

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

مطالعات ژئوالکتریکی بمنظور مشخص نمودن وضعیت زمین شناسی
زیرسطحی و تراز آب زیرزمینی در بخشی از شهر مشهد

اساتید راهنما:

دکتر ایرج پیروز

دکتر ناصر حافظی مقدس

دانشجو:

سید معین مقتدر

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم با ژرفترين سپاسها

به همسر، پدرم و مادرم

برای همه محبتها و تشویقهایشان

تشکر و قدردانی

به نام او که زینت زبانها و یادگار جانها نام اوست

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

در اینجا وظیفه خود می دانم از رهنمودهای علمی و ارشادات ارزشمند اساتید گرامی جناب آقای دکتر ایرج پیروز و جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس که نقش اساسی در به ثمر رسیدن این پروژه را داشتند صمیمانه تشکرو سپاسگزاری نمایم.

از جناب آقای مهندس افتخارنیا نیز که از طرف شرکت گمانه کاو در فراهم کردن امکانات و نیروی انسانی لازم برای برداشت داده ها اینجانب را یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

در پایان نیز از اساتید محترم جناب آقای دکتر مرادزاده و دکتر کامکار روحانی نیز که در طول تحصیل از هیچ کمک و کوششی به اینجانب فروگذار نکرده اند، تشکر می نمایم.

چکیده

پدیده زمین لرزه یکی از حوادث طبیعی به شمار می آید که هر ساله در نقاط مختلف دنیا موجب مرگ و میرهای فراوان شده و تخریب کامل برخی سازه ها که مقاومت کافی در برابر چنین پدیده ای نداشته باشند را در پی خواهد داشت. از آنجا که گسل ها از مهمترین عوامل پدید آورنده این حوادث می باشند، شناخت گسل های فعال و پنهان یک منطقه می تواند در پیش بینی خطر زمین لرزه و چگونگی کاهش خسارات و تلفات احتمالی آن بسیار موثر باشد.

اخیراً در کشور ما مطالعات بسیاری بر روی گسلهای نزدیک مناطق شهری و بررسی خطر زمین لرزه در کلان شهرها در حال انجام است و شهرستان مشهد نیز به عنوان دومین کلان شهر از این امر مستثنی نمی باشد.

در گزارش شماره ۷۲ سازمان زمین شناسی (بربریان و همکاران ۱۳۷۸) ادامه گسل توس به سمت جنوب شرق را که از شمال شهر مشهد می گذرد بصورت گسل احتمالی نشان داده اند. بمنظور اکتشاف و اثبات وجود یا عدم وجود این گسل مطالعات ژئوالکتریک با روشهای سونداژزنی و پروفیل زنی در سطح شهر مشهد انجام گرفت. ابتدا داده ها مورد تفسیر کیفی قرار گرفته و سپس بمنظور تعیین دقیق ضخامت و مقاومت ویژه لایه ها، نرم افزارهای Resix و Res2Dinv مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از نتایج اطلاعات بدست آمده از سونداژها و پیزومترهای اطراف شهر، سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد با دقت بیشتری تعیین گردید.

الف.....	تقدیم.....
ب.....	تقدیر و تشکر.....
ج.....	چکیده.....
د.....	فهرست مطالب.....
ز.....	فهرست اشکال.....
ط.....	فهرست جداول.....
ی.....	فهرست علائم و اختصارات.....
۱.....	فصل اول : مقدمه و کلیات
۱.....	۱-۱ مقدمه.....
۳.....	۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه.....
۳.....	۳-۱ سوابق مطالعات انجام شده و ضرورت انجام تحقیق.....
۳.....	۴-۱ اهداف پایان نامه.....
۵.....	۵-۱ روش انجام تحقیق.....
۵.....	۶-۱ ساختار پایان نامه.....
۷.....	فصل دوم: اطلاعات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
۷.....	۱-۲ مشخصات محدوده مورد مطالعه.....
۷.....	۱-۱-۲ زمین شناسی عمومی و ساختمانی گستره مورد مطالعه.....
۱۱.....	۲-۱-۲ سنگهای نفوذی و ماگماتیسیم منطقه مورد مطالعه.....
۱۱.....	۳-۱-۲ نهشته های آبرفتی دشت مشهد.....
۱۷.....	۲-۲ گسل های اصلی گستره مورد مطالعه.....
۲۰.....	۳-۲ سوابق زمین لرزه های منطقه و معرفی گسل شمال مشهد.....
۲۳.....	۴-۲ اطلاعات پیزومترهای دشت مشهد.....
۲۵.....	فصل سوم: روش مقاومت ویژه الکتریکی و کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها
۲۵.....	۳-۱-۲ روش مقاومت ویژه الکتریکی.....
۲۶.....	۳-۱-۳ اساس تئوری مقاومت ویژه.....
۲۹.....	۳-۱-۲ روشهای برداشت داده های مقاومت ویژه.....
۲۹.....	۳-۱-۳ آرایش های الکترودی.....
۳۰.....	۳-۱-۳-۱ آرایش ونر.....
۳۰.....	۳-۱-۳-۲ آرایش شلومبرگر (آرایش گرادیان).....
۳۱.....	۳-۱-۳-۳ آرایش دایپل - دایپل.....

۳۱	۴-۱-۳ خواص الکتریکی مواد
۳۴	۵-۱-۳ توضیح اصل اختفاء
۳۴	۶-۱-۳ تصحیح کلاچ
۳۵	۲-۳ کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها
۳۶	۱-۲-۳ تاثیر فاصله بین ایستگاههای برداشت داده ها در تغییر شکل منحنی صحرایی
۳۷	۲-۲-۳ کاربرد نظریه تصاویر الکتریکی در حل مسائل مربوط به گسلها
۳۸	۳-۲-۳ محاسبه منحنی های تئوری برای گسلهای قائم
۴۲	۴-۲-۳ شکل منحنی تئوری پروفیل زنی برای گسل قائم
۴۵	۵-۲-۳ شکل منحنی تئوری پروفیل زنی برای گسل شیبدار
۴۷	۶-۲-۳ شکل منحنی پروفیل زنی با آرایش لی برای یک گسل با شیب $\varphi_1 = 45^\circ$
۴۹	۷-۲-۳ کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف دایکها
۵۲	فصل چهارم : اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها
۵۲	۱-۴ تفسیر کیفی داده های صحرایی
۵۲	۲-۴ اندازه گیری داده ها
۵۴	۳-۴ منطقه خواجه ربیع
۵۸	۱-۳-۴ تفسیر پروفیل AA'
۶۰	۲-۳-۴ تفسیر پروفیل BB'
۶۲	۳-۳-۴ سطح آب زیرزمینی در منطقه خواجه ربیع
۶۳	۴-۴ منطقه گلشهر
۶۵	۱-۴-۴ پروفیل CC'
۶۶	۲-۴-۴ سطح آب زیرزمینی در منطقه گلشهر
۶۷	۵-۴ محدوده اطراف پارک رضوی
۶۸	۱-۵-۴ سطح آب زیرزمینی در محدوده پارک رضوی
۶۸	۶-۴ پروفیل DD' (منطقه کنه بیست)
۷۰	۷-۴ محدوده اطراف میدان سپاد
۷۰	۱-۷-۴ سطح آب زیرزمینی در محدوده میدان سپاد
۷۰	۸-۴ منطقه فدک
۷۲	۹-۴ شهرک چمران
۷۲	۱۰-۴ شهرک حجت

۷۴.....	۱۱-۴ بلوار دانشجو.....
۷۵.....	۱۲-۴ باغ امام رضا.....
۷۵.....	۱۳-۴ بلوار خیام.....
۷۷.....	۱۴-۴ بلوار پیروزی.....
۷۷.....	۱۵-۴ بلوار فضل ابن شاذان.....
۸۱	فصل پنجم : مدلسازی و تفسیر کمی داده ها
۸۱.....	۱-۵ نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی داده ها.....
۸۳.....	۱-۱-۵ استفاده از نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژها در اکتشاف گسل شمال مشهد.....
۸۷.....	۲-۱-۵ استفاده از نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژها بمنظور تعیین سطح آب زیر زمینی در شهر مشهد.....
۹۲.....	۲-۵ مدلسازی معکوس دوبعدی داده ها.....
۹۶	فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۶.....	۱-۶ نتیجه گیری.....
۱۰۰.....	۲-۶ پیشنهادات.....
۱۰۱	منابع
۱۰۲	پیوستها
۱۰۲.....	پیوست الف : داده های اندازه گیری شده برای سونداژهای الکتریکی با آرایش شلومبرگر.....
۱۱۳.....	پیوست ب: داده های اندازه گیری شده برای پروفیل های مقاومت ویژه با آرایشهای ونر و لی.....
۱۱۶.....	پیوست ج : اشکال مربوط به نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژها با استفاده از نرم افزار RESIX.....
۱۷۸.....	پیوست د: مختصری در مورد مدلسازی و نرم افزارهای بکار گرفته شده.....
۱۸۴.....	پیوست ه: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ مشهد.....
۱۸۵	Abstract (چکیده به زبان انگلیسی)

- شکل ۱-۱- موقعیت مناطق برداشت داده ها و پیزومترهای اطراف شهر مشهد ۴
- شکل ۱-۲- قسمتی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد که محدوده مورد مطالعه در آن قرار گرفته است ۸
- شکل ۲-۲- جنس نهشته های آبرفتی در نقاط مختلف شهر مشهد ۱۶
- شکل ۳-۲- عمیق شدگی و افزایش عرض دره ها و تغییر ارتفاع ناگهانی زمین در شمال شهر مشهد ۲۱
- شکل ۲-۴- مسیر تقریبی گسل شمال مشهد بر روی عکس هوایی با توجه به انحراف رودخانه های اصلی ۲۲
- شکل ۲-۵- نمایش عمق سطح آب در هر یک از پیزومترهای اطراف مشهد ۲۴
- شکل ۲-۶- نمایش ارتفاع سطح آب در هریک از پیزومترهای اطراف مشهد ۲۴
- شکل ۳-۱- فرم کلی یک آرایش ۲۸
- شکل ۳-۲- نحوه قرار گیری الکترودها در آرایشهای ونر (الف) ، شلومبرگر (ب) و دایپل - دایپل (ج) ۳۲
- شکل ۳-۳- نحوه انجام تصحیح کلاچ بر روی داده های آرایش شلومبرگر در روش سونداژ الکتریکی ۳۵
- شکل ۳-۴- مقایسه میان یک منحنی صحرایی و منحنی تئوری آن برای یک گسل قائم در روش پروفیل زنی ۳۷
- شکل ۳-۵- مقایسه مسائل نوری با مسائل الکتریکی ۳۸
- شکل ۳-۶- نمایش الکترودها در عبور از روی مرز گسل قائم در پروفیل زنی افقی ۴۱
- شکل ۳-۷- منحنی های تئوری هدایت ویژه و مقاومت مخصوص در روش پروفیل زنی برای یک گسل قائم ۴۳
- شکل ۳-۸- شکل منحنی های تئوری مقاومت ویژه الکتریکی به روش پروفیل زنی برای گسل مایل ۴۶
- شکل ۳-۹- منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش پروفیل زنی با آرایش لی ۴۸
- شکل ۳-۱۰- منحنی های پروفیل زنی افقی مقاومت ویژه با آرایش لی بر روی یک دایک به ضخامت ۲a ۵۰
- شکل ۳-۱۱- منحنی های پروفیل زنی افقی مقاومت ویژه با آرایش ونر بر روی یک دایک به ضخامت ۲a ۵۱
- شکل ۴-۱- موقعیت محل برداشت سونداژها و پروفیلها در منطقه خواجه ربیع ۵۵
- شکل ۴-۲- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_1, S_2, S_3 و S_{10} ۵۵
- شکل ۴-۳- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای $S_6E, S_8E, S_9E, S_6N, S_8N, S_9N$ ۵۷
- شکل ۴-۴- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_4, S_5, S_7 ۵۷
- شکل ۴-۵- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{11} تا S_{16} ۵۹
- شکل ۴-۶- شبه مقطع سونداژهای S_{11} تا S_6, S_{16} در منطقه خواجه ربیع ۵۹
- شکل ۴-۷- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل AA' در خواجه ربیع ۶۰
- شکل ۴-۸- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل BB' در خواجه ربیع (آرایش ونر) ۶۱
- شکل ۴-۹- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل BB' در خواجه ربیع (آرایش لی) ۶۲

- شکل ۴-۱۰- موقعیت محل برداشت سونداژها و پروفیلها درمناطق گلشهر ، پارک رضوی و کنه بیست..... ۶۴
- شکل ۴-۱۱- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{17} تا S_{21} ۶۴
- شکل ۴-۱۲- شبه مقطع زمین مابین سونداژهای S_{17}, S_{21} در منطقه گلشهر..... ۶۵
- شکل ۴-۱۳- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CC' درگلشهر (آرایش وئر)..... ۶۶
- شکل ۴-۱۴- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CC' درگلشهر (آرایش لی)..... ۶۷
- شکل ۴-۱۵- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{22} تا S_{25} ۶۸
- شکل ۴-۱۶- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل DD' در محله کنه بیست (آرایش وئر)..... ۶۹
- شکل ۴-۱۷- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل DD' درمحله کنه بیست (آرایش لی)..... ۶۹
- شکل ۴-۱۸- موقعیت محل برداشت سونداژها درمناطق سپاد ، فدک، شهرک چمران شهرک حجت..... ۷۱
- شکل ۴-۱۹- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{26} تا S_{30} ۷۱
- شکل ۴-۲۰- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{31} تا S_{33} ۷۳
- شکل ۴-۲۱- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{34} تا S_{36} ۷۳
- شکل ۴-۲۲- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{37} تا S_{41} ۷۴
- شکل ۴-۲۳- موقعیت محل برداشت سونداژها درمناطق بلوار دانشجو ، باغ امام رضا، بلوار خیام ، بلوار پیروزی وبلوارفضل ابن شاذان..... ۷۶
- شکل ۴-۲۴- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{42} و S_{43} ۷۶
- شکل ۴-۲۵- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{44} تا S_{47} ۷۸
- شکل ۴-۲۶- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{48} تا S_{56} ۷۸
- شکل ۴-۲۷- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{57} تا S_{60} ۷۹
- شکل ۴-۲۸- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{61} تا S_{63} ۷۹
- شکل ۵-۱- نمونه ای از مدلسازی سونداژها با نرم افزار RESIX (سونداژ S_{37})..... ۸۲
- شکل ۵-۲- نمایش مدل زمین در محل سونداژ S_{37} به کمک نرم افزار RESIX..... ۸۲
- شکل ۵-۳- تصویری ازشبه مقطع گسل درمناطق خواجه ربیع وگلشهر..... ۸۶
- شکل ۵-۴- نقشه هم ارتفاع تراز آب زیر زمینی در سطح شهر مشهد..... ۹۰
- شکل ۵-۵- نقشه سه بعدی تراز آب زیرزمینی در شهر مشهد..... ۹۰
- شکل ۵-۶- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد..... ۹۱
- شکل ۵-۷- تغییرات ناگهانی درتراز آب زیرزمینی در شمال شهرمشهد..... ۹۲

فهرست شکلها

عنوان

صفحه

شکل ۵-۸- تصویری از مقطع زمین محل سونداژها در مناطق خواجه ربیع و گلشهر بوسیله نرم افزار

۹۵ RES2DINV

شکل ۶-۱ - نقشه هم مقاومت ویژه مربوط به شهر مشهد با $AB=80\text{ m}$ ۹۷

شکل ۶-۲ - نقشه هم مقاومت ویژه مربوط به شهر مشهد با $AB=200\text{ m}$ ۹۷

شکل ۶-۳ - نقشه هم مقاومت ویژه مربوط به دشت مشهد با $AB=320\text{ m}$ ۹۸

شکل ۶-۴ - ترسیم مسیر عبور گسل شمال مشهد بر روی عکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰ ۹۹

شکل ج-۱ - تا ج-۶۲ - مدل سازی یک بعدی سونداژها با نرم افزار RESIX ۱۱۶-۱۷۷

جدول ۱-۲ - موقعیت جغرافیایی پیزومترهای شهر مشهد و عمق و سطح آب زیرزمینی در هریک از آنها	۲۳
جدول ۱-۳ - مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی	۳۳
جدول ۱-۴ - موقعیت جغرافیایی محل سونداژها در شهر مشهد	۵۳
جدول ۲-۴ - مشخصات جغرافیایی نقاط ابتدا و انتهای پروفیلها	۵۴
جدول ۱-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₃₇	۸۳
جدول ۲-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₁₁	۸۳
جدول ۳-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₁₂	۸۴
جدول ۴-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₁₆	۸۴
جدول ۵-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S _{6N}	۸۴
جدول ۶-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₁₉	۸۵
جدول ۷-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₂₀	۸۵
جدول ۸-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S ₂₁	۸۶
جدول ۹-۵ - موقعیت، عمق و سطح آب زیرزمینی در هر نقطه از سونداژها	۸۸
جدول الف - ۱ - داده های اندازه گیری شده برای سونداژها (S ₁ تا S ₆₃)	۱۰۲
جدول ب - ۱ - داده های اندازه گیری شده برای پروفیل AA' (منطقه خواجه ربیع)	۱۱۳
جدول ب - ۲ - داده های اندازه گیری شده برای پروفیل BB' (منطقه خواجه ربیع)	۱۱۴
جدول ب - ۳ - داده های اندازه گیری شده برای پروفیل CC' (منطقه گلشهر)	۱۱۵
جدول ب - ۴ - داده های اندازه گیری شده برای پروفیل DD' (منطقه کهنه بیست)	۱۱۵

- a : فاصله الکتروودی در آرایش وئر
 C_1, C_2 : الکترودهای جریان
 C', C'' : تصاویر الکترودهای جریان
 I : شدت جریان الکتریکی
 E : شدت میدان الکتریکی
 j : چگالی جریان
 k : ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط
 P_1, P_2 : الکترودهای پتانسیل
 R : مقاومت بین دو سطح هم پتانسیل
 r : فاصله شعاعی در مختصات استوانه ای
 r_0 : فاصله الکتروود جریان از مبدأ مختصات (محل گسل)
 r_1 : فاصله الکتروود پتانسیل از مبدأ مختصات (محل گسل)
 U : پتانسیل الکتریکی
 U_{1A} : پتانسیل در محیط اول در نتیجه الکتروود جریان در محیط اول
 U_{2A} : پتانسیل در محیط دوم در نتیجه الکتروود جریان در محیط اول
 ΔV : اختلاف پتانسیل الکتریکی
 ρ : مقاومت ویژه الکتریکی
 ρ_1, ρ_1', ρ'' : مقاومت ویژه محیط های مختلف
 ρ_a : مقاومت ویژه ظاهری
 φ : زاویه آزمون در مختصات استوانه ای
 φ_1 : زاویه شیب گسل
 K : فاکتور هندسی
 MN : فاصله بین الکترودهای پتانسیل
 AB : فاصله بین الکترودهای جریان

فصل اول : مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

زمین لرزه^۱ یکی از پدیده های طبیعی کره زمین است که می تواند اثرات زیانبار و ویرانگری بر ساختار اقتصادی و اجتماعی جامعه انسانی بگذارد.

جایگیری کشور ایران در نوار لرزه خیز آلپ- هیمالیا، آنرا در ردیف کشورهای لرزه خیز جهان قرار داده است و هر ساله رویداد یک یا چند زمین لرزه باعث تلفات جانی فراوان و زیانهای اقتصادی و اجتماعی کلان می گردد. علیرغم پیشرفتهای زیادی که در زمینه علوم زمین شناسی و لرزه شناسی صورت گرفته است، تاکنون این علوم نتوانسته اند راه حل های مطمئنی برای پیش بینی زمان رویداد زمین لرزه ارائه دهند. لیکن با بررسی و مطالعه ساختار پوسته زمین^۲ و میزان دگرشکلی آن و شناسائی و مطالعه دقیق و همه جانبه گسلهای اطراف مناطق لرزه خیز، تا حدودی پیش بینی مکان رویداد گسلش و زمین لرزه آتی و توان لرزه زائی آنها امکان پذیر گشته است که با بکارگیری نتیجه این مطالعات و برآوردها در هنگام طراحی سازه ها توسط مهندسين طراح ، می توان از میزان خسارات وارده بر سازه و آثار زیانبار اقتصادی-اجتماعی زمین لرزه کاست و یا آنرا به کمینه رساند.

در احداث سازه های مهمی چون نیروگاهها، سد ها ، کارخانجات مهم صنعتی و همچنین خطوط انتقال گاز و نفت بایستی به گسلهای نزدیک، توجه خاص داشت.

از مهمترین زلزله هایی که در سه دهه اخیر در کشور روی داده اند می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

الف- زلزله طبس: در ساعت ۷:۳۶ بعد از ظهر ۲۵ شهریور ۱۳۵۷ استان خراسان بوسیله یکی از بزرگترین زلزله های قرن اخیر ایران به لرزه در آمد و شهر زیبا و تاریخی طبس با سابقه بیش از

^۱-Earthquake

^۲-Earth crust

این اطلاعات با اطلاعات پیزومترها، سطح آب زیرزمینی در کل شهر مشهد با دقت بیشتری تعیین شود.

۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده مورد مطالعه در بین طولهای ۷۲۲۰۰۰ تا ۷۴۳۰۰۰ شرقی و عرضهای ۴۰۱۷۰۰۰ تا ۴۰۳۳۰۰۰ شمالی دشت مشهد واقع می باشد . نقشه توپوگرافی منطقه در پیوست ه و تصویر ماهواره ای آن در شکل ۱-۱ ارائه شده است . در تصویر ماهواره ای ، موقعیت مکانهایی که در آنجا برداشت داده ها صورت گرفته و همچنین پیزومترهای اطراف شهر مشهد، مشخص شده است .

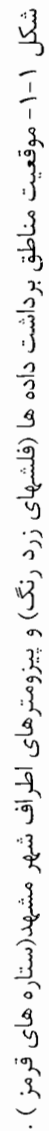
۱-۳ سوابق مطالعات انجام شده و ضرورت انجام تحقیق

در دنیا مقالات مختلفی در مورد اکتشاف گسلها با روش ژئوالکتریک ارائه شده است. در ایران نیز انجام این مطالعات با گذشت زمان بدلیل اهمیت موضوع زمین لرزه ها روبه افزایش است. در شهر مشهد مطالعات ژئوالکتریکی بمنظور گسلها، فقط برای نواحی اطراف کشف رود انجام پذیرفته است.

۱-۴ اهداف پایان نامه

در مطالعات ریزپهنه بندی لرزه ای شهر مشهد اکتشاف و اثبات وجود یا عدم وجود گسل شمال مشهد از اجزای اصلی پروژه می باشد که در تصمیم گیری ها ونتیجه نهایی پروژه نقش مهمی ایفا می کند.

تعیین سطح آب زیرزمینی در دشت نیز می تواند شهرداری، سازمان آب وارگانه های مربوطه دیگر را در مطالعات زیست محیطی و آلودگی آبهای زیرزمینی و همچنین حفاری چاههای جدید یاری دهد.



۵-۱ روش انجام تحقیق

برای انجام مطالعات ژئوالکتریکی گسل شمال مشهد در ابتدا اطلاعات زمین شناسی عمومی، ساختمانی، چینه شناسی، ژئومورفولوژی^۱، نقشه های توپوگرافی و عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای مربوط به منطقه جمع آوری گردید و سپس برداشت داده های ژئوالکتریکی در نقاط مناسب با استفاده از سونداژزنی با آرایش شلومبرگر^۲ و پروفیل زنی با آرایشهای لی و ونر^۳ انجام شد .

در این پروژه ابتدا برای بدست آوردن اطلاعات کلی و کیفی از وضعیت زیرسطح، تفسیر کیفی داده ها انجام شده است و در نقاطی که سونداژها تغییرات محسوس نشان داده اند، شبه مقطع قائم مقاومت ویژه زمین محل با استفاده از نرم افزار Surfer تهیه شده است. بمنظور بدست آوردن ضخامت و مقاومت ویژه دقیق لایه ها ، داده های سونداژها پس از اصلاحات لازم وارد نرم افزار Resix شدند تا بوسیله معکوس سازی یک بعدی مورد پردازش قرار گیرند. بدینوسیله مدل یک بعدی از ساختارهای زیرسطحی تهیه گردید.

بمنظور بدست آوردن مدل دوبعدی از ساختارهای واقع در زیر سطح زمین، داده های سونداژهای واقع در آن نقاط بوسیله نرم افزار Res2DINV مورد پردازش قرار گرفتند تا معکوس سازی دوبعدی بر روی آنها انجام گیرد. در پایان با استفاده از کلیه اطلاعات، نتایج مدلسازی مورد ارزیابی قرار گرفته و محل عبور گسل در محدوده مورد مطالعه با دقت مناسبی مشخص گردید و همچنین بوسیله اطلاعات بدست آمده از سونداژها و پیژومترهای اطراف، سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد با دقت بیشتری تعیین گردید .

۶-۱ ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل برشش فصل می باشد. در فصل اول ابتدا توضیحاتی در مورد پدیده زمین لرزه و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ، سوابق، مطالعات انجام شده در منطقه و ضرورت

^۱ - Geomorphology

^۲ - Schlumberger

^۳ - Lee and Wenner arrays

انجام تحقیق و همچنین روش انجام پروژه مورد بحث قرار گرفته است. در فصل دوم ابتدا تعریف گسل، انواع آنها، نشانه های تشخیص آنها و سپس اطلاعات زمین شناسی منطقه ارائه شده است.

در فصل سوم مختصری در مورد روش مقاومت ویژه، انواع آرایشهای مهم الکترودی و سپس کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها ذکر شده است. در فصل چهارم تفسیر کیفی داده ها و در فصل پنجم پس از توضیح مختصری در مورد روشهای مدل سازی، نتایج مدل سازی یک بعدی و دوبعدی داده ها و تفسیر آنها ارائه شده است. در فصل ششم نتایج نهایی این مطالعات آورده شده است.

فصل دوم:

اطلاعات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۲ مشخصات محدوده مورد مطالعه

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی و دومین کانون تراکم جمعیتی کشور می باشد که در حدفاصل کوههای هزار مسجد و بینالود با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی قرار گرفته است . ارتفاع آن از سطح دریا برابر ۹۹۹ متری باشد . رودخانه های اصلی حوضه آبریز دشت مشهد ، کشف رود ، اردکان ، عارفی و طرق بوده و میزان متوسط بارندگی سالانه آن برابر ۲۵۷٫۵ میلیمتر می باشد [۴] .

۱-۱-۲ زمین شناسی عمومی و ساختمانی گستره مورد مطالعه

گستره پیرامون شهر مشهد به شعاع تقریباً ۱۵۰ کیلومتر در واحدهای زمین شناسی ایران مرکزی و کمربند چین خورده کپه داغ قرار می گیرد. قسمتی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد که محدوده مورد مطالعه در آن قرار می گیرد، در شکل ۱-۲ آورده شده است. شهر مشهد در منتهی الیه جنوبی دشت مشهد، در کنار مجموعه افیولیتی مشهد قرار گرفته است. این مجموعه نشانگر محل خط درز اقیانوس قدیمی پالتوتیس^۱ است که در دوران پالئوزوئیک تا تریاس جدا کننده دو بزرگ قاره گندوانا در جنوب و لورازیا در شمال بوده است. به عبارت دیگر شهر مشهد در حد بین دو زون ساختاری بسیار مهم قرار گرفته است. در شمال، ارتفاعات کپه داغ بر روی پی سنگ ورق توران نهشته شده است که نشانگر بخش جنوبی لورازیا است. در جنوب، کوههای بینالود نشانگر خط برخورد قاره ای و لبه برآمده خرد قاره شرق مرکز ایران است [۱] .

در طی دوران پالئوزوئیک اقیانوس پالتوتیس جدا کننده این دو ورق بوده است. از دوره کربونیفر فروانش پوسته اقیانوسی به زیر ورق توران در شمال آغاز می شود. همگرایی بین دو قاره از این زمان ادامه می یابد تا اینکه در پایان تریاس ورقهای ایران در جنوب و توران در شمال همزمان با کوهزائی سیمیرین با هم برخورد کرده و مجموعه افیولیتی مشهد بر روی لبه ایران رانده و جایگزین می شود.

^۱ - Paleotetis



KOPEH DAGH ZONE

CRET MAI	Lower	K_{sh}	Reddish conglomerate and red to yell with Sandstone with marl intercalation (SIBURHILL F.)	SIBURHILL F.
		$Jm2$	Pale grey well bedded argillaceous limestone with thick intercalation of marl in some parts of upper most layers with sandstone beds	
JURASSIC DOGGER	Lower	$Jm1$	Buff massive to thick bedded calcarenaceous	KASHAURUD F.
		Jch	Pale grey amonite bearing marl and limestone (A HAXMANHILL F.)	
		Jsh	Microconglomerate, sandstone and marl	
		Jm	Sandstone with shale intercalations	
		Jk	Shale with sandstone intercalations	
TRIA.	Lower	Jc	Basal conglomerate, microconglomerate and sandstone	KASHAURUD F.
		$Tria$	Alternation of dark green sandstone and pencil shale with plant remains (equivalent to mansure F.)	

SUTURE ZONE

p^{tu}	Metamorphosed turbidite sequence including phyllite, crystalline limestone, calc-silt, tuff, lapillituff, chertstones
p^m	Marble
p^s	Splite rocks locally with pillow structures
p^q	Quartzite
p^{ub}	Ultrabasic rocks in general including metamorphosed harzburgite, serpentinite, leucite
p^{m+us}	Association of sedimentary sequence with ultramafic rocks and splite

شکل ۱-۲ قسمتی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد که محدوده مورد مطالعه در آن قرار گرفته است [۴].

همزمان با این برخورد، ماگمای گرانیتی در لبه برخورد تشکیل شده و به داخل منشور فزاینده و سنگهای مجاور آن نفوذ می کند که امروزه این گرانیتها را هم در جنوب مشهد و هم در منطقه شمال غرب تربت جام می توان دید. پس از برخورد با شروع فرسایش مجموعه کوهزایی، رسوبات بصورت کنگلومرا بر روی این مجموعه نهشته می شود که سپس جای خود را به رسوبات آواری ریزدانه تر و نهایتاً رسوبات شیلی سازند کشف رود می دهد بطور کلی گستره ورقه مشهد به سه محدوده متفاوت از یکدیگر تقسیم می شود که بترتیب از شمال به جنوب شامل زون کپه داغ، زون مفصلی وزون بینالود است. [۱].

الف - زون کپه داغ

این زون مرز شمالی شهر مشهد را تشکیل می دهد واز سازند های گوناگونی تشکیل شده که خاص حوضه رسوبی زون ساختاری کپه داغ می باشد که می توان به سازندهای کشف رود، چمن بید، مزدوران و شوریچه اشاره کرد. راستای ساختمانهای موجود در این محدوده شمال غرب- جنوب شرق است و در همین راستا راندگی های مهمی وجود دارد که بازتابی از تکتونیک حاکم بر منطقه است. واحدهای اصلی تشکیل دهند این زون بترتیب از جدید به قدیم به قرار زیر است :

- واحد k_{sh} : شامل کنگلومرای قرمز رنگ و ماسه سنگ های قرمز تا زرد رنگ می باشد که لایه

های نازک مارن نیز گاهی اوقات در آن دیده می شود. سن آن کرتاسه پایینی می باشد.

- واحد Jmz_2 : این واحد از آهک ها آرزیلیتی لایه لایه و لایه های ضخیم مارن تشکیل یافته

که در برخی قسمتهای بالایی آن لایه های ماسه سنگ نیز بچشم می خورد. سن آن ژوراسیک ژوراسیک مالم می باشد.

- واحد Imz_1 : شامل آئینترامیکرودیت ضخیم لایه و توده ای به سن ژوراسیک مالم می باشد.

- واحد J_{ch} : این واحد از آهک ها و مارنهای آمونیت دار طوسی رنگ تشکیل یافته که سن آن ژوراسیک دوگر می باشد.

- واحد $J_k^{s.sh}$: ماسه سنگ به همراه لایه های نازک شیل از اجزاء اصلی این واحد می باشد و سن آن ژوراسیک دوگر است.

- واحد $J_k^{sh.s}$: شیل جزء اصلی این واحد می باشد که لایه های نازک ماسه سنگ نیز ممکن است در آن مشاهده شود سن این واحد نیز ژوراسیک دوگر است.

- واحد J_k^c : شامل کنگلومرا، میکروکنگلومرا و ماسه سنگ می باشد و سن آن نیز ژوراسیک دوگر است.

- واحد $T^{sh.s}$: این واحد شامل ماسه سنگ های سبزه تیره و شیل به همراه بقایای فسیلهای گیاهی می باشد و سن آن تریاس است.

ب - زون مفصلی^۱

این زون بین محدوده بینالود و کپه داغ واقع شده و شامل سنگهای دگرگونی و مجموعه افیولیتی است. مجموعه افیولیتی و سنگهای دگرگونی مرتبط با آن نوارهایی بطول دهها کیلومتر با روند شمال غرب - جنوب شرق را در دامنه شمالی ارتفاعات بینالود تشکیل می دهد. فسیلهای بدست آمده از سنگهای آهکی نازک لایه رسوبات توربیدایتی مربوط به کمپلکس افیولیتی، سن پرمین بالا را برای این مجموعه نشان می دهد [۴]. این محدوده بترتیب از جدید به قدیم از واحدهای زیر تشکیل یافته است:

- واحد p^{tu} : شامل فیلیت، آهک کریستالین، کالک شیست، توف و لاپیلی توف می باشد که در میان آن کوارتزیت و گاهی مرمر نیز به چشم می خورد.

- واحد p^s : شامل سنگهای اسپیلیتی عموماً با ساختارهای بالشی می باشد.

- واحد p^{ub} : شامل سنگهای اولترابازیک و بطور کلی هارزبورگیت، سرپانتینیت و لولرولیت دگرگون شده می باشد.

- واحد $p^{m.u.s}$: شامل مجموعه ای از توالی سنگهای رسوبی و اولترامافیک و اسپلیت می باشد.

ج - زون بینالود

ارتفاعات بینالود سلسله جبالی خمیده با راستای تقریباً شرقی - غربی و تحدبی به سمت شمال است که دربرگیرنده سنگها و رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک، و سنوزوئیک می باشد و از دید ژئوتکنیکی در لبه شمال شرقی قطعه لیتوسفری ایران قرار گرفته است. این سلسله جبال یک نوارچین خورده

^۱ - Suture Zone

وگسلیده از نوع نازک پوسته ای است که بدنبال تصادم میان قطعات لیتوسفری ایران و توران در حاشیه شمال شرقی ایران تشکیل شده است [۴].

بدلیل اینکه واحدهای تشکیل دهنده این زون در محدوده مورد مطالعه قرار نمی گیرند از توضیح راجع به واحدهای این محدوده صرفنظر می کنیم.

۲-۱-۲ سنگهای نفوذی و ماگماتیسیم منطقه مورد مطالعه

تنها برون زدگی اصلی سنگهای نفوذی در محدوده مورد مطالعه، در جنوب غربی شهر مشهد مشاهده می شود که مربوط به توده g^T به جنس لوکوگرانیت و گرانیت تورمالین-موسکویت دار می باشد [۴].

۲-۱-۳ نهشته های آبرفتی دشت مشهد

شهر مشهد بر روی نهشته های آبرفتی جوان دشت مشهد بنا شده است. مهمترین عارضه فیزیوگرافی دشت مشهد رودخانه کشف رود است که از کوههای هزارمسجد و بینالود سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت مشهد و رشته کوههای مزدوران با پیوستن به رودخانه مرزی هریرود، رودخانه تجن را تشکیل داده که سرانجام در نزدیکی سرخس وارد صحرای قره قوم در ترکمنستان می شود [۱].

نهشته های آبرفتی این دشت حاصل فعالیت رودخانه کشف رود و سیلابهای فصلی رودخانه هایی نظیر رادکان، کارده و ... از کوههای هزارمسجد، و رودخانه های فریزی، شاندیز، طرهبه، طرق و ... از کوههای بینالود می باشند. بیشترین ضخامت رسوبات دشت مشهد در بخش غربی دشت واقع شده و حدود ۲۵۰ متر است. بطور کلی نهشته های دشت مشهد از قدیم به جدید عبارتند از [۱]:

الف- سازند آبرفتی هزاردره

ب- آبرفت های جوان دشت مشهد

ج- آبرفت های عهد حاضر یا هولوسن

الف - رخساره آبرفتی هزار دره

قدیمی ترین نهشته های آبرفتی گستره مشهد، سازند هزاردره است که در دامنه های جنوبی رشته کوه هزارمسجد و دامنه های شمالی کوههای بینالود، بلندترین پادگانه های آبرفتی دشت را

تشکیل می دهد. برای مثال می توان به برونزد این واحد در مسیر جاده مشهد به طبقه و شاندریز و جاده کارخانه سیمان مشهد اشاره نمود که با دگرشیبی برروی سنگهای قدیمی تر جای دارد. در جنوب شاندریز در جاده نقندر، دگرشیبی این سازند با کنگلومراهای ژوراسیک قابل مشاهده است.

سازند هزار دره در این منطقه کنگلومرای کم و بیش سخت شامل قطعاتی در حد قلوه سنگ و شن است که فضای خالی قطعات با ماسه و سیلت و رس پر شده است. از آنجا که خاستگاه سازند هزاردره در بخش جنوبی دشت بیشتر فیلیتهای مشهد می باشد قطعات کشیده و بدون گردشگری اند. در حالیکه قطعات سازند هزاردره در قسمت شمالی منطقه با توجه به خاستگاه آنها که از فرسایش واحدهای کربناته و تخریبی کوههای هزارمسجد حاصل شده اند، گردشگری نشان می دهند.

سازند هزاردره در این منطقه طی فاز اصلی رویداد پاسادنین شکل گرفته و پادگانه های بلندی با میانگین بلندی ۳۰ تا ۴۰ متر را تشکیل داده است، سپس آبراهه ها در آن توسعه یافته و ژرفای آنها افزایش یافته است. این سازند به نسبت استحکام خوبی دارد. برای نمونه می توان به دیواره های با شیب شاقولی در محل گودبرداریهای انجام شده در این سازند در دره نقندر اشاره نمود که با توجه به شیب زیاد دامنه و بلندی چندین متری به خوبی پایدار است. سازند هزار دره در برخی مناطق دشت از خود چینه بندی نشان می دهد و در بیشتر مناطق کم و بیش افقی است. افقهای هوازده نهشته های ریزدانه که مربوط به دوره بین یخچالی است در سازند هزار دره قابل مشاهده است که گاهی در حدود ۱ تا ۲ متر ضخامت دارند [۱].

ب - آبرفتهای جوان دشت مشهد

این آبرفتها رسوبات دامنه ای، پادگانه های آبرفتی کم ارتفاع (بخش بالایی بادبزنهاي آبرفتی) و پادگانه بلند رودخانه کشف رود را تشکیل می دهند. پادگانه های آبرفتی کم ارتفاع (کوتاهتر از سازند هزاردره) در حاشیه ارتفاعات و بیشتر در پای پادگانه های بلند هزاردره گسترش دارد. از دیدگاه لیتولوژی شامل کنگلومرای سست با ضخامت کم می باشند که در مقایسه با سازند هزاردره ریز دانه کمتری داشته، تمیزتر بوده و فضای خالی آنها با چشم به راحتی دیده می شود. افقهای هوازده در این نهشته ها به ندرت دیده می شود و در صورت وجود دارای ضخامت کمی است. قطعه های موجود در این واحد در بخش جنوبی دشت قطعه های فرسایش یافته و گرد نشده فیلیتهای مشهد و

در بخش شمالی، قطعه های حاصل از کوههای هزارمسجد هستند که گردشده اند(مانندسازند هزاردره)[۱].

فرسایش در این پادگانه ها کمتر از پادگانه های سازند هزاردره بوده و آبراهه ها چندان ژرف نیستند. نمونه هایی از آن را می توان در دره های شاندیز و طرربه مشاهده نمود.

نهبشته های اخیر به سوی دشت دانه ریزتر شده و به وسیله آبرفتهای عهد حاضر (بخش پایینی بادبزنهاى بزرگ و اصلی دشت) پوشیده می شوند.

در انتهای محدوده رسوبگذاری بادبزنهاى آبرفتی ، پادگانه های بلند و قدیمی رودخانه کشف رود شامل نهبشته های ریزدانه می گرددکه بخشهای بالایی آن توسط بادبزنهاى آبرفتی در حال دفن شدن است. این پادگانه ها به میزان قابل توجهی از زمین های بالادست و پایین دست خود بلندتر است و در بیشتر مناطق به صورت متقارن (از نظر وسعت و بلندی) در هر دو کرانه کشف رود وجود دارد و به وسیله زمینهای کشاورزی (به ویژه در جنوب رودخانه) پوشیده شده است[۱].

ج - آبرفتهای عهد حاضر

جوانترین واحدهای آبرفتی موجود در دشت مشهد شامل نهبشته های بخش پایینی بادبزنهاى آبرفتی ، رسوبات بستر رودخانه کشف رود و دیگر رودخانه های منطقه و پادگانه پست و جدیدتر رودخانه کشف رود و نهبشته های بادرفتی می باشد. در این میان نهبشته های پست کشف رود از مواد ریزدانه تشکیل و مانند پادگانه بلند ، بیشتر آن به وسیله زمینهای کشاورزی پوشیده می شود. این پادگانه نیز به صورت متقارن در هر دو کرانه رودخانه کشف رود دیده می شود . دیگر نهبشته ها به صورت ترکیبی از مواد ریزدانه و درشت دانه دیده می شوند[۱].

رسوبات در شهر مشهد متاثر از رسوبگذاری رودخانه کشف رود و مسیلهای فرعی جنوبی و جنوب غربی و همچنین رسوبگذاری بادی می باشد. بافت خاک در سطح شهر نیز تابعی از فاصله تا ارتفاعات و همچنین فاصله تا مسیلهای اصلی است. بررسی های انجام شده نشان می دهد که بطور کلی بافت خاک در سطح شهر مشهد از غرب به سمت شرق و همچنین از جنوب به سمت شمال ریز دانه تر می گردد[۱].

از نظر منشاء رسوبگذاری نهشته های زیر شهر مشهد را می توان به سه بخش جدا گانه زیر تقسیم نمود:

- **نهشته های حاشیه جنوبی شهر:** نهشته های پای ارتفاعات جنوبی شهر از نوع دامنه ای و مخروط افکنه ای می باشد. مسیل هایی که از ارتفاعات بینالود سرچشمه می گیرند در ابتدای ورود به دشت مشهد مخروط افکنه های کوچکی تشکیل داده اند. از بهم پیوستن این مخروط افکنه رسوبات درشت دانه شنی به عرض حدود یک کیلومتر در حاشیه ارتفاعات جنوبی تشکیل شده است. با دور شدن از ارتفاعات شکست مشخصی در شیب زمین بوجود آمده است و اندازه دانه ها در حد ماسه تقلیل یافته است. ضخامت رسوبات در حاشیه ارتفاعات کمتر از یک متر است در حالی که در داخل مسیله ها به بیش از ۱۰ متر میرسد. با دور شدن از ارتفاعات ضخامت رسوبات نیز افزایش می یابد. در محدوده رضا شهر بطور استثناء ضخامت قابل توجهی رسوبات ریز دانه گچ دار وجود دارد. نهشته های گچ حتی در داخل درز و شکاف توده سنگهای الترا بازیک نیز مشاهده می گردد. بنظر می رسد در گذشته در این محدوده حوضه رسوبی کم عمقی وجود داشته است که نهشته های تبخیری و خاک ریز دانه بجا گذاشته شده است [۱].

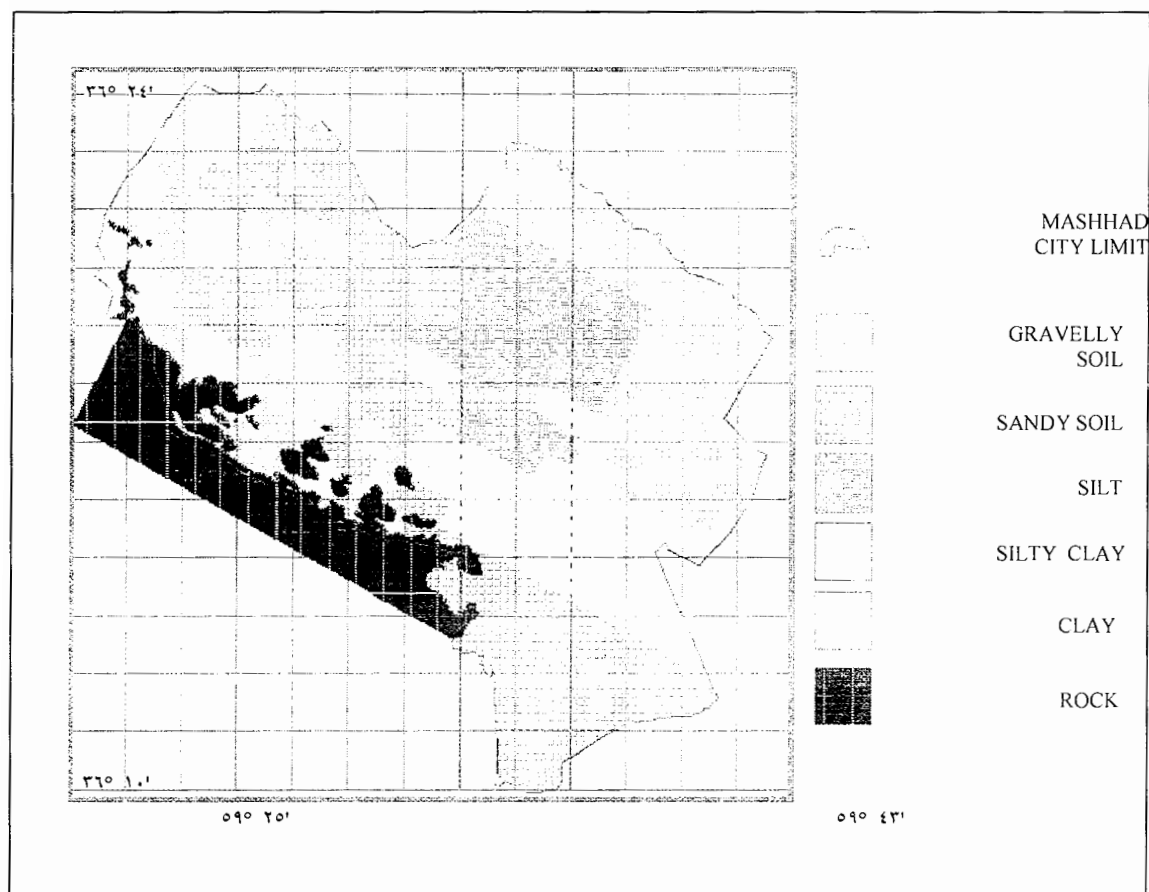
در حال حاضر نوع افق دیگری از خاک در حاشیه ارتفاعات جنوبی شهر مشهد بخصوص در حاشیه مسیله ها وجود دارد که نخاله ساختمانی و خاک دستی می باشد. ضخامت این افق خاک در برخی قسمتها به بیش از ۱۰ متر نیز می رسد.

- **نهشته های رسوبی غرب مشهد:** زمینهای غرب مشهد شامل اراضی الهیه، امامیه، قاسم آباد، آزاد شهر و بخشی از سجاد، متاثر از رسوبگذاری مسیلهایی می باشد که از ارتفاعات دگرگونی جنوب غرب مشهد سرچشمه می گیرد. مهمترین مسیلهای این قسمت کال شاندیز، چهل بازه و منزل آباد می باشد. مسیلهای فوق سرشاخه های کشف رود می باشند که به تبعیت از شیب عمومی توپوگرافی با روند شمال شرقی به کشف رود می ریزند. با توجه به نزدیک بودن به ارتفاعات، نهشته های این قسمت عموماً شنی می باشد. در اطراف مسیل چهل بازه پهنه های ماسه ای وجود دارد که مربوط به زمان طغیان آن می باشد [۱].

- **نهشته های رسوبی مرکز مشهد:** رسوبات مرکز شهر مشهد نیز مربوط به مسیل هایی می باشد که از ارتفاعات جنوبی و جنوب غربی سرچشمه می گیرند و نهایتاً به کشف رود می ریزند. از جمله این مسیلهای کال خیام، چایش و اقبال را می توان نام برد. با توجه به فاصله از ارتفاعات جنوبی و همچنین جنوب غربی، رسوبات در مرکز شهر مشهد ریز دانه تر می باشد. در بخش مرکزی تناوب سیلت، رس و ماسه را داریم. در حاشیه مسیلهای درصد ماسه بیشتر است و با دور شدن از مسیلهای درصد سیلت و رس افزایش می یابد. با توجه به جابجایی رودخانه ها بر روی دشت سیلابی در گذشته، در مقطع عمقی ناهمگنی در بافت خاک وجود دارد [۱].

- **نهشته های شرق مشهد:** مهمترین مسیل در شرق مشهد رودخانه طرق و کال اقبال می باشد. مسیر رودخانه طرق در حال حاضر به سمت شرق منحرف شده و در خارج از شهر مشهد قرار دارد ولی در گذشته می توانسته است مسیرهای دیگری را داشته باشد. بافت خاک در شرق مشهد نیز با توجه به فاصله زیاد از ارتفاعات بجز در حاشیه مسیل ها سیلتی-رسی می باشد [۱].

- **نهشته های شمال و شمال شرق مشهد:** بخش شمالی دشت مشهد نزدیک به رودخانه کشف رود است و نسبت به سایر بخشها نزدیک تر به حوضه سیلابی این رودخانه بزرگ قرار داشته است. در حال حاضر رودخانه کشف رود حالت آرامی دارد و رسوبات کف و کناره آن ریز دانه است. اما در گذشته این رودخانه دارای سیلابهای بزرگ بوده است که می توانسته بخشهای زیادی از شهر کنونی مشهد را در بر بگیرد. در بخش شمال شرقی شهر رسوبات سطحی ریز دانه می باشد. ولی احتمالاً در عمق به نهشته های درشت دانه کف کانال کشف رود برخورد می گردد [۱]. شکل ۲-۲ جنس نهشته های آبرفتی در نقاط مختلف شهر مشهد را نشان می دهد .



شکل ۲-۲- جنس نهشته های آبرفتی در نقاط مختلف شهر مشهد [۱].

۲-۲ گسل های اصلی گستره مورد مطالعه

گسلها عبارت از شکستگی های هستند که در آنها، سنگ های طرفین صفحه شکستگی، بموازات این صفحه لغزش^۱ پیدا می کنند و بکمک همین مشخصه، می توان آنها را از درزه ها تشخیص داد. لغزش گسلها در انواع مختلف متفاوت است و از چند میلیمتر تا چندین کیلومتر تغییر می کند.

در بعضی از موارد، یک گسل به صورت مجزا دیده می شود ولی در پاره ای حالات، چندین گسل موازی و نزدیک به هم دیده می شوند که به نام منطقه گسلی^۲ نامیده می شوند. گاهی نیز بدون این که یک شکستگی مشخص در سنگها دیده شود، سنگها نسبت به هم تغییر مکان می یابند که منطقه بین آنها، به نام منطقه برشی^۳ موسوم است [۲].

مطالعه گسلهای فعال می تواند پایه ای برای بررسی های لرزه زمین ساختی در محدوده های مورد بررسی باشد. در فلات ایران به دلیل تراکم بالای گسل های فعال^۴ از یک طرف و دقت پایین داده های لرزه ای از طرف دیگر، چشمه برخی از زمین لرزه ها به بیش از یک گسل ارتباط داده شده است. علاوه بر این حرکت تدریجی در راستای بسیاری از گسل های فعال، در دوره های زمانی طولانی، گاه به صورت خزش^۵ بوده و یک زمین لرزه بزرگ را پدید نمی آورند. متأسفانه، چینه شناسی کواترنری و روش های زمین ریخت شناسی^۶ و بررسی های دیرینه لرزه شناسی در مطالعه گسلش فعال به جز چند مورد در ایران به کار گرفته نشده است. بنابراین در بسیاری از گزارش های چاپ شده و نقشه ها، واژه گسل توانمند^۷ و گسل کواترنری به صورت مترادف مورد استفاده قرار گرفته اند [۱].

برخی از گسل های کواترنری ایران مستقیماً با زمین لرزه های شناخته شده بزرگ ایران در ارتباط بوده و در نتیجه پتانسیل ایجاد زمین لرزه های آینده را دارند. گسل های کواترنری دیگر که به طور مستقیم با زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی مرتبط نیستند نیز با یک دیدگاه محافظه کارانه باید به عنوان چشمه های توانمند برای زمین لرزه های آینده در نظر گرفته شوند. نکته قابل توجه دیگر این است که بسیاری از گسل های شناخته شده اگر چه در زمان های گذشته حرکت کرده اند

^۱ - Slide

^۲ - Fault Zone

^۳ - Shear Zone

^۴ - Active Faults

^۵ - Creep

^۶ - Geomorphology

^۷ - Capable fault

اما ممکن است امروزه فعال نباشند. و یا برعکس، برای گسل‌های قدیمی امکان فعالیت در حال حاضر وجود دارد [۱].

بطور کلی گسل‌های فعال به دو دسته گسل‌های توانمند و گسل‌های خزشی تقسیم می‌شوند. گسل‌های توانمند به گسل‌هایی گفته می‌شود که دارای توان ایجاد زمین لرزه قابل حس می‌باشند. گسل‌هایی که دارای توان حرکت خزشی، بدون ایجاد زمین لرزه قابل حس می‌باشند، گسل‌های خزشی نامیده می‌شوند. بنابراین:

(۱) فعالیت در گسل‌ها یا بصورت لرزه‌ای^۱ و یا بصورت بی لرزه^۲ است.

(۲) گسل‌های کواترنری، گسل‌های فعالی هستند که ممکن است فعالیت در آنها از نوع خزشی و یا لرزه ای بوده باشد.

گسل‌هایی که دارای یک یا چند ویژگی زیر باشند، گسل توانمند به حساب می‌آیند:

۱- داشتن یک جنبش در سطح و یا نزدیکی سطح زمین طی ۳۵۰۰۰ سال گذشته و یا جنبش مکرر طی ۵۰۰۰۰۰ سال گذشته.

۲- وجود ارتباط ساختاری منطقی بین گسل موردنظر و یک گسل توانمند شناخته شده، بطوریکه جنبش یک گسل سبب جنبش گسل دیگر در سطح و یا نزدیکی سطح زمین شود.

۳- رویداد خرد زمین لرزه به تعداد زیاد همبسته با سطح گسل مزبور که بوسیله شبکه لرزه نگاری محلی برداشت شده باشد.

۴- مشاهده آینه و دیواره گسل درروی زمین که بوسیله فرسایش ازبین نرفته باشد [۱].

انتظار می‌رود که چنین گسل‌هایی در آینده نیز دچار جنبش دوباره شده و در هرگونه سازه‌ای که برروی آنها قرار گیرند، برش ایجاد نمایند. در نتیجه شناخت دقیق و کامل این گسل‌ها گام نخست در راه مطالعات لرزه زمین ساخت، خطر گسلش و برآورد خطر زمین لرزه می‌باشد.

گسل‌های اصلی محدوده اطراف دشت مشهد عبارتند از:

^۱-Seismic

^۲-Aseismic

الف - گسل احمدآباد: یک گسل معکوس با روند شمال غرب - جنوب شرق می باشد. جوان ترین واحدهایی که این گسل را قطع می کند واحد مارنی - کنگلومرای میوسن می باشد.

ب - گسل خیرآباد (کشف رود): این گسل جوانترین گسل موجود در زون کپه داغ (در محدوده مشهد) است زیرا بر روی رسوبات کواترنر نیز تاثیر گذاشته و امتداد آن حتی بر روی عکسهای ماهواره ای ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نیز بخوبی دیده می شود. این گسل یگ گسل معکوس با روند شمال غربی - جنوب شرقی است.

ج - گسل مانسار: این گسل معکوس شاخه ای فرعی از گسل اصلی خیرآباد است.

د - گسل شاندیز - سنگ بست: این گسل یکی از عمده ترین گسلهای موجود در قسمت شمالی ارتفاعات بینالود می باشد. این گسل معکوس بوده و امتداد آن شمال غربی - جنوب شرقی و جهت راندگی در آن از شمال شرق به سمت جنوب غرب می باشد.

ه - گسل توس: گسل توس، گسلی با راستای شمال غربی - جنوب شرقی و درازای ۲۴ کیلومتر می باشد. این گسل از میان دشت توس و تپه های شمالی آن (آهک های خاکستری سازند مزدوران) و شمال شهر توس عبور می کند. ادامه این گسل در بخش جنوب شرقی، در رسوبات آبرفتی کواترنر، زیاد روشن نیست و چون برشی از گسل در روی سطح زمین دیده نمی شود، بشکل خط چین در نقشه های زمین شناسی نشان داده شده است. بر روی نگاره های هوایی در شمال شهر طوس روند گسل به صورت توپوگرافی تپه ساز قابل تشخیص می باشد. کنترل صحرایی روند مذکور نیز موید وجود چنین گسلی در این امتداد است.

تپه مذکور اساساً متشکل از آهکهای مزدوران با لایه بندی N۲۵W, ۳۰NE است. در جنوب این تپه، دشت کواترنری واقع شده است. به نظر می رسد که عملکرد گسل طوس سبب برخاستگی این لایه ها در مجاورت دشت شده است. این توپوگرافی به سمت خاور به صورت یک دیواره کوتاه در کنگلومراها و مارن های نئوژن مشاهده می گردد و این احتمال در ذهن تقویت می شود که گسل طوس به سمت خاور در لایه های نئوژن نیز عمل کرده است که خود نشان دهنده فعال بودن گسل مذکور بعد از نئوژن است [۱].

۲-۳ سوابق زمین لرزه های منطقه و معرفی گسل شمال مشهد

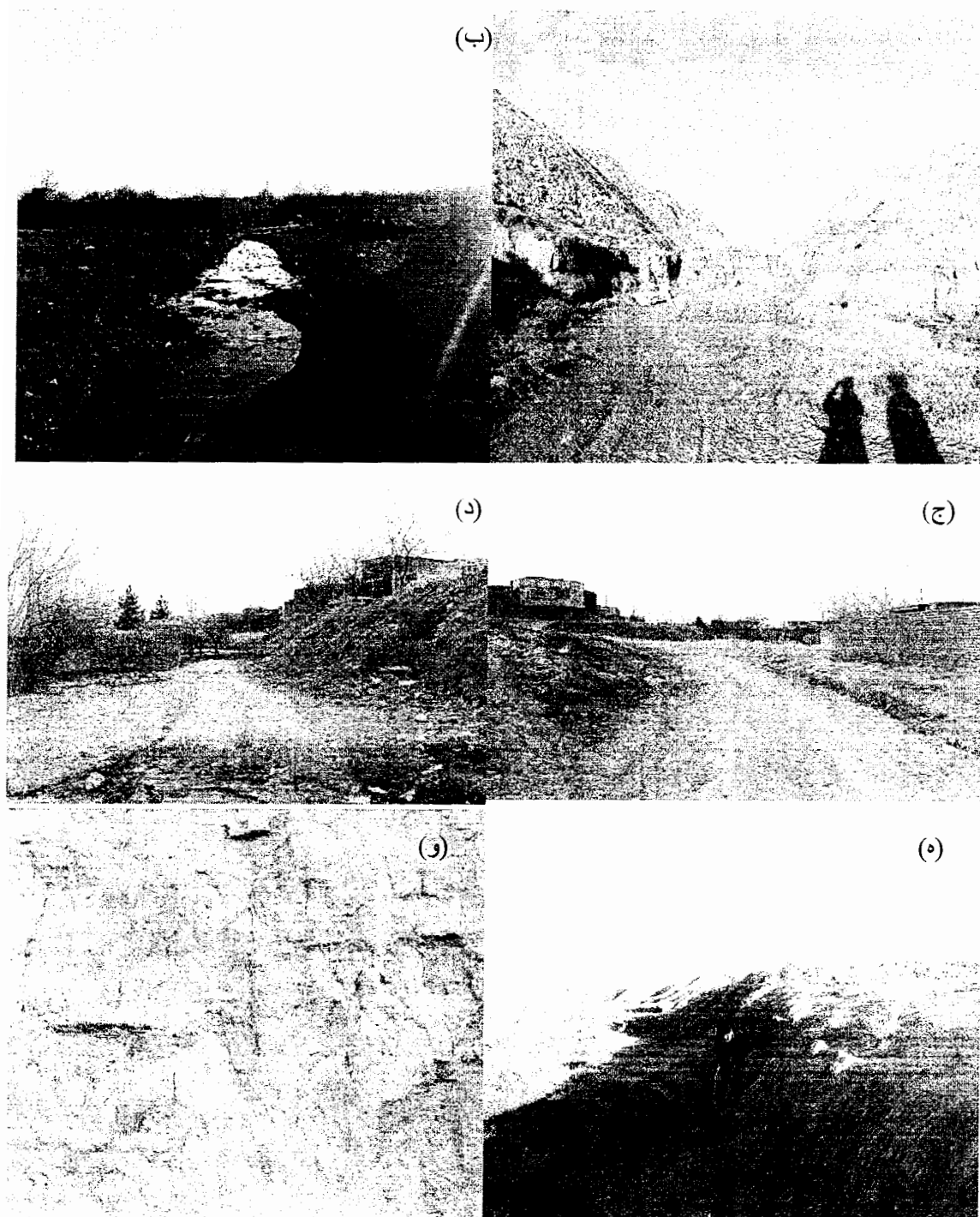
در گزارش شماره ۷۲ سازمان زمین شناسی (بربریان و همکاران ۱۳۷۸) شاخه ای از گسل کشف رود با امتداد شمالغرب - جنوب شرق که از شمال شهر توس می گذرد، تحت عنوان گسل توس نامیده شده است. در گزارش مزبور ادامه گسل به سمت شمال شرق را به صورت گسله احتمالی نشان داده اند که از شمال شهر مشهد می گذرد. نامبردگان کانون سطحی زلزله مورخ ۱۹۷۳/۰۷/۰۳ با بزرگی ۶/۶ و همچنین زلزله های تاریخی ۱۵۹۸ ، ۱۶۸۷/۰۴/۱ و ۱۸۸۳/۰۲/۲۶ را در مجاورت گسل احتمالی توس مشخص نموده اند [۱].

در بررسی عکسهای هوایی ۱:۲۵۰۰۰ شهر مشهد به روشنی روند خطی با امتداد شمال غرب - جنوب شرق مشاهده می گردد.

روند خطی فوق در محدوده هایی نظیر خواجه ربیع منجر به بالا آمدگی زمین شده و در بخشهایی توسط آبرفت جدید پوشیده شده است. تمامی آبراهه های اصلی و فرعی که از کوهپایه های جنوب و جنوب غرب مشهد سرچشمه می گیرند، بعد از رسیدن به روند خطی مزبور جابجایی نشان می دهند .

شکل ۲-۳ تصاویری از مناطق خواجه ربیع و نواحی شمال غرب آنرا نشان می دهد . در این شکل می توان تغییر ارتفاع ناگهانی زمین را که احتمالاً در نتیجه عملکرد گسل مربوطه بوجود آمده، مشاهده نمود .

درعکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه (شکل ۲-۴)، روند تقریبی گسل مزبور با توجه به انحراف رودخانه ها ترسیم شده است.



شکل ۲-۳- عمیق شدگی و افزایش عرض دره ها (اشکال الف و ب) و تغییر ارتفاع ناگهانی زمین در شمال شهر مشهد (اشکال ج، د، ه، و).



شکل ۲-۴ - مسیر تقریبی گسل شمال مشهد بر روی عکس هوایی که با توجه به انحراف رودخانه های اصلی ترسیم شده است [۱].

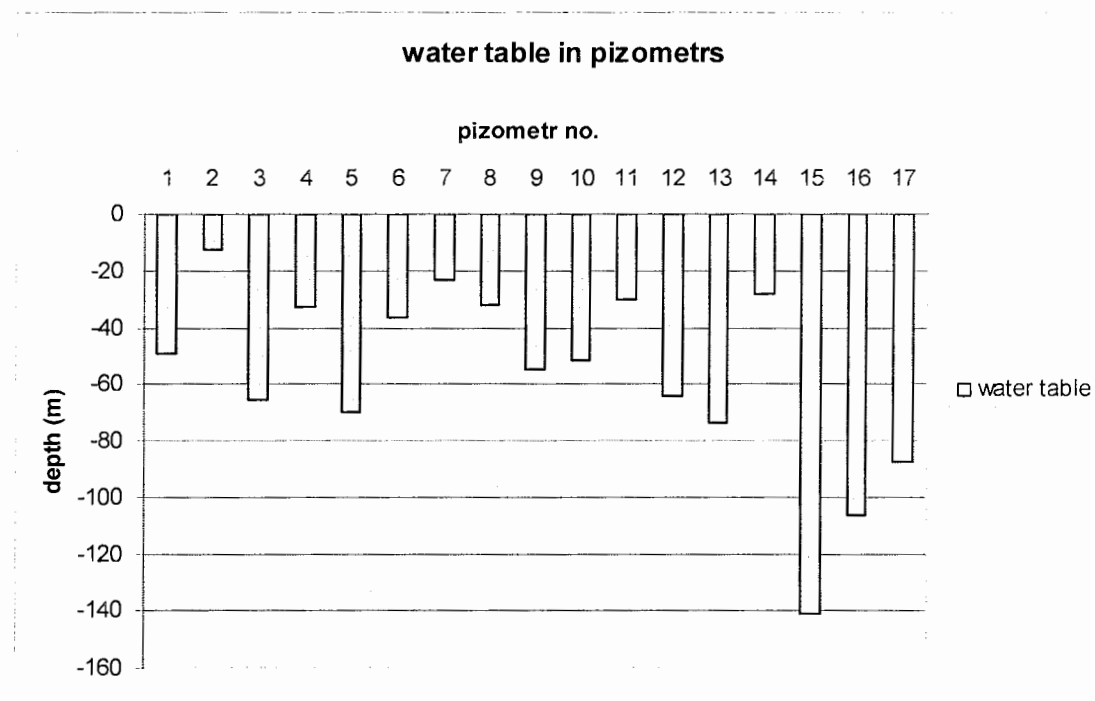
۲-۴ اطلاعات پیزومترهای دشت مشهد

بمنظور بررسی وضعیت تغییرات سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد تعداد ۱۷ پیزومتر در سطح شهر و حومه آن قرار دارد که در این پایان نامه ما از اطلاعات آنها در تعیین سطح آب زیرزمینی در محل سونداژهای هر منطقه استفاده کرده ایم. موقعیت جغرافیایی و سایر مشخصات این پیزومترها در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

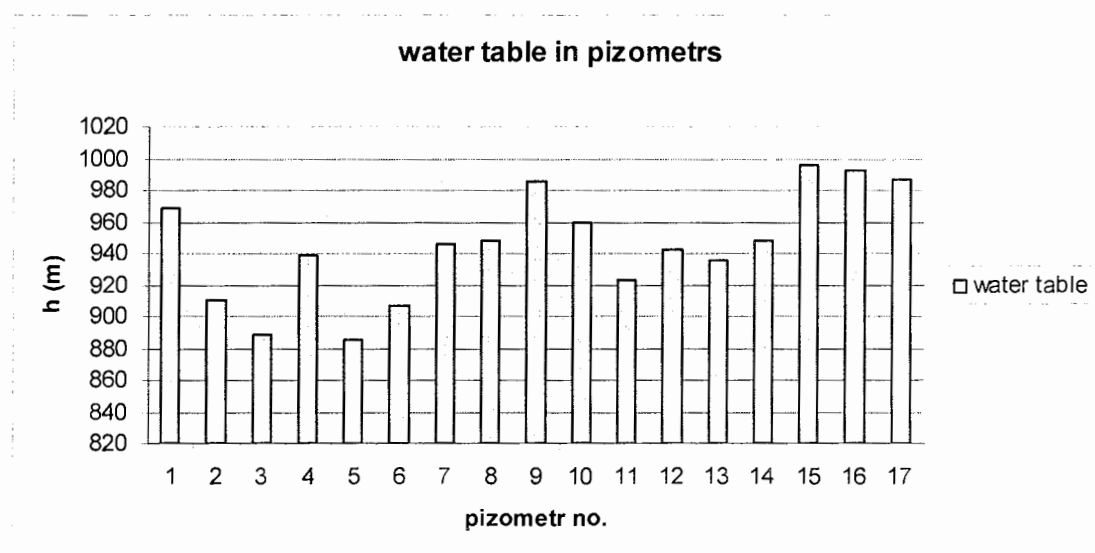
در اشکال ۲-۵ و ۲-۶ نیز عمق و سطح آب زیرزمینی در این پیزومترها بصورت نمودار نمایش داده شده است. با توجه به این شکل می توان گفت که عمق سطح آب در پیزومتر P₂ از همه کمتر (۱۲ متر) و در پیزومتر P₁₅ از همه بیشتر است (۱۴۰ متر).

جدول ۱-۲ - موقعیت جغرافیایی پیزومترهای شهر مشهد و عمق و سطح آب زیرزمینی در هریک از آنها.

شماره پیزومتر	محل	EASTING	NORTHING	عمق سطح آب از سطح زمین (متر)	ارتفاع سطح آب از سطح دریا (متر)
P ₁	بلوار تلویزیون	729762	4019183	-48.85	968.78
P ₂	التیمور	742998	4022196	-12.39	910.84
P ₃	کنوگرد	741497	4027982	-65.75	888.91
P ₄	گراب	738241	4030995	-33	939.38
P ₅	شایع	736649	4029939	-70	885.21
P ₆	انبارسیس اباد	737921	4025889	-36.44	906.33
P ₇	خواجه ربیع	736060	4024928	-23.48	945.26
P ₈	بلوار راه آهن	734735	4021641	-32.08	947.52
P ₉	دانشگاه	727074	4022183	-54.81	985.28
P ₁₀	بلوار فردوسی	730024	4023054	-51.71	959
P ₁₁	خین عرب	733651	4029093	-30.2	923.27
P ₁₂	بحر آباد	729747	4026916	-63.95	942.33
P ₁₃	تخم مرز	727238	4031447	-73.52	935.77
P ₁₄	قهقهه	728419	4033256	-28.4	947.43
P ₁₅	حسن آباد ویرانی	715869	4033747	-140.9	996.33
P ₁₆	قاسم اباد	722497	4026449	-106.17	992.92
P ₁₇	اراضی قاسم اباد	726015	4027410	-87.35	986.56



شکل ۲-۵- نمایش عمق سطح آب در هر یک از پیزومترهای اطراف مشهد.



شکل ۲-۶- نمایش ارتفاع سطح آب در هر یک از پیزومترهای اطراف مشهد.

فصل سوم:

روش مقاومت ویژه الکتریکی و کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها

۳-۱- روش مقاومت ویژه الکتریکی

اکتشافات ژئوالکتریکی دارای روشهای متعدد می باشد. بعضی از این روشها از میدانهای الکتریکی طبیعی زمین استفاده می کنند مانند روش پتانسیل خودزا^۱ و روش تلوریک^۲. در مقابل این روشها روشهای دیگری وجود دارند که بکارگیری آنها مستلزم آنست که جریان به طور مصنوعی در داخل زمین فرستاده شود. مانند روش مقاومت مخصوص و روش IP^۳ [۸].

آن دسته از روشهای الکتریکی که در آن جریان از طریق رسا نش توسط الکترودهایی به زمین داده می شود بر اساس این واقعیت کار می کنند که تغییرات رسانندگی زیر سطح زمین، شکل شارش جریان را در داخل زمین تغییر می دهد و این بر توزیع پتانسیل الکتریکی اثر می گذارد. درجه این اثر گذاری به اندازه، شکل، محل و مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها یا اجسام زیر سطح بستگی دارد. بنابراین این امکان وجود دارد که از اندازه گیری پتانسیل بر روی سطح، اطلاعاتی از زیر زمین بدست آید [۱۶].

پس هدف کاوشهای الکتریکی، تعیین توزیع مقاومت ویژه زیر سطحی با اندازه گیری ها در سطح زمین است و با استفاده از این اندازه گیری ها، می توان مقاومت ویژه حقیقی زیرسطحی را تخمین زد [۱۳].

روشهای الکتریکی غالباً جهت اکتشاف مواد معدنی فلزی، آب و اکتشافات زمین شناسی مهندسی (مانند اکتشاف گسلها) مورد استفاده قرار می گیرند. در سالهای اخیر این روش را برای بررسی مسائل زیست محیطی بکار گرفته اند. در روش ژئوالکتریک می توان با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مقاومت ویژه سنگها، خصوصیات آنها را مشخص نمود [۸].

^۱ -Self Potential method

^۲ -Telluric method

^۳ - Induced polarization

ابزارهای اساسی برای اندازه گیری های مقاومت ویژه عبارتند از: منبع جریان DC یا AC با فرکانس پایین ، وسایل اندازه گیری جریان و ولتاژ، الکترودها، کابل وقرقره ها .

جریان را می توان بوسیله یک میلی آمپر متر و ولتاژ را بوسیله یک ولت متر با دقت یک میلی ولت اندازه گیری کرد[۱۰].

روش مقاومت ویژه در مقایسه با سایر روشهای ژئوفیزیکی (مانند لرزه شناسی، گرانی سنجی و...) ویا روشهای اکتشافی مستقیم (مانند حفاری و ...) خصوصیات زیر را دارد[۱۲]:

- ا نعطاف پذیری (استفاده از آن در هر مرحله از اکتشافات مثل شناسایی اولیه، تعیین جزئیات).
- روشی نسبتا سریع و آسان برای برداشت داده ها.
- هزینه های صحرایی پایین و کم بودن افراد مورد نیاز برای برداشت.
- سبک و قابل حمل بودن دستگاه ها.
- تفسیر کیفی داده ها بطور مستقیم صورت می گیرد.
- البته علیرغم این مزیت ها، دارای محدودیت هایی نیز می باشد[۱۲]:
- در برخی موارد، مدل های ژئوفیزیکی حاصل، با مدل زمین شناسی مربوط بسیار تفاوت دارد.
- ابهام در تفسیر داده های مقاومت ویژه باعث می شود که چندین مدل زمین شناسی وجود داشته باشد.

- دقت تعیین عمق در مقایسه با روش هایی مثل لرزه نگاری یا حفاری کمتر است.

۳-۱-۱ اساس تئوری مقاومت ویژه

اگر رسانایی حامل جریانی با خطوط شارش عمود بر سطح A باشد و R مقاومت ویژه ا اندازه گیری شده بین دو سطح هم پتانسیل با فاصله L باشد، مقاومت ویژه آن چنین تعریف می شود:

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (۱-۳)$$

قانون فیزیکی مورد استفاده در روش مقاومت ویژه، قانون اهم، قانون حاکم بر شارش جریان الکتریکی در زمین است [۱۳]. معادله قانون اهم بصورت برداری برای شارش جریان در محیط پیوسته و همسانگرد بصورت زیر است [۱۵]:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2-3)$$

که در این رابطه، σ رسانندگی محیط ($\sigma = 1/\rho$)، J چگالی جریان و E شدت میدان الکتریکی است. در عمل، پتانسیل میدان الکتریکی اندازه گیری می شود. رابطه میان پتانسیل الکتریکی و شدت میدان بصورت زیر است:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (3-3)$$

با ترکیب معادلات (2-3) و (3-3) بدست می آوریم:

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (4-3)$$

رابطه بین چگالی جریان و جریان برای چشمه جریان نقطه ایی عبارت است از:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \left[\frac{I}{\Delta v} \right] \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (5-3)$$

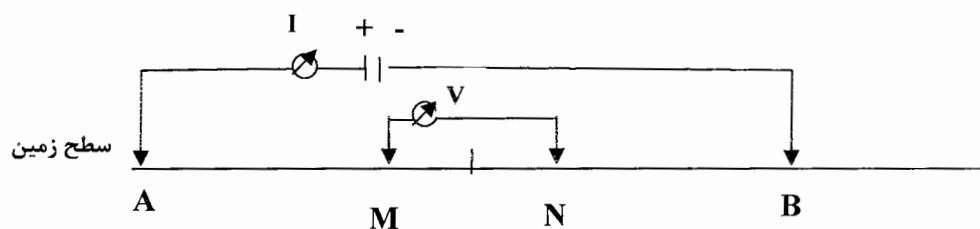
که (x_s, y_s, z_s) محل چشمه نقطه ایی، Δv عنصر حجم اطراف منبع جریان I و δ تابع دلتای دیراک است. از قرار دادن رابطه (4-3) در رابطه (5-3) داریم:

$$-\vec{\nabla} \left[\sigma(x, y, z) \vec{\nabla}V(x, y, z) \right] = \left(\frac{I}{\Delta v} \right) \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (6-3)$$

این رابطه، معادله اساسی است که از حل آن، توزیع پتانسیل در زمین بخاطر منبع جریان نقطه ایی بدست می آید. تکنیک های زیادی برای حل این معادله وجود دارد. از حل این معادله، پتانسیل در فاصله r از چشمه جریان نقطه ای که در روی یک زمین همگن و همسانگرد است بدست می آید:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (7-3)$$

در برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی معمولاً از چهار الکتروود استفاده می شود که با توجه به وضعیت قرار گیری و موقعیت آنها نسبت به یکدیگر، آرایشهای الکتروودی گوناگون نامگذاری شده و مورد استفاده قرار می گیرند. شکل 3-1- فرم عمومی یک آرایش الکتروودی نمونه و موقعیت الکتروودها را در این آرایش خاص نشان می دهد.



شکل ۳-۱ - فرم کلی یک آرایش

دو الکترود A و B، جریان را به زمین تزریق می کنند، این الکترود ها به دو قطب مخالف یک مولد جریان مستقیم (یا با فرکانس پایین) متصل شده، پس دارای جریانهای مساوی با جهت مخالف هستند. دو الکترود M و N پتانسیل الکتریکی ایجاد شده در اثر شارش جریان به درون زمین را اندازه گیری می کنند. برای محاسبه اختلاف پتانسیل، مقدار پتانسیل ناشی از الکترود های جریان را در محل هر الکترود پتانسیل محاسبه می کنیم. پتانسیل محاسبه شده برای الکترود M و الکترود N بصورت زیر خواهد بود [۷]:

$$V_M = V_A + V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) \quad (۸-۳)$$

$$V_N = V_A + V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \quad (۹-۳)$$

با توجه به دو رابطه فوق، اختلاف پتانسیل بین دو الکترود M و N بصورت زیر بدست می آید:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right\} \quad (۱۰-۳)$$

این رابطه، اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده در یک آرایش چهار الکترودی، که در سطح یک زمین همگن گسترش یافته را نشان می دهد.

مقاومت ویژه الکتریکی، با ارسال جریان به داخل زمین توسط الکترود های جریان و اندازه گیری اختلاف ولتاژ توسط الکترود های پتانسیل انجام می شود. از مقادیر جریان I و اختلاف پتانسیل ΔV

، مقدار مقاومت ویژه ظاهری ρ_a محاسبه می شود:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (۱۱-۳)$$

که K ، فاکتور هندسی است و به وضعیت قرار گرفتن چهار الکترود نسبت به یکدیگر بستگی دارد و برابر است با:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB}\right)} \quad (3-12)$$

بایستی توجه داشت که در یک زمین غیر همگن، مقدار مقاومت ویژه محاسبه شده، مقاومت ویژه واقعی نیست، بلکه یک مقاومت ویژه ظاهری است [۷].

۳-۱-۲ روشهای برداشت داده های مقاومت ویژه

در برداشت داده های مقاومت ویژه بسته به اینکه هدف مورد نظر اندازه گیری تغییرات عمقی یا تغییرات جانبی لایه ها در زیر سطح زمین باشد، از دو روش سونداژ الکتریکی و پروفیل زنی استفاده می گردد.

در روش سونداژ الکتریکی موقعیت مرکز آرایش ثابت مانده و در هر مرحله، بسته به نوع آرایش، الکترودها نسبت به محل مرکز آرایش جابجا شده و در فاصله مشخص دورتری قرار می گیرند. با انجام این عمل، جریان به اعماق پایین تر نفوذ کرده و می توان به اطلاعات لایه ها در اعماق پایین تر دست یافت.

در روش پروفیل زنی فاصله میان الکترودهای جریان و پتانسیل ثابت باقی مانده ولی موقعیت مرکز آرایش با جابجایی کل الکترودها در هر مرحله تغییر می کند. و به این ترتیب می توان تغییرات جانبی لایه ها را در یک عمق معین بررسی کرد.

از کاربردهای مهم این روش می توان به اکتشاف گسل ها و دایکها، حفرات، رودخانه های مدفون و دیگر ساختارهای قائم یا با شیب زیاد اشاره کرد.

۳-۱-۳ آرایش های الکترودی

در برداشت داده های مقاومت ویژه آرایش های الکترودی مختلفی بسته به موقعیت قرارگیری الکترودهای جریان و پتانسیل نسبت به یکدیگر وجود دارد. از آن جمله می توان به آرایش های وئر،

شلومبرگر، دایپل - دایپل (دو قطبی - دو قطبی)، پل دایپل (قطبی - دو قطبی)، نیم ونر، نیم شلومبرگر، مربعی و دو الکترودی اشاره کرد. پرکاربردترین این آرایشها، آرایش ونر، شلومبرگر و دایپل دایپل می باشند. آرایش ونر در پروفیل زنی، آرایش شلومبرگر در سونداژ زنی و آرایش دایپل - دایپل در تهیه شبه مقاطع محبوبیت زیادی پیدا کرده است. در ادامه به توضیح در مورد هریک از این سه نوع آرایش می پردازیم.

۳-۱-۳ آرایش ونر

در آرایش ونر الکترودها با فاصله یکنواخت و مساوی a از یکدیگر در یک خط قرار می گیرند. (شکل ۳-۲ الف). مقاومت ویژه ظاهری در این آرایش با اندازه گیری مقادیر ΔV و I از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3-13)$$

کاربرد عمده این آرایش همانگونه که قبلا نیز ذکر شد، در روش پروفیل زنی می باشد ولی علیرغم هندسه ساده ای که دارد در اکتشافات عمقی بدلیل افزایش مقدار a در هر مرحله ایجاد مشکل می کند که این از معایب آرایش ونر در انجام سونداژهای الکتریکی بحساب می آید [۱۰].

۳-۱-۳ آرایش شلومبرگر

در آرایش شلومبرگر الکترودهای جریان در فاصله دورتری از الکترودهای پتانسیل نسبت به آرایش ونر قرار می گیرند. $(MN \leq \frac{AB}{5})$ (شکل ۳-۲ ب).

مقدار مقاومت ویژه ظاهری در این آرایش با دقت مناسبی از رابطه زیر محاسبه می شود [۱۷]:

$$\rho_a \cong \frac{\pi L^2}{2l} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (3-14)$$

در انجام روش سونداژ الکتریکی با این آرایش، الکترودهای پتانسیل ثابت باقی مانده و الکترودهای جریان به شکل متقارن در دو طرف مرکز آرایش جابجا می شوند. پس از چند بار جابجایی الکترودهای جریان، برای مقادیر بزرگ L لازم می شود که به منظور بدست آوردن یک ولتاژ قابل اندازه گیری، I نیز افزایش یابد. این نکته از محاسن آرایش شلومبرگر نسبت به ونر در سونداژ زنی می باشد. زیرا در هر

مرحله نیاز به جابجایی کل الکترودها نیست. به علاوه اثر تغییرات مقاومت ویژه سطحی بر روی داده های آرایش شلومبرگر بدلیل جابجایی کمتر الکترودهای پتانسیل، نسبت به آرایش وئر کم تر است [۱۰].

۳-۳-۱-۳ آرایش دایپل - دایپل^۱

در این آرایش جفت الکترودهای پتانسیل نزدیک یکدیگر وجفت الکترودهای جریان نیز نزدیک یکدیگر قرار گرفته ولی فاصله بین جفت الکترودهای جریان و پتانسیل از یکدیگر زیاد می باشد. این آرایش انواع مختلفی دارد. در روش معمول الکترودها روی یک خط قرار می گیرند که به آن آرایش دوقطبی محوری^۲ گویند. فاصله بین الکترودهای پتانسیل از یکدیگر برابر با فاصله الکترودهای جریان و برابر a می باشد. (شکل ۳-۲-ج)

فاصله میان دو الکتروود جریان و پتانسیل نزدیک به یکدیگر معمولاً ضریب صحیحی از a می باشد. مقاومت ویژه ظاهری در این آرایش به نقطه مرکز آرایش (نقطه 0) نسبت داده شده و از رابطه زیر محاسبه می شود [۱۰].

$$\rho_a = \pi a n(n+1)(n+2) \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (3-15)$$

۳-۱-۴ خواص الکتریکی مواد

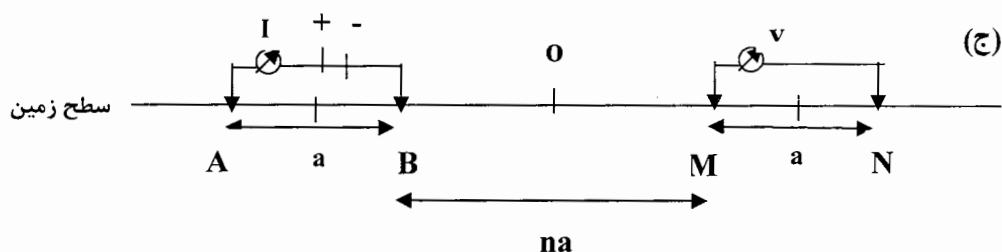
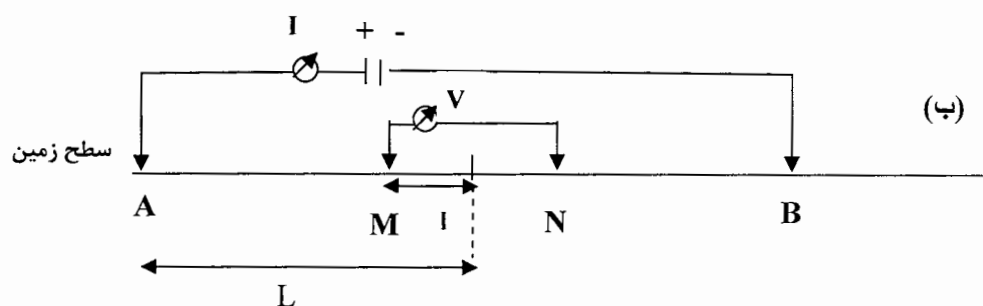
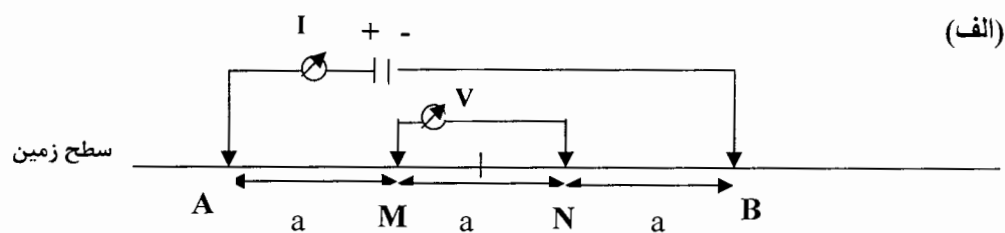
جریان الکتریکی در مواد زمین در اعماق کم به دو روش هدایت الکترونی و هدایت الکترولیتی جریان می یابد. در هدایت الکترونی، شارش جریان توسط الکترونهای آزاد صورت می گیرد. هدایت الکترونی، هنگامی که کانیهای رسانا مانند سولفیدهای فلزی و گرافیت موجود باشند دارای اهمیت می باشند. در هدایت الکترولیتی، شارش جریان به خاطر جابجایی یونها در آب زیر زمینی انجام می شود.

مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. سنگهای آذرین و دگرگونی دارای مقادیر بالای مقاومت ویژه می باشند. مقاومت ویژه این گونه از سنگها به میزان خرد

^۱ -Dipole- Dipole

^۲ -Axial Dipole- Dipole

شدگی و در صد شکستگی های پر شده از آب وابسته است. بنابراین نوع مشخصی از سنگ می تواند محدوده وسیعی از مقاومت ویژه، از حدود ۱۰۰۰ تا ۱۰ میلیون اهم متر، با توجه به خشک یا مرطوب بودن آن، داشته باشد. این ویژگی در تعیین زونهای خردشده و ساختارهای هوازده دیگر، در کاوشهای مهندسی و آب زیر زمینی مفید است [۷]. سنگهای رسوبی، که معمولاً متخلخل بوده و دارای محتوای آب زیادتری می باشند، بطور معمول مقاومت ویژه کمتری در مقایسه با سنگهای آذرین و دگرگونی $10-10000 \Omega m$ ، ولی اکثراً زیر $1000 \Omega m$ ، می باشد. رسوبات نامتراکم عموماً مقادیر مقاومت ویژه کمتر نسبت به سنگهای رسوبی و گستره مقادیر $10 \Omega m$ تا کمتر از $1000 \Omega m$ دارند.



شکل ۳-۲- نحوه قرار گیری الکترودها در آرایشهای ونر (الف)، شلومبرگر (ب) و دایپل - دایپل (ج).

جدول ۳-۱ مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی [۷].

سنگها و مواد معدنی	مقاومت ویژه (اهم متر)
آب زیر زمینی	۱۰-۱۰۰
آب باران	۳۰-۱۰۰۰
آب دریا	۰,۲
سنگ آهک	۵۰-۵۰۰۰
شیل	۲۰-۲۰۰۰
رس	۱-۱۰۰
آبرفت های دانه درشت و کنگلومرا	۳۰۰-۱۰۰۰۰
آبرفت های دانه متوسط	۱۰۰-۳۰۰
آبرفت های دانه ریز	۵۰-۱۰۰
شن و ماسه خشک	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شیرین	۵۰-۵۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شور	۰,۵-۵
آهک های آسماری	۵۰۰- > ۱۰۰۰
آهک های کرتاسه	۲۰۰-۵۰۰
سنگهای توف	۲۰-۱۰۰
ماسه سنگ آرژیل دار	۵۰-۳۰۰
ماسه سنگ کوارتزیت	۳۰۰-۱۰۰۰۰
خاکستر(برش) آتشفشانی	۲۰-۱۰۰
آندزیت	۱۷۰ (مرطوب)- ۴۵۰۰۰ (خشک)
داسیت	۲۰۰۰۰
سینیت	۴۰ تا ۶۰۰ میلیون

خاکهای مرطوب و زمین های آبدار مقدار مقاومت ویژه کمتری دارند. خاکهای رسی معمولا مقاومت ویژه پایین تری نسبت به خاکهای ماسه ای دارند. اما نکته اینکه، انواع سنگها و خاک ها، مقدار مقاومت ویژه همدیگر را پوشش می دهند. این بدین دلیل است که مقاومت ویژه سنگ یا خاک به عوامل دیگر تخلخل، اشباع آب و غلظت نمکهای نامحلول وابسته است. مقاومت ویژه آب زیر زمینی با توجه به میزان نمکهای نامحلول $10-100 \Omega m$ تغییر می کند. مقاومت ویژه پایین آب دریا (در حدود $0.2 \Omega m$) بعلت میزان نمک فراوان موجود در آب دریا می باشد [۷].

۳-۱-۵ توضیح اصل اختفاء^۱

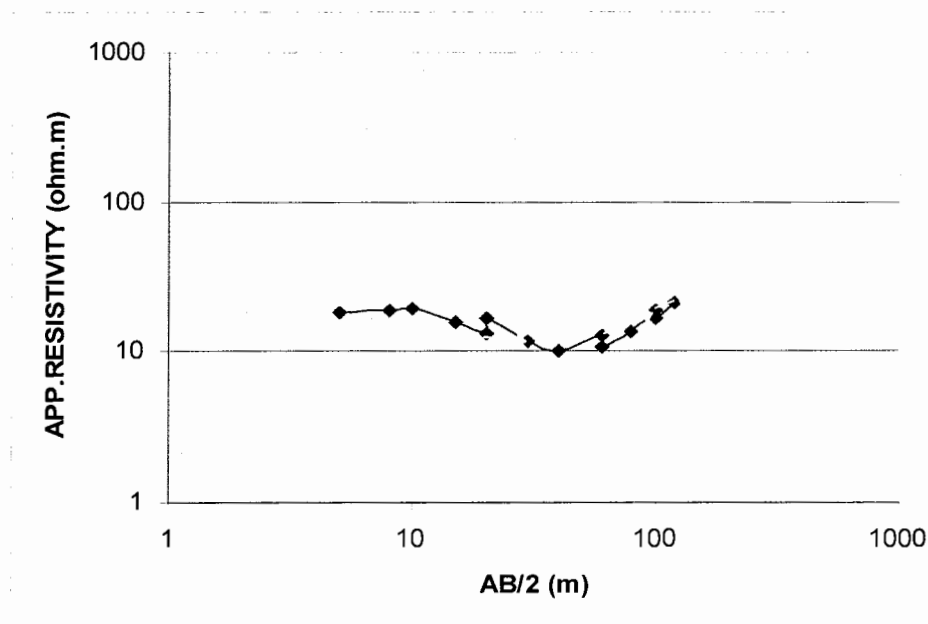
در صورتی که مقاومت ویژه لایه ای بین مقاومت ویژه طبقات واقع در بالا و پایین آن باشد تا زمانی که این طبقه ضخامت کافی نداشته باشد روی منحنی سونداژ الکتریکی اثری نخواهد گذاشت. در حقیقت مانند اینست که این لایه اثر خود را مخفی کرده باشد. از اینرو این اصل را بنام اصل اختفاء نامیده اند. حال اگر ضخامت این لایه افزایش یابد، تدریجا اثر خود را روی منحنی سونداژ نشان خواهد داد [۸].

۳-۱-۶ تصحیح کلاچ^۲

در سونداژ با آرایش شلومبرگر، با افزایش فاصله الکتروده های جریان، اختلاف پتانسیلی که قرائت می شود کوچکتر می شود. هر چند بار که الکتروده های جریان را جابجا می کنیم؛ باید الکتروده های ولتاژ را نیز جابجا کنیم و برای یک فاصله الکتروده های جریان با دو MN متفاوت، اختلاف پتانسیل قرائت می شود، یعنی برای یک عمق دو داده برای ρ_a بدست می آید. برای تفسیر صحیح بایستی با هموارسازی منحنی را اصلاح کرد. اساس کار برای این منظور وصل کردن قطعات مختلف منحنی با توجه به قاعده سمت راست است. در این روش آخرین نقطه قطعات سمت چپ را در نظر گرفته اما اولین نقطه قطعه سمت راست در نظر نمی گیرند. شکل ۳-۳ نحوه انجام این کار را نشان می دهد. در این شکل طریقه صحیح وصل کردن نقاط منحنی بیکدیگر با فلش سفید رنگ نشان داده شده است.

^۱ -Principle of Suppression

^۲ -Cluch



شکل ۳-۳- نحوه انجام تصحیح کلاچ بر روی داده های آرایش شلومبرگر در روش سونداژ الکتریکی .

۲-۳ کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف گسلها

در این بخش کاربرد منحنی های تئوری را در اکتشاف گسلها بوسیله روش پروفیل زنی ذکر خواهیم کرد .

در روش پروفیل زنی با عبور هر یک از الکترودهای پتانسیل یا جریان از روی مرز گسل در روی سطح زمین، یک نا پیوستگی بر روی منحنی پروفیل مقاومت ویژه ظاهری آشکار می شود که با مقایسه منحنی بدست آمده با منحنی تئوری مربوطه و با استفاده از محل هر یک از پیکها می توان محل گسل و شیب آنرا مشخص نمود.

بمنظور محاسبه تابع پتانسیل در مورد گسلهای قائم از نظریه تصاویر الکتریکی استفاده شده است. از آنجا که استفاده از این نظریه در مورد گسلها ولایه های شیبدار با محدودیت روبرو می شود، تابع پتانسیل مربوط به این نوع ساختارها از طریق حل مستقیم معادله لاپلاس محاسبه شده است [۶].

۳-۲-۱ تاثیر فاصله بین ایستگاههای برداشت داده ها در تغییر شکل منحنی

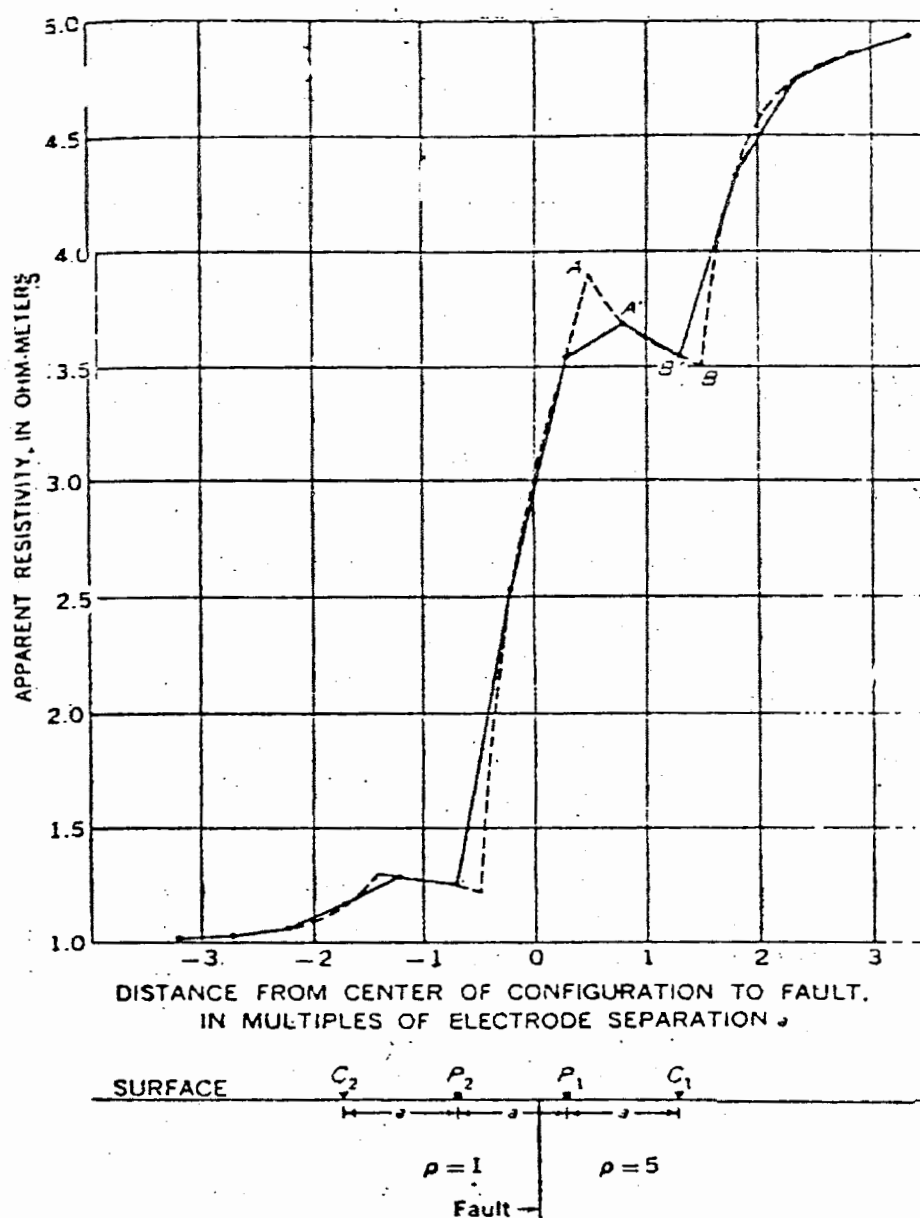
صحرائی

در شکل ۳-۴، یک منحنی صحرائی (خط پیوسته) با منحنی تئوری آن (خط چین) مقایسه شده است. هدف از این کار مشخص نمودن تاثیر فاصله میان ایستگاههای اندازه گیری، در شکل منحنی صحرائی می باشد. آرایش بکار گرفته شده و فاصله بین ایستگاهها برای برداشت داده های منحنی صحرائی $\frac{a}{2}$ می باشد. محل گسل بعنوان مبدا در روی محور افقی ($x=0$) در نظر گرفته شده است [۹].

همانطور که در شکل نیز دیده می شود نقطهء ماکزیمم A در منحنی تئوری به نقطه A' در منحنی صحرائی تبدیل شده است، که در اینجا پیک مربوطه وضوح و برجستگی کمتری دارد. اختلاف جدی تر دو منحنی اینست که پیک A' در منحنی صحرائی به اندازه $0.3a$ بسمت راست جابجا شده است. (a فاصله الکترودی بکار گرفته شده می باشد). جابجایی پیک ذکر شده از اهمیت خاصی برخوردار می باشد زیرا از موقعیت همین پیک ها جهت تعیین خط اثر گسل در روی زمین استفاده می شود [۹].

نقطهء مینیمم B نیز جابجا شده و به سمت چپ انتقال یافته است بطوری که فاصلهء افقی میان نقاط A' و B' بسیار کمتر از آنچه که از روی منحنی تئوری انتظار می رفت، می باشد. هنگامی که از آرایش و نر استفاده می شود بسیاری از ژئوفیزیکدانان فاصلهء میان ایستگاهها را برابر فاصله الکترودی a می گیرند. منحنی های تئوری که در اینجا آورده شده برای حالتی که فاصلهء بین ایستگاهها $a/2$ یا کمتر باشد از دقت خوبی برخوردار می باشند و در اینحالت تفاوت جزئی میان منحنی صحرائی و منحنی تئوری مربوط به آن وجود خواهد داشت [۶].

اهمیت چنین تفاوت هایی زمانی بیشتر می شود که از تطبیق دو منحنی جهت تعیین شیب و امتداد گسل استفاده کنیم.

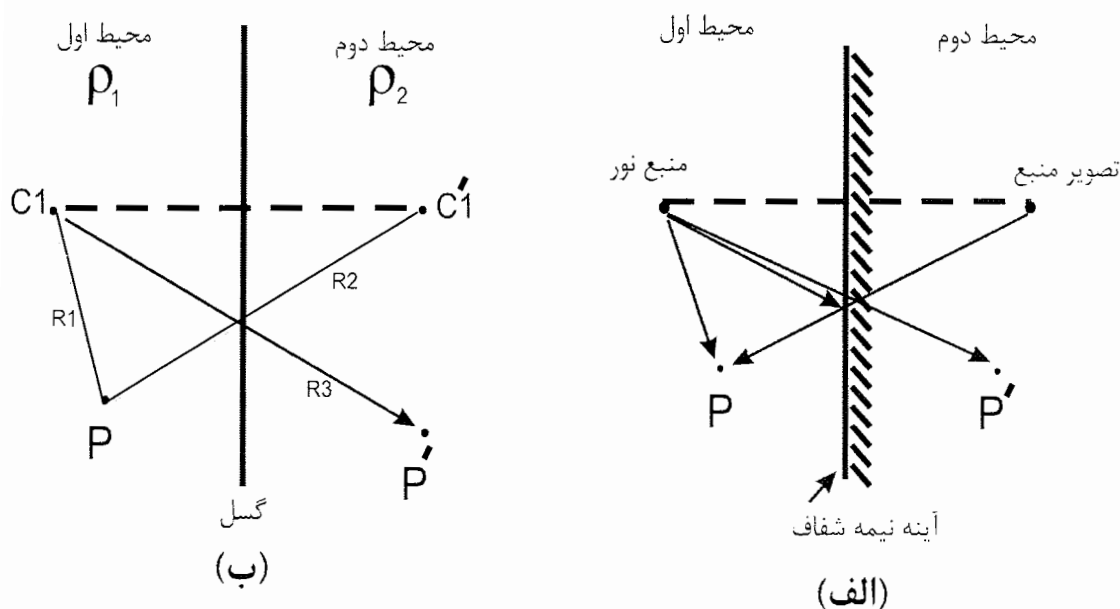


شکل ۳-۴- مقایسه میان یک منحنی صحرایی با فاصله ایستگاهی $a/2$ (خط پیوسته) و منحنی تئوری آن (خط چین) برای یک گسل قائم در روش پروفیل زنی افقی با آرایش ونر [۶].

۳-۲-۲ کاربرد نظریه تصاویر الکتریکی در حل مسائل مربوط به گسلها

ابتدایی ترین راه حل های تئوری مسائل ژئوفیزیکی با جریان مستقیم بر پایه نظریه تصاویر الکتریکی قرار دارد. اگر منبع نور نقطه ای را با منبع جریان الکتریکی و شدت نور در یک نقطه را با پتانسیل الکتریکی آن نقطه جایگزین کنیم، می توانیم نظریه تصاویر در نور را در حل مسائل الکتریکی

نیز بکاربریم (شکل ۳-۵). نظریه تصاویر را با موفقیت می توان در حل مسائل مربوط به لایه های افقی، گسلهای قائم، دایک های قائم و کره های مدفون بکار برد ولی کاربرد آن در حل مسائل مربوط به لایه ها و گسلهای شیب دار با محدودیت روبرو شده و تنها زمانی به حل کامل مسئله می انجامد که لایه کمر پایین گسل را کاملاً "هادی یا مقاوم فرض کنیم" [۶].



شکل ۳-۵ - مقایسه مسائل نوری با مسائل الکتریکی [۶].

۳-۲-۳ محاسبه منحنی های تئوری برای گسلهای قائم

گسل قائم یکی از شاخص ترین ساختارهای زمین شناسی مورد بحث می باشد که خوشبختانه به سبب شکل خاص خود از دیدگاه محاسبات ریاضی براحتی مورد مطالعه قرار می گیرند. در شکل (۳-۵ ب) مقطعی از یک گسل قائم به همراه منبع جریان C و نقطه P، در یک طرف و نقطه C' و P' در طرف دیگر دیده می شود. پتانسیل نقطه P از منبع C و تصویر آن C' تامین می شود در حالی که پتانسیل نقطه P' فقط از منبع اصلی C تامین می شود.

اگر مواد موجود در سمت چپ گسل مقاومت ویژه ρ_1 و سمت راست، مقاومت ویژه ρ_2 داشته باشند و شدت جریان در منبع جریان C برابر I باشد، پتانسیل در نقطه P و P' از روابط زیر بدست می آید [۶]:

$$V_P = \frac{I\rho_1}{4\pi} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{k}{R_2} \right) \quad (۱۶-۳)$$

$$V_{P'} = \frac{I\rho_2}{4\pi} \left(\frac{1-k}{R_3} \right) \quad (۱۷-۳)$$

که k ضریب انعکاس فصل مشترک دوحیط می باشد و مقدارش بین ۱- و ۱+ بوده و طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1+k}{1-k} \quad (۱۸-۳)$$

در روابط (۱۶-۳) و (۱۷-۳) چنانچه نقاط P و P' در روی سطح زمین قرار داشته باشند V_P و $V_{P'}$ بشکل زیر محاسبه می شوند :

$$V_P = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{k}{R_2} \right) \quad (۱۸-۳)$$

$$V_{P'} = \frac{I\rho_2}{2\pi} \left(\frac{1-k}{R_3} \right) \quad (۱۹-۳)$$

در روابط فوق چنانچه منبع جریان در طرف دیگر قرار گیرد می بایست k را در یک علامت منفی ضرب کرد. زیرا در آنصورت محیط دوم ρ_1 بوده و ρ_2 محیط اول می باشد .

حال می خواهیم توابع پتانسیل و در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری را برای روش پروفیل زنی افقی با آرایش وئر در موقعیتهای مختلف الکترودها نسبت به مرز گسل بدست آوریم .

در اینجا به بدلیل تشابه روش محاسبه، فقط به محاسبه تابع مقاومت ویژه ظاهری برای حالتی که یک گسل میان الکترودهای C_1 و P_2 قرار گرفته باشد می پردازیم .

همانطور که در شکل (۳-۶) نیز دیده می شود فاصله الکتروودی برابر a بوده و فاصله مرکز آرایش از مرکز گسل برابر X_c و پروفیل زنی از سمت چپ به راست انجام می گیرد. مقاومت ویژه مواد سمت راست گسل ρ'' و مواد سمت چپ گسل ρ' بوده و فاصله میان ایستگاهها $a/2$ می باشد. پتانسیل نقطه P_1 در نتیجه منبع C_1 و C_2 و تصویر C_1 می باشد که با کمک روابط (۳-۱۸) و (۳-۱۹) می توان نوشت :

$$V_{P_1} = \frac{\rho'' I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{a} + \frac{(-k)}{2(x_c + a)} \right) - \frac{(1-k)}{2a} \right]$$

$$V_{P_1} = \frac{\rho'' I}{2\pi} \left[\frac{1}{2a} - \frac{kx_c}{2a(x_c + a)} \right] \quad (3-20)$$

پتانسیل نقطه P_2 نیز بصورت مشابه محاسبه شده که پس از ساده کردن بصورت زیر در می آید:

$$V_{P_2} = \frac{\rho'' I}{2\pi} \left[\frac{-1}{2a} - \frac{2kx_c}{a(2x_c + a)} \right] \quad (3-21)$$

با کم کردن رابطه (۳-۲۰) از (۳-۲۱) اختلاف پتانسیل میان دو نقطه محاسبه می شود :

$$\Delta V = V_{P_2} - V_{P_1} = \frac{\rho'' I}{2\pi a} \left[1 + \frac{kx_c(2x_c + 3a)}{2(x_c + a)(2x_c + a)} \right]$$

از آنجاکه برای آرایش وئر داریم:

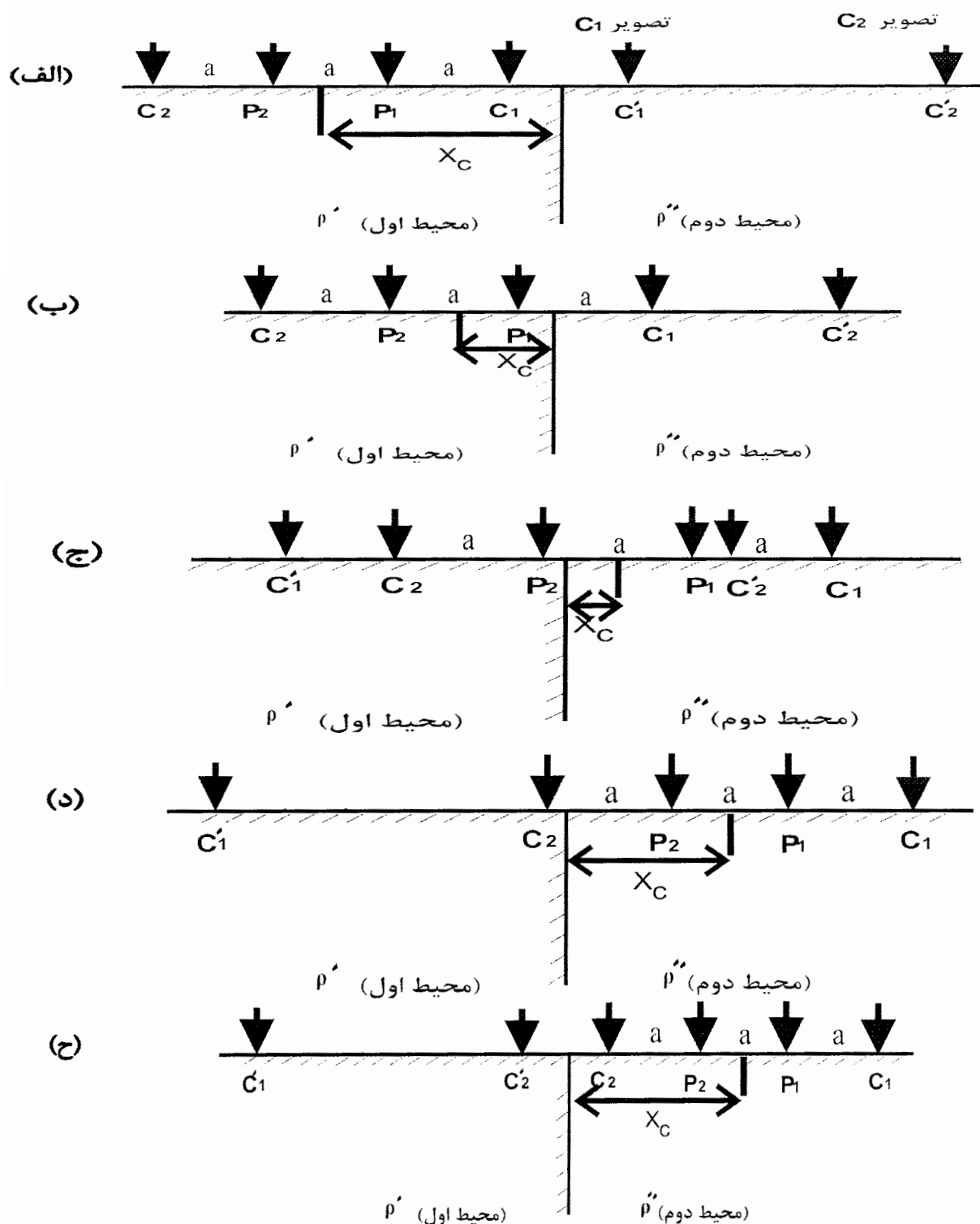
$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3-22)$$

و بادر نظر گرفتن رابطه (۳-۱۸) می توان نوشت:

$$\frac{\rho_a}{\rho'} = \frac{1-k}{1+k} \left[1 + \frac{kx_c(2x_c + 3a)}{2(x_c + a)(2x_c + a)} \right] \quad \frac{3a}{2} > x_c > \frac{a}{2} \quad (3-23)$$

به همین ترتیب برای حالت های مختلف می توان V_{P_2} و سپس نسبت ρ_a/ρ' را محاسبه نمود . با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای k می توان نسبت ρ_a/ρ' را برحسب نسبت X_c/a (در پروفیل زنی

افقی) و یا نسبت a/X_c (در روش سونداژ الکتریکی) رسم کرد و به منحنی های تئوری گسل قائم در روشهای پروفیل زنی افقی و سونداژ الکتریکی به ازای مقادیر مختلف k دست یافت [۶].



شکل ۳-۶- نمایش الکتروودها در عبور از روی مرز گسل قائم در پروفیل زنی افقی [۶].

بنابراین با داشتن محل این پیک بر روی محور افقی می توان گفت که محل گسل در فاصله $3a/2$ از این نقطه و در سمت راست آن قرار دارد که در آن a فاصله الکترودی در آرایش ونر می باشد. نا پیوستگی مربوط به عبور الکترو p_1 از روی مرز در فاصله افقی $1/2 - a$ از مبدأ قرار دارد. بنابراین :

$$x/a = -1/2$$

$$x = -a/2$$

در نتیجه:

بنابراین با تشخیص این پیک بر روی منحنی پروفیل زنی افقی می توان گفت که محل گسل در فاصله $a/2$ از این نقطه و در سمت راست آن قرار دارد. بطریق مشابه برای عبور الکترو p_2 از روی مرز داریم:

$$x/a = 1/2$$

$$x = a/2$$

در نتیجه:

و برای عبور الکترو C_2 :

$$x/a = 3/2$$

$$x = 3a/2$$

که داریم:

بنابراین با تشخیص هر یک از این نا پیوستگی ها و تعیین موقعیت دقیق آن می توان محل گسل را در روی سطح زمین تعیین کرد.

از روی شکل می توان دید که برجسته ترین نقاط روی منحنی، نا پیوستگی های مربوط به عبور الکترو p_1 و الکترو p_2 از روی مرز می باشند که حتی در مواردی که k مقدار کوچکی دارد بازهم بر روی منحنی پروفیل زنی افقی مقاومت ویژه بخوبی قابل تشخیص می باشند.

نا پیوستگی مربوط به عبور الکتروهای C_1 و C_2 در مواردی که مقدار k ی دو محیط کوچک باشد ممکن است براحتی بر روی منحنی پروفیل زنی افقی مشخص نبوده و تعیین دقیق موقعیت این نقاط امکان پذیر نباشد. بنابراین در تعیین محل گسل بر روی سطح زمین بایستی از نقاط ناپیوستگی

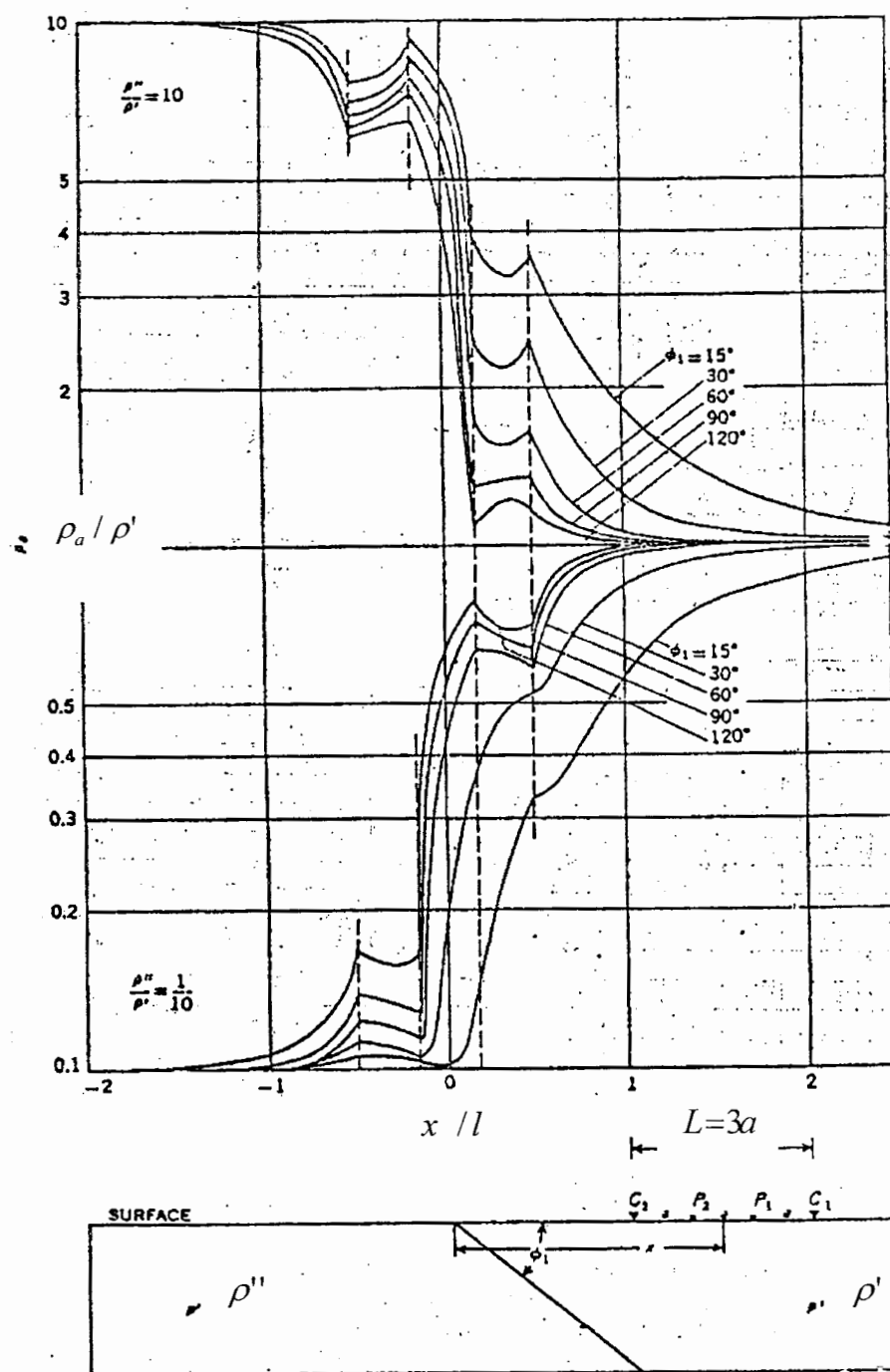
مربوط به عبور الکترودهای p_1 و p_2 استفاده نمود تا در تعیین محل گسل با خطای کمتری مواجه شویم.

۳-۲-۵ شکل منحنی تئوری پروفیل زنی برای گسل شیبدار

شکل ۳-۸ منحنی های پروفیل زنی افقی را برای شیبهای مختلف φ_1 در دو حالت $p''/p' = 10$ و $p''/p' = 1/10$ نشان می دهد. در اینجا مقادیر p_a/p' برحسب x/L رسم شده اند که L فاصله میان الکترودهای C_1 و C_2 بوده و برابر $2a$ می باشد. امتداد پروفیل زنی از چپ به راست و عمود بر امتداد گسل می باشد و زاویه شیب φ_1 از سمت راست (سمت پیشروی پروفیل زنی) سنجیده شده است. در حالتی که $p''/p' = 10$ است (منحنی های نیمه بالایی شکل) منحنی ها روندی نزولی داشته و به $p_a = p'$ ختم می شود. با افزایش شیب از 15° به 120° کاهش مقدار مقاومت ویژه ظاهری را در نقطه نا پیوستگی مربوط به عبور الکترودهای C_2 داریم. یک تفاوت مهم دیگر در شکل منحنی ها قسمت مابین نا پیوستگی های مربوط به عبور الکترودهای p_2 و C_2 برای شیبهای مختلف می باشد. همانطور که در شکل نیز دیده می شود برای $90^\circ < \varphi_1$ جهت تحدب این قسمت منحنی ها به سمت پایین می باشد. برای $\varphi_1 = 90^\circ$ به خط صاف تبدیل شده و برای $90^\circ > \varphi_1$ جهت تحدب منحنی بسمت بالا تغییر کرده است. بنابراین از این نکته می توان در تعیین جهت شیب گسل استفاده کرد البته بشرطی که فاصله ایستگاهها به اندازه کافی بهم نزدیک باشد [۶].

منحنی های قسمت پایین شکل برای حالتی است که $p''/p' = 1/10$ باشد. منحنی ها روندی صعودی داشته و از $p_a = p''$ شروع شده به $p_a = p'$ ختم می شوند. در این حالت برای تغییرات شیب، عکس حالت بالا را خواهیم داشت یعنی در صورتی که منحنی روندی صعودی داشته باشد، جهت تحدب منحنی بین نا پیوستگی مربوط به الکترودهای C_2 و P_2 برای $90^\circ < \varphi_1$ بسمت بالا و برای $90^\circ > \varphi_1$ بسمت پایین می باشد.

بنابراین با در نظر گرفتن شکل منحنی صحرائی می توان به تغییرات مقاومت ویژه در دو طرف صفحه گسل پی برد و سپس با مقایسه آن با منحنی تئوری مناسب مربوطه می توان شیب و جهت شیب گسل را تعیین نمود.



شکل ۳-۸- شکل منحنی های تئوری مقاومت ویژه الکتریکی به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش وئر برای گسل مایل. امتداد خط پیمایش عمود بر امتداد فصل مشترک دو لایه با اختلاف مقاومت ویژه محدود ($\frac{\rho''}{\rho'} = 10$ و $\frac{\rho''}{\rho'} = \frac{1}{10}$) می باشد و زاویه شیب ϕ_1 متغیر در نظر گرفته شده است [۶].

۳-۲-۶ شکل منحنی پروفیل زنی با آرایش لی برای یک گسل با شیب $\phi_1 = 45^\circ$

در شکل ۳-۹ شکل منحنی پروفیل زنی افقی با آرایش لی چپ و راست و در زیر آن منحنی پروفیل زنی افقی با آرایش وئر برای یک گسل شیبدار آورده شده است.

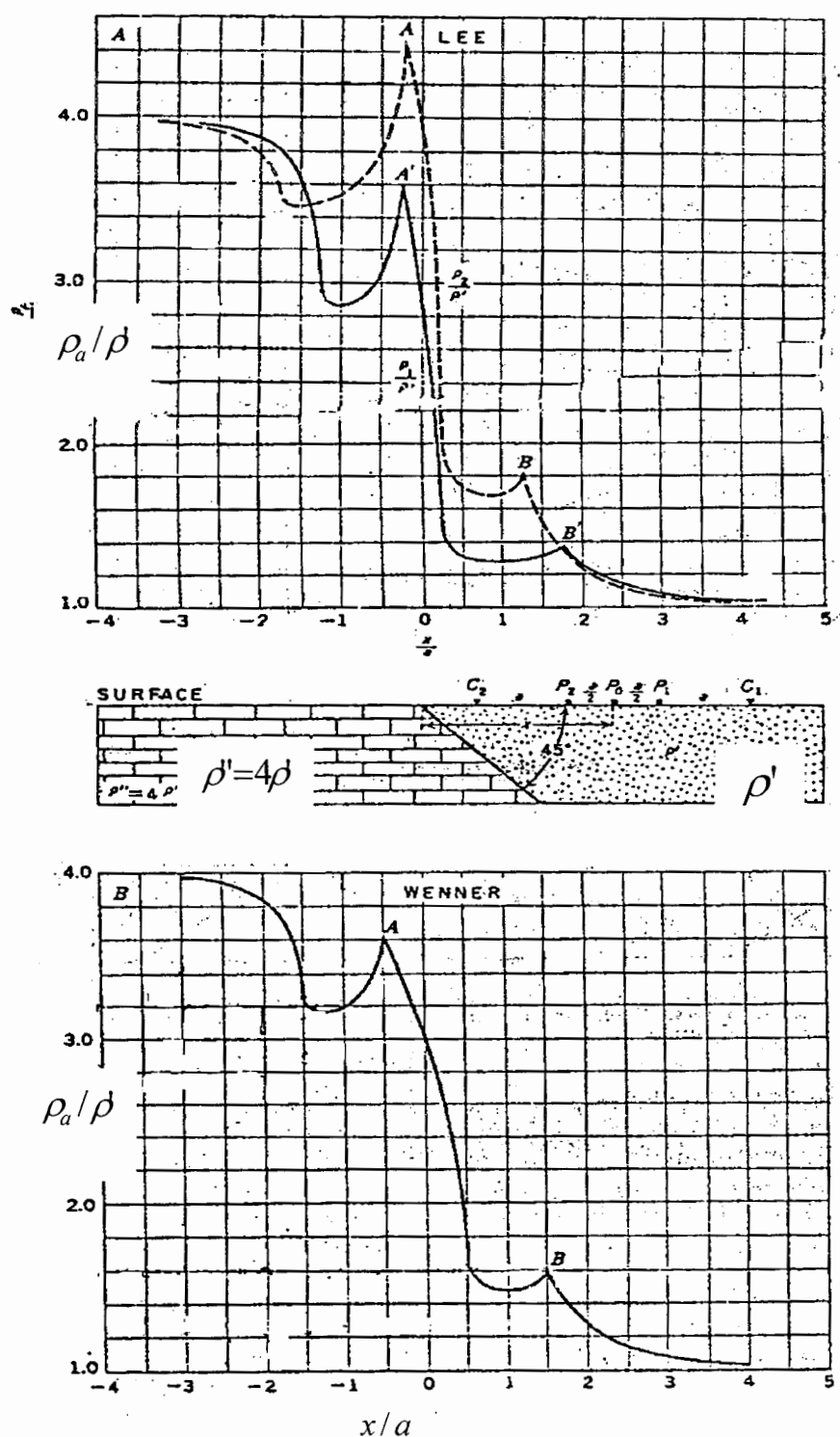
مقاومت ویژهء محدودهء سمت چپ p'' و مقاومت ویژهء محدودهء سمت راست p' می باشد و مقدار ضریب انعکاس فصل مشترک دو محیط $k = 0.6$ می باشد. جهت شیب بسمت راست بوده و جهت پروفیل زنی از چپ به راست و عمود بر امتداد گسل می باشد.

عمده تفاوت اصلی میان منحنی های لی چپ و راست در نقطه شروع منحنی ها می باشد.

در منحنی های لی راست پس از عبور الکترو د p_1 از روی مرز پیک A' بر روی نمودار ظاهری می شود. این پیک در فاصلهء $a/4$ از مرز گسل قرار دارد. (بدلیل اینکه فاصله $p_1 p$ برابر $a/2$ می باشد و مقدار بدست آمده به وسط $p_1 p$ نسبت داده می شود). در مورد لی چپ نیز همین پیک بنام A پس از عبور الکترو د p از روی مرز در فاصلهء $a/4$ از مرز گسل ظاهر خواهد شد. موقعیت بقیه پیکهای مربوط به منحنی های لی راست وچپ با یکدیگر هماهنگی ندارد [۹].

تفاوت دیگری که میان منحنی های لی راست وچپ در گسل قائم وشیبدار وجود دارد مربوط به مقاومت زیاد پیک A در منحنی لی چپ نسبت به پیک A' در منحنی لی راست است و دیگر اینکه در گسل قائم نقاط A و B نسبت به محل گسل متقارن می باشند ولی در گسل شیبدار اینطور نیست. بصورت مشابه مقدار مقاومت ویژه در پیک B نیز قدری بیشتر از مقدار مقاومت ویژه در پیک B' می باشد. پیک B در فاصله $a/2.5$ و پیک B' در فاصله $a/1.75$ از مرز گسل قرار دارند. این پیکها در نتیجه عبور الکترو د C از روی مرز حاصل شده اند.

در روی منحنی مربوط به آرایش وئر پیک A در فاصله $a/2$ و پیک B در فاصله $3a/2$ از گسل قرار دارند. علت انحراف پیکهای لی چپ وراست در مقایسه با پیکهای آرایش وئر این است که در منحنی های لی چپ وراست مقدار p اندازه گیری شده به ترتیب به وسط P_0 و P_1 و P_2 نسبت داده می شود ولی در آرایش وئر مقدار p اندازه گیری شده به وسط p_1 و p_2 نسبت داده می شود [۶].



شکل ۳-۹- منحنی های تئوری مقاومت ویژه به روش پروفیل زنی افقی و با آرایش لی (شکل A، منحنی خط چین لی چپ و منحنی خط پیوسته لی راست.) و ونر (شکل B). امتداد پروفیل عمود بر امتداد گسل با شیب $\varphi_1 = 45^\circ$ می باشد. ($K = 0.6$) [۶].

۳-۲-۷ کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف دایکها

چنانچه گسلها ضخامت قابل توجهی داشته باشند، بر روی منحنی های پروفیل زنی شبیه دایک عمل می کنند، لذا بررسی منحنی های تئوری دایکها جهت اکتشاف اینگونه گسلها مفید می باشد. در شکل ۳-۱۰ منحنی تئوری مربوط به یک دایک به ضخامت $2a$ برای آرایش لی و در شکل ۳-۱۱ منحنی مربوطه برای آرایش وئر نمایش داده شده است.

برای آرایش وئر با کمتر شدن مقدار k پیک ها به سمت مرکز دایک متمایل می شوند. دو پیک کوچک اما مهم نیز در دو طرف پیک های بزرگ و به فاصله $1.5a$ از دو لبه دایک قرار دارد که فاصله آنها از یکدیگر برابر عرض دایک بعلاوه مقدار $3a$ می باشد. بدون در نظر گرفتن این دو پیک ممکن است یک دایک به صورت دو دایک مجزا تفسیر شود [۹].

برای مقادیر منفی ضریب انعکاس k منحنی های پروفیل زنی افقی مقاومت ویژه با آرایش لی و وئر مربوط به یک دایک با ضخامت $2a$ کاهش ناگهانی مقاومت ویژه را بر روی دایک و دو ماکزیمم را در طرفین آن نشان می دهد (شکل های ۳-۱۰ و ۳-۱۱).

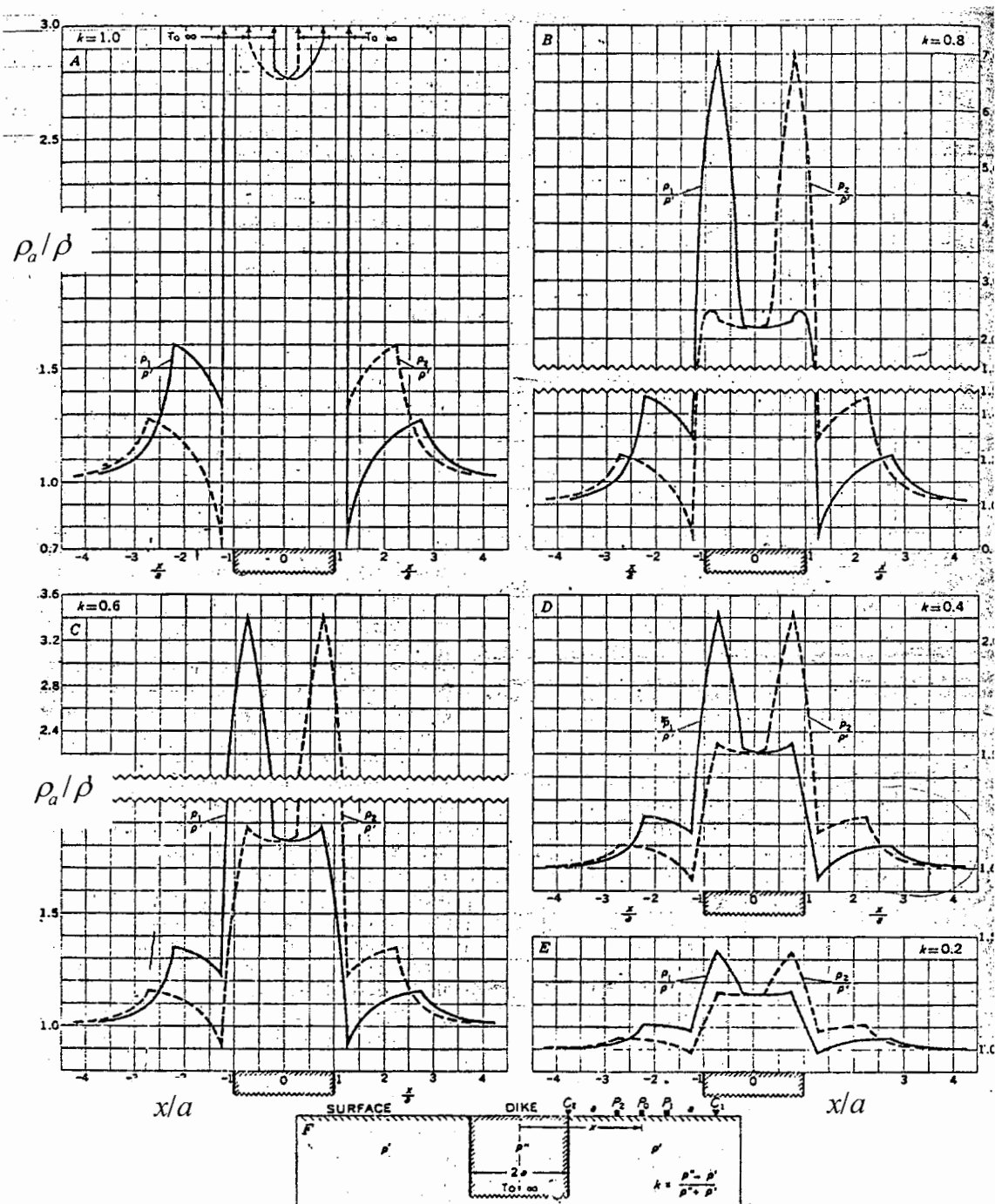
آنچه که در مورد منحنی های پروفیل زنی مقاومت ویژه با آرایش لی قابل توجه است این است که مقدار مقاومت ویژه بر روی منحنی ها به بیشتر از یک واحد افزایش می یابد حتی در صورتی که بیشترین مقدار مقاومت ویژه در دو محیط برابر یک واحد باشد (شکل ۳-۶). ولی در مورد منحنی های آرایش وئر چنین چیزی مشاهده نمی شود [۹].

رفتار منحنی های آرایش های لی و وئر در نزدیک لبه های دایک شبیه به رفتاریست که این منحنی ها در نزدیک یک گسل قائم نشان می دهد ولی مقدار مقاومت ویژه در پیک ها مربوط به یک دایک با گسل تفاوت دارد که آنهم بدلیل تاثیر سنگ همبر در کنار دایک می باشد.

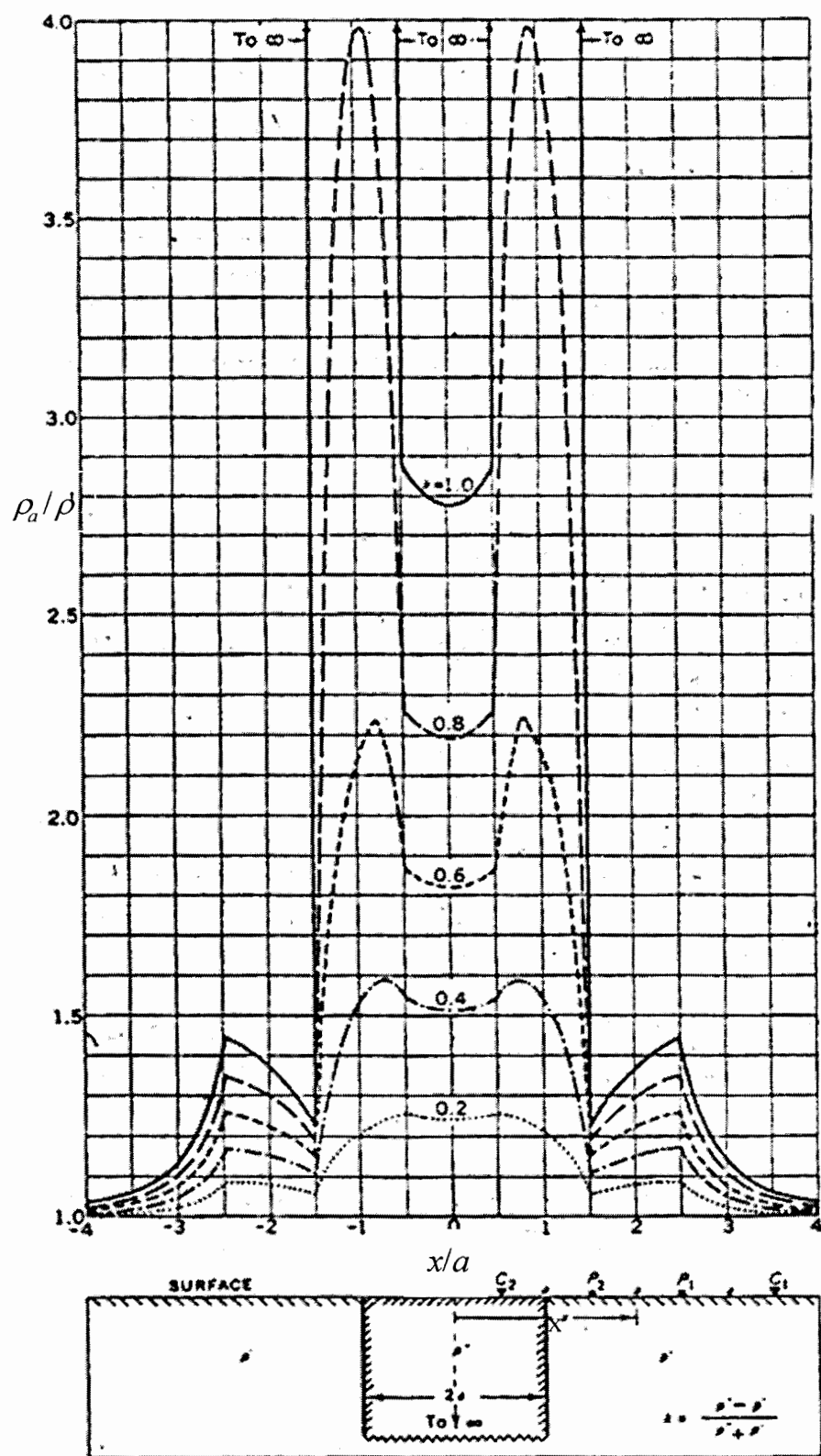
برای منحنی های پیوسته با مقدار k ی مثبت فاصله افقی میان دو مینیمم در آرایش لی برابر عرض دایک به علاوه $a/2$ می باشد این دو مینیمم به فاصله $a/4$ از لبه ها و بسمت خارج از دایک دیده می شوند. منحنی های آرایش وئر نیز یک افزایش ناگهانی مقاومت ویژه بر روی دایک نشان می دهند و دو ماکزیمم نیز به فاصله $1.5a$ از لبه ها دیده می شود [۶].

بایستی تاکید کرد که برای داده های صحرایی که اندازه گیری ها در فواصل مجزا و ناپیوسته از یکدیگر انجام می شود تخمین عرض دایک از مطالب گفته شده ممکن است با واقعیت همخوانی

نداشته باشد و بنابراین در تفسیر منحنی ها بایستی همیشه فاصله میان ایستگاه ها را در مقایسه با فاصله الکترودی مد نظر قرار داد



شکل ۳-۱۰ - منحنی های پروفیل زنی افقی مقاومت ویژه با آرایش لی بر روی یک دایک به ضخامت $2a$.
 $[6] (k=1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2)$



شکل ۳-۱۱- شکل منحنی های پروفیل زنی افقی مقاومت ویژه با آرایش ونر بر روی یک دایک به ضخامت ۲a.

$$[k] (k = 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2).$$

فصل چهارم : اندازه گیری و تفسیر کیفی داده ها

۴-۱ تفسیر کیفی داده های صحرایی

هدف از تفسیر داده های سونداژ الکتریکی، بدست آوردن یک تصویر یا مدل ژئوالکتریکی قابل قبول و منطقی است که با نتایج مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی^۱ مطابقت داشته باشد. در ابتدا لازم است برای بدست آوردن یک تصویر عمومی از منطقه، تفسیر به صورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری و مقاطع ظاهری مورد ارزیابی قرار می گیرند. برای بدست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید بصورت کمی انجام گیرد. در تفسیر کمی از داده های خام (مقاومت ویژه های ظاهری)، یک سری از پارامترهای فیزیکی مانند مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه ها، معین می شوند. برای کامل تر کردن تفسیر، باید نتایج حاصله را با سایر داده های حاصل از زمین شناسی و یا اطلاعات بدست آمده از حفاری چاه ها، گمانه ها و پیرومترهای مناطق اطراف تلفیق نمود. تفسیر کیفی داده های مقاومت ویژه در ادامه این فصل و تفسیر کمی داده های مقاومت ویژه منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل سازی معکوس یک بعدی و دو بعدی در فصل پنج ارائه می شوند.

۴-۲ اندازه گیری داده ها

بمنظور اکتشاف گسل پنهان شمال مشهد و تعیین سطح آب زیر زمینی در شهر مشهد، مجموعاً تعداد ۶۶ سونداژ الکتریکی مقاومت ویژه با آرایش شلومبرگر (در ۶۳ نقطه) و ۴ پروفیل مقاومت ویژه با آرایشهای لی و ونر برداشت گردید. برداشت داده های مقاومت ویژه در سطح شهر با توجه به عواملی چون کمبود فضای کار و رعایت فاصله تا دکل های فشار قوی و ... با محدودیت های بسیاری مواجه بود. سرانجام اندازه گیری ها در ۱۲ محل مناسب انجام گرفت که نتایج آن در هر منطقه به تفکیک ارائه می شود. بدلیل فاصله نزدیک برخی سونداژ از یکدیگر و وسعت کل محدوده برداشت داده ها، امکان نمایش نقاط برداشت در نقشه توپوگرافی مسیر نبوده و لذا محل برداشت داده ها

^۱-Hydrogeology

در مناطق مختلف، در تصویر ماهواره ای نمایش داده شده است. موقعیت جغرافیایی محل سونداژها و نقطه ابتدا و انتهای پروفیلها بترتیب در جداول ۴-۱ و ۴-۲ ارائه شده است. داده های اندازه گیری شده برای تمامی سونداژها و پروفیلها بترتیب در پیوستهای الف و ب ارائه شده است.

جدول ۴-۱- موقعیت جغرافیایی محل سونداژها در شهر مشهد.

ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	شماره سونداژ	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	شماره سونداژ
1003	4027580	732640	S ₃₃	955	4024129	737107	S ₁
987	4026176	735182	S ₃₄	955	4024047	737371	S ₂
987	4026172	735106	S ₃₅	955	4023983	737317	S ₃
987	4026435	734802	S ₃₆	956	4023851	736984	S ₄
1009	4027041	730523	S ₃₇	957	4023772	736960	S ₅
1009	4027132	730606	S ₃₈	957	4023673	736941	S ₆
1010	4027218	730611	S ₃₉	959	4023565	736921	S ₇
1010	4027305	730485	S ₄₀	971	4024144	736045	S ₈
1011	4027409	730502	S ₄₁	961	4023956	736528	S ₉
1074	4024843	724459	S ₄₂	965	4023028	737169	S ₁₀
1074	4024944	724366	S ₄₃	955	4023825	737278	S ₁₁
1024	4023575	730653	S ₄₄	955	4023798	737236	S ₁₂
1024	4023780	730572	S ₄₅	956	4023777	737193	S ₁₃
1024	4023954	730487	S ₄₆	956	4023755	737148	S ₁₄
1025	4024094	731180	S ₄₇	958	4023741	737082	S ₁₅
1050	4021405	729378	S ₄₈	959	4023713	737033	S ₁₆
1044	4021571	729594	S ₄₉	941	4020689	739495	S ₁₇
1040	4021788	729766	S ₅₀	938	4020802	739675	S ₁₈
1035	4022073	729929	S ₅₁	935	4020878	739824	S ₁₉
1031	4022222	730116	S ₅₂	932	4020993	740035	S ₂₀
1024	4022514	730336	S ₅₃	930	4021076	740199	S ₂₁
1019	4022784	730537	S ₅₄	957	4018628	739310	S ₂₂
1015	4023153	730879	S ₅₅	952	4018499	740557	S ₂₃
1011	4023551	731168	S ₅₆	950	4018739	740651	S ₂₄
1098	4019614	727046	S ₅₇	948	4019248	741459	S ₂₅
1100	4019356	727053	S ₅₈	1001	4025277	732917	S ₂₆
1102	4019114	726610	S ₅₉	1000	4026116	733002	S ₂₇
1103	4019048	726432	S ₆₀	998	4026624	733027	S ₂₈
1103	4017645	728131	S ₆₁	997	4027241	731341	S ₂₉
1102	4017748	728175	S ₆₂	994	4028069	734149	S ₃₀
1101	4017854	728231	S ₆₃	1002	4027773	732535	S ₃₁
				1002	4027743	732720	S ₃₂

جدول ۴-۲- مشخصات جغرافیایی نقاط ابتدا و انتهای پروفیل‌های AA',BB',CC',DD' .

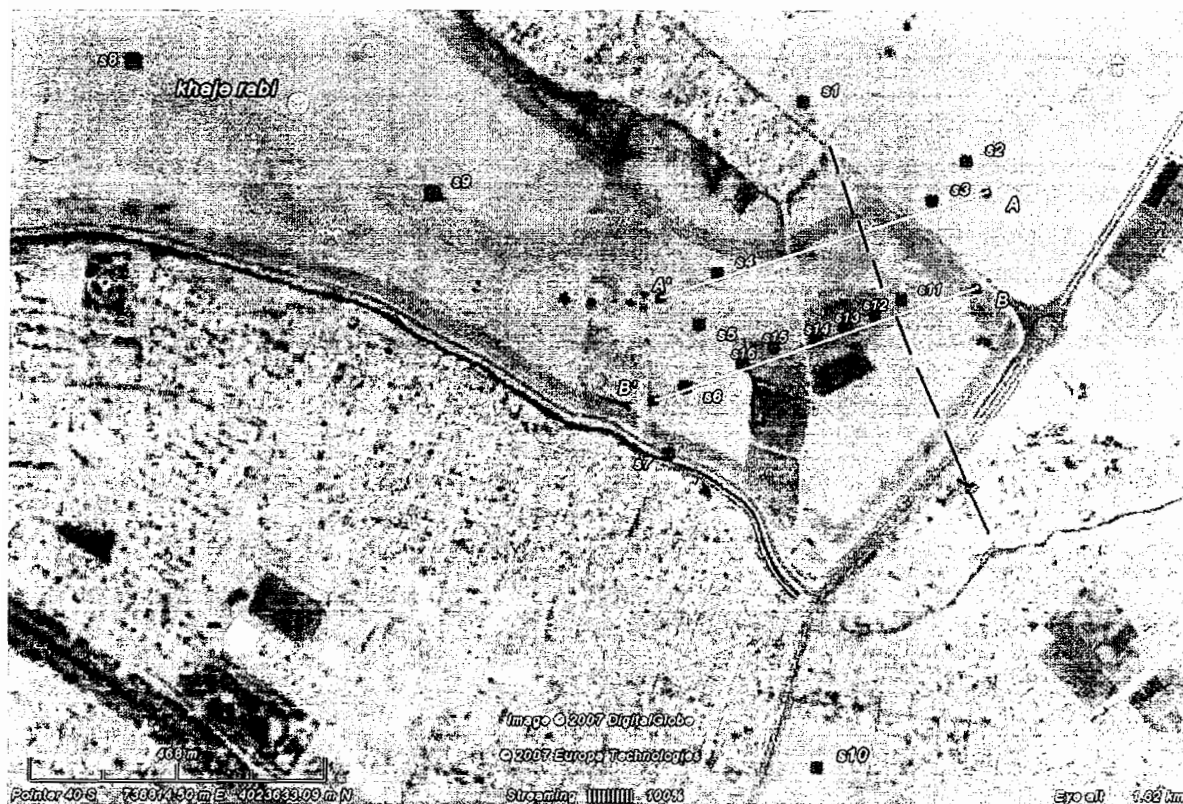
نام پروفیل	آزیموت	نقاط ابتدا و انتها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
AA'	AZ=240°	A	737399	4023997
		A'	736896	4023809
BB'	AZ=240°	B	737395	4023846
		B'	736892	4023646
CC'	AZ=50°	C	739482	4020710
		C'	740185	4021101
DD'	AZ=60°	D	741949	4017285
		D'	742639	4017607

۴-۳ منطقه خواجه ربیع

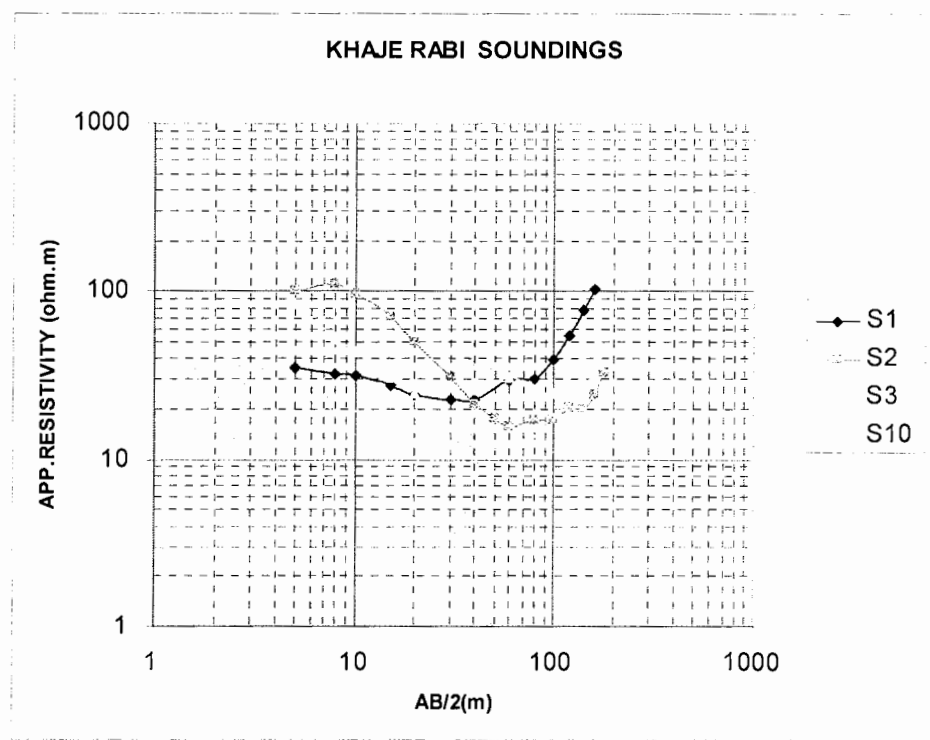
در منطقه خواجه ربیع بدلیل اهمیت بیشتر و مشاهده بالا آمده گی زمین در آن محل، تعداد ۱۶ سونداژ الکتریکی و دوپروفیل مقاومت ویژه برداشت شد. شکل ۴-۱ موقعیت محل برداشت داده ها را در این منطقه نشان می دهد .

ابتدا بمنظور بررسی تغییرات عمق سنگ کف، سونداژهای S_3, S_2, S_1 در بالای جاده شهرک سیمان برداشت شدند. امتداد گسترش الکترودی در این سونداژها بموازات جاده یعنی شمال غربی- جنوب شرقی می باشد. سونداژ S_{10} نیز در یک زمین خالی در پایین دست رودخانه ای که تغییر مسیر داده، انجام گرفت. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این چهار سونداژ در یک دستگاه مختصات برحسب نصف فاصله الکتروود های جریان ($AB/2$) در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نیز می توان دید، تمامی سونداژها بجز سونداژ S_1 روند تقریباً مشابهی را نشان می دهند. سونداژ S_1 از مقدار $AB/2$ برابر ۴۰ متر افزایش چشمگیری نشان می دهد که این می تواند بدلیل نزدیکی بیشتر سونداژ S_1 به محل گسل باشد .

سونداژهای $S_9, S_8, S_7, S_6, S_5, S_4$ با گسترش الکتروودی شرقی - غربی با هدف مشخص کردن محدوده عبور گسل در منطقه، برداشت شدند. در سونداژهای S_9, S_8, S_6 علاوه بر برداشت با گسترش الکتروودی شرقی - غربی (سونداژهای S_{9E}, S_{8E}, S_{6E})، برداشت با گسترش الکتروودی شمالی- جنوبی نیز انجام گرفت (سونداژهای S_{9N}, S_{8N}, S_{6N}). هدف از این کار مقایسه دو سونداژ عمود بر هم در یک



شکل ۴-۱- موقعیت محل برداشت سونداژها و پروفیلها در منطقه خواجه ربیع. خط چین مشکی امتداد مرز بالا و پایین افتادگی زمین را در نزدیکی محل برداشت داده ها نشان می دهد.



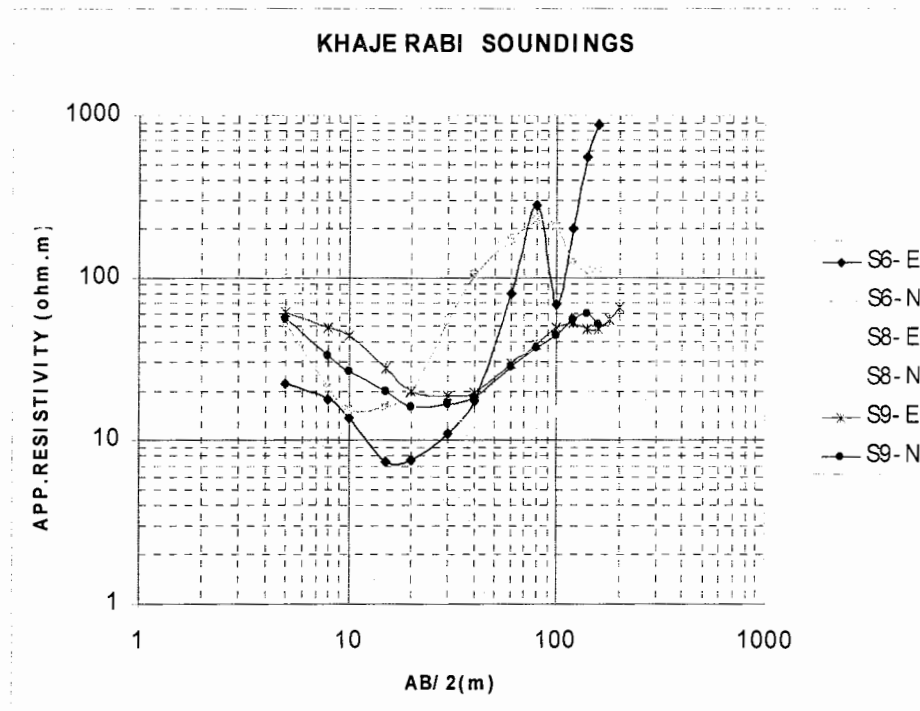
شکل ۴-۲- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_1 , S_2 , S_3 و S_{10} .

منطقه بود، که در صورت تفاوت این دو می توان به تغییرات جانبی (گسل خوردگی) در محل سونداژ پی برد. فاصله سونداژهای S_7, S_6, S_5, S_4 از یکدیگر برابر 50 m می باشد. منحنی سونداژهای S_9, S_8, S_6 بمنظور مقایسه بهتر با یکدیگر در یک شکل آورده شده است. همانطور که در شکل ۳-۴ مشاهده می شود، سونداژهای S_{AE}, S_{AN} کاملاً مشابه یکدیگر بوده و بنابراین می توان نتیجه گرفت که در اطراف محل سونداژ S_8 تغییرات جانبی وجود ندارد.

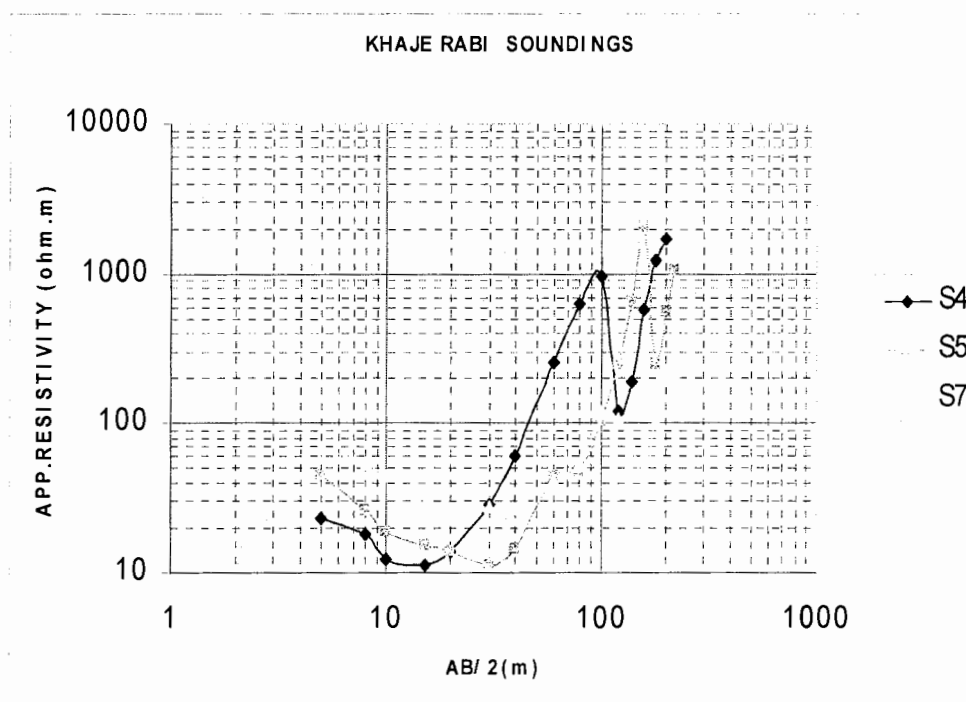
در سونداژ S_{AE} نیز نمی توان تفاوت آشکاری با منحنی سونداژ S_{9N} مشاهده نمود. منحنی ها هردو روند افزایشی آرامی را دنبال می کنند.

در محل سونداژ ششم، S_{6N} با S_{6E} تفاوت کاملاً چشمگیری را نشان می دهند. بعبارت دیگر سونداژ S_{6E} که با گسترش الکترودی شرقی - غربی انجام گرفته است، یک افزایش ناگهانی در $AB/2=80\text{ m}$ نشان می دهد. در حالی که منحنی S_{6N} روندی معمولی را دنبال می کند. تفاوت این دو سونداژ بیان کننده وجود تغییرات جانبی در محیط اطراف است. سونداژهای S_7, S_5, S_4 هم که در بالا و پایین سونداژ ششم با گسترش الکترودی شرقی - غربی انجام شده اند، این مطلب را تأیید می کنند. (شکل ۴-۴) سونداژ S_4 یک کاهش ناگهانی در $AB/2=120\text{ m}$ و سونداژ S_5 یک کاهش ناگهانی در $AB/2=180\text{ m}$ نشان می دهد. تفاوت دیگر این سونداژها با سونداژهای دیگر بالا بودن غیرعادی مقادیر مقاومت ویژه ظاهری قبل از این افت می باشد. در سونداژهایی که کاهش یا افزایش ناگهانی روی نداده و منحنی حالت آرامی دارد، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری تا حداکثر 200 اهم متر افزایش یافته اند، درحالی که در سونداژهای S_5, S_4 مقادیر مقاومت ویژه ظاهری تا 1000 اهم متر افزایش نشان می دهند. تمامی این نتایج نشان دهنده وجود یک زون با مقاومت ویژه بالا و عبور گسل از سمت راست (شرق) محل سونداژهای S_6, S_5, S_4 است.

بنابراین بمنظور بدست آوردن اطلاعات بیشتر از تغییرات عمقی مقاومت خاک و همچنین یک مقطع قائم از گسل، سونداژهای S_{11} تا S_{16} با فاصله های 50 متری از یکدیگر و در امتداد عمود بر امتداد فرضی گسل، (شمال شرقی - جنوب غربی) و با گسترش الکترودی بموازات گسل (شمال غربی - جنوب شرقی) در منطقه انجام گرفتند. منحنی های مربوط به این سونداژها در شکل ۴-۵ ارائه شده است. همانگونه که در شکل نیز می توان دید تمامی سونداژها بجز سونداژ S_{11} روند مشابهی را دنبال می کنند.



شکل ۴-۳- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{6E} , S_{6N} , S_{8E} , S_{8N} , S_{9E} , S_{9N} .



شکل ۴-۴- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_4 , S_5 , S_7 .

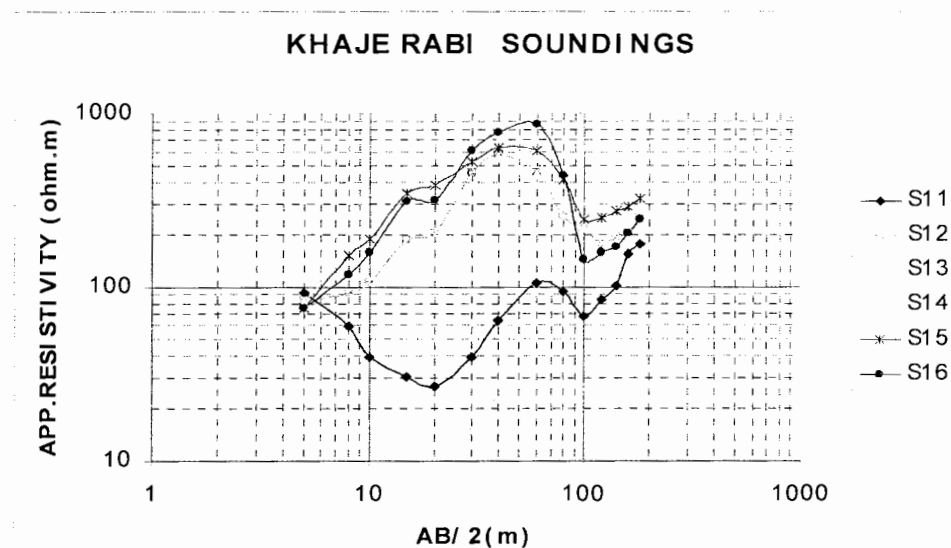
سونداژهای S_{12} تا S_{16} از فاصله الکترودی $AB/2=30\text{ m}$ افزایش چشمگیری را نشان می دهند. که این افزایش تا $AB/2=60\text{ m}$ ادامه دارد. سونداژ S_{11} از ابتدا با روندی نزولی آغاز شده و از $AB/2=30$ متر به بعد روند مشابه سایر سونداژها را دنبال می کند. جنس مواد قرار گرفته در زیر سونداژهای S_{12} تا S_{16} با توجه به مقادیر بالای مقاومت ویژه ها می تواند سنگ مارن باشد که در عمق کم قرار گرفته است، و در محل سونداژ S_{11} سنگ کف مارنی در عمق پایین تری وجود دارد.

در شکل ۴-۶ شبه مقطع سونداژهای S_{11} تا S_{16} که بوسیله نرم افزار Surfer تهیه شده، آورده شده است. برای عمق ظاهری مقادیر $AB/2$ در نظر گرفته شده اند.

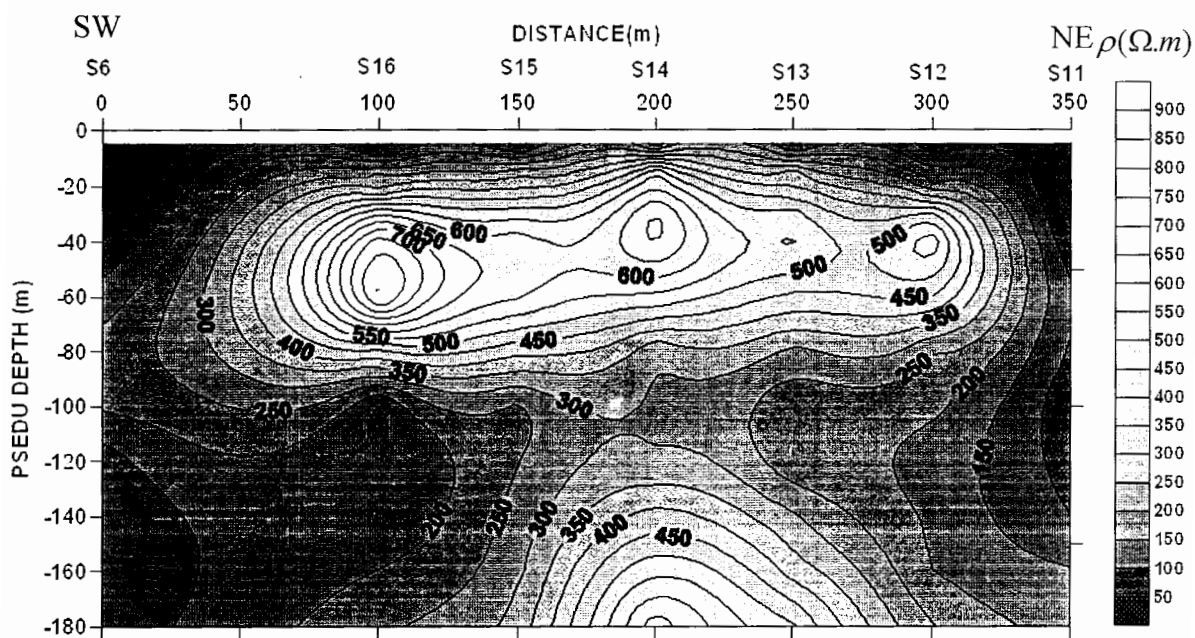
در شکل ۴-۶ نیز می توان یک ناحیه با مقاومت بالا بین سونداژهای S_{12} تا S_{16} مشاهده نمود. بنابر این بایستی یک گسل در بین سونداژهای S_{11} و S_{12} و همچنین S_{16} و S_{17} عمل کرده باشد که باعث شده سنگ کف مارنی در بین سونداژهای S_{12} تا S_{16} بالاتر قرار گیرد. البته تغییرات مقاومت ویژه بین سونداژهای S_{11} و S_{12} شدیدتر از تغییرات مقاومت ویژه بین سونداژهای S_{16} و S_{17} می باشد. بنابراین مرز اصلی گسل بایستی بین S_{11} و S_{12} باشد.

۴-۳-۱ تفسیر پروفیل $A A'$

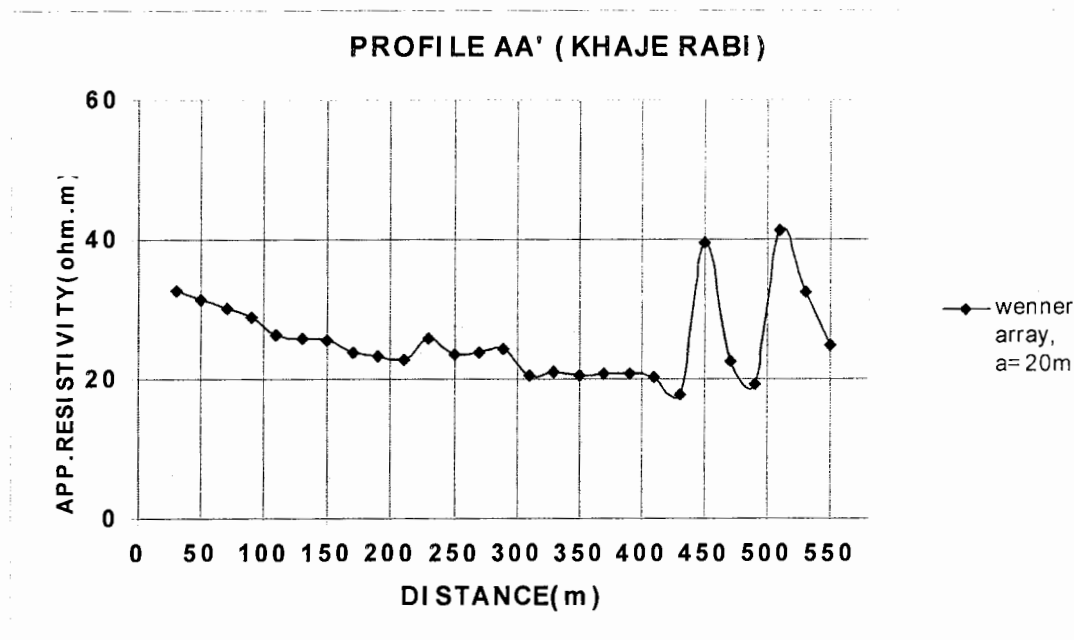
پروفیل $A A'$ با فاصله الکترودی $a=20\text{ m}$ و جابجایی $d=20\text{ m}$ با روند شمال شرق به جنوب غرب در منطقه خواجه ربیع برداشت گردید. مشخصات جغرافیایی نقطه ابتدا و انتهای پروفیل در جدول ۴-۲ و داده های مربوط به این پروفیل و سایر پروفیلها، در پیوست ب ارائه شده است. در شکل ۴-۷ منحنی این پروفیل با آرایش ورن نشان داده شده است. همانگونه که در منحنی پروفیل مربوطه نیز می توان دید، با فاصله الکترودی $a=20\text{ m}$ تغییرات قابل ملاحظه ای در مقادیر مقاومت ویژه ظاهری مشاهده نمی شود و فقط در نقاط انتهای پروفیل دوپیک کوچک دیده می شود که بایستی احتمالا ناشی از تغییرات مقاومت ویژه سطحی باشد.



شکل ۴-۵- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{11} تا S_{16} .



شکل ۴-۶- شبه مقطع قائم مقاومت ویژه سونداژهای S_{11} تا S_{16} در منطقه خواجه ربیع.



شکل ۴-۷- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل AA' درخواجه ربیع.

۴-۳-۲ تفسیر پروفیل BB'

پروفیل BB' با هدف تعیین محل دقیق گسل با آرایشهای ونرو لی، بافاصله الکترودی $a = 5.0m$ و جابجایی $d = 10m$ بموازات پروفیل AA' برداشت گردید. منحنی تغییرات مقاومت ویژه این پروفیل برای آرایش ونرو لی به ترتیب در اشکال ۴-۸ و ۴-۹ نشان داده شده است.

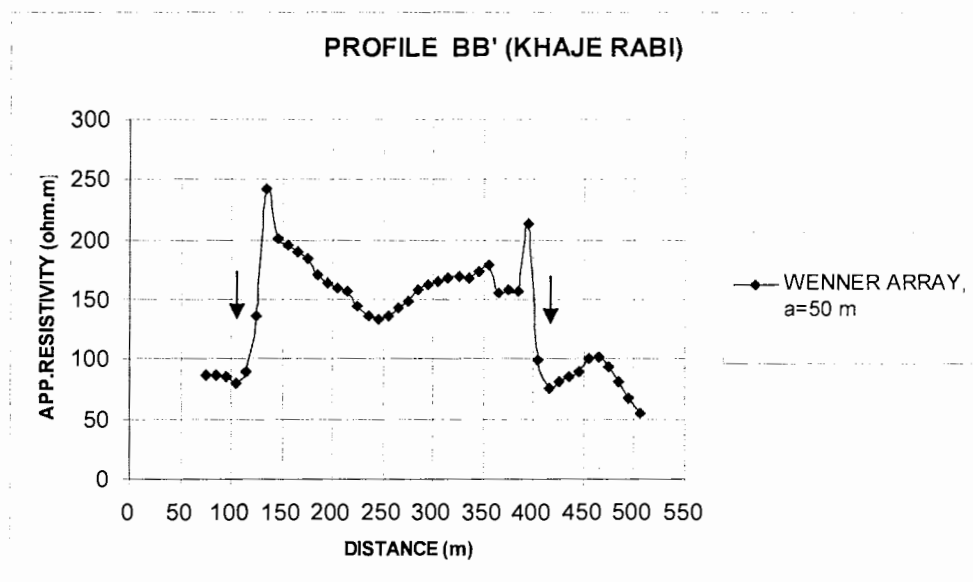
در شکل ۴-۸، منحنی دوافزایش ناگهانی در فاصله های $D=135$ و $D=395$ متری از نقطه B نشان می دهد. شکل منحنی در مقایسه با منحنی های تئوری شبیه منحنی مربوط به یک دایک ضخیم یا دو گسل می باشد. بجز ظاهر نشدن ماکزیمم کوچک در سمت چپ، شکل پروفیل با منحنی تئوری مربوط به دایک ضخیم (شکل ۳-۱۱ - فصل سوم)، تطبیق خوبی نشان می دهد. با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف دایکها، از روی مینیمم های موجود در فواصل ۱۰۵ و ۴۱۵ متری (محل فلش ها در شکل) می توان فاصله دیواره های گسل را در $D=130$ ، $D=390$ متری از نقطه B تخمین زد. از روی شکل منحنی و مقایسه آن با شکل (منحنی گسلهای شیدار) بدلیل تاثیر دیوار دوم بر روی شکل منحنی نمی توان شیب گسل را تعیین کرد ولی

از روی تقارن تقریبی منحنی می توان گفت که بایستی گسل مربوطه یک گسل با شیب نزدیک به ۹۰ درجه باشد.

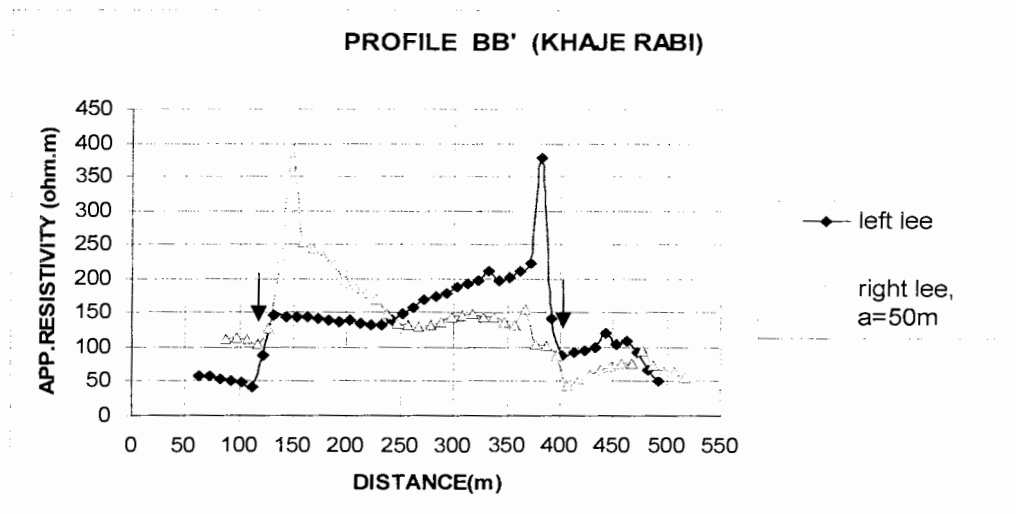
در شکل ۹-۴، منحنی های لی چپ (شمال شرقی) و راست (جنوب غربی) کاملاً شبیه منحنی های تئوری مربوط به یک دایک ضخیم (شکل ۳-۱۰ - فصل سوم) بنظر می رسند. منحنی لی چپ در فاصله $D=382$ متری و منحنی لی راست در فاصله $D=147$ متری، پیک برجسته و آشکاری نشان می دهند. بعبارت دیگر لی راست، مرز اول (سمت شرق) و لی چپ، مرز دوم (سمت غرب)، را بهتر نشان داده است.

با توجه به مطالب ذکرشده در خصوص کاربرد منحنی های تئوری و مینیمم های موجود در فواصل ۱۱۷ و ۴۰۲ متری بر روی منحنی های لی راست و چپ (محل فلش ها)، مرزهای گسل در فواصل $D=390$ ، $D=130$ متری از نقطه B تخمین زده می شود.

از تقارن تقریبی منحنی های لی راست و چپ می توان شیب تقریبی گسل را ۹۰ درجه برآورد کرد.



شکل ۹-۸- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل BB' درخواجه ربیع (آرایش ورنر) .



شکل ۴-۹- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل BB' درخواجه ربیع (آرایش لی) .

۴-۳-۳ سطح آب زیرزمینی در منطقه خواجه ربیع

در سونداژهای انجام گرفته در منطقه خواجه ربیع بدلیل هدایت زیاد لایه خاک واقع در بالای لایه آبدار و هدایت متوسط لایه آبدار نسبت به دولایه بالا و پایین آن، اصل اختفا اتفاق افتاده و موجب شده که در اکثر منحنی ها نتوان افت قابل توجهی را که دال بر وجود سطح آب زیرزمینی باشد، شناسایی کرد.

نزدیکترین پیزومتر به منطقه خواجه ربیع پیزومتر P_7 می باشد که در کنار آرامگاه خواجه ربیع قرار دارد. سطح آب در این پیزومتر طی آخرین اندازه گیری در سال ۸۵، در عمق ۲۳ متری از سطح زمین قرار داشته است.

در سونداژ هشتم و نهم یکنواختی مقدار مقاومت ویژه از حدود $AB/2=30$ متر در منحنی را می توان بدلیل برخورد به سطح آب زیرزمینی عنوان کرد.

سونداژهای S_{11} تا S_{15} از مقدار $AB/2=60$ متر افت نشان می دهند که این می تواند بدلیل سطح آب زیرزمینی باشد. در سونداژ S_{16} ، از $AB/2=40$ متر این افت در منحنی اتفاق می افتد.

۴-۴ منطقه گلشهر

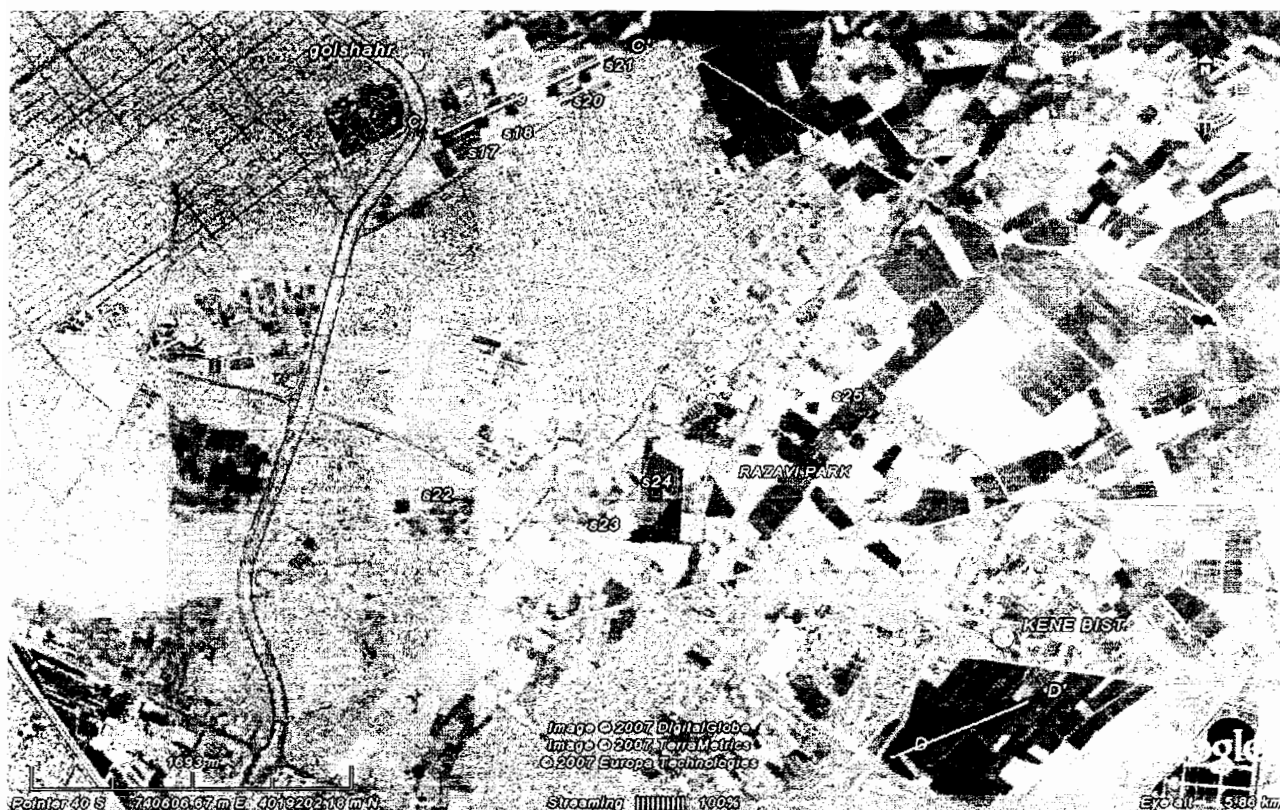
با توجه به روند مشخص شده برای گسل از برداشتهای منطقه خواجه ربیع و امکان عبور آن از منطقه گلشهر و همچنین وجود فضای کافی برای برداشت داده ها در این منطقه، تعداد پنج سونداژ ژئوالکتریک با فواصل ۱۵۰ متری از یکدیگر و یک پروفیل مقاومت ویژه (پروفیل 'CC) با آرایشهای لی و ونر بطول ۷۵۰ متر برداشت گردید. امتداد گسترش الکترودی ها در سونداژها شمال غربی- جنوب شرقی می باشد. شکل ۴-۱۰ موقعیت محل برداشت داده ها را که در شرق مشهد قرار دارد، نشان می دهد.

داده های مربوط به سونداژها در پیوست الف ارائه شده است. منحنی مقاومت ویژه ظاهری سونداژها نیز در شکل ۴-۱۱ برحسب نصف فاصله الکترودهای جریان ($AB/2$) نشان داده شده است. منحنی سونداژ S_{19} که از لحاظ موقعیت مکانی مابین سونداژهای دیگر قرار گرفته از نظر شکل ظاهری منحنی مقاومت ویژه نیز وضعیتی مابین منحنی دیگر سونداژها دارد.

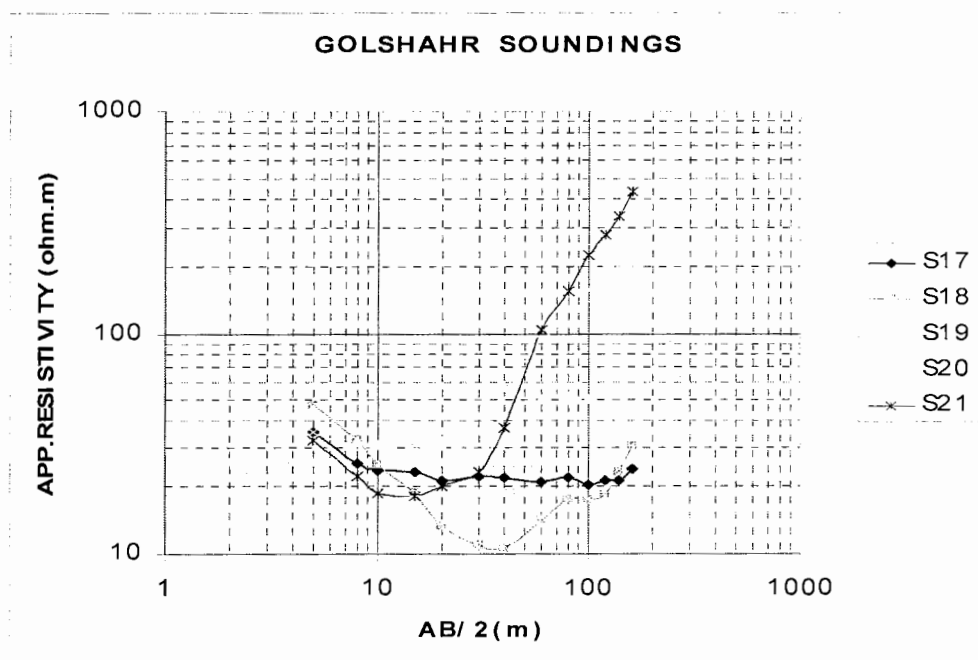
به عبارت دیگر با پیشروی از جنوب غرب به سمت شمال شرق، مقدار مقاومت ویژه ظاهری افزایش نشان می دهد. این مطلب بجز برای سونداژ S_{18} برای تمامی سونداژها صادق است. این افزایش در سونداژ S_{20} تا مقدار مقاومت ویژه ظاهری ۲۰۰ اهم متر و در سونداژ S_{21} تا بیش از ۴۰۰ اهم متر، ادامه یافته است.

نتایج حاصله عملکرد یک گسل در نزدیکی سونداژ S_{19} را نشان می داد که برای تعیین دقیق موقعیت آن روش پروفیل زنی بکار برده شد.

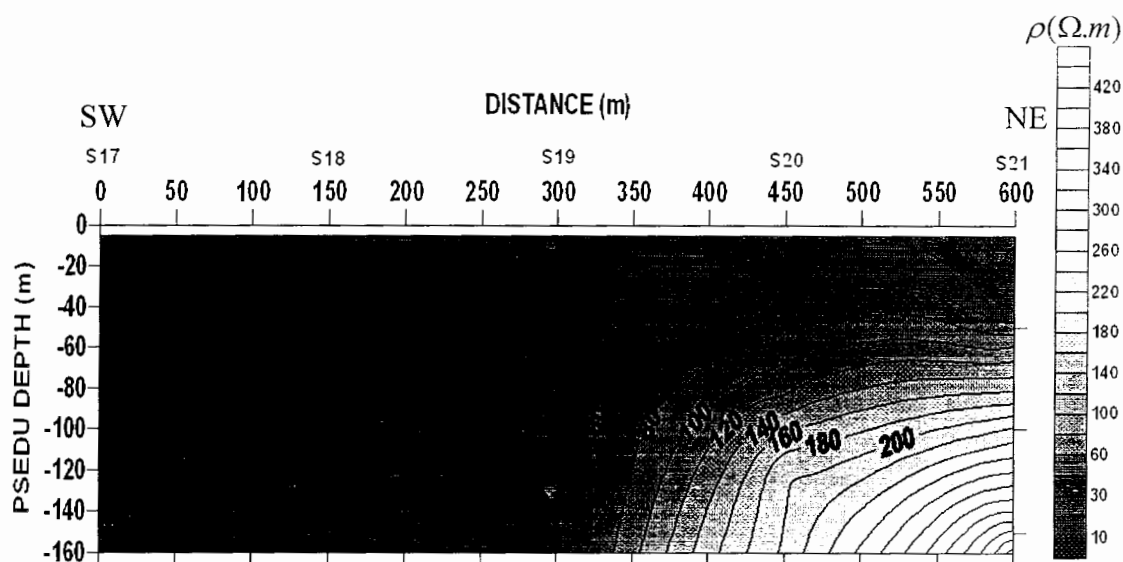
شکل ۴-۱۲، شبه مقطع قائم مقاومت ویژه سونداژهای S_{17} تا S_{21} که بوسیله نرم افزار Surfer تهیه شده نشان می دهد. در این شکل نیز می توان دید که بدلیل افزایش مقاومت ویژه با پیشروی بسمت شمال شرق (سونداژ S_{21})، تراکم منحنی های هم مقاومت زیاد شده و تغییررنگ از آبی به زرد مشاهده می شود.



شکل ۴-۱۰- موقعیت محل برداشت سونداژها و پروفیلها در مناطق گلشهر، پارک رضوی و کنه بیست.



شکل ۴-۱۱- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{۱۷} تا S_{۲۱}.



شکل ۴-۱۲- شبه مقطع قائم زمین مابین سونداژ های S_{۱۷}, S_{۲۱} در منطقه گلشهر.

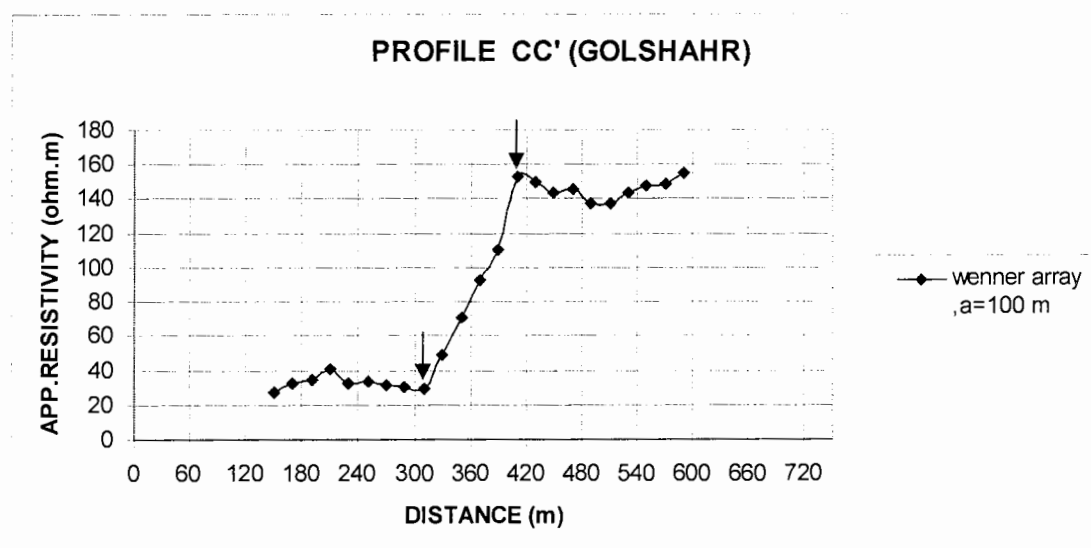
۴-۱-۴ پروفیل CC'

بمنظور تعیین دقیق محل عبور گسل از منطقه گلشهر، پروفیل CC' با امتداد جنوب غربی-شمال شرقی، با آرایشهای لی و ونر، فاصله الکترودی $a=100$ متر و $d=20$ متر در منطقه برداشت گردید. داده ها در پیوست ب و شکل منحنی تغییرات مقاومت ویژه برای آرایش های ونر و لی در اشکال ۴-۱۳ و ۴-۱۴ ارائه شده است. پروفیل از محل سونداژ S_{۱۷} آغاز و به نقطه C' واقع در ۱۵۰ متری شمال شرق سونداژ S_{۲۱} ختم گردید. شکل منحنی آرایش ونر افزایش ناگهانی در فاصله $D=410$ متری از نقطه C نشان می دهد. با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص منحنی های تئوری (شکل ۳-۷-B) گسل بایستی در فاصله ۵۰ متر ($a/2$) قبل از این نقطه یعنی در فاصله ۳۶۰ متری از نقطه شروع پروفیل قرار داشته باشد. بعبارت دیگر مرز گسل در فاصله ۶۰ متری شمال شرق سونداژ S_{۱۹} قرار دارد. با توجه به شکل منحنی می توان گفت بایستی شیب گسل نزدیک به ۹۰ درجه باشد. منحنی های آرایش های لی چپ (غرب) و راست (شرق) هم ناپیوستگی هایی در فاصله ۳۸۵ و ۳۹۵ متری از نقطه C نشان می دهند. با توجه به این که گسل بایستی در فاصله $a/4$ از ناپیوستگی ماکزیمم مشترک دو منحنی قرار گیرد (شکل ۳-۹-A فصل سوم) بنابراین می توان گفت که گسل در فاصله ۳۶۰-۳۷۰ متری از نقطه (فاصله ۷۰-۶۰ متری شمال شرقی سونداژ S_{۱۹}) قرار دارد.

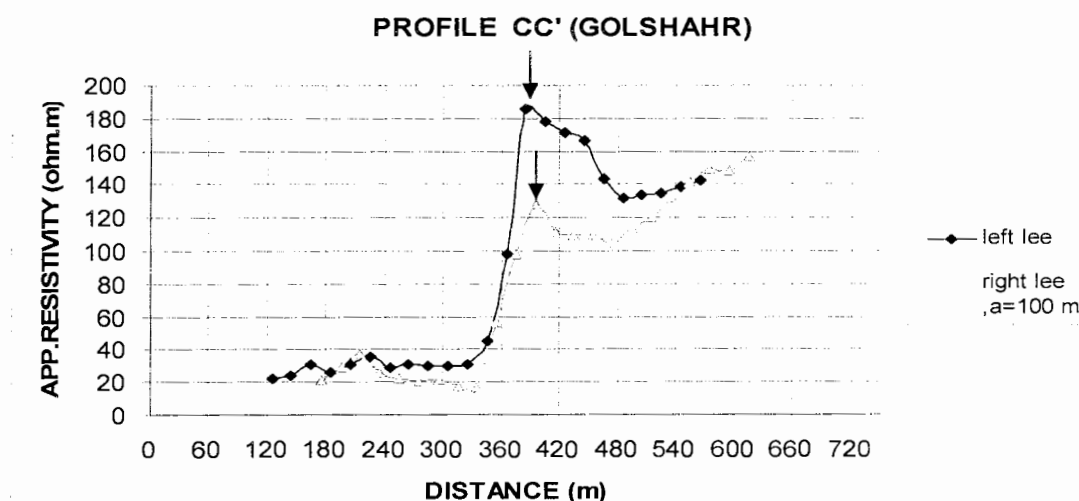
۲-۴-۴ سطح آب زیرزمینی در منطقه گلشهر

نزدیکترین پیزومتر به منطقه گلشهر پیزومتر P_2 در التیمور می باشد که در بین پیزومترهای دشت مشهد بالاترین سطح آب را دارا می باشد. سطح آب در این پیزومتر در عمق حدود ۱۲,۵ متری قرار دارد. با توجه به فاصله زیاد این پیزومتر از منطقه گلشهر نمی توان نتایج آن را به این منطقه تعمیم داد. ولی با توجه به پیزومترهای دیگر اطراف می توان حدوداً سطح آب را در عمق ۳۰ متری پیش بینی کرد.

در بین سونداژهای این منطقه فقط سونداژ S_{19} یک افت در $AB/2 = 30$ متر نشان می دهد. البته سونداژ S_{18} یک سیر نزولی را از ابتدا نشان می دهد ولی از روی تفسیر کیفی منحنی آن امکان تشخیص سطح آب زیرزمینی وجود ندارد. بقیه سونداژها بدلیل تشابه مقاومت ویژه لایه رویی بالایی آبدار و یا قرار گرفتن مقاومت ویژه لایه آبدار در بین مقاومت ویژه لایه های بالایی و پایینی خود (اصل اختفاء) نتوانسته اند لایه آبدار را آشکار کنند.



شکل ۴-۱۳- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CC' در گلشهر (آرایش ونر) .

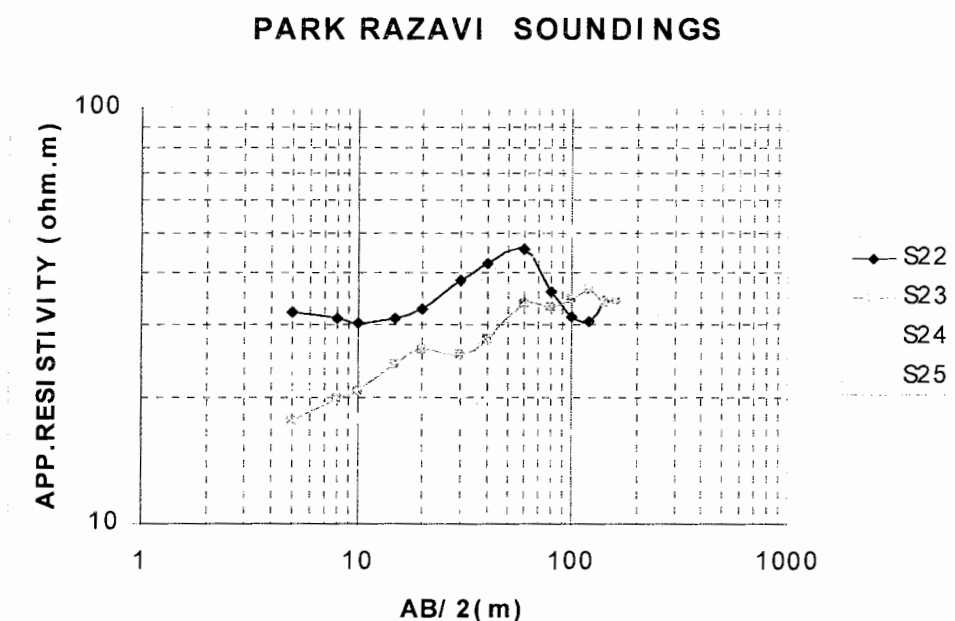


شکل ۴-۱۴- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CC' در گلشهر (آرایش لی).

۴-۵ محدوده اطراف پارک رضوی

بدلیل تغییر مسیر رودخانه ها در اطراف پارک رضوی و احتمال عبور گسل از آن محل، تعداد چهار سونداژ الکتریکی با گسترش الکترودی شمال غربی- جنوب شرقی در آن محل برداشت گردید (شکل ۴-۱۰).

در شکل ۴-۱۵ منحنی مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{22} تا S_{25} نشان داده شده است. تمامی منحنی ها مقادیر مقاومت ویژه پایینی (زیر ۱۰۰ اهم متر) دارند. و مرز برجسته و مشخصی مانند آنچه در گلشهر و خواجه ربیع دیده می شود، نمی توان یافت. ولی با یک نگاه دقیق تر می توان گفت منحنی سونداژ S_{22} با S_{25} از نظر روند کلی با هم تفاوت دارند. سونداژ S_{22} ابتدا یک روند صعودی و سپس نزولی دارد در حالی که سونداژ S_{25} ابتدا نزولی بوده و سپس صعود می کند. از طرف دیگر شکل منحنی سونداژهای S_{23} و S_{24} به سونداژ S_{22} شباهت بیشتری دارند. بنابراین با توجه به نتایج فوق می توان گفت احتمال عبور گسل از مابین سونداژهای S_{24} و S_{25} در این منطقه وجود دارد.



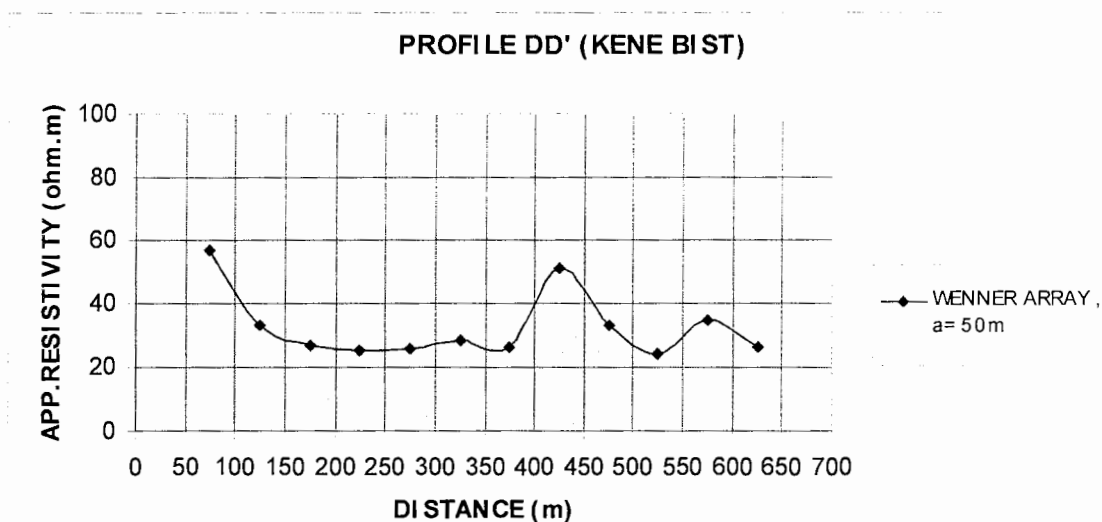
شکل ۴-۱۵ - منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{22} تا S_{25} .

۴-۵-۱ سطح آب زیرزمینی در محدوده پارک رضوی

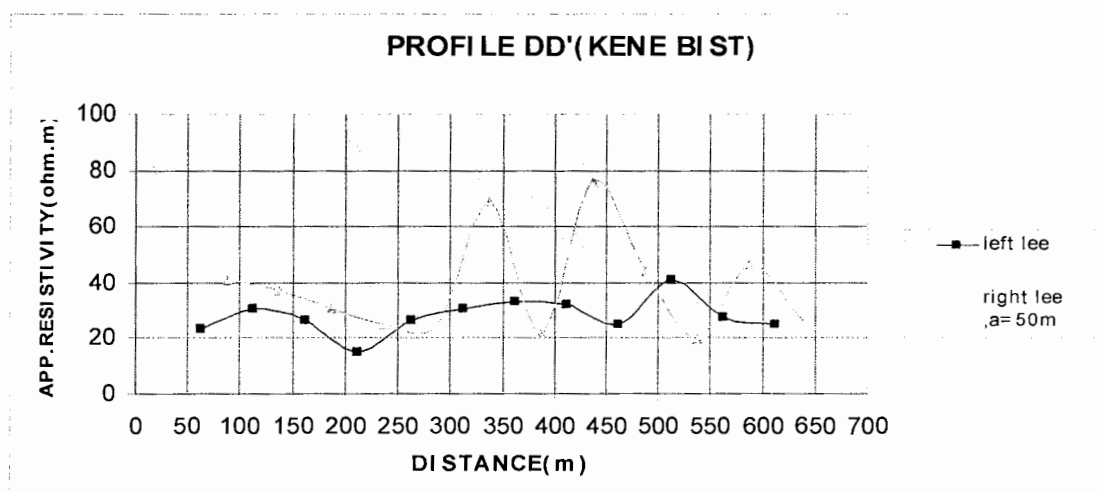
نزدیکترین پیزومترها به این محل، پیزومترهای p_8 (راه آهن) و p_2 (التیمور) می باشند. بنابراین سطح آب زیرزمینی در این مکان بایستی در عمق حدود ۲۵ متری قرار داشته باشد. در منحنی سونداژهای S_{22} , S_{23} می توان افت کوچک به ازای $AB/2 = 20$ متر را مشاهده نمود. می توان این افت را به سطح آب زیر زمینی در این عمق تقریبی نسبت داد.

۴-۶ پروفیل DD' (منطقه کنه بیست)

بمنظور بررسی بیشتر درنواحی شرقی مشهد، پروفیل DD' در منطقه کنه بیست (در فاصله حدود ۱ کیلومتری جنوب شرقی سونداژ S_{24}) در جهت شمال شرق برداشت گردید. مقدار a برای این پروفیل برابر ۵۰ متر و جابجایی نیز در هر مرحله ۵۰ متر در نظر گرفته شد. نتایج حاصله از برداشت این پروفیل در شکل ۴-۱۶ دیده می شود. منحنی مقاومت ویژه ظاهری این پروفیل تنها یک افزایش کوچک در فاصله حدود ۴۰۰ متری نشان می دهد. منحنی آرایش لی راست (شکل ۴-۱۷) نیز فقط تغییرات کوچکی در فاصله ۳۵۰ و ۴۵۰ متری نشان می دهد.



شکل ۴-۱۶- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل DD' در محله کنه بیست (آرایش ورنر) .



شکل ۴-۱۷- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل DD' در محله کنه بیست (آرایش لی) .

۷-۴ میدان سپاد

آخرین منطقه ای که بمنظور اکتشاف گسل شمال مشهد مورد مطالعه قرار گرفت اطراف میدان سپاد واقع در غرب آرامگاه خواجه ربیع بود. در این منطقه تعداد پنج سونداژ ژئوالکتریک ($S_{۲۶}$ تا $S_{۳۰}$) با گسترش الکترودی شمال غربی - جنوب شرقی برداشت گردید.

شکل ۴-۱۸ موقعیت محل برداشت داده ها را در این منطقه نشان می دهد. شکل ۴-۱۹ منحنی مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای $S_{۲۶}$ تا $S_{۳۰}$ را نشان می دهد. همانطور که در شکل نیز می توان دید تمامی سونداژها تقریباً مشابه یکدیگر بوده و فقط سونداژ $S_{۳۰}$ از $AB/۲=۶۰$ متر با منحنی های دیگر مقداری فاصله گرفته و مقاومت ویژه بیشتری نشان می دهد ولی این تفاوت چندان قابل توجه نیست که بتوان بوسیله آن عبور گسل از این محدوده را اثبات کرد.

۷-۴-۱ سطح آب زیرزمینی در محدوده میدان سپاد

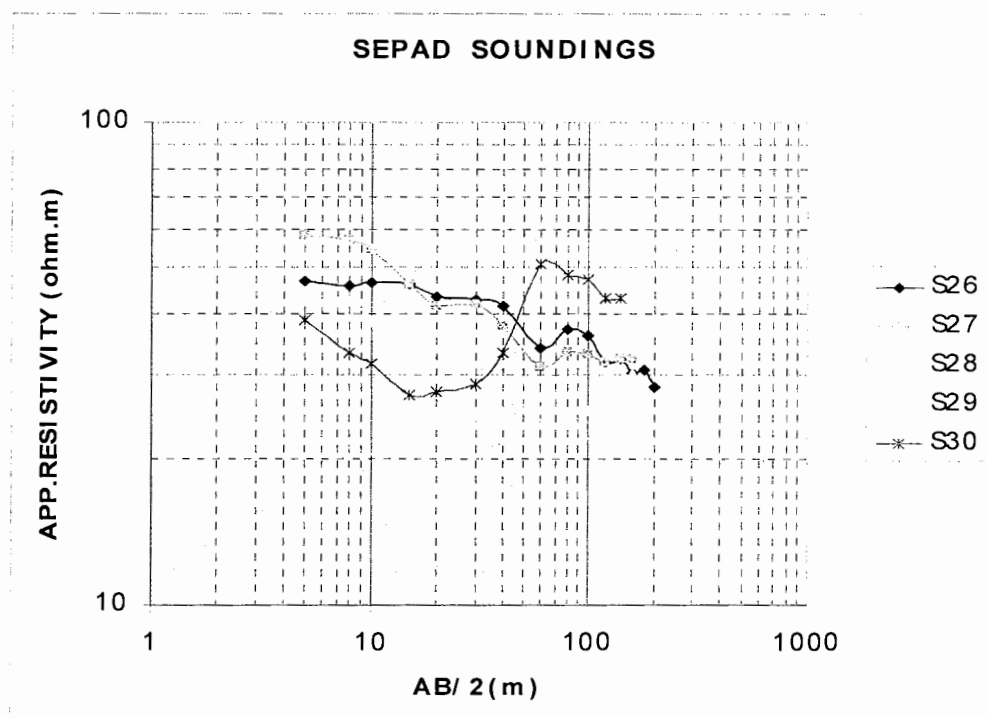
این منطقه مابین پیزومترهای $P_۱, P_۷, P_{۱۱}, P_{۱۲}$ قرار گرفته است. سطح آب زیرزمینی در این پیزومترها بترتیب در عمق ۴۹ و ۲۳ و ۳۰ و ۶۴ متری قرار دارد. بنابراین با توجه به فاصله زیاد سونداژهای این منطقه از یکدیگر بایستی انتظار داشت که در سطح آب زیر زمینی آنها اختلاف وجود داشته باشد. در منحنی سونداژ $S_{۲۶}$ بعد از $AB/۲=۴۰$ متریک افت مشاهده می شود که می توان آنرا ناشی از لایه آبدار دانست. در منحنی سونداژ $S_{۲۴}$ نیز در همین فاصله الکترودی، افت در منحنی مشاهده می شود. در سونداژهای $S_{۲۸}, S_{۲۹}, S_{۳۰}$ افت قابل توجه که بتوان آن را ناشی از لایه آبدار دانست، بعد از $AB/۲=۶۰$ متر روی می دهد. از آنجا که سطح آب زیرزمینی در پیزومتر $P_۵$ برابر ۷۰ متر می باشد بنابراین بایستی مطلب ذکر شده در بالا صحت داشته باشد.

۸-۴ منطقه فدک

این منطقه از لحاظ موقعیتی در شمال میدان سپاد قرار دارد. بمنظور بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی در این منطقه، تعداد ۳ سونداژ الکتریکی $S_{۳۱}, S_{۳۲}, S_{۳۳}$ با امتداد گسترش الکترودی شمال غربی - جنوب شرقی برداشت شد (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸- موقعیت محل برداشت سونداژها در مناطق سپاد، فدک، شهرک چمران شهرک حجت.



شکل ۴-۱۹- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{۲۶} تا S_{۳۰}.

در شکل ۴-۲۰ منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری این سه سونداژ در برابر نصف فاصله الکترودی ($AB/2$)، ترسیم شده است.

نزدیکترین پیزومتر به این منطقه پیزومتر شماره ۵ می باشد که سطح آب زیرزمینی در آن در عمق ۷۰ متری قرار دارد. در بین سونداژهای این منطقه فقط منحنی سونداژ S_{33} از $AB/2 = 80$ متر افت پیدا می کند که با توجه به پیزومتر شماره ۵ می توان دلیل آنرا به علت سطح آب زیرزمینی ذکر کرد. سونداژ S_{33} از $AB/2 = 40$ متر یک افت نشان می دهد که بدلیل فاصله نزدیکی که با سونداژ S_{33} دارد و اطلاعات پیزومتر P_5 بعید بنظر می رسد که ناشی از لایه آبدار باشد.

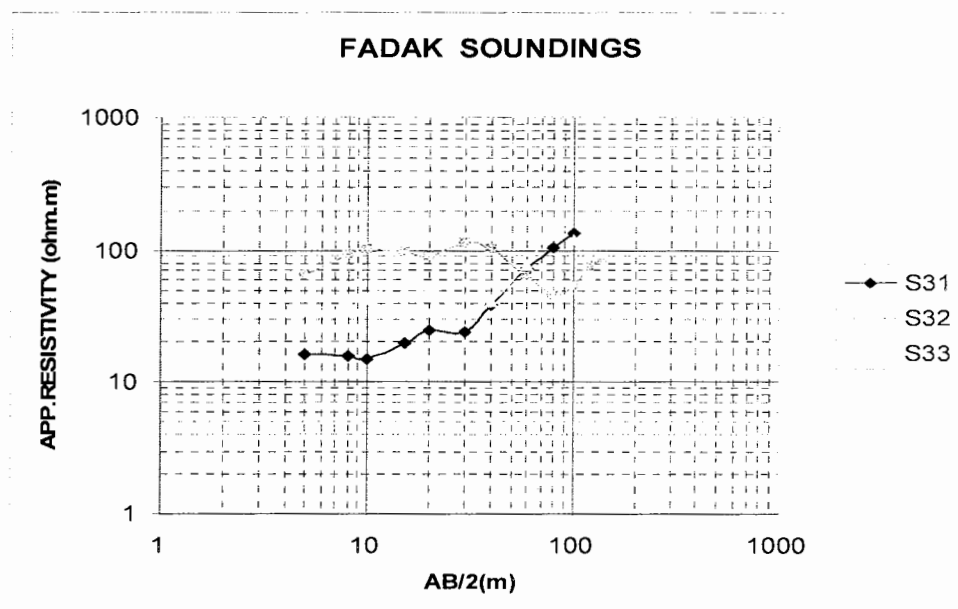
۴-۹ شهرک چمران

این منطقه در شمال غرب خواجه ربیع و در شمال شرق میدان سپاد واقع می باشد (شکل ۴-۱۸). در این منطقه نیز بمنظور بررسی سطح آب زیرزمینی، سه سونداژ الکتریکی S_{34} ، S_{35} ، S_{36} با گسترش الکترودی شمال شرقی - جنوب غربی برداشت گردید.

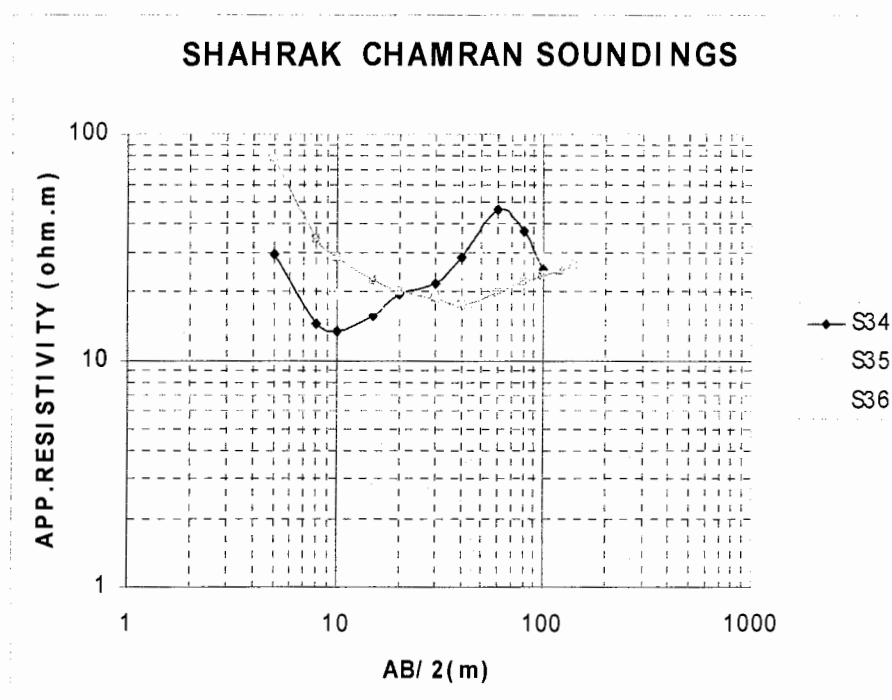
در شکل ۴-۲۱ منحنی تغییرات مقاومت ویژه این سونداژها مشاهده می شود. نزدیکترین پیزومتر به این منطقه پیزومتر P_7 می باشد که سطح آب زیرزمینی در آن در عمق ۲۳،۵ متری واقع است. همانگونه که در شکل ۴-۲۱ نیز می توان دید هر سه منحنی از مقدار مقاومت ویژه های مختلف شروع شده و در فاصله $AB/2 = 20$ متر تا $AB/2 = 30$ متر به یکدیگر می پیوندند و پس از آن دوباره از یکدیگر جدا می شوند. این موقعیت را می توان به لایه آبدار نسبت داد. در منحنی سونداژ S_{34} لایه آبدار بهتر مشخص می شود زیرا کم شدن شیب منحنی مقاومت ویژه پس از $AB/2 = 20$ متر و افزایش دوباره آن پس از $AB/2 = 30$ متر می تواند بدلیل لایه آب زیرزمینی باشد.

۴-۱۰ شهرک حجت

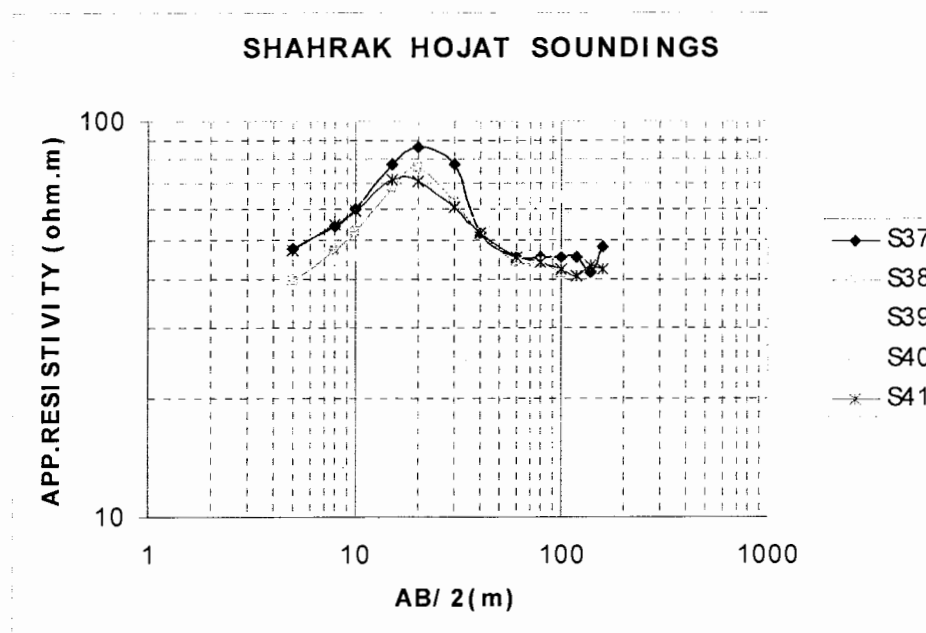
این منطقه در غرب میدان سپاد قرار گرفته است. نزدیکترین پیزومتر به این منطقه پیزومتر P_{12} می باشد که سطح آب زیرزمینی در آن در عمق ۶۴ متری قرار دارد. بمنظور بررسی سطح آب زیرزمینی در این منطقه تعداد ۵ سونداژ الکتریکی (S_{37} تا S_{41}) با گسترش الکترودی شمال شرقی - جنوب غربی انجام گرفت (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۲۰- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{31} تا S_{33} .



شکل ۴-۲۱- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{34} تا S_{36} .



شکل ۴-۲۲- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{۳۷} تا S_{۴۱}.

در شکل ۴-۲۲ منحنی سونداژهای مربوط به این منطقه مشاهده می شود. تمامی سونداژها بجز S_{۴۰} روند تقریباً مشابهی را دنبال می کنند. همه منحنی ها بجز S_{۳۹} پس از $AB/2 = 60$ متر یکنواخت شده و به یکدیگر می پیوندند. این وضعیت را می توان به علت برخورد به لایه آبدار ذکر کرد.

۴-۱۱ بلوار دانشجو

با توجه به وجود فضای کافی در حاشیه جنوبی بلوار دانشجو تعداد ۲ سونداژ الکتریکی S_{۴۲}, S_{۴۳} با گسترش الکترودی شرقی- غربی در این محدوده از شهر انجام گرفت. شکل ۴-۲۳ موقعیت محل برداشت داده ها نشان داده شده است. نزدیکترین پیزومتر به این محل پیزومتر P_{۱۶} می باشد که در فاصله حدود ۲ کیلومتری شمال شرق محل سونداژها قرار دارد. سطح آب زیر زمینی در این پیزومتر در عمق ۱۰۶ متری می باشد. در شکل ۴-۲۴ منحنی مقاومت ویژه ظاهری سونداژها مشاهده می شود. از روی شکل ۴-۲۴ می توان نتیجه گرفت که مقاومت ویژه ظاهری زمین های این محدوده با سایر نقاط قبلی کاملاً تفاوت داشته و بسیار بالاتر است. البته با توجه به نزدیکی این منطقه به ارتفاعات جنوب غربی مشهد بایستی انتظار چنین وضعیتی را داشت.

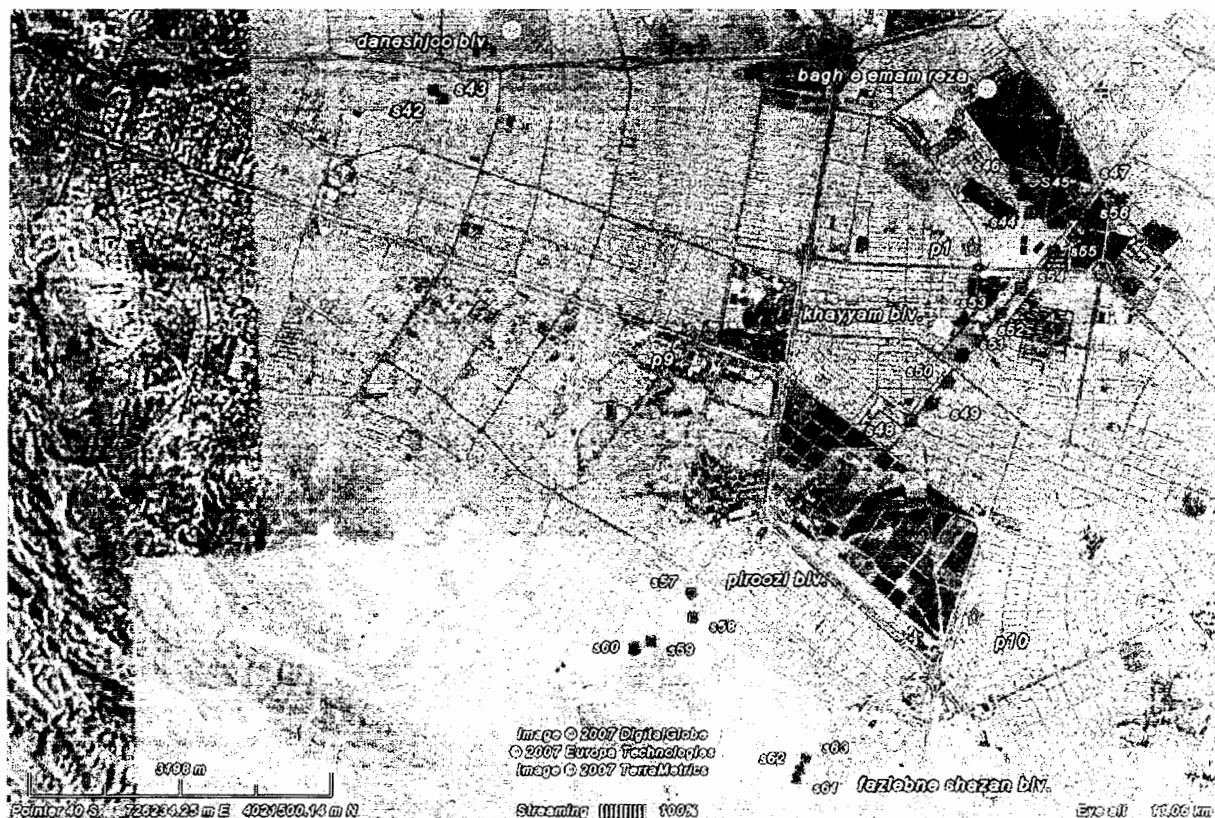
همانگونه که در شکل ۴-۲۴ می توان دید منحنی سونداژ $S_{۴۳}$ از $AB/۲ = ۱۰۰$ متر به بعد افت قابل ملاحظه ای نشان می دهد که می توان بدلیل برخورد به سطح آب زیرزمینی باشد. سونداژ $S_{۴۲}$ نیز یک افت از $AB/۲ = ۶۰$ متر نشان می دهد که ممکن است بدلیل برخورد به سطح آب زیرزمینی باشد.

۴-۱۲ باغ امام رضا

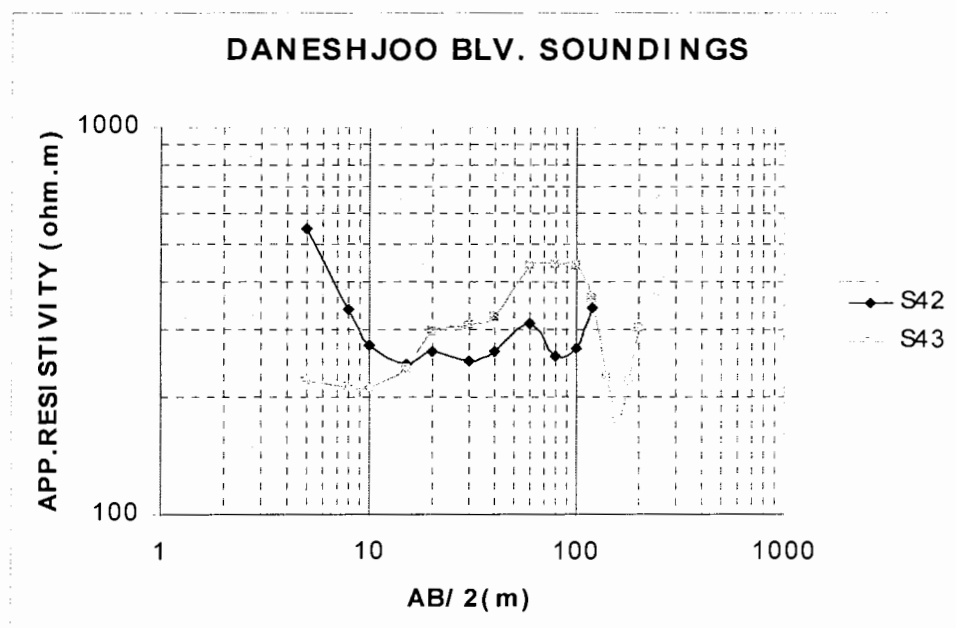
در حاشیه باغ امام رضا تعداد چهار سونداژ الکتریکی $S_{۴۴}, S_{۴۵}, S_{۴۶}, S_{۴۷}$ با گسترش الکترودی شمال غربی - جنوب شرقی انجام گرفت (شکل ۴-۲۳). نزدیکترین پیزومتر به این محدوده پیزومتر $P_۱$ می باشد که سطح آب زیرزمینی در آن در عمق حدود ۴۹ متری قرار دارد . منحنی سونداژهای مربوط به این منطقه در شکل ۴-۲۵ نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل مربوطه می توان دید، تمامی سونداژها بجز سونداژ $S_{۴۷}$ شکل تقریباً مشابهی دارند. مقدار مقاومت ویژه در نقطه شروع منحنی سونداژ $S_{۴۷}$ حدود ۱۶۰ اهم متر می باشد که پس از $AB/۲ = ۱۰$ متر به سرعت افت کرده و تا ۲۴ اهم متر نیز کاهش می یابد و پس از آن دوباره افزایش می یابد. با توجه به دوری $S_{۴۷}$ از سونداژهای دیگر این اختلاف را می توان بعلت آلودگی آب زیرزمینی در محل این سونداژ عنوان کرد. سونداژهای $S_{۴۴}, S_{۴۶}$ پس از $AB/۲ = ۶۰$ متر نزول می کنند که می توان دلیل آنرا سطح آب زیرزمینی ذکر کرد. سونداژ $S_{۴۵}$ نیز این کاهش را پس از $AB/۲ = ۸۰$ متر نشان می دهد.

۴-۱۳ بلوار خیام

در حاشیه بلوار خیام به منظور بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی ، تعداد نه سونداژ الکتریکی ($S_{۴۸}$ تا $S_{۵۶}$) با گسترش الکترودی شمال شرقی - جنوب غربی برداشت گردید (شکل ۴-۲۳). نزدیکترین پیزومتر به این محدوده همان پیزومتر شماره یک می باشد که سطح آب در آن در عمق ۴۹ متری قرار دارد . در شکل ۴-۲۶ منحنی تغییرات مقاومت ویژه سونداژهای این محدوده ($S_{۴۸}$ تا $S_{۵۶}$) مشاهده می شود. همانگونه که در این شکل دیده می شود، بجز سونداژهای $S_{۴۸}$ (اولین سونداژ واقع در حاشیه جنوبی بلوار) و $S_{۵۶}$ (آخرین سونداژ واقع در جنب باغ امام رضا) بقیه سونداژها تا حدودی با هم مشابهت دارند.



شکل ۴-۲۳- موقعیت محل برداشت سونداژها در مناطق بلوار دانشجو ، باغ امام رضا ، بلوار خیام ، بلوار پیروزی و بلوار فضل ابن شاذان.



شکل ۴-۲۴ - منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{42} و S_{43} .

همه سونداژها بجز این دو سونداژ ذکر شده، پس از $AB/2 = 60$ متر شروع به افت می کنند که دلیل آن را می توان به علت برخورد به سطح آب زیرزمینی دانست. در سونداژ S_{48} این افت از $AB/2 = 80$ متر و در سونداژ S_{56} از $AB/2 = 30$ متر آغاز می شود. دلیل پایین بودن مقادیر مقاومت ویژه در سونداژ S_{56} و بالاتر بودن نسبی سطح آب در مقایسه با سایر سونداژها را می توان به علت آلودگی آب زیرزمینی در این محل دانست.

۴-۱۴ بلوار پیروزی

در حاشیه جنوبی بلوار پیروزی تعداد چهار عدد سونداژ الکتریکی (S_{57} تا S_{60}) با گسترش الکترودی شمال شرقی - جنوب غربی برداشت گردید (شکل ۴-۲۳).

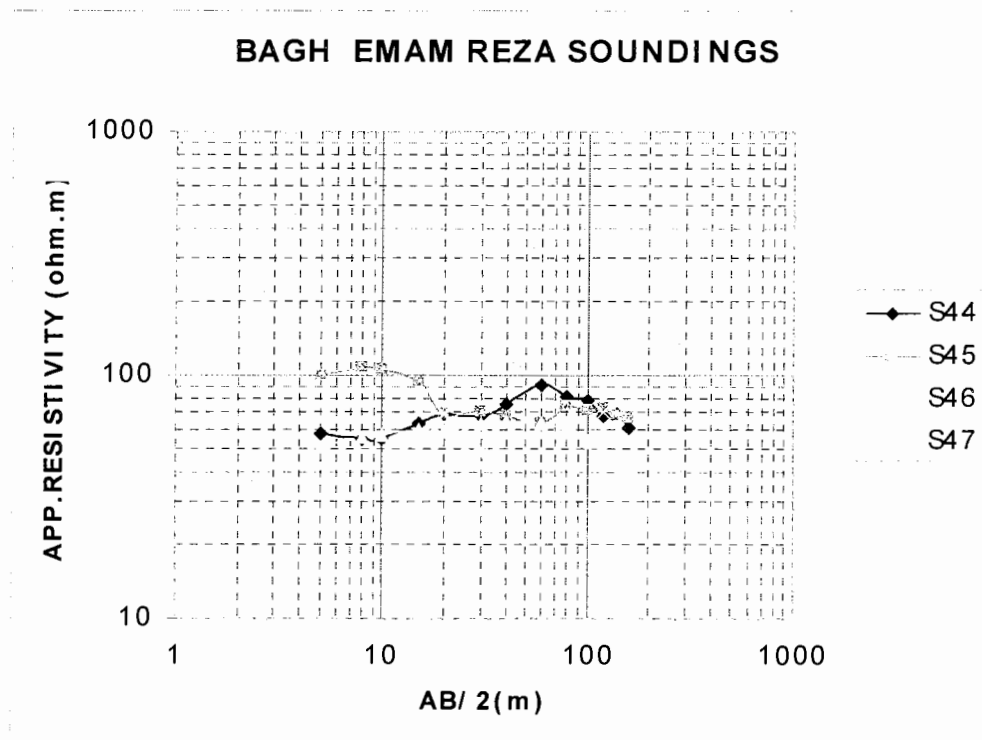
در شکل ۴-۲۷ منحنی مربوط به سونداژهای این محدوده از S_{57} تا S_{60} نشان داده شده است. منحنی سونداژهای S_{58}, S_{59} با یکدیگر و S_{57}, S_{60} نیز با یکدیگر تشابه بیشتری نشان می دهند.

البته S_{60} پس از $AB/2 = 40$ متر مشابه منحنی سونداژهای S_{58}, S_{59} رفتار کرده است. دلیل تفاوت زیاد منحنی ها با یکدیگر در این منطقه را می توان به علت نزدیکی به ارتفاعات جنوبی مشهد ذکر کرد، که این نزدیکی به ارتفاعات، قطعا در ساختار لایه های زمین های اطراف نیز نوعی بهم ریختگی ایجاد کرده است.

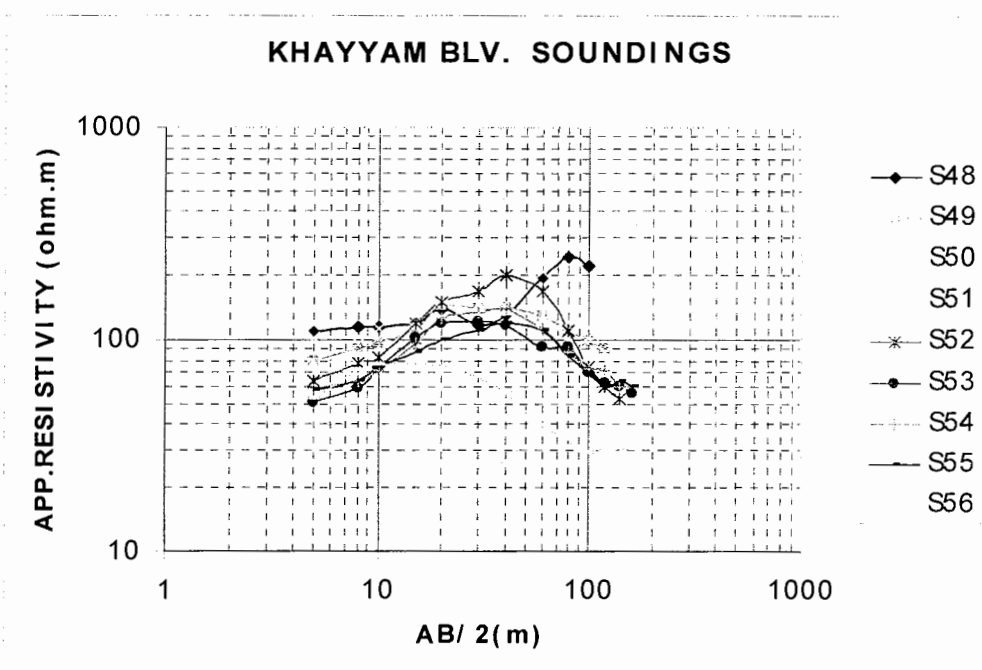
نزدیکترین پیژومتر به این منطقه P_{10} می باشد که سطح آب زیرزمینی در آن در عمق حدود ۵۲ متری قرار دارد. در سونداژهای S_{57} و S_{59} پس از $AB/2 = 60$ متر افت در منحنی مشاهده می شود که دلیل آنرا می توان به لایه آبدار نسبت داد. در سایر منحنی ها نمی توان لایه آبدار را شناسایی کرد.

۴-۱۵ بلوار فضل ابن شاذان

آخرین منطقه ای که داده ها در آن برداشت گردید، حاشیه بلوار فضل ابن شاذان است که در ۳ کیلومتری جنوب باغ ملک آباد واقع می باشد (شکل ۴-۲۳). در این منطقه سه سونداژ S_{61}, S_{62}, S_{63} با گسترش الکترودی شمالی - جنوبی برداشت شدند. نزدیکترین پیژومتر به این منطقه پیژومتر P_{10} می باشد، که سطح آب زیر زمینی در آن در عمق ۵۲ متری قرار دارد.

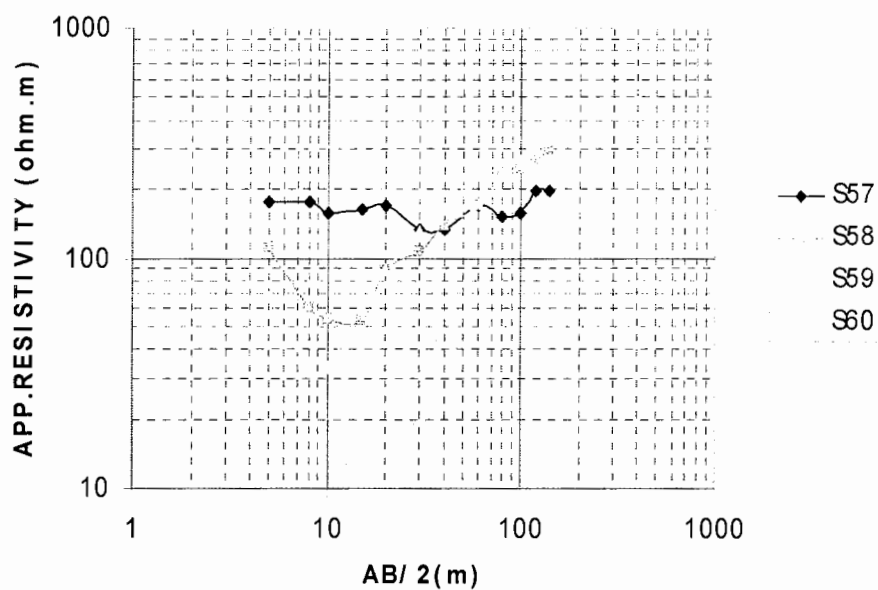


شکل ۴-۲۵- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{44} تا S_{47} .



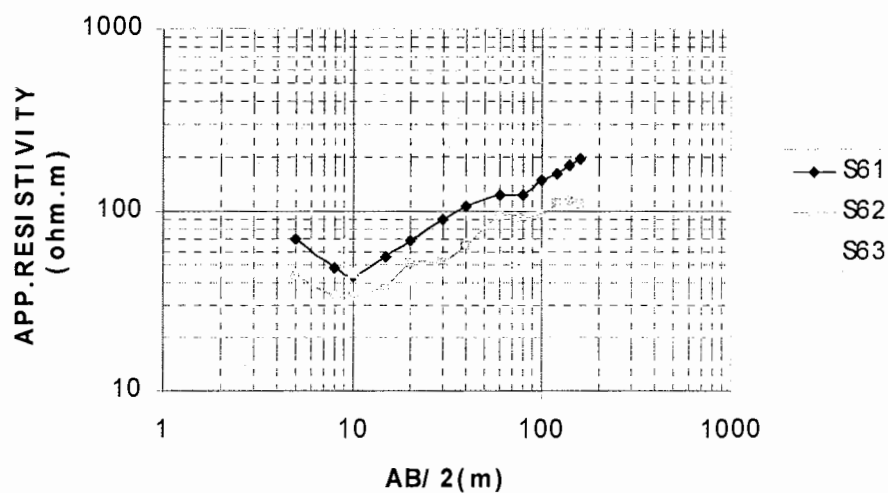
شکل ۴-۲۶- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{48} تا S_{56} .

PIROOZI BLV. SOUNDINGS



شکل ۴-۲۷- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{57} تا S_{60} .

FAZL BLV. SOUNDINGS



شکل ۴-۲۸- منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای S_{61} تا S_{63} .

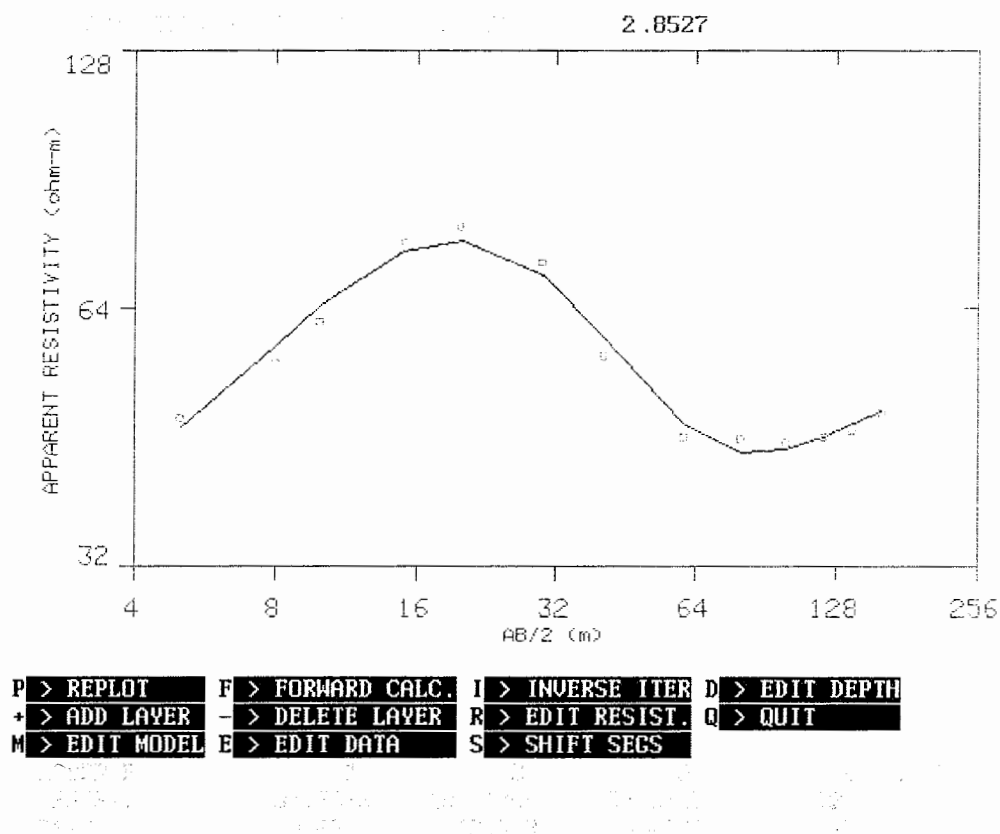
منحنی سونداژهای مربوط به این منطقه در شکل ۴-۲۸ نمایش داده شده است. تمامی منحنی ها بدون در نظر گرفتن جابجایی که نسبت به یکدیگر دارند، روند مشابهی را دنبال می کنند. یکنواختی مقدار مقاومت ویژه پس از $AB/2 = 60$ متر را می توان بدلیل سطح آب زیرزمینی ذکر کرد که در هر سه منحنی مشاهده می شود.

فصل پنجم : مدل سازی و تفسیر کمی داده ها

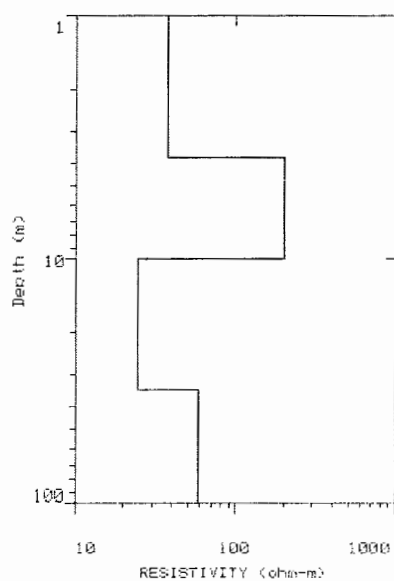
۵-۱ نتایج مدل سازی معکوس یک بعدی داده ها

در این بخش مدل‌های بدست آمده از معکوس سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه که بوسیله نرم افزار RESIX تحلیل شده اند ، برای تعدادی از سونداژها ارائه می شود . توضیحات مربوط به مدل سازی و نرم افزارهای RESIX و RES2DINV بطور مختصر در پیوست (د) و مدل‌های یک بعدی برای تمامی سونداژها در پیوست ج ارائه شده است . شکل ۵-۱ نمونه ای از این مدل‌ها را برای سونداژ S₃₇ نشان می دهد . در این شکل محور عمودی نمودار ، مقادیر مقاومت ویژه بر حسب اهم متر و محور افقی ، مقادیر AB/2 را بر حسب متر نشان می دهد . در این شکل مربعات کوچک داده های اندازه گیری شده و منحنی ترسیم شده ، پاسخ مدل می باشد . میزان خطای تطبیق این دو منحنی با یکدیگر در قسمت ERROR در بالای نمودار نشان داده شده است . هر چه منحنی داده های اندازه گیری شده و منحنی پاسخ مدل بدست آمده بایکدیگر تطبیق بیشتری داشته باشند ، مقدار خطای مدلسازی نیز کمتر خواهد بود .

در شکل ۵-۲ مدل زمین مربوط به محل سونداژ نشان داده شده است . مقدار خطای مدل سازی برای این سونداژ ۲٫۸۵ درصد می باشد که نشان می دهد مدلسازی بادقت بسیار خوبی صورت گرفته است . در جدول ۵-۱ مشخصات پارامترهای مدل و جنس لایه های زمین در محل این سونداژ مشاهده می شود .



شکل ۵-۱ - نمونه ای از مدلسازی سونداژها با نرم افزار RESIX (سونداژ S37).



شکل ۵-۲ - نمایش مدل زمین در محل سونداژ S37 به کمک نرم افزار RESIX.

جدول ۵-۱ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها درمحل سونداژ S37.

جنس لایه	AB/2(m)	$\rho (ohm .m)$	S ₃₇ سونداژ
رس و ماسه	3.8	37.3	لایه اول
ماسه درشت و شن	10	199.1	لایه دوم
ماسه مرطوب	34.5	24.2	لایه سوم
شن و ماسه آبدار		58.7	لایه چهارم

۵-۱-۱ استفاده از نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژها در اکتشاف گسل شمال

مشهد

همانگونه که در فصل قبل مشاهده گردید، نتایج بدست آمده از تفسیر کیفی سونداژهای مناطق خواجه ربیع و گلشهر، تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه در نزدیکی برخی از سونداژها رانشان می داد. این امر در منطقه خواجه ربیع مابین سونداژهای S₁₁, S₁₂ و همچنین S₁₆, S_{6N} و در منطقه گلشهر مابین سونداژهای S₁₉, S₂₀ اتفاق افتاده است.

نتایج حاصل از مدلسازی یک بعدی سونداژهای S₁₁, S₁₂, S₁₆, S_{6N} بترتیب در جداول ۵-۲ تا ۵-۵ ارائه شده است. جنس لایه ها در تمامی سونداژها از روی مقادیر مقاومت ویژه ها تخمین زده شده است.

جدول ۵-۲ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S11.

جنس لایه	AB/2(m)	$\rho (ohm .m)$	S ₁₁ سونداژ
ماسه	3	131.8	لایه اول
سیلت و رس	13.8	18.7	لایه دوم
رس - سنگ مارنی مرطوب	67.4	121.2	لایه سوم
سنگ کف مارنی		1260.3	لایه چهارم

جدول ۵-۳ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_{12} .

جنس لایه	$AB/2(m)$	$\rho (ohm . m)$	S_{12} سونداژ
ماسه	4.1	62.2	لایه اول
سنگ مارنی	27.2	1083	لایه دوم
سنگ مارنی مرطوب	73.5	123.9	لایه سوم
سنگ کف مارنی		983.4	لایه چهارم

جدول ۵-۴ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_{16} .

جنس لایه	$AB/2(m)$	$\rho (ohm . m)$	S_{16} سونداژ
رس و ماسه	1.3	33.6	لایه اول
سنگ مارنی آهک دار	28.1	2063.5	لایه دوم
سنگ مارنی مرطوب	89.7	170.7	لایه سوم
سنگ کف مارنی		1409.1	لایه چهارم

جدول ۵-۵ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_{6N} .

جنس لایه	$AB/2(m)$	$\rho (ohm . m)$	S_{6N} سونداژ
ماسه درشت	1.8	162.9	لایه اول
سیلت و رس	5.7	7.7	لایه دوم
سنگ مارنی	34.8	539.7	لایه سوم
سنگ مارنی مرطوب		144.8	لایه چهارم

مقادیر پارامترهای مدل در این سونداژها نشان دهنده تغییرات شدید مقاومت ویژه زمین در محل سونداژهای باشد. عبارت دیگر می توان گفت گسل خوردگی در محل اتفاق افتاده، بگونه ای که این گسل سبب شده سنگ کف در محل سونداژهای مذکور از سایر نقاط اطراف بالاتر قرار گیرد. ناحیه مابین سونداژهای S_{12}, S_6 را می توان به عنوان ضخامت گسل مزبور در نظر گرفت که سنگ کف مارنی با مقاومت ویژه بالا در آنجا در عمق کم از سطح قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از گمانه ۲۵ متری موجود در منطقه خواجه ربیع که توسط شرکت گمانه کاو در راستای مطالعات ریزپهنه بندی حفاری شده بود، با نتایج بدست آمده از سونداژها تطبیق خوبی نشان می دهد. این

گمانه از عمق حدود ۱,۵ متری به سنگ مارنی برخورد کرده بود و این سنگ تا بعد از سطح آب زیرزمینی (۲۳ متری) نیز ادامه داشت . نتایج مدلسازی سونداژ های S_9, S_{10}, S_8 نشان می دهد که سنگ کف در این سونداژها در عمق بیشتری قرار گرفته است بعبارت دیگر بالا آمدگی سنگ مارنی تا محل سونداژ S_6 مشاهده می شود واز آن نقطه بسمت غرب مجددا عمق سنگ کف زیاد می شود . با توجه به اختلاف شدید نتایج سونداژ S_{11} با سایر سونداژها می توان گفت بایستی مرز اصلی گسل نیز مابین این سونداژ و سونداژ S_{12} قرار داشته باشد . این مرز با امتداد بالا و پایین افتادگی زمین در خواجه ربیع هماهنگی دارد .

در جداول ۵-۶ و ۷-۵ نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژهای S_{19}, S_{20} در گلشهر نشان داده شده است .

جدول ۵-۶- مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_{19} .

جنس لایه	$AB/2(m)$	$\rho (ohm . m)$	S_{19} سونداژ
رس و ماسه	3.4	47.8	لایه اول
رس	15.9	19.2	لایه دوم
شن و ماسه آبدار	53	93.3	لایه سوم
رس		14	لایه چهارم

جدول ۵-۷- مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_{20} .

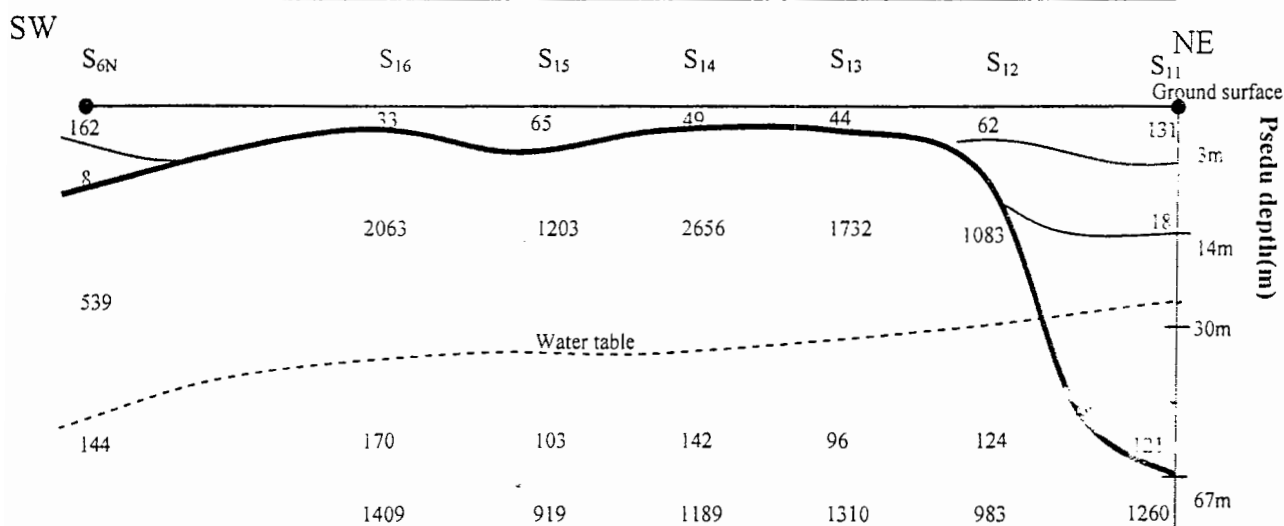
جنس لایه	$AB/2(m)$	$\rho (ohm . m)$	S_{20} سونداژ
رس و ماسه	2.9	40.3	لایه اول
رس	17.2	23.9	لایه دوم
شن		207.8	لایه سوم

مدل سونداژ S_{19} یک زمین چهار لایه ای که لایه چهارم آن یک لایه کم مقاومت می باشد را نشان می دهد در حالی که سونداژ S_{20} یک زمین سه لایه ای با لایه زیرین مقاوم تر نشان می دهد . با توجه به مدل سونداژ S_{21} تفاوت و تغییرات مقاومت ویژه در محیط آشکارتر می شود . جدول ۵-۸ مقادیر پارامترهای مدل سونداژ S_{21} را نشان می دهد . سونداژ S_{21} نشان می دهد که محل زمین مورد

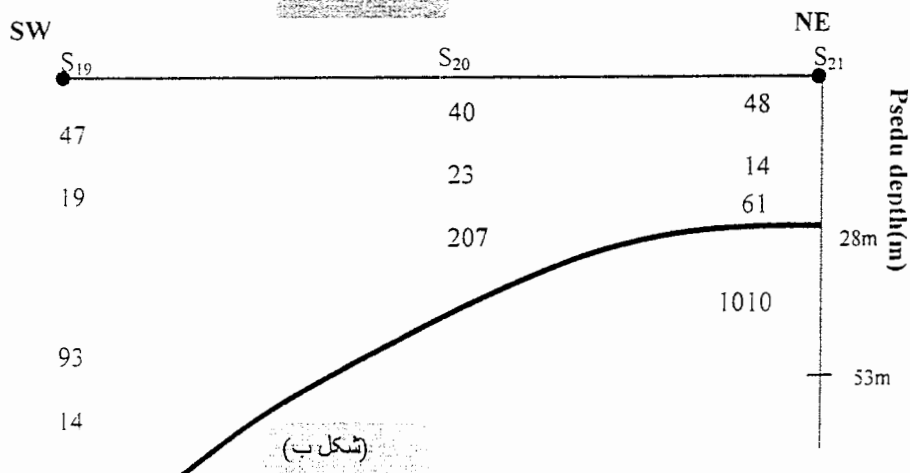
در هیچ یک از سونداژها دیده نمی شود. بنابراین می توان گفت که بایستی سنگ کف در محل سونداژهای S_{20}, S_{21} بالاتر آمده باشد. شکل ۳-۵ تصویری از شبه مقطع گسل در مناطق خواجه ربیع و گلشهر را نشان می دهد.

جدول ۵-۸ - مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ S_{21} .

جنس لایه	$AB/2(m)$	$\rho(ohm.m)$	S_{21} سونداژ
رس و ما سه	2.4	48.8	لایه اول
رس	17.3	14.2	لایه دوم
شن و ما سه آبدار	28.3	61.5	لایه سوم
سنگ کف مارنی		1010.9	لایه چهارم



(شکل الف)



(شکل ب)

شکل ۳-۵- تصویری از شبه مقطع ترسیمی گسل در مناطق خواجه ربیع (الف) و گلشهر (ب) که بمنظور تجسم بهتر ترسیم شده است (مرز سنگ کف مارنی با خط مشکی ضخیم مشخص شده است).

۵-۱-۲ استفاده از نتایج مدل سازی یک بعدی سونداژها بمنظور تعیین سطح

آب زیر زمینی در شهر مشهد

همانگونه که قبلا نیز اشاره گردید در شهر مشهد و حومه اطراف آن تعداد ۱۷ پیزومتر بمنظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در سالهای مختلف در نظر گرفته شده است .

برای تعیین سطح آب زیرزمینی در سطح شهر از آنجا که اطلاعات این تعداد پیزومتر کافی می باشد ، از اطلاعات یکسری سونداژهای الکتریکی استفاده گردیده است . این سونداژها در مناطقی که امکان اندازه گیری در آنجا وجود داشته ، برداشت شده اند . نتایج مدل سازی یک بعدی سونداژها در پیوست ج ارائه شده است .

با کمک اطلاعات سطح آب زیرزمینی در پیزومتر های نزدیک محل سونداژها و نتایج مدل سازی یک بعدی ، سطح آب زیرزمینی در تعدادی از سونداژها که با پیزومترهای اطراف همخوانی داشته اند، تعیین گردیده که نتایج آن در جدول ۵-۹ نشان داده شده است .

با استفاده از اطلاعات جداول ۵-۹ و ۲-۱ و بوسیله نرم افزار SURFER می توان نقشه های هم عمق و هم سطح آب زیرزمینی در سطح شهر را تهیه نمود .

در شکل ۵-۴ نقشه هم ارتفاع تراز آب زیرزمینی در دشت مشهد بین طولهای جغرافیایی ۷۲۲۰۰۰ تا ۷۴۳۰۰۰ و عرضهای جغرافیایی ۴۰۱۷۰۰۰ تا ۴۰۳۳۰۰۰ نشان داده شده است .

نقاط محل برداشت سونداژها و همچنین پیزومترها که از اطلاعات آنها در تهیه نقشه استفاده شده با نقاط سفیدرنگ مشخص شده اند . همانگونه که در این شکل نیز مشاهده می شود ، ارتفاع سطح آب زیرزمینی از جنوب غرب به سمت شمال شرق کاهش می یابد .

جدول ۵-۹- موقعیت، عمق و سطح آب زیرزمینی در هر نقطه از سونداژها .

شماره سونداژ	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق سطح آب (متر)	ارتفاع سطح آب از سطح دریا (متر)
S ₁	737107	4024129	-17	938
S ₂	737371	4024047	-18	937
S ₈	736045	4024144	-13	958
S ₉	736528	4023956	-14	947
S ₁₂	737236	4023798	-27	928
S ₁₄	737148	4023755	-32	924
S ₁₅	737082	4023741	-25	933
S ₁₆	737033	4023713	-28	931
S ₁₇	739495	4020689	-40	901
S ₁₈	739675	4020802	-31	907
S ₂₄	740651	4018739	-65	885
S ₂₆	732917	4025277	-33	968
S ₂₇	733002	4026116	-36	964
S ₂₈	733027	4026624	-46	952
S ₃₂	732720	4027743	-27	975
S ₃₃	732640	4027580	-27	976
S ₄₃	724366	4024944	-72	1002
S ₄₄	730653	4023575	-61	963
S ₄₆	730487	4023954	-61	963
S ₄₉	729594	4021571	-39	1005
S ₅₀	729766	4021788	-24	1016
S ₅₁	729929	4022073	-25	1010
S ₅₂	730116	4022222	-22	1009
S ₅₃	730336	4022514	-33	991
S ₅₄	730537	4022784	-25	994
S ₅₅	730879	4023153	-37	978
S ₅₉	726610	4019114	-55	1047
S ₆₃	728231	4017854	-54	1047

در شکل ۵-۵ نقشه سه بعدی سطح تراز آب زیرزمینی ارائه شده است . در این شکل مناطقی که بارنگ آبی مشخص شده اند (بلوار پیروزی و مناطق غرب و جنوب غربی مشهد) بیشترین ارتفاع سطح آب زیرزمینی را در آن مناطق داریم .از طرف دیگر مناطقی که برنگ سبز مشاهده می شوند (مناطق خواجه ربیع ، گلشهر و مناطق شرقی مشهد) در آن مناطق سطح آب زیرزمینی در پایین ترین ارتفاع قرار دارد .از آنجا که توپوگرافی در تمامی نقاط شهر مشهد یکسان نیست و نواحی غرب و جنوب غربی شهر در ارتفاع بالاتری نسبت به سایر نقاط قرار دارند ، بمنظور بدست آوردن دید از وضعیت تغییرات عمقی سطح آب زیرزمینی نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی با نرم افزار SURFER تهیه شده که در شکل ۵-۶ نمایش داده شده است . مزیت استفاده از این نقشه در اینست

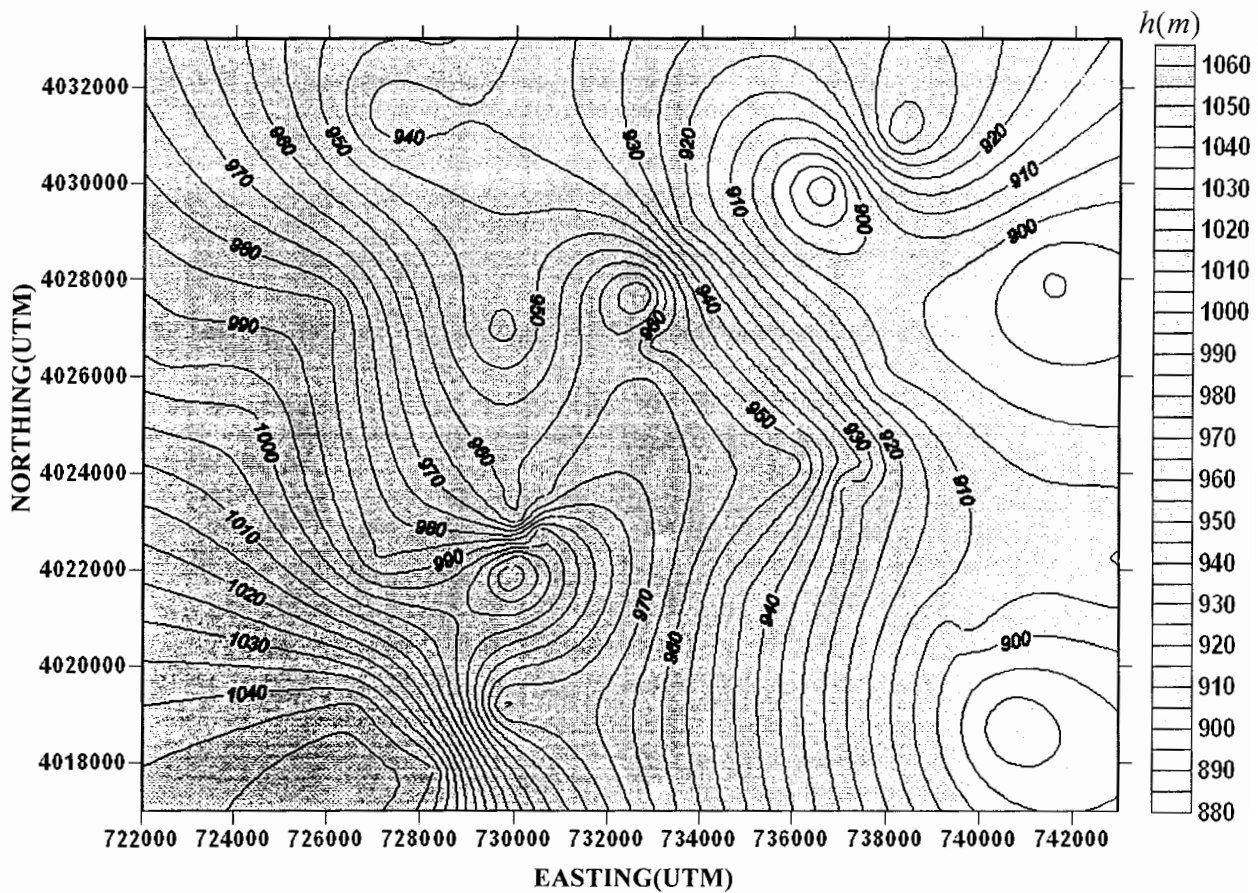
که با استفاده از آن می توان فهمید که در هر نقطه از محدوده مورد مطالعه صرف نظراز ارتفاعی که دارد، سطح آب زیرزمینی حدودا در چه عمقی قرار دارد. در نقشه نقاط قرمز رنگ نشان دهنده محل سونداژها و پیزومترها می باشد که از اطلاعات سطح آب زیرزمینی در آن نقاط برای تهیه این نقشه استفاده شده است .

مناطقى که بارنگ نارنجى مشخص شده اند، مربوط به مناطقى مى باشند که در آنجا آب زیرزمینی در عمق پایین تری از سطح زمین قرار دارد که عموما نواحی غربی و تا حدودی نواحی جنوبی از شهر را در برمی گیرد .

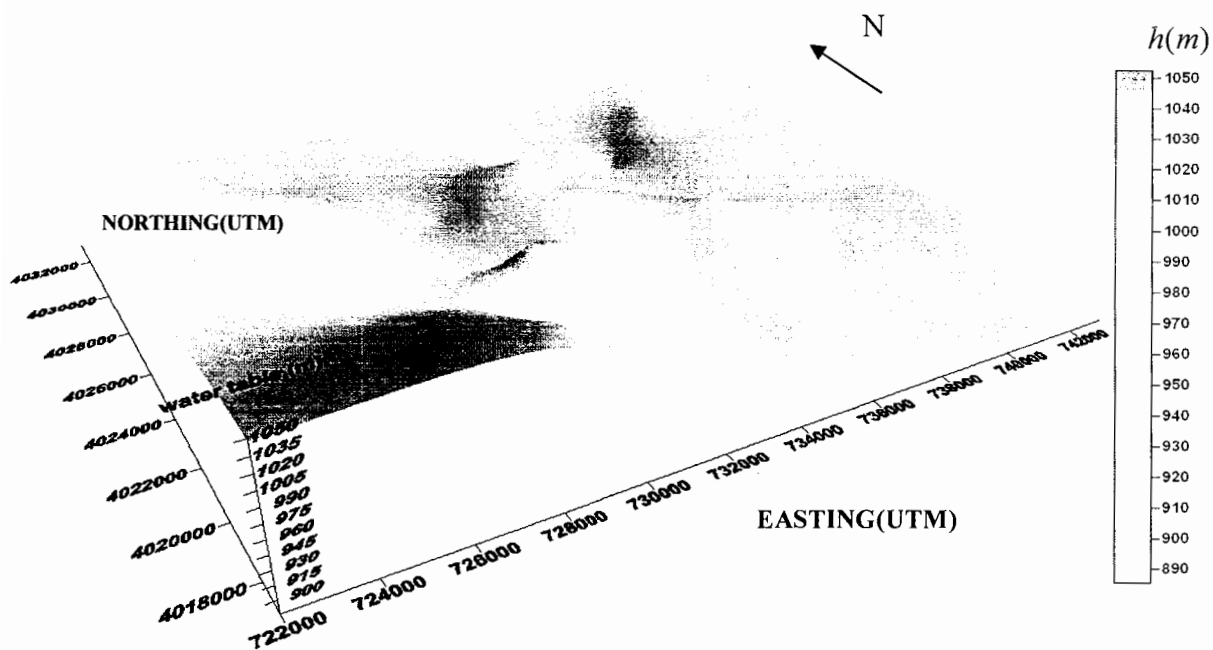
مناطقى که با رنگ سبز مشخص شده اند ، شامل نواحی مرکزی واصلی شهر مشهد ، مناطقی هستند که در آنجا سطح آب زیرزمینی بالا بوده ودر عمق کمتری از سطح زمین نسبت به سایر نقاط قرار دارد. دلیل این امر می تواند به علت بالا بودن سطح فاضلاب در شهر مشهد باشد. بطور کلی با نزدیک شدن از سمت غرب و جنوب به مناطق مرکزی شهر (مرکز نقشه) شاهد کاهش عمق سطح آب زیرزمینی می باشیم. در مناطق شمال شرقی درمناطق واقع در حومه شهر در شمال خواجه ربیع ، سطح آب زیرزمینی در دو نقطه پایین می باشد که اطلاعات سطح آب در این دو نقطه از پیزومترهای P_3, P_5 بدست آمده است. باپیشروی بسمت شمال مجددا سطح آب زیرزمینی تا ۳۲ متری در زیرسطح زمین بالا می آید . نقطه ای که درآن سطح آب زیرزمینی در کمترین عمق قرار دارد مربوط به نقطه واقع در طول جغرافیایی ۷۴۳۰۰۰ وعرض جغرافیایی ۴۰۲۲۰۰۰ می باشد که موقعیت پیزومتر P_3 در منطقه التیمور را شامل می شود . سطح آب زیرزمینی در این نقطه در عمق حدود ۱۲متری از سطح زمین قرار دارد .

نقطه ای که درآن سطح آب زیرزمینی در بیشترین عمق قرار دارد مربوط به نقطه واقع درمحل پیزومتر P_{16} می باشد . سطح آب زیرزمینی در این نقطه در عمق حدود ۱۰۶ متری از سطح زمین قرار دارد . علت پایین بودن سطح آب زیرزمینی در این نقطه بر خلاف P_3 می تواند بدلیل ارتفاع بالای این منطقه می باشد .

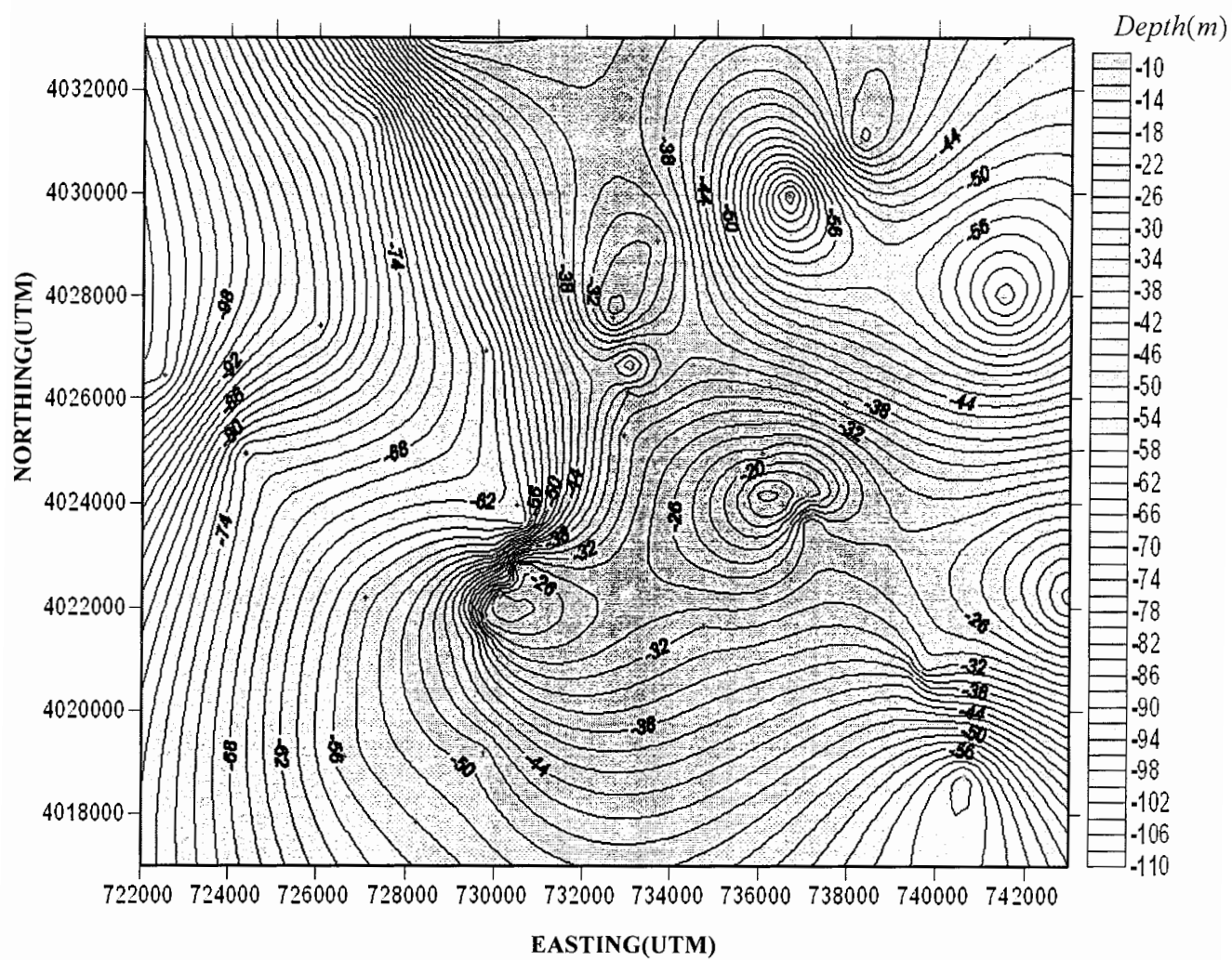
به عبارت دیگر وضعیت توپوگرافی شهر مشهد و حومه اطراف آن بگونه ای است که باعث هدایت آب فاضلاب و ... به سمت شرق (نواحی اطراف پیزومتر P_3) شده است.



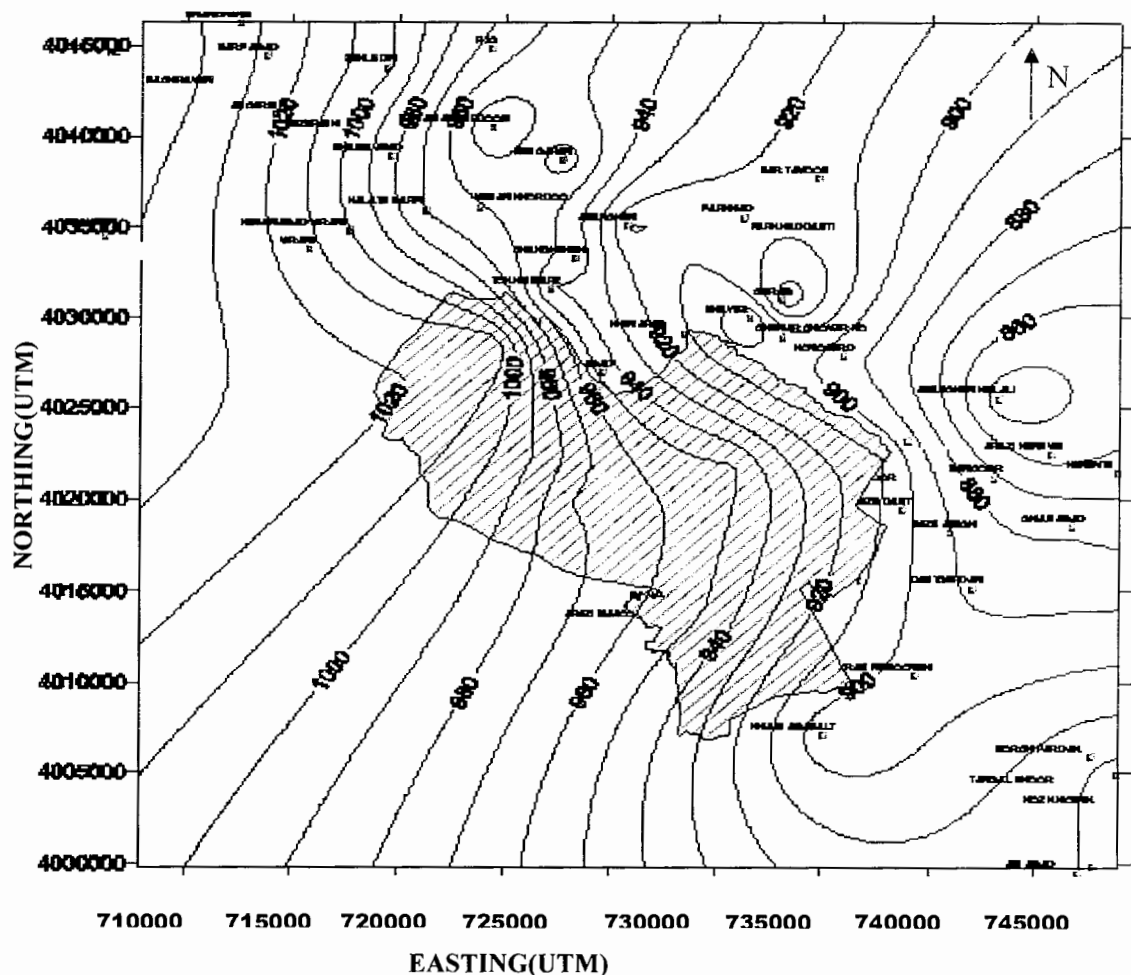
شکل ۵-۴- نقشه هم ارتفاع تراز آب زیر زمینی در سطح شهر مشهد. نقاط سفید رنگ نشاندهنده محل سونداژها و پیزومترها می باشد.



شکل ۵-۵- نقشه سه بعدی تراز آب زیرزمینی در شهر مشهد.



شکل ۵-۶- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد. نقاط قرمز رنگ نشان دهنده محل سونداژها و پیزومترها می باشد.



شکل ۵- ۷- تغییرات ناگهانی در تراز آب زیرزمینی در شمال شهر مشهد [۱].

در شکل ۵-۷ نقشه تراز آب زیرزمینی با توجه به اطلاعات همهٔ پیزومترهای موجود در دشت مشهد، در یک محدودهٔ وسیع تر و بصورت کلی تر نشان داده شده است. دراین شکل نیز می توان مشاهده کرد که منحنی ها با نزدیک شدن به شمال شهر، در نواحی اطراف گسل مورد مطالعه، از روند اصلی خود خارج شده و دچار انحراف شده اند. بعبارت دیگر عبور گسل از آن مناطق باعث تاثیر بر سطح آب زیرزمینی و میزان آبدهی چاههای اطراف شده است.

۵-۲ مدل سازی معکوس دوبعدی داده ها

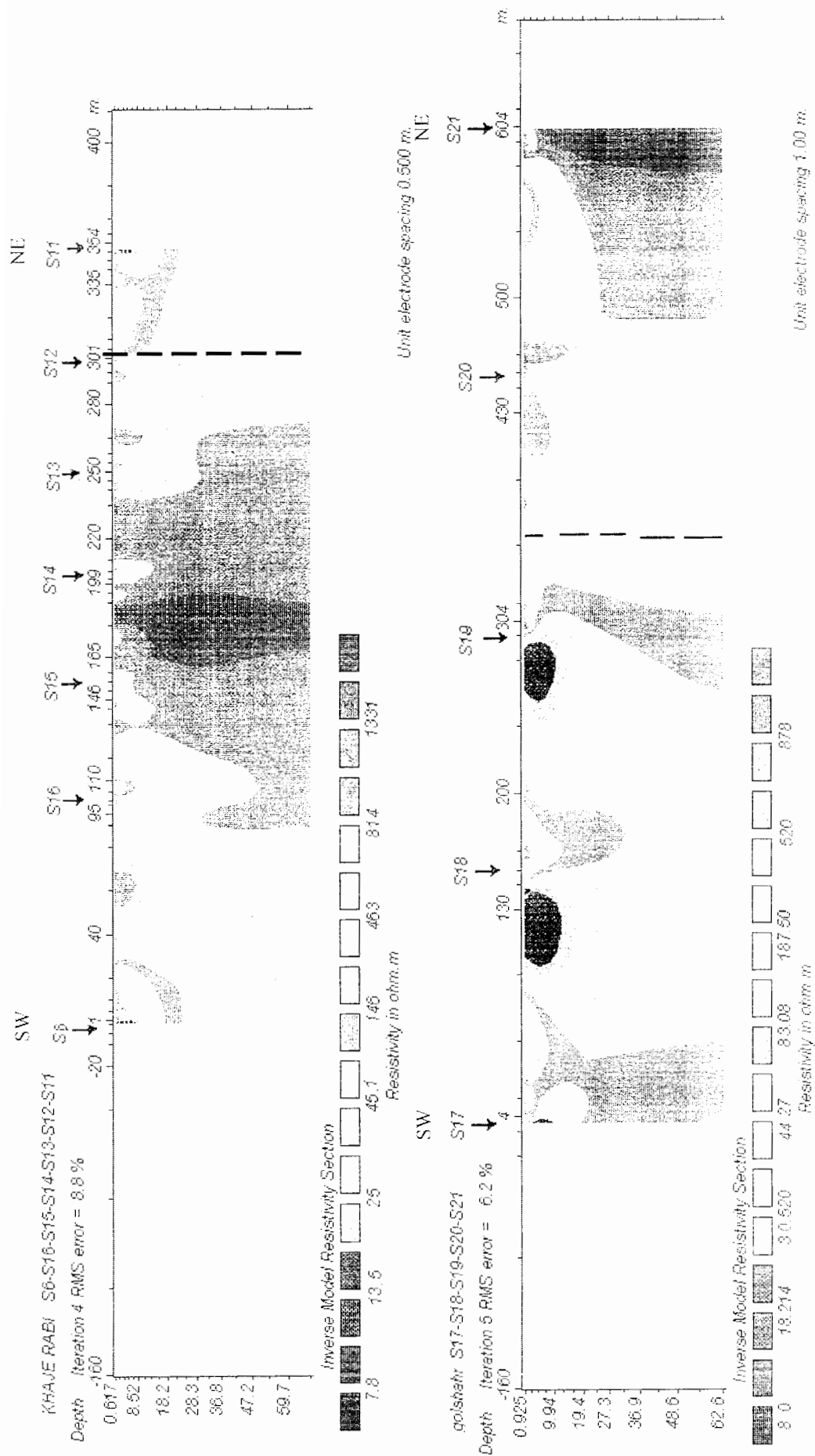
در این بخش مدل سازی معکوس دو بعدی مربوط به داده های سونداژهای $S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{6N}$ (خواجه ربیع) و $S_{17}, S_{18}, S_{19}, S_{20}, S_{21}$ (گلشهر) که در راستای یک پروفیل قرار گرفته اند را مطالعه می کنیم. عبارت دیگر با قرار دادن سونداژهای مربوط به هر منطقه در کنار یکدیگر و معکوس سازی آنها، مدلسازی صورت گرفته و مدل دو بعدی زمین واقع در زیر محل سونداژها تهیه می شود.

در تصویر بالای شکل ۵-۸ نتایج حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی سونداژهای S_{11} تا S_{16} و S_{6N} ارائه شده است. امتداد مقطع تقریباً جنوب غربی - شمال شرقی و سونداژ S_{6N} در گوشه سمت چپ و سونداژ S_{11} در گوشه سمت راست مقطع و بقیه سونداژها در بین این دو سونداژ قرار گرفته اند. در مدل مربوطه می توان تغییرات شدید مقاومت ویژه از کم به زیاد را از دو طرف مقطع و همچنین یک ناحیه با مقاومت ویژه نسبتاً بالا (مناطق نارنجی رنگ) مشاهده نمود این محدوده از مابین سونداژهای S_6, S_{16} در سمت چپ شروع شده و تا زیر محل سونداژ S_{12} در سمت راست ادامه دارد. جنس این ناحیه با توجه به مقدار مقاومت ویژه آن و نتایج بدست آمده از گمانه واقع در خواجه ربیع (نزدیک محل سونداژها) بایستی سنگ مارنی باشد. با نزدیک شدن به وسط مقطع به مقدار مقاومت ویژه افزوده می شود بگونه ای که در زیر محل سونداژهای S_{14}, S_{15} به بیشترین مقدار یعنی حدود ۱۰۰۰ اهم متر می رسد.

با توجه به بالا آمدگی سنگ کف در محل، محدوده مابین سونداژهای S_{12} و S_{16} می تواند به عنوان ضخامت یک گسل در نظر گرفته شود که با توجه به پایین تر بودن عمق سنگ کف در سونداژ S_8 باعث پایین افتادگی زمین در سمت چپ (غرب) سونداژ S_{16} نسبت به سمت راست (شرق) آن شده است. بدلیل مشاهده تغییر ناگهانی مقاومت ویژه در محل سونداژ S_{12} (تغییر رنگ از نارنجی به سبز) بایستی اطراف این محل به عنوان مرز اصلی گسل باشد.

تصویر پایین شکل ۵-۸، مدل بدست آمده از معکوس سازی سونداژهای S_{17} تا S_{21} در منطقه گلشهر را نشان می دهد. در اینجا نیز همانگونه که از مدل سازی یک بعدی و نتایج بدست آمده از پروفیل زنی انتظار می رفت، یک ناحیه با مقاومت ویژه بالا دیده می شود که از بین

سونداژهای S₁₉, S₂₀ بارنگ زرد آغاز شده و با پیشروی بسمت شرق به مقدار آن افزوده می شود تا اینکه در زیر محل سونداژ S₂₁ به بیشترین مقدار که بارنگ بنفش مشخص شده می رسد. این ناحیه بنفش رنگ در مدل بایستی مربوط به سنگ کف مارنی باشد که در این قسمت بالا آمده است. ناحیه ای که برنگ سبز کم رنگ در مدل مشاهده می شود عموماً جنس رسی - ماسه ای دارد که در زیر سونداژ S₁₇ کم کم در شت دانه تر شده به ماسه و شن تغییر یافته اند. خطای مدلسازی برابر ۶,۲ درصد می باشد که با توجه به مقایسه نتایج آن با نتایج بدست آمده از پروفیل زنی می توان گفت مدلسازی با دقت خوبی انجام پذیرفته است. مرز بین دو ناحیه کم مقاوم و با مقاومت زیاد در مقاطع با خط تیره مشکی مشخص شده که بایستی همان مرز گسل مربوط به شمال مشهد باشد که از این مناطق عبور کرده است.



شکل ۵-۸- تصویری از مقطع زمین محل سونداژها در مناطق خواجه ربیع (تصویر بالا) و گلشهر (تصویر پایین) که بوسیله نرم افزار RES2DINV تهیه شده است.

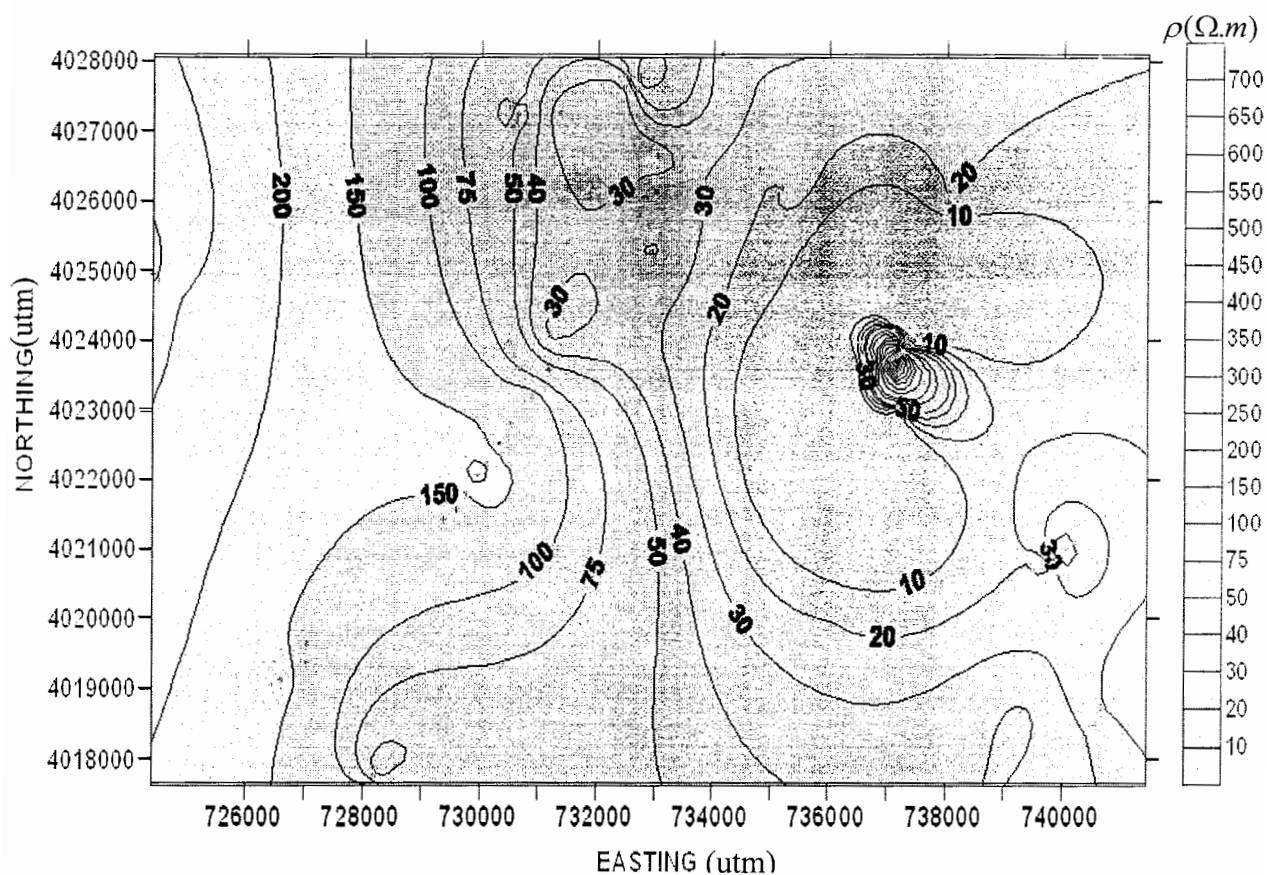
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۶ نتیجه گیری

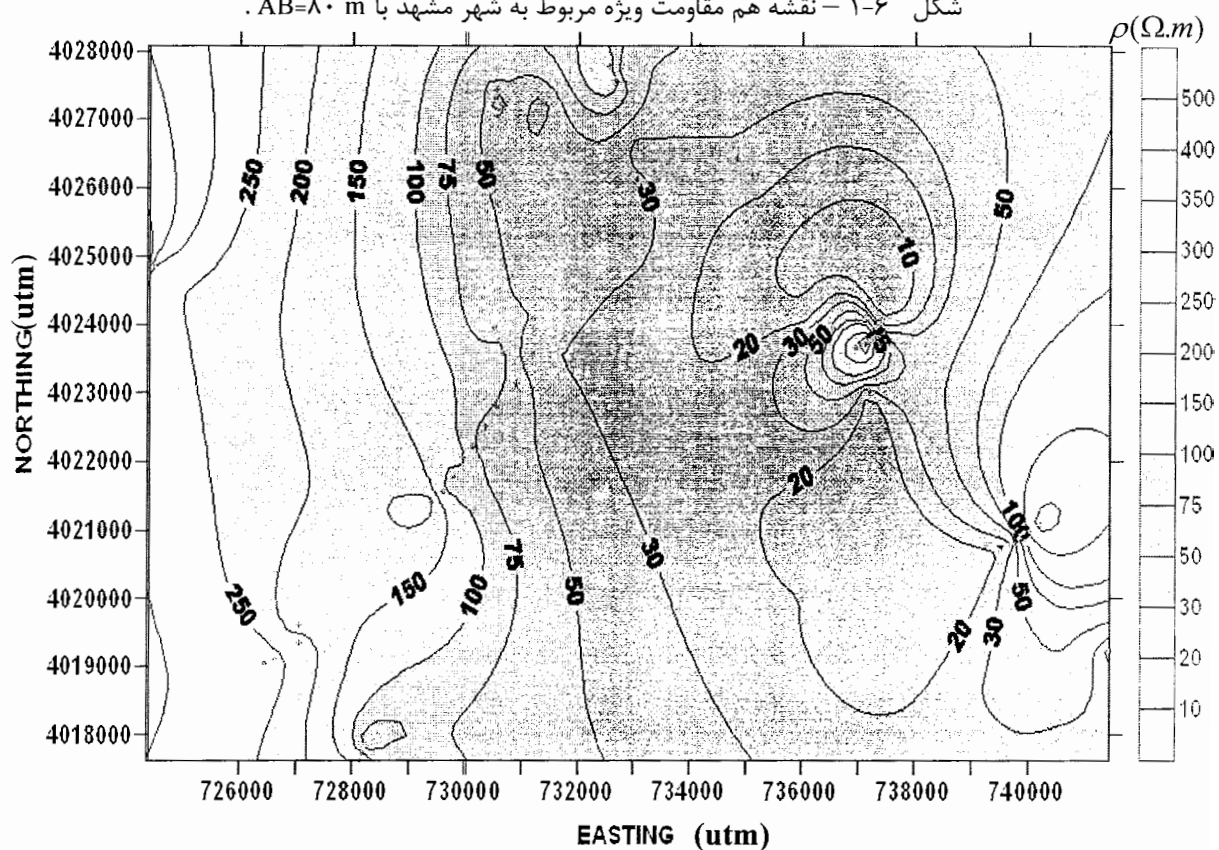
با توجه به مباحث مطرح شده در فصلهای قبلی و نتایج بدست آمده از مدل سازی های یک بعدی و دو بعدی و مشاهده تغییر مسیر رودخانه ها در محل برروی عکس های هوایی و ماهواره ای، می توان گفت که عبور گسل از شمال شهر مشهد اثبات شده می باشد. این گسل در مناطق خواجه ربیع و گلشهر با توجه به کمی ضخامت آبرفت و همچنین بالا آمده گی سنگ کف، بخوبی خود را نشان داده ولی در سایر مناطق بدلیل پایین تر بودن عمق سنگ کف نتوانسته ایم آن را شناسایی کنیم.

در اشکال ۱-۶ تا ۳-۶ بترتیب نقشه های هم مقاومت ویژه مربوط به دشت مشهد با $80m$ ، $AB=200m$ و $AB=320m$ متر بین طولهای 724366 و 741459 و عرضهای 4017645 و 4028069 ارائه شده است.

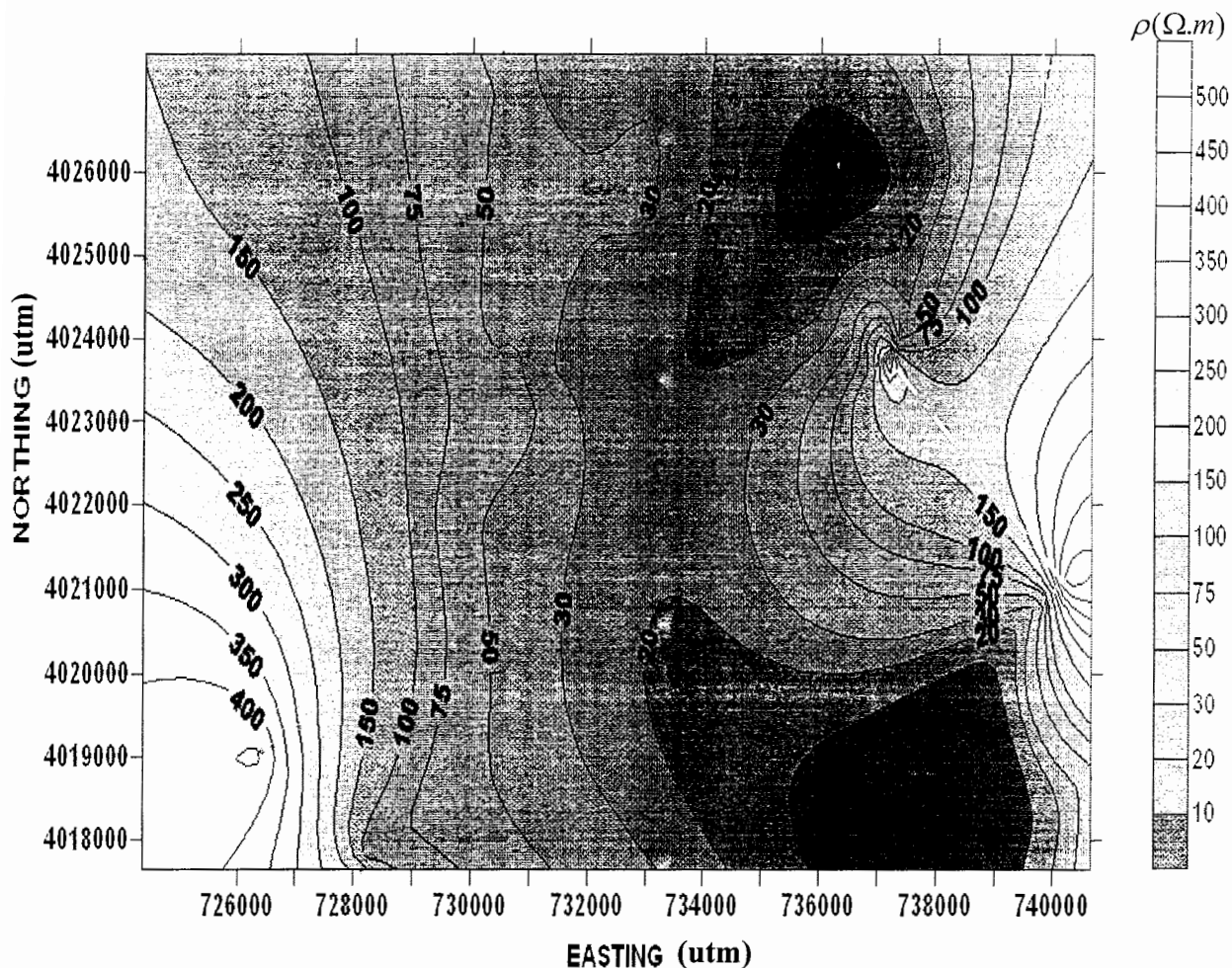
در این اشکال نواحی با مقاومت ویژه پایین برنگ آبی و نواحی با مقاومت ویژه بالا برنگ زرد نمایش داده شده است. نقاط قرمز مشخص کننده محل سونداژها می باشند. در شکل ۱-۶ که مربوط به اندازه گیری با فاصله الکترودهای جریان بطول 80 متر می باشد فقط یک محدوده با مقاومت ویژه بالا مشاهده می شود که مربوط به اطراف خواجه ربیع می باشد. مقاومت ویژه ها در این محدوده تا حدود 700 اهم متر هم افزایش داشته است. در شکل مربوطه کاهش مقاومت ویژه از سمت غرب و جنوب بسمت مرکز نقشه مشاهده می شود. در شکل ۲-۶ نقشه هم مقاومت ویژه مربوط اندازه گیری با فاصله الکترودهای جریان بطول 200 متر ارائه شده است. در این شکل دو منطقه خواجه ربیع و گلشهر بخوبی با مقاومت ویژه بالا نسبت به نواحی اطراف خود با تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه و نزدیک شدن خطوط کانتور به یکدیگر نشان داده اند. مقادیر مقاومت ویژه ها در این



شکل ۶-۱ - نقشه هم مقاومت ویژه مربوط به شهر مشهد با $AB=80\text{ m}$.



شکل ۶-۲ - نقشه هم مقاومت ویژه مربوط به شهر مشهد با $AB=200\text{ m}$.



شکل ۳-۶- نقشه هم مقاومت ویژه مربوط به دشت مشهد با $AB=320$ m.

مناطق تا حدود ۲۵۰ اهم متر افزایش یافته است. در این شکل نیز با پیشروی بسمت غرب بر مقدار مقاومت ویژه افزوده می شود.

در شکل مربوط به اندازه گیری بافاصله الکترودهای جریان بطول ۳۲۰ متر (شکل ۳-۶) نواحی خواجه ربیع و گلشهر بوسیله خطوط کانتور با مقاومت ویژه از ۱۵۰ اهم متر به بالاتر محصور شده اند. این مطلب نشان دهنده بالا تر بودن سنگ کف در این دو منطقه نسبت به سایر مناطق اطراف می باشد. مقادیر مقاومت ویژه ها در این دو منطقه تا حدود ۴۰۰ اهم متر افزایش داشته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از محل مشخص شده گسل در مناطق خواجه ربیع و گلشهر، مسیر عبور گسل در شمال شهر را می توان با اتصال این دو نقطه بیکدیگر بدست آورد که نتیجه در اشکال ۳-۶ و ۴-۶ نمایش داده شده است. نتایج نشان می دهد که امتداد گسل مربوطه شمال غربی - جنوب شرقی و شیب آن نزدیک به ۹۰ درجه می باشد.

نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی (شکل ۵-۷) بالا بودن سطح آب در منطقه شهری مشهد را نشان می دهد که می تواند به علت فاضلاب باشد. این نقشه شیب سطح آب زیرزمینی را به سمت شرق نشان می دهد که می توان گفت با توجه به توپوگرافی منطقه، آبهای آلوده شهر نیز به همین سمت پیشروی می کند.



شکل ۶-۴- ترسیم مسیر عبور گسل شمال مشهد در عکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰. مناطقی که گسل کاملاً پنهان می باشد (خط تیره قرمز) بوسیله اطلاعات ژئوالکتریکی بدست آمده از مناطق خواجه ربیع و گلشهر با خط زرد تکمیل شده است.

۶-۲ پیشنهادات

از آنجا که روش ژئوالکتریک بیشتر می تواند گسلهایی را شناسایی نماید که در اطراف آنها تغییرات مقاومت مخصوص بطور ناگهانی رخ داده باشد، لذا بمنظور مطالعات دقیقتر و شناسایی محل دقیق عبور گسل در کل شهر و اطراف آن موارد ذیل پیشنهاد می گردد:

- ۱- حفاری ترانشه در محل مابین سونداژهای S_6 و S_{11} در خواجه ربیع.
- ۲- حفر دوگمانه در محل سونداژهای S_{19} و S_{21} در گلشهر با حداقل عمق ۸۰ متر.
- ۳- انجام عملیات لرزه نگاری انعکاسی در مناطق اطراف پارک رضوی، گلشهر، خواجه ربیع و شمال میدان سپاد و در سایر نقاط نزدیک به امتداد تقریبی مشخص شده برای گسل مذکور در عکس هوایی (شکل ۶-۴).
- ۴- همچنین بمنظور تعیین سطح آب زیرزمینی در سطح شهر بشکل دقیقتر با توجه به کمبود فضا برای گسترش سیمها از آرایش مربعی استفاده شود.
- ۵- با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در دشت و کم بودن هزینه حفاری، تعداد پیزومترهای موجود در دشت افزایش یابد.

منابع فارسی:

۱. حافظی، ن.، ۱۳۸۶، گزارش مطالعات زمین شناسی مهندسی پروژه ریز پهنه بندی لرزه ای شهر مشهد، سازمان مسکن و شهر سازی خراسان رضوی.
۲. مدنی، ح.، ۱۳۷۲، زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک، انتشارات جهاد دانشگاهی.
۳. حافظی مقدس، ن.، ۱۳۷۲، پایان نامه کارشناسی ارشد: پهنه بندی خطر لغزش در مناطق لرزه خیز، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. منوچهری، م.، ۱۳۷۵، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد، سازمان زمین شناسی کشور.
۵. کلاگری، ع. ا.، ۱۳۷۱، اصول اکتشافات ژئوفیزیکی، انتشارات تابش تبریز.
۶. مقتدر، س. م.، ۱۳۸۵، سمینار کارشناسی ارشد: کاربرد منحنی های تئوری در اکتشاف دایکها و گسلها بوسیله پروفیل زنی و سونداژزنی با آرایشهای لی و وئر، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۷. هلاکوئی، ع. ا.، ۱۳۸۵، پایان نامه کارشناسی ارشد: مدلسازی معکوس ژئوالکتریکی دوبعدی برای تعیین هندسه زمین لغزش در کیلومتر ۲۰+۵۲ بزرگراه قزوین - رشت، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۸. پیروز، ا.، ۱۳۸۱، جزوه درسی ژئوفیزیک اکتشافی رشته مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.

منابع لاتین:

9. Robert G., Nostrand V., Kenneth L., 1966, **Interpretation of resistivity data**, united states government printing office Washington.
10. Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., 1998, **Applied geophysics**, second edition, Cambridge university press, new york, P 45-47 and 522- 560.
11. **Resix, users manual**, 1991, interpex limited golden co.
12. Mooney, H.M., 1980, **Handbook of engineering geophysics** , v.2, first edition, Bison instruments, inc. and Minneapolis, Minnesota, P. 1 – 31.
13. Lock, M.H., 2004, **2-D and 3-D electrical imaging surveys**, P. 1-128.
14. Lock, M.H., 2004, **res2dinv ver. 3.54**, Geotomo software, p. 1-130.
15. Keller, G.V. and Frischknecht, F.C., 1970, **Electrical methods in geophysical prospecting**, second edition, Pergamon press, oxford , new york , Toronto, Sidney . braunschweig , P. 1-196.
16. Griffiths, D.H., King, R.F., 1988, **Applied geophysics for engineers and geologists**, pergamon press, new york.
17. Kearey P. Brooks, 1988, **An introduction to geophysical exploration**, Adlard and son Ltd, The garden city press.

پیوست الف - داده های اندازه گیری شده برای سونداژها با آرایش شلومبرگر .

جدول الف - ۱ - داده های اندازه گیری شده برای سونداژهای S_1 تا S_{63} در مشهد .

S_1			S_2			S_3		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	35.074	5	1	101.265	5	1	85.173
8	1	32.656	8	1	110.528	8	1	52.250
10	1	31.855	10	1	95.770	10	1	43.960
15	1	27.554	15	1	70.650	15	1	30.733
20	1	24.492	20	1	50.240	20	1	25.120
20	4	26.914	30	1	31.086	20	4	31.400
30	4	22.857	30	4	26.847	30	4	26.847
40	4	22.836	40	4	21.352	40	4	25.748
60	4	32.499	50	4	17.663	60	4	31.086
60	10	23.738	60	4	14.130	60	10	24.869
80	10	30.144	60	10	16.391	80	10	26.125
100	10	39.250	80	10	17.082	100	10	25.120
120	10	54.259	100	10	17.270	100	20	26.690
120	20	52.577	120	10	22.608	120	20	27.130
140	20	76.930	120	20	18.086	140	20	27.695
160	20	102.490	140	20	20.002	160	20	32.154
			160	20	24.115			
			180	20	33.064			
S_4			S_5			S_{6E}		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	23.193	5	1	44.282	5	1	22.217
8	1	18.035	8	1	26.125	8	1	17.785
10	1	12.314	10	1	18.840	10	1	13.659
15	1	11.304	15	1	15.190	15	1	7.418
20	1	13.816	20	1	13.816	20	1	7.536
20	4	11.214	20	4	10.519	20	4	8.722
30	4	28.613	30	4	11.304	30	4	11.039
40	4	60.774	40	4	14.444	40	4	17.444
60	4	254.340	60	4	45.216	60	4	79.128
60	10	235.500	60	10	25.434	60	10	70.650
80	10	622.976	80	10	47.848	80	10	279.111
100	10	959.444	100	10	104.667	100	10	68.261
120	10	122.083	120	10	248.688	120	10	199.482
120	20	58.469	120	20	213.646	140	10	553.896
140	20	187.709	140	20	647.832	140	20	499.005
160	20	574.171	160	20	2009.600	160	20	882.263
180	20	1204.768	180	20	249.353			
200	20	1712.727	200	20	565.200			
			220	20	1063.832			

S _{6N}			S ₇			S _{8E}		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	52.724	5	1	69.080	5	1	90.275
8	1	21.278	8	1	54.314	8	1	55.822
10	1	15.229	10	1	45.530	10	1	41.932
15	1	15.896	15	1	28.613	15	1	23.315
20	1	20.096	20	1	23.864	20	1	16.956
20	4	18.840	20	4	32.970	20	4	20.318
30	4	54.047	30	4	27.554	30	4	14.130
40	4	103.620	40	4	27.004	40	4	12.993
60	4	170.973	60	4	40.977	60	4	16.956
60	10	200.646	60	10	28.260	60	10	12.654
80	10	224.070	80	10	52.884	80	10	12.965
100	10	206.579	100	10	117.750	100	10	15.194
120	10	123.316	120	10	108.518	120	10	18.086
120	20	147.443	120	20	124.344	120	20	16.872
140	20	109.900	140	20	71.012	140	20	19.233
160	20	108.627	160	20	44.658	160	20	22.836
			180	20	104.279	180	20	30.521
			200	20	219.070	180	30	25.691
						200	30	34.889
						220	30	37.994
S _{8N}			S _{9E}			S _{9N}		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	107.938	5	1	60.916	5	1	62.11
8	1	67.322	8	1	49.436	8	1	41.2
10	1	51.025	10	1	44.274	10	1	38.34
15	1	31.439	15	1	27.554	15	1	26.12
20	1	21.352	20	1	20.096	20	1	22.3
20	4	24.348	20	4	22.451	20	4	20.1
30	4	14.807	30	4	18.758	30	4	17.3
40	4	11.775	40	4	19.468	40	4	22.1
60	4	13.847	60	4	29.673	60	4	29.33
60	10	10.467	60	10	25.434	60	10	25
80	10	10.048	80	10	38.182	80	10	33.11
100	10	15.543	100	10	48.670	100	10	45.44
100	20	11.630	120	10	51.998	120	10	50.2
120	20	14.681	120	20	40.694	120	20	37.76
140	20	18.317	140	20	41.542	140	20	40.9
160	20	22.836	160	20	48.230	160	20	49.11
180	20	33.064	160	30	41.532			
180	30	29.489	180	30	54.259			
200	30	36.941	200	30	64.893			
220	30	41.752						
240	30	45.216						

S ₁₀			S ₁₁			S ₁₂		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	18.317	5	1	92.051	5	1	82.743
8	1	18.878	8	1	59.032	8	1	91.867
10	1	19.404	10	1	39.250	10	1	104.667
15	1	15.543	15	1	30.733	15	1	183.690
20	1	13.188	15	4	29.017	15	4	142.068
20	4	16.526	20	4	26.984	20	4	204.100
30	4	11.582	30	4	39.250	30	4	457.917
40	4	10.048	40	4	63.864	40	4	581.481
60	4	12.717	60	4	104.562	60	4	452.160
60	10	10.598	60	10	96.498	60	10	391.292
80	10	13.671	80	10	93.470	80	10	251.200
100	10	18.840	100	10	66.809	100	10	214.091
100	20	16.485	120	10	83.650	120	10	176.342
120	20	21.478	120	20	70.650	120	20	199.482
			140	20	100.343	140	20	192.325
			160	20	154.585	160	20	200.960
			180	20	175.407	180	20	254.340
S ₁₃			S ₁₄			S ₁₅		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	80.463	5	1	106.536	5	1	74.932
8	1	160.768	8	1	247.335	8	1	150.720
10	1	204.100	10	1	338.154	10	1	188.400
15	1	388.575	15	1	554.603	15	1	342.653
15	4	306.770	15	4	502.702	15	4	287.833
20	4	383.778	20	4	579.692	20	4	383.778
30	4	519.485	30	4	706.500	30	4	529.875
40	4	554.118	40	4	703.360	40	4	628.000
60	4	438.030	60	4	536.940	60	4	582.156
60	10	388.575	60	10	471.000	60	10	458.377
80	10	287.086	80	10	309.169	80	10	413.978
100	10	216.552	100	10	298.300	100	10	241.538
120	10	205.733	100	20	261.667	120	10	248.688
120	20	226.080	120	20	308.291	120	20	260.862
140	20	307.720	140	20	419.618	140	20	271.518
160	20	376.800	160	20	535.893	160	20	287.086
180	20	508.680	180	20	678.240	180	20	317.925

S ₁₆			S ₁₇			S ₁₈		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	75.696	5	1	35.364	5	1	46.820
8	1	115.938	8	1	25.723	8	1	32.271
10	1	157.000	10	1	23.707	10	1	25.280
15	1	310.860	15	1	23.315	15	1	18.722
15	4	233.397	20	1	21.352	20	1	13.188
20	4	314.000	20	4	23.236	20	4	17.804
30	4	605.571	30	4	22.255	30	4	12.527
40	4	779.586	40	4	21.980	40	4	10.555
60	4	932.580	60	4	21.195	60	4	14.130
60	10	627.372	60	10	23.173	60	10	14.130
80	10	436.083	80	10	22.106	80	10	17.628
100	10	142.727	100	10	18.840	100	10	17.270
120	10	155.917	100	20	23.550	100	20	18.115
120	20	124.344	120	20	21.478	120	20	18.380
140	20	153.860	140	20	21.540	140	20	23.312
160	20	196.941	160	20	24.115	160	20	30.448
180	20	242.229						
S ₁₉			S ₂₀			S ₂₁		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	44.588	5	1	35.678	5	1	32.656
8	1	32.656	8	1	29.742	8	1	22.407
10	1	31.243	10	1	29.987	10	1	18.840
15	1	27.200	15	1	30.733	15	1	18.051
20	1	32.028	20	1	30.144	20	1	20.096
20	4	27.946	20	4	25.591	20	4	16.171
30	4	28.260	30	4	29.673	30	4	23.315
40	4	33.284	40	4	54.636	40	4	37.052
40	10	29.390	60	4	93.258	60	4	103.149
60	10	49.738	60	10	88.171	60	10	74.606
80	10	51.245	80	10	112.538	80	10	155.744
100	10	50.240	100	10	157.000	100	10	224.510
100	20	53.380	100	20	165.635	100	20	165.635
120	20	47.477	120	20	196.690	120	20	276.833
140	20	40.004	140	20	198.479	140	20	339.014
160	20	36.173	160	20	202.970	160	20	432.837

S_{22}			S_{23}			S_{24}		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega, m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega, m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega, m)}$
5	1	32.264	5	1	17.545	5	1	23.785
8	1	31.048	8	1	19.795	8	1	17.986
10	1	30.301	10	1	20.724	10	1	17.898
15	1	31.200	15	1	24.000	15	1	18.200
20	1	32.700	20	1	26.000	20	1	19.500
20	4	29.673	20	4	23.079	20	4	17.584
30	4	38.504	30	4	25.434	30	4	18.016
40	4	42.100	40	4	27.632	40	4	20.096
60	4	45.800	60	4	33.500	60	4	39.000
60	10	42.955	60	10	30.521	60	10	44.086
80	10	36.173	80	10	33.158	80	10	52.250
100	10	31.400	100	10	34.540	100	10	50.240
120	10	30.400	120	10	36.300	120	10	39.000
120	20	31.651	120	20	33.912	120	20	44.086
140	20	34.300	140	20	33.849	140	20	38.465
			160	20	34.163	160	20	36.160
S_{25}			S_{26}			S_{27}		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega, m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega, m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega, m)}$
5	1	21.195	5	1	46.7075	5	1	57.8545
8	1	15.373	8	1	45.7184	8	1	56.87168
10	1	13.659	10	1	46.315	10	1	54.322
15	1	11.200	15	1	45.9225	15	1	45.9225
20	1	10.400	20	1	43.332	20	1	41.448
20	4	11.461	20	4	45.687	20	4	48.67
30	4	10.951	30	4	42.74325	30	4	41.6835
40	4	10.500	40	4	41.448	40	4	37.68
60	4	12.200	60	4	33.912	60	4	31.086
60	10	11.304	60	10	39.564	60	10	33.912
80	10	13.062	80	10	37.1776	80	10	33.1584
100	10	16.485	100	10	36.11	100	10	32.97
120	10	22.300	120	10	31.6512	120	10	31.6512
120	20	20.347	120	20	33.912	120	20	32.7816
140	20	24.618	140	20	32.3106	140	20	32.3106
			160	20	30.144	160	20	32.1536
			180	20	30.5208			
			200	20	28.26			

S ₂₈			S ₂₉			S ₃₀		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	43.803	5	1	23.4715	5		38.73975
8	1	42.40256	8	1	21.1008	8	1	33.1584
10	1	38.465	10	1	20.41	10	1	31.557
15	1	31.086	15	1	17.6625	15	1	27.20025
20	1	24.492	20	1	16.956	20	1	27.632
20	4	27.475	20	4	18.683	20	4	25.277
30	4	24.7275	30	4	20.4885	30	4	28.61325
40	4	24.492	40	4	21.98	40	4	33.284
60	4	26.847	60	4	24.021	60	4	50.868
60	10	23.7384	60	10	22.608	60	10	44.0856
80	10	24.1152	80	10	22.1056	80	10	48.2304
100	10	25.12	100	10	21.98	100	10	47.1
120	10	29.3904	120	10	22.608	120	10	42.9552
120	20	25.9992	120	20	21.4776	120	20	46.3464
140	20	28.4641	140	20	21.5404	140	20	43.0808
160	20	30.144	160	20	22.1056			
180	20	33.0642	180	20	20.3472			
200	20	37.68						
S ₃₁			S ₃₂			S ₃₃		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	16.367	5	1	65.979	5	1	35.442
8	1	15.775	8	1	92.441	8	1	39.790
10	1	14.915	10	1	102.05	10	1	42.704
15	1	19.782	15	1	95.377	15	1	60.052
20	1	24.492	20	1	87.92	20	1	50.24
20	4	19.468	20	4	75.36	20	4	43.96
30	4	24.021	30	4	113.04	30	4	32.499
40	4	38.936	40	4	100.48	40	4	40.82
60	4	72.063	60	4	63.585	60	4	76.302
60	10	67.824	60	10	55.389	60	10	101.736
80	10	104.499	80	10	45.216	80	10	150.72
100	10	135.02	100	10	53.38	100	10	103.62
			120	10	74.606	120	10	65.5632
			120	20	61.041	120	20	58.780
			140	20	86.161	140	20	52.312

S ₃₄			S ₃₅			S ₃₆		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	29.47675	5	1	77.244	5	1	37.79775
8	1	14.46912	8	1	34.36416	8	1	23.71328
10	1	13.345	10	1	28.26	10	1	19.468
15	1	15.543	15	1	22.608	15	1	16.956
20	1	19.468	20	1	20.096	20	1	17.584
20	4	17.27	20	4	21.98	20	4	15.229
30	4	21.9015	30	4	18.72225	30	4	19.42875
40	4	28.26	40	4	17.584	40	4	24.492
60	4	46.629	60	4	19.782	60	4	32.499
60	10	41.2596	60	10	20.3472	60	10	28.8252
80	10	37.1776	80	10	22.1056	80	10	29.1392
100	10	25.12	100	10	23.55	100	10	28.26
			120	10	24.8688	120	10	29.3904
			120	20	23.7384			
			140	20	26.1562			
S ₃₇			S ₃₈			S ₃₉		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	47.493	5	1	39.603	5	1	59.228
8	1	54.259	8	1	47.226	8	1	45.015
10	1	59.817	10	1	52.752	10	1	46.001
15	1	78.068	15	1	67.824	15	1	50.868
20	1	86.036	20	1	75.988	20	1	59.660
20	4	75.360	20	4	69.551	20	4	54.479
30	4	77.715	30	4	62.172	30	4	56.520
40	4	52.124	40	4	52.124	40	4	58.404
60	4	45.216	60	4	43.803	60	4	66.411
60	10	48.042	60	10	45.781	60	10	60.476
80	10	45.216	80	10	44.211	80	10	60.288
100	10	45.530	100	10	40.820	100	10	64.370
120	10	45.216						
120	20	41.825						
140	20	41.542						
160	20	48.230						

S ₄₀			S ₄₁			S ₄₂		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	99.695	5	1	47.41	5	1	549.1075
8	1	70.436	8	1	54.86	8	1	337.6128
10	1	64.841	10	1	59.50	10	1	273.023
15	1	54.754	15	1	71.00	15	1	243.7425
20	1	44.588	20	1	70.34	20	1	263.76
20	4	38.622	20	4	67.67	20	4	243.664
30	4	34.972	30	4	60.41	30	4	248.688
40	4	35.168	40	4	52.12	40	4	263.76
60	4	43.803	60	4	45.22	60	4	310.86
60	10	40.129	60	10	49.17	60	10	293.904
80	10	43.206	80	10	44.21	80	10	256.224
100	10	47.100	100	10	42.39	100	10	266.9
			120	10	40.69	120	10	339.12
			120	20	44.09			
			140	20	43.08			
			160	20	42.20			
S ₄₃			S ₄₄			S ₄₅		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	220.1925	5	1	57.698	5	1	99.303
8	1	212.0128	8	1	54.862	8	1	108.518
10	1	212.107	10	1	54.950	10	1	106.446
15	1	236.6775	15	1	63.585	15	1	95.378
20	1	295.16	20	1	69.080	20	1	69.080
20	4	252.77	20	4	61.544	20	4	75.674
30	4	307.3275	30	4	67.471	30	4	69.944
40	4	323.42	40	4	75.988	40	4	68.452
60	4	438.03	60	4	91.845	60	4	63.585
60	10	378.684	60	10	82.519	60	10	77.432
80	10	442.112	80	10	82.394	80	10	74.355
100	10	439.6	100	10	78.500	100	10	72.220
100	10	471	120	10	67.824	100	10	70.650
120	20	360.5976	120	20	73.476	120	20	73.476
140	20	224.6356	140	20	69.237	140	20	67.698
160	20	176.8448	160	20	60.288	160	20	66.317
180	20	223.8192						
200	20	301.44						

S ₄₆			S ₄₇			S ₄₈		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	50.907	5	1	164.458	5	1	108.330
8	1	55.465	8	1	158.256	8	1	115.552
10	1	56.363	10	1	149.464	10	1	114.139
15	1	60.053	15	1	113.040	15	1	120.105
20	1	59.032	20	1	69.080	20	1	138.160
20	4	53.223	20	4	81.640	20	4	113.040
30	4	63.585	30	4	46.982	30	4	116.573
40	4	64.684	40	4	27.004	40	4	131.880
60	4	63.585	60	4	24.021	60	4	197.820
60	10	62.737	60	10	21.478	60	10	140.735
80	10	60.288	80	10	31.149	80	10	245.171
100	10	53.380	100	10	50.240	100	10	219.800
120	10	47.477	120	10	70.085			
120	20	53.129						
140	20	49.235						
160	20	42.202						
S ₄₉			S ₅₀			S ₅₁		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	78.893	5	1	76.420	5	1	102.050
8	1	90.934	8	1	82.293	8	1	102.992
10	1	96.398	10	1	87.606	10	1	113.040
15	1	113.040	15	1	120.105	15	1	134.235
20	1	163.280	20	1	157.000	20	1	163.280
20	4	130.938	20	4	143.498	20	4	127.955
30	4	138.827	30	4	144.833	30	4	177.685
40	4	141.300	40	4	119.320	40	4	226.708
60	4	128.583	60	4	94.671	60	4	187.929
60	10	116.996	60	10	124.909	60	10	209.124
80	10	110.528	80	10	100.480	80	10	140.672
100	10	97.340	100	10	84.780	100	10	114.610
120	10	90.432	100	10	89.490	100	10	100.480
			120	20	73.476	120	20	87.041
			140	20	61.544	140	20	72.314
			160	20	56.269			

S ₅₂			S ₅₃			S ₅₄		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$
5	1	63.546	5	1	51.261	5	1	59.503
8	1	77.470	8	1	59.183	8	1	64.207
10	1	81.640	10	1	72.691	10	1	71.592
15	1	120.105	15	1	102.443	15	1	95.378
20	1	150.720	20	1	119.320	20	1	125.600
20	4	121.675	20	4	103.620	20	4	107.702
30	4	169.560	30	4	121.165	30	4	127.170
40	4	200.960	40	4	117.436	40	4	138.160
60	4	169.560	60	4	91.845	60	4	111.627
60	10	146.387	60	10	101.736	60	10	98.910
80	10	109.523	80	10	93.446	80	10	87.418
100	10	75.360	100	10	70.650	100	10	73.790
100	10	69.080	120	10	63.302	120	10	72.346
120	20	61.042	120	20	73.476	120	20	63.302
140	20	52.312	140	20	64.621	140	20	60.005
			160	20	56.269			
S ₅₅			S ₅₆			S ₅₇		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$
5	1	57.698	5	1	52.438	5	1	177.018
8	1	64.609	8	1	72.346	8	1	175.036
10	1	74.732	10	1	76.616	10	1	156.843
15	1	86.546	15	1	77.715	15	1	162.495
20	1	100.480	20	1	75.360	20	1	169.560
20	4	82.111	20	4	78.029	20	4	150.249
30	4	109.861	30	4	66.764	30	4	134.235
40	4	119.320	40	4	55.892	40	4	132.508
60	4	110.214	60	4	39.564	60	4	169.560
60	10	93.258	60	10	44.651	60	10	143.561
80	10	83.398	80	10	34.163	80	10	150.720
100	10	69.080	100	10	29.830	100	10	158.570
120	10	61.042	120	10	29.390	120	10	196.690
120	20	73.476	120	20	30.521	120	20	180.864
140	20	64.621	140	20	30.772	140	20	195.402
160	20	60.288	160	20	32.154			

S ₅₈			S ₅₉			S ₆₀		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	110.685	5	1	67.549	5	1	233.145
8	1	60.087	8	1	32.756	8	1	300.435
10	1	53.537	10	1	33.127	10	1	303.638
15	1	52.988	15	1	60.053	15	1	261.405
20	1	87.920	20	1	87.920	20	1	194.680
20	4	70.650	20	4	79.128	20	4	228.278
30	4	105.975	30	4	130.703	30	4	184.043
40	4	138.160	40	4	163.280	40	4	165.164
60	4	169.560	60	4	240.210	60	4	169.560
60	10	193.298	60	10	197.820	60	10	197.820
80	10	233.114	80	10	232.109	80	10	241.152
100	10	243.350	100	10	257.480	100	10	281.030
120	10	271.296	120	10	339.120	120	10	293.904
120	20	289.382	120	20	293.904	120	20	349.294
140	20	296.950	140	20	338.492	140	20	390.804
			160	20	399.910	160	20	458.189
S ₆₁			S ₆₂			S ₆₃		
AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$	AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_{a(\Omega.m)}$
5	1	70.454	5	1	43.960	5	1	142.478
8	1	48.230	8	1	34.163	8	1	60.087
10	1	43.960	10	1	33.441	10	1	45.530
15	1	56.520	15	1	38.858	15	1	42.390
20	1	69.080	20	1	51.496	20	1	42.076
20	4	58.404	20	4	42.861	20	4	37.523
30	4	89.726	30	4	52.988	30	4	36.385
40	4	106.760	40	4	64.056	40	4	37.052
60	4	122.931	60	4	93.258	60	4	50.868
60	10	111.910	60	10	79.128	60	10	42.390
80	10	122.586	80	10	92.442	80	10	45.216
100	10	149.150	100	10	94.200	100	10	58.090
120	10	162.778	120	10	110.779	120	10	70.085
120	20	157.126	120	20	103.997	120	20	63.302
140	20	176.939	140	20	112.318	140	20	72.314
160	20	192.922	160	20	108.518	160	20	76.365

پیوست ب: داده های اندازه گیری شده برای پروفیل های مقاومت ویژه با آرایش های ونر و لی.

جدول ب-۱- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل AA' (منطقه خواجه ربیع).

no.	d(m)	$R (\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$
1	30	0.26	32.656
2	50	0.25	31.400
3	70	0.24	30.144
4	90	0.23	28.888
5	110	0.21	26.376
6	130	0.205	25.748
7	150	0.203	25.497
8	170	0.19	23.864
9	190	0.186	23.362
10	210	0.182	22.859
11	230	0.206	25.874
12	250	0.187	23.487
13	270	0.19	23.864
14	290	0.193	24.241
15	310	0.164	20.598
16	330	0.167	20.975
17	350	0.164	20.598
18	370	0.165	20.724
19	390	0.166	20.850
20	410	0.161	20.222
21	430	0.141	17.710
22	450	0.314	39.438
23	470	0.18	22.608
24	490	0.153	19.217
25	510	0.328	41.197
26	530	0.257	32.279
27	550	0.197	24.743

جدول ب- ۲- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل BB' (منطقه خواجه ربیع) .

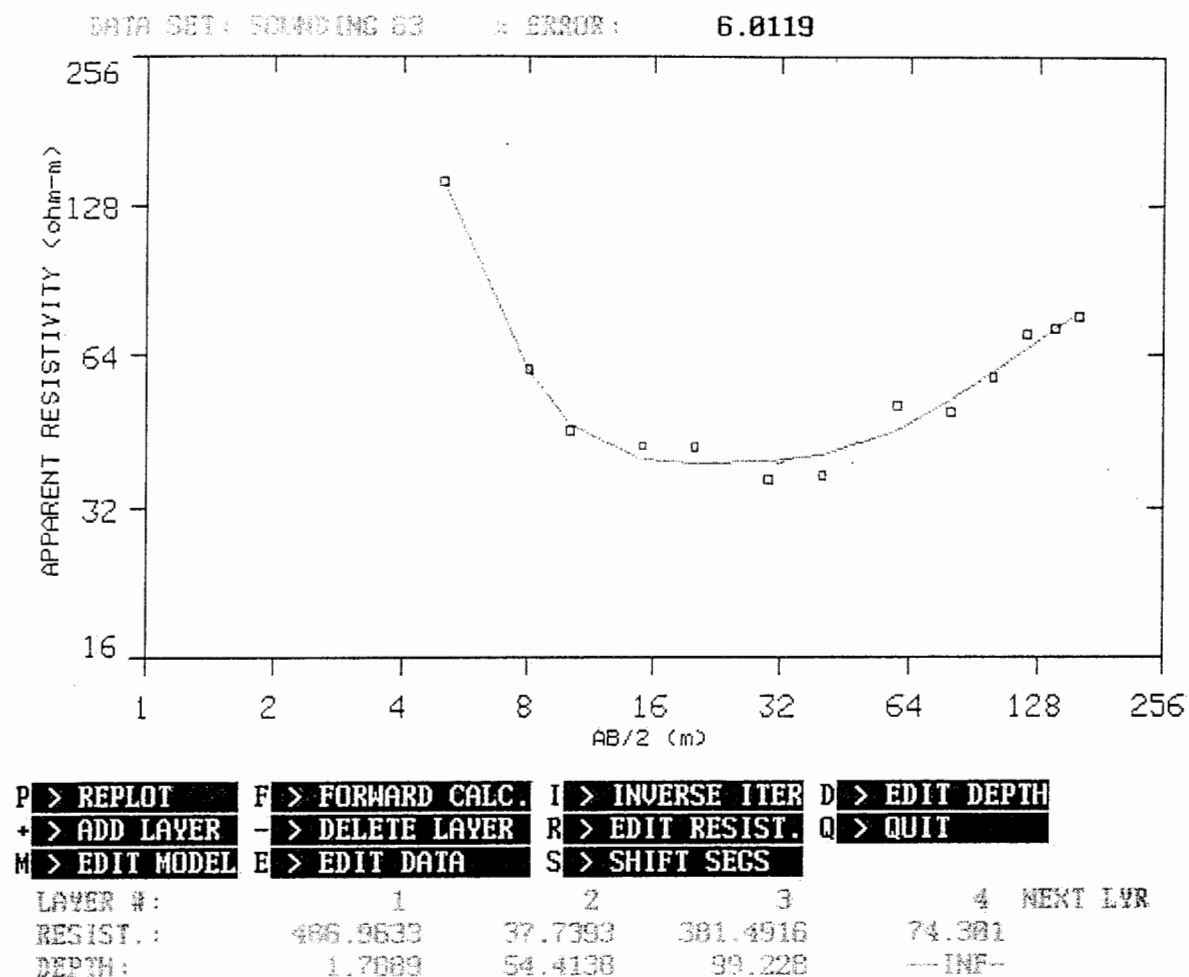
wenner				left lee				right lee		
no.	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{u(\Omega.m)}$	no.	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{u(\Omega.m)}$	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{u(\Omega.m)}$
1	75	0.277	87.086	1	62.5	0.093	58.543	87.5	0.178	111.861
2	85	0.278	87.275	2	72.5	0.091	57.112	97.5	0.181	113.67
3	95	0.270	84.8555	3	82.5	0.085	53.443	107.5	0.179	112.5
4	105	0.255	80.165	4	92.5	0.082	51.332	117.5	0.168	105.23
5	115	0.286	89.8215	5	102.5	0.078	48.987	127.5	0.202	126.888
6	125	0.434	136.3645	6	112.5	0.067	42.311	137.5	0.361	226.65
7	135	0.771	241.9955	7	122.5	0.140	88.113	147.5	0.624	392.11
8	145	0.641	201.144	8	132.5	0.231	145.14	157.5	0.403	253.38
9	155	0.623	195.706	9	142.5	0.230	144.544	167.5	0.387	243.1
10	165	0.606	190.2105	10	152.5	0.230	144.323	177.5	0.370	232.33
11	175	0.585	183.8225	11	162.5	0.227	142.777	187.5	0.352	221.1
12	185	0.545	170.981	12	172.5	0.225	141.214	197.5	0.314	196.98
13	195	0.522	163.995	13	182.5	0.221	138.555	207.5	0.296	185.667
14	205	0.509	159.7565	14	192.5	0.219	137.434	217.5	0.284	178.311
15	215	0.498	156.351	15	202.5	0.222	139.114	227.5	0.270	169.82
16	225	0.459	144.1545	16	212.5	0.216	135.665	237.5	0.237	148.876
17	235	0.434	136.3235	17	222.5	0.212	133.325	247.5	0.216	135.554
18	245	0.427	134.1005	18	232.5	0.211	132.213	257.5	0.211	132.22
19	255	0.434	136.1465	19	242.5	0.221	138.545	267.5	0.207	129.98
20	265	0.454	142.661	20	252.5	0.238	149.22	277.5	0.211	132.334
21	275	0.475	149.0925	21	262.5	0.250	156.757	287.5	0.219	137.66
22	285	0.504	158.124	22	272.5	0.269	169.11	297.5	0.228	143.37
23	295	0.515	161.7685	23	282.5	0.276	173.229	307.5	0.233	146.54
24	305	0.526	165.259	24	292.5	0.286	179.32	317.5	0.235	147.43
25	315	0.534	167.7655	25	302.5	0.298	187.443	327.5	0.230	144.32
26	325	0.540	169.5045	26	312.5	0.306	192.021	337.5	0.228	143.22
27	335	0.536	168.264	27	322.5	0.312	196.11	347.5	0.218	136.65
28	345	0.554	173.8155	28	332.5	0.337	211.663	357.5	0.211	132.2
29	355	0.569	178.7705	29	342.5	0.315	198.123	367.5	0.248	155.65
30	365	0.493	154.8215	30	352.5	0.323	202.545	377.5	0.165	103.33
31	375	0.504	158.322	31	362.5	0.335	210.665	387.5	0.163	102.211
32	385	0.501	157.2515	32	372.5	0.356	223.32	397.5	0.139	87.415
33	395	0.680	213.5755	33	382.5	0.603	378.843	407.5	0.071	44.54
34	405	0.316	99.2755	34	392.5	0.226	141.662	417.5	0.085	53.121
35	415	0.240	75.4025	35	402.5	0.139	87.126	427.5	0.095	59.911
36	425	0.260	81.526	36	412.5	0.147	92.113	437.5	0.107	67.171
37	435	0.273	85.7565	37	422.5	0.152	95.535	447.5	0.115	72.21
38	445	0.285	89.6005	38	432.5	0.158	99.321	457.5	0.121	76.112
39	455	0.319	100.274	39	442.5	0.193	121.13	467.5	0.120	75.65
40	465	0.324	101.6565	40	452.5	0.166	104.434	477.5	0.151	95.111
41	475	0.298	93.6505	41	462.5	0.173	108.546	487.5	0.119	74.987
42	485	0.257	80.7235	42	472.5	0.147	92.232	497.5	0.104	65.447
43	495	0.216	67.9805	43	482.5	0.107	67.433	507.5	0.103	64.76
44	505	0.175	54.9945	44	492.5	0.081	51.111	517.5	0.088	55.11

جدول ب-۳- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل 'CC'(منطقه گلشهر).

wenner				left lee				right lee		
no.	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$	no.	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$
1	150	0.043	27.26	1	125	0.018	22.11	175	0.017	21.106
2	170	0.051	32.18	2	145	0.019	24.432	195	0.023	28.615
3	190	0.055	34.54	3	165	0.025	31.143	215	0.030	37.434
4	210	0.065	40.82	4	185	0.020	25.545	235	0.021	26.066
5	230	0.051	32.1	5	205	0.025	31.2	255	0.017	21.7
6	250	0.053	33.2	6	225	0.028	35.1	275	0.016	20
7	270	0.049	30.7	7	245	0.023	29.3	295	0.017	20.8
8	290	0.047	29.8	8	265	0.025	30.8	315	0.014	17.5
9	310	0.046	28.65	9	285	0.024	30	335	0.013	16
10	330	0.078	49.09	10	305	0.024	30	355	0.045	56.878
11	350	0.112	70.28	11	325	0.025	30.8	375	0.078	98.464
12	370	0.147	92.14	12	345	0.036	45.311	395	0.102	127.659
13	390	0.176	110.4	13	365	0.078	98.14	415	0.089	111.434
14	410	0.244	153.4	14	385	0.148	185.509	435	0.088	109.97
15	430	0.238	149.4	15	405	0.142	178.34	455	0.087	109.2
16	450	0.229	143.7	16	425	0.136	171.43	475	0.083	104.632
17	470	0.232	145.6	17	445	0.133	166.656	495	0.090	113.3
18	490	0.219	137.4	18	465	0.114	143.512	515	0.096	120.009
19	510	0.219	137.7	19	485	0.105	132	535	0.105	132.16
20	530	0.228	143.2	20	505	0.106	133.3	555	0.113	141.7
21	550	0.235	147.8	21	525	0.107	135	575	0.119	149.2
22	570	0.237	149	22	545	0.110	138.3	595	0.118	148.318
23	590	0.247	155.1	23	565	0.113	142.22	615	0.125	156.74

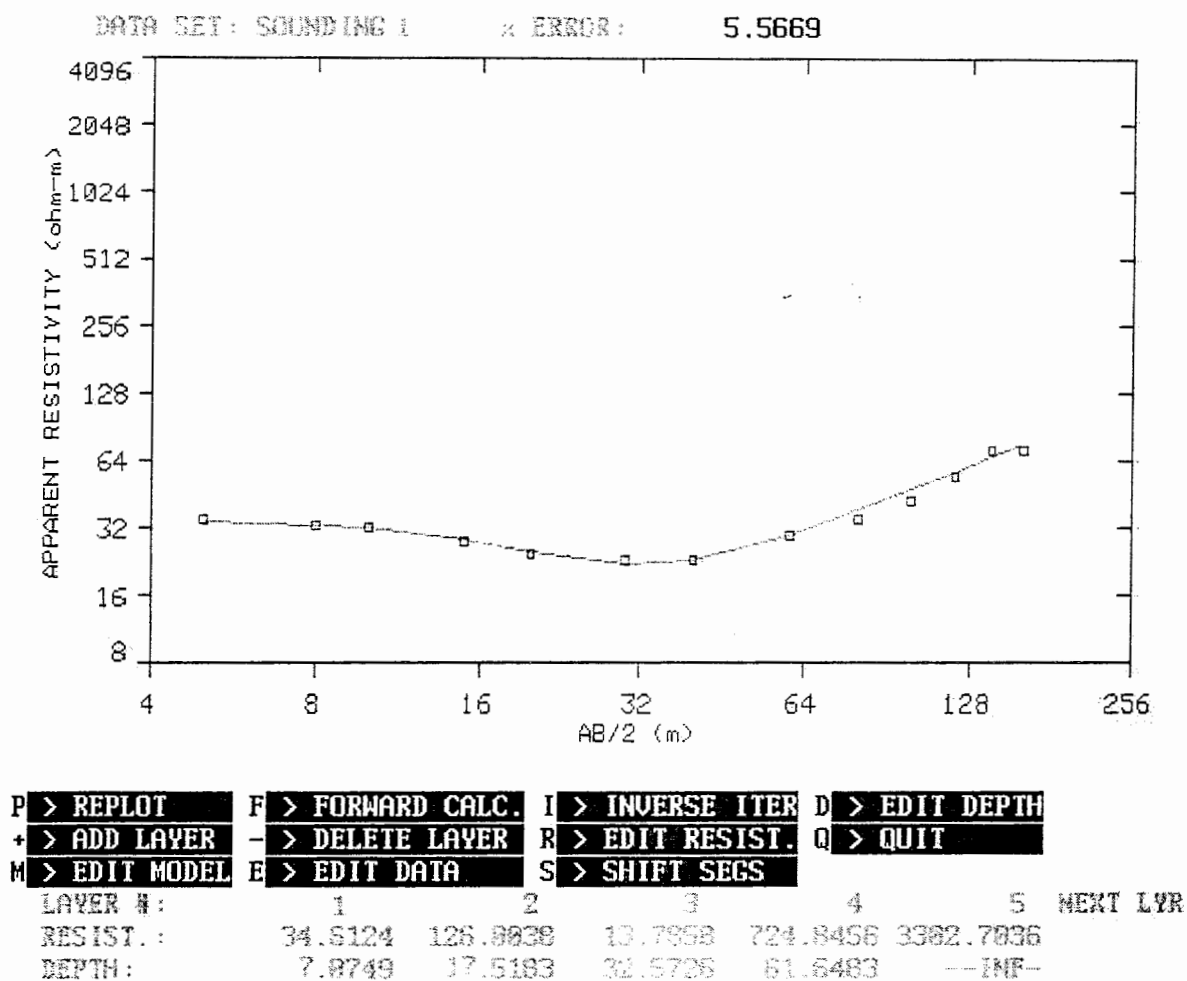
جدول ب-۴- داده های اندازه گیری شده برای پروفیل 'DD'(منطقه کنه بیست).

wenner				left lee				Right lee		
no.	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$	no.	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$	d(m)	$R(\Omega)$	$\rho_{a(\Omega.m)}$
1	75	0.181	56.834	1	62.5	0.037	23.24	87.5	0.065	40.82
2	125	0.106	33.284	2	112.5	0.049	30.77	137.5	0.059	37.052
3	175	0.086	27.004	3	162.5	0.042	26.38	187.5	0.049	30.772
4	225	0.08	25.12	4	212.5	0.024	15.07	237.5	0.04	25.12
5	275	0.082	25.748	5	262.5	0.042	26.38	287.5	0.04	25.12
6	325	0.09	28.26	6	312.5	0.049	30.77	337.5	0.11	69.08
7	375	0.083	26.062	7	362.5	0.053	33.28	387.5	0.035	21.98
8	425	0.162	50.868	8	412.5	0.051	32.03	437.5	0.121	75.988
9	475	0.106	33.284	9	462.5	0.04	25.12	487.5	0.07	43.96
10	525	0.077	24.178	10	512.5	0.065	40.82	537.5	0.031	19.468
11	575	0.111	34.854	11	562.5	0.044	27.63	587.5	0.074	46.472
12	625	0.083	26.062	12	612.5	0.04	25.12	637.5	0.043	27.004

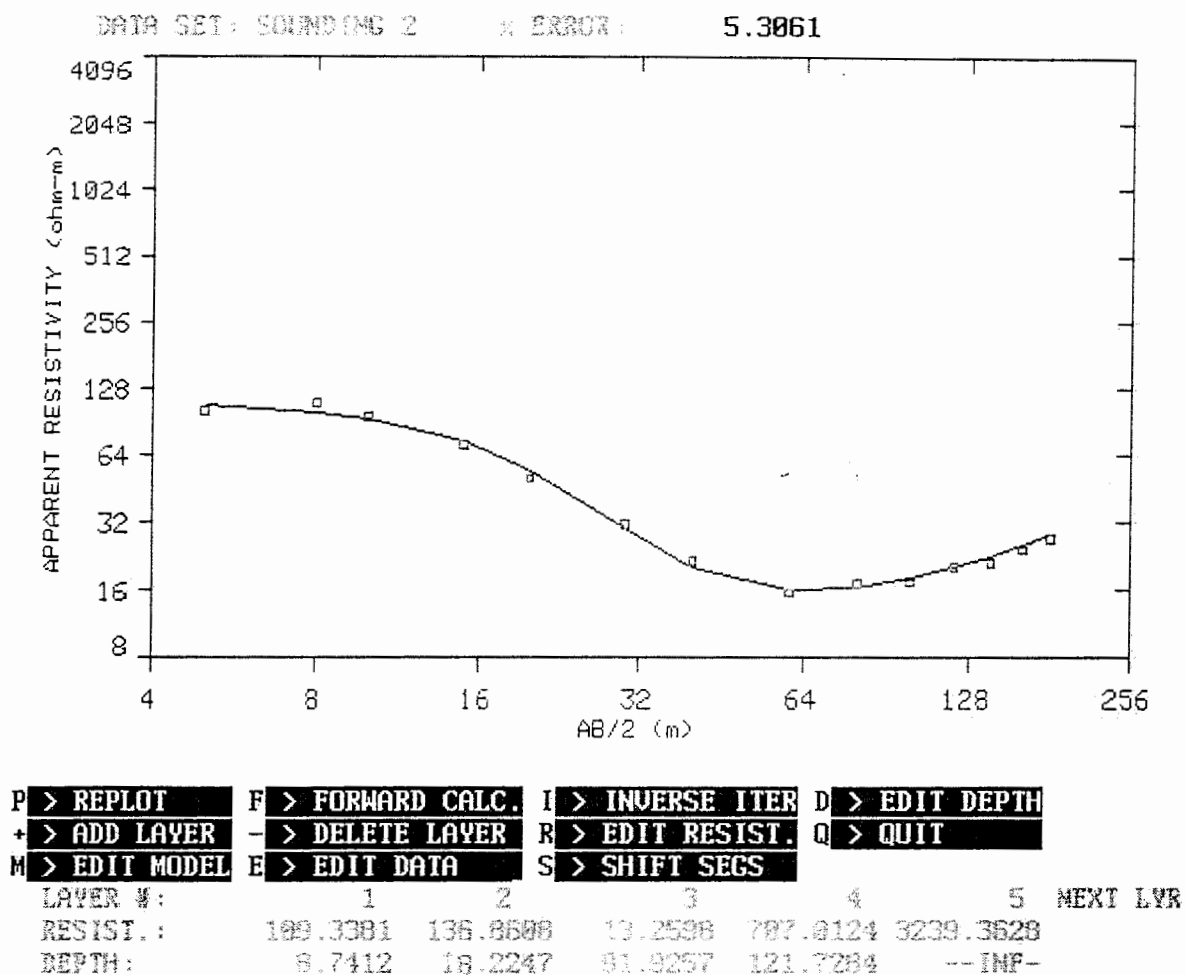


شکل ج-۶۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₆₃ با نرم افزار RESIX.

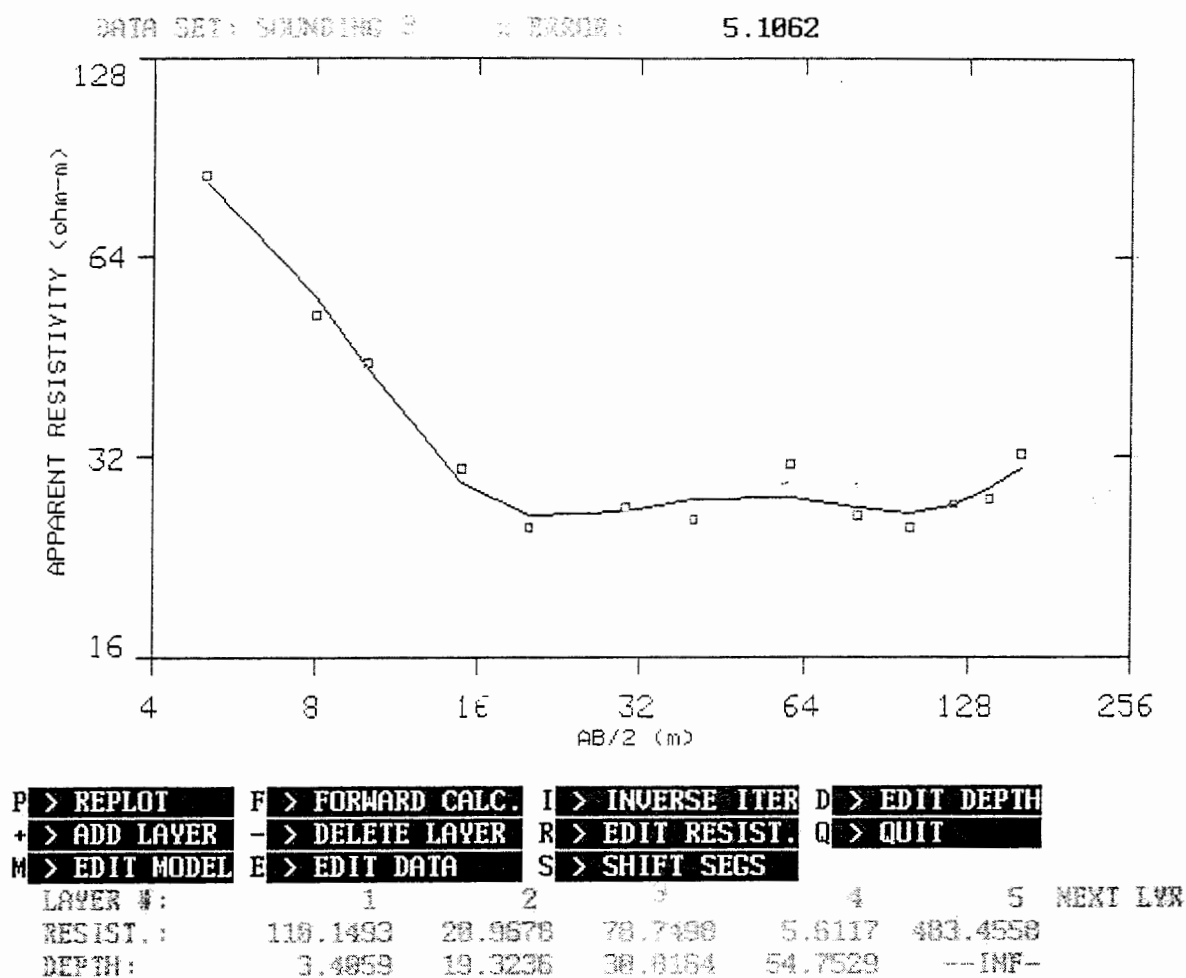
پیوست ج - اشکال مربوط به مدلسازی یک بعدی سونداژها با استفاده از نرم افزار RESIX.



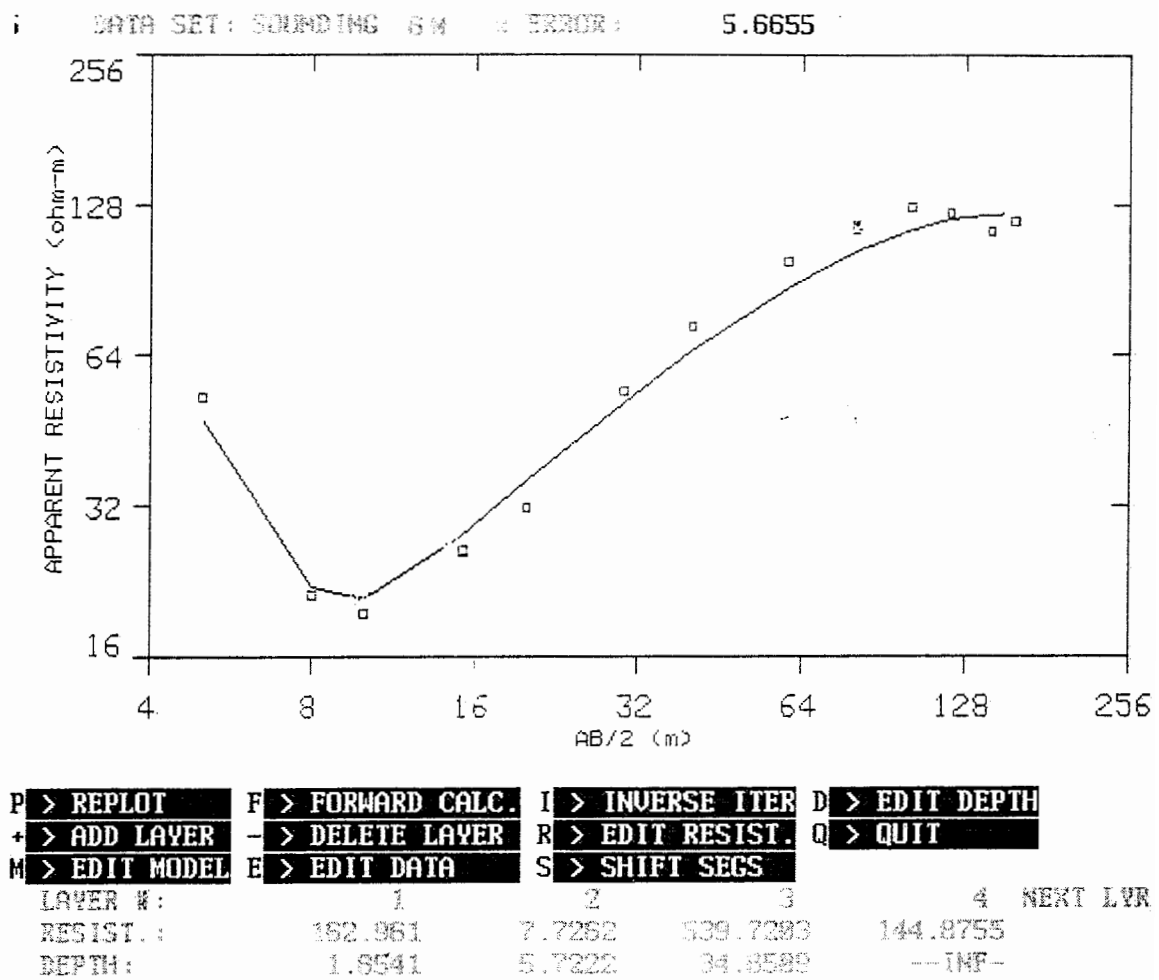
شکل ج-۱- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₁ با نرم افزار RESIX.



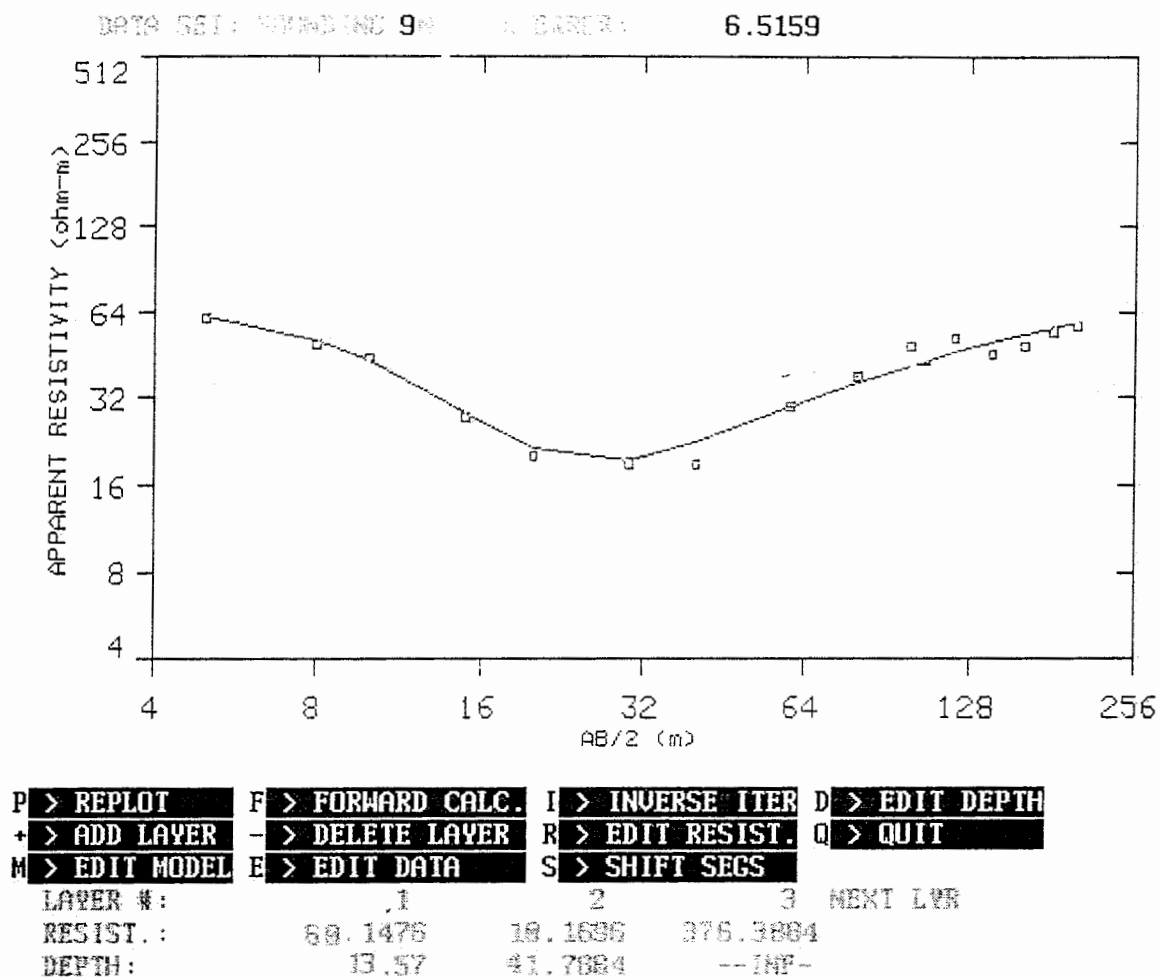
شکل ج-۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂ با نرم افزار RESIX.



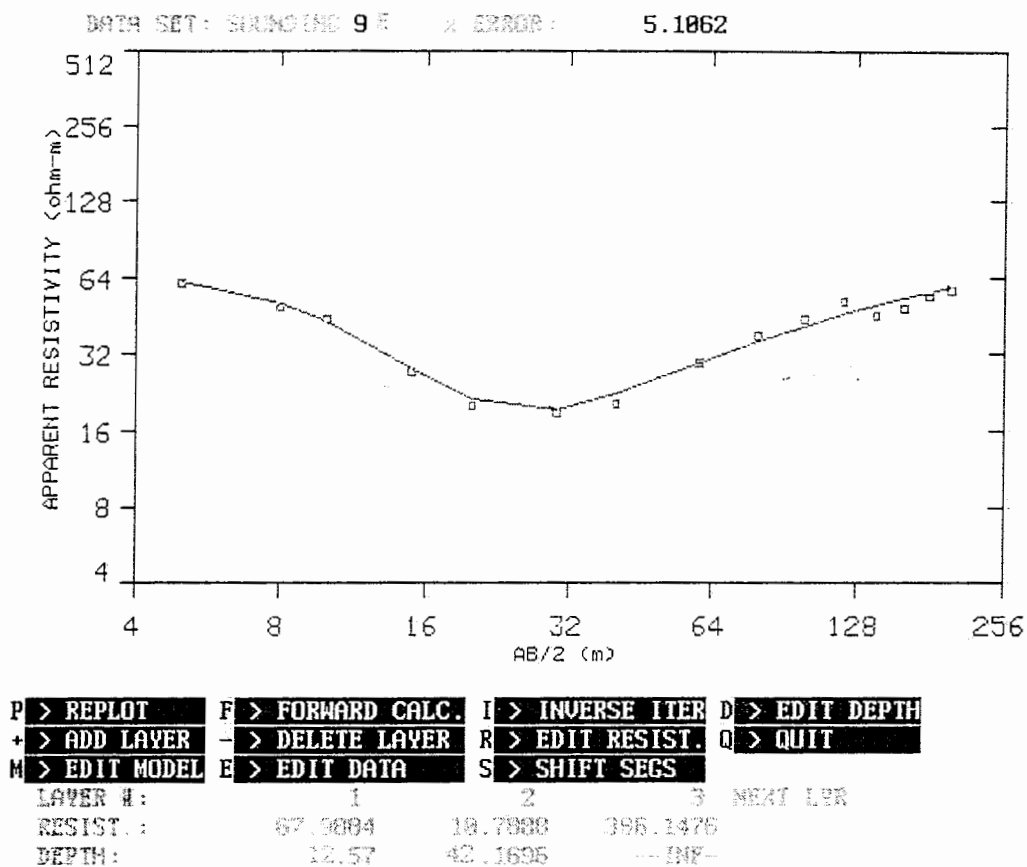
شکل ج-۳- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃ با نرم افزار RESIX.



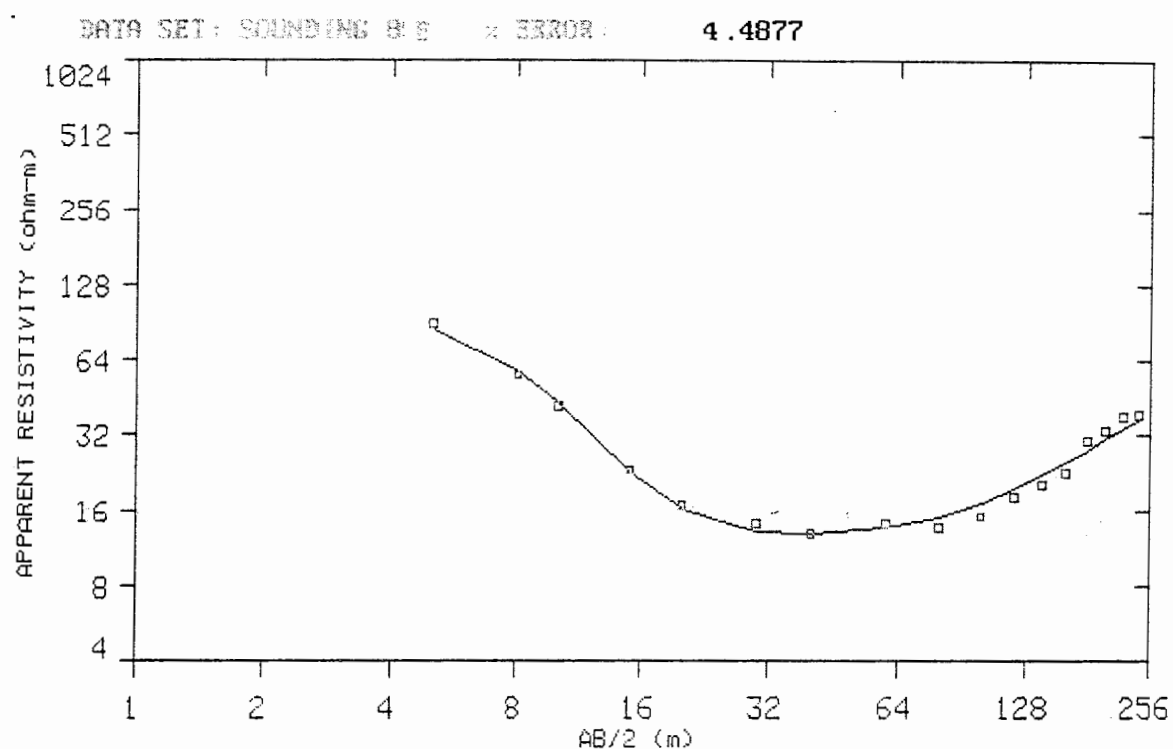
شکل ج-۴- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{6N} با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۵- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{9N} با نرم افزار RESIX.



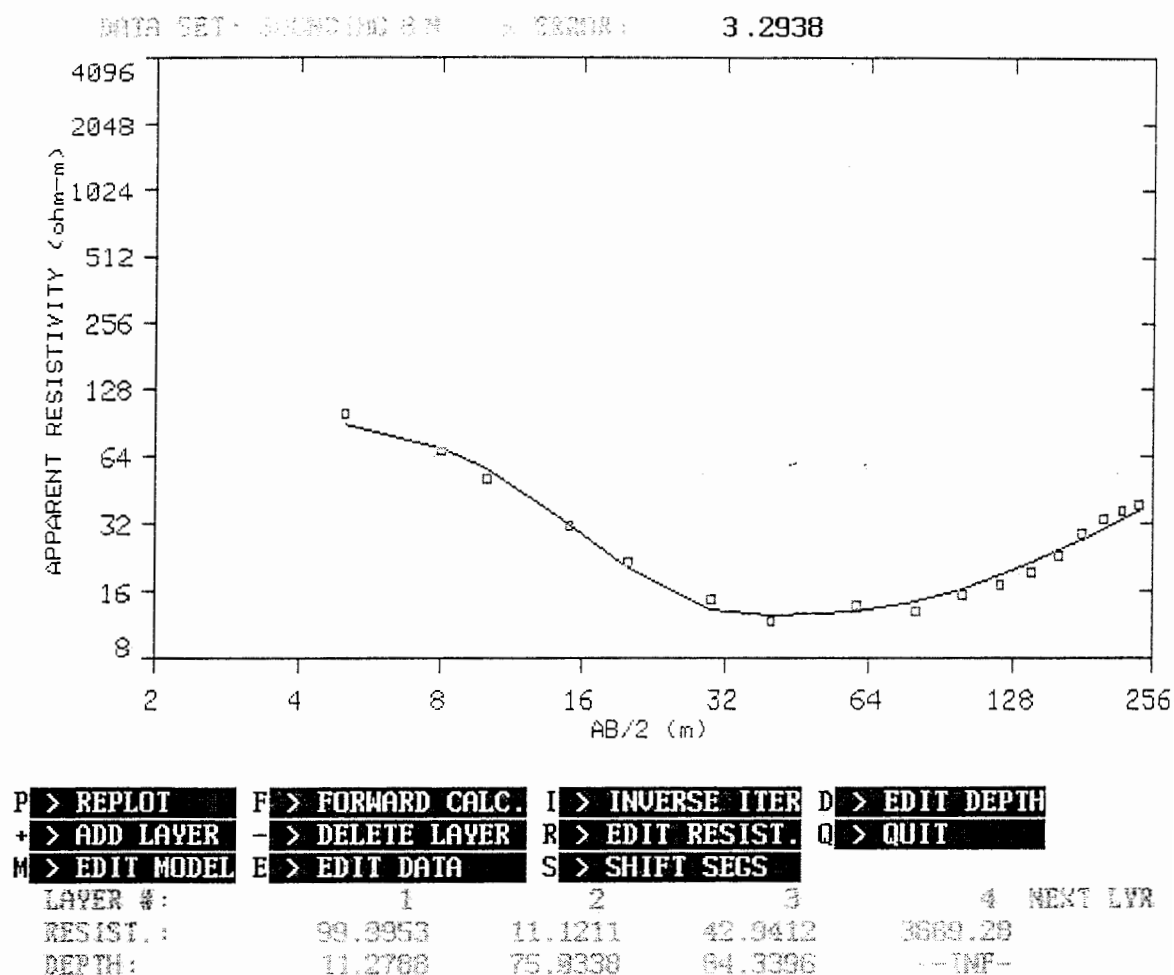
شکل ج-۶- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{9E} با نرم افزار RESIX .



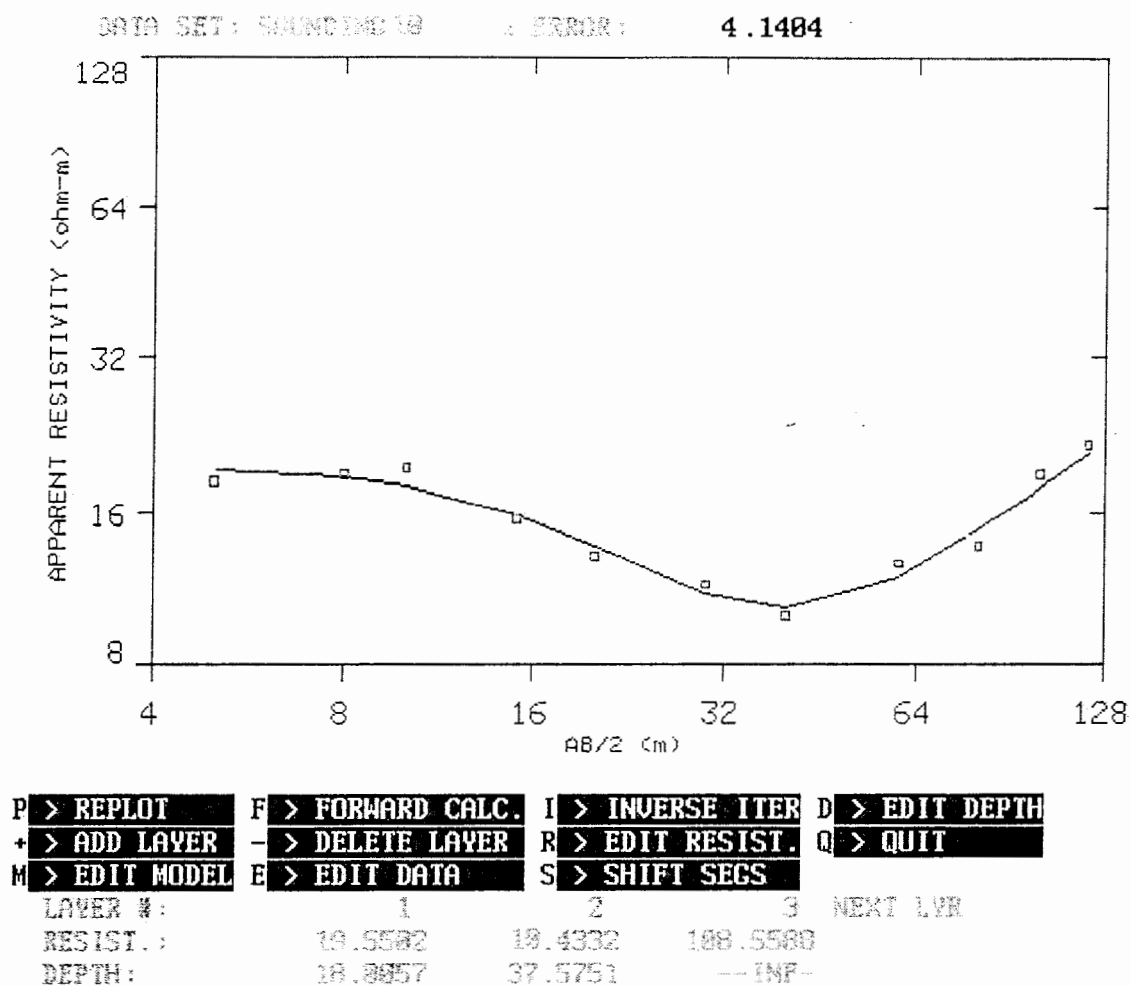
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAYER #:	1	2	3	4	NEXT LVR
RESIST.:	104.8992	12.8125	80.3594	9691.9177	
DEPTH:	12.1482	78.9282	86.1589	--INF--	

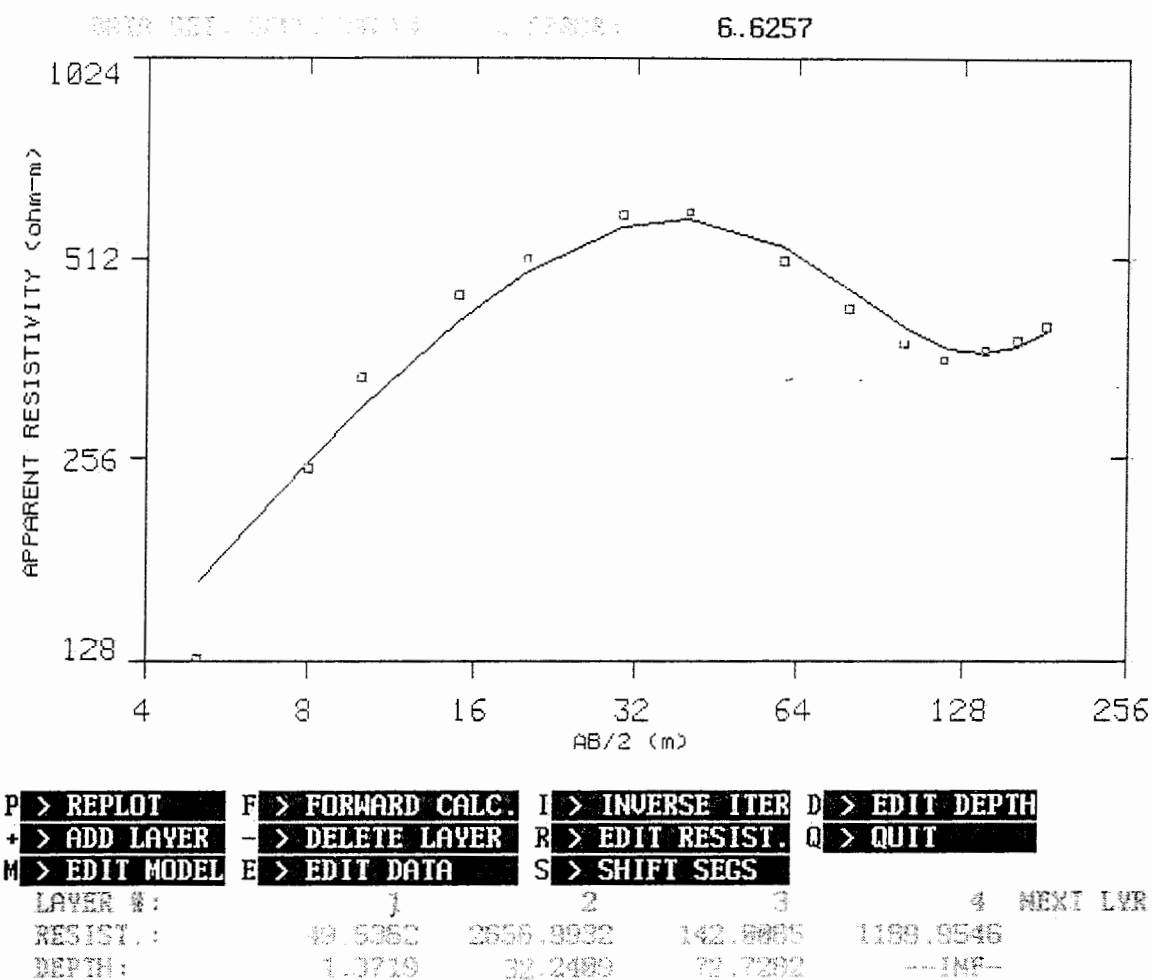
شکل ج-۷- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{8E} با نرم افزار RESIX.



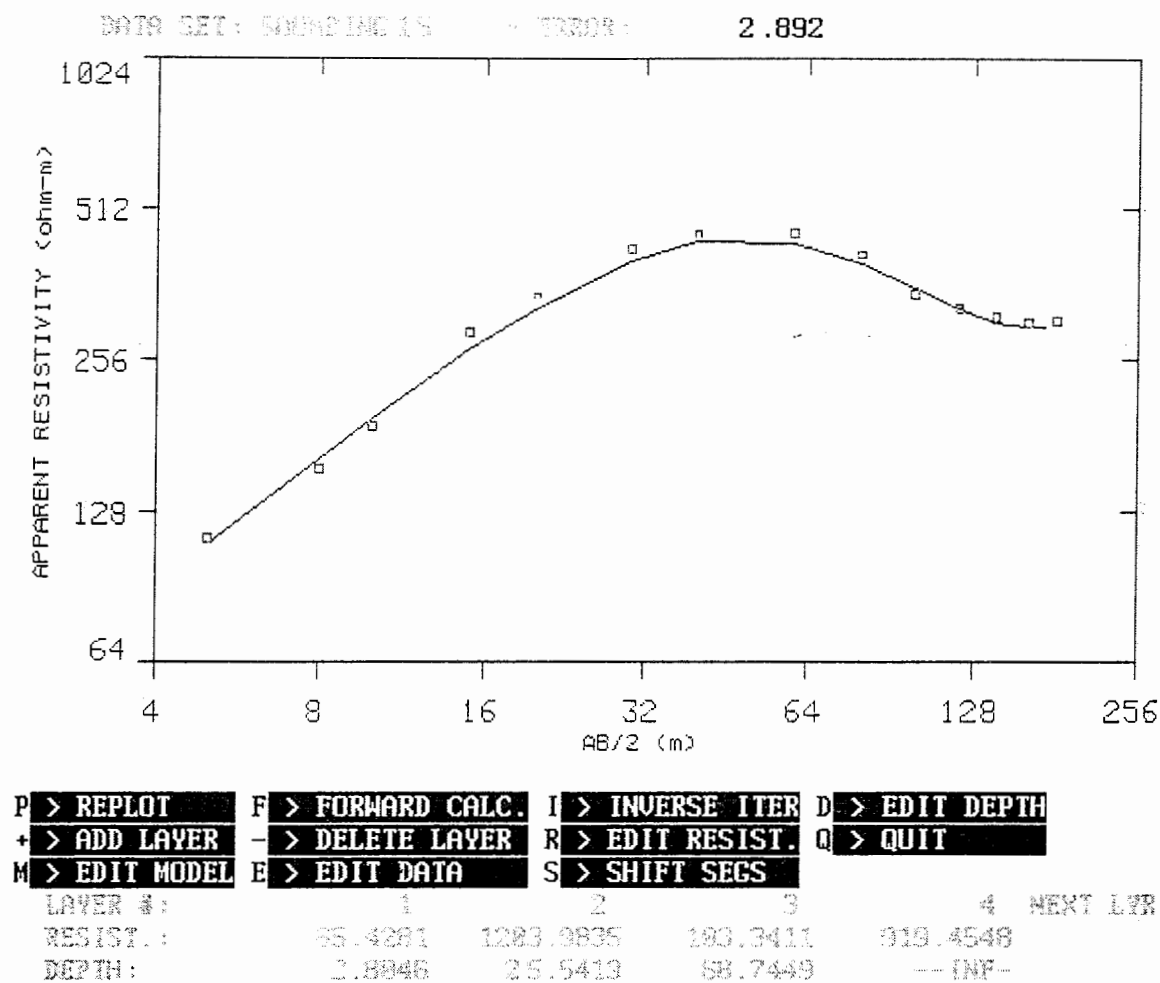
شکل ج-۸- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{8N} با نرم افزار RESIX.



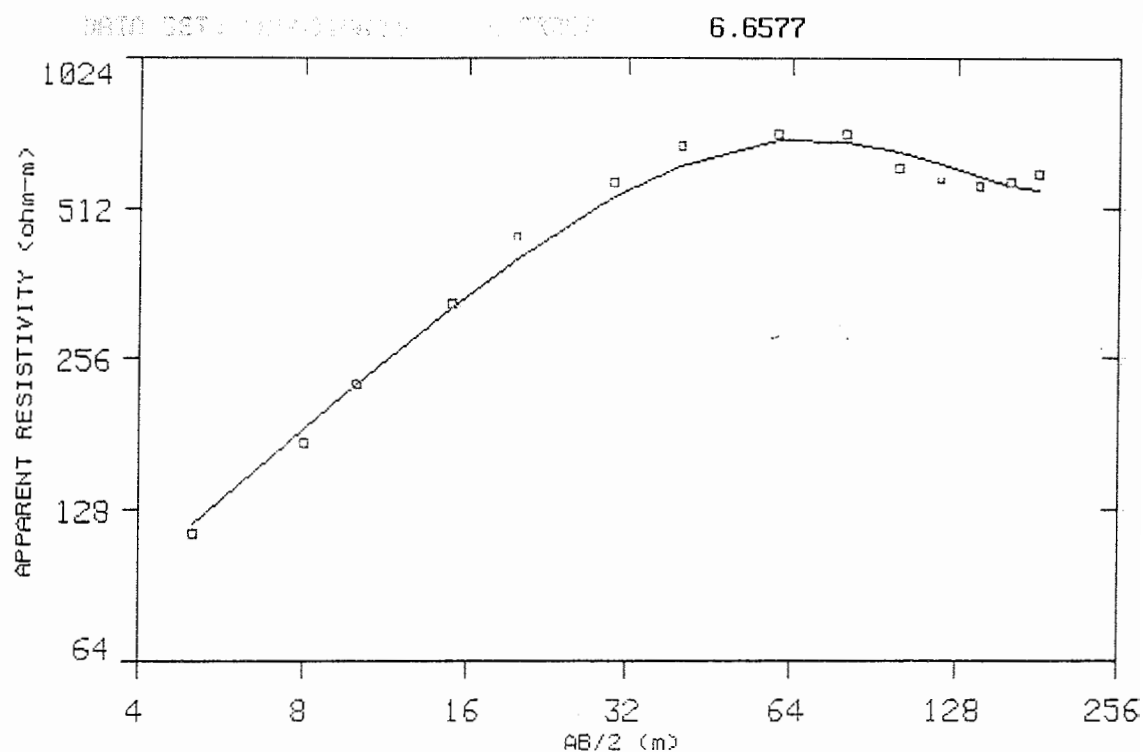
شکل ج-۹- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₁₀ با نرم افزار RESIX .



شکل ج-۱۳- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{14} با نرم افزار RESIX.



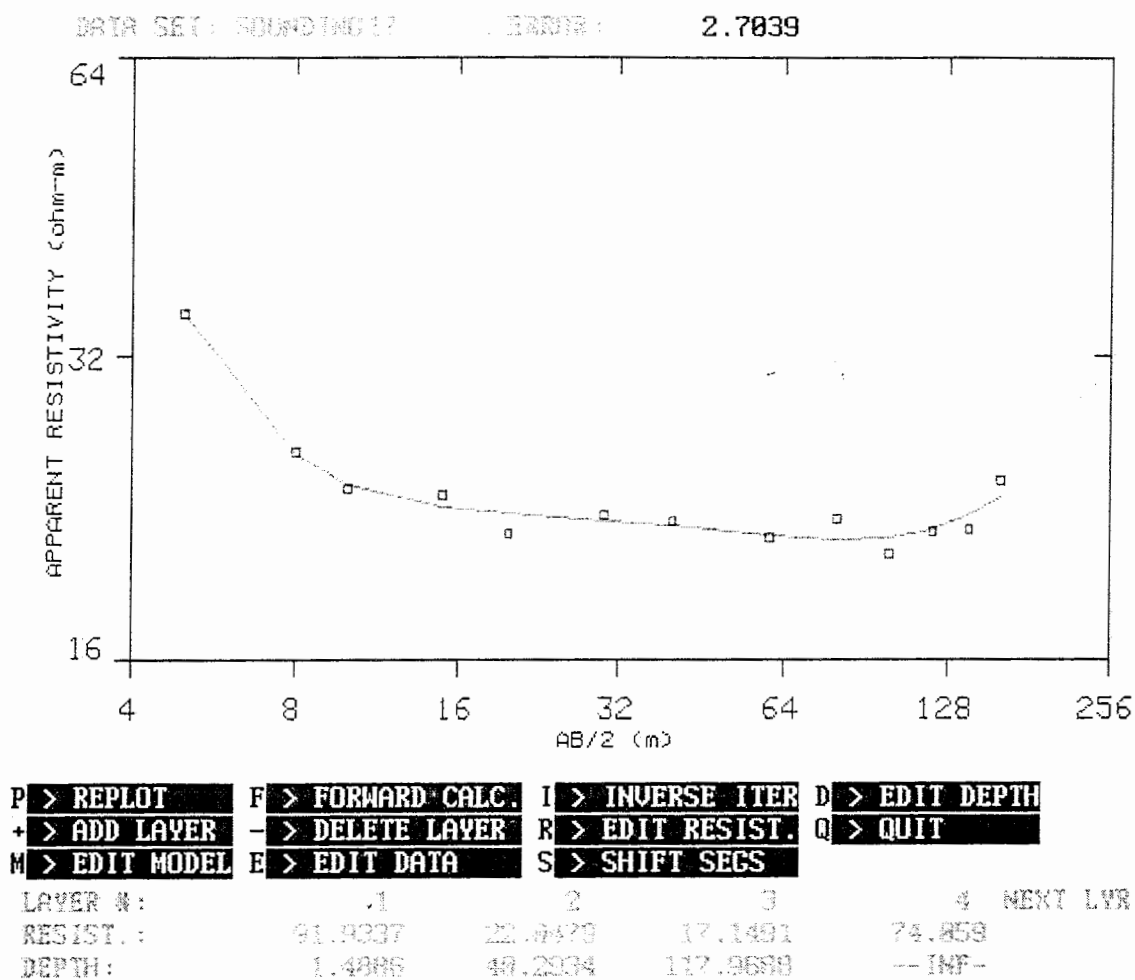
شکل ج-۱۴- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₁₅ با نرم افزار RESIX.



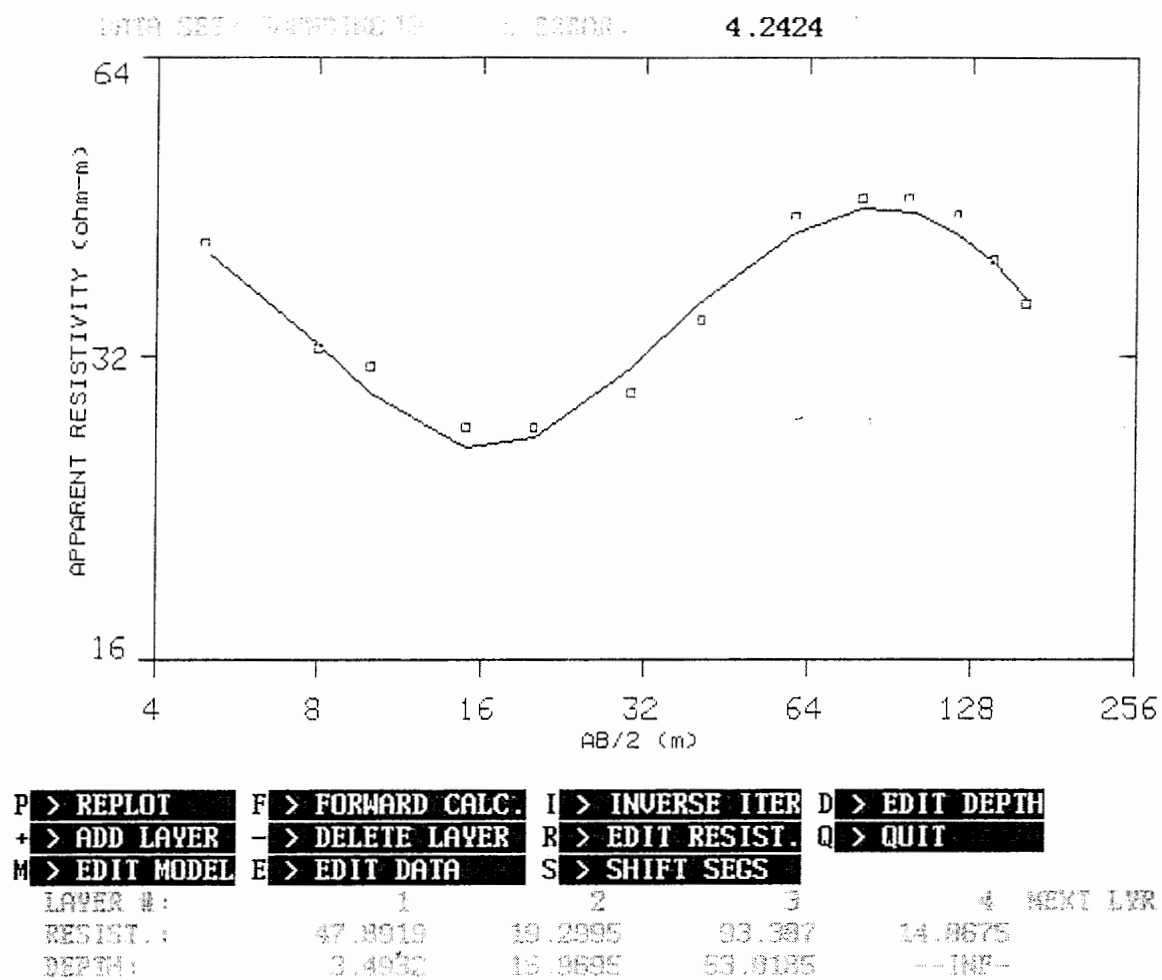
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAYER #:	1	2	3	4	NEXT LVR
RESIST.:	33.6768	2863.5171	178.7894	1499.1356	
DEPTH:	1.3755	28.1237	89.7785	--INF--	

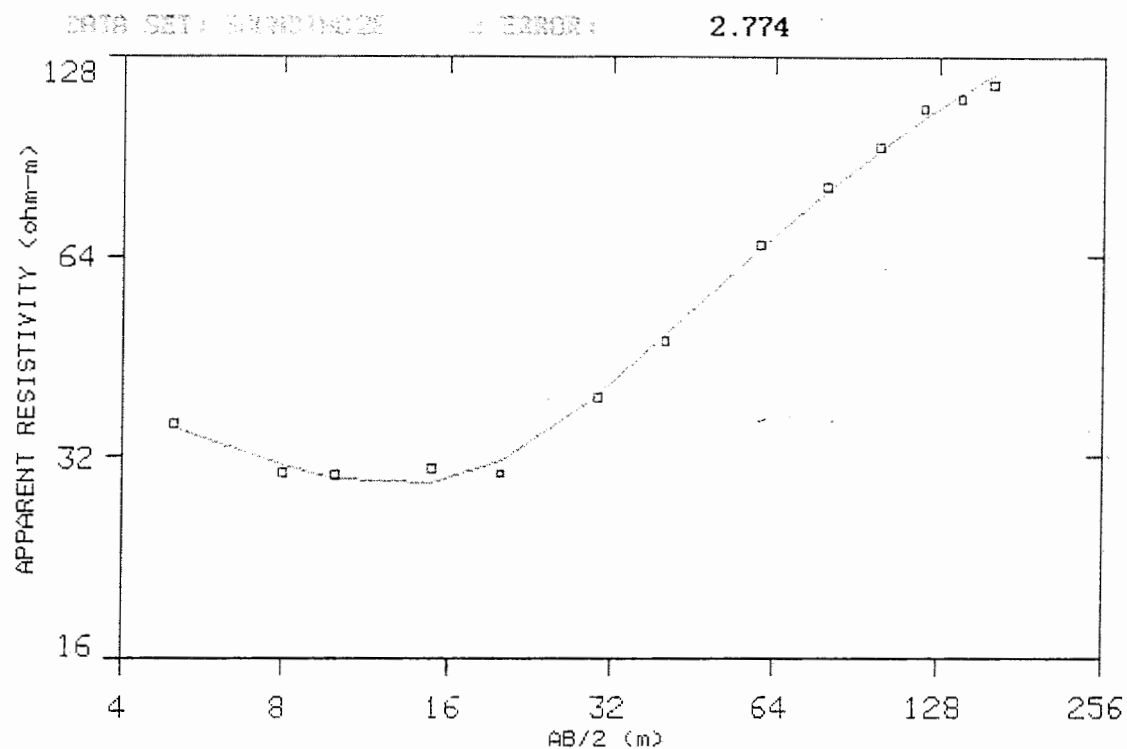
شکل ج-۱۵- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{16} با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۱۶- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₁₇ با نرم افزار RESIX.



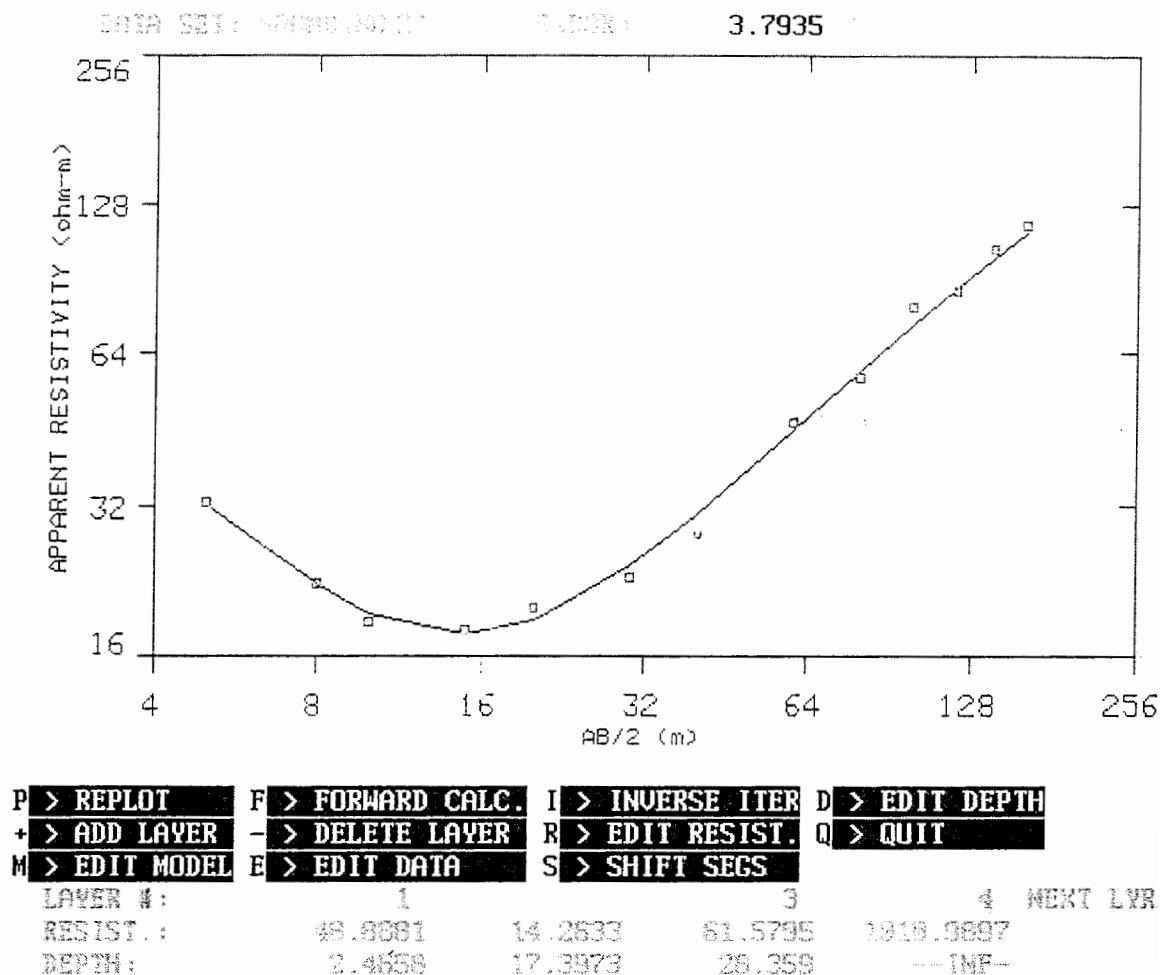
شکل ج-۱۸- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₁₉ با نرم افزار RESIX.



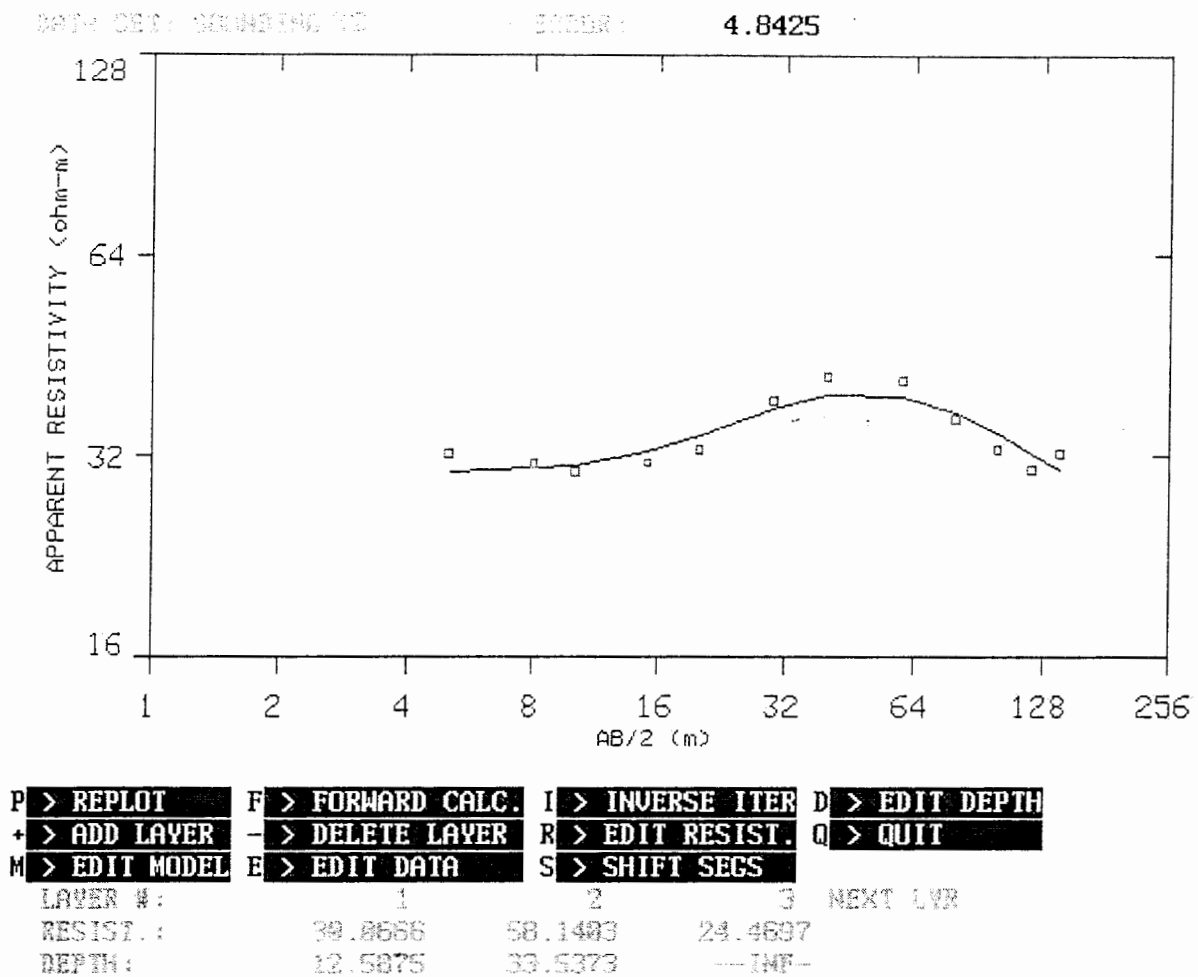
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
* > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAYER #:	1	2	3	NEXT LVR
RESIST.:	40.3735	23.9193	297.8645	
DEPTH:	2.957	17.242	-- INF --	

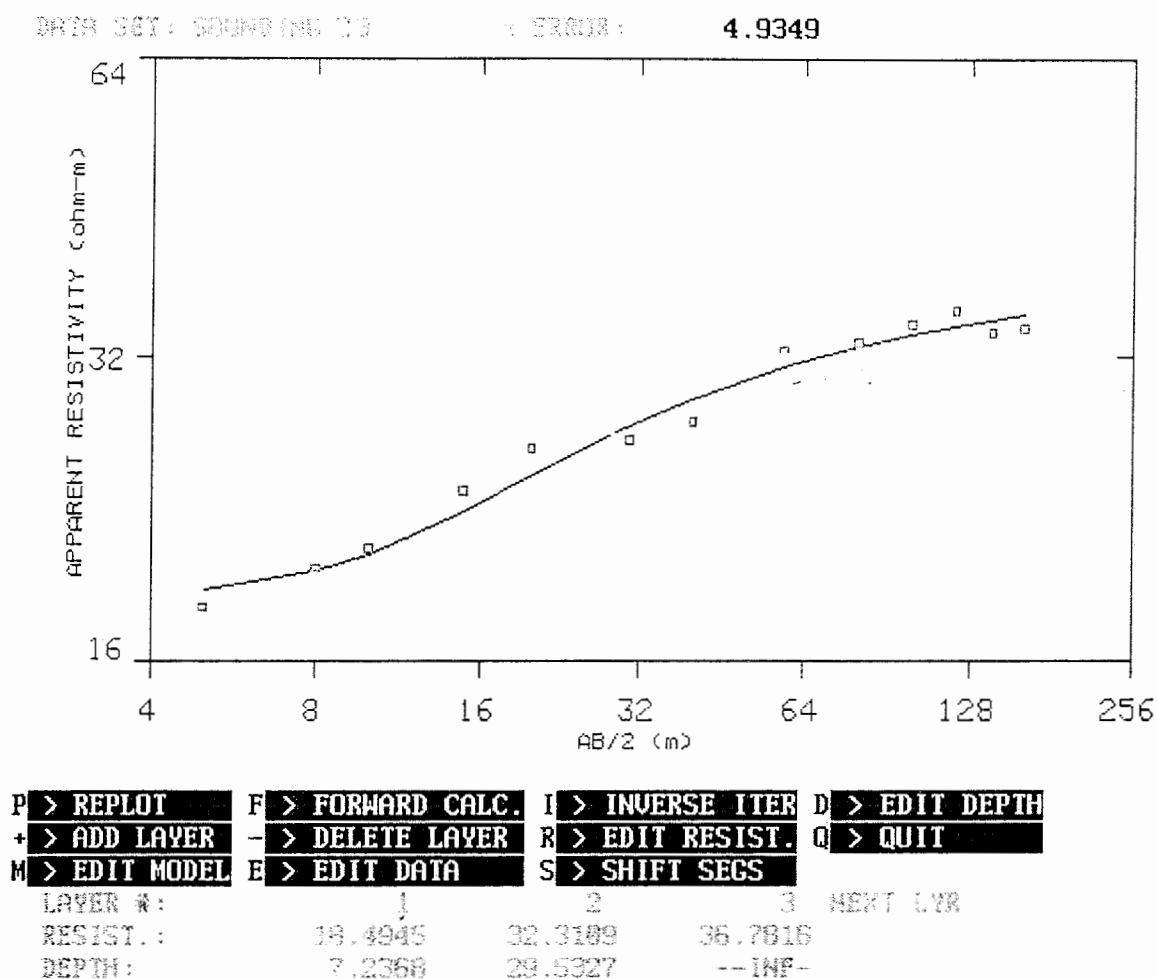
شکل ج-۱۹- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₀ با نرم افزار RESIX.



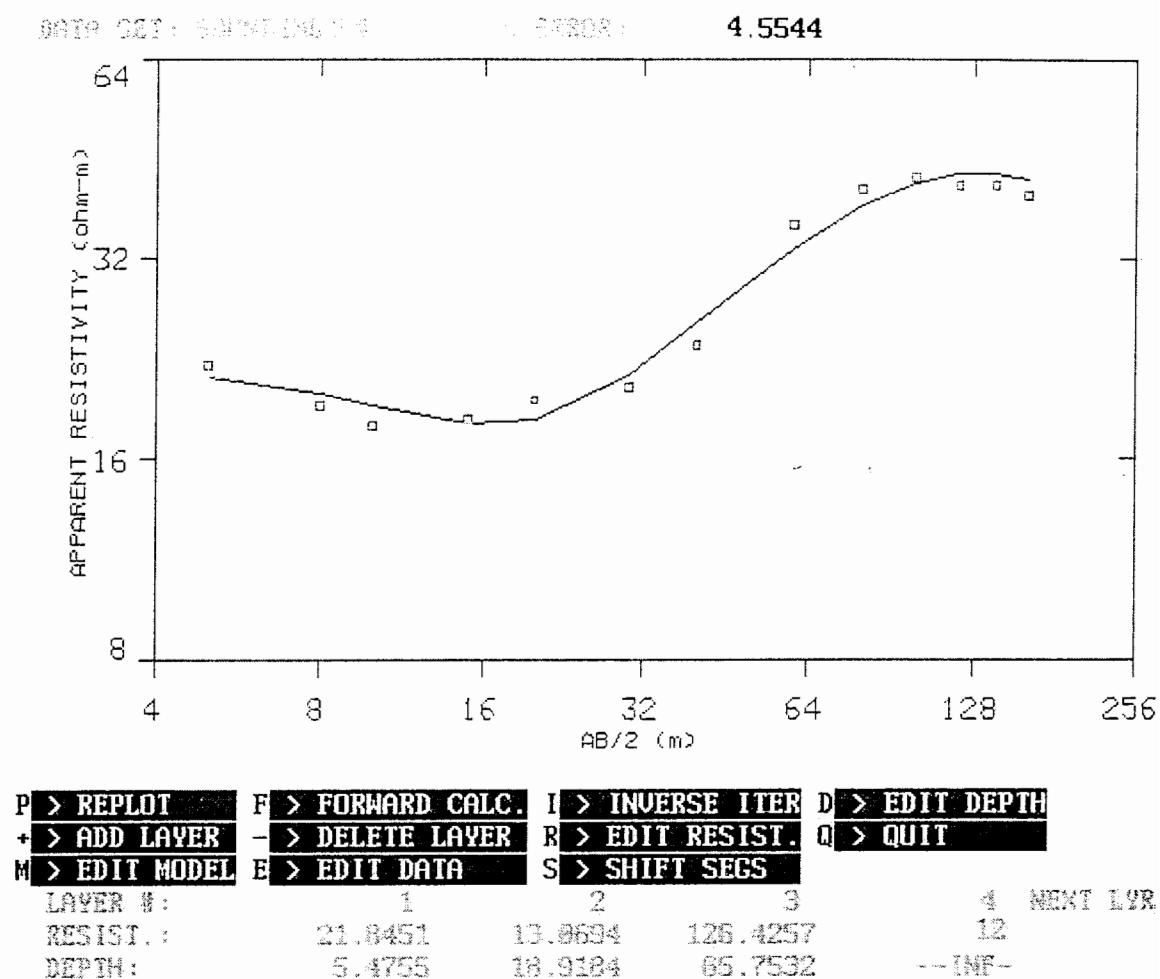
شکل ج-۲۰- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{21} با نرم افزار RESIX.



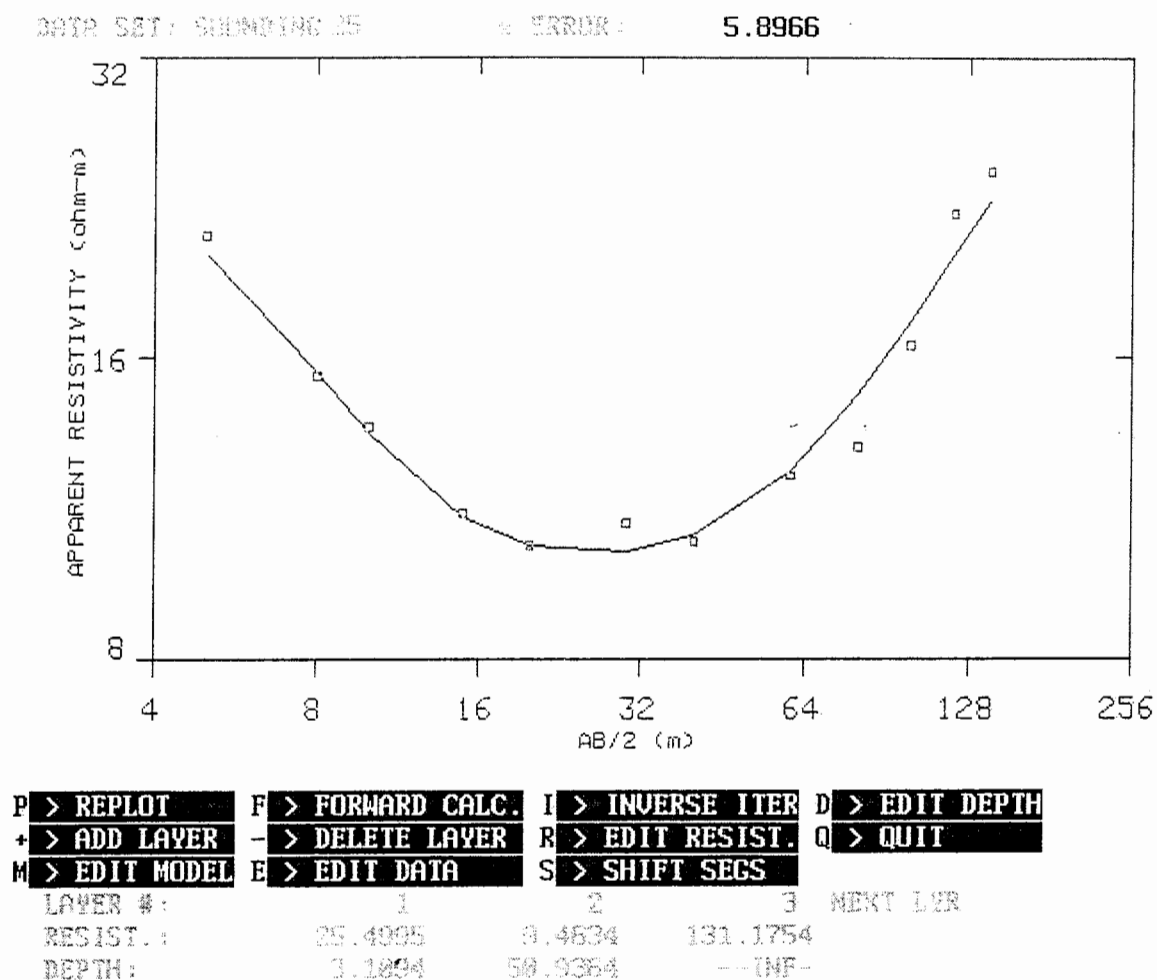
شکل ج-۲۱- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₂ با نرم افزار RESIX.



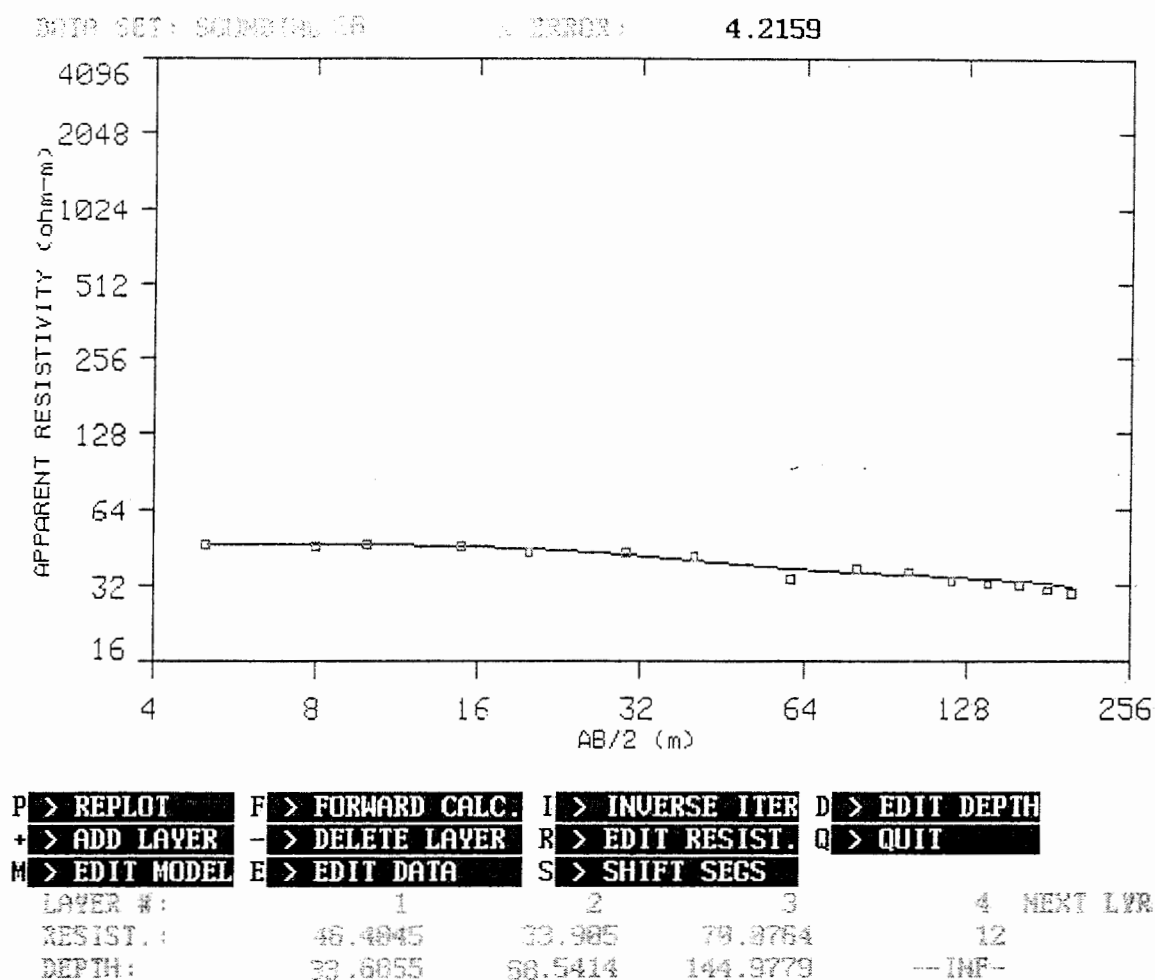
شکل ج-۲۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₃ با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۲۳- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₄ با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۲۴- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₅ با نرم افزار RESIX.

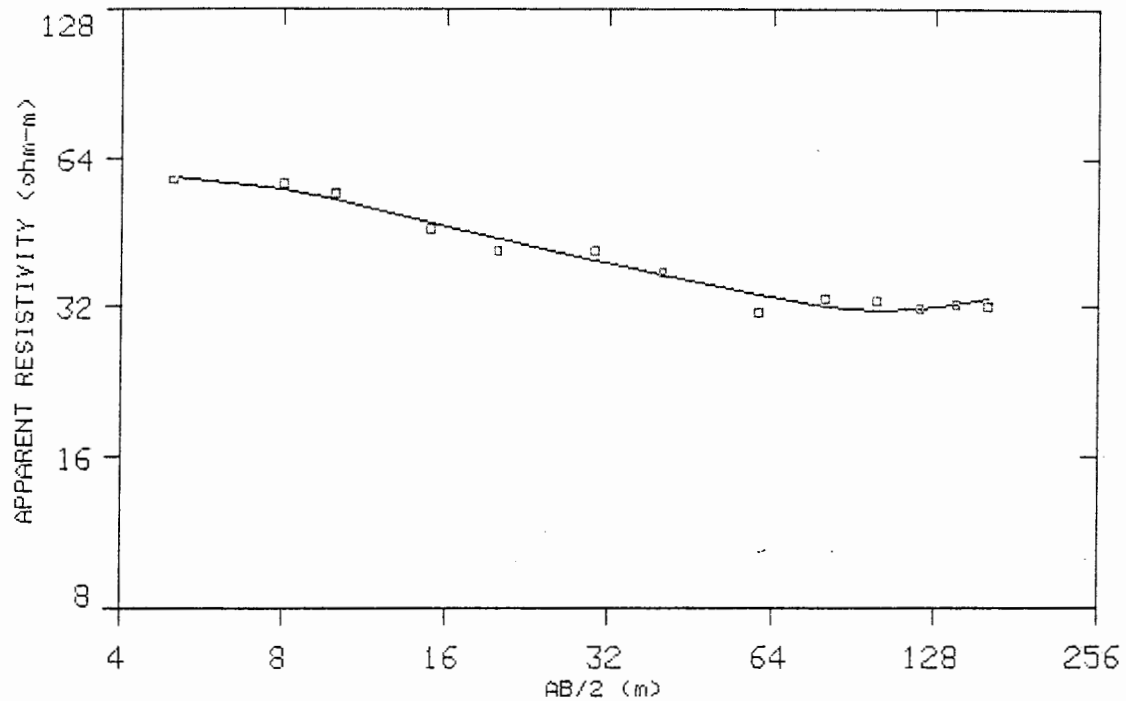


شکل ج-۲۵- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₆ با نرم افزار RESIX .

DATA SET : SOUNDING 27

ERROR :

4.0983



P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

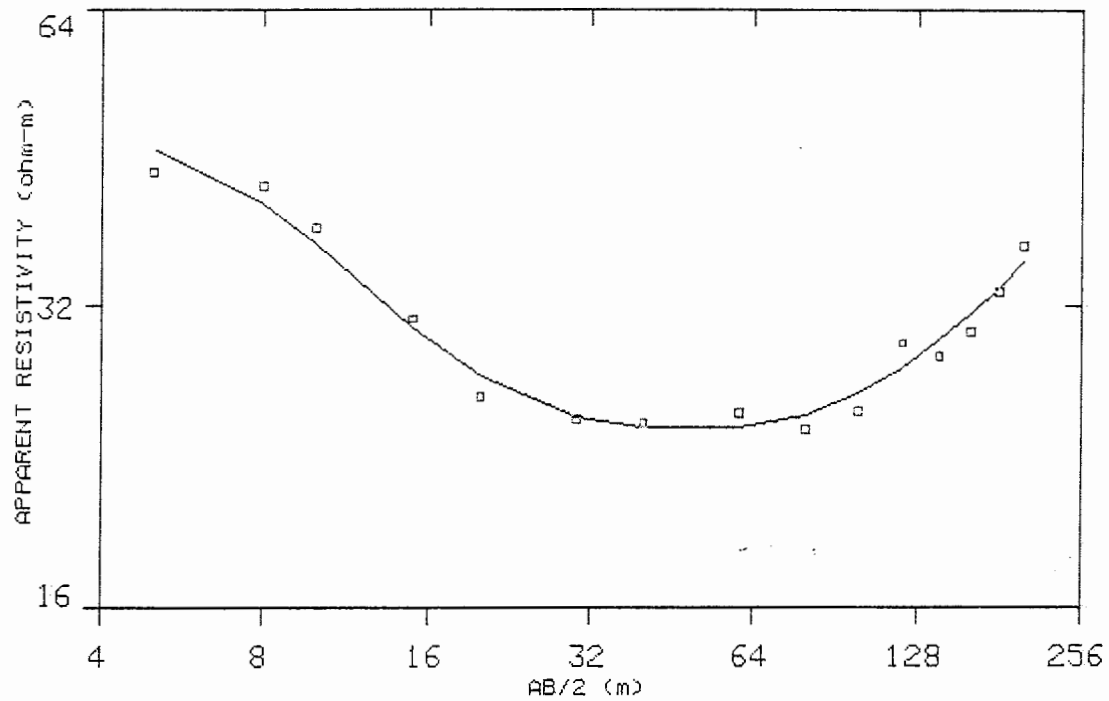
Layer #:	1	2	3	4	NEXT LVR
RESIST.:	58.0617	37.8362	28.3248	48.8954	
DEPTH:	5.8535	36.2968	72.8087	--INF--	

شکل ج-۲۶- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₇ با نرم افزار RESIX.

DATA SET: SOUNDING 28

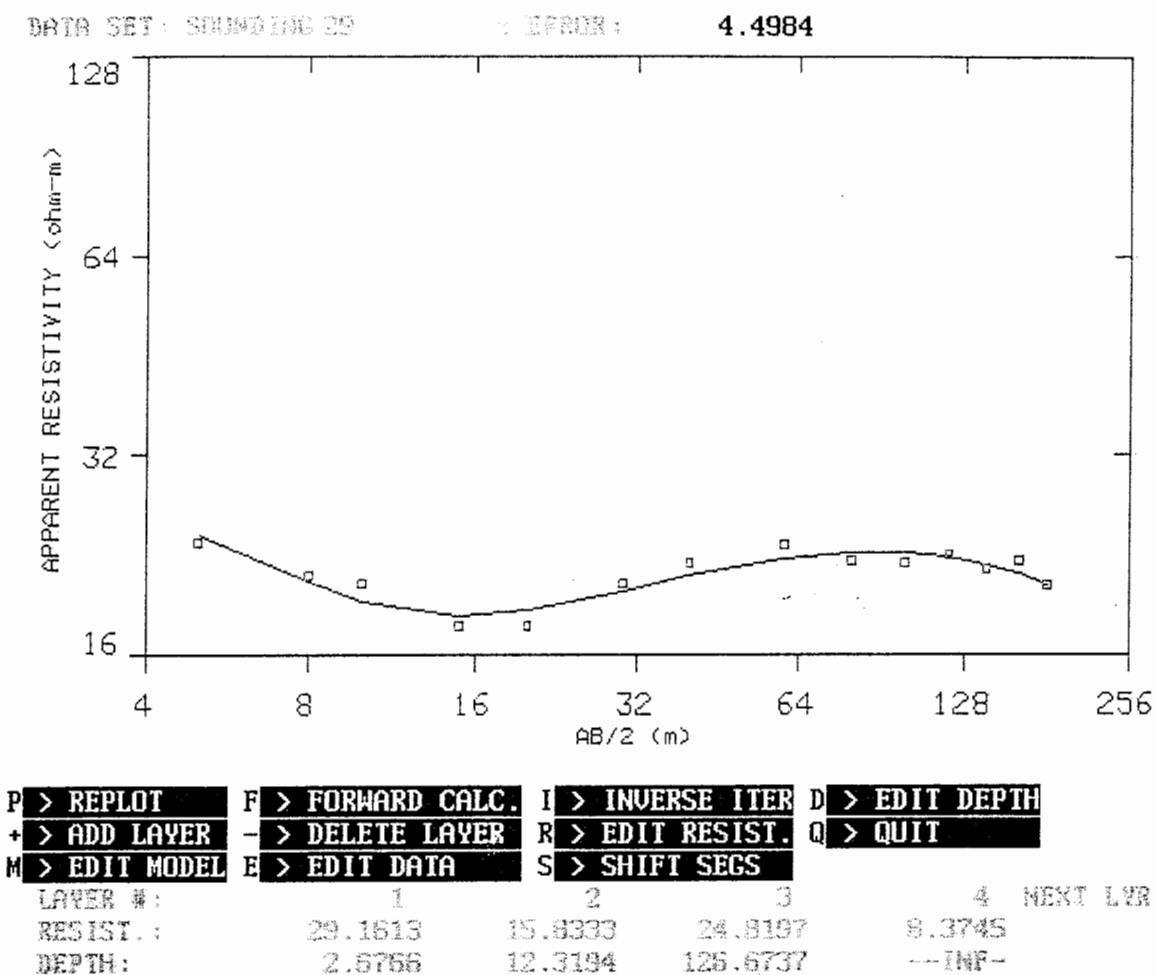
ERROR:

4.0649



P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH	
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT	
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS		
LAYER #:	1	2	3	4 NEXT LVR
RESIST.:	49.7198	23.1481	21.4882	88.9221
DEPTH:	4.6588	46.042	89.8779	--INF--

شکل ج-۲۷- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{28} با نرم افزار RESIX.

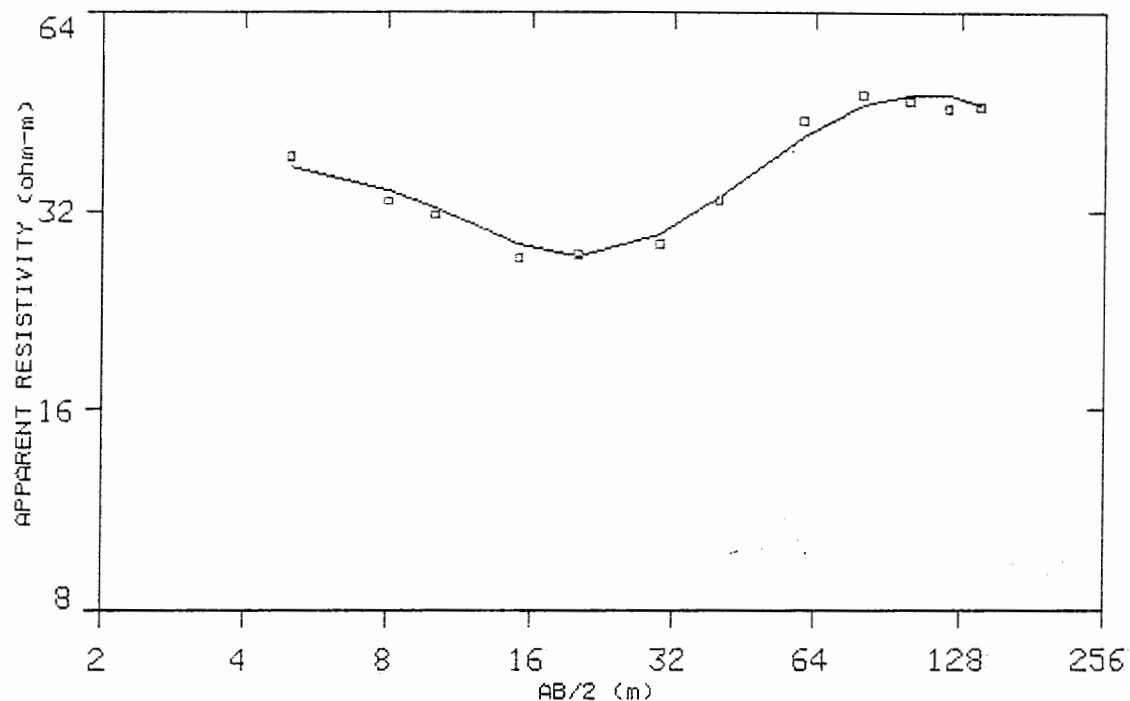


شکل ج-۲۸- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₂₀ با نرم افزار RESIX.

DATA SET : SOUNDING 30

ERROR :

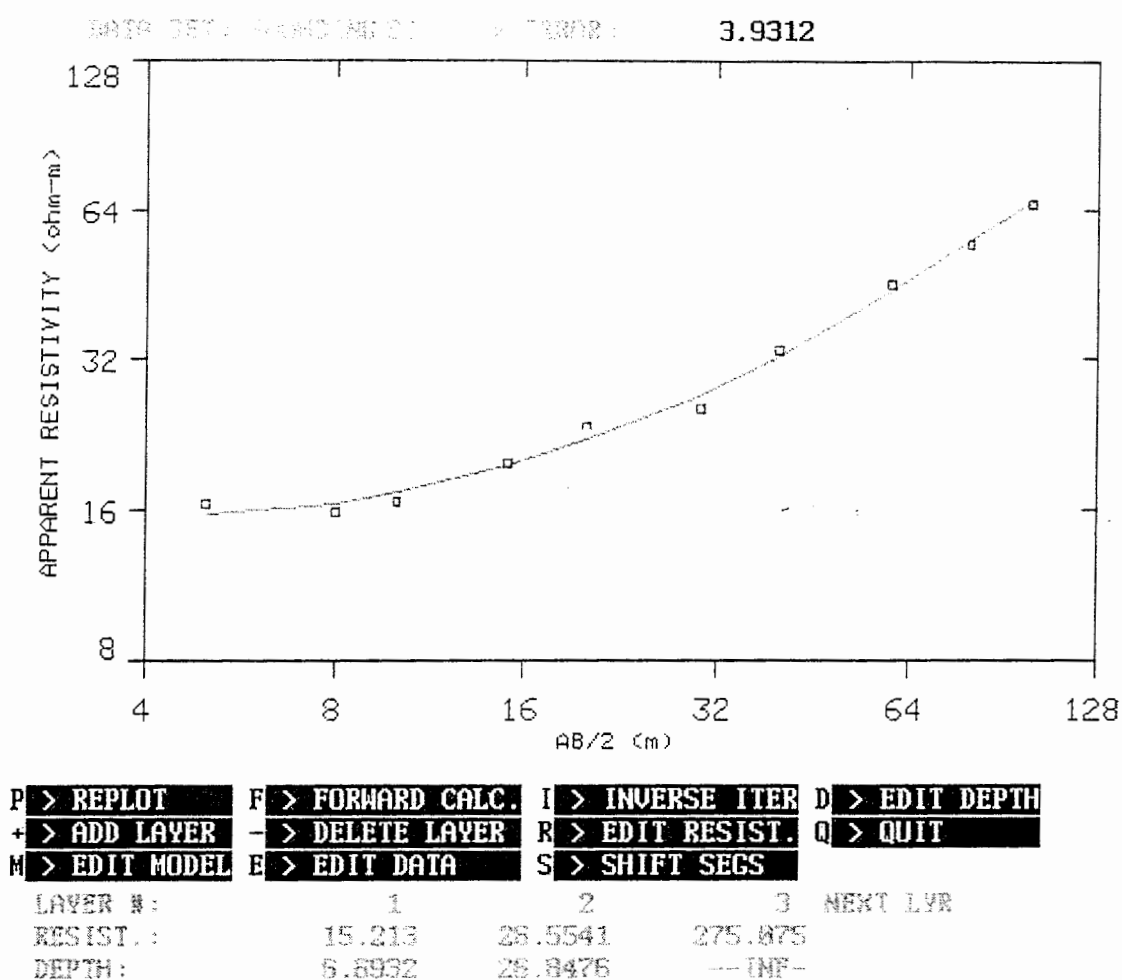
3.507



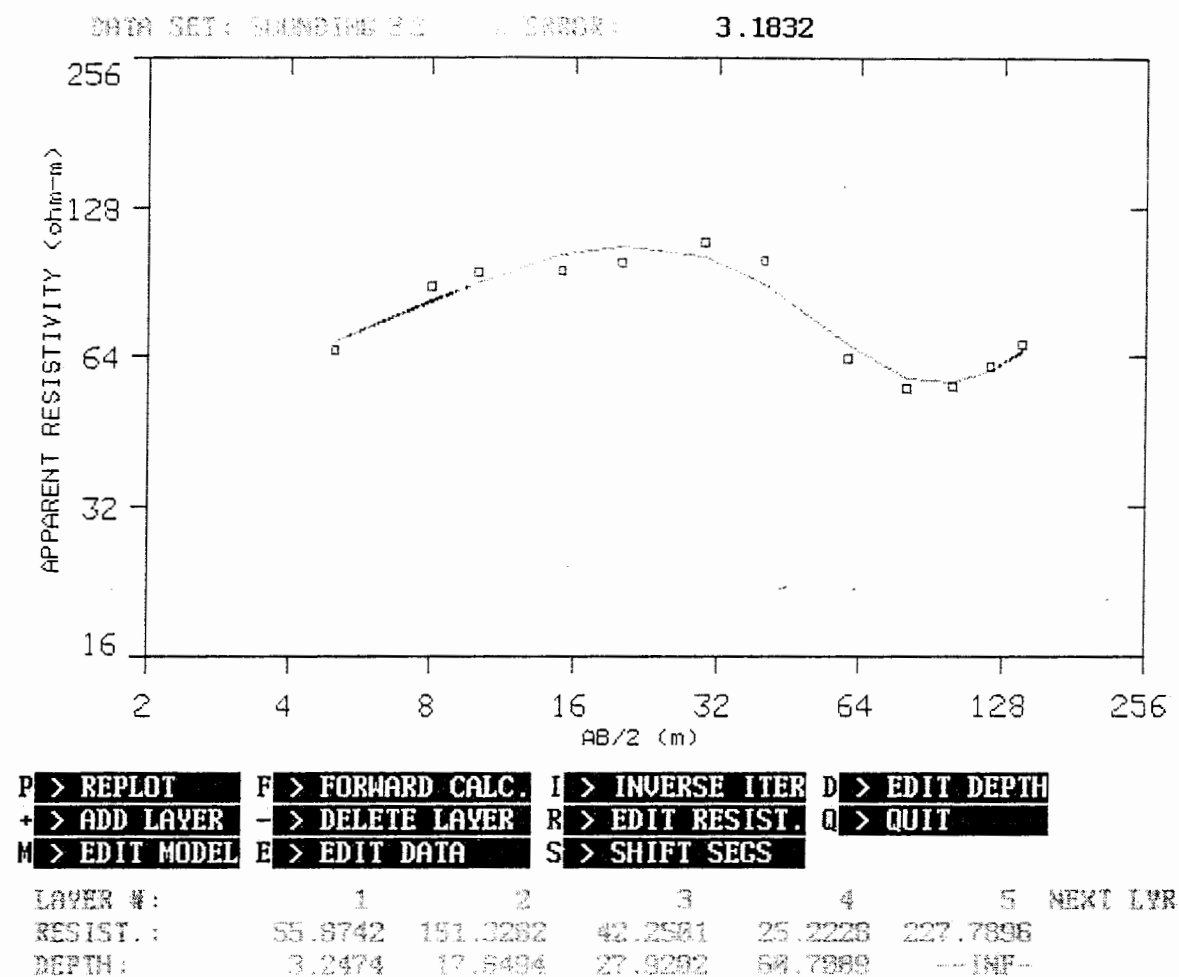
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAYER #:	1	2	3	4	NEXT LVR
RESIST.:	39.1439	15.3912	121.983	9.8	
DEPTH:	5.544	20.3679	61.752	—INF—	

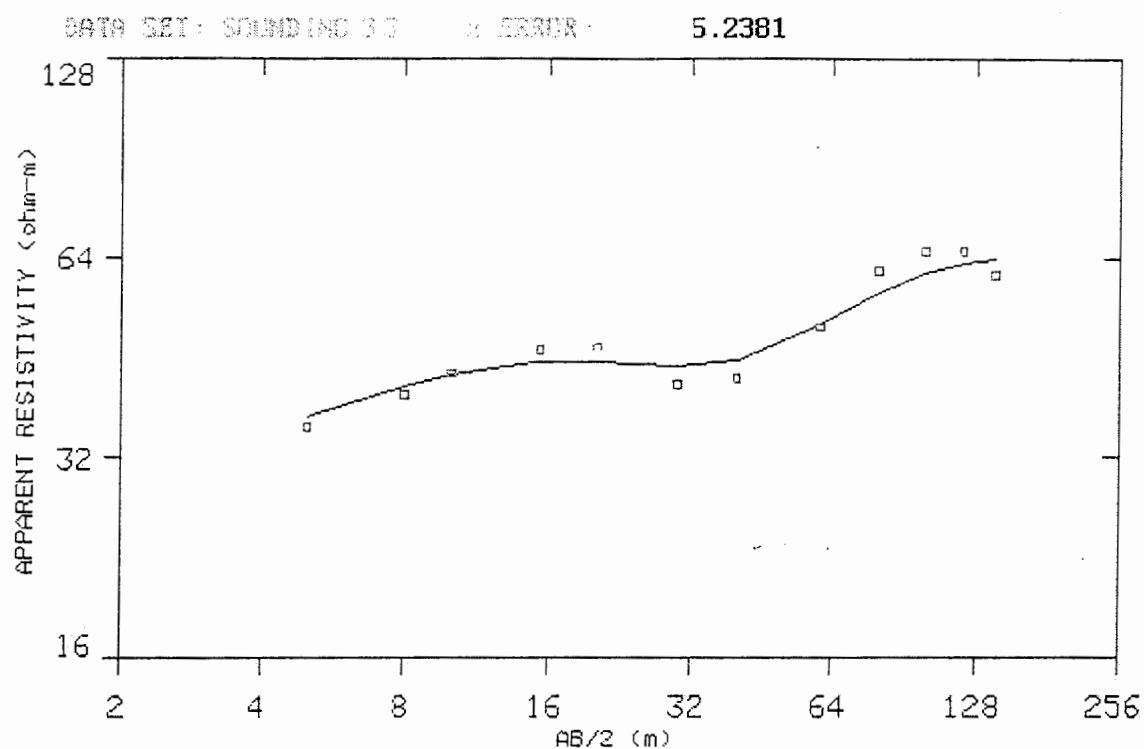
شکل ج-۲۹- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₀ با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۳۰- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₁ با نرم افزار RESIX.



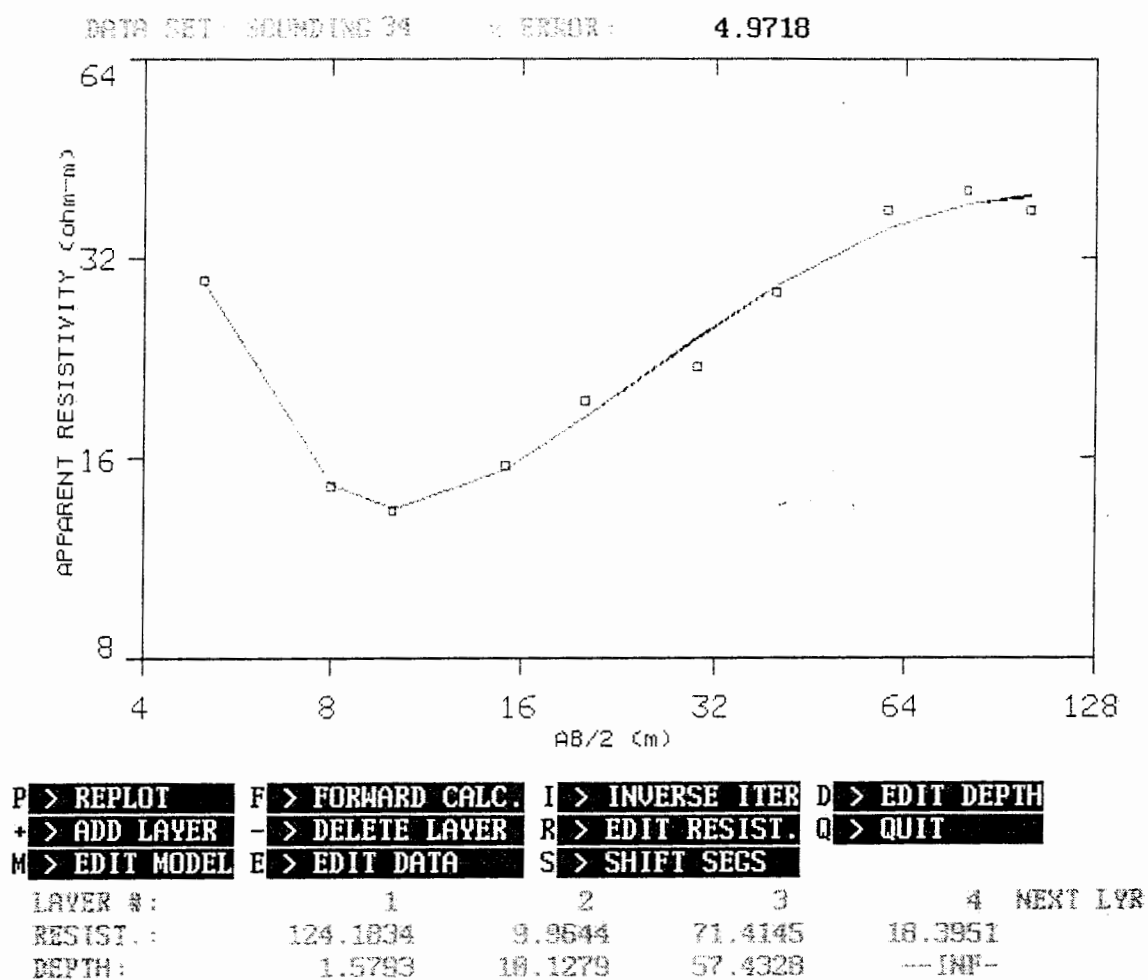
شکل ج-۳۱- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₂ با نرم افزار RESIX.



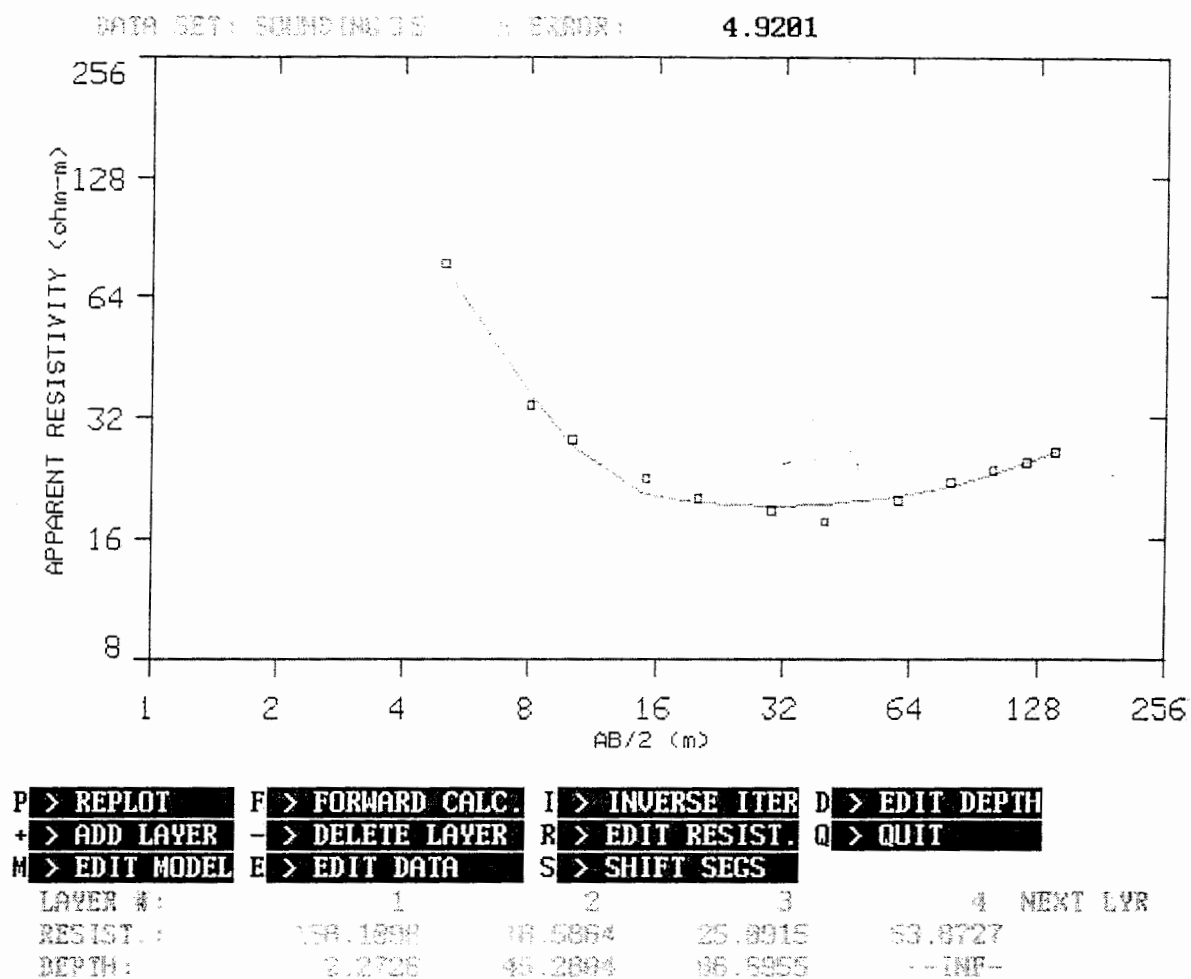
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAVER N :	1	2	3	4	5	NEXT LVR
RESIST. :	32.5104	54.3881	26.8079	130.1761	34.9619	
DEPTH :	3.0073	11.6652	26.6202	73.7576	--INF--	

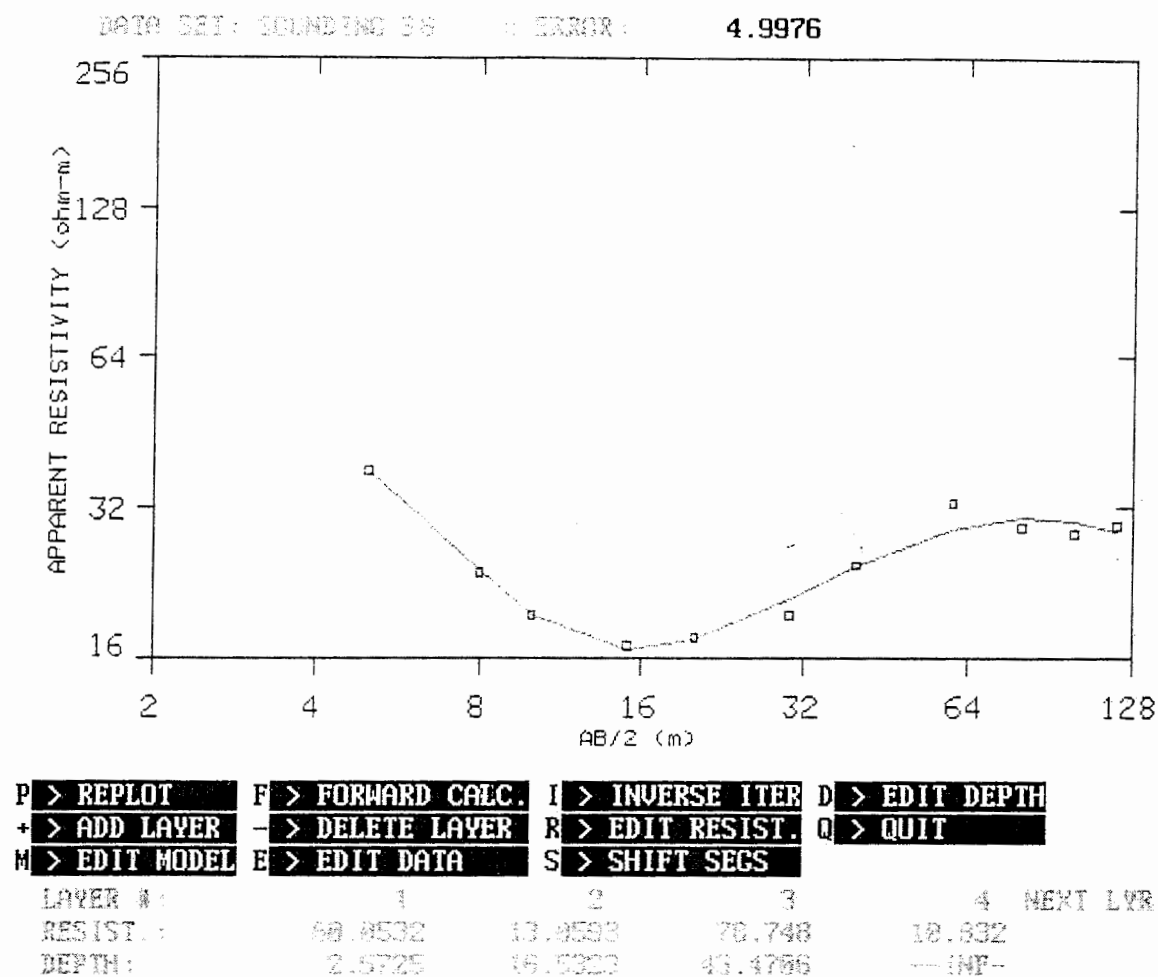
شکل ج-۳۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₃ با نرم افزار RESIX .



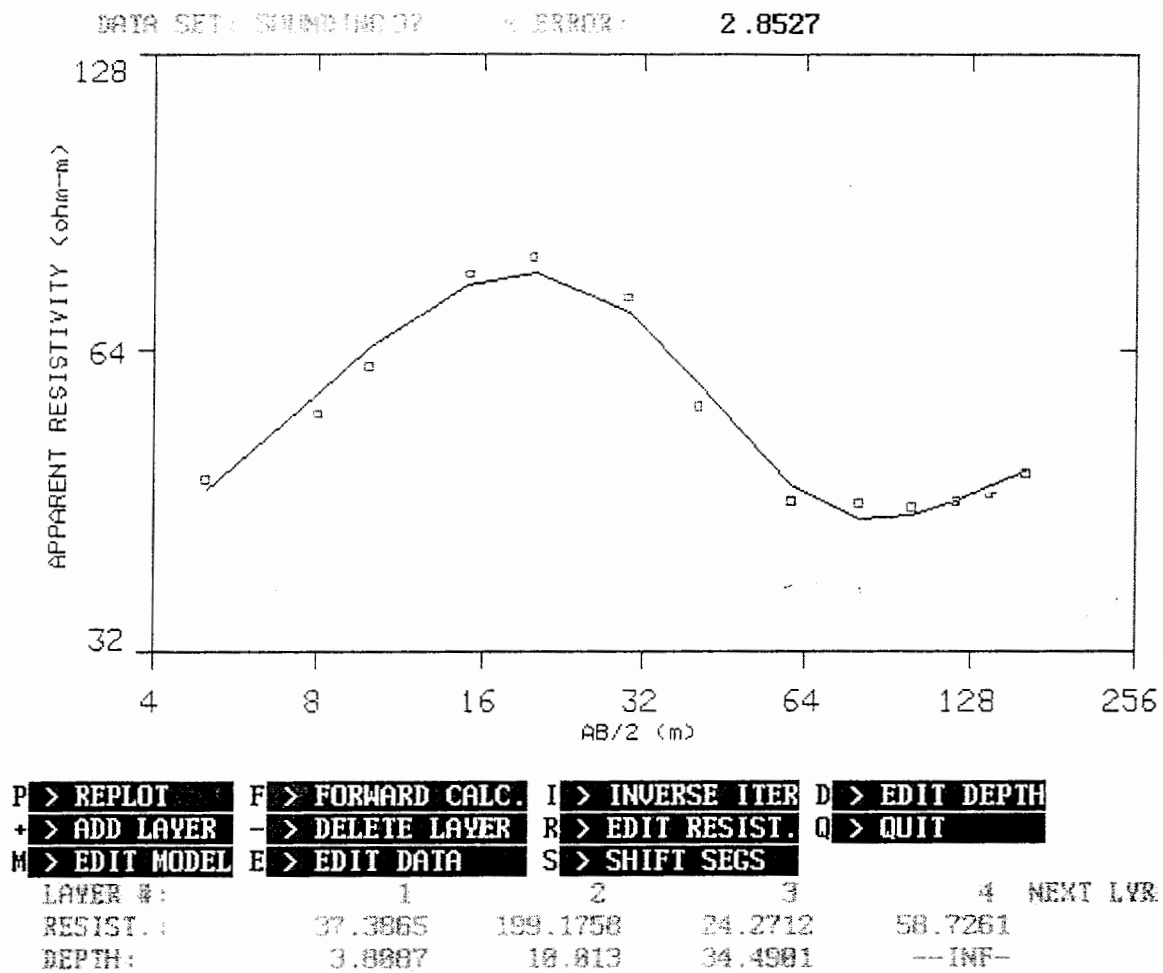
شکل ج-۳۳- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₄ با نرم افزار RESIX .



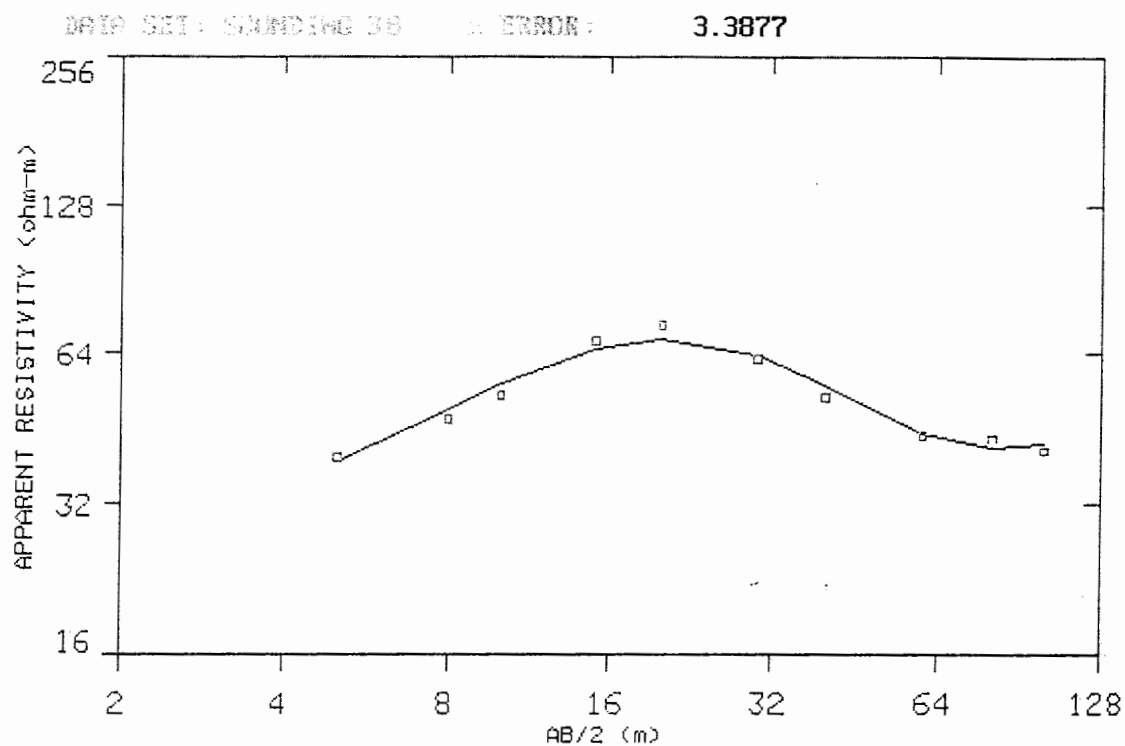
شکل ج-۳۴- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₅ با نرم افزار RESIX .



شکل ج-۳۵- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₆ با نرم افزار RESIX.

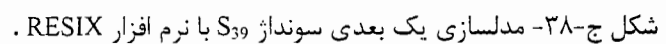


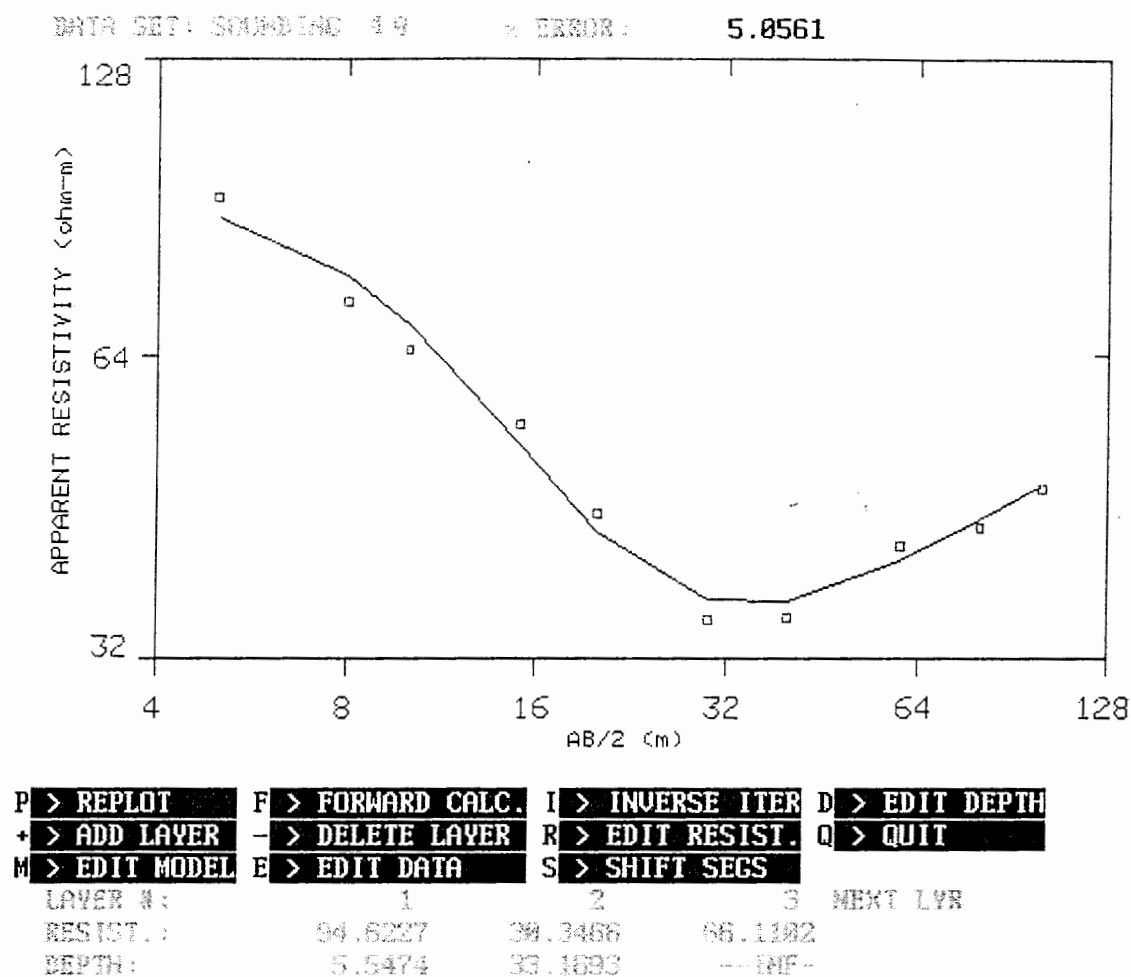
شکل ج-۳۶- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₇ با نرم افزار RESIX.



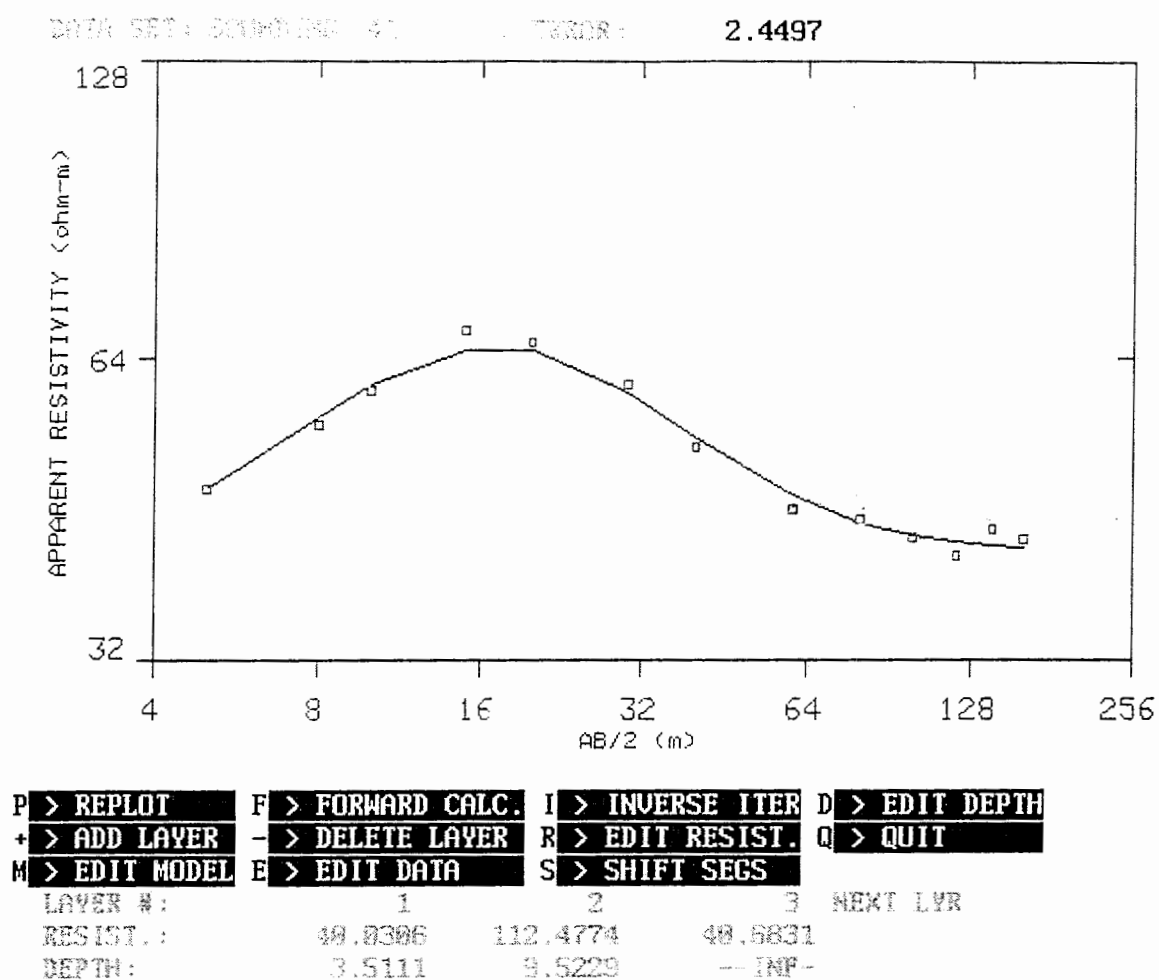
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH	
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT	
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS		
LAYER #:	1	2	3	4 NEXT LVR
RESIST.:	31.813	212.3331	28.7345	59.1982
DEPTH:	3.831	9.2278	31.8941	---INF---

شکل ج-۳۷- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₃₈ با نرم افزار RESIX .

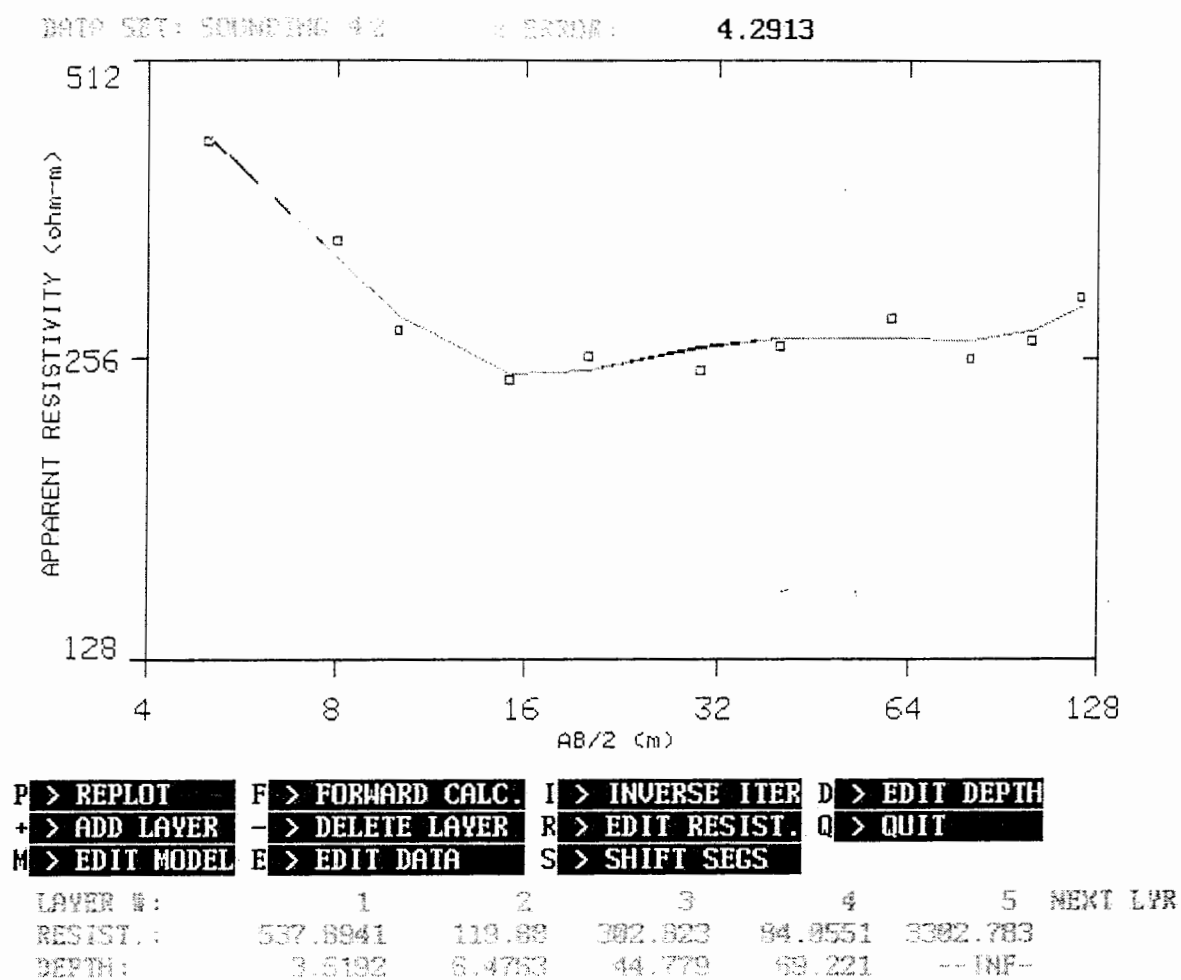




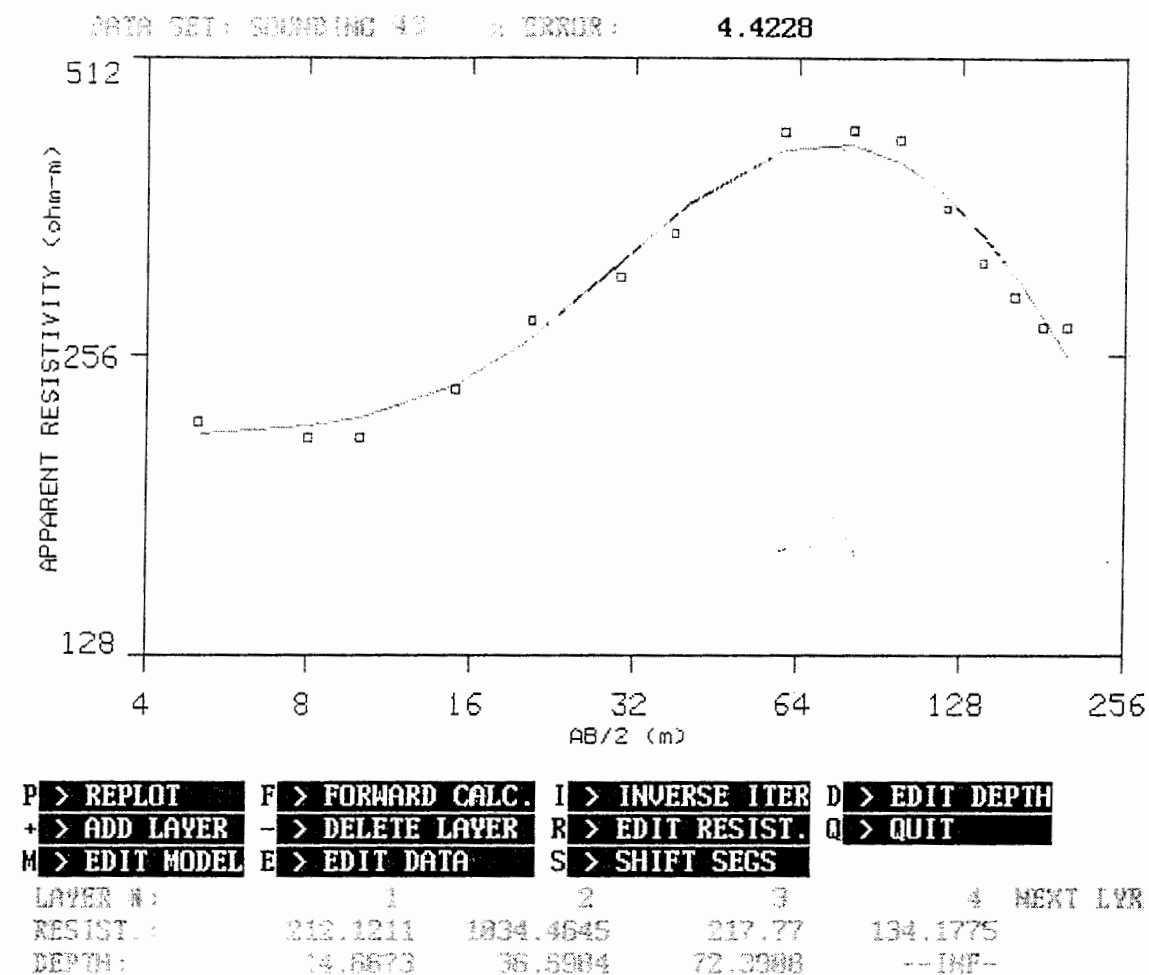
شکل ج-۳۹- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₀ با نرم افزار RESIX.



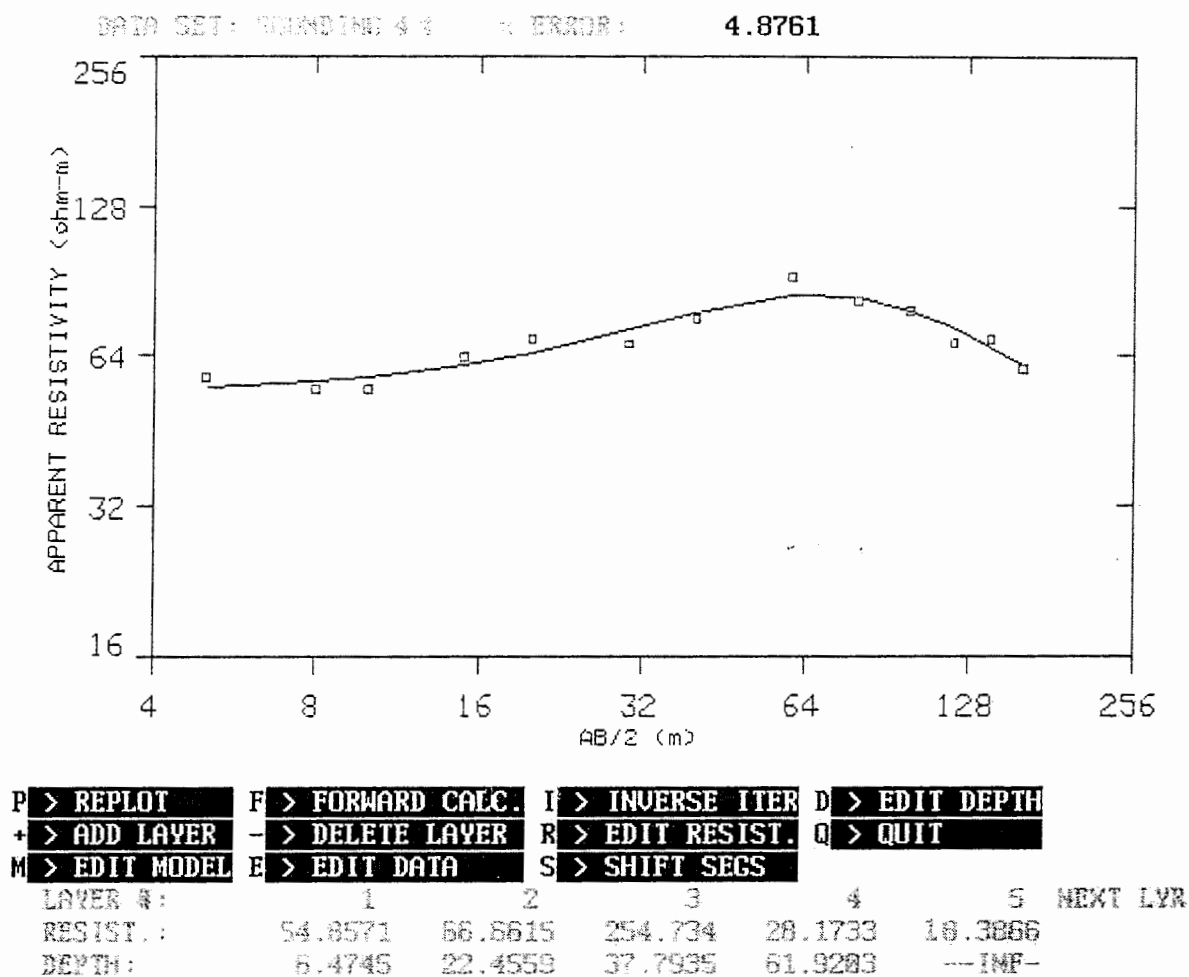
شکل ج-۴۰- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₁ با نرم افزار RESIX.



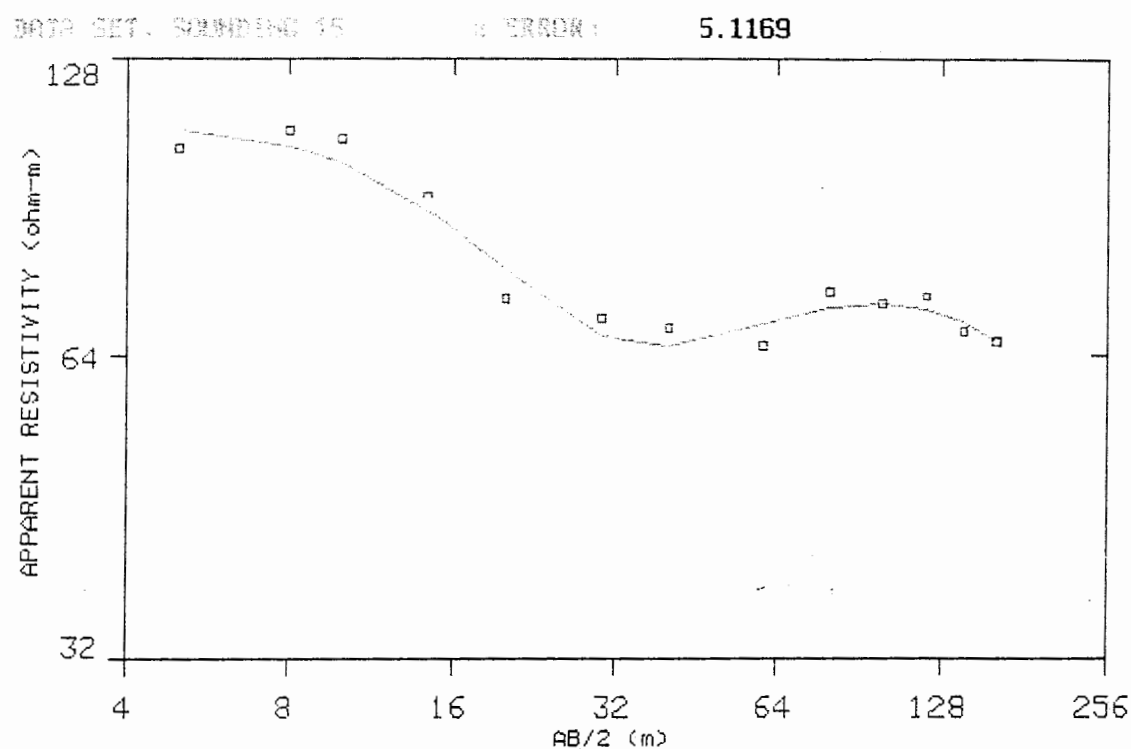
شکل ج-۴۱- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₂ با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۴۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₃ با نرم افزار RESIX .



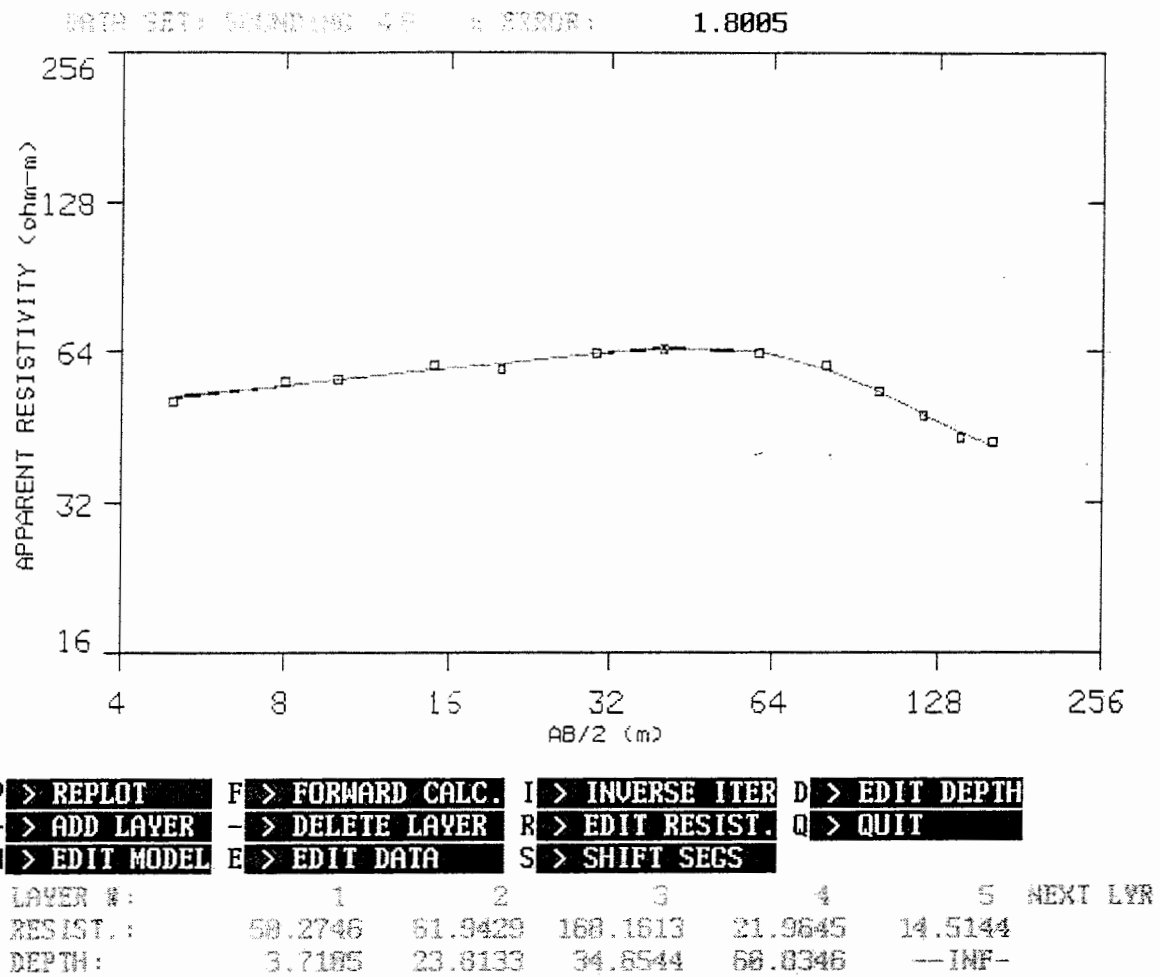
شکل ج-۴۳- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₄ با نرم افزار RESIX.



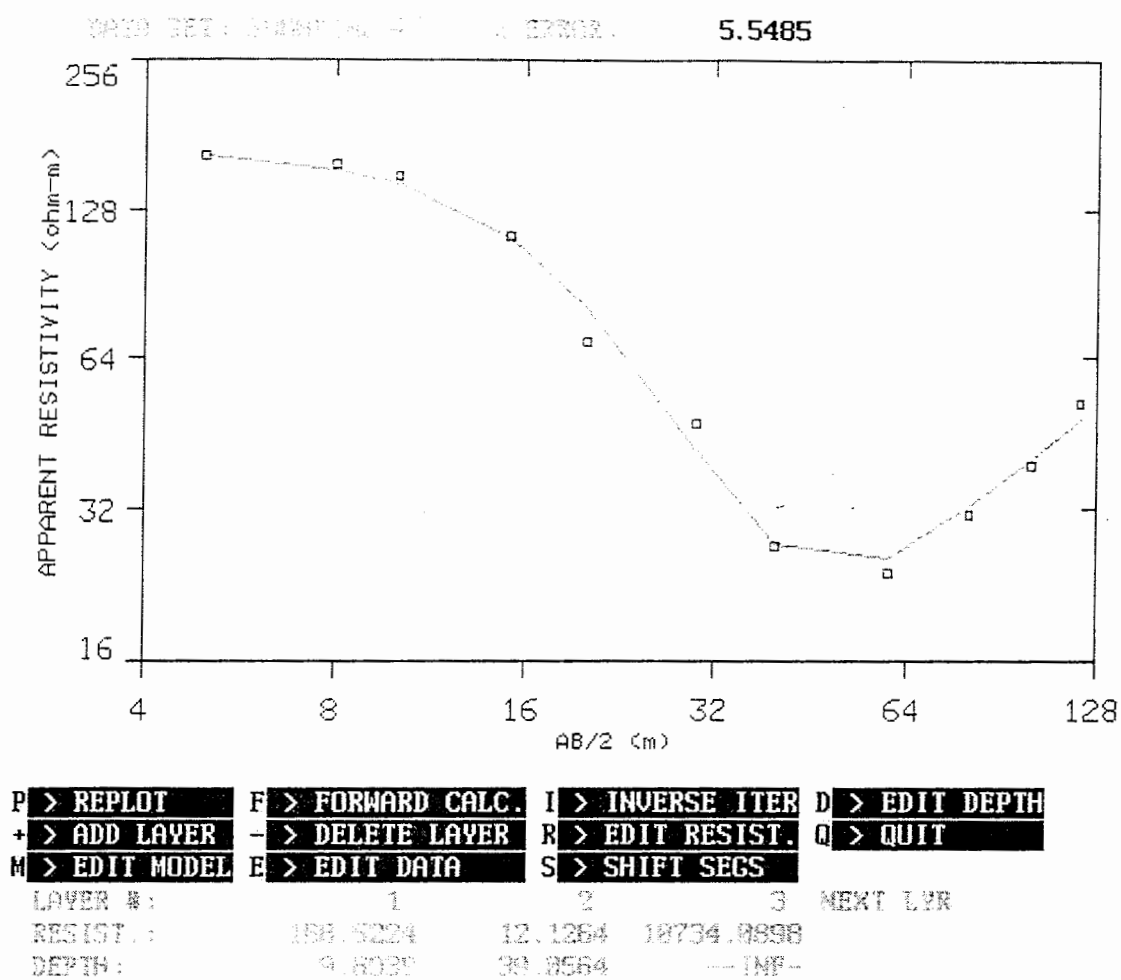
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAYER #:	1	2	3	4	NEXT LVR
RESIST.:	100.6484	18.3670	86.868	13.2862	
DEPTH:	10.2251	14.0675	122.773	--INF--	

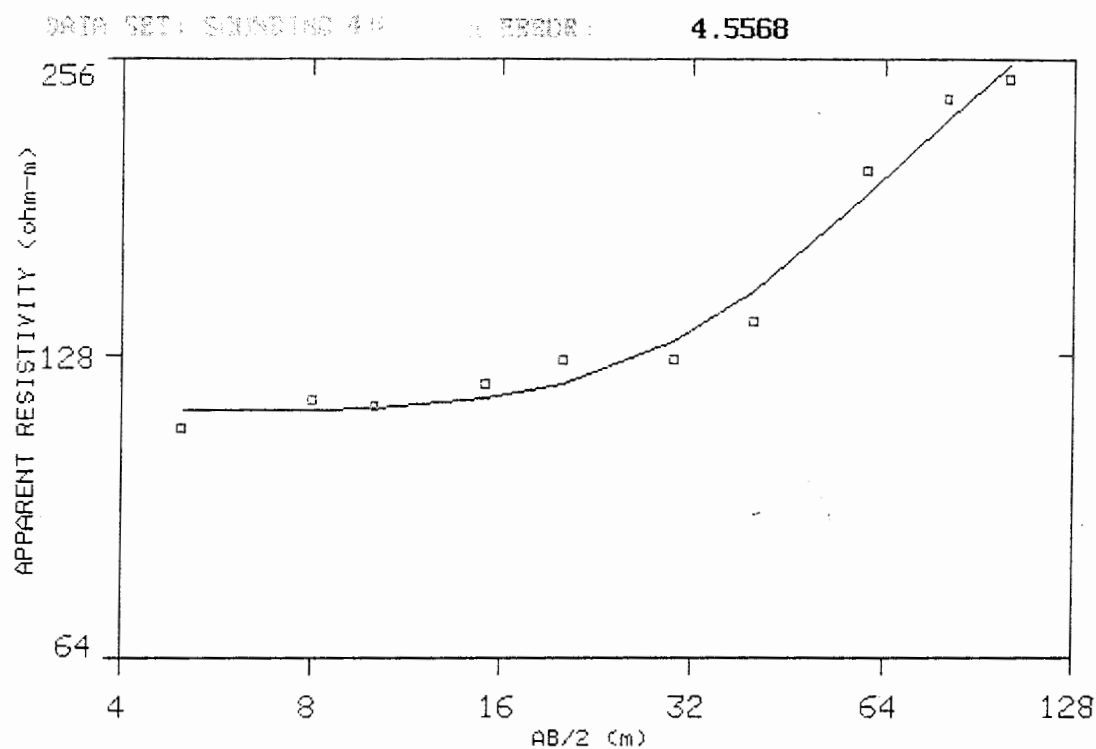
شکل ج-۴۴- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₅ با نرم افزار RESIX .



شکل ج-۴۵- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₆ با نرم افزار RESIX.



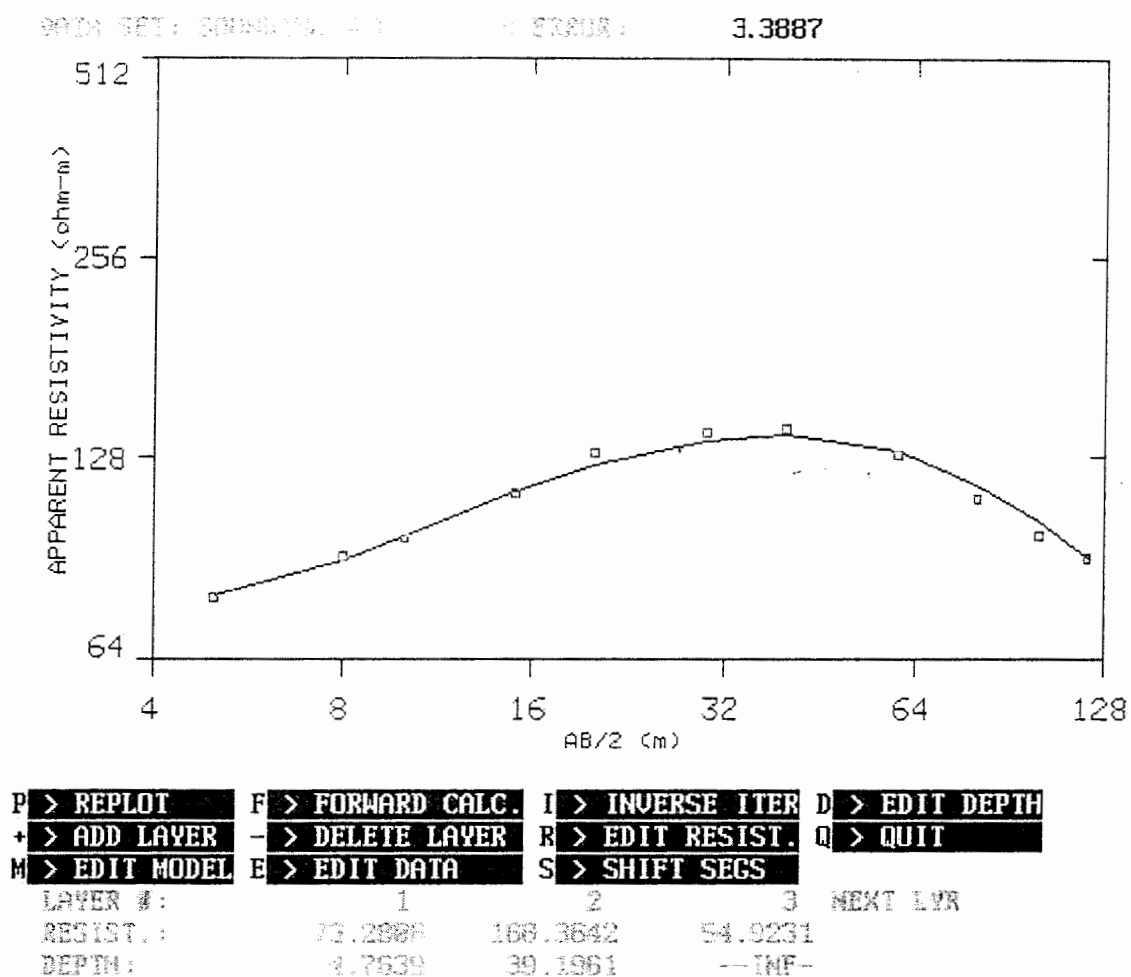
شکل ج-۴۶- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₇ با نرم افزار RESIX.



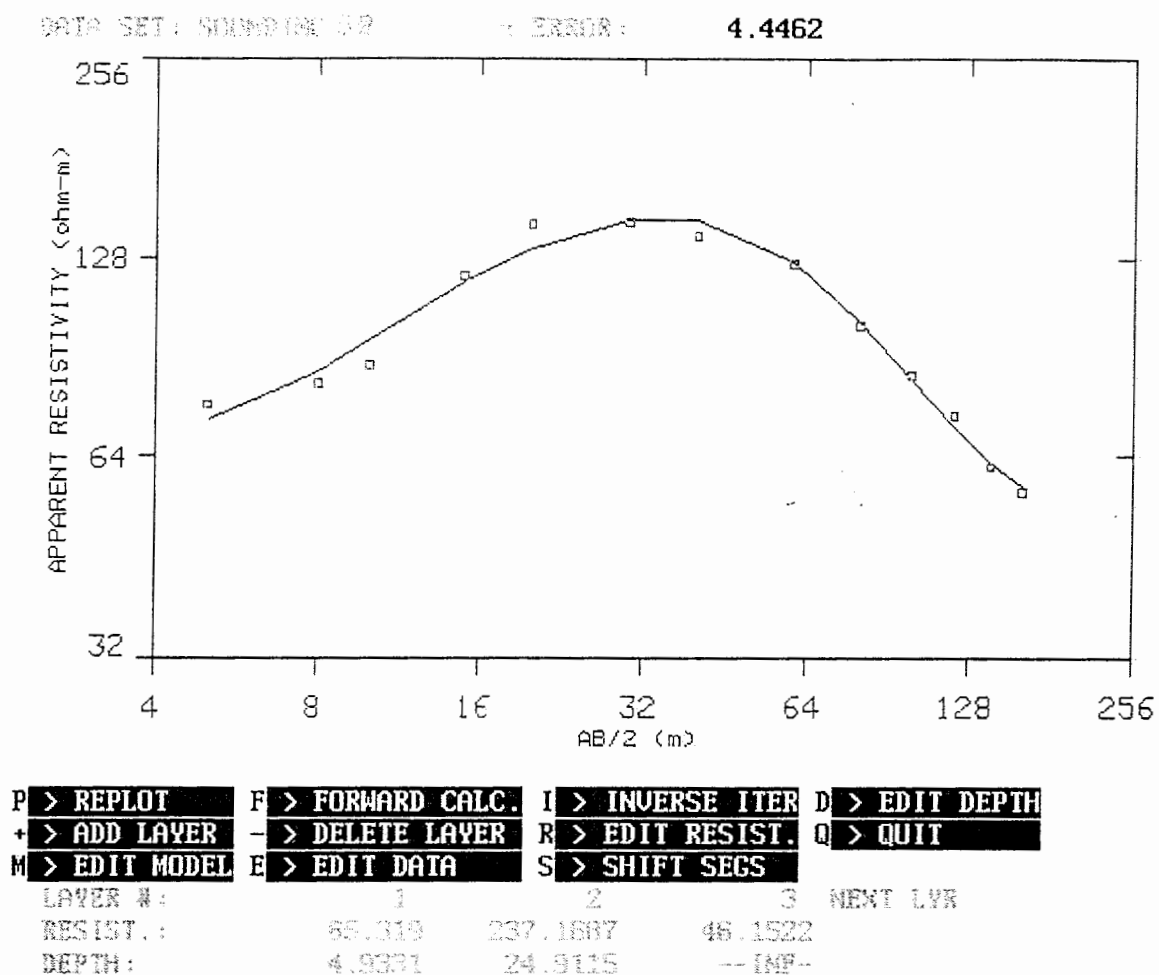
P > REPLOT	F > FORWARD CALC.	I > INVERSE ITER	D > EDIT DEPTH
+ > ADD LAYER	- > DELETE LAYER	R > EDIT RESIST.	Q > QUIT
M > EDIT MODEL	E > EDIT DATA	S > SHIFT SEGS	

LAYER #:	1	2	3	NEXT LVR
RESIST.:	112.623	113.273	501.8461	
DEPTH:	4.6011	29.5513	-- INF --	

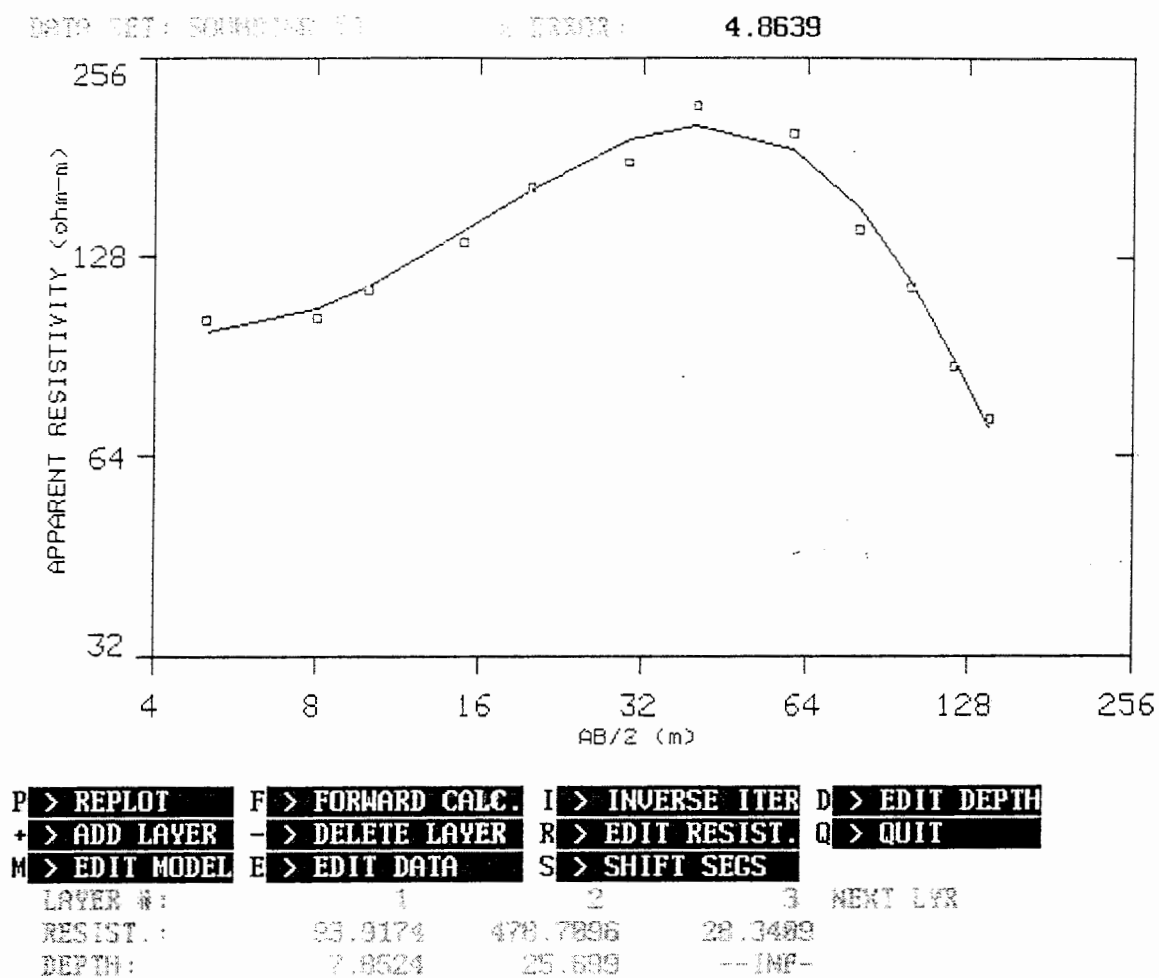
شکل ج-۴۷- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₈ با نرم افزار RESIX.



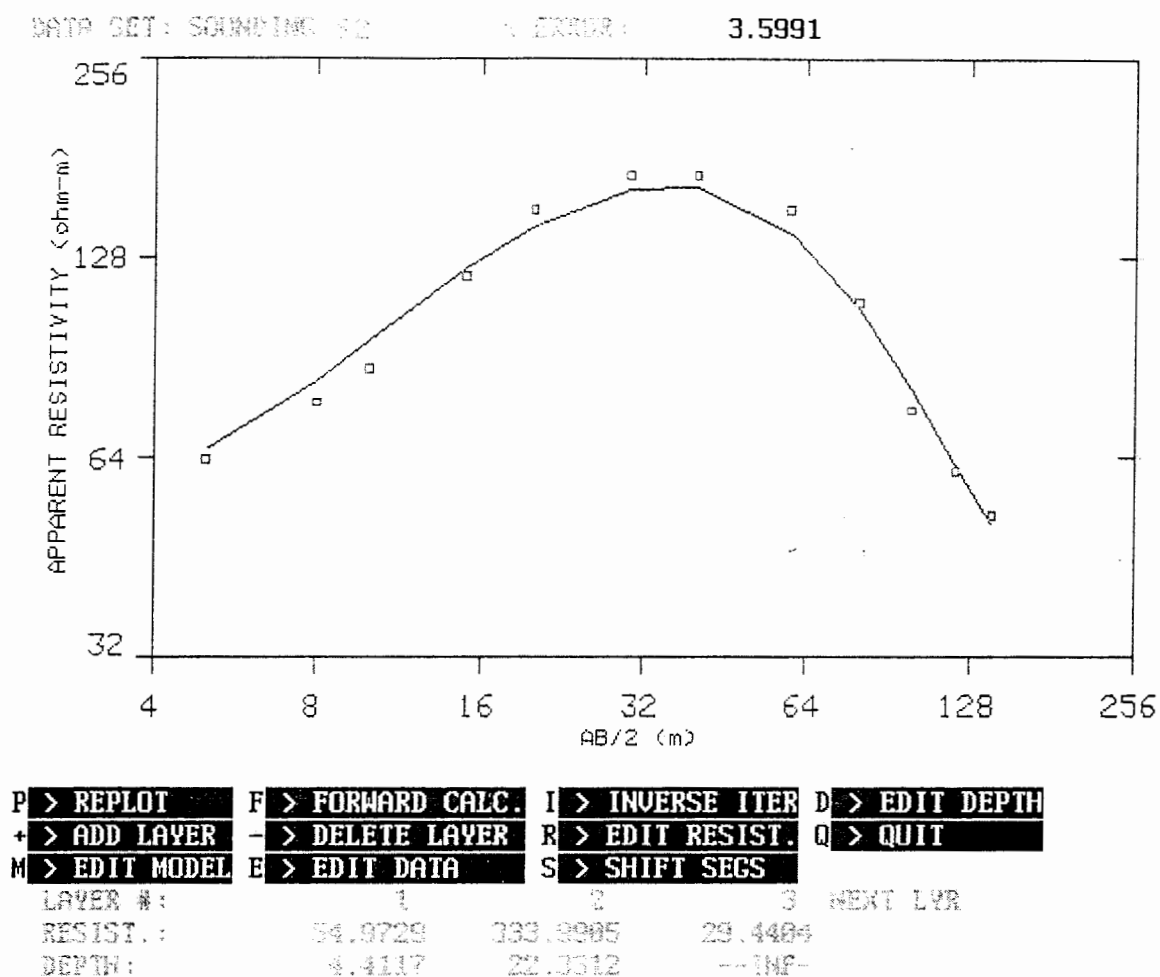
شکل ج-۴۸- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₄₉ با نرم افزار RESIX.



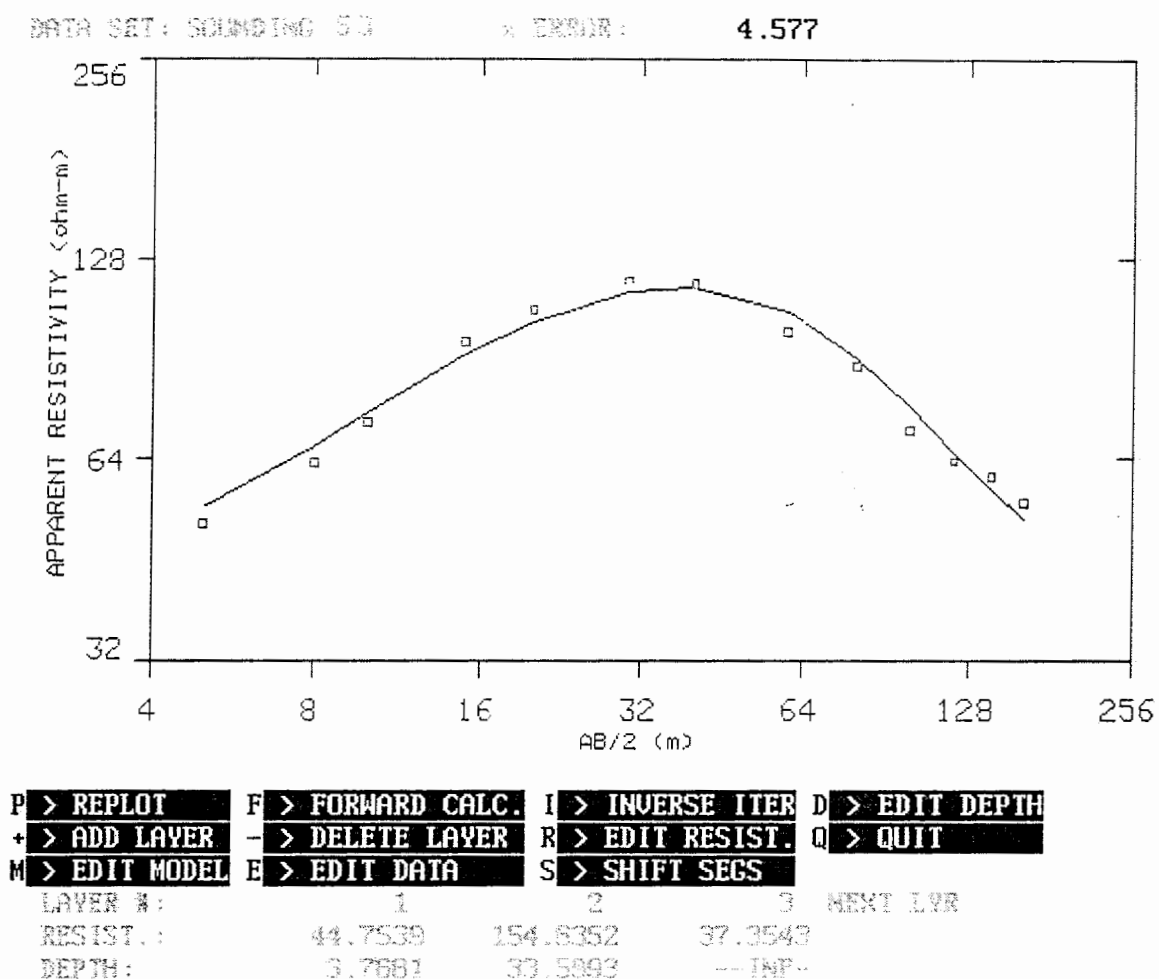
شکل ج-۴۹- مدلسازی یک بعدی سونداژ S_{50} با نرم افزار RESIX.



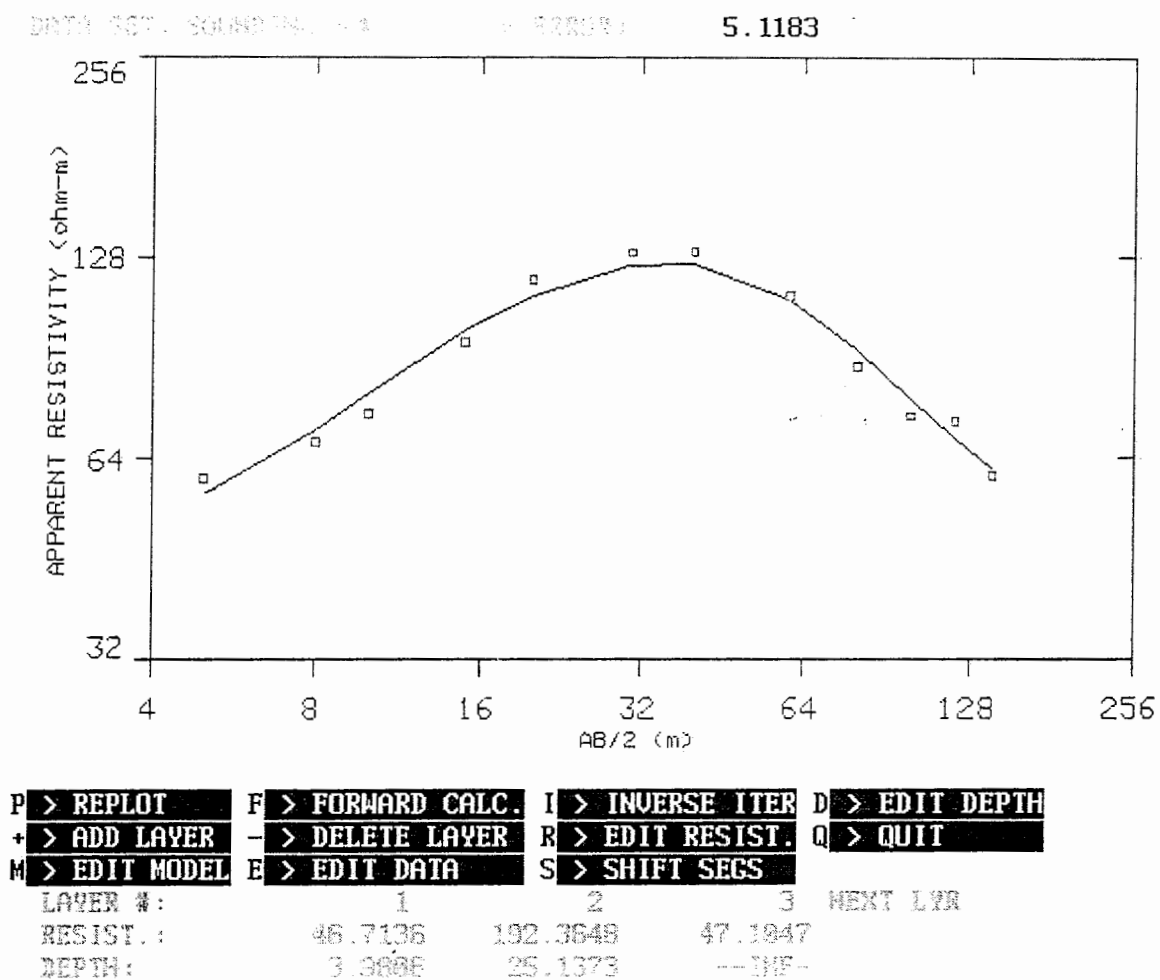
شکل ج-۵۰- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₅₁ با نرم افزار RESIX.



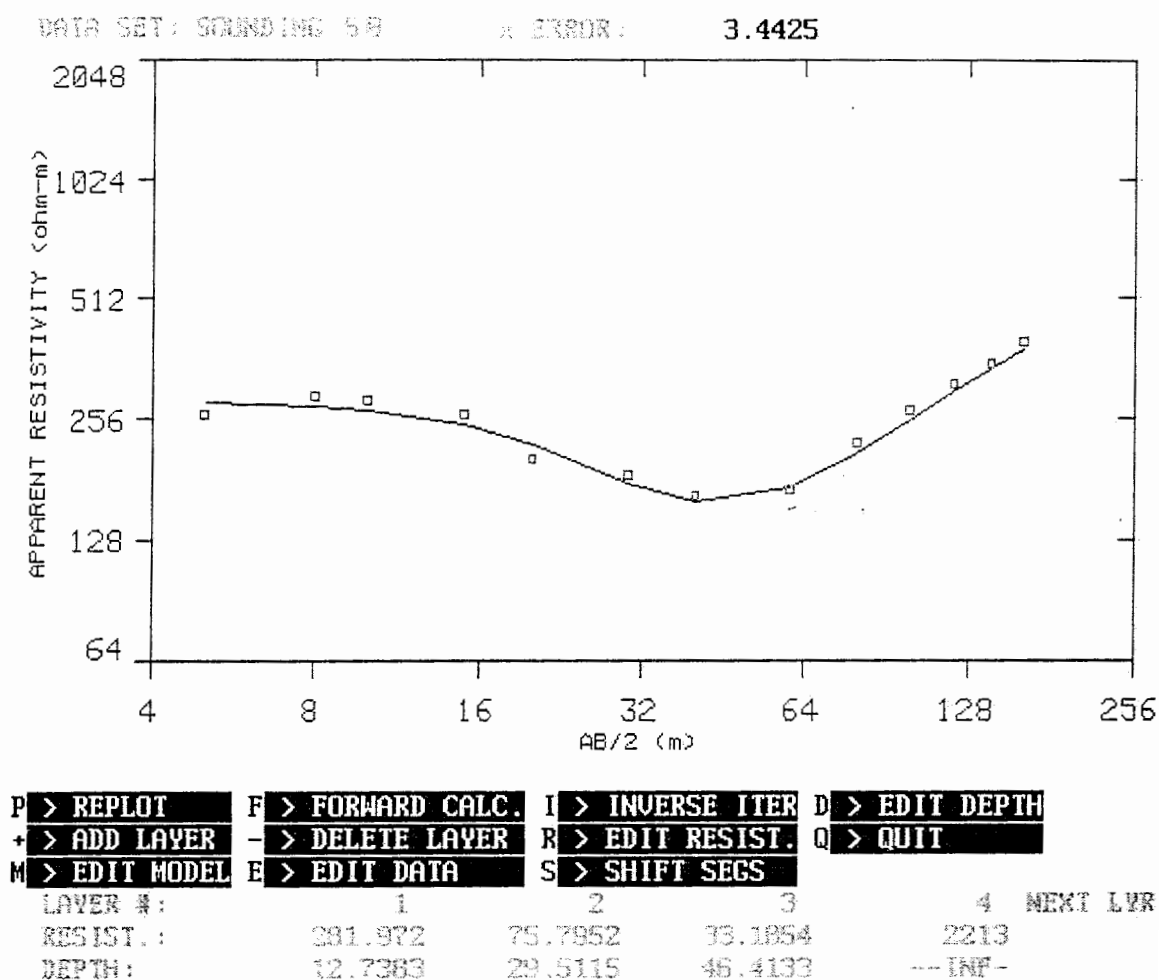
شکل ج-۵۱- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₅₂ با نرم افزار RESIX .



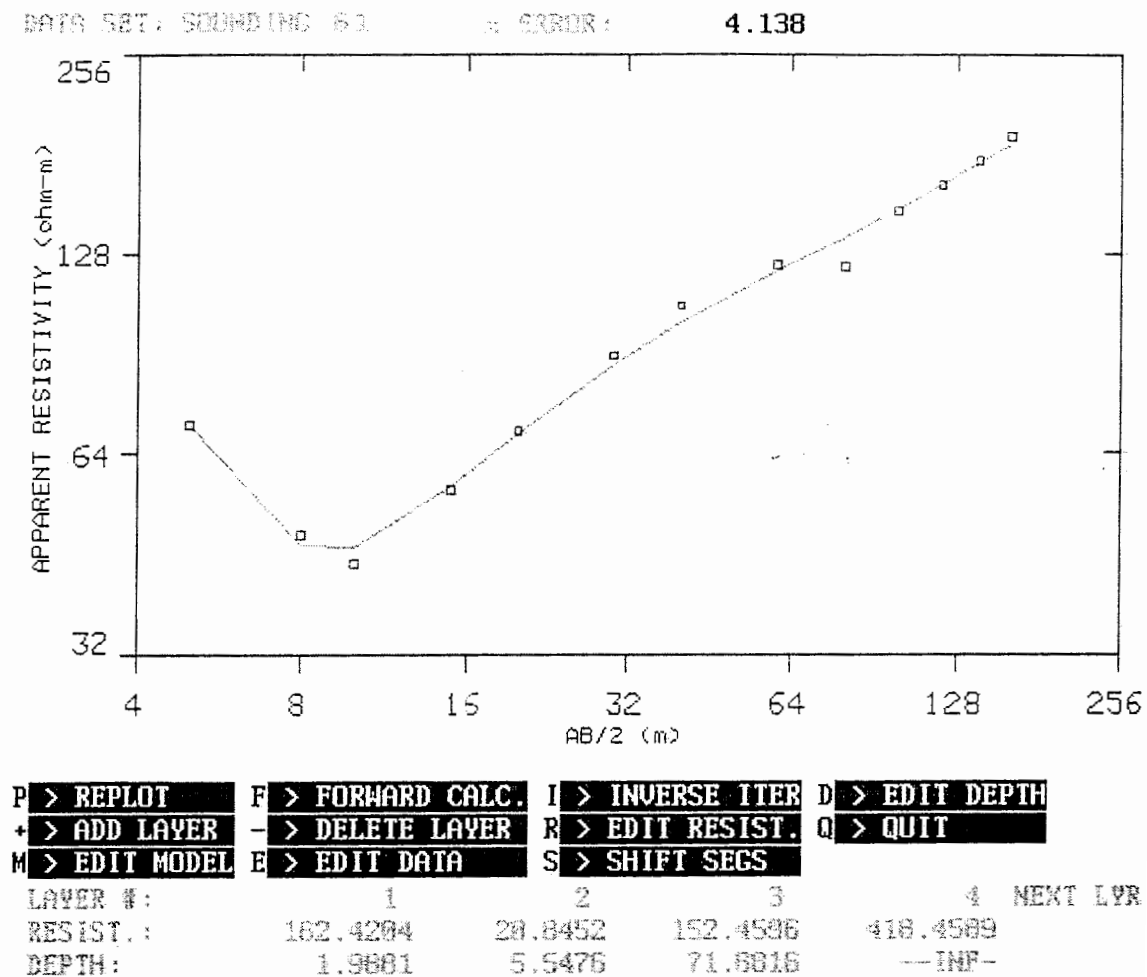
شکل ج-۵۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₅₃ با نرم افزار RESIX.



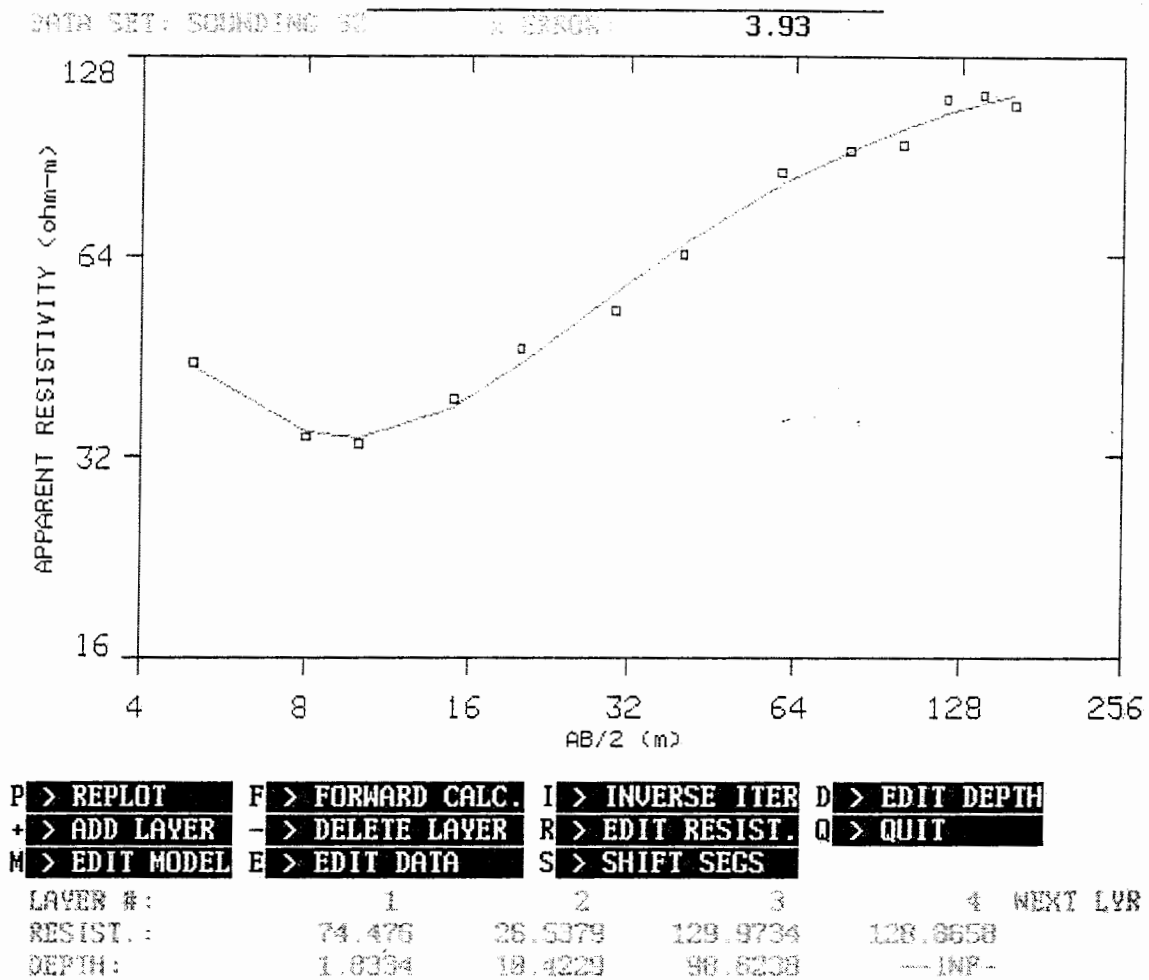
شکل ج-۵۳- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₅₄ با نرم افزار RESIX.



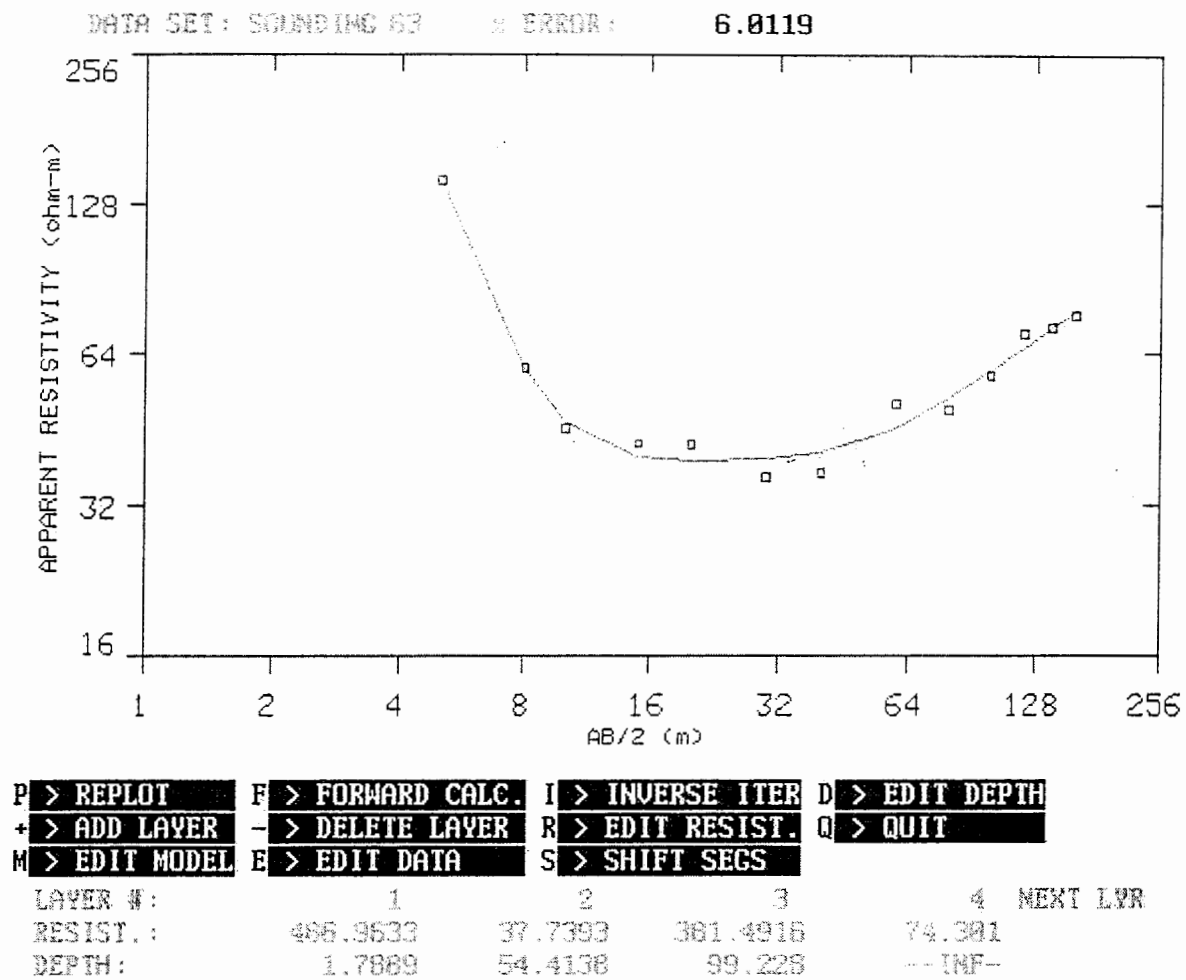
شکل ج-۵۹- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₆₀ با نرم افزار RESIX .



شکل ج-۶۰- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₆₁ با نرم افزار RESIX .



شکل ج-۶۱- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₆₂ با نرم افزار RESIX.



شکل ج-۶۲- مدلسازی یک بعدی سونداژ S₆₃ با نرم افزار RESIX.

پیوست د- مختصری در مورد مدلسازی و نرم افزارهای بکارگرفته شده

مدلسازی

داده های اندازه گیری شده در طی عملیات صحرایی در واقع یک سری اعداد خام می باشند که با قاعده مشخص و تحت شرایط خاصی بدست آمده اند و توجیه دقیق رفتار لایه های زمین از روی این داده ها (بطور مستقیم) غیر ممکن می باشد. بدین منظور تعیین رابطه بین داده های تجربی بدست آمده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و عبارت دیگر مدلسازی داده های برداشتی، جهت توجیه رفتار لایه های زیرسطحی، ضروری می باشد. افرادی چون جانسون^۱، پس از سالها تحقیق بر روی مسائل معکوس سازی، روشهای مختلفی جهت حل اینگونه مسائل ارائه نمودند.

مدلسازی ژئوفیزیکی عمدتاً به دو دسته مدلسازی فیزیکی و مدلسازی عددی تقسیم می شود. در روش مدلسازی فیزیکی، که گاهی مدلسازی آزمایشگاهی نیز نامیده می شود، ساختارهای زمینی را در مقیاس آزمایشگاهی شبیه سازی می کنند و سپس با استفاده از آرایشهای مختلف ژئوالکتریکی و به روشهای پروفیل زنی و سونداژزنی الکتریکی، داده های مقاومت ویژه قرائت و در نهایت با جوابهای صحرایی مطابقت داده می شوند. مدلسازی فیزیکی معمولاً با مشکلاتی همراه است. یکی از این مشکلات این است که، جوابهای مدلهای فیزیکی با جوابهای صحرایی به این دلیل که شرایط زمین، طبیعی و کاملاً متفاوت از شرایط کنترل شده آزمایشگاهی است، تفاوت دارد؛ بهر حال این روش بطور کلی مفید است، اما همیشه جوابگو نیست. مشکل دیگر، وقت گیر و پرهزینه بودن آن است و از طرفی، با پیشرفت و توسعه علوم کامپیوتر، امروزه اغلب از مدلسازی عددی استفاده می شود.

مدلسازی عددی داده های ژئوفیزیکی را به دو نوع مدلسازی مستقیم یا پیشرو و مدلسازی معکوس^۲ تقسیم بندی می کنند. داده های خام بدست آمده از زمین، هیچگونه اطلاعات کمی در رابطه

^۱ -Johnson

^۲ - Forwards & Inverse modeling

با توزیع خواص فیزیکی زمین و یا عمق آنومالیها ارائه نمی کنند؛ پس مدلسازی داده ها در ژئوفیزیک امری اجتناب ناپذیر است. هم مدلسازی مستقیم و هم مدلسازی معکوس، رابطه بین توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و پاسخ ژئوفیزیکی (اندازه گیری صحرایی) را بیان می کند. اگر از توزیع خواص فیزیکی به پاسخ ژئوفیزیکی برسیم، مدلسازی مستقیم می نامند، ولی استنباط خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه از داده های مشاهده ای را، مدلسازی معکوس می گویند. ورودی مدلسازی معکوس، داده های صحرایی می باشد که به کمک محاسبات مربوط به تئوری معکوس سازی بر روی آنها، پارامترهای مدل، بعنوان خروجی ارائه می شوند[۷].

روش مدلسازی مستقیم دقت بالایی دارد اما بسیار کند و وقت گیر می باشد. از طرفی مدلسازی معکوس، روابط ریاضی پیچیده تری دارد. برای تعیین سریع خصوصیات مورد نظر، از مدلسازی معکوس استفاده می شود.

مدلسازی مستقیم یا پیشرو

در این نوع مدلسازی، با وارد نمودن پارامترهای یک مدل فرضی، که با داده های تجربی همخوانی دارد، یکسری داده های تئوری منطبق بر پارامترهای مدل پیشنهادی بدست می آید که در صورت بالا بودن جذر میانگین مربعات^۱ خطای بین این داده ها و داده های تجربی (خطای جذر میانگین مربعات)، فرآیند مدلسازی مجدداً تکرار خواهد شد. مدلسازی مستقیم شامل مراحل زیر است:

- ۱- فرض کردن یک مدل زمینی آزمایشی اولیه.

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

- ۳- مقایسه پاسخ مدل فرضی با داده های صحرایی و محاسبه مقدار خطای نسبی بین آنها.

- ۴- بررسی نتیجه و تعدیل و تصحیح مدل آزمایشی مرحله اول تا وقتی که تطابق بین پاسخ

مدل فرضی و اندازه گیری شده بهبود یابد تا جائیکه بهترین تطابق ممکن بدست آید[۷].

مدلسازی معکوس

در مدلسازی معکوس در هر مرحله از تکرار، با اعمال یکسری عملیات ریاضی پیچیده رویدادهای تجربی، پارامترهای فیزیکی مدل رابدست می آوریم. مسائل معکوس سازی برعکس

^۱ -Root mean Least Square

مستقیم که اغلب مستقیم، یک مرحله ای و خوش حالت^۱ هستند، بعلت وجود نویزهای زمین شناسی و نیز ناقص بودن اطلاعات و خطا در اندازه گیریها، اغلب غیر مستقیم، تکراری و بدحالت^۲ می باشند. حل اینگونه مسائل، مشکل و در برخی موارد غیر ممکن می باشد [10].

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

در روش معکوس سازی ژئوفیزیکی، هدف یافتن مدلی^۳ از زمین است که نتایج آن با داده های اندازه گیری شده صحرائی مطابقت داشته باشد. مدل دارای مجموعه ایی از پارامترها است که کمیات فیزیکی اند و از داده های مشاهده ایی تخمین زده می شوند. پاسخ مدل^۴، داده های تولید شده ایی هستند که از روابط ریاضی تعریف شده مدل برای مجموعه ای مشخص از پارامترهای مدل محاسبه می شوند.

در روش بلوکی که برای برنامه Res2Dinv استفاده شده است، پارامترهای مدل، مقادیر مقاومت ویژه بلوکهای مدل هستند، در حالیکه داده ها بصورت مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده اند. ارتباط ریاضیاتی میان پارامترهای مدل و پاسخ آن برای مدلهای مقاومت ویژه دو بعدی و سه بعدی به روشهای اختلاف محدود^۵ و اجزاء محدود^۶ تهیه می شوند [۱۳].

در کلیه روشهای بهینه سازی، مدل اولیه با روش تکرار، تعدیل می شود که در طی آن اختلاف میان پاسخ مدل و مقادیر داده های مشاهده شده کاهش می یابد.

^۱ - Well posed

^۲ - Ill posed

^۳ - Model

^۴ - Model response

^۵ - Finite-Difference

^۶ - Finite-Element

نرم افزارهای مورد استفاده برای مدلسازی معکوس

در این پروژه، جهت مدلسازی معکوس یک بعدی از نرم افزار Resix و برای مدلسازی معکوس دو بعدی از نرم افزار Res2Dinv استفاده شده است که در ادامه، به اختصار معرفی می شوند.

نرم افزار Resix

نرم افزار RESIX یک نرم افزار گرافیکی است که از طریق مدلسازی معکوس و پیشرو برای تفسیر داده های مقاومت ویژه حاصل از اندازه گیری برروی زمینی که از لایه های افقی تشکیل شده باشد، به کار می رود. این نرم افزار تحت سیستم عامل Dos کار می کند. مشخصات کلی این نرم افزار عبارتند از:

الف - آرایشهای شلومبرگر، ورنر، دوقطبی - دو قطبی و قطبی - دو قطبی را قبول می کند.

ب - هر دو مدلسازی معکوس و پیشرو را انجام می دهد.

ج-بالغ بر ۶۰ داده را دریافت می کند.

د-می تواند محاسبات مدلسازی هموار را انجام دهد.

مدلسازی پیشرو این امکان را می دهد که منحنی های سونداژ مقاومت ویژه برای یک زمین با حداکثر ۱۰ لایه مدلسازی شود. منحنیهای سونداژ مقاومت ویژه توسط یک فیلتر خطی با استفاده از روش ابداعی داویس (۱۹۸۰) محاسبه می شوند[۱۱].

بوسیله مدلسازی معکوس می توان بهترین مدل تطبیق یافته روی داده ها را با استفاده از روش کمترین مربعات بدست آورد. این عمل با استفاده از رگرسیون ريج به این صورت که پارامترهای مدل اولیه شناخته شده توسط کاربر، مکرراً تعدیل می شود، صورت می گیرد. می توان بعضی از پارامترهای مدل اولیه را، مقید کرد که عمل معکوس سازی نتواند آنرا تعدیل کند.

نرم افزار قادر است بالغ بر ۱۰ لایه را تشخیص دهد. مدلهای پیشرو نیز می توانند بیش از ۱۰ لایه را تشخیص دهند. یک پارامتر می تواند متغیر باشد و یا ثابت نگه داشته شود. و یا محدودیتی بر آن پارامتر اعمال شود. پارامترها می توانند مقاومت ویژه به اضافه ضخامت لایه باشند و یا مقاومت ویژه به اضافه عمق انتهایی لایه باشند[۱۱].

مدلسازی هموار کاربر را قادر می سازد تا بصورت اتوماتیک بتواند داده های سونداژ مقاومت

ویژه را در ترم مدل هموار، تا ۱۰ لایه تفسیر کند. عمقها در مدل، بصورت بازه های لگاریتمی نشان داده می شوند که این عمقها از مقدار ماکزیمم تا مینیمم را شامل می شوند. اعماق ماکزیمم و مینیمم می تواند توسط کاربر تعیین شده باشند، و یا بصورت اتوماتیک تولید شده باشند. در مدل مقاومت ویژه سعی می شود ابتدا بهترین حالت تطبیق را با نیم بازه های همگن مقاومت ویژه داشته باشد. نتایج مدلسازی می توانند بصورت نقشه درآیند، چاپ شوند، لیست شوند، و یا نوشته شوند که این نتایج در فایل ASCII برای استفاده کاربر نمایش داده می شوند [۱۱].

نرم افزار Res2Dinv

نرم افزار Res2Dinv برای مدلسازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی توسط لوک^۱ نوشته شده است. این نرم افزار کاملاً اتوماتیک بوده و تحت سیستم عامل ویندوز^۲ کار می کند و برخلاف سایر نرم افزارهای مدلسازی، نیازی به دریافت یک مدل اولیه جهت شروع عملیات مدلسازی ندارد و قابلیت مدلسازی تعداد زیادی از داده های ژئوالکتریکی را دارا می باشد. این نرم افزار بطور خودکار، بهترین مقادیر پارامترهای مورد نیاز را انتخاب نموده و شروع به مدلسازی می کند، هر چند که انتخاب این پارامترها توسط اپراتور نیز امکانپذیر است [14].

نرم افزار Res2Dinv، روش حداقل مربعات غیر خطی را بکار برده و محاسبات عددی را با روشهای تفاضل محدود و اجزاء محدود انجام می دهد. روش معکوس سازی توسط این برنامه، از سه روش مختلف برای حداقل سازی مربعات استفاده می کند که عبارتند از:

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

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

^۱ - M. H. Loke

^۲ - Windows

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

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

روش بهینه سازی، بطور اساسی برای کاهش اختلاف میان مقادیر مقاومت ویژه محاسبه شده و اندازه گیری شده بوسیله تعدیل مقاومت ویژه بلوکهای مدل، بکار می رود. برنامه در هر بار تکرار، خطای RMS را محاسبه می کند و سعی در کاهش آن دارد. بهرحال، مدل با کمترین خطای RMS ممکن، می تواند بعضی اوقات تغییرات بزرگ و غیر واقعی در مقادیر مقاومت ویژه مدل نشان دهد و ممکن است همیشه بهترین مدل از یک مدل زمین شناسی را نشان ندهد.

بطور کلی، برای انتخاب مدل نهایی، بایستی خطای RMS تکرار مدل تغییر چندانی نسبت به تکرار قبلی نداشته باشد و معمولاً بین تکرارهای سوم تا پنجم رخ می دهد [14].