شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری منتشر کردند [۱۴].

- لوک<sup>۴۸</sup> در سال ۲۰۰۰ مقاله ای در ارتباط با مدلسازی توپوگرافی در معکوس سازی داده های مقاومت ویژه را ارائه نمود. در این مقاله پس از بررسی چگونگی تاثیر توپوگرافی بر داده های خام

---

۴۲ - Constable , S.C & Parker , R.L

۴۳ - Holcombe , H.T & Jiracek , G.R

۴۴ - Dimri, V

۴۵ - Deconvolution

۴۶ - Ellis , V & Oldenburg , D.W

۴۷ - Loke , M.H & Barker , R.D

۴۸ - Loke , M.H



مقاومت ویژه و نهایتاً مدلسازی این داده ها به ارائه راهکارهای تئوری و نرم افزاری به منظور رفع تاثیر توپوگرافی بر مدل نهایی پرداخته شده است [۲۵].

- زادنوف<sup>۴۹</sup> در سال ۲۰۰۲ در مقاله ای تئوری معکوس سازی در ژئوفیزیک و مسائل با قاعده را تشریح کرده است. در این مقاله به چگونگی مدلسازی و اینکه چگونه هنگامی که تعداد محدودی داده موجود است، می توان خاصیت این داده ها را به نقاط دیگر تعمیم داد، پرداخته شده است [۳۱].

- حسن زاده در سال ۱۳۸۲، با استفاده از مدلسازی توام داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی به اکتشاف آبهای زیرزمینی در دشت مبارکه (از توابع اصفهان) پرداخته است [۶].

- چاکری در سال ۱۳۸۴ به مدلسازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه، در منطقه ای نزدیک شهرستان انار در استان کرمان با استفاده از نرم افزارهای RESIXIP2DI و RES2DINV پرداخته است [۵].

- باقری در سال ۱۳۸۴ با استفاده از داده های مقاومت ویژه به تهیه مدل آبخوان دشت امان آباد اراک پرداخته که در این پروژه مدلسازی با استفاده از نرم افزارهای RESIXIP2DI و RES2DINV صورت گرفته است [۷].

## ۳-۲- مدلسازی پیشرو

در این الگو ابتدا باید رابطه بین پارامترها و داده ها را بدانیم. بدین معنا که اگر مدلی با پارامترها، شکل و آرایش معلوم داشته باشیم، با توجه به چگونگی عملیات صحرایی و آرایش نقاط اندازه گیری، مقادیر داده های مشاهداتی قابل محاسبه باشند. اینگونه طراحی مسئله به روشی می انجامد که مدلسازی پیشرو نامیده می شود و عملگری که داده های مشاهداتی فرضی یا همان پاسخ مدل را از مدل استحصال می کند، عملگر پیشرو نامیده می شود. این عملگر و رابطه متناظر آن تقریباً در تمامی موقعیتهای واقعی، غیر خطی هستند [۵].

---

۴۹- Zhdanov , M.S

امروزه در مدلسازی پیشرو روشهای عددی جایگاه اصلی را دارند که در اینجا بصورت مختصر و خلاصه به معرفی و تشریح بعضی از روشهای این زیرمجموعه پرداخته و تا حد ممکن از تشریح روابط و فرمولهای بکار رفته در این الگوها خودداری شده است.

### ۲-۳-۱- روش عددی تفاضل محدود

تفاضل محدود روشی ساده و موثر برای حل عددی مقدار مرزی مسائل الکترومغناطیسی است و بدلیل سادگی ذاتی و زمان کمتر محاسبات، این روش اصولاً در نرم افزارهای تجاری مورد استفاده قرار می گیرد.

در این دسته از روشها سعی در تقسیم یک میدان پیوسته الکترومغناطیسی به تکه های کوچک است. بگونه ای که بتوان رفتار این تکه های منقطع را جداگانه مورد بررسی قرار داد و رفتار کل را از برآیند آنها تعیین کرد. بنابراین باید عملگرهای دیفرانسیلی پیوسته در معادلات ماکسول و شرایط مرزی با عملگرهای تفاضل محدود که روی مقادیر منقطع میدان عمل می کنند، جایگزین شوند [۵].

روشهای متفاوتی برای تحلیل جزء به جزء معادلات ماکسول وجود دارد اما رایجترین روش، تقسیم محدوده مدل به مستطیلهای کوچک است (مش بندی). سپس پارامترهای میدان داخل هر واحد ثابت فرض می شود. راه حل معمول توزیع پتانسیل سه بعدی حول یک منبع نقطه ای، بر روی یک نیم فضای دوبعدی، با اجمامی به شکل دلخواه که در یک راستا گستردگی بینهایت دارند، می باشد. در اینجا به عنوان رهیافت جانبی از ماتریسی برای تخمین معادله یواسون روی شبکه ای مستطیلی و نا منظم استفاده می شود. این روش بسیار سریعتر از روشهای مطرح دیگر در مدلسازی پیشرو و از جمله روش عناصر محدود<sup>۵</sup>، صورت می گیرد [۵].

## ۲-۳-۲- روش عددی عناصر محدود

یکی از قوی ترین روشهای مسائل مقدار مرزی، روش عنصر محدود است. در این روش ابتدا محدوده مدل به صورت مجموعه ای از حوزه های ساده و کم اثر (عنصر محدود) در نظر گرفته می شود. سپس جواب برای متغیر مجهول به وسیله ترکیب خطی پارامترهای معلوم و چند جمله ای های جبری معین به کمک محاسبات تغییرات، تقریب زده می شود. در نوع عادی آن شبکه کاملاً ثابت و مستقل از زمان است. ولی در ویرایش جدید به نام «روش عنصر محدود متحرک» (MFEM)، محل گره ها متغیر بوده و به همراه ضرایب، برای کاهش خطا، به طور همزمان حل می گردد. این ویژگی از ناپیوستگی ای که در پاسخ هایی که در روش قبلی رخ می داد جلوگیری می نماید. روش های مختلفی از این الگو بسته به نوع توابع پایه و ضرایب بسط آنها وجود دارد [۵].

در این شیوه ها، ناحیه مدل به مقدار متناهی واحد کوچک تقسیم می شود که در مرزهای پایینی و کناری مدل باید برای رفتار و کمیت های میدان، فرضیاتی در نظر گرفته شود. همین طور تغییرات پیوسته پتانسیل به میدان با اعداد ناپیوسته ای که بین آنها تغییرات خطی فرض می شوند تبدیل می گردد که به «تقریب عنصر محدود» معروف است. بطور آرمانی شبکه باید آنقدر بزرگ باشد تا پتانسیل ثانویه حاصل از آنومالیها در گوشه های آن قابل صرف نظر باشد. ولی عملاً باید محدودیت های محاسباتی را نیز در نظر گرفت. برای تقریب شبکه محدود با مطالعه رفتار شبکه هایی با اندازه متفاوت واحدهای مرزی کناری، ملاحظه می شود که با افزایش اندازه واحدها دقت پتانسیلها نیز بنابر اصل تقابل بیشتر می شود [۵].

برای تقریب عنصر محدود باید در نظر داشته باشیم که عناصر باید در مناطقی که میدان ثانویه تغییرات زیادی دارد، کوچکتر و دقیقتر باشند (یعنی مش بندی ریزتر) تا فرض تغییر خطی میدان بین دو سلول منطقی باقی بماند. همین طور در شرایط مرزی جهت گیری مرزهای عناصر در مقابل

جریانهای مرزی نیز مهم است. بنابراین اندازه، شکل قرارگیری و نوع بافت شبکه عنصر محدود باید برای اهداف مختلف آزمایش شود و بهترین آنها مبنای کار قرار گیرد [۵].

### ۲-۳-۳- روش معادلات انتگرالی

معادلات انتگرالی یک روش قدرتمند برای مدلسازی پیشرو است. مزیت عمده این روش در مقایسه با عنصر محدود و تفاضل محدود، سرعت و شبیه سازی دقیق آن بخصوص در مدل‌هایی است که شامل تعداد محدودی اجسام ساده دو و سه بعدی در زمینی لایه ای هستند. در مقابل، این روش در خصوص ساختارهای پیچیده با پارامترهایی با تغییرات خیلی زیاد عملاً قابل اجرا نیست. زیرا بدلیل ماتریسهای فوق العاده فشرده و طولانی که باید محاسبه شوند، منابع محاسباتی بسیار زیادی را در رایانه به خدمت گرفته و از توان محاسباتی در زمان محدود و منطقی خارج می‌گردد. به همین دلیل این گونه ساختارها عملاً محل تاخت و تاز روشهای دیفرانسیلی است [۱۹].

### ۲-۴- مدلسازی وارون

آرمان نهایی تمامی اکتشافات ژئوفیزیک کاربردی، رسیدن به تصویری دقیق از ویژگیهای زیر زمین است. اما ساختارهای واقعی اغلب خیلی پیچیده هستند. بنابراین سعی می‌شود مدل ساده تر که توسط تعداد پارامترهای متناهی کنترل می‌شود، طرح گردد. رسیدن به این مدل، تفسیر داده های صحرائی نام دارد. روشهای زیادی برای این منظور وجود دارد که یکی از این راهها، مدلسازی وارون می باشد. از این میان وارون سازی الکتریکی و الکترومغناطیسی بطور گسترده ای در امور مهندسی و فنی به خدمت گرفته شده است. از آن جمله می توان یافتن عیوب داخلی سازه های بتونی و فلزی، مطالعه ساختارهای زیرزمینی برای اکتشاف ذخایر معدنی، اکتشافات آب و هیدروکربورها و دورسنجی را نام برد [۱۹].

راهکار مشترک تمامی این روشها این است که میدانهای پایا یا ناپایای الکتریکی و یا الکترومغناطیسی توسط یک فرستنده تولید و از میان محیط مورد نظر گذشته و آنومالی هدف را روشن می نماید. پاسخ الکترومغناطیسی برگشتی واپاشیده، در گیرنده ها بصورت مولفه های میدان الکتریکی و مغناطیسی ضبط می گردد. بازسازی تصویر با مجموعه ویژگیهای فیزیکی متناظر، اساس حل عددی مسئله وارون است. اگر چه حل چنین مسائلی در محیطهای ناهمگن دو بعدی و سه بعدی بسیار پیچیده است، ولی در دهه های اخیر پیشرفتهای قابل ملاحظه ای در این راه صورت گرفته که گسترش رایانه های قدرتمند بدون شک نقش عمده ای در آن داشته است [۵].

در مدلسازی وارون چند نکته مهم و حائز اهمیت وجود دارد که مختصراً به آنها اشاره می کنیم [۲۶]:

۱- دقت مدلسازی

۲- گسسته بودن یا پیوسته بودن داده ها

۳- طبیعت داده ها و اینکه خطاها چگونه است.

۴- آیا قید یا محدودیتی برای مسئله وجود دارد؟

۵- خطی بودن یا غیرخطی بودن مسئله

۶- مدنظر بودن جواب (دقیق یا تقریبی)

در مسئله وارون بدنبال یافتن مدل  $m$  از روی داده های  $d$  هستیم. با فرض خطی بودن تابع  $F$  در مدل

پیشرو می توان عملگر خطی مترادف آن،  $A$ ، را تعریف و مسئله وارون را به شکل زیر تعریف کرد:

$$m = A^{-1}d \quad (۱-۲)$$

سه سوال مهم در فرآیندهای مدلسازی مطرح می شود [۵]:

۱- آیا جواب وجود دارد؟

۲- آیا جواب یکتا است؟

۳- آیا جواب پایدار است؟

سوال اول مربوط به فرمولاسیون ریاضی است. از دیدگاه فیزیکی باید جواب وجود داشته باشد. زیرا ما ساختاری واقعی داشته ایم و بر روی آن اندازه گیری انجام گرفته ولی از دید ریاضی ممکن است مدل با تعداد متناهی پارامتر نتواند بر داده های صحرایی و مدل واقعی منطبق گردد. از سوی دیگر داده های ژئوفیزیکی واقعی عملاً توسط  $\delta d$  که هیچ رابطه ای با ساختار تابع  $F$  ندارد، مختل می گردد و آنچه که مشاهده می گردد  $ds = d + \delta d$  است. پیدا کردن مدلی که دقیقاً بر پاسخهای این داده های نویزی منطبق گردد، حتی از نظر فیزیکی هم غیر واقعی است. زیرا نویزهای حاضر در داده ها ربطی به ویژگیهای فیزیکی نداشته و از فرمول شناخته شده ای برای ما پیروی نمی کنند. وارون سازی انتخاب یک جواب از میان مدل‌های ساده شده نزدیک به جواب است. بنابراین شبه جواب  $m_\delta$  را بصورتی که اختلاف  $d - Am_\delta$  از مقدار خطای خاصی ( $\delta$ ) کمتر باشد، می توان بعنوان جواب در نظر گرفت. بعبارت دیگر جواب دقیق و کامل وجود ندارد. و ما دنبال مدلی هستیم که درون بازه ای به دقت  $\delta$  روی داده های مشاهده ای منطبق گردد [۵].

در مورد سوال دوم فرض کنید دو مدل مختلف  $m_1$  و  $m_2$  با منابع  $S_1$  و  $S_2$  یک سری جواب  $d_0$  تولید می کنند. لذا داریم:

$$A(m_1, S_1) = d_0 \quad (2-2)$$

$$A(m_2, S_2) = d_0 \quad (3-2)$$

غیر ممکن است که بتوان این دو مدل را از هم تفکیک کرد. مثال بارز این غیریکتایی ذاتی در میدانهای پتانسیل است و چنین موضوعی در الکترومغناطیس نیز نمود دارد. مسئله «هم ارزی» و «اختفا» مثالی از اینگونه محدودیتهای ذاتی است که بر یکتایی پاسخ نیز تاثیر دارد. یکی از راهها، بررسی شبه تابع عدم انطباق<sup>۵۱</sup> است. اگر این تابع بیش از یک نقطه کمینه داشته باشد، جواب غیر یکتا است [۵].

۵۱ - Misfit function

سوال سوم مربوط به حضور نویز است. فرض کنید که دو سری داده صحرایی با اختلاف بسیار کم، دو مدل با اختلاف بسیار زیاد تولید کرده اند. در این صورت تفکیک مدلها غیر ممکن است. به عبارت دیگر دو مدل کاملاً متفاوت ممکن است پاسخهایی بسیار مشابه، با اختلافی در حد خطای موجود در پاسخها ایجاد کنند. بنابراین تغییری کوچک در اندازه گیریها به نوسانات شدیدی در مدل نهایی منجر شده و مدلسازی را ناپایدار می سازد [۵].

اگر پاسخ هر سه سوال «بلی» باشد، مسئله را «با طرح بهنجار<sup>۵۲</sup>» گویند و در غیر این صورت مسئله را «با طرح نابهنجار<sup>۵۳</sup>» گویند. مسائل با طرح نابهنجار از نظر ریاضی و فیزیک بی معنا هستند ولی تقریباً تمامی مسائل ژئوفیزیک از این گروه اند. خوشبختانه امروزه می دانیم که این نظر اشتباه بوده و این مسائل با معنا بوده و با شیوه های خاصی قابل حل می باشند [۵].

بطور اصولی فرایند وارون سازی از نظر رابطه پارامترهای مدل با داده های محاسباتی به چهار دسته قابل تقسیم است:

- ۱- رابطه خطی است و تابع چگالی احتمال عدم قطعیت داده ها، تابع گوسی می باشد.
- ۲- رابطه غیر خطی است ولی انحراف کمی از حالت خطی دارد و می توان آنها را حول یک مدل اولیه (مرجع) خطی نمود. در این مورد تابع چگالی احتمال عدم قطعیت داده ها تقریباً گوسی است. این نوع، تقریباً ملایمترین حالت غیر خطی است.
- ۳- رابطه شبه خطی است. در این مورد می توان روابط را حول یکی از نقاط مربوط به مدل، با بیشترین شباهت و کمترین انحراف با داده ها، خطی کرد. معادلات اندکی متفاوت با حالت قبل قابل تعریف هستند و روشهای گرادیانی برای رسیدن و تمرکز روی مدل بهینه اولیه و جهت حرکت پس از آن مورد استفاده قرار می گیرند. احتمال اشتباه و فروپاشی در این مدل بیشتر از قبل است.

---

۵۲ - Well posed

۵۳ - Ill posed

۴- رابطه به شدت غیر خطی است. در این مورد خطی سازی غیر ممکن بوده و تابع چگالی عدم قطعیت داده ها هیچ شباهتی به تابع گوسی ندارد. روشهایی که پایه بسیاری از آنها آزمون و خطا است، برای حل این حالت وجود دارد. ساده ترین نوع روش گرادیان که در آن در جهت تندترین شیب به دنبال مدل با کمترین انحراف از واقعیت می گردیم، بسیار کند همگرا می شود. « روش نزولی با شیب تند پیش شرطی<sup>۵۴</sup> »، «ماتریس متغیر<sup>۵۵</sup>» و «روش مزدوج<sup>۵۶</sup>» از دیگر روشهای این دسته اند[۵].

برای مسائل غیر خطی می توان از روش کمترین مربعات مقید در تکرارهای متوالی برای تعیین و تصحیح گام به گام بردار پارامترها استفاده کرد. بردار پارامتر را می توان بوسیله یک سری تخمین کمترین مربعات خطی مقید بدست آورد. ابتدا مدل اولیه و پارامترهای آنرا در نظر گرفته و با مقایسه با داده های صحرائی تغییر پارامتر مناسب تعیین می گردد. با اصلاح پارامترهای مدل اولیه با توجه به بردار تغییر پارامتر  $\delta$ ، مدل جدید و پاسخ آن محاسبه می گردد. در این مرحله، مجموع مربعات خطاها بین پاسخ مدل و مشاهدات صحرائی مورد بررسی قرار می گیرد و اگر از مقدار معینی که توسط کاربر تعیین گردیده، کمتر باشد، فرآیند مدلسازی قطع گردیده و مدل مذکور بعنوان جواب معرفی می گردد. در غیر این صورت، فرآیند با محاسبه بردار جدید تغییر پارامتر، وارد چرخه محاسبات می شود تا شرط مذکور تحقق یابد.

جواب حاصله در بازه معینی از خطا با مشاهدات تطابق دارد اما بدلیل بحث غیر یکتایی در مسائل غیر خطی، ضمانتی وجود ندارد که جواب واقعی و بهتری وجود نداشته باشد[۵].

۵۴ - Preconditioned steepest descent method

۵۵ - Variable matrix

۵۶ - Conjugate method



این روش به خاطر قدرت ریاضیات آن در مواجهه با داده های نادقیق، ناکافی و متناقض، فوق العاده محبوب و پرکاربرد است و مطالعات فراوانی بر پایه آن در چهار دهه اخیر صورت گرفته است.

در انجام این مدل اصولاً دو شیوه در پیش گرفته می شود. در یک شیوه با فرض مدل اولیه ساده ای با تعداد محدود اجسام و لایه ها و در نظر گرفتن مقاومت ویژه، ضخامت و مکان آنها بعنوان پارامتر، با تغییرات جزئی در این مدل اولیه سعی در رسیدن به کمترین خطای عدم انطباق می شود. این روش به نام Underparameterization موسوم بوده و منجر به حذف بسیاری از اطلاعات واقعی موجود در داده ها می گردد. در صورتی که عارضه ای اضافه بر مدل اولیه در داده ها حضور داشته باشد، درون عوارض مدل مستهلک می گردد. این شیوه به شدت به مدل اولیه، نوع پارامتر سازی آن و دانش اولیه زمین شناسی در مورد منطقه متکی است [۲۶].

شیوه دوم به نام Overparameterization، مدل را به واحدهایی بسیار بیشتر از درجات آزادی داده ها تقسیم می کند. این شیوه اغلب عوارض جعلی و اضافه بر اطلاعات داده ها تولید می کند. اگر چه این شیوه برای زمینی با اجسام محدود و محیط همگن داخل هر یک از آنها که تغییرات مقاومت ویژه فقط دو سوی مرزهای تیز اجسام رخ می دهد، عملکرد قابل قبولی دارد ولی با افزایش پارامترها و برای ناهمگنیهای ملایم مرزها و تغییرات نرم و هموار که واقعیت بسیاری از زمینهاست، جوابهایی با نوسانات خارج از کنترل و عوارض جعلی غالب بر عوارض اصلی بدست می دهد. آنومالی های پراکنده با مقاومت ویژه های غیر واقعی بسیار بالا یا پایین از این نوع است [۲۶].

با توجه به دو شیوه انجام وارون سازی پارامتری، مشاهده می شود که در هر دو روش ایراداتی اساسی به چشم می خورد. اساسی ترین ایراد وارده را می توان این عامل دانست که طبیعت پخش شونده<sup>۵۹</sup> میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در زیر زمین بطور ذاتی قادر به آوردن اطلاعات دقیق از محل مرزهای ساختارها نیست و توسل به روشهایی که معتقد به دریافت اطلاعات کامل هستند منجر به عوارض و مرزهایی غیر واقعی می شود که بودن یا نبودن آنها به مقدار کمی از خطای انطباق وابسته است [۱۵].

مسلم است که هیچکس نمی خواهد توسط عوارض جعلی که نقشی اساسی در انطباق مدل با داده صحرائی ندارند، گمراه شود. از این رو، کاستنبل<sup>۶۰</sup> و دیگران تلاش کردند به رهیافتی جدید دست یابند [۱۷]. پیشنهاد جدید این بود که بجای کمینه کردن شبه تابع عدم انطباق، بدون هیچ قید و شرطی، مدلی انتخاب گردد که با کمترین ناهمواری ممکن، مقدار شبه تابع مذکور را درون بازه قابل قبولی از خطا نگاه دارد. بعبارتی دیگر، اساس روش، کمینه کردن ناهمواری بوده و میزان انطباق با داده های صحرائی، بصورت قید روی آن اعمال می گردد. بدین ترتیب تنها عوارض ژئوالکتریکی در مدل حضور خواهند داشت که بدون آنها مدل به شدت از داده ها فاصله می گیرد و خطای مدلسازی بالا می رود [۱۷].

این شیوه از جهت عدم نیاز و وابستگی به مدل اولیه پیچیده و ارائه تصویری از مهمترین عوارض بسیار جذاب است. ولی در مورد مناطقی که مرزهای تیز و تغییرات شدید مقاومت ویژه واقعاً وجود دارد، عملکرد خوبی ندارد. در سال ۱۹۹۴ الیس و اولدنبرگ<sup>۶۱</sup> تلاش کردند با تاکید روی اطلاعات اولیه، اصلاحاتی روی روش اوکام انجام دهند [۱۹]. در واقع آنها بجای تمرکز کامل روی داده های

۵۸ - Smooth Inverse Modeling

۵۹ - Diffusive

۶۰ - Constable

۶۱ -Ellis & Oldenburg

صحرائی یا ناهمواریهای مدل با تکیه بر اطلاعات و مدل اولیه، بر مجموعه ای از عوامل فوق با وزن دهی مناسب تاکید کردند. نتایج تحقیقات آنها شامل گامهای زیر بود [۲۱]:

- برآورد مدل اولیه بر پایه اطلاعات قبلی و دانش زمین شناسی
- تعیین میزان انحراف احتمالی جواب نهایی از مدل اولیه برای نواحی مختلف مدل
- تعیین اولویت هموارسازی (افقی یا عمودی) و نوع معیار (کمترین مربعات  $I_2$  یا کمترین انحراف مطلق  $I_1$ )

- تعیین نواحی ای که هموارسازی نباید در آنجا صورت گیرد. مثلا در مرزهای گسل که تغییرات شدید مقاومت ویژه وجود دارد.

- تغییر وزن نسبی درایه های ماتریس وزن دهی بر اساس گامهای پیشین.

بدین ترتیب الگوریتم آنها مجموعه سه ویژگی جواب یا قید را همزمان کمینه می کند.

طبیعت مسائل الکتریکی غیرخطی بوده و شبه توابع عدم انطباق که بدنبال یافتن کمینه های آنها می باشیم، اغلب دارای کمینه های فرعی و یک کمینه اصلی هستند. در روشهای اخیر هر چه میزان وزنی که به مدل اولیه داده می شود، بیشتر باشد، بسته به اینکه مدل اولیه کجای منحنی شبه تابع مذکور واقع گردد، ممکن است الگوریتم در کمینه های فرعی به دام افتاده و از دیدن کمینه اصلی باز ماند. در واقع در وارون سازی با مسائلی مانند چگونگی انتخاب مدل اولیه و میزان وزن دهی به پارامترهای آن، چگونگی استفاده از اطلاعات قبلی جانبی در مورد منطقه، میزان پایبندی به داده های صحرائی و چگونگی انطباق پارامترهای مدل بر آنها و وزن مناسب هر یک، چگونگی اعمال قیودی مثل هموارسازی مدل که ما را نزدیک به واقعیت های زمین نگاه دارند، مواجه هستیم. این متخصص ژئوفیزیک است که بنابر اولویتهای، اهداف و اطلاعات قبلی خود، باید روشهای مناسب و وزن دهی مربوطه را انتخاب نماید [۵].

## ۲-۵- نرم افزار RESIXIP2DI

نرم افزار RESIXIP2DI یک نرم افزار گرافیکی جهت دار است که از طریق مدلسازی معکوس و پیشرو برای تفسیر داده های قطبش القایی و همچنین داده های حاصل از مقاومت ویژه ناشی از لایه بندی زمین به کار می رود. منحنیهای سونداژ می توانند تابعی از آرایشهای ونر، شلومیرگر، دوقطبی- دوقطبی و قطبی - دوقطبی باشند. داده های مقاومت ویژه ظاهری در این نرم افزار بدون داده های قطبش القایی نیز می توانند تفسیر شوند [۲۹].

مدلسازی پیشرو این امکان را به این نرم افزار می دهد که منحنی های سونداژ مقاومت ویژه و یا IP سینتتیک (ساختگی) برای یک زمین با حداکثر ۱۰ لایه مدلسازی کند.

در نرم افزار RESIXIP2DI مدلسازی معکوس این امکان را فراهم می سازد که بهترین مدل فیت شده روی داده ها را با استفاده از روش کمترین مربعات بدست آورد. این عمل با استفاده از رگرسیون ریدج<sup>۶۲</sup> انجام می شود. به این صورت که پارامترهای مدل اولیه معرفی شده توسط کاربر، مکرراً تعدیل می شوند؛ بدینگونه که بعضی از این پارامترها به انتخاب کاربر، آزاد<sup>۶۳</sup> و بعضی ثابت<sup>۶۴</sup> تعیین می گردند. با هر بار تکرار<sup>۶۵</sup> مقدار پارامترهای آزاد تعدیل گشته و مقدار پارامترهای ثابت تغییری نمی کنند. این عمل با تغییر دادن پارامترهای آزاد و ثابت و تکرارهای مجدد باعث می شود مدلی با کمترین خطا و بهترین فیت شدگی روی داده ها را کسب کرد.

اگر مدل‌های اولیه شامل هر دو سری داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه باشند، این نرم افزار قادر است بالغ بر ۷ لایه را تشخیص دهد [۲۹]. ( چنانچه زمین این تعداد لایه را شامل باشد. )

چنانچه داده های مدل اولیه، فقط شامل داده های مقاومت ویژه باشند، نرم افزار قادر است بالغ بر ۱۰ لایه را تمایز دهد. مدل‌های پیشرو نیز می توانند بیش از ۱۰ لایه را تشخیص دهند.

---

۶۲ - Ridge regression

۶۳ - Free

۶۴ - Fix

۶۵ - Iteration

مدلسازی هموار این توانایی را ایجاد می کند تا بتوان بصورت اتوماتیک داده های سونداژ مقاومت ویژه و یا قطبش القایی را در ترم مدل هموار، تا ۱۰ لایه تفسیر کرد.

عمقها در مدل، بصورت بازه های لگاریتمی نشان داده می شوند که این عمقها از مقدار ماکزیمم تا مینیمم را شامل می شوند. اعماق ماکزیمم و مینیمم می تواند توسط کاربر تعیین شده باشد، و یا بصورت اتوماتیک تولید شده باشند.

این نرم افزار بدلیل قدرت آن بویژه در مدلسازی پیشرو، امکان تعریف مدل اولیه دو بعدی چند ضلعی را دارد. شبکه بندی شامل واحدهای مثلثی چهارگانه درون هر مستطیل می باشد. از این رو این نرم افزار نه تنها در پی گیری انحنای توپوگرافی از نرم افزار RES2DINV بهتر عمل می کند، بلکه مدل نهایی و آنومالیهای آن با قدرت تفکیک بیشتر ارائه می گردند.

نتایج مدلسازی می توانند بصورت نقشه درآیند، چاپ شوند، لیست شوند، و یا نوشته شوند که این نتایج در فایل ASCII برای استفاده کاربر نمایش داده می شوند [۲۹].

همچنین نرم افزار RESIXIP2DI می تواند:

- آرایشهای شلومبرگر، ونر، دو قطبی - دو قطبی، دو قطبی - دو قطبی عمودی، قطبی - دو قطبی، و استوایی را قبول کند.
- موقعیت سونداژها را بصورت X و Y هماهنگ با ارتفاع بپذیرد.
- هر دو مدلسازی معکوس و پیشرو را انجام دهد.
- بالغ بر ۶۰ داده را دریافت کند.
- یک مد عملگر گرافیکی را تهیه کند.
- می تواند محاسبات مدل هموار را انجام دهد [۲۹].

RESIXIP2DI چندین گزینه برای نمایش داده های مشاهده ای، داده های تئوری و مدل مقطع

زمین شناسی که به منظور محاسبه پاسخ مدل پیشرو استفاده شده اند، فراهم می سازد.

یک فرمت اطلاعات می تواند بصورت گرافیکی، با تمامی اطلاعات نمایش داده شود، و یا هر نوع از اطلاعات می توانند به تنهایی بصورت یک ماتریکس نقطه ای توسط یک پرینتر معمولی و یا پرینتر لیزری و یا قلم چاپ گر نقشه نمایش داده شوند [۲۹].

## ۲-۶- نرم افزار RES2DINV

این نرم افزار گرافیکی، واکنش گر در مقابل کاربر و تحت Windows می باشد. آرایشهای ونر، شلومبرگر، قطبی - قطبی، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی و استوایی را می شناسد. نرم افزار از مدلی با واحدهای مستطیلی استفاده می نماید که تعداد و چینش داده ها مطابق توزیع داده های صحرائی است. مدلسازی پیشرو با استفاده از روش «عنصر محدود» یا «تفاضل محدود» برای تعداد بسیار بالای الکترودها (۱۶۰۰۰) و داده های صحرائی (۲۱۰۰۰) قابل انجام است. برداشتهای چاه پیمایی و دریایی نیز با این نرم افزار قابل تفسیر می باشند. در این نرم افزار برای مدلسازی، از واحدهای مستطیلی (مش بندی) استفاده می شود که بدین جهت آنومالیها ضعیف تر از نرم افزار قبل به تصویر کشیده می شوند. این نرم افزار تنها بر اساس الگوریتم هموار اوکام عمل می کند. روشهای تسریع محاسبات نظیر محاسبه تقریبی ژاکوبین در مرحله اول و شبه نیوتن در مراحل بعدی قابل انتخاب است. انتخاب عامل میرایی و بعضی راهکارهای جانبی دیگر که به سرعت بیشتری می انجامد نیز پیش بینی شده است. نرم افزار مقاطع گوناگونی را تهیه و نمایش می دهد. علاوه بر مدل نهایی، مقاطع حساسیت و عدم قطعیت واحدها قابل محاسبه هستند. در این نرم افزار امکان انتخاب معیار کمترین انحراف مطلق به جای معیار مرسوم کمترین مربعات وجود دارد [۵].

معیار کمترین انحراف مطلق، مدل بسیار بهتری برای زمینهایی که با مرزهای بسیار تیز و تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه سر و کار دارد، ارائه می نماید. از دیگر ویژگیهای این نرم افزار امکان تغییر عرض واحدها به نصف فاصله الکترودی است که بنا بر تجربیات نتایج بهتری با نوسانات حجمی کمتر مدل

به دست می دهد. تمامی روشهای تصحیحات توپوگرافی را می توان روی شبکه به کار برد. همچنین با افزایش عامل میرایی برای نواحی خاص در مدل می توان میزان تغییرات مقاومت ویژه را با توجه به اطلاعات دقیق قبلی از آن نقاط تقریباً ثابت نگه داشت. در مجموع این نرم افزار اگر چه از انتخابهای گسترده تری نسبت به RESIXIP2DI برخوردار است، اما تکیه بیش از حد آن بر قید هموار بودن در الگوریتم پیشنهادی، همچنین استفاده از شبکه مستطیلی باعث شده تا مدل نهایی بسیار کلی بوده و قادر به تفکیک آنومالیهای نزدیک به هم و ارائه مرزهای آشکار آنها نباشد [۵].

## فصل سوم

برداشت، مدلسازی و تفسیر داده ها



### ۳-۱- مقدمه

در این فصل که می توان آن را مهمترین بخش این تحقیق عنوان داشت، ابتدا به معرفی و آشنایی با منطقه مورد مطالعه و وضعیت زمین شناسی آن پرداخته شده و سپس مدلسازی پروفیلها و تفسیر آنها بررسی شده است. در این پروژه در مجموع ۱۰ پروفیل در سه منطقه مشخص شده، برداشت گردید. این سه منطقه به نامهای گندم آباد، بالاکوه و رکن آباد می باشند که نزدیکترین آبادیهای موجود به پروفیلهای مرتبته هستند. در منطقه گندم آباد، ۳ پروفیل، در منطقه بالاکوه، ۵ پروفیل و در منطقه رکن آباد، ۲ پروفیل برداشت گردید که از مجموع این ۱۰ پروفیل، پروفیل بالاکوه ۳ به علت خطای بالای داده های آن غیر قابل تفسیر گشت که داده های خام این پروفیل در ضمیمه آورده شده است. در این فصل با استفاده از روشهای مختلف مدلسازی وارون هموار و پارامتری و با بهره برداری از نرم افزارهای RESIXIP2DI و RES2DINV سعی شده تا داده های خام برداشت شده پس از اصلاحات لازم، مورد مدلسازی دو بعدی، برای هر یک از پروفیلها قرار گیرند و سپس با بهره گیری از کلیه اطلاعات موجود و نمونه برداریها و آنالیزهای صورت گرفته، مدلهای بدست آمده از روشهای مختلف مورد تفسیر کمی قرار گیرند تا محل قرار گیری زون های کانی سازی شده احتمالی سرب و روی شناسایی گردند.

### ۳-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی

منطقه مورد مطالعه بصورت یک محدوده پنج ضلعی (ABCDE) با مختصات زیر معرفی شده است:

A (37,12,40 N , 48,42,28 E) B ( 37, 12,40 N,48,47,44E)

C (37,10,44 N , 48,52,25E) D (37,09,48N , 48,52,25E )

E (37,09,48N , 48,45,30E)

این محدوده بخشی از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ماسوله (5764 II) و برندق (5764 III) است، جمعاً بیش از ۶۰ کیلومتر مربع مساحت دارد، شامل روستاهای جملوگبین (۲۵ خانوار و زبان کردی)، بالا کوه (۱۷ خانوار و زبان کردی)، کهلدشت (۳۰ خانوار و زبان ترکی)، احمد آباد ( ۱۲ خانوار و زبان کردی ) و گندم آباد (۱۲ خانوار و زبان ترکی) می باشد. روستای بالا کوه در بخش جنوبی این محدوده از توابع استان زنجان است. شغل اصلی مردمان این منطقه کشاورزی و دامداری است. ضمن اینکه بخشی از این جمعیت تنها در فصول گرم در منطقه هستند و در ماههای سرد به شهرهای بزرگ بویژه رشت مهاجرت می کنند. مهمترین محصولات کشاورزی این منطقه شامل گندم، جو، یونجه، عدس و چوب درختان بید و چنار است [۸].

از دیدگاه راههای دسترسی، محدودیتهای زیادی در منطقه وجود دارد. در داخل محدوده مورد مطالعه یک جاده خاکی از مرز شمالی وارد محدوده شده و از روستاهای کهلدشت، بالا کوه و احمد آباد گذشته و استان اردبیل را به استان زنجان متصل می نماید. یک جاده خاکی نیز از مرز شمالی (روستای کهلدشت) به سمت خاور امتداد داشته و به جاده خاکی خلخال - ماسوله وصل می شود. جاده خاکی ارتباطی بخش بیلاقی گندم آباد نیز از این جاده منشعب می شود. یک جاده خاکی درجه ۳ نیز روستای رکن آباد را به جاده خاکی خلخال - ماسوله ارتباط می دهد. بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه نیز فاقد جاده ارتباطی است [۹].

دسترسی به منطقه مورد مطالعه از مرکز استان، از طریق شهرهای گیوی، خلخال، بخش کلور دهستان شال امکانپذیر است. فاصله شهر خلخال از اردبیل ۱۲۰ کیلومتر، از خلخال تا مرکز بخش

شاهرود (کلور) ۳۶ کیلومتر و از کلور تا دهستان شال ۱۱ کیلومتر است. کل مسیر اردبیل تا دهستان شال دارای جاده آسفalte است. برای دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق روستای شال می توان از جاده آسفalte گیلوان استفاده نمود. قبل از رسیدن به روستای گیلوان، جاده خاکی ماجولان و ماسوله از آن جدا می شود که پس از عبور از روستای طارم جاده خاکی دیگری از آن به سمت جنوب منشعب می شود. از این جاده خاکی نیز قبل از رسیدن به روستای صومعه رودبار یک جاده خاکی درجه ۳ به سمت جنوب غربی منشعب می گردد که پس از عبور از یک منطقه بسیار پرشیب و صعب العبور و پس از گذشتن از روستای دشت اندر به روستای کهلدشت می رسد. یک راه ارتباطی دیگر نیز مسیر جاده ماجولان به ماسوله و در مجاورت قهوه خانه ای به نام سیبله به سمت روستای کهلدشت است. لذا محدوده وسیعی از بخش باختری منطقه مورد مطالعه نیز فاقد راه ارتباطی است و تنها راه دسترسی به آن، عبور پیاده به سمت جنوب از طریق روستای تازه کند است. از نظر هیدرولوژی نیز منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز شاهرود و قزل اوزون قرار دارد.

### ۳-۳ - شرایط آب و هوایی

به طور کلی آب و هوای استان اردبیل از نوع معتدل کوهستانی است. با توجه به تنوع شرایط طبیعی در این منطقه از کشور، میزان دما و بارش در نواحی مختلف آن، متفاوت است. منطقه مورد مطالعه که در جنوب استان واقع است، در زمره مناطق مرتفع و کوهستانی محسوب می گردد و دارای زمستان های سرد و پر برف ولی تابستانهای معتدل است. در حالیکه در زمان پاییز شرایط مناسب جهت فعالیتهای کشاورزی و دامداری در بخشهای شمالی استان حاکم است، در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه سرمای زودرس پاییزی و بارش برف وجود دارد. با توجه به نزدیکی منطقه به دامنه شمالی رشته کوه البرز در منطقه ماسوله، در بسیاری از موارد مه غلیظ از دامنه های شمالی البرز و همچنین از سمت رودبار به این منطقه می رسد و شرایط مرطوبی فراهم می نمایند. وجود شرایط

معتدل استان اردبیل و ورود رطوبت بوسیله توده های هوایی مدیترانه ای و سیبریایی باعث فراهم آوردن بارندگیهای قابل توجه در منطقه شده است. در کتاب شناخت شهرهای ایران (سعیدیان، ۱۳۷۹) آب و هوای شهر کلور (نزدیکترین شهر به منطقه در استان اردبیل) را نسبتاً سرد و خشک و بیشترین گرمای آنرا ۳۰ درجه در تابستان و کمترین دمای آن ۲۵ درجه زیر صفر با میانگین بارندگی سالیانه ۳۶۵ میلیمتر بیان شده است. ضمن آنکه نزدیکترین شهر استان زنجان، شهرآب در کنار رودخانه قزل اوزون است که بر این منطقه آب و هوای معتدل و مرطوب و حداکثر دمای ۴۵ درجه در تابستان، حداقل دمای ۵ درجه زیر صفر در زمستان، با بارندگی سالیانه ۲۰۰ میلیمتر حاکم است.

### ۴-۳ - مورفولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از فلات بلند و کوهستانی آذربایجان است که در شمال غرب فلات ایران واقع است. این منطقه بخشی از کوههای تالش است که در بخش خاوری این فلات قرار دارد. کوههای تالش به عنوان یک مرز طبیعی، استان اردبیل را از استان گیلان و مناطق ساحلی خزر جدا ساخته است. عبور از این کوهها تنها از طریق راههای محدودی امکان پذیر است. کوههای تالش در مرز خاوری استان اردبیل با روند شمالی - جنوبی کشیده شده است. به دلیل عملکرد این کوهها بعنوان سدی در مقابل رطوبت حاصل از دریای خزر، دامنه خاوری آن پوشیده از جنگلهای انبوه است، اما دامنه های باختری آن دارای شیب ملایم و پوشیده از علفزار است. کوه آق داغ در جنوب خلخال با ارتفاع ۳۳۲۲ متر بلندترین نقطه این ارتفاعات می باشد.

منطقه مورد مطالعه نیز همانند بیشتر جاهای این ارتفاعات دارای ریخت شناسی خشن می باشد. کوه شاه معلم در فاصله نزدیکی به محدوده، در شمال رکن آباد دارای ارتفاع ۳۱۱۰ متر است. در داخل محدوده نیز ارتفاعات بلند با دره های عمیق در بخشهای مختلف بویژه در قسمت های خاوری دیده می شود. کوههای والان ( ۲۵۴۷ متر )، هفته خوانی ( ۲۵۲۷ متر ) و دره های رکن آباد، گندم آباد،

بالاکوه، کهلدشت و تازه کند مهمترین عارضه های ریخت شناسی منطقه هستند. بلندترین نقطه در منطقه مورد مطالعه در بالای کوه والان ( جنوب کهلدشت ) با ارتفاع ۲۵۴۷ متر و پست ترین نقطه در کف رودخانه سیاوه در جنوب گندم آباد با بلندی ۱۵۸۰ متر واقع است [۱۲].

### ۳-۵ - زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه که در بخشهای جنوبی کوههای تالش واقع است، قدیمی ترین سنگهای منطقه شامل مجموعه شیست سبز، اپیدوت - اکتینولیت، شیست و گنایس همراه با درون لایه هایی از میکا شیست و سرپانتینیت هستند که در امتداد رودخانه کوثر در بخش خاوری لاجور برونزد دارند. این مجموعه به پرکامبرین نسبت داده شده اند [۱۳].

سنگهای متعلق به پالئوزویک زیرین نیز در بخش شمال خاوری محدوده نقشه گسترش دارند و شامل سنگهای آتشفشانی بازیک و اسپیلیتی همراه با میان لایه هایی از سنگ آهک های خاکستری، قرمز و تیره هستند. از سنگ آهکهای قرمز رنگ، سن سیلورین گرفته شده که در البرز منحصر به فرد است [۱۳].

پالئوزویک بالا در شمال خاوری محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه ماسوله شامل مجموعه تفکیک نشده هم ارز سازندهای مبارک، درود و روته با لیتولوژی سنگ آهک همراه با درون لایه هایی از سنگهای آتشفشانی است. سن این مجموعه از تورنیزین تا پرمین متغیر است. در بخشهای مرکزی و جنوبی محدوده رخسارهای این محدوده متنوع تر است. در این مناطق رخساره هایی از سنگهای رسوبی تخریبی همراه با باندهایی از سنگ آهکهای پالئوزویک بالایی حضور دارند. تغییرات جانبی در این رخساره ها بسیار زیاد است و در بخشهای بالا دست حوضه های آبریز پوارود، سیاورود و هزاررود، در اثر حرکات تکتونیکی حاکم بر منطقه، بخشهای تخریبی و تا حدودی دگرگون شده و به سنگهای

فیلیتی - اصلیتی تبدیل شده اند و نسبت به بخشهای کربناته غالب شده اند. سن این مجموعه از دونین بالایی تا پرمین متغیر است [۱۳].

مجموعه ذکر شده بوسیله سنگهای تخریبی تیپیک سازند شمشک که دارای سنی از توارسین تا بازوسین زیرین هستند، گسترش قابل توجهی دارند. در برخی مناطق سنگهای ولکانیک توفی در داخل مجموعه شمشک ظاهر می شوند. روی سازند شمشک، سازند لار و سازند شال قرار می گیرند که هر دو آنها دارای سن ژوراسیک میانی تا بالایی هستند. گاهی نیز این دو سازند ممکن است به کرتاسه زیرین نیز برسند. البته رخساره آنها هیچگونه تغییری نمی کند. سازند لار نشان دهنده رخساره ریفی و سازند شال نشان دهنده رخساره پشت ریفی می باشند [۱۳].

سنگهای دوران کرتاسه در بخشهای شمالی و شرقی منطقه دارای گسترش فراوان هستند. در منطقه شمال باختری این سنگها دارای رخساره ریفی هستند و در بخشهای مرکزی رخساره پشت ریفی را نشان می دهند. رسوبات تخریبی توفی مربوط به محیط جزر و مدی همراه با سنگهای ولکانیک بازیک کرتاسه بالا روی سنگهای کربناته کرتاسه را در شمال خاوری می پوشانند. سنگهای مربوط به زمان ترشیری محدود به بخشهای غربی و جنوب غربی محدوده نقشه هستند و شامل سازندهای فجن، زیارت و کرج می باشند که بوسیله رسوبات قرمز رنگ نئوژن در دره رودخانه قزل اوزن پوشیده شده است. سنگهای آذرین مربوط به پرکامبرین، پالئوزوئیک زیرین، پالئوزوئیک بالا و پالئوژن نیز در منطقه گسترش دارند [۱۳].

از دیدگاه زمین شناسی ساختمانی، روندهای ساختمانی و نوع چین خوردگی و گسل خوردگی منطقه بسیار پیچیده است. روندهای غالب شمال باختری - جنوب خاوری هستند [۱۳].

بنابراین از دیدگاه زمین شناسی ناحیه ای تنوع سنگهای با سنها و جنسهای مختلف قابل توجه است. نکته مهم در رابطه با زمین شناسی این منطقه این است که علیرغم آنکه بخشی از رشته کوه البرز است و دارای سیمایی مشابه بخشهای دیگر آن است اما دگرگون بودن سنگهای پالئوزوئیک بالایی،

عدم گسترش قابل ملاحظه دولومیت‌های سازند الیکا، وجود سازند شال و همچنین رسوبات کربناته با سن مشخص نئوکومین (کرتاسه زیرین) آنرا از سایر بخش‌های البرز جدا می‌نماید [۱۳].

محدوده ای که در مطالعه حاضر به آن توجه می‌شود، عمدتاً دربرگیرنده سکانس دگرگون شده پالئوزوئیک بالا است. وضعیت زمین‌شناسی و چینه‌شناسی این منطقه در ادامه شرح داده خواهد شد [۱۳].

### ۳-۶- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در محدوده مورد مطالعه واحدهای سنگی متعلق به پالئوزوئیک بالا و کرتاسه دارای گسترش هستند و سنگهای ترشیری برونزادی در منطقه ندارند و رسوبات کواترنری نیز تنها بصورت پادگانه‌های آبرفتی با وسعت محدود در کنار آبراهه‌ها و همچنین بصورت پوشش خاک و واریزه دیده می‌شوند. در ادامه واحدهای چینه‌شناسی مشخص شده در نقشه زمین‌شناسی از قدیم به جدید شرح داده می‌شوند [۱۳].

#### - پالئوزوئیک بالا

بر خلاف سایر مناطق البرز که پالئوزوئیک بالا بوسیله سازندهای با لیتولوژی و چینه‌شناسی معین مشخص است، در این منطقه تفکیک سازندهای مختلف متعلق به این زمان امکان پذیر نیست. سازندهای جیروود یا خوش ییلاق، مبارک، درود، روته و نسن در بیشتر نواحی البرز، همراه با نبوده‌های محلی دیده می‌شوند. در این بخش از البرز، مجموعه سازندهای فوق جای خود را به سکانسی تخریبی کربناته که دگرگونی ضعیفی را متحمل شده است، داده است. در داخل این مجموعه واحد pz را می‌توان تفکیک نمود که ذیلاً شرح داده می‌شود [۱۳].

## - واحد pz

بخش زیادی از مناطق مرکزی و مرز باختری محدوده مورد مطالعه دارای برونزدهایی از سکانسی متشکل از تناوب لایه های نازک تا متوسط لایه تخریبی و کربناته با درجه دگرگونی ضعیف می باشند. این مجموعه عمدتاً از فیلیتهای اسلیتی، کوارتزیت‌های سفید رنگ و ماسه سنگ دگرگون شده تشکیل شده اند که دارای میان لایه هایی از سنگ آهک‌های نازک لایه خاکستری تیره هستند. این مجموعه عموماً در پیرامون و شمال خاوری روستای بالاکوه و چملوگبین دیده می شوند. در مجاورت جنوبی روستای بالاکوه، جاده روستایی ترانشه مناسبی را در این مجموعه ایجاد نموده است. لیتولوژی های قابل تشخیص در این ترانشه شامل مجموعه سنگ‌های فیلیتی و اسلیتی متورق سبز رنگ همراه با لایه های کوارتزیت سفید رنگ به ضخامت حداکثر ۳۰ سانتیمتر است. این مجموعه تکتونیزه می باشد و همراه با کوارتزیت سفید رنگ همچنین داخل شکستگیهای آنها آغستگی به هیدروکسیدهای آهن دیده می شود [۱۳].

در شمال بالا کوه یک واحد سنگ آهک مرمری شده با گسترش قابل ملاحظه در داخل این واحد دیده می شود. زیر این سنگ آهکها در داخل مجموعه فیلیتها و اسلیتها یک افق سنگ ولکانیک دگرگون شده وجود دارد که دارای ضخامت حدود ۵۰ متر است. این افق بصورت سنگ دگرگونی با رخساره شیست سبز دارای بافت کریپتوبلاستیک یا لپیدوبلاستیک بوده و کانیهای اصلی تشکیل دهنده آن شامل آمفیبولهای از نوع ترمولیت - اکتینولیت، کلریت، کوارتز و آل بیت نئوفرمه هستند. همراه آنها ریزیلورهای اسفن و اپیدوت نیز وجود دارند [۱۳].



### ۷-۳- مدلسازی عددی و تفسیر داده ها

#### ۳-۷-۱- پروفیل گندم آباد ۱

مدلسازی داده های این پروفیل در نرم افزار RES2DINV، در مقطع قطبش القایی خطای نسبتاً بالایی دارد. لذا داده های قطبش القایی این پروفیل غیر قابل استناد می باشد. در عوض مدلسازی داده های مقاومت ویژه از خطای نسبتاً پایینی برخوردار است. لذا تکیه بیشتر بر روی این سری داده ها می باشد.

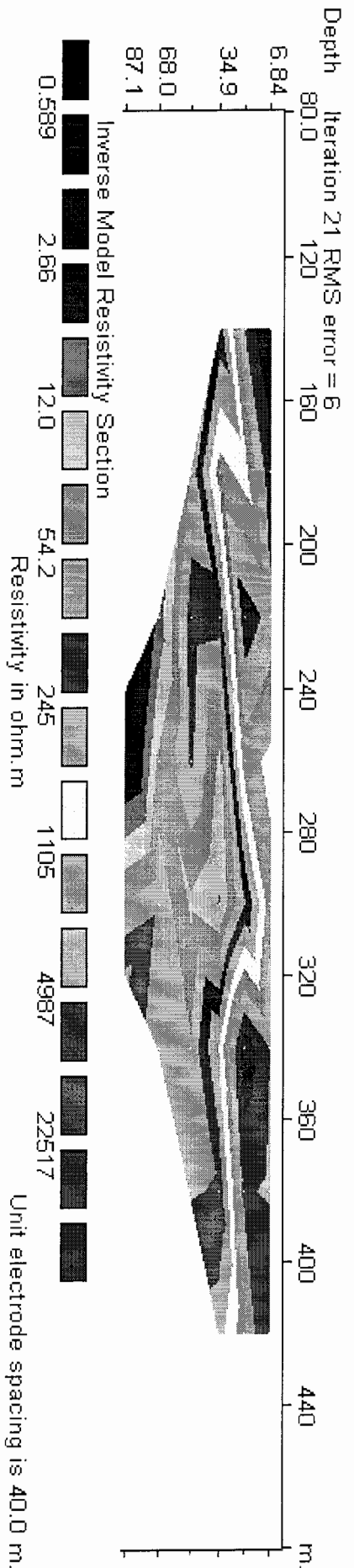
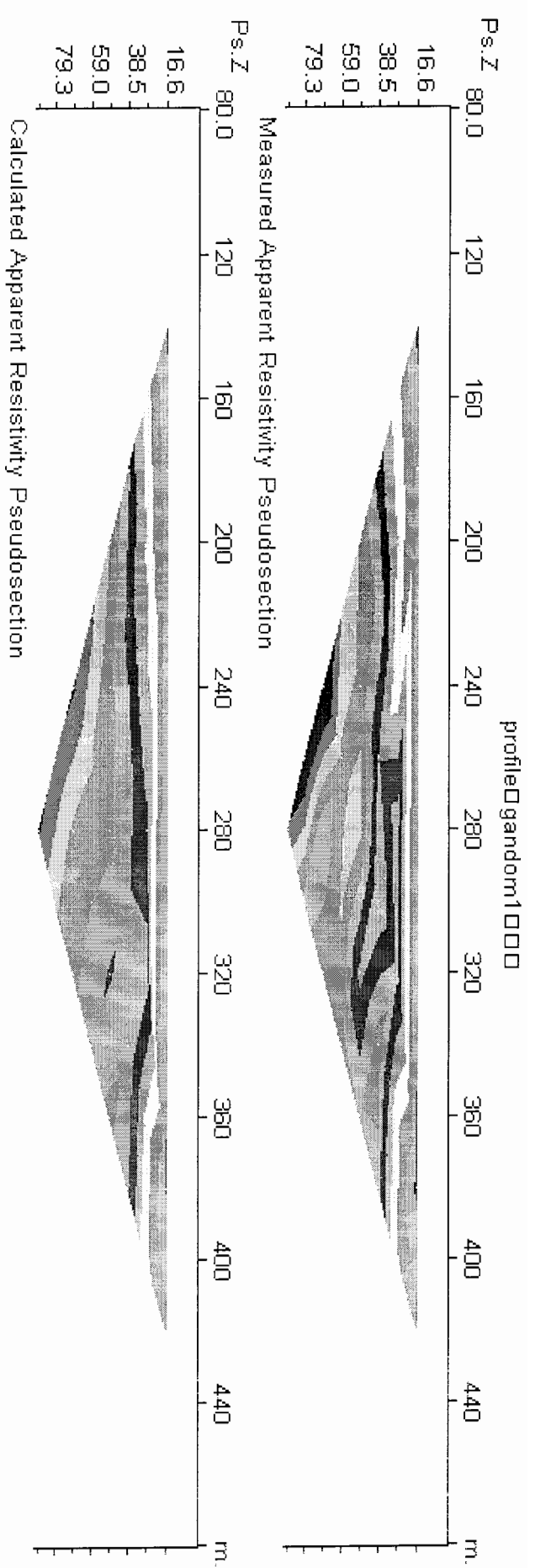
در نرم افزار RES2DINV، در مدل مقاومت ویژه دو توده قابل بررسی دیده می شود. بدینگونه که توده نخست در فاصله ۲۸۰ تا ۳۲۰ متری از مبدا و عمق ۳۵ تا ۵۰ متری از سطح با باریزیری بالای ۲۵۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه پایین ۱۲ اهم- متر و توده دوم در فاصله ۱۵۰ تا ۲۵۰ متری از مبدا و عمق ۶۸ تا ۸۷ متری از سطح با باریزیری ۴۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه ۰/۶ اهم- متر دیده می شود ( شکل ۱-۳ ).

با این فرضیات مدلسازی با نرم افزار RESIXIP2DI بررسی می شود. در این نرم افزار در مقطع مقاومت ویژه، Image Model، یک توده در فاصله ۱۲۰ تا ۲۰۰ متری از مبدا و عمق ۸۰ تا ۱۲۰ متری از سطح مشاهده شده که این توده با توده دوم مشاهده شده در مقطع مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV تطابق دارد. این جسم پس از تعیین حدود و گوشه های مربوطه مدلسازی می شود. در این مدلسازی مقاومت ویژه جسم ۰/۹ اهم متر و باریزیری آن ۴۰۰ میلی ثانیه تعیین می شود. مقاومت ویژه زمینه ۱۰۰ اهم- متر و باریزیری آن ۱ میلی ثانیه برآورد شده است. قابل ذکر است که در این مدلسازی فقط همین یک توده قابل تشخیص است ( شکل ۲-۳ ).

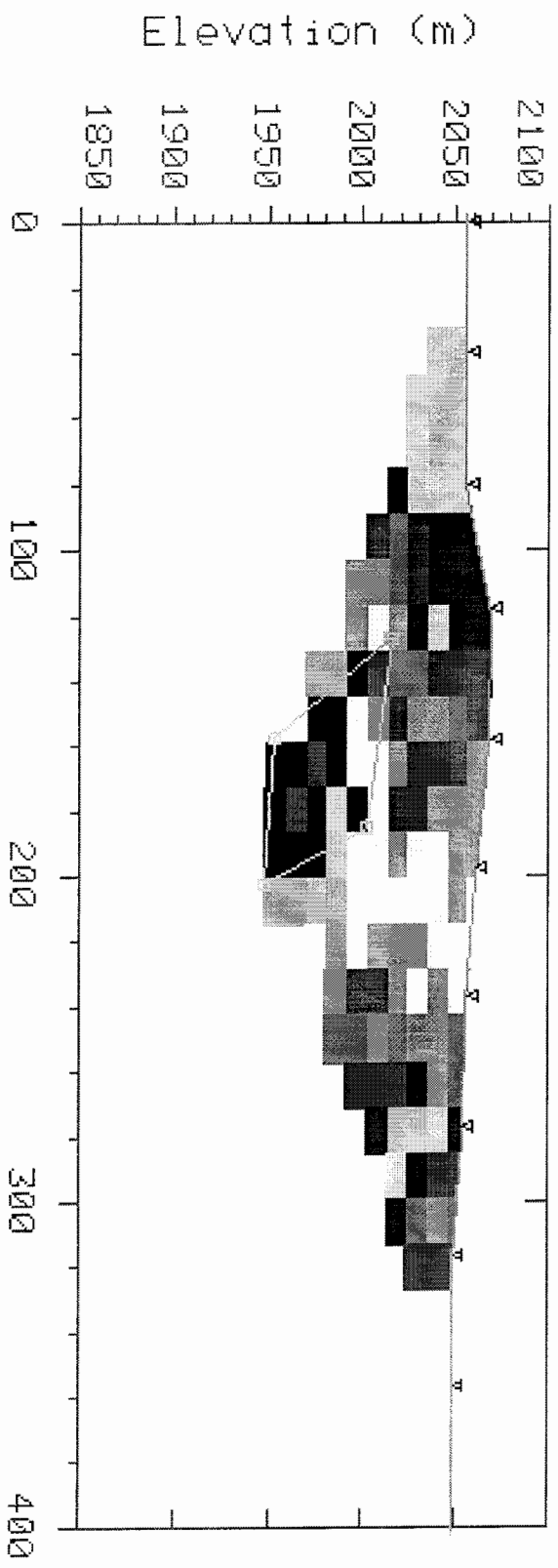
با توجه به مدل نرم افزار RES2DINV، مقطع مقاومت ویژه و مدل RESIXIP2DI که هر دو تقریباً وجود توده مشابهی را در منطقه مذکور بیان می کنند، این توده را می توان قابل توجه دانست و تامل

بیشتری روی آن داشت. اما با توجه به موقعیت برداشت این پروفیل که از دره بین دو کوه و در مجاورت یک رودخانه کوچک شروع شده و بر روی ارتفاعات پایینی دامنه کوه ادامه یافته و اطلاعات زمین شناسی که از این قسمت در دست است و بیانگر سنگهای آهکی و دولومیتی به همراه لایه های ماسه سنگ و کنگلومرای سازند شمشک و قسمتی شیلهای سیاه می باشد که مجموعه این عوامل را می توان بدینگونه عامل این مقدار بارپذیری و مقاومت ویژه در این توده توجیه کرد که وجود رودخانه در این مسیر و بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی باعث وجود درصد بالایی آب در خلل و فرج سنگهای فوق، بخصوص ماسه سنگها شده که می تواند چنین آنومالی ای را ایجاد کند. از طرفی نباید احتمال کانی سازی سرب و روی را در محدوده مذکور رد کرد.

از مدلسازی این پروفیل، مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV ( شکل ۳-۱) و مدل مقاومت ویژه، Image Model ( شکل ۳-۲) از نرم افزار RESIXIP2DI نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل گندم آباد ۱



DATA SET: GANDDM\*1      FIT: 374.2216 (m)  
 X: 454.2419 Z: 2022.071    BDDY: BG RES: 100      IP: 1    URT EXAG: 0.55

بارپذیری	مقاومت ویژه	زمینه
۱	۱۰۰۰	توده ۱
۴۰۰	۰,۹	

شکل ۳-۲ : مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم آباد ۱

### ۳-۷-۲- پروفیل گندم آباد ۲

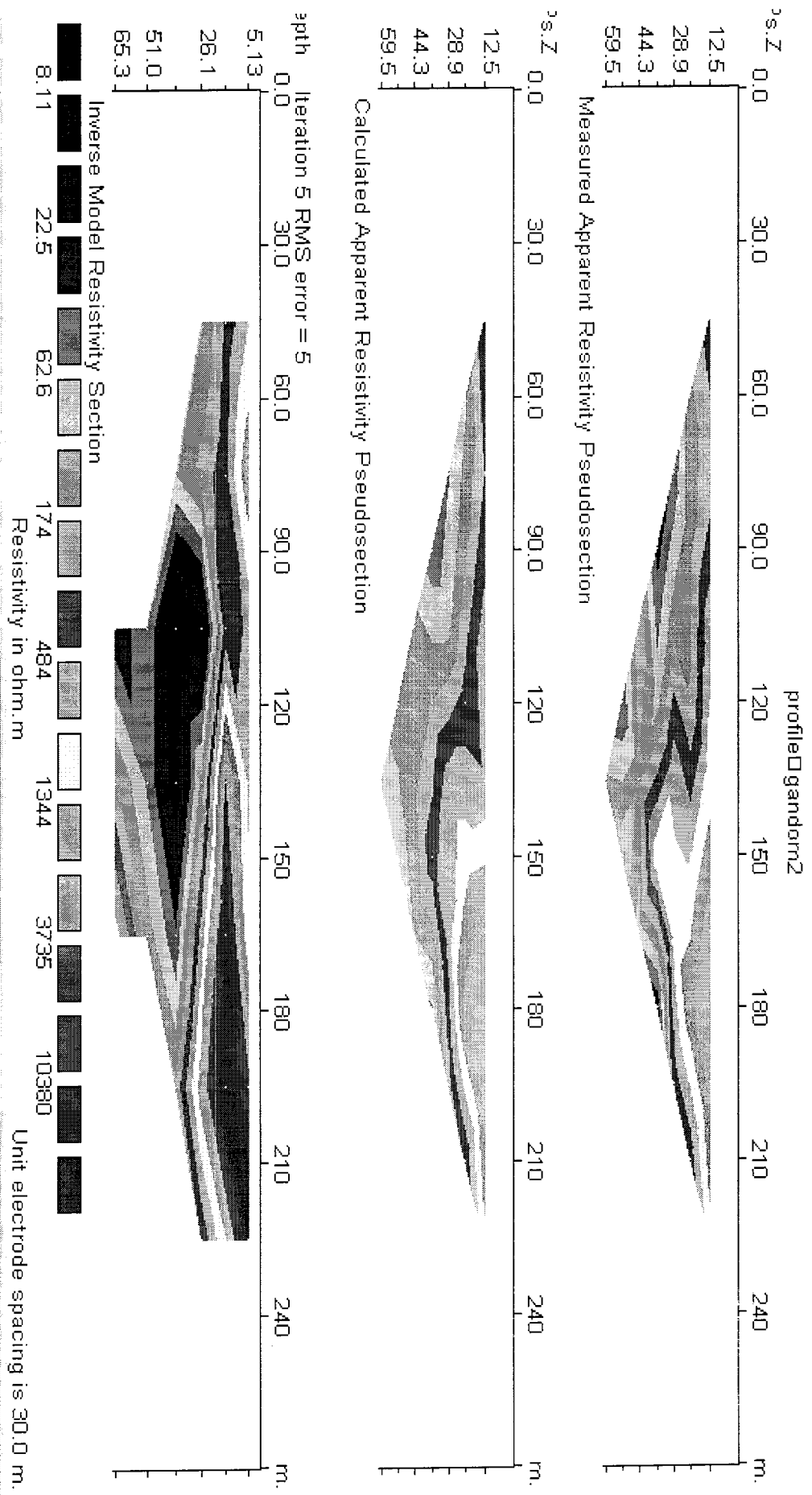
در ابتدای مدلسازی این پروفیل توپوگرافی شدید این منطقه قابل ذکر است که این نکته باعث بالا رفتن مقدار خطا در داده های اندازه گیری شده می شود. در این پروفیل نیز داده های قطبش القایی خطای بالایی دارند. اما داده های مقاومت ویژه با خطای پایین تر قابل اعتماد هستند و در کل، مدل منتج از نرم افزار RESIXIP2DI با خطای نسبتاً پایین می تواند برای تفسیر مناسب تر واقع شود.

در مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV، بین فاصله ۹۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا و عمق ۲۶ تا ۵۱ متری از سطح، یک توده با مقاومت پایین حداقل ۲ اهم- متر دیده می شود ( شکل ۳-۳ ).

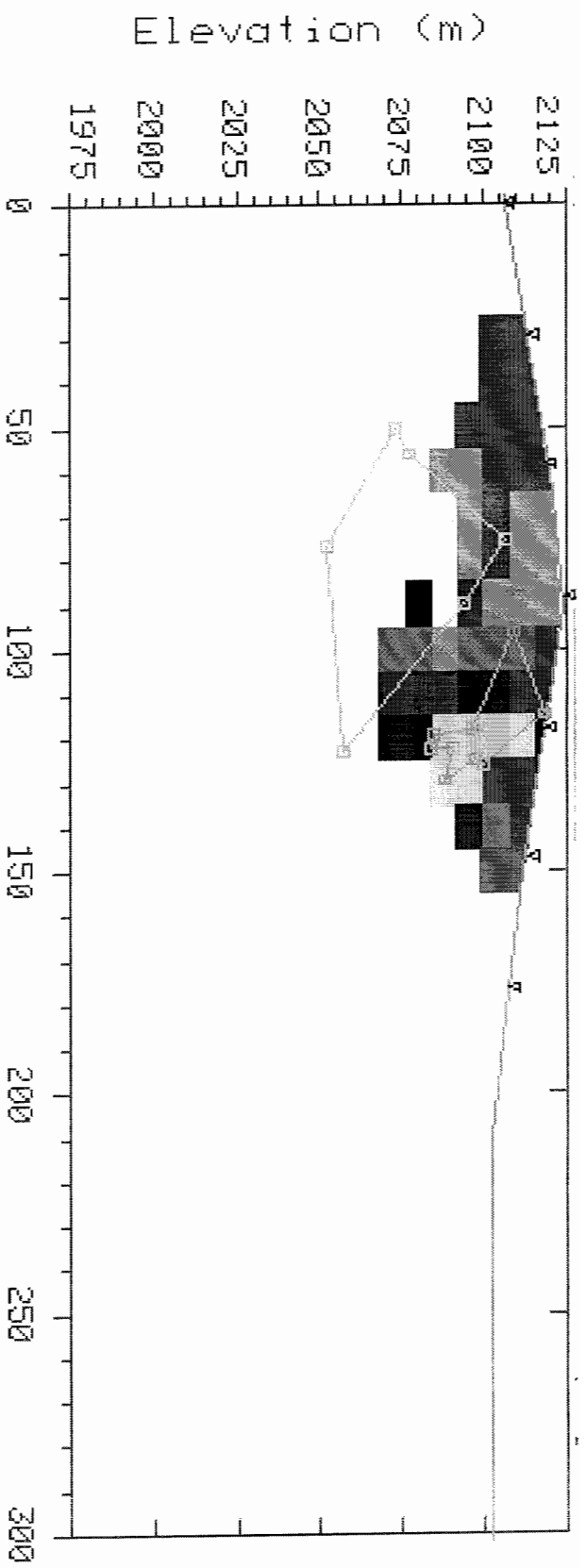
در نرم افزار RESIXIP2DI در مدل مقاومت ویژه، Image Model نیز همین توده در همین منطقه مشاهده می شود. لذا پس از انتخاب این جسم، به عنوان توده ۱، به مدلسازی آن می پردازیم. پس از مدلسازی مقاومت ویژه جسم ۱ اهم- متر و بارپذیری آن ۰/۶۸ میلی ثانیه و مقاومت ویژه زمینه ۴۲۷ اهم- متر و بارپذیری آن ۰/۰۹ میلی ثانیه تخمین زده شد ( شکل ۳-۴ ). این توده با مقاومت بسیار پایین را می توان به نفوذ آبهای سطحی و اشباع لایه های متخلخل و نفوذپذیر نزدیک سطح منسوب نمود. لذا احتمال هیچگونه کانی سازی فلزی را در محدوده این پروفیل نمی توان متصور شد.

در قسمتی از این مدل یک توده با مقاومت ویژه بسیار بالا مشخص است که این توده فقط به منظور پایین آوردن خطای مدلسازی، به عنوان جسم ۲ مدلسازی شده است و این عمل در پایین آوردن خطا تاثیر بسزایی داشت. با توجه به موقعیت زمین شناسی و مقاومت ویژه در این قسمت، این توده احتمالاً آهک یا دولومیت متراکمی است که چنین خصوصیتی را ایجاد کرده است.

در اینجا از نرم افزار RES2DINV، مدل مقاومت ویژه ( شکل ۳-۳ )، و از نرم افزار RESIXIP2DI، مدل مقاومت ویژه، Image Model ( شکل ۳-۴ ) و مدل پلیگون ( شکل ۳-۵ ) نشان داده شده است.



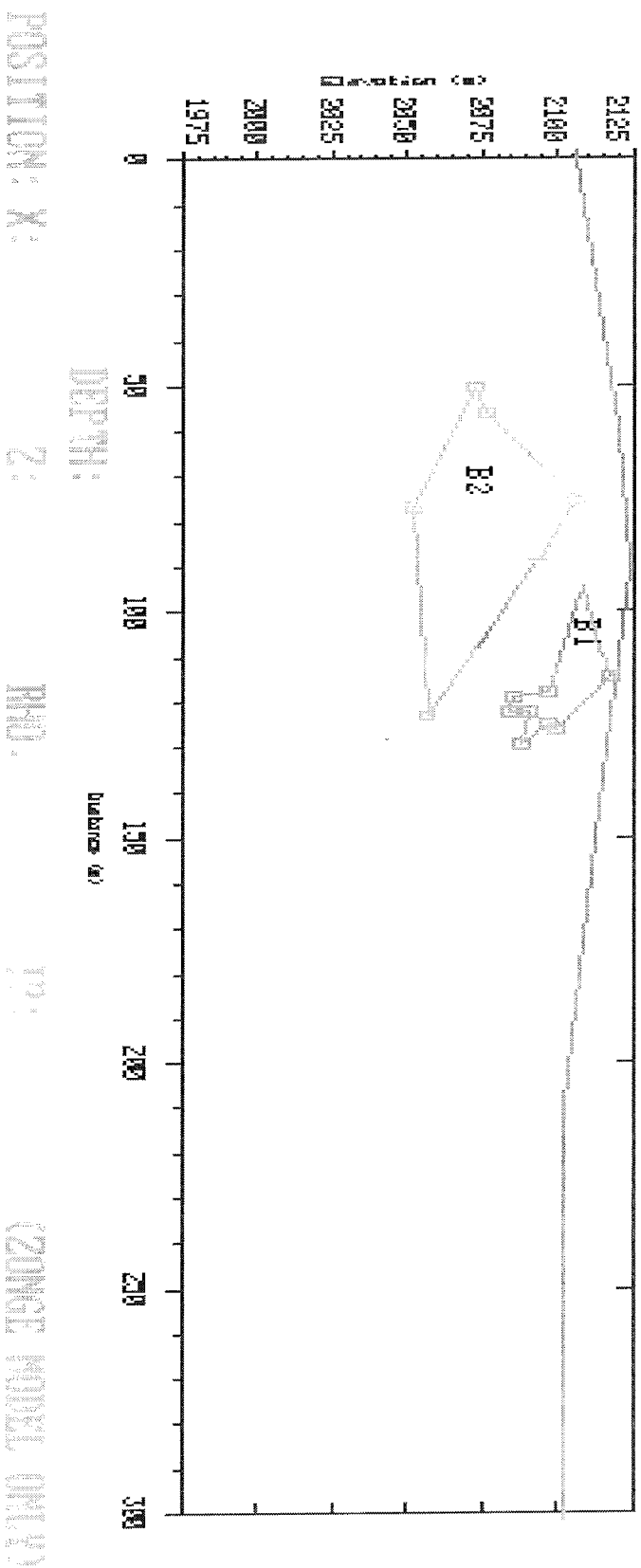
شکل ۳-۳: مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل گندم آباد ۲



DATA SET: GANDOM3      FIT: 29.642770ce (m)  
 X: 340.6814    Z: 1983.218    BODY: BG RES: 427.508    IP: 0.0999    URT EXAG: 0.687

بارپذیری	مقاومت ویژه	زمینه
۰.۹	۴۲۷	توده ۱
۰.۶۸	۱	توده ۲
۱	۴۹۸۷	توده ۳

شکل ۳-۴: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم آباد ۲



شکل ۳-۵ : مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل گندم آباد ۲

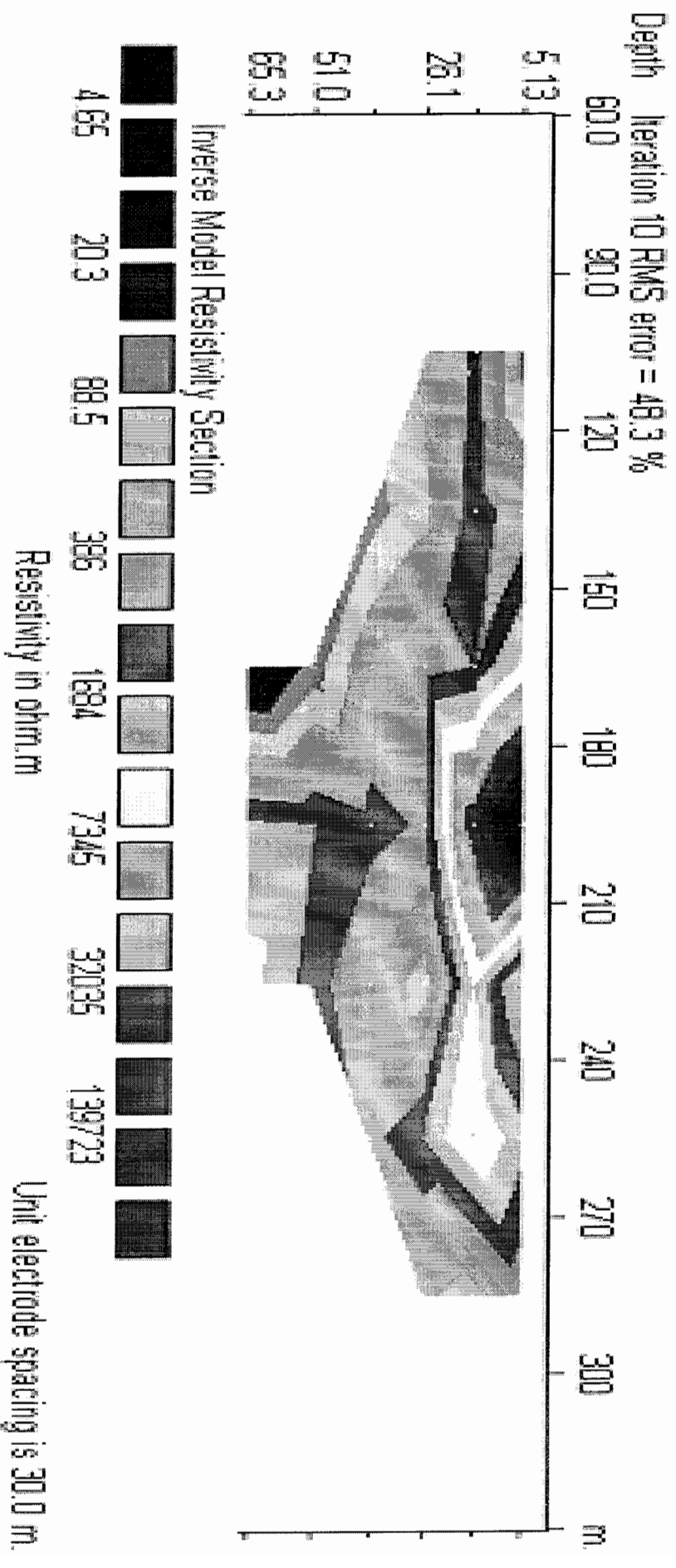


### ۳-۷-۳- پروفیل گندم آباد ۳

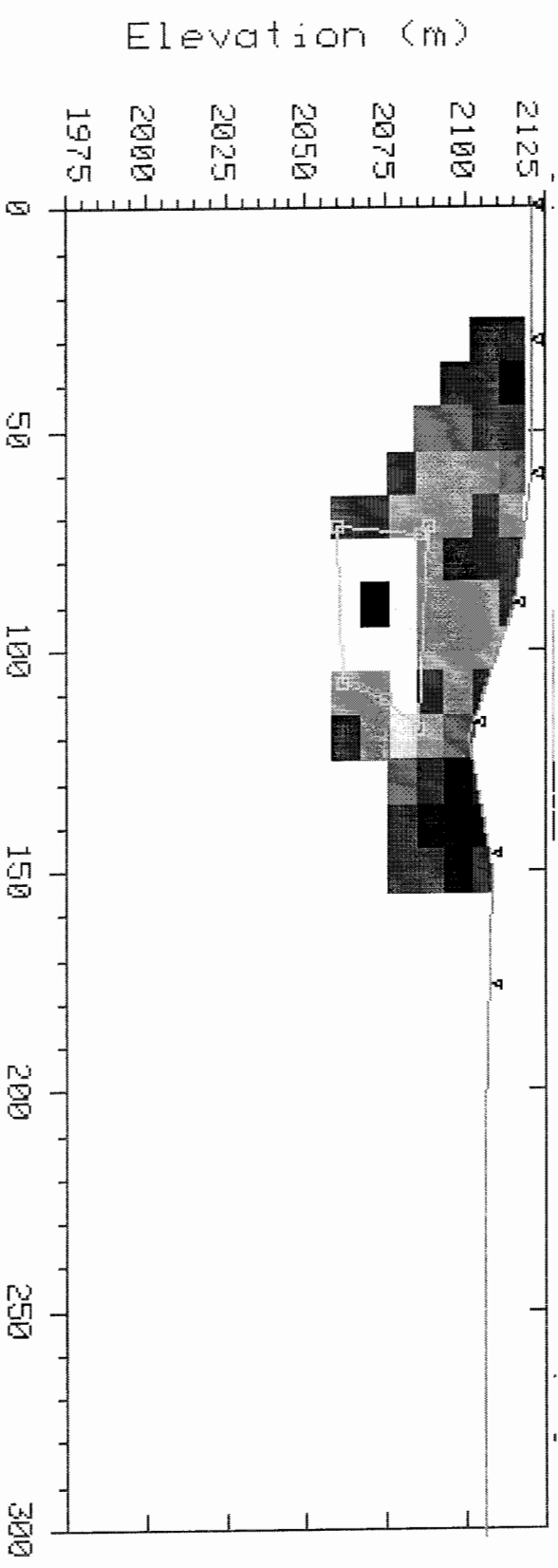
در این پروفیل نیز خطای مدلسازی داده ها بخصوص داده های قطبش القایی بالا می باشد. در نرم افزار RES2DINV، مقطع قطبش القایی به علت خطای بسیار بالا قابل قبول نیست. همانگونه که شکل ۳-۷ نشان می دهد، مدل مقاومت ویژه در این نرم افزار در فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰ متری از مبدا و عمق ۲۶ تا ۵۱ متری از سطح، یک توده با مقاومت ویژه پایین ۲۱ اهم-متر و بارپذیری بالای ۶۶۱ میلی ثانیه را نشان می دهد. یک توده نیز از فاصله ۱۸۰ تا ۲۱۰ متری مبدا و از سطح تا عمق ۱۰ متری گسترش یافته که دارای مقاومت ویژه بسیار بالای ۱۷۷۰۰۰ اهم-متر می باشد. این توده یقیناً به علت وجود خاکهای رسی هوازده و خشک سطحی می باشد که مقاومت بسیار بالایی از خود نشان می دهند که در سطح نیز رخنمونهای وسیعی از آن قابل مشاهده است و ما در اینجا از آن چشم پوشی می کنیم.

در نرم افزار RESIXIP2DI در مدل مقاومت ویژه، Image Model، یک توده در فاصله ۷۰ تا ۱۴۰ متری از مبدا و از عمق ۴۰ تا ۶۵ متری از سطح دیده می شود که این توده تقریباً با خصوصیات و موقعیت توده مشاهده شده در نرم افزار RES2DINV تطابق دارد. لذا این توده جهت انجام مدلسازی انتخاب می گردد. برای این جسم مقاومت ویژه ۳۰ اهم-متر و بارپذیری ۲۰۰ میلی ثانیه و برای زمینه مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم-متر و بارپذیری آن ۱ میلی ثانیه به دست آمد (شکل ۳-۶).

با توجه به عوامل زمین شناسی و اطلاعات موجود از منطقه و مدل‌های مختلف این پروفیل، در این نقطه نیز احتمال کانی سازی سرب و روی منتفی است و مقاومت پایین در قسمت مذکور می تواند به علت وجود لایه ای آبدار در آن قسمت باشد. این مسئله از آن جهت قابل استناد است که موقعیت برداشت پروفیل در شیب بسیار تند دامنه کوه واقع شده و در موقعیتهای مختلف برداشت این پروفیل شاهد نشی رطوبت از دامنه و حتی جاری شدن چشمه هایی از آب بودیم که این نکته عینی می تواند موید کاهش مقاومت ویژه باشد.



شکل ۳- ۶ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل گنم آباد ۳



DATA SET: GANDOM^4      FIT: 169.68031ce (m)  
 X: 340.6814    Z: 2125.335    BODY: AR RES: INFINITE    IP: -NONE-    URT EXAG: 0.687

بارپذیری	مقاومت ویژه	زمینه
۱	۱۰۰	زمینه
۲۰۰	۳۰	توده ۱

شکل ۳-۷: مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2D1 برای پروفیل گندم آباد ۳

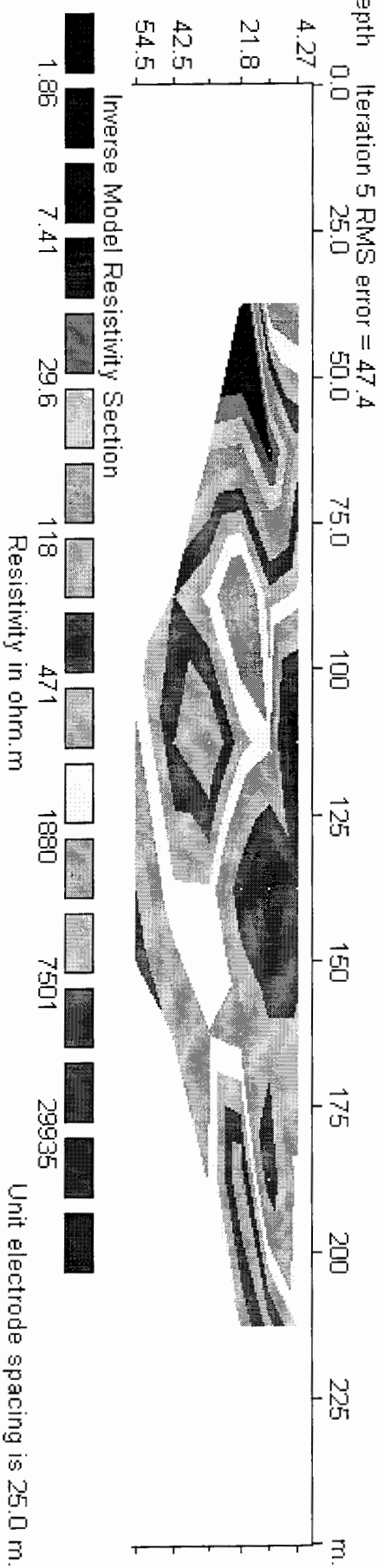
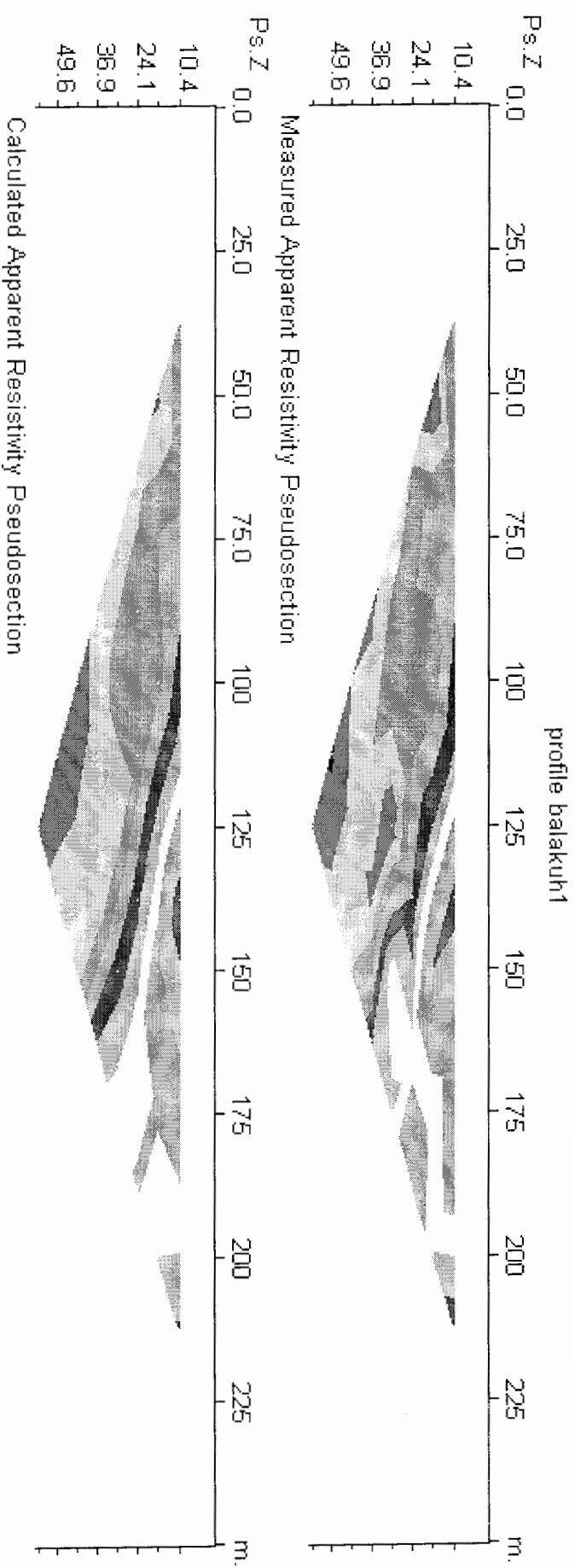
### ۳-۷-۴- پروفیل بالاکوه ۱

در این پروفیل مدل‌های تهیه شده، مخصوصاً مدل‌های داده‌های IP با توجه به خطای بسیار بالای مدلسازی در نرم افزار RES2DINV (۱۱۴٪) و خطای نسبتاً بالای مدلسازی توسط نرم افزار RESIXIP2DI، ازدقت بسیار پایینی برخوردار می‌باشند و بصورت خیلی ضعیف می‌توان بر آن تکیه کرد. البته وضعیت داده‌های مقاومت ویژه بهتر است. با توجه به این نکته از مدلسازی داده‌های مقاومت ویژه در نرم افزار RES2DINV (شکل ۳-۸) و مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI (شکل ۳-۹) این تفسیر را می‌توان بیان کرد که در مدل‌های هر دو نرم افزار یک توده کم مقاومت در فاصله ۳۵ تا ۹۰ متری از مبدا و عمق ۱۰ تا ۲۵ متری از سطح شیب‌دار کوه دیده می‌شود که پس از مدلسازی مجدد این جسم در نرم افزار RESIXIP2DI، مقاومت ویژه آن ۴/۹ اهم-متر و بارپذیری آن ۰/۹۹ میلی‌ثانیه به دست آمد. در حالیکه مقاومت زمینه ۳۱۸/۲ اهم-متر و بارپذیری آن ۰/۹۹ میلی‌ثانیه حاصل شد. لذا این توده را می‌توان یک لایه مرطوب و یا نسبتاً آبدار و احیاناً ماسه سنگی در نظر گرفت که بخاطر وجود رطوبت، مقاومت پایینی دارد و در عین حال بارپذیری بالایی نیز دارد.

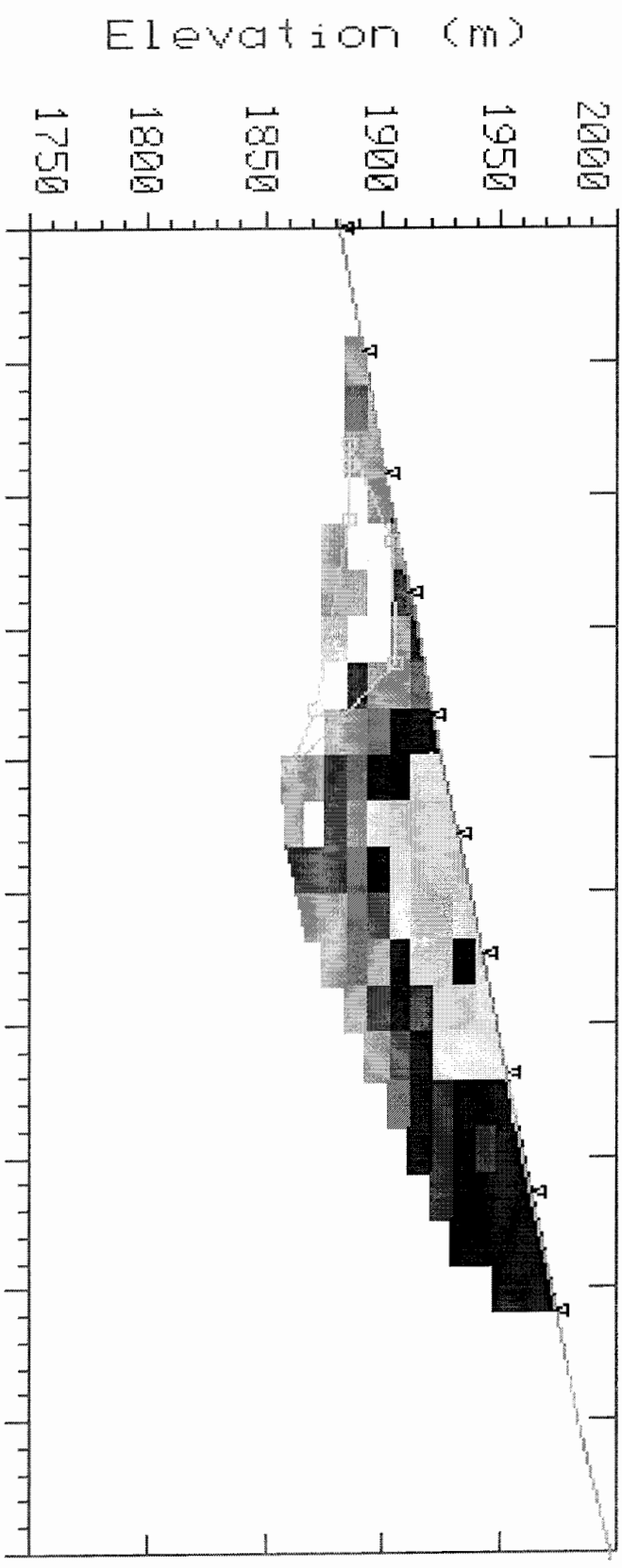
نکته دیگری که در هر دو مدل قابل مشاهده است توده بسیار پرمقاومتی است که در فاصله ۱۱۰ تا ۱۷۰ متری مبدا و از سطح تا عمق ۴۵ متری گسترش یافته که توجیه آن می‌تواند یک لایه خشک سطحی باشد که بعلت توپوگرافی بسیار شدید در این قسمت مانع از تجمع و نفوذ آب و یا رطوبت در خود شده است.

با توجه به این مسائل در این پروفیل هیچگونه آنومالی فلزی قابل مشاهده نیست.

در اینجا مدلسازی داده‌های مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV (شکل ۳-۸) و از نرم افزار RESIXIP2DI مدل مقاومت ویژه، Image Model (شکل ۳-۹) و مدل پلیگون (شکل ۳-۱۰) نشان داده شده است.



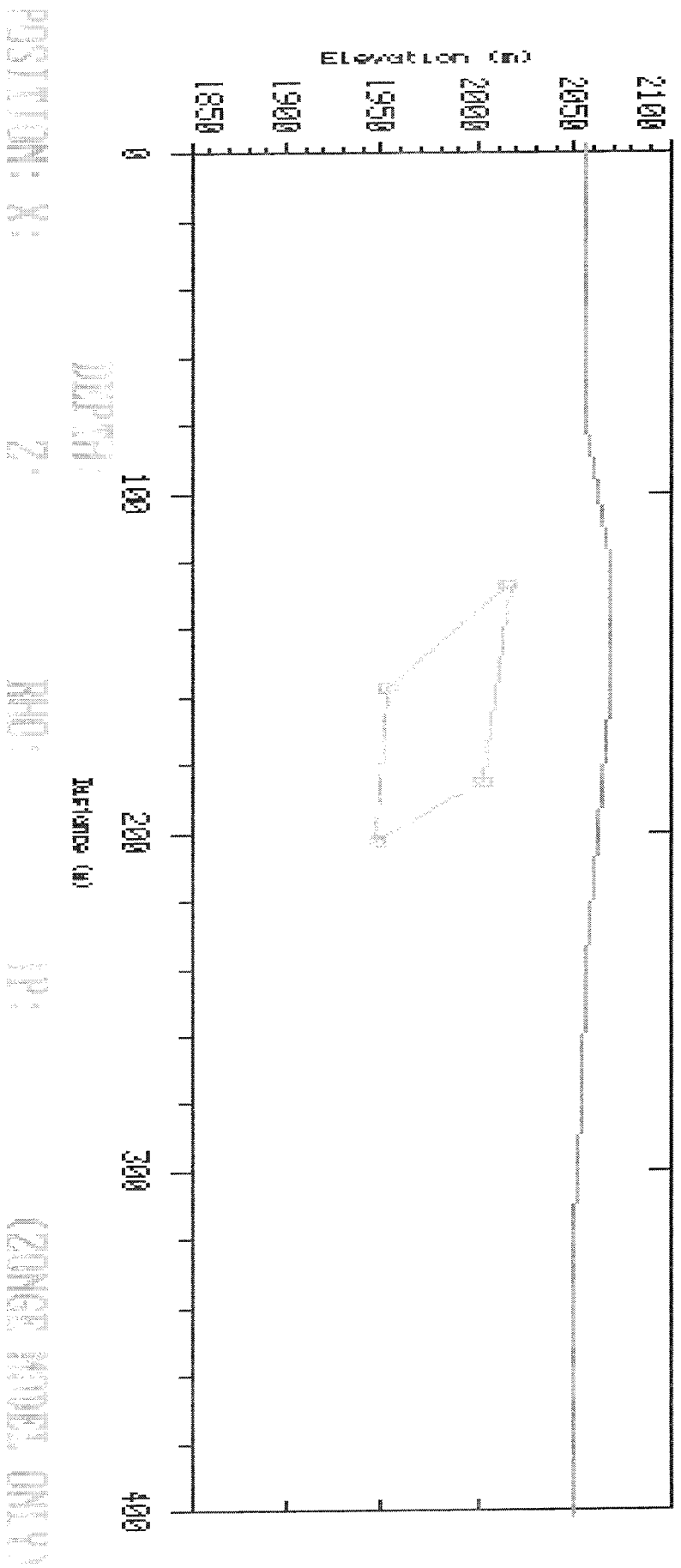
شکل ۳- ۸ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۱



DATA SET: BALAKU\*1      FIT: NONE      (m)  
 X: 283.9012    Z: 1794.531    BODY: BG    RES: 318.2959      IP: 0.9946    URT EXAG: 0.343

بارپذیری	مقاومت ویژه	
۰.۹۹	۳۱۸,۲	زمینه
۰.۹۹	۴,۹	توده ۱

شکل ۳-۹ : مدل مقاومت ویژه ، Image Model از نرم افزار RESIXIP2D1 برای پروفیل بالاگوه ۱  
 ۷۴



شکل ۳-۱۰ : مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاگوه ۱

### ۳-۷-۵- پروفیل بالا کوه ۲:

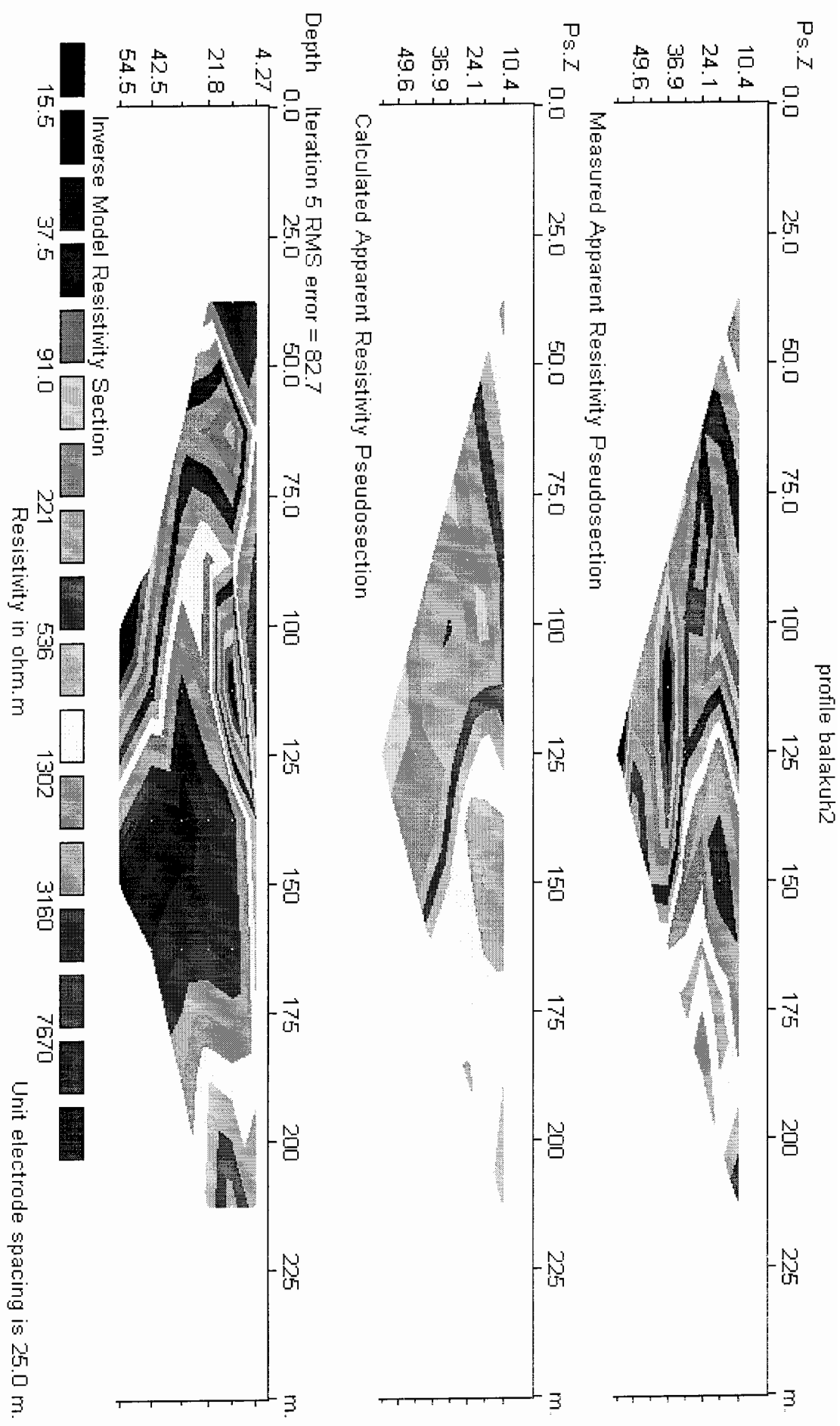
در این پروفیل نیز مدل‌های نرم افزارهای RESIXIP2DI و RES2DINV دارای خطای بسیار بالایی می باشند. لذا نتایج این مدلسازی قابل اعتماد نیست. اما آنچه که در این مدلسازی تفسیر می شود بدینگونه است:

در مدل داده های مقاومت ویژه نرم افزار RES2DINV ( شکل ۳-۱۱ )، یک جسم کم مقاومت نسبت به زمینه در فاصله ۹۰ تا ۱۱۵ متری از مبدا و عمق ۴۲ تا ۱۵ متری از سطح قرار گرفته با توجه به اینکه این جسم در مدلسازی نرم افزار RESIXIP2DI، مدل مقاومت ویژه، Image Model ( شکل ۳-۱۲ ) نیز مشاهده شده، این جسم مجدداً مدلسازی می گردد. پس از مدلسازی، مقاومت ویژه جسم مقدار بالای ۴۸ اهم- متر و بارپذیری آن مقدار پایین ۰/۹ میلی ثانیه و برای مقاومت ویژه زمینه مقدار ۳۴۶ اهم- متر و بارپذیری آن مقدار ۰/۹۹ بدست آمد.

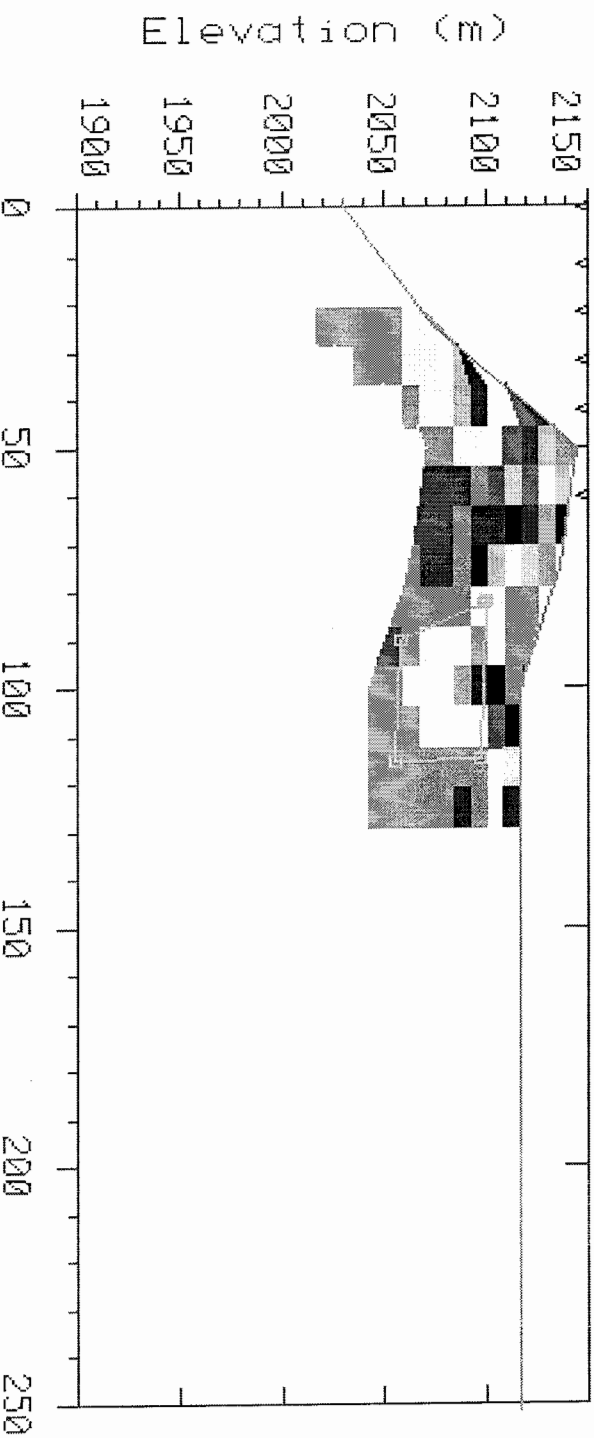
در اینجا نیز بدلیل بارپذیری پایین جسم، احتمال کانی سازی فلزی نا محتمل است و این توده با مقاومت نسبتاً پایین می تواند آهک یا دولومیت مرطوب یا آبدار باشد.

در اینجا نتایج مدلسازی داده های مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV ( شکل ۳-۱۱ ) و از نرم افزار RESIXIP2DI مدل مقاومت ویژه، Image Model ( شکل ۳-۱۲ ) نشان داده شده است.





شکل ۳- ۱۱ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۲



DATA SET: BALAKU"2 FIT: 113.0951 (m) IP: 0.9935 URT EXAG: 0.343  
 K: 283.9012 Z: 2048.245 BDP: BG RES: 346.445

بارپذیری	مقاومت ویژه	
۰,۹۹	۳۴۶	زمینیه
۹	۴۸	توده ۱

شکل ۳-۱۲ : مدل مقاومت ویژه ، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالا کوه ۲

### ۳-۷-۶- پروفیل بالاکوه ۴

داده های این پروفیل در بین سایر داده ها بیشترین دقت و کمترین خطا را دارا می باشند و حتی داده های قطبش القایی آن دقت بیشتری نسبت به داده های مقاومت ویژه دارند و نتایج این مدلسازی می تواند به اندازه کافی معتبر باشد.

در مدل نرم افزار RES2DINV، یک توده با مقاومت پایین ۴ اهم- متر و بارپذیری نسبتاً بالای ۳۰ میلی ثانیه به چشم می خورد. که این جسم در موقعیت ۵۰ تا ۱۳۰ متری از مبدا و در عمق ۲۰ تا ۵۱ متری از سطح واقع شده است. این توده را به عنوان جسم ۱ در نظر می گیریم (شکل ۳-۱۳).

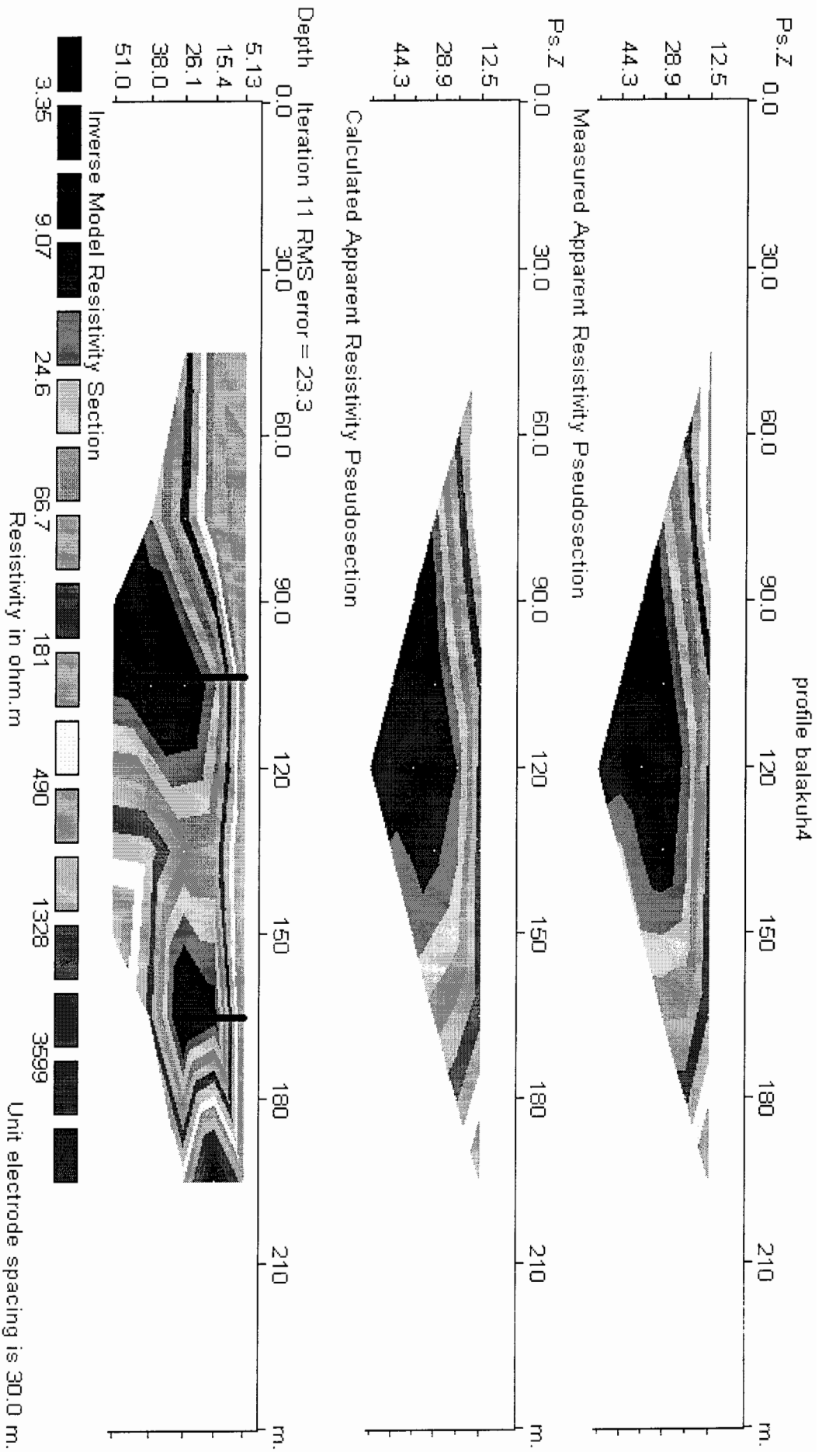
در نرم افزار RESIXIP2DI نیز این توده قابل مشاهده است. در مدل مقاومت ویژه، مقطع Zonng Model، یک توده دیگر نیز در موقعیت ۱۵۰ تا ۲۰۰ متری مبدا و عمق ۲۰ تا ۷۰ متری سطح قرار گرفته که دارای مقاومت پایین و بارپذیری بالا می باشد. این توده را نیز به عنوان جسم ۲ در نظر گرفته و این دو جسم را مدلسازی می کنیم (شکل ۳-۱۵).

پس از مدلسازی این دو جسم، برای توده نخست مقاومت ویژه ۴ اهم- متر و بارپذیری ۳۰ میلی ثانیه، برای توده ۲ مقاومت ویژه ۴ اهم- متر و بارپذیری ۱۰ میلی ثانیه، و برای زمینه مقاومت ویژه ۱۰۱۰ اهم متر و بارپذیری ۰/۶۹ میلی ثانیه بدست آمد. قابل توجه است که مشخصات این دو جسم و زمینه در هر دو مدل حاصل از نرم افزارهای RES2DINV و RESIXIP2DI تا حد بسیار زیادی به هم شباهت دارند.

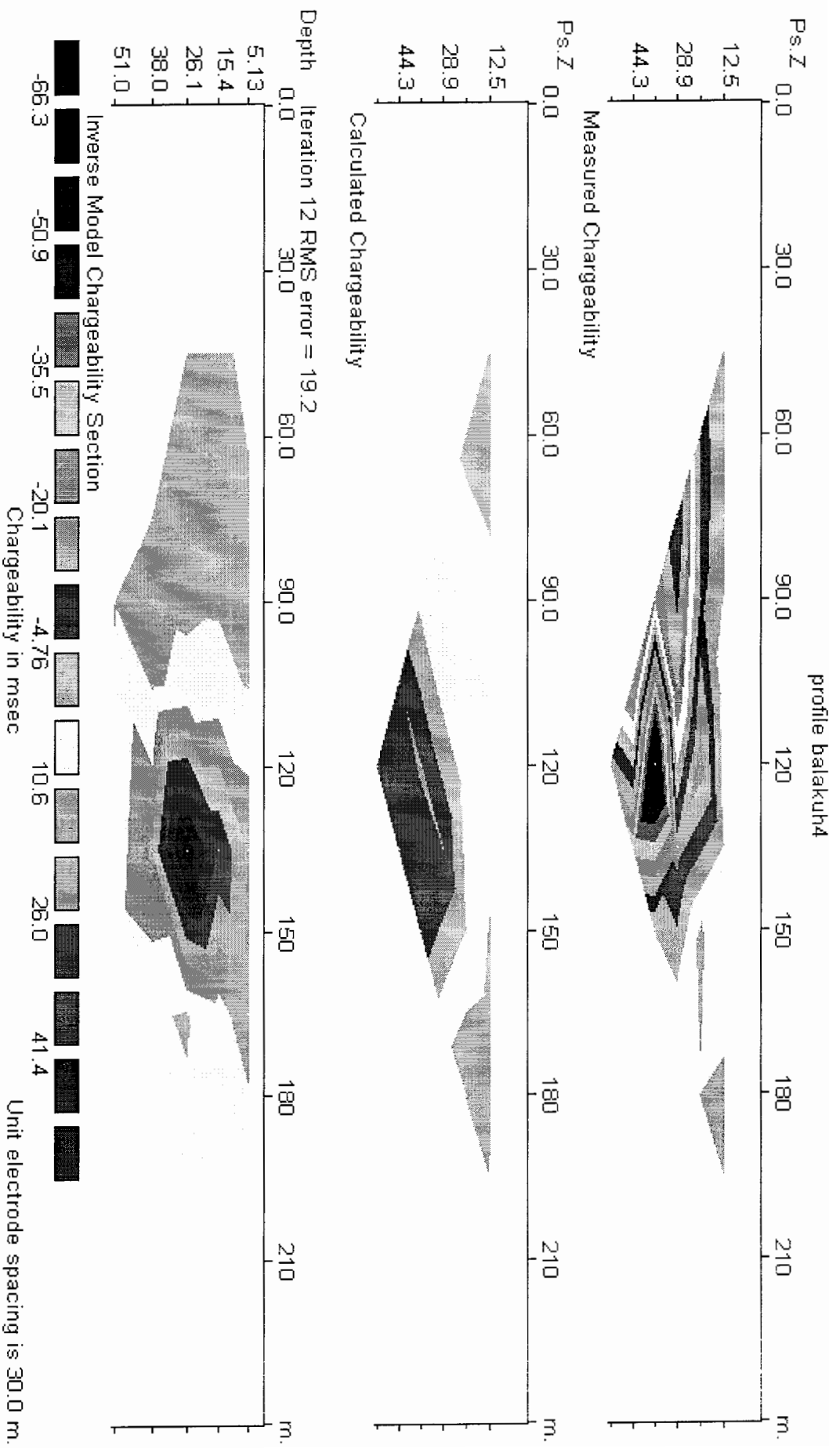
با توجه به اینکه در محل برداشت این پروفیل، آثار معدنکاری در زمانهای گذشته برای اکتشاف سرب و روی و وجود آثاری از کانیهای گالن و اسفالریت مشاهده شده، وجود این دو آنومالی بارز و مشخص تا حد زیادی می تواند معرف آنومالی نسبتاً غنی و بزرگی از سرب و روی در منطقه باشد. که با توجه به اطلاعات زمین شناسی این کانی سازی سرب و روی می تواند درون سنگهای آهکی و یا دولومیتی

بصورت جانشینی ثانویه صورت گرفته باشد و لذا می تواند در موقعیت و عمق مذکور، انتظار کانسار اسکارن سرب و روی را داشت.

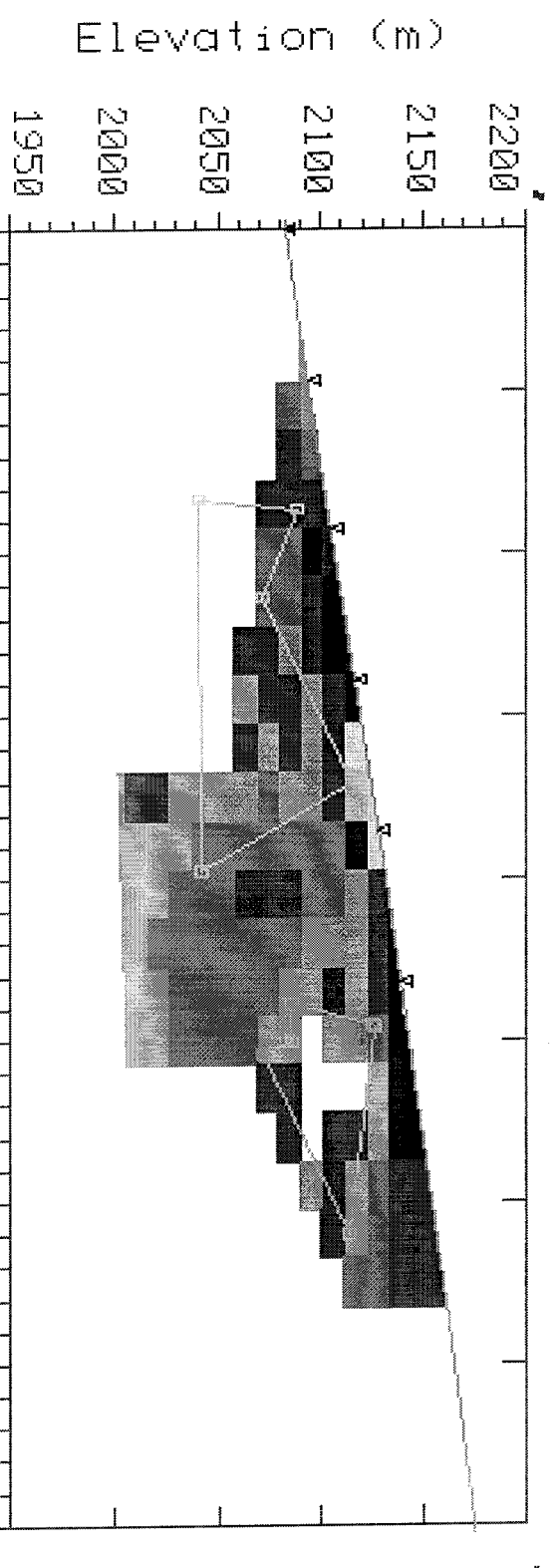
در اینجا نتایج مدل سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی توسط نرم افزار RES2DINV ( شکل های ۳-۱۳ و ۳-۱۴) و توسط نرم افزار RESIXIP2DI مدل مقاومت ویژه ، Zong Model ( شکل ۳-۱۵) و مدل پلیگون ( شکل ۳-۱۶) نشان داده شده است. همچنین در مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV محل پیشنهادی حفاریها نشان داده شده است.



شکل ۳- ۱۲ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۴



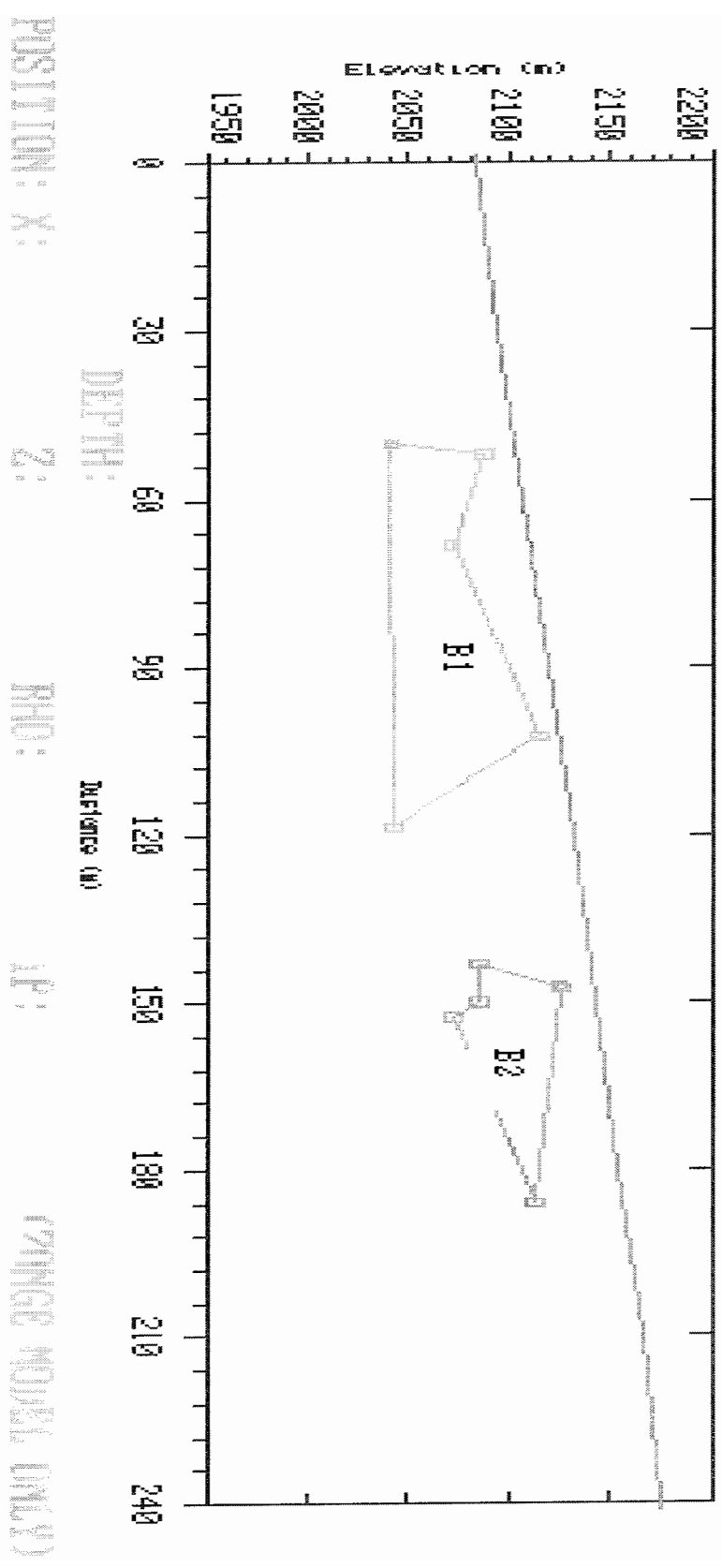
شکل ۳-۱۴ : مدل شارژاییته از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاگوه ۴



DATA SET: BALAKU~4      FIT: 15.5129 (m)  
 X: 272.5451 Z: 2077.222      BODY: BG RES: 1010.899      IP: 0.6975      URT EXAG: 0.33

بارپذیری	مقاومت ویژه	زمینه
۰.۶۹	۱۰۱۰	توده ۱
۳۰	۴	توده ۲
۱۰	۴	توده ۳

شکل ۳-۱۵ : مدل مقاومت ویژه ، Zong Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاگوه ۴



شکل ۳- ۱۶ : مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالا کوه ۴



### ۳-۷-۷- پروفیل بالا کوه ۵

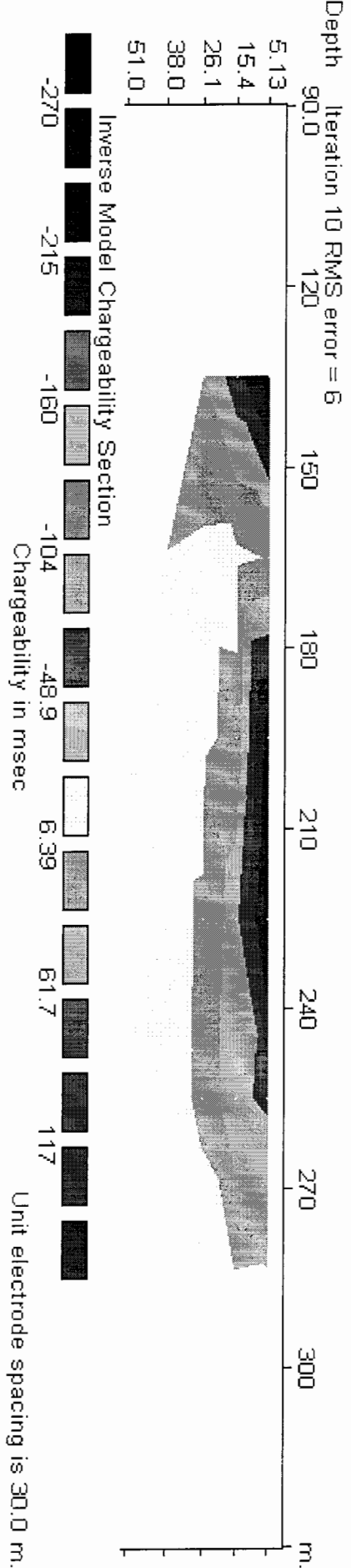
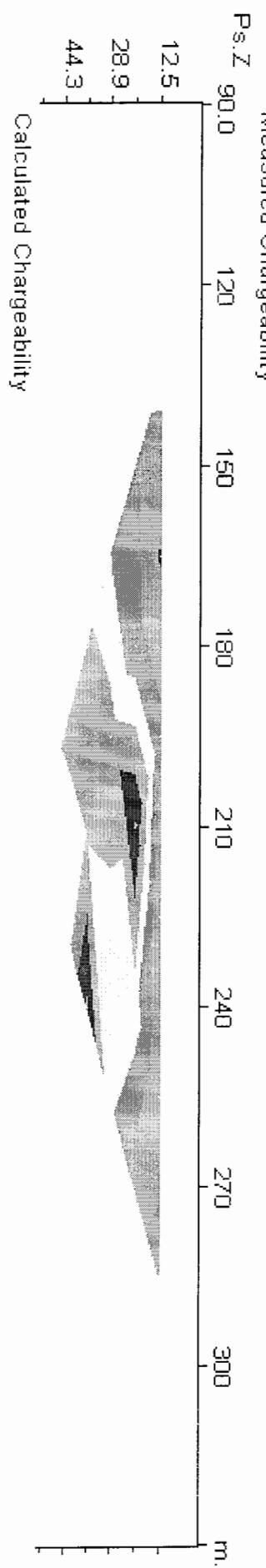
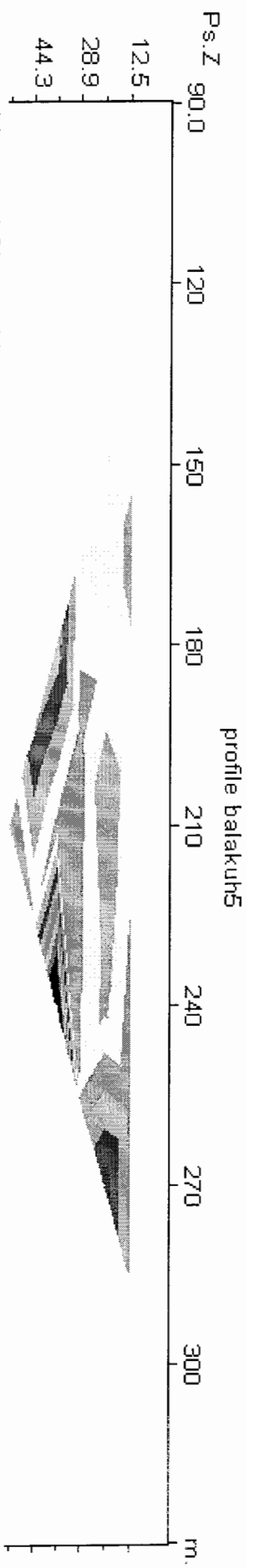
پروفیل بالا کوه ۵ تقریباً مجاور پروفیل بالا کوه ۴ (بصورت متقاطع با آن) برداشت گردید و لذا خصوصیات آن تا حد زیادی با خصوصیات پروفیل مذکور، شباهت دارد. خطای مدلسازی این پروفیل هم برای داده های قطبش القایی و هم برای داده های مقاومت ویژه نسبتاً پایین می باشد. هر چند در این پروفیل دقت مدلسازی به اندازه دقت مدلسازی پروفیل قبلی نیست.

در مدل های نرم افزار RES2DINV، در مقطع IP، یک توده سطحی به ضخامت ۵ متر از فاصله ۹۰ تا ۱۵۰ متری از مبدأ با بارپذیری بالای ۱۲۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه بالای ۶۰۰ اهم-متر به عنوان جسم ۱ دیده می شود (شکل ۳-۱۷). در مقطع مقاومت ویژه نیز یک توده با مقاومت حداقل ۳ اهم-متر و بارپذیری ۶ میلی ثانیه در فاصله ۷۰ تا ۱۴۰ متری از مبدأ و عمق ۳۵ تا ۷۰ متری از سطح (ارتفاع ۲۰۹۵ تا ۲۰۶۰ متری از سطح آبهای آزاد) به عنوان جسم ۲ دیده می شود (شکل ۳-۱۸).

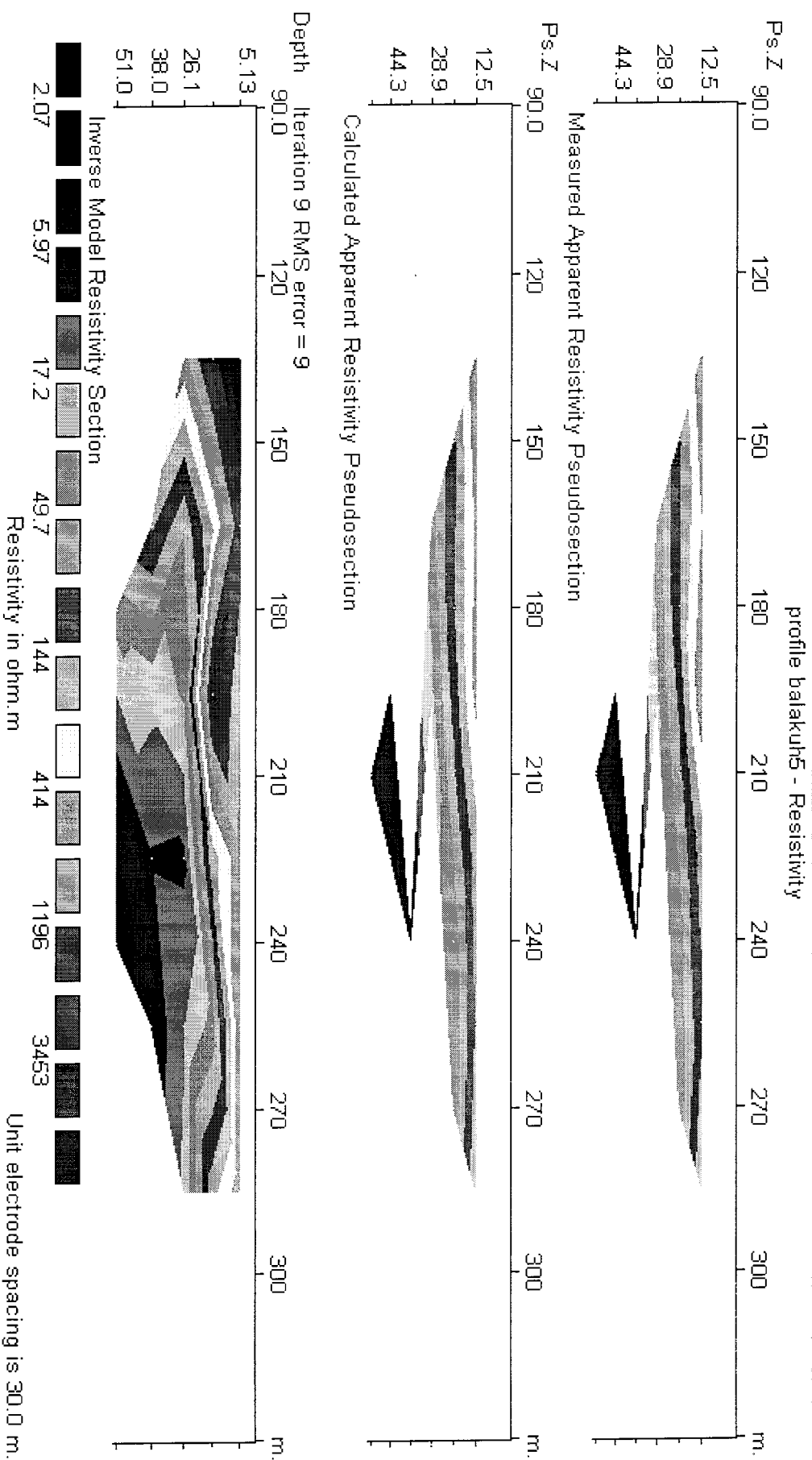
این دو توده در نتایج به دست آمده از مدلسازی نرم افزار RESIXIP2DI نیز قابل مشاهده هستند. لذا این دو جسم توسط این نرم افزار مدلسازی می گردد. از آنجا که جسم ۱ در مقطع IP، Image Model واضح تر و آشکار تر است و می توان تفاوت بارپذیری را در این مقطع مشاهده کرد، این جسم را در این مقطع مدلسازی می کنیم. پس از این مدلسازی برای جسم ۱، شارژابیلیته ۱۲۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه ۴۰۰ اهم-متر تعیین شد. بعلاوه اینکه ابعاد جسم حدود ۲۰ متر به سمت مبدأ شیفت پیدا کرد و عمق آن نیز ۱۵ متر افزایش یافت. لذا این جسم دارای مقاومت ویژه و بارپذیری بالایی می باشد (شکل ۳-۱۹). جسم ۲ نیز در مقطع مقاومت ویژه، Image Model مدلسازی گردید. برای این جسم، بارپذیری ۶ میلی ثانیه و مقاومت ویژه ۲/۷ اهم-متر تعیین شد و نیز برای زمینه بارپذیری ۱ میلی ثانیه و مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم-متر تخمین زده شد. لذا این جسم مقاومت ویژه پایین و بارپذیری نسبتاً بالایی دارد (شکل ۳-۲۰).

برای این دو جسم می توان پیشنهاد کرد که جسم ۱ از آنجا که لایه سطحی می باشد و در سطح رخنمون دارد، سنگهای آهکی و دولومیتی مقاومت بالا می باشد. جسم ۲ با این مشخصات و نزدیکی به پروفیل قبلی، می تواند هاله ای از کانسار سرب و روی باشد که در این نقطه گسترش یافته. اما نمی تواند توده اصلی کانسار سرب و روی باشد.

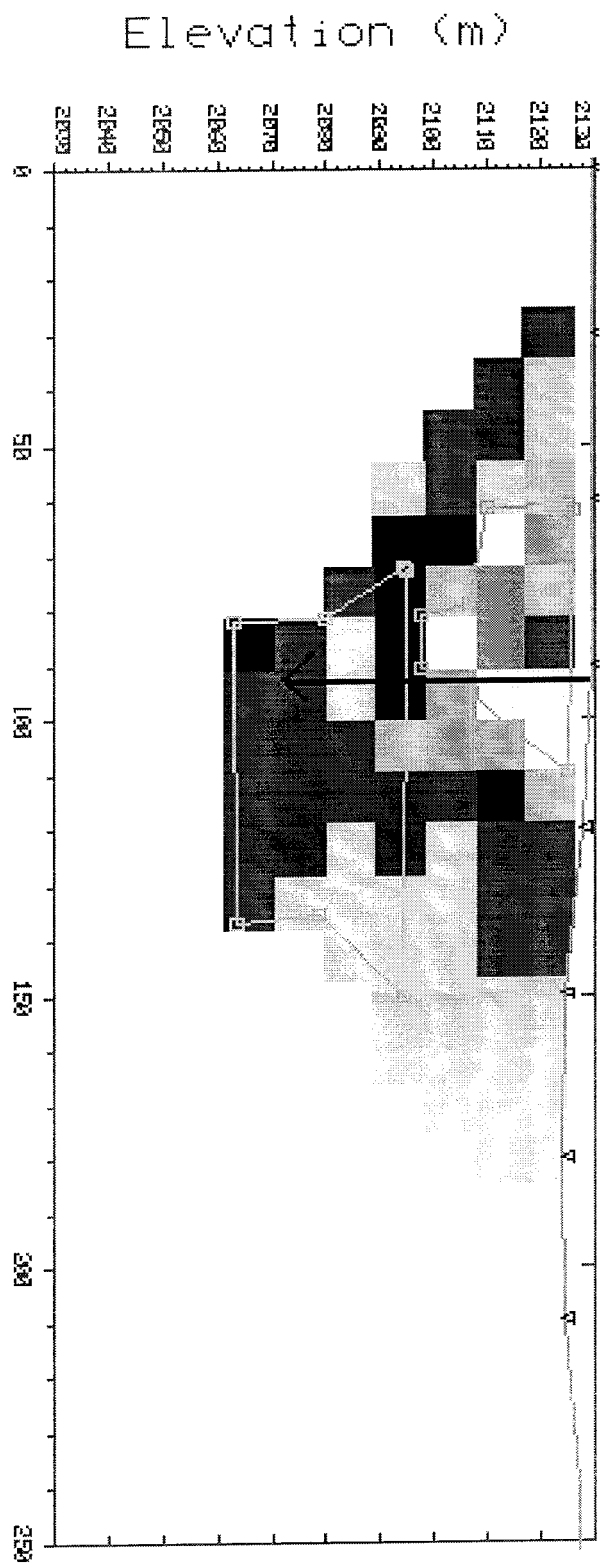
در اینجا از نرم افزار RES2DINV، مقطع مدلسازی شارژابیلیته (شکل ۳ - ۱۷) و مقاومت ویژه (شکل ۳ - ۱۸) و از نرم افزار RESIXIP2DI، مدل بارپذیری، Image Model (شکل ۳ - ۱۹) و مدل پلیگون (شکل ۳ - ۲۰) نشان داده شده است. همچنین در مدل شارژابیلیته، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI محل پیشنهادی برای حفاری نشان داده شده است.



شکل ۳- ۱۷ : مدل تازیدیزی از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۵



شکل ۳- ۱۸ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل بالاکوه ۵



DATA SET: BALAKU~5      FIT: 11.2822      Distance (m)  
 X: 283.9012    Z: 2120.692    BDDY: BG    MES: 100    IP: 1    VRT EXAG: 0.859

بارپذیری	مقاومت ویژه	زمینیه
۱	۱۰۰	توده ۱
۱۲۰	۴۰۰	توده ۲
۶	۲,۷	توده ۳

شکل ۳-۱۹ : مدل شارژاییخته، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل بالاگوه ۵



### ۳-۷-۸- پروفیل رکن آباد ۱

برای تفسیر دو پروفیل این منطقه ( رکن آباد ۱ و رکن آباد ۲ ) ابتدا باید به وضعیت زمین شناسی منطقه اشاره کرد که بیان کننده محیطی دگرگون شده می باشد. لذا سنگهای غالب در اینجا فیلیتهای دگرگونی و تا حدی اسلیتهای رسوبی می باشد.

در پروفیل رکن آباد ۱ داده های قطبش القایی خطای نسبتاً و داده های مقاومت ویژه نیز خطای متوسطی دارند.

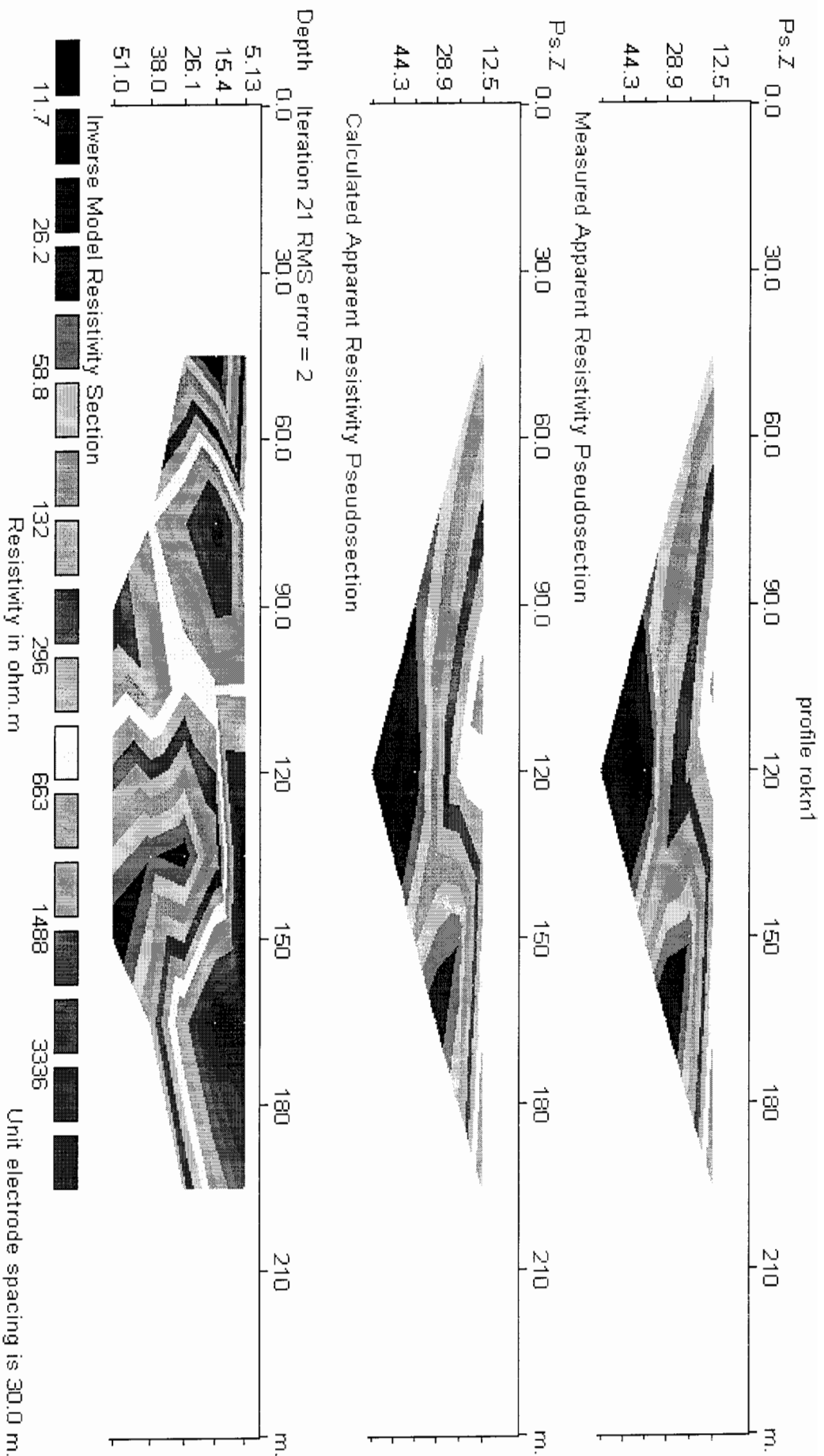
در نرم افزار RES2DINV، مدل قطبش القایی به علت خطای بسیار بالا غیر قابل اعتماد بوده و در مدل مقاومت ویژه نیز فقط یک توده با مقاومت بسیار بالا در سطح مشاهده می شود که این مسئله به خاطر حضور فیلیتهای سطحی با مقاومت بسیار بالا می باشد. در کل، در فرآیند مدلسازی توسط نرم افزار RES2DINV از این منطقه نکته بارز و قابل اهمیتی وجود ندارد.

در مدل مقاومت ویژه، Image Model، تهیه شده توسط نرم افزار RESIXIP2DI دو توده قابل تشخیص است ( شکل ۳-۲۱ ). توده نخست در فاصله ۷۰ تا ۱۱۰ متری از مبدأ و از سطح تا عمق ۳۰ متری گسترش دارد. جسم ۲ نیز از فاصله ۱۰۰ تا ۱۴۰ متری از مبدأ و از عمق ۲۵ تا ۷۵ متری سطح، مثلثی شکل، به گونه ای که راس آن به سمت سطح زمین قرار گرفته ( مطابق شکل ۳-۲۲ ) استمرار دارد. پس از مدلسازی برای جسم ۱ مقاومت ویژه ۰/۱۹ اهم-متر و بارپذیری ۲۸ میلی ثانیه، برای جسم ۲ مقاومت ویژه ۱۰۰۰۰۰ اهم-متر و شارژابیلیته ۱ میلی ثانیه و برای زمینه مقاومت ویژه ۳۹۲ اهم-متر و بارپذیری آن ۱۰ میلی ثانیه به دست آمد. لذا با این تفسیر توده ۱ را می توان لایه ای مرطوب و تا حدی گل آلود (ناشی از آبهای سطحی) و احیاناً با املاح فراوان (به علت مقاومت بیش از حد پایین) و توده دوم را توده ای نارسانا با مقاومت بسیار بالا و احیاناً توده ای نفوذی آذرین در نظر

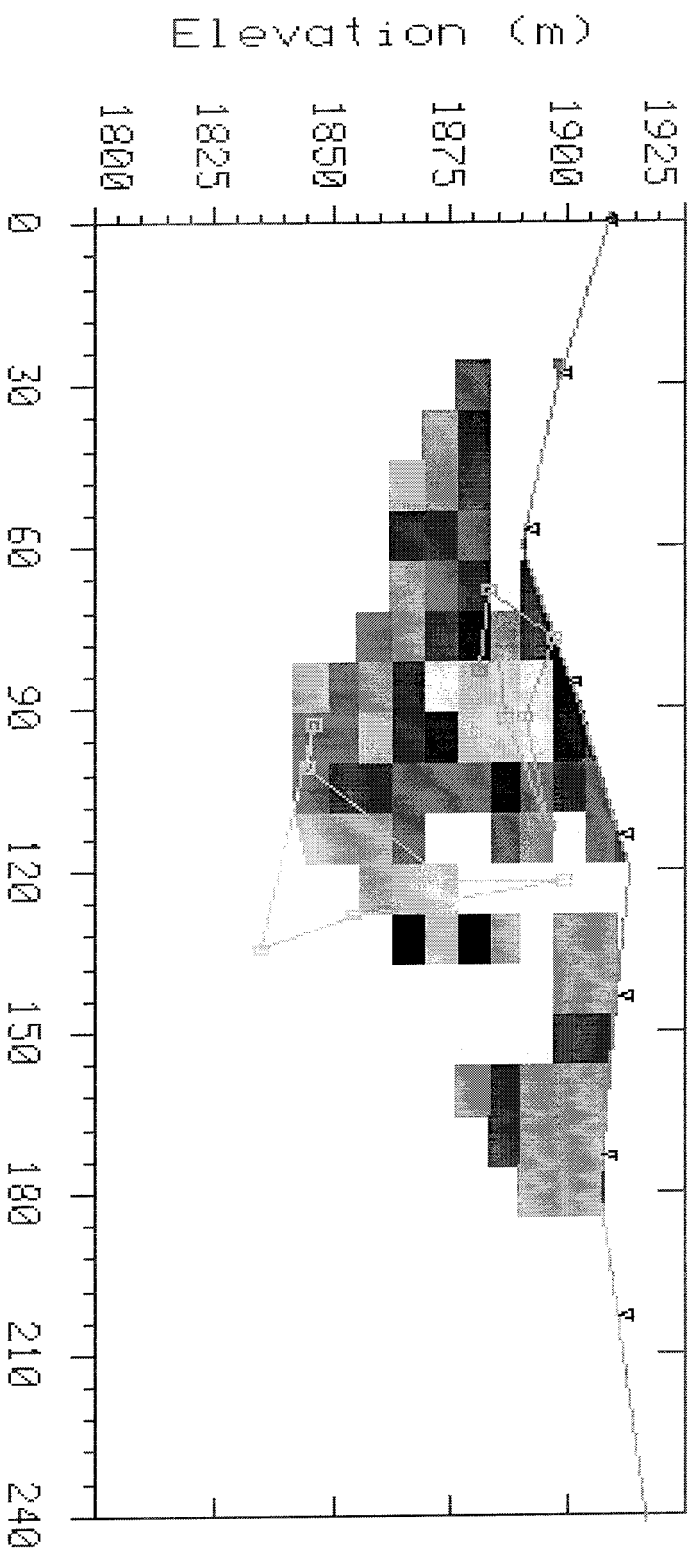
گرفت که این توده باعث بروز منظره ای چنین دگرگون شده در این منطقه شده است. در هر صورت این پروقیل نیز از نظر هدف نهایی اکتشاف عقیم می باشد.

در اینجا از نرم افزار RES2DINV، مدل مقاومت ویژه ( شکل ۳-۲۱)، و از نرم افزار RESIXIP2DI، مدل مقاومت ویژه، Image Model ( شکل ۳-۲۲) و مدل پلیگون ( شکل ۳-۲۳) نشان داده شده است.





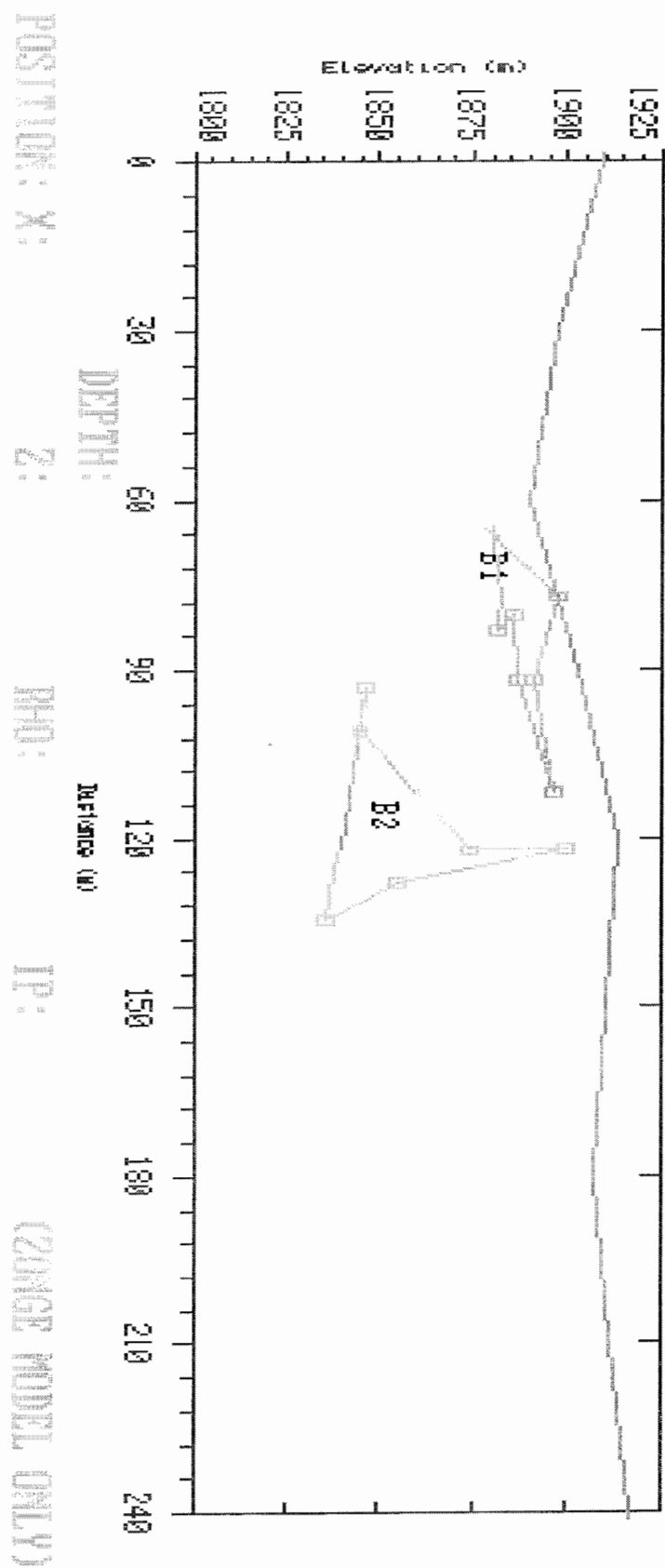
شکل ۳- ۲۱ : مدل مقاومت ویژه از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل رکن ۱



DATA SET: ROKNI\_1      ITT: 74.8621      (m)  
 X: 272.5451    Z: 1888.839    BODY: BG RES: 392.6688      IP: 10.006    URT EXAG: 0.66

بارپذیری	مقاومت ویژه	
۱۰	۳۹۲	زمینه
۱	۱۰۰۰۰۰	توده ۱
۱۰	۴	توده ۲

شکل ۳- ۲۲ : مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل رکن آباد ۱



شکل ۳-۲۳ : مدل پلیگون از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل رکن آبد ۱

### ۳-۷-۹- پروفیل رکن آباد ۲

در این پروفیل هر دو سری داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه آن از دقت بالایی برخوردار هستند.

در مقطع قطبش القایی تهیه شده توسط نرم افزار RES2DINV، در فاصله ۹۰ تا ۱۱۰ متری از مبدأ و از سطح تا عمق ۲۰ متری یک توده با بارپذیری نسبتاً بالای ۶۵ میلی ثانیه و مقاومت ویژه بالای ۱۴۰۰ اهم- متر دیده می شود (شکل ۳-۲۴). علت این توده احتمالاً به رخساره زمین شناسی منطقه باز می گردد و موید همان منظره دگرگونی شدید است. لذا پدیده خاص دیگری ملاحظه نمی گردد. نتایج حاصل از نرم افزار RESIXIP2DI، به صورت سه توده متمایز قابل تفکیک هستند که این سه توده با خصوصیات متفاوت تقریباً از ابتدای پروفیل تا انتهای آن به طور متوالی، اما مجزا، از سطح تا عمق حدود ۴۰ متری گسترش یافته اند (مطابق شکل ۳-۲۵). خصوصیات الکتریکی این سه جسم و زمینه آنها پس از مدلسازی نهایی به صورت زیر تعیین گردید:

مقاومت ویژه جسم ۱: ۳۱۵۳ اهم- متر، بارپذیری آن: ۱۷ میلی ثانیه

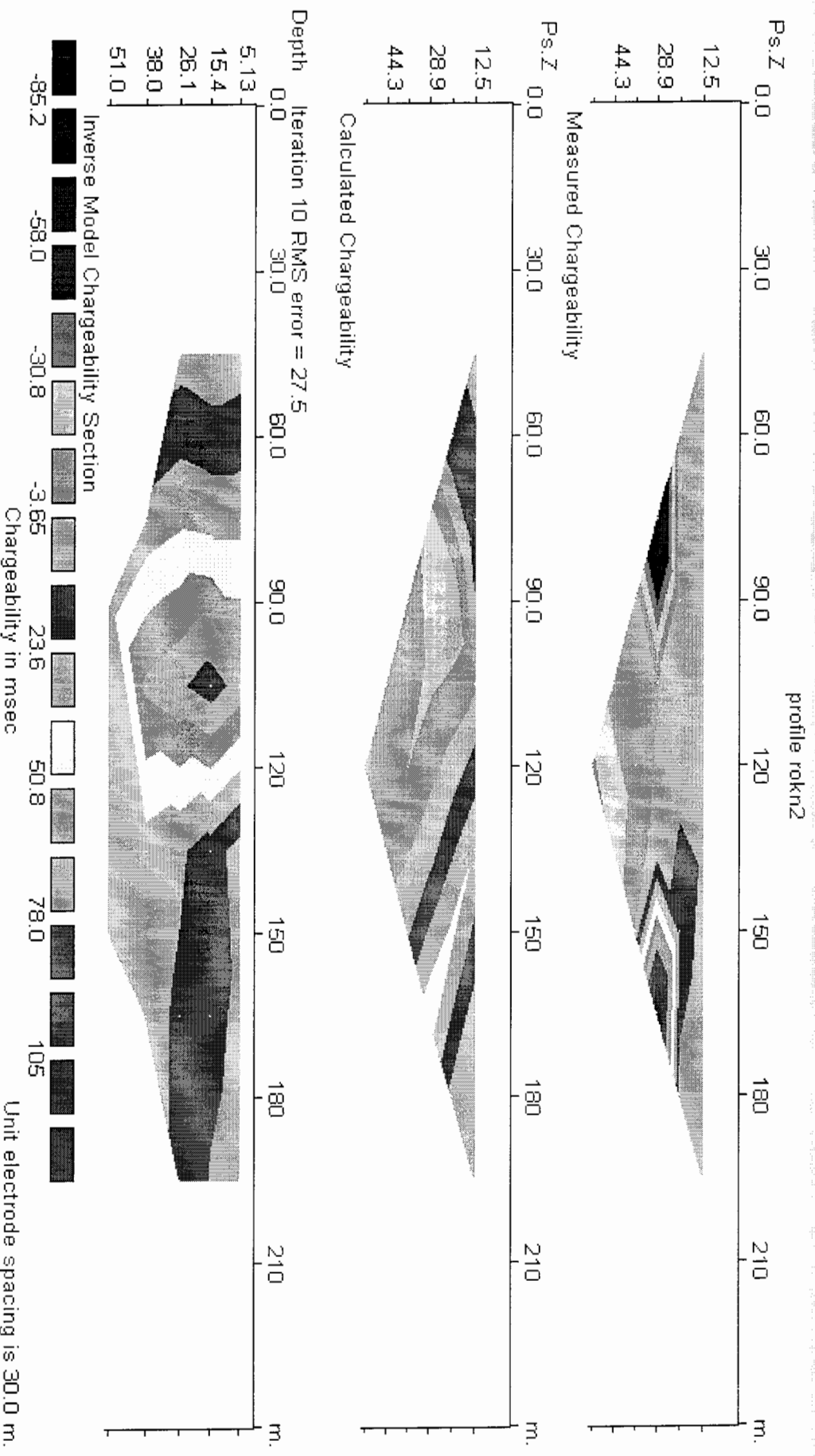
مقاومت ویژه جسم ۲: ۴/۵۶ اهم- متر، بارپذیری آن: ۷/۳۱ میلی ثانیه

مقاومت ویژه جسم ۳: ۸۵۴۱ اهم- متر، بارپذیری آن: ۱۱ میلی ثانیه

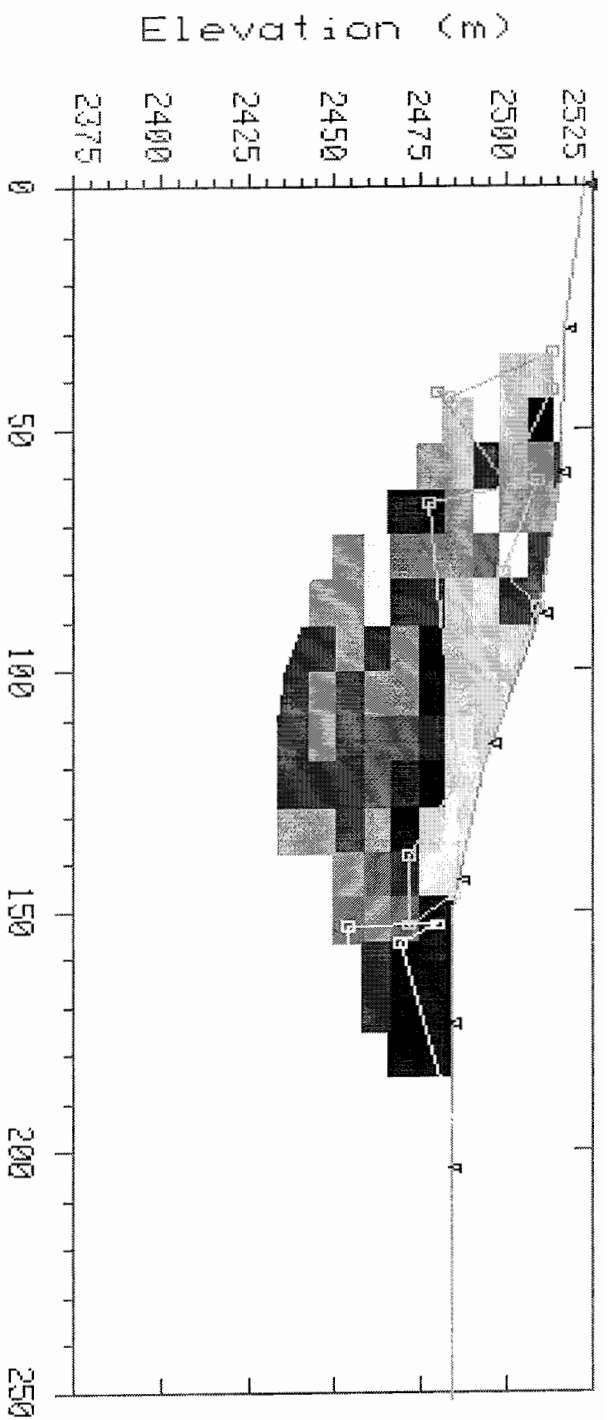
مقاومت ویژه جسم زمینه: ۱۶۹ اهم- متر، بارپذیری آن: ۰/۸۹ میلی ثانیه

همانگونه که از این اعداد و ارقام بر می آید، دو جسم ۱ و ۳ دارای مقاومت بسیار بالا و بارپذیری نرمال می باشند. از آنجا که این دو جسم سطحی بوده، آنها را می توان به انواع رخساره های دگرگونی نسبت داد و این مسئله دقیقاً با توجه به یافته های زمین شناسی قابل تأیید است. جسم ۲ که مقاومت نسبتاً پایینی دارد، باز هم با تکیه بر عوامل و شواهد زمین شناسی، توده کنگلومرایی می باشد که علت پایین بودن مقاومت آن وجود آبهای سطحی در خلل و فرج نسبتاً زیاد این توده می باشد.

همانگونه که از مدل بدست آمده از نرم افزار قابل مشاهده است، در مابقی مدل، هیچ آنومالی خاصی قابل مشاهده نیست و لذا منطقه تحت تاثیر این پروفیل نیز فاقد کانی سازی سرب و روی می باشد. در اینجا نتایج به دست آمده از نرم افزار RES2DINV، مدل بارپذیری ( شکل ۳-۲۴ )، و از نتایج نرم افزار RESIXIP2DI، مدل مقاومت ویژه ، Image Model ( شکل ۳-۲۵ ) و مدل پلیگون ( شکل ۳-۲۶ )، نشان داده شده است.



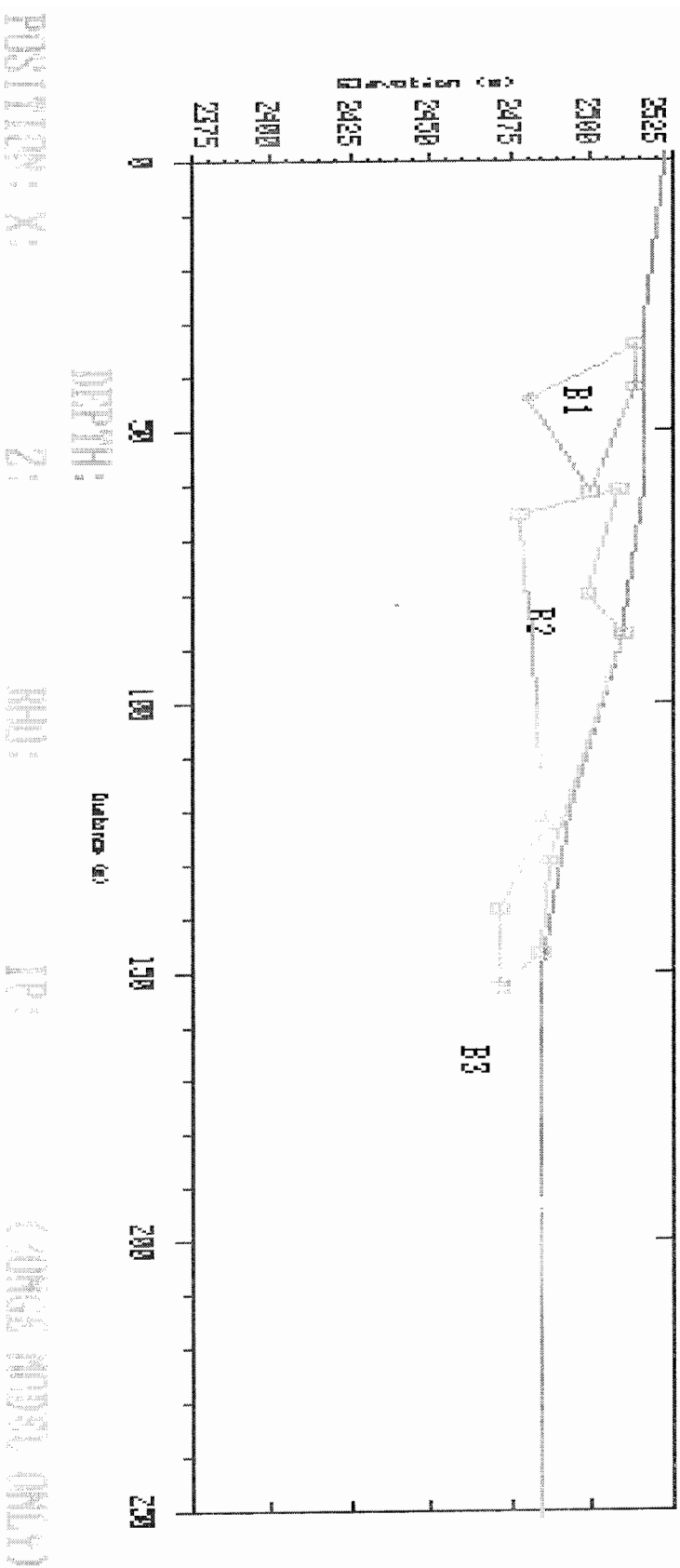
شکل ۳- ۲۴ : مدل بارپذیری از نرم افزار RES2DINV برای پروفیل رکن آباد



DATA SET: ROKN2 FIT: 81.65371ce (m)  
 X: 283.9012 Z: 2479.924 BODY: BG RES:169.3728 IP: 0.8911 URT FXAG: 0.572

بارپذیری	مقاومت ویژه	زمینه
۰.۸۹	۱۶۹	توده ۱
۱۷	۳۱۵۳	توده ۲
۷,۳۱	۴,۵۶	توده ۳
۱۱	۸۵۴۱	توده ۳

شکل ۳- ۲۵ : مدل مقاومت ویژه، Image Model از نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل رکن آباد ۲



شکل ۳- ۲۶ : مدل پلیگون از نرم افزار RESIX IP2DI برای پروفیل رکن آباد ۲



## فصل چهارم

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات لازم

## نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات لازم :

این تحقیق همانگونه که ذکر شد شامل مراحل پیمایش صحرایی، برداشت داده ها، تهیه شبه مقاطع مقاومت ویژه، بارپذیری و مدلسازی داده ها، تفسیر داده ها، ارائه پیشنهادات لازم، تهیه و ویرایش گزارش مربوط به این تحقیق می باشد. پیمایش صحرایی آن در منطقه ای کوهستانی در نواحی خلخال در تابستان ۱۳۸۴ صورت گرفت. در این تحقیق هدف اکتشاف سرب و روی است. روش ژئوفیزیکی منتخب، روش مقاومت سنجی و پلاریزاسیون القایی (IP) می باشد. آرایش مورد استفاده دو قطبی - دو قطبی است. در مجموع این پیمایش ۱۰ پروفیل دو قطبی - دو قطبی برداشت گردید. در الگوی پلاریزاسیون القایی مقدار بارپذیری یا عبارتی شارژابیلیته توده ها اندازه گیری شده است. تهیه شبه مقاطع و مدلسازی داده ها با استفاده از دو نرم افزار RES2DINV و RESIXIP2DI صورت گرفته است.

تحلیلهای و تفسیرها همانگونه که ذکر شد بر مبنای مدلسازیهای صورت گرفته و تا حدی نتایج و اطلاعات زمین شناسی و نتایج آنالیز نمونه ها و که در دیگر مراحل اکتشافی این پروژه انجام شده و نتایج آنها موجود است، صورت گرفت.

با توجه نتایج حاصل از مدلسازی، تحلیلهای و تفسیرها برمی آید که از مجموع ۱۰ پروفیل برداشت شده در منطقه، در ۸ پروفیل و محدوده های تحت تاثیر آنها هیچگونه آثار کانی سازی فلزی مشاهده نشده و می توان آنها را به عنوان مناطق کاملاً عقیم تصور نمود. تنها در دو پروفیل بالاکوه ۴ و بالاکوه ۵ که در مجاورت هم برداشت شده اند، آنومالی فلزی و کانی سازی از نوع سرب و روی با احتمال نسبتاً بالایی، قابل مشاهده است. همانگونه که در تفسیر این دو پروفیل نیز ذکر شد، در محلهای برداشت این دو پروفیل آثار حفاری و تونلهای قدیمی برای استخراج نیز به چشم می خورد که در باطله های

این حفاری ها به وفور کانیهای گالن و اسفالریت قابل مشاهده است. نکته قابل تأمل در اینجا این است که این حفاریها تماماً سطحی بوده و حداکثر تا عمق ۶ تا ۷ متری پیش رفته اند؛ در حالیکه آنومالی مشاهده شده در مدل حاکی از وجود کانی سازی و حتی هاله آن در عمق بیش از ۲۰ متر می باشد.

پیشنهادی که در اینجا می توان ارائه داد این است که از آنجا که در ادامه این پروژه اکتشافی عملیات حفاری نیز در دست اجرا می باشد، برای اثبات هر چه دقیقتر این آنومالیها و تعیین خصوصیات و تیپ کانسار، در محل پروفیل بالا کوه ۴ در موقعیت ۱۰۵ متری از مبدأ یک حفاری به عمق حداقل ۴۳ متر و یک حفاری دیگر در موقعیت ۱۶۷ متری از مبدأ و به عمق حداقل ۲۵ متر (مطابق شکل ۴-۲۲) و در پروفیل بالا کوه ۵ یک حفاری در موقعیت ۱۰۰ متری از مبدأ و عمق حداقل ۶۵ متر همراه با مغزه گیری و مطالعه آنها، صورت گیرد.

پیشنهاد دیگر، انجام مدلسازی سه بعدی از منطقه بالا کوه می باشد. این پیشنهاد به علت توپوگرافی بسیار شدید منطقه می باشد. در کل مدلسازی اصولی برای مناطق با توپوگرافی شدید، باید سه بعدی انجام پذیرد. که این امر توسط نرم افزار RES3DINV میسر می شود. لازمه این نوع مدلسازی، برداشت نزدیکتر و متراکم تر داده های ژئوفیزیکی می باشد.

بعنوان پیشنهاد دیگر می توان اجرای روش ژئوفیزیکی پلاریزاسیون القایی طیفی (SIP) را مطرح کرد. این روش قابلیت جدایش کانیهای فلزی را از غیر فلزی دارد که این توانایی باعث تشخیص و تمایز پیریت از کانیهای هدف، یعنی گالن و اسفالریت می شود. از آنجا که این تمایز، در الگوهای بکار رفته در این تحقیق غیر قابل دسترسی است و نیز اینکه احتمال بروز اینگونه اختلاط یعنی همراهی پیریت با کانیهای گالن و اسفالریت و حتی وجود پیریت به تنهایی که باعث بروز آنومالیهای کاذب می شود، محتمل است، این الگو می تواند بسیار مفید واقع شود.

در کل پیشنهاد می شود که ادامه عملیات اکتشافی بر روی منطقه بالا کوه متمرکز شود.

## فهرست منابع و مآخذ

- ۱- کلاگری ع.ا. (۱۳۷۱) اصول اکتشافات ژئوفیزیکی.
- ۲- دبلیو - ام - تلفورد، ال - پی - جرارت، ار - ای - شریف، دی - ای - کینز، مترجم دکتر حاجب حسینی، 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- دکتر مرادزاده ع. (۱۳۸۴). جزوه درسی مدلسازی. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۵- چاکری م. (۱۳۸۴). مدلسازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۶- حسن زاده. (۱۳۸۲). مدلسازی توام داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی در اکتشاف آبهای زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- باقری ا. (۱۳۸۴). تهیه مدل آبخوان دشت امان آباد اراک با وارون سازی داده های مقاومت ویژه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۸- حمزه پور ب. (۱۳۸۱). زمین شناسی منطقه کلور. سازمان زمین شناسی کشور.
- ۹- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ورقه خلخال در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. (۱۳۷۷). اداره کل معادن و فلزات استان گیلان.

۱۰- گزارش پتانسیل یابی مواد معدنی در منطقه جنوب خلخال. (۱۳۷۴). اداره کل معادن و فلزات استان اردبیل.

۱۱- گزارش شناسایی مواد معدنی در سازندهای کربناته بخش نمین و خلخال، استان اردبیل. (۱۳۷۹). سازمان معادن و فلزات استان اردبیل.

۱۲- گزارش پی جویی مقدماتی گیوی پایین، از منطقه خلخال. (۱۳۷۳). اداره کل معادن و فلزات استان اردبیل.

۱۳- آل هاشم، تهرانی خ. (۱۳۵۱). مطالعه چینه شناسی حد کرتاسه - ائوسن در نواحی خلخال دانشگاه تهران سال ۱۳۵۱

14- Barker R.D. Loke M.H. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1685.

15- Bootroyd D. Cull J.P. 1995. Time domain and complex resistivity data. 8, 49-55

16- Coggon J.H. 1971. Electromagnetic and electrical modeling by the finite element method; *Geophysics, soc. of Expl.* 75, 245.

17- Constable S.C. Parker R.L. Constable C.G. 1978. Occam's inversion: A partial algorithm for generation smooth models from electromagnetic sounding data. 19, 68.

18- De Groot - Hedlin C. Constable S. 2004. Inversion of magnetotelluric data for 2D structure with sharp resistivity contrasts. 278-284

19- Dey A. Morrison H.F. 1979. Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. *Geophysics* 44, 753-780.

20- Dimri V. 1992. Deconvolution and inverse theory, Application to Geophysical problems. Elsevier. 24, 65, 115

21- Ellis R.G. Oldenburg D.W. 1994. Applied geophysical inversion. *Geophysical journal international*. 58, 5 - 9

22- Hohmann. G.W. IWS. Three-dimensional induced polarization and electro magnetic modeling. *Geophysical Journal*. 309, 324

23- Holcombe H.T. Jiracek G.R. 1984 Three-dimensional terrain correction resistivity surveys: *Geophysics Soc. Of Exp 1. Geophysics*. 49,439-452

24- Lanczos C. 1961. Linear differential operators, van nostrand. New York. 29,33

- 25- Loke M.H. 2000. Topographic modeling in resistivity imaging inversion. 62 nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstracts. 45, 124-126
- 26- Marquardt D.W.1970. Generalized inverses ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. *Technometrics* 12,591-612
- 27- Merkcl. K.H. Almander S.S. 1971. Resistivity analysis for models of a sphere in a half-space with buried current sources. *Geophysics. Probp.* 19, 640-651.
- 28- Oldenburg D.W. Ellis V . 1994. Inversion of induced polarization data: *Geophysics Soc. Of Exp 1. Geophysics*, 59, 1327-1341
- 29 RESIXIP2DI USER`S MANUAL. 1993
- 30- Trofimenkoff F.N. Haslett J.W. Johnston R.H. Klassen A.1995. Complex Resistivity Response of a Buried vertical cylindrical body in a homogeneous earth .*Canadian Journal of Exploration Geophysics*. 1995. 54-62.
- 31- Zhdanov M.S. 2002. Geophysical inverse theory and regularization problems. Elsevier. 124, 130-132.
- 32- Zonge K.L. Hughes L.J. 1980. The complex resistivity method. *Zonge Engineering & Research Organization, Inc.* 255, 287, 324.

۱ - داده های خام پروفیل بالاکوه ۳

```

profile balaku3
30
3
21
0
1
Chargeability
msec
0.01 1.5
0 30 1 46.78 3.07
30 30 1 2800 2.58
60 30 1 247.26 5.6
90 30 1 136.59 15.45
120 30 1 427.91 1.17
150 30 1 878.46 0.65
0 30 2 444.25 31.42
30 30 2 224 9.72
60 30 2 54.47 63..05
90 30 2 35.51 88.04
120 30 2 112.55 -9.26
0 30 3 58.08 219.43|
30 30 3 54.98 43.39
60 30 3 10.98 121.39
90 30 3 13.34 160.85
0 30 4 12.52 506.76
30 30 4 23.4 75.51
60 30 4 4.87 225.4
0 30 5 4.65 834.85
30 30 5 11.75 161.31
0 30 6 17.19 111.57
2
7
60 2114.2
90 2127.83
120 2140.73
150 2172.4
180 2151.73
240 2161.95
210 2172.093
1
0
0
0
0
0
0
0

```

## عنوان و چکیده پایان نامه به انگلیسی

### **Title :**

Surveying, modeling and interpretation of IP and resistivity data for exploration of Lead and Zinc deposits in the Khalkhal area.

### **Abstract :**

This research includes surveying and data acquisition, prepare resistivity and charchability pseudosections and data modeling, data interpretation that is the aim of exploration of Lead and Zinc deposits in the Khalkhal area.

The selected geophysical methods are resistivity and induced polarization (IP) methods. The used array is dipole – dipole. In total, this surveying draws on dipole – dipole 10 profile.

Pseudosections preparation and data modeling was performed by the use of two softwares, RES2DINV and RESIXIP2DI. In RES2DINV software, models are done by smoothing inversion method and in RESIXIP2DI software, models are done by parametric inversion method.

For determining the modeling selection method being informed by chosen method theory and mathematical calculation quality, is preferable. Since mastery on this subject can be very effective and useful in trust level determination to achieved model and interpretations. So, in this research witch modeling is fulfilled with two methods, smooth and parametric by two different softwares, the most important pare of it to compare results of these two patterns to achieve the best model that has the most accommodation with land's reality.



As mentioned before, interpretations are occurred based on modeling and results geologic information, out comes of samples analysis which in other exploratory steps of this project was performed and their results are available and in these comments will be told which in Bala Koh 4 profile and Bala Koh 5 profile, metal anomaly was observed and the remainder profiles are lack of this quality. Due to this, necessary offers for continuing.