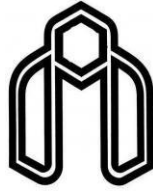


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف، نفت و ژئوفیزیک

مقایسه دو روش گرافیکی و ریاضی در تفسیر سونداژ شلومبرژه و اعتبارسنجی نتایج

به کمک داده‌های چاه در منطقه امان آباد اراک

دانشجو: میترا خلیلی

اساتید راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر علیرضا عرب‌امیری

استاد مشاور

مهندس احمد باقری

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی

زمستان ۱۳۹۲

## دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: اکتشاف، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم میترا خلیلی

تحت عنوان: مقایسه دو روش گرافیکی و ریاضی در تفسیر سونداژ شلومبرژه و اعتبارسنجی

نتایج به کمک داده‌های چاه در منطقه امان‌آباد اراک

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : احمد باقری		نام و نام خانوادگی: ابوالقاسم کامکار روحانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : علیرضا عرب‌امیری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی: علی مرادزاده
			نام و نام خانوادگی: علی نجاتی کلاته
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقديم به مادرم :

يگانه فرشته زندگيام كه در كالبد

انسان تجلی یافته

## تقدیر و تشکر:

خداوند منان را سپاسگذارم که توفیق نگارش این پایان‌نامه را به من عطا فرمود. وظیفه خود می‌دانم مراتب سپاسگذاری خود را از اساتید گرانقدر دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری به عنوان اساتید راهنما و جناب مهندس احمد باقری به عنوان استاد مشاور به خاطر تجارب ارزشمندشان و کمک به این جانب در نگارش این پایان‌نامه اعلام نمایم، همچنین از زحمات اساتید گرانقدر خود در طول دوره تحصیل فوق لیسانس دکتر کامکار روحانی، دکتر عرب امیری، دکتر پیروز، دکتر مرادزاده، دکتر آقاجانی، دکتر نجاتی و دکتر روشندل که با مساعدت‌های علمی خود با اینجانب لطف شایانی داشتند، قدردانی می‌کنم.

همچنین از آقایان دکتر مرادزاده و دکتر نجاتی، به عنوان اساتید داور، که نقش به‌سزایی در به سرانجام رساندن این پایان‌نامه داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در انتها لازم می‌دانم از زحمات تمام کارکنان دانشکده خصوصاً آقای شاه‌حسینی و تمامی دوستان عزیزم در طول دوران تحصیل تشکر و قدردانی نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب میترا خلیلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده معدن، نفت، ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مقایسه دو روش گرافیکی و ریاضی در تفسیر سونداژ شلومبرژه و اعتبارسنجی نتایج به کمک داده‌های چاه در منطقه امان‌آباد اراک تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب-امیری متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.
- تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

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

## چکیده

روش‌های اکتشافی به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم که حفاری اکتشافی نیز از آن جمله است، روش‌های گران‌قیمت، زمان‌بر و با دقت بالایی هستند؛ اما روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های غیرمستقیم هستند، که نیاز به هزینه و زمان کمتری دارند، اگرچه تفسیر نتایج آن‌ها مشکل است. در این پژوهش به بررسی کارایی روش سونداژزنی ژئوالکتریکی در تشخیص لایه آبدار و همچنین مقایسه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژ شلومبرژه تصحیح شده، به دو روش گرافیکی و ریاضی پرداخته شده است. بدین منظور داده‌های ۷۶ سونداژ ژئوالکتریکی بر روی ۹ پروفیل موجود در منطقه امان‌آباد واقع در شهر اراک، ابتدا توسط سرمنحنی‌های استاندارد، تفسیر شده و سپس نتایج حاصله به عنوان مدل اولیه به وسیله نرم‌افزار IX1D مدل‌سازی یک‌بعدی شده‌اند. همچنین به منظور مقایسه دو روش تصحیح منحنی سونداژ شلومبرژه، مدل‌سازی یک‌بعدی توسط نرم‌افزار IPI2Win نیز انجام شده و نتایج حاصل از دو روش با اطلاعات زمین‌شناسی و چاه‌های موجود در منطقه مقایسه شده و در نتیجه، سرعت روش تصحیح ریاضی و دقت و صحت روش تصحیح گرافیکی به تأیید رسیده است.

همچنین داده‌های هر پروفیل توسط نرم‌افزار Res2dinv به صورت دوبعدی مدل‌سازی شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی دوبعدی با مدل‌های یک‌بعدی، اطلاعات چاه‌های مجاور و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مقایسه گردیدند. نتایج این مدل‌سازی‌ها برای تعیین هندسه آبخوان، تفکیک لایه‌های آبرفتی، تعیین عمق سنگ کف، تشخیص چین‌ها و گسل‌های موجود در منطقه، تعیین جنس لایه‌ها، تهیه نقشه هم‌پتانسیل و جریان آب زیرزمینی در آبخوان استفاده شده‌اند.

در کل نتایج نشان می‌دهند که عمق سطح آب زیرزمینی از سمت جنوب به سمت شمال منطقه، مطابق روند توپوگرافی موجود، کاهش می‌یابد. با بررسی نقشه ایزوپیز تهیه شده می‌توان نتیجه گرفت

که جهت جریان آب زیرزمینی نیز از جنوب به سمت شمال منطقه است. همچنین نتایج تفسیرهای انجام شده حاکی از آن است که مقادیر مقاومت ویژه لایه آبدار و به تبع کیفیت آب زیرزمینی (از نظر مقدار املاح یا کل جامدات حل شده و رسانندگی الکتریکی و احتمالاً میزان رس که تأثیر مستقیم بر روی مقدار مقاومت ویژه لایه آبدار دارند) در کل منطقه متغیر بوده است. در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه، لایه آبدار با مقاومت ویژه بین ۵۰ تا ۸۰ اهم‌متر از کیفیت بهتری برخوردار است و در بخش‌های مرکزی و شمال منطقه، کیفیت نسبتاً پایین‌تری دارد. همچنین سنگ کف عمدتاً از جنس آهک می‌باشد؛ که در بخش‌های شرق، غرب و جنوب به علت عملکرد گسل‌های اصلی و احتمالی از عمق کمتری برخوردار است اما در بخش‌های مرکزی و شمال منطقه در عمق نسبتاً زیادی قرار دارد.

**کلمات کلیدی:** مدل‌سازی، تفسیر، سونداژ مقاومت ویژه، تصحیح منحنی سونداژ شلومبرژه،

آبخوان، امان‌آباد.



## لیست مقالات مستخرج:

۱- تعیین مشخصات آبخوان منطقه‌ی امان‌آباد با استفاده از توموگرافی دوبعدی

الکتریکی

۲- شناسایی گسل با استفاده از توموگرافی الکتریکی دوبعدی

## فهرست

۱	فصل اول : کلیات
۱-۱	مقدمه
۲-۱	تاریخچه عملیات اکتشافی انجام شده
۳-۱	مروری بر مطالعات انجام شده
۴-۱	ضرورت و اهداف
۵-۱	ساختار پایان نامه
۷	فصل دوم: روش مقاومت ویژه
۱-۲	مقدمه
۲-۲	تئوری روش مقاومت ویژه
۳-۲	تقسیم بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت ویژه
۴-۲	روش های برداشت مقاومت ویژه الکتریکی
۵-۲	تصحیح منحنی سونداژ شلومبرژه
۱-۵-۲	پدی ده کلاچ و روش های تصحیح آن
۲-۵-۲	تصحیح کلاچ به روش ای جاد منحنی هموار
۳-۵-۲	تصحیح کلاچ به روش جابه جایی قائم قطعات منحنی سونداژ
۱۹	فصل سوم: زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه
۱-۳	مقدمه
۲-۳	راه های دسترسی
۳-۳	موقعیت جغرافیایی منطقه
۳-۴	زمین شناسی ساختمانی منطقه
۱-۴-۳	گسل های مهم منطقه
۲-۴-۳	چین های مهم منطقه
۳-۴-۳	توده های نفوذی
۵-۳	چینه شناسی منطقه
۱-۵-۳	ژوراسیک
۲-۵-۳	کرتاسه
۳-۵-۳	رسوبات کواترنر
۶-۳	مساحت حوضه
۷-۳	بررسی جنس و درصد رسوبات در چاه های اکتشافی و مشاهده ای
۱-۷-۳	چاه اکتشافی امان آباد
۲-۷-۳	چاه اکتشافی شهسواران
۸-۳	ارائه داده ها
۲۹	فصل چهارم: اصول مدل سازی عددی
۱-۴	مقدمه

۳۰	..... مدل سازی	۲-۴
۳۰	..... مدل سازی پی شرو	۱-۲-۴
۳۱	..... مدل سازی وارون	۲-۲-۴
۳۴	..... روش نیوتن	۳-۲-۴
۳۵	..... وارون سازی هموار دوبعدی توسط نرم افزار RES2DINV	۳-۴
۳۷	..... فصل پنجم: مدل سازی و تفسیر یک بعدی داده های سونداژ ژئوالکتریک	
۳۸	..... مقدمه	۱-۵
۳۹	..... تفسیر کمی داده های سونداژ ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه	۲-۵
۳۹	..... سونداژ C8	۳-۵
۳۹	..... نتایج تفسیر با نرم افزار IX1D	۱-۳-۵
۴۳	..... نتایج تفسیر با نرم افزار IPI2win	۲-۳-۵
۴۴	..... ارائه نتایج	۴-۵
۵۱	..... فصل ششم: مدل سازی و تفسیر دوبعدی داده های صحرائی	
۵۲	..... مقدمه	۱-۶
۵۲	..... تفسیر و مدل سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار RES2DINV	۲-۶
۵۳	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل A	۱-۲-۶
۵۴	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل B	۲-۲-۶
۵۵	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل C	۳-۲-۶
۵۶	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل D	۴-۲-۶
۵۸	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل E	۵-۲-۶
۵۹	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل F	۶-۲-۶
۶۰	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل G	۷-۲-۶
۶۲	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل H	۸-۲-۶
۶۳	..... نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل I	۹-۲-۶
۶۵	..... فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات	
۶۶	..... نتیجه گیری	۱-۷
۶۷	..... پیشنهادات	۲-۷
۶۹	..... پیوست	
۷۰	..... نتایج به دست آمده از تفسیر سونداژهای A1 تا I12 به کمک روش های مختلف	
۹۴	..... منابع	

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل ..... ۱۰
- شکل ۲-۲ نمونه‌ای از اثر پدیده کلاچ بر منحنی سونداژ صحرائی برداشت شده با آرایش شلومبرژه ..... ۱۴
- شکل ۳-۲ تصحیح کلاچ به روش هموار ..... ۱۶
- شکل ۴-۲ منحنی سونداژ صحرائی قبل از تصحیح کلاچ ..... ۱۷
- شکل ۵-۲ منحنی سونداژ صحرائی بعد از تصحیح کلاچ به روش جابجایی قائم قطعات ..... ۱۸
- شکل ۱-۳ موقعیت منطقه در سطح استان ..... ۲۰
- شکل ۲-۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه امان‌آباد ..... ۲۳
- شکل ۳-۳ ستون چینه‌شناسی چاه اکتشافی امان‌آباد و ستون چینه‌شناسی چاه اکتشافی شهسواران ..... ۲۷
- شکل ۱-۵ نتایج مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو حاصل از مدل اولیه تفسیر کمی سونداژ C8 ..... ۴۱
- شکل ۲-۵ نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ C8 در مراحل تکرار نهایی ..... ۴۲
- شکل ۳-۵ مدل‌سازی وارون برای سونداژ C8 توسط نرم‌افزار IPI2WIN ..... ۴۳
- شکل ۴-۵ نقشه هم‌عمق سنگ کف تهیه شده با استفاده از داده‌های ژئوالکتریک، در منطقه مورد مطالعه ..... ۴۷
- شکل ۵-۵ نقشه خطوط هم‌تراز مقاومت ویژه ظاهری مربوط به اعماق ظاهری متناظر با فاصله الکترودی در منطقه مورد مطالعه ..... ۴۸
- شکل ۶-۵ نقشه ایزوپیز منطقه مورد مطالعه، تهیه شده با استفاده از اطلاعات چاه‌های منطقه ..... ۴۹
- شکل ۷-۵ نقشه ایزوپیز به دست آمده با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی یک بعدی در منطقه مورد مطالعه ..... ۵۰
- شکل ۱-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل A ..... ۵۴
- شکل ۲-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل B ..... ۵۵
- شکل ۳-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل C ..... ۵۶
- شکل ۴-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل D ..... ۵۷
- شکل ۵-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل E ..... ۵۹
- شکل ۶-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل F ..... ۶۰
- شکل ۷-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل G ..... ۶۱
- شکل ۸-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل H ..... ۶۳
- شکل ۹-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل I ..... ۶۴



## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ مقاومت ویژه برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها ..... ۱۲
- جدول ۱-۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C-8 به کمک روش‌های مختلف ..... ۴۴
- جدول ۲-۵ نام سونداژها و مشخصات لایه آبدار تفسیر شده جدول در محل هر سونداژ در منطقه مورد مطالعه ..... ۴۵

## فصل اول : کلیات

## ۱-۱ مقدمه

آب نه تنها برای گسترش شهرها و صنایع لازم است؛ بلکه یکی از عوامل توسعه کشاورزی نیز به شمار می‌آید. از آنجا که جمعیت ایران مانند سایر نقاط دنیا رو به افزایش است، باید از منابع موجود آب بهره‌برداری بیشتری شود. با توجه به کمبود آب‌های سطحی، لازم است از آب‌های زیرزمینی بهره‌برداری به عمل آید. بنابراین بررسی آب‌های زیرزمینی در این مناطق امری ضروری است.

قابل ذکر است که استان مرکزی به عنوان یکی از استان‌های صنعتی کشور از نظر تخلیه منابع آب در سطح کشور در جایگاه هفتم و از نظر تعداد منابع آب در جایگاه سیزدهم قرار دارد؛ که این موضوع اهمیت منابع آب زیر زمینی در تامین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف شرب و بهداشت صنعت، خدمات و کشاورزی را در این استان نشان می‌دهد. شهرستان اراک به عنوان چهارمین قطب صنعتی کشور وابستگی خاصی به منابع آب زیرزمینی منطقه امان آباد، که در جنوب شرقی شهرستان اراک واقع شده است دارد. لذا تعیین مدل ژئوفیزیکی آبخوان امان آباد، برای دسترسی به اطلاعات دقیق‌تر جهت رفتارسنجی و مدیریت منابع آب زیرزمینی امری ضروری است. یکی از روش‌های مهم بررسی و اکتشاف آب‌های زیرزمینی، استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی به ویژه روش ژئوالکتریک است؛ که توسط آن می‌توان عمق و ضخامت لایه آبدار را به دست آورد.

داده‌های سونداژهای مقاومت ویژه برداشت شده با آرایش شلومبرژه بر خلاف سایر آرایش‌های الکترودی نیاز به تصحیح دارد. به طور کلی برای انجام این تصحیح دو روش گرافیکی (تصحیح به روش جابجائی قائم قطعات منحنی سونداژ) و ریاضی (تصحیح به روش ایجاد منحنی هموار) به کار برده می‌شود. هر چند در غالب موارد از روش گرافیکی استفاده می‌شود و تنها در اندک نرم‌افزارهای مدل‌سازی و تفسیر مقاومت ویژه مانند IPI2win از روش ریاضی استفاده شده است. در این تحقیق مقایسه این دو روش روی داده‌های ژئوفیزیکی آبخوان منطقه امان آباد انجام شده است.



## ۲-۱ تاریخچه عملیات اکتشافی انجام شده

سوابق مطالعات ژئوفیزیکی در منطقه امان آباد به سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ برمی‌گردد که در آن تعداد ۱۵۶ سونداژ مقاومت‌ویژه طی یک طرحی توسط میرزایی و یوسفی‌راد برای تهیه مدل ریاضی دشت امان آباد صورت گرفت [باقری، ۱۳۸۴]. طرح مذکور بجز انجام یک‌سری کارهای زمین‌شناسی و تفسیر اولیه و دستی، داده‌های ژئوفیزیکی تکمیل نشدند. در سال ۱۳۸۴ باقری در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه تحقیقات گذشته را با تلفیق اطلاعات موجود از حفاری‌ها، مدل‌سازی نمود. در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نیز برای تهیه مدل آبخوان تعداد ۷۶ سونداژ الکتریکی توسط سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی برداشت گردید.

## ۳-۱ مروری بر مطالعات انجام شده

استفاده از مدل‌های هم‌ارز در تفسیر داده‌های مقامت‌ویژه توسط محققین مختلف و در سال‌های گذشته به کرات مورد استفاده قرار گرفته است. هر چند تنها یکی از دو روش تصحیح داده‌های سونداژ با آرایه شلومبرژه که از متداول‌ترین آرایه‌های اکتشاف آب است؛ در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا مقایسه نتایج حاصل از این دو روش می‌تواند قابل توجه و موثر باشد؛ ولیکن تا کنون چنین مقایسه‌ای سابقه نداشته است. اما از تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی کاربرد روش‌های مقاومت‌ویژه و مدل‌سازی آبخوان، می‌توان به موارد آتی اشاره نمود.

در سال ۱۹۹۸ یاداو<sup>۱</sup> و ابوالفضلی<sup>۲</sup> از سونداژهای ژئوالکتریکی به روش شلومبرژه و روابط آنها با پارامترها هیدرولیکی در مناطق نیمه‌خشک جالور<sup>۳</sup> در شمال غرب هند استفاده نمودند. آنها برای

---

<sup>۱</sup> Yadav

<sup>۲</sup> Aboalfazli

<sup>۳</sup> Jalore

مدل سازی پارامترهای هیدرولیکی و مقاومت ویژه از نرم افزار AIMRESI استفاده نمودند و در نهایت مقاومت ویژه محاسبه شده آبخوان تطابق بسیار خوبی با اطلاعات منطقه داشت. در سال ۲۰۰۶ اسفحانی<sup>۱</sup> از روش ژئوالکتریکی سونداژزنی به روش شلومبرژه برای توصیف شرایط آبخوان در منطقه نیمه خشک در دره ی خناسر<sup>۲</sup> در سوریه استفاده کردند و هدایت هیدرولیکی و ضریب گردهی محاسبه شده به وسیله ی روش های ژئوفیزیکی و پارامترهای حاصل از پمپاژ چاه های منطقه مورد مطالعه را مقایسه کردند. همچنین نتیجه گرفتند که می توان برای مدل سازی و به نقشه درآوردن آبخوان از هدایت هیدرولیکی و ضریب گزدهی استفاده کرد. در همین سال آکاوالسیا<sup>۳</sup> ساختار زیرزمینی و تغییرات آبخوانی در فلات جوز<sup>۴</sup> در نیجریه را با استفاده از سونداژزنی مقاومت ویژه بررسی نمود. در این مطالعه گسل ها و شکستگی های موجود در سنگ بستر مشخص شدند؛ که مسبب ایجاد یک لایه آبدار با پتانسل بالا بودند. در سال ۲۰۰۷ ارشد<sup>۵</sup> و همکارانش با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی مقاومت ویژه، ضخامت آبخوان، جنس لایه های آبخوان و کیفیت آب شیرین را مشخص کنند. بلو و ماکیند<sup>۶</sup> نیز در سال ۲۰۰۷ به تشخیص مناطق با پتانسیل بالای آبدهی در آبخوانی در جنوب غرب نوپه<sup>۷</sup> در نیجریه با استفاده از روش (VES) پرداختند و توانستند تعداد لایه ها، جنس رسوبات آبرفت، ضخامت آبخوان، مقادیر مقاومت ویژه آبخوان و سنگ بستر را تشخیص دهند. در سال ۲۰۱۱ انیبا<sup>۸</sup> و همکارانش در منطقه ی انیپ<sup>۹</sup> در جنوب غرب نیجریه به بررسی آبخوان و سنگ بستر منطقه، با

---

<sup>۱</sup>Asfahani

<sup>۲</sup> Khanasser

<sup>۱</sup> Akaolisa

<sup>۲</sup> Jos Plateau

<sup>۳</sup> Arshad

<sup>۶</sup> Bello & Makinde

<sup>۷</sup>Nupe

<sup>۸</sup> Oniba

<sup>۹</sup> onipe

استفاده از روش سونداژزنی الکتریکی پرداختند. آنها در این تحقیق آرایه‌ی شلومبرژه را بکار بردند و برای تفسیر داده‌های صحرایی از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزار IPI2win استفاده کردند. نتایج حاصل از این بررسی ۳ الی ۴ لایه‌ی ژئوالکتریکی را مشخص کرد، همچنین مشخص شد که محدوده‌ی اصلی آبخوان در قسمت‌های هوازده و شکسته شده سنگ‌بستر است. در نهایت با استفاده از نقشه‌ی های سه‌بعدی مقاومت‌ویژه و پارامترهای هیدرولیکی آبخوان، بهترین نقاط برای حفر چاه مشخص شد. در سال ۲۰۱۳ خلیل<sup>۱</sup> و مُنتیروسانتوس<sup>۲</sup> در منطقه‌ای از مصر به نام وادی‌الناترون<sup>۳</sup> از سونداژزنی الکتریکی قائم و آرایه شلومبرژه برای آشکارسازی آبخوان بهره بردند. در این تحقیق وارون‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی مقاومت‌ویژه داده‌ها، با استفاده از روش المان محدود انجام شد. آنها با استفاده از این مدل‌سازی توانستند مناطق خشک با مقاومت‌ویژه بالا و محدوده‌ی اصلی آبخوان با مقاومت‌ویژه متوسط را مشخص کنند.

## ۴-۱ ضرورت و اهداف

هدف این تحقیق بررسی و مقایسه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژ شلومبرژه تصحیح شده با دو روش گرافیکی و ریاضی و شناسایی روش بهتر در تفسیر داده‌ها می‌باشد. از آنجا که در بررسی‌های انجام شده تاکنون چنین مقایسه‌ای سابقه نداشته و این که تنها یکی از دو روش تصحیح داده‌های سونداژهای با آرایه شلومبرژه که از متداول‌ترین آرایه‌های اکتشاف آب است؛ مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ لذا مقایسه نتایج حاصل از این دو روش می‌تواند قابل توجه و در رسیدن به نتایج دقیق‌تر مؤثر واقع شود. از آنجا که در این تحقیق از برداشت‌های واقعی صحرایی استفاده شده و این داده‌ها شامل مطالعات ژئوالکتریک و اطلاعات چاه‌های حفاری شده است؛ لذا به وضوح می‌توان فایده انجام

---

<sup>۱</sup> khali

<sup>۲</sup>Monteiro Santos

<sup>۳</sup> Wadi El Natrun

تصحیحات فوق‌الذکر برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر در مطالعات آتی برداشت‌های ژئوالکتریکی پیش از حفر چاه را ملاحظه نمود.

در این پایان‌نامه برای رسیدن به اهداف پیش‌بینی شده، عمق و ضخامت لایه آبدار، هندسه آبخوان و مدل ژئوفیزیکی مربوطه، گسل‌های موجود و همچنین محل قرارگیری سنگ کف در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مقاومت‌ویژه الکتریکی تعیین می‌شود. نتایج حاصل از تفسیر سونداژها با اطلاعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی مقایسه شده، و در نهایت دو روش تصحیح مورد بحث از نظر دقت تفسیر مقایسه می‌گردد. بدیهی است که نتایج این تحقیق می‌تواند در زمینه انتخاب روش تصحیح منحنی‌های سونداژ شلومبرژه مهم و راهگشا باشد.

## ۱-۵ ساختار پایان‌نامه

تحقیق پیش‌رو در هفت فصل تنظیم شده است. در فصل اول ضمن ارائه یک مقدمه و بیان مسأله، اهداف پایان‌نامه شرح داده شده است. در فصل دوم مباحثی در مورد اصول و روش مقاومت-ویژه و مزایا و معایب این روش و همچنین نحوه برداشت و تفسیر داده‌های سونداژ الکتریکی مطرح شده است. در فصل سوم به زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. در فصل چهارم اصول مدل‌سازی شرح داده شده و در فصل پنجم تفسیر یک‌بعدی ۷۶ سونداژ با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای IX1D و IPI2win انجام شده است. در فصل ششم مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی ۹ پروفیل با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv انجام شده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. در فصل هفتم با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی و تفسیر، دقت دو روش تصحیح مورد نظر بررسی شده و نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی ارائه شده است.

## فصل دوم: روش مقاومت ویژه

## ۱-۲ مقدمه

در روش مقاومت ویژه با استفاده از تزریق جریان مستقیم به زمین، اختلاف پتانسیلی ایجاد می‌شود که می‌توان این اختلاف پتانسیل را اندازه‌گیری نمود و از رابطه بین جریان و پتانسیل مقاومت ویژه ظاهری زمین را محاسبه نمود. در این روش با عبور جریان الکتریکی از درون زمین، روی سطح زمین آثار قابل ثبت، مشاهده می‌شود. واضح است که ویژگی این آثار متناسب با ویژگی‌های درونی زمین تغییر می‌کند. روش اندازه‌گیری این آثار بر پتانسیل‌های الکتریکی یا میدان‌های الکترومغناطیسی متکی است. در حقیقت این روش بر رسانایی یا قابلیت هدایت الکتریکی سنگ‌ها و کانی‌ها استوار است.

## ۲-۲ تئوری روش مقاومت ویژه

مقاومت ویژه الکتریکی، اطلاعاتی از شکل و ویژگی‌های الکتریکی ناهمگنی‌های زیرسطح زمین را نشان می‌دهد. در مورد رسانایی مواد با مقاومت الکتریکی  $R$ ، طول  $L$ ، و سطح مقطع  $A$  در زیر سطح زمین، رابطه (۱-۲) برقرار است:

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

بر اساس قانون اهم معادله اخیر به شکل زیر در می‌آید:

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

که در این رابطه،  $\rho$  مبین مقاومت ویژه الکتریکی،  $I$  شدت جریان الکتریکی،  $\Delta V$  برابر اختلاف پتانسیل و  $l$  طول استوانه فرضی می‌باشد. رابطه اخیر برای تعیین مقاومت ویژه محیط

همگن<sup>۱</sup> و همسانگرد<sup>۲</sup> مناسب می‌باشد، اما برای یک محیط ناهمگن و ناهمسانگرد باید مقاومت ویژه را در هر نقطه تعیین نمود. اگر پارامترهای  $A$  و  $l$  به اجزای بینهایت کوچکی تقسیم شوند، مقاومت ویژه الکتریکی برای هر جزء مطابق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$\rho = \frac{\lim_{l \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{l}}{\lim_{l \rightarrow 0} \frac{I}{A}} \quad (3-2)$$

در حقیقت، این رابطه بیان دیگری از قانون اهم است. بنیادی‌ترین قانون فیزیکی که تئوری روش مقاومت ویژه الکتریکی بر اساس آن پایه‌ریزی می‌شود، قانون اهم می‌باشد.

$$J = \sigma E \quad (4-2)$$

در این رابطه،  $\sigma$  برابر رسانندگی الکتریکی محیط،  $J$  نشان‌دهنده چگالی جریان و  $E$  برابر شدت میدان الکتریکی محیط می‌باشد. اندازه مقاومت ویژه الکتریکی ( $\rho$ ) برابر با وارون رسانندگی ( $\sigma$ ) می‌باشد. در عمل، آن چه که اندازه‌گیری می‌شود، اختلاف پتانسیل میدان الکتریکی می‌باشد. ارتباط بین شدت میدان الکتریکی و پتانسیل الکتریکی طبق رابطه (۵-۲) تعریف می‌شود [Loke, 2004].

$$E = -\nabla(\phi) \quad (5-2)$$

در این رابطه  $\phi$  پتانسیل الکتریکی است. از دو رابطه اخیر نتیجه می‌شود:

$$J = -\sigma \nabla(\phi) \quad (6-2)$$

در همه برداشتها منبع جریان به صورت نقطه‌ای می‌باشد. در یک زمین همگن و همسانگرد رابطه بین اندازه پتانسیل و مقاومت ویژه زمین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi = \frac{\rho l}{2\pi r} \quad (7-2)$$

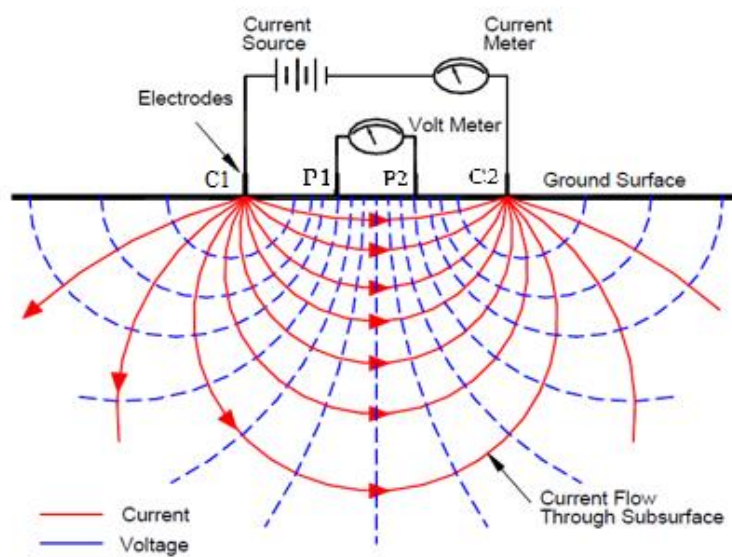
<sup>1</sup> Homogeneous

<sup>2</sup> Isotrop

در این رابطه  $r$  فاصله الکتروود مورد نظر از منبع جریان،  $\Phi$  برابر اندازه پتانسیل الکتریکی از نقطه‌ای به فاصله  $r$  از منبع جریان و  $I$  مبین اندازه جریان الکتریکی می‌باشند.

شکل (۱-۲) چگونگی توزیع جریان و نحوه توزیع پتانسیل الکتریکی ایجاد شده، در اثر شارش

جریان به وسیله الکتروودهای پتانسیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۰ نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل [After Corvallis, 2000].

اندازه پتانسیل الکتریکی ایجاد شده به وسیله دو الکتروود جریان در فاصله معلومی از یک زمین

همگن و همسانگرد، مطابق رابطه (۸-۲) محاسبه می‌شود.

$$\Phi = \frac{\rho I}{2\pi r} \left( \frac{1}{r_{c1}} - \frac{1}{r_{c2}} \right) \quad (۸-۲)$$

در این رابطه  $r_{c1}$  فاصله نقطه مورد نظر از الکتروود  $C1$  و  $r_{c2}$  مبین فاصله همان الکتروود از  $C2$

است. در شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک آرایش چهار الکتروودی نشان داده شده است. در این شکل،

الکتروودهای  $C1$  و  $C2$  نشان‌دهنده الکتروودهای جریان و الکتروودهای  $P1$  و  $P2$  الکتروودهای پتانسیل

می‌باشند. در این آرایش چهار الکتروودی، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده، بین دو الکتروود

پتانسیل، طبق رابطه (۹-۲) محاسبه می‌شود.



$$\Delta\phi = \frac{\rho I}{2\pi r} \left( \frac{1}{r_{c1p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c1p2}} + \frac{1}{r_{c2p2}} \right) \quad (9-2)$$

که در آن  $\Delta\phi$  برابر اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو الکتروود پتانسیل،  $r_{c1p1}$  فاصله بین الکتروودهای  $C_1$  و  $P_1$ ،  $r_{c1p2}$  برابر فاصله بین الکتروودهای  $C_1$  و  $P_2$  است و به همین ترتیب  $r_{c2p2}$  فاصله بین الکتروودهای  $C_2$  و  $P_2$  است. بعد از اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل می‌توان اندازه مقاومت ویژه ظاهری زمین را طبق رابطه (۱۰-۲) محاسبه نمود.

$$\rho_a = K \frac{\Delta\phi}{I} \quad (10-2)$$

$$K = \left( \frac{1}{r_{c1p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c1p2}} + \frac{1}{r_{c2p2}} \right) \quad (11-2)$$

در این رابطه  $\rho_a$  مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری زمین و  $K$  فاکتور هندسی<sup>۱</sup> برای آرایش مورد استفاده، خوانده می‌شود. فاکتور هندسی، بستگی به چگونگی آرایش چهار الکتروودی در هر آرایش دارد. دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت ویژه، معمولاً مقدار مقاومت زمین را اندازه‌گیری می‌کنند. رابطه بین مقاومت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه و مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری به صورت رابطه (۱۲-۲) تعریف می‌شود [Loke, 2004 a; Reynolds, 1997].

$$\rho_a = KR \quad (12-2)$$

## ۳-۲ تقسیم‌بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت ویژه

به‌طور کلی مقاومت ویژه سنگ‌ها عمدتاً به‌میزان خردشدگی، درصد تخلخل و درصد شکستگی - ها در سنگ‌ها بستگی دارد. اما نکته قابل توجه، هم‌پوشانی مقادیر مقاومت ویژه سنگ‌ها و خاک‌ها می‌باشد. این بدین دلیل است که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ یا خاک به عوامل دیگری مثل تخلخل،

<sup>۱</sup> Geometrical factor

اشباع آب و غلظت نمک‌های غیرمحلول نیز وابسته می‌باشد [کلاگری، ۱۳۷۱]. جدول (۱-۲) گستره-  
ی مقاومت ویژه برخی مواد را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ مقاومت ویژه برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها [Telford, et al., 1990]

نوع آب یا سنگ	مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب اهم متر
آب دریا	۰/۲
آب سفره‌های آب‌رفتی	۱۰-۳۰
آب چشمه طبیعی	۵۰-۱۰۰
شن و ماسه خشک	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
شیل	۲۰-۲۰۰۰
مارن	۳۰-۷۰
رس	۱-۱۰۰
بوکسیت	۲۰۰-۶۰۰۰
لاتریت	۱۲۰-۱۵۰۰
آهک	۵۰-۱۰۰۰۰۰۰
دولومیت	۳۵۰-۵۰۰۰
ماسه‌سنگ آرژیلیتی	۵۰-۳۰۰
شیست آرژیلیتی یا تخریب شده	۱۰۰-۳۰۰
شیست سالم	۳۰۰-۳۰۰۰

## ۴-۲ روش‌های برداشت مقاومت ویژه الکتریکی

داده‌های مقاومت ویژه به صورت یک‌بعدی و دوبعدی به دست می‌آیند. به طور کلی برداشت‌های یک‌بعدی مقاومت ویژه، جهت بررسی تغییرات جانبی و عمقی به دو روش پروفیل زنی و سونداژزنی صورت می‌پذیرد. در این تحقیق برای بررسی هم‌زمان تغییرات مقاومت ویژه در جهات مختلف از روش برداشت سونداژزنی قائم پیوسته استفاده است. روش سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته<sup>۱</sup> (CVES)، در حقیقت از تعدادی سونداژ الکتریکی تشکیل شده؛ که در یک پروفیل خطی برداشت شده‌اند و در نتیجه می‌توانند به صورت دو بعدی نیز تفسیر شوند [Molano, et al., 1990].

<sup>۱</sup> Continuous Vertical Electric Sounding

در این روش هدف اولیه بررسی زمین به صورت یک‌بعدی است و برداشت در آن اغلب با آرایه شلومبرژه انجام می‌شود. با برداشت خطی چندین سونداژ امکان تفسیر دوبعدی مسیر خواهد شد. به دلیل حساسیت کم آرایه شلومبرژه به تغییرات جانبی، بهتر است مدل‌سازی به وسیله این آرایه را یک مدل‌سازی ۱/۵ بعدی دانست. آرایه شلومبرژه در نشان دادن تغییرات هموار مقاومت‌ویژه، قوی‌تر از دیگر آرایه‌ها است. از این رو روش برداشت CVES در زمین‌های با تغییرات عمقی هموار نتایجی قابل قبولی ارائه می‌دهد [Muiuane & Padersen, 1999].

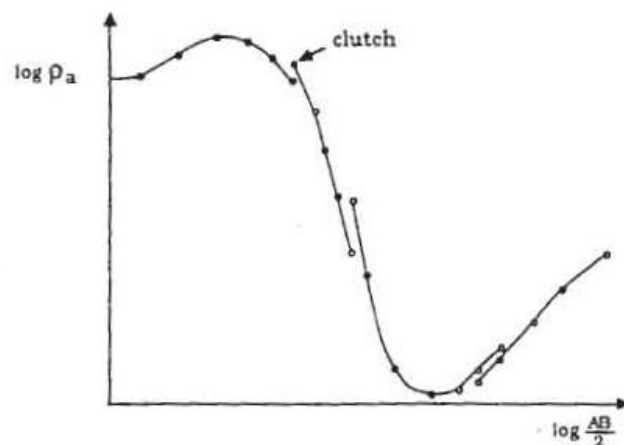
## ۵-۲ تصحیح منحنی سونداژ شلومبرژه

داده‌های سونداژ مقاومت‌ویژه برداشت شده با آرایش شلومبرژه بر خلاف سایر آرایش‌های الکترودی نیاز به تصحیح دارد.

به طور کلی برای انجام این تصحیح دو روش گرافیکی و ریاضی به کار برده می‌شود. هر چند در غالب موارد از روش گرافیکی استفاده می‌شود و تنها در اندک نرم‌افزارهای مدل‌سازی و تفسیر مقاومت‌ویژه مانند IPI2win از روش ریاضی استفاده شده است. در این بخش برای مقایسه بین این دو روش، ابتدا پدیده کلاچ را معرفی می‌شود و سپس دو روش تصحیح تشریح خواهد شد.

## ۱-۵-۲ پدیده کلاچ و روش‌های تصحیح آن

این پدیده تنها در منحنی سونداژ حاصل از آرایش شلومبرژه مشاهده می‌گردد. جهت آشنایی بیشتر، اثر این پدیده بر یک منحنی سونداژ صحرایی مقاومت‌ویژه برداشت شده با آرایش شلومبرژه که در شکل (۲-۲) آورده شده، توضیح داده می‌شود.



شکل ۲-۲ نمونه‌ای از اثر پدیده کلاچ بر منحنی سونداژ صحرائی برداشت شده با آرایش شلومبرژه [seigel, 1959]

در آرایش شلومبرژه فاصله الکترودی پتانسیل (MN) باید همیشه کوچکتر از فاصله الکترودهای جریان (L) باشد. به طور کلی طول L همیشه باید حداقل ۲/۵ برابر بزرگتر از طول MN باشد. در روش صحرائی بعد از استقرار الکترودهای پتانسیل و تثبیت فاصله‌ی MN به گسترش طول L می‌پردازند. تا وقتی که دستگاه دیگر قادر به اندازه‌گیری پتانسیل نباشد، نتیجه‌ی این عمل کاهش مکرر پتانسیل، برای یک MN ثابت است. در این مرحله طول MN باید تغییر کند. به طور معمول ۲ الی ۴ برابر بزرگتر از مقدار قبلی‌اش در نظر گرفته می‌شود. برداشت داده‌ها به همین ترتیب ادامه می‌یابد. حال باید ۱ یا ۲ تا از بزرگترین مقادیر L، با MN قبل، برای MN جدید تکرار شود. و برداشت مشابه مرحله‌ی قبل تکرار می‌شود. برای درک بهتر این مفهوم فرض می‌کنیم مقدار MN در ابتدا ۰/۳ متر است. پس مقادیر ۱، ۲/۱۵، ۳/۱۶، ۴/۶۴، ۶/۸۱، ۱۰، ۱۴/۷۱ برای L در نظر گرفته می‌شود. در این جا برای مقدار  $L=14/71$  فرض می‌کنیم حساسیت دستگاه کاهش می‌یابد، لذا مقدار بزرگتری برای MN در نظر گرفته می‌شود. MN را به مقدار ۱ متر افزایش می‌دهیم. ۱ الی ۲ تا از مقادیر L قبل را با MN جدید دوباره تکرار می‌کنیم. پس مقادیر L در این مرحله مقادیر ۱۰، ۱۴/۷، ۲۱/۵، ۳۱/۶، ۴۶/۴، ۶۸/۱ خواهد بود. ولی برای  $L=68/1$  دوباره باید MN تغییر کند. و این بار MN را به مقدار ۳ متر افزایش می‌دهیم. این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا وقتی که تحقیق کامل شود.

اما تغییرات MN در طول فرایند سونداژزنی باعث ایجاد یک مشکل می‌شود. البته یک مزیت غیر منتظره نیز به همراه دارد. مشکل ایجاد شده این است که زمانی که MN تغییر می‌کند، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری برای یک L ثابت متفاوت است؛ که این تفاوت در مقدار مقاومت ویژه ظاهری همان پدیده‌ی کلاچ است. البته اگر زمین واقعاً یکنواخت باشد، مقادیر مقاومت ویژه نیز یکسان هستند؛ که این امر نیز به ندرت ممکن است. اثر این امر در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، برای بخش پایین‌رونده منحنی سونداژ مقاومت ویژه مقدار جدید مقاومت ویژه-ظاهری بزرگتر از مقدار مقاومت ویژه ظاهری قبلی خواهد بود و برای بخش بالارونده منحنی سونداژ نیز مقدار جدید مقاومت ویژه ظاهری کوچکتر از مقدار قبلی خواهد بود؛ که در این حالت پدیده کلاچ به صورت نرمال اتفاق افتاده است.

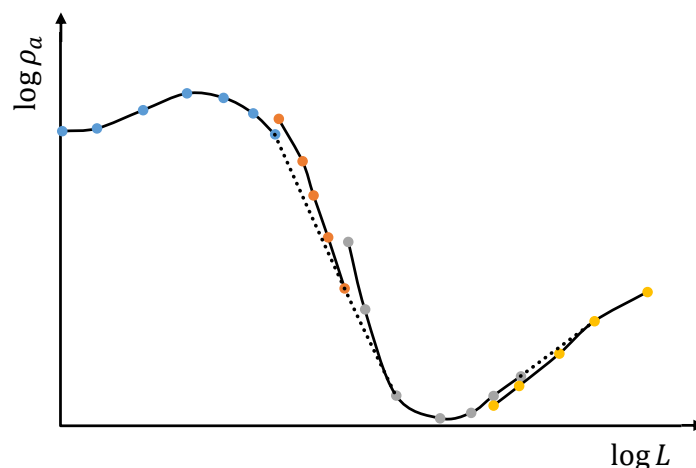
برای تفسیر باید منحنی قطعه‌قطعه (شکل ۲-۲) به یک منحنی هموار و یک پارچه تبدیل شود. این به صورت نقطه‌چین در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. قسمت‌های نقطه‌چین در منحنی هموار شده از روند بخش سمت راست قطعه‌منحنی‌ها تبعیت می‌کنند. این امر به دلیل بزرگتر شدن نسبت L/MN در قسمت سمت راست قطعه‌منحنی‌ها است. بنابراین به حالت ایده‌آل نسبت L/MN بی‌نهایت، نزدیک می‌شویم. یادآور می‌شویم که خطوط نقطه‌چین در قسمت‌های پایین‌رونده در زیر نمودار اصلی و در بخش‌های بالارونده در بالای نمودار اصلی قرار دارد. انتهای خطوط نقطه‌چین نیز به نمودار صحرائی متصل می‌شود. امتیاز غیرمنتظره‌ی این آرایش نیز این است که تغییرات جانبی مقاومت ویژه را مشخص می‌کند. در تفسیر سونداژ مقاومت ویژه فرض می‌شود که مقاومت ویژه ظاهری فقط در عمق تغییر می‌کند و تغییرات جانبی ندارد. با این فرض اگر در زمین تغییرات جانبی وجود داشته باشد، باعث ایجاد خطا در تفسیر می‌شود.

همان‌طور که در شکل (۲-۲) نشان داده شده اثر پدیده کلاچ، اگر مقاومت ویژه ظاهری فقط با عمق تغییر کند (به عبارت دیگر تغییرات جانبی مقاومت ویژه وجود نداشته باشد) پدیده کلاچ به

صورت نرمال ایجاد می‌شود. ولی هنگام حضور تغییرات جانبی پدیده کلاچ خیلی متفاوت و یا حتی معکوس مشاهده می‌شود. به طور کلی برای اکتشاف آنومالی، تغییرات جانبی ممکن است از اهمیت قابل توجهی برخوردار باشند. ولی چون بدون هموار نمودن منحنی، نمی‌توان هیچگونه اطلاعات کمی از آن به دست آورد، لذا باید آن را تصحیح نموده و یک منحنی پیوسته و هموار به دست آورد. روش‌های مختلفی جهت تصحیح اثر کلاچ در منحنی سونداژ الکتریکی وجود دارد؛ که در اینجا به دو روش معمول آن که در مجموعه حاضر مورد استفاده قرار گرفته است، اشاره می‌شود.

## ۲-۵-۲ تصحیح کلاچ به روش ایجاد منحنی هموار

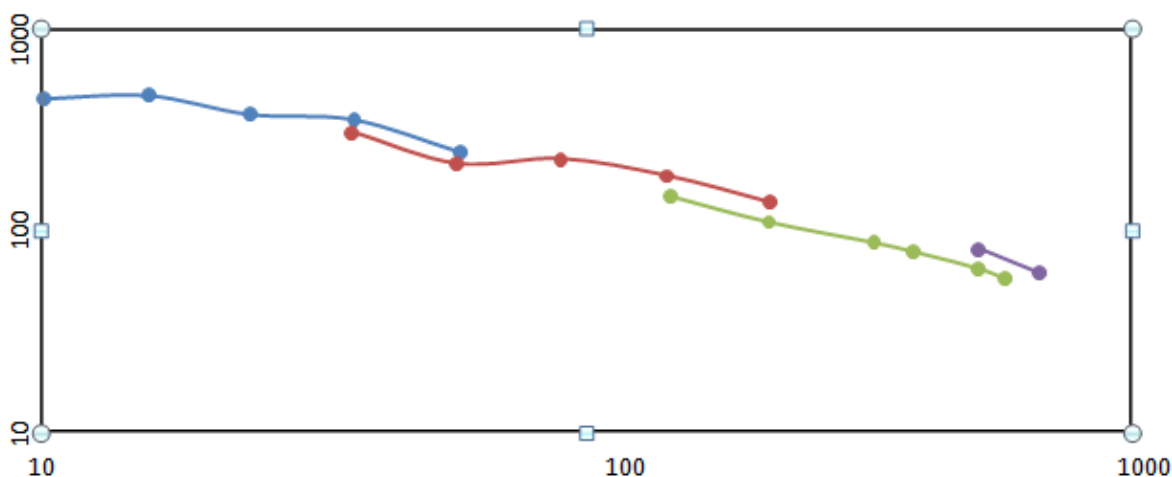
همان‌طور که در شکل (۳-۲) مشاهده می‌شود، نحوه کار در این روش بدین صورت است که نخست، قطعه اول منحنی به عنوان مبنا در نظر گرفته می‌شود؛ سپس قطعه دوم منحنی طوری در ادامه قطعه اول قرار می‌گیرد که در کل یک منحنی هموار به دست آید. در مرحله بعد، نقاط واقع بر قطعه سوم نیز طوری جابه‌جا می‌شوند که در ادامه منحنی حاصل از دو قطعه‌ی قبل قرار گیرند. این عمل تا زمانی که تمامی قطعات منحنی به صورت هموار به یکدیگر متصل گردند، ادامه می‌یابد.



شکل ۳-۲۰۰ تصحیح کلاچ به روش هموار [Harold, 1980]

## ۲-۵-۳ تصحیح کلاچ به روش جابه‌جائی قائم قطعات منحنی سونداژ

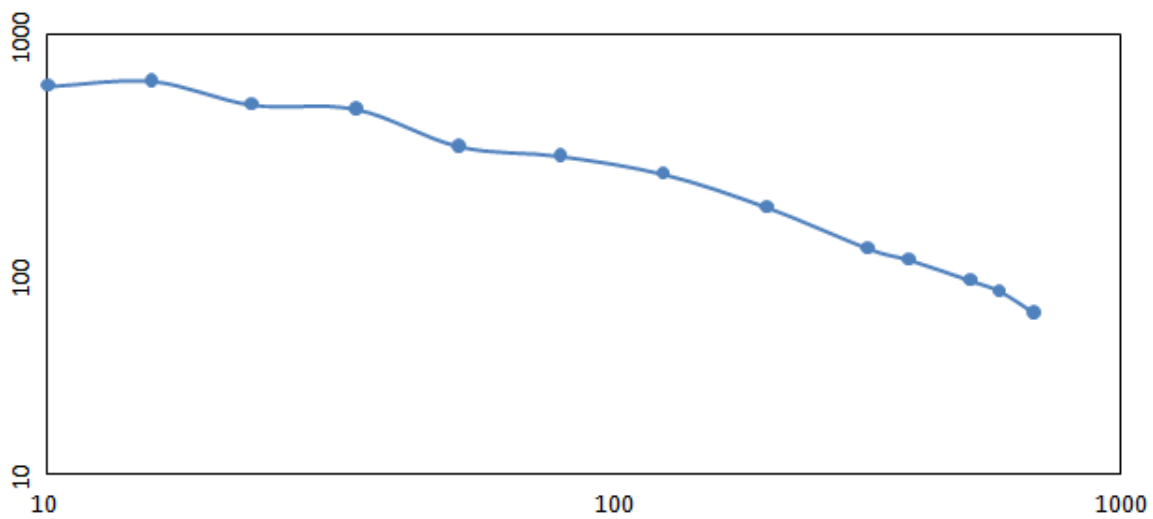
مطابق اشکال (۲-۴) و (۲-۵)، در این روش، قطعه‌ی آخر منحنی، ثابت در نظر گرفته شده و قطعه‌ی ماقبل آن در راستای محور عمودی آنقدر جابه‌جا می‌گردد تا بر روی قطعه‌ی آخر منطبق شود. سپس قطعه‌ی قبل‌تر نیز در راستای محور عمودی آنقدر جابه‌جا می‌گردد تا بر قطعه‌ی یکی به آخر منطبق گردد. این عمل تا زمانی که تمامی قطعات منحنی به صورت هموار به یکدیگر متصل گردند، ادامه می‌یابد. تفاوت این روش با روش قبل این است که در این روش، کلیه‌ی نقاط واقع بر قطعه‌ی جدید، در راستای محور عمودی، به یک میزان جابه‌جا می‌گردند. لازم به ذکر است که روش تصحیح تا حد بسیار زیادی به تجربه و نظر مهندس بستگی دارد. به عنوان مثال زهدی<sup>۱</sup> روش اول و بوباچوو<sup>۱</sup>، روش دوم را برای تصحیح اثر کلاچ، پیشنهاد می‌کنند. از سوی دیگر نباید فراموش کرد که نحوه‌ی تصحیح اثر کلاچ تاثیر زیادی بر اطلاعات حاصل از داده‌ها داشته و حذف یا جابه‌جایی غیر اصولی نقاط، باعث به دست آمدن نتایج خلاف واقع می‌گردد.



شکل ۲۰-۴ منحنی سونداژ صحرائی قبل از تصحیح کلاچ

<sup>۱</sup> Zohdy

<sup>۱</sup> Bobachow



شکل ۲۰-۵ منحنی سونداژ صحرائی بعد از تصحیح کلاچ به روش جابجایی قائم قطعات



## فصل سوم: زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی

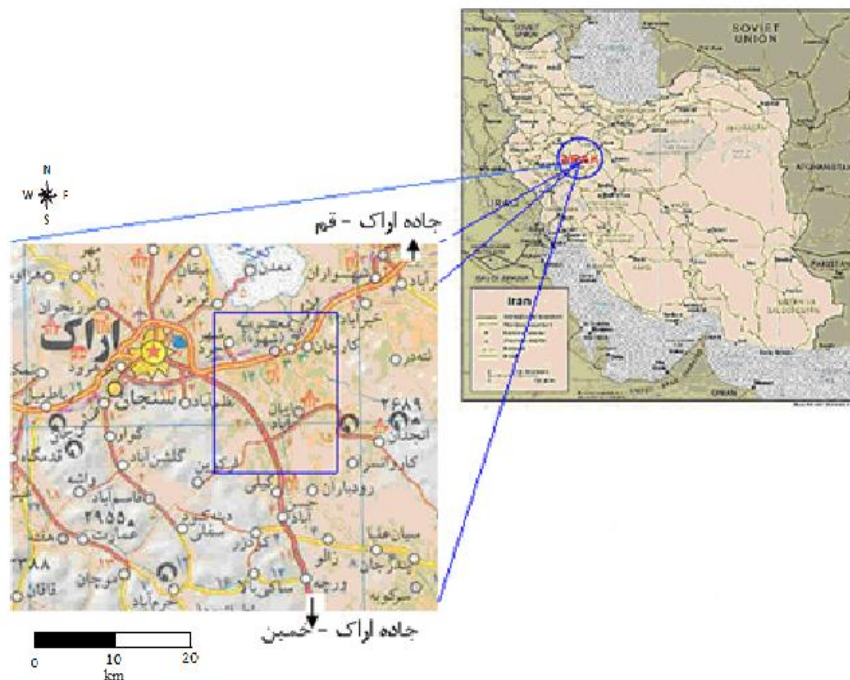
### منطقه

### ۱-۳ مقدمه

در این فصل ابتدا موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ارائه می‌گردد. آنگاه در مورد زمین-شناسی منطقه و اطلاعات کنترلی نظیر چاه‌های موجود بحث می‌گردد. در ادامه داده‌های مورد استفاده ارائه می‌شوند و پس از آن برای دستیابی به یک ایده کلی و حدس اولیه از منطقه مورد مطالعه داده‌های مقاومت‌ویژه ظاهری مورد ارزیابی کیفی قرار می‌گیرند.

### ۲-۳ راه‌های دسترسی

با توجه به واقع شدن این حوضه در نزدیکی شهر فرمهین، امکان دسترسی به آن از طریق جاده آسفالت فرمهین - تبرته (که از شمال حوضه عبور می‌کند) و دیگر جاده‌های فرعی این مسیر امکان‌پذیر است. در شکل (۱-۳) موقعیت منطقه در سطح استان و راه‌های ارتباطی آن مشخص شده است [باقری، ۱۳۸۴].



شکل ۱-۳ موقعیت منطقه در سطح استان [اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۰]

### ۳-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه در اراضی روستای امان‌آباد از توابع استان مرکزی واقع در جنوب حوضه آبریز کویر میقان و بین طول‌های جغرافیایی  $49^{\circ} 47'$  و  $49^{\circ} 59'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ}$  و  $34^{\circ} 10'$  شمالی واقع شده است. این زیرحوضه از شمال به دریاچه کویر میقان و جاده ارتباطی اراک-قم و روستاهای شهوه و ملک‌آباد، از سمت شرق به ارتفاعات هفتاد قله و روستاهای امان‌آباد، رودباران و ساق، از سمت جنوب به حوضه آبریز خمین و روستاهای ورچه، اندرپا و ساکی و از سمت غرب به روستاهای انجیرک و سوارآباد، ارکوبین و زیرحوضه آبریز گوار و عقیل‌آباد محدود می‌شود. بلندترین نقطه حوضه،  $2720$  متر ارتفاع دارد و کم ارتفاع‌ترین نقطه آن دریاچه کویر میقان با ارتفاع  $1660$  متر می‌باشد. از لحاظ زمین‌شناسی و تقسیم‌بندی ایران، قسمت اعظم این منطقه در زون سنندج سیرجان قرار می‌گیرد و قسمت کوچکی در شمال‌شرقی انجدان در قسمتی از زون هفتاد قله واقع می‌شود.

در نقشه زمین‌شناسی، مرز جدا کننده زون سنندج سیرجان و زون هفتاد قله گسل تبرته در نظر گرفته شده که با راستای  $N45E$  از میان کویر میقان در دشت اراک می‌گذرد.

### ۳-۴ زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

رخدادهای شکل‌دهنده منطقه مورد مطالعه مربوط به دوران‌های دوم و سوم زمین‌شناسی هستند. رخدادهای کمبرین پسین اثرات شدیدتر و کارسازتری در زمین‌ساخت کره زمین و در ایران داشته و در اثر این کوهزائی شکل اصلی ایران پی‌ریزی شده است [یوسفی راد، ۱۳۸۰]. این رخداد در اواخر تریاس و ابتدای ژوراسیک به وقوع پیوسته و در اثر این جنبش‌ها لایه‌های ژوراسیک تخریب شده و رسوبات ماسه سنگی و کنلگومرایی قرمز رنگ در انتهای ژوراسیک و قاعده کرتاسه بر جای گذاشته شده است. گرچه در منطقه مورد مطالعه رسوبات ژوراسیک رخنمون ندارند و در بخش

کوچکی در شرق کوه‌های انجدان برون زد دارند، اما شکل‌گیری منطقه امان‌آباد مربوط به فازهای کوهزایی بعد از کرتاسه است؛ که تحت نام لارامید باعث چین‌خوردگی و بالا آمدگی رسوبات کرتاسه شده است و در مراحل بعدی توده‌های نفوذی حالت اسلیتی به آهک‌ها داده‌اند.

### ۱-۴-۳ گسل‌های مهم منطقه

بزرگترین گسل منطقه، گسل تبرته است به طول تقریباً ۸۰ کیلومتر و در جهت گسل اصلی زاگرس کشیده شده است و شیب آن در شمال ساروق ۴۰-۵۰ درجه به سمت شمال است [یوسفی راد، ۱۳۸۰]. شکل (۲-۳) محل گسل‌ها، سونداژها و وضعیت زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد.

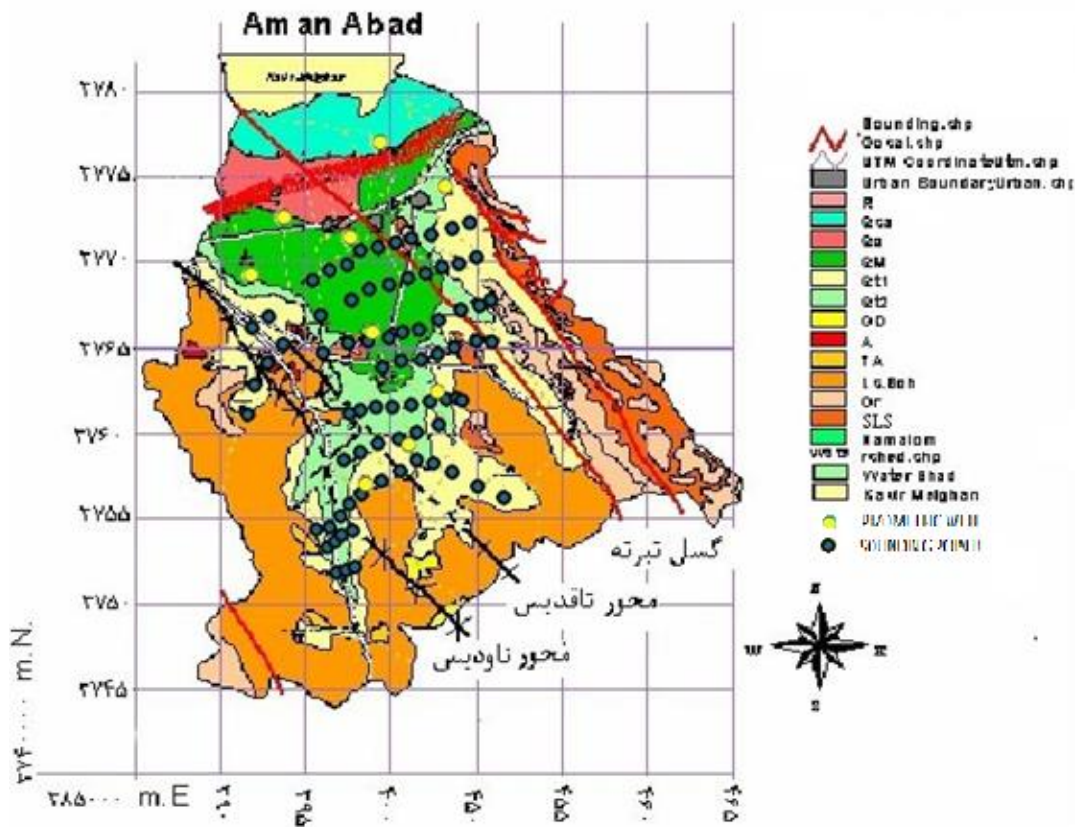
علاوه بر گسل بزرگ تبرته در ارتفاعات جنوبی دشت امان‌آباد، گدوک و هفتادقله، گسل‌های دیگر و شکستگی‌های بسیاری به همراه درز و حفره‌های ایجاد شده باعث تغذیه عمده اصلی آب- زیرزمینی دشت اراک می‌شود [یوسفی‌راد، ۱۳۸۰]. روند عمومی گسل‌های بزرگ در منطقه امان‌آباد، شمال غرب- جنوب شرق است. یعنی روند موازی با گسل بزرگ تبرته و تلخاب و همسان با روند اصلی زاگرس. لازم بذکر است که روند چین‌خوردگی‌ها نیز با روند گسلش تقریباً موازی است.

### ۲-۴-۳ چین‌های مهم منطقه

به طور کلی در منطقه امان‌آباد تاقدیس و ناودیس‌های بزرگی با روند شمال غرب- جنوب شرق وجود دارند. آهک‌های کرتاسه میانی و فوقانی به صورت یک تاقدیس بزرگ در امتداد تقریبی جاده خمین- اراک و ناودیسی که خط‌القعر آن از منطقه امان‌آباد می‌گذرد، چین خورده‌اند و مجدداً تاقدیسی بزرگ در شمال شرق انجدان بوجود آمده است. بنابراین تکرار تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها شکل- دهنده اصلی ساختاری منطقه است. وجود همین ناودیس بزرگ در منطقه ممکن است، عامل اصلی هدایت آب سطحی و زیرزمینی به سمت خروجی منطقه امان‌آباد باشد و علاوه بر آن وجود همین

تأقیس باعث انباشته شدن آبرفت با ضخامتی حدود ۲۵۰ متر در منطقه امان‌آباد شده باشد

[یوسفی‌راد، ۱۳۸۰].



شکل ۳-۳۰۰ نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه امان‌آباد [یوسفی‌راد، ۱۳۸۰]

### ۳-۴-۳ توده‌های نفوذی

توده‌های نفوذی در این بخش از زون سنندج □ سیرجان ترکیبی میانه تا بازیگ دارند و دارای بافت میانه ریز بوده و به رنگ متمایل به سبز در رخساره شیبستی آهکی کرتاسه زیرین نفوذ کرده‌اند. این توده‌های کوچک، سنگ‌های با دگرگونی ضعیف یاد شده را قطع می‌کنند و بنابراین سن آنها پس از کرتاسه پیشین است. ترکیب شیمیایی این سنگها در حدود دیوریت و گرانودیوریت بوده و در سری آلکالن قرار می‌گیرند. در جنوب دشت امان‌آباد کوه کلنگه و اطراف روستای گیلی و رودباران این توده‌ها دیده می‌شوند [باقری، ۱۳۸۴].

## ۵-۳ چینه‌شناسی منطقه

### ۱-۵-۳ ژوراسیک

بیشترین رسوبات منطقه امان‌آباد مربوط به کرتاسه هستند. گرچه در محدوده مورد مطالعه رخنمونی از رسوبات ژوراسیک وجود ندارد؛ اما در شمال غرب شهر اراک رسوبات اسلیتی و ماسه آهکی مربوط به ژوراسیک در قاعده رسوبات کرتاسه رخنمون دارند. گذر از ژوراسیک به کرتاسه با ناپیوستگی همراه است [یوسفی راد، ۱۳۸۰].

### ۲-۵-۳ کرتاسه

در منطقه مورد مطالعه رسوبات کرتاسه مربوط به کرتاسه زیرین، میانی و بالایی هستند. در جنوب گسل تبرته رخنمون آهک‌های کرتاسه در اثر دگرگونی جنبشی<sup>۱</sup> اغلب اسلیتی شده و به نام آهک‌های اسلیتی<sup>۲</sup> معروف هستند. این رسوبات در اطراف دشت و منطقه امان‌آباد به چشم می‌خورند. تشکیلات کرتاسه در منطقه اراک دارای گسترش زیادی بوده و پهنه وسیعی را تشکیل می‌دهند که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از: آهک ماسه‌ای (S.Ls)، آهک‌های اوربیتولین‌دار (Or)، آهک‌های شیستی کرتاسه فوقانی (Ls.sch)

### ۳-۵-۳ رسوبات کواترنر

رسوبات کواترنر بر روی رسوبات پلیوسن در دشت‌ها و حاشیه ارتفاعات بر روی سازندهای دوران اول تا اواخر دوران سوم زمین‌شناسی با شیب کم و ملایم انباشته شده است. رسوبات آبرفت‌ها در این منطقه را به چند گروه می‌توان تقسیم نموده که عبارتند از: رسوبات آبرفتی تخریبی و دانه-

---

<sup>1</sup> Dynamo metamorphism

<sup>1</sup> Calcarous-Slate

درشت ( $Q_d, Q_t$ )، رسوبات آبرفتی دانه متوسط ( $Q_{t1}$ )، رسوبات آبرفتی دانه ریز ( $Q_m$ )، رسوبات آبرفتی بسیار دانه ریز ( $Q_c$ ) و رسوبات آبرفتی بستر مسیل ها و رودخانه ها.

### ۳-۶ مساحت حوضه

خط تقسیم یک حوضه آبریز، خط الراس ارتفاعاتی است که آن حوضه را از دیگر حوضه های همجوار جدا نموده است. اراضی که در داخل این خط تقسیم قرار می گیرند، حوضه آبریز را تشکیل می دهند. وسعت حوضه آبریز امان آباد بالغ بر  $710/35$  کیلومتر مربع محاسبه گردیده است [یوسفی راد، ۱۳۸۰].

### ۳-۷ بررسی جنس و درصد رسوبات در چاه های اکتشافی و مشاهده ای

برای شناخت هرچه دقیق تر نحوه دانه بندی آبرفت ها، همچنین بررسی جنس و تعیین ضخامت واقعی آبرفت و جنس سنگ کف و پی بردن به سفره های احتمالی و در نهایت به دست آوردن ضرایب سفره از طریق آزمایش پمپاژ حفاری، چند حلقه چاه اکتشافی حفاری و در آنها آزمایش پمپاژ انجام شده است. برخی از این چاه ها مانند چاه اکتشافی امان آباد و شهسوارن چندین سال قبل (۱۳۴۹) حفاری شده اند.

نمونه برداری در چاه های اکتشافی و مشاهده ای مجاور آنها در هر ۳ متر انجام شده است و بعد از شماره گذاری در آزمایشگاه شسته شده و بصورت تجربی درصد رس، شن و ماسه آنها تخمین زده شده و در مقابل ستون چینه شناسی ترسیم شده است.

### ۳-۷-۱ چاه اکتشافی امان آباد

این چاه در فاصله ۳۰ کیلومتری شرق اراک در شمال غربی دهکده امان آباد حفر گردیده است. عمق چاه ۷۲ متر بوده که در نهایت به سنگ کف کنگلومرایی برخورد کرده است (شکل ۳-۴).

چاه اکتشافی امان‌آباد در آبرفت‌های دشت حفر شده است و حاوی طبقات متناوبی از شن، ماسه و رس است. هرچند در اعماق ۸۰ متری وجود یک لایه کنگلومرایی به اثبات رسیده است؛ که بر اساس وضعیت ساختاری منطقه به نظر می‌رسد در محور ناودیس، باقیمانده‌هایی از کنگلومرای پلیوسن باشد؛ که در حاشیه بر روی آهک‌های شیستی کرتاسه قرار گرفته است.

### ۳-۷-۲ چاه اکتشافی شهسواران

این چاه در جنوب‌شرقی دهکده شهسواران از بلوک مشک‌آباد واقع در ۳۳ کیلومتری شرق اراک و در کنار جاده آسفالته اراک- قم حفر شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۷۸ متر است. عمق حفاری این چاه ۱۵۲ متر است؛ که به سنگ کف مارن برخورد کرده است (شکل ۳-۴).



عمق (m)	جنس
۰	شن ، ماسه ، رس
۸۵	
۱۰۰	
۱۱۰	
۱۲۰	
۱۴۰	
۱۴۷	
۱۵۲	
	رس
	شن ریز - کمی ماسه
	ماسه ، رس
	شن سفید آهکی و ماسه
	رس و مارن
	مارن

عمق (m)	جنس
۰	رس زیاد ماسه و شن
۴	
۸	
۱۲	
۱۶	
۲۰	
۲۴	
۲۸	
۳۲	
۳۶	
۴۰	
۴۴	
۴۸	رس ، شن ، ماسه
۴۸	رس زیاد، ماسه، کمی شن
۵۲	شن
۵۶	شن، ماسه ، رس
۶۰	
۶۴	
۶۸	کنگلومرا
۷۲	

شکل ۳-۳ ستون چینه‌شناسی چاه اکتشافی امان‌آباد (سمت راست) و ستون چینه‌شناسی چاه اکتشافی شهسواران (سمت چپ)

### ۳-۸ ارائه داده‌ها

در منطقه مورد نظر تعداد ۷۶ سونداژ مقاومت‌ویژه با آرایه شلومبرژه در یک شبکه مستطیلی بر روی یک سری پروفیل‌های تقریباً موازی توسط اداره سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی طی سال ۸۹ و ۹۰ برداشت شده است. محل سونداژها بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه در شکل ۳-۲ آمده است. پس از انجام مدل‌سازی، مقایسه نتایج حاصل با اطلاعات زمین‌شناسی، چاه‌های اکتشافی و

پیزومتریک، چاه‌های کشاورزی و صنعتی و تمامی داده‌های کنترلی موجود در منطقه، جهت حصول اطمینان از پاسخ‌های مدل‌های به دست آمده امری ضروری است. لذا از میان چاه‌های بسیار زیاد موجود در منطقه، اطلاعات چاه‌هایی که عمق و سطح آب در آنها مشخص است (چاه‌های پیزومتریک) انتخاب شده؛ که در شکل ۲-۳ موقعیت این چاه‌ها در کنار سونداژها مشخص شده است.

## فصل چهارم: اصول مدل سازی عددی

## ۱-۴ مقدمه

در این فصل به اصول مدل‌سازی پرداخته می‌شود. داده‌های برداشت شده طی عملیات صحرائی، در حقیقت یک سری اعداد خام می‌باشند؛ که توجیه دقیق رفتار لایه‌های زیرسطحی، از روی این داده‌ها (به‌طور مستقیم) غیرممکن است. بدین منظور تعیین رابطه‌ی بین داده‌های صحرائی به دست آمده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و به عبارت دیگر مدل‌سازی داده‌های برداشت شده، برای توجیه رفتار لایه‌های زیرسطحی، ضروری است. در مدل‌سازی ریاضی، روابط فیزیکی، بوسیله یک سری معادلات دیفرانسیلی و معادلات انتگرالی بیان می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که می‌توان پارامترها و خواص فیزیکی مدل را با حل این نوع معادلات ریاضی تعیین نمود.

## ۲-۴ مدل‌سازی

مدل‌سازی عددی را می‌توان به دو نوع پیشرو<sup>۱</sup> (مستقیم) و وارون<sup>۲</sup> (معکوس) تقسیم‌بندی نمود؛ که در زیر به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. در درون تمام برنامه‌های وارون‌سازی، مدل‌سازی پیشرو نیز نهفته است.

### ۱-۲-۴ مدل‌سازی پیشرو

در این نوع مدل‌سازی، با وارد کردن پارامترهای یک مدل فرضی، که با داده‌های تجربی هم‌خوانی دارد، یک‌سری داده‌های تئوری منطبق بر پارامترهای مدل پیشنهادی به‌دست می‌آید؛ که در صورت بالا بودن جذر میانگین مربعات خطای بین این داده‌ها و داده‌های تجربی (خطای جذر میانگین مربعات)، فرایند مدل‌سازی مجدداً تکرار خواهد شد. معادله‌ی (۱-۴)، رابطه‌ی عمومی مدل‌سازی پیشرو را بیان می‌کند [Meju, 1994].

---

<sup>1</sup> Forward modeling

<sup>2</sup> Inverse modeling

$$d = Gm \quad (1-4)$$

در این رابطه،  $d$  پاسخ مدل،  $G$  تابع هدف و  $m$  بیان گر پارامترهای مدل است. این معادله، بیان ساده‌ای از ارتباط بین پارامترهای مدل و پاسخ ریاضی آن می‌باشد؛ اما در بیشتر موارد از جمله مسائل ژئوالکتریکی و ژئومغناطیسی تابع کرنل شکل پیچیده‌ای دارد؛ لذا معادله مذکور غیر خطی است. برای یافتن پاسخ‌های مدل باید معادله (۲-۴) که معادله پایستگی جریان الکتریکی است را حل نمود.

$$\nabla \cdot J = -\frac{\partial q}{\partial t} \quad (2-4)$$

در این رابطه،  $J$  چگالی جریان کل و  $q$  چگالی حجمی بار الکتریکی می‌باشند [Dey & Morrison, 1979].

## ۲-۲-۴ مدل سازی وارون

فرآیند مدل سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه، عکس مدل سازی پیشرو است. بدین ترتیب که در هر مرحله از تکرار، با اعمال یک سری عملیات ریاضی روی داده‌های مقاومت ویژه‌ظاهری، پارامترهای فیزیکی مدل به دست می‌آید. مسائل وارون سازی بر خلاف مسائل پیشرو که اغلب یک مرحله‌ای و خوش حالت<sup>۱</sup> هستند، به دلایل مختلف تکراری و بد حالت<sup>۲</sup> می‌باشند. از جمله این دلایل وجود نوفه‌های زمین شناسی، ناقص بودن اطلاعات و خطا در اندازه‌گیری‌ها است. حل مسائل وارون مشکل و در برخی موارد غیر ممکن است.

مسائل خطی به کمک معادله ماتریسی تعمیم یافته‌ی حاصل از معادله‌ی (۱-۴) به صورت معادله‌ی (۳-۴) حل می‌شود.

<sup>1</sup> Well posed

<sup>1</sup> Ill posed

$$m = G^{-1}d \quad (3-4)$$

اما بین داده‌های حاصل از پارامترهای مدل و داده‌های برداشت شده، اختلافی به اندازه‌ی  $e_i$  وجود دارد؛ که به صورت معادله‌ی (4-4) نشان داده می‌شود. [Meju, 1994; Samouelian, et al., 2005]

$$d = Gm + e_i \quad (4-4)$$

بهترین راه برای رسیدن به یک پاسخ یکتا برای پارامترهای مدل، کمینه کردن مجموع مربعات باقیمانده ( $e_i$ ) است؛ که به صورت رابطه (5-4) قابل ارائه است:

$$q = (d - Gm)^T(d - Gm) \quad (5-4)$$

برای رسیدن به کمینه‌ی مربعات باقیمانده از معادله‌ی (6-4)، نسبت به پارامترهای مدل مشتق گرفته و حاصل برابر صفر قرار داده می‌شود. بنابراین:

$$\frac{\partial q}{\partial m_i} = \frac{\partial (d^T d - d^T Gm - m^T G^T d + m^T G^T Gm)}{\partial m_j} = 0 \quad (6-4)$$

و یا

$$-d^T G - G^T d + G^T Gm + m^T G^T G = 0 \quad (7-4)$$

$$2G^T Gm = 2G^T d \quad (8-4)$$

به این ترتیب پاسخ کمترین مربعات پارامتر تخمینی مدل به دست می‌آید؛ که با  $\hat{m}$  نشان داده می‌شود:

$$\hat{m} = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (9-4)$$

عبارت (9-4) کمترین مربعات تعمیم یافته، وارون نامیده می‌شود و بر روی داده‌ها اعمال می‌-

شود؛ تا مجدداً  $\hat{m}$  بهبود یابد [Meju, 1994].

معادله‌ی (۹-۴) برای مسائل خطی است و همان‌طور که در بخش (۲-۴) ذکر شد، در مدل-سازی داده‌های مقاومت‌ویژه، مساله کاملاً غیر خطی است. معادله‌ی (۱۰-۴) معادله‌ی عمومی مربوط به مسائل غیرخطی است [Samouelian, et al., 2005]:

$$d_i = f_i(m_1, m_2, \dots, m_p) = f_i(m) \quad i=1, \dots, n \quad (10-4)$$

یک راه عمومی برای حل مسائل غیرخطی، تبدیل آن‌ها به مقدار تخمینی خطی و استفاده از روش کمترین مربعات است. بدین منظور بسط تیلور را حول یک همسایگی پارامترهای مدل اولیه، نوشته و از جملات مرتبه اول به بعد صرف‌نظر می‌شود. اگر مدل اولیه را  $m^0$  در نظر گرفته شود؛

$$d_i^0 = f_i(m_1^0, m_2^0, \dots, m_p^0) = f_i(m) \quad (11-4)$$

به زبان ساده‌تر

$$d^0 = f(m^0) \quad (12-4)$$

حال معادله (۱۰-۴) به صورت معادله (۱۳-۴) بازنویسی می‌شود.

$$f(m) = f_i(m_1^0 + \delta m_1, m_2^0 + \delta m_2, \dots, m_p^0 + \delta m_p) \quad (13-4)$$

$$f(m) = f_i(m^0) + \frac{\partial f_i}{\partial m_1} \delta m_1 + \frac{\partial f_i}{\partial m_2} \delta m_2 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial m_p} \delta m_p \quad (14-4)$$

$$f(m) = f(m^0) + \left\{ \sum_{j=1}^p \frac{\partial f_i(m)}{\partial m_j} \Big|_{m=m^0} \delta m_j \right\} \quad (15-4)$$

مجدداً برای کمینه کردن مجموع مربعات خطا مانند روابط (۵-۴) و (۶-۴)، از مجموع مربعات

باقیمانده نسبت به پارامترهای مدل مشتق‌گیری نموده و در انتها به رابطه‌ی (۱۶-۴) خواهیم رسید:

$$m^{k+1} = m^k + (A^T A)^{-1} A^T y \quad (16-4)$$

در این معادله،  $A$  ماتریس ژاکوبین<sup>۱</sup>،  $m^k$  پارامتر مدل در تکرار  $k$  ام،  $m^{k+1}$  پارامتر مدل در تکرار  $k+1$  ام و  $y$  برابر اختلاف بین پاسخ مدل و داده‌های برداشت شده می‌باشد. در آرایه‌های ماتریس ژاکوبین شامل مشتق جزئی تابع کرنل نسبت به پارامترهای مدل می‌باشند [Meju, 1994].

### ۳-۲-۴ روش نیوتن

تمام روش‌ها برای حل معادله (۱۷-۴) روش‌های تکراری هستند.

$$\text{Min } F = r^T r \quad (17-4)$$

و هر تکرار به صورت رابطه (۱۸-۴) بیان می‌شود:

$$X_{k+1} = X_k + \alpha_k A_k g_k \quad (18-4)$$

که  $K$  مرحله تکرار،  $A_k$  ماتریس تکرار و  $\alpha_k$  یک اسکالر است و  $g_k$  گرادیان  $F$  به ازای  $X_k$  است؛ یعنی  $g_k = \nabla F_{X_k}$ . قرار می‌دهیم  $\delta = Ag$  و به آن مسیر جستجو گوئیم و  $\alpha_k$  را طول گام در مرحله  $K$  ام نامیم. با در نظر گرفتن بسط گرادیان  $g$  حول  $X_k$  داریم:

$$g_{k+1} = g_k + G(X_{k+1} - X_k) + O(\|X_{k+1} - X_k\|^2) \quad (19-4)$$

که  $G$  ماتریس هسیان است. با صرف نظر کردن از جمله باقیمانده  $O(\|X_{k+1} - X_k\|^2)$  تخمینی از نقطه ایستای  $\{X_{k+1} | g(X_{k+1}) = 0\}$  به دست می‌آوریم:

$$X_{k+1} = X_k - (G_k)^{-1} g_k \quad (20-4)$$

تکرار بالا بر اساس گام نیوتن است و می‌توان روش نیوتن را در تکرار  $k$  ام به صورت زیر نوشت:

قدم الف) دستگاه  $G_k \delta = -g_k$  را برای  $\delta = \delta_k$  حل کن.

قدم ب) قرار بده  $X_{k+1} = X_k + \delta_k$

---

<sup>1</sup> Jacobian matrix



که در قسمت الف  $G_k$  و  $g_k$  به ترتیب هسیان و گرادیان تابع هدف می‌باشند.

### ۳-۴ وارون‌سازی هموار دوبعدی توسط نرم افزار Res2dinv

در مدل‌سازی دوبعدی هموار، از روش بهینه‌یابی حداقل مربعات استفاده می‌شود و یک زمین یک لایه همگن به عنوان مدل اولیه در نظر گرفته می‌شود [Loke, et al., 1995]. معادله‌ی این روش عبارت است از [Loke, 2004 a]:

$$(J^T J + \lambda F)d = J^T g \quad (21-4)$$

که در این رابطه  $\lambda$  فاکتور تعدیل،  $J$  ماتریس ژاکوبین،  $d$  بردار آشفتگی مدل و  $g$  بردار همگرایی می‌باشد و  $F$  عبارت است از:

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \quad (22-4)$$

$f_x$  نیز فیلتر هموارساز افقی، و  $f_z$  هم فیلتر هموارساز عمودی می‌باشد. می‌توان فاکتور تعدیل و فیلترهای هموارسازی را برای انواع مختلف داده‌ها تنظیم نمود. برای انجام محاسبات فوق از روش-های تفاضل محدود و یا اجزاء محدود استفاده می‌شود که در مناطقی که تصحیح توپوگرافی نیاز است، به طور پیش‌فرض نرم‌افزار از روش اجزاء محدود استفاده می‌نماید.

نخست فاکتور تعدیل، یک مقدار بزرگ انتخاب می‌شود ( $\lambda_0$ ) و به‌طور پیش‌رونده‌ای بعد از هر تکرار این مقدار کاهش می‌یابد تا به حد مینیمم برسد ( $\lambda_m$ ) که معمولاً یک‌دهم مقدار اولیه است.

$$F = \lambda_m = 0.1 \lambda_0 \quad (23-4)$$

$\lambda_0$  به سطح نویز منطقه بستگی دارد، هر چه سطح نویز بیشتر باشد، مقدار اولیه فاکتور تعدیل هم بیشتر است.

این برنامه برای انجام مدل‌سازی، از روش کمترین مربعات به همراه روش عددی شبه‌گوس- نیوتن (یا شبه نیوتن) استفاده می‌کند که ۱۰ مرتبه سریع‌تر است و حافظه کمتری را برای انجام محاسبات به کار می‌گیرد زیرا در روش گوس- نیوتن در هر مرتبه از تکرار، ماتریس ژاکوبین محاسبه می‌شود، اما در روش شبه‌نیوتن، در تکرار اول ماتریس ژاکوبین برای زمین همگن ساخته می‌شود و در تکرارهای بعدی، از روی همان ماتریس تغییر می‌کند. معادلات زیر این رابطه را بیان می‌نماید، [Loke & Dahlin, 2002].

$$B_{i+1} = B_i + U_i P_i^T \quad (24-4)$$

$$U_i = \frac{(\Delta y_i - B_i P_i)}{P_i^T P_i} \quad (25-4)$$

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i \quad (26-4)$$

که در این روابط،  $y_i$  پاسخ مدل برای  $i$  امین تکرار،  $P_i$  بردار اختلاف برای  $i$  امین تکرار و  $B_{i+1}$  تقریب ماتریس ژاکوبین برای  $i+1$  امین تکرار هستند.

برنامه در هر بار تکرار، خطای (RMS) Root- Mean - Squared را محاسبه می‌کند و سعی در کاهش آن دارد. مقدار خطای جذر میانگین مربعات توسط معادله زیر تعریف می‌شود [zohdy, 1989]:

$$rms\% = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left( \frac{\bar{\rho}_{oj} - \bar{\rho}_{cj}}{\bar{\rho}_{oj}} \right)^2}{N}} \times 100 \quad (27-4)$$

که  $\bar{\rho}_{oj}$  در آن  $i$  امین مقاومت ویژه مشاهده شده،  $\bar{\rho}_{cj}$  نیز  $i$  امین مقاومت ویژه محاسبه شده و  $N$  تعداد داده‌هاست.

**فصل پنجم: مدل سازی و تفسیر یک بعدی داده-**

**های سونداژ ژئوالکتریک**

هدف از تفسیر داده‌های حاصل از سونداژزنی الکتریکی قائم در یک منطقه، به دست آوردن یک تصویر یا مدل ژئوالکتریکی قابل قبول و منطقی است، که با نتایج مطالعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی آن منطقه مطابقت داشته باشد.

در ابتدا ممکن است برای به دست آوردن یک تصویر عمومی از منطقه مورد مطالعه، تفسیر به صورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری به دست آمده از نقشه‌ها و مقاطع مربوط به آن، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. برای به دست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید به صورت کمی انجام پذیرد. در تفسیر کمی از داده‌های خام (مقادیر مقاومت‌ویژه ظاهری)، یک سری پارامترهای فیزیکی شامل مقاومت‌ویژه واقعی و ضخامت لایه‌ها تعیین می‌شوند. برای به دست آوردن تفسیر دقیق‌تر، باید نتایج حاصله را با سایر داده‌های حاصل از زمین‌شناسی، حفاری و غیره تلفیق نمود [Reynolds, 1997].

در این پایان‌نامه در تفسیر کمی، برای بدست آوردن مقادیر مقاومت‌ویژه حقیقی و ضخامت لایه‌ها، از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای IX1D و IPI2win استفاده شده است. منحنی‌های سونداژ الکتریکی در ابتدا با استفاده از منحنی‌های استاندارد یا سرمحنی‌های دو لایه‌ای و منحنی‌های کمی و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری مذکور، مورد تفسیر قرار گرفته‌اند. معمولاً داده‌های خام به دست آمده از سونداژهای الکتریکی، بر روی یک منحنی با محورهای لگاریتمی ارائه می‌شوند. در این محورها، مقدار  $\rho_a$  به صورت تابعی از طول  $AB/2$  رسم می‌شود.

با استفاده از سیستم محورهای لگاریتمی، تفسیر نتایج به کمک منحنی‌های استاندارد یا آباک-ها آسان‌تر می‌گردد [Reynolds, 1997]. در نتیجه تفسیر، مدلی شامل پارامترهای الف) تعداد لایه‌ها (N)، ب) مقاومت‌ویژه واقعی هر لایه ( $\rho$ ) و ج) ضخامت یا عمق هر لایه (D یا E) به دست خواهند آمد.

## ۲-۵ تفسیر کمی داده‌های سونداژ ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه

در این مرحله داده‌های به دست آمده از ۷۶ سونداژ ژئوالکتریک که با آرایش شلومبرژه برداشت شده‌اند، ابتدا به روش انطباق منحنی‌ها با استفاده از منحنی‌های استاندارد مورد تفسیر کمی یک-بعدی قرار گرفته و در نتیجه برای هر سونداژ تعداد لایه‌ها، عمق و مقاومت‌ویژه هر لایه تعیین شده است. سپس نتایج به دست آمده از منحنی‌های استاندارد به عنوان مدل اولیه به نرم‌افزار IX1D داده شده است. نتایج به دست آمده از این نرم‌افزار با نتایج حاصل از منحنی استاندارد، چندان تفاوت ندارند و با تقریب خوبی یکدیگر را تایید می‌کنند. در مرحله بعد نتایج قبل، با نتایج حاصل از مدل-سازی با استفاده از نرم‌افزار IPI2win مقایسه شده است. نهایتاً نتایج به دست آمده از این سه روش (نرم‌افزارهای IX1D و IPI2win و نتایج حاصل از منحنی‌های استاندارد) برای هر سونداژ در جدولی مجزا آورده شده است که به تفکیک هر یک از آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. ابتدا برای آشنایی بیشتر با نحوه عملکرد این دو نرم‌افزار و مقایسه میزان خطا بین نتایج نرم‌افزاری با نتایج حاصل از منحنی‌های استاندارد، نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس و مستقیم مربوط به سونداژ C8 به همراه شکل‌های مربوطه آورده شده است. به دلیل حجم بالای کار و تعداد زیاد سونداژها، نتایج همه سونداژها در این فصل ذکر نشده‌اند و نتایج تفسیر بقیه سونداژها در پیوست ذکر شده است.

## ۳-۵ سونداژ C8

سونداژ C8 بر روی پروفیل C واقع شده است و تقریباً در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه قرار دارد. در زیر نتایج تفسیر این سونداژ با نرم‌افزارهای IX1D و IPI2win ذکر شده است:

### ۱-۳-۵ نتایج تفسیر با نرم‌افزار IX1D:

نتایج به دست آمده از منحنی‌های استاندارد به همراه نتایج مدل‌سازی پیشرو در شکل (۵-۱) نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست میزان خطای برازش بین داده‌های صحرایی و

داده‌های نظری حاصل از مدل پیشرو که به صورت خطای  $RMS^1$  بیان شده، برابر با  $3/23$  درصد می‌باشد؛ که پس از انجام مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ، همان‌طور که در شکل (۵-۲) قابل مشاهده است، میزان خطا به کمترین مقدار خود یعنی  $2/32$  درصد می‌رسد.

یک حلقه چاه در شمال محل برداشت این سونداژ و به فاصله  $370$  متری حفر شده که سطح آب در آن  $101$  متری می‌باشد. با توجه به نتایج مدل وارون می‌توان گفت که در این سونداژ، لایه ششم در محل سونداژ، لایه‌ی آبدار می‌باشد و در نتیجه با توجه به عمق لایه ششم سطح برخورد به آب در عمق  $120$  متری می‌باشد. لایه‌ی هفتم در عمق  $250$  متری و متشکل از رسوبات شیلی با مقاومت ویژه بالا است؛ که به عنوان لایه‌ی سنگ کف معرفی می‌شود.

---

<sup>1</sup> Root Mean Square (RMS)

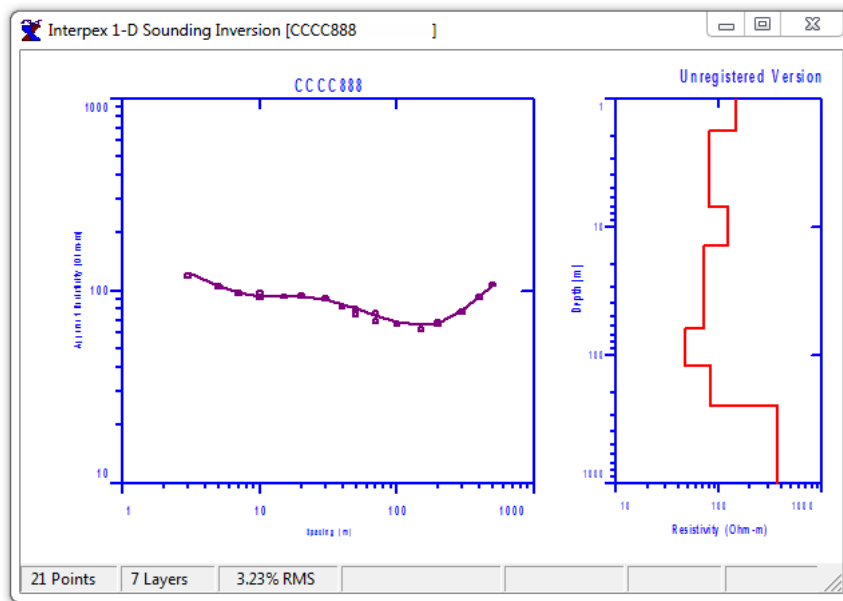
Resistivity Model

Surface Elevation: 0.0000 Fitting Error: 3.2341

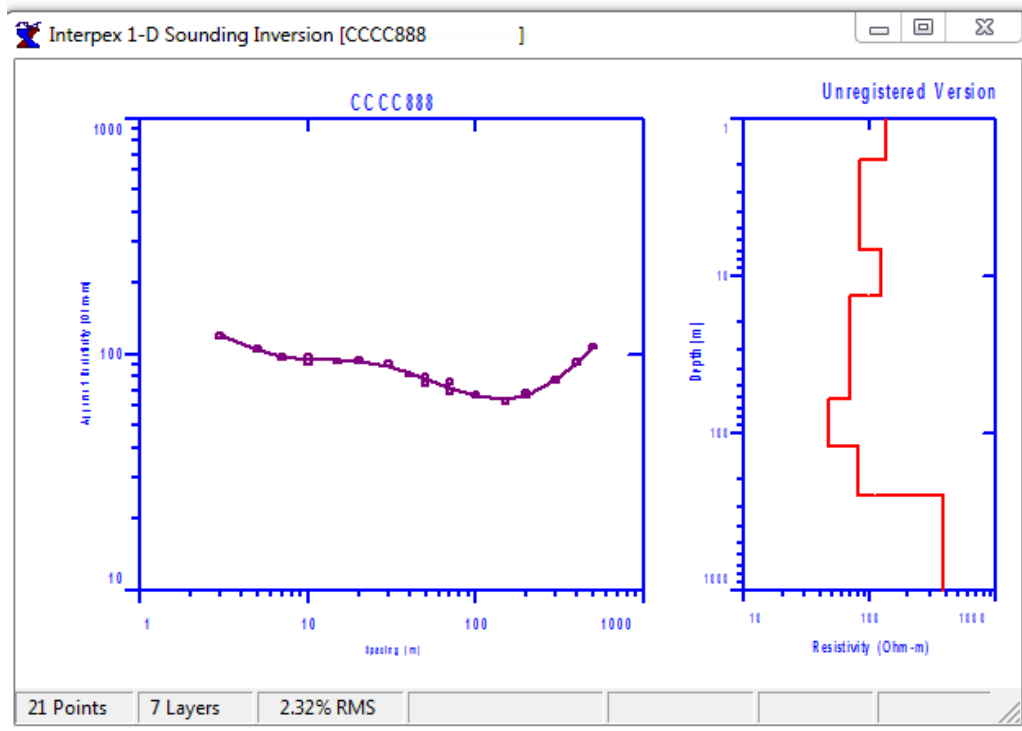
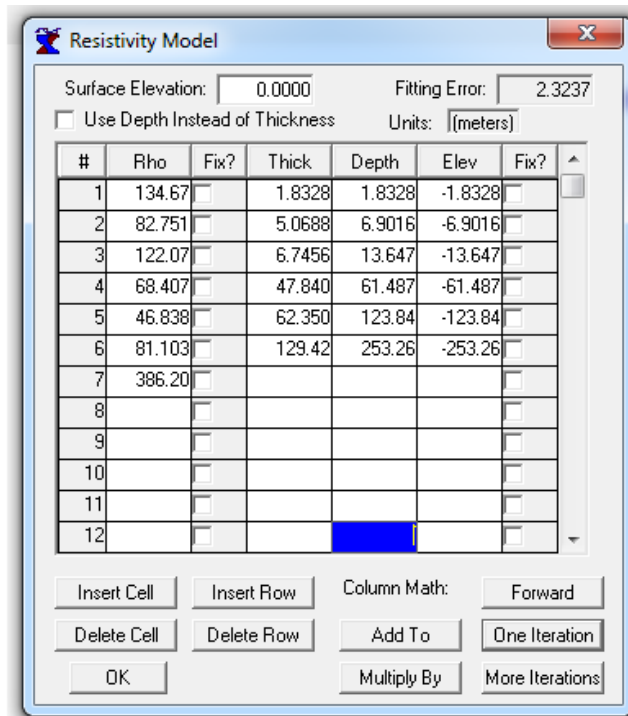
Use Depth Instead of Thickness Units: (meters)

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	145.00	<input type="checkbox"/>	1.8000	1.8000	-1.8000	<input type="checkbox"/>
2	81.000	<input type="checkbox"/>	5.2000	7.0000	-7.0000	<input type="checkbox"/>
3	122.00	<input type="checkbox"/>	7.0000	14.000	-14.000	<input type="checkbox"/>
4	71.000	<input type="checkbox"/>	48.000	62.000	-62.000	<input type="checkbox"/>
5	47.000	<input type="checkbox"/>	62.000	124.00	-124.00	<input type="checkbox"/>
6	83.000	<input type="checkbox"/>	128.00	252.00	-252.00	<input type="checkbox"/>
7	371.00	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
8		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
9		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
10		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
11		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
12		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>

Column Math:



شکل ۵-۱ نتایج مدل سازی مستقیم یا پیشرو حاصل از مدل اولیه تفسیر کمی سونداژ C8. (بالا) مدل اولیه حاصل از تفسیر سونداژ با استفاده از منحنی های استاندارد (پایین) مدل برازش داده شده به داده های سونداژ.

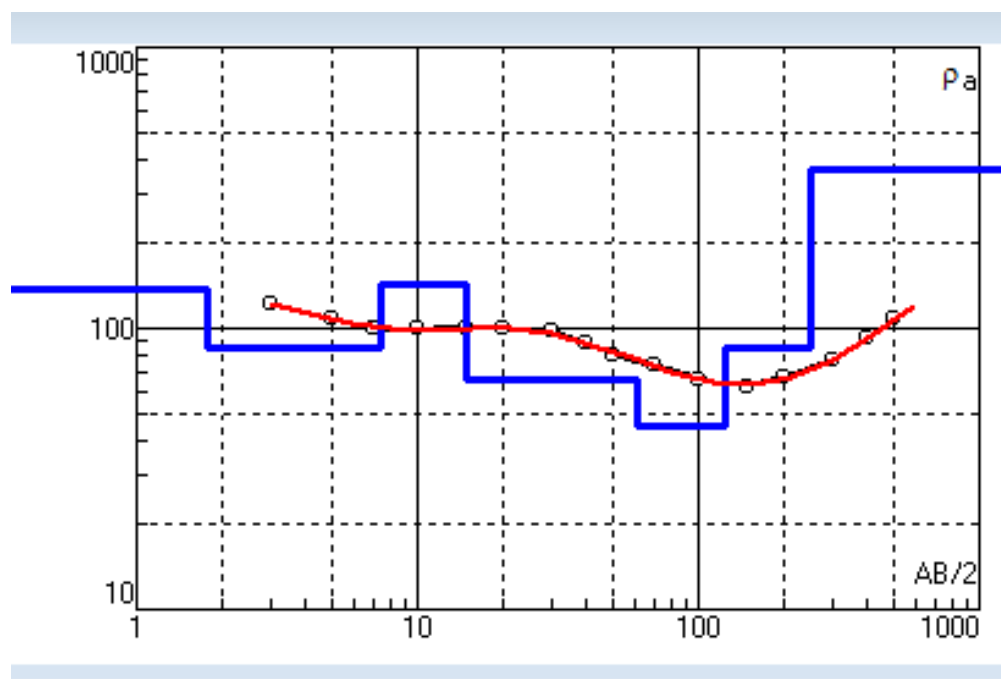


شکل ۲-۵ نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ C8 در مراحل تکرار نهایی. (بالا) مدل حاصل از مدل‌سازی وارون (پایین) مدل برازش داده شده به داده‌های سونداژ.



## ۵-۳-۲ نتایج تفسیر با نرم افزار IPI2win:

اکنون مدل اولیه مورد نظر توسط نرم افزار IPI2win وارون سازی می شود. از آن جایی که نرم افزار IPI2win در زمین های لایه ای خوب عمل می کند؛ در این پژوهش، از تفسیر نیمه اتوماتیک این نرم افزار برای وارون سازی داده های مقاومت ویژه استفاده می شود؛ کما این که وارون سازی اتوماتیک توسط نرم افزار مذکور بر روی داده های منطقه ی مورد نظر نتایج غیرمنطقی ارائه می دهد. شکل (۵-۳) مدل حاصله را نشان می دهد.



شکل ۵-۳ مدل سازی وارون برای سونداژ C8 توسط نرم افزار IPI2win. داده های برداشتی به صورت نقاط سیاه رنگ و پاسخ مدل به صورت منحنی قرمز رنگ و مدل وارون به شکل خط آبی رنگ دیده می شود.

این مدل سازی دارای خطای ۰/۹۳ درصد است. برای مقایسه بهتر نتایج به دست آمده از سه

روش، همه نتایج در جدول (۵-۱) گردآوری شده است.

جدول ۱-۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C-8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 0.98%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.32%		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۱۳۸	۱/۸	۱۳۴	۱/۸	۱۴۵	لایه اول
۵/۵	۸۵	۵	۸۲	۵/۲	۸۱	لایه دوم
۷/۵	۱۴۴	۶/۷	۱۲۲	۷	۱۲۲	لایه سوم
۴۶	۶۵	۴۷	۶۸	۴۸	۷۱	لایه چهارم
۶۲	۴۵	۶۲	۴۶	۶۲	۴۷	لایه پنجم
۱۲۶	۸۴	۱۲۹	۸۱	۱۲۸	۸۳	لایه ششم
-	۳۷۰	-	۳۸۶	-	۳۷۱	لایه هفتم

#### ۴-۵ ارائه نتایج

در ادامه برای کاستن از حجم زیاد پایان‌نامه، مشخصات لایه آبدار هر سونداژ در قالب جدول

(۳-۵) آورده شده است. همچنین برای هر سونداژ فقط نتایج حاصل از سه روش منحنی‌های

استاندارد و نرم‌افزارهای IX1D و IPI2win در پیوست دو آمده است.

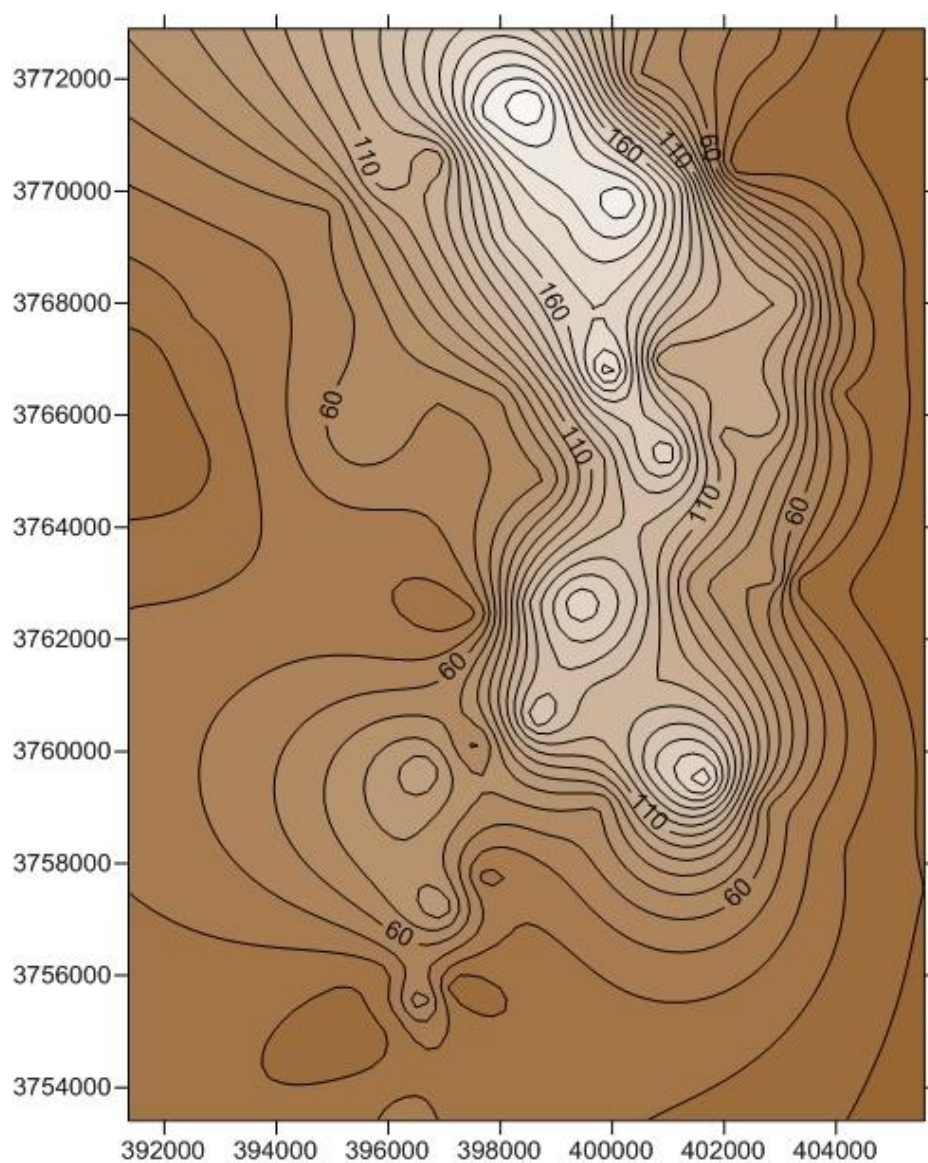
جدول ۵-۲ نام سونداژها و مشخصات لایه آبدار تفسیر شده جدول در محل هر سونداژ در منطقه مورد مطالعه

نام سونداژ	تعداد لایه	شماره لایه آبدار	مقاومت ویژه لایه آبدار ( $\Omega.m$ )	ضخامت لایه آبدار (m)
C2	۵	۴	۶۵	۱۸
C3	۴	۳	۸۰	۸۰-۵۳
C4	۴	۳	۸۱	۱۲۰-۸۰
C5	۴	۳	۶۲	۱۶
C6	۴	۳	۵۸	۳۰-۲۸
C7	۴	۳	۵۶	۱۸-۲۳
C8	۷	۵	۴۷	۶۲
D1	۴	۳	۳۶	۹۵-۹۰
D2	۴	۳	۶۰	۳۱
D3	۴	۳	۵۶	۱۱۰-۱۲۰
D4	۶	۴	۸۰	۳۰
D5	۷	۳	۳۷	۱۵-۱۳
E3	۵	۴	۳۶	۷۳
E4	۶	۵	۴۵	۱۴۳-۱۳۵
E5	۵	۴	۳۵	۱۱۰-۱۲۰
E6	۴	۳	۲۸	۱۰۰-۶۰
E7	۵	۳ و ۴	۴۵ و ۳۰	۴۴ و ۱۵
E8	۴	۳	۳۶	۹۰-۴۵
F1	۵	۴	۷۰	۴۰-۳۵
F2	۶	۵	۴۷	۸۰
F3	۴	۳	۳۱	۱۴۰-۱۲۰
F4	۵	۴	۳۰	۵۰
F5	۷	۶	۴۲	۷۲-۶۵
G2	۵	۳	۷۰	۲۵-۲۰
G3	۵	۴	۶۵	۳۸-۳۳
G4	۵	۴	۵۵	۹۰
G5	۵	۳	۵۵	۱۰۵
G6	۵	۳	۷۵	۲۵-۱۸
G7	۶	۴	۷۰	۴۶-۴۰
G8	۴	۵	۴۰	۶۰
H1	۳	۲	۵۲	۳۲

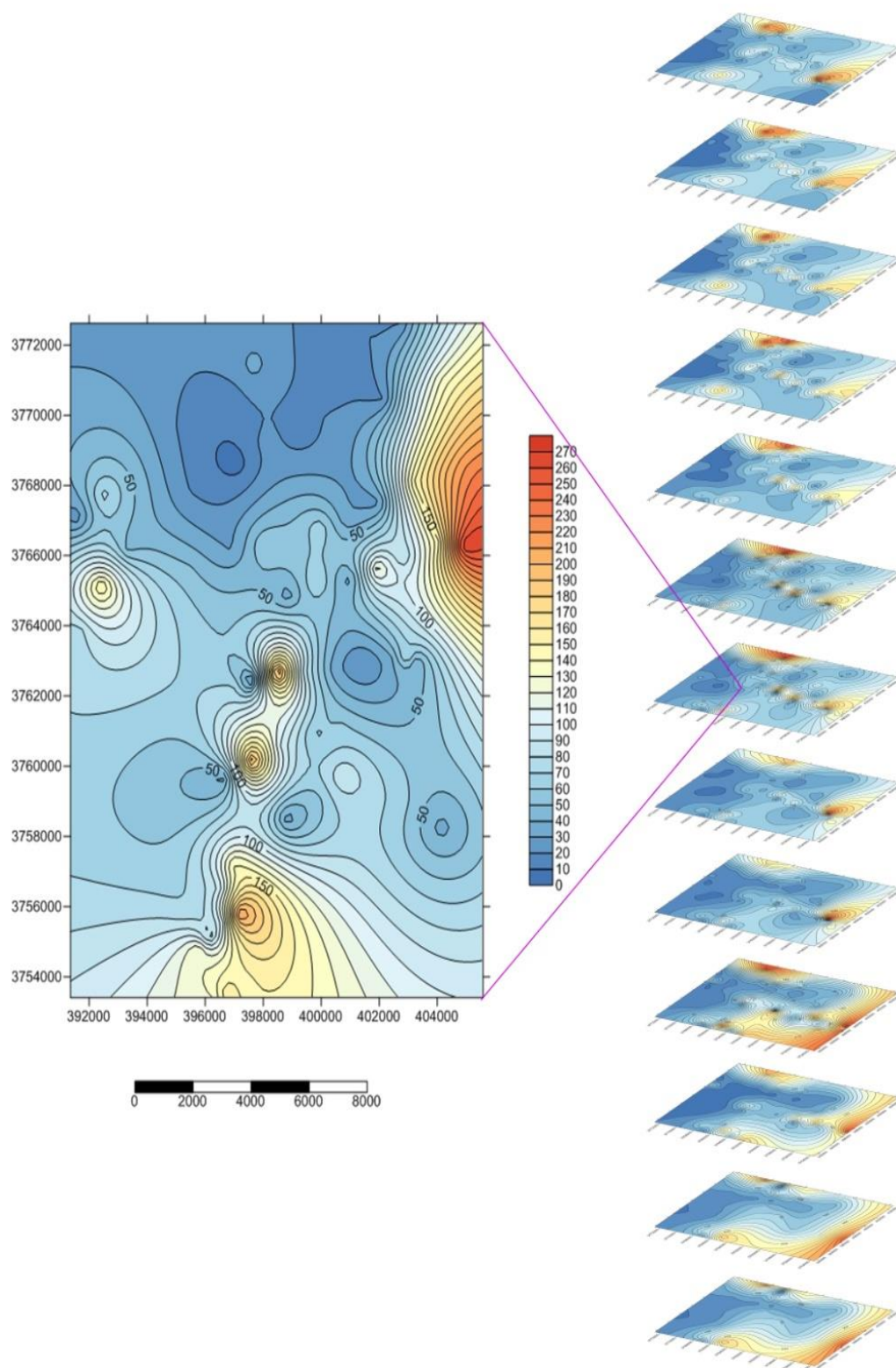
ادامه جدول ۲-۵

H4	۳	۴	۳۰	۴۳ - ۳۴
H5	۵	۴	۳۵	۳۰ - ۲۵
H6	۵	۴	۳۰	۸۷ - ۸۰
H7	۴	۳	۳۲	۱۹۰ - ۱۶۰
H8	۵	۳	۴۰	۱۲۵ - ۱۰۰
H9	۷	۵	۴۵	۶۳
H10	۴	۳	۳۸	۲۰۸ - ۱۱۲
I3	۵	۴	۵۲	۴۰ - ۳۰
I4	۶	۴	۵۲	۷۰ - ۶۷
I5	۵	۴ و ۳	۵۶ و ۲۲	۵۰ و ۴۰
I6	۴	۳	۲۵	۱۲۰ - ۱۹۵
I7	۶	۵	۵۴	۴۰ - ۳۷
I8	۵	۳	۲۳	۵۳ - ۴۵
I9	۴	۳	۳۸	۳۲ - ۲۲
I10	۵	۴	۳۵	۲۰ - ۱۲
I11	۴	۳	۳۶	۲۴
I12	۳	۲	۴۵	۱۲ - ۱۸

برای درک بهتر نتایج، نقشه‌ی هم‌عمق سنگ کف، نقشه خطوط هم‌تراز مقاومت‌ویژه ظاهری مربوط به اعماق ظاهری متناظر با فاصله الکترودی و نقشه ایزوپیز به دست آمده از حاصل از تفسیرهای یک‌بعدی در این بخش آمده است. و نهایتاً با نقشه‌ی ایزوپیز حاصل از اطلاعات چاه‌های منطقه مقایسه شده است. با توجه به فروافتادگی سنگ کف در مرکز منطقه (شکل ۴-۵) و حرکت آب به سمت شمال غرب منطقه (نقشه ایزوپیز) می‌توان نتیجه گرفت عملکرد گسل در شرق منطقه و وجود تاقدیس در غرب منطقه باعث به تله افتادن آب و تشکیل آبخوان در مرکز منطقه شده است.

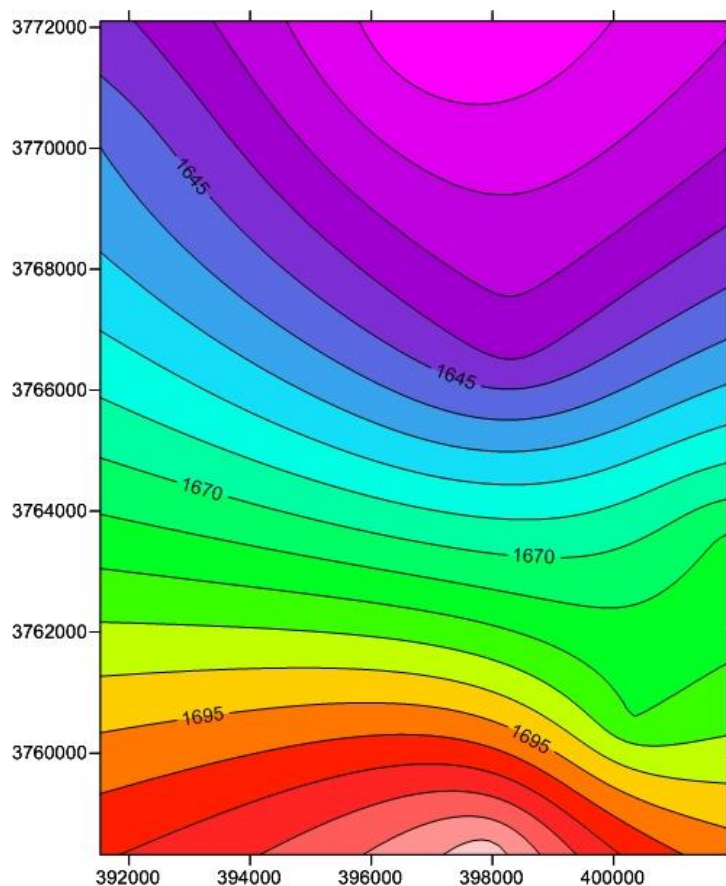


شکل ۴-۵۰ نقشه هم‌عمق سنگ کف تهیه شده با استفاده از داده‌های ژئوالکتریک، در منطقه مورد مطالعه

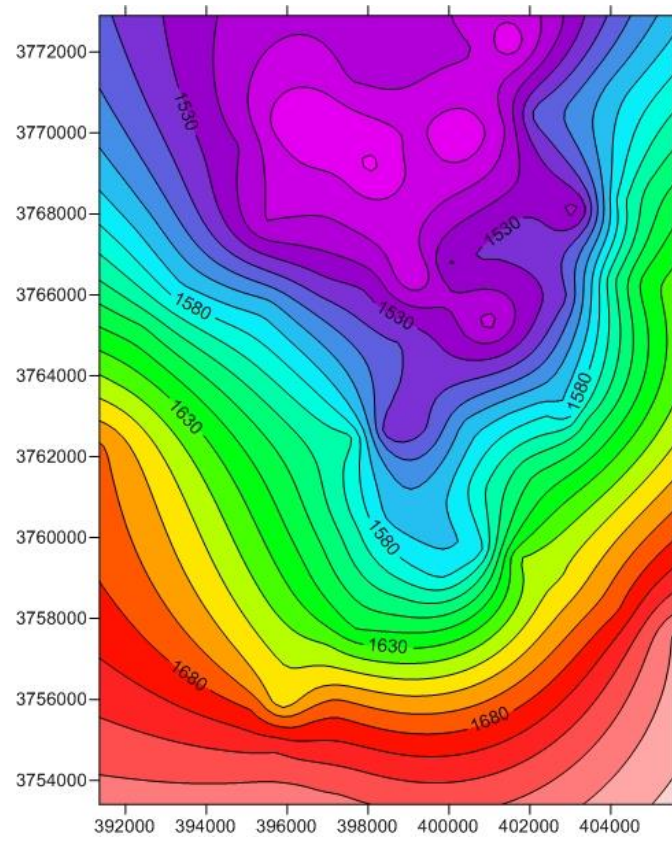


• شکل ۵-۵ نقشه خطوط هم‌تراز مقاومت ویژه‌ظاهری مربوط به اعماق ظاهری متناظر با فاصله الکترودی در منطقه مورد مطالعه

همانطور که در شکل (۶-۵) مشاهده می‌کنید، بر اساس اطلاعات چاه‌های پیزومتری منطقه، نقشه‌ی ایزوپیز منطقه رسم شده است. این نقشه به وسیله‌ی اختلاف ارتفاع سطح آب چاه‌ها و ارتفاع نقاطی که چاه در آنجا قرار دارد به دست آمده، تا اثر توپوگرافی از سطح آب در نقشه حذف شود. در شکل (۷-۵) نقشه‌ی ایزوپیز حاصل از مدل‌سازی یک بعدی را مشاهده می‌نمایید. از مقایسه نقشه‌های ایزوپیز نتیجه گرفته می‌شود که نقشه‌ها اندکی با هم تفاوت دارند که عمدتاً ناشی از خطای حاصل از تفسیر یک بعدی است. البته از آنجا که نقشه ایزوپیز حاصل از چاه‌های پیزومتری فقط از ۷ چاه به دست آمده و فاصله‌ی این چاه‌ها خیلی زیاد است از دقت این نقشه می‌کاهد. ولی به طور کلی دیده می‌شود، روند کلی جریان آب (از سمت جنوب شرق منطقه به سمت شمال غرب منطقه) و نیز عمق سطح آب در هر دو نقشه مشابه است.



شکل ۶-۵ نقشه ایزوپیز منطقه مورد مطالعه، تهیه شده با استفاده از اطلاعات چاه‌های منطقه



• شکل ۷-۵ نقشه ایزوپیز بدست آمده با استفاده از نتایج حاصل از مدل سازی یک بعدی در منطقه مورد مطالعه



**فصل ششم: مدل سازی و تفسیر دوبعدی داده-**

**های صحرایی**

## ۱-۶ مقدمه

در فصل گذشته مدل سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه انجام شد. در این فصل داده های مقاومت ویژه ظاهری، پس از مدل سازی هموار دوبعدی به صورت مقاطع دو بعدی نمایش داده می-شوند و در مورد نتایج به دست آمده بحث خواهد شد.

یکی از محدودیت های روش سونداژزنی مقاومت ویژه، عدم پاسخ مناسب به تغییرات جانبی مقاومت ویژه در زیر سطح زمین است. با مدل سازی دوبعدی داده ها می توان تصویر دقیق تری از تغییرات مقاومت ویژه در هر دو امتداد قائم و افقی، در طول یک خط برداشت، تهیه نمود. در اکثر مواقع، خصوصاً هنگام بررسی ساختارهای طویل زمین شناسی، این روش مدل سازی یک روش مناسب و منطقی است. بنابراین جهت بررسی همزمان تغییرات جانبی و قائم لایه ی آبدار، بر روی داده های صحرائی وارون سازی دوبعدی صورت می گیرد. بدین منظور از نرم افزار Res2dinv ver 3.56 استفاده شده است.

## ۲-۶ تفسیر و مدل سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار

### Res2dinv

نرم افزار Res2dinv با حداقل داده های ورودی می تواند فرآیند مدل سازی را به طور خودکار و انجام دهد. از این برنامه برای مدل سازی داده های حاصل از برداشت توسط آرایه های ونر، قطبی - قطبی، قطبی - دوقطبی، دوقطبی - دوقطبی، و ونر - شلومبرژه استفاده می شود. از آن جا که نرم افزار داده های صحرائی را با آرایش شلومبرژه را به طور مستقیم نمی پذیرد؛ داده های منطقه در قالب آرایه ی ونر - شلومبرژه ساخته و فراخوانی می شود.

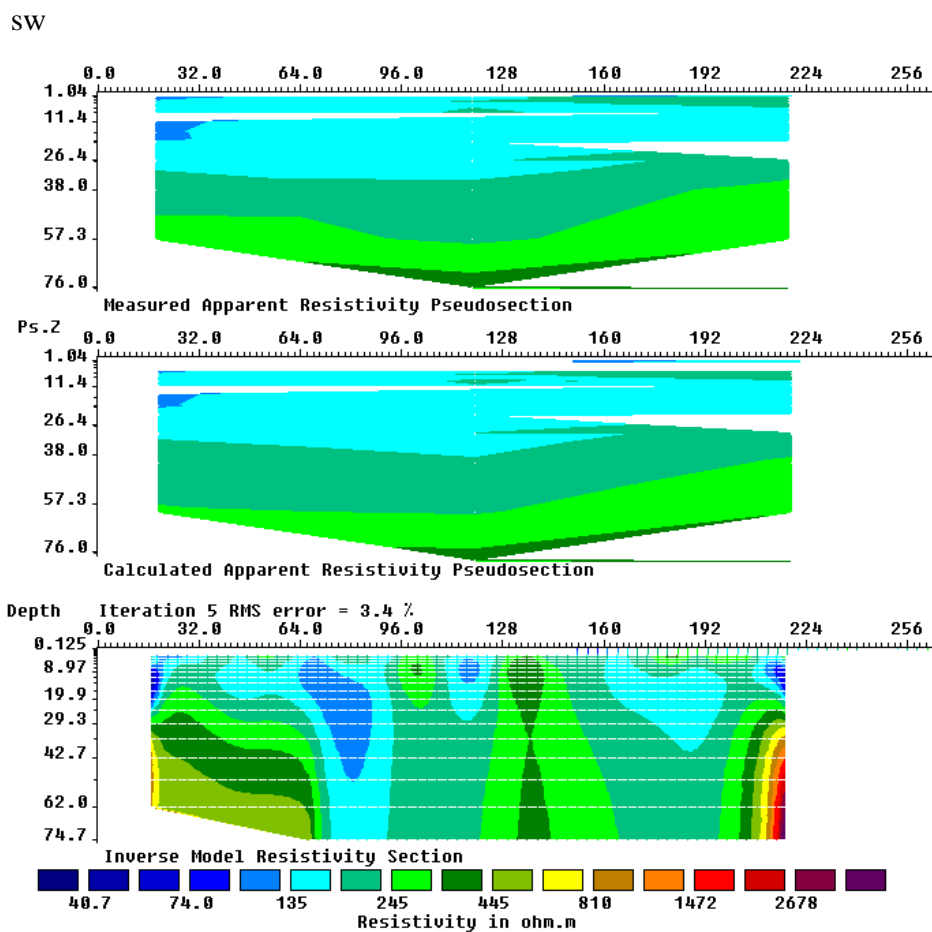
در این طرح نتایج حاصل از مدل سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از نرم افزار Res2dinv و با ۵ مرحله تکرار برای ۹ پروفیل برداشت شده A تا I در شکل های (۱-۶) تا

(۶-۹) نشان داده شده‌اند؛ که به طور مجزا به تفسیر کیفی مقاطع به دست آمده برای هر پروفیل پرداخته می‌شود. لازم است قبل از تفسیر مدل‌های دوبعدی متذکر شود که در این تحقیق، اکثر مقاطع به دست آمده از مدل‌سازی، شکل هندسی کاملاً منظمی ندارند. این امر به این دلیل است که در هنگام برداشت داده‌های صحرائی، تعداد فواصل الکترودی برای همه‌ی سونداژهای یک پروفیل یکسان نبوده. لذا در یک پروفیل همه‌ی سونداژها، فواصل الکترودی مشابه ندارند. از آنجا که این تفاوت، با حذف برخی از فواصل الکترودی بزرگتر در بعضی از سونداژها بوده است، ناهمواری در مدل‌ها در قسمت‌های زیرین شکل‌ها قابل مشاهده است.

## ۶-۲-۱ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل A

شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی پروفیل A (شکل ۶-۱)، از روی داده‌های سه سونداژ ژئوالکتریک مربوط به این پروفیل تهیه شده است. همان‌طور که از مقطع مدل‌سازی نشان داده شده در شکل پیداست، با توجه به این که این پروفیل فقط از سه سونداژ تشکیل شده، عمق مشخص شده در مدل، حدوداً ۷۰ متر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقاومت‌ویژه در این پروفیل، مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. از آنجا که این پروفیل جنوبی‌ترین پروفیل برداشت شده می‌باشد، کمترین فاصله را (با توجه به اطلاعات چاه اکتشافی رودباران) با توده‌های آهنی مقاوم جنوب منطقه دارد.

با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه سونداژ اول و سوم تقریباً روی همین توده‌های آهنی قرار دارند. همان‌طور که در مدل دوبعدی مشاهده می‌شود، مقاومت‌ویژه در قسمت‌های شرق و غرب پروفیل مقادیر بسیار بالایی را نشان می‌دهد و در قسمت مرکز، مقاومت‌ویژه بین مقادیر ۱۳۰-۳۰۰ اهم‌متر متغیر است. این قسمت از تراس‌ها و آبرفت‌های جدید تشکیل شده است. همچنین تغییرات ناگهانی که در سمت شرق مشاهده می‌شود، به خاطر وجود تاقدیس در شرق پروفیل A است. وجود چند چاه کشاورزی متروکه فاقد آبدهی در نزدیکی این پروفیل نشان‌دهنده‌ی عدم حضور لایه آبدار در این محدوده است.

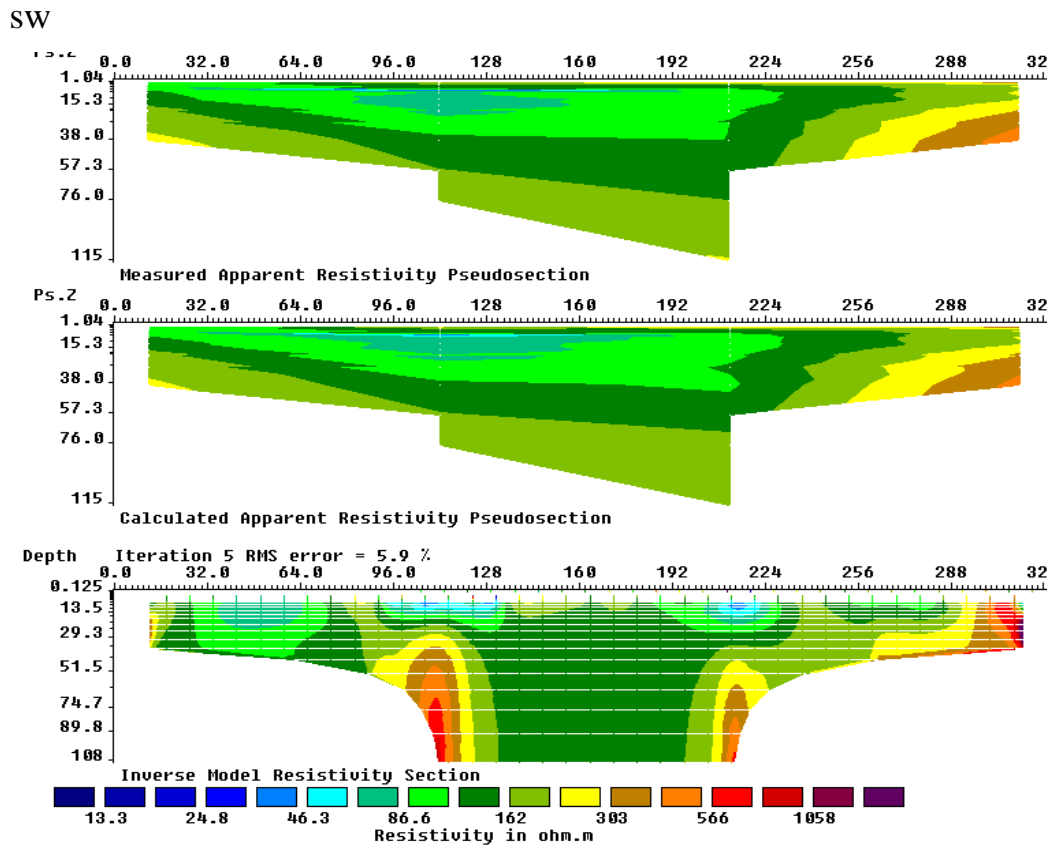


شکل ۶-۱: شبه‌مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل-سازی معکوس برای پروفیل A

## ۶-۲-۲ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل B

شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی پروفیل B (شکل ۶-۲)، از داده‌های ۴ سونداژ ژئوالکتریک مربوط به این پروفیل تهیه شده است. در محدوده سونداژ B1 مقاومت‌ویژه به سبب مجاورت با توده‌های مقاوم آهک، بالاست. در امتداد این پروفیل لایه آبرفت سطحی، با مقاومت‌ویژه ۵۰-۲۰۰ اهم‌متر قابل مشاهده است که بیانگر وجود رسوبات دانه‌ریز تا نهشته‌های آبرفتی دانه‌درشت و خشک می‌باشد. در زیر لایه مذکور مقاومت‌ویژه تا حدود ۶۰۰ اهم‌متر افزایش می‌یابد؛ که حاکی از وجود سنگ بستر

آهکی می‌باشد. در قسمت شرق پروفیل طبق روند پروفیل قبل افزایش مقاومت ویژه قابل مشاهده است؛ که تاییدی بر وجود یال چپ تاقدیس منطقه در شرق پروفیل می‌باشد.

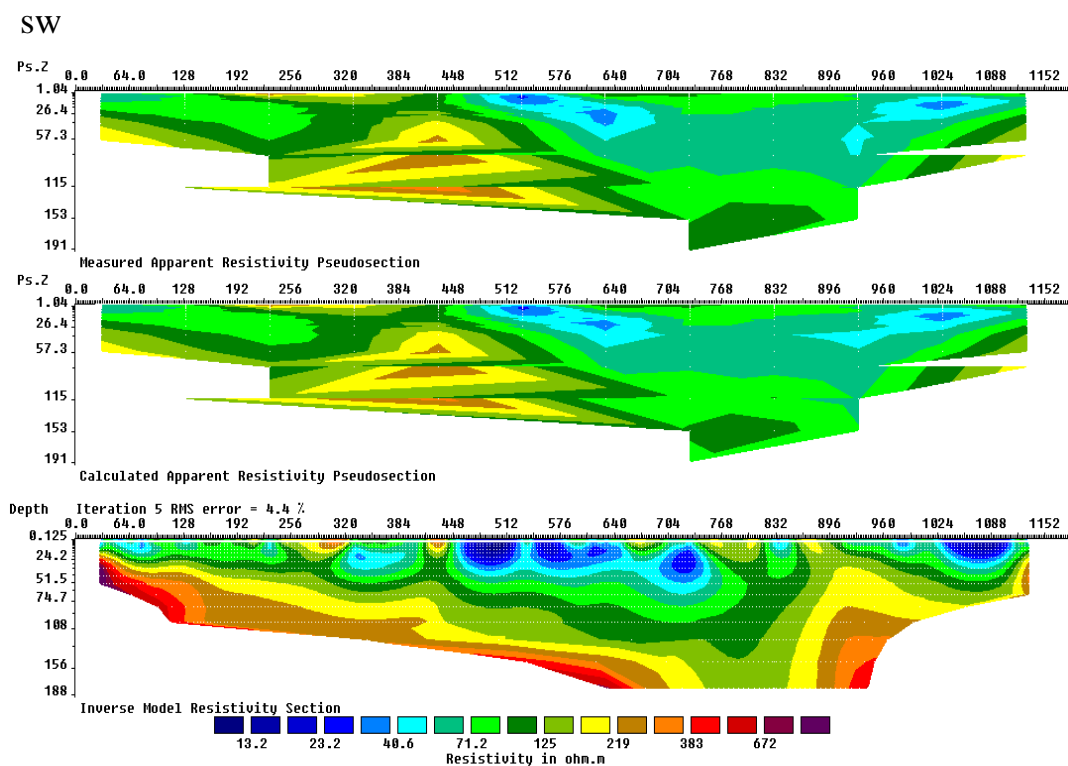


شکل ۶-۲ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل - سازی معکوس برای پروفیل B

### ۶-۲-۳ نتایج مدل سازی داده‌ها بر روی پروفیل C

برای تهیه شبه‌مقطع و همچنین مقطع مدل سازی شده پروفیل C (شکل ۶-۳) از داده‌های به دست آمده از ۱۲ سونداژ ژئوالکترونیک استفاده شده است. در محدوده سونداژ C1 طبق روند پروفیل - های قبل، مقاومت ویژه به سبب مجاورت به توده‌های مقاوم آهکی بالاست و لایه آبداری هم مشاهده نمی‌شود. چنانچه در شکل مشخص است، بالا آمدگی سنگ کف در این قسمت مشاهده می‌شود. در محدوده سونداژ C2 در عمق تقریباً ۲۰ متری لایه آبدار قابل مشاهده است. سنگ کف از رسوبات مقاوم در عمق تقریبی ۸۰ متری قرار دارد. در محدوده سونداژهای C3 تا C8 لایه آبدار با مقاومت -

ویژه ۵۰-۸۰ اهم متر می باشد؛ که در عمق ۸ تا ۶۰ متری می باشد. در محدوده سونداژهای C2 تا C8 در زیر لایه آبدار، لایه هایی با مقاومت ویژه بالایی در حدود ۲۰۰ اهم متر و بالاتر دیده می شود؛ که سنگ کف محدوده مذکور را تشکیل می دهد. محدوده بین سونداژهای C9 تا C1 به بالا آمدگی توده مقاوم آهکی سنگ کف و کاهش ضخامت لایه آبرفتی در سطح پتانسیل آبی مطلوبی مشاهده نمی شود. همچنان که نتایج تفسیرهای یک بعدی و وجود چاه های خشک و متروکه کشاورزی در این قسمت شاهد بر این امر است.



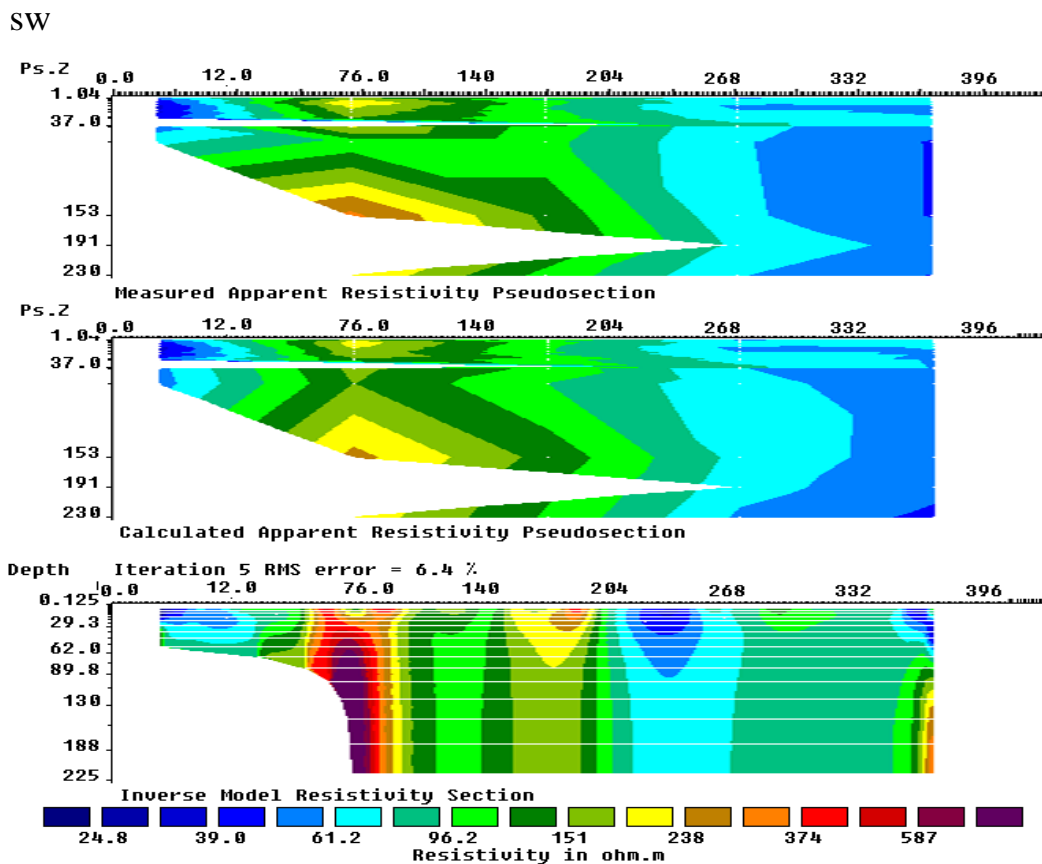
شکل ۳-۶ شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل سازی معکوس برای پروفیل C

## ۴-۲-۶ نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل D

شکل (۴-۶) شبه مقطع و مقطع مدل سازی پروفیل D است؛ که از داده های مربوط به ۵ سونداژ ژئوالکتریک این پروفیل به دست آمده است. به دلیل عدم تساوی تعداد فواصل الکترودی، در برداشت داده های ۵ سونداژ، شکل مربوطه از نظم هندسی برخوردار نیست. در این شکل به طور تقریبی

افزایش مقاومت ویژه در قسمت شرق و غرب به تبعیت از پروفیل‌های همجوار خود قابل مشاهده است. و در محدوده بین سونداژ D2 تا D3 افزایش مقاومت ویژه، به علت ادامه حضور تاقدیس ذکر شده دیده می‌شود. در نزدیکی مکان سونداژ D1 وجود چاه‌های کشاورزی با عمق کم و با آبدهی بالا، حاکی از حضور لایه آبدار است. همان‌طور که در مقطع مدل‌سازی شده نیز مشاهده می‌شود، لایه آبدار در این محدوده دارای مقاومت ویژه ۵۰ تا ۸۰ اهم‌متر است.

در محدوده سونداژ D3 و D4 که در سمت چپ تاقدیس قرار دارند؛ افزایش عمق و ضخامت لایه آبدار دیده می‌شود. در محدوده سونداژ D5 نیز به تبع از پروفیل‌های مجاور، باز هم بالا آمدگی سنگ کف مشاهده می‌شود؛ که باعث کاهش ضخامت و عمق لایه آبدار می‌شود. همچنین در فاصله‌ی ۴۲۰ متری از سونداژ D4 چاه رودباران قرار دارد؛ که در عمق ۱۰۱ متری به آب رسیده است.



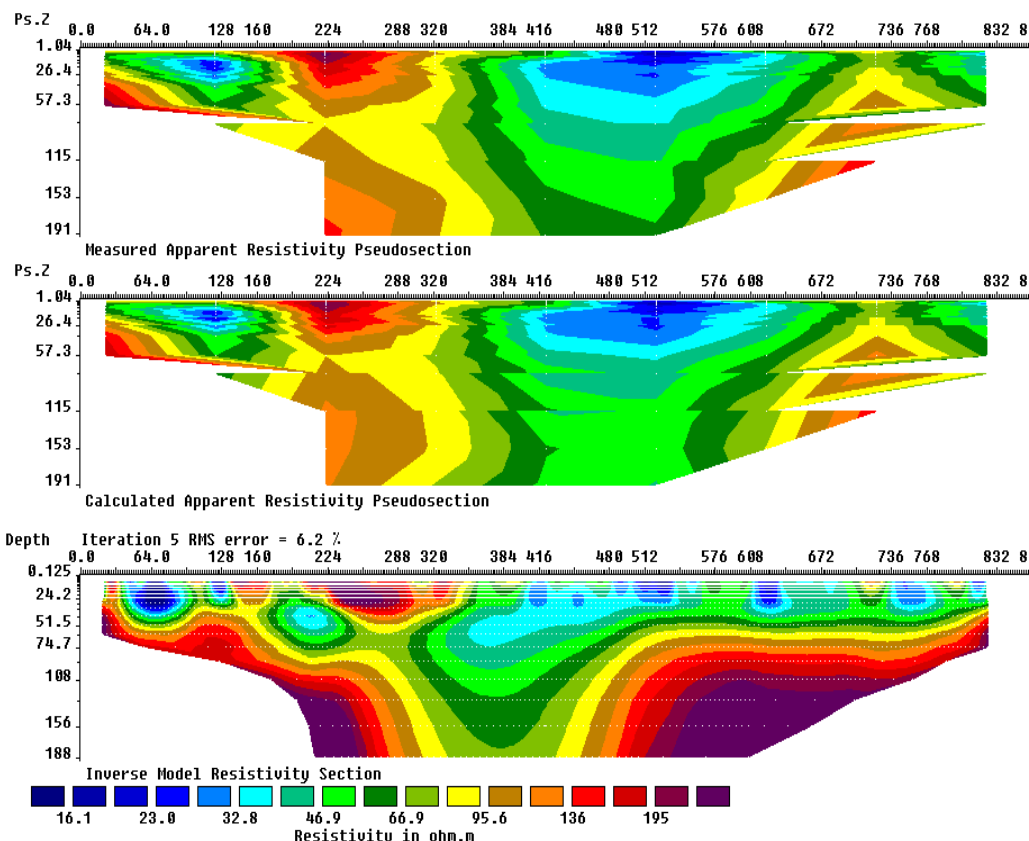
شکل ۴-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل - سازی معکوس برای پروفیل D

## ۵-۲-۶ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل E

مقطع و شبه‌مقطع پروفیل E (نشان داده شده در شکل ۵-۶) همانند مقاطع قبلی از داده‌های مربوط به ۹ سونداژ ژئوالکترونیک حاصل شده است. در این پروفیل، افق فوقانی با مقاومت‌ویژه بین ۱۶ تا ۲۰۰ اهم‌متر از رسوبات دانه‌ریز تراس و آبرفت‌های قدیم تا رسوبات دانه‌درشت تخریبی تشکیل شده است. همان‌طور که در شکل (۵-۶) دیده می‌شود؛ محدوده سونداژ E1 در اعماق خیلی کم دارای مقاومت‌ویژه بالایی است؛ که به دلیل هم‌جواری با توده‌های بیرون‌زده‌ی آهکی می‌باشد. در محدوده بین سونداژهای E2 تا E4 باز هم به دلیل عملکرد تاقدیس تا حدودی بالا آمدگی سنگ کف مشاهده می‌شود. در این محدوده لایه‌های سطحی به علت حضور رسوبات دانه‌درشت دارای مقاومت‌ویژه بالایی هستند. در محدوده سونداژ E3 در عمق ۶۰ متری لایه آبداری با مقاومت‌ویژه بین ۶۰-۷۰ اهم‌متر دیده می‌شود. در محدوده بین سونداژ E4 تا E5 افزایش ضخامت لایه آبدار با مقاومت‌ویژه بین ۳۰-۶۰ اهم‌متر قابل تشخیص است؛ که با نتایج تفسیر یک بعدی نیز مطابقت دارد. در محدوده بین سونداژ E6 تا E8 بالا آمدگی سنگ کف و کاهش ضخامت لایه آبدار مشاهده می‌شود. در محدوده بین سونداژ E6 و E7 چاه انجدان قرار دارد؛ که در عمق ۸۳ متری به آب رسیده است. و نهایتاً مجاورت سونداژ E9 با توده‌های مقاوم آهکی بالا آمده، باعث عدم حضور لایه آبدار در محدوده این سونداژ است.



SW

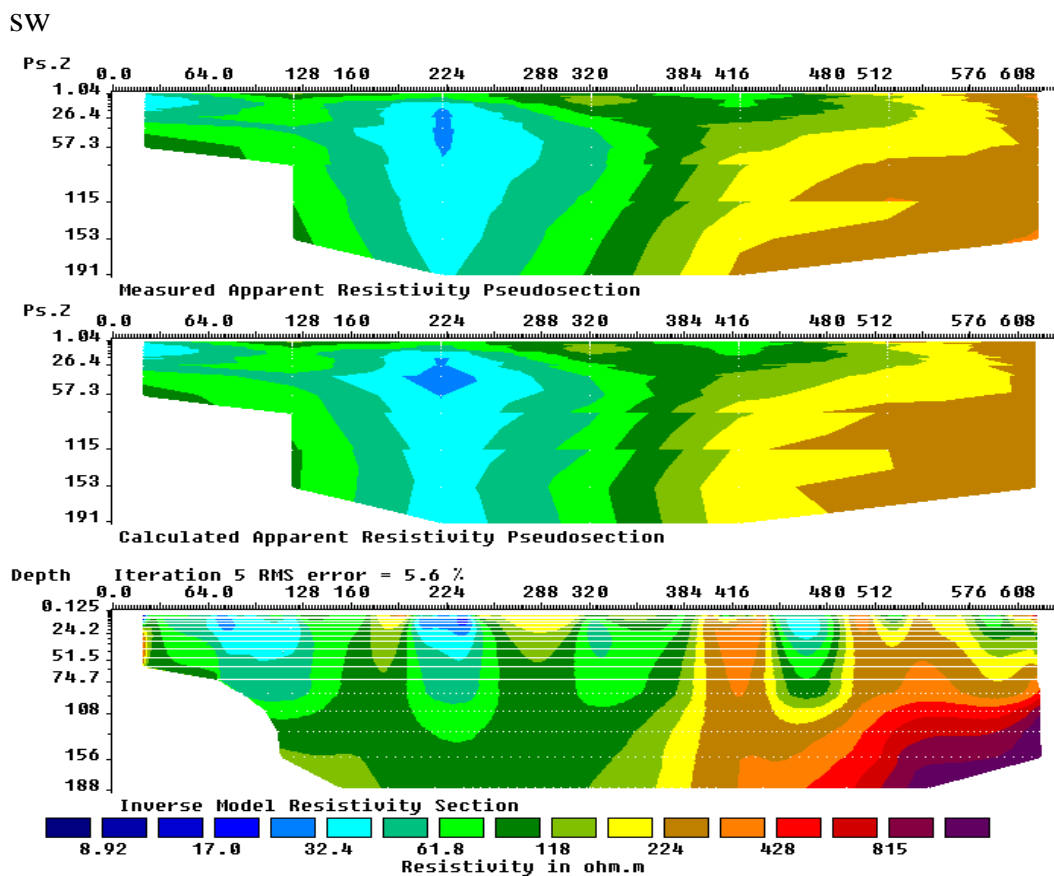


شکل ۶-۵ شبه‌مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل - سازی معکوس برای پروفیل E

### ۶-۲-۶ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل F

شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی شده پروفیل F (شکل ۶-۶) از روی داده‌های ۷ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر روی این پروفیل حاصل شده است. با توجه به مدل به دست آمده، مقاومت‌ویژه از سمت غرب به شرق در حال افزایش است. در محدوده بین سونداژ F1 تا F5 در زیر افق فوقانی که از آبگذری مناسبی برخوردار است؛ لایه آبداری با ضخامت ۴۰-۶۰ متر و با مقاومت‌ویژه بین ۴۰-۷۰ اهم‌متر وجود دارد؛ که با نتایج مدل‌سازی یک‌بعدی و نیز وجود چاه‌های آب با آبدهی بالا در این محدوده مطابقت دارد. همچنین در لایه‌های سطحی به دلیل وجود رسوبات دانه‌ریز تا دانه‌درشت خشک، مقاومت‌ویژه به مقدار ۲۰۰ اهم‌متر هم می‌رسد.

در قسمت شرق پروفیل بالا آمدگی سنگ کف قابل تشخیص است؛ که این امر می‌تواند به دلیل عملکرد گسل‌های فرعی باشد و با توجه به مقطع مدل‌سازی شده و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، مقاومت ویژه بالای این محدوده (۱۰۰ - ۸۰۰ اهم‌متر) نشان‌دهنده‌ی سنگ کف آهکی است. این بالا آمدگی باعث کاهش ضخامت لایه‌ی آبرفت سطحی شده و عملاً لایه آبداری در این محدوده مشاهده نمی‌شود.



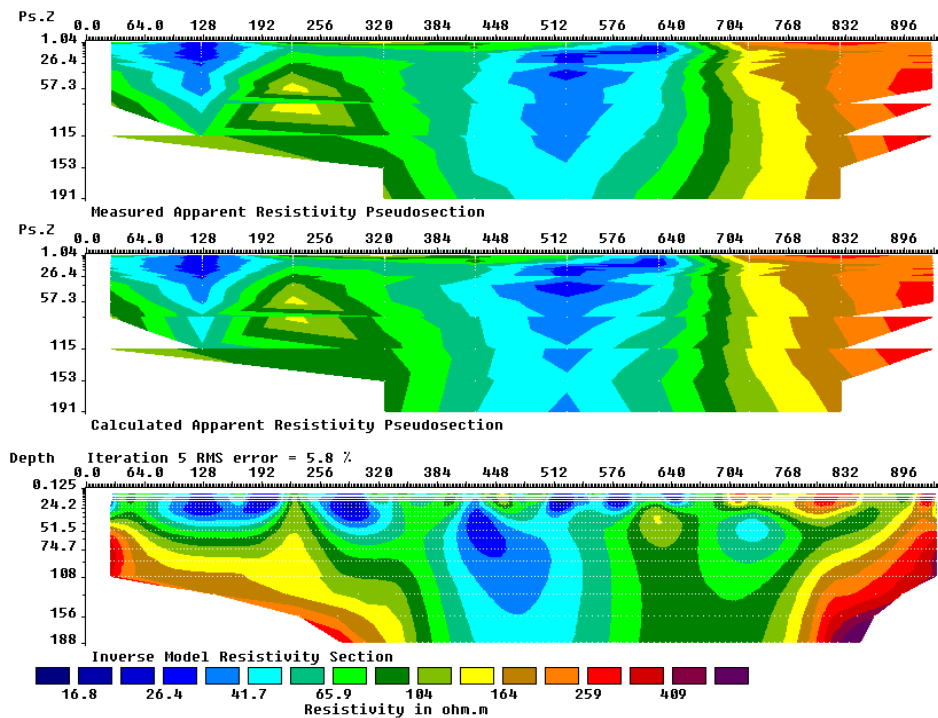
شکل ۶-۶ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل F

## ۷-۲-۶ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل G

شکل (۷-۶)، شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی شده پروفیل G که از روی داده‌های مربوط به ۱۰ سونداژ ژئوالکتریک این پروفیل به دست آمده، را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در محدوده سونداژ G1 به علت هم‌جواری با توده‌های مقاوم آهکی، افزایش مقاومت ویژه در عمق خیلی کم مشاهده می‌-

شود. با توجه به اطلاعات چاه‌های منطقه و نتایج به دست آمده از تفاسیر یک‌بعدی، محدوده بین سونداژ G2 تا G8 پوشیده از آبرفت‌های قدیم دانه‌ریز تا دانه‌متوسط است. همچنین در این محدوده لایه آبداری با مقاومت‌ویژه بین ۴۰-۷۰ اهم‌متر و با ضخامت بین ۳۰-۱۰۰ متر وجود دارد. این لایه در محدوده سونداژ G2 کمترین ضخامت را دارد و در محدوده بین G5 تا G6 حداکثر ضخامت آن نزدیک به ۱۰۰ متر است. همچنین در فاصله ۲۸۰ متری سونداژ G3، چاه آق‌دره وجود دارد؛ که در عمق ۶۰ متری به آب رسیده است. سونداژهای G9 و G10 در قسمت شرق گسل اصلی تبرته قرار گرفته‌اند؛ که همان طور که در شکل مشخص است، عملکرد این گسل باعث بالا آمدن سنگ کف شده و همین امر موجب عدم حضور لایه آبدار در این محدوده شده است.

SW

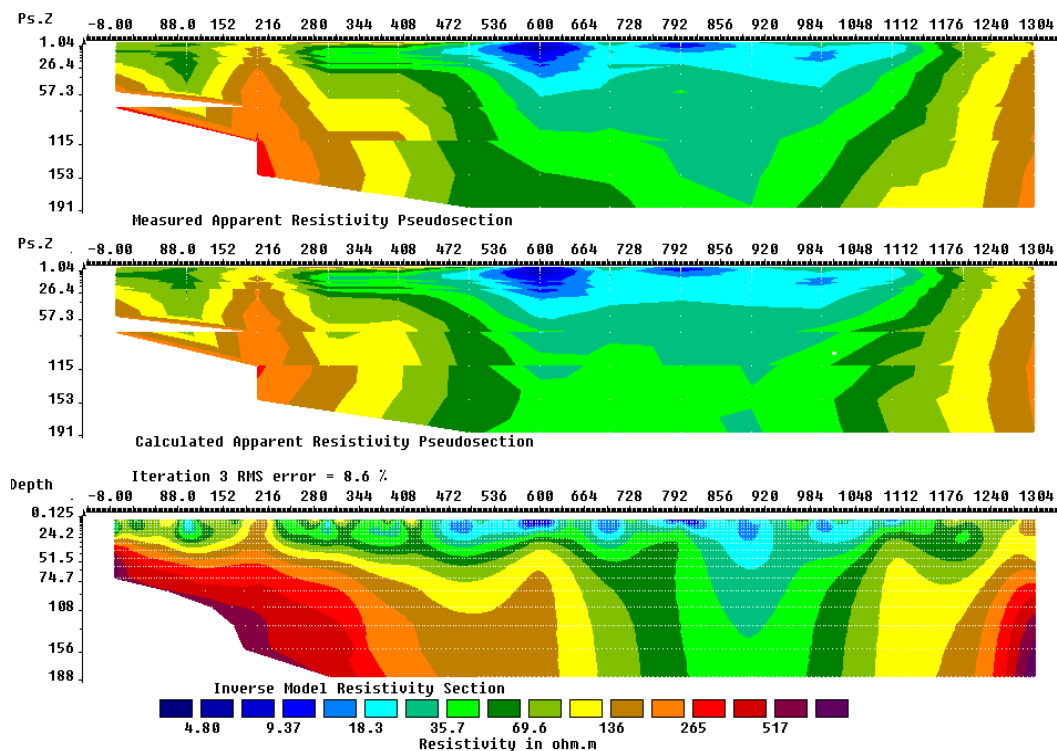


شکل ۶-۷ شبه‌مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل - سازی معکوس برای پروفیل G

## ۸-۲-۶ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل H

شکل (۸-۶) نتیجه وارون‌سازی پروفیل H را نشان می‌دهد. این پروفیل از ۱۳ سونداژ ژئوالکتریکی تشکیل شده است. با توجه به شکل، باز هم روند افزایش مقاومت‌ویژه را در اطراف پروفیل و کاهش مقاومت‌ویژه در مرکز پروفیل قابل مشاهده است. این پروفیل در سمت غرب خود، در محدوده سونداژهای H1 تا H3 به خاطر بالآمدگی سنگ کف و نداشتن ضخامت کافی آبرفت لایه‌های سطحی، پتانسیل ضعیفی برای ذخیره‌ی آب دارد. هر چند در محدوده بین سونداژهای H4 تا H10 افزایش ضخامت آبرفت، وجود لایه آبدار و کاهش مقاومت‌ویژه لایه‌ها را نشان می‌دهد. این قسمت از تراس‌ها و آبرفت‌هایی با رسوبات متوسط تا ریزدانه تشکیل شده است؛ ولی در محدوده بین سونداژهای H1 تا H13 به خاطر عملکرد گسل تبرته و بالآمدگی توده مقاوم آهکی سنگ کف، باز هم عدم وجود لایه آبدار و کاهش ضخامت آبرفت دیده می‌شود.

SW



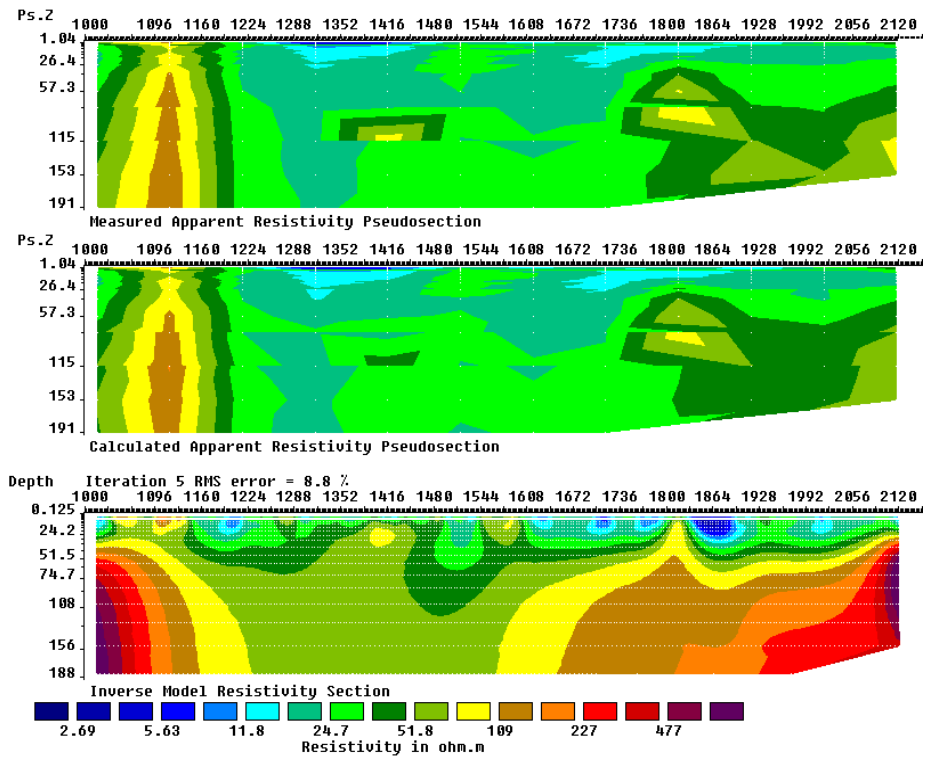
شکل ۶-۸ شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل سازی معکوس برای پروفیل H

## ۶-۲-۹ نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل I

این پروفیل در راستای جنوب غرب - شمال شرق و در راستای عمود بر گسل تبرته اجرا شده است (شکل ۶-۹)؛ که شامل ۱۲ سونداژ می باشد. تغییرات جانبی مقاومت ویژه بین سونداژهای اول تا سوم در عمق حدوداً ۳۰ متری از ۱۰۰ تا ۶۰۰ اهم متر، در حال تغییر است. این تغییرات شدید، ممکن است به خاطر عملکرد گسل احتمالی در این محدوده باشد.

حضور لایه آبدار هم از سونداژ I3 تا I12 قابل مشاهده می باشد. در فاصله ۲۰۰ متری از سونداژ I6، چاه ملک آباد وجود دارد؛ که در عمق ۲۳ متری از سطح زمین به آب رسیده است. البته در محدوده بین سونداژهای I8 تا I12 به دلیل عملکرد گسل تبرته و بالا آمدگی سنگ کف، کاهش ضخامت آبرفت، و در نتیجه کاهش ضخامت لایه آبدار مشاهده می شود. ضخامت لایه آبدار در محدوده بین سونداژهای I5 تا I7 به حداکثر مقدار خود می رسد.

SW



شکل ۶-۹ شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل - سازی معکوس برای پروفیل I

## فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۱-۷ نتیجه‌گیری

با توجه به مدل‌های مقاومت‌ویژه به دست آمده، در نواحی مرکزی منطقه، سفره آب زیرزمینی عمدتاً حاوی رسوبات دانه‌ریز بوده و از رس قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد (با توجه به مقادیر نسبتاً کم مقاومت‌ویژه لایه آبدار در این نواحی). همچنین در این نواحی ضخامت لایه اشباع از آب حداکثر بوده و در برخی نواحی به ۱۲۰ متر هم می‌رسد. با حرکت به سمت نواحی جنوبی دشت، عمق آب زیرزمینی کاهش می‌یابد؛ که به ۸ متر هم می‌رسد. لایه آبدار در نواحی جنوبی دشت از کیفیت بهتری برخوردار است و دارای میزان املاح و رس کمتری می‌باشد؛ که وجود مقاومت‌ویژه زیاد لایه‌ی آبدار در این محدوده بیانگر این مساله است. به طور کلی در این پایان‌نامه نتایج را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر ارائه کرد:

۱- با توجه به نتایج به دست آمده از مدل‌سازی یک‌بعدی داده‌های ژئوالکتریکی به وسیله‌ی سه روش (مدل‌سازی به وسیله‌ی سرمنحنی‌ها، نرم‌افزار IX1D و نرم‌افزار IPI2win) و مقایسه آنها با اطلاعات چاه‌های منطقه، اطلاعات زمین‌شناسی و همچنین مدل به دست آمده از مدل‌سازی دوبعدی داده‌های ژئوالکتریکی، مشاهده می‌شود که نتایج به دست آمده از مدل‌سازی به وسیله‌ی نرم‌افزار IX1D تا حدود قابل ملاحظه‌ای نسبت به مدل‌سازی به وسیله‌ی نرم‌افزار IPI2win قابل قبول‌تر است. همچنین که مدل‌سازی با نرم‌افزار IPI2win خیلی سریع‌تر و آسان‌تر است. پس می‌توان نتیجه گرفت در تصحیح منحنی سونداژ شلومبرژه، روش گرافیکی از دقت و صحت بیشتر و روش ریاضی از سرعت بیشتری برخوردار می‌باشند.

۲- با رسم دو نقشه‌ی ایزوپیز، با استفاده از اطلاعات حاصل از چاه‌های پیژومتری و همچنین نتایج به دست آمده از تفاسیر یک‌بعدی و تایید نتایج مدل‌سازی انجام شده، جهت جریان آب نیز مشخص کردیم که از سمت جنوب شرق منطقه به سمت شمال غرب می‌باشد. که این نتایج با نقشه‌ی هم‌عمق سنگ کف هم مقایسه و تایید گردیده است.



۳- با به دست آوردن عمق سنگ کف، به بررسی گسل‌ها و چین‌های منطقه پرداخته‌ایم و همچنین نقش این گسل‌ها و تاقدیس موجود در منطقه در زهکشی آب و ایجاد آبخوان منطقه مشخص شد.

۴- برای تفسیر سونداژهای قائم ژئوالکتریکی، به خصوص در مواقعی که فواصل سونداژها از همدیگر زیاد است، فقط می‌توان مدل‌سازی و تفسیر یک‌بعدی سونداژها را انجام داد؛ که با استفاده از منحنی استاندارد و نرم‌افزار IX1D به طور قابل قبولی این مدل‌سازی و تفسیر یک‌بعدی انجام شده است. در این موارد، نتایج مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی کاملاً صحیح یا قابل قبول نبود. هر چند که می‌توان این نتایج را به طور تقریبی مورد استفاده قرار داد.

## ۲-۷ پیشنهادات

۱- با توجه نتایج به دست آمده از تفسیر منحنی‌های سونداژ شلومبرژه تصحیح شده و تایید اعتبار و صحت تصحیح به روش گرافیکی، توصیه می‌شود در صورت داشتن زمان کافی، برای مدل‌سازی دقیق‌تر و قابل قبول‌تر، روش تصحیح گرافیکی در اولویت قرار گیرد.

۲- با توجه به اینکه فاصله بین پروفیل‌های برداشت و همچنین فاصله بین نقاط سونداژ بر روی هر پروفیل نسبتاً زیاد بوده است ( فاصله بین پروفیل‌ها از یک کیلومتر و فاصله بین سونداژها از ۸۰۰ متر کمتر نبوده است)، پیشنهاد می‌شود به منظور به دست آوردن نتایج ژئوالکتریکی دقیق‌تر از زیر سطح زمین منطقه مورد مطالعه، علاوه بر داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده قبلی، برداشت‌های صحرایی مقاومت‌ویژه در بین پروفیل‌ها و سونداژهای برداشت شده موجود نیز انجام شود.

۳- با توجه به تکتونیزه بوده منطقه و حساسیت کم آرایش شلومبرژه به تغییرات جانبی، پیشنهاد می‌شود به منظور بررسی بیشتر و نمایش دقیق‌تر گسل‌های موجود، برداشت‌های ژئوالکتریک

با آرایش‌های نیم‌شلمبرژه یا قطبی - دوقطبی و دوقطبی - دوقطبی در راستای عمود بر گسل‌ها انجام شود.

۴- از آنجا که به دست آوردن عمق دقیق سطح آب در رسم منحنی‌های هم ارتفاع آب زیرزمینی و خطوط جریان، نقش بسیار مهمی دارد؛ لذا پیشنهاد می‌شود از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی مثل روش تشدید مغناطیسی پروتون سطحی، برای تعیین سطح آب استفاده گردد.

۵- در روش مقاومت‌ویژه، تشخیص وجود رس در لایه‌های آبدار عملاً بسیار مشکل یا غیر ممکن است. در صورتی که با استفاده از روش پلاریزاسیون القایی (IP) به راحتی می‌توان وجود رس یا لایه‌های رسی را تشخیص داد. به همین منظور روش پلاریزاسیون القایی می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای کنترل صحت تفسیرهای انجام شده و رفع برخی از ابهامات موجود (به عنوان مثال وجود رس در لایه‌های آبدار) مورد استفاده قرار گیرد.

## پیوست

## نتایج به دست آمده از تفسیر سونداژهای A1 تا I12 به کمک روش‌های مختلف

در این پیوست نتایج به دست آمده از تفسیر مدل‌سازی یک‌بعدی سونداژها با سه روش مختلف

در قالب جدول‌های پ-۱ تا پ-۷۳ نشان داده شده است.

جدول پ-۱-۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ A1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.16%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.74%		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۴/۱۵	۹۹/۴۷	۳/۷	۱۱۳	۳/۹	۱۱۲	لایه اول
۴/۱۶	۲۲۴	۴	۲۱۵/۵	۴/۱	۲۲۰	لایه دوم
۲۹	۸۶	۳۴	۱۰۳	۳۵	۱۰۳	لایه سوم
-	۱۰۲۶	-	۵۱۷	-	۵۱۲	لایه چهارم

جدول پ-۲-۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ A2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.06%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.14%		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱۶/۵	۲۲۵	۱۷/۸	۱۷۷	۱۸	۱۵۱	لایه اول
۱۷/۹	۱۲۰	۲۲/۸	۱۲۰	۲۲/۵	۱۲۰	لایه دوم
۱۱۶	۲۱۹	۱۱۶	۲۵۲	۱۱۶	۲۴۹	لایه سوم
-	۴۲۱۸	-	۴۳۵۱	-	۴۳۴۲	لایه چهارم

جدول پ-۳-۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ A3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.01%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.56%		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۳۶	۲۶۶	۲/۳۹	۲۵۳	۲/۲	۲۵۰	لایه اول
۸/۳۹	۲۰۰	۸	۲۰۷	۸/۲	۲۰۴	لایه دوم
۱۸/۳	۷۸/۹	۱۷	۷۲/۹۶	۱۷	۷۳/۷	لایه سوم
۲۱/۹	۲۴۵۱	۲۱/۳	۲۵۰۴	۲۲	۲۵۱۲	لایه چهارم
-	۱۹۵	-	۱۸۵	-	۱۸۸	لایه پنجم

جدول پ-۲-۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ B1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.23%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 1.8%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۴/۱۵	۸۲/۸	۳/۹۶	۸۳	۳/۸	۸۰	لایه اول
۱۷/۷	۱۲۹	۱۶/۹۶	۱۱۹	۱۷	۱۲۲	لایه دوم
-	۳۵۱	-	۳۵۲	-	۳۵۲	لایه سوم

جدول پ-۲-۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ B2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.66%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 4.22%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۴	۳۱۲	۱/۴	۲۴۱	۱/۴	۲۳۰	لایه اول
۷/۴	۱۳۸	۶/۳	۱۳۴	۶/۲	۱۳۶	لایه دوم
۲۶	۵۷	۲۸/۹	۵۴	۲۸	۵۲	لایه سوم
-	۳۰۹	-	۳۵۷	-	۳۴۲	لایه چهارم

جدول پ-۲-۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ B3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.8%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 3.05%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۳۰۴	۱/۸	۵۰۷	۱/۸	۵۰۰	لایه اول
۶/۱	۱۱۷	۷/۳	۱۱۰	۷/۳	۱۱۲	لایه دوم
۸/۵۷	۶۹	۹/۸	۶۹	۱۰	۶۹	لایه سوم
۱۷/۹	۲۲۳	۱۹	۲۱۲	۱۸	۲۱۰	لایه چهارم
۳۷	۴۴/۸	۳۷	۸۰	۳۷	۸۲	لایه پنجم
-	۱۰۷۶	-	۱۱۸۹	-	۱۲۰۵	لایه ششم

جدول پ-۲-۷ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ B4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.44%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 3.52%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۳	۵۲۹	۱	۴۲۴	۱/۵	۴۲۰	لایه اول
۱۱	۲۱۷	۱۲	۲۱۰	۱۲	۲۱۲	لایه دوم
۱۰	۱۲۳	۹/۸	۱۲۳	۱۰	۱۲۳	لایه سوم
-	۱۳۴۴	-	۱۴۰۱	-	۱۴۲۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 3.53%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 5.12%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲۹	۵۲	۳۲	۶۸	۳۰	۷۰	لایه اول
-	۸۶۵	-	۸۴۱	-	۸۲۰	لایه دوم

جدول پ-۲-۹ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.74%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.43%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۱۱۷	۲	۱۱۳	۲	۱۱۴	لایه اول
۸/۸	۱۴۷	۸/۳	۱۴۸	۸/۶	۱۴۸	لایه دوم
۱۸	۲۵	۱۸	۶۴	۱۸	۶۵	لایه سوم
-	۱۰۷۷	-	۹۲۳	-	۹۶۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۱۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.91%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.66%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۵۰۶	۱/۶	۵۰۲	۱/۶	۵۰۰	لایه اول
۶	۱۸۳	۶/۵	۱۷۸	۶/۶	۱۷۵	لایه دوم
۱۴۳	۸۰	۵۵	۷۹	۵۳	۸۰	لایه سوم
-	۱۵۳۶۵	-	۱۵۵۱۵	-	۱۵۶۳۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۱۱ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 3.02%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 3.86%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۰/۶۷	۴۴۱	۰/۷	۲۱۴	۰/۸	۲۱۵	لایه اول
۱۶	۱۷۸	۱۳	۱۷۱	۱۳	۱۷۰	لایه دوم
۱۲۱	۹۰	۸۵	۹۳	۸۰	۸۱	لایه سوم
-	۴۴۷	-	۴۴۸	-	۴۴۸	لایه چهارم

جدول پ-۲-۱۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 0.75%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 3.76%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۵	۱۶۴	۱/۳	۱۴۱	۱/۵	۱۴۵	لایه اول
۱۸	۱۱۹	۲۷	۱۰۴	۲۷	۱۰۲	لایه دوم
۱۶	۶۶	۱۶	۶۳	۱۶	۶۲	لایه سوم
-	۵۷۰	-	۴۱۳	-	۴۲۰	لایه چهارم

نت جدول پ-۲-۱۳ ایچ حاصل از تفسیر سونداژ C6

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.92%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.91%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۲	۶۳	۲/۳	۵۳	۲/۲	۵۰	لایه اول
۸/۳	۱۹	۲۳	۱۸	۲۷	۱۸	لایه دوم
۳۱	۳۸	۲۵	۶۰	۲۸	۵۸	لایه سوم
-	۴۸۸۰	-	۴۹۶۰	-	۴۹۵۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۱۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C7

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.88%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 3.007%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۶/۶	۱۰۸	۶/۴	۱۱۲	۶/۶	۱۱۵	لایه اول
۴۱	۱۸	۴۳	۱۹	۴۳	۱۹	لایه دوم
۱۸	۵۴	۱۸	۵۶	۲۳	۵۶	لایه سوم
-	۴۵۶	-	۴۶۶	-	۴۶۸	لایه چهارم

جدول پ-۲-۱۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C9

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.65%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 3.04%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۴	۱۰۲	۳	۸۱	۳/۳	۸۵	لایه اول
۳/۲	۶۲	۳/۲	۵۶	۳/۲	۶۱	لایه دوم
۲۰۹	۶۰	۱۷۷	۹۳	۱۸۵	۹۵	لایه سوم
-	۱۱۱۳۹	-	۱۴۸۰	-	۱۳۳۲	لایه چهارم

جدول پ-۲-۱۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C10

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.32%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 2.04%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳۰	۶۶	۳/۲	۶۹	۲	۷۰	لایه اول
۱۶۲	۴۳	۵۹	۴۳	۵۸	۴۳	لایه دوم
-	۴۶۸	-	۴۶۹	-	۴۶۹	لایه سوم

جدول پ-۲-۱۷ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C11

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.02%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 1.9%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۸/۳	۶۷	۸/۵	۷۶	۸/۵	۷۷	لایه اول
۳۰	۲۴	۲۸	۲۳	۲۰	۲۳	لایه دوم
-	۳۵۶	-	۳۵۹	-	۳۶۰	لایه سوم



جدول پ-۲-۱۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ C12

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.43%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.7%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۱۲۵	۱/۵	۱۲۶	۱/۵	۱۲۵	لایه اول
۷	۸۲	۶/۸	۸۷	۷	۸۷	لایه دوم
۱۱	۲۷	۱۱	۲۷	۱۱	۲۷	لایه سوم
۸۰	۲۲۴	۷۹	۲۱۴	۸۰	۲۲۰	لایه چهارم
-	۷۸۴	-	۷۹۰	-	۸۰۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۱۹ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ D1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.09%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.25%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۱۳	۱۲۳	۱	۱۱۰	۱	۱۱۰	لایه اول
۶/۳	۵۱	۵	۴۸	۵	۴۷	لایه دوم
۹۹	۳۸	۹۳	۳۶	۹۵	۳۶	لایه سوم
-	۴۹۳	-	۴۷۷	-	۴۸۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۲۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ D2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 3.23%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.58%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۴/۴	۱۵۳	۴/۳	۱۳۰	۴/۳	۱۳۰	لایه اول
۱۷	۲۹۵	۱۷	۲۸۳	۱۷	۲۸۰	لایه دوم
۳۱	۵۹	۳۱	۶۱	۳۱	۶۰	لایه سوم
-	۷۴۳	-	۷۱۳	-	۷۱۲	لایه چهارم

جدول پ-۲-۲۱ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ D3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.82%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 1.49%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۳	۱۸۹	۰/۸	۱۵۴	۱	۱۵۰	لایه اول
۲۰	۹۵	۴۵	۹۷	۴۲	۹۷	لایه دوم
۲۱۰	۶۱	۱۱۲	۵۴	۱۱۰	۵۶	لایه سوم
-	۳۵۷۰	-	۳۶۰۱	-	۳۶۲۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۲۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ D4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 1.97%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 1.45%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۶	۴۷	۳/۴	۳۴	۳/۳	۳۵	لایه اول
۳/۷	۱۰۱	۳/۵	۹۸	۳/۵	۹۵	لایه دوم
۲۳	۴۹	۲۱	۴۷	۲۱	۴۸	لایه سوم
۳۰	۱۴۳	۳۰	۸۱	۳۰	۸۰	لایه چهارم
۶۲	۱۹	۶۱	۱۹	۶۱	۱۹	لایه پنجم
-	۲۰۱	-	۱۸۷	-	۱۸۵	لایه ششم

جدول پ-۲-۲۳ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ D5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.18%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error = 1.32%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۹۱	۱/۸	۹۴	۱/۸	۹۵	لایه اول
۱/۸	۴۹	۱/۸	۴۴	۱/۸	۴۵	لایه دوم
۱۱	۷۸	۸/۹	۸۰	۹	۸۱	لایه سوم
۱۵	۴۱	۱۳	۳۷	۱۳	۳۷	لایه چهارم
۳۰	۱۱۱	۲۹	۱۱۸	۲۸	۱۱۷	لایه پنجم
۶۲	۱۶	۶۳	۱۶	۶۳	۱۶	لایه ششم
-	۱۱۳	-	۱۲۱	-	۱۲۰	لایه هفتم

جدول پ-۲-۲۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 4.13%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.06%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۶	۱۳۱	۳/۴	۱۶۱	۳/۴	۱۶۰	لایه اول
۳	۳۳	۲/۹	۳۳	۳	۳۳	لایه دوم
۳۴	۷۲	۲۹	۸۹	۳۰	۸۴	لایه سوم
-	۱۷۴۶	-	۲۰۲۴	-	۲۴۲۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۲۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.67%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =0.68%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۱۳۲	۱/۴	۱۱۲	۱/۱	۱۱۱	لایه اول
۷	۷۸	۷	۷۱	۷	۷۱	لایه دوم
۳۵	۱۸	۳۰	۱۵	۳۰	۱۵	لایه سوم
-	۲۸۸	-	۳۲۲	-	۳۲۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۲۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.55%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.7%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۴	۱۱۳	۲/۳	۱۲۴	۲/۳	۱۳۰	لایه اول
۱/۸	۷۵۵	۱/۸	۷۷۸	۱/۸	۷۸۰	لایه دوم
۵۸	۱۷۰	۵۷	۱۸۰	۵۷	۱۸۱	لایه سوم
۷۴	۳۶	۷۳	۳۶	۷۳	۳۶	لایه چهارم
-	۳۹۳	-	۳۹۴	-	۳۹۵	لایه پنجم

جدول پ-۲-۲۷ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 0.92%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.2%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲/۲	۸۲	۲/۲	۷۰	۲/۲	۷۰	لایه اول
۷/۲	۱۳۲	۶/۷	۱۲۲	۶/۶	۱۲۰	لایه دوم
۱۰	۴۷	۱۰	۴۳	۱۰	۴۳	لایه سوم
۲۳	۲۰۷	۲۳	۲۱۳	۲۳	۲۱۰	لایه چهارم
۱۴۳	۴۸	۱۳۴	۴۵	۱۳۵	۴۵	لایه پنجم
-	۴۳۲	-	۴۴۳	-	۴۴۰	لایه ششم

جدول پ-۲-۲۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 2.29%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.22%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۳/۶	۵۹	۴/۴	۶۶	۴/۴	۶۶	لایه اول
۳/۷	۱۱۲	۳/۶	۱۰۳	۳/۶	۱۰۲	لایه دوم
۷/۵	۱۷	۸/۲	۱۵	۸	۱۵	لایه سوم
۱۰۹	۳۵	۱۱۲	۳۵	۱۲۰	۳۵	لایه چهارم
-	۹۸	-	۱۰۲	-	۱۱۱	لایه پنجم

جدول پ-۲-۲۹ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E6

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error = 5.15%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =6.5%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲/۳	۴۱	۲/۱	۵۳	۲	۵۲	لایه اول
۲/۳	۶/۵	۲/۱	۱۱/۵	۱۲/۲	۶/۵	لایه دوم
۱۰۲	۲۵	۶۱	۲۸	۶۰	۲۸	لایه سوم
-	۱۰۲	-	۸۰	-	۸۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۳۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E7

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =0.83%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =4.02%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۶	۱۱۵	۲/۵	۱۱۱	۲/۵	۱۱۰	لایه اول
۶/۷	۳۱	۸	۲۶	۸	۲۵	لایه دوم
۳۹	۵۲	۴۳	۴۴	۴۴	۴۵	لایه سوم
۵۶	۲۹	۱۶	۳۱	۱۵	۳۰	لایه چهارم
-	۲۵۲	-	۲۷۶	-	۲۸۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۳۱ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E8

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.99%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.99%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۳	۱۰۵	۳	۱۰۳	۳	۱۰۳	لایه اول
۱۹	۶۴	۱۹	۶۹	۱۹	۷۰	لایه دوم
۹۱	۹۶	۴۴	۳۳	۴۵	۳۶	لایه سوم
-	۴۳۵	-	۴۳۱	-	۴۳۱	لایه چهارم

جدول پ-۲-۳۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ E9

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =4.68%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.5%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۴	۶۲	۲/۵	۶۸	۲/۵	۶۸	لایه اول
۲/۹	۹/۶	۲/۷	۱۰	۲/۲	۱۰	لایه دوم
۳/۶	۱۹۰	۳/۸	۲۰۷	۳/۸	۲۰۶	لایه سوم
۱۷	۱۵	۱۷	۱۴۱	۱۷	۱۴۴	لایه چهارم
-	۱۵۷	-	۱۹۵	-	۱۸۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۳۳ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.2%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.18%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۵۷	۱/۹	۶۶	۲	۶۶	لایه اول
۶/۲	۴۰	۵/۶	۳۷	۵/۵	۳۷	لایه دوم
۲۷	۳۲	۲۵	۲۷	۲۵	۲۷	لایه سوم
۳۹	۱۵۱	۳۵	۷۲	۳۵	۶۷	لایه چهارم
-	۱۶۸۰	-	۱۷۳۸	-	۱۷۴۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۳۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.24%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.69%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۱	۱۹۶	۱/۲	۱۳۴	۱/۲	۱۳۰	لایه اول
۹/۶	۱۰۵	۸/۸	۱۰۵	۸/۵	۱۰۵	لایه دوم
۸/۷	۳۵	۸/۴	۳۴	۸/۴	۳۴	لایه سوم
۲۰	۱۵۴	۲۰	۱۵۱	۲۰	۱۵۰	لایه چهارم
۸۱	۴۷	۸۰	۴۷	۸۰	۴۷	لایه پنجم
-	۱۴۹	-	۱۵۱	-	۱۵۰	لایه ششم

جدول پ-۲-۳۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.81%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.17%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱۱	۷۱	۱۰	۹۷	۱۰	۹۸	لایه اول
۵	۱۱/۸	۴۸	۱۲	۵۲	۱۲	لایه دوم
۴۳۵	۳۲	۱۴۲	۳۱	۱۲۰	۳۱	لایه سوم
-	۲۷۰	-	۷۸	-	۷۵	لایه چهارم

جدول پ-۲-۳۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.93%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.49%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۹	۶۶	۳/۵	۶۴	۳/۵	۶۴	لایه اول
۳/۹	۴۲۸	۳/۶	۳۵۸	۳/۶	۳۶۰	لایه دوم
۴۶	۷۲	۳۹	۹۰	۴۰	۹۰	لایه سوم
۵۱	۲۱	۵۰	۳۱	۵۰	۳۴	لایه چهارم
-	۱۶۵	-	۱۵۰	-	۱۵۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۳۷ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.83%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.57%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۱	۹۸	۲/۵	۹۰	۲/۵	۹۰	لایه اول
۲/۶	۳۳	۳	۲۶	۳	۲۶	لایه دوم
۳/۸	۳۹۱	۳	۳۳۳	۳	۳۴۰	لایه سوم
۱۲	۴۳	۱۴	۳۷	۱۴	۳۷	لایه چهارم
۲۹	۸۸۱	۲۶	۲۱۶	۲۶	۲۲۰	لایه پنجم
۷۲	۴۰	۶۷	۴۱	۶۵	۴۲	لایه ششم
-	۹۳۳۹	-	۹۳۷۲	-	۹۳۷۰	لایه هفتم

جدول پ-۲-۳۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F6

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.41%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.58%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۳۸۱	۲	۳۶۵	۲	۳۶۰	لایه اول
۶	۱۰۹	۴/۴	۹۸	۴/۴	۹۸	لایه دوم
۸/۵	۲۱۹	۷/۵	۲۷۴	۷/۵	۲۷۵	لایه سوم
۱۷	۶۶	۱۶	۶۹	۱۶	۶۵	لایه چهارم
۱۱۶	۲۴۸	۱۲۶	۲۳۹	۱۲۵	۲۴۰	لایه پنجم
-	۱۷۵۵	-	۱۷۱۲	-	۱۷۲۰	لایه ششم

جدول پ-۲-۳۹ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ F7

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.86%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.31%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۱۸۷	۲/۲	۲۱۴	۲/۲	۲۱۰	لایه اول
۶/۹	۳۸۴	۶/۶	۴۳۴	۶/۶	۴۳۰	لایه دوم
۱۰	۱۵۶	۶/۴	۱۵۵	۶/۵	۱۵۵	لایه سوم
۲۲	۴۶۱	۲۱	۴۷۷	۲۰	۴۷۵	لایه چهارم
۴۹	۱۰۹	۴۸	۱۰۸	۴۸	۱۰۸	لایه پنجم
-	۴۸۵	-	۴۷۵	-	۴۷۳	لایه ششم

جدول پ-۲-۴۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.78%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =5.33%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۳	۱۲۵	۳	۱۰۶	۳	۱۰۶	لایه اول
۱	۱۷	۱	۱۴	۱	۱۴	لایه دوم
۸۷	۵۹	۶۳	۵۲	۶۵	۵۰	لایه سوم
-	۳۵۱	-	۲۶۷	-	۲۶۵	لایه چهارم

جدول پ-۲-۴۱ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =4.07%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =5.61%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۰/۲	۱۲	۰/۴	۲۲	۰/۵	۲۴	لایه اول
۱۴۸	۳۱	۲۲	۲۹	۲۳	۳۰	لایه دوم
۲۱	۱۲۰	۲۵	۷۱	۲۴	۷۲	لایه سوم
۱۵	۳۰	۱۱	۴۵	۱۰	۳۶	لایه چهارم
-	۱۰۵۰۷	-	۱۰۴۸۹	-	۱۰۳۲۵	لایه پنجم



جدول پ-۲-۴۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.62%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.92%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۱	۲۰۹	۱/۱	۲۱۷	۱	۲۲۰	لایه اول
۵/۳	۸۲	۴/۸	۹۰	۴/۸	۹۰	لایه دوم
۵/۷	۲۸	۲۳	۳۰	۲۵	۳۲	لایه سوم
۳۳	۷۴	۳۸	۶۲	۳۸	۶۵	لایه چهارم
-	۳۱۰	-	۳۴۰	-	۳۴۰	

جدول پ-۲-۴۳ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.65%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.96%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۶	۱۵۱	۶	۱۴۴	۶	۱۴۵	لایه اول
۱۷	۳۹	۱۷	۳۸	۱۷	۳۸	لایه دوم
۳۷	۱۳۷	۳۳	۱۳۳	۳۲	۱۳۲	لایه سوم
۸۹	۳۹	۹۰	۵۶	۹۰	۵۸	لایه چهارم
-	۲۶۳	-	۲۷۵	-	۲۷۵	لایه پنجم

جدول پ-۲-۴۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.12%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱۸	۸۷	۱۷	۱۰۰	۱۷	۱۰۲	لایه اول
۷/۵	۲۳	۷	۲۳	۷	۲۳	لایه دوم
۱۰۳	۶۰	۱۰۵	۵۸	۱۰۵	۵۴	لایه سوم
۱۸۳	۲۷	۱۸۲	۲۷	۱۸۲	۲۷	لایه چهارم
-	۱۲۱۰	-	۸۱	-	۷۸	

جدول پ-۲-۴۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G6

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.1%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.29%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱۱	۵۰	۱۲	۷۶	۱۲	۷۵	لایه اول
۱۳	۸/۳	۱۲	۹/۵	۱۲	۱۰	لایه دوم
۱۸	۲۰۷	۲۵	۷۳	۲۴	۷۸	لایه سوم
۵۴	۱۱	۵۰	۱۲	۵۰	۱۲	لایه چهارم
-	۸۳	-	۷۴	-	۷۴	لایه پنجم

جدول پ-۲-۴۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G7

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.11%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.09%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۳/۶	۳۹	۳/۴	۶۲	۳/۴	۶۰	لایه اول
۳/۷	۵۰	۳/۴	۵۰	۳/۴	۵۰	لایه دوم
۷/۵	۱۲	۷/۶	۱۰	۷	۱۰	لایه سوم
۴۶	۸۹	۴۱	۷۹	۴۰	۷۰	لایه چهارم
۶۲	۱۷	۶۱	۱۶	۶۰	۱۵	لایه پنجم
-	۲۳۲	-	۲۴۳	-	۲۴۵	لایه ششم

جدول پ-۲-۴۷ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G8

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.79%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.44%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱۰	۲۵۳	۱۰	۲۲۹	۱۰	۲۲۸	لایه اول
۱۸	۱۰۲	۱۶	۸۶	۱۵	۸۶	لایه دوم
۲۷	۳۶۸	۲۶	۱۹۹	۲۶	۱۷۲	لایه سوم
۶۱	۴۱	۵۸	۴۰	۶۰	۴۰	لایه چهارم
-	۲۱۲	-	۲۰۳	-	۲۰۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۴۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G9

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.76%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.04%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۳۵۴	۱/۸	۳۱۸	۱/۸	۳۲۰	لایه اول
۵/۵	۲۸۰	۷/۳	۲۷۶	۷	۲۷۴	لایه دوم
۲۲	۱۶۹	۲۳	۱۷۱	۲۳	۱۷۰	لایه سوم
۹۳	۲۳۷	۸۹	۲۶۳	۹۰	۲۶۰	لایه چهارم
۱۲۶	۱۲۰	۱۲۸	۱۰۸	۱۳۰	۱۰۸	لایه پنجم
-	۲۴۱	-	۲۵۶	-	۲۵۴	

جدول پ-۲-۴۹ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ G10

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =0.8%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.29%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۵/۹	۲۷۵	۶/۴	۲۱۵	۶/۴	۲۱۵	لایه اول
۴/۲	۳۰۳	۳/۸	۲۰۵	۳/۸	۲۰۰	لایه دوم
۸۹	۲۷۰	۳۹	۲۲۸	۴۰	۲۳۲	لایه سوم
-	۴۴۴	-	۳۹۰	-	۳۸۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۵۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.81%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.97%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۷/۳	۱۰۱	۷	۱۳۱	۷	۱۳۰	لایه اول
۳۲	۵۱	۳۲	۵۲	۳۲	۵۲	لایه دوم
-	۴۱۶۵۷	-	۴۱۸۸۲	-	۴۱۸۷۰	لایه سوم

جدول پ-۲-۵۱ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.8%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.9%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲/۳	۱۰۹	۲/۲	۱۲۴	۲/۲	۱۲۵	لایه اول
۴/۳	۳۵	۳/۸	۳۴	۳/۸	۳۴	لایه دوم
۵	۱۶۷	۵	۱۷۷	۵	۱۸۰	لایه سوم
۷۳	۴۱	۷۸	۴۳۲	۷۸	۴۳۱	لایه چهارم
-	۲۲۸۰۴	-	۲۲۹۷۸	-	۲۲۹۸۸	لایه پنجم

جدول پ-۲-۵۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.17%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =4.97%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲/۶	۱۱۹	۲/۷	۱۴۷	۲/۸	۱۵۰	لایه اول
۳/۳	۵۵	۲/۸	۱۰۱	۲/۸	۱۰۱	لایه دوم
۵/۶	۲۷۳	۵/۸	۳۸۰	۵/۸	۳۸۰	لایه سوم
۱۵	۵۷	۱۳	۲۱۱	۱۲	۲۰۳	لایه چهارم
۳۲	۱۰۶۹	۳۰	۱۰۷۵	۳۰	۱۰۸۰	لایه پنجم
۸۴	۷۱	۸۱	۶۵۰	۸۰	۶۰۲	لایه ششم
-	۲۳۵۰۷	-	۲۳۴۸۴	-	۲۳۴۲۱	لایه هفتم

جدول پ-۲-۵۳ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =0.93%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.89%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲	۵۰۳	۱/۷	۲۰۲	۱/۸	۱۹۰	لایه اول
۶/۹	۱۲۰	۶/۴	۷۹	۶/۵	۸۰	لایه دوم
۴۳	۴۴	۳۳	۲۷	۳۴	۳۰	لایه سوم
-	۲۰۰	-	۳۳۳	-	۳۴۶	لایه چهارم

جدول پ-۲-۵۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.22%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.51%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۱۳۵	۱/۴	۶۸	۱/۵	۶۰	لایه اول
۵/۵	۴۴	۶/۴	۱۴	۶/۴	۱۶/۲	لایه دوم
۲۳	۱۹	۱۵	۶/۸	۱۵	۶/۴۸	لایه سوم
۳۰	۱۶۱	۲۸	۳۵	۲۵	۳۲/۴	لایه چهارم
-	۵۳	-	۲۱۷	-	۲۹۱	لایه پنجم

جدول پ-۲-۵۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H6

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.76%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =5.22%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۰/۳	۳۳۰	۰/۳	۱۴۲	۰/۳	۱۴۰	لایه اول
۵/۸	۱۰	۳۰	۸/۶	۲۶	۷۰	لایه دوم
۵/۳	۲/۵	۵/۹	۲/۳	۶	۲/۲	لایه سوم
۸۷	۲۳	۸۱	۲۵	۸۰	۳۰	لایه چهارم
-	۲۱۹	-	۲۲۰	-	۲۲۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۵۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H7

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.37%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =4.07%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۶	۲۸	۳/۳	۳۵	۳/۲	۳۶	لایه اول
۵۷	۲۲	۶۹	۲۳	۶۵	۲۳	لایه دوم
۱۸۹	۳۳	۱۶۵	۳۱	۱۶۲	۳۰	لایه سوم
-	۵۵۰	-	۵۵۳	-	۵۵۲	لایه چهارم

جدول پ-۲-۵۷ تایج حاصل از تفسیر سونداژ H8

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =5.94%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =1.24%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۵	۱۱۴	۲/۷	۲۱۹	۲/۸	۲۲۰	لایه اول
۲/۸	۲/۷	۳۷	۱۶	۳۵	۱۵	لایه دوم
۱۰۰	۴۸	۱۲۶	۳۷	۱۲۰	۳۷	لایه سوم
۸۲	۹	۷۸	۱۰	۷۵	۱۰	لایه چهارم
-	۳۴۴	-	۳۴۳	-	۳۴۲	لایه پنجم

جدول پ-۲-۵۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H9

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.22%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.51%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۶	۲۷	۳/۶	۳۷	۳/۶	۳۸	لایه اول
۳/۷	۱۵	۳/۸	۱۵	۳/۸	۱۵	لایه دوم
۷/۵	۳۳	۷/۴	۲۸	۷/۴	۳۰	لایه سوم
۴۶	۱۸	۴۶	۱۸	۴۶	۱۸	لایه چهارم
۶۲	۶۲	۶۳	۴۴	۶۴	۴۵	لایه پنجم
۱۲۶	۱۹	۱۲۸	۱۹	۱۲۸	۱۹	لایه ششم
-	۶۰	-	۶۱	-	۶۲	لایه هفتم

جدول پ-۲-۵۹ تایج حاصل از تفسیر سونداژ H10

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.97%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.23%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۷/۷	۳۷	۸/۵	۳۵	۸/۵	۳۵	لایه اول
۳۳	۱۳	۲۹	۱۲	۳۰	۱۲	لایه دوم
۲۰۸	۳۶	۱۱۴	۳۷	۱۱۲	۳۸	لایه سوم
-	۳۴۶۴	-	۳۴۸۶	-	۳۴۹۲	لایه چهارم

جدول پ-۲-۶۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H11

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.34%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.64%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۹	۳۲	۲/۸	۳۱	۲/۸	۳۱	لایه اول
۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	لایه دوم
۱۵۸	۴۶	۱۴۸	۲۵۱	۱۵۰	۲۴۳	لایه سوم
-	۷۸۹۵	-	۸۰۴۷	-	۸۱۲۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۶۱ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H12

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.6%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =4.16%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۵۸	۲/۷	۳۶	۲/۸	۳۸	لایه اول
۱/۸	۲۵۵	۲	۲۶۱	۲	۲۶۲	لایه دوم
۲۶	۶۲	۲۲	۱۴۵	۲۰	۱۳۶	لایه سوم
-	۱۱۳	-	۱۹۲	-	۱۸۱	لایه چهارم

جدول پ-۲-۶۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ H13

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =0.9%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.98%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۱۵۵	۲/۸	۱۵۹	۳	۱۶۰	لایه اول
۵/۵	۱۲۱	۶/۳	۱۱۶	۶/۲	۱۱۴	لایه دوم
۲۲	۱۴۲	۲۰	۱۴۱	۲۰	۱۴۱	لایه سوم
۳۰	۲۵۴	۲۸	۲۰۸	۲۸	۲۱۰	لایه چهارم
۱۸۹	۱۷۱	۱۷۵	۱۶۶	۱۷۷	۱۶۵	لایه پنجم
-	۳۳۵	-	۳۵۸	-	۳۶۰	لایه ششم

جدول پ-۲-۶۳ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I1

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.04%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.73%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۲/۲	۱۵۹	۲	۸۴	۲	۸۵	لایه اول
۱۷	۲۸	۵/۲	۲۶	۵/۱	۲۶	لایه دوم
۱۹	۱۴	۲۰	۱۳	۲۰	۱۲	لایه سوم
۲۰۰	۵۲	۶۴	۱۲۳	۶۲	۱۲۳	لایه چهارم
-	۱۱۵	-	۲۸۵	-	۲۸۴	لایه پنجم

جدول پ-۲-۶۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I2

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.07%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.01%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۸	۱۶۷	۱/۴	۱۶۲	۱/۲	۱۶۰	لایه اول
۵/۵	۱۳۴	۴۵	۱۰۷	۴۳	۱۰۸	لایه دوم
۷/۵	۴۹	۱۱	۴۷	۱۲	۴۶	لایه سوم
-	۱۴۲	-	۱۳۹	-	۱۴۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۶۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I3

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =4.47%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.14%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	t (m)	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	مشخصات
۱/۷	۹/۴	۱/۵	۱۰	۱/۵	۱۲	لایه اول
۲/۹	۴۹	۳/۲	۵۲	۳/۲	۵۲	لایه دوم
۲۴	۱۳۰	۱۰	۱۸۰	۹/۲	۱۸۰	لایه سوم
۴۱	۳۰	۳۲	۵۴	۳۷	۵۴	لایه چهارم
-	۲۵۴	-	۱۰۷	-	۱۰۸	لایه پنجم



جدول پ-۲-۶۶ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I4

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.48%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.39%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۲/۷	۲/۴	۲/۹	۲/۵	۳	۲/۵	لایه اول
۳	۱۹۰	۲/۷	۱۷۲	۲/۸	۱۷۰	لایه دوم
۱۸	۵/۳	۴۱	۵/۴	۳۷	۵/۵	لایه سوم
۷۰	۵۲	۶۷	۵۲	۶۸	۵۲	لایه چهارم
۹۶	۴/۹	۹۵	۲۲	۹۵	۲۷	لایه پنجم
-	۵۴۵	-	۵۴۷	-	۵۴۷	لایه ششم

جدول پ-۲-۶۷ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I5

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.4%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =4.11%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۵	۱۷	۱/۷	۳۶	۱/۸	۳۶	لایه اول
۱/۷	۲/۳	۱/۷	۲/۴	۱/۸	۲/۴	لایه دوم
۸۸	۲۲	۳۹	۲۲	۳۸	۲۲	لایه سوم
۴۱	۲۹	۵۰	۵۹	۵۰	۵۶	لایه چهارم
-	۱۵۰	-	۲۸۰	-	۲۸۳	لایه پنجم

جدول پ-۲-۶۸ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I6

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =4%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =7.81%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۳	۴/۹	۰/۸	۵/۶	۱	۵/۵	لایه اول
۸	۳۴	۱۳	۳۹	۱۳	۴۰	لایه دوم
۱۲۱	۲۱	۱۹۸	۲۴/۸	۱۹۴	۲۵	لایه سوم
-	۲۸۰	-	۲۶	-	۲۶	لایه چهارم

جدول پ-۲-۶۹ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I7

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =1.92%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.71%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۸	۱۶	۱/۶	۱۷	۱/۶	۱۷	لایه اول
۱/۸	۸/۵	۱/۸	۷/۶	۱/۸	۷	لایه دوم
۳/۷	۵۳	۴	۶۴	۴	۶۴	لایه سوم
۱۷	۲۰	۱۱	۱۸	۱۲	۱۸	لایه چهارم
۴۴	۵۲	۳۸	۵۴	۳۷	۵۴	لایه پنجم
-	۱۳۰	-	۷۳	-	۷۲	لایه ششم

جدول پ-۲-۷۰ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I8

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.58%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =3.94%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۳/۹	۲۳	۳/۶	۲۳	۳/۶	۲۳	لایه اول
۲/۹	۷	۲/۸	۱۶/۹	۲۱/۸	۶/۴	لایه دوم
۵۳	۲۰	۴۷	۲۳	۴۵	۲۳	لایه سوم
۲۲	۴۵	۳۳	۱۴۲	۳۲	۱۴۸	لایه چهارم
-	۲۹۸	-	۲۹۳	-	۲۹۱	لایه پنجم

جدول پ-۲-۷۲ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I9

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =3.42%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.51%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۳	۳۹	۱/۵	۳۰	۱/۵	۳۰	لایه اول
۱۲	۱۷	۱۸	۱۶	۲۸	۱۶	لایه دوم
۳۲	۵۸	۲۸	۳۷	۲۲	۳۸	لایه سوم
-	۱۱۳۱۸	-	۱۵۹۵	-	۱۶۲۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۷۳ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I10

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2.64%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.66%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۰/۶	۸۴	۰/۶	۸۷	۰/۶	۸۸	لایه اول
۶/۲	۱۳	۶/۲	۱۳	۶/۲	۱۳	لایه دوم
۲۱	۲۳	۳۶	۲۴	۳۵	۲۴	لایه سوم
۴۷	۴۴	۱۲	۳۶	۱۲	۳۵	لایه چهارم
-	۹۲۱	-	۹۳۲	-	۹۴۰	لایه پنجم

جدول پ-۲-۷۴ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I11

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =2%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.26%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۱/۲	۹۳	۱/۲	۷۲	۱/۲	۷۰	لایه اول
۱۹	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	لایه دوم
۱۱۴	۲۶	۲۳	۳۶	۲۴	۳۶	لایه سوم
-	۱۴۲	-	۱۳۷	-	۱۳۰	لایه چهارم

جدول پ-۲-۷۵ نتایج حاصل از تفسیر سونداژ I12

تفسیر با نرم افزار IPI2win PMS error =8.29%		تفسیر با نرم افزار IX1D PMS error =2.67%		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	t (m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	مشخصات
۴/۹	۴۶	۴/۶	۴۵	۴/۶	۴۲	لایه اول
۴۵	۱۸	۵	۲۰	۳/۱	۲۰	لایه دوم
۱۴۸	۲۹	۱۶	۴۸	۱۸	۴۵	لایه سوم
-	۱۴۰	-	۲۲۵	-	۲۲۴	لایه سوم

## منابع

## منابع

- اسدی، م، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " موقعیت یابی RSS در سیستم های ارتباطی همراه سلولی برای سطوح ناهمگون"، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد.
- باقری، ا، (۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " تهیه مدل آبخوان دشت امان آباد اراک با وارون سازی داده های مقاومت ویژه"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- حجت، آ، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: " مطالعات ژئوالکتریک جهت بررسی آب های زیرزمینی و ساختارهای زمین شناسی در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل گهر"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شاهزیدی، ا، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " مدل سازی و تفسیر سونداژهای مقاومت- ویژه و تعیین ارتباط نتایج تفسیر با پارامترهای هیدرولوژیکی در منطقه خرمالو"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علامه، م، (۱۳۷۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " الگوریتم های عددی گوس - نیوتن در حل مسئله کمترین مربعات غیرخطی"، دانشکده ریاضی کاربردی، دانشگاه صنعتی شریف.
- کلاگری ع، (۱۳۷۱)، " اصول اکتشافات ژئوفیزیکی" انتشارات دانشگاه تبریز.
- کهکی، ت، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " مدل سازی و تفسیر سونداژهای مقاومت ویژه و تلفیق نتایج حاصل با داده های زمین شناسی و هیدروژئولوژی با استفاده از GIS در منطقه چناران"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مجبی گوراب پسی، ر، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای مقاومت‌ویژه و تعیین ارتباط نتایج تفسیر با پارامترهای هیدرولوژیکی در منطقه دوغ استان گلستان"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

محمدزاده، م، (۱۳۸۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی شوری خاک و آب‌های زیرزمینی منطقه شکارآباد شاهرود با استفاده از روش‌های ژئوالکتریک"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مومنی، ف، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای الکتریکی به منظور تعیین عمق و ضخامت ذخیره و شناسایی دقیق‌تر زون کارستی کم‌پایین بوکسیت در یکی از معادن بوکسیت جاجرم"، دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

یوسفی‌راد، م، (۱۳۸۰)، "گزارش زمین‌شناسی منطقه امان‌آباد"، اداره کل امور آب استان

مرکزی.

### References:

Akaolisa, C., (2006), "Aquifer transmissivity and basement structure determination using resistivity sounding at Jos Plateau state Nigeria" *J. of Environmental Monitoring and Assessment.*, 114, pp 27-34.

Arshad, M. Cheema, J.M. and Ahmed, S., (2007), "Determination of lithology and groundwater quality using electrical resistivity survey" *J. of Agriculture & Biology.*, 9, pp 143-146.

Asfahani, J., (2006), "Goelectrical investigation for characterizing the hydrogeological conditions in semi-arid region in Khanasser valley, Syria" *J. of Arid Environment.*, 68, pp 31-52.

Bello, A. A. and Makinde, V., (2007), "Delineation of the aquifer in the South-Western part of the Nupe Basin, Kwara State, Nigeria": *J. of American Science.*, 3, pp 36-44.

Bobachow, A., (2002), "*IPI2win Users Guide*" ,Mosco State University, Geoscan-M L td.

Corvallis, O. R., (2000), "*D.C. Resistivity methods*" ,Northwest Geophysical Associates. Inc.

Dahlin, T. and Zhou, B., (2004), "A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays" *J. of. Geophysics Prospecting.*, 52, pp 379-398.

Dey, A. and Morrison, H. F., (1979), "Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures" *J. of. Geophysics Prospecting.*, 27, pp 106-136.

Donald, B. Hoover. Klein, D. P. and Campbell, D. C., (1990), "*Geophysical method in exploration and mineral environmental investigation*". Society of Exploration Geophysicist.

Fox, R. Hohmann. G. Killpack, T. and Rijo, L., (1980), " Topographic effects in resistivity and induced- polarization surveys" *J. of. Geophysics.*, 45, pp 75-93.

Harold, M., (1980), "*Handbook of engineering geophysics*" Bison Instruments, Inc Vol 2.

Kariya,T. and Kurata, H., (2004), "*Generalized Least Squares*". Wiley.

Khalil, M. Monterio, F., (2013) "2D and 3D resistivity inversion of Schlumberger vertical electrical soundings in Wadi El Natrun, Egypt" *J. of. Applied Geophysics.*, 89, pp 116–124.

Loke, M. H., (2004) a, "*Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys*".

Loke, M. H., (2004) b, "*Res2dinv ver. 3.57, Manual, (Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least - squares method)*" . Geotomo software.

Loke, M. H and Dahlin, T., (2002). "A comparison of the Gauss- Newton and quasi-Newton method in resistivity imaging inversion" *J. of. Applied Geophysics.*, 49, pp 149-162.

Loke, M. H. and Barker, R., (1995). "Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseduosections " *J. of Geophysics.*, 60, pp 1682-1690.

Meju, M., (1994). "*Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice*". Society of Exploration Geophysicist. United State of America. pp 16-130.

Milson, J., (1989). "*Field Geophysics*". Geological Society of Handbook. pp 90-97.

Molano, E. Salamanca, M. and Van Overmeeren, A., (1990). "Numerical modeling of standard and continuous vertical electrical sounding" *J. of. Geophysics Prospecting.*, 38, pp 705-718.

Mooney, H., (1980), "*Handbook of Engineering Geophysics*" ,Vol. 2, Instruments, Inc. Minnesota, U.S.A, Bison pp.1-53.

Muiuane, E. and Padersen, L., (1999), " Automatic 1D interpretation of DC resistivity sounding data " *J. of. Applied Geophysics.*, 42, pp 35-45.

Omosuyi, G. O. Adeyemo, A. and Adegoke, A.O., (2007), "Investigation of groundwater prospect using electromagnetic and geoelectric sounding at afunbiowo, near Akure, Southwestern Nigeria" *J. of. Science and Technology.*, 8, pp 172-182.

Reynold, J., (1997), " *An Introduction to applied and environmental geophysics*" John Wiley. England. pp 418-490.

Samouelian, A. Cousin I. Tabbagh, A. Bruand, A. and Richard, G., (2005), "Electrical resistivity survey in soil science: a review" *J. of. Soil & Tillage Research.*, 83, pp 173-193.

Seigel, H. O., (1959), " *Mathematical formulation and type curves for induced polarization*" Vol xxiv, No.3, pp 543-565.

Telford, W. Geldart, L. and Sheriff, R., (1990), " *An Introduction to applied and environmental geophysics*" Cambridge University Press New York. pp 283-292 & 522-577.

Tezel, O., (2002), " *Interpretation of the field observation in induced polarization*" Proceeding of international Conference on Earth Sciences and Electronics.



William, E. Kelly., (1977), "Goelecteric sounding for Estimating Aquifer Hydraulic Conductivit" J. of. *Groundwater.*, 15 pp 420–425.

Yadav, G. S. and Aboalfazli, H., (1998), "Goelecteric sounding and their relationship to hydraulic parameters in semiarid regions of Jalore, northwestern India". J. of. *Applied Geophysics.*, 39 pp 35-51.

## **Abstract**

Exploration methods are divided into two categories of direct and indirect methods. Direct methods, such as exploration drilling, are costly, time-consuming and highly accurate, but indirect methods, like geophysical methods, require less cost and time although interpretation of their results is difficult. In this research, the efficiency of geoelectrical sounding method in determination of water-bearing formation is investigated, and also, the interpretation results of the Schlumberger sounding curves corrected by two graphical and mathematical methods are compared. For this purpose, data from 76 geoelectrical sounding points on 9 lines in Aman Abad area near Arak City have been interpreted by master curves, and then, one-dimensional (1-D) modeling of the data has been made using IX1D software. Moreover, to compare the two graphical and mathematical methods for correction of the Schlumberger sounding curve, 1-D modeling of the data has been made using IPI2Win software, and then, the results obtained from the two methods have been compared with geological and wells data in the area, and thus, the higher speed of mathematical correction method and higher accuracy and precision of the graphical correction method have been verified.

Furthermore, two-dimensional (2-D) modeling of the geoelectrical data from every survey line has been carried out using Res2dinv software. The 2-D modeling results have been compared with 1-D modeling results, information from adjacent wells and geological data in the area. The modeling results have been used for determination of aquifer geometry, separation of alluvial layers, determination of bedrock depth, recognition of folding and faults, determination of the lithology of the subsurface layers, preparation of iso-potential map and direction of groundwater flow in the area.

In general, the results show that the groundwater table, similar to the topography trend existed in the area, decreases from south to north direction. By investigating the obtained isopiez map, we can conclude that the groundwater flow direction is also from south to north. Furthermore, the interpretation results indicate that the resistivity values of water-bearing formation and thus, the quality of groundwater vary in the whole area. In southern parts of the study area, the resistivity of water-bearing formation is 50 to 80 ohm-meter and groundwater has better quality, but its quality is lower in central and northern parts of the area. In addition, the bedrock is mainly limestone that is located at lower depths in eastern, western and southern parts of the area due to the performance

of main and probable faults in the area. However, the bedrock in central and northern parts of the area is situated at relatively high depths.

**Keywords:** Modeling, Interpretation, Resistivity sounding, Correction of Schlumberger sounding curve, Aquifer, Aman Abad.