

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سازمان مدیریت و برنامه ریزی  
استان سمنان

دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

طرح پژوهشی

# اکتشاف آبهای زیر زمینی در استان سمنان

(مطالعه دشت های اطراف شاهرود)

مجری طرح  
دکتر علی مرادزاده

ناظر  
حمید رضا عزیزالدین

## سابقه کار پژوهشی

لازم به ذکر است که این کار تحقیقاتی در قالب قرارداد پژوهشی شماره ۱۰/۶۱۵۳ مورخ ۷۹/۱۲/۲۸ و همچنین متمم شماره ۵۰/۶۰۷۴ مورخ ۱۳۸۳/۱۰/۲۷ فی مابین معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود و اینجانب علی مرادزاده انجام شده و علی رغم انجام به موقع کارهای صحرائی و از دست رفتن فایل‌های کامپیوتری مربوط به تعبیر و تفسیر داده‌ها گزارش نهایی آن به تعویق افتاده است.

## تشکر و قدردانی

الهی شکر که پاهای لرزان مرا در راه علم توانا ساختی و به امیدت که همیشه در وادی علم استوارشان سازی

اکنون که به فضل الهی انجام این پروژه تحقیقاتی به پایان رسیده است بر خود لازم می دانم که سپاس بی کران خود را از کلیه عزیزان که در به ثمر رسیدن نتایج این کار پژوهشی سهیم بوده اند، بیان نمایم. قبل از همه از سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان سمنان به خاطر تامین اعتبار طرح و همچنین از ریاست و معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود در به تصویب رسانیدن این طرح و از جناب آقای مهندس صائم مدیریت وقت اداره آبهای زیرزمینی شهرستان شاهرود و دیگر همکاران محترمشان در انتخاب محل اجرای طرح و در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم، صمیمانه تشکر می گردد. بعلاوه از کارشناسان سازمان مدیریت برنامه ریزی استان علی الخصوص آقایان عزیزالدین و دینانی به خاطر زحمات، راهنمایی ها و صبر و حوصله شان در تنظیم گزارش نهایی نهایت سپاس و تشکر بعمل می آید.

از آقایان دکتر کامکار روحانی، مهندس صبوری، مهندس کبیریان، آقای فرهاد مرادزاده و مهندس عامری و دیگر دوستان که در کلیه مراحل برداشت داده ها و انجام عملیات صحرائی همواره یار و همکارم بوده اند و زحمات زیادی را متقبل شده اند کمال امتنان را دارم. در خاتمه از دوستان و همکاران عزیز دانشگاهی آقایان دکتر قاسمی، دکتر کرمی، دکتر دولتی، دکتر کاکایی و دکتر کامکار که در تهیه و تدوین گزارش نهایی راهنمایی های ارزنده ای به این حقیر ارائه نموده اند و همچنین از مدیریت اداره راه شهرستان شاهرود برای دادن مجوزهای لازم استفاده از راهدارخانه گورخان و آقای رفعتی از کشاورزان منطقه که کمال همکاری را برای عملیات صحرائی داشتند تشکر و قدردانی می گردد. امیدوارم که نتایج این کار تحقیقاتی برای منطقه مورد نظر و انجام کارهای مشابه در دیگر نقاط استان مفید واقع شود.

## چکیده:

آب زیر زمینی بخشی از آبهای زیر سطح زمین است که غالباً توسط چاه و قنات جهت تامین آب مورد نیاز مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد بهره برداری قرار می گیرد. با توجه به نقش منابع آب زیر زمینی در توسعه و آبادانی روستاها و شهرهای کشورمان، اکتشاف، شناسایی و بهره برداری اصولی آنها به خصوص در مناطق خشک و فاقد آبهای دائمی سطحی اهمیت زیادی دارد.

روش های اکتشاف منابع آب زیر زمینی به دو دسته اکتشاف مستقیم و اکتشاف غیر مستقیم تقسیم می گردند. در روش های مستقیم وضعیت آب زیر زمینی با حفاری یکسری چاه مورد مطالعه قرار می گیرد که انجام آنها بسیار پرهزینه است. به همین خاطر در مناطقی که اطلاعات زیادی از وضعیت آب زیر زمینی موجود نمی باشد در ابتدا سعی می گردد از روش های غیر مستقیم استفاده نمود تا وجود یا عدم وجود سفره آب مناسب را در یک منطقه به اثبات رساند و سپس در مراحل بعدی برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی لایه آبدار و استخراج آب اقدام به حفاری نمود. استفاده از روشهای مختلف ژئوفیزیکی یکی از راهکارهای موثر، ارزان قیمت و سریع اکتشافی است که به طور غیر مستقیم به اکتشاف سفره های آب زیرزمینی می پردازد.

در پروژه حاضر، هدف اصلی بر آن بوده است تا به کمک روشهای ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی وضعیت سفره آب زیر زمینی منطقه گورخان واقع در ۴۰ کیلومتری شمال شرق شاهرود در محدوده ای به وسعت حدود ۱۵ کیلومتر مربع تا عمق بیش از ۲۰۰ متر مورد بررسی قرار گیرد و پس از تهیه نقشه های لازم مناسب ترین محل ها برای حفاری چاه های آب ارائه شوند. جهت نیل به هدف با در نظر گرفتن زمین شناسی و وسعت منطقه و از همه مهم تر سقف بودجه در نظر گرفته شده از روش سونداژ زنی مقاومت ویژه به فواصل ۵۰۰ متر از هم استفاده شده است. علاوه بر آن برای مشخص نمودن نوع سنگ کف سفره آبدار، سونداژ زنی پلاریزاسیون القایی نیز در چند محل (ایستگاه) انجام گردیده است. پس از انجام عملیات صحرائی داده ها مورد تصحیحات لازم قرار گرفته و با انجام مدل سازی های مناسب یک و دو بعدی مورد تفسیر کیفی و کمی قرار گرفته اند. در مجموع نتایج نشان می دهد که منطقه از پتانسیل آب زیر زمینی خوبی برخوردار بوده و سطح آب زیر زمینی در عمق ۵۰ تا ۷۰ متری از سطح زمین قرار دارد. علاوه بر آن مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج حفاری های موجود و زمین شناسی منطقه نشان می دهد که مدل سازی های صورت گرفته از دقت خوبی در تعیین گسترش سطحی و عمقی سفره آب زیر زمینی برخوردار است.

در پایان با استفاده از نتایج به دست آمده، نقشه هم عمق و همچنین نقشه تراز سطح آب زیر زمینی (ایزو پیز) منطقه تهیه گردید و بر اساس آنها دو ناحیه با الویت اول و دوم برای حفاری های آتی پیشنهاد گردیدند.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: مقدمه و کلیات</b>
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ سفره های آب زیرزمینی
۵	۳-۱ چگونگی اکتشاف آب زیر زمینی و تعیین محل چاه
۶	۴-۱ روش های ژئوفیزیکی مورد استفاده در اکتشاف آب زیر زمینی
۹	۵-۱ ضرورت و هدف از مطالعه حاضر
۱۰	۶-۱ ساختار گزارش
	<b>فصل دوم: آشنایی با منطقه و روش های اندازه گیری</b>
۱۱	۱-۲ مقدمه
۱۱	۲-۲ محل و موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه
۱۳	۳-۲ زمین شناسی منطقه
۱۶	۴-۲ اصول و مبانی روش های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی
۱۹	۵-۲ پدیده پلاریزاسیون القایی

۲۲	۶-۲ انتخاب آرایش مناسب برای انجام عملیات ژئوفیزیکی
۲۷	۷-۲ چگونگی عملیات صحرایی و طراحی شبکه برداشت داده ها
۲۸	۸-۲ شرح تهیه نقشه موقعیت نقاط و پروفیل های برداشت
۳۱	۹-۲ مشخصات دستگاه اندازه گیری

### فصل سوم: ارائه، مدل سازی و تفسیر داده ها

۳۳	۱-۳ مقدمه
۳۴	۲-۳ ارائه داده ها و تفسیر کیفی آنها
۳۸	۱-۲-۳ نقشه مقاومت ویژه ظاهری اعماق مختلف
۴۵	۳-۳ مدل سازی و تفسیر کمی داده ها
۴۵	۱-۳-۳ مدل سازی یک بعدی داده ها
۵۱	۱-۱-۳-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۱
۵۳	۲-۱-۳-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۲
۵۶	۳-۱-۳-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۳
۵۸	۴-۱-۳-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۴
۶۱	۵-۱-۳-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۵
۶۴	۲-۳-۳ مدل سازی دو بعدی داده ها
۶۵	۱-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۱
۶۶	۲-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۲
۶۸	۳-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۳
۶۹	۴-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۴
۷۱	۵-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۵

## فصل چهارم : جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۷۴	۱-۴ جمع بندی
۷۵	۲-۴ نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۰	منابع و مراجع
۸۳	پیوست الف: جداول مقاومت ویژه و بارپذیری
۹۰	پیوست ب: نتایج مدل سازی یک بعدی



## فصل اول: مقدمه و کلیات

### ۱-۱ مقدمه

آب زیر زمینی بخشی از آبهای زیر سطح زمین است که توسط چاه، قنات یا وسایل دیگر استخراج شده و یا اینکه بطور طبیعی به سطح زمین راه پیدا کند. آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تامین آب شیرین مورد نیاز برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی است که بهره برداری از چنین منابعی از توسعه زیادی برخوردار بوده است. استفاده از آبهای زیر زمینی، به خصوص در مناطق خشک و نقاطی که دور از رودخانه و دریاچه های آب شیرین می باشند غالباً تنها راه تامین آب مورد نیاز انسان است. حتی در مواردی که منابع آبهای سطحی به اندازه کافی موجود باشد، و با آنکه استخراج آب زیر زمینی معمولاً گرانتر تمام می شود و مواد محلول آن بطور کلی بالاتر از مقدار املاح آب رودخانه ها است، بهره برداری از منابع آبهای زیر زمینی به علت کیفیت بهتر آنها ممکن است ترجیح داده شود. آبهای زیر زمینی معمولاً فاقد ارگانسیم های بیماری زا بوده و معمولاً نیاز به تصفیه آنها نمی باشد. این آبها همچنین بی رنگ و فاقد مواد تیره کننده بوده و آلودگی های سطحی تاثیر کمتری روی آنها دارند و به همین علت در بیشتر مناطقی که منابع آب سطحی قابل اطمینانی ندارند بهره برداری از آنها توسعه زیادی پیدا کرده است. در کشور ما که از مناطق نسبتاً خشک جهان و فاقد منابع آبهای سطحی کافی است بهره برداری از آبهای زیر زمینی از دیر باز رایج بوده است.

منشاء اصلی آب زیر زمینی بارش (آب جوی) است. آب باران ممکن است مستقیماً به داخل زمین نفوذ کند و یا آنکه ابتدا به صورت رودخانه و دریاچه در آمده و بعد به تدریج داخل زمین شود. در فصول سرد و مناطق کوهستانی که بارش ممکن است به صورت برف باشد قسمتی از آبهای زیر زمینی در اثر ذوب برف و یخ و نفوذ آب حاصله به داخل زمین تامین می شود. آب جوی پس از ورود به زمین فضاها و منافذ موجود در سنگها و رسوبات را پر کرده و در صورت شرایط مساعد زمین شناسی مخازن آب زیر زمینی را تشکیل می دهد. از نظر نحوه توزیع آب در زیر زمین دو منطقه مجزا قابل تشخیص است. اول منطقه تهویه<sup>۱</sup> که در بالا و مجاور سطح زمین قرار دارد و دوّم منطقه اشباع<sup>۲</sup> که در زیر منطقه تهویه واقع است. در منطقه تهویه قسمتی از منافذ از آب و قسمتی از هوا پر شده است ولی در منطقه اشباع تمام منافذ سنگ به وسیله آب اشغال شده است. سطح فوقانی منطقه اشباع را سطح ایستابی و یا سطح آب زیر زمینی می نامند. منطقه تهویه را به سه منطقه یا کمربند کوچکتر تقسیم می کنند که به ترتیب از سطح زمین به سمت عمق به کمربند رطوبت خاک، کمربند حدواسط و کمربند موئینه منتهی می شود. در منطقه تهویه آب توسط دانه های خاک یا سایر مواد زیر زمینی به وسیله نیروی کاپیلر (در کمربند موئینه) و نیروی جاذبه مولکولی (در کمربند حدواسط) نگهداری می شود و در حالی که هنوز قادر به حرکت در منطقه تهویه است [۱] نمی تواند به بیرون از منطقه یعنی به داخل چاه ها یا سایر جاهایی که در معرض فشار اتمسفری هستند حرکت کند. در زیر سطح ایستابی فشار آب بیشتر از فشار اتمسفر است و به همین علت آب زیر زمینی در این منطقه به طور آزاد به داخل چاه ها جریان پیدا می کند.

### ۱-۲ سفره های آب زیرزمینی

به لایه یا سازندهای قابل نفوذی که دارای مقادیر قابل توجهی آب باشند و آب به راحتی در آن جریان یابد لایه آبدار یا سفره آب<sup>۳</sup> زیر زمینی گفته می شود. سفره آب زیر زمینی ممکن است در

<sup>۱</sup> Aeration zone

<sup>۲</sup> Saturated zone

<sup>۳</sup> Aquifer

بسیاری از سنگها و رسوبات وجود داشته باشند ، ولی اکثر سفره های با بازدهی قابل توجه در رسوبات ناپیوسته شنی و ماسه ای تشکیل می گردند. این رسوبات که به صورت آبرفت توسط رودها در دره های آبرفتی و بستر قدیمی رودخانه های پوشیده از رسوبات ریز (دره های مدفون)، در دشتهای ساحلی و سایر دشتهای برجای گذاشته می شوند معمولاً سفره آبهای زیر زمینی خوبی را تشکیل می دهند. از این نظر ماسه سنگها از نظر لایه آبدار مواد مطلوبی هستند و سنگ آهکهای پوک و حفره دار با کانال های ایجاد شده در اثر انحلال، غارها و رودهای زیر زمینی، و سایر پیشرفتگی های کارستی می توانند سفره های آبدار با دبی زیاد محسوب شوند.

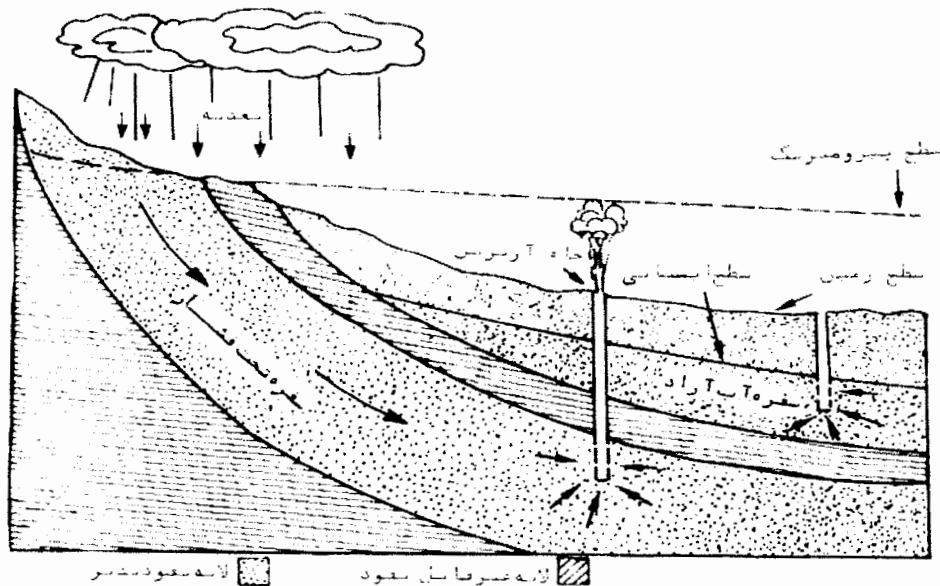
بسیاری از دشتهای آبرفتی کشورمان که در دامنه های رشته کوههای البرز و زاگرس قرار می گیرند دارای سفره های آب زیر زمینی خوب می باشند و آب آنها از طریق چاه یا قنات به سطح زمین آورده می شود و بخش مهمی از آبهای مورد نیاز برای مصارف گوناگون را تامین می کند. سنگهای بلورین آذرین و دگرگونی نظیر گرانیت ، گنیس و غیره نیز تنها موقعی که با متلاشی شدن و شکستگی شکاف دار گردند می توانند بعنوان لایه های آبدار با دبی قابل توجه تلقی گردند. سنگهای آتشفشانی از لحاظ بودنشان برای توسعه آب زیر زمینی بسیار متفاوت هستند. بعضی از بازالت ها فوق العاده قابل نفوذ بوده و چاه های حفر شده در آنها جزو مولدترین چاه ها می باشند. از طرف دیگر توفها اگرچه متخلخل می باشند ولی غالباً دارای نفوذپذیری پایین هستند. بعضی از گدازه ها و بازالت ها طوری قابل نفوذ هستند که آب را تنها اگر توسط موانع هیدرولیکی نظیر دایک های عمودی ، گسل ها، رشته کوه ها ، بسترهای خاکستر آتشفشانی ، لایه های گدازه و یا سایر مناطق با قابلیت نفوذ کم نگهداری شده باشد، در خود می گیرد.

سفره های آب زیر زمینی به دو دسته سفره های نامحصور(آزاد)<sup>۱</sup> و سفره های محبوس(تحت فشار)<sup>۲</sup> تقسیم می شوند. در سفره های آزاد سطح ایستابی همان سطح فوقانی منطقه اشباع است و مقدار فشار در روی آن برابر فشار اتمسفر است. سطح ایستابی سفره آزاد ، بسته به مقدار تغذیه و یا تخلیه

<sup>۱</sup> Unconfined (free) aquifer

<sup>۲</sup> Confined (Pressure) aquifer

آن ، آزادانه نوسان می کند زیرا لایه غیر قابل نفوذی در روی آن قرار ندارد. سطح فوقانی سفره آب یا سطح ایستابی همواره افقی نیست و بطور طبیعی از محل تغذیه آن به سمت محل تخلیه دارای شیب است. در صورتی که مقدار تغذیه افزایش یابد، شیب سطح ایستابی نیز بیشتر می شود و افزوده شدن شیب سطح ایستابی نیز به نوبه خودش سرعت جریان آب زیر زمینی را بیشتر می کند. حد پایین سفره های آزاد طبقه ای است که از خود لایه آبدار قابلیت نفوذ کمتری دارد. چنین طبقات غیر قابل نفوذ ممکن است شامل رس یا مواد دیگر با دانه بندی ریز ، شیست رسی ، سنگ آهک سخت ، سنگ آذرین یا لایه سنگی دیگر باشد. لایه های آبدار آزاد غالباً در دره های رسوبی ، دشت های ساحلی- شن های روان (تپه های شنی) و رسوبات یخچالی پیدا می شوند. عمق آنها از چند متر (یا کمتر) تا چندین صد متر یا بیشتر فرق می کند. منبع اصلی آب زیرزمینی در سفره های آبدار آزاد نفوذ قسمتی از بارش می باشد که این آبها از خاک بالای لایه آبدار ، به طور مستقیم (وقتی که روی خاک می بارد) یا بطور غیر مستقیم (از طریق جریانات سطحی) نفوذ می کند و یا از دریاچه ها و رودها تراوش می نماید. در دره هایی که تحت آبیاری قرار دارد آبی که توسط گیاهان جذب نشده باشد می تواند به سوی پایین تر از منطقه ریشه ها نفوذ کند و به لایه آبدار برسد. سفره های تحت فشار در محلی تشکیل می شوند که لایه آبدار به وسیله دو لایه با قابلیت نفوذ خیلی کم از بالا و پایین محدود می گردد و بنابر این تحت فشاری بیش از از فشار اتمسفر است و اگر چاهی در آن حفر کنیم سطح آب از محل طبیعی خود بالاتر می آید و گاهی اوقات نیز از دهانه چاه فوران ( آرتزین) می کند. شکل ۱-۱ شمایی از سفره های آب آزاد و تحت فشار را نشان می دهد. علت آنکه در سفره های تحت فشار آب از محل خود بالاتر می آید آن است که محل تغذیه سفره در ارتفاع بیش از سطح آب زیر زمینی قرار دارد.



شکل ۱-۱: شمایی از سفره های آب آزاد و تحت فشار [ ۹ ]

در سفره های تحت فشار به جای سطح ایستابی ، سطح پیزومتریک را که یک سطح فرضی است که در هر نقطه با ارتفاع فشار هیدروستاتیک آب در سفره تحت فشار مطابقت دارد در نظر می گیرند. عبارت دیگر سطح پیزومتریک سطحی است که در هر نقطه در صورت حفر یک چاه ، ارتفاع فوران آب را از سفره تحت فشار نشان می دهد. منبع آب سفره های تحت فشار غالباً بارش است که ممکن است با حرکت از بین لایه های محصور کننده یا با نفوذ مستقیم از قسمتی که این لایه مطابق شکل ۱-۱ در سطح زمین رخنمون دارد همراه باشد [۱].

### ۳-۱ چگونگی اکتشاف آب زیر زمینی و تعیین محل چاه

نخستین مرحله در توسعه موفقیت آمیز منابع آب زیر زمینی انتخاب محل های مناسب برای حفر چاه است. اول باید وجود سفره های آب مناسب معلوم شود و سپس بهترین محل برای چاه یا چاه ها از دیدگاه کمی ، کیفی عمق آب زیر زمینی و نبودن منبع آلودگی پیدا شود. اگر در یک ناحیه بخصوص که هیدرولوژی آب زیر زمینی آن نسبتاً شناخته شده باشد و علاوه بر آن چاه هایی در آن ناحیه وجود داشته باشد تعیین محل مناسب چاه بدون بررسی ها و مطالعات مفصل تا حدودی امکان پذیر است در غیر اینصورت نیاز به یکسری مطالعه و اکتشاف فشرده می باشد.

اصولاً روشهایی که برای اکتشاف منابع آب زیر زمینی بکار می روند را می توان به روش های اکتشاف مستقیم و روش های اکتشاف غیر مستقیم تقسیم کرد. در روش های مستقیم که بهترین روش اکتشاف است وضعیت آب زیر زمینی با حفاری یکسری چاه مورد مطالعه قرار می گیرد که البته انجام چنین حفاری هایی بسیار پر هزینه است و به همین جهت در مناطقی که اطلاعات زیادی از وضعیت آب زیر زمینی موجود نمی باشد در ابتدا سعی می گردد از روش های غیر مستقیم استفاده نمود تا وجود یا عدم وجود سفره آب مناسب را در یک منطقه به اثبات رساند و سپس در مراحل بعدی برای معین نمودن خصوصیات هیدرولیکی لایه آبدار، تعیین کیفیت آب و از همه مهم تر برای استخراج آب اقدام به حفاری نمود.

در روش های غیر مستقیم، ابتدا با انجام یکسری بررسی های زمین شناسی و مطالعات هیدرولوژی و با استفاده از نقشه های زمین شناسی، عکس های هوایی و مشاهدات زمینی لایه هایی که بالنسبه قابل نفوذ می باشند تعیین می شوند و سپس با توجه به پستی و بلندی زمین و بررسی های هیدرولوژی، پتانسیل لایه های نفوذ پذیر از نظر وجود آب مورد مطالعه قرار می گیرد. با تکمیل شدن اینگونه مطالعات و برای به دست آوردن اطلاعات دقیق تر در باره شرایط لایه های زیر زمین، نظیر جنس و عمق مواد تحکیم یافته یا تحکیم نیافته، عمق منطقه شکاف دار یا متلاشی شده، عمق سطح آب زیر زمینی، عمق سنگ کف و مقدار نمک آب زیر زمینی اکتشاف ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار می گیرد که بسته به نوع، عمق، محل تجسس و محل قرار گیری سفره متفاوت می باشند.

#### ۴-۱ روش های ژئوفیزیکی مورد استفاده در اکتشاف آب زیر زمینی

روش های مناسب ژئوفیزیکی سطحی برای مطالعات آب زیر زمینی متنوع می باشند که حسب شرایط مورد نظر می توان از یک یا دوتای آن بطور همزمان استفاده نمود. این روش ها شامل روش های پتانسیل خودزا (SP)<sup>۱</sup>، روش الکترومغناطیس با فرکانس خیلی

<sup>۱</sup> Self Potential

پایین (VLF)<sup>۱</sup>، روش الکترومغناطیس زمان حوزه ای (TDEM)<sup>۲</sup>، روش لرزه ای انکساری، روش تشدید مغناطیسی پروتون سطحی (SPMR)<sup>۳</sup>، رادار نفوذ کننده به زمین (GPR)<sup>۴</sup>، روش ثقل سنجی و روش های مقاومت ویژه (RS)<sup>۵</sup> و پلاریزاسیون القایی (IP)<sup>۶</sup> اشاره نمود. هر یک از روش های مذکور دارای مزایا و معایبی می باشند که ذیلاً به آنها اشاره می شود.

روش SP در مناطقی که تغییرات پتانسیل خودزای زمین، به دلیل جریان داشتن آب در لایه های زیر سطحی و یا وجود دکل های برق در اطراف آن، زیاد می باشد، کارائی ندارد. مزیت عمده این روش، سهولت عملیات صحرائی و پایین بودن هزینه آن می باشد.

روش VLF نیازی به استفاده از منابع مصنوعی (بعنوان فرستنده) نداشته و توانایی برداشت تعداد نقاط زیادی را در یک روز عملیات دارا می باشد. این روش در شناسایی ساختارهای شیب دار، از موفقیت زیادی برخوردار می باشد، با این همه به دلیل پایین بودن عمق اکتشاف آن کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

روش TDEM نیز گرچه دارای هزینه عملیات صحرائی بالایی است اما به عنوان یک روش مکمل روش های مقاومت ویژه مورد استفاده قرار می گیرد. کارائی این روش در رفع مشکل مربوط به اصل هم ارزی، در برداشت های مقاومت ویژه قابل توجه می باشد [۲۰].

روش SPMR از دقت بالایی برای اکتشاف سطح آب زیر زمینی برخوردار می باشد، به گونه ای که توسط آن حتی می توان تخلخل و نفوذپذیری لایه های زیر سطحی را نیز به دست آورد. استفاده از این روش به دلیل بالا بودن هزینه عملیات صحرائی و دستگاه و تجهیزات مورد استفاده در آن و همچنین حساسیت آن به میادین مغناطیسی مصنوعی (مانند دکل های برق) و آلودگی های هیدروکربنی موجود در محل، در کشور ما چندان مورد استفاده قرار نگرفته است.

<sup>۱</sup> Very Low Frequency      <sup>۲</sup> Time Domain Electromagnetic

<sup>۳</sup> Surface Proton Magnetic Resonance

<sup>۴</sup> Ground Penetration Radar

<sup>۵</sup> Electrical Resistivity

<sup>۶</sup> Induced Polarization

روش GPR دارای دقت نسبتاً خوبی برای اکتشاف آب زیر زمینی بوده و هزینه عملیاتی آن نیز پایین می باشد، اما به دلیل پایین بودن عمق اکتشاف آن (۶۰-۵۰ متر) ، زیاد مورد توجه قرار نمی گیرد خصوصاً اگر اکتشاف آبهای زیرزمینی در اعماق زیاد مورد نظر باشد [۳].

روش لرزه ای انکساری یکی از روشهای رایج در اکتشاف آب زیر زمینی می باشد که کاربرد آن همراه با موفقیت زیادی در اکتشاف منابع آبهای زیر زمینی برخوردار است ، اما به دلیل هزینه بسیار زیاد عملیات صحرائی آن در مقابل روش های معمول مورد استفاده در این زمینه، کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

روش ثقل سنجی جهت تعیین عمق سنگ کف در رسوبات آبرفتی و مشخص کردن آبراهه های مدفون مورد استفاده قرار می گیرد [۲۶].

روش های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی، گرچه دارای حداقل هزینه عملیات صحرائی در مقابل روش های دیگر مانند روش لرزه ای بوده و علاوه بر آن تجهیزات مورد نیاز آنها نسبت به بقیه روشها، دارای قیمت مناسب تری می باشند، با این وجود به دلیل عدم قطعیت نتایج به دست آمده توسط هر یک از این روشها (به تنهایی) و برخی محدودیت های دیگر آنها، در پروژه هایی که نیاز به دقت زیاد داشته و دارای شرایط خاص می باشند (به عنوان مثال اکتشاف آب در مناطق دارای لایه های رسی) ، اغلب به همراه یکدیگر، مورد استفاده قرار می گیرد.

بطور خلاصه می توان گفت که در مجموع روش های مقاومت ویژه، لرزه ای انکساری و الکترومغناطیس در حوزه زمان جزو روش های اصلی و روش های ثقل سنجی ، پلاریزاسیون القایی و بعضی دیگر از روش های الکترومغناطیس در حوزه فرکانسی جزو روش های کمکی و مکمل برای اکتشاف منابع آب زیر زمینی می باشند.

در پروژه حاضر، با توجه به اینکه هیچ گونه مطالعات اولیه ژئوفیزیکی در منطقه مورد نظر صورت نگرفته است و با توجه به طرح اولیه پیشنهادی ، وسعت منطقه و زمین شناسی آن



و از همه مهم تر سقف بودجه در نظر گرفته شده از روش سونداژ زنی مقاومت ویژه استفاده می گردد و علاوه بر آن برای روشن شدن بعضی از ابهامات و مشخص نمودن نوع سنگ کف سفره آبدار، سونداژ زنی پلاریزاسیون القایی نیز علاوه بر برداشت داده های مقاومت ویژه در چند نقطه اندازه گیری (ایستگاه) انجام می گیرد. به همین خاطر در فصل آینده قبل از شرح چگونگی برداشت داده های مورد نیاز مختصری در مورد روش مقاومت ویژه و روش پلاریزاسیون القایی بحث خواهد شد.

### ۱-۵ ضرورت و هدف از مطالعه حاضر

استان سمنان در منطقه گرم و خشک کشورمان واقع شده است و سطح وسیعی از آن را مراتع و مناطق کویری کم آب تشکیل می دهند. با توجه به اینکه حجم آب های جاری ورودی به زمین های استان بسیار کم بوده و آنهم به جز یک مورد (رودخانه حبله رود که به دشت گرمسار و آرادان می ریزد) بقیه به صورت فصلی می باشد از این رو جستجوی سیستماتیک منابع آب زیر زمینی با روش های مناسب و کم هزینه از اهم واجبات برای توسعه بخشهای کشاورزی، صنعت و حتی تامین آب شرب مورد نیاز شهرها و روستاها است. برای حل چنین مشکلی بایستی با بهره گیری از علوم و تکنولوژی روز و اتکا به نیروهای متخصص داخلی کشور و منطقه اقدام به شناسایی منابع آب زیر زمینی اقدام نمود و سپس با حفاری برنامه ریزی شده از آنها بهره برداری نمود تا انشالله شاهد رشد و شکوفایی استان و از همه مهمتر باعث اشتغال زایی هرچه بیشتر صنایع مختلف استان باشیم. پروژه حاضر نیز در جهت عینیت بخشیدن به اهداف یاد شده و در قالب یک قرارداد فی مابین دانشگاه صنعتی شاهرود و سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان طوری تنظیم شده است تا در وهله اول یکی از دشت های استان به وسعت تقریبی بیش از ۱۵ کیلومتر مربع با روش های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی مورد مطالعه قرار گیرد. با مشورت های بعمل آمده با مدیریت وقت اداره آب زیر زمینی شاهرود جناب آقای مهندس صائم و کارشناسان محترمشان و همچنین کارشناسان محترم سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان منطقه مورد نظر طوری انتخاب گردید که نتایج حاصل

از طرح بتواند جنبه کاربردی برای پیدا نمودن منابع آب زیر زمینی داشته باشد و علاوه بر آن منع قانونی برای دادن مجوز حفر چاه وجود نداشته باشد. با در نظر گرفتن موارد فوق نهایتاً دشت گورخان که در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شاهرود قرار گرفته است انتخاب گردید. مهمترین هدف پروژه حاضر شناسایی وجود آب زیر زمینی تا عمق حداکثر ۲۰۰ متر ، تعیین عمق سطح آب ، تعیین گسترش افقی و عمقی سفره آبدار ، تعیین نوع سنگهای روبره و جنس سنگ کف و از همه مهمتر تعیین بهترین محل برای حفاری چاه های آب جهت بهره برداری از آنها برای کشاورزی است. برای نیل به اهداف یاد شده همان طوریکه اشاره شد در این طرح از روش سونداژ زنی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی استفاده می شود که چگونگی انجام و جزئیات آن در فصول آتی خواهد آمد.

### ۱-۶ ساختار گزارش

همان طور که ملاحظه شد در این فصل مطالبی در مورد نقش و اهمیت آب زیر زمینی ، مناطق و لایه های مستعد برای وجود آب ، انواع سفره های آب زیر زمینی ، روش های اکتشاف آب زیر زمینی و ضرورت و هدف مطالعه حاضر تشریح گردید. در فصل بعدی ضمن آشنایی با محل و موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد نظر اصول و مبانی روش های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی شرح داده می شوند و در ادامه جزئیات طراحی شبکه برداشت ارائه و در مورد چگونگی اندازه گیری ها بحث خواهد شد. در فصل سوم ابتدا کیفیت داده ها مورد ارزیابی قرار گرفته و شرح داده می شود که داده ها چگونه اصلاح و مورد مدل سازی یک و دو بعدی قرار می گیرند. در ادامه همچنین اشاره خواهد شد که چگونه نتایج به دست آمده از مطالعات مورد تفسیر زمین شناسی برای مقاصد مورد نظر قرار می گیرند. در فصل پایانی مطالعات بعمل آمده با ارائه یکسری نقشه جمع بندی شده و در نهایت محل های مناسب برای حفاری چاه های آب پیشنهاد خواهند شد.

## فصل دوم : آشنایی با منطقه و روش های اندازه گیری

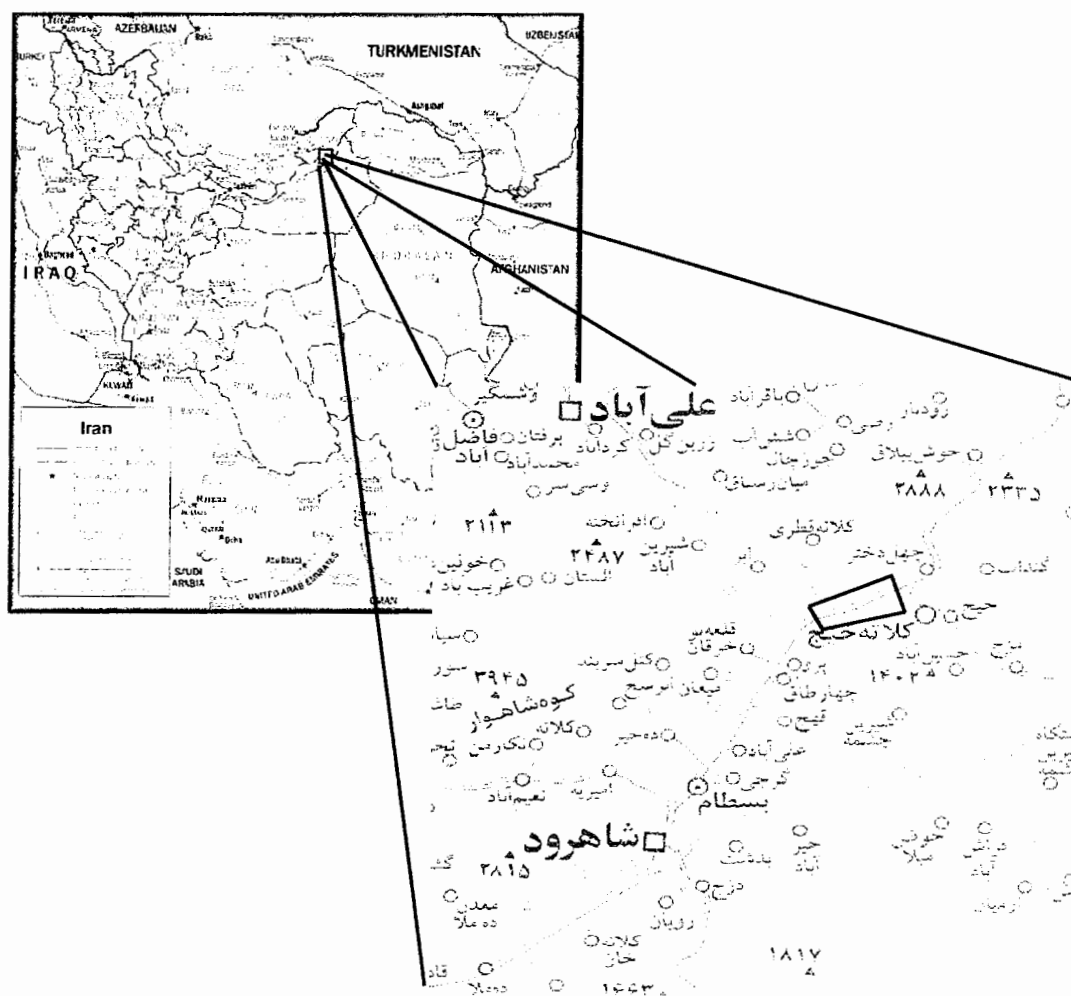
### ۱-۲ مقدمه

در این فصل ابتدا با محل و موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و زمین شناسی منطقه آشنا خواهیم شد و سپس با اصول و مبانی روش های اندازه گیری مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی و همچنین تغییرات مقاومت ویژه و بارپذیری سنگها و طبقات تشکیل دهنده زمین و لایه های آبدار آشنا خواهیم شد. در ادامه در مورد انتخاب آرایش الکترودی مورد استفاده و همچنین چگونگی طراحی شبکه و شیوه اندازه گیری داده ها بحث خواهد شد.

### ۲-۲ محل و موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه

منطقه مورد مطالعه که بخشی از دشت گورخان است در شمال شرق ایران و در ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شاهرود و در مسیر جاده آسفالتی شاهرود - آزادشهر نرسیده به پادگان چهل دختر و در استان سمنان قرار دارد. جاده شاهرود - آزادشهر این دشت را به دو بخش شمالی جنوبی تقسیم می کند طوری که قسمت اعظم بخش شمالی جزو منطقه نظامی است و هر گونه فعالیت در آن ممنوع است. از این رو غالب اندازه گیری های صورت گرفته (بجز پروفیل اول) در بخش جنوبی دشت قرار می گیرد. این دشت کلاً در دامنه جنوبی رشته کوه البرز قرار می گیرد و عمدتاً از

پادگانهای آبرفتی جوان ، مخروط افکنه ها و مسیرهای آبراهه ای عهد حاضر و پادگانها و مخروط افکنه های قدیمی تر تشکیل شده است. اجزاء سازنده این رسوبات به صورت قطعات درشت و ریز از هوازدگی ، تخریب و فرسایش رخنمونهای سازندهای مختلف مناطق مشرف به این دشت تامین شده است. دشت مزبور از شمال به ارتفاعات کلب درویش و سرخان که ادامه ارتفاعات خوش ییلاق هستند و از جنوب به ارتفاعات زرین کمر محدود می شود. هردو این ارتفاعات بخشی از زون البرز شرقی محسوب می گردند. شکل شماره ۲-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و همچنین کروکی راه های ارتباطی آن را نشان می دهد.



شکل ۲-۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و کروکی راه های دسترسی به منطقه [۱۰]

منطقه دارای زمستان های سرد و پر برف در ارتفاعات و تابستانهای گرم و خشک می باشد. بر اساس آمار گرفته شده از مرکز هواشناسی شاهرود میانگین بارش پنج سال اخیر در نزدیکترین ایستگاه منطقه که در روستای ابر (۵ کیلومتری شمال غرب منطقه) قرار گرفته به میزان ۲۲۳ میلیمتر گزارش شده است. بررسی عکس های هوایی و نقشه های زمین شناسی و همچنین مشاهدات صحرائی نشان می دهد که آبراهه های فراوانی وجود دارند که از ارتفاعات مشرف به دشت خصوصاً ارتفاعات شمالی سرچشمه گرفته و به دشت مورد مطالعه می ریزند. با توجه به زمین شناسی و مورفولوژی منطقه و علاوه بر آن وجود رسوبات نفوذپذیر در دشت، شرایط آب و هوایی و شواهدات هیدرولوژی همگی نشان دهنده پتانسیل خوب آبدهی منطقه می باشند که بایستی صحت و سقم آن با مطالعه حاضر مورد ارزیابی قرار گیرد.

در منطقه مورد مطالعه یک رشته قنات با آبدهی نسبتاً خوب وجود دارد که مادر چاه آن در ۶۰۰ متری غرب راه دارخانه گورخان قرار دارد. اندازه گیری صورت گرفته نشان می دهد که سطح آب زیر زمینی در آن در عمق ۴۵ متری قرار گرفته است. علاوه بر آن چاه آب حفاظت شده ای نیز در فاصله حدودی ۱۰۰ متری شرق راه دارخانه گورخان (برای تامین آب مورد نیاز پادگان چهل دختر) وجود دارد که به دلیل نظامی بودن منطقه امکان اندازه گیری سطح آب و یا گرفتن اطلاعات مربوط به آن میسر نبوده است. هم مادر چاه قنات و هم چاه آب پادگان هر دو در قسمت شمال جاده آسفالتی شاهرود- آزاد شهر قرار گرفته اند. در قسمت جنوبی دشت و در حین اندازه گیری هایمان و بعد از آن در خلال تکمیل گزارش چند حلقه چاه حفر شده است که در اعماق ۵۵ تا ۷۲ متری به آب برخورد نمودند. اطلاعات تکمیلی مربوط به این چاه ها در بخش بعدی می آید.

## ۲-۳ زمین شناسی منطقه

بررسی نقشه زمین شناسی منطقه که بخشی از آن در شکل ۲-۲ نشان داده شده است و همچنین مشاهدات صحرائی نشان می دهد که دشت مورد بررسی و ارتفاعات شمال منطقه (ارتفاعات کلب درویش و سرخان) به ترتیب سن از جدید به قدیم شامل رخنمون هایی از سازندهای زیر است:



شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ گرگان)، منطقه مورد بررسی بصورت چهارگوشی روی نقشه نشان داده شده است [۴].

دشت مورد بررسی از رسوبات آبرفتی عهد حاضر (کوآترنر) که از بالا به پایین (جدید به قدیم) عمدتاً از پادگانهای آبرفتی جوان، مخروط افکنه ها و مسیرهای آبراهه ای عهد حاضر و پادگانها و مخروط

افکنه های قدیمی تر تشکیل شده است. برابر نقشه زمین شناسی در قاعده این رسوبات آبرفتی یکسری رسوبات دانه ریز لس ، رس ماسه ای سیلت دار و رسوبات دانه ریز رسی قرار می گیرد. اجزاء سازنده این رسوبات به صورت قطعات درشت و ریز، عمدتاً از هوازدگی ، تخریب و فرسایش رخنمون های سازندهای مختلف مربوط به ارتفاعات شمالی مشرف به این دشت تشکیل شده است، تامین شده است. سازندهای تشکیل دهنده ارتفاعات شمالی مشرف به دشت به ترتیب سن از جدید به قدیم بشرح زیر می باشند:

- ۱- سازند معادل هزار دره که متشکل از ماسه سنگ و کنگلومرای نسبتاً مستحکم ، ضخیم و چین خورده به سن پلیوکواترنر می باشند.
- ۲- سازند قرمز بالایی که متشکل از مارن های رنگارنگ ، مارن های گچ دار قرمز ، آهک های مارنی، ماسه سنگ و کنگلومرا به سن نئوژن و با ضخامت نسبتاً قابل توجه است.
- ۳- سازند زیارت که شامل آهک های نومولیتی به سن ائوسن زیرین و با ضخامت و گسترش محدود می باشد.
- ۴- سازند فجن که شامل کنگلومرا و ماسه سنگ های قرمز به سن پائوسن و با ضخامت و گسترش زیاد است.
- ۵- سازند شمشک که متشکل از انواع شیل های زغال دار ، ماسه سنگ و کنگلومرا به سن ژوراسیک زیرین است.
- ۶- سازند الیکا که متشکل از آهک و دولومیت متعلق به تریاس است.
- ۷- سازند درود که متشکل از ماسه سنگ و سنگ آهک به سن پرمین است.
- ۸- سازند مبارک که متشکل از سنگ آهک، ماسه سنگ و شیل های تیره رنگ به سن کربونیفر می باشد. سازند خوش بیلاق که متشکل از سنگ آهک ، ماسه سنگ، کنگلومرا و مارن متعلق به دونین است.
- ۹- سازند سلطان میدان یا سنگ های آتشفشانی نکارمن که متشکل از بازالت ها و آندزیت های اسپیلیتی و آذر آواری های وابسته به سن سیلورین می باشد.

موجود در عملیات صحرایی این دو روش، این است که در روش مقاومت ویژه، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود پتانسیل در حین تزریق جریان اندازه گیری شده، در صورتی که در روش پلاریزاسیون القائی، این اختلاف پتانسیل در فواصل زمانی معینی پس از قطع جریان، اندازه گیری می شود. در روش مقاومت ویژه، پس از اندازه گیری اختلاف پتانسیل ( $\Delta V$ ) و با معلوم بودن میزان جریان تزریقی (I) و فاکتور هندسی (K) که به ازای هر آرایش خاص الکترودهای جریان و پتانسیل دارای یک مقدار مشخص می باشد، مقاومت ظاهری، از فرمول زیر بدست می آید:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (1-2)$$

که در آن فاکتور هندسی K به نحوه قرار گیری الکترودها و فاصله آنها از هم بستگی دارد. به طور کلی مقاومت ویژه سنگها عمدتاً به میزان خرد شدگی، درصد تخلخل و درصد شکستگی های پر شده از آب در آنها بستگی دارد. سنگهای رسوبی که معمولاً متخلخل بوده و دارای اشباع شدگی آب بالاتری می باشند، بطور معمول از مقاومت ویژه کمتری برخوردارند. خاکهای نمناک و زمین های آبدار حتی مقدار مقاومت ویژه کمتری دارند. خاکهای رسی معمولاً مقاومت ویژه پایین تری نسبت به خاکهای ماسه ای دارند اما نکته قابل توجه مقدار مقاومت ویژه در انواع مختلف سنگها و خاکها می باشد که در گروههای مختلف مقدار مقاومت ویژه همدیگر را پوشش می دهند. این بدین دلیل است که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ و یا نمونه خاک به عوامل دیگر مثل تخلخل، اشباع آب و غلظت نمکهای غیر محلول وابسته می باشد [۵]. بنابر این می توان گفت که مقاومت ویژه سنگهای متخلخل در درجه اول به میزان آب موجود در سنگ، میزان املاح و نمک موجود در آب (ترکیب شیمیایی آب موجود در سنگ) و جنس سنگ بستگی فراوانی دارد. بسته به عوامل فوق مقادیر مقاومت ویژه از یک اهم - متر یا کمتر برای رس با آب نمک دار تا  $10^8$  اهم - متر یا حتی بیشتر برای سنگ آذرین و سخت بلورین (مثل کوارتزیت های متراکم) تغییر می کند [۷]. ماسه و گراول خشک دارای مقاومت ویژه چندین هزار اهم - متر می باشند در حالیکه اگر همین رسوبات از آب شیرین اشباع شده باشند مقاومت ویژه آنها بین ۱۵ تا ۶۰۰ اهم - متر تغییر می کند. تجارب صحرایی نشان می دهد که غالب سفره های آبدار با آب شور یا لب شور دارای مقاومت ویژه ای بین



۱۵ تا ۲۰ اهم متر هستند ولی مقاومت ویژه سفره های آب شیرین موجود در ماسه ها ممکن است از ۱۰۰ تا ۲۵۰ اهم - متر تغییر نماید [۲۶ و ۷]. مقاومت ویژه سفره های آب موجود در بازالت ها ممکن است از ۳۰۰ تا ۶۰۰ اهم - متر در نوسان باشد. گستره تغییرات چند نوع سنگ و لایه های آبدار در جدول ۱-۲ داده شده است. همان طوری که جدول نشان می دهد گستره تغییرات مقاومت ویژه برای سنگهای مختلف بنا به دلایل فوق خیلی زیاد است و علاوه بر آن در بعضی از موارد هم پوشانی نیز دارند که این مسئله خود تعبیر و تفسیر دقیق داده های بدست آمده از روش مقاومت ویژه را مشکل می سازد و از این رو در تعبیر و تفسیر اینگونه داده ها باید نهایت دقت را بعمل آورد [۲۵].

جدول ۱-۲: گستره مقاومت ویژه بعضی از سنگها، رسوبات آبدار، و آب [۲۱، ۲۴ و ۲۲]

نوع سنگ یا ماده موجود	دامنه تغییرات مقاومت ویژه (اهم-متر)
آرژیلیت	۷۴ تا ۸۴۰
گنگلومرا	۲۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰
دولومیت	۷۰۰ تا ۲۵۰۰
سنگ آهک	۳۵۰ تا ۶۰۰۰
ماسه سنگ	۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰
شیل	۲۰ تا ۲۰۰۰
اسلیت	۳۴۰ تا ۱۶۰۰
رس	۵ تا ۱۰
گراول	۴۸۰ تا ۹۰۰
مارن	۱۲ تا ۷۰
ماسه دره ای	۳۶۰ تا ۱۵۰۰
آلوویم (رسوبات واریزه ای)	۱۰ تا ۸۰۰
رس مرطوب	۲۰
آب تازه موجود در رسوبات آبرفتی	۱۰ تا ۱۰۰
آب موجود در خاک	۱۰۰
آب دریا	۰/۲
رس مرطوب	۲۰
توف	۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰
آندزیت	۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰

شیوه اندازه گیری داده ها و ثبت نتایج در روش IP، پیچیده تر می باشد که جداگانه به آن می پردازیم.

## ۲-۵ پدیده پلاریزاسیون القایی

طبق تعریفی که سامر<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۶ برای پلاریزاسیون القایی ارائه نمود، این پدیده الکتریکی، در حقیقت تابعی از ولتاژ رو به زوال مواد مختلف درون زمین پس از قطع جریان تزریقی مستقیم (DC)، می باشد که بین الکترودهای پتانسیل اندازه گیری می شود. تجربیات نشان می دهد که بعد از قطع ناگهانی جریان، اختلاف پتانسیل بین الکترودهای پتانسیل فوری صفر نمی گردد بلکه بعد از یک کاهش اولیه، به تدریج رو به زوال می رود. در چنین مواردی زمین در واقع به مانند یک خازن عمل کرده و بار الکتریکی را هنگام وصل جریان به صورت معمولاً انرژی شیمیایی در خود ذخیره می کند و پس از قطع جریان، بار خود را مانند یک خازن در طی زمان از دست می دهد.

علل اصلی ذخیره انرژی شیمیایی درون اجسام، تغییر تحرک یون ها در مایعات موجود در ساختار سنگ ها و تغییر در هدایت یونی و الکترونی (در صورت وجود کانیهای فلزی درون جسم) می باشند. اثر اول که موضوع مورد بحث این پروژه می باشد، به نام قطبش غشائی<sup>۲</sup> یا الکترولیتی معروف است. این اثر در سنگ هائی که دارای کانی های غیر فلزی هستند، روی می دهد. اثر دوم نیز که به نام قطبش الکترودی<sup>۳</sup> یا ولتاژ اضافی معروف می باشد، عموماً بزرگتر از IP نرمال بوده و با مقدار کانی های فلزی در سنگ ها، ارتباط دارد. این نوع قطبش که در اصل شبیه قطبش غشائی است، موقعی اتفاق می افتد که در داخل سنگ مواد فلزی وجود داشته باشد و قسمتی از جریان به صورت الکترونی و قسمتی دیگر به صورت الکترولیتی عبور نماید.

لازم به ذکر است که این دو اثر با استفاده از روش IP، قابل تمیز از یکدیگر نبوده و مستقل از ساختار اتمی یا ملکولی سنگ ها و کانی ها هستند. در این پروژه، تنها میزان قطبش غشائی مواد مختلف برای ما حائز اهمیت می باشد که بیشتر از همه در کانی های رسی مشاهده می گردد، زیرا

۱- Sumner

۲-Membrance Induction

۳-Electrod Induction

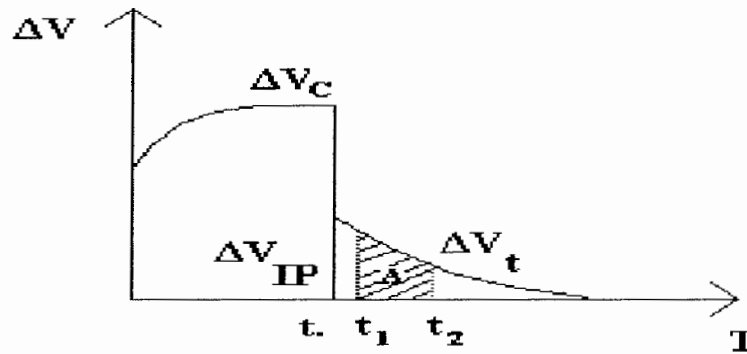
این کانی ها دارای خلل و فرج های بسیار کوچک می باشند. لازم به ذکر است که IP غشائی حاصل از کانی های رسی مختلف، یکسان نمی باشد. به عنوان مثال مونت موریلونیت دارای IP غشائی کم و کائولینیت دارای IP غشائی زیاد می باشد [۳]. شیل همراه با درصد بالائی از کانی های رسی قطبش نسبتاً پائینی را داراست، در صورتی که مارن قطبش بالائی از خود نشان می دهد. این اثر با افزایش میزان شوری سیال داخل حفرات یک ساختار، کاهش می یابد. در کل قطبش غشائی در سنگ هائی حداکثر خواهد بود که دارای کانی های رسی با تراکم نسبتاً کم (کمتر از ۱۰٪) بوده و درصد نمک موجود در الکترولیت داخل آنها پائین باشد.

در اندازه گیری مقاومت ویژه اگر بجای استفاده از جریان مستقیم از جریان متناوب استفاده کنیم، مقاومت ویژه ظاهری با افزایش فرکانس کاهش می یابد زیرا خاصیت خازنی زمین در مقابل عبور جریان مستقیم مقاومت نموده و در مقابل جریان متناوب به مانند یک خازن مقاومت کمتری از خود نشان می دهد. بنابر این اندازه گیری های IP را می توان هم در حوزه زمان و هم در حوزه فرکانس<sup>۱</sup> انجام داد. چون در این پروژه، تنها از روش IP در حوزه زمان استفاده شده است، لذا به طور خلاصه تنها به تشریح مهمترین پارامتر اندازه گیری یعنی قابلیت بارپذیری (شارژابیلیته) در این روش می پردازیم.

مقدار قابلیت بارپذیری (M) نسبت سطح زیر نمودار منحنی رو به زوال ولتاژ در فاصله زمانی  $t_1-t_2$  (در هنگام قطع جریان) به مقدار ولتاژ قبل از قطع جریان ( $\Delta V_C$ ) است که مطابق شکل ۲-۳ به صورت زیر تعریف می شود و واحد آن بر حسب میلی ثانیه بیان می شود:

$$M = \frac{A}{\Delta V_C} = \frac{1}{\Delta V_C} \int_{t_1}^{t_2} V(t) \cdot dt \quad (2-2)$$

<sup>۱</sup> Frequency Domain Induced Polarization



شکل ۲-۳: ولتاژ رو به زوال بین دو الکتروود پتانسیل و شیوه محاسبه بارپذیری

برای اجتناب از کوپلینگ الکترومغناطیسی و کاهش اثرات آن بر اندازه گیری قابلیت بارپذیری اجسام، اندازه گیری سطح زیر منحنی نیابستی بلافاصله بعد از قطع جریان باشد [۱۴]. همان طوری که قبلاً اشاره شد روش IP غالباً برای اکتشاف مواد معدنی استفاده می شود و فقط در موارد محدودی برای اکتشاف آب زیر زمینی استفاده شده است [۱۲]. اما به دلیل قابلیت بالای این روش در تفکیک رس از آب زیر زمینی و تعیین مطمئن تر عمق آب زیر زمینی موجود در زمین های ماسه ای رس دار است [۱۶] استفاده از آن رو به گسترش است از این رو روش IP، مکمل روش مقاومت ویژه در اکتشاف آب زیر زمینی محسوب می گردد. در جدول ۲-۲ قابلیت بارپذیری مواد مختلف جهت استفاده در تعبیر و تفسیر داده ها آورده می شود.

جدول ۲-۲: بار پذیری مواد مختلف [۲]

قابلیت بارپذیری (میلی ثانیه)	مواد	قابلیت بارپذیری (میلی ثانیه)	مواد
۵-۲۰	شیست	۰	آب زیر زمینی
۳-۱۲	ماسه سنگ	۱-۴	آبرفت
۳-۱۰	آرژیلیت	۳-۹	شن (گراول)
۵-۱۲	کوارتزیت	۸-۲۰	آذرین پرکامبرین
		۶-۳۰	گنیس پرکامبرین

## ۶-۲ انتخاب آرایش مناسب برای انجام عملیات ژئوفیزیکی

از آنجائیکه در مطالعه حاضر بررسی تغییرات مقاومت ویژه در جهت عمق برای شناسایی لایه های مختلف و همچنین عمق سطح آب زیرزمینی، ضخامت لایه آبدار و جنس سنگ کف مد نظر است با توجه به وسعت عملیاتی و شرایط زمین شناسی منطقه از عملیات سونداژ (گمانه) زنی<sup>۱</sup> الکتریکی استفاده می شود طوری که بتوان تا عمق ۲۰۰ متری را اکتشاف کرد. شیوه انجام سونداژ الکتریکی بعداً شرح داده می شود. برای این کار از آرایه های مختلفی می توان استفاده کرد که متداول ترین آنها آرایش های شولمبرژه، وئر، دو قطبی-دوقطبی و قطبی-دو قطبی برای سونداژ مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی است [۲۴ و ۱۲]. انتخاب هر یک از این آرایش ها بستگی به هدف، دقت مورد نظر و حساسیت آرایش مورد نظر نسبت به عوامل مختلف بستگی دارد [۲۵]. در شکل ۴-۲ انواع آرایش های فوق همراه با فاکتور هندسی آنها آورده شده است.

نوع آرایش	فاکتور هندسی	مورد استفاده	هندسه آرایش
دوقطبی-دوقطبی	$na\pi(n+1)(n+2)$	پروفیل زنی و سونداژ	
قطبی-دوقطبی	$2na\pi(n+1)$	پروفیل زنی و سونداژ	
شولمبرژه	$na\pi(n+1)$	سونداژ	
وئر	$2\pi a$	سونداژ و پروفیل زنی	

شکل ۴-۲: آرایش های مورد استفاده در عملیات صحرایی مقاومت ویژه و IP [۲۴].

<sup>۱</sup> Vertical Electrical Sounding (VES)

نتایج مطالعات صورت گرفته [۲۵] نشان می دهد که آرایش شولمبرژه بنا به دلایل زیر مناسب ترین آرایش برای سونداژ مقاومت ویژه و IP (در حوزه زمان) است.

۱. هدف سونداژ زنی الکتریکی تفکیک عمودی لایه های افقی تا نسبتاً افقی است و آرایش شولمبرژه از این نظر برترین آرایش از میان آرایش های معمول می باشد.

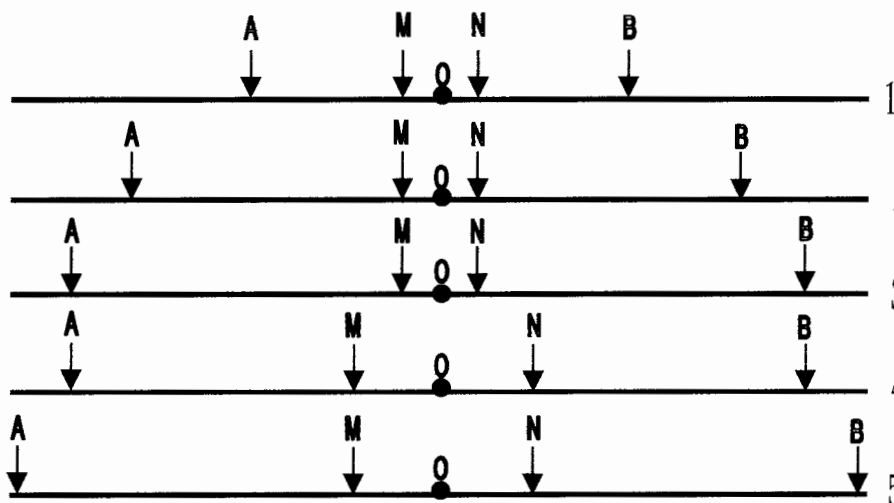
۲. از آنجا که در این آرایش الکترودهای پتانسیل از یک ثبات نسبی برخوردار می باشند این آرایش دارای نسبت سیگنال به نویز (نوفه) خوبی است و علاوه بر آن ناهمگنی های سطحی کمترین اثر را در اندازه گیری دارند.

۳. این آرایش دارای عمق اکتشاف مناسب می باشد.

۴. آرایش شولمبرژه که اصولاً برای سونداژ زنی طراحی شده است، در هر دهه لگاریتمی شش داده برداشت می کند. از آنجا که به طور معمول در محل هر سونداژ، داده ها برای ۳ یا ۴ دهه برداشت می شوند از این رو آرایش فوق در شناسائی و تمایز چند آنومالی در اعماق مختلف حساس و دقیق می باشد. و به همین دلیل، وضعیت زمین در اعماق مختلف به خوبی مورد بررسی قرار می گیرد.

۵. از آنجا که الکترودهای پتانسیل در چند اندازه گیری ثابت هستند و برای دستیابی به اعماق بیشتر فقط الکترودهای جریان جابجا می گردند به همین علت این روش سریعتر و از نظر اجرایی آسانتر از دیگر آرایه ها است.

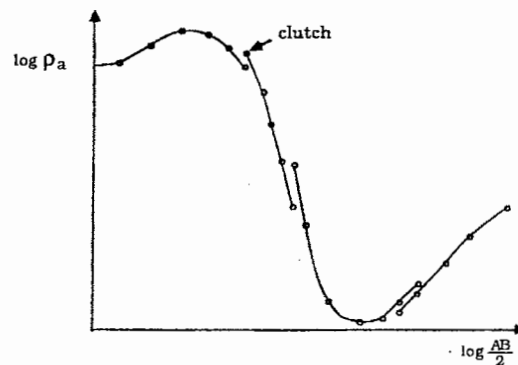
آرایش شولمبرژه خطی متقارن، که در آن الکترودهای پتانسیل به فاصله کم از یکدیگر بین الکترودهای جریان قرار می گیرند، معمول ترین آرایش مورد استفاده برای سونداژ زنی مقاومت ویژه و IP در اکتشاف آبهای زیرزمینی می باشد. شیوه اجرای سونداژ زنی، مطابق شکل (۲-۵) است. در روش سونداژ الکتریکی (VES) مطالعه تغییرات عمودی مقاومت ویژه، مد نظر بوده و فرض بر این است که تغییرات جانبی مقاومت ویژه زمین که توسط تابع  $\rho = \rho(x, y)$  تعریف می گردد، در هر نقطه دلخواه، آنقدر کوچک است که می توان تابع  $\rho(z)$  را مستقل از تغییرات جانبی تعیین نمود و به این ترتیب اطلاعاتی در مورد مقاومت ویژه لایه های مختلف زمین در اعماق مختلف به دست آورد.



شکل (۲-۵): سونداژ زنی الکتریکی با استفاده از آرایش شولمبرژه

در این آرایش نقطه O که محل سونداژ و مرکز الکترودها است ثابت باقی می ماند و برای هر فاصله AB یک اندازه گیری انجام می گیرد. فاصله الکترودهای جریان (AB) برای دسترسی به اعماق بیشتر مرتباً افزایش پیدا می کند و این کار به همین صورت ادامه پیدا می کند تا اینکه ولتاژ مابین الکترودهای MN بعلاوه افزایش بیش از حد فاصله الکترودهای جریان کاهش یابد. در این مرحله فاصله MN افزایش یافته و اندازه گیری مطابق شکل ۲-۵ برای دسترسی به عمق مورد نظر ادامه پیدا می کند. در این آرایش در هنگام تعویض MN، به ازای یک مقدار ثابت AB، دو اندازه گیری

متوالی، یکبار با MN کوچک و بار دیگر با MN بزرگ، انجام می گیرد (قسمت پایین شکل ۲-۵). این موضوع اهمیت زیادی دارد، زیرا در این صورت می توانیم به اثر الکترودهای MN و تغییرات جانبی مقاومت ویژه پی برده و در صورت لزوم، منحنی سونداژ الکتریکی را تصحیح نمائیم. این موضوع یک مزیت بزرگ آرایش شولمبرژه بر دیگر آرایش ها می باشد. در مقابل با تعویض MN، به دلیل اینکه اغلب مقدار جدیدی برای مقاومت ویژه بدست می آید، یک گسستگی مطابق شکل ۲-۶ در منحنی سونداژ صحرائی به وجود می آید، که در اصطلاح، اثر کلاچ<sup>۱</sup> نامیده می شود که قبل از تفسیر داده های سونداژ بایستی اصلاح گردد. اثر فوق و روش های اصلاح آن در ذیل مورد بررسی قرار می گیرد.



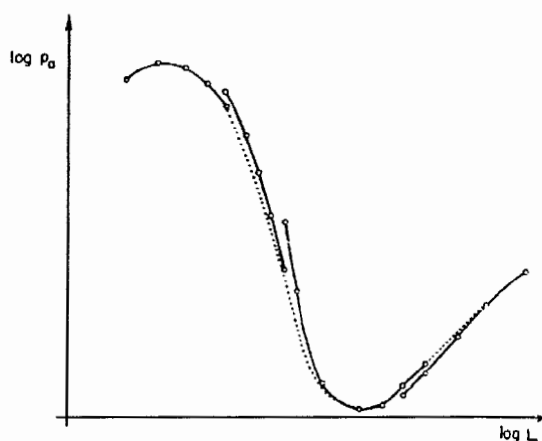
شکل ۲-۶: نمونه ای از اثر پدیده کلاچ بر منحنی سونداژ شولمبرژه [۲۴].

مطابق شکل فوق اگر روند تغییرات مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده در یک دهه لگاریتمی به گونه ای باشد که منحنی صحرائی حاصل از آنها نزولی باشد، در هنگام تعویض MN، مقدار مقاومت ویژه مربوط به MN بزرگتر بیشتر از مقاومت ویژه مربوط به MN کوچکتر خواهد بود. به عبارت دیگر قطعه جدید مقاومت ویژه ظاهری که در اثر تعویض MN بوجود می آید، بالای قطعه قبلی قرار گرفته و در صورتی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری صعودی باشد، قطعه جدید در زیر قطعه قبلی نمودار قرار می گیرد. اما در عمل به دلیل موقعیت نامناسب الکترودهای پتانسیل، تغییرات جانبی



مقاومت ویژه زمین و منابع خطاهای دیگر، چنین روندی به ندرت در قطعات یک منحنی سونداژ، مشاهده می گردد [۲]. از طرفی حتی اگر چنین روندی نیز مشاهده گردد، چون بدون هموار نمودن منحنی<sup>۱</sup> سونداژ، هیچگونه اطلاعات کمی نمی توان از آن بدست آورد ، لذا بایستی آنرا تصحیح نموده و یک منحنی پیوسته و هموار به دست آورد [۱۲]. در کل روش های مختلفی جهت تصحیح اثر کلاچ در منحنی سونداژ الکتریکی وجود دارد که در اینجا فقط روش مورد استفاده در مطالعه حاضر اشاره می گردد.

همانطور که در شکل ۲-۷ مشاهده می شود، نحوه کار بدین صورت است که در ابتدا، قطعه اول منحنی به عنوان مبنا در نظر گرفته می شود، سپس قطعه دوم منحنی طوری در ادامه قطعه اول قرار می گیرد که در کل یک منحنی هموار بدست آید. در مرحله بعد، نقاط واقع بر قطعه سوم نیز طوری جابجا می گردند که در ادامه منحنی حاصل از دو قطعه قبل قرار گیرند. این عمل تا زمانی که تمامی قطعات منحنی به صورت هموار به یکدیگر متصل گردند، ادامه می یابد [۲۶].



شکل ۲-۷: تصحیح کلاچ به روش ایجاد منحنی هموار [۲۶].

<sup>۱</sup> Curve smoothing

## ۷-۲ چگونگی عملیات صحرایی و طراحی شبکه برداشت داده ها

از آنجائیکه در مطالعه حاضر شناسایی لایه های مختلف و همچنین عمق سطح آب زیرزمینی ، ضخامت لایه آبدار و جنس سنگ کف مد نظر است و همچنین با لحاظ بودجه طرح، وسعت عملیاتی و شرایط زمین شناسی منطقه تعداد چهل نقطه (ایستگاه) برای انجام عملیات سونداژ زنی مقاومت ویژه به فواصل ۵۰۰ متر طوری انتخاب شد که کل ناحیه دارای پتانسیل را در بر گرفته باشد. از طرفی چون بررسی لایه های مختلف آبرفتی و اکتشاف آب زیر زمینی تا عمق ۲۰۰ متری مد نظر بوده است و با در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی و یکسری فرضیات اولیه برای وجود مناطق آبدار، در انجام سونداژ الکتریکی فواصل الکترودهای جریان (AB) از ۶ تا حداقل ۱۰۰۰ متر و برای بعضی از ایستگاه ها حداکثر تا ۱۴۰۰ متر طراحی گردیدند. البته در مورد عمق نفوذ موثر اکتشاف آرایش شولمبرژه اکثر محققین بر این باورند که فواصل الکترودهای جریان در عملیات سونداژ الکتریکی باید بیش از ۲ تا ۳ برابر [۱۲] و یا حتی بیشتر از چهار برابر عمق اکتشاف باشد [۱۶]. البته عمق اکتشاف موثر نه تنها به فواصل الکترودهای جریان بلکه به عوامل دیگری نظیر نسبت سیگنال به نویز، میزان حساسیت به ناهمگنی های سطحی، حساسیت به توپوگرافی سطح زمین و توپوگرافی سنگ بستر و عوامل زیاد دیگری وابسته است. با این تفسیر نمی توان قاعده قطعی برای این مورد بیان کرد [۲۵]. ولی نتایج تحقیقات اکثر محققین بیانگر این موضوع است که برای دسترسی به عمق اکتشاف مورد نظر، فواصل الکترودهای جریان در حین سونداژ زنی با آرایش شولمبرژه حداقل باید مساوی یا بیش از چهار برابر عمق اکتشاف مورد نظر باشد [۱۶].

با در نظر گرفتن موارد فوق و مشخص نمودن جزئیات طرح ، نقاط برداشت مورد نظر با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی، وجود بعضی از محدودیت ها مثل برخورد به آبراهه های عمیق و یا برخورد به جاده و دکل های برق به کمک کمپاس و عملیات نقشه برداری مقدماتی بر روی ۵ پروفیل موازی تا نسبتاً موازی روی زمین پیاده شد. سپس به کمک GPS دستی مختصات آنها ( شامل X, Y, Z ) در سیستم U.T.M برداشت شد. لازم به ذکر است که در انجام سونداژ الکتریکی در هر ایستگاه

نحوه قرار گیری و گسترش الکترودها در امتداد پروفیل های پنج گانه بوده است. جدول ۲-۳ مشخصات پروفیل ها را نشان می دهد.

جدول ۲-۳: مشخصات پروفیل های مورد برداشت

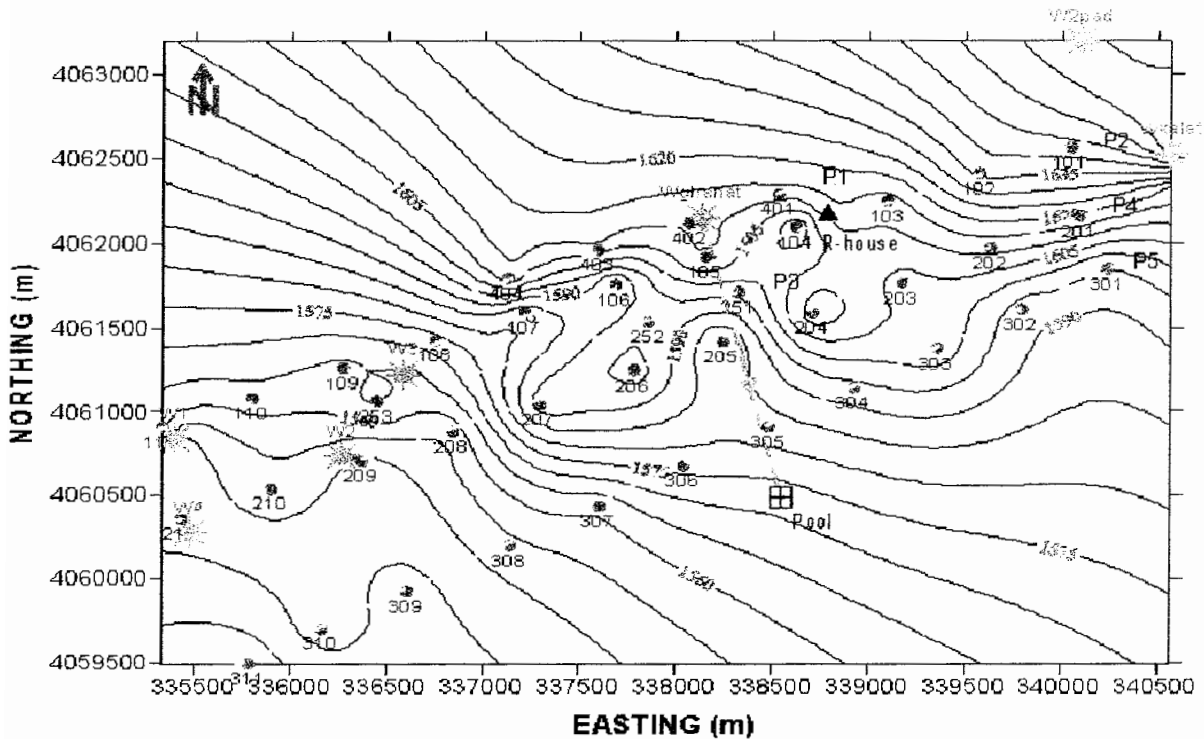
نام پروفیل	تعداد سونداژ	نام سونداژ	فاصل سونداژها از یکدیگر (متر)	آزیموت پروفیل (درجه)	طول پروفیل (متر)
۱	۴	S۴۰۱-S۴۰۴	۵۰۰	۷۰	۱۵۰۰
۲	۱۱	S۱۰۱-S۱۱۱	۵۰۰	۷۰	۵۰۰۰
۳	۳	S۲۵۱-S۲۵۳	۱۵۰۰-۵۰۰	۷۰	۲۰۰۰
۴	۱۱	S۲۰۱-S۲۱۱	۵۰۰	۷۰	۵۰۰۰
۵	۱۱	S۳۰۱-S۳۱۱	۵۰۰	۶۴	۵۰۰۰

پس از پیاده سازی محل سونداژ ها روی زمین و ثبت مختصات آنها، عملیات سونداژ مقاومت ویژه روی تمامی چهل ایستگاه تعیین شده و همچنین سونداژ زنی IP (در حوزه زمان) برای چند محل انتخابی به شرح موارد از پیش گفته شده طی یک ماه عملیات صحرایی انجام شد. از آنجا که برداشت دقیق داده های ژئوفیزیکی مورد بحث از ظرافت های خاصی بر خوردار است از این رو برای برداشت بهتر و هر چه دقیق تر داده های مورد نظر سعی شده است که در تمام مدت عملیات صحرایی مجری طرح و یا همکاران متخصص ژئوفیزیکدانان در برداشت داده ها مشارکت نموده و علاوه بر آن بر کار دو تکنسین ژئوفیزیک، و سه کارگر نظارت داشته باشند.

## ۲-۸ شرح تهیه نقشه موقعیت نقاط و پروفیل های برداشت

با توجه به اینکه در منطقه مورد نظر از قبل هیچگونه مطالعاتی برای هدف مورد نظر در این طرح، انجام نشده است و با توجه به اینکه نقشه های موجود از منطقه تنها به نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی خلاصه می شد که جوابگوی کار نبود. بنابراین تهیه نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب برای پیاده سازی محل سونداژها و پروفیل های مورد نظر در الویت کاری قرار گرفت که با استفاده از مختصات نقاط برداشت شده و کنترل های زمینی انجام این

کار تحقق یافت تا به عنوان یک نقشه مبنا برای تفسیرهای بعدی داده ها مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۲-۸ نقشه توپوگرافی تهیه شده را که محل سونداژ ها و پروفیل های مربوطه روی آن آمده است را نشان می دهد.



شکل ۲-۸: نقشه توپوگرافی تهیه شده که محل سونداژ ها (دایره های آبی)، چاه های آب موجود (دایره های قرمز)، مسیر تونل قنات و جهت جریان آب در آن (خط چین قرمز) و پروفیل ها مورد برداشت روی آن آمده است.

با توجه به شکل فوق می توان گفت که منطقه از توپوگرافی آرامی برخوردار است و مقدار شیب آن کمتر از ۱۰ درصد در محدوده مورد مطالعه می باشد. علاوه بر آن جهت شیب از سمت شمال و شمال شرق به سمت جنوب و جنوب غرب است.

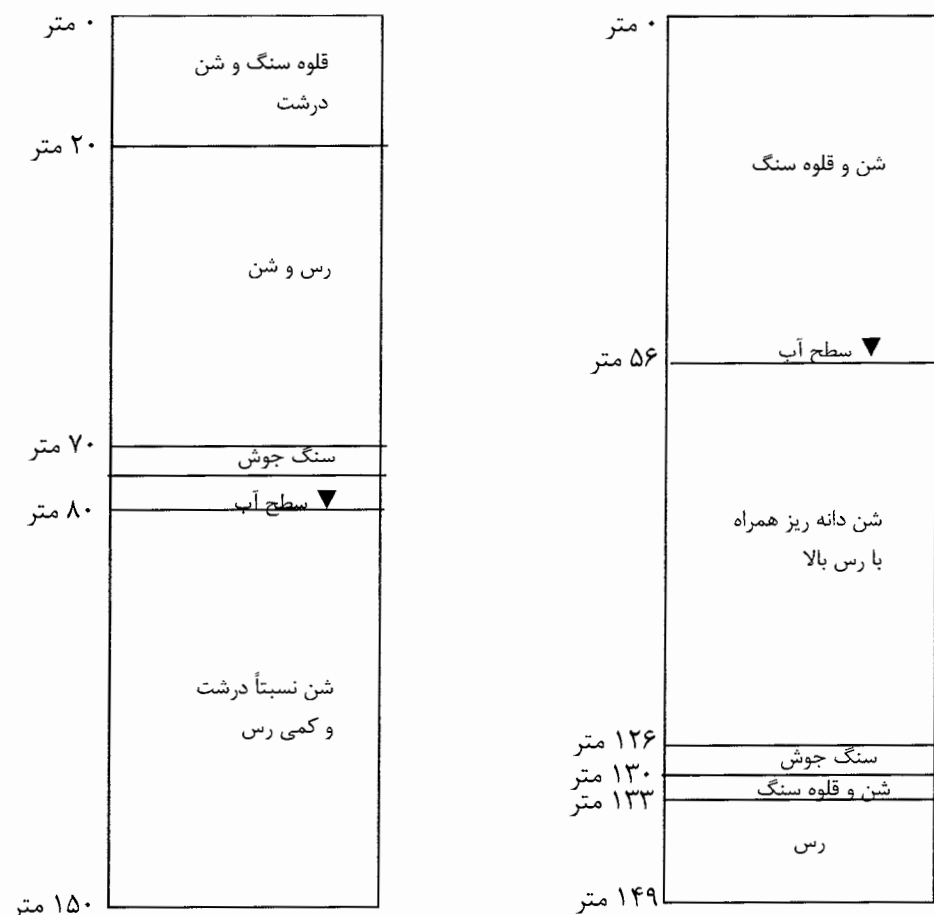
همانطور که قبلاً اشاره شد در این منطقه یک رشته قنات با آبدهی نسبتاً خوب (بطور متوسط ۳۰ لیتر در ثانیه) وجود دارد که مادر چاه آن (Wghanat) در مجاورت سونداژ ۴۰۲ روی پروفیل اول قرار دارد. منطقه مورد مطالعه جزو مناطق آزاد برای حفر چاه آب است از این رو در نظر است برای

رونق منطقه و اشتغال زایی چند حلقه چاه حفاری گردد که دو عدد آن ( $W_1$  و  $W_2$ ) در حین برداشت داده حفر گردیدند و دو عدد دیگر ( $W_3$  و  $W_4$ ) حین تهیه گزارش حفاری شده و به آب رسیدند. در جدول ۲-۴ اطلاعات تکمیلی مربوط به این چاه ها می آید.

جدول ۲-۴: مشخصات چاه های آب موجود در منطقه مورد بررسی

نام چاه	طول شرقی	عرض شمالی	عمق بر خورد به آب (متر)	عمق نهایی (متر)	متوسط آبدهی (لیتر بر ثانیه)	ملاحظات
$W_1$	۳۳۵۳۹۶	۴۰۶۰۸۳۹	۶۸	۱۵۰	۲۳	تا عمق نهایی در آب بود
$W_2$	۳۳۶۲۶۴	۴۰۶۰۷۳۳	۷۰	۱۵۰	۲۵	تا عمق نهایی در آب بود
$W_3$	۳۳۶۵۸۲	۴۰۶۱۲۲۱	۷۹	۱۵۰	۲۵	ستون چینه شناسی دارد
$W_4$	۳۳۵۴۷۷	۴۰۶۰۲۷۶	۵۶	۱۴۹	۱۵	ستون چینه شناسی دارد
Wghanat	۳۳۸۱۳۰	۴۰۶۲۱۵۰	۴۰	-	۳۰	آبدهی قنات
$W_1$ padegan	۳۳۸۸۴۰	۴۰۶۲۱۸۰	اطلاعات در دسترس نمی باشد		۲۰	سال حفر ۱۳۵۶
$W_2$ padegan	۳۴۰۱۰۰	۴۰۶۳۲۰۰	۵۵	۱۸۰	۱۸	تا عمق نهایی در آب بود
WKalate	۳۴۰۵۶۵	۴۰۶۲۵۲۵	۵۰	۲۱۶	۳۰	در عمق نهایی به سنگ سخت خورد

ستون چینه شناسی مربوط به چاه های شماره ۳ ( $W_3$ ) و ۴ ( $W_4$ ) برای استفاده در تعبیر و تفسیر داده های مورد برداشت در شکل ۲-۹ نشان داده می شود.



ستون چینه شناسی چاه شماره ۳ (W۳)

ستون چینه شناسی چاه شماره ۴ (W۴)

شکل ۲-۹: ستون چینه شناسی حاصل از تراشه های حفاری برای چاه های شماره ۳ و ۴

## ۲-۹ مشخصات دستگاه اندازه گیری

اندازه گیری های بعمل آمده در تحقیق حاضر بکمک دستگاه ۱۰۰۰ ABEM SAS انجام شد [۱۱]. دستگاه فوق ساخت کشور سوئد است و قابلیت این را دارد تا برای سنجش مقاومت ویژه و قابلیت بارپذیری (پلاریزاسیون القایی در حوزه زمان) زمین مورد استفاده قرار گیرد. این دستگاه دیجیتالی که متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است در نوع خود بسیار حساس و دقیق در اندازه گیری داده ها است، به طوری که برای انجام قرائت کمیت مورد نظر از تنظیم های مختلفی برخوردار است. در برداشت داده های طرح حاضر با تنظیم دستگاه تعداد چهار قرائت انجام شد و سپس

---

متوسط قرائت ها بعنوان قرائت مورد نظر در هر وضعیت الکتروودی ثبت می شد. با این کار دقت اندازه گیریها افزایش قابل ملاحظه ای می یابد چرا که انحراف معیار پایین داده های قرائت شده که آنهم توسط دستگاه محاسبه می گردد تأیید کننده دقت کار و کیفیت خوب داده های جمع آوری شده می باشد.

در فصل بعد چگونگی ارائه ، مدل سازی و تعبیر و تفسیر داده های اندازه گیری شده مقاومت ویژه و بارپذیری شرح داده می شود.

## فصل سوم:

# ارائه، مدل سازی و تفسیر داده ها

### ۳-۱ مقدمه

در فصل قبل شرح داده شده است که داده های مورد نظر چگونه برداشت می گردند. از آنجایی که در کلیه روش های ژئوفیزیکی یکی از خصوصیات فیزیکی طبقات سنگی واقع در زیر زمین، در یک یا چند محل در سطح زمین اندازه گیری می گردد. از این رو برای شناسایی و اکتشاف خصوصیات لایه های سنگی واقع در زیر زمین لازم است که ابتدا داده ها به صورت مناسبی ارائه گردند تا تغییر پذیری کمیت مورد نظر در جهات مختلف تا حدودی روشن گردد. سپس برای بدست آوردن پارامترهای مختلف مثل ضخامت طبقات، مقاومت ویژه، عمق قرار گیری آب زیر زمینی و ... داده ها باید به طریقی مورد مدل سازی قرار گیرند. پس از انجام مدل سازی، که بر اساس تغییرات یکسری کمیت های فیزیکی لایه ها و یا واحد های سنگی متفاوت و بهره گیری از دانش ریاضی بعمل می آید، بایستی با در نظر گرفتن کلیه اطلاعات موجود زمین شناسی و اطلاعات حاصل از حفاری های موجود یک تعبیر و تفسیر مناسب و قابل فهم از نظر زمین شناسی و هیدروژئولوژی صورت بگیرد. در این فصل پس از ارائه داده های اندازه گیری شده و انجام تصحیحات لازم بر آن و بر



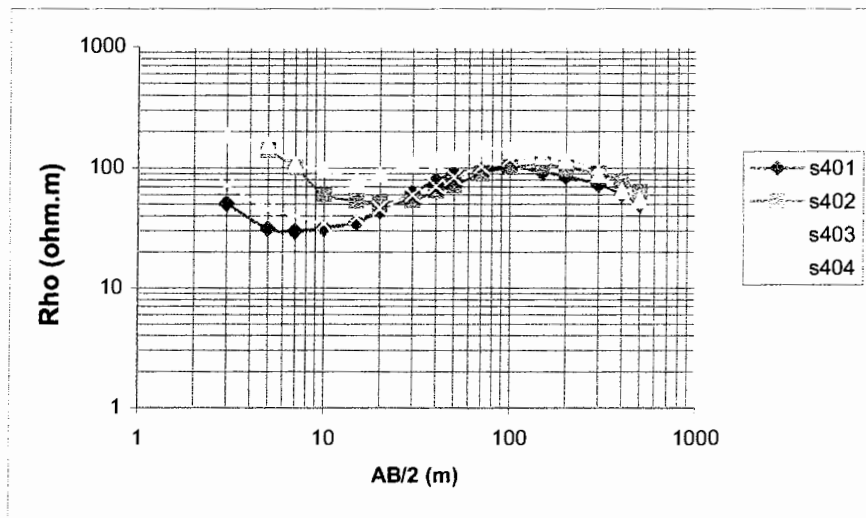
شمردن محدودیت های مختلف روش های مورد استفاده، کلیه داده ها با مدل سازی های مناسب و استفاده از اطلاعات موجود مورد تعبیر و تفسیر کیفی و کمی قرار می گیرند تا واحد های مختلف سنگی، عمق قرار گیری سطح آب زیر زمینی و ضخامت سفره آب و گسترش آن در منطقه تعیین گردند.

### ۳-۲ ارائه داده ها و تفسیر کیفی آنها

پس از اینکه کارهای صحرائی به اتمام رسید نتایج اندازه گیری های حاصله در محل هر سونداژ الکتریکی که به صورت فایل جداگانه کامپیوتری در حافظه دستگاه اندازه گیری ذخیره شده بود باز خوانی شده اند و با طرح یک صفحه گسترده<sup>۱</sup> در نرم افزار اکسل (Excel) مقادیر فاکتور هندسی آرایش (K) برای هر فاصله الکترودی محاسبه و سپس با استفاده از فرمول های ۱-۲ و ۲-۲ از فصل دوم، مقادیر مقاومت ویژه (بر حسب اهم - متر) و قابلیت بارپذیری (بر حسب میلی ثانیه) محاسبه گشتند و سپس نتایج برای هر سونداژ به صورت جداگانه و بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/۲) و نصف فواصل الکترودهای پتانسیل (MN/۲) در جدولی درج گردیدند. این جداول در پیوست الف این گزارش می آیند.

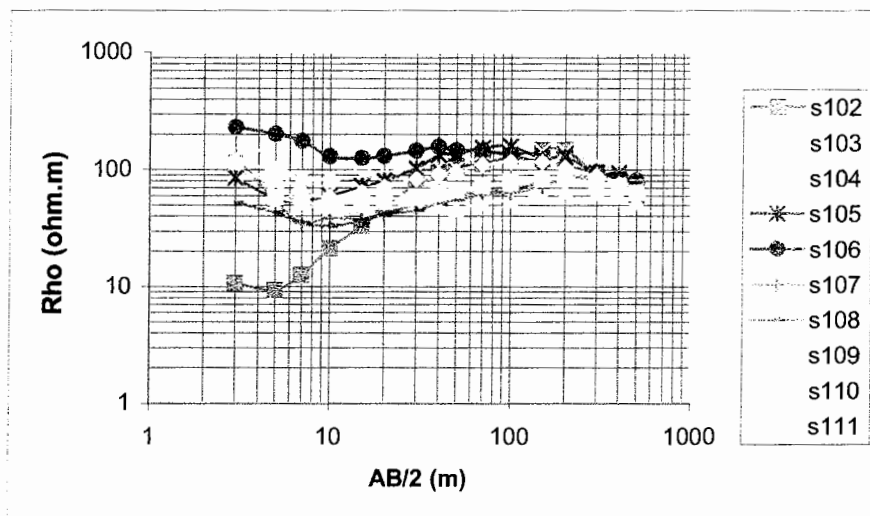
به منظور پی بردن به چگونگی تغییرات مقاومت ویژه لایه های مختلف زیر زمین در محل هر یک از سونداژهای الکتریکی، نتایج سونداژهای مقاومت ویژه بصورت تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان تهیه و پس از هموار سازی به طریقی که قبلاً ذکر شد همگی آنها برای هر یک از پروفیل ها تهیه و در اشکال ۱-۳ تا ۵-۳ نشان داده شده اند.

<sup>۱</sup> Spread sheet

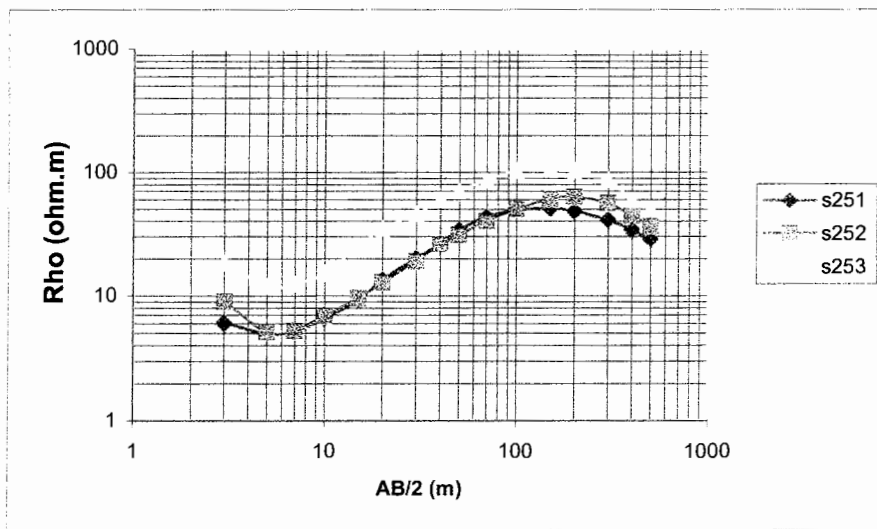


شکل ۳-۱: نتایج سونداژ زنی الکتریکی روی پروفیل اول

همان گونه که شکل فوق نشان می دهد نتایج بدست آمده از سونداژهای چهار گانه روی پروفیل اول با هم هماهنگی خوبی دارند. با یک نگاه سریع می توان گفت که زمین مورد مطالعه از چهار لایه تشکیل شده که از سطح زمین به طرف عمق مقاومت ویژه ظاهری لایه ها ابتدا زیاد بوده و سپس کاهش یافته و پس از یک افزایش قابل ملاحظه بار دیگر کاهش می یابند. پس فرض لایه ای بودن زمین مورد بررسی در امتداد این پروفیل تا حدود زیادی تأیید می گردد.

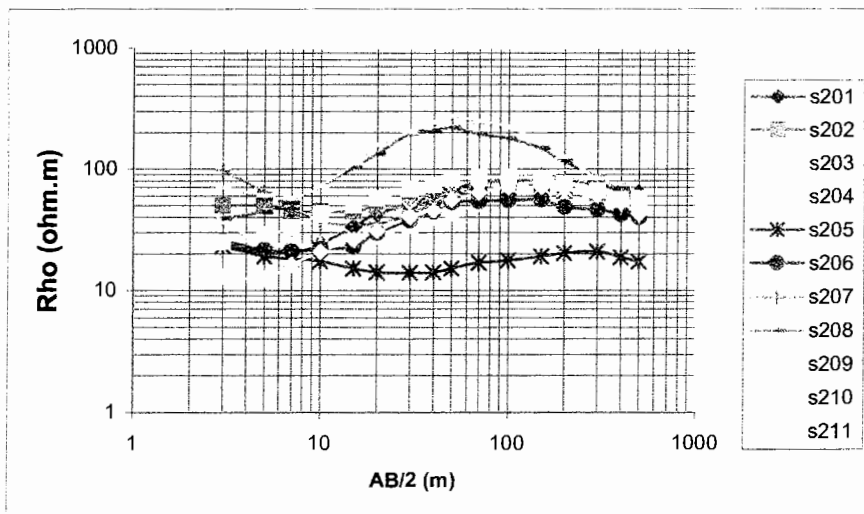


شکل ۳-۲: نتایج سونداژ زنی الکتریکی روی پروفیل دوم

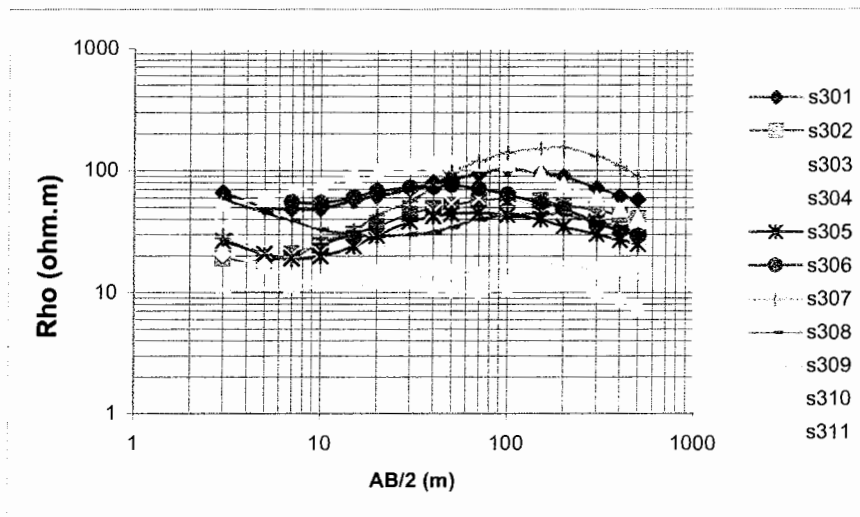


شکل ۳-۳: نتایج سونداژ زنی الکتریکی روی پروفیل سوم

همانطور که شکل ۲-۳ نشان می دهد تغییرات مقاومت ویژه ظاهری حاصل از سونداژهای پروفیل دوم با هم در هماهنگی نسبتاً خوبی (بجز برای اعماق کم) می باشند و همگی آنها دلالت بر یک زمین چهار تا پنج لایه ای دارند. همچنین روند تغییرات مقاومت ویژه ظاهری حاصل از سونداژهای سه گانه پروفیل سوم (با وجود بالاتر بودن مقاومت ویژه ظاهری سونداژ ۲۵۳) نیز هماهنگی خوبی با هم دارند و علاوه بر آن لایه بودن زمین در امتداد این پروفیل را نشان می دهند.



شکل ۳-۴: نتایج سونداژ زنی الکتریکی روی پروفیل چهارم



شکل ۳-۵: نتایج سونداژ زنی الکتریکی روی پروفیل پنجم

شکل ۳-۴ نشان می دهد که روند تغییرات مقاومت ویژه ظاهری حاصل از سونداژهای پروفیل چهارم (بجز برای سونداژ ۲۰۵) با هم در هماهنگی نسبتاً خوبی بوده ولی برای بعضی از سونداژها (مثل سونداژ ۲۰۸ و ۲۰۹) مقادیر مقاومت ویژه ظاهری بالاتر و برای سونداژ ۲۰۵ کمتر از بقیه سونداژهای روی پروفیل می باشند که این امر ممکن است به دلیل ناهمگنی های جانبی زمین مورد مطالعه و اثرات محلی زمین در محل سونداژ های یاد شده باشد که این مسئله باید در تفسیر کمی داده ها مورد توجه قرار گیرد. از آنجا که بغیر از این سه سونداژ، مقاومت ویژه ظاهری ثبت شده برای هشت سونداژ دیگر هم از نظر اندازه و هم از نظر چگونگی تغییرات با هم در تطابق خوبی هستند از این رو می توان زمین مورد مطالعه را با تقریب خوب یک زمین لایه ای فرض نمود و نتایج را با این فرض تفسیر نمود و سپس صحت نتایج را با دخالت دادن ناهمگنی های اشاره شده مقاومت ویژه مورد بررسی بیشتر قرار داد.

از روی شکل ۳-۵ می توان دریافت که روند تغییرات مقاومت ویژه زمین در امتداد پروفیل پنجم در کل مثل روند تغییرات مشاهده شده برای سونداژ های پروفیل چهارم که در فاصله تقریباً ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری شمال این پروفیل واقع شده است می باشد. علاوه بر آن شکل ۳-۵ نشان می دهد که

مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده در امتداد پروفیل پنجم از نظر روند تغییرات و اندازه برای اکثر سونداژها با هم همخوان بوده و این امر خود دلیلی خوب برای لایه ای بودن زمین مورد مطالعه در این بخش دارد. با وجود این روند تغییرات و اندازه مقاومت ویژه ظاهری سه سونداژ انتهایی این پروفیل (سونداژهای ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱) با دیگر سونداژها تا حدودی متفاوت بوده طوری که در کلیه اعماق مقاومت ویژه ثبت شده برای این سونداژها به مقدار قابل توجهی پایین تر از مقاومت ویژه ظاهری دیگر سونداژها است. این امر ممکن است به دلیل تغییرات زمین شناسی و یا تغییر در دانه بندی مواد آبرفتی در امتداد پروفیل باشد که خود تفسیر داده ها را بر اساس لایه ای بودن زمین مورد سوال قرار می دهد. با وجود تمامی موارد اشاره شده زمین مورد مطالعه در امتداد این پروفیل ابتدا لایه ای فرض شده و نتایج بر اساس این فرض تفسیر می گردند و سپس صحت نتایج با دخالت دادن تغییرات زمین شناسی و یا تغییر در دانه بندی رسوبات آبرفتی مورد بررسی بیشتر قرار می گیرد.

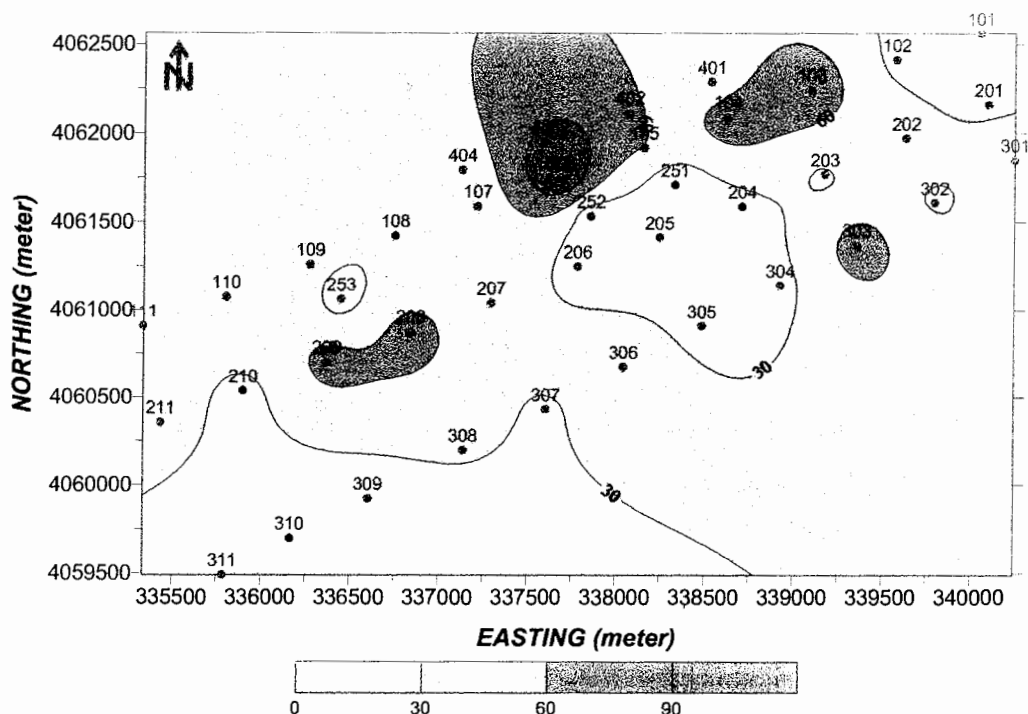
### ۳-۲-۱ نقشه مقاومت ویژه ظاهری اعماق مختلف

به منظور بررسی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لایه ها در اعماق مختلف، نقشه مقاومت ویژه ظاهری مربوط به اعماق ظاهری متناظر با نصف فاصله خط جریان های  $AB/2 = 10, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400$  متر تهیه گردید که به دلیل مشابهت، فقط بعضی از آنها در اشکال ۳-۶ لغایت ۳-۱۰ نشان داده شده اند که در زیر به بررسی آنها می پردازیم.

در شکل ۳-۶ و ۳-۷ نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری مربوط به عمق متناظر با  $AB/2 = 10$  و  $AB/2 = 50$  متر آورده شده است

همانطور که در شکل ۳-۶ مشاهده می گردد، در عمق متناظر با خط جریان  $AB/2 = 10$  متر، مقاومت ویژه ظاهری در مرکز، جنوب و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه پایین و در سایر قسمت ها عمدتاً مقدار ۳۰ تا ۶۰ اهم-متر را دارا می باشد. مناطق نشان داده شده با رنگ

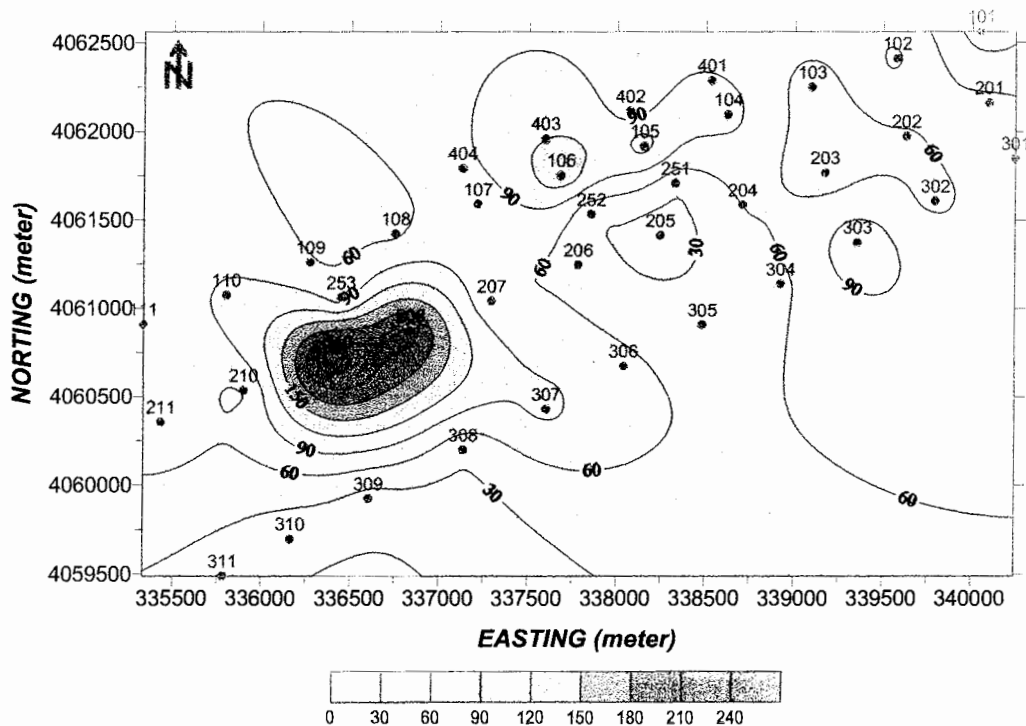
قهوه‌های و قرمز که عمدتاً در شمال منطقه قرار دارند دارای مقاومت ویژه ظاهری بالاتری نسبت به بقیه مناطق می باشند که این تغییرات مقاومت ویژه را می توان به تغییرات دانه بندی در نقاط مختلف منطقه نسبت داد.



شکل ۳-۶: نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متناظر با عمق ظاهری  $AB/2=10$  متر

شکل ۳-۷ نشان می دهد که در عمق مربوط به  $AB/2=50$  متر، مقاومت ویژه ظاهری در قسمت های مرکزی و جنوبی از ۳۰ تا ۶۰ اهم-متر و در بخش های جنوب غربی (حوالی سونداژهای ۳۱۱ و ۳۰۹، ۳۱۰) بخاطر حضور احتمالی رس و مارن به کمتر از ۳۰ اهم-متر و در بخش های شمالی به دلیل حضور دانه های درشت تر رسوبات آبرفتی بین ۶۰ تا ۹۰ اهم-متر تغییر می کند. علاوه بر آن در بخش غربی و در اطراف سونداژهای ۲۰۸ و ۲۰۹ مقاومت ویژه ظاهری از ۱۵۰ تا ۲۱۰ اهم-متر در نوسان می باشد که خود ممکن است بیانگر حضور رسوبات آبرفتی دانه متوسط تا دانه درشت خشک باشد. در کل این

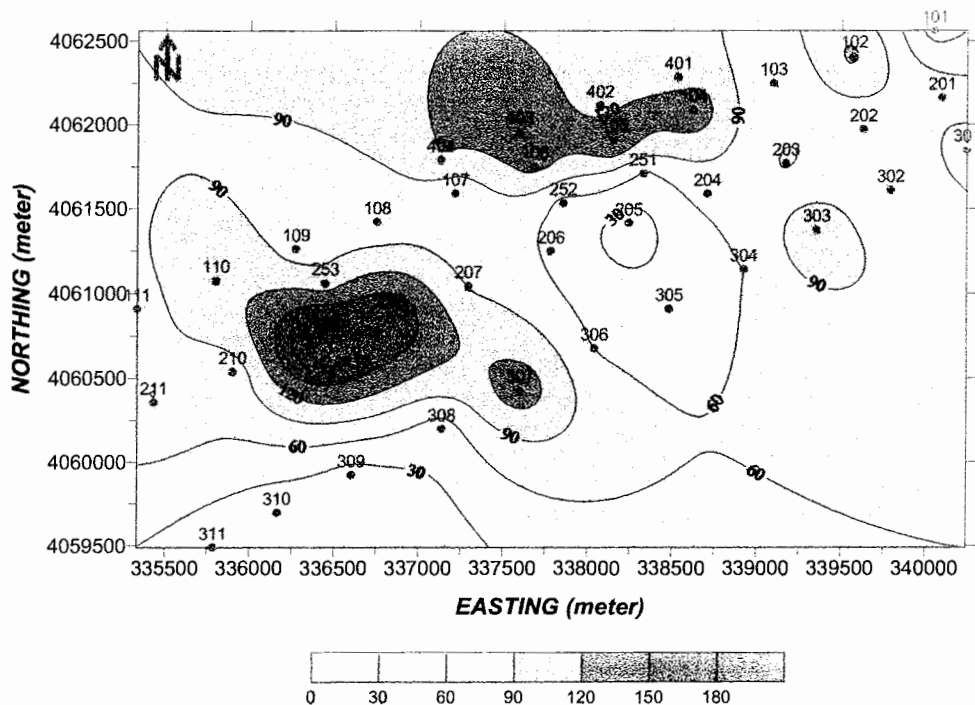
شکل تغییر پذیری نسبتاً زیاد در دانه بندی رسوبات آبرفتی در عمق مورد نظر را نشان می دهد.



شکل ۳-۷: نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متناظر با عمق ظاهری  $AB/2=50$  متر

در شکل ۳-۸ توزیع مقاومت ویژه ظاهری برای عمق ظاهری مربوط به  $AB/2=100$  متر نشان داده شده است. همان طور که از شکل پیدا می باشد بخش های اعظم منطقه در این عمق دارای مقاومت ویژه ظاهری ۶۰ تا ۹۰ اهم-متر است که ممکن است به دلیل حضور رسوبات آبرفتی دانه ریز تا متوسط کمی مرطوب باشد. در مقابل زون مقاوم دیده شده در شکل قبلی (شکل ۳-۷) در بخش های شمالی (اطراف سونداژهای ۱۰۴ تا ۱۰۷ از پروفیل دوم و به بالا) و قسمت غربی منطقه (حوالی سونداژهای ۲۰۸ و ۲۰۹) مقاومت ویژه ظاهری بیشترین مقدار را دارد که ممکن است آثاری از حضور رسوبات آبرفتی دانه درشت و یا دانه متوسط خشک باشد. این در حالی است که در اطراف سونداژهای ۲۰۶، ۲۰۵ و در مابین سونداژهای ۳۰۴ و ۳۰۶ و همین طور بخش هایی از قسمت های جنوبی رسوبات دارای مقاومت ویژه ظاهری ۳۰ تا ۶۰ اهم-متر می باشند که ممکن است دلالت بر

حضور رسوبات آبرفتی دانه ریز تا متوسط مرطوب را داشته باشند. در قسمتی از جنوب غربی (مثل شکل ۳-۷) و همینطور اطراف سونداژ ۲۰۵ از پروفیل چهارم مقاومت ویژه‌های کمتر از ۳۰ اهم-متر دیده می شود که به احتمال زیاد دال بر حضور رس و مارن است.



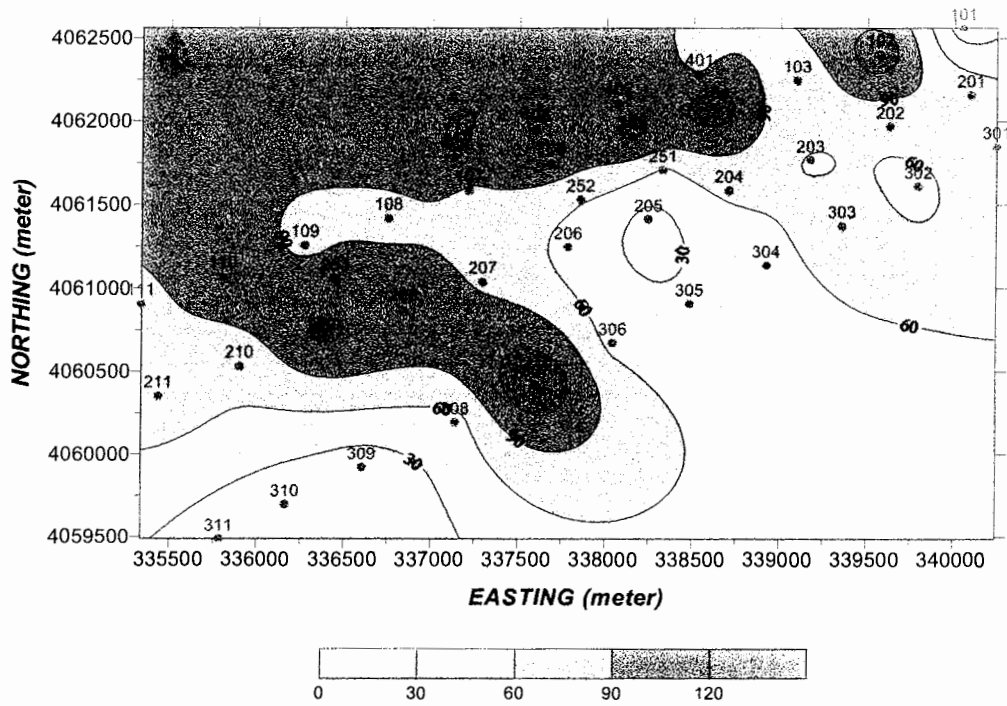
شکل ۳-۸: نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متناظر با عمق ظاهری  $AB/2=100$  متر

در شکل ۳-۹ نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری مربوط به عمق ظاهری  $AB/2=200$  متر نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیدا می باشد بخش های اعظم منطقه، بجز نواحی قرمز رنگ، دارای مقاومت ویژه ظاهری ۳۰ تا ۹۰ اهم-متر می باشد که به طرف جنوب و جنوب غربی به دلیل افزایش درصد رس موجود در رسوبات مقدار آن به کمتر از ۳۰ اهم-متر کاهش می یابد. این دامنه تغییرات مقاومت ویژه را احتمالاً می توان به تغییر در دانه بندی رسوبات آبرفتی آبدار منطقه که دارای دانه بندی متوسط تا دانه ریز هستند مرتبط ساخت که به دلیل حضور احتمالی آب شیرین دارای چنین دامنه مقاومت ویژه ای می باشند که البته لازم است صحت آن در بخش های بعدی مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. مناطق مشخص شده با رنگ قرمز که عمدتاً در بخش های شمال تا

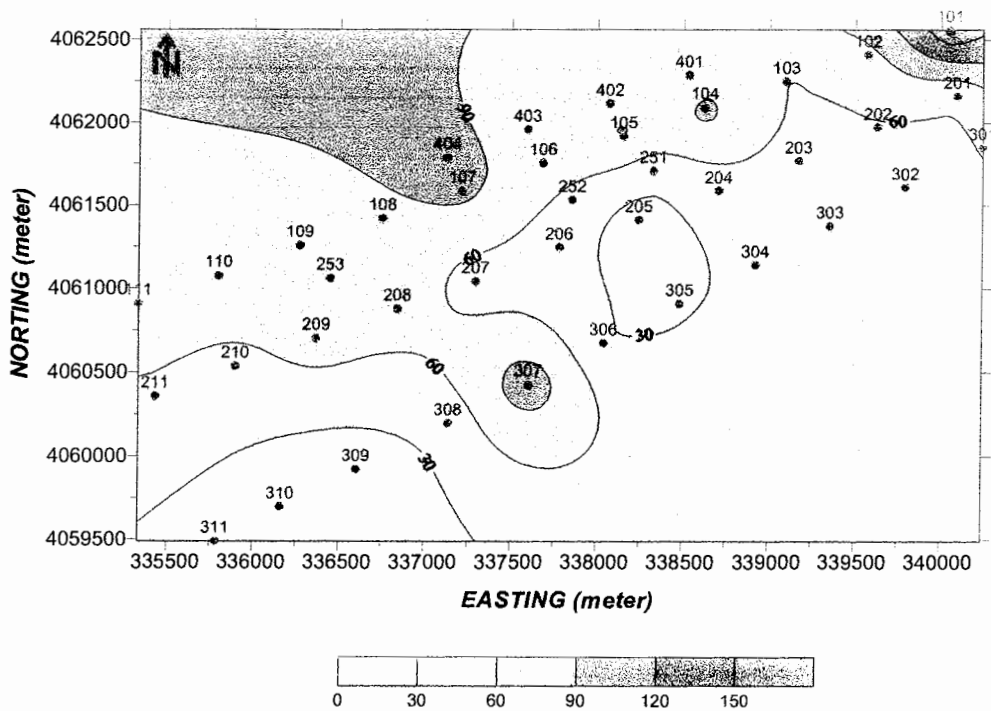


شمال غربی و همچنین مناطق بین سونداژ ۱۱۰ تا ۳۰۷ دارای مقاومت ویژه ظاهری بالا می باشند که این امر ممکن است حضور آبرفت های دانه متوسط خشک تا دانه درشت قلوه سنگی را نشان بدهد.

نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری مربوط به عمق ظاهری  $AB/2=400$  متر در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. از روی شکل می توان مشاهده کرد غالب منطقه، بجز مناطق نشان داده شده با رنگ قهوه ای و قرمز در گوشه شمال شرقی و همچنین نواحی قهوه ای رنگ اطراف سونداژهای ۱۰۷ و ۴۰۴، دارای گستره مقاومت ویژه ظاهری ۳۰ تا ۹۰ اهم-متر می باشد که از شمال به جنوب و جنوب غربی مقدار آن بخاطر تغییر در دانه بندی رسوبات آبرفتی آبدار و همچنین افزایش املاح آب و یا افزایش ذرات رس به حدود ۳۰ اهم-متر کاهش پیدا می کند. علاوه بر آن در نواحی اطراف سونداژهای ۲۰۵ و ۳۰۵ که نسبت به شکل قبلی گسترش بیشتری پیدا کرده اند و همچنین مناطق جنوب غربی نقشه مقاومت ویژه ظاهری به خاطر احتمالاً بالا آمدگی سنگ بستر رسی و یا حضور میان لنزهای مرطوب رسی به مقدار بسیار کمتر از ۳۰ اهم-متر می رسند که البته با توجه به اطلاعات حاصل از حفاری چاه شماره ۴ (شکل ۲-۹ از فصل دوم) که در جنوب سونداژ ۲۱۱ قرار گرفته است فرض اول محتمل تر به نظر می رسد.

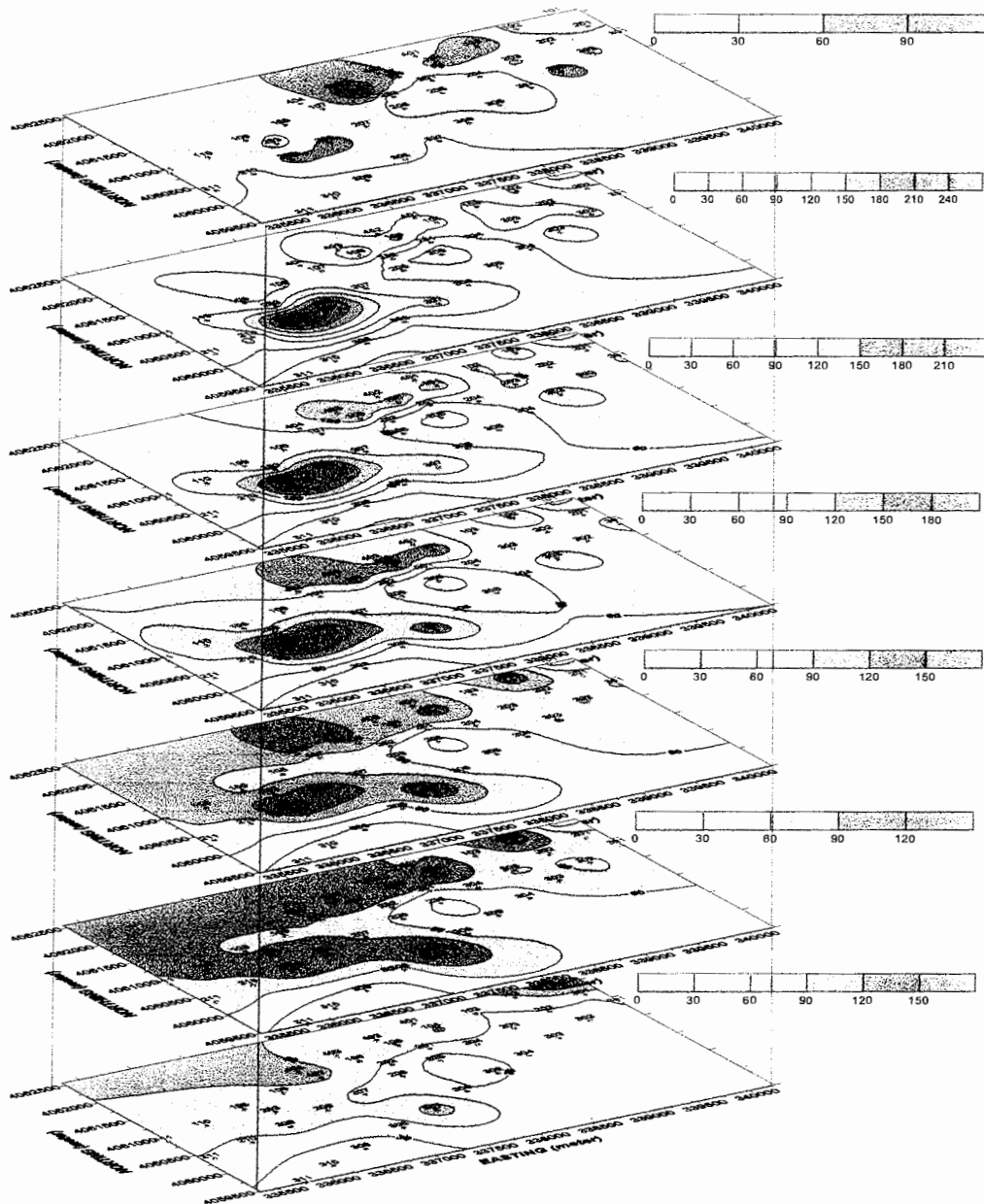


شکل ۳-۹: نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متناظر با عمق ظاهری  $AB/2=200$  متر



شکل ۳-۱۰: نقشه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متناظر با عمق ظاهری  $AB/2=400$  متر

علاوه بر نقشه های فوق که تغییرات مقاومت ویژه ظاهری منطقه مورد بررسی را در اعماق مختلف در دو بعد نشان می دهند، در شکل ۱۱-۳ شکل دیگری ارائه می گردد تا تغییرات مقاومت ویژه را به صورت سه بعدی نشان دهد.



شکل ۱۱-۳: نمایش سه بعدی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری منطقه متناظر با اعماق ظاهری از بالا به پایین برای  $AB/2=10$ ،  $AB/2=50$ ،  $AB/2=70$ ،  $AB/2=100$ ،  $AB/2=150$ ،  $AB/2=200$  و  $AB/2=400$  متر

همان طور که نمایش تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در محل هر سونداژ و نمایش تغییرات آن بصورت نقشه که بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان تهیه می گردند می تواند در هنگام تفسیر اولیه بسیار مفید واقع شود، نمایش تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در امتداد هر یک از پروفیل های مورد نظر بصورت شبه مقطع نیز بسیار مفید می باشد. به همین دلیل چنین شبه مقاطعی برای هر یک از پروفیل ها تهیه و در بخش های بعدی ارائه می شود.

### ۳-۳ مدل سازی و تفسیر کمی داده ها

#### ۳-۳-۱ مدل سازی یک بعدی داده ها

در بخش های قبلی با ارائه داده های هریک از سونداژها بر حسب  $AB/2$  چگونگی تغییرات مقاومت ویژه زمین نسبت به عمق به صورت کیفی مورد بررسی قرار گرفت که در جای خود ارزشمند است ولی برای تفسیر دقیق تر داده ها و پیدا کردن مقاومت ویژه واقعی و ضخامت هر یک از طبقات در محل هر یک از سونداژها بایستی مدل سازی داده ها به طریقی مناسب صورت گیرد و سپس داده ها با توجه به واقعیت های زمین شناسی مورد تفسیر قرار گیرند. با توجه به مطالب قبلی می توان گفت که در اکثر موارد منحنی مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای روی هریک از پروفیل ها با هم هماهنگ بوده و از این رو در وهله اول می توان زمین مورد بررسی را در محل هر یک از سونداژها لایه ای فرض کرد و داده ها را به صورت یک بعدی تفسیر نمود.

برای مدل سازی عددی یک بعدی<sup>۱</sup> داده های سونداژ الکتریکی روش های مختلفی وجود دارد که می توان همگی آنها را به دو دسته مدل سازی پیشرو<sup>۲</sup> و مدل سازی معکوس<sup>۳</sup> تقسیم کرد [۸]. مدل سازی معکوس می تواند بصورت هموار<sup>۴</sup> [۱۳] و پارامتری<sup>۵</sup> [۱۹] صورت گیرد که شرح هر یک از آنها خارج از موضوع گزارش است و برای اطلاع بیشتر می توان به مراجع داده شده مراجعه کرد. در مطالعه حاضر برای مدل سازی یک بعدی داده ها از مدل سازی معکوس پارامتری و هموار در قالب

<sup>۱</sup> - One-Dimensional (1-D) numerical modeling

<sup>۲</sup> -Forward modeling

<sup>۳</sup> -Inverse modeling

<sup>۴</sup> -Smooth modeling

<sup>۵</sup> -Parametric modeling

نرم افزار RESIX-IP استفاده می شود [۲۳]. در این نرم افزار برای پایداری بیشتر در معکوس پارامتری داده ها و جلوگیری از تولید نتایج غلط از یک الگوریتم غیر خطی مناسب بنام رگرسیون ریج<sup>۱</sup> [۱۵] استفاده می شود که خود مزیت بزرگی نسبت به دیگر نرم افزارهای مورد استفاده برای مدل سازی یک بعدی داده های سونداژ الکتریکی است.

قبل از اینکه وارد بحث مدل سازی داده ها شویم لازم است مواردی چند در باره ابهامات و خطاهای تفسیر نتایج حاصل از مدل سازی یک بعدی سونداژهای الکتریکی اشاره شود تا در حین تفسیر به آنها توجه شود. بعضی از این خطاهای ناشی از عدم تماس خوب الکترودها با زمین و یا ناشی از تغییرات محلی مقاومت ویژه زمین در لایه های سطحی و یا تغییرات شدید توپوگرافی است که باعث بوجود آمدن خطا در محاسبه مقاومت ویژه و ضخامت لایه ها می گردد. برای جلوگیری از این خطاها در هنگام عملیات صحرایی برداشت داده ها سعی شده تا تماس خوب الکترودها با زمین با دفن مناسب و افزودن آب نمک بهبود یابد. علاوه بر آن با انتخاب آرایه مناسب شولمبرژه اثر ناهمگنی های سطحی نیز به حداقل رسانیده شد. همان طور که قبلاً اشاره شد منطقه از توپوگرافی ملایمی در اکثر نقاط برخوردار است و از این نظر جای نگرانی وجود ندارد. جدای از موارد فوق که بیشتر به شرایط زمین و یا نوع آرایه الکترودی مربوط می شود ابهاماتی دیگری ممکن است در اثر وجود دو عامل اصل هم ارزی<sup>۲</sup> و اصل اختفاء<sup>۳</sup> در تفسیر دیده شود که ذیلاً به آنها اشاره می گردد [۲۴].

اصل هم ارزی اشاره به این موضوع دارد که تشخیص دو لایه بسیار مقاوم با ضخامت ( $t$ ) و مقاومت ویژه ( $\rho$ ) متفاوت، در صورتی که حاصلضرب ضخامت و مقاومت ویژه ( $\rho.t$ ) یکسانی داشته باشند و یا اینکه تمایز دو لایه بسیار هادی با مقاومت ویژه و ضخامت متفاوت مادامی که نسبت ضخامت به مقاومت ویژه ( $t/\rho$ ) یکسانی داشته باشند در مدل سازی داده های مقاومت ویژه غیر ممکن است. در چنین حالاتی مدل سازی داده های سونداژ الکتریکی فقط حاصلضرب  $\rho.t$  و یا نسبت  $t/\rho$  را نتیجه

<sup>۱</sup> -Ridge regression

<sup>۲</sup> -Principle of equivalence

<sup>۳</sup> - Principle of suppression

می دهند و برای تعیین ضخامت و یا مقاومت ویژه در چنین حالاتی باید از اطلاعات اضافی دیگر مثل نتایج حفاری و نتایج لرزه نگاری انکساری استفاده کرد [۱۶].

با توجه به موارد فوق الذکر، اصل هم ارزی در مورد لایه هایی صادق است که مقاومت ویژه آنها بزرگتر و یا کوچکتر از طبقاتی باشند که آنها را در بر گرفته اند. بر اساس این اصل لایه مقاومی که بین دو لایه هادی تر از خود واقع شده است، خود را با مقاومت عرضی<sup>۱</sup> آن یعنی  $T = \rho \cdot t$  نشان می دهد. از طرف دیگر یک لایه هادی که بین دو طبقه با مقاومت ویژه بیشتر واقع شده است، خود را با هدایت افقی<sup>۲</sup> اش، یعنی  $S = t/\rho$ ، نشان می دهد. بنابر این، تفکیک دو لایه مقاوم از یکدیگر، که دارای مقاومت عرضی یکسان باشند، (هرچند، ضخامت و مقاومت ویژه متفاوت داشته باشند)، غیر ممکن است. به همین ترتیب، تفکیک دو لایه هادی از یکدیگر، که دارای هدایت طولی یکسان باشند (هر چند دارای هدایت ویژه و ضخامت مختلف باشند)، نیز غیر ممکن خواهد بود [۶].

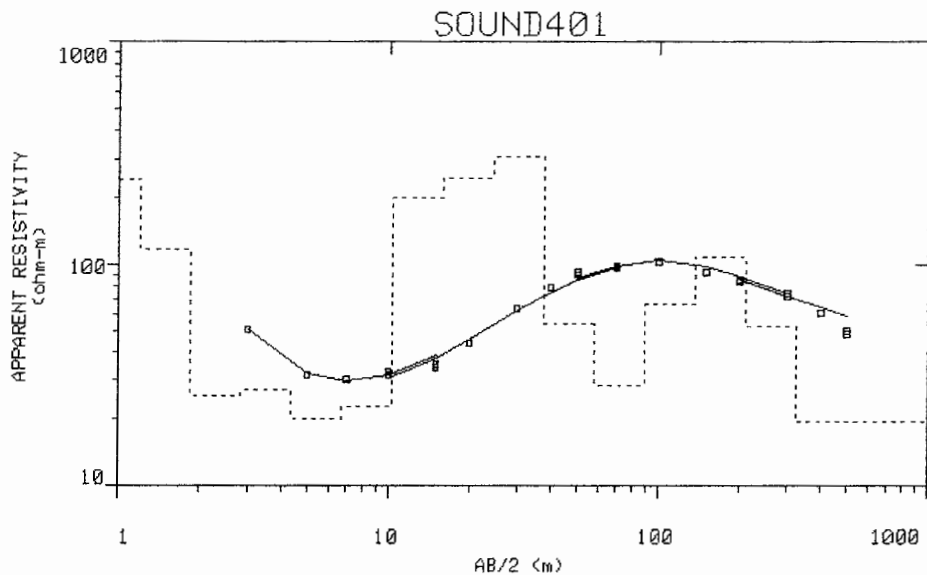
اصل اختفاء بیان می کند که اگر مقاومت ویژه یک لایه، بین مقادیر مقاومت ویژه لایه های مجاورش باشد، تا زمانی که این لایه ضخامت کافی نداشته باشد، روی منحنی سونداژ الکتریکی مربوطه، اثر چندانی نخواهد گذاشت و در واقع لایه مذکور، اثر خود بر منحنی سونداژ را مخفی می کند. بعبارت دیگر لایه های خیلی نازک که بین لایه های ضخیم هادی و یا مقاوم قرار می گیرند بر روی منحنی سونداژ مخفی می مانند و قادر به شناسایی نمی باشند مگر اینکه مقاومت ویژه آنها نسبت به لایه های مجاور فوق العاده زیاد و یا کم باشد.

حال که با موارد فوق آشنا شدیم به مدل سازی یک بعدی و تفسیر داده های سونداژ الکتریکی مورد نظر می پردازیم. در مدل سازی داده ها روال بر این بوده است که در ابتدا با در نظر گرفتن یک زمین همگن به عنوان مدل اولیه، داده های هر یک از سونداژها با استفاده از نرم افزار اشاره شده به صورت معکوس مورد مدل سازی هموار قرار گرفتند تا وضعیت تغییرات مقاومت ویژه نسبت به عمق و همچنین وضعیت لایه بندی طبقات تا حدودی روشن شود. در این شیوه مدل سازی بجای تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه، در حین عمل مدل سازی اجازه داده می شود تا مقاومت ویژه زمین نسبت به

<sup>۱</sup> - Transverse resistance

<sup>۲</sup> - Horizontal conductance

عمق تغییرات تدریجی داشته باشد که ممکن است در عمل با بسیاری از شرایط زمین شناسی انطباق داشته باشد و یا اینکه نتیجه مدل سازی بسیاری از محدودیت های فیزیکی روش اکتشافی را مد نظر قرار دهد [۱۹]. به عنوان نمونه در شکل ۳-۱۲ نتیجه مدل سازی هموار برای یکی از سونداژهای پروفیل یک از منطقه مورد مطالعه آمده است.



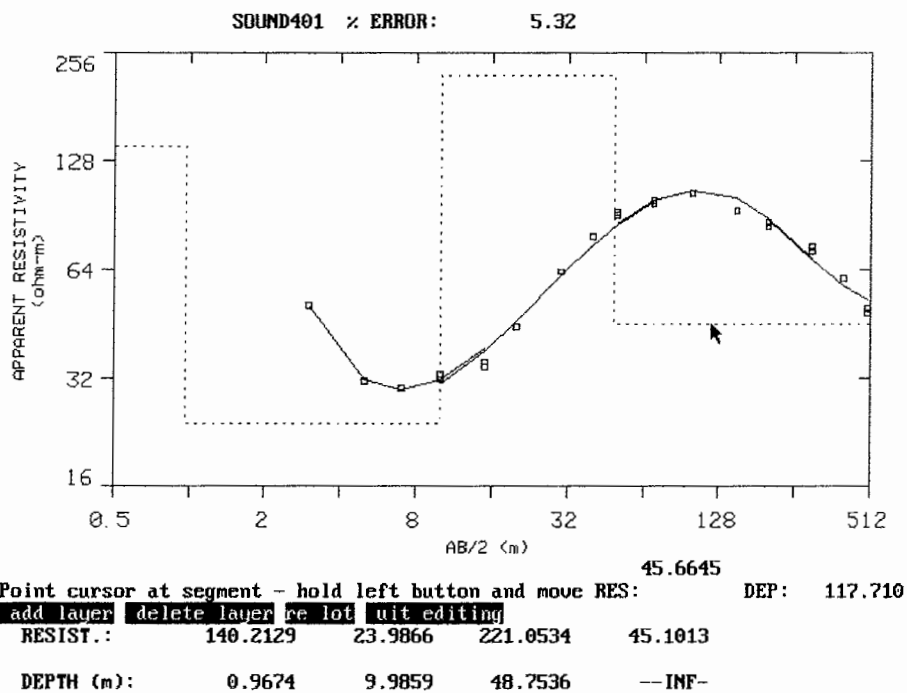
شکل ۳-۱۲: نتیجه مدل سازی هموار داده های سونداژ ۴۰۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل باز یابی شده (داده های محاسبه ای) با منحنی پر و همچنین مدل باز سازی شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

همان طوری شکل فوق نشان می دهد پاسخ مدل و یا داده های محاسبه ای از برازش خوبی با داده های اندازه گیری شده (مشاهده ای) مقاومت ویژه برخوردارند و این مطلب دلالت بر دقت مدل سازی را دارد که در این حالت دارای خطای  $RMS^1$  کمتر از ۵ درصد می باشد. اضافه می گردد که خطای فوق صحت نسبی نتایج مدل سازی را نشان می دهد و با وجود محدودیت های اشاره شده نتیجه همه گونه مدل سازی معکوس منجمله مدل سازی حاضر یکتا<sup>۲</sup> نمی باشد. با داشتن نتیجه

<sup>۱</sup> -Root mean square

<sup>۲</sup> -Unique

مدل سازی فوق می توان مدل اولیه مناسبی برای مدل سازی معکوس پارامتری تهیه و با انجام محاسبات عددی و تکرار های متعدد پارامترهای لایه های زیر زمینی در محل هر یک از سونداژها را به گونه ای تنظیم نمود تا پاسخ مدل به دست آمده برازش خوبی با داده های مقاومت ویژه اندازه گیری شده داشته باشد. در صورت وجود اطلاعات اضافی، مثل مشخص بودن عمق آب با اطلاعات حفاری، نرم افزار این قابلیت را دارد که در حین معکوس سازی پارامتری، عمق و یا پارامتر مورد نظر را ثابت<sup>۱</sup> گرفته و برای کمینه کردن خطای مدل سازی دیگر پارامترها را تغییر دهد. شکل ۳-۱۳ نتیجه مدل سازی پارامتری را برای داده های سونداژ ۴۰۱ از پروفیل اول نشان می دهد و نتیجه چنین مدل سازی برای بقیه سونداژها در پیوست ب می آید.

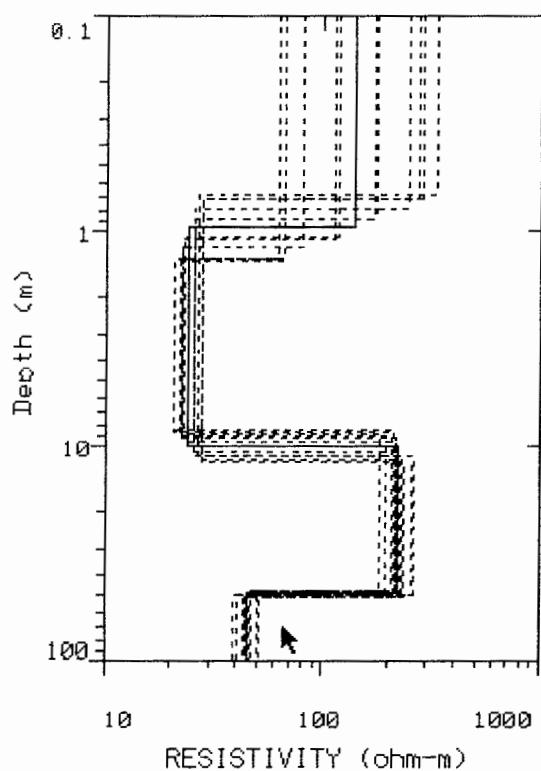


شکل ۳-۱۳: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۴۰۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

<sup>۱</sup>-Fix



شکل ۳-۱۳ نشان می دهد که پاسخ یک مدل زمین چهار لایه ای با مشخصات داده شده در زیر شکل قادر است داده های مشاهده شده را با خطای  $RMS^1$  کمتر از ۶ درصد توجیه نماید. لایه چهارم که در شکل با علامت فلش مشخص شده است در محل این سونداژ لایه آبدار را در عمق ۴۸/۷۵ متری نشان می دهد. برای ارزیابی های بهتر از صحت نتایج مدل سازی پارامتری و رفع پاره ای از ابهامات از پارامترهای مدل حاصل، آنالیز مدل های هم ارز (بر اساس اصل هم ارزی) برای هر مورد انجام شده که برای نمونه نتیجه چنین آنالیزی برای سونداژ ۴۰۱ در شکل ۳-۱۴ می آید.



شکل ۳-۱۴: مدل های هم ارز (مدل های معادل) حاصل از مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۴۰۱. خطوط نمایش داده شده به صورت خط چین مدل های هم ارز بهترین مدل حاصل را که با خط پر مشخص شده نشان می دهند. لایه آبدار با فلش در شکل مشخص شده است.

بر اساس شکل فوق که بر اساس آنالیز هم ارزی تهیه شده است مرز مشترک لایه سوم و چهارم که سطح ایستابی آب زیر زمینی را نشان می دهد و در عمق ۴۸/۷۵ متری قرار دارد بسیار خوب مدل

<sup>1</sup>- منبع در هر جای این گزارش که خطای مدل سازی ذکر شود منظور خطای  $RMS$  است مگر اینکه بگونه دیگر قید شود.

شده است و دارای دامنه تغییرات بسیار کمی است. همین طور مقاومت ویژه لایه دوم و سوم و علاوه بر آن مرز تحتانی لایه دوم نیز دارای دامنه تغییرات قابل توجهی نبوده ولی در عوض عمق و مقاومت ویژه لایه اول دارای تغییرات زیادی است. از آنجا که در این مطالعه هدف شناسایی لایه آبدار زیر زمینی و تعیین عمق لایه آبدار است با توجه به موارد اشاره شده تا حدود زیادی هدف برآورده شده است.

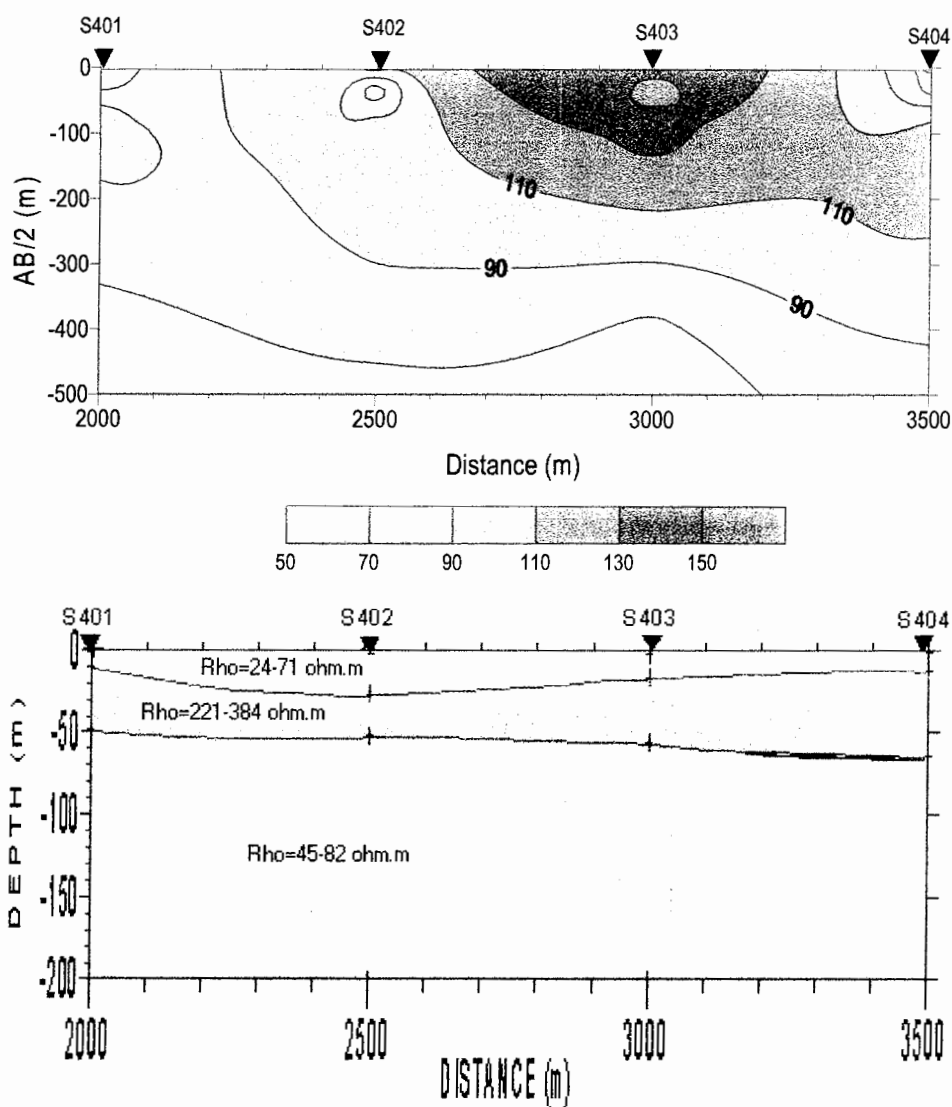
مدل سازی معکوس هموار و پارامتری برای هر سونداژ به طریقی که اشاره شد به طور مجزا صورت گرفت و مدل لایه ای زیر سطحی همراه با پارامترهای آن متشکل از ضخامت و مقاومت ویژه و بارپذیری (در صورت وجود) تعیین گردید. سپس مدل های به دست آمده، بر روی پروفیل های مربوطه قرار داده شده و یک مقطع ژئوالکتریکی از مجموع آنها ساخته شد. مزیت ارائه نتایج مدل سازی بدین صورت این است که تغییرات ضخامت و تعداد لایه ها و همچنین تغییرات ایجاد شده در روند قرار گیری آنها در زیر هر یک از نقاط برداشت، به وضوح قابل مشاهده می باشد. علاوه بر آن می توان وضعیت لایه ای بودن لایه های زیر سطحی را بیشتر بررسی نمود. لازم به ذکر است چنین مقاطعی در صورتی که زمین واقعاً لایه ای باشد مقطع واقعی الکتریکی و در غیر این صورت بهتر است به آنها شبه مقطع مقاومت ویژه اطلاق شود. این مقاطع مقاومت ویژه بکمک نرم افزار Surfer برای هریک از پروفیل های مورد نظر تهیه و در بخش های زیر ارائه و تفسیر می گردند.

### ۳-۳-۱-۱ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۱

در شکل ۳-۱۵ مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده سونداژهای پروفیل اول نشان داده شده است. علاوه بر آن نتایج مدل سازی معکوس پارامتری داده های هر یک از سونداژها به صورت عددی در جدول ۳-۱ درج شده است.

همانطور که جدول ۳-۱ نشان می دهد تعداد لایه ها در محل سونداژها از چهار تا پنج لایه تغییر می نماید و ضخامت آنها از تغییرات کمی در سرتاسر پروفیل برخوردار است. همچنین خطای مدل سازی داده ها بندرت از ۵/۵ درصد تجاوز می کند که خود دقت در مدل سازی را نشان می دهد.

همچنین فرم ظاهری تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در شبه مقطع آورده شده در بخش بالایی شکل ۱۵-۳ تا حدودی مبین لایه ای بودن زمین است طوری که از محل سونداژ ۴۰۱ به سمت سونداژ ۴۰۴ عمق ظاهری لایه های با مقاومت کمتر از ۹۰ اهم-متر که احتمالاً لایه آبدار را نشان می دهد افزایش می یابد.



شکل ۱۵-۳: مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه (بخش پایینی) همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بخش بالایی شکل) سونداژهای پروفیل اول

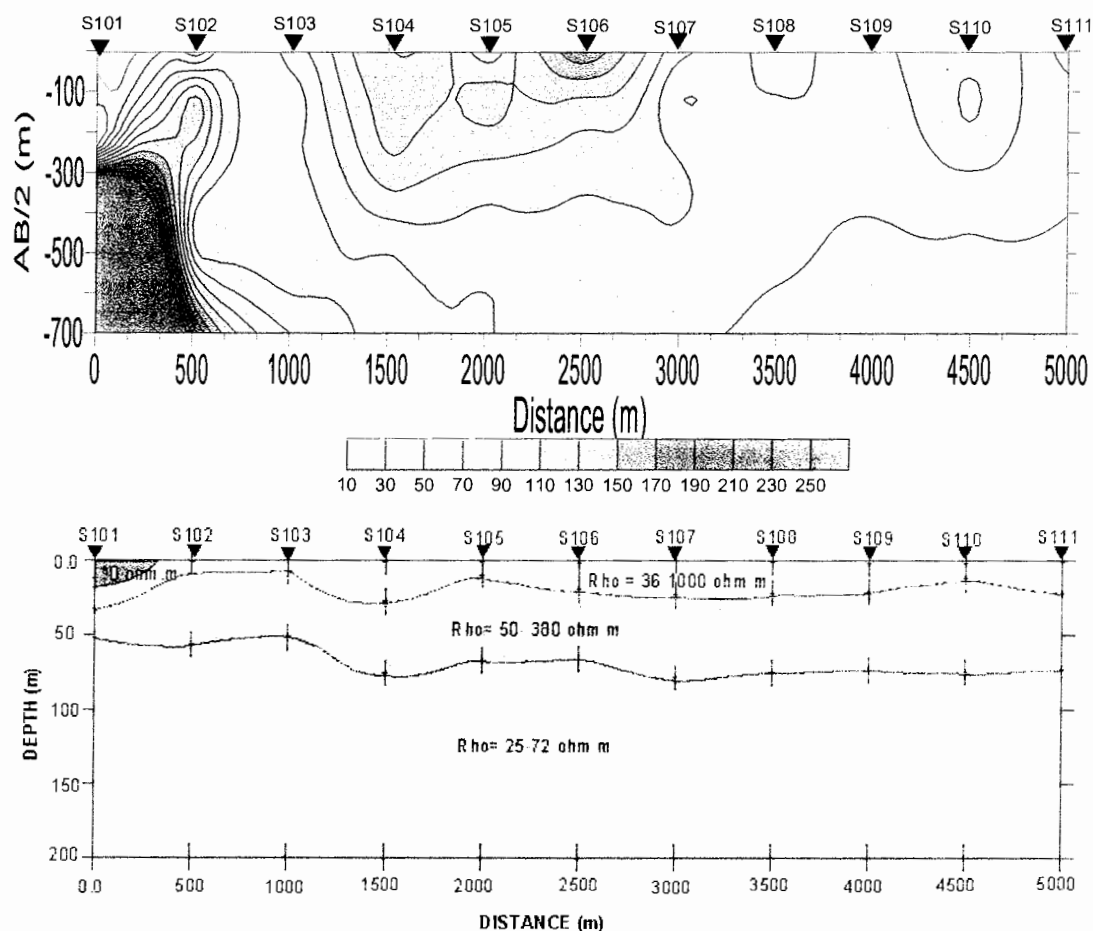
این در حالی است که در بخش پایینی شکل ۳-۱۵ که مقطع مقاومت ویژه واقعی را بر حسب عمق در طول پروفیل نشان می دهد عمق لایه آبدار که با رنگ آبی آسمانی نشان داده شده است در حد فاصل سونداژهای ۴۰۱ تا سونداژ ۴۰۳ تقریباً ثابت بوده و به طرف سونداژ ۴۰۴ کمی بیشتر شده و به حدود ۶۵ متر می رسد. همانطور که قبلاً اشاره شد در حوالی سونداژ ۴۰۲ مادر چاه قنات وجود دارد که سطح آب زیر زمینی در آن با اندازه گیری انجام شده به حدود ۴۵ متر می رسد. این عمق با عمق حاصل از مدل سازی داده های سونداژ ۴۰۲ که عمق سطح ایستابی آب زیر زمینی را حدود ۵۰ متر در ۶۰ متری غرب مادر چاه قنات نشان می دهد در همخوانی خوبی است. لازم به ذکر است که امکان نمایش لایه خشک سطحی نسبتاً مقاوم به دلیل ضخامت کمتر از ۲/۵ متر در شکل میسر نبوده است. علاوه بر آن در مقطع ژئوالکتریک به دست آمده از مدل سازی یک لایه نسبتاً مقاوم (با مقاومت ویژه ۲۲۰ تا ۳۸۴ اهم-متر) روی لایه آبدار وجود دارد که به احتمال زیاد می تواند لایه ای متشکل از شن های دانه درشت همراه با قلوه سنگ تفسیر گردد.

جدول ۳-۱ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های سونداژهای پروفیل ۱

لایه	S401		S402		S403		S404	
	مقاومت ویژه (اهم-متر)	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه (اهم-متر)	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه (اهم-متر)	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه (اهم-متر)	ضخامت (متر)
1	140,2	0,96	266,1	2,36	221,2	2,5	104,6	1,488
2	23,9	9,01	45,1	24,5	71,1	14,49	27,7	10,8
3	221,05	38,76	384,7	25,1	240,4	38,01	246,4	52,19
4	45,1	Infinite	64,5	351,2	82,2	169,83	68,4	Infinite
5			13,28	Infinite	26,39	Infinite		
	RMS=5.32		RMS=2.96		RMS=3.98		RMS=2.67	

### ۳-۱-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۲

نتایج مدل سازی داده های پروفیل دوم مرکب از ۱۱ سونداژ الکتریکی به صورت مقطع ژئوالکتریک همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است. علاوه بر آن نتایج مقاومت ویژه و ضخامت تعیین شده لایه ها در محل هر یک از سونداژهای واقع در طول پروفیل در جدول ۳-۲ آمده است.



شکل ۳-۱۶: مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه (بخش پایینی) همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بخش بالایی شکل) سونداژهای پروفیل دوم

بخش بالایی شکل فوق که شبه مقطعی از مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده بر حسب  $AB/2$  را نشان می دهد گویای این مطلب است که مقاومت ویژه در اعماق ظاهری متناظر با  $AB/2$  بیشتر از ۲۵۰ متر در محل سونداژهای ۱۰۱ و ۱۰۲ به دلیل احتمالاً حضور شن های خشک دانه درشت، بالا بوده و در بازه ۱۷۰ تا ۳۰۰ اهم-متر در تغییر است. همچنین برای فاصله مابین سونداژهای ۱۰۴ و ۱۰۷، برای اعماق متناظر با  $AB/2$  کمتر از ۱۵۰ متر، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری از ۱۳۰ تا ۲۰۰ اهم-متر در نوسان است که ممکن است به دلیل حضور رسوبات آبرفتی خشک ریز تا دانه متوسط باشد. در بقیه جاها شبه مقطع تهیه شده مقاومت ویژه ظاهری از ۱۰ تا ۱۳۰ اهم-متر را نشان می دهد که علت این تغییرات بواسطه حضور رس، آب و تغییر در دانه بندی رسوبات است.

مقطع ژئوالکتریکی آورده شده در بخش پایینی شکل ۳-۱۶ گویای این است که لایه آبداری با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۷۲ اهم متر (به رنگ آبی آسمانی) در اعماق ۵۱ متری تا حدود ۷۰ متری در زیر سونداژهای انجام شده پروفیل دوم قرار دارد که با یک لایه نسبتاً مقاوم آبرفت های دانه ریز رس دار تا دانه درشت خشک (لایه سبز رنگ) پوشانده می شوند. همان طور که در این مقطع دیده می شود لایه پوشاننده لایه آبدار افقی نبوده بلکه تا حدودی چین خورده به نظر می رسد که این موضوع بعداً با مدل سازی دو بعدی بیشتر مورد بررسی قرار می گیرد.

جدول ۲-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های سونداژهای پروفیل ۲

لایه	S101		S102		S103		S104		S105		S106	
	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)
1	57.1	12.42	904.7	0.38	91.4	7.4	484.3	1.11	401.8	0.79	263.1	2.22
2	28.19	6.26	1.7	0.82	46.1	44.3	74.6	26.9	48.8	8.27	114.5	17.5
3	1009.02	14.15	413.4	55.3	72.9	274.1	251.2	47.6	226.2	58.1	196.2	46.6
4	100.2	19.48	24.6	infinite	19.3	infinite	60.0	infinite	68.1	infinite	69.78	infinite
5	26.5	infinite										
	RMS=3.97		RMS=12.9		RMS=3.6		RMS=7.86		RMS=5.62		RMS=6.5	

لایه	S107		S108		S109		S110		S111	
	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)	مقاومت ویژه	ضخامت (متر)
1	39.2	23.4	120.8	0.88	145.1	1.72	158.3	1.9	81.7	1.17
2	148.4	55.19	36.3	21.4	40.38	18.9	49.7	10.5	51.1	21.1
3	63.4	infinite	123.0	51.4	117.5	52.59	154.7	62.5	104.8	50.5
4			75.2	516.1	69.7	262.5	71.4	362	76	246
5			16.9	infinite	23.1	infinite	17.4	infinite	32.6	infinite
	RMS=10.58		RMS=5.42		RMS=3.06		RMS=3.92		RMS=2.33	

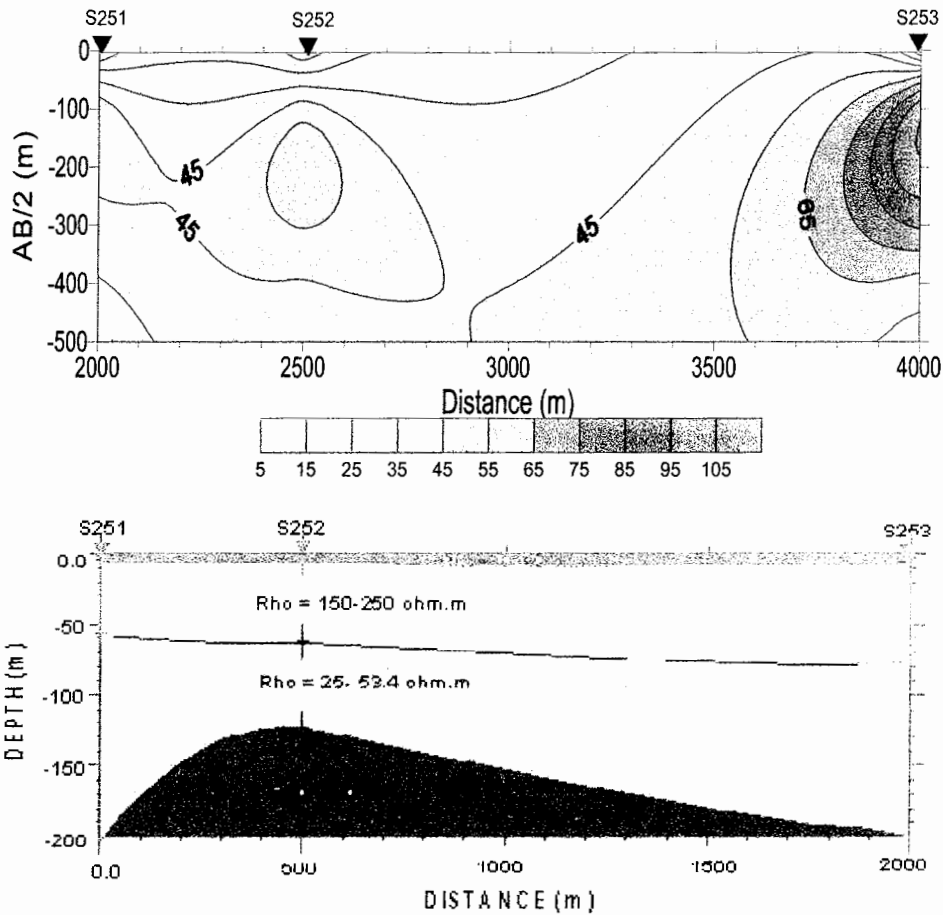
همان طور که جدول فوق نشان می دهد متوسط خطای مدل سازی کمتر از ۶ درصد می باشد که این امر ناشی از دقت در مدل سازی داده ها است. چرا که در طول این پروفیل چاه شماره ۳ (W3) واقع در ۱۳۰ متری جنوب این پروفیل و مابین سونداژهای ۱۰۸ و ۱۰۹ در عمق ۷۹ متری به آب رسیده است و تا عمق نهایی ۱۵۰ متر حفاری شده در داخل آب قرار داشته است. نتایج مدل سازی

داده های دو سونداژ فوق (جدول ۳-۲) نشان می دهد که سونداژ ۱۰۸ در عمق ۷۳/۸ متری و سونداژ ۱۰۹ در عمق ۷۳/۶۶ متری به آب می رسد. علاوه بر آن چاه شماره ۱ (W1) که در ۷۰ متری جنوب سونداژ ۱۱۱ حفر شده است در عمق ۶۸ متری به آب رسیده و تا عمق نهایی ۱۵۰ متر حفاری شده داخل آب قرار داشته است. نتایج مدل سازی داده های سونداژ ۱۱۱ بر اساس جدول ۳-۲ نشان می دهد که سطح ایستابی آب زیر زمینی در حدود ۷۲ متری قرار دارد. موارد فوق نشان می دهند که در این موارد نتایج مدل سازی صورت گرفته در تطابق خوبی با نتایج حفاری های انجام شده دارد و علاوه بر آن تا حدود زیادی فرض لایه ای بودن زمین در طول این پروفیل را نیز تأیید می نماید.

### ۳-۳-۱-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۳

نتایج مدل سازی داده های پروفیل سوم شامل سه سونداژ الکتریکی به صورت مقطع ژئوالکتریکی در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است. علاوه بر آن شبه مقطع داده های اندازه گیری شده مقاومت ویژه ظاهری نیز در بخش بالایی شکل فوق آورده شده است. نتایج مدل سازی عددی به صورت مقادیر مقاومت ویژه و ضخامت لایه ها در محل هر یک از سونداژهای واقع در طول پروفیل در جدول ۳-۳ آمده است. شبه مقطع آورده شده در شکل ۳-۱۷ نشان می دهد که برای  $AB/2$  از ۵۰ تا ۳۸۰ متری مقاومت ویژه ظاهری در زیر سونداژ ۲۵۳ به دلیل رسوبات آبرفتی دانه متوسط خشک بیش از ۶۵ اهم-متر است و به طرف عمق ظاهری بیشتر به دلیل وجود آب احتمالی کمتر می گردد. در حالی که این مقدار در بقیه جاها و بخصوص زیر سونداژهای ۲۵۱ و ۲۵۲ کمتر از ۶۵ اهم-متر بوده و در بعضی از مناطق سطحی به دلیل تمرکز رس زیاد در رسوبات آبرفتی به ۵ اهم-متر نیز می رسد. شاید در نگاه اول تغییر واضح مقاومت ویژه ظاهری دیده شده در حد فاصل سونداژهای ۲۵۲ و ۲۵۳ را به وجود یک گسل و یا تغییر جانبی لایه نسبت داد و بدین طریق نتایج مدل سازی یک بعدی را برای این مناطق دارای خطای زیاد دانست، ولی به دلیل فاصله ۱۵۰۰ متری

بین این دو سونداژ نیاز به بررسی های بیشتر است که در مبحث مدل سازی دوبعدی به آن می پردازیم.



شکل ۳-۱۷: مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه (بخش پایینی) همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بخش بالایی شکل) سونداژهای پروفیل سوم

جدول ۳-۳ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های سونداژهای پروفیل ۳

لایه	S251		S252		S253	
	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت
1	9.5	1.4	19.1	1.3	42.3	1.3
2	2.0	2.3	2.24	3.06	2.4	1.2
3	153.1	52.3	243.1	57.4	203.6	74.2
4	23.7	170.6	29.5	60.8	53.4	125.0
5	5.4	infinite	1.4	infinite	12.9	infinite
	RMS=8.25		RMS=3.31		RMS=5.76	

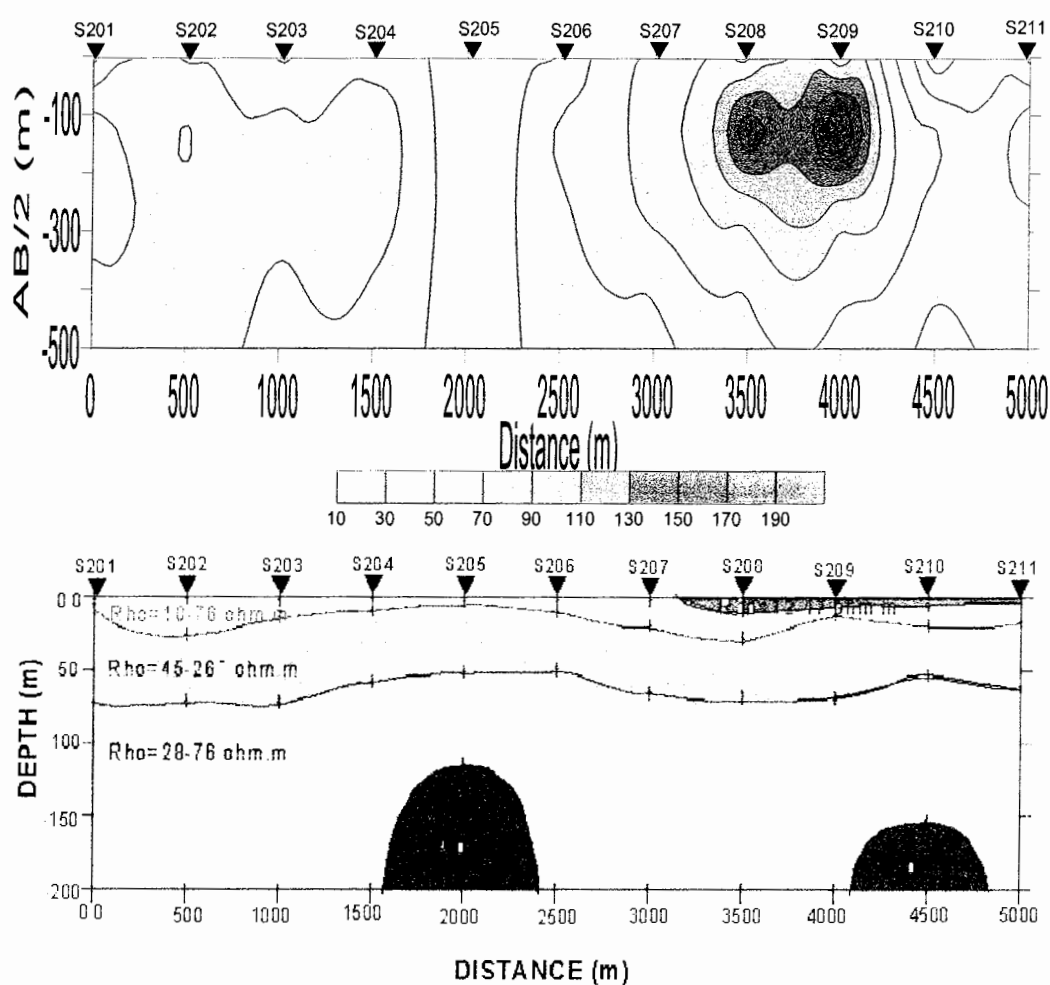


مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی در بخش پایینی شکل ۳-۱۷ و همچنین جدول ۳-۳ نشان می دهند که ضخامت رسوبات آبرفتی دانه ریز رس دار سطحی (لایه قرمز رنگ) در طول پروفیل از ۵ تا ۶ متر تجاوز نمی کند و این رسوبات سطحی روی رسوبات آبرفتی خشک دانه متوسط ضخیمی قرار می گیرند. مطابق شکل عمق لایه آبدار (لایه با رنگ آبی آسمانی) در محل سونداژ ۲۵۱ حدود ۵۶ متر است و به طرف سونداژ ۲۵۳ تدریجاً بیشتر شده و به مقدار ۷۶/۷ متر می رسد. مطابق نقشه توپوگرافی (شکل ۲-۸ از فصل دوم) در حدود ۱۵۰ متری شمال شرق سونداژ ۲۵۳ چاه آب اخیراً حفاری شده ای (W۳) وجود دارد که در عمق ۷۹ متر به آب رسیده است و تا عمق نهایی ۱۵۰ متر حفاری شده، در لایه آبدار قرار داشته است. مدل سازی داده های سونداژ ۲۵۳ نشان می دهد که در این محل لایه آبدار در عمق ۷۷ متری قرار دارد و ضخامت آن حدود ۱۲۵ متر برآورد شده است. این تطابق خوب برآورد شده عمق آب زیر زمینی دقت در مدل سازی داده ها را نشان می دهد. علاوه بر آن مدل سازی نشان می دهد که در زیر لایه آبدار یک لایه رسی مرطوب (با رنگ آبی تیره) با مقاومت ویژه کمتر از ۵ متر و مطابق شکل های ب-۴۲ تا ب-۴۴ در پیوست ب ، شارژابلیته بالای بین ۱۵ تا ۳۰ میلی ثانیه وجود دارد که می تواند تداعی کننده سنگ بستر در این ناحیه باشد.

#### ۳-۱-۳-۴ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۴

نتایج مدل سازی داده های این پروفیل متشکل از یازده سونداژ الکتریکی به صورت مقطع ژئوالکتریکی در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است. علاوه بر آن شبه مقطع داده های اندازه گیری شده مقاومت ویژه ظاهری نیز در بخش بالایی شکل آمده است و همچنین نتایج مدل سازی عددی هر یک از سونداژهای واقع در طول پروفیل در جدول ۳-۴ آورده شده است. همان طور که در شبه مقطع دیده می شود مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده در قسمت های راست پروفیل غالباً بیشتر از سمت چپ پروفیل است. طوریکه در محل سونداژهای ۲۰۸ و ۲۰۹ و مناطق اطراف آن، مقاومت ویژه ظاهری از سطح زمین تا اعماق ظاهری متناظر با  $AB/2$  ۳۰۰ متر به دلیل وجود احتمالاً رسوبات آبرفتی دانه متوسط تا درشت شن خشک بالا بوده و از ۱۱۰ تا ۲۱۰

اهم متر تغییر می کند در حالی این مقدار برای بقیه قسمت ها کمتر از ۱۱۰ اهم-متر می باشد و در بخش هایی از پروفیل خصوصاً زیر سونداژ ۲۰۵ به کمتر از ۳۰ اهم-متر نیز می رسد. این تغییرات جانبی مقاومت ویژه بعلاوه نقشه های هم مقاومت ارائه شده در ابتدای این فصل نشان می دهند که زمین شناسی زیر سطحی موجود در امتداد این پروفیل احتمالاً به صورت دو بعدی می باشد و علاوه بر مدل سازی یک بعدی نیاز به مدل سازی دو بعدی است تا وضعیت ساختارهای زیر سطحی با دقت بیشتری تعیین گردند.



شکل ۳-۱۸: مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه (بخش پایینی) همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بخش بالایی شکل) سونداژهای پروفیل چهارم

جدول ۳-۴ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های سونداژهای پروفیل ۴

لایه	S201		S202		S203		S204		S205		S206	
	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت
1	29.9	1.9	56.0	1.2	27.5	1.98	43.1	1.4	23.2	3.1	29.4	1.75
2	10.0	2.7	44.6	25.1	21.5	11.9	12.7	7.4	13.7	48.3	17.0	8.4
3	107.9	67.6	115	46.02	79.8	58.4	104.9	49.5	36.1	63.17	104.7	39.1
4	58.5	infinite	51.4	infinite	42.2	infinite	36.9	infinite	14.3	infinite	38.4	infinite
5												
	RMS=3.12		RMS=2.25		RMS=0.99		RMS=2.88		RMS=3.4		RMS=4.64	

لایه	S207		S208		S209		S210		S211	
	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت
1	124.7	2.14	36.9	4.8	47.2	7.0	11.7	4.5	23.5	3.74
2	29.1	17.4	288.9	3.9	293.9	4.7	59.7	15.1	76.7	13.47
3	231.7	50.1	25.1	19.7	41.4	56.8	118.4	33.7	133.7	43.6
4	28.1	infinite	265.6	48.5	66.9	307.1	73.0	99.0	48.1	infinite
5			35.5	infinite	13.4	infinite	28.0	infinite		
	RMS=2.78		RMS=3.93		RMS=8.2		RMS=3.81		RMS=3.81	

مقطع ژئوالکتریک تهیه شده که در قسمت پایینی شکل ۳-۱۸ آمده است تا حدودی زیادی وضعیت ساختارهای زیر سطحی را به نمایش می گذارد. همان طور که در این مقطع و جدول ۳-۴ دیده می شود لایه آبدار با رنگ آبی آسمانی دارای مقاومت ویژه ۲۸ تا ۷۶ اهم-متر بوده و در عمق ۷۲ متری در محل سونداژ ۲۰۱ قرار داشته که این عمق در بخش های میانی پروفیل به حدود ۵۰ متر رسیده و سپس بسمت سونداژ ۲۱۱ در انتهای پروفیل به حدود ۶۱ متر می رسد. در محل سونداژ ۲۰۵ و ۲۱۰ بخش هایی از سنگ بستر رسی با مقاومت ویژه کمتر از ۱۷ اهم-متر، با رنگ آبی تیره، در اعماق بیش از ۱۰۰ متری در زیر سونداژ ۲۰۵ و ۱۵۰ متری زیر سونداژ ۲۱۰ ظهور می نمایند. این مقطع نیز مثل شبه مقطع آورده شده در بالای آن، تغییرات جانبی مقاومت ویژه طبقات را نشان می دهند که با مدل سازی های دو بعدی بایستی بیشتر بررسی شود. با وجود این به دلیل داشتن چند نقطه اطلاعاتی امکان بررسی صحت نتایج مدل سازی یک بعدی وجود دارد چرا که

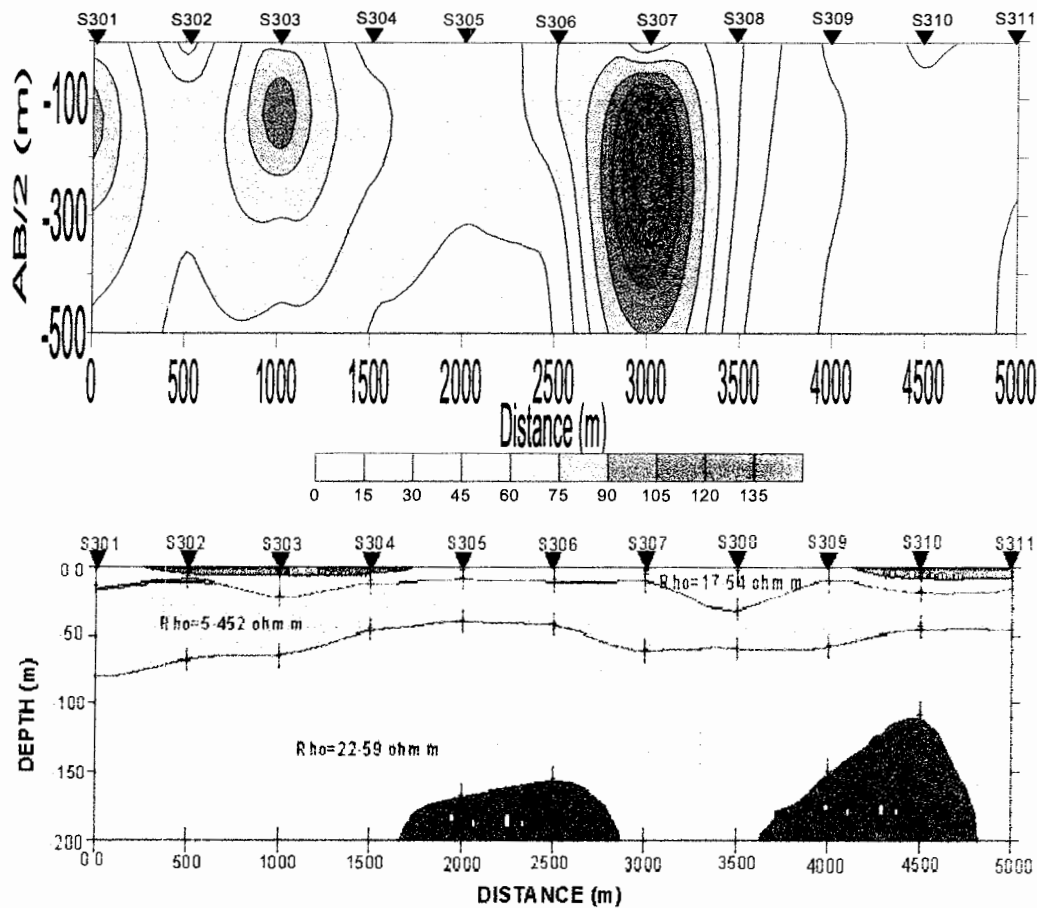
مطابق شکل ۲-۸ از فصل دوم دو چاه آب اخیراً حفاری شده در اطراف سونداژهای این پروفیل وجود دارد. چاه اول (W۲) در فاصله ۶۰ متری شمال غرب سونداژ ۲۰۹ در ۷۰ متری از سطح زمین به آب رسیده است و تا عمق ۱۵۰ متر حفاری شده در لایه آبدار قرار داشته است. نتایج مدل سازی داده های سونداژ ۲۰۹ نشان می دهد که در این محل سطح آب زیر زمینی در عمق ۶۸/۵ متری قرار دارد و ضخامت لایه آبدار تا عمق ۲۰۰ متر ادامه می یابد. علاوه بر آن چاه آب W۴ در ۵۰ متری جنوب سونداژ ۲۱۱ در عمق ۵۶ متری مطابق شکل ۲-۹ از فصل دوم، به لایه آبدار برخورد نموده آمده است. نتایج مدل سازی داده های سونداژ ۲۱۱ نشان می دهد که در این محل سطح آب زیر زمینی در عمق ۶۰/۸ متری قرار دارد. با در نظر گرفتن فاصله محل سونداژهای فوق تا نقاط حفاری ها مقایسه ها نشان می دهد که نتایج مدل سازی با اطلاعات حاصل از حفاری دارای تطابق خوبی می باشند. که این امر دقت در مدل سازی داده ها را نشان می دهد.

### ۳-۱-۳-۵ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های پروفیل ۵

نتایج مدل سازی داده های این پروفیل که مثل پروفیل قبلی شامل یازده سونداژ الکتریکی است به صورت مقطع ژئوالکتریکی در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است. علاوه بر مقطع ژئوالکتریکی، شبه مقطع داده های اندازه گیری شده مقاومت ویژه ظاهری نیز در بخش بالایی شکل آمده است. همچنین نتایج مدل سازی عددی برای یکایک سونداژهای واقع بر روی پروفیل در جدول ۳-۵ آورده شده است.

همان طور که در شبه مقطع دیده می شود مقاومت ویژه ظاهری در قسمت های مرکزی اطراف سونداژ ۳۰۷ و سمت چپ پروفیل در محل سونداژهای ۳۰۱ و ۳۰۳ بالاتر از دیگر بخش ها است و این امر به واسطه وجود رسوبات آبرفتی دانه ریز تا دانه متوسط خشک بوده که مقادیر مقاومت ویژه ظاهری از ۹۰ تا ۱۵۰ اهم-متر را سبب می شود. این در حالی است که برای بقیه قسمت ها به دلیل حضور رسوبات آبرفتی دانه ریز آبدار مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۷۵ اهم-متر می باشد و در بخش هایی از پروفیل خصوصاً زیر سونداژهای ۳۰۹ تا ۳۱۱ به دلیل حضور طبقات رسی به کمتر از ۳۰ اهم-متر نیز می رسد. این تغییرات جانبی در مقادیر مقاومت ویژه مثل پروفیل قبلی ممکن است

به عملکرد گسل و یا چین خوردگی طبقات زیر سطحی باشد که در بخش های آتی بیشتر بررسی می شود.



شکل ۳-۱۹: مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه (بخش پایینی) همراه با شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بخش بالایی شکل) سونداژهای پروفیل پنجم

مقطع ژئوالکتریک تهیه شده (قسمت پایینی شکل ۳-۱۹) تا حدودی زیادی وضعیت ساختارهای زیر سطحی در امتداد پروفیل را به نشان می دهد. همان طور که در این مقطع و جدول ۳-۵ دیده می شود لایه آبدار با رنگ آبی آسمانی دارای مقاومت ویژه ۲۲ تا ۵۹ اهم-متر بوده در سمت چپ و در محل سونداژ ۳۰۱ در عمق ۷۲ متری قرار دارد و این عمق در بخش های میانی پروفیل در حد فاصل ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متری مبداء پروفیل به کمتر از ۵۰ متر رسیده و سپس در فواصل ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متری به حدود ۵۸ متر رسیده و نهایتاً در انتهای پروفیل برای سونداژهای ۳۱۰ و ۳۱۱ به

حدود ۴۲ متر کاهش می یابد. در محل هایی از پروفیل واقع در حد فاصل ۱۷۵۰ تا ۲۷۰۰ متری و همچنین در فواصل ۳۷۵۰ تا ۴۷۵۰ متری بخش هایی از سنگ بستر رسی با مقاومت ویژه کمتر از ۱۰ و یا ۲۰ اهم-متر، با رنگ آبی تیره وجود دارند که قبلاً در نقشه های هم مقاومت ویژه هم تا حدود زیادی برای این بخش ها قابل تعقیب بودند. علاوه بر موارد فوق لایه زرد رنگ که در طول پروفیل دارای ضخامت متغیر ۱۰ تا ۲۵ متر است با مقاومت ویژه کمتر از ۵۵ اهم-متر می تواند به عنوان لایه ای آبرفتی مرطوب دانه ریز حاوی رس زیاد تفسیر گردد که بر روی طبقه ضخیم تر آبرفت های دانه متوسط تا دانه درشت خشک (لایه سبز رنگ) قرار می گیرد. تغییرات در ضخامت لایه های مدل سازی شده در طول پروفیل انجام مدل سازی دو بعدی را برای تفسیر جامع تر ضروری می نماید. که در بخش های آتی اشاره خواهد شد.

جدول ۳-۵ نتایج مدل سازی یک بعدی داده های سونداژهای پروفیل ۵

لایه	S301		S302		S303		S304		S305		S306	
	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت
1	787.9	0.6	18.0	2.6	51.3	3.4	86.8	1.0	34.1	1.7	53.2	9.3
2	47.7	12.7	18.8	3.9	110.4	17.2	17.1	9.5	13.9	5.8	90.5	32.0
3	150.7	52.8	79.1	52.9	188.9	35.8	121.1	42.3	71.6	35.53	48.0	113.4
4	51.3	infinite	39.2	infinite	43.6	infinite	28.1	infinite	26.1	infinite	22.2	infinite
	RMS=3.86		RMS=3.14		RMS=3.77		RMS=3.95		RMS=2.24		RMS=2.47	

لایه	S307		S308		S309		S310		S311	
	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت	مقاومت ویژه	ضخامت
1	45.3	1.41	66.8	2.3	10.4	9.6	9.8	7.5	15.4	3.4
2	12.2	3.6	26.9	28.7	16.0	48.0	19.4	8.9	5.9	3.4
3	53.2	5.1	116.0	28.5	22.1	91.5	5.4	22.5	54.1	7.6
4	452.5	46.8	30.4	infinite	9.7	infinite	25.8	68.1	4.98	31.6
5	58.6	infinite					5.2	infinite	22.0	infinite
	RMS=4.07		RMS=3.05		RMS=1.44		RMS=2.66		RMS=4.66	

تا اینجا، با مدل سازی یک بعدی داده های حاصل از سونداژهای الکتریکی انجام شده در نقاط مختلف، وضعیت لایه بندی زیر سطحی را در هر یک از نقاط برداشت و همچنین تا حدودی در طول پروفیل های مورد نظر مشخص نموده ایم. انجام این نوع مدل سازی با روش برداشت داده ها در این پروژه یعنی روش سونداژ زنی الکتریکی، همخوانی دارد زیرا در این روش تنها تغییرات مقاومت ویژه در یک بعد (در راستای عمودی) مد نظر می باشد.

پر واضح است که با مدل سازی یک بعدی داده های برداشت شده به روش سونداژ زنی، نمی توان اطلاعات دقیقی از وضعیت لایه بندی نقاط واقع در بین سونداژها به دست آورد، زیرا در این روش جهت تسریع عملیات صحرایی و بررسی محدوده گسترده تری از منطقه مورد مطالعه، اغلب فواصل بین سونداژها زیاد در نظر گرفته می شود. در چنین مواردی مدل سازی دو بعدی داده های برداشت شده نیز سودمند خواهد بود. به همین دلیل در تفسیر هر چه بهتر نتایج حاصل از مطالعه حاضر از مدل سازی دو بعدی نیز کمک می گیریم. زیرا احتمال می دهیم که به دلیل چین خوردگی لایه ها که به وضوح در بعضی از مقاطع حاصل از مدل سازی یک بعدی مشاهده می شود موقعیت های مناسب تری جهت حفاری ما بین سونداژها وجود داشته باشند. از آنجا که فواصل سونداژهای انجام گرفته در طول هر یک از پروفیل ها برای مدل سازی دقیق دو بعدی نسبتاً زیاد است از این رو در تفسیر نتایج حاصل از چنین مدل سازی دو بعدی بایستی به این محدودیت ها توجه نمود و نتایج مدل های بدست آمده را با دقت بیشتر بررسی نمود.

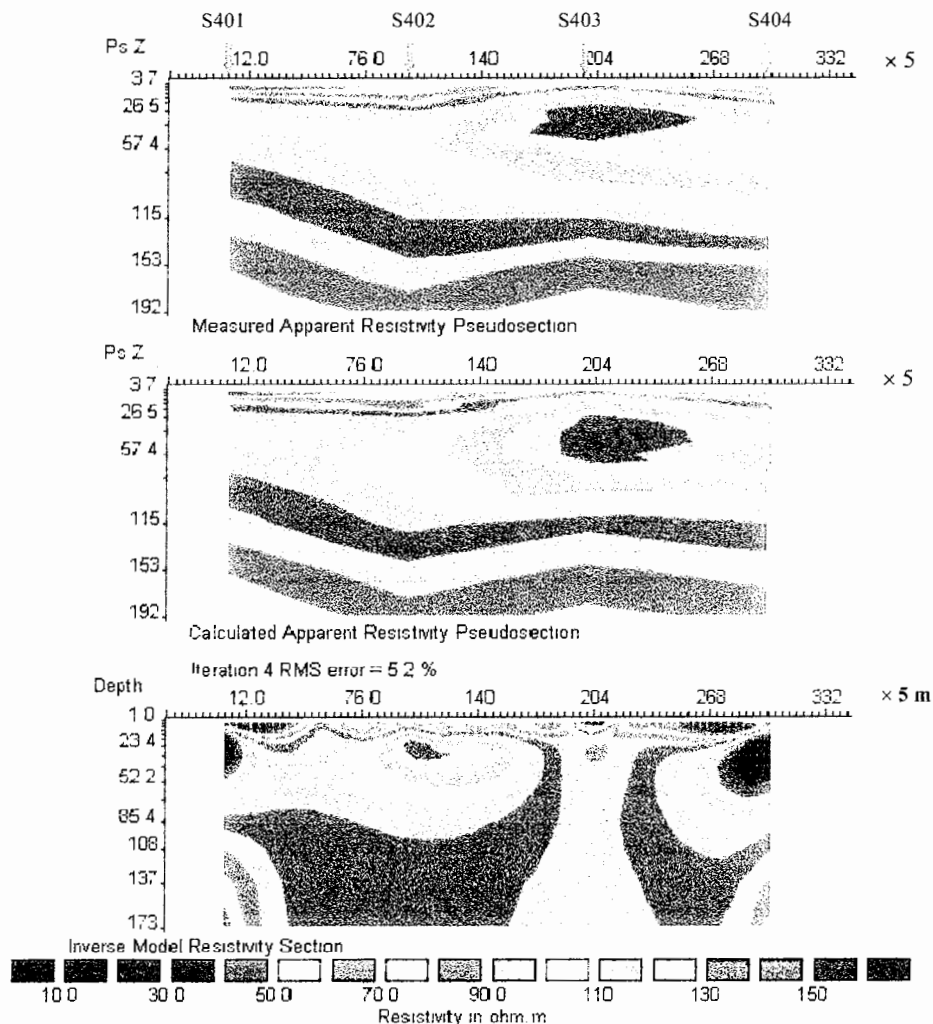
### ۳-۲-۳ مدل سازی دو بعدی داده ها

برای انجام مدل سازی دو بعدی داده های برداشت شده در طول پروفیل های پنج گانه به دلیل تراکم کم داده ها و هم چنین فواصل نسبتاً زیاد بین سونداژها از مدل سازی معکوس هموار در قالب نرم افزار RES2DINV استفاده شده است [۱۷]. برای انجام هر چه بهتر مدل سازی با نرم افزار اشاره شده، بعضی از گزینه های پیش فرض آن، با به شرایط خاص منطقه، فواصل بین سونداژها، نوع آرایه مورد استفاده و میزان دقت مورد نیاز، به شیوه مناسب تغییر داده شد [۱۸].

نتایج حاصل از مدل سازی دو بعدی معکوس پروفیل های اول تا پنجم به ترتیب ذیل ارائه و مورد بررسی قرار می گیرند.

### ۱-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۱

نتایج مدل سازی دو بعدی این پروفیل در شکل ۳-۲۰ بصورت مقطع ژئوالکتریکی مقاومت ویژه حقیقی در قسمت پایین شکل نشان داده شده است. علاوه بر آن برای بررسی خطای مدل سازی و ارزیابی نتیجه مدل سازی، شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری داده های اندازه گیری شده نیز در بالای مدل آورده شده اند.



شکل ۳-۲۰: نتایج مدل سازی دو بعدی پروفیل اول، از بالا به پایین شامل شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دوبعدی

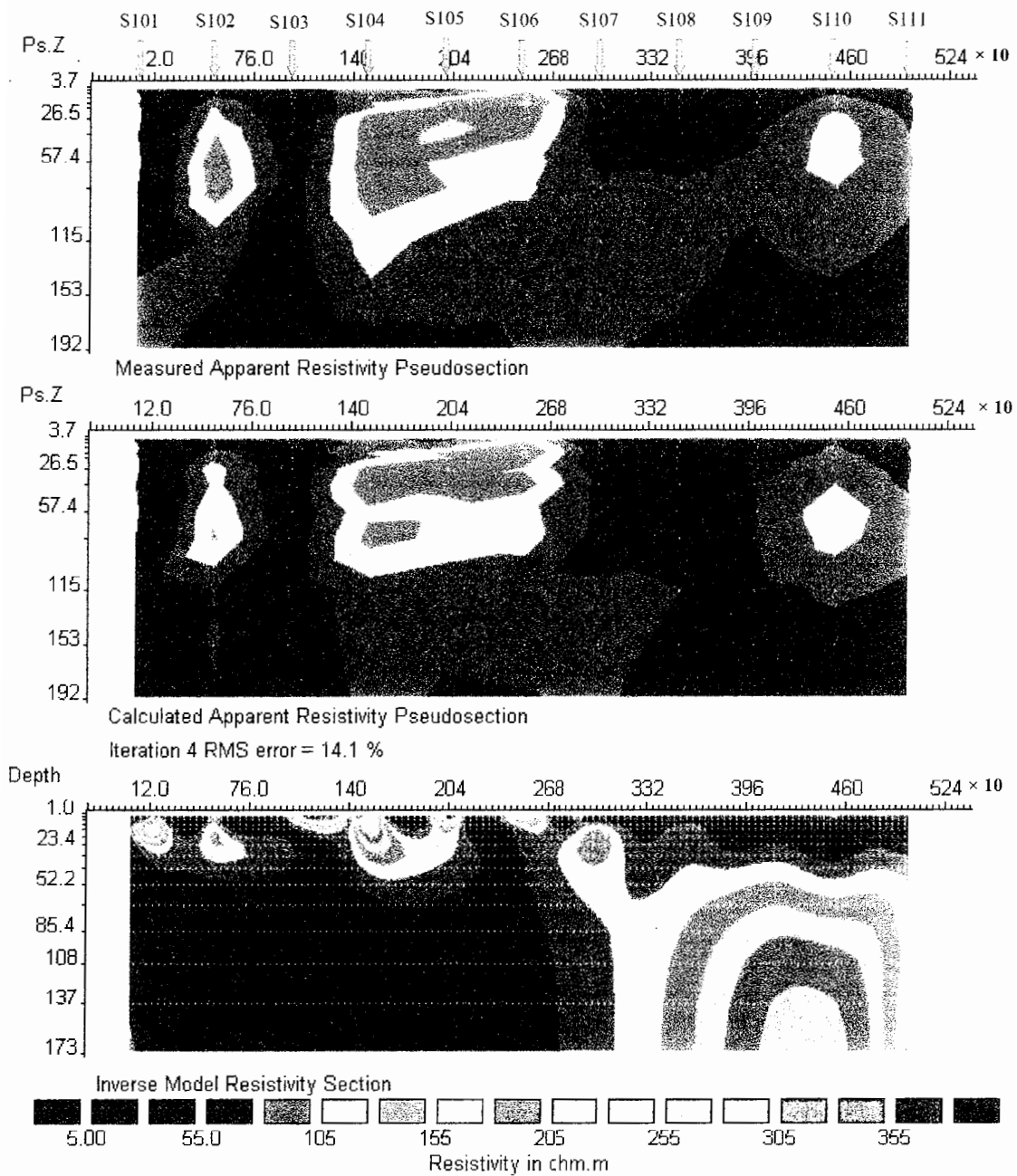


همان طور که در مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی دو بعدی معکوس (بخش پایینی شکل فوق) دیده می شود مناطق سطحی در طول پروفیل که در عمق کمتر از ۱۰ متر قرار دارند با مقاومت ویژه پایین مشخص شده اند که این موضوع بخاطر وجود رسوبات دانه ریز حاوی رس می باشد که در تطابق با نتایج مدل سازی یک بعدی است. در زیر این لایه کم مقاومت، لایه دیگری با مقاومت ویژه تا ۱۷۰ اهم-متر تا عمق متوسط کمتر از ۴۵ متر وجود دارد. بر اساس مدل حاصل، این لایه در طول پروفیل همگن نمی باشد چرا که مقاومت ویژه آن در بازه ۸۰ تا ۱۷۰ اهم-متر تغییر می نماید که این امر احتمالاً به دلیل تغییر در دانه بندی رسوبات آبرفتی دانه ریز تا دانه درشت خشک می باشد. در زیر این لایه، لایه دیگری نیز وجود دارد که تغییرات مقاومت ویژه آن در یک بازه ۴۰ تا ۹۰ اهم-متر قرار می گیرد. با توجه به مقدار مقاومت ویژه به دست آمده، این لایه می تواند یک لایه آبدار آبرفتی باشد که البته با نتایج مدل سازی یک بعدی و همچنین با اطلاعات مادر چاه قنات که در حدود ۶۰ متری سمت چپ سونداژ ۴۰۲ در عمق ۴۵ متری به آب رسیده همخوانی دارد.

### ۳-۲-۲-۲ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۲

نتایج مدل سازی دو بعدی این پروفیل در شکل ۳-۲۱ بصورت مقطع ژئوالکتریکی مقاومت ویژه حقیقی در قسمت پایین شکل نشان داده شده است. همچنین شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری داده های اندازه گیری شده نیز برای مقایسه در بالای مدل آورده شده اند.

نتایج مدل سازی دو بعدی این پروفیل نشان می دهد که علاوه بر حضور لایه سطحی با مقاومت ویژه متغیر در عمق کمتر از ۴۰ متر دو زون مشخص با مقاومت ویژه متفاوت در طرفین سونداژ ۱۰۸ موجود است که مقاومت ویژه سمت راست سونداژ ۱۰۸ نسبت به مقاومت ویژه سمت چپ تفاوت قابل ملاحظه ای دارند. این مطلب گویای این است که احتمال پتانسیل وجود آب با توجه به مقادیر مقاومت ویژه در سمت چپ سونداژ ۱۰۸ تا ابتدای پروفیل بالاتر است.

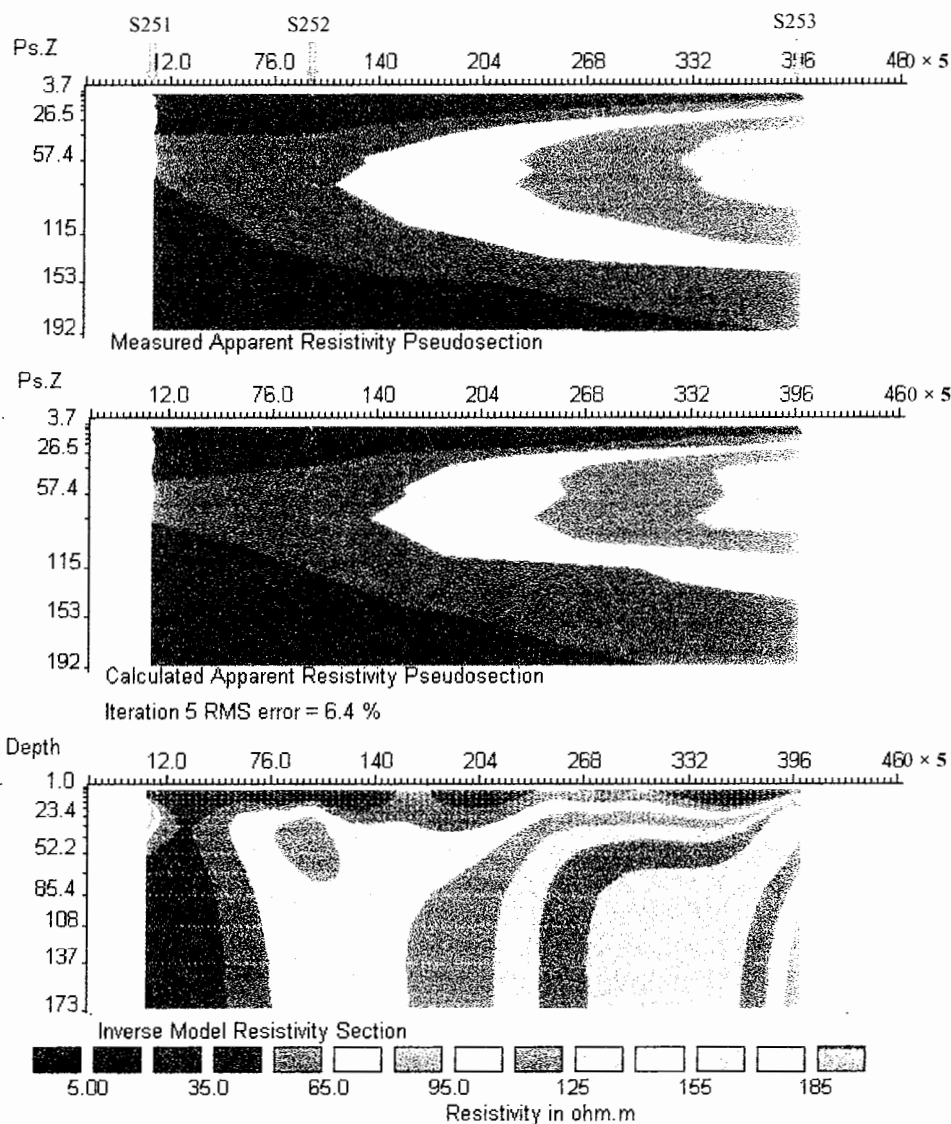


شکل ۳-۲۱: نتایج مدل سازی دو بعدی پروفیل دوم، از بالا به پایین شامل شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دوبعدی

## ۳-۲-۳-۳ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۳

نتایج مدل سازی دو بعدی این پروفیل در شکل ۳-۲۲ بصورت مقطع ژئوالکتریکی مقاومت ویژه حقیقی در قسمت پایین شکل نشان داده شده است. علاوه بر آن شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری داده های اندازه گیری شده نیز برای ارزیابی نتیجه مدل سازی، در بالای مدل آورده شده اند. همان طور که در شکل آمده است خطای مدل سازی بعد از پنج بار تکرار محاسبات مدل سازی کمتر از ۶/۵ درصد است که این مطلب از طریق مقایسه شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) در بخش میانی شکل با شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری داده های اندازه گیری شده در بخش بالایی شکل نیز بهتر روشن می گردد. همه این قرائن نشان می دهند که مدل سازی انجام شده از دقت خوبی برخوردار است اما همان طور که قبلاً اشاره شد جواب بدست آمده یکتا نمی باشد.

مدل مقاومت ویژه آورده شده در بخش پایینی شکل ۳-۲۲ نشان می دهد که پتانسیل آبی سمت چپ پروفیل (از ابتدای پروفیل تا فاصله ۱۰۲۰ متری) بهتر از پتانسیل سمت راست است. این مطلب تا حدودی با نتایج مدل سازی های قبلی نیز در تطابق است ولی اینکه چرا مدل سازی دو بعدی پتانسیل چندانی را برای وجود آب در سمت راست پروفیل نشان نمی دهد جای بحث دارد. این امر شاید به خطر فاصله زیاد بین سونداژهای ۲۵۲ و ۲۵۳ باشد که باعث شده نتیجه مدل سازی بدین گونه در آید. همان طور که شکل ۲-۸ و جدول ۲-۴ از فصل دوم نشان می دهند چاه آب W۳ در فاصله کمتر از ۲۰۰ متری شمال غرب سونداژ ۲۵۳ در عمق ۷۹ متری به آب رسیده است و تا عمق ۱۵۰ متری حفاری شده در لایه آبدار قرار داشته است. این مطلب با نتیجه مدل سازی دو بعدی انجام شده که زون با مقاومت ویژه کمتر از ۱۰۰ اهم-متر را برای اعماق بیشتر از ۸۰ متر را نشان می دهد تا حدودی در تطابق است.

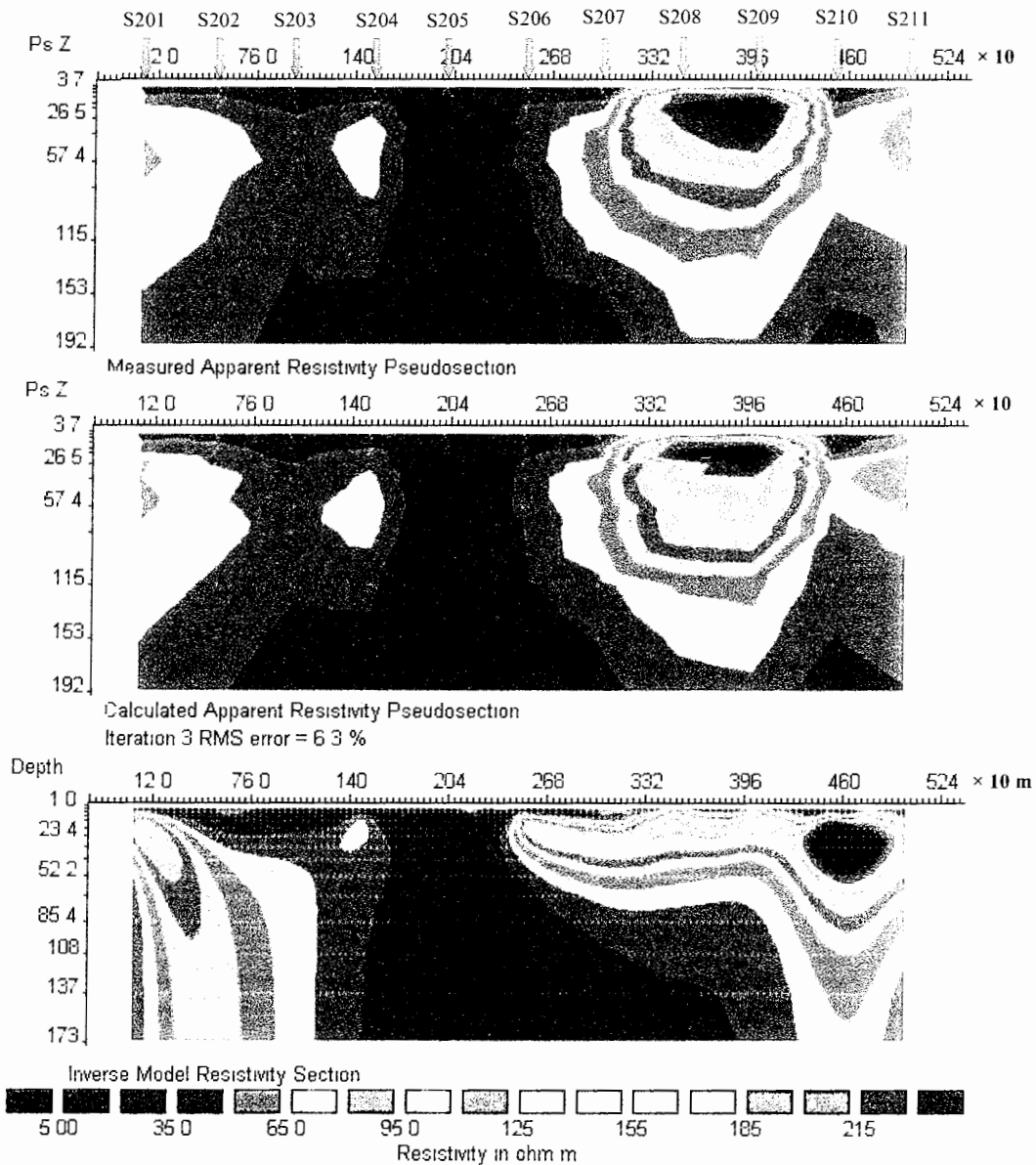


شکل ۳-۲۲: نتایج مدل سازی دو بعدی پروفیل سوم، از بالا به پایین شامل شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دوبعدی

#### ۳-۲-۴ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۴

شکل ۳-۲۳ نتایج مدل سازی دو بعدی این پروفیل را بصورت مقطع ژئوالکتریکی مقاومت ویژه حقیقی در قسمت پایین شکل نشان می دهد. همچنین برای مقایسه و ارزیابی نتیجه مدل سازی،

شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری داده های اندازه گیری شده نیز در بالای مدل آورده شده اند.



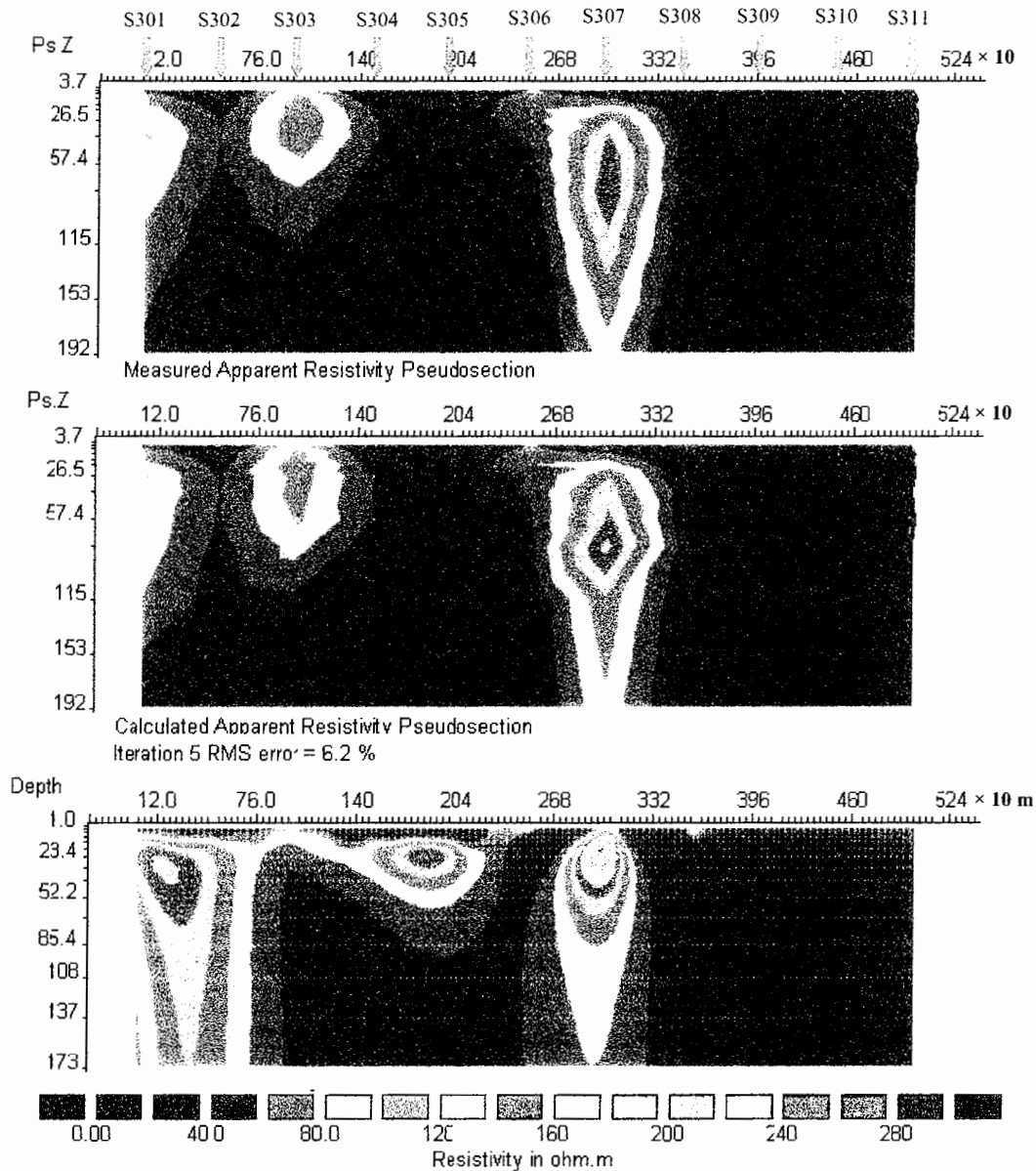
شکل ۳-۲۳: نتایج مدل سازی دو بعدی پروفیل چهارم، از بالا به پایین شامل شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دوبعدی

مطابق مقطع پایینی شکل ۳-۲۳ که نتیجه مدل سازی دو بعدی است دو زون با مقاومت ویژه نسبتاً بالا در این مدل دیده می شود. زون اصلی که دارای مقاومت ویژه ۹۵ تا ۲۴۵ اهم -متر است در مابین سونداژهای ۲۰۶ و ۲۱۱ و در بازه عمقی ۱۰ تا ۵۰ متر قرار می گیرد که به طرف سونداژ ۲۱۱ عمق آن افزایش می یابد. زون دیگر با مقاومت ویژه ۹۵ تا ۱۵۵ اهم -متر از عمق ۲۳ متری در زیر سونداژ ۲۰۱ شروع و به طرف سونداژ ۲۰۲ عمیق تر می گردد. علاوه بر آن مقاومت ویژه اعماق پایین تر از ۵۵ متر میان سونداژهای ۲۰۴ و ۲۹۶، مشابه نتایج مدل سازی یک بعدی، به دلیل بالازدگی سنگ بستر رسی کمتر از ۳۰ اهم -متر است. در بقیه نواحی به دلیل تغییر در دانه بندی رسوبات آبرفتی و درصد اشباع شدگی آنها از آب، مقاومت ویژه در یک بازه ۳۰ تا ۸۰ اهم -متر قرار می گیرد. این مطلب گویای این امر است که ساختارهای زیر زمینی واقع در این پروفیل از پتانسیل آبی خوبی برخوردار می باشند. همان طور که شکل ۲-۸ و جدول ۲-۴ از فصل دوم نشان می دهند دو چاه آب W۲ و W۴ در مجاورت سونداژهای ۲۰۹ و ۲۱۱ قرار گرفته اند که چاه W۲ در عمق ۷۰ متری به آب خورده و تا عمق نهایی ۱۵۰ متر حفاری شده داخل لایه آبدار قرار گرفته است. همچنین چاه W۴ در ۵۰ متری جنوب سونداژ ۲۱۱ در ۵۶ متری به آب رسیده است. همان طور که مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی نشان می دهد نواحی مشخص شده بین رنگ های آبی خیلی تیره و آبی آسمانی می توانند رسوبات آبدار خوبی باشند که در بخش های راست پروفیل در عمق پایین تر از ۷۰ متری قرار داشته و به طرف انتهای پروفیل کمی عمیق تر هم می شوند. این در حالی است که عمق این رسوبات آبدار در سمت چپ پروفیل از این هم کمتر می شود. بنابراین می توان گفت که نتایج مدل سازی حاضر با شواهد هیدرولوژیکی اشاره شده همخوانی نسبتاً خوبی دارد.

### ۳-۲-۳-۵ نتایج مدل سازی دو بعدی داده های پروفیل ۵

نتایج مدل سازی دو بعدی این پروفیل در شکل ۳-۲۴ بصورت مقطع ژئوالکتریکی مقاومت ویژه حقیقی در قسمت پایین شکل نشان داده شده است. علاوه بر آن شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری داده های اندازه گیری شده نیز برای ارزیابی

نتیجه مدل سازی، در بالای مدل آورده شده اند. همان طور که دیده می شود خطای مدل سازی کمتر از ۶/۵ درصد است که این مطلب از طریق مقایسه شبه مقطع داده های اندازه گیری شده و شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده شکل فوق تائید می گردد.



شکل ۳-۲۴: نتایج مدل سازی دو بعدی پروفیل پنجم، از بالا به پایین شامل شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، شبه مقطع مقاومت ویژه محاسبه شده (پاسخ مدل) و مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دوبعدی

مدل داده شده در بخش پایینی شکل ۳-۲۴ نشان می دهد که بجز برای نواحی مشخص شده با رنگ سبز تا قرمز که دارای مقاومت ویژه ۱۰۰ تا ۲۴۰ اهم سمتر هستند بقیه قسمت های واقع بین سونداژهای ۳۰۲ تا ۳۰۹، تقریباً در عمق بیشتر از ۴۰ تا ۵۰ متر دارای مقاومت ویژه ۴۰ تا ۸۰ اهم سمتر می باشند که شاید به علت وجود رسوبات آبرفتی دانه متوسط و ریز آبدار باشد. در بخش های انتهایی پروفیل مقاومت ویژه کمتر از ۳۰ اهم سمتر برآورد شده است که این موضوع احتمالاً به دلیل حضور رسوبات دانه ریز با رس و مارن زیاد می باشد که تا حدود زیادی نتایج مدل سازی های یک بعدی داده های این پروفیل را تأیید می نماید. همچنین شواهد زمین شناسی نشان می دهد که یک سری مارن های رنگارنگ در دامنه های شمالی ارتفاعات جنوبی (ارتفاعات زرین کمر) منطقه مورد مطالعه وجود دارند. از آنجایی که این تشکیلات در بخش های انتهایی این پروفیل قرار دارند این امر می تواند دلیلی برای کاهش مقادیر مقاومت ویژه در این بخش باشد.

در یک جمع بندی کلی مطالب این فصل و با توجه به نتایج مدل سازی های دو بعدی داده های مقاومت ویژه پروفیل های مورد نظر و مقایسه آن با اطلاعات حاصل از حفاری های موجود می توان گفت که نتایج به دست آمده از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و علاوه بر آن تا حدود زیادی نتایج مدل سازی یک بعدی را نیز تأیید می نماید. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل سازی های صورت گرفته می توان نقشه هم عمق سطح آب زیر زمینی و همچنین نقشه تراز سطح آب زیر زمینی را تهیه نمود و با توجه به آنها بهترین محل را برای حفاری های بعدی تعیین نمود. این بخش از کار در فصل بعدی مورد اشاره قرار خواهند گرفت.



## فصل چهارم :

# جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

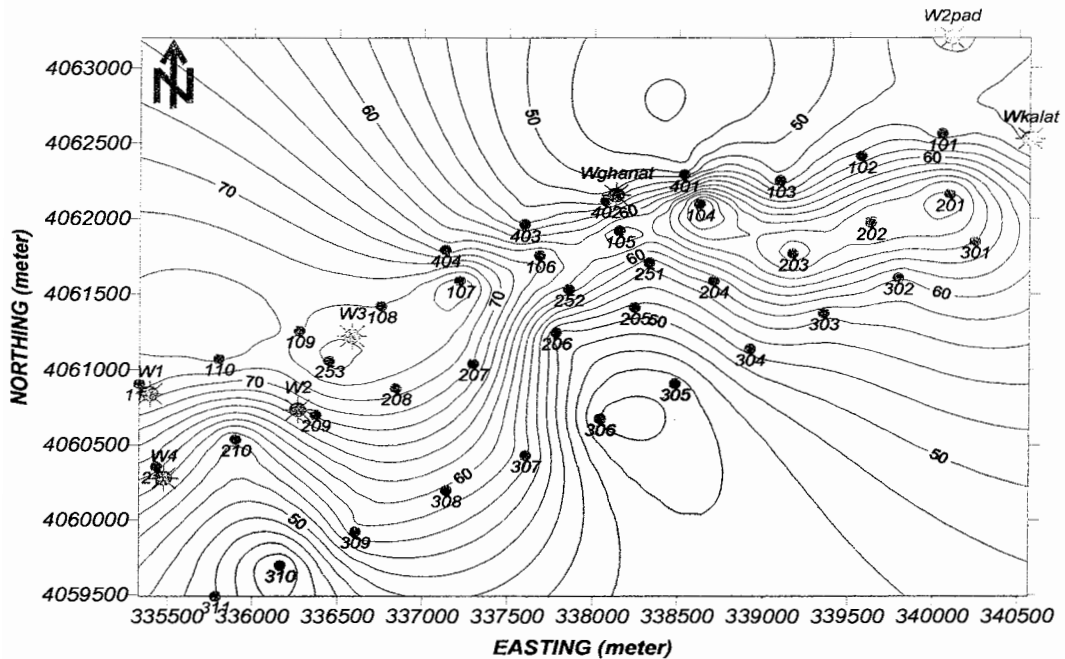
### ۴-۱ جمع بندی

با توجه به مطالب ذکر شده در فصول قبلی می توان گفت که از میان روش های مورد استفاده برای اکتشاف غیر مستقیم اکتشاف آبهای زیر زمینی، روش اندازه گیری مقاومت ویژه زمین هنگامی که با روش پلاریزاسیون القایی (IP) با هم مورد استفاده قرار گیرند دارای قابلیت خوبی برای اکتشاف منابع آبهای زیر زمینی می باشند. علاوه بر موارد فوق، هزینه عملیات صحرائی آن ها در قیاس با دیگر روش های اکتشاف ژئوفیزیکی نسبتاً پایین بوده و برای منطقه نسبتاً وسیع در زمانی کوتاه می توانند اجرا شوند. در مطالعه حاضر منطقه نسبتاً وسیعی به وسعت تقریباً ۱۵ کیلومتر مربع از دشت گورخان که در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شاهرود قرار گرفته است با روش های فوق مورد مطالعه قرار گرفت. هدف اصلی مطالعه حاضر شناسایی وجود آب زیر زمینی و علاوه بر آن تعیین گسترش جانبی و عمقی آنها تا عمق ۲۰۰ متر برای تعیین بهترین محل برای حفاری چاه های آب جهت مصارف کشاورزی بوده است. با توجه به وسعت و زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه و با توجه به سقف اعتبار در نظر گرفته شده و عدم مطالعات اولیه ژئوفیزیکی، جهت نیل به هدف از روش

سونداژ زنی ژئوالکتریک برای برداشت داده های مقاومت ویژه و بارپذیری طبقات زیرسطحی استفاده شد. داده های مقاومت ویژه در محل چهل سونداژ و هم چنین داده های بارپذیری برای چهار سونداژ روی پنج پروفیل نسبتاً موازی برداشت گردیده و پس از انجام تصحیحات لازم به شیوه های مناسب ارائه شده و با در نظر گرفتن شواهد هیدرولوژیکی و زمین شناسی مورد تفسیر کمی و کیفی قرار گرفته اند که نتایج آنها بطور خلاصه بشرح ذیل ارائه می شوند.

#### ۴-۲ نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج مدل سازی های معکوس پارامتری و هموار داده های هر سونداژ ژئوالکتریکی و همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از مدل سازی دو بعدی هموار می توان گفت که اگر داده های مورد نظر با رعایت نکات فنی لازم به طور صحیح برداشت گردیده و پس از تصحیحات لازم به طریقه مناسب مورد مدل سازی قرار گیرند این گونه روش های اکتشاف ژئوفیزیکی اطلاعات ارزشمندی را از وضعیت طبقات زیر سطحی جهت اکتشاف آبهای زیر زمینی فراهم می آورند و بدین وسیله از انجام حفاری های بی هدف و صرف هزینه و وقت زیاد جلوگیری می کنند. با توجه به این که در فصل قبلی شیوه های مختلفی برای ارائه داده های برداشت شده مورد استفاده قرار گرفته اند و علاوه بر آن با انجام مدل سازی های مختلف و در نظر گرفتن شواهد زمین شناسی و آب شناسی، تفسیر های مناسب کیفی و کمی انجام شده است در این قسمت با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی های صورت گرفته نقشه تهیه شده هم عمق سطح آب زیر زمینی در شکل ۴-۱ ارائه می گردد تا به عنوان راهنمایی برای حفاری های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴-۱: نقشه هم عمق سطح آب زیر زمینی که بر اساس نتایج مدل سازی های یک و دو بعدی تهیه شده است. در شکل محل سونداژهای ژئوالکتریک با دایره های آبی و محل چاه های آب موجود با علائم قرمز رنگ نشان داده شده است.

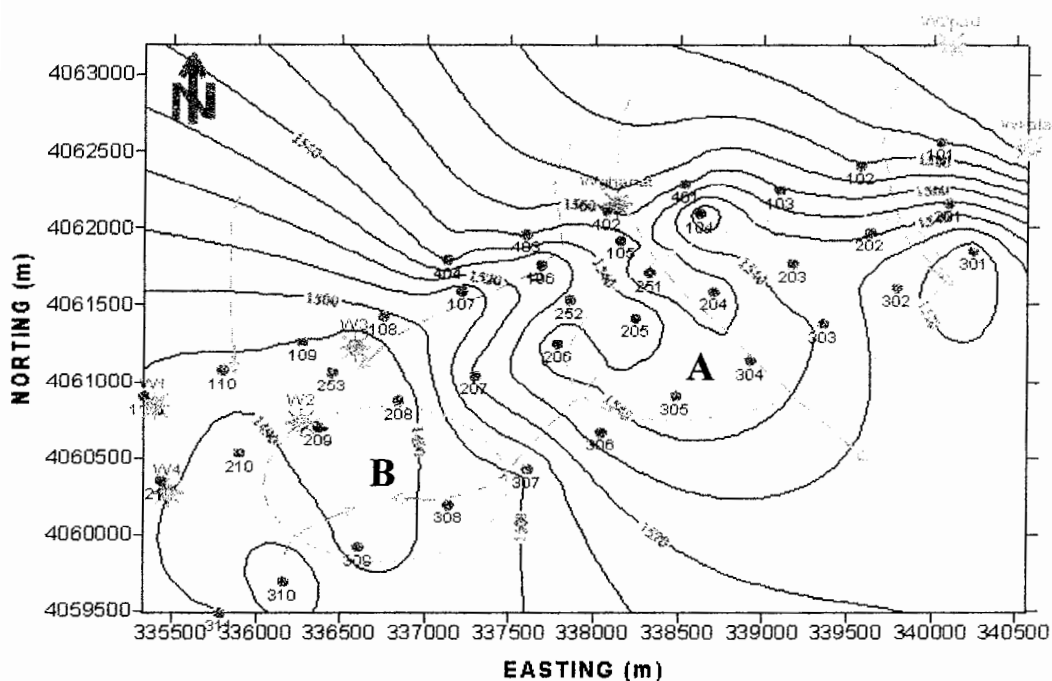
همان طور که شکل فوق نشان می دهد عمق آب زیر زمینی در اکثر بخش های شمالی و جنوبی منطقه از ۴۲ تا ۶۰ متر در نوسان بوده و حال آنکه برای مناطق غربی و شرقی به ۷۵ متر افزایش می یابد. بیشترین عمق به دست آمده برای زون های زرد رنگ و در حوالی چاه W2 و W3 و همچنین اطراف سونداژهای ۲۰۱ و ۳۰۱ در ابتدای پروفیل های چهارم و پنجم می باشد. برای ارزیابی صحت اعماق آب زیر زمینی به دست آمده از مدل سازی های داده های ژئوالکتریک از نتایج حفاری های موجود به شرح جدول ۳-۱ بهره می گیریم. در این جدول نتایج مدل سازی های مربوط به سونداژهای مجاور چاه های آب موجود همراه با اطلاعات خود چاه ها ارائه می شود.

جدول ۴-۱: مقایسه نتایج مدل سازی و اطلاعات حفاری برای عمق آب زیر زمینی

نام چاه	عمق بر خورد به آب (متر)	عمق آب حاصل از مدل سازی سونداژهای مجاور چاه (متر)	اختلاف عمق واقعی با عمق حاصل از مدل سازی (متر)	ملاحظات
W1	۶۸	سونداژ (S111) ۷۲/۸	۴/۸	چاه در ۷۰ متری جنوب سونداژ است.
W2	۷۰	سونداژ (S209) ۶۸/۵	۱/۵	چاه در ۶۰ متری شمال غرب سونداژ است.
W3	۷۹	سونداژهای (S108) و (S109) و (S253) ۷۳/۹ و ۷۳/۷ و ۷۷/۲۱	از ۱/۷۸ تا ۵/۱ متر	چاه در میان سه سونداژ است.
W4	۵۶	سونداژ (S211) ۶۰/۷۷	۳/۳۳	چاه در ۵۰ متری جنوب سونداژ است.
Wghanat	۴۵	سونداژهای (S401) و (S402) ۴۸/۷۵ و ۵۲	۳ تا ۷ متر	چاه در میان دو سونداژ است.
W2padegan	۵۵	سونداژ (S101) ۵۲/۳	۲/۲	چاه در شمال غرب سونداژ است.
WKalate	۵۰	سونداژ (S101) ۵۲/۳	۲/۳	چاه در ۵۰ متری جنوب شرقی سونداژ است.

همان طور که جدول ۴-۱ نشان می دهد اختلاف عمق به دست آمده از مدل سازی ها با عمق مشخص شده از طریق حفاری های موجود ناچیز بوده و به طور متوسط کمتر از ۳ متر است. این امر احتمالاً مربوط به نوسانات فصلی سطح آب و یا احتمالاً تغییرات ضخامت زون موئینه بالای سفره آبدار آزاد است. این اعداد در وهله اول دقت در برداشت داده ها و همچنین دقت در نتایج مدل سازی های صورت گرفته را نشان می دهد و علاوه بر آن ارزش اکتشاف آب زیر زمینی را با روش های به کار گرفته شده در منطقه مورد نظر نشان می دهد. با توجه به موارد فوق برای مناطقی از ناحیه مورد مطالعه که شواهدی برای تائید نتایج مدل سازی ها وجود ندارد می توان از نتایج مطالعات با دقت قابل قبولی برای حفاری های بعدی استفاده نمود. برای پیشنهاد مناسب ترین نقاط برای حفاری

های بعدی نقشه تراز سطح آب زیر زمینی<sup>۱</sup> و یا نقشه ایزو پیز<sup>۲</sup> برای منطقه با استفاده از نقشه توپوگرافی، نقشه هم عمق آب زیر زمینی و اطلاعات حفاری تهیه گردید. شکل ۴-۲ چنین نقشه ای را برای منطقه مورد بررسی همراه با موقعیت چاه های آب موجود و محل سونداژهای صورت گرفته نشان می دهد.



شکل ۴-۲: نقشه تراز سطح آب زیر زمینی برای منطقه مورد مطالعه که خطوط جریان آب زیر زمینی نیز به صورت خط چین روی آن علاوه بر محل سونداژها (دایره های آبی) و چاه های آب (علامت قرمز) مشخص شده است. مناطق با اهمیت برای حفاری های آتی نیز به صورت بیضی های آبی رنگ نشان داده شده اند.

همان طور که در شکل فوق پیداست خطوط تراز سطح آب زیر زمینی در حوالی پروفیل های اول و دوم به هم نزدیک بوده و رفته رفته به طرف جنوب غربی و جنوب شرقی از هم فاصله بیشتری می گیرند. علاوه بر آن شکل نشان می دهد که جهت جریان آب زیر زمینی غالباً از شمال به جنوب تا

<sup>1</sup> - Contour map of ground-water surface

<sup>2</sup> - Isopiestic map

جنوب شرق و در قسمت های میانی از شمال شرق به جنوب غرب است. با توجه به اینکه فاصله میان منحنی های تراز آب زیرزمینی با نفوذپذیری طبقات زیر سطحی رابطه مستقیم دارد از این رو نقشه تراز آب زیر زمینی می تواند راهنمای خوبی برای حفاری های بعدی باشند. بدین صورت که چاه های بعدی را در محلی بایستی حفاری کرد که این خطوط از هم فاصله بیشتری می گیرند. با در نظر گرفتن موارد فوق و همچنین با در نظر گرفتن اطلاعات به دست آمده از شکل ۴-۱ که کانتورهای هم عمق آب زیر زمینی و یا به عبارتی ضخامت طبقات پوششی سفره آب زیر زمینی را نشان می دهند محل های پیشنهادی برای حفاری های آتی طوری تعیین می شوند که اولاً لایه آبدار در آن قسمت ها دارای نفوذ پذیری بالاتری نسبت به مناطق اطراف بوده باشد و علاوه بر آن ضخامت روباره کمتر باشد تا در هزینه های حفاری صرفه جویی گردد. با لحاظ جمیع موارد اشاره شده محدوده مشخص شده A و B در شکل ۴-۲ به ترتیب الویت برای حفاری های بعدی پیشنهاد می گردند.

## منابع و مراجع

### منابع فارسی

- [۱] باوئر، ه. ، مترجم: لطفی صدیق ا.، ۱۳۷۴، هیدرولوژی آبهای زیر زمینی. ، دانشگاه سهند تبریز، ۶۰۱ ص.
- [۲] تلفورد، دبلیو.ام.، جلدارت، ال.پی، شریف، آرای، کیز، دی. ا. مترجمین: حاجب حسینی، ح. و زمردیان، ح.، ۱۳۷۵. ژئوفیزیک کاربردی. ، جلد دوم ،انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۹ ص.
- [۳] حسن زاده، ح. ۱۳۸۲. مدل سازی توام داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی در اکتشاف آب زیر زمینی. ، دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- [۴] سازمان زمین شناسی، ۱۳۶۹. نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰. چاپ پویا.
- [۵] صبوری، ح. ر.، ۱۳۸۲. اکتشاف آبهای زیر زمینی با مدل سازی داده های ژئوالکتریکی. ، دانشگاه صنعتی شاهرود ، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- [۶] قاسمی، ف.، ۱۳۷۶. ژئوفیزیک کاربردی، بخش دوم، روش پلاریزاسیون القایی. ، جزوه درسی دانشجویان معدن، انتشارات دانشگاه تهران، دانشکده فنی.
- [۷] کلاگری، ع. ا. ، ۱۳۷۱. اصول اکتشافات ژئوفیزیکی. ، تابش، ۵۸۸ ص.
- [۸] مرادزاده، ع؛ عرب امیری، ع، ۱۳۸۳. مدل سازی معکوس پارامتری داده های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه اندیس معدنی پاینده. ، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شهریور ۸۳ ، دانشگاه صنعتی شاهرود

- [۹] معماریان ، ح. ، ۱۳۶۳. زمین شناسی کاربردی ، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۲ ص.
- [۱۰] موسسه جغرافیایی، ۱۳۸۰. اطلس راههای ایران. ، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتا شناسی

## منابع انگلیسی

- [11] ABEM, 1999. Instruction manual for Terameter SAS 1000. , ABEM Instrument AB, 91.
- [12] American society of civil engineers, 1998. Geophysical exploration for engineering and environmental investigation. ASCE press, 204.
- [13] Constable, S.C., Parker, R.L. and Constable, C.G., 1987. Occam inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, **52**, 289-300.
- [14] Dey, A. and Morison, H.F., 1973. Electromagnetic coupling in frequency and time-domain induced-polarization surveys over a multilayered earth. *Geophysics*, **38**, 380-405.
- [15] Inman, J.R., 1975. Resistivity inversion with ridge regression. *Geophysics*, **40**, 798-817.
- [16] Kelly, W.E. and Mares, S., 1993. Applied geophysics in hydrological and engineering practice, Developments in water science 44. Elsevier, 290.
- [17] Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996. Rapid least square of apparent resistivity pseudosection by a Quasi- Newton method. *Geophysical Prospecting*, **44**, 131-152.
- [18] Loke, M.H., 2002. User manual for RES2DINV, rapid 2D resistivity and IP inversion. Geotomo Software.
- [19] Moradzadeh, A., 2003. Comparison of the results of one-dimensional inversion of magnetotelluric data using smooth and automated layered models. *11th Iranian geophysical conference*, 9-11. Tehran, Iran.
- [20] Nabighian, M.N. and Macnae, 1994. Time domain electromagnetic prospecting methods. In: Nabighian, M.N. (Ed), *Electromagnetic methods in applied*



- 
- geophysics. Society of Exploration Geophysicists, 972.
- [21] Palacky, G.J., 1994. Resistivity characteristics of geologic targets. In: Nabighian, M.N. (Ed), Electromagnetic methods in applied geophysics. Society of Exploration Geophysicists, V2, 513.
- [22] Robinson, E.S. and Coruh, C., 1988. Basic exploration geophysics. John Willey & Sons, 562.
- [23] Stoyer, C., Zerilli, A. and Wilson, G., 1993. Resixip user's manual for resistivity and induced polarization data interpretation software. Interpex Ltd.
- [24] Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, 770.
- [25] Ward, S.H., 1994. Resistivity and Induced polarization methods. In: Ward, S.H. (Ed), Geotechnical and environmental geophysics, . *Investigation in geophysics, No. 5*. Society of Exploration Geophysics, V1, 389.
- [26] Zohdy, A.A., Eaton, G.P. and Mabey, D.R., 1974. Application of surface geophysics to ground- water investigations. U.S.G.S.

## پیوست الف:

## جداول مقاومت ویژه و بارپذیری

در این پیوست مقادیر مقاومت ویژه و بار پذیری ظاهری سونداژهای مختلف بر حسب فواصل الکترودی برای هر یک از پروفیل های مربوطه به صورت جداول الف-۱ تا الف-۶ ارائه می گردند.

جدول الف ۱- : مقادیر محاسبه شده مقاومت ویژه (اهم متمر) به ازای نصف فواصل الکترودهای جریان (AB) و پتانسیل (MN) برای سونداژ های الکتریکی واقع بر پروفیل اول

AB/2	MN/2	S401	S402	S403	S404
3	1	81.1	307.2	187.9	71.8
5	1	31.5	187.3	213.5	50.4
7	1	30.0	99.9	46.2	36.9
10	1	31.9	64.7	97.3	29.2
10	2.5	41.9	60.4	54.5	41.7
15	1	35.5	57.9	40.6	33.4
15	2.5	4.5	53.1	82.1	46.3
20	2.5	13.4	56.6	89.0	49.9
30	2.5	63.1	53.9	106.6	61.7
40	2.5	78.8	64.8	116.4	70.4
50	2.5	92.1	73.0	119.1	83.6
50	10	84.5	71.2	135.8	104.6
70	2.5	77.5	91.4	145.4	103.7
70	10	85.0	89.7	141.5	126.7
100	10	133.6	101.5	141.4	119.7
150	10	93.2	107.5	126.6	155.4
200	10	97.5	111.7	136.7	146.5
200	40	84.2	88.1	115.8	49.1
300	10	74.0	88.1	109.9	147.7
300	40	71.9	97.5	88.1	
400	40	67.6	77.7	25.2	
500	40	47.3	66.1	54.4	
500	100	72.5	63.3	67.4	

جدول الف - ۲ : مقادیر محاسبه شده مقاومت ویژه (اهم - متر) به ازای نصف فواصل الکترودهای جریان (AB) و پتانسیل (MN) برای سونداژ های الکتریکی واقع بر پروفیل دوم

AB/2	MN/2	S101	S102	S103	S104	S105	S106	S107	S108	S109	S110	S111
3	1	4.4	9.3	131.2	255.1	99.4	295.5	333.0	54.4	195.8	257.6	118.1
5	1	5.1	7.5	129.5	114.6	45.5	217.1	54.5	45.3	61.4	94.2	52.9
7	1	53.8	18.6	115.2	82.5	44.3	223.9	36.0	36.6	38.4	63.7	47.7
10	1	88.8	64.2	117.5	83.0	76.4	159.2	39.3	36.9	38.7	56.0	50.7
10	2.5	61.0	26.2	6.0	83.2	41.8	123.7	38.0	37.3	38.3	55.2	49.7
15	1	63.1	147.3	13.5	84.4	43.3	165.4	40.8	38.4	37.6	63.0	48.2
15	2.5	27.3	52.0	108.8	87.7	46.5	123.0	38.9	42.5	39.2	59.8	50.4
20	2.5	59.0	54.5	89.5	95.0	51.7	97.7	43.3	48.2	41.1	67.5	49.5
30	2.5	67.7	75.4	77.2	112.9	66.3	156.7	50.5	56.7	47.2	83.1	44.9
40	2.5	63.7	533.7	66.9	93.1	86.1	187.3	60.1	60.1	55.1	97.1	56.1
50	2.5	82.3	48.1	46.1	114.4	105.0	62.7	70.2	68.9	62.7	108.1	53.3
50	10	97.0	36.1	55.9	101.8	72.0	146.6	58.0	60.3	74.3	101.0	51.6
70	2.5	89.1	627.6	75.0	113.8	150.7	132.2	67.3	89.2	67.6	104.5	89.2
70	10	108.1	168.2	66.5	145.5	87.5	144.0	64.5	272.9	61.8	104.0	70.9
100	10	124.3	580.8	66.7	146.2	59.1	132.2	64.5	55.1	78.5	108.9	76.2
150	10	99.0	185.1	69.5	144.3	70.4	116.1	73.5	165.4	1171.7	109.1	77.4
200	10	98.7	566.0	62.7	144.2	81.5	133.5	85.2	75.2	1704.8	100.3	81.5
200	40	107.1	580.6	107.6	111.6	88.4	109.5	85.2	108.1	740.4	79.9	89.0
300	10	54.4	22.4	97.4	197.7	48.0	192.1	94.6	113.0	134.2	193.5	60.7
300	40	66.9	90.9	78.6	107.6	68.7	99.6	79.1	81.5	71.9	118.7	100.0
400	40	7775.4	81.5	66.1	99.5	86.5	100.8	97.0	91.4	70.3	80.2	78.4
500	40	7993.6	59.0	110.6	64.4	52.7	81.0	29.3	72.2	49.7	57.6	70.2
500	100	854.5	59.3	53.8	314.8	76.2	90.5	85.6	80.3	81.4	64.8	1964
700	40				103.6	28.8	84.4	36.4	38.4	6636.1		
700	100				56.5	39.2	55.0	71.6	62.6	7259.6		

جدول الف - ۳ : مقادیر محاسبه شده مقاومت ویژه (اهم متر) به ازای نصف فواصل الکترودهای جریان (AB) و پتانسیل (MN) برای سونداژ های الکتریکی واقع بر پروفیل سوم

AB/2	MN/2	S251	S252	S253
3	1	3.6	0.7	14.4
5	1	2.9	1.1	0.1
7	1	2.8	3.3	41.0
10	1	6.7	13.3	40.4
10	2.5	2.6	4.8	1.7
15	1	16.1	2.3	47.4
15	2.5	6.8	0.5	19.5
20	2.5	21.6	7.8	6.3
30	2.5	55.0	37.7	47.4
40	2.5	61.1	85.1	54.2
50	2.5	71.5	95.4	60.9
50	10	72.4	81.2	81.7
70	2.5	86.9	102.0	71.8
70	10	91.3	87.4	40.2
100	10	90.6	85.8	99.6
150	10	328.1	93.0	384.9
200	10	73.7	105.5	835.1
200	40	78.0	97.5	82.5
300	10	43.0	80.2	74.8
300	40	55.9	74.7	94.2
400	40	46.0	47.8	59.9
500	40	41.4	38.7	230.1

جدول الف -۴ : مقادیر محاسبه شده مقاومت ویژه (اهم -متر) به ازای نصف فواصل الکترودهای جریان (AB) و پتانسیل (MN) برای سونداژ های الکتریکی واقع بر پروفیل چهارم

AB/2	MN/2	S201	S202	S203	S204	S205	S206	S207	S208	S209	S210	S211
3	1	4.2	49.9	26.2	36.2	115.2	15.1	299.1	13.3	96.4	16.3	24.9
5	1	4.5	49.4	18.7	24.3	45.6	19.1	140.6	15.2	42.8	15.6	33.7
7	1	9.0	44.9	23.6	22.7	181.0	20.4	58.7	19.6	36.8	20.4	37.5
10	1	38.3	44.9	24.9	22.7	29.5	19.4	32.5	1985.8	220.8	26.4	40.7
10	2.5	38.6	44.6	30.6	38.7	35.9	20.3	32.9	407.0	67.7	28.7	51.3
15	1	47.8	44.8	19.6	27.1	270.9	24.3	30.6	1421.5	1016.9	180.5	29.9
15	2.5	48.7	44.6	24.7	27.2	105.8	23.1	28.3	640.5	490.7	28.2	22.5
20	2.5	63.6	48.9	27.2	32.9	36.4	30.4	35.1	868.4	1197.4	33.6	27.9
30	2.5	65.1	49.4	33.6	46.6	1057.4	41.0	40.4	2055.3	892.9	43.2	49.4
40	2.5	74.7	54.6	39.9	47.1	701.0	39.1	53.1	4155.7	4926.8	49.1	
50	2.5	66.5	57.1	46.7	642.4	51.4	37.6	56.4	767.8	6518.2	56.4	6.0
50	10	66.6	10.1	70.2	74.6	4.3	50.5	90.9	1636.1	1734.2	45.6	1.2
70	2.5	70.4	402.5	249.7	68.0	10.5	49.2	61.5	4403.2	4274.0	55.3	
70	10	78.8	99.3	75.4	77.2	17.0	53.5	72.8	932.7	1221.5	82.3	
100	10	79.1	69.7	97.8	79.8	22.5	68.4	86.2	5924.9	902.0	83.2	
150	10	71.6	85.1	79.7	80.9	4.2	52.8	115.4	689.6	105.6	96.8	
200	10	105.2	66.1	105.5	72.2	99.0	63.3	127.9	4757.0	106.5	102.2	
200	40	101.4	76.2	83.5	68.5	10.1	114.6	108.7	1180.7	78.4	81.0	
300	10	226.2	61.4	87.7	80.5	53.7	33.9	84.7	169.5	89.0	66.4	114.4
300	40	185.8	57.9	62.5	55.2	89.2	55.5	71.5	87.8	83.3	68.0	29.2
400	40	66.8	62.3	53.6	47.9	13.7	31.7	49.1	69.0	74.6	54.1	34.2
500	40	76.1	110.1	38.7	23.4	39.0	63.4	59.5	54.6	63.4	38.0	31.2
500	100	69.8	41.9	37.2	30.2	5.3	56.2	38.5	52.8	49.8	42.6	38.9
700	40				40.3							
700	100				30.2							

جدول الف - ۵ : مقادیر محاسبه شده مقاومت ویژه (اهم -متر) به ازای نصف فواصل الکترودهای جریان (AB) و پتانسیل (MN) برای سونداژ های الکتریکی واقع بر پروفیل پنجم

AB/2	MN/2	S301	S302	S303	S304	S305	S306	S307	S308	S309	S310	S311
3	1	69.1	17.1	1.4	107.9	1.3	147.9	34.3	115.5	9.7	18.7	0.2
5	1	43.2	21.3	107.0	23.2	38.2	75.2	61.2	60.2	10.6	16.3	0.5
7	1	44.3	25.0	85.6	21.7	10.6	51.1	48.2	38.7	10.3	11.8	12.6
10	1	50.5	28.0	88.3	23.8	7.7	51.4	1.2	29.1	9.7	11.3	12.4
10	2.5	46.7	32.4	78.1	29.5	3.9	53.2	0.5	38.9	9.8	11.4	10.9
15	1	145.3	35.9	101.4	303.3	39.8	58.0	1.1	19.2	10.4	10.3	14.5
15	2.5	24.0	42.6	91.0	214.0	37.0	59.5	51.2	25.4	10.6	11.9	12.6
20	2.5	65.5	48.0	95.8	19.0	24.7	66.2	56.2	28.2	12.0	11.7	14.6
30	2.5	73.5	35.8	82.3	38.7	56.5	77.1	33.4	30.4	12.8	11.7	15.8
40	2.5	76.7	35.6	95.5	56.1	67.8	73.1	66.7	24.3	14.3	9.0	16.0
50	2.5	84.6	39.5	101.4	65.8	70.7	71.8	118.3	24.1	14.1	6.9	14.0
50	10	79.9	50.1	95.3	55.9	58.4	60.2	32.8	34.7	14.7	12.1	33.6
70	2.5	100.5	46.1	115.4	78.7	74.8	4376.4	2036.6	27.8	14.5	9.4	373.4
70	10	94.4	56.3	124.5	61.9	82.3	56.6	455.7	45.0	15.4	9.8	11.0
100	10	80.7	61.4	131.6	67.3	519.7	58.0	645.0	43.5	15.0	10.4	9.4
150	10	94.7	56.5	92.2	68.8	1149.3	54.3	562.2	47.9	15.4	12.9	394.1
200	10	89.9	56.2	81.0	65.8	43.5	45.6	1584.1	42.0	15.3	10.9	14.8
200	40	101.6	98.7	57.7	100.2	5.1	38.3	402.2	46.2	13.8	12.0	10.0
300	10	71.6	57.8	33.1	157.9	43.0	1037.4	4514.6	73.3	17.2	151.3	16.1
300	40	80.4	87.9	40.2	211.4	33.4	2625.1	1141.4	41.6	12.4	37.7	11.4
400	40	62.2	69.1	48.4	9380.3	4385.2	1706.6	81.1	31.9	11.4	293.8	17.6
500	40	58.1	54.4	33.9	8935.5	326.3	8273.4	9736.6	26.2	11.2	6.5	5.8
500	100				9485.3	127.2	3012.9	3667.7	2021.8	11.9	6.4	8.0

جدول الف - ۶ : مقادیر محاسبه شده قابلیت بارپذیری (بر حسب میلی ثانیه) به ازای نصف فواصل الکترودهای جریان (AB) برای سونداژهای الکتریکی واقع بر پروفیل سوم و یکی از سونداژهای پروفیل پنجم

AB/2	S302	S251	S252	S253
3	0.284	3.1	13.1	0.9
5	1.78	23.30	14.2	1.5
7	3.67	21.40	11.2	2.3
10	1.94	20.20	9.5	3.2
15	3.14	16.30	7.7	3.7
20	4.63	15.01	6.01	3.4
30	4.19	13.02	4.78	3.2
40	4.24	14.1	3.54	1.8
50	4.51	13.01	3.30	2.12
70	5.40	16.01	2.2	3.89
100	5.61	23.40	2.0	5.30
150	4.90	25.90	3.09	8.98
200	5.93	24.0	4.43	11.0
300	10.01	29.45	6.5	12.34
400	11.18	30.1	8.9	14.2
500	30.0	-	9.2	14.54

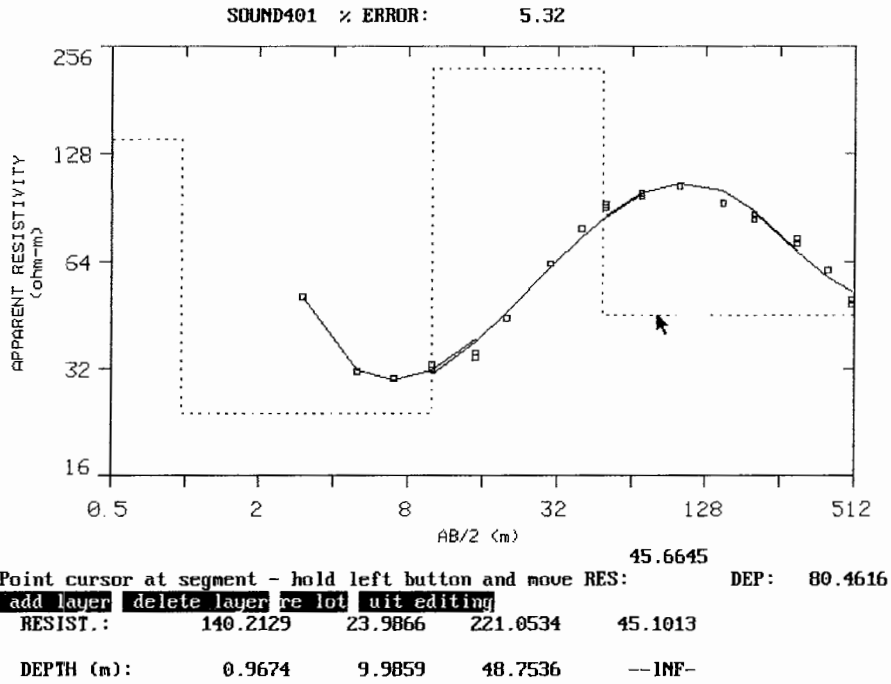


## پیوست ب:

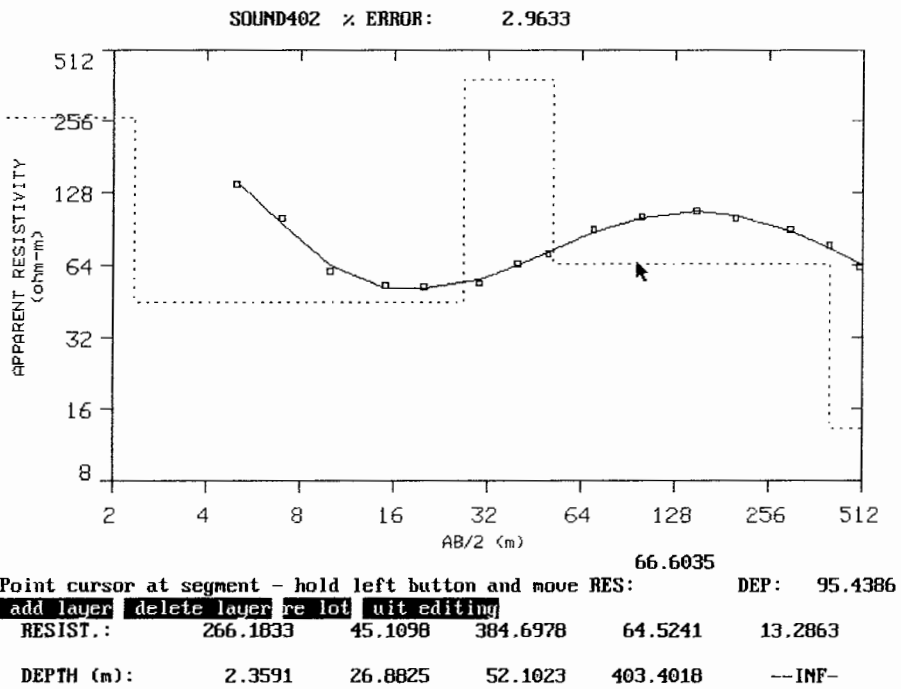
### نتایج مدل سازی یک بعدی

در این پیوست نتایج مدل سازی معکوس پارامتری هر یک از سونداژهای پروفیل های مربوطه در اشکال ب-۱ تا ب-۴۰ آورده شده است. در این اشکال داده های اندازه گیری شده به صورت مربع های کوچک، داده های محاسبه شده (پاسخ مدل) به صورت منحنی پر و همچنین مدل بازسازی شده به صورت خط چین نشان داده شده اند. علاوه بر آن پارامترهای مدل شامل ضخامت لایه ها و مقاومت ویژه واقعی آنها در زیر شکل آمده اند. علاوه بر موارد فوق لایه آبدار با علامت فلش کوچکی نشان داده شده اند.

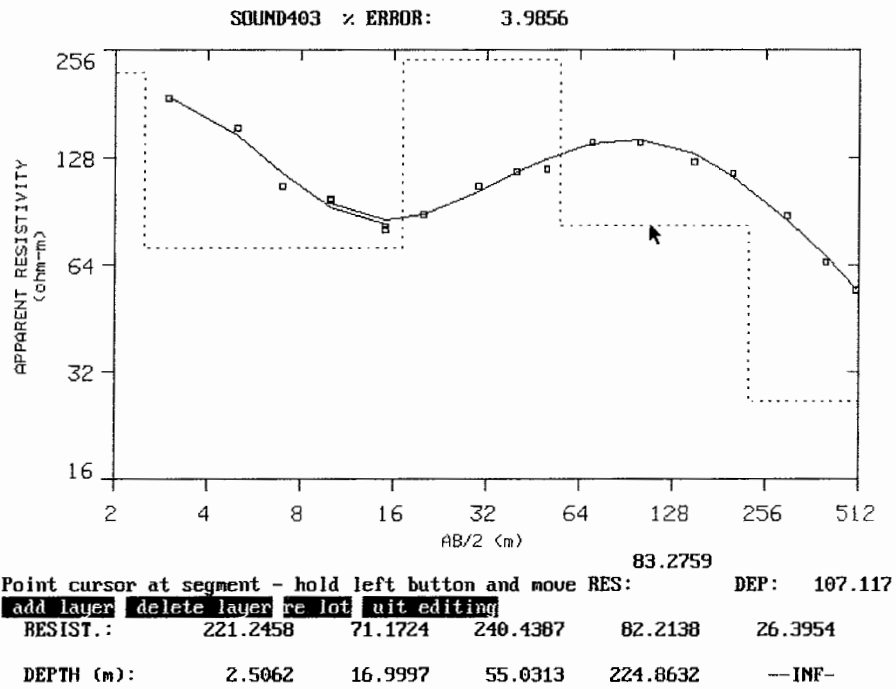
نتایج مدل سازی یک بعدی توام داده های IP و مقاومت ویژه ظاهری چهار سونداژ نیز در اشکال ب-۴۱ تا ب-۴۴ و همچنین مختصات جغرافیایی محل سونداژها و چاه های آب در جدول ب-۱ آمده است.



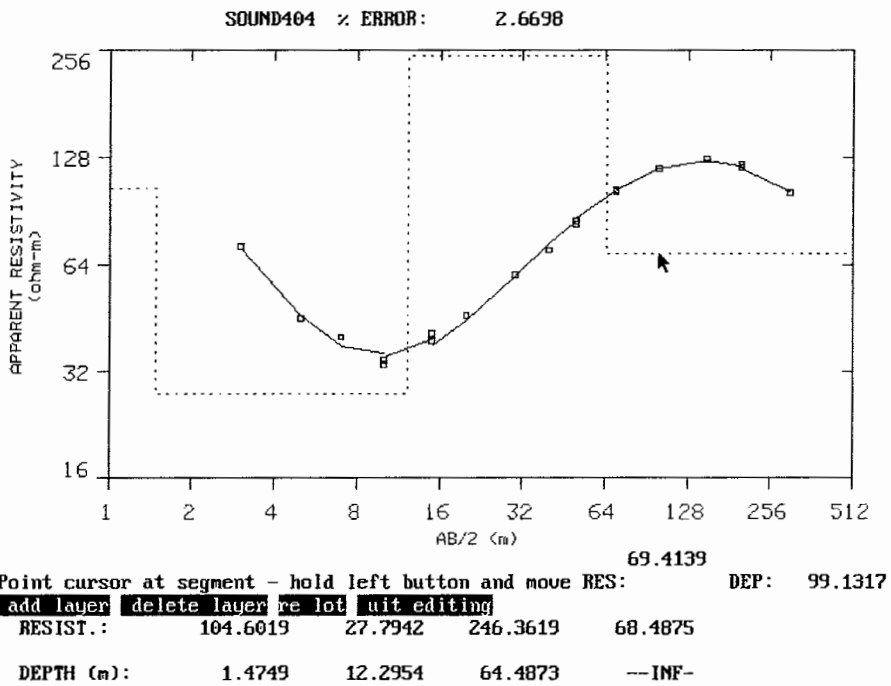
شکل ب-۱: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۴۰۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



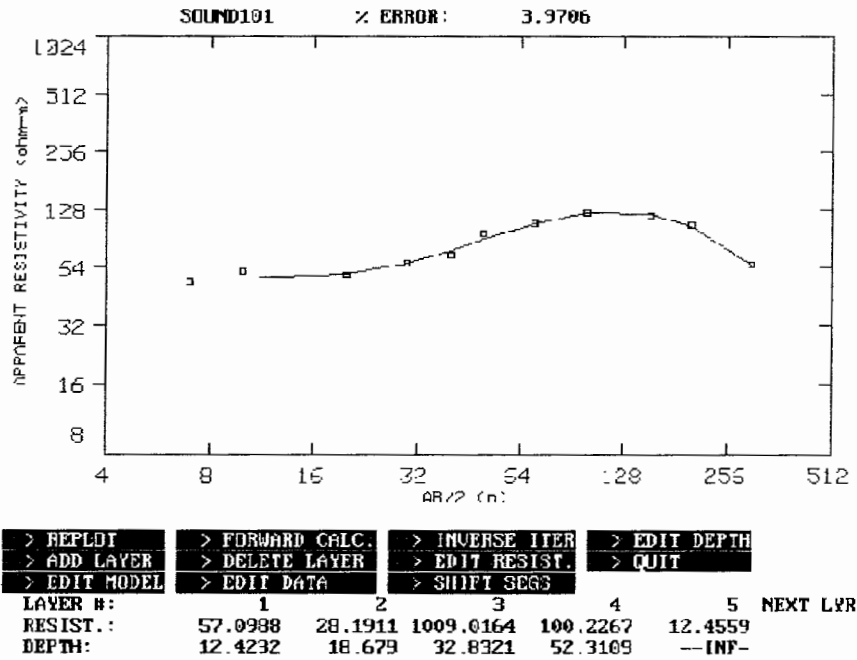
شکل ب-۲: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۴۰۲، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



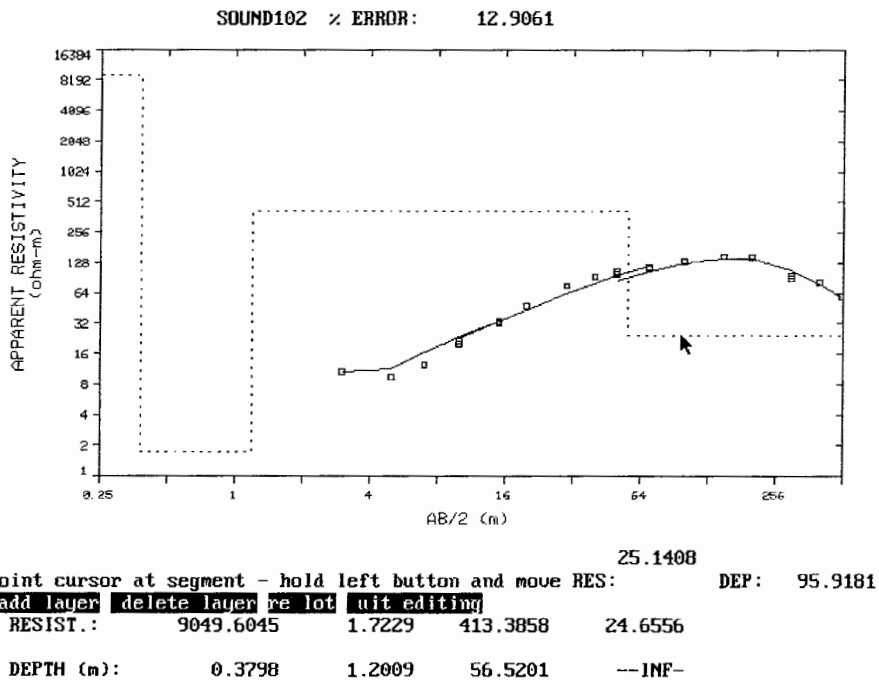
شکل ب-۳: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۴۰۳، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



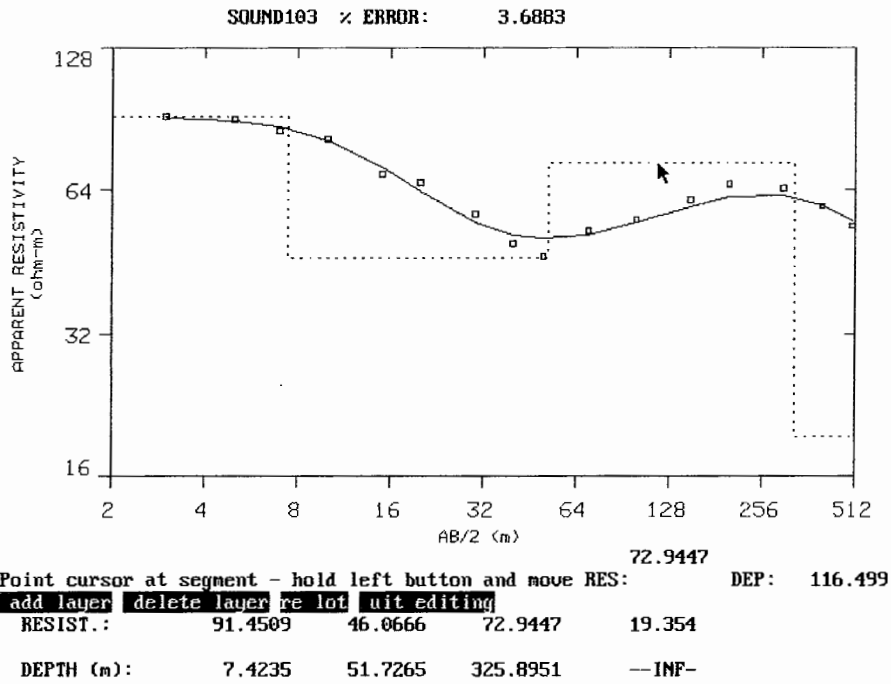
شکل ب-۴: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۴۰۴، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



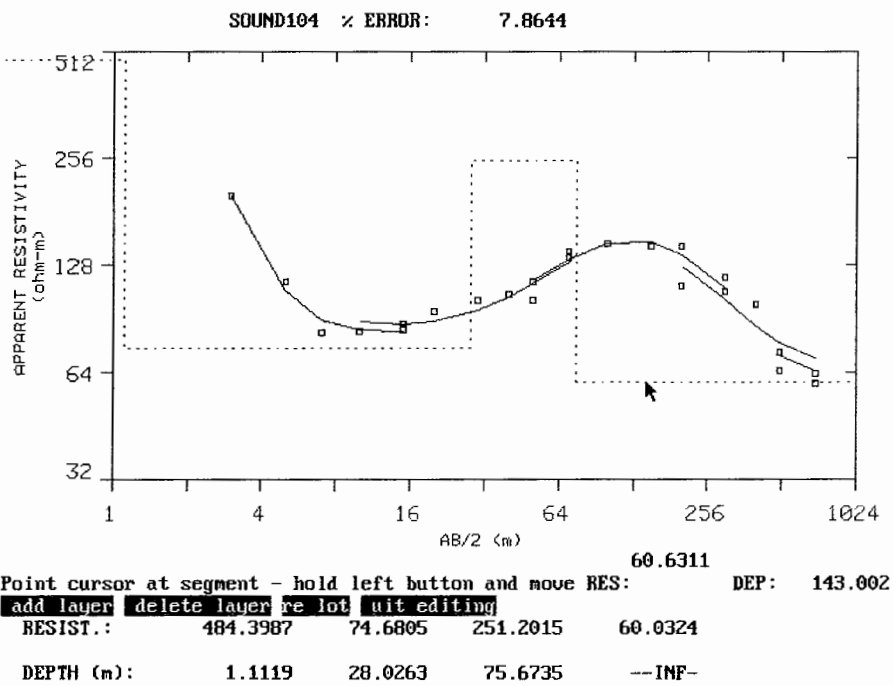
شکل ب-۵: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



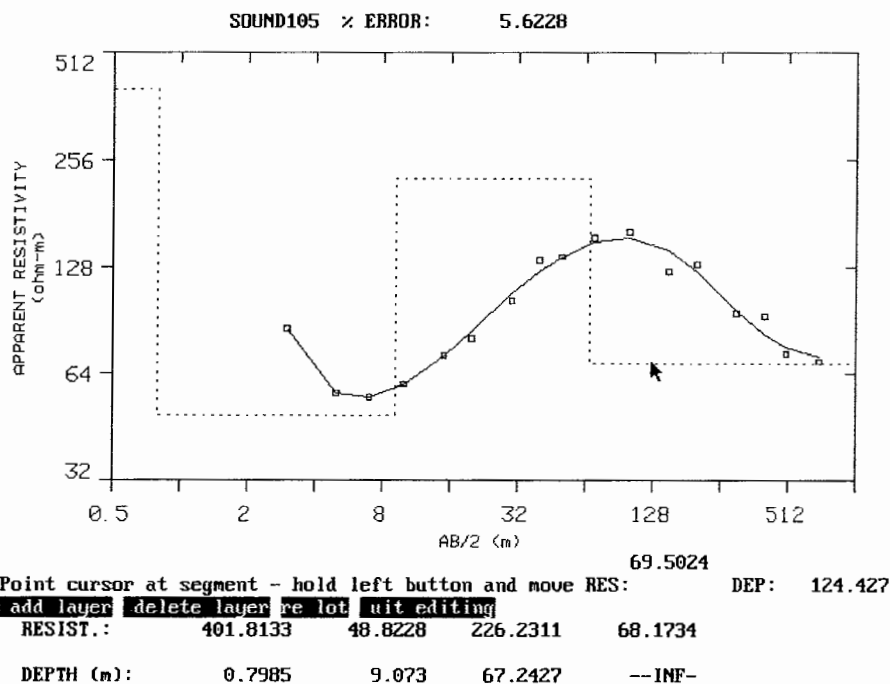
شکل ب-۶: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۲، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



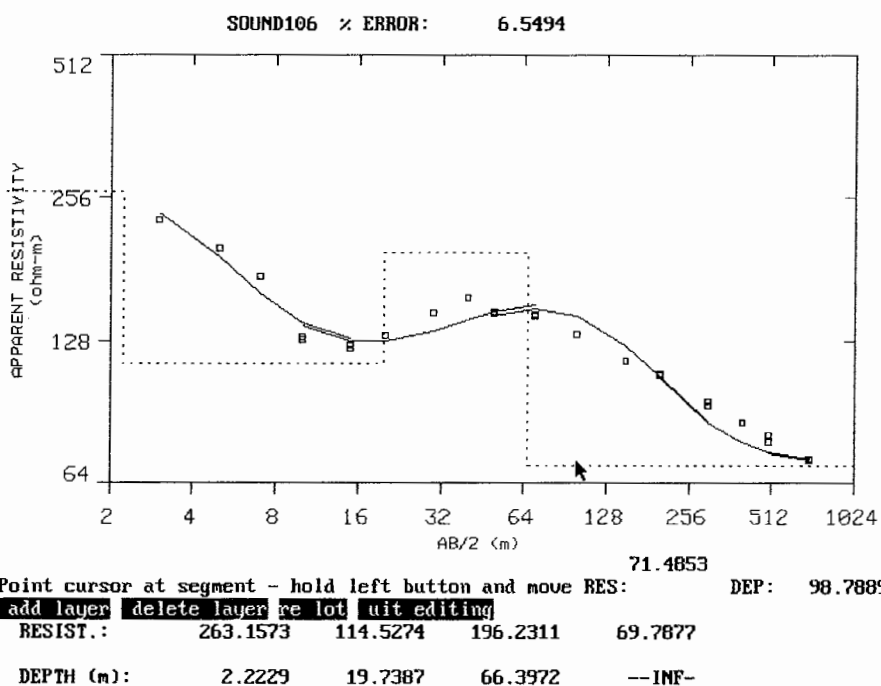
شکل ب-۷: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۳، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



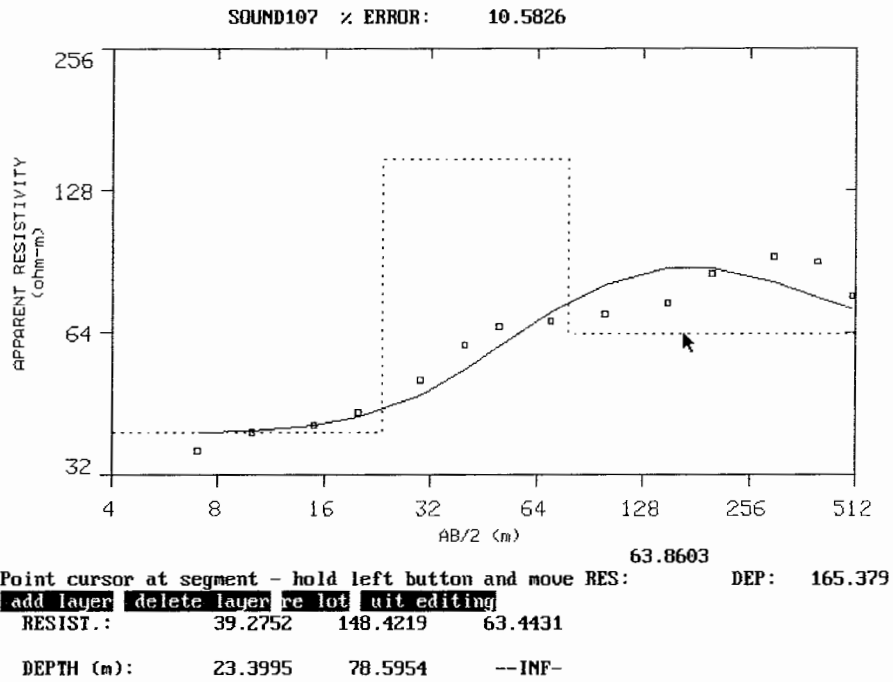
شکل ب-۸: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۴، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



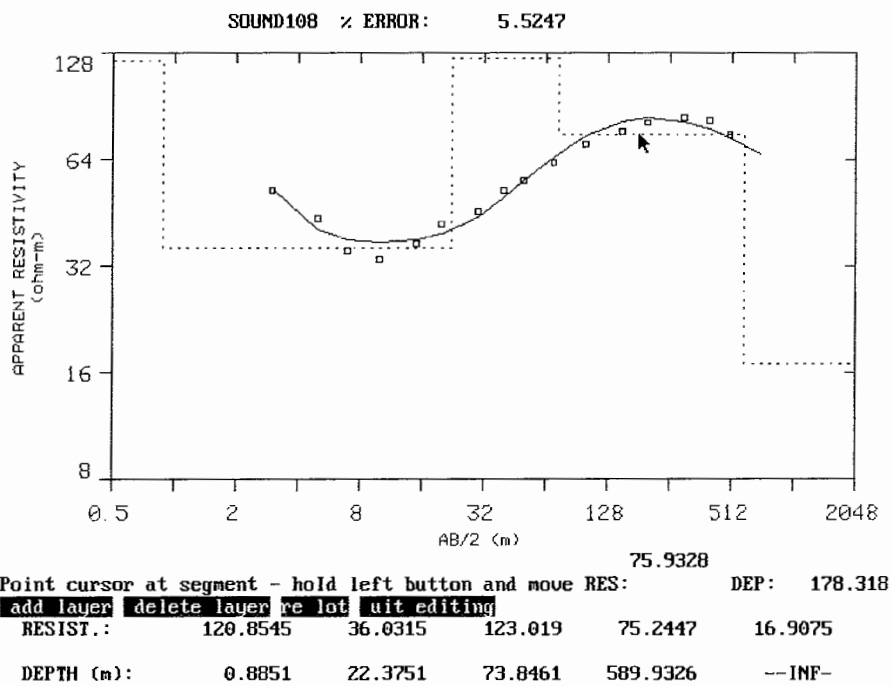
شکل ب-۹: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۵، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



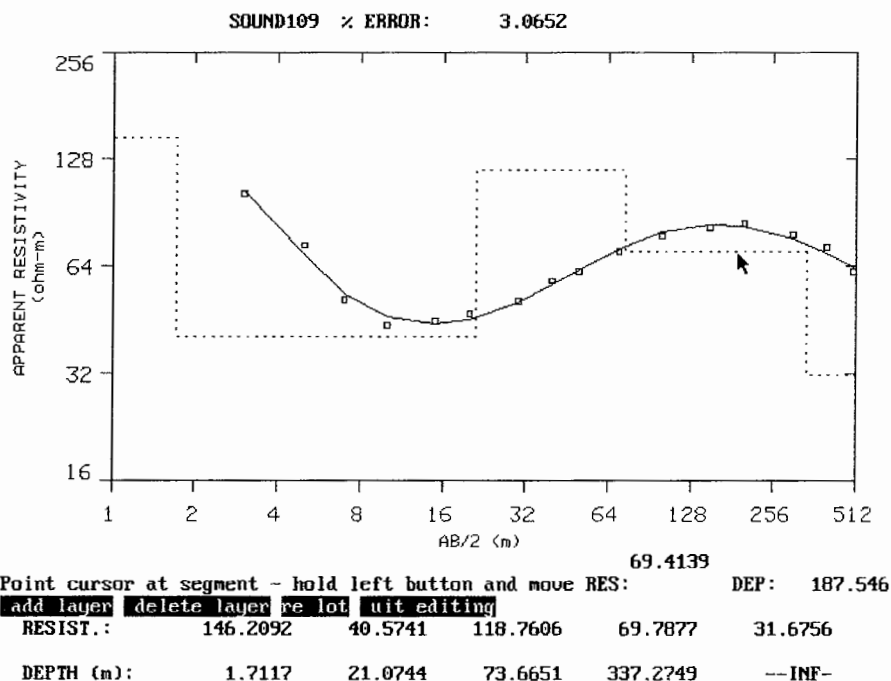
شکل ب-۱۰: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۶، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



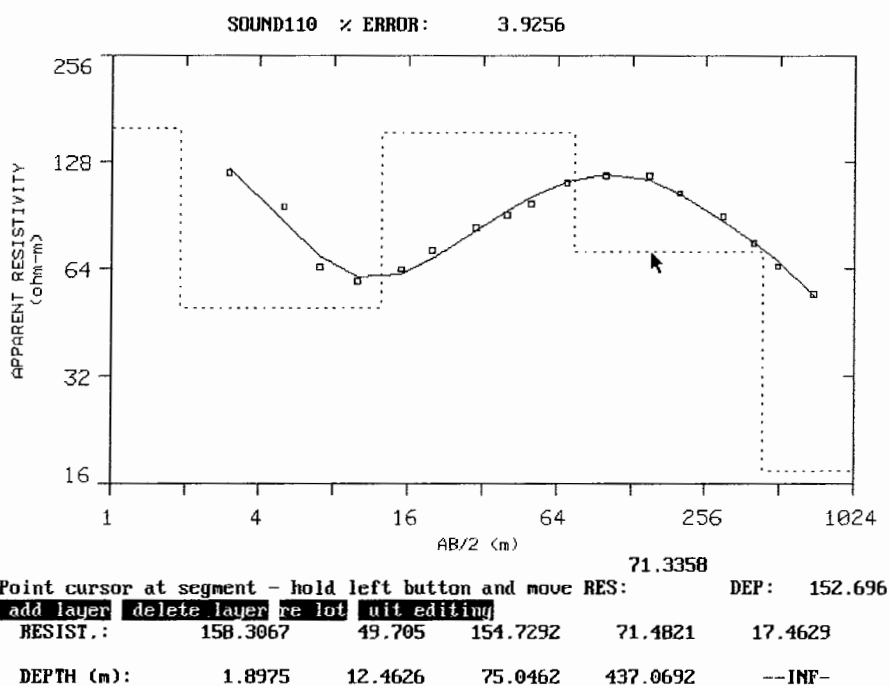
شکل ب-۱۱: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۷، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



شکل ب-۱۲: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۸، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

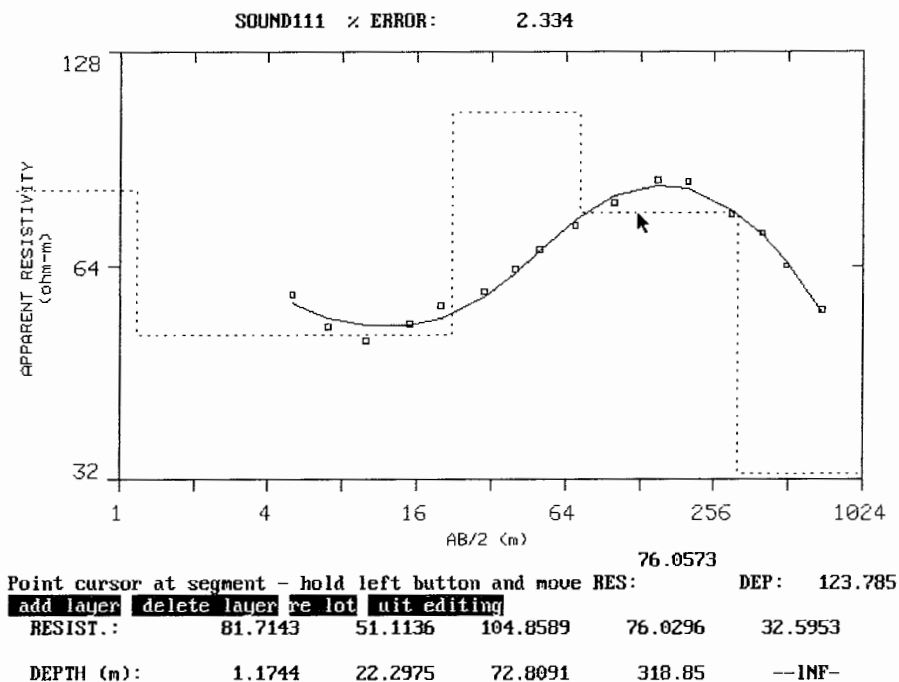


شکل ب-۱۳: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۰۹، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

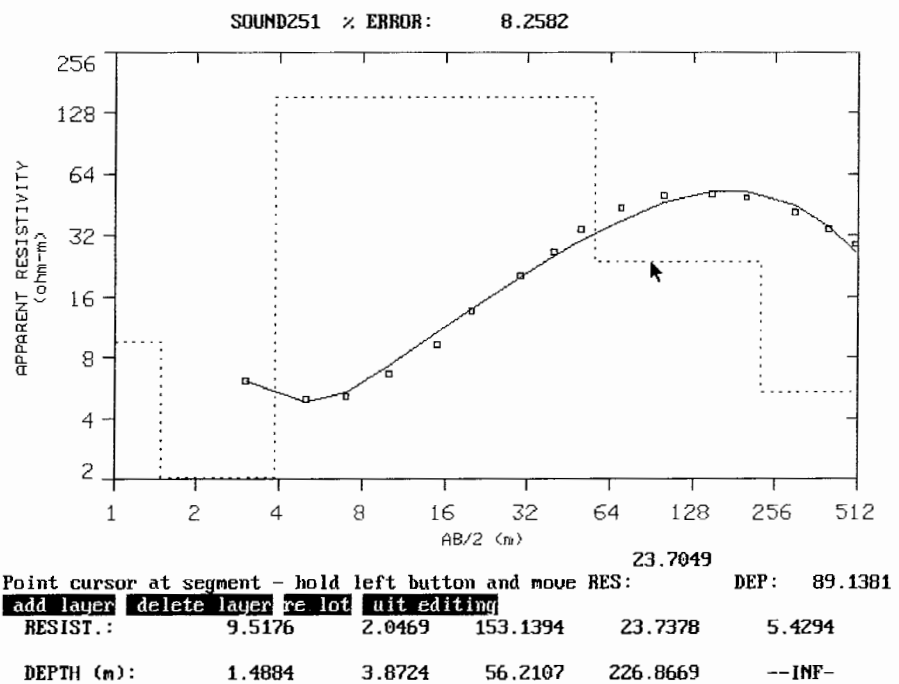


شکل ب-۱۴: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۱۰، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

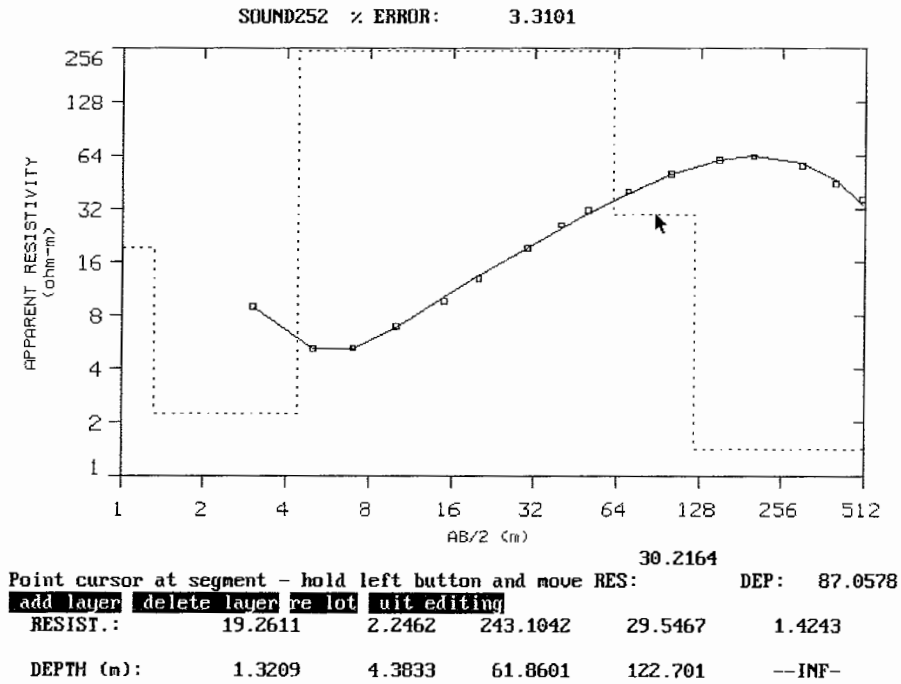




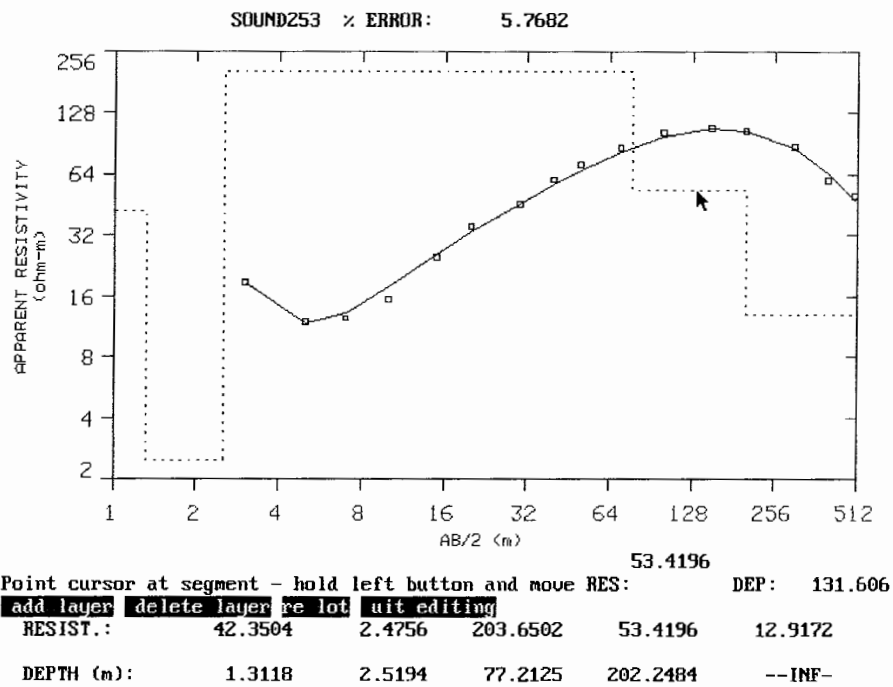
شکل ب-۱۵: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۱۱۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



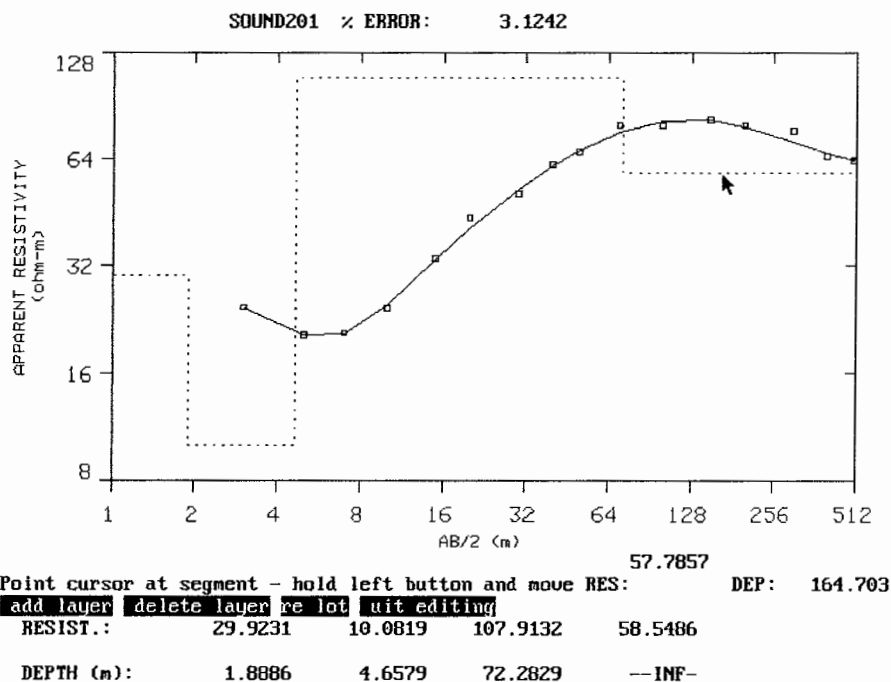
شکل ب-۱۶: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۵۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



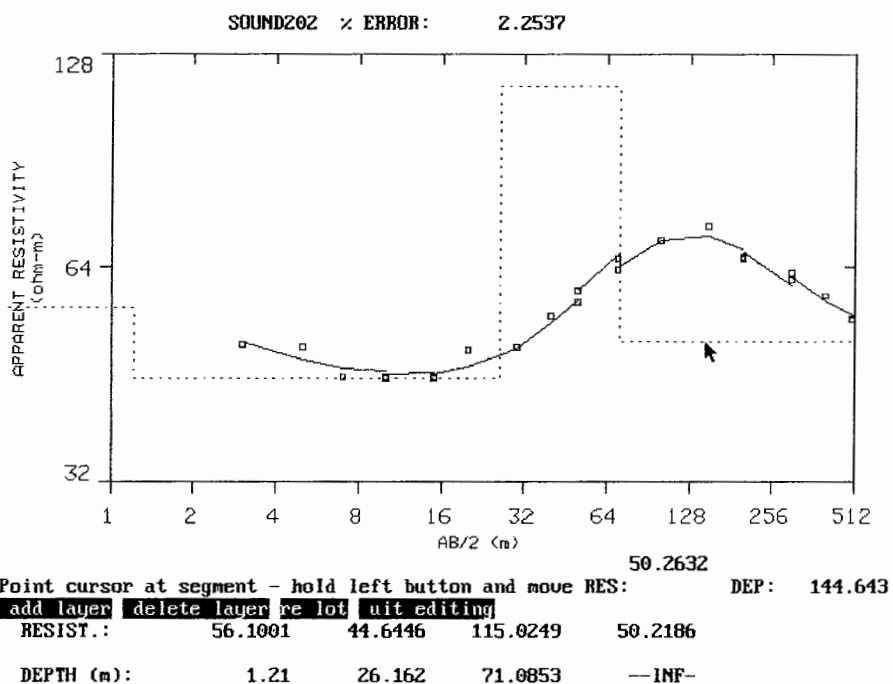
شکل ب-۱۷: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۵۲، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



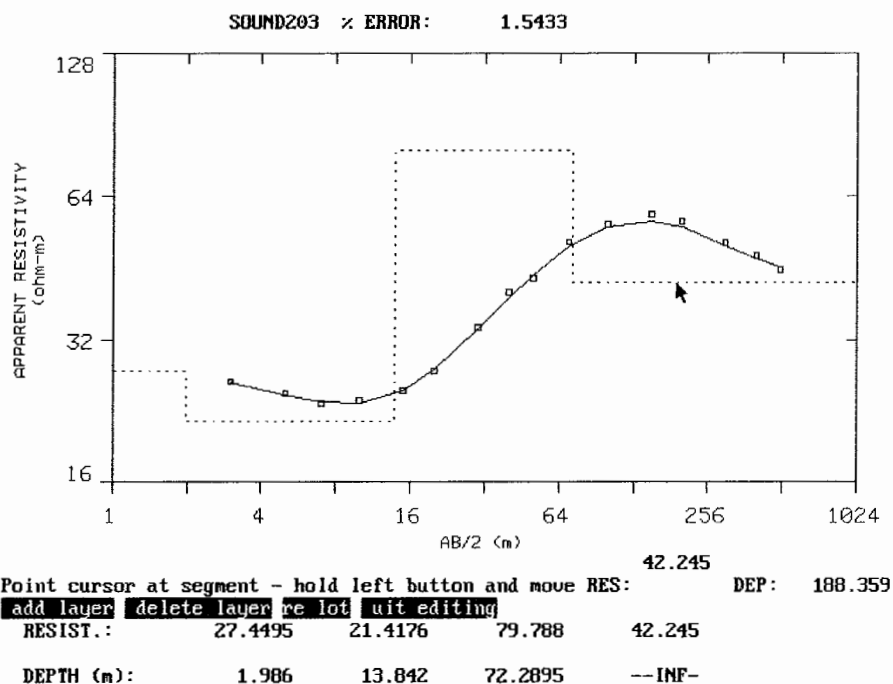
شکل ب-۱۸: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۵۳، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



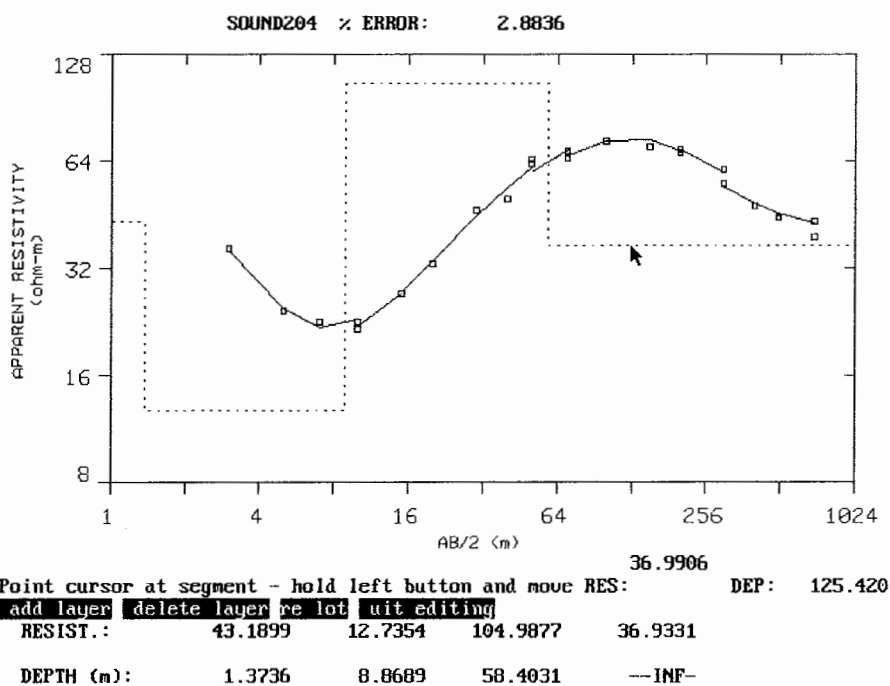
شکل ب-۱۹: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



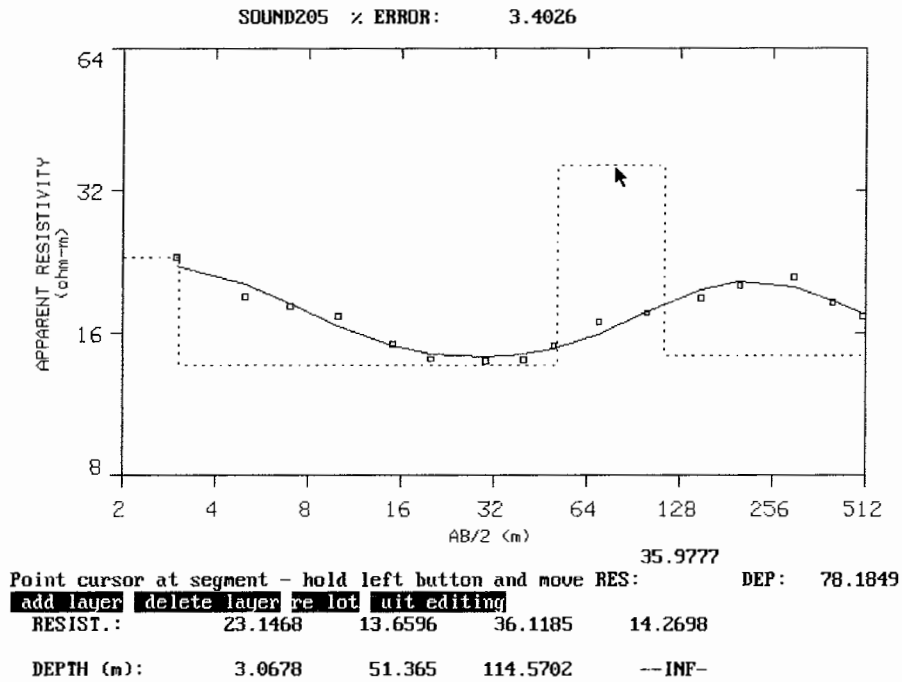
شکل ب-۲۰: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۲، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



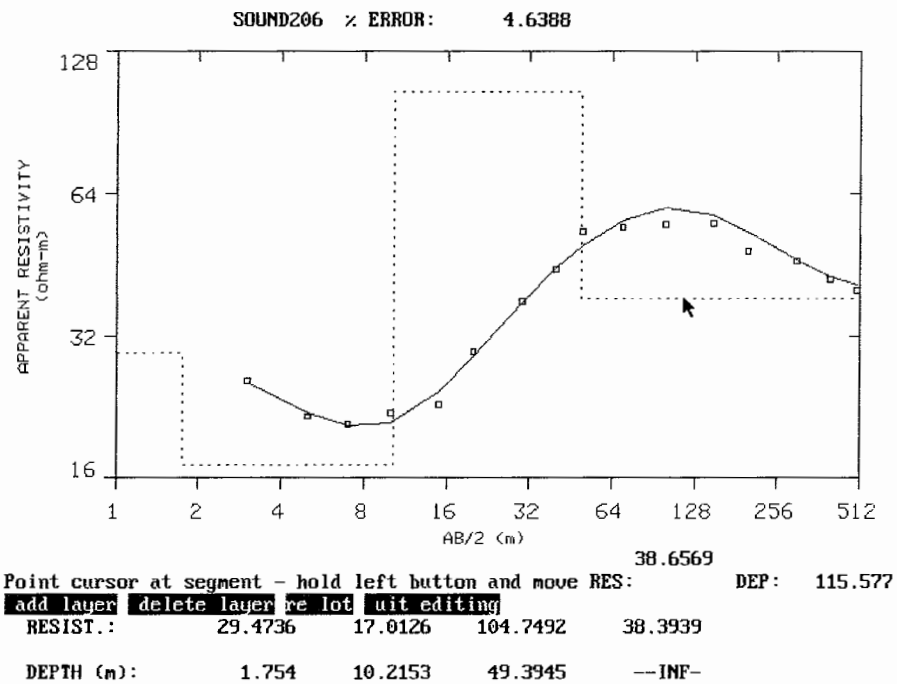
شکل ب-۲۱: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۳، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



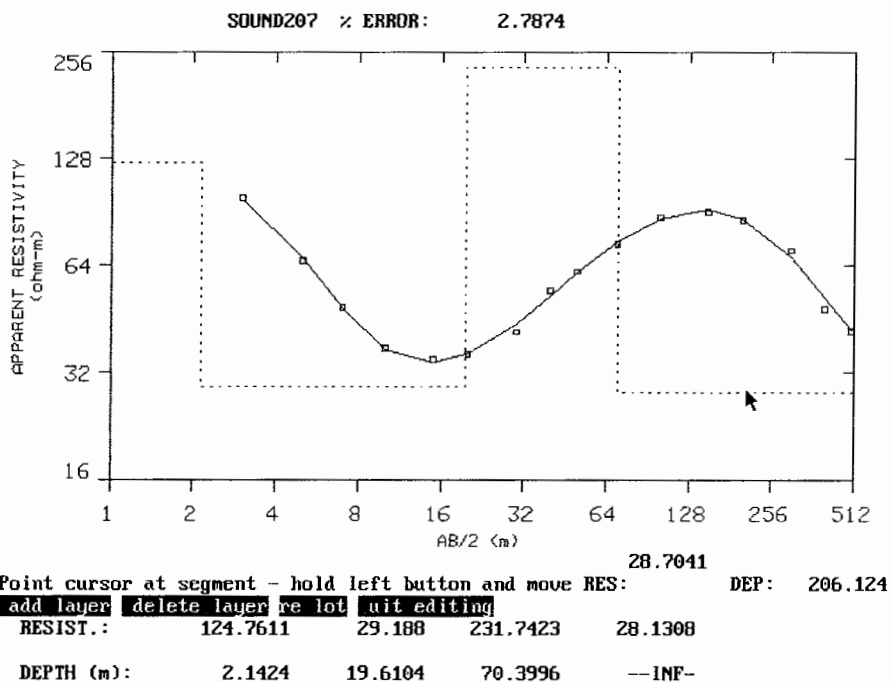
شکل ب-۲۲: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۴، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



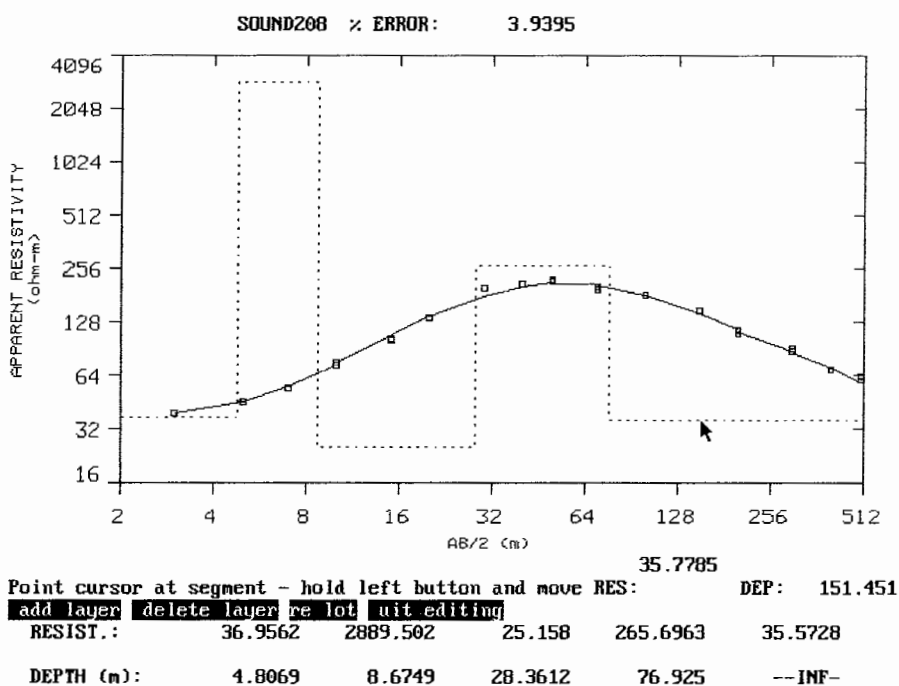
شکل ب-۲۳: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۵، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



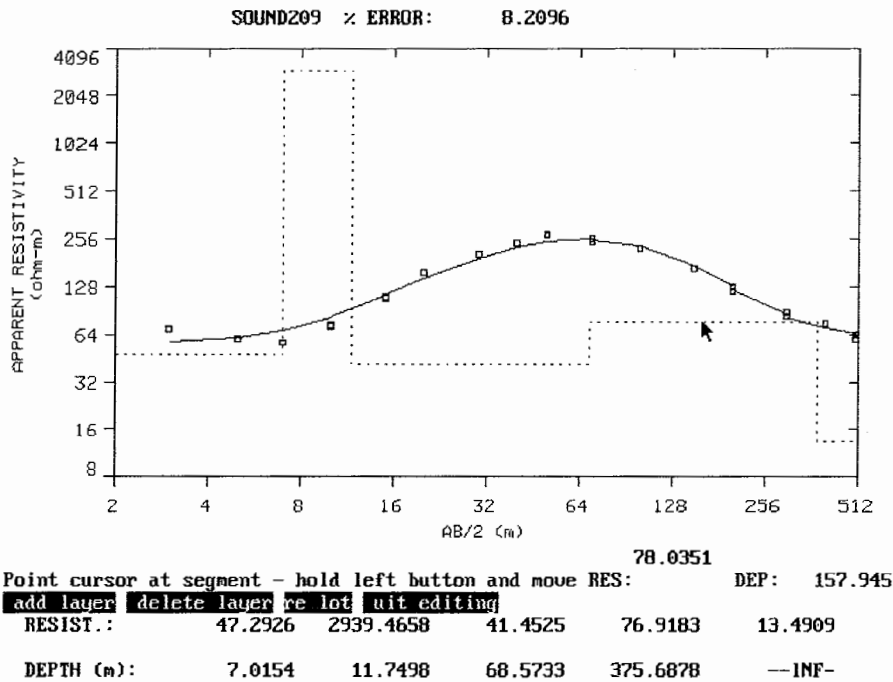
شکل ب-۲۴: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۶، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



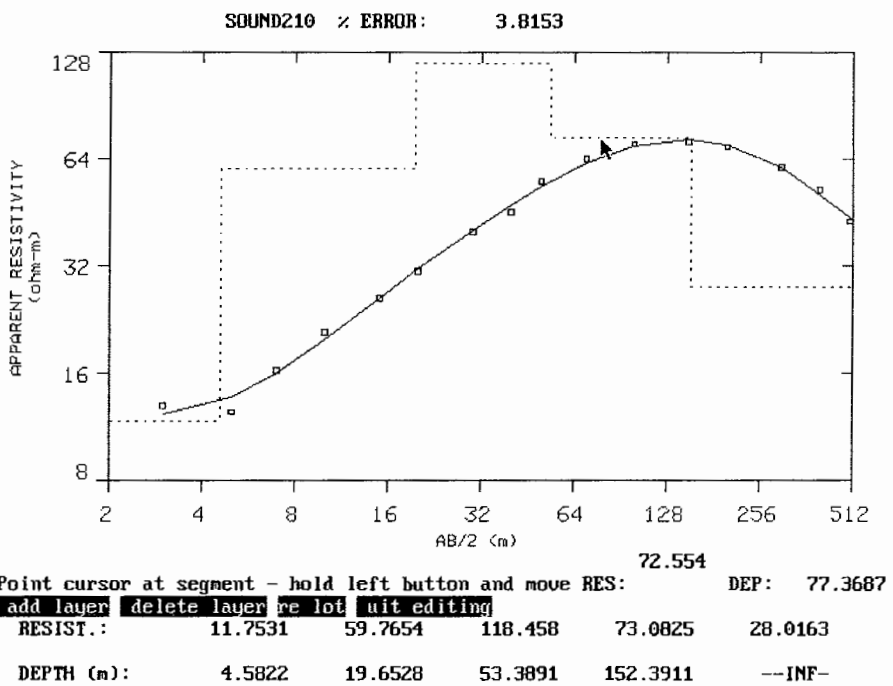
شکل ب-۲۵: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۷، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



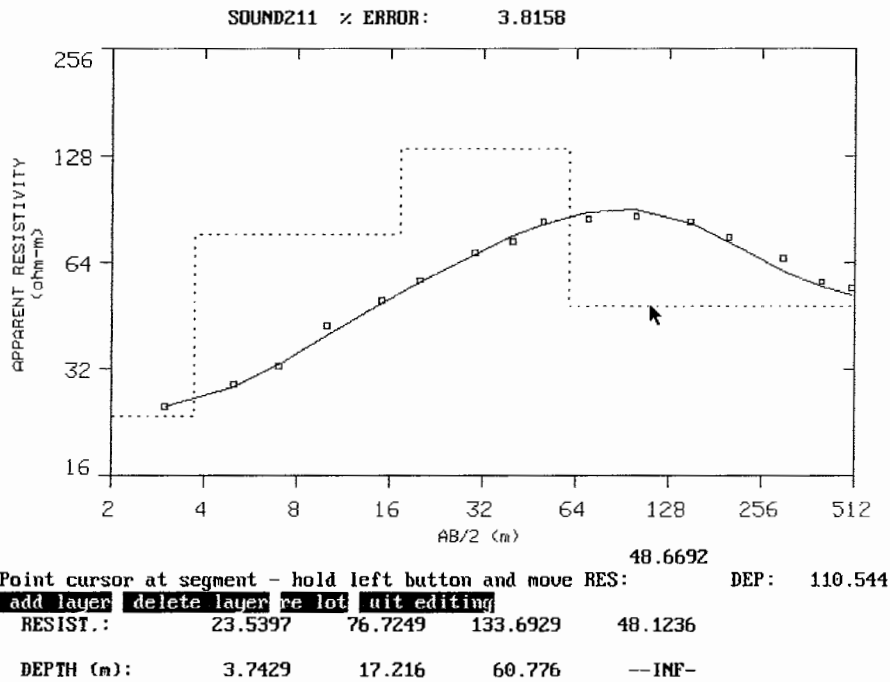
شکل ب-۲۶: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۸، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



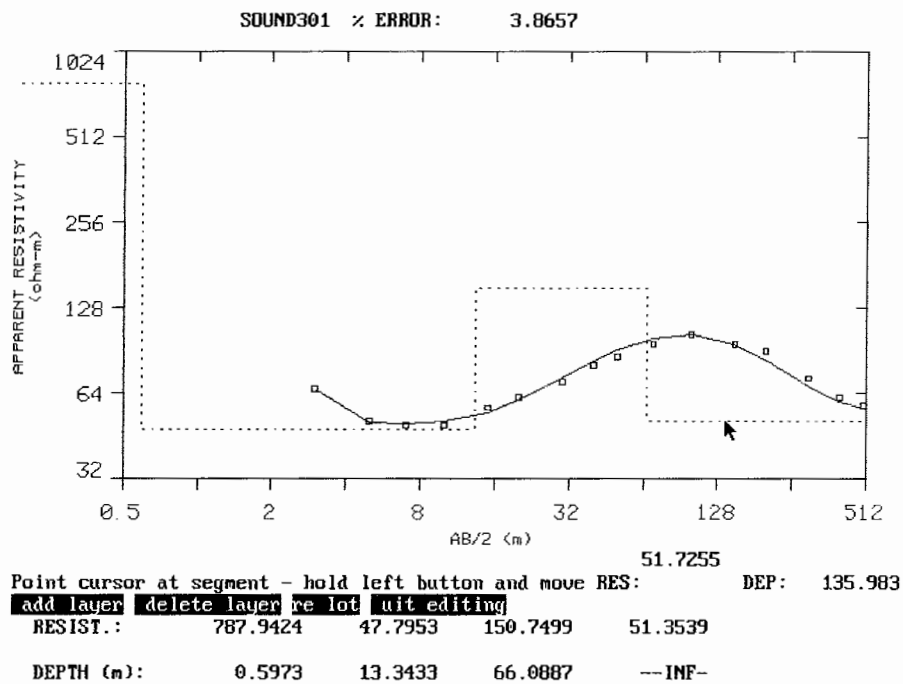
شکل ب-۲۷: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۰۹، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



شکل ب-۲۸: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۱۰، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

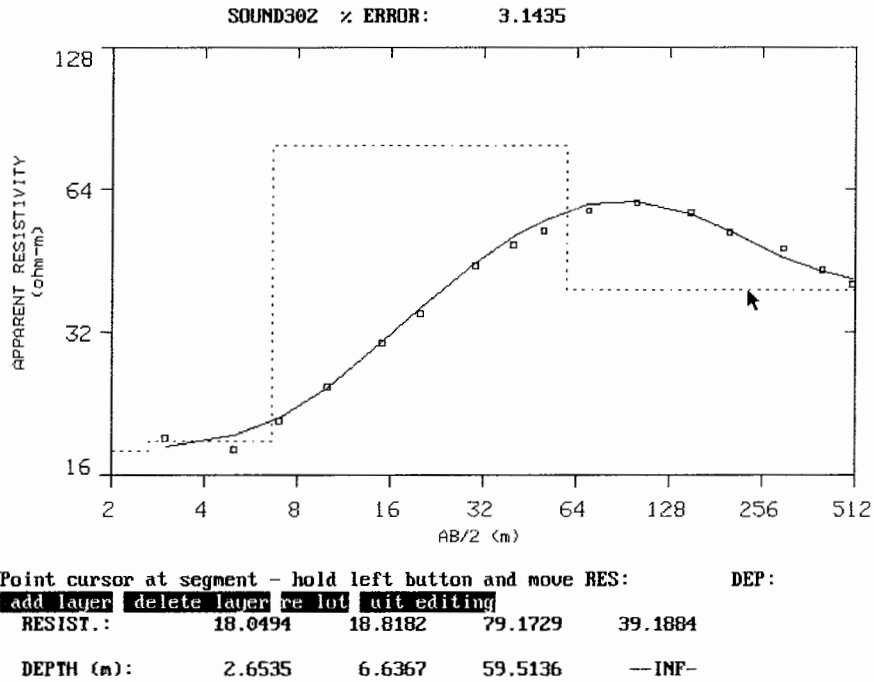


شکل ب-۲۹: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۲۱۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

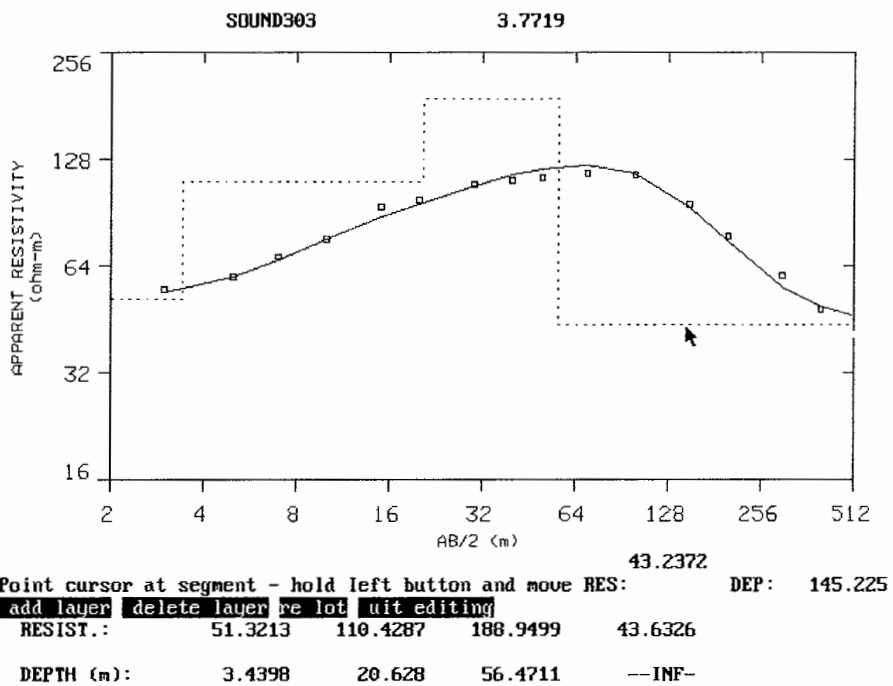


شکل ب-۳۰: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.

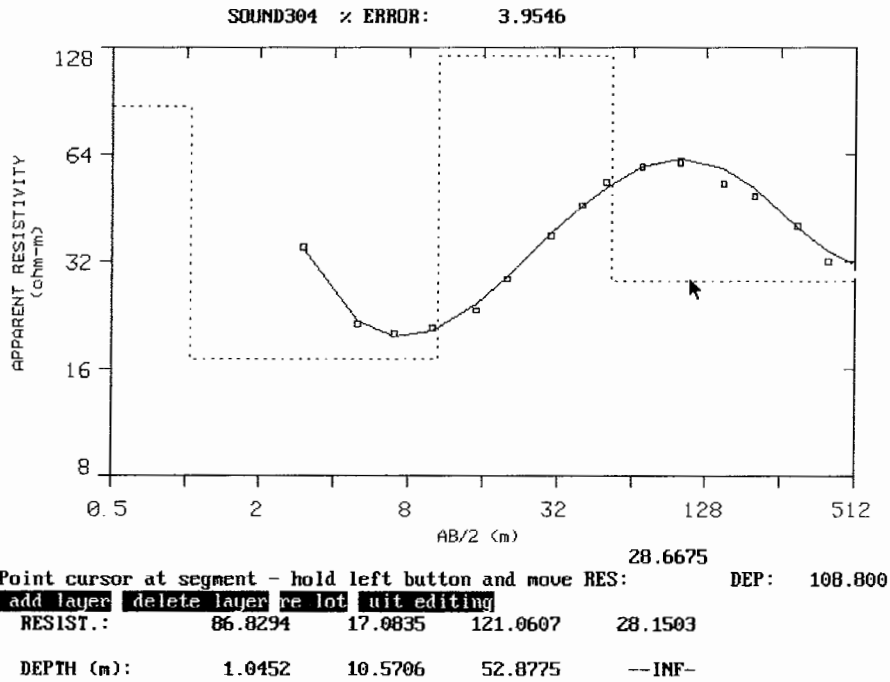




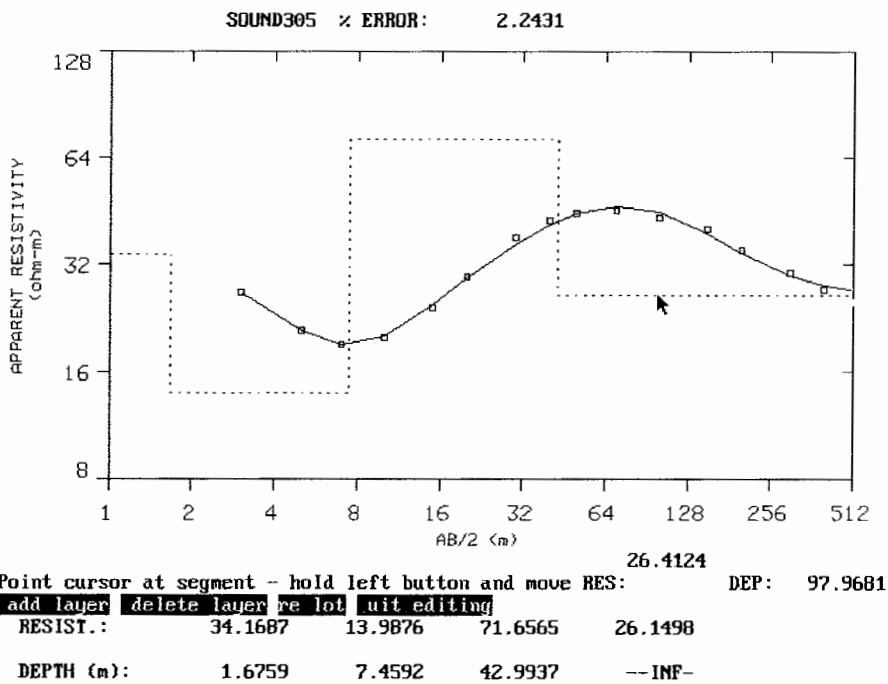
شکل ب-۳۱: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۲، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



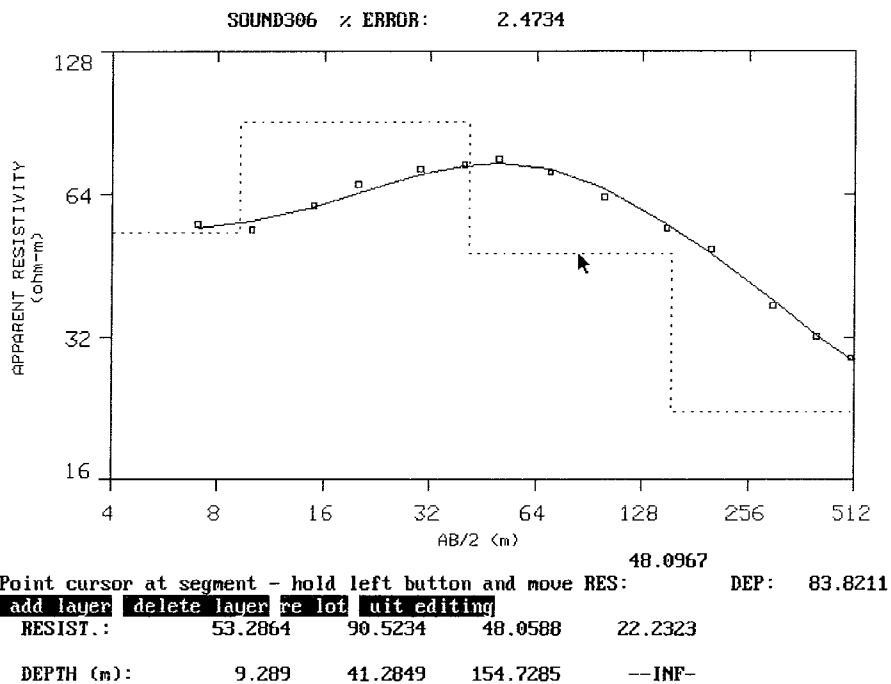
شکل ب-۳۲: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۳، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



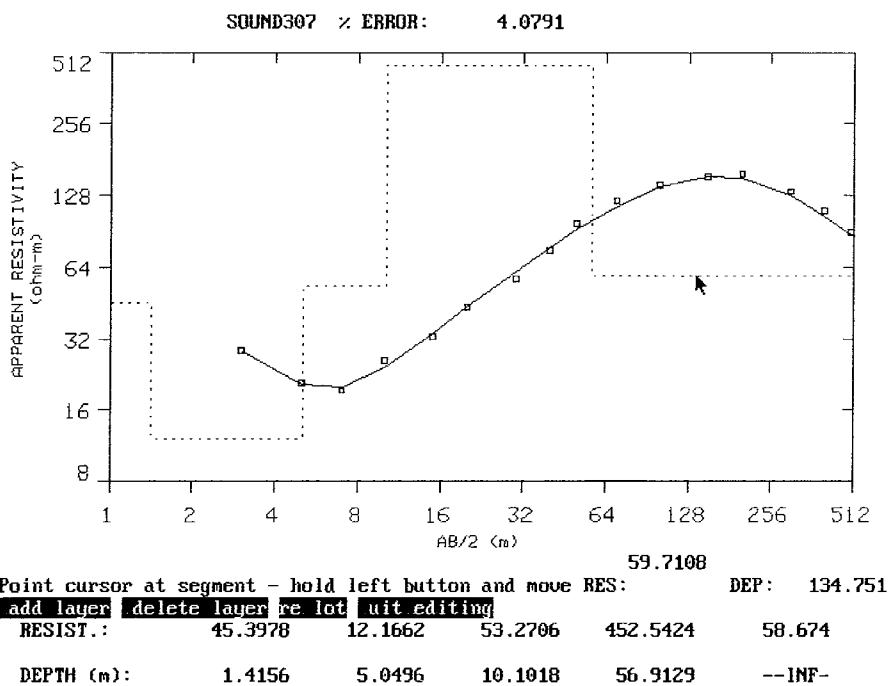
شکل ب-۳۳: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۴، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



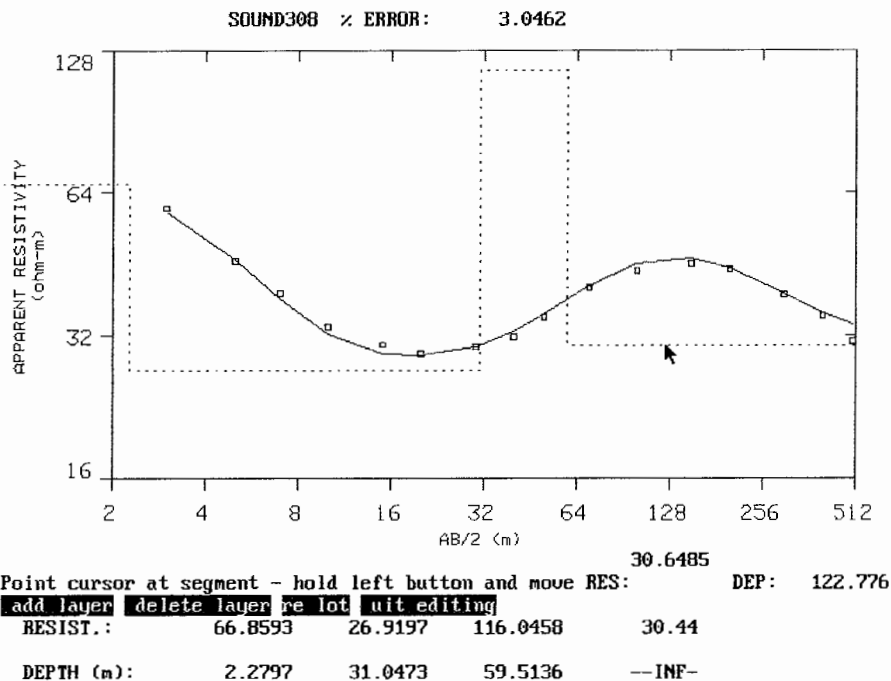
شکل ب-۳۴: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۵، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



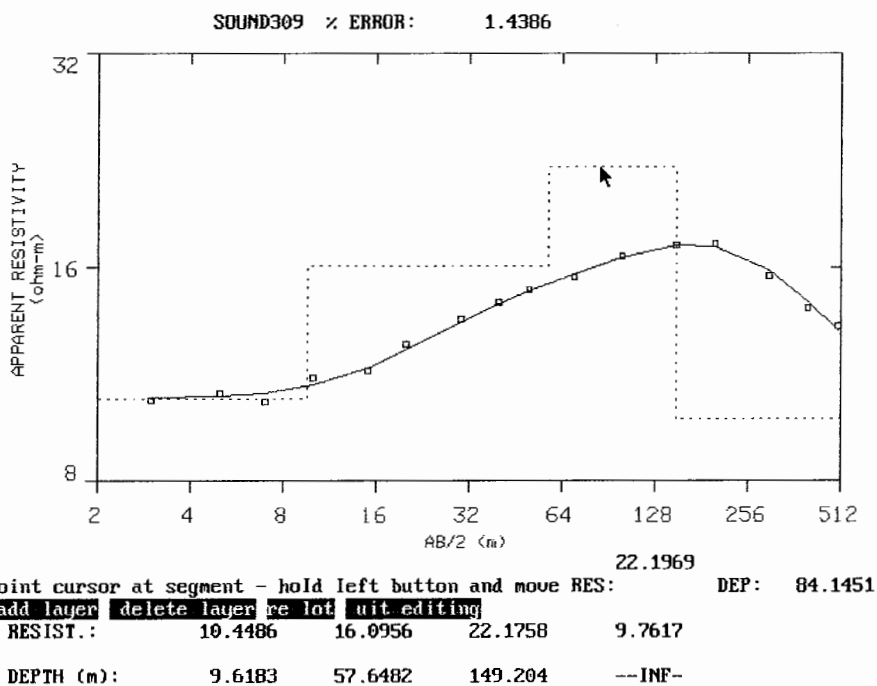
شکل ب-۳۵: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۶، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



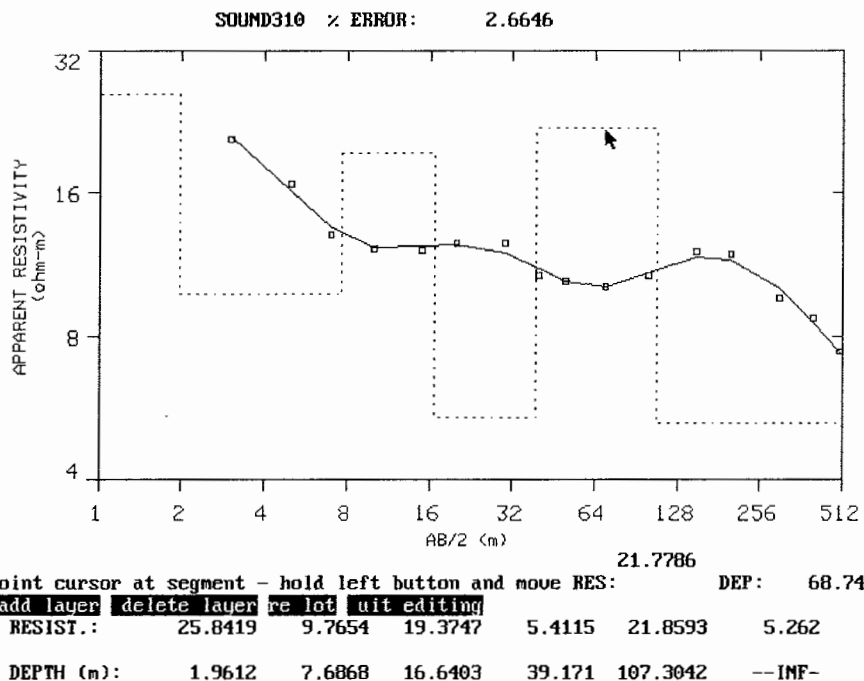
شکل ب-۳۶: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۷، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



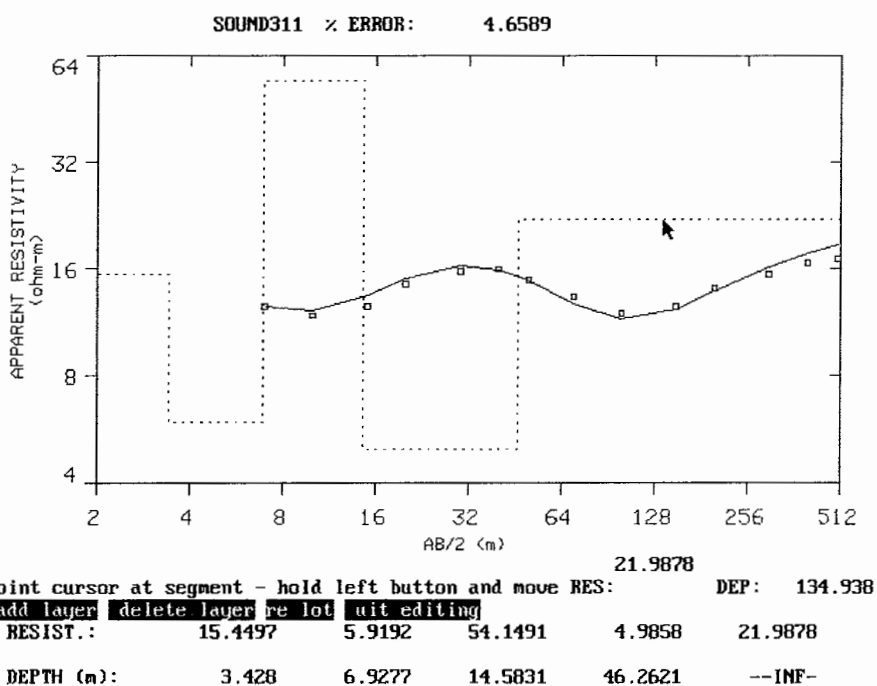
شکل ب-۳۷: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۸، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



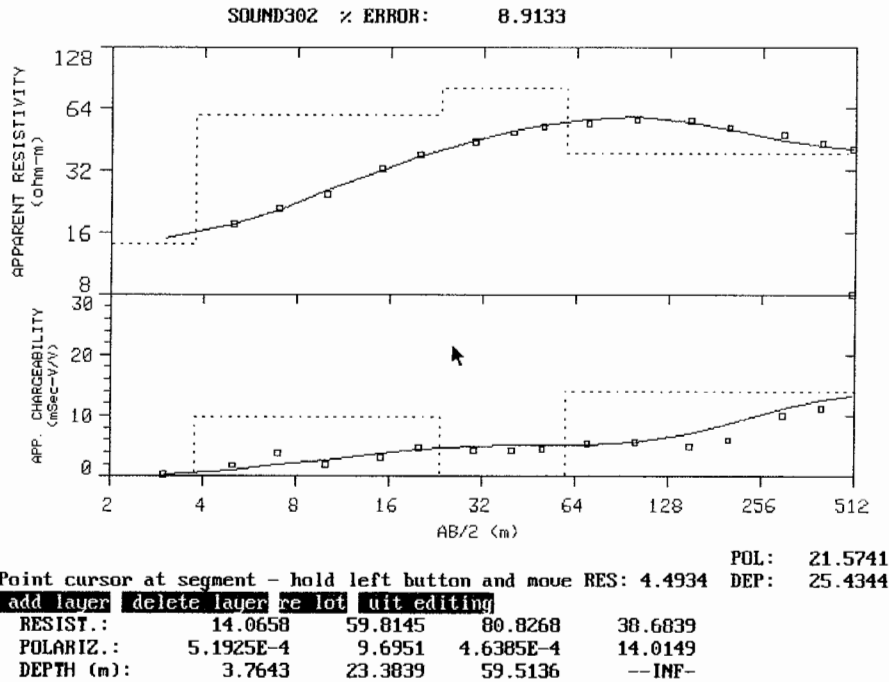
شکل ب-۳۸: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۰۹، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



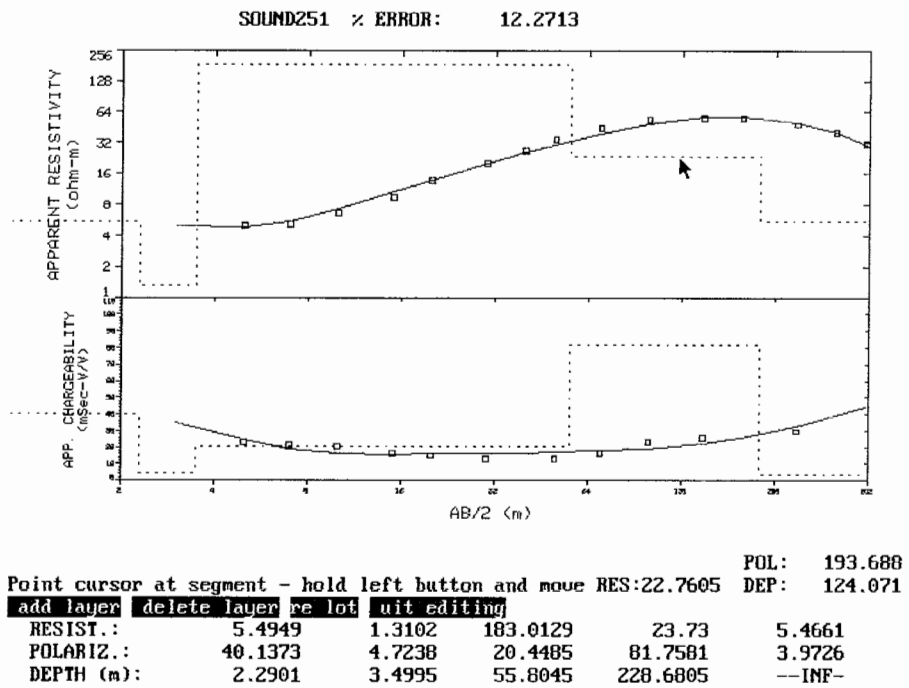
شکل ب-۳۹: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۱۰، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



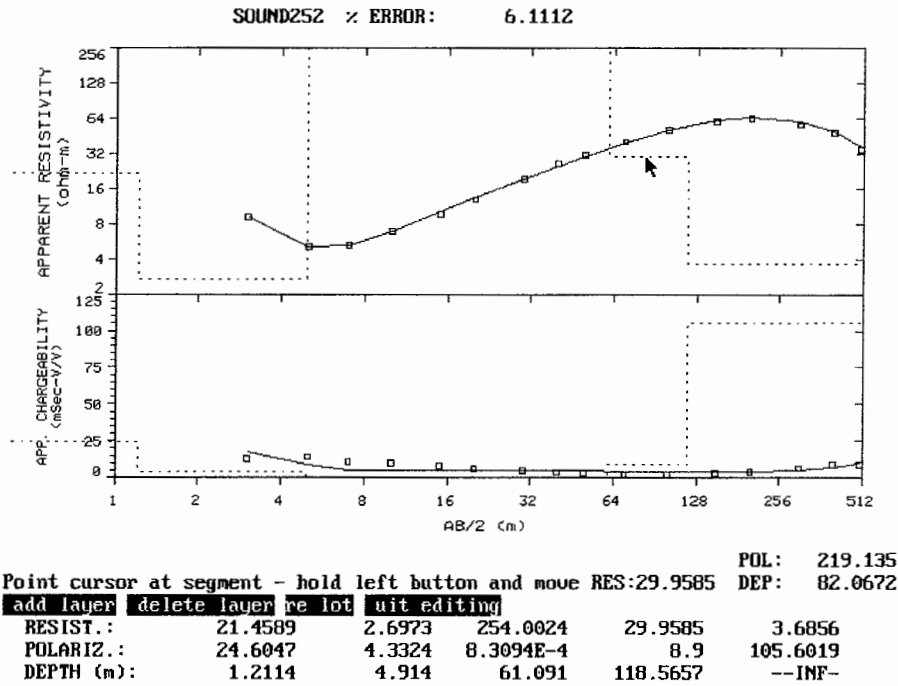
شکل ب-۴۰: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های سونداژ ۳۱۱، داده های مشاهده ای مقاومت ویژه با مربع های کوچک و پاسخ مدل با منحنی پر و همچنین مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



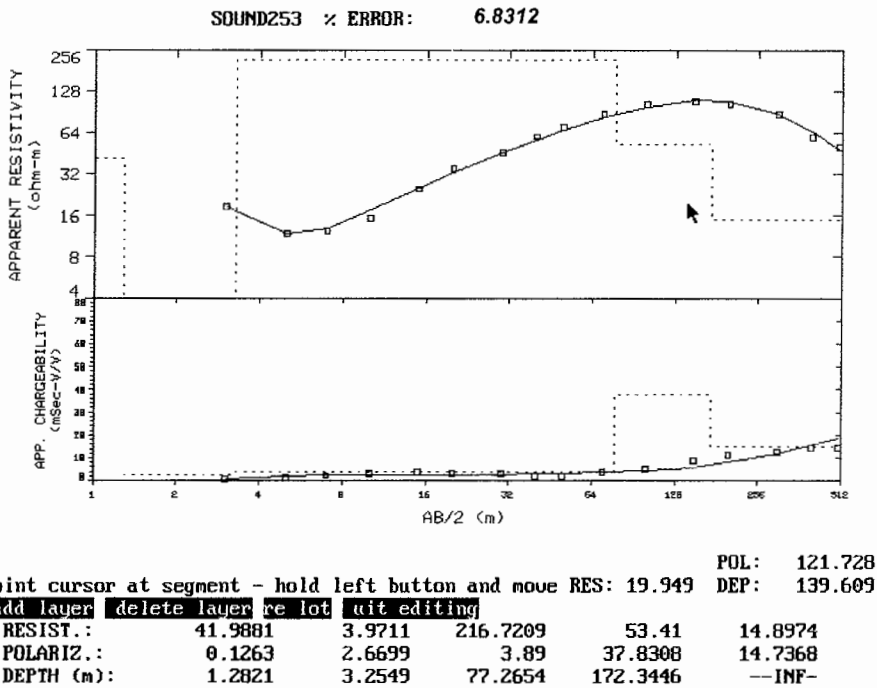
شکل ب-۴۱: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون سونداژ ۳۰۲، داده های مشاهده ای با علامت مربع، پاسخ مدل با منحنی پر و مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



شکل ب-۴۲: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون سونداژ ۲۵۱، داده های مشاهده ای با علامت مربع، پاسخ مدل با منحنی پر و مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



شکل ب-۴۳: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون سونداژ ۲۵۲، داده های مشاهده ای با علامت مربع، پاسخ مدل با منحنی پر و مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.



شکل ب-۴۴: نتیجه مدل سازی معکوس پارامتری داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون سونداژ ۲۵۳، داده های مشاهده ای با علامت مربع، پاسخ مدل با منحنی پر و مدل داده شده به صورت خط چین نشان داده شده است.





جدول ب-۱: مشخصات جغرافیایی سونداژهای الکتریکی و چاه های آب موجود در منطقه  
(مختصات جغرافیایی در سیستم UTM می باشد که با GPS دستی برداشت شده است)

نام سونداژ	طول شرقی (متر) (EASTING)	عرض شمالی (متر) (NORTHING)	ارتفاع (متر) (ELEVATION)	ملاحظات
101	340049	4062562	1643	
102	339573	4062411	1637	
103	339096	4062249	1612	
104	338623	4062095	1595	
105	338152	4061919	1612	
106	337684	4061756	1583	
107	337215	4061590	1578	
108	336752	4061422	1573	
109	336273	4061260	1563	
110	335800	4061076	1563	
111	335331	4060910	1561	
251	338327	4061709	1596	
252	337855	4061533	1595	
253	336448	4061062	1568	
201	340095	4062160	1620	
202	339630	4061971	1612	
203	339172	4061768	1603	
204	338707	4061587	1615	
205	338243	4061413	1578	
206	337782	4061247	1598	
207	337295	4061042	1594	
208	336841	4060879	1556	
209	336370	4060704	1548	
210	335900	4060536	1554	
211	335433	4060356	1547	
301	340244	4061849	1594	
302	339793	4061608	1592	
303	339355	4061375	1604	
304	338923	4061139	1593	
305	338482	4060908	1583	
306	338042	4060674	1577	
307	337605	4060430	1561	
308	337139	4060197	1554	
309	336606	4059922	1543	
310	336165	4059696	1548	
311	335786	4059489	1536	
401	338532	4062288	1613	
401	338532	4062288	1613	

402	338071	4062116	1610	
403	337595	4061960	1609	
404	337129	4061793	1609	
pool	338530	4060478	1572	استخر قنات
w1	335396	4060839	1547	چاه آب شماره ۱
w2	336264	4060733	1552	چاه آب شماره ۲
w3	336582	4061221	1563	چاه آب شماره ۳
rhah	338789	4062168	1614	راهدارخانه
101A	340512	4062720	1657	نقطه کمکی
201B	338327	4061709	1596	نقطه کمکی
w2pad	340100	4063200	1659	چاه آب شماره ۲ پادگان
w4	335477	4060276	1542	چاه آب شماره ۴
wkalet	340565	4062525	1640	چاه آب نوشیدنی کلات خیج
wganat	338130	4062150	1612	مادر چاه قنات