

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک - گرایش ژئوالکتریک

تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی و مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی و تفسیر سونداژهای ژئوالکتریک آب زیرزمینی در منطقه چناران

دانشجو : محمود راه چمنی

اساتید راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر علیرضا عرب امیری

استاد مشاور :

مهندس عبدالرضا فتحی نجفی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک

بهمن ماه ۱۳۹۰



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمود راه چمنی رشته ژئوفیزیک گرایش ژئوالکتریک تحت عنوان تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی و مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی و تفسیر سونداژهای ژئوالکتریک آب زیرزمینی در منطقه چناران که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☒ قبول (با درجه: <u>خوب</u> امتیاز: <u>۱۷</u>)
--------------------------------	------------------------------------	---

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استادارهنما	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی دکتر علیرضا عرب امیری	استادیار	
۲- استاد مشاور	مهندس عبدالرضا فتحی نجفی	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر سوسن ابراهیمی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر علی مرادزاده	استاد	
۵- استاد ممتحن	دکتر ایرج پیروز	استادیار	

رئیس دانشکده
دانشگاه صنعتی شاهرود

تقدیم به

مادر، پدر، همسر و فرزندانم

تقدیر و تشکر

حال که به یاری خداوند متعال نگارش این پایان نامه به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از کلیه کسانی که مرا در انجام آن کمک نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی که از ابتدا تا انتهای دوره کارشناسی ارشد همواره از مساعدت و راهنمایی ایشان بهره بردم، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از اساتید بزرگوار آقایان دکتر علیرضا عرب امیری و مهندس عبدالرضا فتحی نجفی که راهنمایی و مشاوره ایشان نقش به‌سزایی در به سرانجام رسیدن این پایان نامه داشت، سپاسگذارم. از دوست عزیزم مهندس تیمور کهگی که در انجام پایان نامه کمک زیادی به من نمود، تشکر می‌کنم.

از اساتید محترم دوره فوق لیسانس آقایان دکتر ایرج پیروز، دکتر علی مرادزاده، دکتر فرامرز دولتی و دکتر حمید آقاجانی تقدیر و تشکر می‌نمایم. همچنین از زحمات تمام کارشناسان و کارکنان دانشکده آقایان رجبی، شاه حسینی، زارعی، کبیریان و همه دوستان عزیزم در طول دوره تحصیل قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب محمود راه چمنی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک-گرایش ژئوالکتریک دانشکده مهندسی معدن، ژئوفیزیک و نفت دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی و مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی و تفسیر سونداژهای ژئوالکتریک آب زیرزمینی در منطقه چناران تحت راهنمایی آقایان دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری متعهد می شوم .

- 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 می باشد 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 می گردد.
- 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: ۱۳۹۰/۱۲/۱۶

امضای دانشجو: محمود راه چمنی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

بهره‌برداری از آب زیرزمینی، برای رفع نیازهای روزمره، به گذشته‌های دور برمی‌گردد. امروزه با استفاده از مطالعات ژئوالکتریکی که در سطح زمین انجام می‌گیرد، با هزینه‌ای نسبتاً کم و سریع، می‌توان به‌طور کلی اطلاعات مفیدی در مورد منابع آب‌های زیرزمینی به‌دست آورد. در عملیات صحرایی مربوط به این پایان‌نامه ۱۳۳ سونداژ ژئوالکتریکی به‌منظور اکتشاف منابع آب‌های زیرزمینی در طول هشت پروفیل به نام‌های E، F، G، H، I، J، K و L تقریباً به موازات یکدیگر و در امتداد شمالی - جنوبی در شرق چناران برداشت شده‌اند که از شمال دشت تا نواحی جنوبی دشت گسترش پیدا کرده‌اند. تفسیر سونداژهای مقاومت ویژه برداشت‌شده ابتدا با استفاده از سرمنحنی‌های دو لایه‌ای (و منحنی‌های کمکی مربوطه) و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای کمکی VES، IX1D و Res2dinv صورت گرفت. در نهایت، با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده و سایر اطلاعات موجود از منطقه، نتایج نزدیک‌تر به واقعیت انتخاب شده‌اند. با توجه به اینکه در دشت مزبور چاه‌های حفر شده زیادی وجود دارد، از اطلاعات این چاه‌ها برای دستیابی به تفسیر بهتر استفاده شد و در نتیجه مقاومت ویژه، عمق و ضخامت لایه آبدار در دشت مورد مطالعه مشخص شد. با بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که بخش‌های مرکزی تا جنوبی دشت به لحاظ هیدرولوژی حائز اهمیت بیشتری هستند زیرا ضخامت لایه آبدار در این مناطق بیشتر است و مقاومت ویژه بالاتر آن نشان‌دهنده کیفیت مناسب‌تر خصوصاً در مناطق نزدیک به جنوب دشت می‌باشد. عمق سطح ایستابی در بخش‌های مرکزی منطقه کم و به سطح زمین نزدیک است طوری که در این منطقه عمق آب در بعضی از چاه‌ها به ۵ متر می‌رسد. در بخش‌های نزدیک به جنوب سطح ایستابی در زیر یک لایه سطحی مقاوم از جنس رسوبات دانه درشت قرار دارد و عمق آن در بعضی از چاه‌ها به بیش از ۱۳۰ متر می‌رسد.

تعیین مشخصات کیفی آب زیرزمینی، یعنی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آن، نشان خواهد داد که تا چه حد برای مصرف مورد نظر مناسب است. ماهیت این مشخصات به گونه‌ای است که

روی اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی آبخوان تأثیر می‌گذارند. از آنجاکه یکی از اهداف این پژوهش تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی و مقاومت‌ویژه حاصل از مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای ژئوالکتریک آب زیرزمینی است، از روش رگرسیون خطی برای این منظور استفاده شده است. در محدوده مطالعاتی، داده‌های هیدروشیمیایی وجود دارد که شامل غلظت یون‌های مختلف، هدایت الکتریکی (EC)، کل املاح محلول جامد (TDS) و PH است. از این اطلاعات، داده‌های مربوط به ۲۰ چاه مجاور سونداژهای ژئوالکتریک که آب‌دهی بالا دارند و به سونداژها نزدیک‌ترند، در تعیین ارتباط با مقاومت ویژه لایه آبدار مورد استفاده قرار گرفتند. از بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که با افزایش غلظت یون‌ها در آب‌های زیرزمینی، مقاومت ویژه لایه آبدار شدیداً کاهش می‌یابد. در بین نمودارهای ارائه شده، آنهایی که از منحنی لگاریتمی برای برازش نقاط استفاده شده بود، ضریب همبستگی بالاتری داشت. این می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط منحنی‌گونه بین پارامترهای هیدروشیمیایی و مقاومت ویژه لایه آبدار باشد. تأثیر پارامترهای هیدروشیمیایی بر مقاومت ویژه در مقدارهای کم و غلظت‌های پایین یون‌ها بیشتر است (شیب منحنی در این قسمت‌ها زیاد است) و هنگامی که غلظت یون‌ها زیاد باشد تأثیرپذیری مقاومت‌ویژه از آن کاهش می‌یابد (با توجه به شیب کم منحنی در این قسمت‌ها).

کلمات کلیدی: تفسیر، سونداژ مقاومت‌ویژه، داده‌های هیدروشیمیایی، غلظت یون‌ها، آب زیرزمینی.

مقاله مستخرج از پایان نامه

ارتباط بین مقاومت ویژه آبخوان و پارامترهای هیدروشیمی آب زیرزمینی در منطقه چناران، سیامین

گردهمایی علوم زمین، یکم تا سوم اسفند ماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ - مقدمه	۲
۱-۲ - عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه زمین	۳
۱-۲-۱ - تخلخل	۴
۱-۲-۲ - نفوذپذیری	۵
۱-۲-۳ - در صد اشباع	۶
۱-۲-۴ - کل مواد جامد محلول (TDS)	۷
۱-۲-۵ - هدایت الکتریکی (EC)	۷
۱-۲-۶ - مقاومت ویژه توده های زیر سطحی	۸
۱-۳ - روش مقاومت ویژه الکتریکی	۹
۱-۳-۱ - اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین	۹
۱-۳-۲ - روش های اندازه گیری مقاومت ویژه	۱۱
۱-۳-۳ - روش سونداژزنی مقاومت ویژه	۱۱
۱-۳-۴ - ارزیابی و تفسیر	۱۲
۱-۴ - ضرورت تحقیق	۱۲
۱-۵ - روش انجام تحقیق	۱۳

۱-۶- ساختار پایان نامه ۱۴

فصل دوم: زمین شناسی منطقه و عملیات صحرایی ۱۵

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و آب و هوا ۱۶

۲-۲- عملیات صحرایی ۱۷

۲-۲-۱- پروفیل E ۱۸

۲-۲-۲- پروفیل F ۱۸

۲-۲-۳- پروفیل G ۱۸

۲-۲-۴- پروفیل H ۱۸

۲-۲-۵- پروفیل I ۱۹

۲-۲-۶- پروفیل J ۱۹

۲-۲-۷- پروفیل K ۱۹

۲-۲-۸- پروفیل L ۱۹

۲-۳- زمین شناسی ۲۱

۲-۳-۱- حاشیه شمالی دشت (بخشی از ارتفاعات هزار مسجد) ۲۲

۲-۳-۲- حاشیه جنوبی دشت (بخشی از پهنه بینالود) ۲۳

۲-۴- موقعیت چاه های آب منطقه مطالعاتی ۲۷

۲-۵- موقعیت پیزومترهای منطقه مطالعاتی ۲۸

۲-۶- موقعیت داده های هیدروشیمیایی منطقه مطالعاتی ۲۹

فصل سوم: مدل سازی و تفسیر یک بعدی داده های سونداژ ژئوالکتریکی ۳۰

۳۱	۳-۱- مقدمه
۳۱	۳-۲- تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی
۳۲	۳-۳- تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی
۳۳	۳-۴- تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه چناران
۳۴	۳-۵- تفسیر یک بعدی سونداژ الکتریکی K-3
۳۵	۳-۵-۱- نتایج تفسیر و مدل سازی دستی به کمک منحنی های استاندارد
۳۸	۳-۵-۲- نتایج تفسیر و مدل سازی وارون با نرم افزار IX1D
۳۹	۳-۵-۳- نتایج تفسیر با نرم افزار VES
۴۰	۳-۵-۴- نتایج نهایی تفسیر سونداژ K-3
۴۰	۳-۶- نتایج تفسیر یک بعدی سونداژ های ژئوالکتریک در منطقه چناران
۴۳	۳-۷- جهت آب زیر زمینی در منطقه مطالعاتی
۴۵	۳-۸- نتیجه گیری
۴۶	فصل چهارم: تفسیر دو بعدی داده های سونداژ مقاومت ویژه
۴۷	۴-۱- مقدمه
۴۷	۴-۲- تفسیر دو بعدی داده های مقاومت ویژه الکتریکی به روش سونداژ زنی قائم پیوسته
۴۸	۴-۳- تفسیر دو بعدی داده های مقاومت ویژه الکتریکی به کمک نرم افزار Res2dinv
۴۸	۴-۳-۱- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل E
۵۱	۴-۳-۲- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل F
۵۳	۴-۳-۳- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل G

۵۵.....	۴-۳-۴-نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل H
۵۷.....	۵-۳-۴-نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل I
۵۹.....	۶-۳-۴-نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل J
۶۱.....	۷-۳-۴-نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل K
۶۳.....	۸-۳-۴-نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل L
۶۵.....	۴-۴-نتیجه گیری
	فصل پنجم: تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی به دست آمده از چاه های آب و نتایج تفسیر داده -
۶۶.....	های مقاومت ویژه
۶۷.....	۵-۱-مقدمه
۷۰.....	۵-۲-روش آماری رگرسیون
۷۲.....	۵-۳-کنترل خواص فیزیکی مؤثر بر مقاومت ویژه لایه آبدار
	۵-۴-تعیین ارتباط بین نتایج تفسیر یک بعدی داده های سونداژ الکتریکی و پارامتر های هیدروشیمیایی چاه های آب
۷۳.....	منطقه
	۵-۴-۱-تعیین ارتباط بین نتایج تفسیر یک بعدی داده های سونداژ الکتریکی و هدایت الکتریکی (EC) چاه های آب
۷۶.....	موجود منطقه
	۵-۴-۲-تعیین ارتباط بین مقادیر مقاومت ویژه به دست آمده برای لایه آبدار و TDS چاه های آب موجود منطقه
۷۸.....	
	۵-۴-۳-تعیین ارتباط بین مقادیر مقاومت ویژه به دست آمده برای لایه آبدار و غلظت آنیون های آب چاه های موجود
۸۰.....	
۸۱.....	۵-۵-نتیجه گیری

فصل ششم : نتیجه گیری وپیشنهادها.....۸۳

۶-۱- نتیجه گیری۸۴

۶-۲- پیشنهادات۸۶

پیوست۸۸

پیوست شماره ۱- آباک ها ومنحنی های اصلی وکمکی دو لایه ای مربوط به آرایش شلومبرژه۸۹

فهرست منابع۹۵

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- حرکت یون ها با برقراری جریان	۳
شکل ۱-۲- نفوذپذیری	۵
شکل ۱-۳- اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین	۱۰
شکل ۱-۲- موقعیت سونداژها در روی خطوط پروفیل ها	۲۰
شکل ۲-۲- نقشه زمین شناسی منطقه به همراه موقعیت سونداژها و پروفیل ها	۲۶
شکل ۲-۳- موقعیت چاه ها نسبت به سونداژها در روی خطوط پروفیل ها	۲۷
شکل ۲-۴- موقعیت پیزومترها نسبت به سونداژها در روی خطوط پروفیل ها	۲۸
شکل ۲-۵- موقعیت داده های هیدروشیمی نسبت به سونداژها در روی خطوط پروفیل ها	۲۹
شکل ۳-۱- تفسیر دستی سونداژ K-3 به کمک منحنی های استاندارد	۳۶
شکل ۳-۲- تفسیر دستی سونداژ K-3 به صورت مدل پیشرو (FORWARD) در نرم افزار IX1D	۳۷
شکل ۳-۳- مدل سازی معکوس (INVERS) سونداژ K-3 به وسیله نرم افزار IX1D	۳۸
شکل ۳-۴- تفسیر سونداژ K-3 به وسیله نرم افزار VES	۳۹
شکل ۳-۵- نقشه ایزوپیز دشت مشهد	۴۴
شکل ۴-۱- روش سونداژزنی الکتریکی قائم ممتد (CVES)	۴۸
شکل ۴-۲- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل E به کمک نرم افزار Res2dinv	۵۰
شکل ۴-۳- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل F به کمک نرم افزار Res2dinv	۵۲

- شکل ۴-۴- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل G به کمک نرم افزار Res2dinv..... ۵۴
- شکل ۴-۵- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل H به کمک نرم افزار Res2dinv..... ۵۶
- شکل ۴-۶- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل I به کمک نرم افزار Res2dinv..... ۵۸
- شکل ۴-۷- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل J به کمک نرم افزار Res2dinv..... ۶۰
- شکل ۴-۸- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل K به کمک نرم افزار Res2dinv..... ۶۲
- شکل ۴-۹- شبه مقاطع دوبعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل L به کمک نرم افزار Res2dinv..... ۶۴
- شکل ۵-۱- رابطه همبستگی بین مقاومت ویژه به دست آمده برای آبخوان و TDS در منطقه کراچی پاکستان..... ۶۸
- شکل ۵-۲- رابطه همبستگی بین مقاومت ویژه به دست آمده برای آبخوان و TDS در دلتای رود نیل ۶۸
- شکل ۵-۳- رابطه همبستگی بین TDS مقاومت ویژه به دست آمده برای لایه آبدار (نمودارچپ) و آب زیرزمینی (نمودار راست) ۶۹
- شکل ۵-۴- تابع خطی ساده ۷۱
- شکل ۵-۵- موقعیت داده های هیدروشیمی نسبت به سونداژهای الکتریکی ۷۴
- شکل ۵-۶- رابطه همبستگی خطی بین مقادیر pe و EC ۷۶
- شکل ۵-۷- رابطه همبستگی لگاریتمی بین مقادیر pe و EC ۷۸
- شکل ۵-۸- رابطه همبستگی خطی بین مقادیر pe و TDS ۷۹
- شکل ۵-۹- رابطه همبستگی لگاریتمی بین مقادیر pe و TDS ۸۰
- شکل ۵-۱۰- رابطه همبستگی لگاریتمی بین مقادیر pe و غلظت آنیون ها..... ۸۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ - محدوده مقادیر مقاومت ویژه برای مواد مختلف	۸
جدول ۱-۳ - مقادیر مقاومت ویژه بدست آمده برای سونداژ K-3	۳۵
جدول ۲-۳ - مقادیر مقاومت ویژه، عمق و ضخامت بدست آمده برای سونداژ K-3	۳۷
جدول ۳-۳ - مقادیر مقاومت ویژه و ضخامت بدست آمده برای سونداژ K-3 به روش های مختلف	۴۰
جدول ۴-۳ - مقادیر مقاومت ویژه و ضخامت بدست آمده برای لایه آبدار در زیر سونداژها	۴۱
جدول ۵-۱ - اطلاعات چاهها و سونداژ مجاور آنها و فاصله تقریبی آنها	۷۵

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تامین آب شیرین^۱ مورد نیاز انسان هاست. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی^۲، برای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب توسعه زیادی پیدا کرده است [صدقت، ۱۳۸۷]. روش‌های ژئوفیزیکی^۳ به خصوص روش مقاومت ویژه الکتریکی^۴، می‌توانند با مشخص نمودن میزان توسعه آبخوان^۵ و تعیین ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی در مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند [Asfahani, 2007].

با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک که در سطح زمین انجام می‌گیرد، با هزینه‌ای نسبتاً کم و سریع، می‌توان به طور کلی اطلاعات مفیدی در مورد منابع آب زیرزمینی به دست آورد. از آنجاکه کره زمین هموژن و یکنواخت نیست، خواص قسمت‌ها و لایه‌های مختلف آن متفاوت است. پس با اندازه‌گیری کمیت‌های مربوط به هر یک از این خواص می‌توان بدون مطالعه مستقیم، اطلاعاتی را در مورد مواد زیر سطح زمین به دست آورد. روش‌های ژئوفیزیکی متنوعند، ولی معمولی‌ترین روش مورد استفاده در مطالعه آب‌های زیرزمینی روش مقاومت ویژه (ژئوالکتریک) است.

¹ Fresh water

² Ground water

³ Geophysics method

⁴ Electric resistivity

⁵ Aquifer

۱-۲ - عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه زمین

به طور کلی عواملی که باعث هدایت جریان الکتریکی و کاهش مقاومت ویژه در زیر سطح زمین می شوند عبارتند از [Mooney, 1980]:

الف - حرکت الکترون ها و یون های آزاد مواد جامد

ب - حرکت یون ها در آب موجود در سنگ ها و خاک ها (شکل ۱-۱)



شکل ۱-۱ - حرکت یونها با برقراری جریان [Bernard , 2003]

حرکت یون ها در آب موجود در سنگ ها و خاک ها در بیشتر کاربردهای مهندسی و هیدروژئولوژی عامل اصلی کاهش مقاومت ویژه مواد زیر سطح زمین است [Mooney , 1980] و تحت تأثیر عواملی نظیر تخلخل، اشباع شدگی، شوری، محتوای رس، نفوذپذیری، دما، TDS^۱، EC^۲ و غیره می باشد. برای نمونه حضور کانی های رسی باعث کاهش مقاومت ویژه می شوند. کاهش مقاومت ویژه به علت هدایت سطحی خرده های رس در سنگ ها است. کانی های رسی می توانند آب جذب کرده و کاتیون ها را در یک تبادل یونی در سطح خود جذب کنند و به یونیزه شدن و عرضه یون های آزاد کمک مؤثری نمایند و در نتیجه مقاومت ویژه را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش دهند [Mooney , 1980].

^۱ Total dissolved solids

^۲ Electrical conductivity

با توجه به اینکه کاهش دما تحرک یون‌ها را کمتر می‌کند در نتیجه باعث افزایش مقاومت ویژه می‌شود و به عکس. این موضوع سبب می‌شود که زمین‌های یخ‌زده مقاومت ویژه بسیار بالایی داشته باشند. در ادامه به تعریف برخی از عوامل مهم مؤثر بر مقاومت ویژه الکتریکی می‌پردازیم.

۱-۲-۱- تخلخل^۱

به درصد حجم فضاهای یک سنگ یا رسوب نسبت به حجم کلی آن تخلخل می‌گویند.

(۱-۱)

در این رابطه V_v حجم فضاهای خالی موجود در سنگ، V_t حجم کل سنگ و $\emptyset$ تخلخل کل یا مطلق (بر حسب درصد) می‌باشد.

رابطه تجربی آرچی^۲ ارتباط بین تخلخل سنگ‌ها و مقاومت ویژه الکتریکی را بیان می‌کند. در این رابطه (F) فاکتور مقاومت ویژه سازند است و a ثابت تجربی و کمتر مساوی یک است و m با درجه سیمان‌شدگی ارتباط دارد و عددی در حدود ۲ می‌باشد.

$$F = \frac{R_o}{R_w} = \frac{a}{\phi^m} \quad (۲-۱)$$

در رابطه بالا R_o مقاومت ویژه کل سازند تمیز (سازندی که فاقد مواد رسی باشد) و R_w مقاومت ویژه آب سازند است [مرادزاده و قوامی ریایی ، ۱۳۸۶].

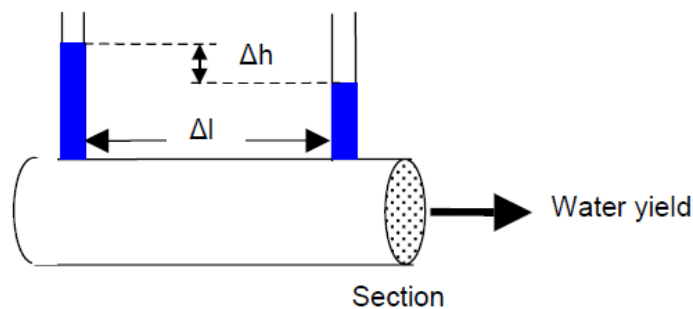
¹ Porosity

² Archie

با افزایش تخلخل، مقاومت ویژه کاهش می‌یابد ولی همیشه حتی در یک نوع سنگ بعلت هندسه منافذ و ترکیب متفاوت کانی منطبق بر تخلخل نیست. سنگ‌های توده‌ای که فاقد فضاهای خالی هستند مانند سنگ آهک توده‌ای و بیشتر سنگ‌های آذرین و دگرگونی، مقاومت ویژه بالایی نشان می‌دهند [Mooney, 1980].

۱-۲-۲- نفوذپذیری^۱

به توانایی زمین برای عبور دادن یک سیال نفوذپذیری می‌گویند (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نفوذپذیری [Bernard, 2003]

$$K = \frac{V\Delta l}{A\Delta h t} \quad (۳-۱)$$

^۱ Permeability

در رابطه بالا K ضریب نفوذپذیری، V حجم آب خروجی، A سطح مقطع، t مدت زمان، Δl طول و Δh اختلاف ارتفاع است [صداقت، ۱۳۸۷]. از آنجاکه افزایش نفوذپذیری باعث بیشتر شدن تحرک یون‌ها می‌شود، می‌تواند مقدار مقاومت ویژه را کاهش دهد.

۱-۲-۳- در صد اشباع^۱

به درصد فضاهای خالی که با آب اشغال شده است، درصد اشباع می‌گویند. رابطه زیر که به وسیله کلو و فریشنخت (۱۹۶۶) کشف شده، ارتباط بین اشباع شدگی سنگ‌ها از آب و مقاومت ویژه الکتریکی را بیان می‌کند. در این رابطه مقاومت ویژه سنگ اشباع نشده به طور نمایی با کاهش اشباع شدگی افزایش می‌یابد.

$$\frac{\rho_{us}}{\rho_{100}} = S_w^{-n} \quad (۴-۱)$$

در این رابطه ρ_{us} مقاومت ویژه نمونه اشباع نشده، ρ_{100} مقاومت ویژه نمونه اشباع شده از آب، S_w مقدار اشباع شدگی از آب و n توان اشباعی می‌باشد. موادی که فضای خالی آنها فاقد آب است مانند شن و ماسه خشک مقاومت ویژه بالایی نشان می‌دهند [Mooney, 1980].

¹ Saturation

۱-۲-۴- کل مواد جامد محلول (TDS)

شامل مجموع مواد جامدی است که در آب محلول است، ولی شامل رسوبات معلق، کلوئیدها و گازهای محلول نمی‌شود. TDS بر حسب میلی گرم در لیتر یا ppm بیان می‌شود. آنچه که معمولاً اندازه‌گیری و در گزارش‌های شیمی آب ذکر می‌شود، باقیمانده حاصل از تبخیر آب و خشک کردن بعدی آن است (باقیمانده خشک) [صداقت، ۱۳۸۷].

۱-۲-۵- هدایت الکتریکی (EC)

به توانایی مکعبی به ابعاد یک سانتیمتر برای عبور جریان برق، EC یا هدایت الکتریکی می‌گویند. از آنجا که هر چه غلظت نمک‌های محلول در آب بیشتر باشد هدایت الکتریکی آب افزایش می‌یابد، لذا با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب که به آسانی با یک هدایت سنج الکتریکی انجام می‌گیرد، به سرعت می‌توان مقدار مواد محلول در آب را برآورد کرد. هدایت ویژه الکتریکی را بر حسب mho/cm (مساوی با میکرو زیمنس بر سانتیمتر) اندازه گرفته و با EC نشان می‌دهند [صداقت، ۱۳۸۷].

بالا بودن هدایت الکتریکی نشان‌دهنده غلظت زیاد یون‌ها در آب زیر زمینی می‌باشد که در نتیجه مقاومت ویژه زیر سطحی کاهش می‌یابد. موادی که آب موجود در آنها شیرین است حتی اگر اشباع شده از آب باشند مقاومت ویژه بالایی نشان می‌دهند [Mooney, 1980]. هدایت الکتریکی می‌تواند یک تخمین کاملاً دقیق از غلظت یونی و یا کل مواد جامد حل شده باشد و با TDS طبق رابطه زیر متناسب است :

$$TDS = K_e \cdot EC \quad (۵-۱)$$

در این رابطه TDS بر حسب میلی گرم بر لیتر، EC بر حسب میکرو موس بر سانتیمتر در ۲۵ درجه سانتیگراد و K_e فاکتور تبدیل و معمولاً بین ۰/۵۵ تا ۰/۸ می باشد که باید برای هر منطقه عملیاتی مشخص گردد.

۱-۲-۶- مقاومت ویژه توده های زیر سطحی

مقاومت ویژه یک خاصیت کلی ماده است که به جنس مواد زیر سطح زمین بستگی دارد. برای آنکه بتوان به روش ژئوالکتریک مواد زیر سطح زمین را مشخص کرد، باید حدود مقاومت ویژه مواد را دانست. در جدول ۱-۱ محدوده مقاومت ویژه برخی از مواد آورده شده است، جداول کامل مقاومت ویژه در کتاب های ژئوفیزیک موجود می باشد.

جدول ۱-۱ - محدوده مقادیر مقاومت ویژه برای مواد مختلف [Telford et al,1990]

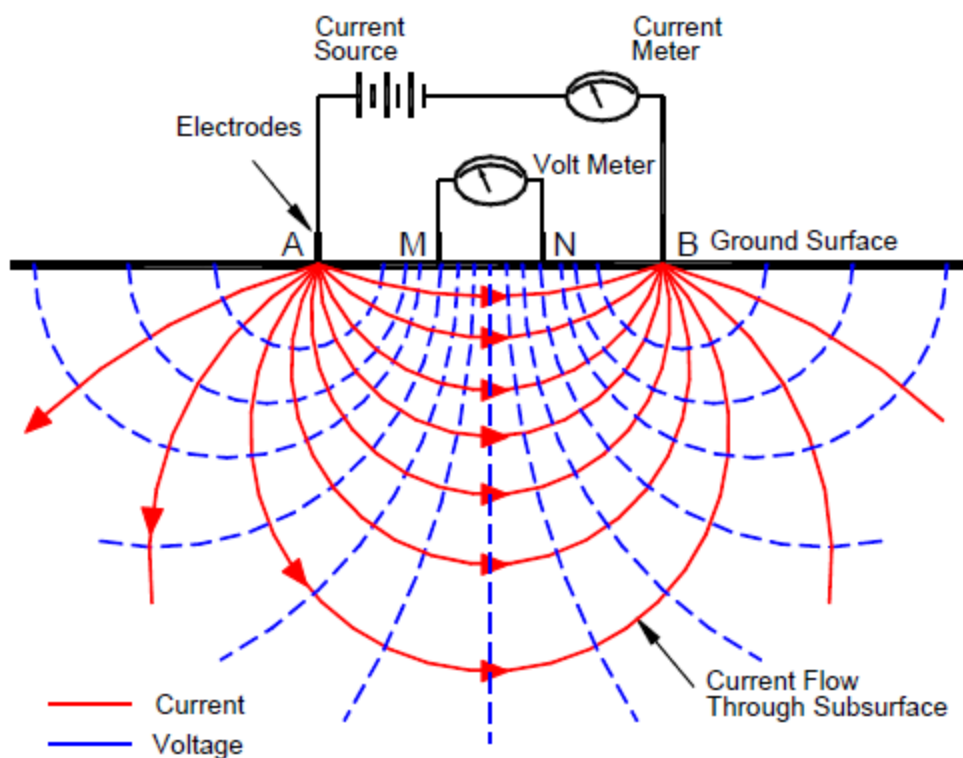
نوع مواد	مقاومت ویژه ($\Omega.m$)
گرانیت پورفیری خشک	$1/3 \times 10^6$
گرانیت پورفیری مرطوب	$4/5 \times 10^3$
سنگ آهک	$50 - 10^7$
رس	۱-۱۰۰
ماسه سنگ ها	$1 - 6/4 \times 10^8$
کنگلومراها	$2 \times 10^3 - 10^4$
آب دریا	۰/۲
آب های طبیعی خاک (سنگ های آذرین)	۰/۵ - ۱۵۰
آب های طبیعی خاک (رسوبات)	۱-۱۰۰

۱-۳- روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش مقاومت ویژه یا ژئوالکتریک براساس خاصیت فیزیکی هدایت الکتریکی (که رسانندگی الکتریکی نیز نامیده می‌شود) یا مقاومت ویژه الکتریکی زمین عمل می‌کند. همان‌طور که می‌دانیم این دو خاصیت فیزیکی از نظر مقدار عکس یکدیگر بوده و بنابراین از نظر تئوری، مفهوم یکسانی دارند. با توجه به اینکه لایه‌های زمین به واسطه اختلاف جنس مواد تشکیل دهنده آنها معمولاً مقاومت‌های ویژه الکتریکی متفاوتی دارند، با استفاده از روش ژئوالکتریک می‌توان لایه‌های زمین را از نظر مقاومت ویژه الکتریکی‌شان از یکدیگر تفکیک نمود. در این روش برای اینکه یک ویژگی زیرزمینی مشخص شود، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن متفاوت از محیط اطرافش باشد.

۱-۳-۱- اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین

در روش مقاومت ویژه، جریان الکتریکی از طریق الکترودهای A و B (الکترودهای جریان) به داخل زمین تزریق شده و اختلاف پتانسیل با الکترودهای M و N (الکترودهای پتانسیل) اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین [Corvallis , 2000]

به این ترتیب مقاومت ویژه الکتریکی زمین که یک خاصیت کلی ماده است با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho_a = K \frac{V}{I} \quad (۶-۱)$$

روش مقاومت ویژه با آرایش‌های الکترودی مختلفی مثل شلومبرژه، ورنر و.. قابل انجام است. در معادله بالا ضریب K که فاکتور هندسی نامیده می‌شود، بستگی به نوع این آرایش‌ها دارد و به طور کلی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \quad (۷-۱)$$

۱-۳-۲- روش‌های اندازه‌گیری مقاومت ویژه

این روش معمولاً به دو شکل سونداژزنی (VES)^۱ و پروفیل زنی^۲ انجام می‌شود که اولی برای بررسی تغییرات عمقی و دومی برای بررسی تغییرات عرضی مقاومت ویژه مواد زیر سطح صورت می‌گیرد. سونداژزنی مقاومت ویژه معمولاً با استفاده از آرایش الکترودی شلومبرژه انجام می‌شود که در آن، فاصله الکترودی^۳ فاصله بین مرکز آرایش از الکترودهای جریان است و آن را با $AB/2$ نشان می‌دهند. در روش سونداژزنی مرکز آرایش ثابت و فاصله الکترودی زیاد می‌گردد. به این ترتیب، جریان الکتریکی به عمق بیشتری از زمین نفوذ می‌کند و می‌توان از لایه‌های پایین‌تر اطلاعاتی به دست آورد. در روش پروفیل زنی فاصله الکترودی ثابت و مرکز آرایش تغییر می‌کند.

۱-۳-۳- روش سونداژزنی مقاومت ویژه

این روش تخمینی از تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در زیر سطح زمین را توسط اندازه‌گیری‌های سطحی به ما می‌دهد. اساس این روش عبور بخش قابل توجه جریان تزریق شده از عمق مشخصی از زمین است. همان‌طور که گفته شد در این روش مرکز آرایش ثابت و فاصله الکترودی زیاد می‌گردد به این ترتیب، جریان الکتریکی به عمق بیشتری از زمین نفوذ می‌کند. بنابراین توزیع پتانسیل الکتریکی در سطح زمین، بیشتر تحت تأثیر ناهمگنی‌های عمیق موجود در داخل زمین قرار می‌گیرد [Asfahani, 2007].

¹ Sounding

² Profiling

³ Electrode spacing

اطلاعات و نکاتی که در سونداژزنی مقاومت‌ویژه ثبت می‌گردند عبارتند از [Mooney, 1980]:

متغیر مستقل : فاصله الکترودی

متغیر وابسته : مقاومت‌ویژه ظاهری (ρ_a)

اطلاعات کمکی : نوع آرایش الکترودی، آزمون خط برداشت، موقعیت مرکز آرایش.

۱-۳-۴- ارزیابی و تفسیر^۱

امروزه با توجه به دسترسی به نرم‌افزارهای مختلف ژئوفیزیکی، ارزیابی داده‌ها بسیار سریع‌تر از گذشته انجام می‌شود. استفاده از کامپیوتر باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان می‌شود. البته نتایج کامپیوتری باید مطابق با خواص شناخته شده بی‌هنجاری، تصحیح شوند.

۱-۴- ضرورت تحقیق

مشخصات کیفی آب زیر زمینی، یعنی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آن، روی اندازه‌گیری-های مقاومت‌ویژه الکتریکی آبخوان تأثیر می‌گذارند. تاکنون تلاش‌هایی برای به‌دست آوردن رابطه همبستگی^۲ بین داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی (به‌دست آمده از سونداژهای الکتریکی) و پارامترهای

¹ Interpretation

² Correlation

هیدرولوژیکی (اندازه‌گیری شده از چاه‌های آب) انجام شده و مقالات مختلفی نیز در این زمینه چاپ شده است؛ که از جمله این کارها می‌توان به برخی مقالات منتشر شده توسط هادلر و همکاران (۲۰۰۶)، تیتوف و همکاران (۲۰۰۵) و وایت (۱۹۹۴) اشاره نمود.

از آنجا که هرچه غلظت یون‌ها در آب زیر زمینی بیشتر باشد کیفیت آن کاهش می‌یابد، با تعیین ارتباط بین مقاومت ویژه لایه آبدار و پارامترهای هیدروشیمی آب زیر زمینی می‌توان کیفیت آب زیر زمینی را تخمین زد. هدف از انجام این پایان‌نامه به‌دست آوردن مقاومت ویژه لایه آبدار در منطقه چناران و ایجاد رابطه بین داده‌های مقاومت ویژه به‌دست آمده از سونداژهای الکتریکی و پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه-های آب (هدایت الکتریکی ویژه (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS) و غلظت یون‌ها) به‌دست آمده از چاه‌های آب در منطقه اجرای سونداژ است.

۱-۵- روش انجام تحقیق

پس از مرور مقالات و به‌دست آوردن الگوهای کار انجام شده، ابتدا داده‌های سونداژ مقاومت ویژه موجود از منطقه توسط منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهایی مثل VES، IX1D و Res2dinv مدل‌سازی و تفسیر شده تا عمق و ضخامت تقریبی لایه‌های آب‌های زیرزمینی و همچنین ضخامت، عمق و مقاومت ویژه سایر لایه‌های زمین‌شناسی در منطقه مورد نظر مشخص شود. سپس از نتایج تفسیر سونداژها، اطلاعات چاه‌ها و چاه‌های نظارتی و سایر اطلاعات (مانند زمین‌شناسی و توپوگرافی) منطقه مورد نظر استفاده شده، نقشه-های لازم از قبیل نقشه جهت جریان آب زیرزمینی و غیره تهیه می‌گردد. همچنین، تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی آب چاه‌ها (هدایت الکتریکی ویژه (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS) و غلظت یون‌ها) با توجه به نتایج آنالیز آب‌ها مورد بررسی مکانی، زمانی و آماری قرار گرفته و در نهایت ارتباط کمی بین

تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی آب چاه‌ها و داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی به دست آمده، تعیین می‌گردد.

۱-۶- ساختار پایان نامه

این پایان‌نامه شامل شش فصل است. در فصل اول، همان‌طور که ملاحظه شد، کلیاتی درباره عوامل مرتبط با مقاومت ویژه زمین و روش ژئوالکتریکی بیان شد. در فصل دوم، زمین‌شناسی منطقه، موقعیت سونداژها، پیزومترها و چاه‌ها و نقشه‌های مربوط به آنها آورده شده است. در فصل سوم، مدل‌سازی و تفسیر یک بعدی سونداژهای الکتریکی برداشت شده، توضیح داده شده است. در فصل چهارم، تفسیر دو بعدی ۸ پروفیل مقاومت‌ویژه با استفاده از نرم افزار Res2dinv مطرح شده است. در فصل پنجم، به تعیین رابطه همبستگی بین نتایج تفسیر یک بعدی و پارامترهای هیدروشیمی به دست آمده از چاه‌ها پرداخته شده است. در فصل ششم نتایج این تحقیق مطرح و پیشنهاداتی در این رابطه عنوان شده است.

فصل دوم

زمین شناسی منطقه و عملیات صحرائی

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و آب و هوا

محدوده مورد مطالعه بخش غربی دشت مشهد بوده که در فرادست و فرودست جاده مشهد- چناران بین طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}27'39.2''$ تا $59^{\circ}27'39.5''$ واقع گردیده است.

دشت مشهد به صورت پهنه وسیعی با وسعت بیش از ۳۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که از شمال توسط بلندی‌های هزار مسجد و از جنوب توسط کوهستان‌های بینالود فراگرفته شده است.

مهمترین رودخانه منطقه که نقش اصلی را در رسوب‌گذاری دشت ایفا نموده کشف‌رود بوده که با روند شمال باختری جنوب خاوری در دشت مشهد جریان دارد. سرشاخه‌های این رودخانه از کوه‌های هزارمسجد و بینالود سرچشمه گرفته و پس از دریافت روان آب‌های فرعی نظیر رودخانه‌های اخلمد، اسجیل، ارداک، فریزی، زشک و ... از دشت مشهد خارج گردیده و در محل پل خاتون به هریود ملحق و نهایتاً به شن‌زارهای قره قوم ترکمنستان وارد می‌شود. کشف رود رودخانه طغیانی بوده که به علت ناچیز بودن پوشش گیاهی در گستره حوضه آبریز دارای جریان‌های سیلابی شدید است. دبی لحظه‌ای کشف رود در برخی از گزارش‌ها ۳ تا ۴ متر مکعب در ثانیه و آب‌دهی سالانه آن را ۷۲ میلیون متر مکعب برآورد کرده‌اند. رودخانه مزبور علی‌رغم داشتن شرایط طغیانی در مواقع سیلابی در طولانی مدت رفتاری آرام داشته و به علت شیب ناچیز بستر خود در دشت مورد مطالعه عمدتاً نهشته‌های متوسط‌دانه تا دانه‌ریز را جایگزین نموده است [گزارش مهندسین مشاور سازند آب پارس، ۱۳۸۸].

آب و هوای منطقه مورد مطالعه در تابستان گرم و خشک و در زمستان سرد می‌باشد. بر اساس ایستگاه هواشناسی مشهد حداکثر مطلق دما در تیر و مردادماه سال ۱۳۸۵ به میزان $38/6$ درجه سانتیگراد و حداقل مطلق آن در اسفندماه همان سال $9/8-$ درجه سانتیگراد بوده است. در بخش‌های کوهپایه به طور نسبی از میانگین دمای سالانه کاسته گردیده به‌طوری‌که از ایستگاه گل‌مکان حداکثر مطلق حرارت

تابستانی ۳۷/۸ درجه (تیرماه) و حداقل مطلق برودت زمستانی ۱۳/۶- درجه سانتیگراد اسفند ماه ۱۳۸۵ گزارش شده است.

دشت مشهد علی‌رغم داشتن آبخوان نسبتاً ستبری از نهشته‌های آبرفتی دارای نزولات جوی ناچیز می‌باشد. بر اساس مندرجات تقویم هواشناسی سال نامبرده در بالا مجموع بارش سالانه در ایستگاه سینوپتیک مشهد ۲۲۳/۳ میلی‌متر بوده که حداکثر میزان ریزش‌های جوی ماهانه ۷۸/۵ میلی‌متر در سال مزبور گزارش شده است [گزارش مهندسین مشاور سازند آب پارس ، ۱۳۸۸].

۲-۲- عملیات صحرائی

برداشت داده‌های سونداژ ژئوالکتریک به منظور شناسایی منابع آب‌های زیرزمینی و سنگ کف توسط شرکت سازند آب پارس در نیمه دوم سال ۱۳۸۶ در دشت مشهد - چناران واقع در محدوده مطالعاتی مشهد به اجرا درآمدند. بخشی از این پروژه که مربوط به این پایان‌نامه می‌باشد شامل ۱۳۳ سونداژ ژئوالکتریک است که در روی ۸ پروفیل به نام‌های E، F، G، H، I، J، K و L تقریباً به موازات یکدیگر و در امتداد شمالی - جنوبی با استفاده از آرایش شلومبرژه برداشت شده‌اند. از آنجاکه منطقه مورد مطالعه دارای توپوگرافی ملایمی می‌باشد و یک دشت تقریباً هموار را ایجاد کرده است، فضای لازم برای گسترش الکترودهای جریان برای تمام سونداژها را دارا بوده است. مشخصات پروفیل‌ها به ترتیب زیر می‌باشد :

۲-۲-۱ - پروفیل E

این پروفیل شامل ۲۰ سونداژ ژئوالکتریک می‌باشد. سونداژ E1 در بخش شمالی دشت از ۲ کیلومتری جنوب شرقی روستای دوله برداشت شده و سونداژ E20 در جنوب مقطع در فاصله ۶۰۰ متری شمال غربی روستای ویرانی انجام شده است.

۲-۲-۲ - پروفیل F

این پروفیل شامل ۱۹ سونداژ ژئوالکتریک است که از نواحی شمالی تا حواشی جنوبی دشت برداشت شده- اند. در بخش شمالی سونداژ F1 در بین دو روستای فوشان و طویل انجام گردیده و در بخش جنوبی سونداژ F19 از فاصله ۱/۵ کیلومتری روستای حصارسرخ برداشت شده است.

۲-۲-۳ - پروفیل G

این پروفیل شامل ۲۳ سونداژ ژئوالکتریک می‌باشد که به موازات پروفیل F از مجاورت روستای فوشان در شمال تا اراضی شرقی شاندیز در جنوب کشیده شده است.

۲-۲-۴ - پروفیل H

این پروفیل شامل ۲۱ سونداژ ژئوالکتریک می‌باشد که به موازات خط برداشت G کشیده شده است. سونداژ H1 در فرادست شمال، به فاصله ۱/۵ کیلومتری از شمال غربی روستای فوشان برداشت شده و سونداژ H21 در فاصله ۳۰۰ متری شمال شاندیز انجام گردیده است.

۲-۲-۵ - پروفیل I

این پروفیل شامل ۱۱ سونداژ ژئوالکتریک می باشد که با راستای شمال شرقی - جنوب غربی از جنوب کلاته ملکی در شمال تا جنوب مزرعه کاهدر در جنوب امتداد داشته است.

۲-۲-۶ - پروفیل J

این پروفیل شامل ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک می باشد. سونداژ شماره یک این پروفیل در منتهی الیه شمالی منطقه در فاصله ۲ کیلومتری شمال مزرعه بامشک و آخرین سونداژ در فاصله ۲/۵ کیلومتری شرق روستای کاهو برداشت شده است.

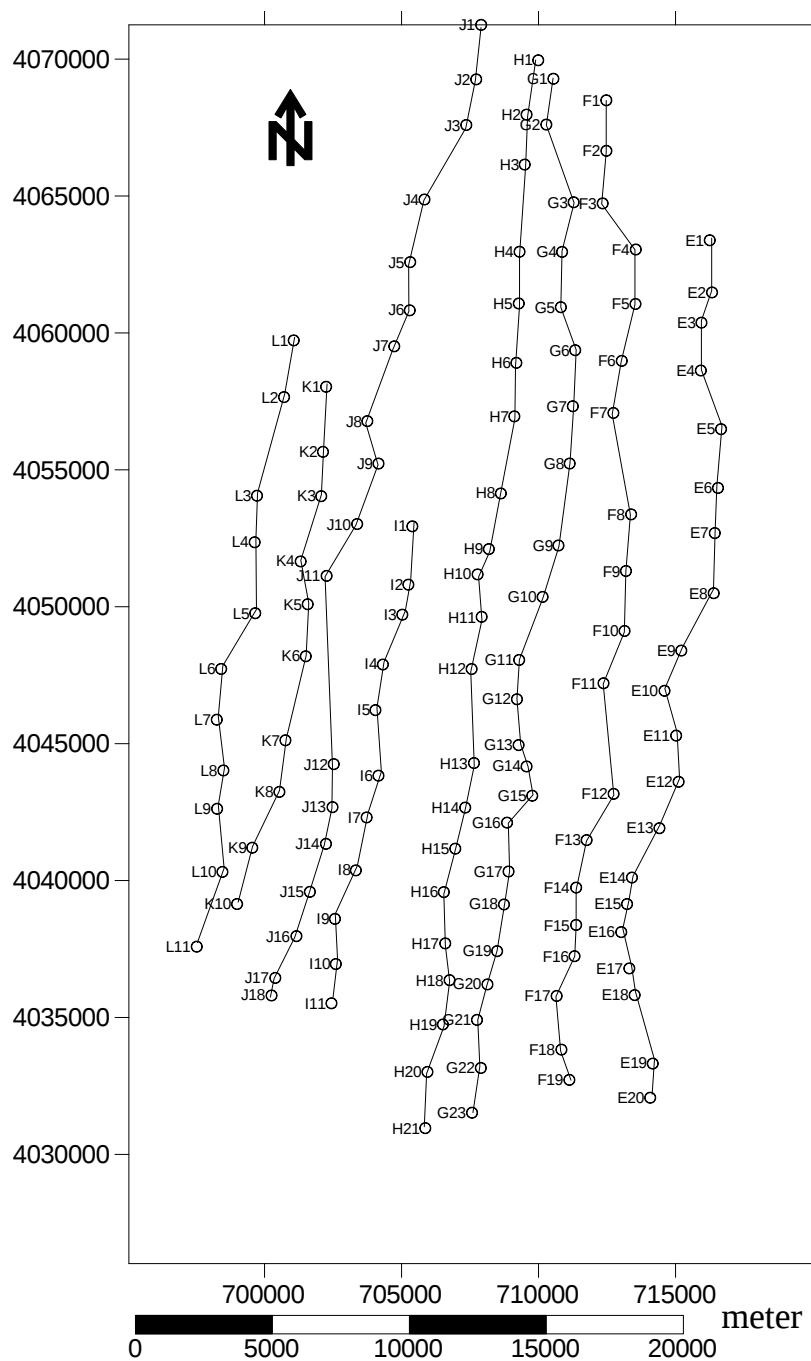
۲-۲-۷ - پروفیل K

این پروفیل شامل ۱۰ سونداژ ژئوالکتریک در فاصله بین روستای سیدآباد در شمال دشت و ۱۷۵۰ متری غرب قلعه نو کاهو در جنوب دشت می باشد.

۲-۲-۸ - پروفیل L

۱۱ سونداژ ژئوالکتریک این پروفیل با روند جغرافیایی شمال شرقی - جنوب غربی از فاصله دو کیلومتری شمال روستای کلاته حاج اسماعیل در شمال تا شمال شرقی روستای احمدآباد در جنوب امتداد دارد.

در شکل ۱-۲ موقعیت سونداژها (با علامت ○) در روی خطوط پروفیل‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ - موقعیت سونداژها (با علامت ○) در روی خطوط پروفیل‌ها

۲-۳- زمین شناسی

با توجه به اینکه آشنایی با زمین شناسی منطقه نقش مهمی در فرایند تفسیر لایه ها از منظر ژئوفیزیک ایفاء می کند لذا ذیلاً به بیان موارد اصلی آن پرداخته می شود.

دشت مورد مطالعه بین رشته ارتفاعات کپه داغ - هزار مسجد در شمال و ارتفاعات بینالود در جنوب واقع گردیده است.

پهنه کپه داغ - هزار مسجد دارای ویژگی رسوبگذاری در حوضه های کم عمق بوده و سازندهای دوران دوم و سوم زمین شناسی در پهنه مزبور ملاحظه می شود.

رشته ارتفاعات بینالود اگرچه از نظر جغرافیایی ادامه رشته کوه های البرز محسوب می شود، لیکن به عقیده زمین شناسان از نظر رسوبی - ساختاری ویژگی های ایران مرکزی و البرز را توأمأ دارا می باشد.

قدیمی ترین واحدهای سنگی در زون کپه داغ سازند کشف رود است که با سن ژوراسیک عمدتاً از ماسه - سنگ و شیل تشکیل یافته است.

در پهنه بینالود فیلیت ها و کالک شیست ها قدیمی ترین رخساره های لیتولوژیک بوده که سن آن را کامبرین زیرین برآورد نموده اند. در این پهنه و در فراتر از حاشیه دشت مورد مطالعه (نواحی بین مشهد و نیشابور) سازندهای دیگر متعلق به کامبرین زیرین مانند سازندهای سلطانیه و لالون نیز گزارش شده است، لیکن رویدادهای تکتونیکی و وقوع گسله های متعدد موجب گردیده که توالی کاملی از طبقات مختلف رخنمون پیدا نکنند.

در بخش‌های جنوب شرقی منطقه مجموعه افیولیتی از سنگ‌های دگرگونی، رسوبی و اولترابازیک گسترش دارد که به عقیده اغلب زمین‌شناسان از جمله آقای مانوئل بربریان (۱۹۸۱) افیولیت‌های مزبور محدوده مفصلی دو قطعه لیتوسفری پهنه کپه‌داغ و پهنه بینالود را تشکیل داده است.

سازندهای تشکیل‌دهنده ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت مشهد - چناران ذیلاً به اختصار بیان می‌گردد [گزارش مهندسین مشاور سازند آب پارس ، ۱۳۸۸].

۲-۳-۱- حاشیه شمالی دشت (بخشی از ارتفاعات هزار مسجد)

سازند مزدوران (ژوراسیک بالائی) قدیمی‌ترین رخنمون از زون کپه‌داغ - هزارمسجد در حاشیه شمالی دشت می‌باشد. که به صورت تاقدیسی با محور شمال غربی - جنوب شرقی در شمال روستاهای چشمه‌گیلاس و خان‌آباد ملاحظه می‌شود. یال جنوبی تاقدیس مزبور توسط خطواره یک گسل سراسری تقریباً هم‌روند با محور تاقدیس مزبور شکسته شده است. سازند مزدوران در مقطع تیپ خود از پایین به بالا از لایه‌های زیر تشکیل شده است :

- دولومیت و سنگ‌آهک ضخیم لایه به رنگ قهوه‌ای و خاکستری تیره در قاعده ($J^1\text{mz}$)
 - تناوب سنگ‌آهک بیوکلاستیک متوسط لایه با رنگ خاکستری تیره ، سنگ‌آهک میکریتی و شیل خاکستری ($J^2\text{mz}$)
 - تناوب سنگ‌آهک بیوکلاستیک متوسط لایه خاکستری تا قهوه‌ای با شیل خاکستری ($J^3\text{mz}$)
- شایان ذکر است که بر اساس اطلاعات موجود ضخامت این لایه در مقطع تیپ ۴۰۰ متر بوده و در دره ارداک شمال دشت مشهد به ۶۱۰ متر بالغ گردیده است.

سازند شوريجه (کرتاسه تحتانی) : این سازند عمدتاً از تناوب کنگلومرای قرمز رنگ و ماسه سنگ و سیلت سنگ همراه مواد کولابی تشکیل شده و در افق‌های میانی همراه ژئوپس می‌باشد که در مقطع تیپ خود حدود ۹۸۰ متر ضخامت دارد.

سازند تیرگان : این سازند از سنگ آهک الیتی با رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری به همراه میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی و شیل و شیل آهکی بوده که در مقطع تیپ خود ۴۱۲ متر ضخامت دارد، مرز سازند تیرگان با سازند شوريجه و مرز بالایی آن با سازند سرچشمه تدریجی می‌باشد.

سازند سرچشمه : از دو بخش پایینی از مارن‌های مدادی خاکستری تا سبز با بین لایه‌های سنگ آهک بیوکلاستیک نازک تا متوسط لایه و در بخش فوقانی از شیل تشکیل شده است (ksr). سن سه سازند شوریده و تیرگان و سرچشمه کرتاسه می‌باشد.

پلیوکواترنر : در حاشیه ارتفاعات شمالی دشت پلیوکواترنر متشکل از کنگلومرای با سیمان سست، ماسه - سنگ دانه درشت همراه با عدسی‌های ژئوپس دارای گسترش زیاد می‌باشد و به دلیل سیمان ضعیف آن گاهی تفکیک مقاومت‌ویژه این کنگلومرا از تراس‌های آبرفتی به دشواری امکان‌پذیر می‌گردد.

۲-۳-۲ - حاشیه جنوبی دشت (بخشی از پهنه بینالود)

چنانکه فوقاً اشاره شد قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در این بخش از دشت متعلق به واحدهای سنگی دوره پرمین بوده که از سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی همراه سنگ‌های دگرگونی از قبیل اسلیت، فیلیت، مرمر، کوارتزیت، کالک شیست، توف و لاپیلی توف توأم با جریان‌های زیردریایی با گدازه‌های بالشی و

دایک بوده که ترکیب سنگ‌های اخیر اغلب اولترابازیک می‌باشد (PS) [گزارش مهندسین مشاور سازند آب پارس ، ۱۳۸۸].

تریاس بالایی (سری‌های مایان) : سری‌های مزبور در ارتفاعات جنوبی دشت دارای گسترش وسیع است و عمدتاً از فیلیت‌های سبز تیره، کلریت‌شیست، کوارتزشیست، ماسه‌سنگ تیره، بین لایه‌های آهک در ماسه‌سنگ، شیل و ماسه‌سنگ با رگه‌های کوارتز تشکیل شده است ($J_1 - TR_3$).

ژوراسیک در ارتفاعات جنوبی دشت از پایین به بالا متشکل از واحدهای زیر است :

- کنگلومرای فاقد جورشدگی، ماسه‌سنگ دانه‌درشت و شیل (J_1^{sh}).
- واحد ژوراسیک میانی متشکل از ماسه‌سنگ دانه درشت، شیل و مارن. در نهشته‌های ژوراسیک میانی لایه‌هایی از کنگلومرا با قلوه‌سنگ‌های دگرگونه تریاس فوقانی - ژوراسیک زیرین و نیز گرانیات ملاحظه می‌گردد (J_2).
- سنگ‌آهک‌های میکربیتی نازک‌لایه با میان‌لایه‌های شیلی (J_d).
- سنگ‌آهک ضخیم لایه همراه شیل خاکستری (J_1^1) و سنگ‌آهک متوسط لایه تا ضخیم لایه هم‌ارز سازند لار (J_1^2).

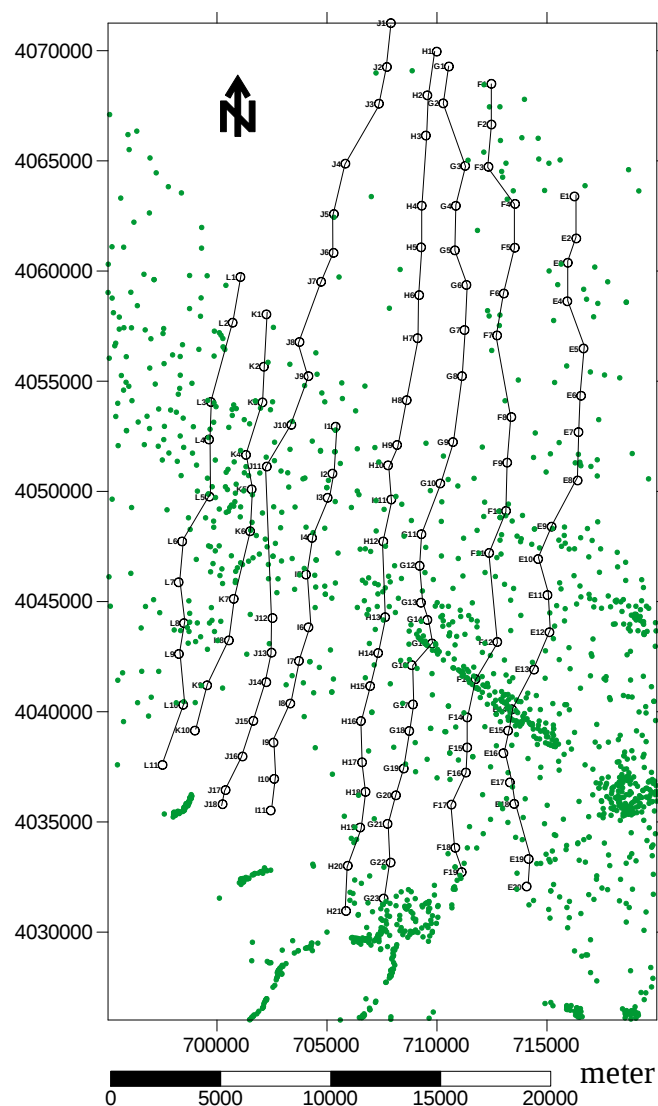
نئوژن : نهشته‌های نئوژن غالباً متشکل از ماسه‌سنگ و مارن و آهک مارنی در حاشیه ارتفاعات جنوبی منطقه رخنمون یافته است (N^g).

کواترنر : نهشته‌های کواترنر در هر دو زون شمالی و جنوبی متشکل از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی (Q^{t1}).

مخروط‌افکنه‌ها و تراس‌های جدیدتر (آبرفت دشت) (Q^{t2}) و نهشته‌های آبرفتی بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها (Q^{al}) می‌باشد. مجموعه نهشته‌های مزبور کانون اصلی تمرکز آب‌های زیر زمینی بوده که شناخت کیفی و کمی آبرفت‌ها مقوله اصلی مطالعات ژئوفیزیک را تشکیل داده است [گزارش مهندسین مشاور سازند آب پارس ، ۱۳۸۸].

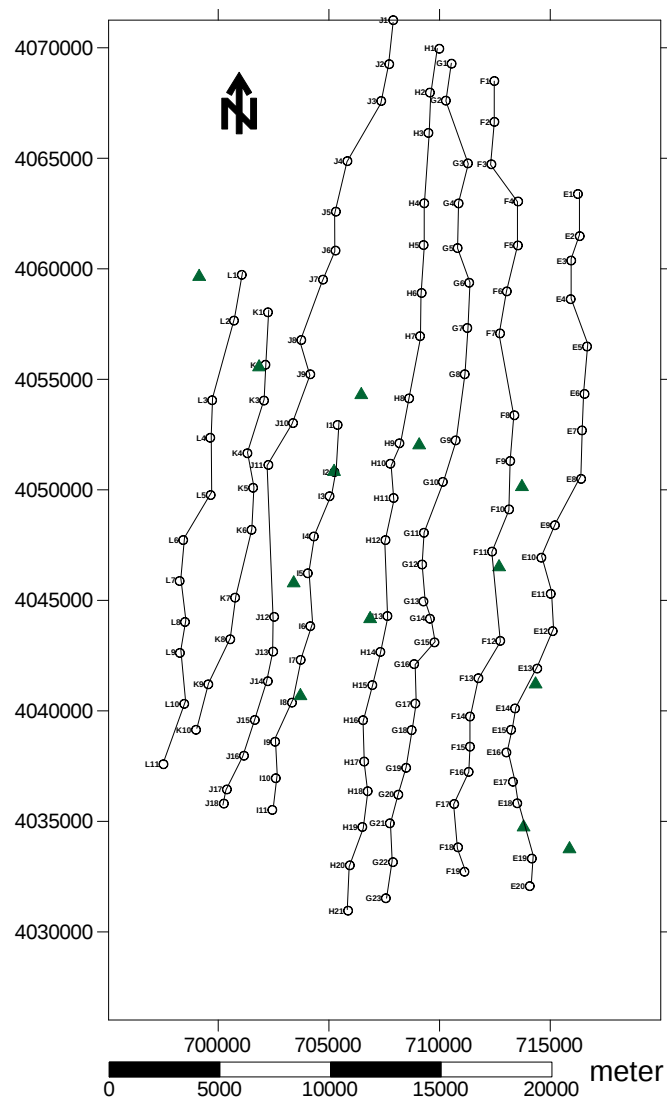
۲-۴- موقعیت چاه های آب منطقه مطالعاتی

در محدوده مورد مطالعه تعداد چاه های حفر شده زیادی وجود دارد که اطلاعات سال ۱۳۸۲ آنها شامل عمق چاه، عمق سطح آب و همچنین دبی آنها در دسترس است. این اطلاعات برای کمک به تفسیر بهتر داده های سونداژ مقاومت ویژه استفاده شده است. موقعیت این چاه ها (به صورت نقاط ریز و توپر) نسبت به سونداژها (با علامت ○) در شکل زیر نشان داده شده است.



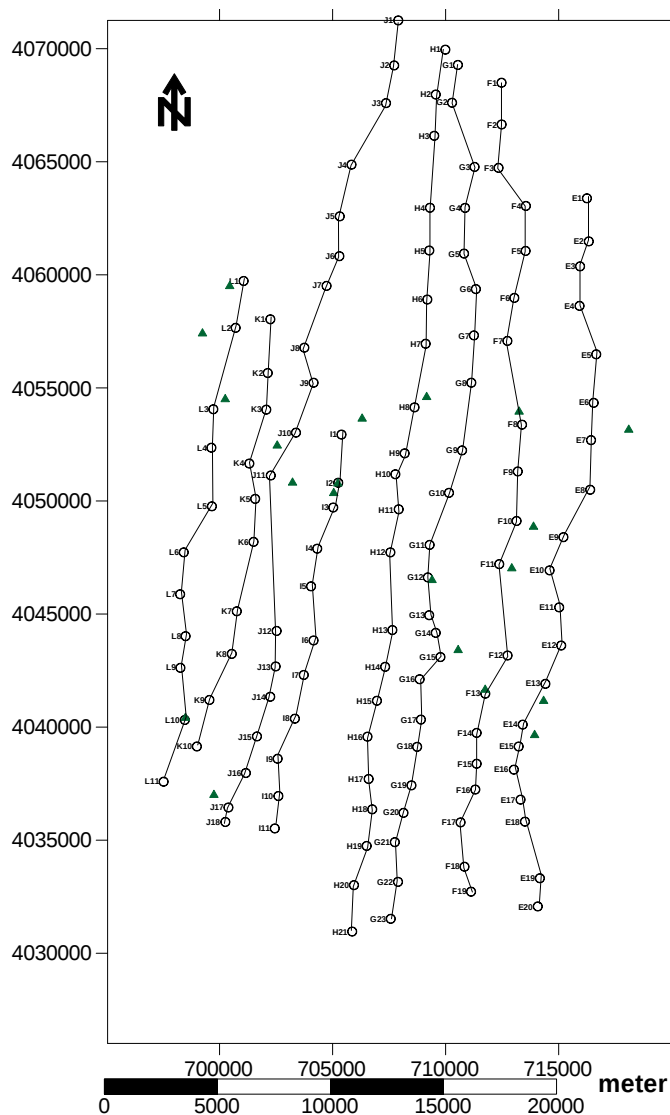
۲-۵- موقعیت پیزومترهای منطقه مطالعاتی

در این محدوده ۱۳ پیزومتر وجود دارد که عمق سطح آب در آنها به صورت ماهانه و به طور دقیق اندازه گیری شده است. از داده های این پیزومترها نیز برای کمک به تفسیر بهتر داده های سونداژ مقاومت ویژه استفاده شده است. موقعیت این پیزومترها (با علامت ▲) نسبت به سونداژها (با علامت ○) در شکل زیر نشان داده شده است.



۲-۶- موقعیت داده‌های هیدروشیمی منطقه مطالعاتی

در این محدوده همچنین داده‌های هیدروشیمیایی وجود دارد که شامل غلظت یون‌های مختلف، هدایت الکتریکی ویژه، کل مواد جامد محلول و PH است. از این داده‌ها که در بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۶ تهیه شده، در فصل‌های بعدی استفاده گردیده است. موقعیت این داده‌ها (با علامت ▲) نسبت به سونداژها (با علامت ○) در شکل زیر نشان داده شده است.



فصل سوم

مدل سازی و تفسیر یک بعدی

داده های سونداژ ژئوالکتریک

۳-۱- مقدمه

تفسیر داده‌های حاصل از سونداژزنی الکتریکی قائم برای به‌دست آوردن یک مدل ژئوالکتریکی قابل قبول انجام می‌شود، این مدل باید با نتایج مطالعات زمین‌شناسی آن منطقه مطابقت داشته باشد.

تفسیر به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شود. تفسیر کیفی در همان ابتدای کار و برای رسیدن به یک تصویر عمومی از منطقه مورد مطالعه صورت می‌پذیرد. در این تفسیر تغییرات مقاومت ویژه ظاهری به-دست آمده از نقشه‌ها و مقاطع مربوط به آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای به‌دست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید به صورت کمی انجام پذیرد. در تفسیر کمی از داده‌های خام (مقادیر مقاومت ویژه ظاهری)، یک سری پارامترهای فیزیکی شامل مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه‌ها تعیین می‌شوند. برای به‌دست آوردن تفسیر دقیق‌تر، باید نتایج حاصله را با سایر داده‌های حاصل از زمین‌شناسی، حفاری و غیره تلفیق نمود.

۳-۲- تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی

قدم اول در تفسیر یک سونداژ ژئوالکتریک، رسم داده‌های به‌دست آمده از آن بر روی کاغذهای شفاف با محورهای لگاریتمی است. در این نمودارها، مقدار ρ_a به صورت تابعی از فاصله الکترودی (طول $AB/2$ در آرایش شلومبرژه) ترسیم می‌شود. به طور کلی آنچه که در تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریکی مورد توجه قرار می‌گیرد، نقاط ماکزیمم، مینیمم و تغییر شیب بر روی این منحنی است. هر کدام از این نقاط می‌توانند معرف وجود یک لایه با مقاومت ویژه متفاوت برای طبقات افقی باشند. البته این قاعده کلی

نیست و برای آنکه یک لایه بتواند خود را بر روی منحنی نشان دهد، باید دارای ضخامت کافی و تباین مقاومت ویژه مناسب با طبقات مجاورش باشد.

۳-۳- تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی

تفسیر کمی نتایج به کمک منحنی‌های استاندارد یا آباک‌ها انجام می‌شود. یک تفسیر کامل، از یک طرف به تبحر کافی در مسائل ژئوالکتریکی بستگی دارد و از طرف دیگر مستلزم آن است که اطلاعات جامعی از زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در دسترس باشد [Reynolds , 1997]. به منظور تفسیر صحیح سونداژهای الکتریکی یک منطقه باید به نکات زیر توجه داشت :

۱- هر سونداژ الکتریکی باید با توجه به سونداژهای دیگری که در منطقه اجرا شده تفسیر شود.

۲- برای تفسیر از اطلاعات چاه‌های مجاور سونداژ استفاده شود.

۳- قبل از تفسیر منحنی ترسیم شده بایستی با تصحیح داده‌ها، این منحنی رابه یک منحنی هموار تبدیل کرد.

از آنجا که منحنی‌های استاندارد برای طبقات افقی دو تا چهار لایه تهیه شده‌اند منحنی سونداژ الکتریکی باید منحصراً مربوط به این‌گونه لایه‌ها باشند لذا باید شرایط زیر را دارا باشند:

۱- شیب قسمت بالارونده نباید از ۴۵ درجه بیشتر باشد.

۲- شعاع انحنای منحنی در نزدیکی نقطه ماکزیمم آن نباید خیلی کوچک باشد.

۳- در خصوص قسمت پایین‌رونده منحنی سونداژ الکتریکی نیز محدودیت‌های بالا وجود دارد.

بعد از مشخص شدن اینکه منحنی سونداژ الکتریکی مربوط به لایه‌های افقی می‌باشد، کار تفسیر با تطبیق جزء به جزء این منحنی با آباک‌های استاندارد انجام می‌شود. برای این کار منحنی را به بخشهای صعودی و نزولی تقسیم و هر بخش را مشابه مدل دولایه‌ای انطباق می‌دهیم. نقطه تقاطع محورهای قائم و افقی منحنی استاندارد را روی کاغذ لگاریتمی که منحنی سونداژ الکتریکی روی آن رسم شده با علامت (+) مشخص کرده و مختصات این نقطه بدست می‌آید. طول این نقطه معادل ضخامت لایه اول و عرض آن مقاومت‌ویژه لایه اول را به‌دست خواهد داد [Mooney, 1980].

برای تعیین مشخصات لایه‌های دیگر از منحنی‌های کمکی استفاده می‌کنیم و با ادامه کار انطباق منحنی - ها ضخامت و مقاومت‌ویژه هر یک از این لایه‌ها را به‌دست می‌آوریم. در نتیجه تفسیر مدلی شامل پارامترهای زیر به‌دست خواهد آمد :

الف - تعداد لایه‌ها

ب - مقاومت‌ویژه هر لایه

ج - ضخامت یا عمق هر لایه

۳-۴ - تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه چناران

برای به‌دست آوردن اطلاعات مورد نظر داده‌های ۱۳۳ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده به روش شلومبرژه در منطقه چناران، مورد تفسیر قرار گرفتند. در تفسیر یک‌بعدی، برای به‌دست آوردن مقادیر مقاومت ویژه حقیقی و ضخامت لایه‌ها، از منحنی‌های استاندارد و نرم افزارهای [G.R.J.Cooper]VES و [Interpex, 2007] IX1D استفاده شده است. منحنی‌های سونداژ الکتریکی ابتدا به روش دستی و با

استفاده از سر منحنی‌های دو لایه‌ای و منحنی‌های کمکی مربوطه و سپس با استفاده از نرم افزارهای کمکی مذکور، مورد تفسیر قرار گرفته‌اند. در نهایت، با مقایسه نتایج به‌دست آمده و سایر اطلاعات موجود از منطقه، نتایج نزدیکتر به واقعیت انتخاب شده‌اند. به‌دلیل حجم بالای کار و تعداد نسبتاً زیاد سونداژها، نتایج همه آنها در این فصل ذکر نشده‌اند و فقط نتایج سونداژ K3 به‌عنوان نمونه در جداول آورده شده است. نتایج بقیه سونداژها در لوح فشرده پیوست ارائه شده است.

۳-۵- تفسیر یک بعدی سونداژ الکتریکی K-3

در این قسمت، نتایج مدل‌های به‌دست آمده از تفسیر یک‌بعدی داده‌های سونداژ مقاومت‌ویژه الکتریکی توسط منحنی‌های استاندارد و نرم افزارهای VES و IX1D برای سونداژ K-3 به‌عنوان نمونه آورده شده است. داده‌های مقاومت‌ویژه اندازه‌گیری شده برای این سونداژ در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

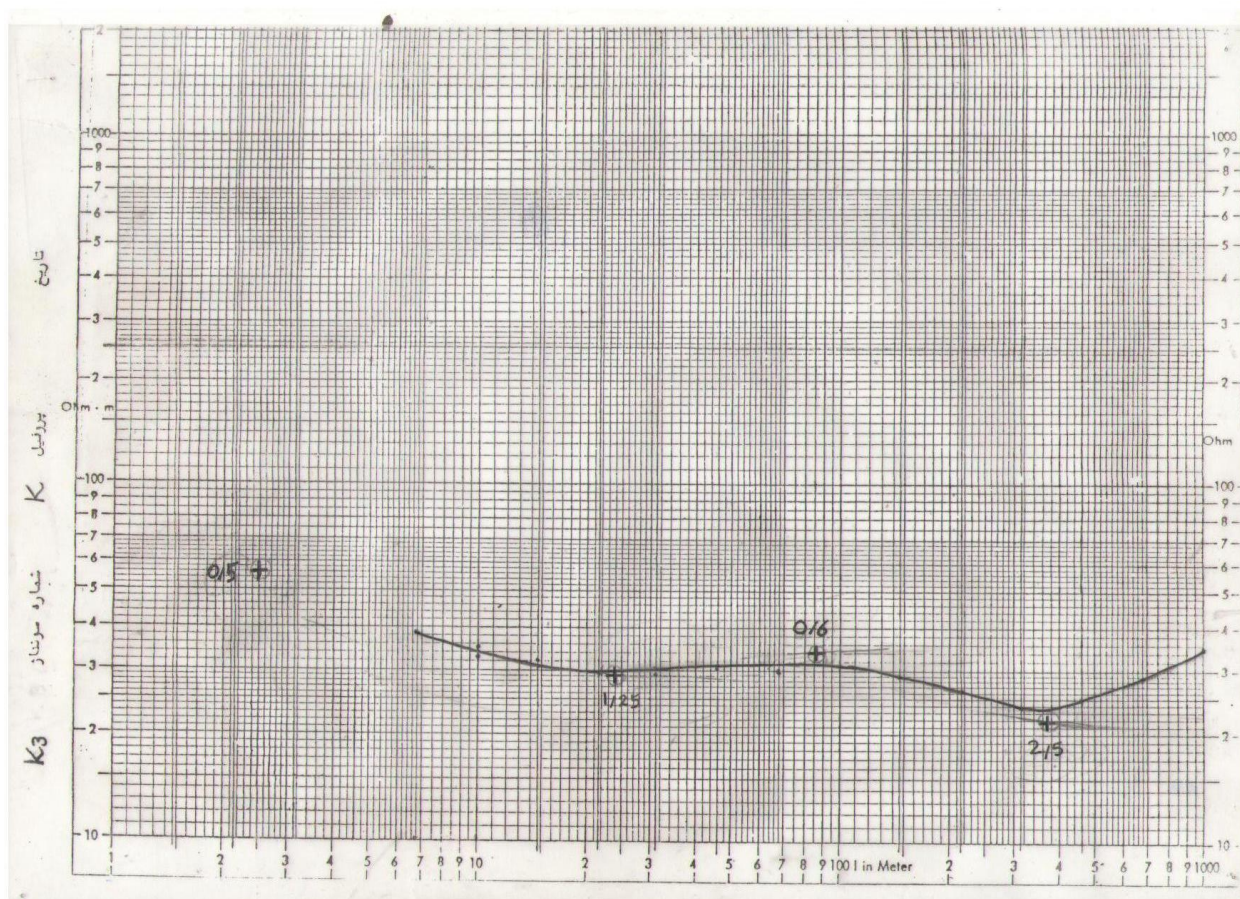
جدول ۳-۱ - مقادیر مقاومت ویژه بدست آمده برای سونداژ K-3

AB/2(m)	MN/2(m)	$\rho_a(\Omega.m)$
۶/۸	۱	۳۸/۵
۱۰	۱	۳۳
۱۰	۳	۳۵
۱۴/۷	۱	۳۱
۱۴/۷	۳	۳۲
۲۱/۵	۳	۲۹/۶
۳۱/۶	۳	۲۹/۲
۳۱/۶	۱۰	۳۰/۲
۴۶/۴	۳	۳۱/۲
۴۶/۴	۱۰	۳۰/۳
۶۸/۱	۱۰	۲۹/۷
۶۸/۱	۳۰	۳۰
۱۰۰	۱۰	۰
۱۰۰	۳۰	۳۱/۵
۱۴۷	۳۰	۲۹/۱
۲۱۵	۳۰	۲۶/۷
۳۱۵	۳۰	۲۴
۴۶۴	۳۰	۲۵
۶۸۱	۳۰	۲۹
۱۰۰۰	۳۰	۳۵

۳-۵-۱ - نتایج تفسیر دستی و مدل سازی پیشرو

در شکل ۳-۱ تفسیر دستی سونداژ K-3 به کمک منحنی های استاندارد نشان داده شده است. همان طور که قبلاً گفته شد، ابتدا داده های اندازه گیری شده را روی کاغذ لگاریتمی شفاف مشخص کرده و منحنی

همواری را با توجه به اصول رسم این منحنی‌ها، می‌کشیم. سپس کار تفسیر را به کمک منحنی‌های استاندارد همان‌طور که در بخش ۳-۳ توضیح داده شد، انجام می‌دهیم. نقاط تقاطع به‌دست آمده (با علامت +) روی شکل نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۱- تفسیر دستی سونداژ K-3 به کمک منحنی‌های استاندارد

با توجه به نقاط تقاطع و به کمک منحنی‌های استاندارد مقادیر مقاومت ویژه لایه‌ها و عمق آنها را مشخص می‌کنیم. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در محل این سونداژ ۵ لایه قابل تشخیص است. مقادیر مقاومت ویژه، ضخامت و عمق لایه‌ها در جدول ۳-۲ به کمک نرم افزار IX1D نشان داده شده است.

شکل ۲-۳ نتایج حاصل از تفسیر دستی را به صورت مدل پیشرو (FORWARD) در نرم افزار IX1D نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود انطباق خوبی بین این مدل و مدل تخمینی نرم افزار وجود دارد و خطای پایین ۲/۸۶ درصد نیز مؤید این نکته می‌باشد.

جدول ۲-۳ - مقادیر مقاومت ویژه، عمق و ضخامت بدست آمده برای سونداژ K-3

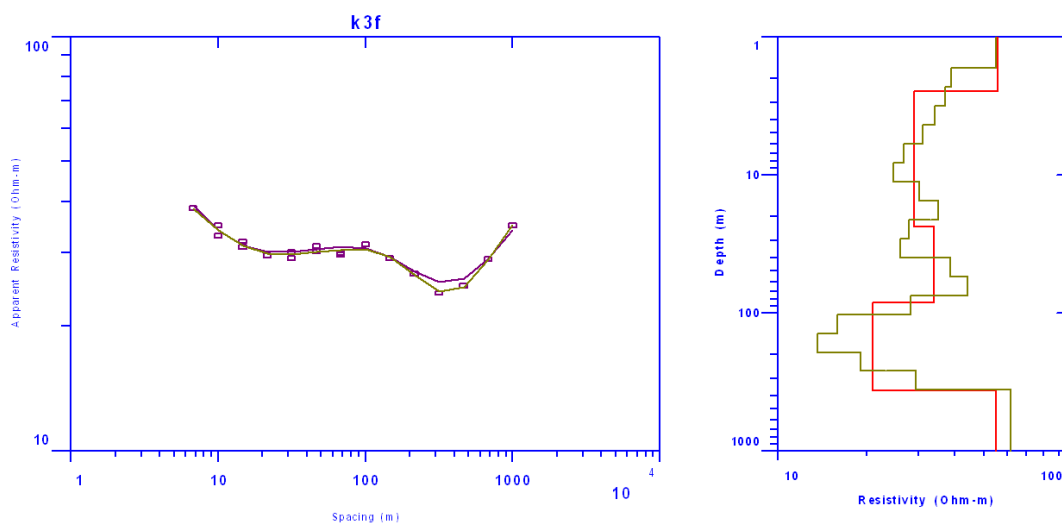
Resistivity Model

Surface Elevation: 0.0000 Fitting Error: 2.8577

☐ Use Depth Instead of Thickness Units: (meters)

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	56.000	☐	2.5000	2.5000	-2.5000	☐
2	29.000	☐	21.500	24.000	-24.000	☐
3	34.000	☐	61.000	85.000	-85.000	☐
4	21.000	☐	285.00	370.00	-370.00	☐
5	55.000	☐				☐
6		☐				☐
7		☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

Column Math:



شکل ۲-۳ - تفسیر دستی سونداژ K-3 به صورت مدل پیشرو (FORWARD) در نرم افزار IX1D

۳-۵-۲- نتایج تفسیر و مدل سازی وارون با نرم افزار IX1D

شکل ۳-۳ نتایج حاصل از مدل سازی وارون (INVERSION) را که به وسیله نرم افزار IX1D انجام شده، نشان می دهد. همان طور که دیده می شود انطباق خوبی بین این مدل و مدل تخمینی نرم افزار وجود دارد و خطای پایین ۱/۹۵ درصد نیز مؤید این نکته می باشد.

Resistivity Model

Surface Elevation:

Fitting Error:

☐ Use Depth Instead of Thickness

Units:

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	49.389	☐	2.8507	2.8507	-2.8507	☐
2	28.700	☐	25.951	28.802	-28.802	☐
3	34.826	☐	66.283	95.085	-95.085	☐
4	17.512	☐	240.98	336.06	-336.06	☐
5	64.942	☐				☐
6		☐				☐
7		☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

Insert Cell

Insert Row

Delete Cell

Delete Row

OK

Cancel

Column Math:

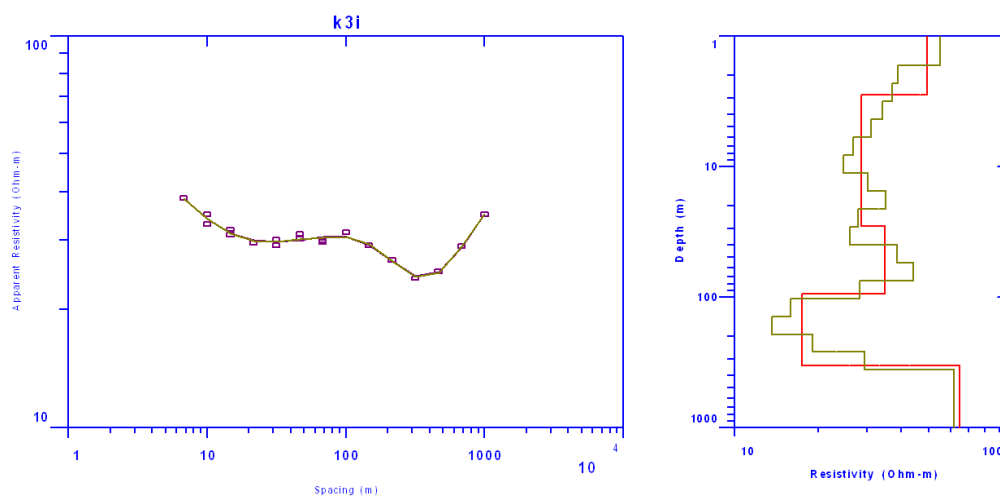
Forward

Add To

One Iteration

Multiply By

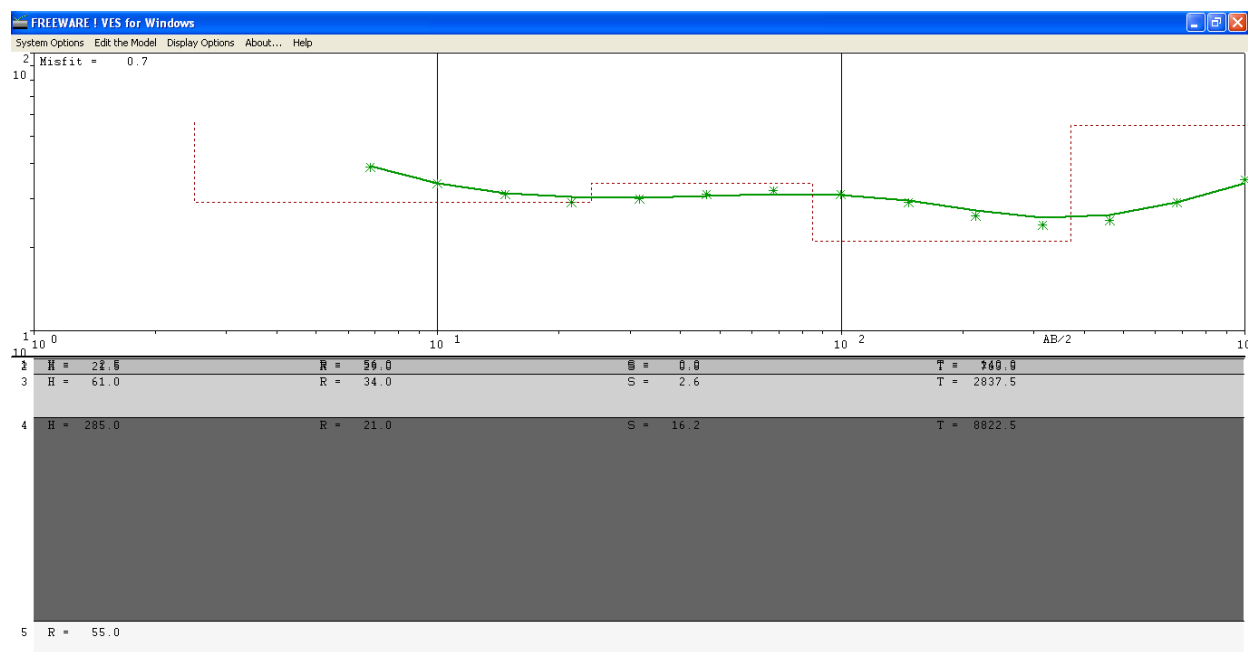
More Iterations



شکل ۳-۳- مدل سازی معکوس (INVERS) سونداژ K-3 به وسیله نرم افزار IX1D

۳-۵-۳- نتایج تفسیر با نرم افزار VES

شکل زیر نتایج حاصل از تفسیر به وسیله نرم افزار VES را نشان می دهد. خطای پایین ۰/۷ نشان دهنده انطباق خوب مدل به دست آمده از تفسیر با مدل حاصل از داده های ارائه شده به نرم افزار می باشد.



شکل ۳-۴- تفسیر سونداژ K-3 به وسیله نرم افزار VES

۳-۵-۴- نتایج نهایی تفسیر سونداژ K-3

در محل این سونداژ با توجه به جدول ۳-۳ وجود ۵ لایه قابل تشخیص است که لایه سوم با توجه به مقاومت ویژه آن به عنوان لایه آبدار تفسیر می‌گردد. این لایه در عمق تقریبی ۲۴ تا ۲۸ متری از سطح زمین قرار دارد و ضخامت آن ۶۱ تا ۶۶ متر برآورد گردیده است. با توجه به اطلاعات چاه‌های آب موجود در منطقه که در عمق بین ۱۸ تا ۳۰ متری به آب زیر زمینی رسیده‌اند، نتیجه این تفسیر قابل قبول به نظر می‌رسد.

جدول ۳-۳- مقادیر مقاومت ویژه و ضخامت به دست آمده برای سونداژ K-3 به روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار VES Misfit=0.7		تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error=1.95%		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		سونداژ: K3
t (m)	$\rho(\Omega.m)$	t (m)	$\rho(\Omega.m)$	t (m)	$\rho(\Omega.m)$	مشخصات
۲/۵	۵۶	۲/۸	۴۹/۳	۲/۵	۵۶	لایه اول
۲۱/۵	۲۹	۲۵/۹	۲۸/۷	۲۱/۵	۲۹	لایه دوم
۶۱	۳۴	۶۶/۲	۳۴/۸	۶۱	۳۴	لایه سوم*
۲۸۵	۲۱	۲۴۰/۹	۱۷/۵	۲۸۵	۲۱	لایه چهارم
	۵۵		۶۴/۹		۵۵	لایه پنجم

۳-۶- نتایج تفسیر یک بعدی سونداژهای ژئوالکتریک در منطقه چناران

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، نتایج تفسیر بقیه سونداژها در لوح فشرده پیوست ارائه شده است. نتایج نهایی تفسیر سونداژها و مشخصات لایه آبدار در محل هر یک از آنها در جدول ۳-۴ آورده شده است.

جدول ۳-۴ - مقادیر مقاومت ویژه و ضخامت به دست آمده برای لایه آبدار در محل سونداژها

نام سونداژ	تعداد لایه	شماره لایه آبدار	مقاومت ویژه لایه آبدار ($\Omega.m$)	ضخامت لایه آبدار (m)
E-2	۶	۵	۸۴	۱۳۰
E-3	۵	۳	۶۴	۳۴
E-4	۵	۴	۸۴	۱۹۵
E-5	۶	۵	۸۴	۲۲۷
E-6	۶	۴	۷۲	۹۴
E-7	۷	۵	۲۹	۷۸
E-8	۷	۶	۶۲	۱۵۰
E-9	۶	۵	۷۹	۶۰
E-10	۵	۴	۴۱	۲۰۶
E-11	۶	۴	۳۰	۱۸
E-12	۵	۳	۴۶	۷۲
E-13	۸	۶	۴۵	۲۵
E-14	۸	۶	۶۸	۱۷۴
E-17	۶	۵	۸۷	۱۰۰
E-18	۷	۶	۷۱	۱۳۱
F-1	۶	۴	۵۸	۷۰
F-4	۷	۶	۶۸	۱۹۳
F-6	۶	۵	۶۰	۱۷۲
F-7	۵	۴	۴۱	۱۰۶
F-8	۷	۴	۳۶	۱۳
F-9	۵	۴	۴۰	۴۸۵
F-10	۶	۴	۲۵	۴۵
F-11	۴	۳	۴۸	۷۹
F-12	۶	۴	۶۲	۶۷
F-13	۶	۵	۳۶	۴۵۵
F-16	۵	۴	۷۳	۶۵
F-17	۵	۴	۶۳	۴۳
G-3	۴	۳	۶۲	۲۸
G-4	۵	۳	۳۶	۵۱
G-5	۶	۵	۵۳	۳۹۹
G-6	۴	۳	۳۹	۱۰۱
G-7	۵	۴	۲۶	۸۹
G-8	۵	۴	۶۸	۲۰۵
G-9	۵	۴	۶۷	۶۱
G-10	۵	۴	۳۱	۲۲۸
G-11	۶	۴	۲۷	۱۰۲
G-12	۵	۳	۵۵	۸۴
G-13	۶	۴	۶۴	۶۷
G-14	۴	۳	۲۴	۲۱۳
G-15	۴	۳	۴۰	۱۳۹

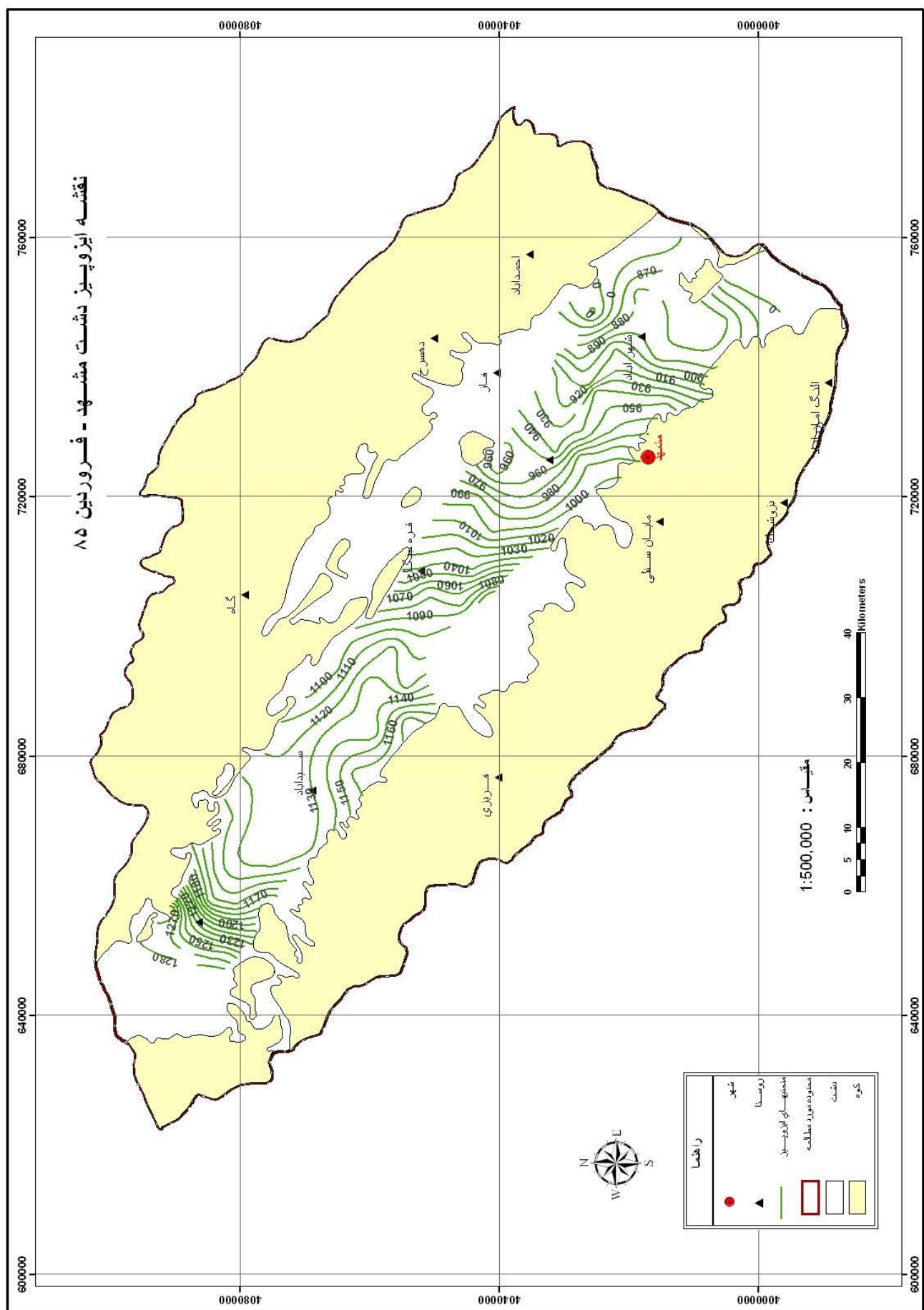
نام سونداژ	تعداد لایه	شماره لایه آبدار	مقاومت ویژه لایه آبدار ($\Omega.m$)	ضخامت لایه آبدار (m)
G-16	۶	۵	۲۷	۱۱۱
G-17	۵	۴	۹۴	۴۱۱
G-19	۷	۵	۴۵	۴۴
G-21	۴	۳	۸۵	۱۱۵
G-23	۵	۴	۵۱	۶۳
H-2	۶	۵	۵۴	۳۵۰
H-3	۷	۴	۶۸	۴۳
H-4	۴	۳	۶۷	۳۴۱
H-5	۵	۴	۵۷	۵۷۲
H-6	۴	۳	۵۲	۲۷۹
H-7	۶	۵	۴۱	۱۳۴
H-8	۶	۴	۲۸	۶۷
H-9	۵	۴	۲۷	۲۷۱
H-10	۶	۴	۲۹	۱۰۸
H-11	۸	۴	۲۹	۱۲۴
H-12	۶	۴	۳۴	۱۰۸
H-13	۵	۴	۲۳	۱۴۵
H-14	۵	۴	۵۲	۱۸۵
H-17	۵	۴	۹۹	۱۳۲
I-1	۵	۳	۳۷	۳۸
I-2	۴	۳	۵۰	۸۴
I-3	۵	۳	۶۲	۹۹
I-4	۶	۴	۲۸	۲۳
I-5	۵	۴	۳۷	۲۳۲
I-6	۵	۴	۹۳	۵۳۱
I-8	۴	۳	۹۲	۴۰۱
I-10	۴	۳	۴۶	۱۴۰
I-11	۵	۳	۶۹	۳۰
J-1	۵	۴	۶۳	۱۶۰
J-2	۶	۴	۵۰	۹۷
J-3	۶	۳	۴۳	۵۸
J-4	۴	۳	۳۵	۱۱۴
J-5	۴	۳	۴۹	۵۰۰
J-6	۴	۳	۴۶	۱۹۲
J-7	۶	۴	۷۳	۹۲
J-8	۶	۴	۵۹	۱۳۸
J-9	۴	۳	۸۰	۱۴۵
J-10	۵	۳	۵۱	۳۸
J-11	۶	۳	۴۸	۲۰
J-15	۶	۵	۸۸	۱۴۳
J-16	۷	۶	۲۶	۱۳۴
J-17	۴	۳	۲۸	۹۶

نام سونداژ	تعداد لایه	شماره لایه آبدار	مقاومت ویژه لایه آبدار ($\Omega.m$)	ضخامت لایه آبدار (m)
J-18	۴	۲	۲۰	۵۵
k-1	۵	۳	۸۰	۹۱
K-2	۶	۳	۴۲	۲۴
K-3	۵	۳	۳۵	۶۶
K-4	۵	۴	۳۳	۶۱۸
K-5	۶	۵	۲۳	۱۷۱
K-6	۴	۳	۳۱	۲۵۸
K-8	۷	۶	۹۰	۵۵۸
K-9	۷	۶	۶۸	۶۲۰
K-10	۶	۵	۲۴	۴۹۱
L-1	۷	۲	۱۹	۶
L-2	۵	۳	۴۳	۳۹
L-3	۷	۴	۴۴	۱۵
L-4	۴	۳	۳۶	۴۹۵
L-5	۶	۴	۳۰	۴۲
L-7	۶	۵	۲۸	۱۴۵
L-8	۶	۵	۷۹	۲۹۴
L-9	۶	۵	۳۱	۳۰۵
L-10	۶	۵	۲۰	۱۶۱

روش ژئوالکتریک در محل‌هایی که کنتراست مقاومت ویژه پایینی دارند قادر به تفکیک لایه‌ها نمی‌باشد، یکی از این موارد سنگ کف رسنایی است که مقاومت ویژه‌ای نزدیک به مقاومت ویژه لایه آبدار دارد. این پدیده باعث گردیده که در جدول ۳-۴ ضخامت برخی از لایه‌های آبدار غیر واقعی باشد.

۳-۷- جهت آب زیر زمینی در منطقه مطالعاتی

نقشه ایزوپیز دشت مشهد که در فروردین ماه سال ۱۳۸۵ تهیه شده در شکل ۳-۵ آورده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با توجه به خطوط هم‌پتانسیل آب زیرزمینی جهت جریان را می‌توان در راستای شمال غربی - جنوب شرقی و در امتداد رودخانه کشف‌رود در نظر گرفت.



شکل ۳-۵- نقشه ایزوپیز دشت مشهد
۴۴

۳-۸- نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج سونداژها که در جدول ۳-۴ آمده، ملاحظه می‌شود که در پروفیل‌های طویل که از شمال تا جنوب منطقه مطالعاتی امتداد دارند، در محل سونداژهای ابتدایی و انتهایی پروفیل‌ها لایه آبداری اکتشاف نشده است. این نکته نشان‌دهنده تجمع آب زیر زمینی در بخش‌های مرکزی دشت مورد مطالعه می‌باشد. اگر مقادیر مقاومت ویژه لایه آبدار را در جدول فوق بررسی کنیم، در می‌یابیم که بخش‌های انتهایی پروفیل‌ها (جنوب منطقه) دارای مقادیر بالاتری می‌باشند که می‌تواند به علت کیفیت بالای آب زیر زمینی باشد. مطالعات زمین شناسی منطقه نیز به دلایل زیر این موضوع را تأیید می‌کند :

۱- لایه آبدار در بخش‌های جنوبی بیشتر تحت تأثیر زون بینالود است که از سنگ‌های آذرین و دگرگونی تشکیل شده در حالی که در بخش‌های شمالی بیشتر تحت تأثیر زون کپه داغ است که از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است.

۲- مخروط افکنه زون بینالود ضخامت بیشتری داشته و نفوذپذیری آن به علت رسوبات دانه درشت بیشتر است. از طرفی این منطقه به لحاظ تکتونیکی فعال‌تر است و بارندگی آن نیز بیشتر می‌باشد.

به دلایلی که در بالا ذکر شد و از نتایج سونداژها می‌توان فهمید، به‌طور کلی بخش‌های مرکزی و نزدیک به جنوب منطقه به لحاظ هیدروژئولوژی اهمیت بیشتری دارند.

فصل چهارم

تفسیر دو بعدی داده های سونداژ مقاومت ویژه

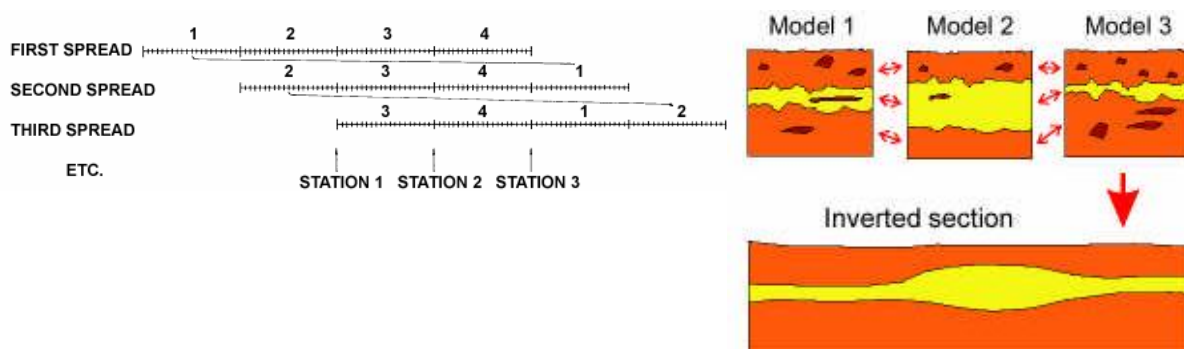
یکی از محدودیت‌های روش سونداژ زنی مقاومت‌ویژه، عدم پاسخ مناسب آن به تغییرات افقی مقاومت‌ویژه الکتریکی در زیر سطح زمین است. با مدل‌سازی دو بعدی داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی می‌توان تصویر دقیق‌تری را از تغییرات آن، هم در امتداد قائم و هم در امتداد افقی، در طول خط بررسی به‌دست آورد. در اکثر مواقع، خصوصاً در هنگام بررسی ساختارهای طویل زمین‌شناسی، این روش مدل‌سازی، روشی مناسب و منطقی می‌باشد [حجت، ۱۳۸۲].

۴-۲- تفسیر دو بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی به روش سونداژ زنی قائم

پیوسته

روش سونداژ زنی الکتریکی قائم ممتد^۱ که به صورت مختصر به روش CVES معروف است، از تعدادی سونداژ الکتریکی تشکیل شده که در طول یک پروفیل خطی برداشت شده‌اند و در نتیجه می‌توانند به صورت دو بعدی نیز تفسیر شوند [Monlano et al, 1990]. در این روش هدف اولیه بررسی زمین به صورت یک بعدی است و برداشت در آن بیشتر با آرایه شلومبرژه انجام می‌شود. با برداشت خطی چندین سونداژ امکان تفسیر دو بعدی میسر خواهد شد (شکل ۴-۱). به دلیل حساسیت کم آرایه شلومبرژه به تغییرات جانبی، بهتر است مدل‌سازی به وسیله این آرایه را یک مدل سازی ۱/۵ بعدی دانست. از آنجا که آرایه شلومبرژه در نشان دادن تغییرات هموار مقاومت ویژه، قوی تر از دیگر آرایه‌ها است، روش برداشت CVES در زمین‌های با تغییرات عمقی هموار نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد [Muiuane and Pederson, 1999].

¹ Continious Vertical Electric Sounding



شکل ۴-۱- روش سونداژنی الکتریکی قائم ممتد (CVES) [Wisn , 2002]

۴-۳- تفسیر دو بعدی داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی به کمک نرم افزار Res2dinv

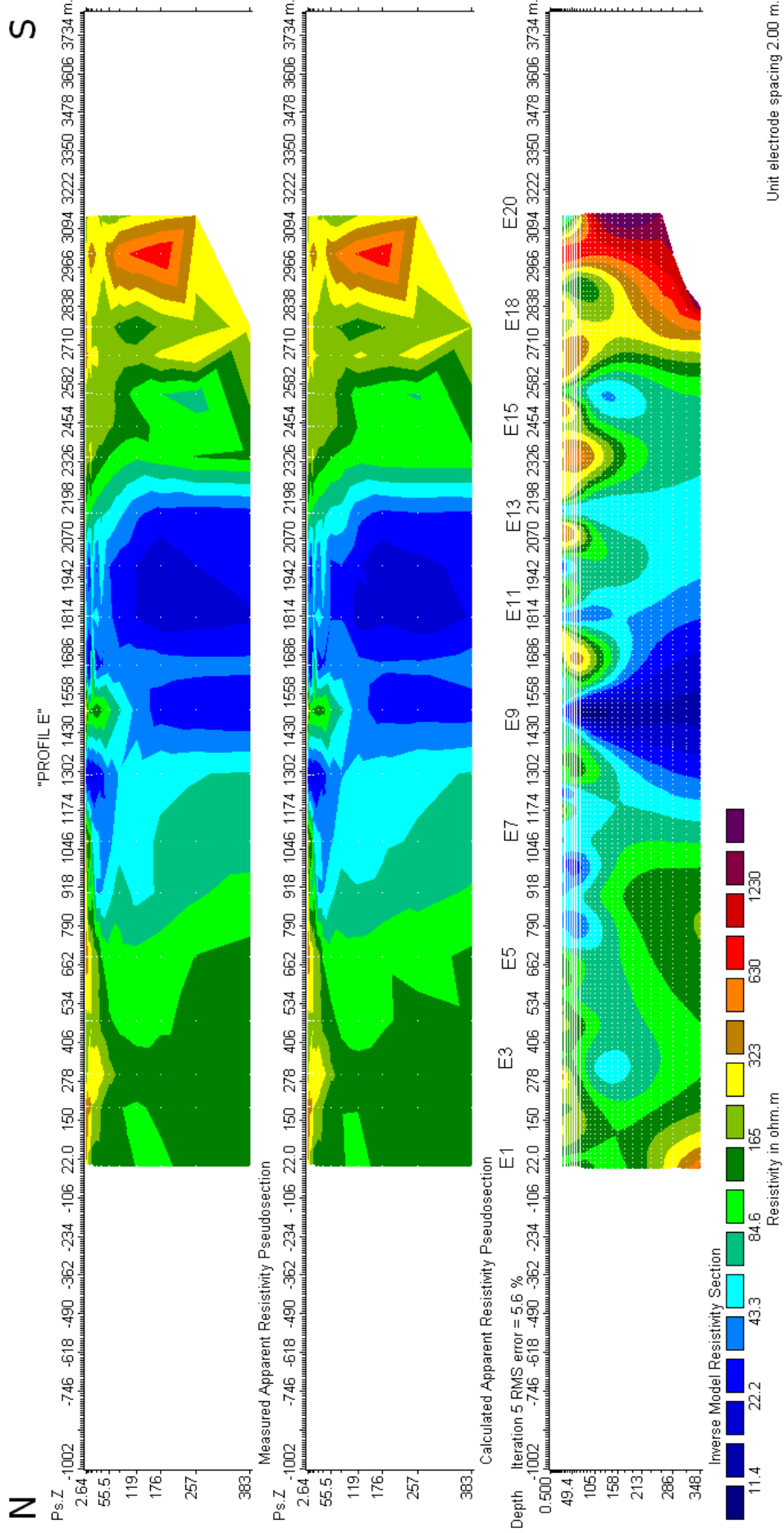
تفسیر دو بعدی داده‌های حاصل از روش شلومبرژه مقاومت ویژه الکتریکی به کمک نرم افزار Res2dinv [Geotomo software, 2004] انجام شده و شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری در طول هر پروفیل تهیه گردیده است. نرم افزار Res2dinv به صورت اتوماتیک، یک مدل مقاومت ویژه دو بعدی برای زیر سطح زمین، با استفاده از داده‌های به دست آمده از برداشت‌های الکتریکی صحرائی ایجاد می‌نماید. این نرم‌افزار، برای مدل سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی، از روش بهینه سازی کمترین مربعات غیر خطی استفاده می‌نماید.

نتایج حاصل از مدل سازی دو بعدی داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار انجام شده است که در ادامه این نتایج را برای ۸ پروفیل برداشت شده ارائه می‌نماییم.

۴-۳-۱- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل E

شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریکی دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۲ از مدل سازی معکوس یا وارون دو بعدی تعداد ۲۰ سونداژ ژئوالکتریک ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۴-۲ دیده می‌شود، در

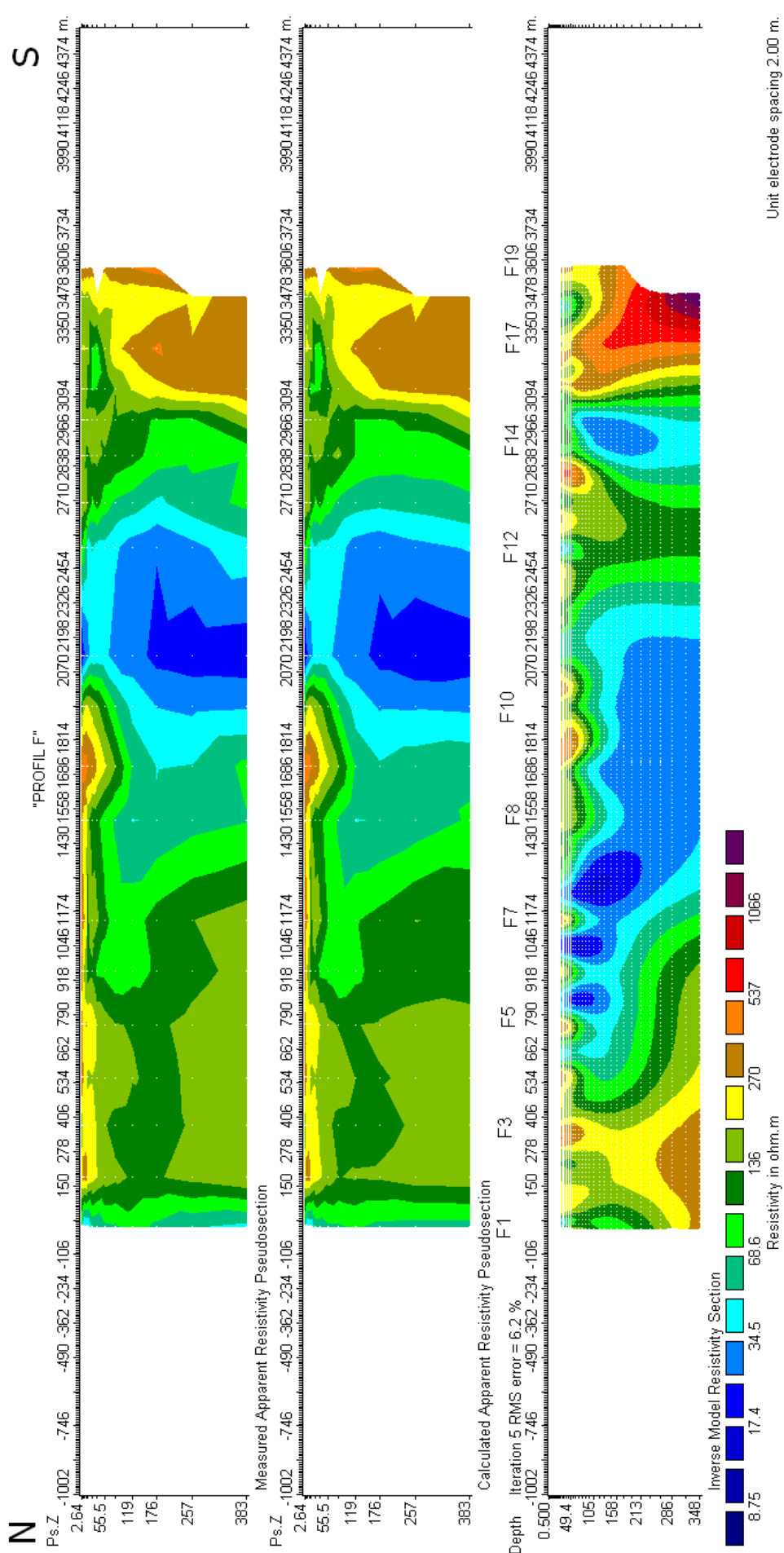
شمال پروفیل و در محدوده بین سونداژهای E1 تا E5 مقاومت ویژه رسوبات تا عمق تقریبی ۴۰ متری بیشتر از ۱۰۰ اهم متر می باشد. در محدوده بین E2 تا E8 لایه آبداری در عمق ۴۰ تا ۲۰۰ متری با مقاومت ویژه بین ۳۰ تا ۸۰ اهم متر وجود دارد که گسترش عمقی آن در زیر سونداژهای E7 و E8 بیشتر است. در بین سونداژهای E1 تا E6 در عمق بیشتر از ۲۰۰ متر لایه ای با مقاومت ویژه بیش از ۱۵۰ اهم-متر قرار دارد. در فاصله بین سونداژهای E5 تا E8 لایه سطحی با مقاومت ویژه کمتر از ۵۰ اهم متر قرار دارد. در محدوده بین سونداژهای E9 تا E11 لایه عمقی با مقاومت ویژه زیر ۳۰ اهم متر دیده می شود. از سونداژ E14 به بعد لایه سطحی با مقاومت ویژه بیش از ۲۰۰ اهم متر دیده می شود که در زیر سونداژهای E18 تا E20 گسترش عمقی زیادی یافته و مقاومت ویژه آن نیز شدیداً بالا رفته است. مقاومت ویژه بالا در این بخش مربوط به سنگ های توده ای و دگرگونی می باشد. در فاصله بین سونداژهای E10 تا E17 لایه آبداری با مقاومت ویژه ۳۰ تا ۸۰ اهم متر و ضخامت زیاد دیده می شود که در عمق تقریبی ۴۰ تا ۸۰ متری وجود دارد و از نظر هیدروژئولوژی موقعیت مناسبی دارد. این قسمت در جنوب منطقه قرار گرفته و تحت تأثیر زون بینالود می باشد. با توجه به اینکه مخروط افکنه این زون دارای ضخامت زیاد و رسوبات دانه درشت می باشد نفوذپذیری آن بالاتر و کیفیت آب آن نیز بهتر است.



شکل ۴-۲- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل E به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۲- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل F

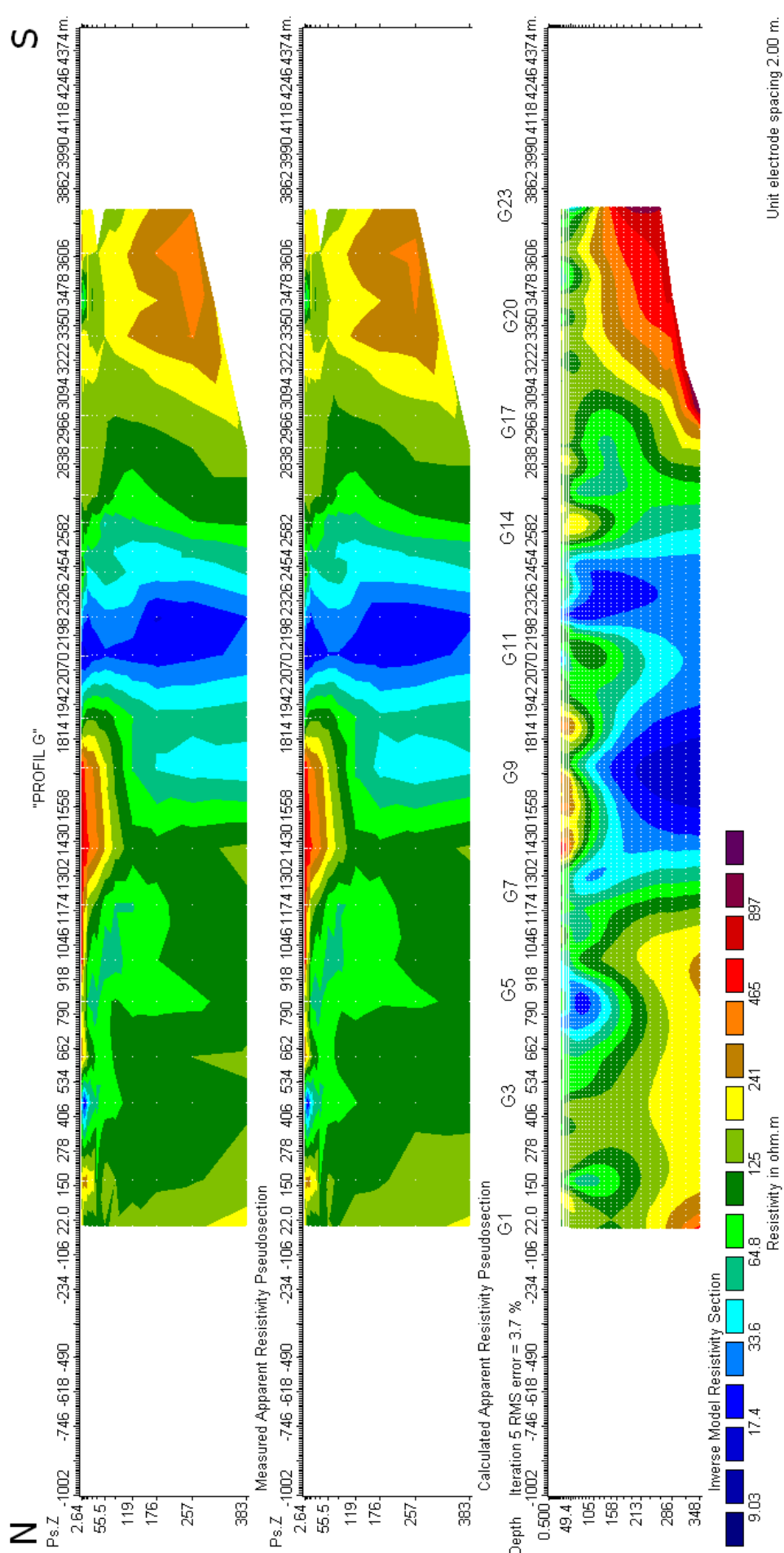
شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریکی حاصل از مدل سازی معکوس پروفیل F (شکل ۴-۳) با استفاده از تعداد ۱۹ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر این پروفیل که از نواحی شمالی تا حواشی جنوبی دشت برداشت شده‌اند، ترسیم گردیده است. همان‌طور که در شکل ۴-۳ دیده می‌شود قسمت‌های شمالی و جنوبی پروفیل دارای مقاومت ویژه بالای ۱۵۰ اهم‌متر هستند که در شمال مربوط به سنگ‌های کربناته زون کپه‌داغ و در جنوب ناشی از سنگ‌های توده‌ای و دگرگونی زون بینالود می‌باشند. نواحی میانی این پروفیل که از سونداژ F4 تا F16 را شامل می‌شود حاوی لایه آبداری است که ضخامت و کیفیت آن در زیر سونداژهای F11 تا F16 (با توجه به گسترش عمقی و مقاومت ویژه بالاتر آن) بیشتر است.



شکل ۴-۳- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل F به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۳- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل G

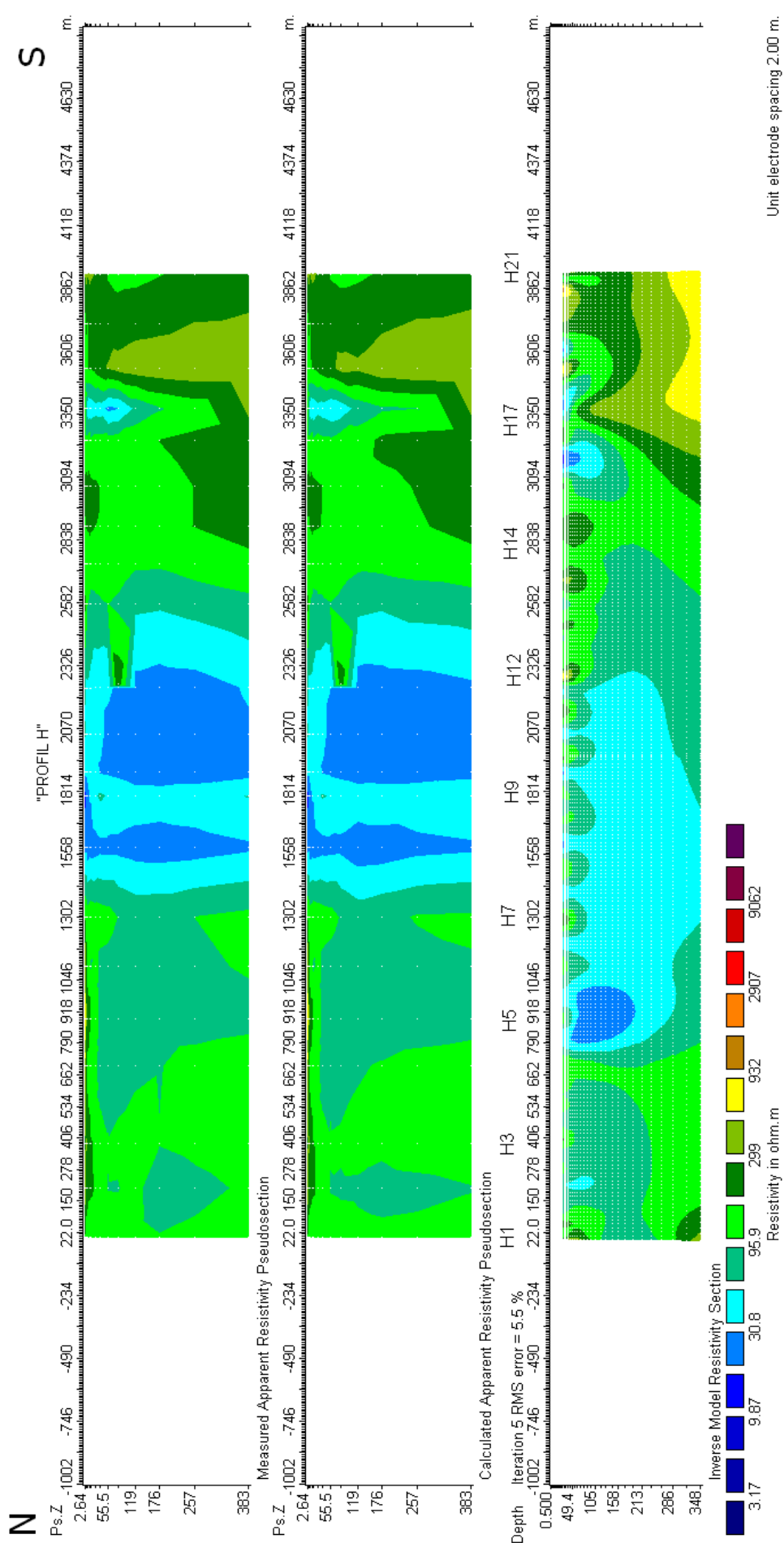
برای شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریک دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۴ از مدل سازی وارون دو-بعدی تعداد ۲۳ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر پروفیل G بهره‌جویی شده است. مقاومت ویژه بالای ۱۰۰ اهم-متر در قسمت شمال این پروفیل مربوط به لایه‌های کربناته زون کپه‌داغ می‌باشد. ضخامت لایه آبدار در قسمت شمالی کم و در بخش‌های مرکزی و در فاصله بین سونداژهای G10 تا G17 زیاد است. در قسمت جنوبی لایه آبدار سطحی و کم ضخامتی وجود دارد که در زیر آن سنگ‌های توده‌ای و دگرگونی زون بینالود با مقاومت ویژه بالا وجود دارند.



شکل ۴-۴- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل G به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۴- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل H

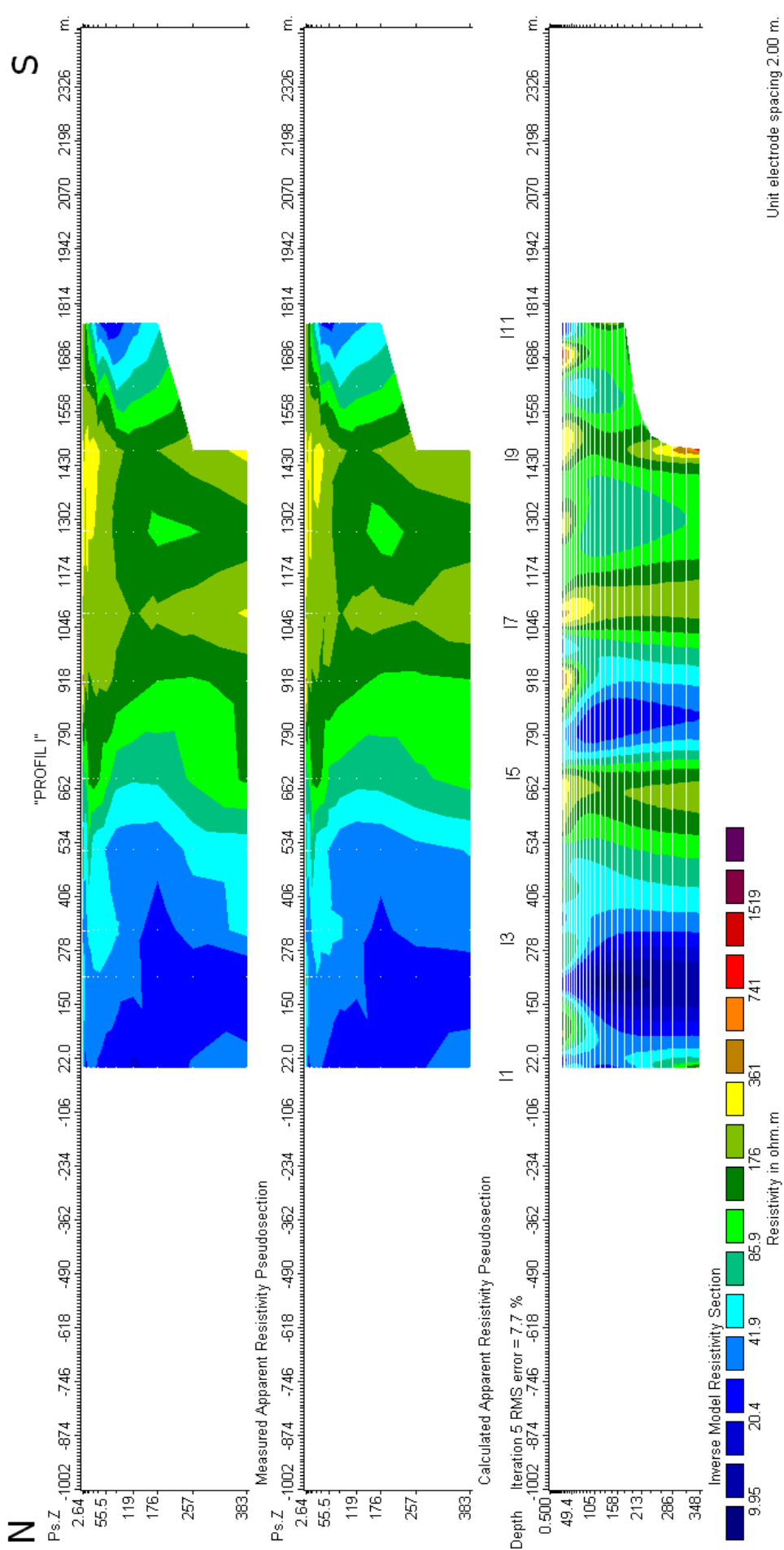
شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریک دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۵ از مدل سازی معکوس دوبعدی تعداد ۲۱ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر پروفیل H تهیه شده است. گسترش لایه آبدار در این پروفیل بیشتر در بخش‌های مرکزی و خصوصاً بین سونداژهای H4 تا H14 می‌باشد. کیفیت بهتری برای آب زیرزمینی در فاصله بین سونداژهای H12 تا H14 با توجه به بالاتر بودن مقاومت ویژه این سونداژها پیش‌بینی می‌شود.



شکل ۴-۵- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل H به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۵- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل I

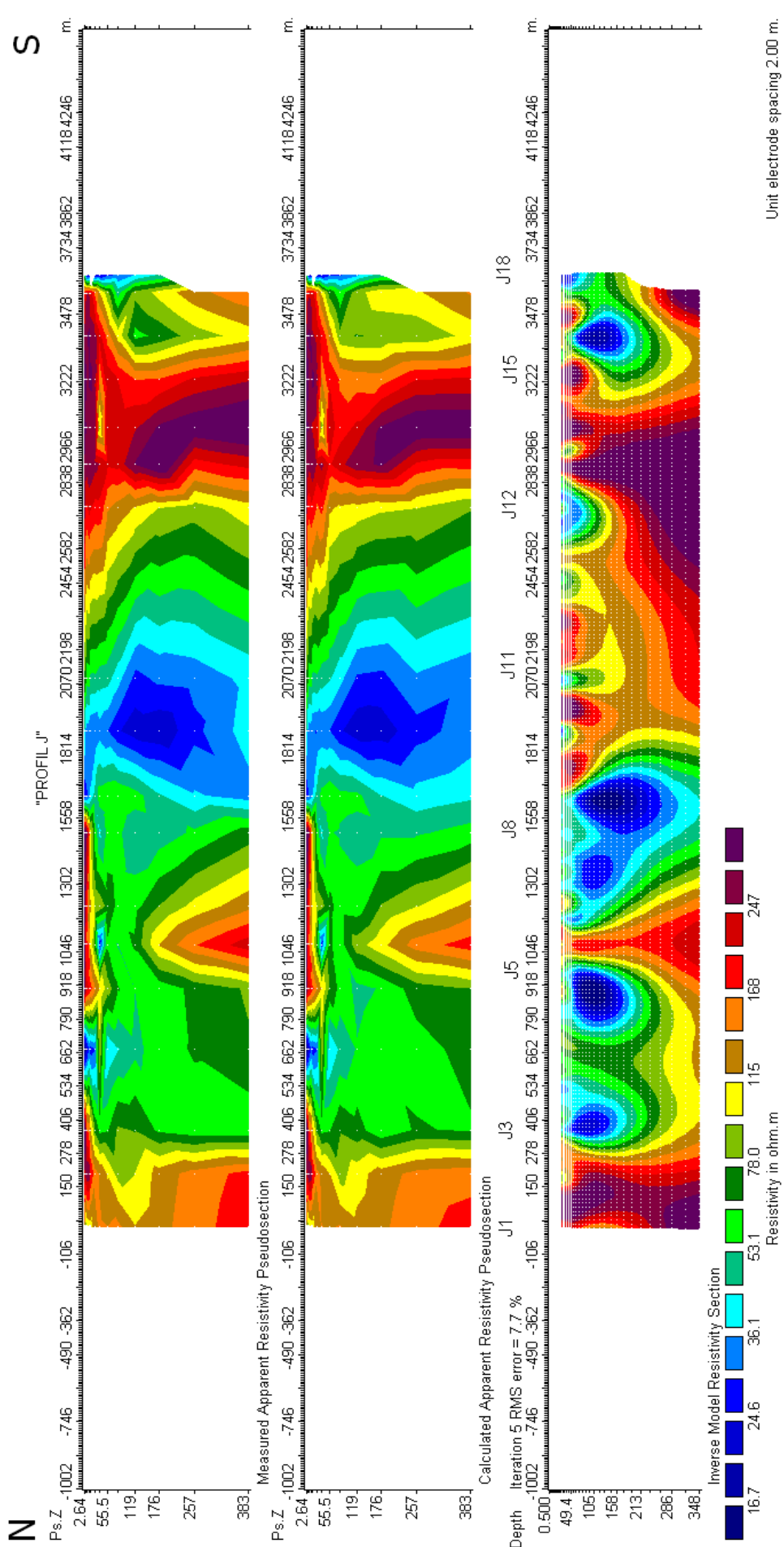
طول پروفیل I از پروفیل‌های قبلی کمتر بوده و شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریکی دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۶ از مدل سازی وارون دو بعدی ۱۱ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر این پروفیل به دست آمده است. شروع این پروفیل از بخش‌های مرکزی دشت می‌باشد. بخش‌های شمالی این پروفیل مقاومت ویژه پایینی نشان می‌دهند. ضخامت لایه آبدار در این مناطق بیشتر و عمق سطح ایستابی کمتر است ولی در بخش‌های جنوبی کیفیت آب زیر زمینی بهتر (مقاومت ویژه حدود ۸۰ اهم متر) ولی ضخامت لایه آبدار کمتر می‌باشد.



شکل ۴-۶- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل I به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۶- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل J

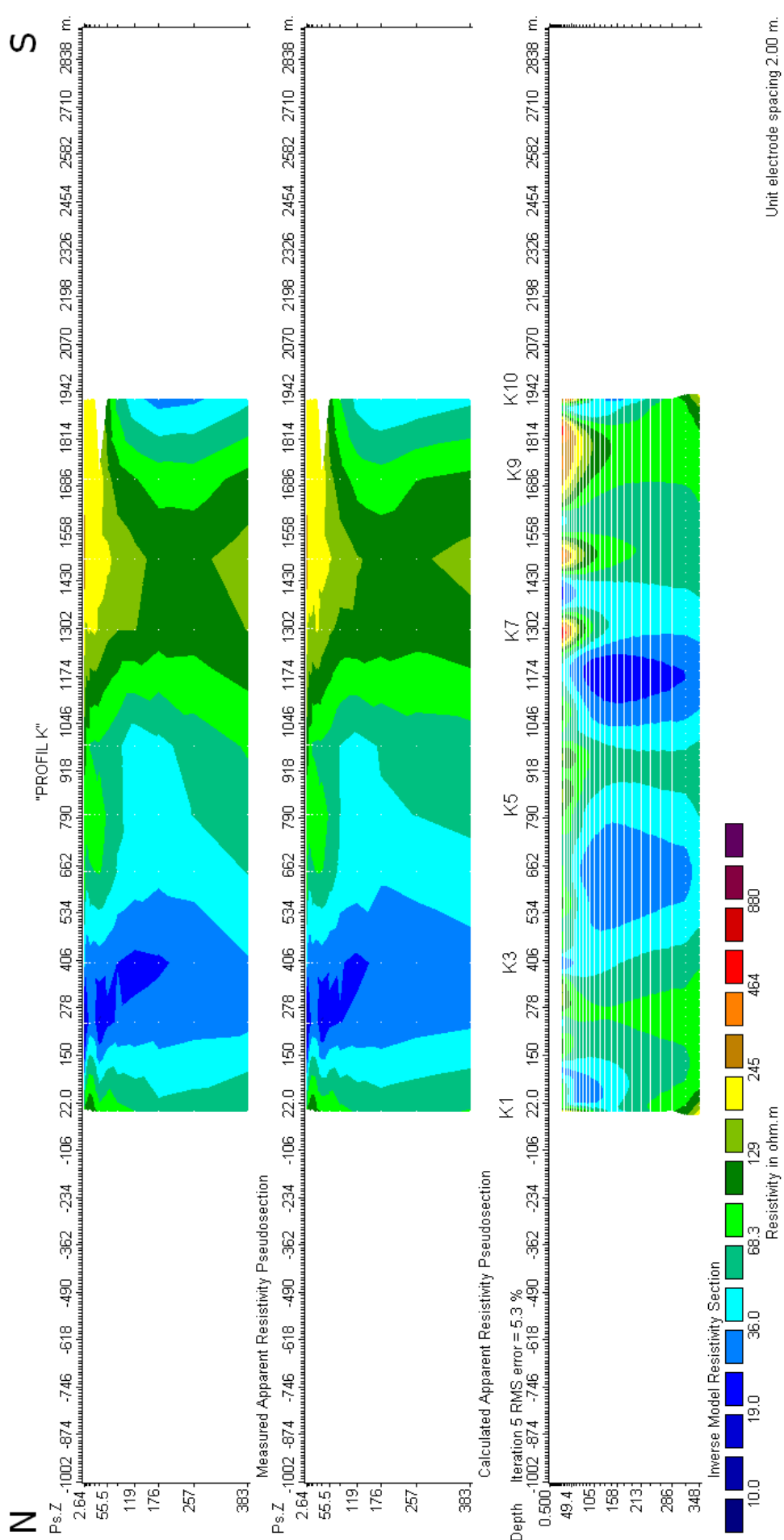
برای شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریکی دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۷ از مدل سازی وارون یا معکوس دو بعدی ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر پروفیل J استفاده شده است که از شمال تا جنوب منطقه امتداد دارند. در محل سونداژهای J1 ، J2 ، J12 ، J13 و J14 بخش‌هایی با مقاومت ویژه بالا (بیش از ۱۰۰ اهم‌متر) وجود دارند که احتمال حضور لایه آبدار را کاهش می‌دهند. در بقیه مناطق مقاومت ویژه پایین‌تر است که محدوده بین سونداژهای J9 تا J12 به لحاظ هیدروژئولوژی می‌تواند پتانسیل مناسب‌تری داشته باشد.



شکل ۴-۷- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل J به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۷- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل K

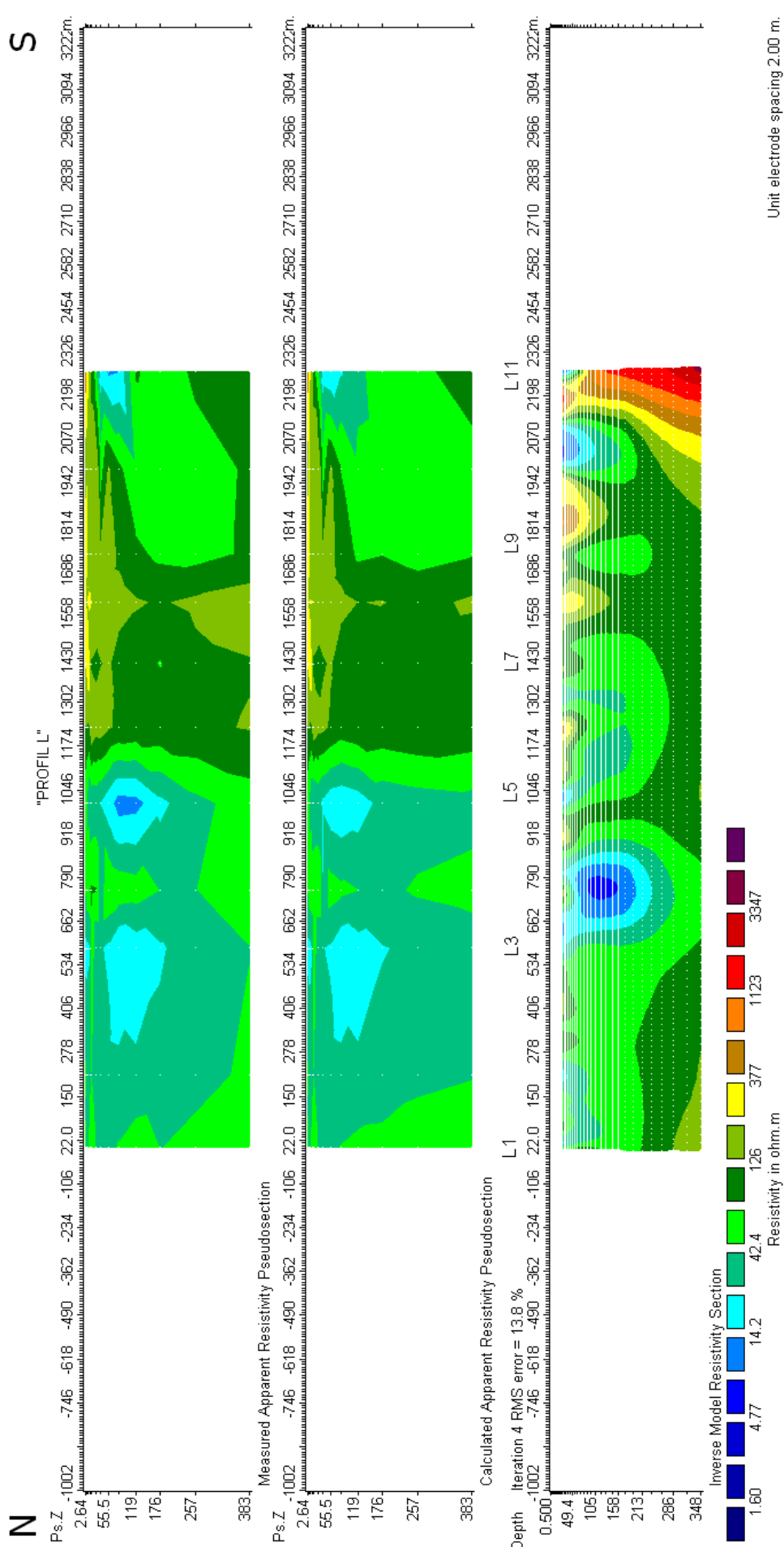
شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریک دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۸ از مدل سازی وارون یا معکوس دو بعدی تعداد ۱۰ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر پروفیل K به دست آمده است که شروع پروفیل از بخش - های مرکزی دشت می باشد و طول آن کوتاه تر از بقیه پروفیل هاست. آبخوان از شمال تا جنوب این پروفیل توسعه دارد (مقاومت ویژه بین ۳۰ تا ۸۰ اهم متر) و در بخش های جنوبی عمق بیشتر و کیفیت مناسب - تری می یابد و در زیر یک لایه سطحی مقاوم (مقاومت ویژه بالای ۱۰۰ اهم متر) قرار دارد.



شکل ۴-۸- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل K به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۳-۸- نتایج تفسیر دو بعدی پروفیل L

شبه مقاطع و مقطع ژئوالکتریکی دو بعدی نشان داده شده در شکل ۴-۹ از مدل سازی وارون یا معکوس دو بعدی تعداد ۱۱ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر پروفیل L حاصل گردیده است که از قسمت مرکزی دشت شروع می شوند. در قسمت جنوبی این پروفیل در زیر سونداژ L11 منطقه‌ای با مقاومت ویژه بالاتر از ۲۰۰ اهم‌متر وجود دارد که مربوط به سنگ‌های توده‌ای و دگرگونی زون بینالود می‌باشد. در این پروفیل آبخوان به استثناء سونداژ L11 در محل بقیه سونداژها توسعه دارد (مقاومت ویژه بین ۳۰ تا ۸۰ اهم‌متر) ولی در بخش‌های جنوبی به علت مقاومت ویژه بالاتر، کیفیت آب زیرزمینی بهتر است و در این مناطق لایه آبدار زیر یک لایه سطحی مقاوم (رسوبات دانه درشت و بدون آب) قرار دارد.



شکل ۴-۹- شبه مقاطع دو بعدی حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل L به کمک نرم افزار Res2dinv

۴-۴- نتیجه گیری

با بررسی مقاطع دو بعدی حاصل از تفسیر ۸ پروفیل به کمک نرم افزار Res2dinv مشاهده می شود که آبخوان بیشتر در بخش های مرکزی دشت با مقاومت ویژه بین ۳۰ تا ۸۰ اهم متر توسعه دارد. در محل سونداژ انتهایی اکثر پروفیل ها توده ای با مقاومت ویژه بسیار بالا وجود دارد، که مربوط به سنگ های دگرگونی زون بینالود می باشد. در بخش های جنوبی عمق سطح ایستابی بیشتر است و در زیر مواد سطحی با مقاومت ویژه بالا (رسوبات دانه درشت و بدون آب) قرار دارد. مقاومت ویژه آبخوان در بخش های شمالی کم و در بخش های جنوبی زیاد است که این موضوع نشان دهنده کیفیت بهتر آب زیرزمینی در بخش های جنوبی منطقه مورد مطالعه می باشد.

فصل پنجم

تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی
به دست آمده از چاه های آب و نتایج تفسیر
داده های مقاومت ویژه

۵-۱- مقدمه

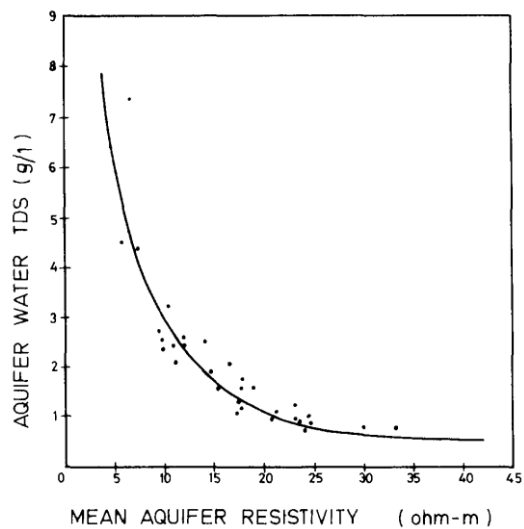
همان‌طور که قبلاً گفته شد، حرکت یون‌های آب موجود در سنگ‌ها و خاک‌ها در بیشتر کاربردهای مهندسی و هیدروژئولوژی عامل اصلی هدایت الکتریکی و کاهش مقاومت ویژه مواد زیر سطح زمین است. کمیت‌های هیدروشیمیایی آب زیر زمینی را می‌توان با کمیت‌هایی مثل هدایت الکتریکی (EC) و کل مواد جامد محلول (TDS) و غلظت هر یک از یون‌ها در آب زیر زمینی، به طور جداگانه نشان داد.

در بسیاری از پژوهش‌های آماری می‌توان همبستگی بین چند متغیر مرتبط به هم را تعیین نمود تا پیش‌بینی یک یا چند متغیر بر حسب سایرین ممکن شود. در این بین رگرسیون خطی^۱ بیشترین کاربرد را دارد. از آنجا که یکی از اهداف این پژوهش تعیین ارتباط بین تغییرات هیدروشیمیایی و مقاومت ویژه حاصل از مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای ژئوالکتریک آب زیرزمینی است، از روش رگرسیون خطی برای این منظور استفاده شده است. از تحقیقات قبلی که در این زمینه انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

یوان‌گو در سال ۱۹۸۷ بین مقاومت ویژه به‌دست آمده برای آبخوان و TDS حاصل از آنالیز شیمیایی ۳۲ چاه آب در منطقه کراچی پاکستان رابطه همبستگی برقرار نمود. او مطابق شکل ۵-۱ منحنی را بر داده‌های رسم شده با ضریب همبستگی ۰/۹۳۶ برازش داد، و نهایتاً رابطه ۵-۱ را بین مقاومت ویژه آبخوان و TDS به‌دست آورد.

$$TDS = \frac{45.3}{R^{1.2}} \quad (۵-۱)$$

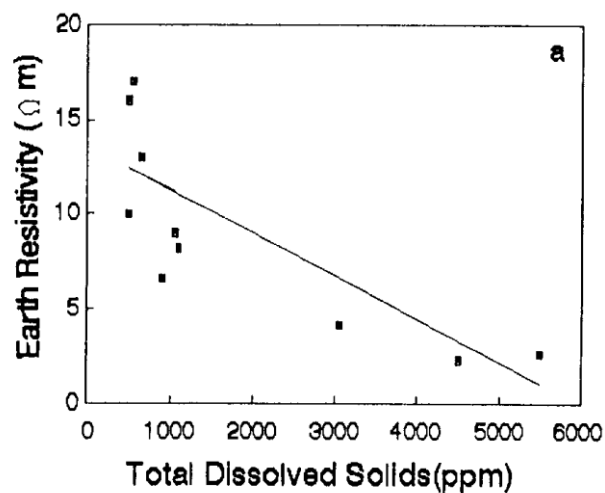
^۱ Linear regression



شکل ۵-۱- رابطه همبستگی بین مقاومت ویژه آبخوان و TDS در منطقه کراچی پاکستان [Yao An Guo , 1987]

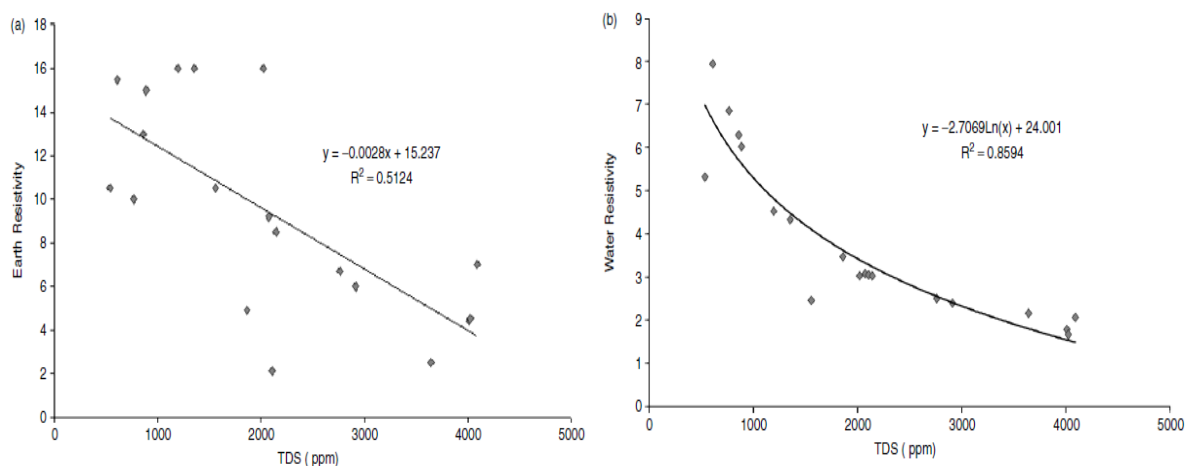
عبدالعظیم ابراهیم و همکارانش در سال ۱۹۹۷ بین مقاومت ویژه آبخوان و TDS به دست آمده برای آب زیرزمینی در منطقه دلتای رود نیل در کشور مصر رابطه همبستگی ایجاد نمودند (رابطه ۲-۵). شکل ۲-۵ همبستگی منفی ایجاد شده در این تحقیق را نشان می دهد.

$$\rho_e = -0.0023TDS + 13.1 \quad (2-5)$$



شکل ۲-۵- رابطه همبستگی بین مقاومت ویژه آبخوان و TDS در دلتای رود نیل [Abdel-Azim M. Ebraheem , 1997]

در سال ۲۰۰۶ نیز اصفهانی بین داده‌های مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده در دره خانصر در شمال سوریه و مقادیر TDS به‌دست آمده برای آب زیر زمینی رابطه همبستگی برقرار کرد. روابط و ضرایب همبستگی در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. نمودار سمت چپ که همبستگی بین TDS و مقاومت ویژه لایه آبدار زمین را نشان می‌دهد، دارای ضریب همبستگی پایینی می‌باشد. نمودار سمت راست همبستگی بین TDS و مقاومت ویژه آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. منحنی لگاریتمی که در این نمودار برای برقراری ارتباط رگرسیون استفاده شده انطباق خوبی با نقاط دارد و ضریب همبستگی نسبتاً بالا نیز مؤید همین نکته می‌باشد.



شکل ۳-۵- رابطه همبستگی بین TDS و مقاومت ویژه به‌دست آمده برای لایه آبدار (نمودارچپ) و رابطه همبستگی بین TDS و مقاومت ویژه به‌دست آمده برای آب زیرزمینی (نمودارراست) [Asfahani, 2007]

در ایران نیز تلاش‌هایی برای به‌دست آوردن رابطه همبستگی بین داده‌های سونداژ الکتریکی و پارامترهای شیمیایی آب زیر زمینی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به کارهای تحقیقی آقایان محبی (۱۳۸۸) و شاهزیدی (۱۳۸۹) اشاره کرد. ایشان در این تحقیق‌ها بین داده‌های TDS و EC به‌دست آمده برای سه چاه موجود در منطقه دوغ استان گلستان و مقادیر مقاومت ویژه به‌دست آمده برای

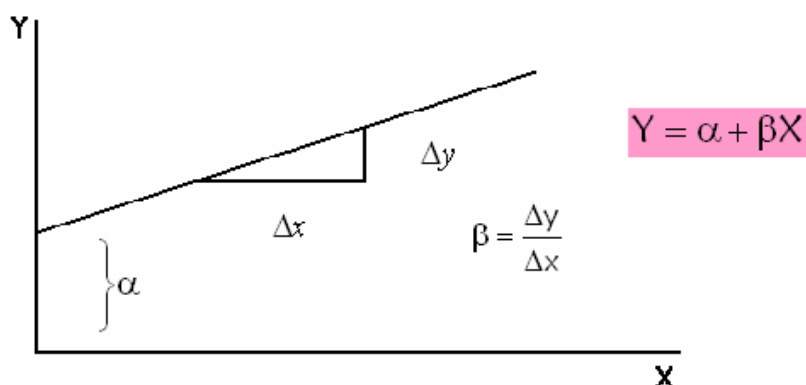
آب زیر زمینی رابطه همبستگی ایجاد نموده‌اند. در این مطالعات ابتدا مقاومت ویژه آب زیر زمینی با استفاده از نتایج سونداژهای الکتریکی محاسبه گردیده و سپس از روش آماری رگرسیون برای تعیین میزان همبستگی استفاده شده است.

۵-۲- روش آماری رگرسیون

رگرسیون شاخه‌ای از علم آمار است که استفاده از آن به نحو وسیعی در اکثر زمینه‌های علمی معمول شده است. هنگامی که با مطالعه یک جامعه آماری ارتباطی بین صفات متغیر آن جامعه دیده می‌شود می‌توان میزان همبستگی بین این صفات را با روش رگرسیون تعیین نمود. در این روش ابتدا فرض می‌کنیم رابطه بین دو متغیر دارای فرم خاصی است. یکی از معمول‌ترین فرم‌ها، تابع خطی ساده به شکل زیر است:

$$Y = a + bX \quad (۳-۵)$$

در رابطه فوق مقادیر α و b ثابت هستند. ضریب α که عرض از مبدأ نامیده می‌شود، مقدار Y را به ازاء X مساوی صفر نشان می‌دهد. ضریب b که نمایانگر شیب خط است میزان تغییرات Y را به ازاء یک واحد تغییر در X مشخص می‌کند (شکل ۵-۴).



شکل ۴-۵- تابع خطی ساده [www.stat4allir.info]

آمارگران بهترین برازش را آن چنان خطی تعریف می کنند که مجموعه مربعات خطا، کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. خطا عبارت است فاصله عمودی بین مقدار واقعی مشاهده شده و مقداری که برای آن از خط برازش داده شده به دست می آید. مقدار خطا را با حرف e نمایش می دهند. برای هر مجموعه ای از مشاهدات آماری، خطوط مختلف دارای مجموعه مربعات خطای متفاوتی خواهند بود. بهترین خط برازش داده شده آن چنان خطی است که در آن $\sum e_i^2$ دارای کمترین مقدار باشد. این خط به نام خط حداقل مربعات نامیده می شود و α و b مربوط به آن از روابط زیر به دست می آید.

$$b = \frac{(N\sum XY - (\sum X)(\sum Y))}{(N\sum X^2 - (\sum X)^2)} \quad (۴-۵)$$

$$a = \frac{(\sum Y - b(\sum X))}{N} \quad (۵-۵)$$

در روابط بالا N تعداد متغیرها یا المان ها، $\sum XY$ مجموع حاصل ضرب دو متغیر، $\sum X$ جمع مقادیر متغیر اول، $\sum Y$ جمع مقادیر متغیر دوم و $\sum X^2$ جمع مربعات مقادیر متغیر اول می باشند.

مقدار ضریب همبستگی بین دو متغیر X و Y از طریق رابطه زیر به دست می آید :

$$R = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2 \Sigma(y - \bar{y})^2}} \quad (5-6)$$

هر چه مقدار ضریب همبستگی فوق بیشتر باشد روند تغییرات دو متغیر X و Y شباهت بیشتری دارند.

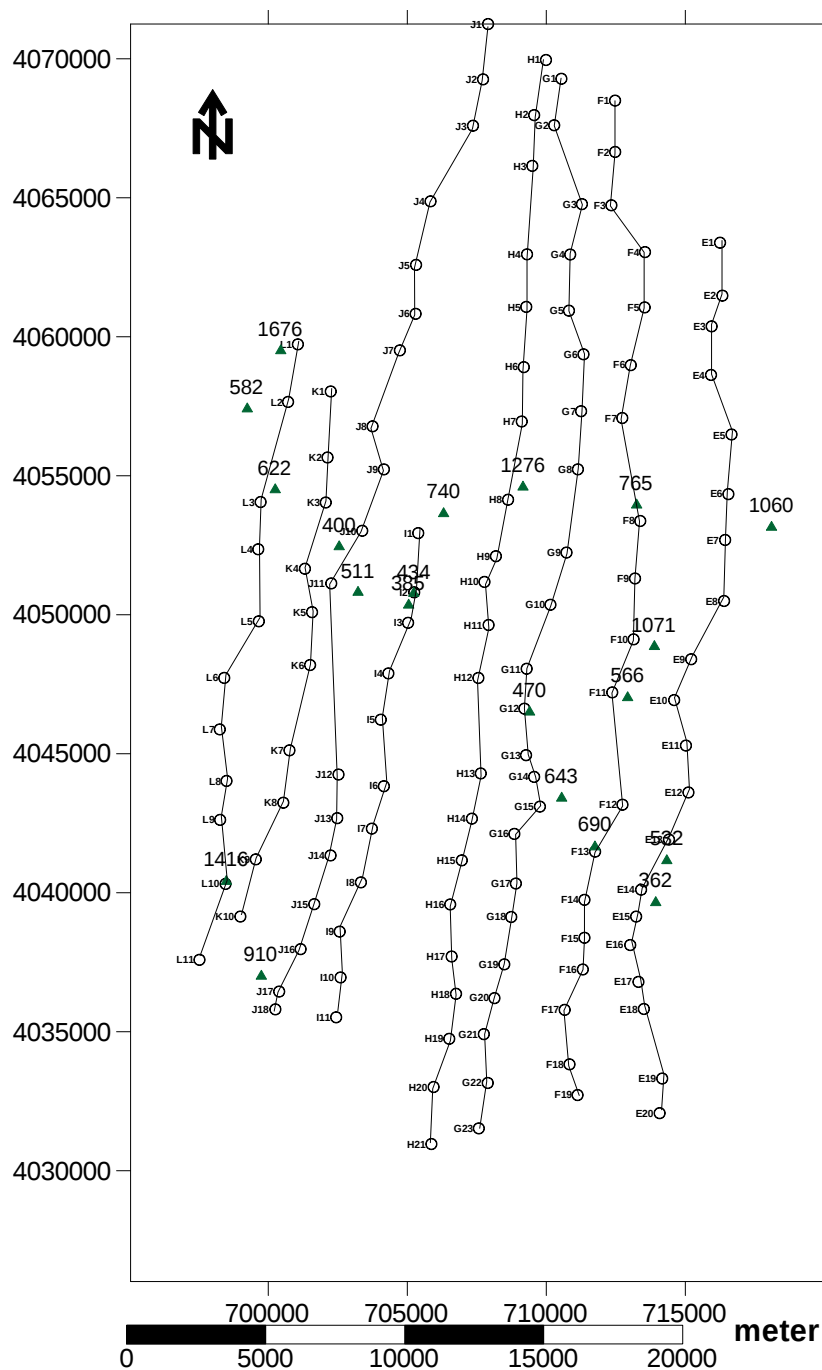
۵-۳- کنترل خواص فیزیکی مؤثر بر مقاومت ویژه لایه آبدار

به طور کلی مقاومت ویژه زمین تابعی از متغیرهای مختلف می‌باشد و بستگی به خواص فیزیکی (مانند تخلخل، نفوذ پذیری، اشباع شدگی، محتوای رس و...) و خواص شیمیایی (مانند شوری و یون‌های موجود و...) مواد زیر سطح زمین دارد. از آنجا که هدف این تحقیق بررسی ارتباط داده‌های هیدروشیمی با مقاومت ویژه می‌باشد لازم بود که تأثیر عوامل فیزیکی کنترل گردد. با توجه به فقدان داده فیزیکی از منطقه مورد مطالعه و در نظر گرفتن رابطه بین قابلیت آبدهی یک مخزن با ویژگی‌های فیزیکی محیط‌های متخلخل فرض شد که مقاومت ویژه لایه آبدار در مناطقی با دبی بالا، بیشتر تحت تأثیر عوامل شیمیایی و یون‌های موجود در آب زیر زمینی می‌باشد. این فرضیه به صورت آماری در چند پروفیل بررسی گردید. مشاهدات حاکی از این بود که در مناطق با دبی پایین‌تر از ۲ لیتر بر ثانیه همبستگی خوبی بین داده‌های هیدروشیمی و مقاومت ویژه لایه آبدار به دست نمی‌آید. به همین علت، با توجه به مطالعات انجام شده نهایتاً داده‌های هیدروشیمی چاه‌هایی انتخاب گردید که دبی آنها بالاتر از ۲ لیتر بر ثانیه است و تراکم چاه‌های مشاهداتی در اطراف آنها زیاد است. لذا رابطه همبستگی بین مقاومت ویژه لایه آبدار و داده‌های هیدروشیمی (EC، TDS و آنیون‌ها) حاصل از آنالیز کیفی آب زیرزمینی ایجاد گردید که در ادامه به توضیح این روابط پرداخته می‌شود.

۵-۴- تعیین ارتباط بین نتایج تفسیر یک بعدی داده‌های سونداژ الکتریکی و

پارامترهای هیدروشیمیایی چاه‌های آب

در این قسمت از داده‌های هیدروشیمیایی چاه‌های آبی که در مجاورت سونداژهای الکتریکی وجود دارند، برای برقراری رابطه همبستگی استفاده می‌شود. هرچه تعداد این چاه‌ها در منطقه مطالعاتی بیشتر باشد رابطه به دست آمده به واقعیت نزدیکتر است. تعداد ۲۰ چاه که داده‌های هیدروشیمیایی آنها موجود است و دبی آنها بیشتر از ۲ لیتر بر ثانیه است، در نزدیکی بعضی از سونداژهای الکتریکی مشخص شدند. این چاه‌ها شرایط مندرج در بند ۵-۳ را دارا هستند. موقعیت این چاه‌ها (با علامت ▲) همراه با مقادیر EC نسبت به سونداژهای الکتریکی (با علامت ○ روی خطوط پروفیل) در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۵- موقعیت داده‌های هیدروشیمی نسبت به سونداژهای الکتریکی

اطلاعات هیدروشیمیایی اندازه‌گیری شده از چاه‌های مذکور شامل آنالیز کیفی آب (غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها) و پارامترهای مهمی از قبیل TDS ، EC و PH می‌باشند. در جدول ۵-۱ برخی از اطلاعات

چاه‌ها و سونداژ مجاور آنها و فاصله تقریبی آنها نشان داده شده‌اند. از این اطلاعات برای تعیین ارتباط بین آنها استفاده شده است.

جدول ۵-۱ - اطلاعات چاه‌ها و سونداژهای مجاور آنها و فاصله تقریبی آنها از یکدیگر

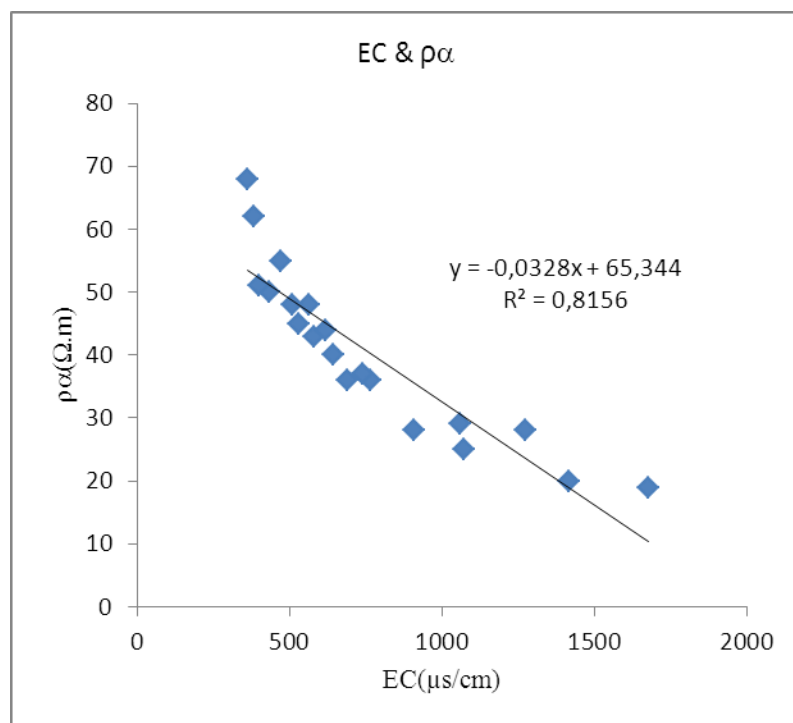
اطلاعات مربوط به چاه‌ها				اطلاعات حاصل از تفسیر سونداژهای مجاور		فاصله تا چاه
نام چاه	TDS(mg/lit)	EC(μ S/cm)	دبی (lit/s)	نام سونداژ	ρ_a ($\Omega.m$)	فاصله (m)
احمدآباد سلفی	۸۹۲	۱۴۱۶	۳	L10	۲۰	۱۰۰
کمال آباد	۳۶۶	۵۸۲	۱۱	L2	۴۳	۱۵۰۰
اراضی قلعه نو	۵۷۳	۹۱۰	۱۷	J17	۲۸	۸۰۰
کارآباد علی زارعی	۳۹۱	۶۲۲	۱۸	L3	۴۴	۶۰۰
دارابی اراضی	۱۰۵۵	۱۶۷۶	۳۱	L1	۱۹	۶۰۰
اراضی خان تپه	۲۵۲	۴۰۰	۵۵	J10	۵۱	۱۰۰۰
ناوخ کسرای	۳۲۱	۵۱۱	۱۷	J11	۴۸	۹۰۰
کلاته کریم خان	۲۷۳	۴۳۴	۱۶	I2	۵۰	۶۰
کلاته کریم خان	۲۴۲	۳۸۵	۲۶	I3	۶۲	۶۰۰
جوی پایین	۴۶۶	۷۴۰	۱۷	I1	۳۷	۱۰۰۰
چشمه گیلاس	۸۰۳	۱۲۷۶	۲۰	H8	۲۸	۶۰۰
دوین حسین	۲۹۶	۴۷۰	۲۸	G12	۵۵	۱۰۰
بابایی	۴۰۵	۶۴۳	۷	G15	۴۰	۸۰۰
خرابه امین	۴۳۴	۶۹۰	۸	F13	۳۶	۲۰۰
شیرحصار	۳۵۶	۵۶۶	۲۴	F11	۴۸	۵۰۰
شیرحصار زارع	۶۷۴	۱۰۷۱	۲۸	F10	۲۵	۷۰۰
اراضی بیشاوک	۴۸۱	۷۶۵	۴۶	F8	۳۶	۵۰۰
شرکت مجتمع	۲۲۸	۳۶۲	۵	E14	۶۸	۶۰۰
عسگریه عمق ۵۸	۳۳۵	۵۳۲	۳۶	E13	۴۵	۷۰۰
سعید آباد قاسمی	۶۶۷	۱۰۶۰	۸۷	E7	۲۹	۱۷۰۰

۵-۴-۱- تعیین ارتباط بین نتایج تفسیر یک‌بعدی داده‌های سونداژ الکتریکی و

هدایت الکتریکی (EC)

بالا بودن هدایت الکتریکی (EC) در آب زیرزمینی نشان‌دهنده غلظت زیاد یون‌ها در آن می‌باشد که در نتیجه مقاومت ویژه زیر سطحی کاهش می‌یابد. موادی که آب موجود در آنها شیرین است حتی اگر اشباع‌شده از آب باشند مقاومت ویژه بالایی نشان می‌دهند [Mooney, 1980]. هدایت الکتریکی می‌تواند یک تخمین کاملاً دقیق از غلظت یونی و یا کل مواد جامد حل شده باشد.

در این قسمت سعی بر این است که بین مقاومت ویژه لایه آبدار (ρ_a) حاصل از تفسیر سونداژها در مجاورت چاه‌های آب موجود در منطقه مورد مطالعه و EC به‌دست آمده از آب چاه‌ها، رابطه خطی ایجاد شود. برای ایجاد رابطه خطی، از روش آماری رگرسیون استفاده شده است.

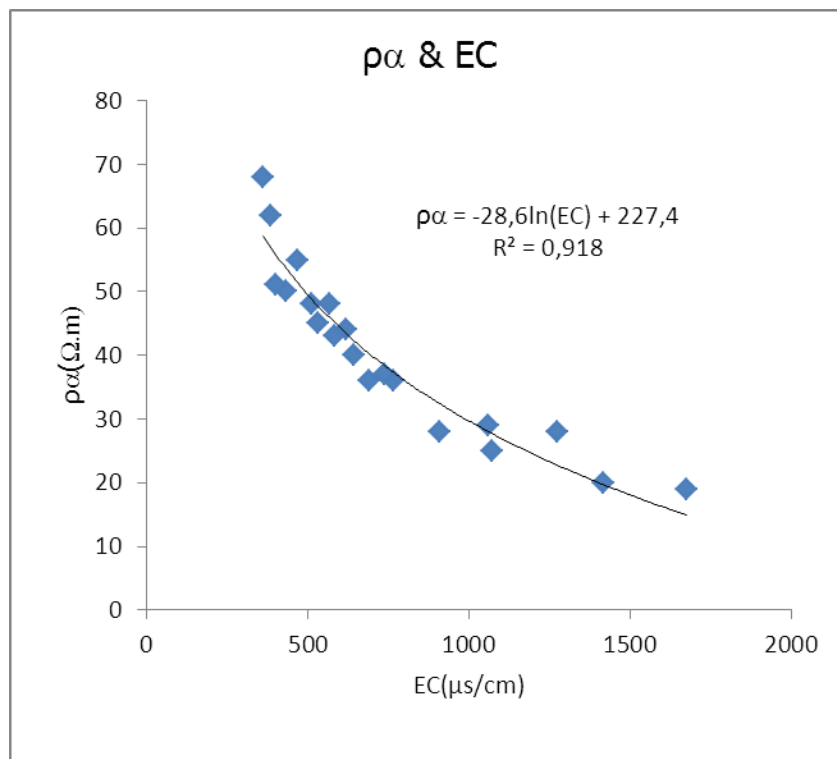


شکل ۵-۶- رابطه همبستگی خطی بین مقادیر ρ_a و EC به کمک نرم افزار Excel

همان‌طور که در شکل (۵-۶) دیده می‌شود ضریب همبستگی رابطه خطی فوق، 0.815 است که نشان‌دهنده همبستگی خوبی بین مقادیر ρ_a و EC می‌باشد. این رابطه نشان‌دهنده افزایش مقاومت ویژه لایه آبدار با کاهش هدایت الکتریکی آب زیر زمینی است (رابطه ۵-۱) و رابطه معکوسی که بین این دو کمیت وجود دارد را به خوبی مشخص می‌کند.

$$\rho_a = -0.032EC + 65.34 \quad (5-7)$$

با توجه و دقت در شکل (۵-۶) درمی‌یابیم که اگر به جای خط راست از یک منحنی برای برازش بین نقاط استفاده شود، می‌تواند انطباق بیشتری نشان دهد. پیش از این یوان‌گو و اسفهان‌ی برای برقراری ارتباط همبستگی بین داده‌ها از منحنی استفاده نموده‌اند که در شکل‌های ۵-۱ و ۵-۳ ابتدای فصل نشان داده شده است. منحنی‌های مختلفی برای برازش داده‌ها استفاده گردید که نهایتاً منحنی لگاریتمی شکل ۵-۷ ضریب همبستگی بیشتری بین مقادیر EC و ρ_a نشان داد. ضریب همبستگی 0.918 در نمودار زیر نشان‌دهنده همین موضوع می‌باشد (شکل ۵-۷). معادله لگاریتمی این منحنی نشان می‌دهد که مقدار مقاومت ویژه لایه آبدار با افزایش هدایت الکتریکی (EC)، کاهش می‌یابد. شیب زیاد منحنی در قسمت‌هایی که هدایت الکتریکی کم است، حاکی از تأثیر پذیری زیاد مقاومت ویژه از تغییرات هدایت الکتریکی در این محدوده می‌باشد. تأثیر پذیری مقاومت ویژه از تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در مقادیر زیاد آن کاهش می‌یابد (با توجه به شیب کم منحنی در این قسمت‌ها). رابطه لگاریتمی و ضریب همبستگی به‌دست آمده بین مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و مقاومت ویژه لایه آبدار (ρ_a) در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

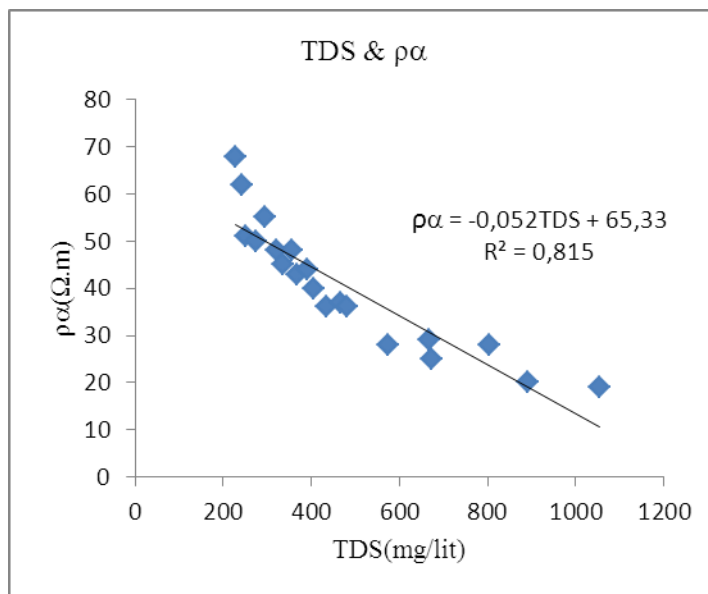


شکل ۵-۷- رابطه همبستگی لگاریتمی بین مقادیر ρ_{α} و EC به کمک نرم افزار Excel

۵-۴-۲- تعیین ارتباط بین مقادیر مقاومت ویژه به دست آمده برای لایه آبدار و

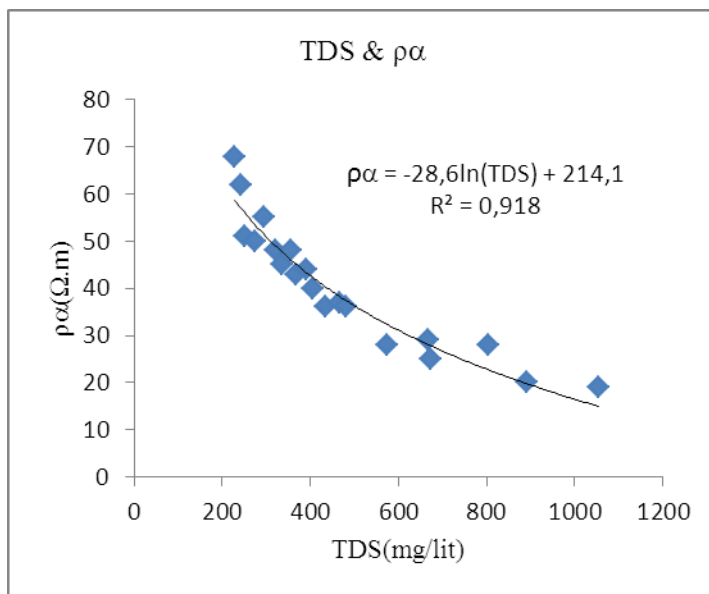
TDS اندازه گیری شده

در نمودار شکل ۵-۸ رابطه رگرسیون خطی ساده بین مقادیر ρ_{α} (مقاومت ویژه لایه آبدار در محل سونداژ الکتریکی) و TDS (کل مواد جامد محلول) چاه های مجاور سونداژها برقرار شده است. ضریب همبستگی ۰/۸۱۵ بین این دو مقدار نشان دهنده ارتباط خوب این دو کمیت با یکدیگر می باشد. همان طور که در نمودار دیده می شود (شکل ۵-۸) می توان نتیجه گرفت که با افزایش TDS مقاومت ویژه لایه آبدار کاهش می یابد. رابطه و ضریب همبستگی به دست آمده بین مقادیر TDS و مقاومت ویژه لایه آبدار (ρ_{α}) در شکل ۵-۸ نشان داده شده است.



شکل ۵-۸- رابطه همبستگی خطی بین مقادیر ρ_{α} و TDS به کمک نرم افزار Excel

همان‌طور که برای EC گفته شد، اگر به جای خط راست از یک منحنی برای برازش بین نقاط استفاده شود، می‌تواند انطباق بیشتری نشان دهد. از بین منحنی‌های مختلفی که برای برازش داده‌ها استفاده گردید منحنی لگاریتمی شکل ۵-۹ ضریب همبستگی بیشتری بین مقادیر TDS و ρ_{α} نشان داد. ضریب همبستگی ۰/۹۱۸ در نمودار زیر نشان‌دهنده همین موضوع می‌باشد (شکل ۵-۹). معادله لگاریتمی این منحنی نشان می‌دهد که مقدار مقاومت ویژه لایه آبدار با افزایش TDS، کاهش می‌یابد. شیب زیاد منحنی در قسمت‌هایی که TDS کم است، حاکی از تأثیر پذیری زیاد مقاومت ویژه از تغییرات TDS در این محدوده می‌باشد. تأثیر پذیری مقاومت ویژه از تغییرات TDS در مقادیر زیاد آن کاهش می‌یابد (با توجه به شیب کم منحنی در این قسمت‌ها). رابطه لگاریتمی و ضریب همبستگی به‌دست آمده بین مقادیر TDS و مقاومت ویژه لایه آبدار (ρ_{α}) در شکل ۵-۹ نشان داده شده است.

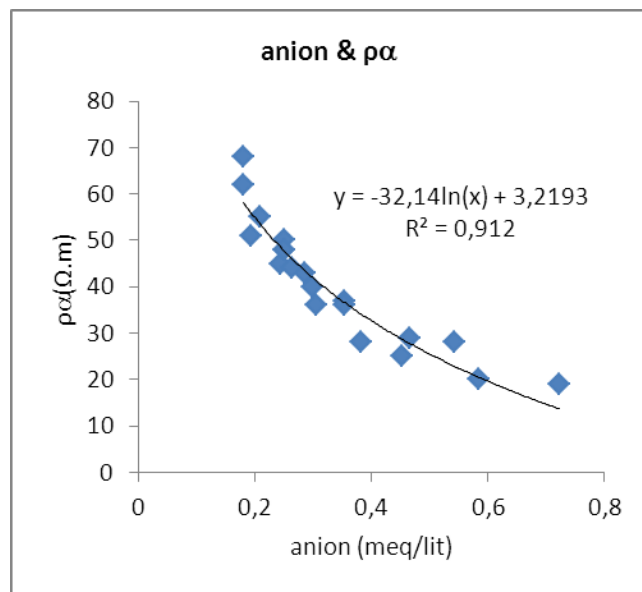


شکل ۵-۹- رابطه همبستگی لگاریتمی بین مقادیر ρ_{α} و TDS به کمک نرم افزار Excel

۵-۴-۳- تعیین ارتباط بین مقادیر مقاومت ویژه لایه آبدار و غلظت اندازه‌گیری

شده آنیون‌های چاه‌های آب

برای تعیین ارتباط بین مقاومت ویژه لایه آبدار و غلظت یون‌های موجود در آب زیر زمینی، غلظت آنیون‌ها را به عنوان نمونه بررسی می‌کنیم. این آنیون‌ها شامل سولفات (SO_4)، کلرید (Cl)، بیکربنات (HCO_3)، کربنات (CO_3) می‌باشند. همان‌طور که در نمودار شکل ۵-۱۰ دیده می‌شود بین غلظت آنیون‌ها و مقاومت ویژه رابطه عکس وجود دارد به طوری که با افزایش غلظت آنیون‌ها در آب زیر زمینی مقاومت ویژه لایه آبدار کاهش می‌یابد. در این حالت نیز به جای خط راست از یک منحنی برای برآزش بین نقاط استفاده شده است. ضریب همبستگی ۰/۹۱۲ در نمودار شکل ۵-۱۰ نشان‌دهنده رابطه خوب این دو کمیت می‌باشد. رابطه لگاریتمی و ضریب همبستگی به‌دست آمده بین غلظت آنیون‌ها و مقاومت ویژه لایه آبدار (ρ_{α}) در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۰- رابطه همبستگی لگاریتمی بین مقادیر $p\alpha$ و غلظت آنیون‌ها به کمک نرم افزار Excel

۵-۵- نتیجه گیری

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی گفته شد، تحرک یون‌های موجود در آب زیرزمینی عامل اصلی هدایت الکتریکی و کاهش مقاومت ویژه در مواد زیر سطح زمین است. روابط همبستگی که در این فصل بین داده‌های هیدروشیمی چاه‌های منطقه و مقادیر مقاومت ویژه لایه آبدار سونداژهای مجاور آنها برقرار شد، با ضریب همبستگی نسبتاً خوبی این موضوع را تأیید نمود. البته باید خاطر نشان کرد که عوامل بسیاری (همان‌طور که در فصل یک گفته شد) بر مقاومت ویژه مؤثرند که بررسی همه آنها به طور هم‌زمان بسیار مشکل است. برای چنین بررسی‌های جامعی نیاز به اطلاعات مختلفی از قبیل تخلخل، نفوذپذیری و اشباع‌شدگی در منطقه می‌باشد. به عنوان مثال در چاه‌های آبی که دبی پایین داشتند، همبستگی خوبی بین مقادیر مقاومت ویژه لایه آبدار و پارامترهای هیدروشیمی ایجاد نمی‌شد. این موضوع می‌تواند به دلیل رابطه بین مقاومت ویژه لایه آبدار و قابلیت آبدهی یک مخزن با ویژگی‌های فیزیکی محیط‌های متخلخل

باشد. نهایتاً چون پارامترهای هیدروژئولوژی نظیر تخلخل، نفوذپذیری، محتوای رس و.. از منطقه مورد مطالعه در دسترس نبود از بررسی‌های جامع‌تر و تعیین دقیق نقش همه عوامل صرف‌نظر شد.

در بین نمودارهای ارائه شده، همبستگی بالاتر در نمودارهایی که از منحنی لگاریتمی برای برازش نقاط استفاده شده بود می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط منحنی‌گونه بین پارامترهای هیدروشیمی و مقاومت ویژه لایه آبدار باشد. موضوع دیگری که از این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت این است که تأثیر پذیری مقاومت ویژه از تغییرات هیدروشیمی در مقادیر زیاد آن کاهش می‌یابد (با توجه به شیب کم منحنی در این قسمت‌ها).

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱- نتیجه گیری

از مجموع بررسی‌های انجام شده در این پایان نامه می‌توان نتایج زیر را ذکر کرد :

۱- بخش‌های مرکزی تا جنوبی دشت مورد مطالعه به لحاظ هیدروژئولوژی حائز اهمیت بیشتری هستند زیرا ضخامت لایه آبدار در این مناطق بیشتر است و مقاومت ویژه بالاتر آن نشان‌دهنده کیفیت مناسب‌تر خصوصاً در مناطق نزدیک به جنوب دشت می‌باشد. این موضوع به خوبی به- وسیله اطلاعات زمین شناسی منطقه تأیید می‌شود.

۲- عمق سطح ایستابی در بخش‌های مرکزی کم و به سطح زمین نزدیک است به‌طوری‌که در این منطقه عمق آب در بعضی از چاه‌ها به ۵ متر می‌رسد. در بخش‌های نزدیک به جنوب سطح ایستابی در زیر یک لایه سطحی مقاوم از جنس رسوبات دانه درشت قرار دارد و عمق آن در بعضی از چاه‌ها به بیش از ۱۳۰ متر می‌رسد.

۳- در محل سونداژهای انتهایی همه پروفیل‌ها و در جنوب منطقه مقاومت ویژه به شدت افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده سنگ‌های توده‌ای و دگرگونی زون بینالود می‌باشد.

۴- مقاومت ویژه مناطق شمالی دشت نسبت به جنوب کمتر بوده که می‌تواند ناشی از سنگ‌های رسوبی زون کپه داغ و املاح بیشتر در آنها باشد. این منطقه از نظر هیدروژئولوژی چندان کیفیت مناسبی ندارد.

۵- تفسیر مقادیر مقاومت ویژه به‌دست آمده از زمین به کمک نرم‌افزارهای مختلف به اعتبار نتایج به دلیل کاهش خطا کمک کرده و اعتماد بیشتری را از نتیجه تفسیر بوجود می‌آورد.

همچنین در مورد ارتباط بین مقاومت ویژه لایه آبدار و داده‌های هیدروشیمی به‌دست آمده از چاه‌ها بررسی لازم بدین ترتیب صورت گرفت که مقادیر مقاومت ویژه‌ای که از تفسیر یک بعدی برای لایه آبدار در محل سونداژها به‌دست آمده بود، با پارامترهای هیدروشیمی ۲۰ چاه مجاور این سونداژها تلفیق گردید. داده‌های هیدروشیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS) و غلظت آنیون‌ها (شامل سولفات (SO_4)، کلرید (Cl)، بیکربنات (HCO_3) و کربنات (CO_3)) به عنوان نماینده‌ای از یون‌های موجود در آب زیر زمینی بوده است. تعیین ارتباط بین این کمیت‌ها، با ابزار رگرسیون خطی و به کمک نرم افزار Excel انجام شد. ضرایب همبستگی بالای ۰/۸ نشان‌دهنده رابطه نسبتاً خوب کمیت‌های فوق می‌باشد. در نهایت منحنی لگاریتمی با ضریب همبستگی بیش از ۰/۹ برازش بهتری نسبت به تابع خطی ساده با نقاط داده مقادیر مقاومت ویژه و پارامترهای هیدروشیمی فوق نشان داد. از بررسی‌های انجام شده در این مورد می‌توان به نتایج زیر رسید:

۱- با افزایش غلظت یون‌ها در آب زیر زمینی، مقاومت ویژه لایه آبدار شدیداً کاهش می‌یابد. این موضوع در نمودار شکل‌های ۵-۶ تا ۵-۱۰ به خوبی نشان داده شده است.

۲- در بین نمودارهای ارائه شده، همبستگی بالاتر در نمودارهایی که از منحنی لگاریتمی برای برازش نقاط استفاده شده بود می‌تواند نشان‌دهد که ارتباط منحنی‌گونه بین پارامترهای هیدروشیمی و مقاومت ویژه لایه آبدار برقرار می‌باشد.

۳- تأثیر پارامترهای شیمیایی بر مقاومت ویژه در مقدارهای کم بیشتر است (باتوجه به شیب زیاد منحنی‌ها در این قسمت‌ها) و تأثیر پذیری مقاومت ویژه از تغییرات این داده‌ها در مقادیر زیاد آنها کاهش می‌یابد (با توجه به شیب کم منحنی در این قسمت‌ها).

۴- با استفاده از روابط همبستگی به دست آمده در این پایان نامه می توان کیفیت آب زیر زمینی و پارامترهای هیدروشیمی مربوط به آن را با دقت نسبتاً قابل قبولی تخمین زد.

۵- از آنجا که مقاومت ویژه زمین تابعی از متغیرهای مختلف (مانند تخلخل، نفوذ پذیری، اشباع شدگی، محتوای رس و...) می باشد، بررسی های دقیق تر منوط به در اختیار داشتن اطلاعات جامع - تری از منطقه (موارد فوق) می باشد.

۶-۲- پیشنهادات

همان طور که در قسمت های قبلی گفته شد، مقاومت ویژه زمین تابعی از متغیرها و عوامل مختلف است که فهم ارتباط این عوامل با مقاومت ویژه، اهمیت بسیار زیادی در اکتشاف مواد زیر سطح زمین (به ویژه آب زیر زمینی) به کمک روش ژئوالکتریک دارد. در این تحقیق سعی کردیم تا ارتباط بین مقاومت ویژه لایه آبدار را با پارامترهای هیدروشیمی آب زیر زمینی بررسی کنیم. از آنجا که هرچه غلظت یون ها در آب زیر زمینی بیشتر باشد کیفیت آن کاهش می یابد، از این موضوع می توان برای تخمین کیفیت آب زیر زمینی استفاده نمود.

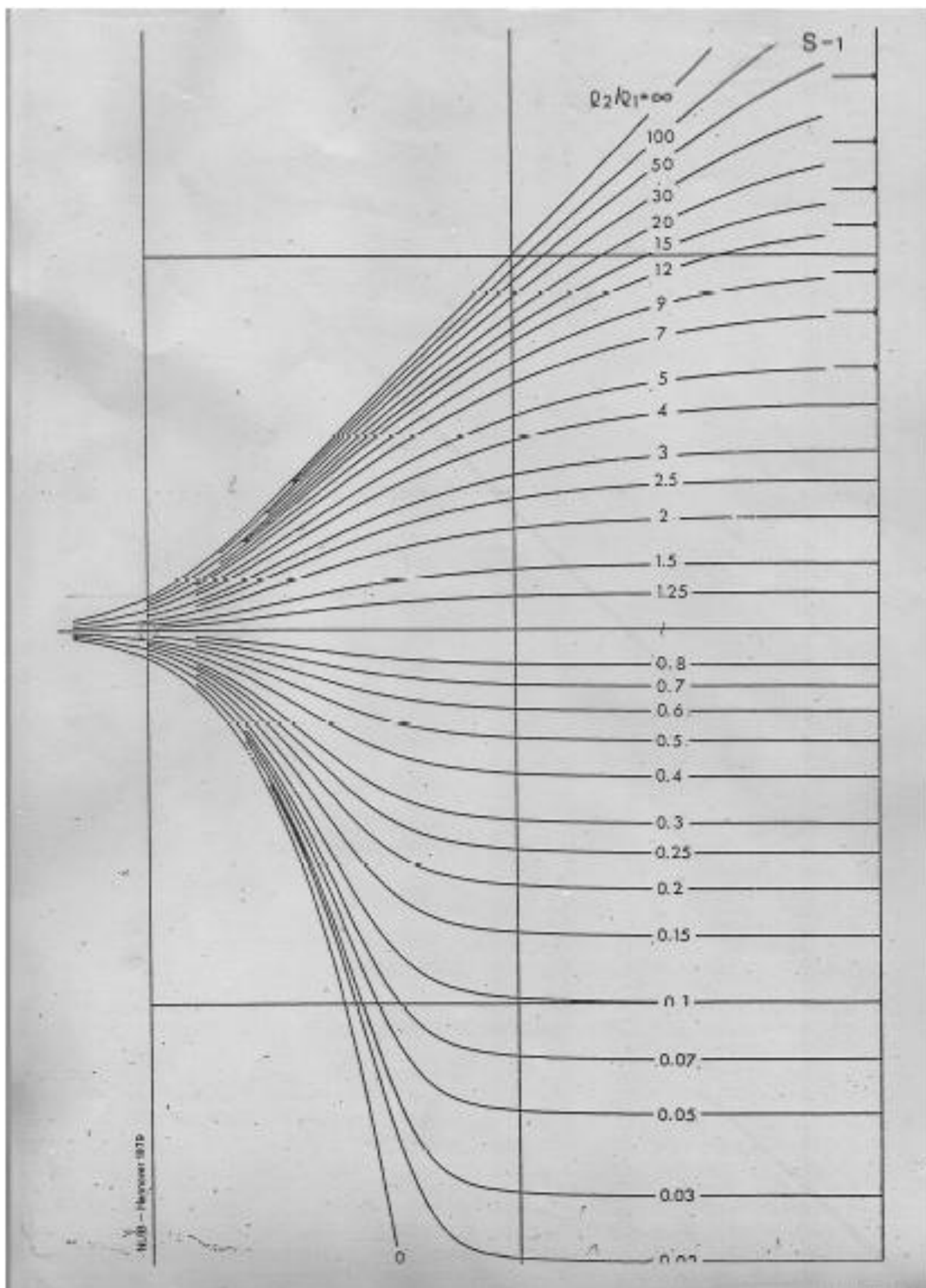
برای بررسی های دقیق تر و جامع تر باید نقش عوامل مختلف مؤثر بر مقاومت ویژه تعیین شود. مثلاً می - توان به کمک روش الکتریکی پلاریزاسیون القایی (IP) حضور رس را در قسمت ها و لایه های مختلف منطقه تعیین نموده و ارتباط آن با مقاومت ویژه زمین را بررسی کرد. بنابراین پیشنهاد می شود از روش IP برای تعیین و بررسی حضور رس در زیر سطح زمین به خصوص در لایه آبدار استفاده گردد. با مشخص

نمودن ارتباط کمی کلیه عواملی که بر مقاومت ویژه تأثیر دارند، می‌توان به درک کامل‌تر و جامع‌تری از نحوه ارتباط بین مقاومت ویژه لایه آبدار و پارامترهای هیدروشیمی آب زیر زمینی دست پیدا کرد.

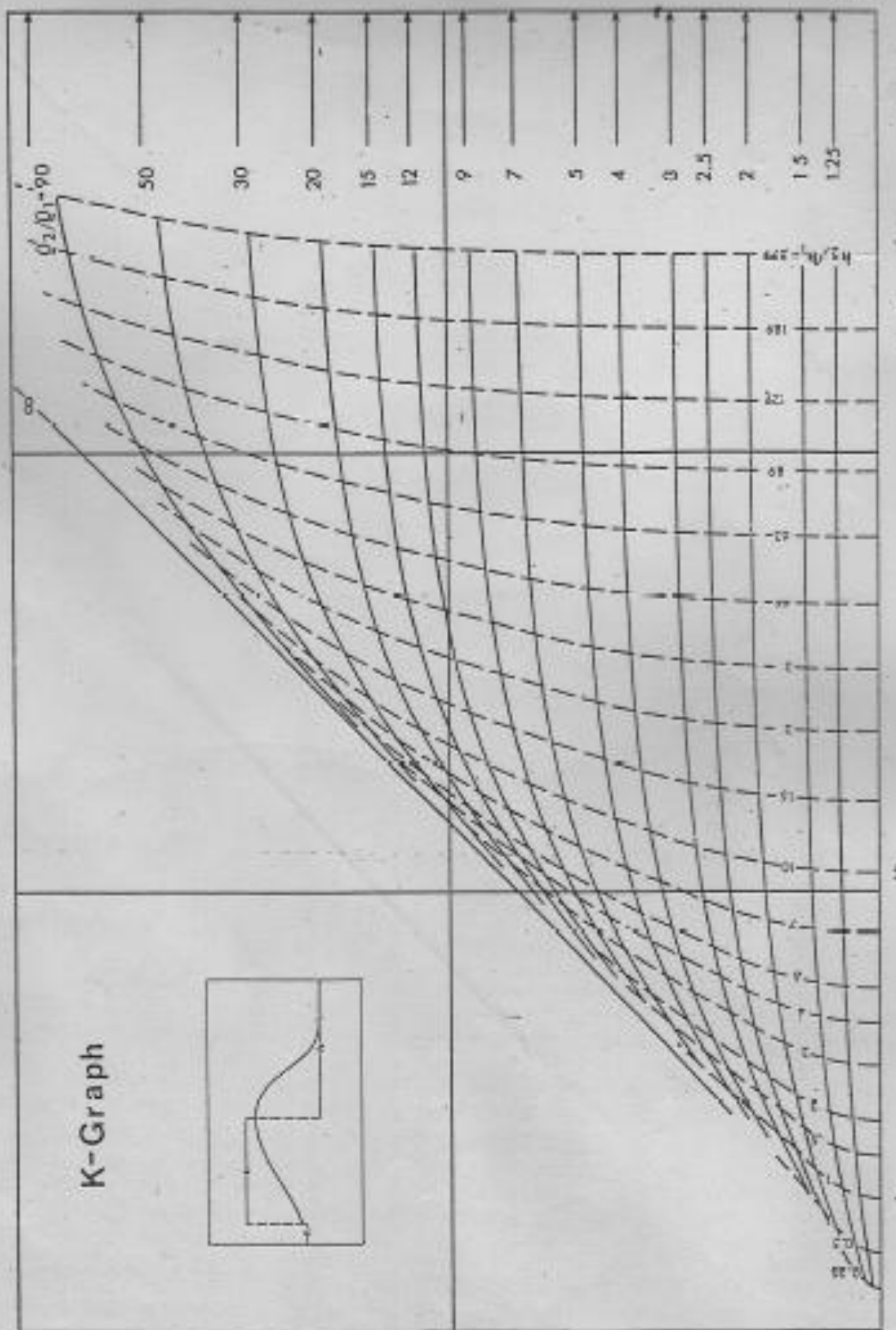
پیوست

پیوست شماره ۱- آباک‌ها و منحنی‌های اصلی و کمکی دو لایه‌ای مربوط به آرایش شلومبرژه

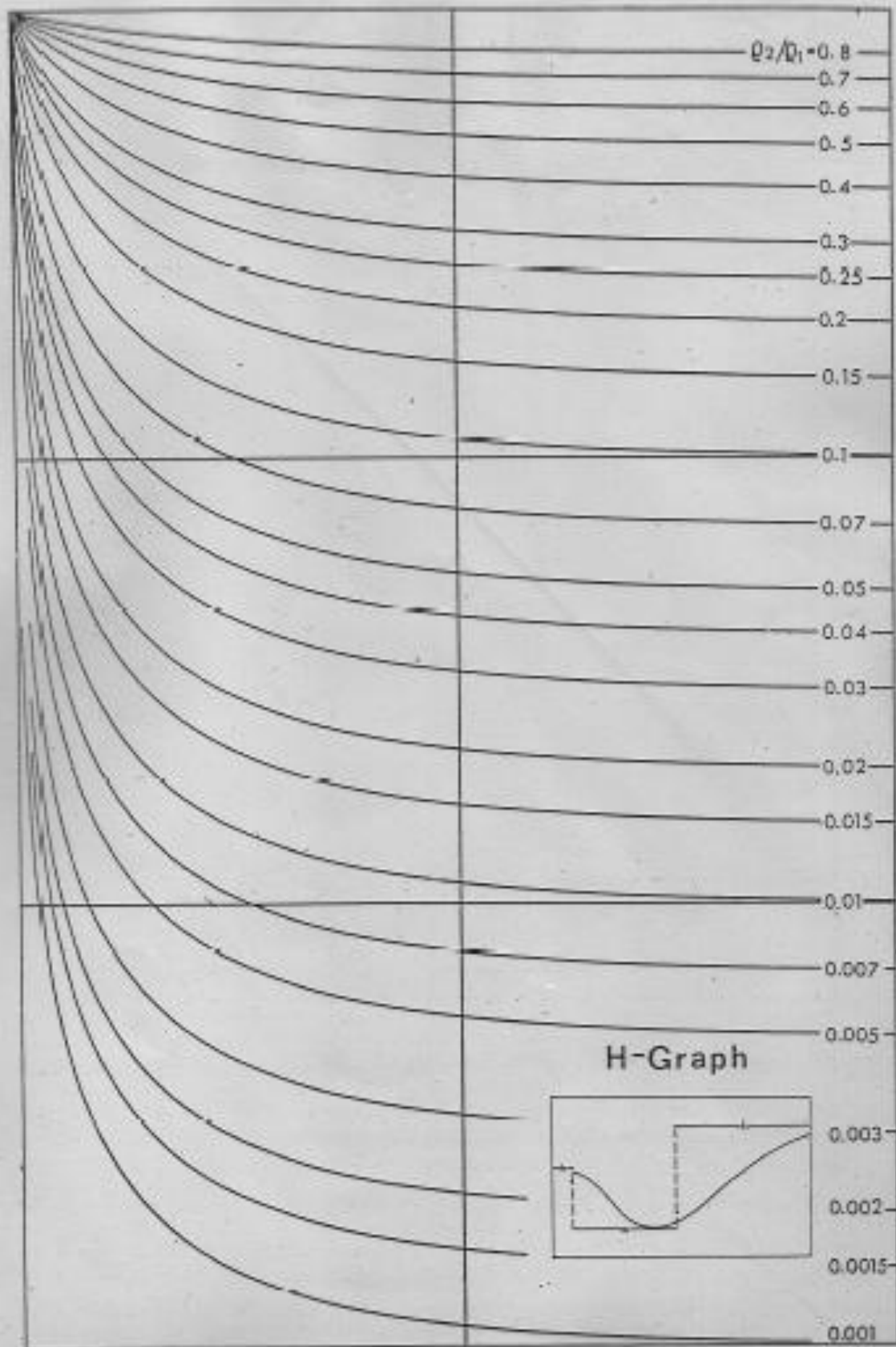
تفسیر یک بعدی داده‌های مقاومت ویژه به کمک منحنی‌های استاندارد یا آباک‌ها انجام می‌شود. برای این کار منحنی را به بخش‌های صعودی و نزولی تقسیم و هر بخش را مشابه مدل دولایه‌ای انطباق می‌دهیم. در شکل ۱-۱ منحنی اصلی دو لایه‌ای آرایش شلومبرژه نشان داده شده است. در این نمودار نسبت مقاومت ویژه لایه دوم نسبت به لایه اول در کنار هر منحنی نوشته شده است. ابتدای این منحنی‌ها که به نقطه تقاطع موسوم است و با علامت $\oplus$ نشان داده شده است، نقش مهمی در تفسیر دارد. شکل ۱-۲ منحنی فرعی دولایه‌ای یک‌بار صعودی آرایش شلومبرژه را نشان می‌دهد. از این منحنی برای قسمت‌هایی که منحنی صحرایی یک انحنا به سمت بالا دارد استفاده می‌شود (با توجه به نسبت به‌دست آمده از روی منحنی اصلی). خطوط نقطه چین عمودی در این شکل برای تعیین عمق لایه استفاده می‌شود. در شکل ۱-۳ منحنی فرعی دولایه‌ای یک‌بار نزولی آرایش شلومبرژه نشان داده شده است. از این منحنی برای قسمت‌هایی که منحنی صحرایی یک انحنا به سمت پایین دارد استفاده می‌شود (با توجه به نسبت به‌دست آمده از روی منحنی اصلی). شکل ۱-۴ منحنی فرعی دولایه‌ای دوبار نزولی آرایش شلومبرژه را نشان می‌دهد. از این منحنی برای قسمت‌هایی که منحنی صحرایی دو یا چند انحنا به سمت پایین دارد، استفاده می‌شود (با توجه به نسبت به‌دست آمده از روی منحنی اصلی). خطوط نقطه چین عمودی در این شکل برای تعیین عمق لایه استفاده می‌شود. شکل ۱-۵ منحنی فرعی دولایه‌ای دو بار صعودی آرایش شلومبرژه را نشان می‌دهد. از این منحنی برای قسمت‌هایی که منحنی صحرایی دو یا چند انحنا به سمت بالا دارد، استفاده می‌شود (با توجه به نسبت به‌دست آمده از روی منحنی اصلی). خطوط نقطه چین عمودی در این شکل برای تعیین عمق لایه استفاده می‌شود.



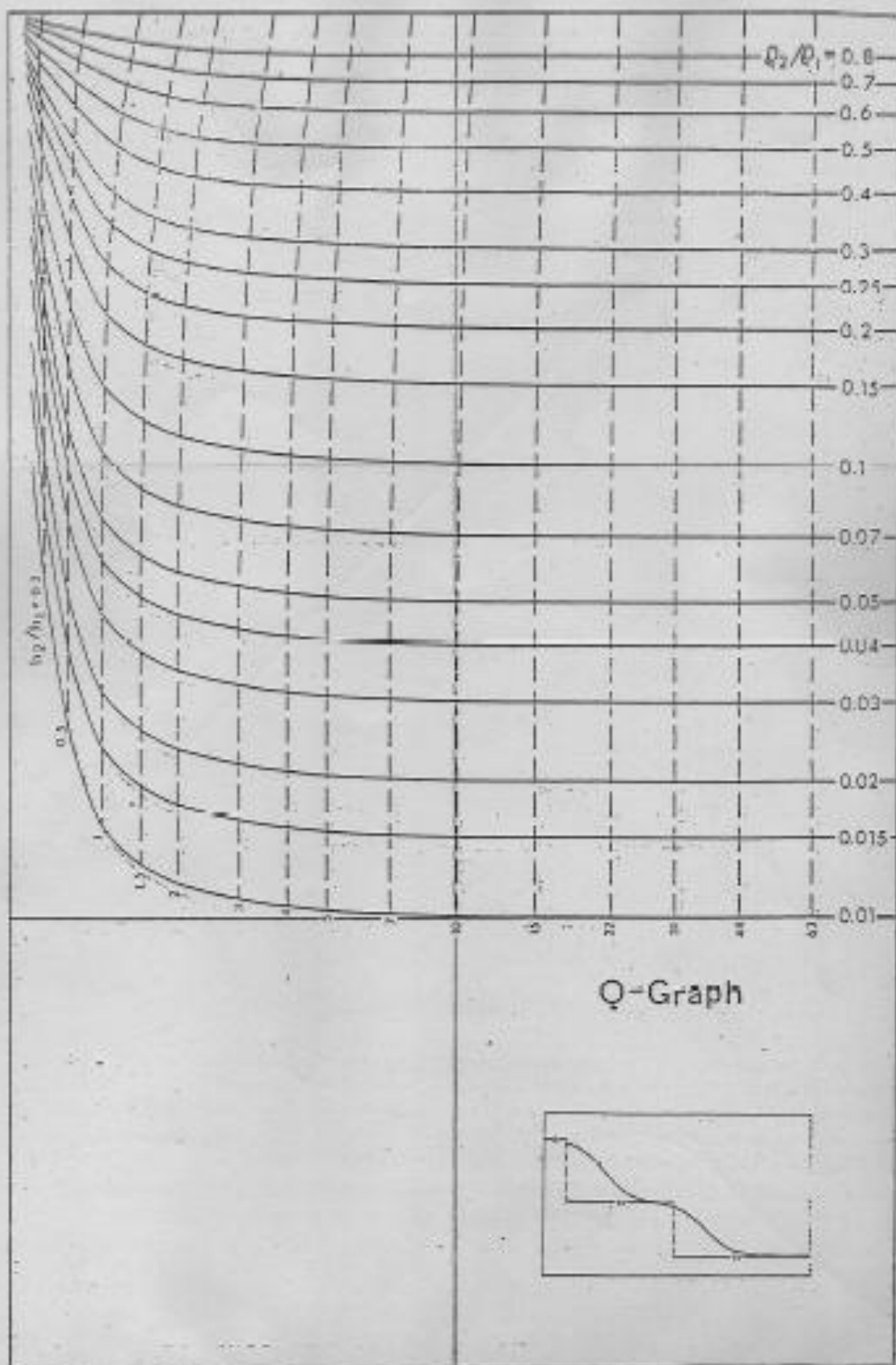
شکل ۱-۱- منحنی اصلی دو لایه ای ارایش شلومبرژه [کامکار روحانی ، ۱۳۸۸]



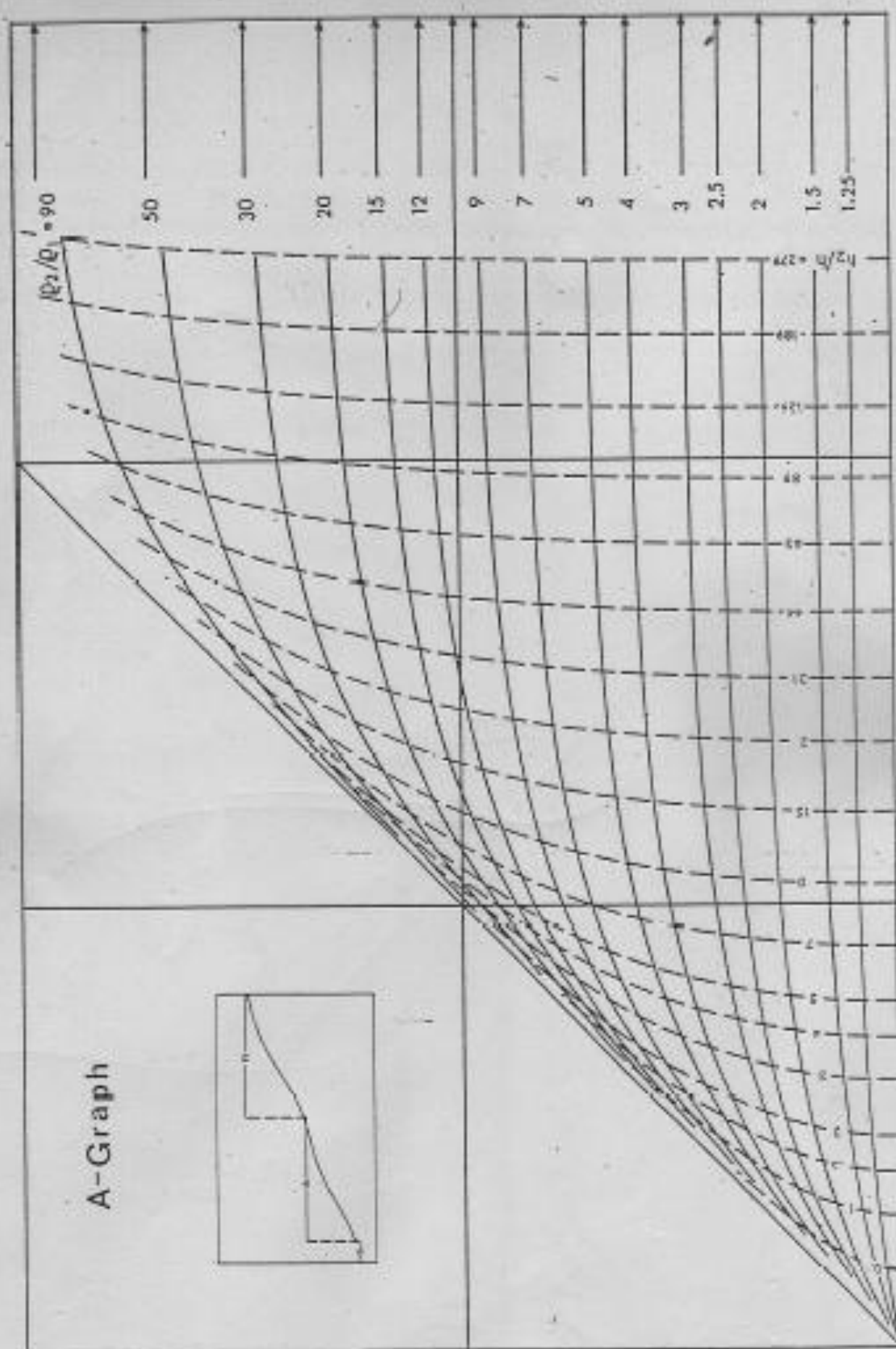
شکل ۱-۲- منحنی فرعی دو لایه ای یکبار صعودی آرایش شلومبرژه [کامکار روحانی ، ۱۳۸۸]



شکل ۱-۳- منحنی فرعی دو لایه ای یک بار نزولی آرایش شلومبرژه [کامکار روحانی، ۱۳۸۸]



شکل ۱-۴- منحنی فرعی دو لایه ای دوبار نزولی آرایش شلومبرژه [کامکار روحانی، ۱۳۸۸]



شکل ۱-۵- منحنی فرعی دو لایه ای دو بار صعودی آرایش شلومبرژه [کامکار روحانی، ۱۳۸۸]

فهرست منابع

- ۱- حجت آ، (۱۳۸۲) پایان نامه ارشد: "مطالعات ژئوالکتریکی جهت بررسی آب های زیرزمینی در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل گهر" دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲- شاهزیدی ا، (۱۳۸۹) پایان نامه ارشد: "مدل سازی و تفسیر سونداژهای مقاومت ویژه الکتریکی و تعیین ارتباط نتایج با پارامترهای کیفی در منطقه خرمالو استان گلستان" دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۳- شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، (۱۳۸۸) "گزارش مهندسین مشاور سازند آب پارس" ص ۶-۱۱.
- ۴- صداقت م، (۱۳۸۷) "زمین و منابع آب" جلد اول، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۱۶۸، ۱۶۲، ۳، ۲ و ۲۴۳.
- ۵- کامکار روحانی ا، (۱۳۸۸) "بررسی ژئوفیزیکی به منظور شناسایی سنگ کف در بستر رودخانه قلعه دختر واقع در جنوب ترود - استان سمنان" طرح پژوهشی منعقد فیما بین معاونت پژوهشی و فناوری و مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان سمنان، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۶- محبی گوراب پسی ر، (۱۳۸۸) پایان نامه ارشد: "مدل سازی و تفسیر سونداژهای مقاومت

ویژه الکتریکی و تعیین ارتباط نتایج با پارامترهای هیدرولوژیکی در منطقه دوغ استان

گلستان" دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۷- مرادزاده ع، قوامی اربابی ر، (۱۳۸۶) "چاه پیمایی برای مهندسين" جلد اول، چاپ دوم،

انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۸-۲۲.

8- Abdel-Azim M. Ebraheem, Mahmood M. Senosy, And Kamal A. Dahab, (1997), "Geoelectrical And Hidrogeochemical Studies for Delineating Ground-Water Contamination Duo to Salt Water Intrusion in the Northern Part of the Nile Delta, Egypt" *Ground Water*, No 2, 35, 216.

9- Asfahani, J., (2007), "Electrical earth resistivity surveying for delineating the characteristics of ground water in a semi-arid region in the Khanasser Valley" *Hydrol. Process.* 21, 1085–1097.

10- Bernard, J., (2003), "Short note on the principles of geophysical methods for groundwater investigations" [www. Terraplus.com](http://www.Terraplus.com), info@terraplus.com.

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

12- G.R.J.Cooper, School of Geosciences, University of the Witwatersrand Johannesburg, South Africa.

13- Geotomo Software, (2004), Geoelectrical Imaging 2-D and 3-D, 5 Cangkat Minden Lorong 6, Minden Heights, 11700 Gelugore, Penang, Malasia.

14- Hodlur, G.K., Dhakate, R., and Andrade, R., (2006), "Correlation of vertical electrical sounding and borehole-log data for delineation of saltwater and freshwater aquifers" *geophysics*, no. 1, 71, g11–g20.

- 15-Interpex limited, (2007), Golden Colorado USA, Forward and inverse modeling for layered (1-D) models.
- 16-Molano, E, Salamanca, M, Van Overmeeren, A, (1990), "Numerical modelling of standard and continuous vertical electrical soundings" *Geophysical Prospecting*, 38, 705-890.
- 17-Mooney, H. M. (1980), "*Handbook of engineering geophysics*", V.2, first edition, Bisoninstrument, Inc. and Minneapolis, Minnesota, pp 1-31.
- 18-Muiuane, E. A., Pederson, L. B., (1999) "Automatic 1D interpretation of DC resistivity sounding data" *Journal of Applied Geophysics*, 42, 35-45.
- 19-Reynolds, j. M., (1997), "*An Introductio to Applied and Enviromental Geophysics*" pp 418-459.
- 20-Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., (1990), "*Applied Geophysics*" Cambridge University Press, pp 285-290.
- 21- Titov, K.V., Levitski, A., Konosavski, P.K., Tarasov, A.V., Ilyin, Y.T., and Buès, M.A., (2005), "Combined application of surface geoelectrical methods for groundwater flow modeling" *geophysics*, no. 5, 70, h21-h31 .
- 22-White, P.A., (1994), "Electrode arrays for measuring groundwater flow direction and velocity" *geophysics*, no.2 , 59, 192-201.
- 23- Wisén, R., Auken, E., Dahlin, T., (2002), "Comparison of 1D laterally constrained inversion and 2.5D inversion of CVES resistivity data with drilling data as apriori information" *Procs. 8th Meeting Environmental and Engineering Geophysics*, Aveiro, Portugal, 8-12, 181-184.
- 24- Yao An Guo, (1987), "Estimation of TDS in sand aquifer water through resistivity log" *Ground Water*, No5, 24, 598-600.