

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

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

دانشجو:

تیمور کهکی

استاد راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

مهندس عبدالرضا فتحی نجفی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک (ژئوالکتریک)

تیر ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی نفت، معدن و ژئوفیزیک

گروه : ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای تیمور کهکی

تحت عنوان:

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

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

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
	مهندس عبدالرضا فتحی نجفی		دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
			دکتر
			دکتر

تقدیم به دو فرشته خوی پاک سیرت

پدر و مادر مهربانم

آنانکه سفید موی گشتند تا سپید روی بمانم

تقدیر و تشکر:

خداوند منان را شاکرم که توفیق نگارش این پایان نامه را به من عطا فرمود. وظیفه خود می دانم مراتب سپاسگذاری خود را از استاد گرانقدر دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی به عنوان استاد راهنما و جناب مهندس عبدالرضا فتحی نجفی به عنوان استاد مشاور به خاطر تجارب ارزشمندشان و کمک به این جانب در نگارش این پایان نامه اعلام نمایم، همچنین از زحمات اساتید گرانقدر خود در طول دوره تحصیلی فوق لیسانس دکتر کامکار روحانی، دکتر پیروز، دکتر دولتی، دکتر انصاری و دکتر عابدی که با مساعدت های علمی خود به اینجانب لطف شایانی داشتند، قدردانی می کنم.

همچنین از جناب آقایان دکتر فرامرز دولتی و دکتر علیرضا عرب امیری، به عنوان اساتید داور، که نقش به سزایی در به سرانجام رساندن این پایان نامه داشته اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در انتها لازم می دانم تا از زحمات تمام کارکنان دانشکده آقایان مهندس مهدی زارعی، مهندس محمد کبیریان، رجبی، شاه حسینی و تمامی دوستان عزیزم در طول دوران تحصیل تشکر و قدردانی نمایم.

اینجانب تأیید می نمایم که مطالب مندرج دراین پایان نامه نتیجه تحقیقات خودم می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده ام.

و نیز کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

تیمور کهکی

تیر ۱۳۹۰

چکیده:

نیاز به منابع آب زیرزمینی شیرین برای توسعه پایدار یک کشور امری ضروری است. در این تحقیق سعی شده است تا منابع آب زیرزمینی شیرین در دشت مشهد - چناران شناسایی و مورد اکتشاف قرار گرفته و همچنین کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه جهت مصارف شرب و کشاورزی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به همین منظور از روش سونداژنی مقاومت ویژه قائم الکتریکی ممتد (CVES) استفاده شده که در آن با برداشت ۱۳۲ سونداژ الکتریکی بر روی ۷ خط پروفیل در منطقه مذکور به مدل‌سازی و تفسیر یک‌بعدی (1-D) و دوبعدی (2-D) نتایج پرداخته شده است. داده‌های برداشت شده با استفاده از نمودارهای استاندارد و کمکی و نرم‌افزارهای VES، IX1D و Res2dinv مورد تفسیر قرار گرفتند. در نتیجه تفسیر، مقاومت ویژه، ضخامت و عمق لایه آبدار یا سفره آب زیرزمینی به عنوان پارامترهای شاخص و مؤثر لایه آبدار در محل هر سونداژ و گسترش سفره آب زیرزمینی در طول هر پروفیل تعیین شده است. نتایج تفسیر حاکی از آن است که عمق سطح لایه آب زیرزمینی و همچنین با توجه به متغیر بودن مقاومت ویژه لایه آبدار، کیفیت آب زیرزمینی (از نظر مقدار املاح یا کل جامدات حل شده (TDS) و رسانندگی الکتریکی (EC) و احتمالاً میزان رس) متغیر است. در نواحی شمالی سطح آب زیرزمینی از عمق کمی برخوردار بوده به‌طوری‌که در بعضی نقاط به ۵ متر نیز می‌رسد. به تدریج و با حرکت به نواحی جنوبی دشت، عمق سطح آب افزایش پیدا کرده و به ۱۳۰ متر می‌رسد. همچنین نتایج تفسیر داده‌ها نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی در نواحی شمالی به جز در بعضی نقاط به شدت پایین بوده و از میزان رس و شوری قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. در نواحی جنوبی، کیفیت آب زیرزمینی با توجه به مقادیر نسبتاً بالاتر مقاومت ویژه لایه آبدار بالاتر می‌باشد. سنگ کف در نواحی شمالی عمدتاً شیلی بوده و از عمق کمی برخوردار است در صورتی که در نواحی جنوبی، سنگ کف از رسوبات دانه‌درشت مقاوم تشکیل شده که در عمق نسبتاً زیادی قرار دارد.

از آنجا که امروزه بسیاری از مجموعه داده‌های فضایی تولید شده به گونه ای نامؤثر مورد استفاده قرار گرفته و بدون وجود سیستم‌های مطلوب به منظور مدیریت داده‌ها، به منابع هدر رفته تبدیل می‌شوند، در این پژوهش سعی بر آن شده تا تمامی لایه‌های اطلاعاتی (مقاومت ویژه، عمق و ضخامت) به دست آمده از تفسیر داده‌های سونداژ ژئوالکتریکی در محیط GIS رقومی، سامان‌دهی، مدل‌سازی و تلفیق شوند. به همین منظور، جهت مدل‌سازی و تلفیق داده‌ها در محیط GIS، ابتدا تمام اطلاعات موجود شامل سه پارامتر مقاومت ویژه، عمق و ضخامت پس از پردازش اولیه، گروه‌بندی شده و سپس هر کدام از گروه‌های مذکور به طور مجزا وزن‌دهی شده و نقشه‌های نشانگر هر کدام تهیه شده است. سپس با توجه به اهمیت متفاوت هر یک از این پارامترها در مدل‌سازی و تلفیق نتایج به منظور تهیه پتانسیل آب زیرزمینی، اوزان متفاوتی به هر یک از این عوامل تعلق گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از قابلیت‌های GIS و استفاده از روش هم‌پوشانی شاخص وزنی و منطق فازی، مناطق با پتانسیل بالا جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در منطقه معرفی گردید. در نتیجه، در بیشتر بخش‌های مرکزی و جنوبی و قسمت اندکی از بخش‌های شمالی مقدار ارزش فازی بالای ۰/۶ می‌باشد که نشان از وجود ذخیره آبی بالا و با کیفیت خوب (بالا بودن مقاومت ویژه) در محل‌های مذکور و دستیابی راحت (به لحاظ عمقی) به این پتانسیل‌های آبی می‌باشد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی، سونداژ مقاومت ویژه، هیدروژئولوژی، منطق فازی، هم‌پوشانی شاخص، چناران.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- مدل سازی و تلفیق پارامترهای مؤثر در اکتشاف آب زیرزمینی با روش منطق فازی در محیط GIS، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شهریور ۱۳۹۰، شاهرود.
- ۲- اکتشاف، ارزیابی و تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه چناران با استفاده از مدل سازی به روش هم پوشانی شاخص در محیط GIS، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شهریور ۱۳۹۰، شاهرود.
- ۳- مدل سازی ۱/۵ بعدی داده های ژئوالکتریکی برداشت شده به روش CVES به منظور اکتشاف آب زیرزمینی، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شهریور ۱۳۹۰، شاهرود.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- روش‌های الکتریکی در ژئوفیزیک ۲

۱-۳- هدف و ضرورت مطالعه حاضر ۵

۱-۴- ساختار پایان‌نامه ۵

فصل دوم: روش مقاومت ویژه ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- اصول روش مقاومت ویژه ۹

۲-۳- کاربردها، مزایا و معایب روش مقاومت ویژه ۱۱

۲-۴- مقاومت ویژه توده‌های زیرسطحی ۱۴

۲-۵- روش‌های اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه ۱۶

۲-۶- سونداژزنی مقاومت ویژه ۱۸

۲-۶-۱- نکات عملی قابل توجه در روش سونداژزنی مقاومت ویژه ۱۹

۲-۶-۲- ارائه داده‌های سونداژزنی مقاومت ویژه ۲۰

۲-۷- ارزیابی و تفسیر ۲۱

۲-۸- بررسی و اکتشاف منابع آب زیرزمینی ۲۱

۲-۸-۱- تقسیم‌بندی سازندها و رسوبات زمین‌شناسی از نظر ذخیره‌سازی و انتقال آب ۲۲

۲-۸-۲- انواع سفره‌های آب زیرزمینی ۲۲

۲۳	۲-۸-۳- کیفیت آب زیرزمینی
۲۴	۲-۸-۴- اکتشاف آب زیرزمینی
۲۷	۲-۸-۵- روش مقاومت ویژه در بررسی و اکتشاف آب‌های زیرزمینی
۲۹	فصل سوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه
۳۰	۳-۱- موقعیت جغرافیایی و عملیات صحرایی منطقه مورد مطالعه
۳۸	۳-۲- وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه
۳۸	۳-۳- نقش کمی و کیفی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی این منطقه
۴۳	فصل چهارم: مدل‌سازی و تفسیر یک بعدی داده‌های سونداژ ژئوالکتریک
۴۴	۴-۱- مقدمه
۴۵	۴-۲- تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی
۴۶	۴-۳- تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی
۴۸	۴-۴- تفسیر کمی داده‌های سونداژ ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه
۴۸	۴-۴-۱- سونداژ P5
۵۴	۴-۴-۲- سونداژ O22
۶۰	فصل پنجم: تفسیر دوبعدی داده‌های سونداژ مقاومت ویژه
۶۱	۵-۱- مقدمه
۶۱	۵-۲- روش برداشت سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته CVES
۶۲	۵-۳- مدل‌سازی معکوس

۶۳	۵-۳-۱- روش کمترین مربعات گوس - نیوتن
۶۴	۵-۴- تفسیر دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv
۶۴	۵-۴-۱- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل S
۶۶	۵-۲-۲- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل R
۶۸	۵-۲-۳- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل Q
۶۹	۵-۲-۴- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل P
۷۱	۵-۲-۵- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل O
۷۳	۵-۲-۶- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل N
۷۵	۵-۲-۷- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل M
۷۶	۵-۳- نتیجه‌گیری
فصل ششم: معرفی نواحی امیدبخش باپتانسیل آبی بالا در نتیجه تلفیق اطلاعات در محیط	
۷۸	GIS
۷۹	۶-۱- مقدمه
۸۰	۶-۲- سازماندهی
۸۰	۶-۳- ترکیب و تلفیق
۸۱	۶-۴- کاربرد GIS در علوم زمین
۸۲	۶-۵- تهیه نقشه‌های پتانسیل آب
۸۳	۶-۶- مدل‌سازی در GIS
۸۴	۶-۶-۱- مدل‌سازی به روش همپوشانی شاخص

۸۶	۶-۶-۲- مدل سازی به روش منطق فازی
۹۶	۶-۷-۱- مدل سازی و تلفیق پارامترهای اکتشافی به روش همپوشانی شاخص
۹۶	۶-۷-۱- پارامتر عمق
۹۹	۶-۷-۲- پارامتر ضخامت
۱۰۱	۶-۷-۳- پارامتر مقاومت ویژه
۱۰۴	۶-۷-۴- تلفیق نهایی لایه های اطلاعاتی با روش همپوشانی شاخص
۱۰۶	۶-۸-۱- مدل سازی و تلفیق پارامترهای اکتشافی به روش منطق فازی
۱۰۶	۶-۸-۱- فازی سازی پارامترهای اکتشافی
۱۱۵	۶-۸-۲- تلفیق نهایی لایه های اطلاعاتی با روش منطق فازی
۱۳۰	فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۳۱	۷-۱- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۳۴	۷-۲- پیشنهادات
۱۳۶	پیوست
۲۱۳	منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ - چگونگی اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین در روش ژئوالکتریک ۱۰
- شکل ۲-۲ - خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل الکتریکی برای آرایش الکترودی متقارن شلومبرژه ۱۸
- شکل ۳-۱ - موقعیت جغرافیایی محل پروفیل‌ها، سونداژها، پیزومترهای اکتشافی و توپوگرافی ۳۱
- شکل ۳-۲ - تصویر هوایی منطقه ۳۴
- شکل ۳-۳ - نقشه ایزوپیز منطقه ۳۶
- شکل ۳-۴ - نقشه هم هدایت الکتریکی ۳۷
- شکل ۳-۵ - نقشه زمین‌شناسی دشت مشهد - چناران ۴۰
- شکل ۴-۱ - نتایج مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو حاصل از مدل اولیه تفسیر کمی سونداژ P5. (بالا)
مدل اولیه حاصل از تفسیر سونداژ با استفاده از منحنی‌های استاندارد (پایین) مدل برازش داده شده
به داده‌های سونداژ ۵۰
- شکل ۴-۲ - نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ P5 در مراحل تکرار نهایی. (بالا) مدل حاصل از
مدل‌سازی وارون (پایین) مدل برازش داده شده به داده‌های سونداژ ۵۱
- شکل ۴-۳ - مدل اولیه حاصل از تفسیر داده‌های سونداژ P5 با استفاده از منحنی‌های استاندارد و
برازش آن به داده‌های سونداژ ۵۲
- شکل ۴-۴ - مدل به دست آمده از مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ P5 توسط نرم‌افزار VES و برازش
آن به داده‌های سونداژ ۵۳
- شکل ۴-۵ - نتایج مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو حاصل از مدل اولیه تفسیر کمی سونداژ O22. (بالا)
مدل اولیه حاصل از تفسیر سونداژ با استفاده از منحنی‌های استاندارد (پایین) مدل برازش داده شده
به داده‌های سونداژ ۵۵

شکل ۴-۶- نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ O22 در مراحل تکرار نهایی. (بالا) مدل حاصل از مدل‌سازی وارون (پایین) مدل برازش داده شده به داده‌های سونداژ ۵۶

شکل ۴-۷- مدل اولیه حاصل از تفسیر داده‌های سونداژ O22 با استفاده از منحنی‌های استاندارد و برازش آن به داده‌های سونداژ ۵۷

شکل ۴-۸- مدل بدست آمده از مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ O22 توسط نرم‌افزار VES و برازش آن به داده‌های سونداژ ۵۸

شکل ۵-۱- ترتیب بلوک‌های مستطیلی مورد استفاده در مدل‌سازی دوبعدی ۶۲

شکل ۵-۲- شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل S ۶۶

شکل ۵-۳: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل R ۶۸

شکل ۵-۴: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل Q ۶۹

شکل ۵-۵: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل P ۷۱

شکل ۵-۶: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل O ۷۳

شکل ۵-۷: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل N ۷۴

- شکل ۵-۸: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل M..... ۷۶
- شکل ۶-۱: تابع دوزنقه‌ای..... ۸۸
- شکل ۶-۲: لایه وزن‌دار شده عمق..... ۹۸
- شکل ۶-۳: لایه وزن‌دار شده ضخامت..... ۱۰۰
- شکل ۶-۴: لایه وزن‌دار شده مقاومت ویژه..... ۱۰۳
- شکل ۶-۵: نواحی امید بخش پتانسیل آبی..... ۱۰۵
- شکل ۶-۶: تابع عضویت دوزنقه‌ای پارامتر مقاومت ویژه..... ۱۰۷
- شکل ۶-۷: نقشه فازی پارامتر عمق..... ۱۱۲
- شکل ۶-۸: نقشه فازی ضخامت..... ۱۱۳
- شکل ۶-۹: نقشه فازی مقاومت ویژه..... ۱۱۴
- شکل ۶-۱۰: نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0/8$ ۱۱۷
- شکل ۶-۱۱: نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0/85$ ۱۱۸
- شکل ۶-۱۲: نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0/9$ ۱۱۹
- شکل ۶-۱۳: نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0/95$ ۱۲۰
- شکل ۶-۱۴: نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۶-۲۴)..... ۱۲۳
- شکل ۶-۱۵: نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۶-۲۳)..... ۱۲۴
- شکل ۶-۱۶: نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۶-۲۱)..... ۱۲۵
- شکل ۶-۱۷: نقشه اکتشافی نهایی با استفاده از رابطه (۶-۲۵) با $S=2$ ۱۲۷

شکل ۶-۱۸: نقشه اکتشافی نهایی با استفاده از رابطه (۶-۲۵) با $S=۵$ ۱۲۸

شکل ۶-۱۹: نقشه اکتشافی نهایی با استفاده از رابطه (۶-۲۵) با $S=۱۰$ ۱۲۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: خصوصیات روش‌های الکتریکی..... ۴
- جدول ۱-۲: محدوده مقادیر مقاومت ویژه برای مواد مختلف ۱۵
- جدول ۱-۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P5 به کمک روش‌های مختلف ۵۳
- جدول ۲-۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O22 به کمک روش‌های مختلف ۵۸
- جدول ۱-۶: مقادیر ارزش مربوط به عمق‌های مختلف ۹۷
- جدول ۲-۶: مقادیر ارزش مربوط به ضخامت‌های مختلف ۹۹
- جدول ۳-۶: مقادیر ارزش مربوط به مقاومت ویژه‌های مختلف ۱۰۲
- جدول ۴-۶: روابط ریاضی توابع عضویت دوزنقه‌ای پارامترهای اکتشافی ۱۰۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

آب یکی از منابع اساسی مورد نیاز بشر است. در بعضی از مناطق ممکن است آب‌های سطحی محدود باشند و یا به راحتی در دسترس انسان قرار نگیرند. در این قبیل مناطق می‌توان نیاز انسان‌ها به آب را از طریق آب‌های زیرزمینی که در همه جا به‌طور وسیع و گسترده توزیع شده‌اند، برطرف نمود.

آب نه تنها برای گسترش شهرها و صنایع لازم است بلکه یکی از عوامل توسعه کشاورزی نیز بشمار 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 در برخی مناطق کشور برای مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و غیره، لازم است از آب‌های زیرزمینی بهره‌برداری به عمل آید. بنابراین بررسی آب‌های زیرزمینی در این مناطق 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.

۱-۲- روش‌های الکتریکی در ژئوفیزیک

کاوش‌های الکتریکی با آشکارسازی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان در داخل زمین سروکار دارند. در مقایسه با دیگر روش‌های ژئوفیزیک نظیر گرانی، مغناطیس و رادیواکتیویته که در آن‌ها تنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی‌هنجار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش‌های الکتریکی از انواع بیشتری برخوردارند. با به‌کارگیری روش‌های الکتریکی می‌توان پتانسیل‌ها، جریان‌ها و میدان‌های الکترومغناطیس را که به‌طور طبیعی در زمین موجودند و یا به‌طور مصنوعی در آن‌ها ایجاد می‌شوند، اندازه‌گیری کرد. روش‌های الکتریکی اغلب برحسب نوع منبع انرژی مورد استفاده (طبیعی یا مصنوعی) طبقه‌بندی می‌شوند [Telford et al., 1991].

هدف اصلی عمده روش‌های الکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. در این روش‌ها، برای اینکه یک ویژگی زیرزمینی مشخص شود باید مقاومت ویژه الکتریکی آن به طور بارزی متفاوت از محیط اطرافش باشد. بنابراین، استفاده از روش‌های الکتریکی، به حالت‌هایی که یک تباین مقاومت ویژه^۱ وجود داشته باشد، محدود می‌شود. در این روش‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و سایر خصوصیات موجود، به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. این بدان معنی است که برای تفسیر مناسب داده‌های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات خارجی می‌باشد. در بعضی مواقع، داده‌های کمکی بسیار پراکنده بوده و برای محدود کردن تفسیرهای ممکن برای داده‌های ژئوفیزیکی، مناسب نمی‌باشند. در بعضی موارد هم، اطلاعات کمکی موجود به محدود کردن تفسیرها و انتخاب یک سری خصوصیات زمین‌شناسی با توجه به داده‌های الکتریکی، کمک می‌کنند [Zonge Engineering and Research Organization, 1994].

برخی از خصوصیات روش‌های الکتریکی در جدول ۱-۱ ارائه شده است. در این جدول، خصوصیات و جنبه‌های مختلف الکتریکی روش‌های متنوع شامل روش‌های مقاومت ویژه، پتانسیل خودزا^۲، پلاریزاسیون القایی^۳، روش‌های مختلف الکتریکی از نوع الکترومغناطیس^۴ مانند روش الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین^۵، روش الکترومغناطیس در حوزه زمان^۶، روش الکترومغناطیس در حوزه فرکانس^۷، روش رادار و روش‌های مگنتوتلوریک^۸ که نوعی از آن روش مگنتوتلوریک با فرکانس شنوایی و چشمه کنترل شده^۹ است، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

^۱ . Resistivity contrast

^۲ . Self Potential (SP)

^۳ . Induced Polarization (IP)

^۴ . Electromagnetic (EM)

^۵ . Very Low Frequency (VLF)

^۶ . Time-domain Electromagnetic

^۷ . Frequency-domain Electromagnetic

^۸ . Magneto Telluric (MT)

^۹ . Controlled-Source Audio Magneto Telluric (CSAMT)

جدول ۱-۱: خصوصیات روش‌های الکتریکی [Zonge Engineering and Research Organization, 1994]

Radar	IP	Res.	SP	CSAMT	VLF	TEM	EM	
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	بررسی و برداشت افقی
Y	Y	Y	N	Y	N	Y	N	سونداژزنی قائم
**	**	**	**	*	*	X	**	نفوذ کم عمق
X	*	*	X	**	X	**	X	نفوذ عمیق
**	**	**	*	*	X	*	X	کیفیت تخمین عمق
N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	داده‌های مقاومت ویژه
N	Y	N	N	N	N	N	N	داده‌های پلاریزاسیون
*	*	**	**	*	**	*	**	هزینه نسبی
**				*				نیروی انسانی مورد نیاز

**بسیار مطلوب، *مطلوب، Yبله، Nخیر، Xضعیف

مهمترین موارد استفاده روش‌های الکتریکی در بررسی کیفیت و هندسه سفره‌های آب زیرزمینی عبارتند از:

۱- برداشت مقاومت ویژه و هدایت ویژه (رسانندگی) الکتریکی سفره‌های آب زیرزمینی جهت

تعیین تغییرات شوری، مقدار کل املاح جامد محلول^۱ و پارامترهای دیگر آب‌های زیرزمینی.

۲- برداشت تقریبی وسعت و هندسه محل‌های محصور تامین‌کننده آب.

۳- برداشت مسیرهای متخلخل، مناطق رسی نفوذناپذیر و ساختارهای زمین‌شناسی که مسیر

جریان آب را کنترل می‌کنند [Zonge Engineering and Research Organization, 1994].

از میان روش‌های مختلف الکتریکی روش مقاومت ویژه از کاربرد گسترده‌ای برخوردار است. یکی از

دلایل این امر آن است که دامنه تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها بسیار وسیع می‌باشد.

روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند، اما از دهه ۱۹۷۰ و خصوصاً به

دلیل دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند.

این روش‌ها به‌طور مؤثری برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی، بررسی انواع آلودگی‌های آب‌های

^۱. Total Dissolved Solids (TDS)

زیرزمینی، بررسی مسائل مهندسی برای تعیین محل حفره‌های زیرسطحی، گسل‌ها و مناطق خرد شده، درز و شکاف‌ها، مناطق یخ‌زده و غیره، مورد استفاده قرار می‌گیرند [Reynolds, 1997].

۱-۳- هدف و ضرورت مطالعه حاضر

هدف از انجام این پایان‌نامه تعیین عمق و ضخامت لایه آبدار و همچنین تعیین سنگ کف در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی است. همچنین سعی بر آن شده است که نتایج حاصل از تفسیر سونداژها با اطلاعات توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور بررسی بهتر آب‌های زیرزمینی منطقه تلفیق گردند. با توجه به اهمیت آب‌های زیرزمینی و لزوم بهره‌برداری از آن به منظور مصارف مختلف خانگی، شهری و روستایی در منطقه مورد مطالعه، بررسی و اکتشاف لایه‌های آبدار در این منطقه ضرورت می‌یابد. سرعت بالا و هزینه نسبتاً پایین به‌علاوه دقت قابل قبول نتایج روش‌های ژئوفیزیکی و به ویژه روش مقاومت ویژه در بررسی و اکتشاف آب‌های زیرزمینی، ما را بر آن داشته تا از این روش جهت نیل به هدف مذکور استفاده نماییم.

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل هفت فصل می‌باشد. در فصل اول، همان‌طور که ملاحظه شد، کلیاتی در مورد روش‌های ژئوفیزیکی و 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 زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت سونداژها، چاه‌ها و پی‌زومترها نشان داده شده‌اند. در فصل چهارم مدل‌سازی و تفسیر یک بعدی تعداد ۱۳۲ سونداژ با

استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای VES و IX1D و در فصل پنجم مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی تعداد ۷ پروفیل با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv انجام شده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. در فصل ششم با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه ابتدا سه پارامتر مقاومت ویژه، عمق و ضخامت لایه آبدار استخراج شده و نقشه‌های نشانگر هر کدام تهیه شده است سپس با استفاده از مدل‌سازی به روش هم‌پوشانی شاخص و منطق فازی جهت دستیابی به نقشه پتانسیل آبی نهایی تلفیق گردیده‌اند. در فصل هفتم که فصل انتهایی این پایان‌نامه می‌باشد، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی از این تحقیق به طور خلاصه ارائه شده است.

فصل دوم

روش مقاومت ویژه

۲-۱- مقدمه

روش مقاومت ویژه بر اساس 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 دقیقاً 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 مقاومت ویژه الکتریکی متفاوتی دارند، با استفاده از روش مقاومت ویژه می‌توان لایه‌های زمین را از نظر مقاومت ویژه الکتریکی‌شان از یکدیگر تفکیک نمود.

در روش مقاومت ویژه از عبور جریان الکتریکی در داخل زمین استفاده می‌گردد. جریان الکتریکی که همان حرکت ذرات باردار است می‌تواند به سه روش مختلف صورت گیرد [Mooney, 1980].

۱- هدایت اهمی: حرکت الکترون‌ها در بین ساختمان‌های بلورین انجام می‌شود. هدایت اهمی اغلب در فلزات به سهولت صورت می‌گیرد.

۲- هدایت الکتریکی: جریان الکتریکی توسط یون‌های محلول در آب‌های زیرزمینی انتقال می‌یابد. این یونها می‌توانند از فضاها موجود در بین ذرات توده نفوذپذیر خاک، رسوبات نامتراکم یا سنگ‌ها حرکت کنند.

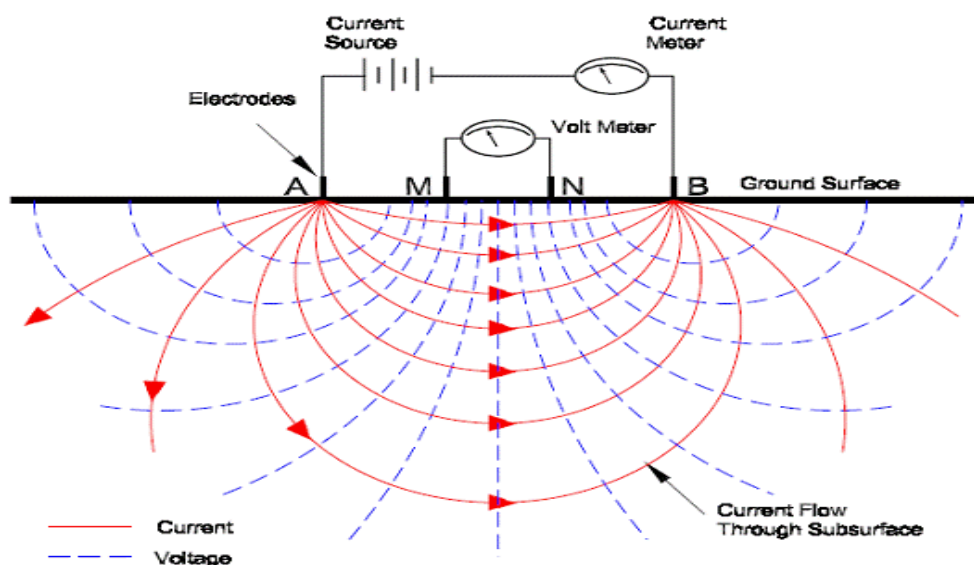
۳- هدایت دی‌الکتریکی: میدان الکتریکی متناوب باعث جابجایی یون‌ها به شکل حلقوی در ساختمان بلور می‌شود. اگرچه جریان واقعی در ذرات باردار وجود ندارد ولی تغییرات حلقوی در موقعیت یون‌ها حرکتی است که به صورت یک جریان متناوب می‌تواند مشاهده شود. این نوع هدایت در عایق‌های الکتریکی که در حالت طبیعی توانایی عبور جریان را از خود ندارند رخ می‌دهد.

روش برداشت مقاومت ویژه الکتریکی همان‌طور که در ادامه گفته خواهد شد به وسیله ارسال جریان مستقیم (DC) به داخل زمین توسط یک جفت الکترود و اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی توسط یک جفت الکترود دیگر صورت می‌گیرد.

۲-۲- اصول روش مقاومت ویژه

هدف از برداشت‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی می‌باشد. از این اندازه‌گیری‌ها، مقاومت ویژه واقعی توده‌های زیرسطحی قابل تخمین است. اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه الکتریکی چندین دهه است که به منظور بررسی‌های ژئوتکنیکی، معدنی، آب‌های زیرزمینی و اخیراً مطالعات زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد [Loke, 1999].

شکل ۱-۲ یک نمودار شماتیک از اصول اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه را نشان می‌دهد. دو عدد الکترود کوتاه فلزی که الکترود جریان نامیده می‌شوند (الکترودهای A و B) و در حدود ۱۰-۳۰ سانتی‌متر داخل زمین قرار گرفته‌اند، جریان الکتریکی را به داخل زمین تزریق می‌کنند. از دو الکترود دیگر که الکترود پتانسیل نامیده می‌شوند (الکترودهای M و N)، برای اندازه‌گیری ولتاژ یا اختلاف پتانسیل الکتریکی تولید شده در اثر شارش جریان الکتریکی در داخل زمین، استفاده می‌شود [Corvallis, 2000].



شکل ۱-۲: چگونگی اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین در روش ژئوالکتریک [Corvallis, 2000]

با داشتن مقدار شدت جریان الکتریکی و اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین دو سر الکترودهای پتانسیل M و N، می‌توان مقاومت ویژه زمین را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود.

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

در رابطه (۱-۲) I شدت جریان ارسالی (بر حسب آمپر)، ΔV اختلاف پتانسیل قرائت شده (بر حسب ولت) و ρ_a مقدار مقاومت ویژه ظاهری^۱ (بر حسب اهم - متر) می‌باشد [Asfahani, 2007].

در زمین‌های همگن^۲ و همسانگرد^۳، مقاومت ویژه به دست آمده از این معادله، ثابت و مستقل از فاصله الکترودی و موقعیت الکترودها در سطح زمین است. در این حالت، مقاومت ویژه به دست آمده، مقاومت ویژه واقعی یا حقیقی^۴ زمین موردنظر می‌باشد. در صورت وجود ناهمگنی‌های زیرسطحی، مقدار مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده با تغییر موقعیت الکترودها تغییر می‌کند. در این صورت مقادیر

^۱. Apparent Resistivity

^۲. Homogeneous

^۳. Isotropic

^۴. True resistivity

اندازه‌گیری شده، مقاومت ویژه ظاهری هستند [Zonge Engineering and Research Organization, 1994].

رابطه بین مقاومت ویژه حقیقی و ظاهری رابطه پیچیده‌ای است. برای تعیین مقاومت ویژه حقیقی توده‌های زیرسطحی از روی مقادیر ظاهری آن، از روش‌های معکوس‌سازی توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود [Loke, 1999].

۲-۳- کاربردها، مزایا و معایب روش مقاومت ویژه

از کاربردهای روش مقاومت ویژه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [کلاگری، ۱۳۷۱ و Mooney, 1980]:

- ۱) مطالعه آب‌های زیرزمینی جهت تعیین سطح و عمق سفره آب‌های زیرزمینی، مرز آب شور و شیرین و محل کانال‌های رودخانه‌ای مدفون.
- ۲) در کارهای مهندسی عمران و راه، برای تعیین ضخامت آبرفت‌ها، عمق سطح سفره آبدار، عمق سنگ بستر، اکتشاف گسل‌ها و شناسایی حفره‌های زیر سطحی و لایه‌های رسی.
- ۳) در اکتشافات معدنی (سولفیدها، اکسیدها و به‌طور کلی کانی‌هایی که دارای جلای فلزی باشند) و به‌ویژه در شناسایی زون‌های خرد شده گسله که ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی فلزی دارند.
- ۴) در مطالعات ژئوترمال به کمک نقشه‌های هم مقاومت ویژه می‌توان مسیر خط گسلی را که معمولاً در امتداد آنها چشمه‌های آب گرم و آب‌فشان‌ها خارج می‌شوند مشخص نمود.
- ۵) در بررسی مسائل زیست محیطی جهت شناسایی زون‌های آلوده زیرسطحی، ترسیم آن‌ها و تعیین گسترش این آلودگی‌ها با زمان بسیار سودمند است.
- ۶) در اکتشافات باستان‌شناسی که اکثراً برای اکتشاف و ترسیم پی دیواره‌ها به کار می‌رود.

از مزایای روش مقاومت ویژه در مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی (مانند لرزه‌شناسی، گرانی‌سنجی و ...) و یا روش‌های اکتشافی مستقیم (مانند حفاری و ...) می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Mooney, 1980; Donald et al., 1990; Tezel, 2002].

۱) انعطاف‌پذیری (استفاده از روش مقاومت ویژه در هر مرحله از اکتشاف مثل شناسایی اولیه یا اکتشاف تفصیلی، مانند تعیین جزئیات زیر سطحی امکان‌پذیر است).

۲) روشی نسبتاً سریع و آسان برای برداشت داده‌ها است.

۳) تئوری ساده و روانی دارد.

۴) در مقایسه با دیگر روش‌های الکتریکی همچون الکترومغناطیس، کمتر به نوفه (نویز) حساس است.

۵) هزینه‌های صحرایی پایین در بر داشته و به تعداد کمی پرسنل یا نیروی انسانی برای برداشت نیاز دارد.

۶) دستگاه‌ها در این روش سبک و قابل است (هر چند که مشکلات عملی که در حمل‌چندین الکتروود و سیم‌های بلند در دشت‌ها و جنگل‌های ناهموار وجود دارد را می‌توان عیب این روش نیز برشمرد).

۷) تفسیر کمی داده‌ها را می‌توان هم از طریق مدل‌سازی کامپیوتری و هم با استفاده از منحنی-های استاندارد انجام داد. علاوه بر این تفسیر کیفی داده‌ها به‌طور مستقیم صورت می‌گیرد.

۸) جهت اکتشاف لایه‌های کم‌عمق یا ناپیوستگی‌های قائم که دارای تباین مقاومت ویژه با محیط اطراف هستند، عملکرد خوبی دارد.

برخی از محدودیت‌های این روش عبارتند از [Mooney, 1980; Telford et al., 1991; Fox et al., 2002]:

- (۱) باتوجه به گستردگی دامنه تغییرات مقاومت ویژه تعبیر و تفسیرها قدری مبهم هستند، مخصوصاً در مناطق تکتونیزه این ابهام بیشتر است. مقایسه و تطبیق با نقشه زمین‌شناسی می‌تواند تا حدی این ابهام را کاهش دهد.
- (۲) عمق نفوذ این روش محدود می‌باشد (به علت محدودیت در تزریق جریان الکتریکی و گسترش کابل‌های طویل بر روی زمین). علاوه بر این روباره‌های رسانا مثل رس‌ها و مارن‌ها نیز عمق نفوذ را کاهش می‌دهند.
- (۳) همانند اکثر روش‌های ژئوفیزیکی دیگر، توپوگرافی تأثیر منفی بر روی داده‌های مقاومت ویژه دارد. توپوگرافی موجب پراکندگی موضعی و تمرکز توزیع جریان در نزدیک سطح می‌شود؛ که این موضوع سبب تشکیل تمرکزهای کاذب مقاومت ویژه به علت وجود عوارض زمینی در داده‌های صحرایی می‌شود.
- (۴) تأسیسات بشری مانند ساختمان‌ها، کابل‌های برق و تلفن، لوله‌های فلزی و امثال آن‌ها، داده‌های اندازه‌گیری شده را به نویز آلوده می‌سازند.
- (۵) این روش مانند تمامی روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوالکتریکی به غیر از روش پلاریزاسیون القایی در اکتشاف مواد معدنی پراکنده، که ذرات کانی‌ها بهم اتصال ندارند، کارایی ندارد.
- (۶) در برخی موارد، مدل‌های ژئوالکتریکی حاصل، با مدل زمین‌شناسی مربوطه بسیار تفاوت دارد.
- (۷) ابهام در تفسیر داده‌های مقاومت ویژه باعث می‌شود که چندین مدل ژئوالکتریکی (یا زمین‌شناسی) را به یک مجموعه داده برداشت شده از یک محل نسبت داد. بنابراین اطلاعات جنبی مانند اطلاعات زمین‌شناسی برای تفسیر نتایج ضروری است.
- (۸) دقت تخمین عمق این روش در مقایسه با روش‌هایی مثل لرزه‌نگاری یا حفاری کمتر است.
- (۹) به علت کم بودن عمق اکتشاف و همچنین خصوصیات فنی و الکتریکی روش مزبور، این روش در اکتشافات نفتی کاربرد ندارد.

۴-۲- مقاومت ویژه توده‌های زیرسطحی

برداشت‌های مقاومت ویژه تصاویری از تغییرات مقاومت ویژه توده‌های زیر سطحی در اختیار قرار می‌دهند. برای تبدیل این تصاویر به تصاویر زمین‌شناسی، اطلاعاتی در خصوص مقادیر مقاومت ویژه انواع ساختارهای زیرسطحی و همچنین زمین‌شناسی محیط تحت بررسی حائز اهمیت است. مقاومت ویژه برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها و مواد معمول زمین‌شناسی در جدول ۲-۱ آورده شده است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه در مقایسه با کمیت‌های فیزیکی که در دیگر روش‌های ژئوفیزیک محاسبه می‌شوند بسیار بیشتر است. مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف از 10^{-8} تا 10^{16} اهم - متر برای گوگرد خالص متغیر است [Telford et al., 1991]. سنگ‌های دگرگون و آذرین نوعاً دارای مقادیر با مقاومت ویژه بالا هستند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها اساساً وابسته به درجه شکستگی و درصد پرشدگی آن‌ها از آب‌های زیرسطحی است. سنگ‌های رسوبی به علت تخلخل و به واسطه آن محتوی آب بیشتر، معمولاً دارای مقاومت ویژه پایین می‌باشند [Loke, 1999]. خاک‌های مرطوب و آب‌های زیرزمینی شیرین، دارای مقاومت ویژه پایینی هستند. خاک‌های رسی از انواع ماسه-های آن دارای مقاومت ویژه پایین‌تری می‌باشند. مقدار مقاومت ویژه آب دریا که در حدود 0.2 اهم - متر یا کمتر است، ناشی از میزان بالای نمک‌های محلول آن است. این مسأله سبب می‌شود تا بتوان روش مقاومت ویژه را به عنوان یک روش ایده‌آل برای آشکارسازی مرز آب‌های شور و شیرین در نواحی ساحلی به کار برد.

جدول ۱-۲: محدوده مقادیر مقاومت ویژه برای مواد مختلف [Mooney, 1980; Telford, 1991]

محدوده مقاومت ویژه ($\Omega.m$)		
$10 - 10^3$	شیل	سنگ- های رسوبی
$1 - 10^8$	ماسه سنگ	
$50 - 10^7$	آهک	
$10^2 - 10^4$	دولومیت	
$2 \times 10^3 - 10^4$	کنگلومرا	
$10 - 800$	آبرفت و ماسه	
$1 - 1000$	ماسه	رسوبات سخت نشده
$3 - 70$	مارل	
$1 - 100$	رس	
20	رس مرطوب	
$1 - 100$	آب خاکی	
$30 - 1000$	آب باران	آب‌ها
0/2	آب دریا	
$10^5 - 10^8$	یخ	
$10^{-4} - 1$	سولفیدهای توده‌ای	کلی
$50 - 200$	خاک نواحی مرطوب	
$100 - 500$	خاک نواحی خشک	
$200 - 1000$	خاک نواحی بیابانی	

۲-۴-۱- عوامل موثر بر میزان مقاومت ویژه ظاهری

عوامل متعددی بر مقدار مقاومت ویژه در یک برداشت مؤثر است. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به

موارد زیر اشاره نمود [Marescot, 2006]:

(۱) جنس لایه‌های زیرسطحی: یکی از مهم‌ترین کاربردهای روش مقاومت ویژه در شناسایی

جنس لایه‌ها و توده‌های زیرزمینی می‌باشد. این توانایی از آن جهت حاصل می‌شود که هر

ماده مقاومت ویژه خاص خود را دارد به عنوان مثال در مورد جنس سنگ‌ها، سنگ‌های آذرین و دگرگونی مقاومت ویژه بالاتری نسبت به سنگ‌های رسوبی دارند و یا وجود رس مقاومت ویژه را کاهش می‌دهد. بدین ترتیب با قرائت مقاومت ویژه در هر برداشت و با کمک اطلاعات زمین‌شناسی می‌توان به طور تقریبی جنس ماده زیرسطحی را تعیین کرد.

۲) میزان آب موجود در خلل و فرج سنگ‌ها و خاک‌های زیرسطحی: به دلیل آنکه آب به عنوان یک رسانای خوب در طبیعت موجود است، با افزایش میزان آب در لایه‌های زیرسطحی، مقاومت ویژه این لایه‌ها کاهش می‌یابد. روش مقاومت ویژه به دلیل وجود این خاصیت یکی از موفق‌ترین روش‌های اکتشاف آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

دو عامل بالا را می‌توان به عنوان مهم‌ترین عوامل تعیین کننده مقاومت ویژه ذکر کرد. با این حال علاوه بر این عوامل، عوامل زیاد دیگری در میزان مقاومت ویژه نقش دارند که برخی از آن‌ها عبارتند از: میزان شوری آب موجود در سازند، میزان خلل و فرج موجود در سنگ، وجود شکستگی‌ها در سنگ‌ها، وجود مواد (مثل مواد معدنی) رسنا در متن سنگ میزبان، درجه حرارت، نفوذپذیری، اندازه رسوبات و غیره. در جدول ۱-۲ که قبلاً آورده شد، مقاومت ویژه برخی از انواع مواد و رسوبات نشان داده شده است.

۲-۵- روش‌های اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه

داده‌های مقاومت ویژه به صورت یک‌بعدی، دوبعدی و همچنین سه‌بعدی به دست می‌آیند [Loke, 1999]. یک عملیات یا برداشت ژئوالکتریک به یکی از دو روش سونداژزنی قائم الکتریکی (VES) و یا پروفیل‌زنی انجام می‌شود. در روش سونداژزنی، تغییرات عمقی یا قائم مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرد. اما در روش پروفیل‌زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه مواد زیرسطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می‌شود. در روش پروفیل‌زنی، آرایش مورد استفاده و پارامترهای آن به ویژه فاصله

الکترودی ثابت باقی می‌مانند و الکترودها در طول خط پروفیل جابجا می‌شوند. برای نمایش داده‌های پروفیل‌زنی، محور افقی فواصل مرکز آرایش از نقطه مرجع یا آغاز پروفیل و محور قائم مقادیر مقاومت ویژه را نشان می‌دهد. محور افقی همواره خطی است ولی محور قائم می‌تواند خطی یا لگاریتمی باشد. در سونداژهای ژئوالکتریک، تغییرات عمقی مقاومت ویژه و لایه‌بندی‌های موجود، با استفاده از آرایش-هایی که فاصله میان بعضی از الکترودها و یا همه آن‌ها به‌طور متقارن افزایش می‌یابد، بررسی می‌شوند. مقادیر مقاومت ویژه با توجه به فاصله و بر روی نمودارهای لگاریتمی (هر دو محور لگاریتمی) رسم می‌شوند. اگرچه روش‌هایی برای تفسیر شیب لایه‌ها نیز پیشنهاد شده، سونداژزنی ژئوالکتریک تنها در مواقعی که فصل مشترک لایه‌ها افقی باشد به خوبی جواب می‌دهد [Milson, 2003].

در روش سونداژ الکتریکی موقعیت مرکز آرایش ثابت مانده و در هر مرحله، بسته به نوع آرایش، الکترودها نسبت به محل مرکز آرایش جابجا شده و در فاصله مشخص دورتری قرار می‌گیرند. با انجام این عمل، جریان به اعماق پایین‌تر نفوذ کرده و می‌توان اطلاعاتی از لایه‌های در اعماق پایین‌تر به دست آورد.

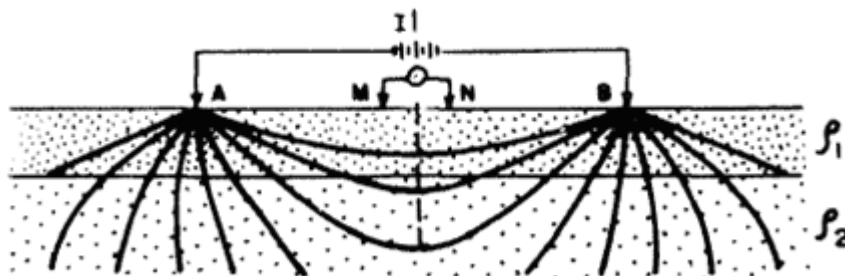
در روش پروفیل‌زنی فاصله میان الکترودهای جریان و پتانسیل ثابت باقی مانده ولی موقعیت مرکز آرایش با جابجایی کل الکترودها در هر مرحله تغییر می‌کند. به این ترتیب می‌توان تغییرات جانبی لایه‌ها را در یک عمق معین بررسی کرد. از کاربردهای مهم این روش می‌توان به اکتشاف گسل‌ها و دایک‌ها، حفرات، رودخانه‌های مدفون و دیگر ساختارهای قائم یا با شیب زیاد اشاره کرد. در مواقعی که احتیاج به تهیه شبه مقاطعی از مقاومت ویژه توده‌های زیرسطحی است، داده‌ها به صورت دوبعدی برداشت می‌شوند.

برای اندازه‌گیری‌های داده‌های مقاومت ویژه آرایش‌های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهمترین آرایش‌هایی که در روش مقاومت ویژه به کار برده می‌شوند، می‌توان به آرایش‌های ونر، شلومبرژه، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی و گرادیان اشاره کرد. پرکاربردترین این آرایش‌ها،

آرایش وئر، شلومبرژه و دایپل دایپل می‌باشند [Loke, 1999]. آرایش وئر در پروفیل‌زنی، آرایش شلومبرژه در سونداژزنی و آرایش دوقطبی - دوقطبی در تهیه شبه‌مقاطع و برداشت‌های IP محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند.

۲-۶- سونداژزنی مقاومت ویژه

روش مقاومت ویژه الکتریکی شامل تزریق جریان الکتریکی به زمین توسط یک جفت الکتروود جریان (الکتروودهای A و B شکل ۲-۲) و در همان حال اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در سطح زمین توسط یک جفت الکتروود پتانسیل (الکتروودهای M و N شکل ۲-۲) می‌باشد. در آرایش شکل ۲-۲ که آرایش متقارن شلومبرژه نامیده می‌شود، جفت الکتروودهای (A , B) و (M , N) هم‌محور و نسبت به مرکز آرایش متقارن می‌باشند. در این آرایش برای تمام فاصله‌های AB باید داشته باشیم: $AB \geq 5MN$.



شکل ۲-۲: خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل الکتریکی برای آرایش الکتروودی متقارن شلومبرژه [Ginzburg and Levanon, 1976]

در این آرایش، مقاومت ویژه ظاهری را با استفاده از رابطه زیر می‌توان به دست آورد:

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

در رابطه بالا داریم: $a = AB/2$ و $b = MN/2$

فاصله نقطه مرکزی آرایش از هر کدام از الکترودهای جریان را اصطلاحاً فاصله الکترودی می‌نامیم و با $AB/2$ نشان می‌دهیم. با افزایش فاصله الکترودی، جریان الکتریکی به عمق بیشتری از زمین نفوذ می‌کند. از تفسیر داده‌های مقاومت ویژه ظاهری برای عمق‌های نفوذ مختلف، می‌توان به لایه‌بندی‌های زیرزمینی و بی‌هنجاری‌های موجود در آن‌ها پی برد و مقاومت ویژه واقعی آن‌ها را به دست آورد. به این ترتیب، از دیدگاه نظری می‌توان لایه‌بندی زیرسطحی را از طریق اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی در سطح زمین به دست آورد. روش فوق را سونداژزنی مقاومت ویژه الکتریکی می‌نامند. این روش به مطالعه لایه‌بندی زیرسطحی بر اساس مقاومت ویژه الکتریکی اندازه‌گیری شده در سطح زمین می‌پردازد [Ginzburg and Levanon, 1976].

این روش، تخمینی از تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در زیر سطح زمین را توسط اندازه‌گیری‌های سطحی به ما می‌دهد. این روش، بر این اساس بنا شده است که بخش قابل توجهی از جریان تزریق شده به داخل زمین، به عمق مشخصی از آن می‌رسد. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، با افزایش فاصله الکترودی، این عمق افزایش می‌یابد. بنابراین توزیع پتانسیل الکتریکی در سطح زمین، بیشتر تحت تأثیر ناهمگنی‌های عمیق موجود در داخل زمین قرار می‌گیرد [Asfahani, 2007].

۲-۶-۱- نکات عملی قابل توجه در روش سونداژزنی مقاومت ویژه

در برداشت‌های صحرائی به روش سونداژزنی مقاومت ویژه، موقعیت، جهت‌یابی و نوع آرایش مورد استفاده برای هر سونداژ، یادداشت می‌شود. محیط و منطقه برداشت باید به‌طور کلی و به وضوح شرح داده شده و هر مطلب خاصی از قبیل علت انتخاب یک جهت مشخص، بیان شود. احتمال تغییرات قابل توجه در جریان و مقادیر ولتاژ وجود دارد و محدوده‌های مورد استفاده برای هر قرائت باید ثبت شود.

در هنگام استفاده از آرایش شلومبرژه، اپراتور قادر به دیدن و کنترل الکترودهایی که در نزدیک وی قرار دارند، می‌باشد. اما برای تهیه توضیحات مربوط به الکترودهایی که در فاصله دورتر قرار دارند باید یا به گزارش‌های دسته دوم اعتماد کند و یا اینکه تمام طول خط برداشت را طی کرده و شخصاً بررسی نماید. تصمیم‌گیری، به تغییرات مشاهده شده و تجربه و قابل اعتماد بودن همکاران وی، بستگی دارد [Milson, 1989].

۲-۶-۲- ارائه داده‌های سونداژزنی مقاومت ویژه

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

متغیر مستقل: فاصله الکترودی

متغیر وابسته: مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a)

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

معمولاً هنگام جابجا کردن الکترودهای فواصل دور، زمان لازم برای محاسبه و رسم مقادیر مقاومت ویژه ظاهری وجود دارد. در همه حالت‌ها، تأخیرهای کوتاه بسیار بهتر از تحویل سریع نتایج غیر قابل تفسیر می‌باشد.

به کمک کاغذهای شفاف، می‌توان تفسیر ساده‌ای را با استفاده از منحنی‌های استاندارد (سرمنحنی‌ها) انجام داد. بهترین راه برای انجام تفسیر درست و به دست آوردن نتایج قابل اطمینان، انجام تطبیق جزء به جزء منحنی صحرائی با منحنی‌های استاندارد (با استفاده از منحنی‌های استاندارد دولایه‌ای) می‌باشد. به این منظور، از منحنی‌های کمکی برای تعیین محل‌های مناسب مبدأ منحنی استاندارد اصلی دولایه‌ای که به قسمت‌های بعدی منحنی صحرائی منطبق می‌گردد، استفاده می‌شود. روش

تطبیق جزء به جزء، روش اصلی تفسیر تا سال ۱۹۸۰ بوده است. پس از آن، برنامه‌های کامپیوتری امکان تهیه نتایج قابل اعتمادتر نسبت به روش تطبیق جزء به جزء را فراهم آورده است [Mooney, 1980].

۲-۷- ارزیابی و تفسیر

در مرحله ارزیابی و تفسیر، باید به اندازه عملیات صحرایی یا حتی بیشتر، دقت به خرج داد. امروزه با توجه به دسترسی به نرم‌افزارهای مختلف ژئوفیزیکی، ارزیابی داده‌ها بسیار سریع‌تر از گذشته انجام می‌گیرد. استفاده از کامپیوتر، باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان می‌شود. البته باید توجه داشت که کامپیوتر، هرگز نمی‌تواند جایگزین فکر بشری شود. نتایج کامپیوتری باید مطابق با خواص شناخته شده بی‌هنجاری، تصحیح شوند [Vogelsang, 1995]. پس از انجام برداشت ژئوالکتریکی، داده‌های سونداژ به دست آمده ابتدا با استفاده از آباک‌ها یا منحنی‌های استاندارد دو لایه‌ای تفسیر و سپس برای حصول به دقت بالا در تفسیر، با استفاده از نرم‌افزار جدید و پیشرفته رایانه‌ای IX1D (Version3) و همچنین نرم‌افزار VES مدل‌سازی و تفسیر شده‌اند.

۲-۸- بررسی و اکتشاف منابع آب زیرزمینی

با بررسی‌هایی که در سطح زیرزمین انجام می‌گیرد می‌توان اطلاعات مختلفی در مورد کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در هر محل بدست آورد. آنگاه با استفاده از این اطلاعات و به کمک روش‌های علمی می‌توان برنامه‌ریزی دقیق و همه جانبه‌ای برای توسعه منابع آب منطقه و حداکثر بهره‌برداری از آب موجود، انجام داد.

۲-۸-۱- تقسیم‌بندی سازندها و رسوبات زمین‌شناسی از نظر ذخیره‌سازی و انتقال آب

- (۱) آبخوان^۱ یا سفره آب زیرزمینی: سازندهایی هستند که قابلیت ذخیره‌سازی و انتقال آب آن‌ها خیلی خوب است، مانند سنگ آهک خرد شده و ماسه‌سنگ
- (۲) لایه‌های نیمه‌تراوا^۲: قابلیت ذخیره آب را دارند ولی قابلیت انتقال آب را ندارند، مانند رس ماسه‌ای یا ماسه دانه ریز که می‌توانند به عنوان یک منبع ذخیره آب در بالای آبخوان باشند.
- (۳) لایه‌های ناتراوا^۳: تشکیلاتی که گرچه حاوی مقداری آب هستند اما آبدهی ندارند، مثل رس که در بسیاری از حوضه‌های رسوبی به عنوان سنگ کف به حساب می‌آید.
- (۴) بسته‌سازند^۴ یا مناطق بی‌آب: نه حاوی آب هستند و نه قابلیت انتقال آب را دارند، مانند توده سنگ آذرین هوازده نشده [مدنی، ۱۳۸۶].

۲-۸-۲- انواع سفره‌های آب زیرزمینی

لایه‌های آبدار به‌طور کلی دو نوع‌اند: آزاد و تحت فشار

الف- لایه آبدار آزاد (نامحبوس): در این سفره‌ها هیچ‌گونه لایه رسی یا لایه محصورکننده دیگری در بالای منطقه اشباع آب زیرزمینی وجود ندارد.

سطح ایستابی یک سفره آب آزاد در تپه‌ها و در مناطقی که سطح زمین دارای شیب می‌باشد تغییر می‌کند و به تغذیه، تخلیه، پمپاژ از چاه‌ها و نفوذپذیری لایه آبدار بستگی دارد. افزایش و کاهش سطح آب به میزان حجم آب ذخیره شده در آبخوان بستگی دارد.

¹. Aquifer

². Aquitard

³. Aquiculd

⁴. Aquifuge

سفره‌های آزاد معمولاً در آبرفت‌ها، تلماسه‌ها و نهشته‌های یخچالی یافت می‌شوند. ضخامت این لایه‌ها از چند متر تا صدها متر می‌تواند تغییر کند. منبع اصلی تغذیه آب این لایه‌ها بارش است. آب‌های باران یا آب‌های حاصل از ذوب برف و یخ می‌تواند مستقیماً از خاک بالای سفره در آن نفوذ کند یا غیر مستقیم از طریق رودخانه‌ها یا دریاچه‌ها وارد سفره شود.

ب- لایه آبدار تحت فشار (محبوس): لایه آبداری که از بالا و پایین به وسیله دو لایه غیرقابل نفوذ محبوس گردد، مثلاً یک لایه ماسه‌ای بین دو لایه رسی یا یک لایه ماسه سنگ بین لایه‌های شن یا سنگ آهک متراکم، که در این حالت لایه‌های محصورکننده ممکن است لایه‌های ناتراوا یا کم‌تراوا باشند. فشار آب زیرزمینی موجود در لایه آبدار تحت فشار بیش از فشار اتمسفر می‌باشد.

مقداری از آب لایه‌های تحت فشار بر اثر نشت از لایه‌های کم‌تراوای بالا و یا پائین سفره و قسمتی دیگر از جاهایی که لایه‌های محصورکننده به سطح زمین می‌رسند یا زیرزمین قطع می‌شوند، تامین می‌شود. لایه‌های آبدار تحت فشار به‌طور کلی از آب پر شده‌اند [شمسائی، ۱۳۷۷ و Todd, 2005].

۲-۸-۳- کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب زیرزمینی نتیجه کلیه فرآیندها و واکنش‌هایی است که از زمان تشکیل تا زمانی که توسط چاه، قنات و یا چشمه از زیرزمین خارج می‌شود، بر روی آن عمل کرده است. تعیین مشخصات کیفی آب زیرزمینی، یعنی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آن نشان خواهد داد که تا چه حد برای مصرف موردنظر مناسب است.

در آب‌های زیرزمینی نمک‌هایی به صورت محلول وجود دارد. انواع و غلظت این نمک‌ها به سنگ‌ها و موادی که آب زیرزمینی با آن‌ها در تماس است، سرعت حرکت آب، مسافتی که طی کرده و به منشاء آن بستگی دارد. در ناحیه‌هایی که حجم زیادی از آب سطحی به آب زیرزمینی می‌پیوندد، کیفیت آب

نفوذکننده تأثیر زیادی بر کیفیت آب زیرزمینی خواهد داشت مثلاً در آبراهه‌ها یا مناطق بزرگ تغذیه مصنوعی، کیفیت آب سطحی نفوذی نیز در ترکیب آب زیرزمینی مؤثر است.

برای تعیین کیفیت آب قابل قبول برای مصارف کشاورزی و صنعتی و یا انسانی، آب‌های زیرزمینی از نظر خصوصیات شیمیایی (تعیین غلظت کلیه مواد معدنی موجود در آب و شوری) و خصوصیات فیزیکی (رنگ، کدر بودن، دما، مزه، بو، EC و TDS) و نیز عاری بودن از باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا مورد آزمایش قرار می‌گیرند. مناسب بودن آب برای یک هدف معین بستگی به معیارهایی دارد که برای کیفیت آب تعیین می‌شود. برای مصارف آشامیدن، کشاورزی و صنعت، استانداردهای مختلفی وضع شده است [شمسایی، ۱۳۷۷].

۲-۸-۴- اکتشاف آب زیرزمینی

با انجام مطالعات آب زیرزمینی در سطح زمین می‌توان اطلاعات مختلفی در مورد کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در هر محل بدست آورد. انجام چنین مطالعاتی از سطح زمین چندان آسان نبوده و از این رو نتایج به دست آمده نیز چندان صحیح نمی‌باشد. معمولاً جواب صحیح مطالعات مربوط به آب‌های زیرزمینی هر محل از طریق مطالعات تحت‌الارضی آب زیرزمینی به دست می‌آید [شمسایی، ۱۳۷۷]. پی‌جویی و اکتشاف منابع آب شامل مراحل زیر است:

الف- بررسی‌های اولیه و مطالعات زمین‌شناسی:

پیش از شروع مطالعه آب در هر منطقه لازم است که کلیه اطلاعات مربوط به بررسی‌های زمین‌شناسی و آب‌شناسی قبلی گردآوری شود. با استفاده از این اطلاعات می‌توان تصویری از سیستم آب زیرزمینی محل مورد مطالعه بدست آورد و به‌علاوه مشخص کرد که چه نوع اطلاعات تکمیلی دیگری لازم است تا بر اساس آن برنامه کار مطالعات دقیق‌تر را طراحی نمود.

با تعبیر و تفسیر عکس‌های هوایی نیز می‌توان اطلاعات مقدماتی با ارزشی بدست آورد. نوع پوشش - های گیاهی، شبکه‌های زهکشی طبیعی، فرسایش، رنگ، عوارض سطحی معین مثل مخروطه‌افکنه‌ها و دشت‌های سیلابی در روی عکس‌های هوایی به خوبی مشخص‌اند و از شرایط زیرزمینی و امکان تشکیل مخازن آب حکایت می‌کنند و با استفاده از عکس‌های هوایی می‌توان مناطق با حداکثر یا حداقل امکان وجود منابع آب را مشخص کرد.

بعد از بررسی‌های اولیه باید به صحرا رفت و حداقل قسمت‌هایی از منطقه را از نزدیک بازدید کرد. بدون داشتن تصویر درستی از زمین‌شناسی منطقه نمی‌توان به درک صحیحی از سیستم آب‌های زیرزمینی آن دست یافت. مطالعات زمین‌شناسی از چند جهت صورت می‌گیرد. این مطالعات معمولاً شامل سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی می‌شود و در نهایت به تهیه نقشه‌های هیدروژئولوژی منجر می‌شود.

ب- مطالعات آب‌شناسی:

مطالعات آب‌شناسی برای جستجوی آب زیرزمینی شامل بررسی میزان آب موجود برای تغذیه، سهولت تغذیه، محل‌های خروج آب و مقدار تخلیه است. مقدار کل آب موجود برای تغذیه شامل بارندگی و آب‌های جاری در رودهای بزرگ دائمی است. روشن است که احتمال یافتن آب زیرزمینی کم و بیش وابسته به مقدار تغذیه‌ای است که در هر ثانیه صورت می‌گیرد.

سهولت تغذیه نیز عامل مهمی است. سطوح نفوذناپذیر مثل شیل، رس و کوارتزیت بیشتر تشکیل روان‌آب سطحی می‌دهند و از تغذیه کافی آب زیرزمینی جلوگیری می‌کنند. تعیین موقعیت، مقدار و نحوه تخلیه آب از چشمه‌ها نیز معیار خوبی برای پی بردن به شرایط هیدرولوژیک منطقه مورد مطالعه است.

مطالعات آب‌شناسی، علاوه بر آماربرداری از چشمه‌ها، شامل گردآوری آمار مربوط به چاه‌ها و قنات‌ها و دیگر راه‌های استخراج مصنوعی آب نیز می‌شود. مشخصات چاه‌ها مثل محل، نوع، عمق، عمق سطح

آب، دبی، مدت کارکرد سالانه، قدرت و مشخصات موتور و پمپ، تغییرات کیفیت آب، تغییرات دما و غیره جمع‌آوری و در جداولی درج می‌گردد. از چاه‌های در حال حفاری نیز اطلاعات پرارزشی در مورد جنس لایه‌ها، موقعیت لایه‌های آبدار، ظرفیت آبدهی چاه و غیره بدست می‌آید. خصوصیات قنات‌های موجود در محل مثل طول، عمق، تغییرات دبی و کیفیت آب آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. در مطالعه آب-های زیرزمینی یک منطقه، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به آب‌های سطحی (مثل دبی رودخانه‌ها، میزان بارندگی، تبخیر و غیره) و نیز هواشناسی ضرورت دارد.

پ- مطالعات ژئوفیزیک سطحی:

روش‌های ژئوفیزیکی، سریع‌ترین وسیله برای تجسس در زیرزمین محسوب می‌شوند. این روش‌ها را برای شناخت ابعاد لایه‌های آبدار، وضع ساختمانی آن‌ها و بالاخره مشخصات فیزیکی سنگ کف مورد استفاده قرار می‌دهند. کاوش‌های ژئوفیزیکی بر اساس مطالعه کامل و دقیق زمین‌شناسی استوار است. برنامه‌های کاوش ژئوفیزیکی همواره باید با چند حفاری شناسایی همراه گردند. این حفاری‌ها برای مشص نمودن نتایج حاصله از روش‌های ژئوفیزیکی کاملاً ضروری هستند. بنابراین نباید تصور نمود که با انجام روش‌های ژئوفیزیکی احتیاجی به حفاری نخواهد بود و البته امتیاز این روش‌ها در این است که از تعداد حفاری‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود بنابراین این روش‌ها از نظر اقتصادی قابل توجه هستند. در بررسی‌های ژئوفیزیکی مستقیماً نوع سنگ‌ها، تخلخل، نفوذپذیری و مشخصاتی از این قبیل به دست نمی‌آید، بلکه با اندازه‌گیری برخی از خواص فیزیکی سنگ‌ها می‌توان محل‌هایی را که احتمال وجود لایه‌هایی آبدار مطلوب بیشتر است، مشخص کرد. در واقع با بررسی‌های ژئوفیزیکی می‌توان محل‌های مناسب‌تر برای حفر چاه‌ها را مشخص کرد. روش‌های ژئوفیزیکی متنوع‌اند ولی معمول‌ترین روش مورد استفاده در مطالعه آب‌های زیرزمینی روش مقاومت ویژه (ژئوالکتریک) است، که در بخش‌های قبل به تفصیل درباره این روش و طریقه برداشت آن توضیح داده شد [شمسایی، ۱۳۷۷].

ت - سایر مراحل:

بعد از مراحل قبلی می‌توان حفاری‌های اکتشافی که غالباً پرهزینه است ولی دقیق‌ترین اطلاعات در مورد نیمرخ زمین‌شناسی، عمق و کیفیت آب زیرزمینی در هر محل را مشخص می‌کند و چاه‌نگاری یا چاه‌پیمایی که شامل تهیه نمودار پتانسیل خودزا (sp)، تهیه نمودار مقاومت ویژه، تهیه نمودار گاما و... را نام برد.

۲-۸-۵- روش مقاومت ویژه در بررسی و اکتشاف آب‌های زیرزمینی

روش‌های ژئوفیزیک سطحی به سه دسته اساسی لرزه‌نگاری، روش‌های پتانسیل و روش‌های الکتریکی تقسیم‌بندی می‌شوند. تقریباً ۹۵٪ از هزینه‌های ژئوفیزیکی در بررسی‌های ژئوفیزیکی لرزه‌ای، عمدتاً در اکتشاف نفت صرف می‌شود. روش‌های لرزه‌ای به دلیل هزینه بالا در بررسی و اکتشاف آب‌های زیرزمینی، کمتر استفاده می‌شود. به علاوه این روش خیلی مناسب بررسی‌های آب نیست. روش‌های پتانسیل نظیر گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی، بنا به دلایل مختلفی، معمولاً برای بررسی‌های آب زیرزمینی مناسب نیستند. سرانجام روش‌های الکتریکی، شامل روش‌های چشمه ساکن (طبیعی) و چشمه فعال (مصنوعی) که مقاومت ویژه، پلاریزاسیون و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی زمین را اندازه می‌گیرند، آخرین روش می‌باشد. از میان تمامی روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌های الکتریکی (به ویژه روش مقاومت ویژه) جهت بررسی آب‌های زیرزمینی مناسبترین روش‌ها هستند و در این موارد بیشترین سهم و موفقیت را نسبت به سایر روش‌های ژئوفیزیکی داشته و به تنهایی می‌توانند عمق، محدوده یا گسترش جانبی، ضخامت و حجم تقریبی سفره یا ذخیره آب زیرزمینی در یک محل را تعیین نمایند.

یک لایه غیر قابل نفوذ رسی، که در زیر یک سفره آب زیرزمینی قرار گرفته و یا دو سفره آب زیرزمینی را از هم جدا می‌کند، به راحتی در روی منحنی‌های حاصل از یک برداشت الکتریکی به

روش سونداژزنی قابل تشخیص بوده و در نتیجه می‌توان عمق و ضخامت آن لایه را تخمین زد. روش-های الکتریکی می‌توانند برای مشخص کردن مناطق حاوی آب زیرزمینی شیرین از نواحی دارای آب زیرزمینی شور و همچنین تعیین فصل مشترک یا مرز بین آن‌ها، منشأ شوری و محل نفوذ آب شور به داخل آب شیرین نیز به کار گرفته شوند.

به‌طور کلی روش‌های الکتریکی در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌توانند داده‌های با ارزشی فراهم نمایند که معمولاً نمی‌توان این داده‌ها را از روش‌های دیگر ژئوفیزیکی به دست آورد [محمدزاده، ۱۳۸۰].

فصل سوم

موقعیت جغرافیایی و

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۳-۱- موقعیت جغرافیایی و عملیات صحرایی منطقه مورد مطالعه

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. در شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه به همراه محل پروفیل‌ها، سونداژها، چاه‌های حفر شده، پیزومترهای اکتشافی و همچنین توپوگرافی دشت موردنظر نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود پروفیل‌ها در شرق شهرستان چناران در راستای تقریباً شمالی - جنوبی گسترده شده‌اند.

در این پروژه ۱۳۲ سونداژ ژئوالکتریک در روی ۷ پروفیل به نامهای S، R، Q، P، O، N و M تقریباً به موازات یکدیگر و در امتداد شمالی - جنوبی با استفاده از آرایش شلومبرژه برداشت شده‌اند. طول پروفیل‌های برداشت به‌طور میانگین حدود ۲۰ کیلومتر می‌باشد که از شمال دشت تا نواحی جنوبی دشت گسترش پیدا کرده‌اند که با توجه به گستردگی منطقه مورد مطالعه فواصل سونداژها ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر و فواصل بین پروفیل‌ها تقریباً یک کیلومتر انتخاب شده است. طول خط جریان (AB) آرایش شلومبرژه در تمام برداشت‌های سونداژ ژئوالکتریک ۲۰۰۰ متر تعیین شده است و از آنجا که 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. تعداد و مشخصات سونداژها بر روی هر یک از ۷ پروفیل در ادامه ذکر می‌شود.

شکل ۱-۳

شکل ۱-۳ - موقعیت جغرافیایی محل پروفیل‌ها، سونداژها، چاه‌های حفر شده، پیزومترهای اکتشافی و توپوگرافی

در پروفیل S، ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک در امتداد شمالی - جنوبی با شروع سونداژها از منتهی‌الیه غربی دشت برداشت صورت گرفته است، سونداژ S3 در مجاورت روستای شترپا (شمال شرقی چناران) و سونداژ S18 در شمال شرقی روستای خیج در جنوب منطقه برداشت شده است.

در پروفیل R که به موازات پروفیل S کشیده شده است تعداد ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده است، در شمال چناران سونداژهای R1 و R2 از شمال شرقی روستای عباس‌آباد و در جنوب دشت سونداژ R18 از دو کیلومتری شرق روستای خیج برداشت شده‌اند.

در پروفیل Q تعداد ۱۹ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده است که سونداژ Q1 در شمال دشت و در فاصله دو کیلومتری شمال غربی نهرآباد و در بخش جنوبی سونداژ Q19 از شمال اراضی مزرعه اسماعیل‌آباد برداشت شده‌اند.

در پروفیل P تعداد ۱۹ سونداژ ژئوالکتریک به موازات سونداژ O برداشت شده است. سونداژ P1 در فاصله یک کیلومتری شمال غربی نهرآباد و سونداژ P21 در اراضی جنوبی دشت، در شمال مزرعه خروس‌آباد برداشت شده است.

پروفیل O شامل برداشت ۲۲ سونداژ ژئوالکتریک بوده که سونداژهای O1 و O2 در شمال دشت و در اراضی نهرآباد و سونداژ O22 در اراضی مزرعه یک‌لنگه در جنوب دشت برداشت شده‌اند.

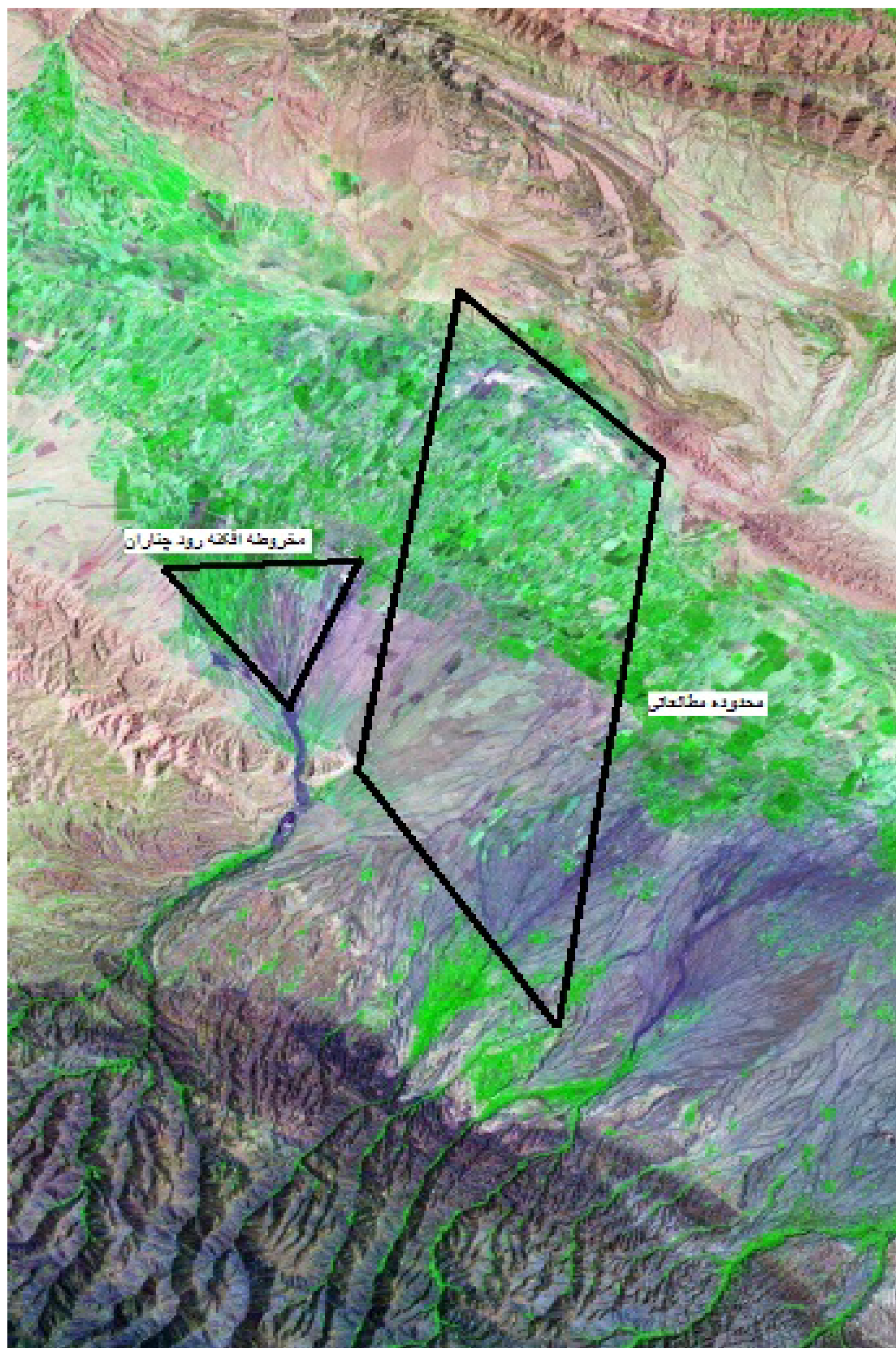
در پروفیل N تعداد ۱۶ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده است که از نواحی شمالی دشت و در ۲/۵ کیلومتری شمال روستای نومهن شروع شده و تا اراضی کوشکان بالا در جنوب گسترش یافته است.

در پروفیل M که مانند پروفیل‌های قبلی شمالی - جنوبی بوده تعداد ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده است که سونداژ M1 در فاصله ۲ کیلومتری شمال شرقی روستای چهل‌پری در شمال دشت انجام گردیده و سونداژ M18 در یک کیلومتری غرب روستای احمدآباد در جنوب دشت برداشت شده است.

در محدوده مورد مطالعه تعداد چاه‌های حفر شده زیادی وجود دارد که عمق چاه، عمق سطح آب و همچنین دبی‌های آن‌ها در دسترس می‌باشد که این اطلاعات مربوط به سال ۱۳۸۲ است. در این محدوده همچنین تعداد ۶ پیزومتر اکتشافی وجود دارد که عمق سطح آب به صورت ماهانه و به‌طور دقیق اندازه‌گیری می‌شود که موقعیت این چاه‌ها و پیزومترها در شکل ۱-۳ نشان داده شده است که ما در فصل‌های چهارم و پنجم از این اطلاعات بهره گرفته‌ایم. برای تهیه شکل ۱-۳ ابتدا لایه‌های متفاوت (پیزومترها، سونداژها، شهرها، روستاها، جاده‌ها و توپوگرافی منطقه) در محیط GIS به صورت لایه‌های اطلاعاتی (در قالب فایل شکل^۱) درآمده‌اند. سپس از انطباق لایه‌ها روی یکدیگر این نقشه تهیه شده است.

در شکل ۲-۳ تصویر هوایی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در این شکل ارتفاعات منطقه و وضعیت توپوگرافی محدوده برداشت، محدوده پروفیل‌ها و همچنین مخروطه‌افکنه رود چناران مشخص شده است. همان‌طور که از شکل پیداست منطقه مورد مطالعه از شمال به ارتفاعات کپه‌داغ و از جنوب به ارتفاعات بینالود محدود شده است. محدوده مورد مطالعه بر روی رسوبات مخروطه‌افکنه‌ای قرار گرفته است که به دلیل وجود شرایط آب و هوایی مناسب شرایط عالی را برای کشاورزی فراهم کرده است. بیشتر مزارع کشاورزی در شمال محدوده قرار دارد که به دلیل وجود تعداد چاه‌های زیادی است که در این محدوده حفر شده‌اند و آب مورد نیاز برای کشاورزی را فراهم می‌کنند.

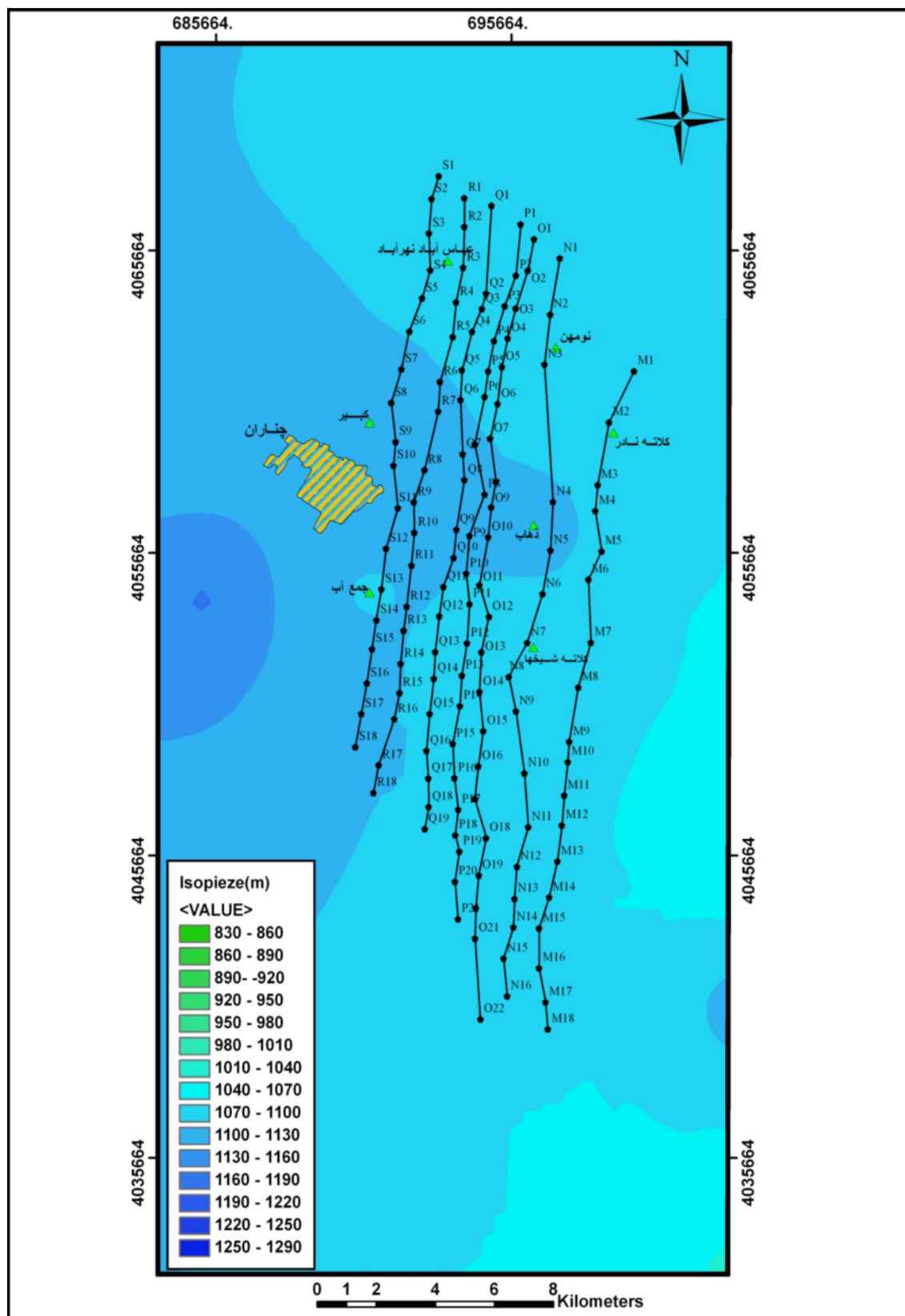
¹ - Shape file



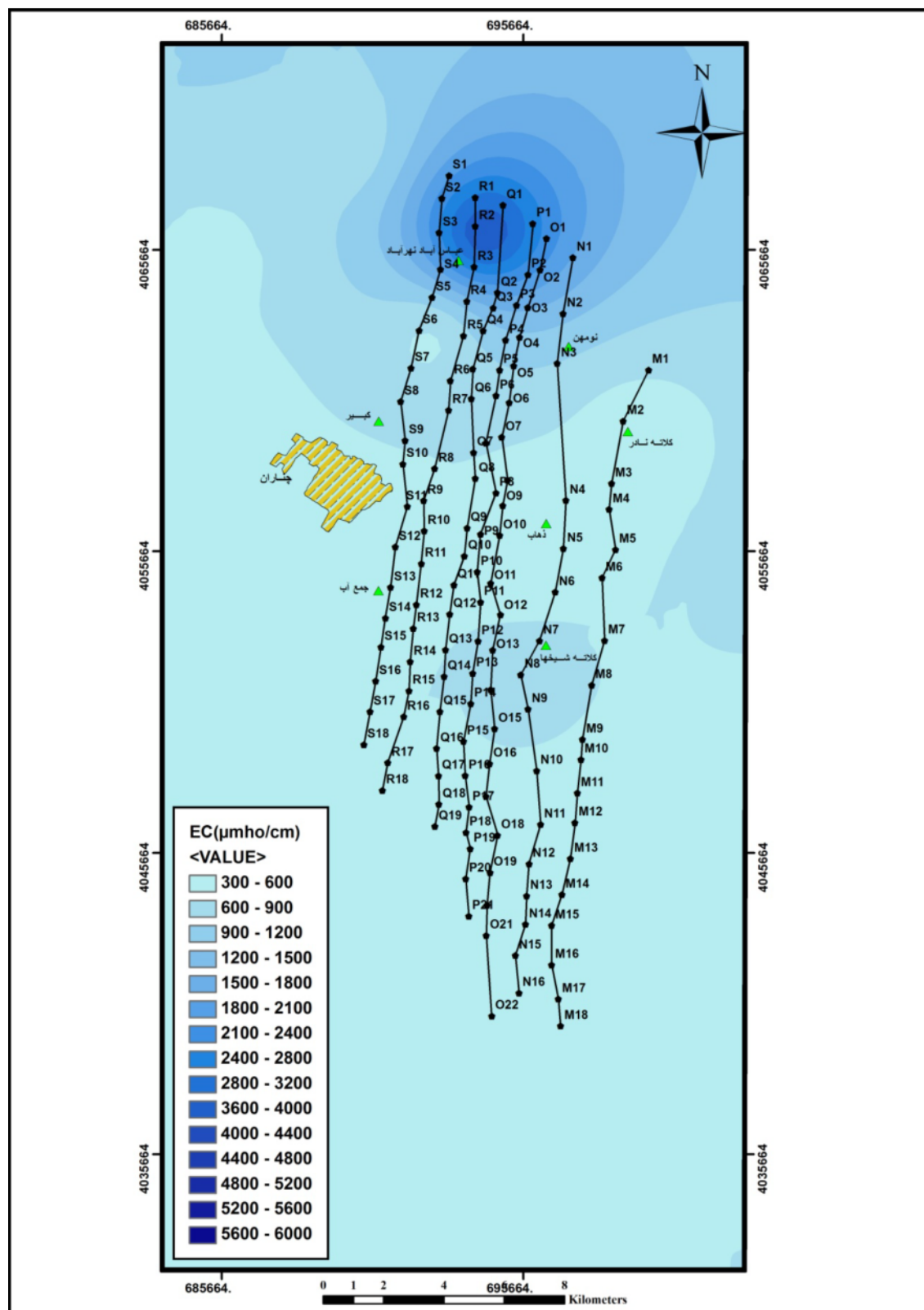
شکل ۳-۲- تصویر هوایی منطقه

تعداد ۸۳ پیزومتر در محدوده مطالعاتی مشهد حفر شده است که ارتفاع محل هر پیزومتر از سطح دریا و عمق سطح آب هر کدام توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به‌طور دقیق اندازه‌گیری شده‌اند. با توجه به این اطلاعات ارتفاع سطح آب هر پیزومتر را به دست آورده‌ایم و نقشه تراز سطح آب (ایزوپیز) را تهیه کرده‌ایم که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. با توجه به این نقشه جهت حرکت آب‌های زیرزمینی تقریباً به صورت شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. البته قابل ذکر است با توجه به اینکه فقط ۶ پیزومتر در محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است، این نقشه (شکل ۳-۳) برشی از نقشه ایزوپیز کل محدوده مطالعاتی مشهد می‌باشد. ترسیم نقشه ایزوپیز کل محدوده مطالعاتی مشهد به این دلیل بوده که جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در این محدوده درست تشخیص داده شود.

نمونه آب تعدادی از چاه‌ها در محدوده مورد مطالعه توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی مورد آزمایش قرار گرفته و میزان هدایت الکتریکی هر کدام تعیین شده است. با استفاده از این اطلاعات نقشه هم‌مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تهیه شده و در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. با توجه به این نقشه میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در نواحی شمالی پروفیل‌ها بالا می‌باشد و هرچه به نواحی جنوبی پروفیل‌ها نزدیک می‌شویم میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در فصل چهارم خواهید دید مقاومت ویژه لایه آبدار در نواحی شمالی به دلیل میزان شوری بالا و همچنین رسی بودن منطقه خیلی پایین می‌باشد. به همین دلیل در نواحی شمالی، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بالا بوده است.



شکل ۳-۳- نقشه ایزوپیز منطقه



شکل ۳-۴- نقشه هم هدایت الکتریکی

۳-۲- وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بین دو زون کپه‌داغ در شمال و زون بینالود در جنوب منطقه، واقع شده است (شکل ۳-۵). دشت مورد مطالعه از رسوبات کواترنری تشکیل شده است که این نهشته‌ها عمدتاً شامل رسوبات تحکیم نیافته آواری می‌باشند که حاصل فرسایش ارتفاعات و تشکیلات سنگی قدیمی‌تر بوده و در مناطق پست و فرو افتاده حوضه تجمع یافته‌اند. این رسوبات در سطح محدوده مطالعاتی به ترتیب از قدیم به جدید شامل :

تراس‌ها یا پادگانه‌های آبرفتی مرتفع (Q^{t1}) : عمدتاً درشت‌دانه با شیب قابل توجه در حاشیه ارتفاعات نهشته شده‌اند. این رسوبات از نفوذپذیری بالایی برخوردارند و در تغذیه آبخوان آبرفتی نقش مهمی ایفا می‌نمایند. مهمترین گستره آبرفت‌های قدیمی در حد فاصل شان‌دیز تا جماب در نواحی جنوبی دشت چناران و در حاشیه ارتفاعات بینالود و آبخوان (دربرگیرنده چند سونداژ انتهایی پروفیل‌ها) دیده می‌شود.

مخروطه‌افکنه‌ها و آبرفت‌های جوان (Q^{t2}) : بیشتر در پیرامون رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی گسترش یافته‌اند. اختلاف ارتفاع آنها نسبت به بستر فصلی رودخانه‌ها بیش از چند متر نیست. این واحد رسوبی دارای رسوبات در اندازه‌های گوناگون است که به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی در آن، مناطقی مستعد را برای کشاورزی فراهم آورده است. پیدایش اشکال گوناگون فرسایش شیاری، لغزشی و ریزش‌های محلی به درون رودخانه‌ها و به عبارتی پهن شدن بستر یا پسروی این پادگانه‌ها، پدیده‌ای همگانی است. این مجموعه بیشترین بخش منطقه مورد مطالعه اعم از نواحی شمالی و مرکزی پروفیل‌ها را تحت پوشش قرار داده است.

آبرفت‌های جدید رودخانه‌ای (Q^{al}) : اجزای تشکیل‌دهنده آبرفت‌های عهد حاضر یا نهشته‌های بستر رودخانه در محدوده سرشاخه و مناطق کوهستانی که آبراهه‌ها جوان هستند، در بیشتر موارد درشت-

دانه هستند و از گردشگری و جورشدهگی متوسط تا ضعیفی برخوردارند و اجزای سیلّتی و رسی ندارند، درحالی که با پیمودن مسیری از رودخانه، از اندازه ذرات کاسته می‌شود اما جورشدهگی و گردشدهگی نهشته‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین ستبرای آبرفت عهد حاضر متعلق به رودخانه‌های کشف رود و چناران است.

پهنه‌های سیلّتی - رسی (Q^{cf}): رسوبات دشت رسی باقیمانده رسوبگذاری آب‌های جاری در کواترنر است که موجب پیدایش دشت‌های مسطح با خاک حاصلخیز شده‌اند. اندازه نهشته‌های این مجموعه دانه‌ریز در حد ماسه متوسط تا ریز، سیلت و رس است که بخش پایانی انباشته‌های مخروط افکنه را در کنار رودخانه اصلی زهکش شده، پدید می‌آورند. به دلیل جریانهای زیرقشری در اثر سازوکار انحلال و اثر نیروی موئینه، شکاف‌هایی در سطح زمین در این نهشته‌های دانه‌ریز پدیدار شده است که در بعضی موارد این شکاف‌ها به کانال‌های زیرزمینی متصل می‌شود. شکل عمومی این واحد رسوبی به مانند زمین شخم زده است که بیشترین گسترش آن مربوط به نواحی شمالی شهرستان چناران است [نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چناران].

شکل ۳-۵

شکل ۳-۵: نقشه زمین‌شناسی دشت مشهد - چناران

۳-۳- نقش کمی و کیفی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر منابع آب-

های سطحی و زیرزمینی این منطقه

سنگ‌های قدیمی‌تر از مزوزوئیک به دلیل رخنمون اندک نقش کمی و کیفی ناچیزی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه دارند. فیلیت‌های مشهد با لیتولوژی شیلی و ماسه‌سنگی به دلیل رخنمون وسیع و مورفولوژی مرتفع (ارتفاعات بینالود) از تغذیه مناسبی توسط نزولات جوی برخوردار بوده و به واسطه سطوح ناپیوستگی موجود نفوذپذیری آنها قدری افزایش یافته است. این رسوبات اگرچه فاقد پتانسیل آبی مناسب جهت توسعه بهره‌برداری می‌باشند ولی به واسطه وجود سطوح ناپیوستگی (درزها، گسل‌ها و سطوح شیستوزیته) از نفوذپذیری متوسطی برخوردارند.

واحدهای کربناته مزدوران و آهک‌های تیرگان که رخنمون وسیعی در سطح محدوده مطالعاتی مشهد دارند به لحاظ توان کارستی شدن دارای بیشترین پتانسیل آبی در میان تشکیلات زمین‌شناسی رخنمون یافته در سطح محدوده مطالعاتی مشهد می‌باشند. مجاری کارستی در برخی مناطق در این تشکیلات توسعه یافته و نفوذپذیری آن‌ها به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده است. این تشکیلات علاوه بر نقش کمی و کیفی مثبت بر منابع آب سطحی و زیرزمینی، در تغذیه آبخوان آبرفتی نقش به سزایی دارند. تشکیلات آذرین در سطح محدوده مطالعاتی مشهد از نفوذپذیری اندک برخوردارند. واحدهای گرانیتی و پگمانیتی که عمدتاً در حاشیه ارتفاعات بینالود در محدوده شهر مشهد رخنمون دارند، از نفوذپذیری اندکی برخوردار بوده و فاقد پتانسیل ذخیره آب هستند و تشکیلات توف، داسیت و برش که در شمال غربی محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند به دلیل مقاومت اندک در برابر هوازدگی و وجود درزه و شکاف از نفوذپذیری متوسطی برخوردار می‌باشند. واحدهای آواری شوریمه، و رسوبات مارنی - شیلی سازند سرچشمه و رسوبات مارنی نئوژن دارای نفوذپذیری کمی بوده و فاقد توان ذخیره آب هستند.

رسوبات نئوژن به دلیل دارا بودن مقدار قابل توجهی رس و املاح تبخیری علاوه بر نفوذپذیری اندک باعث افزایش غلظت املاح محلول در آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه می‌گردند. بخشی از سنگ کف آبخوان آبرفتی دشت مشهد را این رسوبات تشکیل می‌دهند [شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۸۸].

فصل چهارم

مدل سازی و تفسیر یک بعدی

داده‌های سونداژ ژئوالکتریک

۴-۱- مقدمه

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 هیدروژئولوژی آن منطقه مطابقت داشته باشد.

معمولاً داده‌های خام به دست آمده از یک سونداژ ژئوالکتریک به صورت یک منحنی بر روی کاغذهای شفاف با محورهای لگاریتمی ترسیم می‌شوند. در این نمودارها، مقدار ρ_a به صورت تابعی از فاصله الکترودی (طول $AB/2$ در آرایش شلومبرژه) رسم می‌شود. با توجه به این محورهای لگاریتمی، تأثیر یک لایه در منحنی سونداژ به ازای عمق آن کمتر می‌گردد. با استفاده از سیستم محورهای لگاریتمی، تفسیر نتایج به کمک منحنی‌های استاندارد یا آباک‌ها آسان‌تر می‌گردد، به‌طوری که اگر آباکی برای مدل مشخصی تنظیم شده باشد، در شرایطی که تغییرات مقاومت ویژه و ضخامت لایه دارای نسبت برابری با مدل موردنظر باشد با روش بسیار ساده‌ای که مبتنی بر موازی قرار دادن محورهای مختصات است می‌توان از این آباک استفاده نمود [Reynolds, 1997].

به‌طور خلاصه به منظور تفسیر صحیح سونداژهای الکتریکی یک منطقه باید به نکات زیر توجه داشت:

(۱) هر سونداژ الکتریکی باید با توجه به سونداژهای الکتریکی دیگری که در منطقه اجرا شده

است مورد تعبیر و تفسیر قرار گیرد.

(۲) هر گاه در مجاورت سونداژهای الکتریکی گمانه‌هایی موجود باشد باید اطلاعات حاصل از

این گمانه‌ها در تعبیر و تفسیر سونداژهای الکتریکی مورد توجه قرار گیرد، زیرا در مناطقی

که تعداد چاه‌ها و گمانه‌ها و اطلاعات مربوط به آن‌ها بیشتر است، ارزیابی آب زیرزمینی با

استفاده از روش ژئوالکتریک به‌طور دقیق‌تری صورت می‌پذیرد.

۳) سونداژهای الکتریکی که روی رخنمون‌ها و یا طبقات مجاور آن پیاده شده است، با توجه به

مشخصات زمین‌شناسی این طبقات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴) قبل از تعبیر و تفسیر منحنی سونداژ شلومبرژه، بایستی با تصحیح داده‌های سونداژ، منحنی

موردنظر به یک منحنی هموار^۱ تبدیل گردد.

۵) حدود تغییرات مقاومت ویژه هرچه دقیق‌تر تعیین شود، تعبیر و تفسیر حاصل دقیق‌تر

خواهد بود [Reynolds, 1997].

در نتیجه تفسیر، مدلی شامل پارامترهای زیر به دست خواهد آمد:

الف) تعداد لایه‌ها (N)

ب) مقاومت ویژه واقعی هر لایه (ρ)

ج) ضخامت یا عمق هر لایه (E یا D)

در مرحله تفسیر، مقادیر عددی این پارامترها که بهترین تطبیق را با داده‌های صحرایی داشته باشند،

تعیین می‌شوند. پس از آن، تفسیر زمین‌شناسی انجام می‌شود که اطلاعات زمین‌شناسی موجود، داده-

های گمانه‌های حفاری و چاه‌ها، باعث افزایش کیفیت این تفسیر می‌شوند.

۴-۲- تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی

به‌طور کلی، آنچه که در تعبیر و تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریکی مورد توجه قرار می‌گیرد،

نقاط ماکزیمم و مینیمم بر روی این منحنی است. وجود هر ماکزیمم یا مینیمم برای طبقات افقی

می‌تواند معرف وجود یک لایه با مقاومت ویژه متفاوت باشد. البته باید در نظر داشت که این قاعده،

^۱.Smooth Curve

کلی نیست و برای آنکه یک لایه بتواند خود را بر روی منحنی نشان دهد، باید دارای ضخامت کافی و تباین مقاومت ویژه^۱ مناسب با طبقات مجاورش باشد. نکته قابل توجه، شناخت منحنی‌های سونداژ الکتریکی برای حالت‌های مختلف است. برای افراد با تجربه، تغییر شیب منحنی، قسمت‌های بالارونده و پایین‌رونده و مسائلی از این قبیل می‌تواند هر یک شامل اطلاعات کیفی در رابطه با تغییرات مقاومت ویژه در یک منطقه باشد [Mooney, 1980].

۴-۳- تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی

مجموعه وسیعی از منحنی‌های استاندارد یا آباک‌ها برای طبقات افقی دو تا چهار لایه‌ای تهیه شده‌اند. این منحنی‌های سونداژ الکتریکی به صورت گروه‌هایی طبقه‌بندی شده‌اند و در نتیجه می‌توان به راحتی، منحنی‌های استاندارد را که مشابه منحنی سونداژ الکتریکی به دست آمده می‌باشند، مشخص نمود و مشخصات لایه‌های مربوط به سونداژ مذکور را تعیین کرد. برای اینکه یک منحنی سونداژ الکتریکی، منحصرأً مربوط به طبقات افقی باشد، باید شرایط زیر برای آن صادق باشد:

- ۱- شیب قسمت بالارونده منحنی نباید از ۴۵ درجه بیشتر باشد.
 - ۲- شعاع انحنای منحنی در نزدیکی نقطه ماکزیمم آن نباید از حد معینی کوچکتر باشد (این مقدار تقریباً برابر با نسبت ۲ در مقیاس لگاریتمی انتخاب شده، می‌باشد).
 - ۳- در خصوص شیب قسمت پایین‌رونده منحنی سونداژ الکتریکی و شعاع انحنای آن در نزدیکی نقطه مینیمم، محدودیت‌هایی مانند قسمت‌های ۱ و ۲ و حتی شدیدتر وجود دارد.
- بعد از مشخص شدن اینکه منحنی سونداژ الکتریکی مربوط به طبقات افقی می‌باشد، تعیین مشخصات لایه سطحی به سادگی امکان‌پذیر است. برای این کار می‌توان از منحنی‌های استاندارد (برای دو لایه)

^۱. Resistivity Contrast

استفاده کرد. مجانب منحنی برای مقادیر کوچک فاصله الکترودی، مشخص کننده مقاومت ویژه لایه اول است اما برای تعیین مشخصات این لایه، منحنی آن لایه بر منحنی استاندارد مربوطه منطبق می-گردد. تقاطع محورهای افقی و قائم منحنی استاندارد را روی کاغذ لگاریتمی که منحنی سونداژ الکتریکی روی آن رسم شده با علامت (+) مشخص کرده و مختصات این نقطه را به دست می-آوریم. طول این نقطه معادل با عمق یا ضخامت و عرض آن معادل با مقاومت ویژه لایه اول می-باشد [Mooney, 1980].

برای تعیین مشخصات لایه دوم، در صورتی که زمین مورد مطالعه فقط از دو لایه تشکیل شده باشد (ضخامت لایه دوم بی-نهایت زیاد باشد)، منحنی سونداژ الکتریکی به سمت مقاومت ویژه حقیقی لایه دوم مجانب می-شود. در صورت وجود بیش از دو لایه، حتی اگر تباین مقاومت ویژه لایه دوم با لایه-های اول و سوم زیاد باشد، منحنی سونداژ الکتریکی به مقدار حقیقی مقاومت ویژه لایه دوم نمی-رسد. در این حالت، با استفاده از منحنی‌های کمکی و با تطبیق جزء به جزء آن‌ها با منحنی سونداژ الکتریکی، می-توان مشخصات لایه‌ها را به راحتی تعیین نمود [Telford et al., 1991].

ارزیابی یک منحنی سونداژ الکتریکی ممکن است چندین پاسخ هم‌ارز داشته باشد. وظیفه متخصصین ژئوفیزیک، انتخاب نتیجه‌ای است که بهترین تطابق را با ساختارهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی شناخته شده در منطقه داشته باشد. راه دیگر برای انتخاب نتیجه مناسب، مقایسه پاسخ هر سونداژ با سونداژ مجاور است. باید امکان وصل کردن نشانه‌های یک لایه در یک عمق اندازه‌گیری شده توسط یک سونداژ به نشانه‌های عمقی مربوطه در سونداژ بعدی، به نحوی که یک مقطع صحیح و منطقی (از نظر زمین‌شناسی) به دست آید، وجود داشته باشد. در سونداژزنی (همانند مغزه‌گیرهای حفاری) می-توان مرز و یا ضخامت لایه‌های مجاور را ثبت کرد. با این تفاوت که در اینجا به جای لیتولوژی یا جنس زمین‌شناسی لایه‌ها، مقاومت ویژه ظاهری لایه‌ها ارائه می‌گردد [Vogelsang, 1995].

۴-۴- تفسیر کمی داده‌های سونداژ ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه

در این مرحله داده‌های به دست آمده از ۱۳۲ سونداژ ژئوالکتریک که با آرایش شلومبرژه برداشت شده‌اند و موقعیت مکانی آن‌ها در فصل قبل مورد بررسی قرار گرفت، ابتدا به روش انطباق منحنی‌ها با استفاده از منحنی‌های استاندارد مورد تفسیر کمی یک‌بعدی قرار گرفته و در نتیجه برای هر سونداژ تعداد لایه‌ها، عمق و مقاومت ویژه هر لایه تعیین شده است. سپس نتایج به دست آمده از منحنی‌های استاندارد به عنوان مدل اولیه برای نرم‌افزارهای VES و IX1D استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده از این نرم‌افزارها با نتایج حاصل از منحنی‌های استاندارد تفاوت چندانی با هم ندارند و با تقریب خوبی یکدیگر را تأیید می‌کنند. نتایج به دست آمده از این سه روش (نرم‌افزارهای VES و IX1D 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. در 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 مدل‌سازی مستقیم مربوط به دو سونداژ P5 و O22 به همراه شکل‌های مربوطه آورده شده است. به دلیل حجم بالای کار و تعداد نسبتاً زیاد سونداژها، نتایج همه سونداژها در این فصل ذکر نشده‌اند و نتایج تفسیر تعداد عمده‌ای از سونداژها در پیوست الف ارائه شده است. همچنین در پیوست ب، معرفی و توضیح مختصر نرم‌افزارهای VES و IX1D، آورده شده است.

۴-۴-۱ سونداژ P5

با توجه به شکل ۱-۳ سونداژ P5 بر روی پروفیل P واقع شده و تقریباً در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی قرار دارد. در زیر نتایج تفسیر این سونداژ توسط هر یک از نرم‌افزارهای VES و IX1D ذکر شده است:

الف - نتایج تفسیر با نرم افزار IX1D:

نتایج به دست آمده از منحنی‌های استاندارد به همراه نتایج مدل‌سازی پیشرو در شکل ۴-۱ 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 ۵/۵۹ درصد می‌باشد که پس از انجام مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ، همان‌طور که در شکل ۴-۲ مشاهده می‌کنیم میزان خطا به کمترین مقدار خود یعنی ۳/۹۰ درصد می‌رسد.

با توجه به نتایج مدل وارون می‌توان گفت که در این سونداژ، لایه‌های سوم، چهارم و پنجم در محل سونداژ، لایه‌های آبدار می‌باشند و در نتیجه با توجه به عمق اولین لایه آبدار (لایه سوم)، سطح برخورد به آب در عمق ۱۱ متری می‌باشد. لایه ششم در عمق ۴۲ متری و متشکل از رسوبات رسی رساناست که به عنوان لایه سنگ کف معرفی می‌شود. در محل این سونداژ، لایه‌های سوم، چهارم و پنجم که به عنوان لایه آبدار شناخته شده‌اند، مقاومت ویژه مختصر متفاوتی با یکدیگر دارند.

¹. Root Mean Square (RMS)

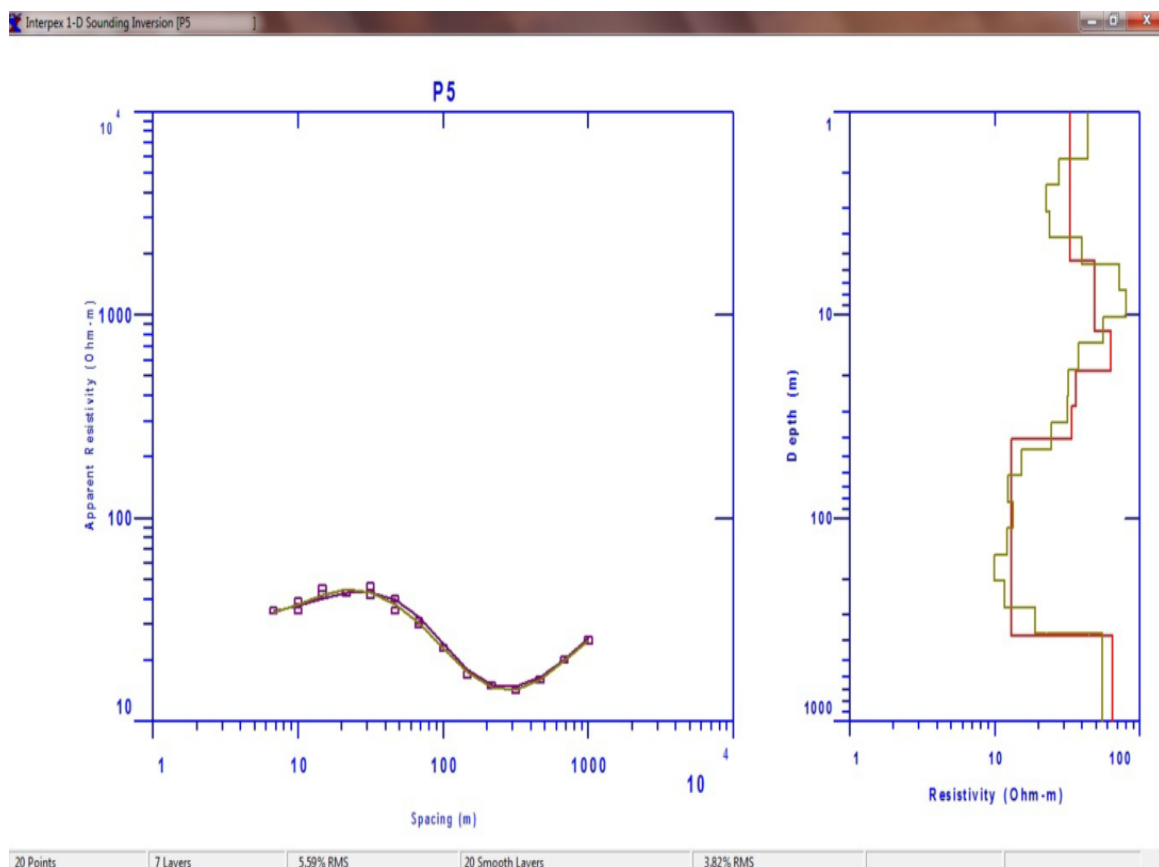
Resistivity Model

Surface Elevation: 0.0000 Fitting Error: 5.5862

☐ Use Depth Instead of Thickness Units: [meters]

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	33.000	☐	5.4000	5.4000	-5.4000	☐
2	49.000	☐	6.6000	12.000	-12.000	☐
3	63.000	☐	7.0000	19.000	-19.000	☐
4	36.000	☐	9.0000	28.000	-28.000	☐
5	34.000	☐	13.000	41.000	-41.000	☐
6	13.000	☐	339.00	380.00	-380.00	☐
7	65.000	☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

 Column Math:



شکل ۴-۱- نتایج مدل سازی مستقیم یا پیشرو حاصل از مدل اولیه تفسیر کمی سونداژ P5. (بالا) مدل اولیه حاصل از تفسیر سونداژ با استفاده از منحنی های استاندارد (پایین) مدل برازش داده شده به داده های سونداژ.

Resistivity Model

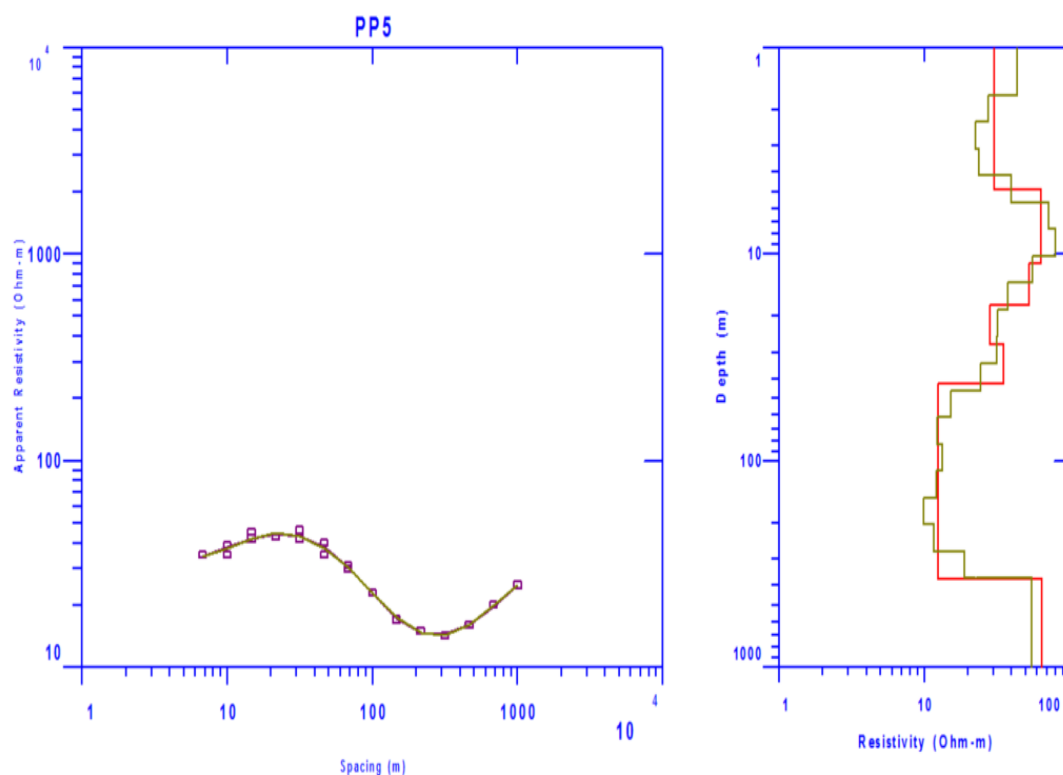
Surface Elevation: 0.0000 Fitting Error: 3.9013

☐ Use Depth Instead of Thickness Units: (meters)

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	30.193	☐	4.8794	4.8794	-4.8794	☐
2	63.900	☐	6.2734	11.153	-11.153	☐
3	52.515	☐	6.4849	17.638	-17.638	☐
4	28.300	☐	9.8371	27.475	-27.475	☐
5	35.011	☐	14.729	42.204	-42.204	☐
6	12.511	☐	332.43	374.63	-374.63	☐
7	64.867	☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

 Column Math:

Interpex 1-D Sounding Inversion [PP5]



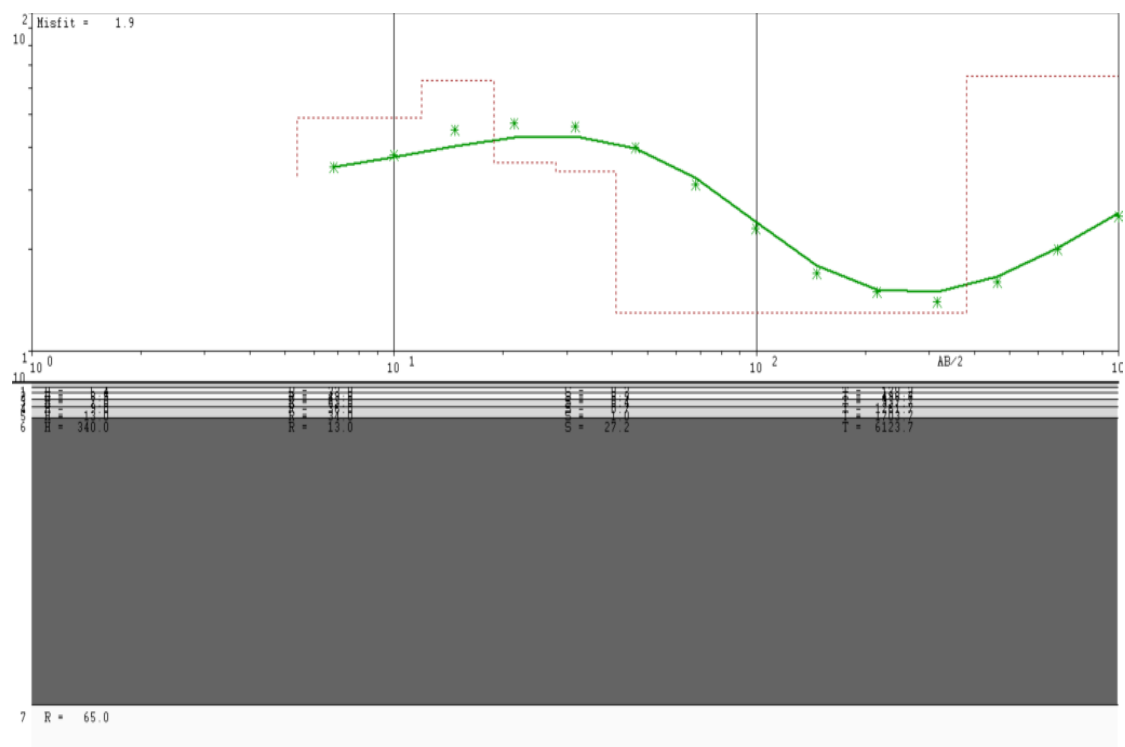
20 Points 7 Layers 3.90% RMS 20 Smooth Layers 3.82% RMS

شکل ۴-۲- نتایج مدل سازی وارون داده های سونداژ P5 در مراحل تکرار نهایی. (بالا) مدل حاصل از مدل سازی وارون (پایین) مدل برازش داده شده به داده های سونداژ

ب - نتایج تفسیر با نرم افزار VES:

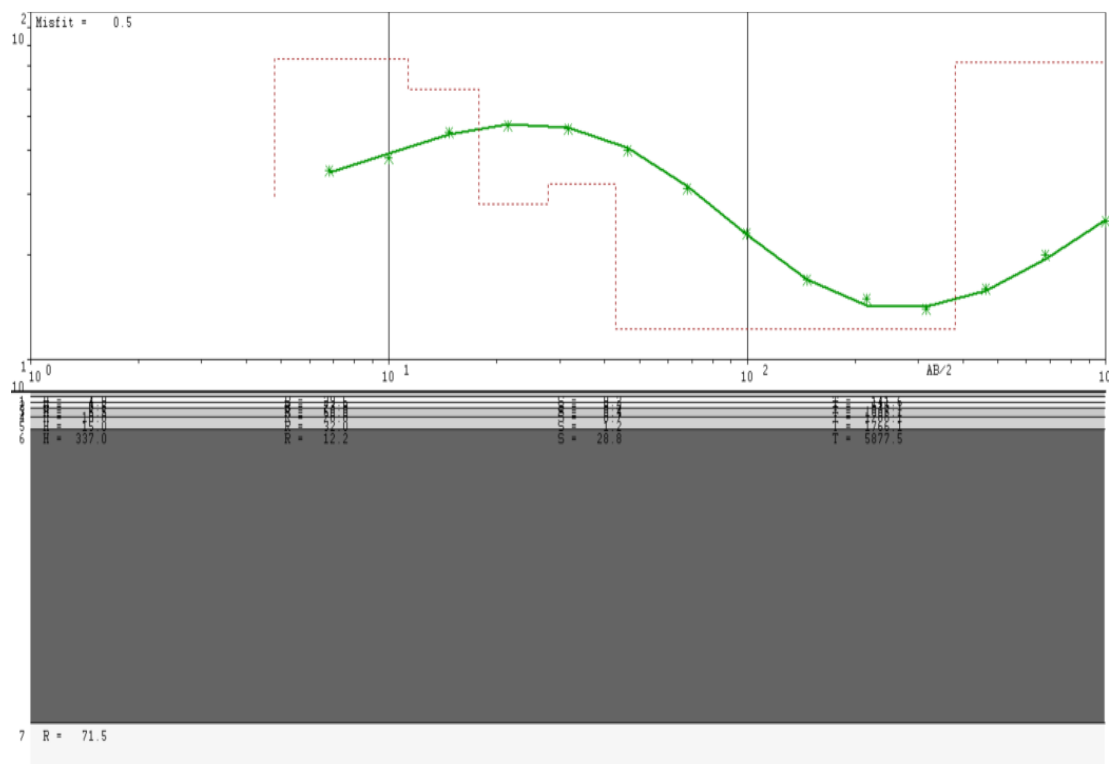
ابتدا در شکل ۳-۴ نتایج حاصل از مدل سازی پیشرو نشان داده شده است، میزان عدم انطباق یا عدم برازش^۱ بین داده های صحرایی و داده های نظری حاصل از مدل پیشرو ۱/۹ می باشد. بعد از انجام مدل سازی وارون همان طور که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است مقدار خطای عدم انطباق به ۰/۵ کاهش می یابد.

نتایج حاصل از مدل سازی وارون با نرم افزار VES همانند نرم افزار IX1D می باشد با این تفاوت که عمق سطح آب به ۱۱/۴ متر افزایش یافته است، سنگ کف رسی در عمق ۴۲ متری قرار دارد که نسبت به نتایج نرم افزار IX1D اختلاف چندانی ندارد.



شکل ۳-۴- مدل اولیه حاصل از تفسیر داده های سونداژ P5 با استفاده از منحنی های استاندارد و برازش آن به داده های سونداژ

^۱.Misfit



شکل ۴-۴ مدل به دست آمده از مدل سازی وارون داده های سونداژ P5 توسط نرم افزار VES و برازش آن به داده های سونداژ

برای مقایسه بهتر نتایج به دست آمده از سه روش آنها را در جدول ۴-۱ گرد هم آورده ایم.

جدول ۴-۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P5 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.35%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=0.5		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	
۴/۹	۳۰	۴/۸	۲۹	۵/۴	۳۳	لایه اول
۱۱	۷۳	۱۱/۳	۷۳	۱۲	۴۹	لایه دوم
۱۷	۵۹	۱۹	۶۰	۱۹	۶۳	لایه سوم
۲۷	۲۸	۲۹	۲۸	۲۸	۳۶	لایه چهارم
۴۱	۳۲	۴۴	۳۱	۴۱	۳۴	لایه پنجم
۳۷۹	۱۲	۳۸۱	۱۲	۳۸۰	۱۳	لایه ششم
-	۶۵	-	۷۲	-	۶۵	لایه هفتم

۴-۴-۲ سونداژ O22

همان‌طور که در شکل ۳-۱ ملاحظه شد، سونداژ O22 بر روی پروفیل O قرار گرفته و در جنوب محدوده مورد مطالعه قرار دارد. این سونداژ توسط هر یک از نرم‌افزارهای VES و IX1D مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته که نتایج حاصل از تفسیر در ادامه ذکر شده است:

الف - نتایج تفسیر با نرم‌افزار IX1D:

نتایج حاصل از منحنی‌های استاندارد به همراه نتایج مدل‌سازی پیشرو در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، میزان خطای RMS بین داده‌های صحرایی و داده‌های نظری حاصل از مدل پیشرو ۱۱/۷۶ درصد می‌باشد که پس از انجام مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ در مراحل تکرار نهایی، همان‌طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود میزان خطای RMS به کمترین مقدار خود یعنی ۷/۱۸ درصد می‌رسد. دو حلقه چاه در شرق محل برداشت این سونداژ و به فاصله‌های ۲۷۰ و ۳۲۰ متری حفر شده‌اند که عمق آب آنها به ترتیب در ۲۵ و ۲۷ متری می‌باشد. با توجه به مدل نهایی به دست آمده از نرم‌افزار IX1D در این سونداژ مقاومت ویژه لایه‌های سطحی تا عمق ۲۵ متری زیاد بوده و عمدتاً از نهشته‌های دانه درشت و خشک که از آبگذری مناسبی نیز برخوردارند، تشکیل شده‌اند. لایه چهارم با مقاومت ویژه ۲۶ اهم - متر که در عمق ۲۵ متری واقع است لایه آبدار را تشکیل می‌دهد که احتمالاً از دانه-بندی ریزتری نسبت به رسوبات سطحی تشکیل شده است. سنگ کف که از رسوبات رسی رسانا تشکیل شده است در عمق کم در حدود ۲۹ متری قرار دارد و از نظر مدل ژئوالکتریکی لایه پنجم را تشکیل می‌دهد که خود بر روی رسوبات مقاوم قرار گرفته است.

Resistivity Model

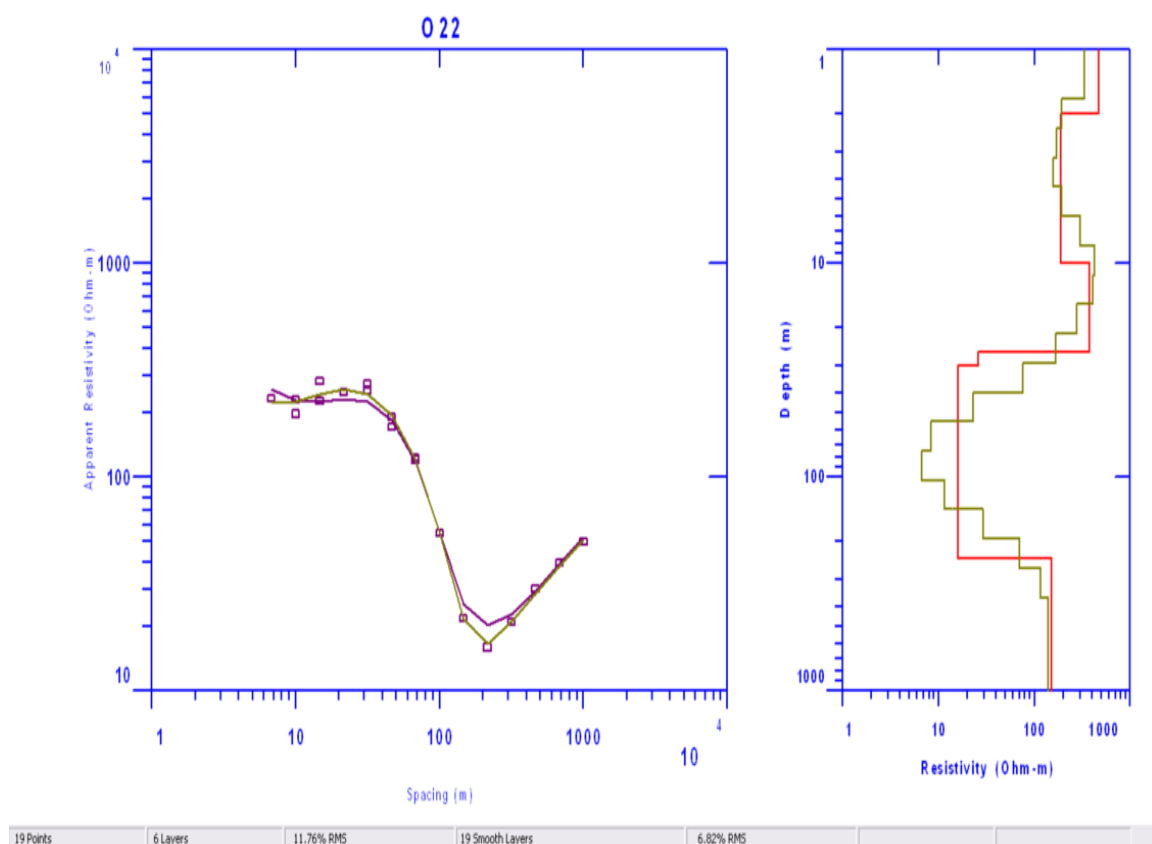
Surface Elevation: 0.0000 Fitting Error: 11.758

☐ Use Depth Instead of Thickness Units: (meters)

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	470.00	☐	2.0000	2.0000	-2.0000	☐
2	190.00	☐	8.0000	10.000	-10.000	☐
3	376.00	☐	16.000	26.000	-26.000	☐
4	26.000	☐	4.0000	30.000	-30.000	☐
5	16.000	☐	210.00	240.00	-240.00	☐
6	150.00	☐				☐
7		☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

Column Math:

Interpex 1-D Sounding Inversion [022]



شکل ۴-۵- نتایج مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو حاصل از مدل اولیه تفسیر کمی سونداژ 022. (بالا) مدل اولیه حاصل از تفسیر سونداژ با استفاده از منحنی‌های استاندارد (پایین) مدل برازش داده شده به داده‌های سونداژ.

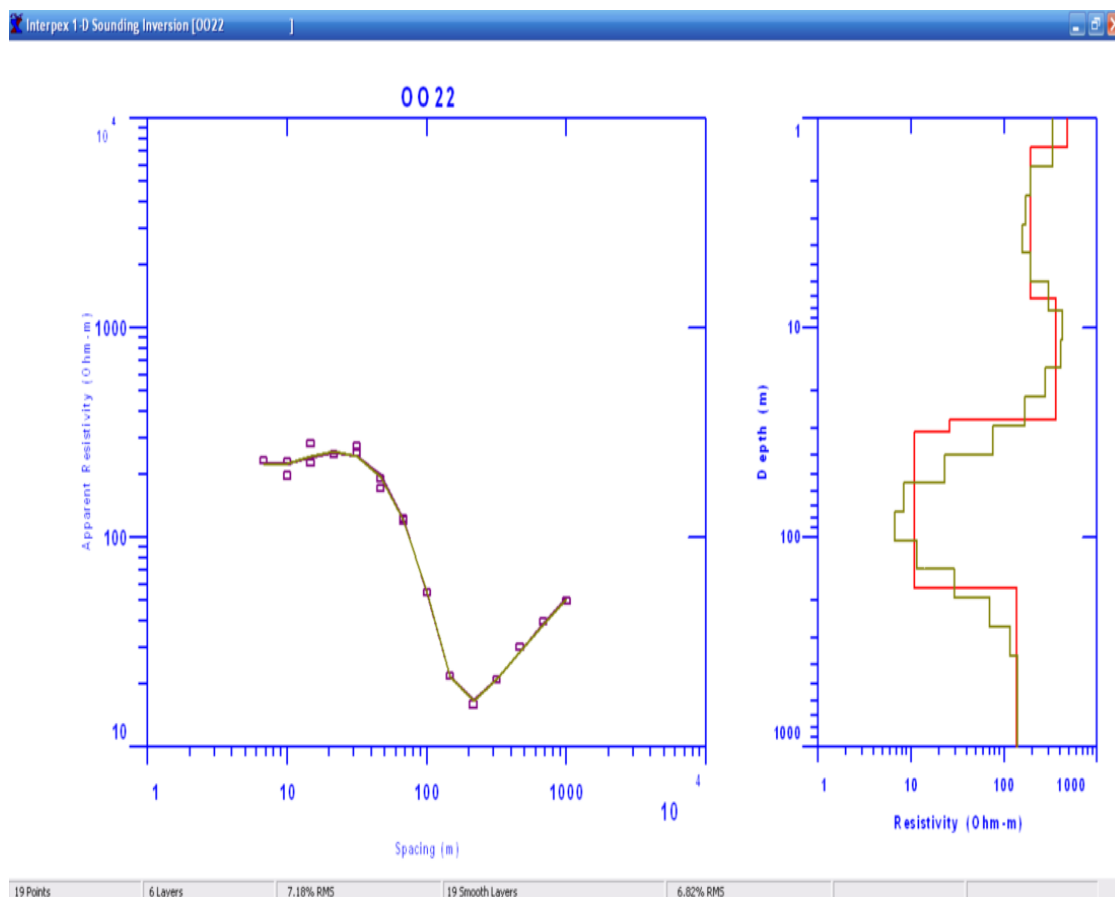
Resistivity Model

Surface Elevation: 0.0000 Fitting Error: 7.1819

☐ Use Depth Instead of Thickness Units: (meters)

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	479.35	☐	1.3739	1.3739	-1.3739	☐
2	191.42	☐	5.8461	7.2200	-7.2200	☐
3	357.71	☐	20.169	27.389	-27.389	☐
4	26.221	☐	4.0156	31.405	-31.405	☐
5	10.956	☐	142.18	173.59	-173.59	☐
6	137.10	☐				☐
7		☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

 Column Math:

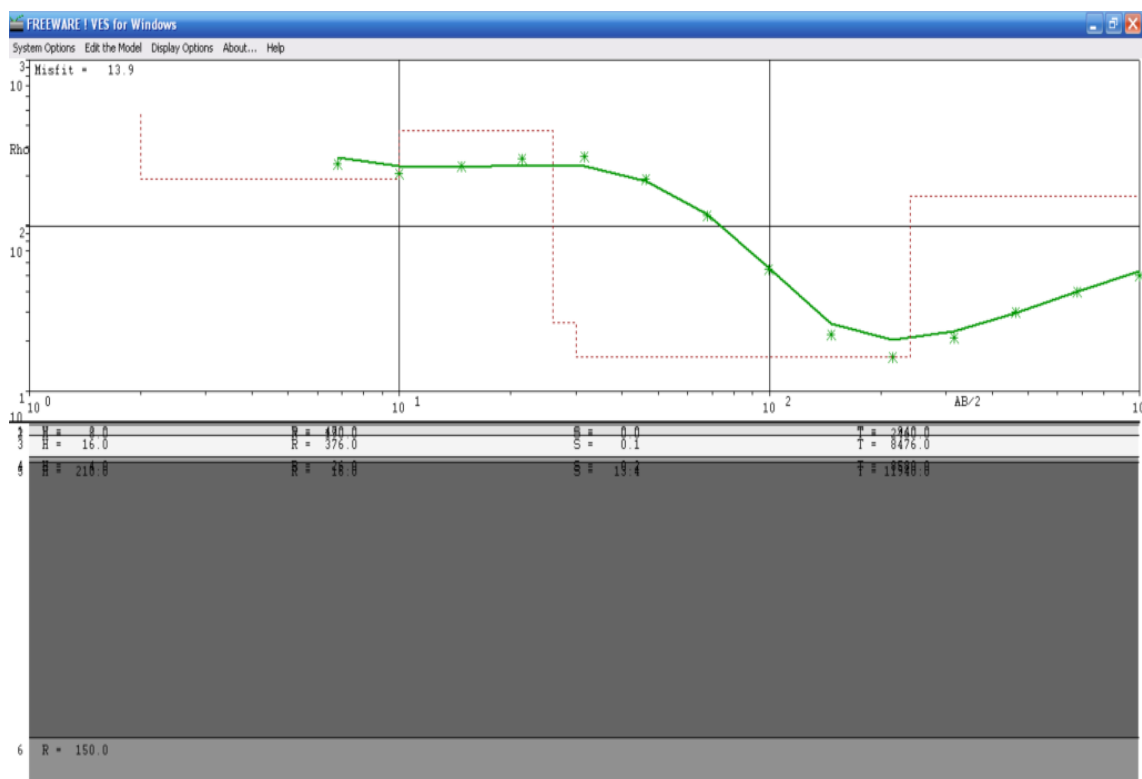


شکل ۴-۶- نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های سونداژ O22 در مراحل تکرار نهایی. (بالا) مدل حاصل از مدل‌سازی وارون (پایین) مدل برازش داده شده به داده‌های سونداژ

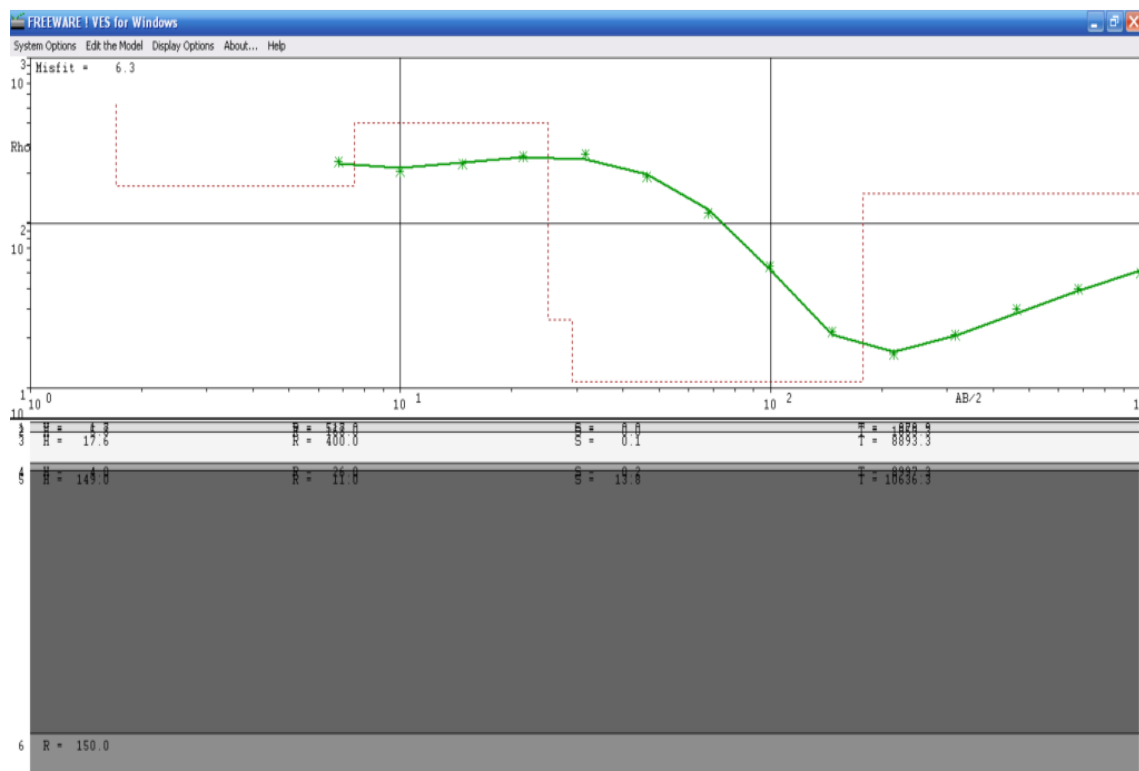
ب - نتایج تفسیر با نرم افزار VES:

در شکل ۴-۷ نتایج حاصل از مدل سازی پیشرو نشان داده شده است، میزان عدم انطباق بین داده های صحرایی و داده های نظری حاصل از مدل پیشرو ۱۳/۹ می باشد. بعد از انجام مدل سازی وارون همان - طور که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است مقدار خطای عدم برازش به ۶/۳ کاهش می یابد.

نتایج حاصل از مدل سازی وارون با نرم افزار VES همانند نتایج نرم افزار IX1D می باشد، لایه آبدار در عمق تقریباً ۲۵ متری قرار دارد و سنگ کف رسی در عمق حدوداً ۲۹ متری واقع شده است.



شکل ۴-۷- مدل اولیه حاصل از تفسیر داده های سونداژ O22 با استفاده از منحنی های استاندارد و برازش آن به داده - های سونداژ



شکل ۴-۸- مدل بدست آمده از مدل سازی وارون داده های سونداژ O22 توسط نرم افزار VES و برازش آن به داده های سونداژ

همانند سونداژ قبل نتایج مربوط به هر سه نرم افزار برای مقایسه بهتر در جدول ۴-۲ گرد هم آورده شده اند.

جدول ۴-۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O22 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.79%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.3		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	
۱/۷	۵۴۵	۱/۷	۵۱۷	۲	۴۷۰	لایه اول
۷/۵	۱۶۴	۷/۵	۱۶۸	۱۰	۱۹۰	لایه دوم
۲۵	۴۰۷	۲۵	۴۰۰	۲۶	۳۷۶	لایه سوم
۲۹	۲۶	۲۹	۲۶	۳۰	۲۶	لایه چهارم
۱۷۰	۱۱	۱۷۸	۱۱	۲۴۰	۱۶	لایه پنجم
-	۱۳۴	-	۱۵۰	-	۱۵۰	لایه ششم

در ادامه برای کاستن از حجم زیاد پایان نامه، برای هر سونداژ فقط نتایج حاصل از سه روش منحنی - های استاندارد و نرم افزارهای VES و IX1D را در پیوست الف ذکر کرده ایم.

فصل پنجم

تفسیر دوبعدی داده‌های

سونداژ مقاومت ویژه

۵-۱- مقدمه

در این فصل، پس از بررسی و در صورت نیاز، ویرایش و اعمال تصحیحات اولیه بر روی داده‌های خام برداشتی، جهت تعیین مشخصات بیشتر منابع آب زیرزمینی در زیر هر یک از پروفیل‌ها، مدل‌سازی معکوس دوبعدی توسط نرم‌افزار Res2dinv انجام شده است. سپس به‌طور جداگانه برای هر پروفیل، با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل‌سازی و بهره‌گیری از اطلاعات زمین‌شناسی و چاه‌های موجود در منطقه و همچنین در بعضی نقاط خاص با استفاده از نتایج تفسیر یک‌بعدی سونداژها، تفسیرهای لازم ارائه شده است.

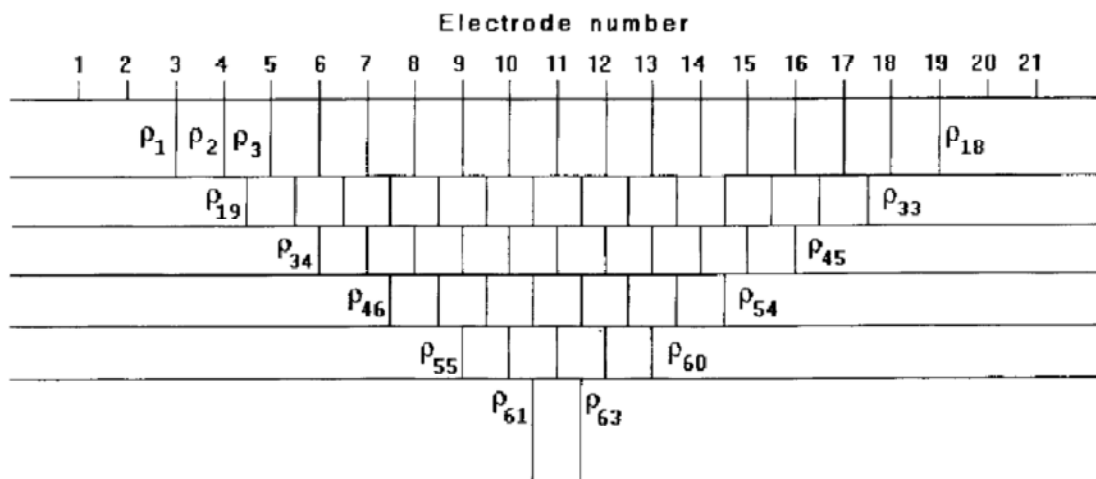
۵-۲- روش برداشت سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته CVES^۱

روش سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته (CVES) در حقیقت از تعدادی سونداژ الکتریکی تشکیل شده که در طول یک پروفیل خطی برداشت شده‌اند و در نتیجه می‌توانند به صورت دوبعدی نیز تفسیر شوند [Molano et al., 1990]. در این روش هدف اولیه بررسی زمین به صورت یک‌بعدی است و برداشت در آن بیشتر با آرایه شلومبرژه انجام می‌شود. با برداشت خطی چندین سونداژ امکان تفسیر دوبعدی میسر خواهد شد. به دلیل حساسیت کم آرایه شلومبرگر به تغییرات جانبی، بهتر است مدل‌سازی به وسیله این آرایه را یک مدل‌سازی ۱/۵ بعدی (1.5D) دانست. از آنجایی که آرایه شلومبرژه در نشان دادن تغییرات هموار مقاومت ویژه، قوی‌تر از دیگر آرایه‌ها است، روش برداشت CVES در زمین‌های با تغییرات عمقی هموار نتایجی قابل قبولی ارائه می‌دهد [Muiuane and Pederson, 1999].

¹. Continuous Vertical Electric Sounding

۵-۳- مدل سازی معکوس

به منظور مدل سازی دوبعدی (2D) داده های مقاومت ویژه، از نرم افزار RES2DINV استفاده می شود. در این نرم افزار مدل مورد استفاده به عنوان مدل اولیه شامل یک سری از بلوک های مستطیلی دوبعدی می باشد که در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. در این مدل تعداد بلوک ها با تعداد نقاط داده ها در شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری برابر است و با شیوه مشابه مرتب شده اند، همچنین عمق مراکز بلوک ها، عمق میانگین مورد بررسی برای بازه های الکترونی مختلف در نظر گرفته شده است [Loke and Barker, 1996a].



شکل ۵-۱: ترتیب بلوک های مستطیلی مورد استفاده در مدل سازی دوبعدی [Loke and Barker, 1996a].

برای انجام مدل سازی با استفاده از نرم افزار Res2dinv روش های متعددی وجود دارد که ما در این تحقیق از روش کمترین مربعات گوس - نیوتن به شرح زیر استفاده کرده ایم.

۵-۳-۱- روش کمترین مربعات گوس - نیوتن

در روش گوس - نیوتن برای بهبود مدل اولیه از رابطه زیر استفاده می‌شود
[Loke and Barker, 1996a]:

$$(J^T J + \lambda i) \Delta q_k = J^T g \quad (۵-۱)$$

که در رابطه بالا

g: بردار پارامتری مدل شامل لگاریتم مقاومت و ضخامت لایه‌ها

g: بردار تفاضلی شامل تفاضل لگاریتم مقادیر مقاومت ظاهری اندازه گیری شده و محاسباتی

Δq : تغییر پارامتری مدل

i: ماتریس وجودی

λ : عامل میرایی و

l: ماتریس ژاکوبین، می‌باشد.

روش مدل‌سازی معکوس کمترین مربعات گوس - نیوتن می‌تواند به سه گام اصلی تقسیم شود. گام اول محاسبه مقادیر مقاومت ویژه ظاهری برای مدل حاضر می‌باشد. این مرحله در حالت معمولی با استفاده از روش تفاضل محدود^۱ یا روش اجزا محدود^۲ انجام می‌شود. گام دوم محاسبه ماتریس ژاکوبین از مشتقات جزئی می‌باشد. گام سوم، حل سیستم معادلات خطی در معادله ۵-۱ می‌باشد. این مراحل به صورت تناوبی تکرار می‌شوند تا همخوانی مناسب بین مدل ایجاد شده با مدل صحرائی به دست آمده و یا برنامه به حداکثر مراحل تکرار برسد. از مزایای این روش مدل‌سازی، تشابه بین مدل

^۱. Finite difference method

^۲. Finite element method

ساخته شده به وسیله نرم افزار با مدل زمینی در همان مراحل تکرار اولیه می‌باشد. اما به دلیل محاسبه ماتریس ژاکوبین در هر تکرار، این روش زمان‌بر بوده و نیاز به حافظه زیادی برای مدل‌سازی دارد [Loke and Barker, 1996a].

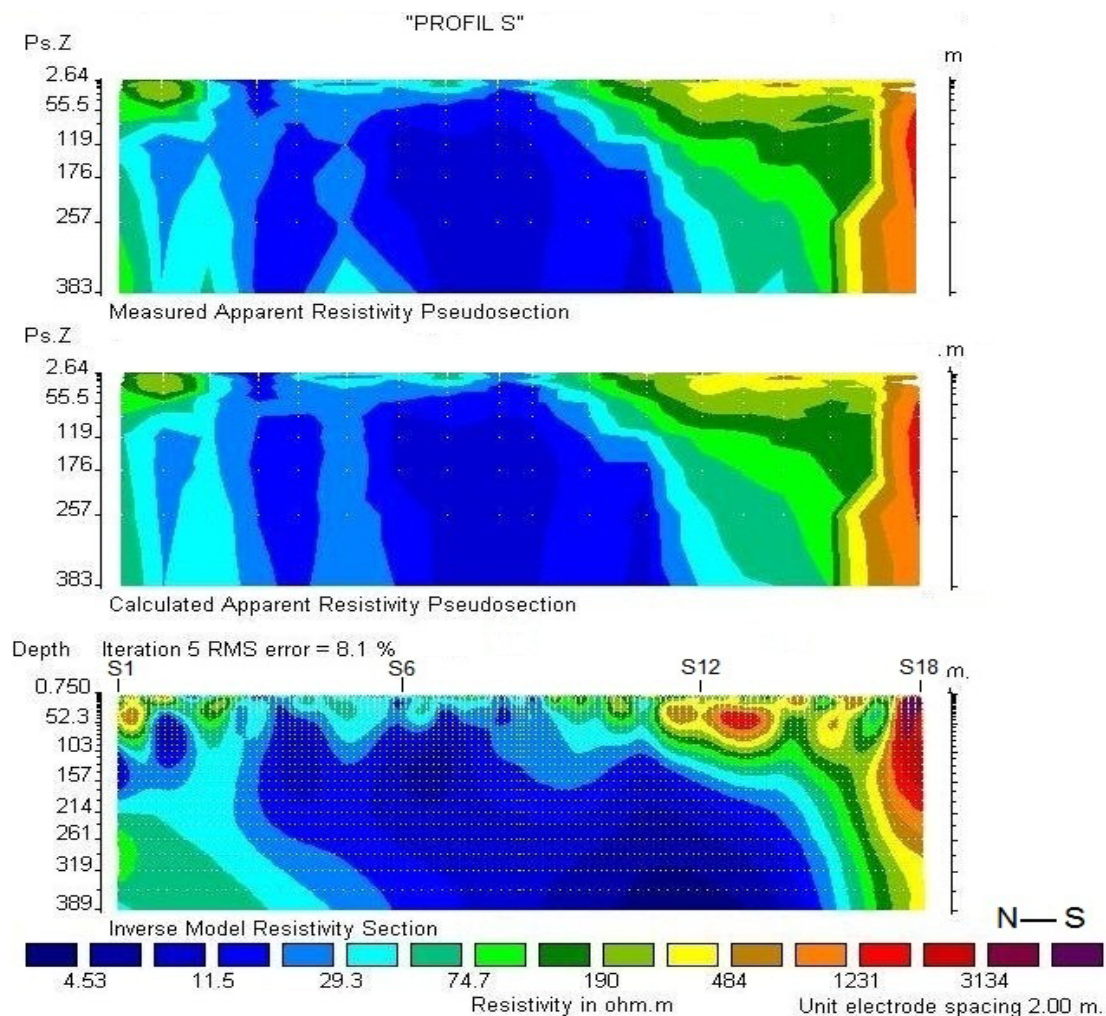
۵-۴- تفسیر دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv

نتایج حاصل از مدل‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv و با ۵ مرحله تکرار برای ۷ پروفیل برداشت شده S تا M در شکل‌های ۵-۲ تا ۵-۸ نشان داده شده‌اند که به‌طور مجزا به تفسیر کیفی مقاطع به دست آمده برای هر پروفیل پرداخته‌ایم.

۵-۴-۱- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل S

شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی پروفیل S (شکل ۵-۲)، از روی داده‌های ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک مربوط به این پروفیل تهیه شده است. همان‌طور که از مقطع مدل‌سازی نشان داده شده در این شکل پیداست، در محدوده بین سونداژ S1 تا S2 مقاومت ویژه رسوبات تا عمق تقریبی ۴۰ متری بالای ۲۰۰ اهم - متر می‌باشد، از آنجا که این دو سونداژ در مجاورت سازند مزدوران برداشت شده است می‌توان مقاومت ویژه زیاد آنها را مربوط به فشردگی تراس‌ها دانست. در زیر این لایه، لایه آبداری با مقاومت ویژه تقریبی ۶۰ اهم - متر وجود دارد و بعد از آن یک لایه شیلی با مقاومت ویژه زیر ۱۰ اهم - متر در عمق ۱۰۰ متری سنگ کف منطقه را تشکیل داده است که در محل سونداژ S2 بالاتر آمده است. در محدوده بین سونداژهای S3 تا S10 لایه سطحی با مقاومت ویژه ۶ اهم - متر (در محل سونداژ S4) تا حدود ۱۵۰ اهم - متر متغیر است. در زیر لایه سطحی لایه آبداری در عمق ۱۵ تا ۲۵ متر و با مقاومت ویژه بین ۱۸ تا ۴۰ اهم - متر قابل مشاهده است که با توجه به مقاومت ویژه پایین دارای میزان رس و

املاح زیادی می‌باشد. در زیر لایه آبدار مذکور لایه ضخیمی متشکل از رسوبات رسی - سیلتی رسانا وجود دارد که لایه سنگ کف را تشکیل می‌دهد. در محدوده بین سونداژهای S11 تا S18 مقاومت ویژه نهشته‌های آبرفتی تا عمق تقریبی ۷۰ متری از حدود ۱۰۰ تا ۱۹۰۰ اهم - متر تغییر یافته است که بر وجود رسوبات دانه‌درشت تا قطعات تخریبی و عاری از رطوبت دلالت دارد. با توجه به مقطع مذکور و همچنین تفسیرهای یک‌بعدی ارائه شده در فصل قبل، در محدوده بین این سونداژها لایه آبدار در عمق ۴۰ متری (در محل سونداژ S11) تا عمق ۱۱۰ متری (در محل سونداژ S15) قرار دارد و دارای مقاومت ویژه بین ۵۰ تا ۱۰۰ اهم - متر می‌باشد. در محل سونداژهای S17 و S18 رسوبات دانه‌درشت و خشک تا عمق زیاد گسترش دارند، احتمالاً مقاومت ویژه زیاد در محل سونداژ S18 به دلیل مجاورت این سونداژ با سنگ آهک‌های سازند لار (با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه) می‌باشد.

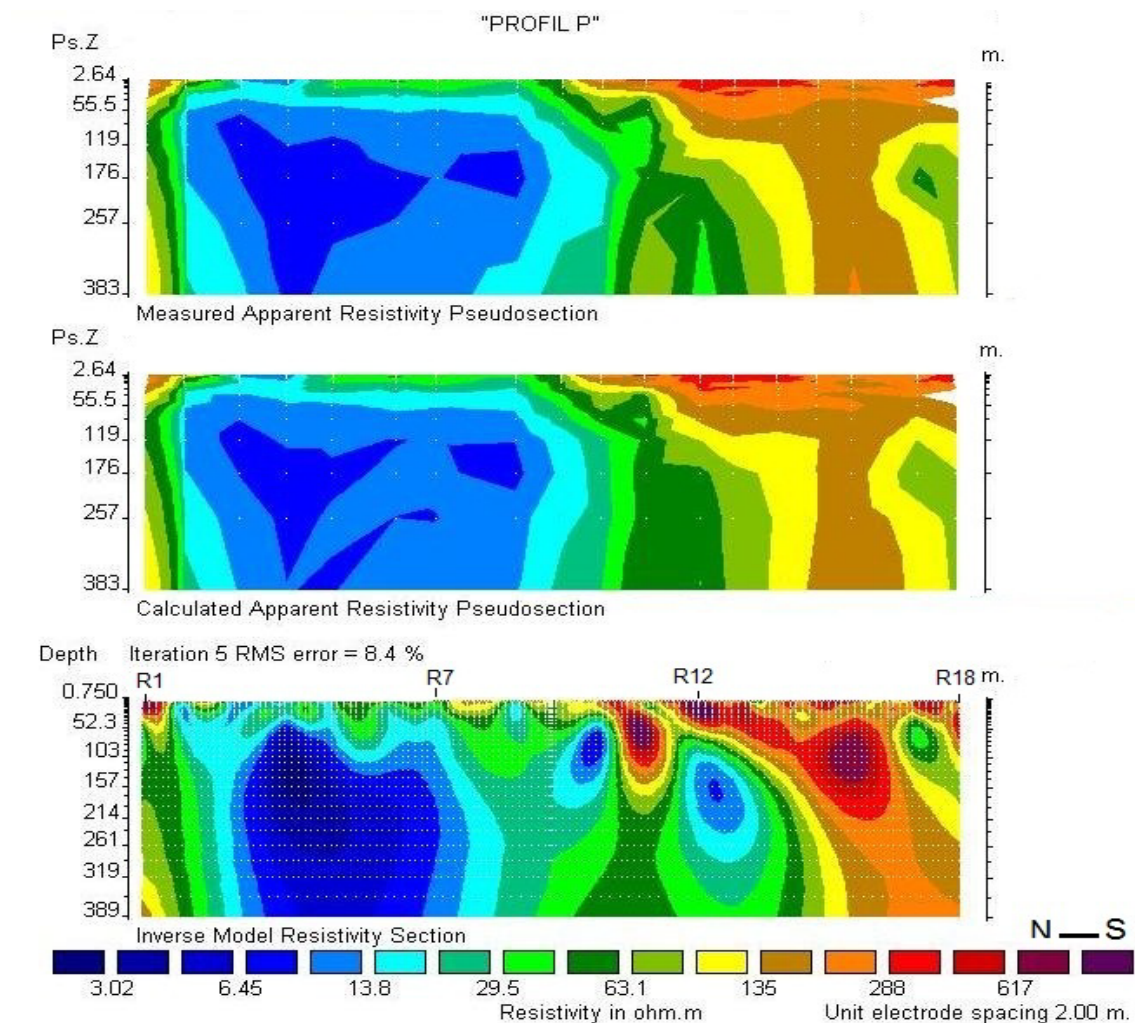


شکل ۲-۵: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل S

۲-۲-۵- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل R

شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی پروفیل R (شکل ۲-۵)، از تعبیر و تفسیر ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک بر روی این پروفیل حاصل شده است. در محدوده سونداژ R1 مقاومت ویژه به سبب مجاورت به سنگ آهک مزدوران بالاست، در امتداد این پروفیل لایه آبرفتی سطحی با مقاومت ویژه ۲۰ تا حدود ۶۰۰ اهم - متر قابل مشاهده است که بیانگر وجود رسوبات دانه‌ریز رسی تا نهشته‌های آبرفتی دانه‌درشت و خشک می‌باشد. در زیر لایه مذکور و در محدوده بین سونداژهای R2 تا R9 (با توجه به مقطع شکل ۲-۵ و تفسیر یک بعدی سونداژهای مربوطه) لایه آبدار (با مقاومت ویژه متغیر) در عمق ۱۰ تا ۲۵

متری مشاهده می‌شود. سنگ کف در این محدوده از یک لایه ضخیم شیلی تشکیل شده است که در محدوده بین سونداژهای R3 تا R5 بالا آمده است. در زیر لایه آبرفتی سطحی و در محدوده بین سونداژهای R10 تا R18 رسوبات از نهشته‌های آبرفتی دانه‌درشت با مقاومت ویژه ۵۰ تا ۳۰۰ اهم - متر تشکیل شده‌اند که از نظر هیدروژئولوژی حائز اهمیت می‌باشد. سنگ کف در این محدوده متغیر بوده و از رسوبات رسانا و مقاوم تشکیل شده است که در عمق تقریبی ۲۰۰ تا ۲۸۰ متر قرار دارد. البته در محدوده سونداژهای R15 و R16 رسوبات با مقاومت ویژه بالا تا عمق زیاد گسترش دارند که عملاً در این محدوده‌ها پتانسیل آبی مطلوبی مشاهده نمی‌شود.

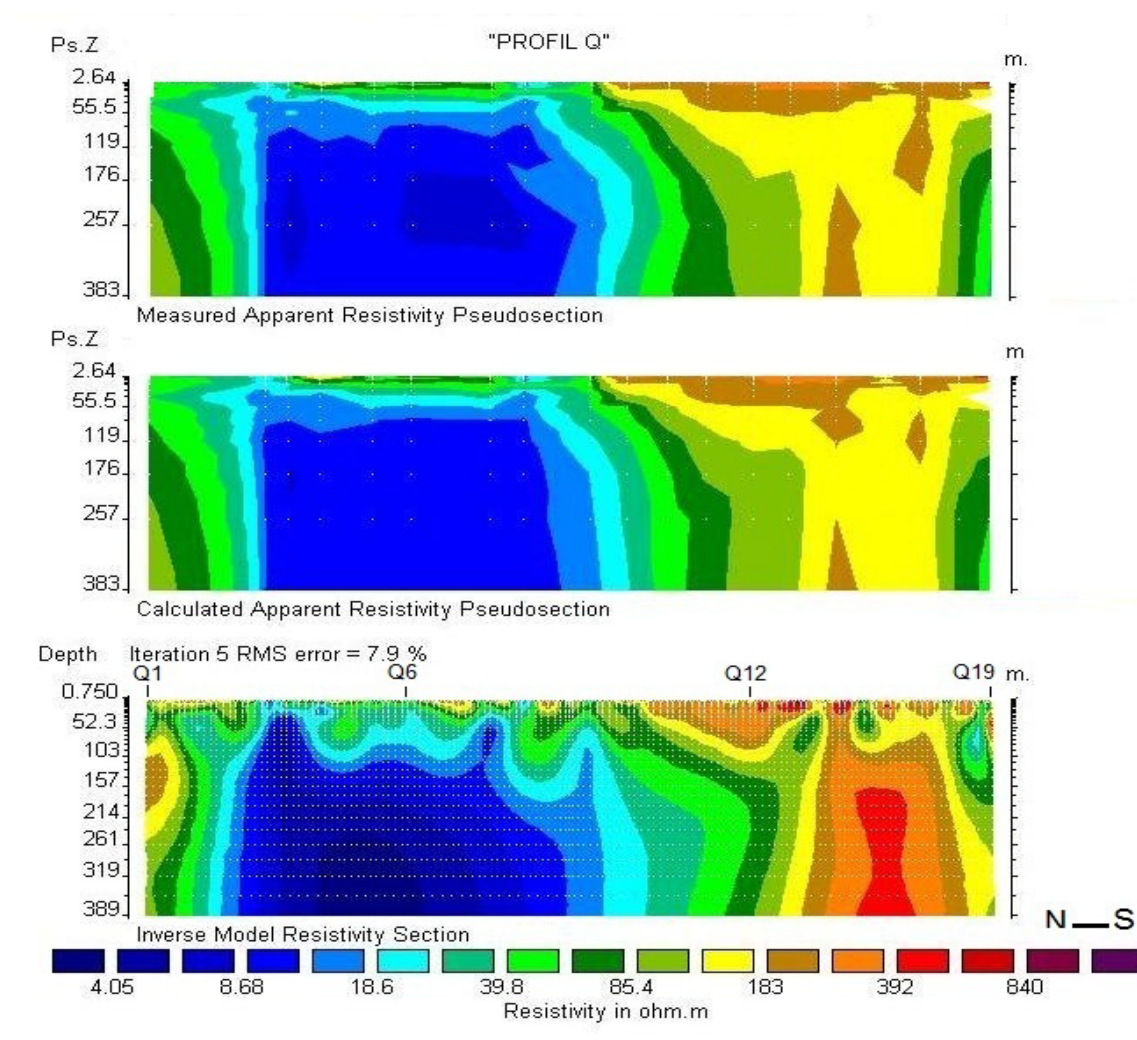


شکل ۵-۳: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل R

۵-۲-۳- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل Q

برای تهیه شبه‌مقطع و همچنین مقطع مدل‌سازی شده پروفیل Q (شکل ۵-۴) از داده‌های به دست آمده از ۱۹ سونداژ ژئوالکتریک استفاده شده است. در طول این پروفیل یک قشر سطحی با مقاومت ویژه متغیر بین ۳۰ تا ۷۰۰ اهم - متر وجود دارد. در محدوده سونداژ Q1 لایه آبدار در عمق تقریبی ۲۰ متری قابل مشاهده است و سنگ کف از رسوبات مقاوم در عمق تقریبی ۱۱۰ متری قرار دارد. در محدوده سونداژهای Q2 تا Q9 لایه آبدار دارای مقاومت ویژه ۱۸ تا ۴۰ اهم - متر می‌باشد که در عمق ۸ تا نهایتاً ۲۴ متری قرار دارد. در محدوده بین سونداژهای Q2 و Q3 ضخامت لایه آبدار به کمترین مقدار را خود می‌رسد که این نتایج با تفسیرهای یک بعدی نیز مطابقت دارد. در محدوده سونداژهای Q2 تا Q9 در زیر لایه آبدار، یک لایه شیلی رسانا با مقاومت ویژه زیر ۷ اهم - متر و با ضخامت زیاد دیده می‌شود که سنگ کف محدوده مذکور را تشکیل می‌دهد و در محل سونداژهای Q2 تا Q3 بالا آمده است. در محدوده سونداژهای Q9 تا Q19 نهشته‌های آبرفتی از رسوبات دانه‌درشت و تراوا تشکیل شده است که از ضخامت قابل توجهی برخوردار است. در محدوده بین سونداژهای Q9 تا Q14 لایه آبدار دارای مقاومت ویژه متغیر بین ۶۰ تا ۱۱۰ اهم - متر می‌باشد که در محل سونداژ Q9 در عمق تقریبی ۵۰ متری قرار دارد و هر چه به سمت سونداژ Q14 نزدیک می‌شویم عمق بیشتری پیدا می‌کند، در این محدوده چون اختلاف مقاومت ویژه لایه آبدار و رسوبات زیرین آن زیاد نمی‌باشد، نمی‌توان لایه سنگ کف را دقیقاً مشخص کرد. در محدوده سونداژهای Q15 تا Q18 مقاومت ویژه زیاد نهشته‌های آبرفتی را به وجود رسوبات دانه‌درشت و خشک نسبت داد که تا عمق زیادی گسرش دارند و عملاً در این محدوده پتانسیل آبی مطلوبی مشاهده نمی‌شود. در محدوده سونداژهای Q18 و Q19

لایه آبدار با مقاومت ویژه زیاد (حدوداً ۹۰ اهم - متر) قابل مشاهده است. در این محدوده سنگ کف از رسوبات مقاوم تشکیل شده است.

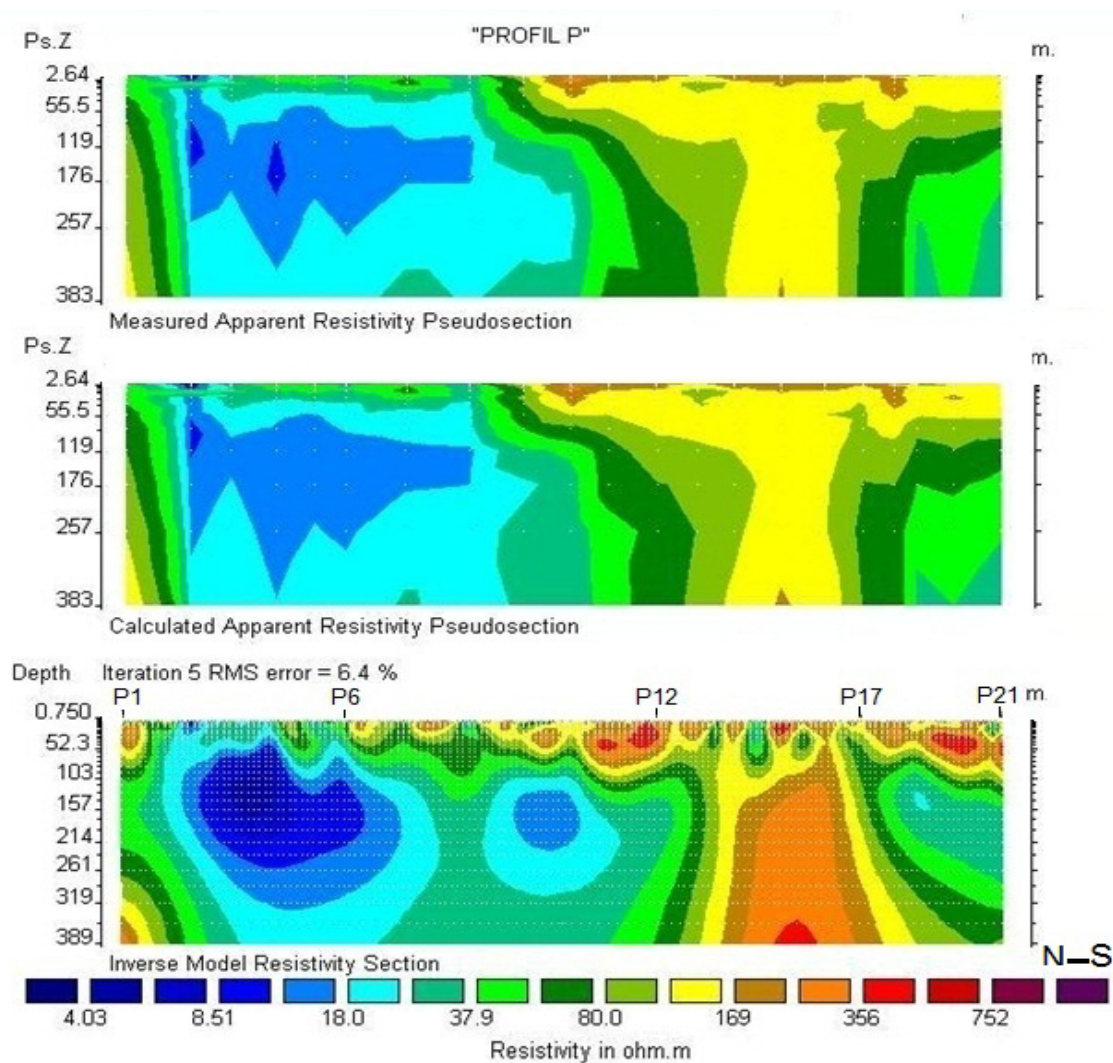


شکل ۴-۵: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل Q

۴-۲-۵- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل P

شکل ۴-۵، شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی پروفیل P که از روی داده‌های مربوط به ۲۱ سونداژ ژئوالکتریک این پروفیل به دست آمده را نشان می‌دهد. افق فوقانی در این پروفیل همانند مدل‌های قبلی با مقاومت ویژه بین ۱۰ تا ۶۰۰ اهم - متر بر وجود رسوبات دانه ریز رسی - سیلتی در نواحی

شمالی تا رسوبات تخریبی مقاوم در قسمت‌های مرکزی و نواحی جنوبی پروفیل دلالت دارد. در زیر این افق و در محدوده سونداژهای P2 تا P8 مقاومت ویژه لایه آبدار بین ۱۸ تا ۶۰ اهم - متر (با توجه به نتایج تفسیر یک‌بعدی) متغیر می‌باشد و لایه آبدار در عمق کمی قرار دارد. سنگ کف در محدوده سونداژهای P2 تا P6 از رسوبات شیلی رسانا تشکیل شده است که در محدوده سونداژهای P3 و P4 از عمق کمی برخوردار است. مقاومت ویژه لایه آبدار در محدود سونداژهای P9 تا P21 به دلیل دانه-درشت بودن رسوبات و کیفیت بالای آب بین ۶۰ تا ۱۰۰ اهم - متر تعیین گردیده است و لایه آبدار در عمق حدود ۸۰ تا ۱۰۰ متری قرار دارد. در محل سونداژ P15 مقاومت ویژه رسوبات تا اعماق زیاد، بالا بوده و عملاً لایه آبداری مشاهده نمی‌شود. با توجه به مقطع مذکور و نتایج تفسیر یک‌بعدی، سنگ کف در محدوده سونداژهای P11 تا P14 و P17 تا P21 دارای مقاومت ویژه ۴۰ تا ۶۰ اهم - متر در عمق تقریبی ۲۰۰ متری قرار دارد. در محدوده سونداژهای P14 تا P16 سنگ کف از رسوبات دانه درشت و خشک با مقاومت ویژه بالا و در محدوده سونداژهای P9 و P10 از رسوبات دانه ریز رسی تشکیل شده است.

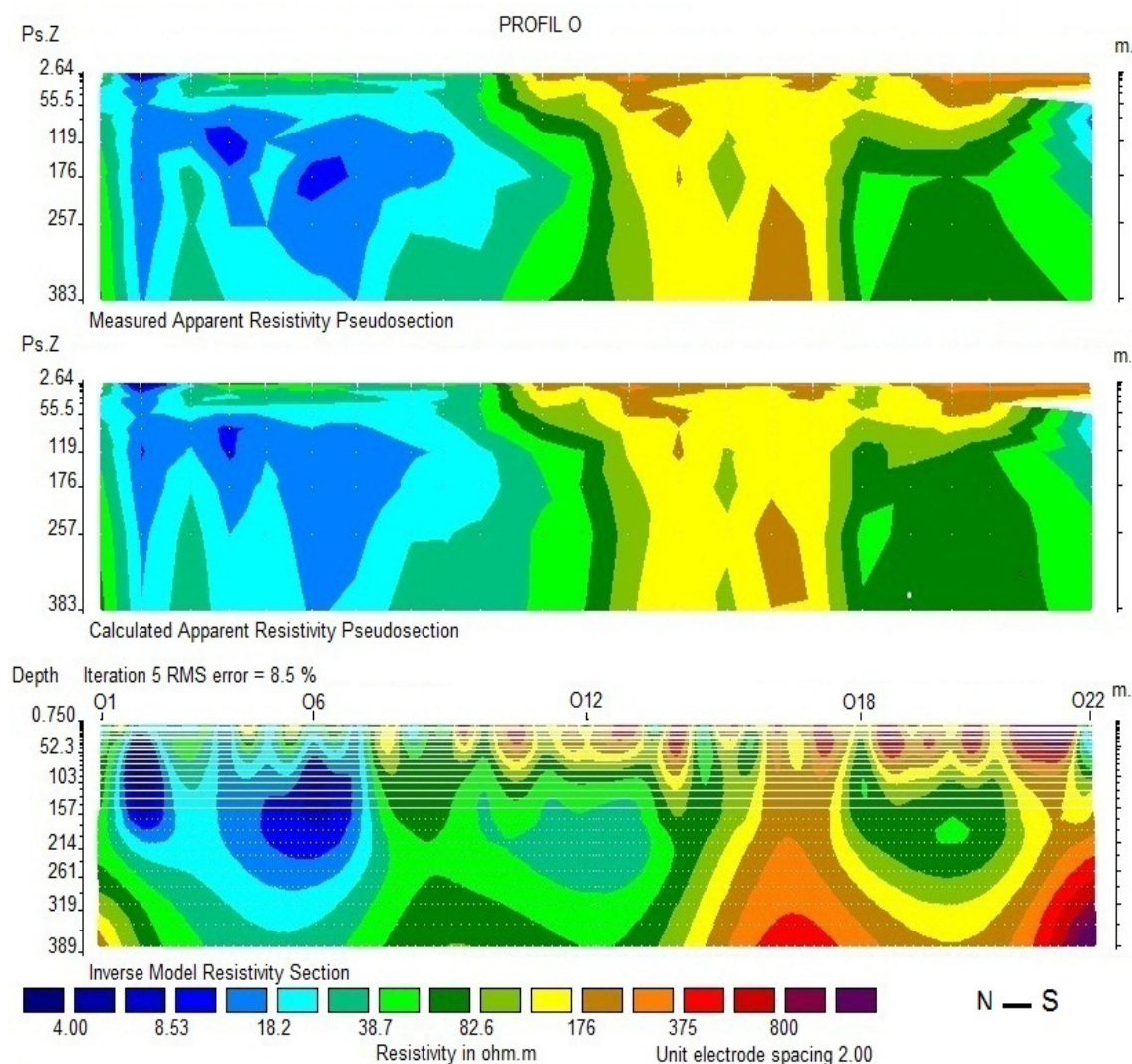


شکل ۵-۵: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل P

۵-۲-۵- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل O

مقطع و شبه‌مقطع پروفیل O (نشان داده شده در شکل ۵-۶) همانند مقاطع قبلی از داده‌های مربوط به ۲۲ سونداژ ژئوالکتریک حاصل شده است. در این پروفیل افق فوقانی با مقاومت ویژه بین ۸ تا ۸۰۰ اهم - متر از رسوبات آبرفتی دانه ریز رسی در نواحی شمالی تا رسوبات دانه درشت و عمدتاً خشک در نواحی جنوبی تشکیل شده است. در محدوده بین سونداژهای O2 تا O7 لایه آبدار عمدتاً رسی با

مقاومت ویژه ۲۰ تا ۶۰ اهم - متر در اعماق کم قرار دارد. در این محدوده سنگ کف از نهشته‌های ستبر با مقاومت ویژه بین ۵ تا ۱۵ اهم - متر عمدتاً از رس و سیلت تشکیل شده است. در محدوده بین سونداژهای O8 تا O16 و در زیر افق فوقانی که از آبگذری مناسبی برخوردار می‌باشد لایه آبداری با مقاومت ویژه بین ۴۰ تا ۱۰۰ اهم - متر قرار گرفته است که نسبت به نواحی شمالی در عمق بیشتری قرار دارد. در محدوده بین سونداژهای O17 و O18 رسوبات از نهشته‌های آبرفتی دانه درشت و خشک تشکیل شده‌اند که تا عمق زیاد گسترش دارند. در محدوده بین سونداژهای O18 تا O21 لایه آبدار با مقاومت ویژه ۸۰ اهم - متر در عمق تقریبی ۱۰۰ متری قرار دارد که از ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است.

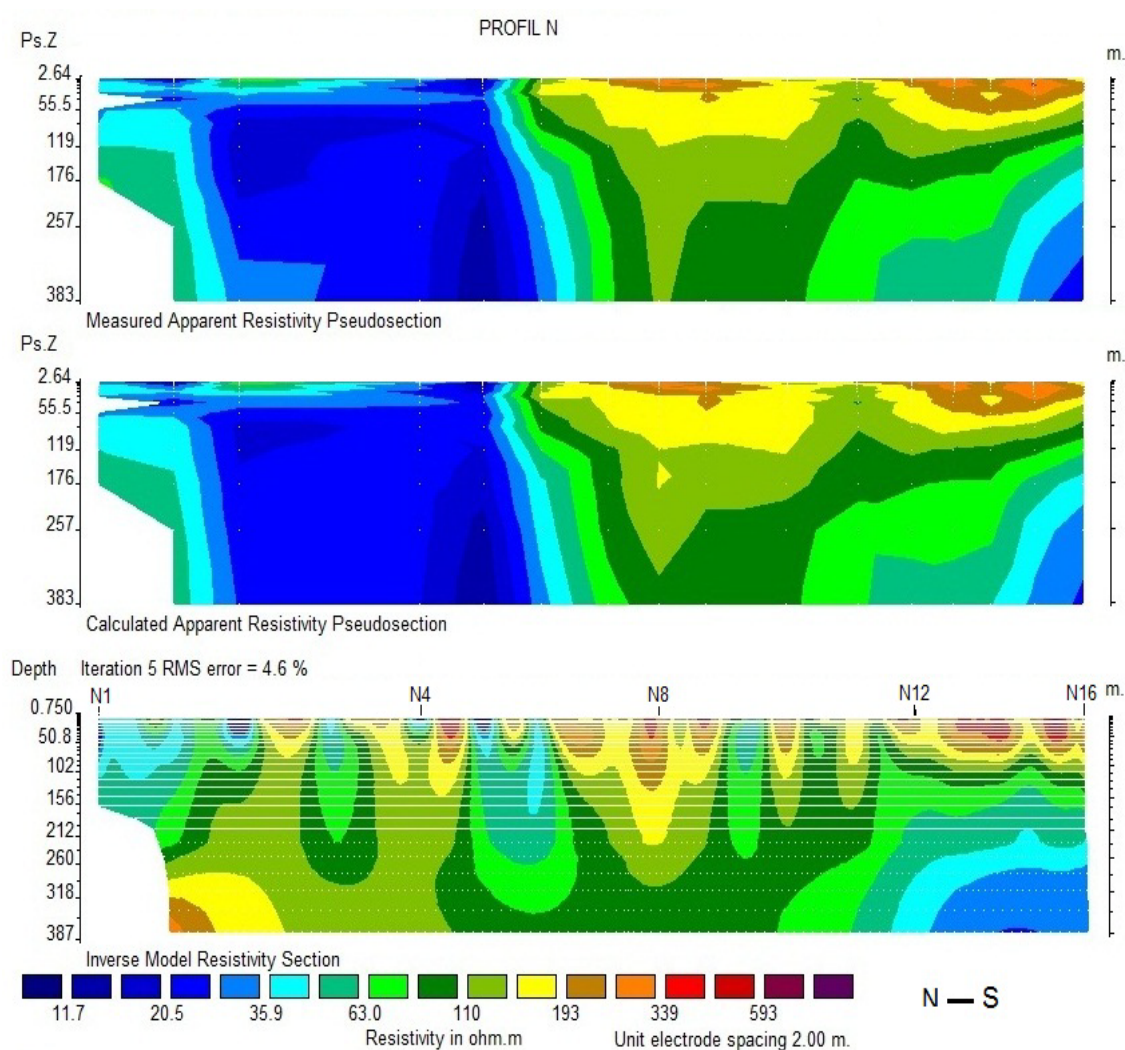


شکل ۵-۶: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل O

۵-۲-۶- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل N

شبه‌مقطع و مقطع مدل‌سازی شده پروفیل N (شکل ۵-۷) از روی داده‌های ۱۶ سونداژ ژئوالکتریک واقع بر روی این پروفیل حاصل شده است. در این پروفیل افق فوقانی نظیر مقاطع قبلی دارای مقاومت ویژه متغیری از حدود ۸ اهم - متر (در محل سونداژ N3) تا بیش از ۵۰۰ اهم - متر در نواحی مرکزی و جنوبی پروفیل می‌باشد که بیانگر وجود رسوبات رسی تا دانه درشت می‌باشد. رسوبات افق فوقانی در

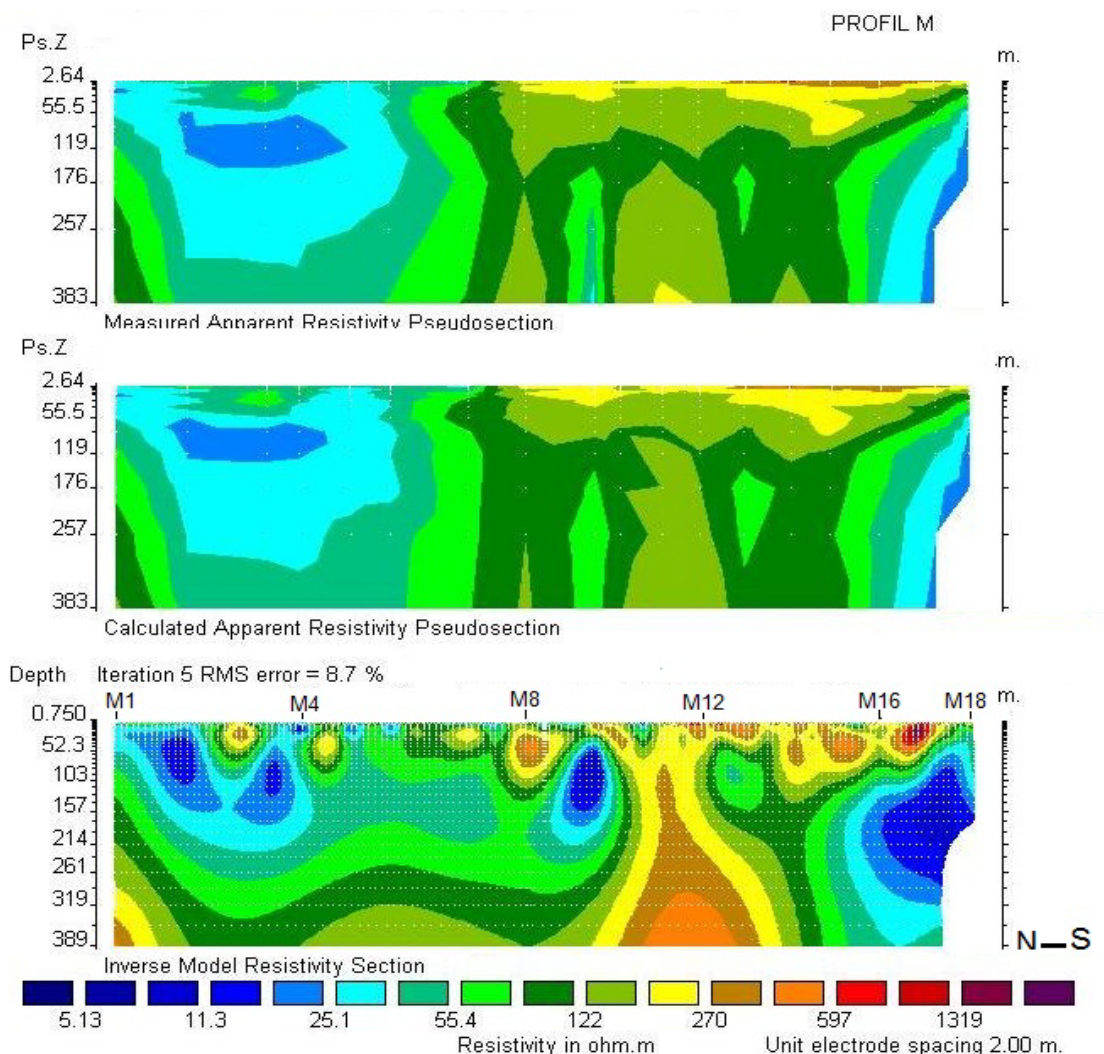
محدوده بین سونداژهای N6 تا N16 عمدتاً خشک و فاقد آب می‌باشند. در محدوده سونداژهای N2 تا N6 لایه آبدار در عمق کم قرار دارد که بر روی نهشته‌های مقاوم (بالای ۱۰۰ اهم - متر) قرار گرفته است. با توجه به مقطع شکل ۵-۷ و همچنین نتایج تفسیر یک‌بعدی ارائه شده در فصل چهارم، در محدوده بین سونداژهای N6 تا N16 لایه آبدار با مقاومت ویژه ۷۰ تا ۱۱۵ اهم - متر در عمق زیاد (حدوداً ۱۰۰ متری) قرار دارد. در محدوده سونداژهای N10 تا N16 لایه آبدار بر روی رسوبات با مقاومت ویژه ۲۰ تا ۵۰ اهم - متر قرار گرفته است.



شکل ۵-۷: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل N

۵-۲-۷- نتایج مدل سازی داده ها بر روی پروفیل M

شبه مقطع و مقطع مدل سازی پروفیل M (شکل ۵-۸) از روی داده های مربوط به ۱۸ سونداژ ژئوالکتریک به دست آمده است. در افق فوقانی همانند مقاطع قبلی رسوبات با داشتن حداقل مقاومت ویژه در نواحی شمالی (۲۴ اهم - متر) از رسوبات دانه ریز بوده که در نواحی مرکزی و جنوبی مقطع افزایش مقاومت ویژه بر افزایش دانه بندی دلالت دارد. افق فوقانی به جز در نواحی شمالی که لایه آبدار را در بر گرفته، در بقیه قسمت ها خشک و بدون آب می باشد. سنگ کف در محل سونداژ M1 از رسوبات نسبتاً مقاوم و در محدوده سونداژهای M2 تا M6 از رسوبات دانه ریز رسی تشکیل شده است که در محل سونداژهای M2 و M3 بالا آمده است. در محدوده سونداژهای M7 تا M16 لایه آبدار با مقاومت ویژه بین ۵۰ تا ۱۲۰ اهم - متر در عمق تقریبی ۱۰۰ متری مشاهده می شود که با نزدیک شدن به نواحی جنوبی پروفیل و در محل سونداژهای M17 و M18 عمق و مقاومت ویژه لایه آبدار کاهش پیدا می کند که مقاومت ویژه لایه آبدار به دلیل میزان رس بالا به حدود ۲۰ اهم - متر هم می رسد. سنگ کف در محدوده سونداژهای M11 تا M14 از رسوبات دانه درشت نسبتاً مقاوم و در بخش های جنوبی پروفیل از رسوبات دانه ریز رسی تشکیل گردیده است.



شکل ۵-۸: شبه‌مقطع مقاومت ویژه ظاهری مشاهده شده و محاسبه شده به همراه مقطع دوبعدی به دست آمده از مدل‌سازی معکوس برای پروفیل M

۵-۳- نتیجه‌گیری

همان‌طور که قبلاً ذکر شد در منطقه مورد مطالعه تعداد ۷ پروفیل ژئوالکتریک برداشت شده است که مقاطع مدل‌سازی دو بعدی هر کدام با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv تهیه و مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفت. با توجه به مدل‌های مقاومت ویژه به دست آمده، در نواحی شمالی منطقه سفره آب زیرزمینی عمدتاً حاوی رس بوده و از شوری قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد (با توجه به مقادیر نسبتاً کم مقاومت ویژه لایه آبدار در این نواحی). همچنین در این نواحی عمق آب زیرزمینی بالا بوده که در

بعضی نقاط به حدود ۵ متر نیز می‌رسد. با حرکت به نواحی جنوبی دشت، عمق آب زیرزمینی بالا رفته که در بعضی نقاط به حدود ۱۳۰ متر نیز می‌رسد. لایه آبدار در نواحی جنوبی دشت از کیفیت بهتری برخوردار است و دارای میزان املاح (NaCl) و رس کمتری می‌باشد که وجود مقاومت ویژه زیاد لایه آبدار در این محدوده مؤید این قضیه است. سنگ کف در نواحی شمالی عموماً از رسوبات شیلی رسانا تشکیل شده است که از ضخامت زیادی نیز برخوردار می‌باشد اما در نواحی جنوبی دشت سنگ کف در بعضی نقاط دارای مقاومت ویژه‌ای مشابه مقاومت ویژه لایه آبدار می‌باشد و به همین علت سنگ کف از لایه آبدار قابل تفکیک نبوده و همان‌طور که در فصل‌های قبل ذکر شد عدم تشخیص سنگ کف در این موارد، از ضعف‌های روش مقاومت ویژه به شمار می‌رود. در بعضی نقاط نیز سنگ کف از رسوبات تخریبی دانه‌درشت مقاوم تشکیل شده است.

فصل ششم

معرفی نواحی امیدبخش باپتانسیل آبی بالا

در نتیجه تلفیق اطلاعات در محیط GIS

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) یک سیستم رایانه‌ای برای مدیریت داده‌های مکانی است. داده‌های مکانی داده‌هایی هستند که پارامترهایی از یک موقعیت خاص بر روی زمین را با مختصات خاص خود نشان می‌دهند. GIS توانایی جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، بازیابی، مدیریت، پردازش، اصلاح، ترکیب، جستجو، تجزیه و تحلیل و نمایش داده‌های مکانی^۱ را دارد. بنابراین به منظور استفاده از قابلیت‌های GIS، داده‌هایی که به آن وارد می‌شوند، بایستی شامل اطلاعات مختصات یک پدیده همراه با خصیصه‌های مربوطه باشند. GIS ابزارهایی را برای کار با نقشه‌ها، تصاویر رقومی، جداول و داده‌های مختلف فراهم می‌کند.

GIS تحول چشم‌گیری در بسیاری از رشته‌های کاربردی پدید آورده است زیرا اجازه پذیرش و تجزیه و تحلیل لایه‌های مجزایی از داده‌های مکانی را فراهم نموده و همچنین دارای ابزارهایی برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل لایه‌های مختلف می‌باشد. به کمک GIS می‌توان ارتباط بین انواع اطلاعات را برقرار کرده و با استفاده از انطباق این داده‌ها و مدل‌سازی، بهترین تصمیم را اتخاذ نمود. در پروژه‌های GIS معمولاً دو سری داده‌های خاص مورد نیاز است. نوع اول، اطلاعات مکانی می‌باشند، که برای ایجاد مدل‌های جغرافیایی ضروری بوده و شامل مشخصات مربوط به موقعیت پدیده‌های جغرافیایی، ویژگی‌های هندسی و نحوه ارتباط بین آن‌ها می‌باشند. نوع دوم اطلاعات شامل ویژگی‌ها و خصوصیات توصیفی هستند که در ارتباط با اطلاعات مکانی می‌باشند. به هر حال جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل پایگاه اطلاعاتی وقت‌گیرترین و پرهزینه‌ترین قسمت هر پروژه GIS می‌باشد [Bonham- Carter, 1994].

1994]

¹ - Spatial data

۶-۲- سازمان‌دهی

در مواردی که حجم داده‌ها زیاد است به منظور تجزیه و تحلیل و استفاده از آن‌ها ضروریست که داده‌ها به نحو مناسبی سازمان‌دهی شوند. جمع‌آوری مقدار زیادی داده برای استفاده به منظور هدفی خاص، اهمیت سازمان‌دهی داده‌ها را آشکار می‌کند. داده‌ها ممکن است به روش‌های گوناگون مرتب شوند اما اگر سازمان‌دهی به گونه‌ای مناسب انجام نشود، اطلاعات مفید را نمی‌توان به آسانی به دست آورد. پارامتر اصلی در سازمان‌دهی داده‌های GIS، موقعیت مکانی آن‌ها می‌باشد [Bonham- Carter, 1994].

۶-۳- ترکیب و تلفیق

ترکیب و تلفیق در محیط GIS، به معنی هماهنگ نمودن داده‌های متفاوت از منابع مختلف است. اغلب داده‌هایی که در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، از منابع مختلف تهیه و در قالب‌های متفاوت ذخیره می‌شوند. در GIS امکاناتی فراهم آمده تا بتوان داده‌های متفاوت جمع‌آوری شده را با یکدیگر مقایسه و ترکیب نمود. به علاوه هنگامی که مجموعه‌ای از داده‌های مکانی از منابع گوناگون با هم آمیخته می‌شوند، درک و تفسیر داده‌های مکانی نیز میسر می‌گردد در صورتی که وقتی این داده‌ها به صورت مجزا و جداگانه در نظر گرفته شوند، روابط فضایی بین آن‌ها به آسانی آشکار نمی‌شوند. یکی از ویژگی‌های قدرتمند GIS، توانایی ترکیب و تلفیق چندین نقشه به کمک عبارات جبری و ریاضی ساده یا پیچیده می‌باشد [Bonham- Carter, 1994].

۶-۴- کاربرد GIS در علوم زمین

امروزه GIS در بیشتر علوم به کار برده می‌شود. جستجو برای انواع منابع زمین‌شناسی، ارزیابی خطرات، مسائل زیست‌محیطی و بررسی برای یافتن محل مناسب به منظوری خاص که همگی نیاز به جمع‌آوری داده‌های مکانی از چندین منبع دارند، از کاربردهای GIS می‌باشند. برخی دیگر از کاربردهای GIS در علوم زمین به شرح زیر است [Bonham- Carter, 1994]:

۱. تهیه نقشه‌های حوادث و بلایای طبیعی، پایداری شیب‌ها، زمین‌لرزه‌ها، منطقه‌بندی خسارت زمین‌لرزه، فوران‌های آتشفشانی، خسارت ناشی از طغیان رودخانه‌ها و امواج غول‌پیکر، فرسایش ساحلی، خطرات آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدنی یا صنعتی و گرم شدن کره زمین.

۲. انتخاب محل مناسب برای اجرای پروژه‌های مهندسی نظیر دفع مواد زائد، خط لوله، جاده و مسیر راه‌آهن، سدها، توسعه و گسترش ساختمان‌سازی.

۳. ارزیابی منابع زمینی و زیرزمینی مانند آب، شن و ماسه، سنگ ساختمانی، نفت، گاز، زغال-سنگ، انرژی زمین‌گرمایی و سایر منابع معدنی.

۴. تحقیق و یافتن ارتباط میان داده‌های زیست‌محیطی و سایر داده‌ها.

بررسی‌های اکتشافی برای درک روابط فضایی میان داده‌های مختلف اطلاعاتی نظیر شناسایی آنومالی‌های ژئوفیزیکی همراه با ذخایر معدنی [Kamkar-Rouhani, 2003]، تلفیق آنومالی‌های ژئوشیمیایی با سایر داده‌های اکتشافی [یوسفی و همکاران، ۱۳۸۷] در یک منطقه و انطباق با وضعیت سنگ-شناسی، تهیه مدل پتانسیل معدنی و معرفی بهترین مناطق امیدبخش و غیره.

۶-۵- تهیه نقشه‌های پتانسیل آب

اکتشاف و ارزیابی آب زیرزمینی یک فعالیت چند مرحله‌ای است که در مقیاس کوچک آغاز شده و به مقیاس بزرگ تبدیل می‌شود و سرانجام به انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف برای حفاری به منظور دستیابی به آب زیرزمینی منجر می‌گردد.

در GIS و در مرحله نخست، اطلاعات و داده‌های اولیه از جمله لیتولوژی، تکتونیک، ژئوفیزیک، ژئوشیمی یا هیدروژئوشیمی، دورسنجی و ... گردآوری می‌شود. این مرحله یکی از مهمترین مراحل کار می‌باشد. سپس اطلاعات فوق رقومی شده تا در محیط GIS آماده‌سازی و سازماندهی گردد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی با تلفیق اطلاعات مکانی و توصیفی و ایجاد پایگاه داده جغرافیایی امکان تلفیق لایه‌های اطلاعاتی را طبق مدل‌های مورد نیاز کاربران فراهم می‌آورد. مدل‌های متفاوتی برای تلفیق اطلاعات و پیدا کردن مناطق آبی با پتانسیل بالا وجود دارد که این مدل‌ها بر پایه داده‌های موجود (مانند اندیس‌های معدنی) و یا بر پایه نظر و دانش کارشناسی استوار است.

به‌طور کلی می‌توان طرح‌های GIS برای تهیه نقشه‌های پتانسیل آبی را به سه مرحله اصلی تقسیم نمود. نخستین مرحله، ایجاد پایگاه داده‌ای GIS از کلیه داده‌های موجود می‌باشد. دومین مرحله پردازش داده‌ها جهت بیرون کشیدن الگوهای فضایی مربوط به اهداف طرح است. سومین مرحله شامل تلفیق نقشه‌های مختلف با یکدیگر است که شواهدی را برای یافتن پتانسیل مورد نظر فراهم می‌سازد و در دو مرحله انجام می‌شود که محصول نهایی آن، نقشه پیش‌بینی کننده‌ای است که مطلوبیت نسبی یا پتانسیل آبی منطقه را نشان می‌دهد. چنین پتانسیلی به وسیله وزن‌دار کردن و ترکیب منابع متعدد به صورتی ساده و بر اساس یک منطق یا روش ریاضی انجام می‌پذیرد. تخصیص وزن‌ها به نقشه‌ها و کلاس‌های آنها یا توسط تجزیه و تحلیل اهمیت شواهد و مدارک مربوط به

اندیس‌های معدنی معلوم و ارتباط آنها با کلاس‌های نقشه‌های مختلف انجام می‌گیرد یا با استفاده از قضاوت ذهنی کارشناسان زمین‌شناس و معدن انجام می‌شود.

به عبارت دیگر تخصیص وزن‌ها به لایه‌ها توسط دو مدل متکی بر داده‌ها^۱ و مدل متکی بر دانش^۲ صورت می‌گیرد. در مدل‌سازی متکی بر داده‌ها نقشه‌های ورودی گوناگون با استفاده از مدل‌هایی نظیر رگرسیون لجستیکی^۳، وزن‌های نشانگر^۴ و یا تجزیه و تحلیل شبکه‌های عصبی^۵ ترکیب می‌شوند. از مدل‌های متکی بر دانش نیز می‌توان به استفاده از روش‌های منطق فازی^۶ و همپوشانی شاخص^۷ اشاره نمود [Bonham- Carter, 1994; Derecole et al., 2000; Carranza, 2002].

۶-۶- مدل‌سازی در GIS

در مدل‌سازی پتانسیل آبی در شرایطی که در منطقه مورد مطالعه تعداد اندیس‌های شناخته شده کم بوده و یا هیچ اندیس شناخته شده‌ای وجود ندارد، از روش‌های دانش‌محور استفاده می‌شود که در این بخش به تشریح تفصیلی دو روش از روش‌های دانش‌محور پرداخته می‌شود.

^۱ - Data-driven

^۲ - Knowledge- driven

^۳ - Logistic regression

^۴ - Weights of evidence

^۵ - Neural network

^۶ - Fuzzy logic

^۷ - Index overlay

۶-۶-۱- مدل سازی به روش هم پوشانی شاخص

روش هم پوشانی شاخص به دو صورت روش هم پوشانی شاخص دوتایی^۱ و روش هم پوشانی شاخص چندکلاسه برای ترکیب نقشه ها به کار می رود. در مدل سازی روش هم پوشانی شاخص دوتایی خصوصیات یا کلاس هایی از داده های فضایی که نشان دهنده یک معیار مناسب و امیدبخش برای شناسایی کانی سازی هستند، به صورت یک کلاس با ارزش ۱ ذخیره می شوند. در حالی که دیگر قسمت های نقشه دارای ارزش ۰ هستند. بنابراین نقشه شاهد دوتایی را می توان به عنوان یک نقشه که اجرای عملیات محاسباتی روی آن ممکن است، در نظر گرفت. در نتیجه هر نقشه شاهد دوتایی B_i می تواند از ۱ تا n تغییر کند) می تواند یک وزن عددی W_i را به خود اختصاص دهد یا در آن ضرب شود. این وزن بر اساس قضاوت یا نظر کارشناسی و همچنین تجربه ای که در مورد اهمیت هر مجموعه از داده های فضایی و الگوهای زمین شناسی مرتبط با کانی سازی وجود دارد، تخصیص می یابد. در این حالت عموماً الگوهای زمین شناسی دلالت کننده کانی سازی به صورت نقشه های شاهدی هستند که تحت بررسی قرار می گیرند. این نقشه های شاهد دوتایی وزن دار با استفاده از معادله (۶-۱) ترکیب می شوند. در این معادله امتیاز S برای هر محل (یا در واقع هر سلول واحد از منطقه مورد مطالعه) محاسبه می شود [Bonham- Carter, 1994].

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n W_i B_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (۶-۱)$$

در معادله (۶-۱)، W_i وزن هر نقشه شاهد دوتایی B_i می باشد. در نقشه خروجی هر محل یا سلول دارای یک مقدار S بین ۰ یعنی کاملاً بدون ارزش اکتشافی و ۱ یعنی کاملاً امیدبخش و دارای ارزش اکتشافی حداکثر است. بنابراین اگرچه در این روش نقشه های ورودی فقط دارای دو کلاس و طبقه بندی می باشند اما خروجی می تواند مقادیر ارزش اکتشافی حد واسط بین ۰ و ۱ را داشته باشد. تعیین

^۱ - Binary index overlay

و تخصیص وزن مناسب برای هر یک از نقشه‌های شاهد خاص تا حد زیادی به صورت درک و قضاوت کیفی وزن‌دهنده اجرا می‌شود و حتی در حالتی که دانش و تجربه کافی نیز وجود دارد ممکن است شامل مراحل سعی و خطا^۱ باشد [Carranza, 2008].

روش مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه در واقع نوع بسط داده شده روش مدل‌سازی هم-پوشانی شاخص دوتایی است. هر یک از j امین الگوها (کلاس‌ها) از نقشه شاهد i ام دارای وزن S_{ij} به منظور نمایش میزان وابستگی به ذخایر معدنی می‌باشد. امتیاز تخصیص یافته به الگوها می‌تواند یک عدد صحیح یا حقیقی مثبت باشد [Carranza, 2008]. اهمیت نسبی یک نقشه شاهد در مقایسه با دیگر نقشه‌های شاهد به وسیله تخصیص وزن‌های W_i کنترل می‌شود که این امتیاز معمولاً عدد صحیح مثبت است. نقشه‌های شاهد وزن‌دار سپس با استفاده از معادله (۶-۲) با هم ترکیب می‌شوند که در واقع میانگین وزن‌ها را برای هر محل محاسبه می‌کند [Bonham- Carter, 1994].

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n W_i S_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (۶-۲)$$

مقدار خروجی S برای هر محل، برابر مجموع حاصل ضرب W_i و S_{ij} در هر نقشه شاهد تقسیم بر مجموع W_i ها برای هر نقشه شاهد می‌باشد. بنابراین علاوه بر انعطاف‌پذیری در تخصیص وزن به الگوهای شاهد، مزیت روش هم‌پوشانی شاخص چندکلاسه در مقایسه به روش هم‌پوشانی شاخص دوتایی این است که عدم قطعیت را نیز در نظر گرفته و در پیش‌بینی دخالت می‌دهد. بنابراین به کارگیری هم‌زمان هر دو روش دوتایی و چند کلاسه به جای به کارگیری یکی از آن‌ها بهتر است. ضعف این روش‌ها نیز در تلفیق خطی شواهد است که باعث می‌شود نقش فرآیندهای مؤثر در کانی-سازی مستقیماً در نظر گرفته نشود.

¹ - Trial-and-error

۶-۶-۲- مدل سازی به روش منطق فازی

الف - مقدمه

مدل سازی به روش منطق فازی^۱ بر اساس تئوری مجموعه های فازی (۲۶) بنا شده است. به طور کلی کاربرد منطق فازی در مدل سازی پتانسیل معدنی شامل سه مرحله اصلی است. مرحله اول شامل فازی سازی^۲ داده های مربوط به شواهد، مرحله دوم ترکیب منطقی نقشه های شاهد فازی با کمک شبکه ای از مجموعه عملگرهای مناسب فازی و مرحله سوم قطعی سازی و خروج از حالت فازی^۳ به منظور کمک به تفسیر بهتر می باشد [Carranza, 2008].

ب - تعریف

مجموعه کلاسیک A در فضای جهانی U را می توان با فهرست تمامی اعضاء (روش فهرست) یا با مشخص کردن ویژگی هایی که باید توسط اعضاء مجموعه ارضا گردد (روش قاعده) تعریف کرد. در روش قاعده یک مجموعه A را بدین صورت می توان تعریف نمود:

$$A = \{x \in U \mid x \text{ شروطی را برآورده می کند}\} \quad (۳-۶)$$

روش سومی نیز برای تعریف مجموعه A وجود دارد. روش تعلق که یک تابع تعلق دو مقداری (1,0) را برای A معرفی می کند که با $\mu_A(x)$ نشان داده می شود به نحوی که:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \quad \text{اگر} \\ 0, & x \notin A \quad \text{اگر} \end{cases} \quad (۴-۶)$$

^۱ - Fuzzy logic modeling

^۲ - Fuzzification

^۳ - Defuzzification

مجموعه A از لحاظ ریاضی معادل تابع تعلق $\mu_A(x)$ بوده و بنابراین با معلوم بودن $\mu_A(x)$ ، مجموعه A نیز معلوم خواهد بود.

مجموعه‌های کلاسیک دارای مرز معین می‌باشند بنابراین نمی‌توانند بعضی مجموعه‌هایی را که دارای مرزهای مشخص و روشنی نیستند را به درستی تعریف کنند. برای حل این مشکل تئوری مجموعه-های کلاسیک، مجموعه‌های فازی ارائه گردید.

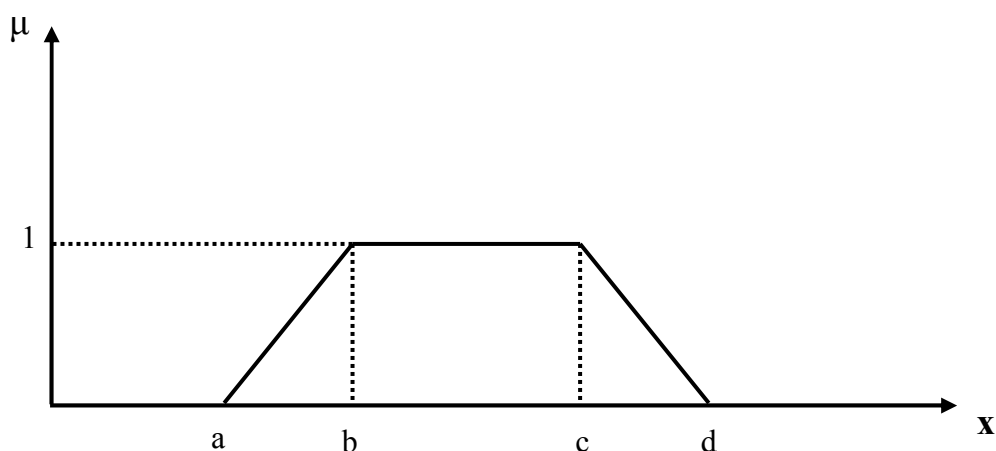
یک مجموعه فازی A در فضای جهانی U به وسیله یک تابع $\mu_A(x)$ که مقادیری در بازه $[0,1]$ اختیار می‌کند. بنابراین یک مجموعه فازی تعمیم یک مجموعه کلاسیک است که اجازه می‌دهد تابع تعلق هر مقداری را در بازه $[0,1]$ اختیار کند. به عبارت دیگر یک مجموعه کلاسیک فقط می‌توانست دو مقدار 0 و 1 داشته باشد در حالی که تابع تعلق یک مجموعه فازی، یک تابع پیوسته در محدوده $[0,1]$ می‌باشد. پس هر چه مقدار $\mu_A(x)$ به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه فازی A است بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان‌دهنده تعلق کمتر x به A است [وانگ، ۱۳۷۸].

ج- توابع عضویت

توابع عضویت دربرگیرنده تمامی اطلاعات مرتبط با مجموعه فازی می‌باشند. توابع عضویت توسط نوع تابع و پارامترهای مرتبط با آن تعریف می‌گردند [Baglio et al., 1994]. از متداول‌ترین توابع عضویت می‌توان به توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای اشاره کرد [Piegat, 2001]. با توجه به اینکه تعیین دقیق مرز جدایش جامعه بی‌هنجاری از زمینه در نقشه‌های مربوطه امکان‌پذیر نیست، تعریف فازی مرز جدایش جامعه بی‌هنجاری و زمینه می‌تواند خطای این تفکیک‌سازی را تا حد زیادی کاهش دهد. با بررسی ویژگی‌های توابع عضویت ذکر شده به نظر می‌رسد که تابع عضویت دوزنقه‌ای به بهترین وجه

می‌تواند نظر کارشناس را اعمال نماید. این تابع که توسط رابطه (۵-۶) تعریف می‌گردد، در شکل ۱-۶ نشان داده شده است [وانگ، ۱۳۷۸].

$$\mu_A(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (۵-۶)$$



شکل ۱-۶: تابع دوزنقه‌ای [وانگ، ۱۳۷۸]

د- عملگرهای فازی

بعد از تخصیص وزن به تمام الگوهای (کلاس‌های مختلف) نقشه‌های شاهد باید کلیه نقشه‌ها با هم تلفیق شوند. در این خصوص عملگرهای فازی زیادی در کتاب‌ها و مقالات پیشنهاد گردیده است. انتخاب نوع عملگر فازی، برای استفاده در تلفیق مجموعه‌های فازی از شواهد فضایی، با در نظر گرفتن اینکه کدام یک از آن‌ها یا کدام ترکیب از آن‌ها می‌تواند وابستگی بین مجموعه الگوهای شاهد را با کانی‌سازی به تصویر بکشد، صورت گیرد. همچنین این انتخاب باید با مدل مفهومی تعیین شده برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی سازگاری داشته باشد [Carranza, 2008].

د-۱ - عملگرهای فازی انفصالی^۱ (S - نرم‌ها)

هر تابع $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ که چهار اصل موضوعه زیر را ارضا نماید، یک عملگر s - نرم نامیده می‌شود [وانگ، ۱۳۷۸]:

اصل موضوعه **s1**: $s(0,a)=s(a,0)=a$, $s(1,1)=1$ (شرط مرزی)

اصل موضوعه **s2**: $s(a,b)=s(b,a)$ (شرط جابجایی)

اصل موضوعه **s3**: اگر $a \leq a'$ و $b \leq b'$ آنگاه $s(a,b) \leq s(a',b')$ (شرط صعودی بودن)

اصل موضوعه **s4**: $s(s(a,b),c)=s(a,s(b,c))$ (شرط شرکت پذیری)

برای هر عملگر s - نرم نامساوی زیر برقرار است:

$$\max(a,b) \leq s(a,b) \leq s_{ds}(a,b) \quad (۶-۶)$$

برای هر $a,b \in [0,1]$

که در رابطه بالا s_{ds} (جمع دراستیک) طبق رابطه زیر تعریف می‌شود [وانگ، ۱۳۷۸]:

$$s_{ds}(a,b) = \begin{cases} a , & b = 0 \\ b , & a = 0 \\ 1 , & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad (۷-۶)$$

نتیجه اعمال عملگر (۶-۶) بر روی توابع عضویت همواره مقداری بزرگتر یا مساوی از بزرگترین عضو توابع عضویت می‌باشد که در آن $a=\mu_A(x)$ و $b=\mu_B(x)$ توابع عضویت فازی هستند.

عملگر (۶-۶) در حالت خاص به عملگر زیر تبدیل می‌شود. عملگر (۸-۶) تحت عنوان عملگر فازی Or نامیده می‌شود [وانگ، ۱۳۷۸].

¹ - Disjunctive

$$s(a,b) = \max(a,b) \quad (۸-۶)$$

عملگر Or فازی به صورت دیگری طبق رابطه زیر تعریف می‌شود [وانگ، ۱۳۷۸]:

$$s_{\gamma}(a, b) = \gamma \max(a, b) + \frac{(1-\gamma)(a+b)}{2} \quad (۹-۶)$$

که $\gamma \in [1,0]$

عملگر Or فازی محدوده $(a + b)/2$ تا $\max(a,b)$ را در برمی‌گیرد و یک عملگر افزایشی است.

از دیگر عملگرهای فازی انفصالی می‌توان به عملگرهای زیر اشاره کرد:

$$s[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cup B}(x) \quad (۱۰-۶)$$

$$s(\mu_1, \dots, \mu_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (۱۱-۶)$$

که در رابطه (۱۱-۶) μ_i تابع عضویت فازی برای i امین تابع عضویت و n تعداد توابع عضویتی است که قرار است ترکیب شوند.

عملگر (۱۱-۶) تحت عنوان عملگر جمع جبری فازی شناخته می‌شود. نتیجه خروجی همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار تابع عضویت فازی می‌باشد و اثر افزایشی دارد. در واقع شواهد همدیگر را تقویت کرده و تأثیر مثبت بیشتری را نسبت به حالت انفرادی خود اعمال می‌کنند [Bonham- Carter, 1995] بنابراین به طور گسترده‌ای در تلفیق نقشه‌های اکتشافی در مواقعی که حضور هر نشانگر مثبت می‌تواند برای اظهار مطلوبیت کافی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد [بونهام کارتر، ۱۳۷۹].

د-۲- عملگرهای فازی ارتباطی^۱ (T - نرم‌ها)

هر تابع $t: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ که چهار اصل موضوعه زیر را ارضا نماید، یک عملگر t - نرم نامیده می‌شود.

اصل موضوعه **t1**: $t(0,0)=0$, $t(a,1)=t(1,a)=a$ (شرط مرزی)

اصل موضوعه **t2**: $t(a,b)=t(b,a)$ (شرط جابجایی)

اصل موضوعه **t3**: اگر $a \leq a'$ و $b \leq b'$ آنگاه $t(a,b) \leq t(a',b')$ (شرط صعودی بودن)

اصل موضوعه **t4**: $t(t(a,b),c)=t(a,t(b,c))$ (شرط شرکت پذیری)

برای هر عملگر t - نرم نامساوی زیر برقرار است [وانگ، ۱۳۷۸]:

$$t_{dp}(a,b) \leq t(a,b) \leq \min(a,b) \quad (۱۲-۶)$$

برای هر $a,b \in [0,1]$

که در رابطه (۱۲-۶) t_{ds} (ضرب دراستیک) طبق رابطه زیر تعریف می‌شود [وانگ، ۱۳۷۸]:

$$t_{ds}(a,b) = \begin{cases} a, & b = 1 \\ b, & a = 1 \\ 0, & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad (۱۳-۶)$$

نتیجه اعمال عملگر (۱۲-۶) بر روی توابع عضویت همواره مقداری کوچکتر یا مساوی از کوچکترین عضو توابع عضویت می‌باشد که در آن $a=\mu_A(x)$ و $b=\mu_B(x)$ توابع عضویت فازی هستند.

عملگر (۱۲-۶) در حالت خاص به عملگر زیر تبدیل می‌شود. عملگر (۱۴-۶) تحت عنوان عملگر فازی And نامیده می‌شود.

¹ - Conjunctive

$$t(a,b) = \min(a,b) \quad (۱۴-۶)$$

عملگر And فازی به صورت دیگری طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$t_p(a,b) = p \min(a,b) + \frac{(1-p)(a+b)}{2} \quad (۱۵-۶)$$

که $p \in [1,0]$

عملگر And فازی محدوده $\min(a,b)$ تا $(a+b)/2$ را در برمی‌گیرد و یک عملگر کاهشی است.

از دیگر عملگرهای فازی ارتباطی می‌توان به عملگرهای زیر اشاره کرد:

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cap B}(x) \quad (۱۶-۶)$$

$$t(\mu_1, \dots, \mu_n) = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (۱۷-۶)$$

که در رابطه (۱۷-۶) μ_i تابع عضویت فازی برای i امین تابع عضویت و n تعداد توابع عضویتی است که قرار است ترکیب شوند.

عملگر (۱۷-۶) تحت عنوان عملگر ضرب جبری فازی شناخته می‌شود. چون در این تابع چندین عدد کوچکتر از یک در هم ضرب می‌شوند، مقدار عضویت به دست آمده همواره کوچکتر یا مساوی کوچکترین مقدار عضویت مشترک می‌باشد. به عبارت دیگر اثر این عملگر کاهنده است [Bonham- Carter, 1995] بنابراین به‌طور گسترده‌ای در تلفیق نقشه‌های اکتشافی در مواقعی که دو یا چند قسمت از شواهد برای اثبات فرضیه‌ای توأمان حضور داشته باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد [بونهام کارتر، ۱۳۷۹].

د-۳- عملگرهای فازی جبرانی^۱ (میانگین)

طبق رابطه (۶-۶) مشاهده می‌شود که برای هر مقدار $a=\mu_A(x)$ و $b=\mu_B(x)$ از مجموعه‌های فازی دلخواه A و B ، مقدار تعلق اجتماع $A \cup B$ (که به وسیله یک s - نرم تعریف شده است) در محدوده $[s_{ds}(a,b), \max(a,b)]$ قرار دارد. به‌طور مشابه، از رابطه (۶-۱۲) مشاهده می‌شود که اشتراک $A \cap B$ (که به وسیله یک t - نرم تعریف شده است) در محدوده $[\min(a,b), t_{dp}(a,b)]$ قرار دارد. بنابراین عملگرهای اجتماع و اشتراک نمی‌توانند تمامی محدوده بین $\min(a,b)$ و $\max(a,b)$ را پوشش دهند [وانگ، ۱۳۷۸]. یا به عبارت دیگر عملگرهای فازی ارتباطی (به سبب ماهیت کاهشی) و عملگرهای فازی انفصالی (به سبب ماهیت افزایشی) همواره مناسب برای تلفیق توابع عضویت نیستند [بونهام کارتر، ۱۳۷۹]. عملگرهایی که تمام محدوده $[\min(a,b), \max(a,b)]$ را پوشش می‌دهند، عملگرهای فازی جبرانی (عملگرهای میانگین) نامیده می‌شوند.

مشابه s - نرم‌ها و t - نرم‌ها یک عملگر میانگین که با γ نشان داده می‌شود، تابعی است از $[0,1] \times [0,1]$ به $[0,1]$.

عملگرهای مختلفی در کتاب‌ها و مقالات برای میانگین معرفی شده است که در اینجا به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود:

عملگر میانگین Max - Min [Carranza, 2002]:

$$\nu_{\gamma}(\mu_1, \dots, \mu_n) = (1-\gamma) \min(\mu_i) + \gamma \max(\mu_i) \quad (۶-۱۸)$$

بسته به مقدار γ نتیجه اعمال این عملگر بر روی توابع عضویت همواره مقداری بین کوچکترین و بزرگترین مقدار تابع عضویت می‌باشد. وقتی γ برابر با یک باشد ترکیب همان Or فازی و وقتی γ صفر باشد، ترکیب And فازی خواهد بود. ضعف این عملگر خارج از ماهیت مدل‌سازی، آن است که تنها

^۱ - Compensatory

توابع عضویت ماکزیمم و مینیمم در نتیجه نهایی نقش دارند (به طور کلی این ضعف در عملگرهای فازی And، Or یا بسطهایی از این دو عملگر، وجود دارد).

عملگر فازی گاما [Zimmerman and zysno, 1980]:

$$v_{\gamma}(\mu_1, \dots, \mu_n) = (\prod_{i=1}^n (\mu_i))^{1-\gamma} (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i))^{\gamma} \quad (19-6)$$

اپراتور فازی گاما ترکیبی از حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی می باشد که در آن پارامتر γ در محدوده صفر تا یک انتخاب می گردد. به طوری که اگر γ یک باشد، ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و اگر γ صفر باشد ترکیب مساوی ضرب جبری فازی است.

انتخاب صحیح و آگاهانه γ ، مقدارهایی در خروجی به وجود می آورد که نقش فزاینده جمع جبری فازی و نقش کاهنده ضرب جبری فازی در آن عمل می کند و کل مجموعه را به حالت تعادل می-رساند [بونهام کارتر، ۱۳۷۹].

میزان تأثیر هریک از توابع عضویت در نتیجه نهایی با به کارگیری عملگرهایی که تا اینجا مورد مطالعه قرار گرفتند یکسان در نظر گرفته می شوند، در حالی که در برخی از مسائل ممکن است برخی از ملاکها تأثیر بیشتری در مدل نهایی داشته باشند. بنابراین می بایست میزان اهمیت هر یک از پارامترها در مدل نهایی مورد ارزیابی و اعمال گردد. میزان اهمیت هر یک از پارامترها با معرفی پارامتری تحت عنوان فاکتور وزنی لحاظ می گردد. فاکتور وزنی یک مقدار عددی بیشتر از صفر است که میزان اهمیت هریک از معیارها را نسبت به معیارهای دیگر مورد ارزیابی قرار می دهد. مقادیر بزرگتر فاکتور وزنی بر اهمیت بیشتر فاکتور مورد نظر دلالت دارد. معمولاً مقادیر وزنی بین صفر و یک انتخاب گردیده و به واسطه رابطه زیر نرمالیزه می شود [kaymak, 1998].

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (20-6)$$

عملگرهای متفاوتی برای جمع وزنی ملاک‌ها پیشنهاد گردیده است. یکی از عملگرهای وزنی مشهور توسط یاگر به صورت زیر پیشنهاد گردیده است [Yager, 1978]:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \Lambda_{i=1}^n (\mu_i)^{w_i} \quad (21-6)$$

با اعمال این عملگر ابتدا هر یک از اعضای توابع توابع عضویت به توان فاکتور وزنی متناسب با آن رسیده و در نهایت مقدار مینیم آن‌ها به عنوان نتیجه نهایی لحاظ می‌شود. منطق حاکم بر این عملگر آن است که مقدار عضوی که به توان وزنی کوچکتر رسیده افزایش بیشتری داشته و احتمال آنکه عنوان کوچکترین مقدار عضویت را کسب کند کمتر خواهد بود [kaymak, 1998].

عملگر دیگری که توسط Dubois and Prade (1986) پیشنهاد شده به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \Lambda_{i=1}^n [(1 - w_i)V\mu_i] \quad (22-6)$$

به جز این عملگرها بسطهای وزنی از توابع t - نرم توسط Kaymak and Sousa (2003) پیشنهاد گردیده است.

عملگر وزنی حاصل ضرب فازی [Kaymak and Sousa, 2003]:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \prod_{i=1}^n (\mu_i)^{w_i} \quad (23-6)$$

همچنین یک بسط وزنی از تابع t - نرم توسط Hamacher به صورت زیر ارائه گردیده است:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n w_i \frac{1 - \mu_i}{\mu_i}} & \text{if } \forall i, \mu_i > 0 \\ 0 & \text{if } \exists i, \mu_i = 0 \end{cases} \quad (24-6)$$

و در نهایت بسط وزنی عملگر Yager به صورت زیر معرفی می‌گردد:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \max(0, 1 - \sqrt[s]{\sum_{i=1}^n w_i (1 - \mu_i)^s}) \quad s > 0 \quad (25-6)$$

نتیجه اعمال این عملگرها بر روی توابع عضویت با اعمال شرط رابطه (۶-۲۰) همواره مقداری بین کوچکترین و بزرگترین توابع عضویت و تأثیرپذیرتر نسبت به پارامترهایی با وزن بیشتر خواهد بود. تغییرات پارامتر S در رابطه (۶-۲۵) سازگاری قابل انعطافی بین توابع عضویت مینیمم و ماکزیمم را به همراه خواهد داشت (مقدار بالای S گرایش به توابع عضویت مینیمم و مقادیر پایین S گرایش به توابع عضویت ماکزیمم خواهد داشت).

۶-۷- مدل سازی و تلفیق پارامترهای اکتشافی به روش هم پوشانی شاخص

جهت مدل سازی ابتدا تمام اطلاعات موجود شامل سه پارامتر مقاومت ویژه، عمق و ضخامت پس از پردازش اولیه گروه بندی شده اند سپس هر کدام از پارامترهای مذکور به طور مجزا وزن دهی شده و نقشه های نشانگر هر کدام تهیه شده است. در آخرین مرحله تمام نقشه های نشانگر با در نظر گرفتن مقادیر ارزش متفاوت مورد تلفیق قرار گرفته اند. لازم به ذکر است جهت مدل سازی و تهیه نقشه پتانسیل آبی محدوده مورد مطالعه از نسخه^۱ Spatial Analyst موجود در نرم افزار ArcGIS استفاده شده است.

۶-۷-۱- پارامتر عمق

با توجه به اینکه در امر اکتشاف منابع آب زیرزمینی، دستیابی به منابع آب با عمق کمتر از نظر اقتصادی دارای ارزش بالاتری است بنابراین به عمق کمتر آب، ارزش وزنی بالاتر و به عمق بیشتر آب، وزن کمتری داده ایم. عمق لایه آبدار به بازه های ۱۰ و ۱۵ متری تفکیک شده است. تفکیک عمق لایه آبدار به تعداد بازه ها یا گروه های بیشتر، احتمالاً نه تنها به تعیین مناطق آبدار با پتانسیل مختلف

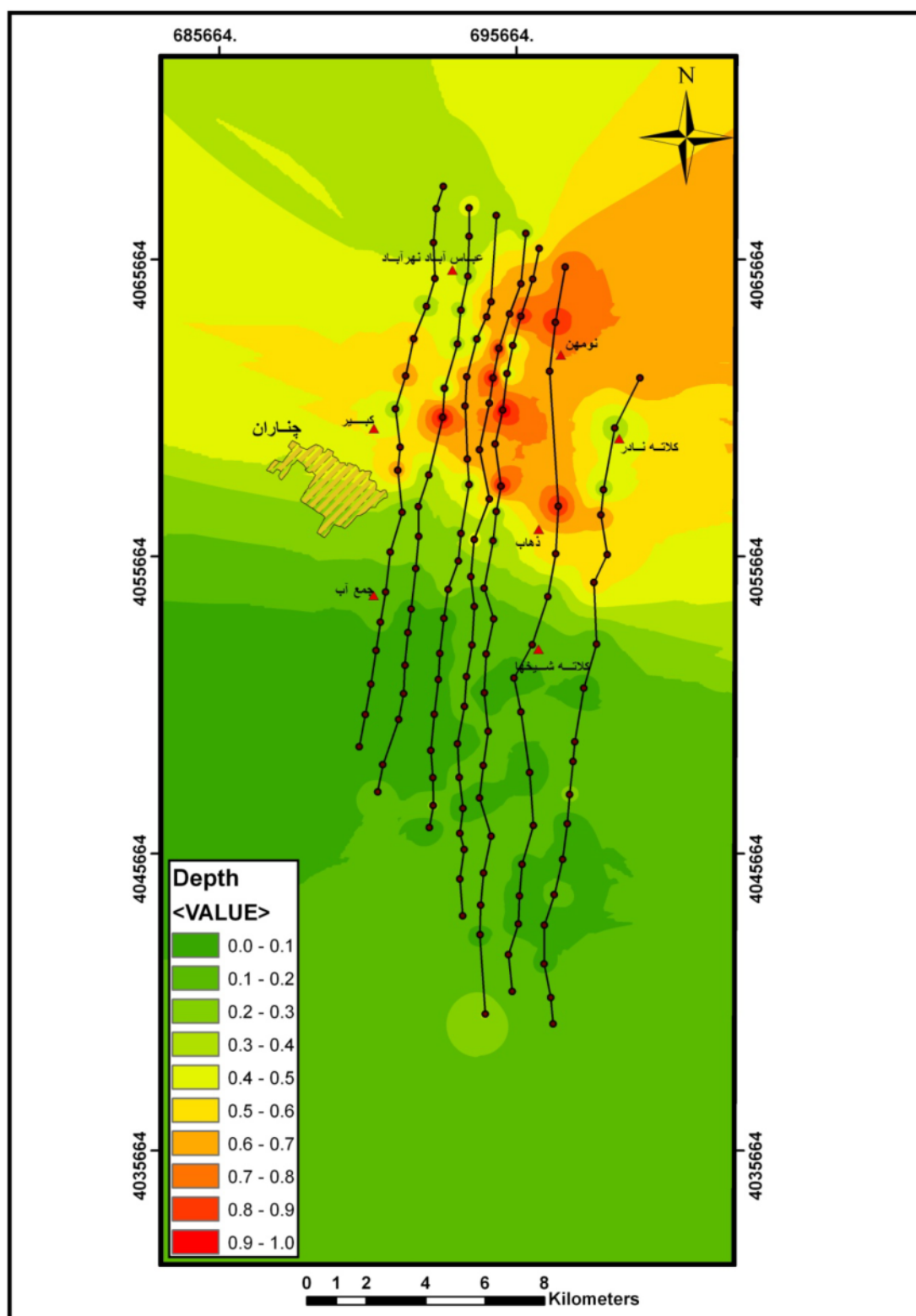
^۱. Extention

کمک نمی‌کند بلکه حتی ممکن است باعث پیچیدگی بیشتر و همچنین باعث افزایش تقسیم‌بندی-های غیر ضروری مناطق آبدار از نظر پتانسیل آب و بالا رفتن حجم کار شود. بنا به دلایل گفته شده، در این پژوهش یک گروه‌بندی متعادل (تعداد ۹ گروه) برای وزن‌دهی لایه عمق انتخاب شده است. سپس جهت وزن‌دهی به مناطق آنومال به هر گروه یک مقدار ارزش به صورت زیر نسبت داده شده است:

جدول ۶-۱: مقادیر ارزش مربوط به عمق‌های مختلف

D	μ_d	D	μ_d	D	μ_d
$D \leq 20$	۰/۹	$50 < D \leq 65$	۰/۶	$90 < D \leq 100$	۰/۳
$20 < D \leq 35$	۰/۸	$65 < D \leq 80$	۰/۵	$100 < D \leq 110$	۰/۲
$35 < D \leq 50$	۰/۷	$80 < D \leq 90$	۰/۴	$D > 110$	۰/۱

لایه مذکور بر اساس مقادیر ارزش نسبت داده شده به لایه رستری تبدیل شده است (شکل ۶-۲). همان‌طور که از شکل پیداست عمق لایه آبدار در نیمه جنوبی پروفیل‌ها دارای مقدار ارزش کمتر از ۰/۳ می‌باشد که به دلیل عمق زیاد لایه آبدار در این نواحی می‌باشد، اما در نواحی شمالی پروفیل‌ها به خصوص پروفیل‌های N، O و P دارای عمق کمی بوده و از وزن بالایی (بیشتر از ۰/۸) برخوردار می‌باشد و در نتیجه نواحی شمالی، از نظر عمق آب، دارای عمق کمتری بوده و مطلوب‌تر می‌باشند.



شکل ۶-۲- لایه وزن دار شده عمق

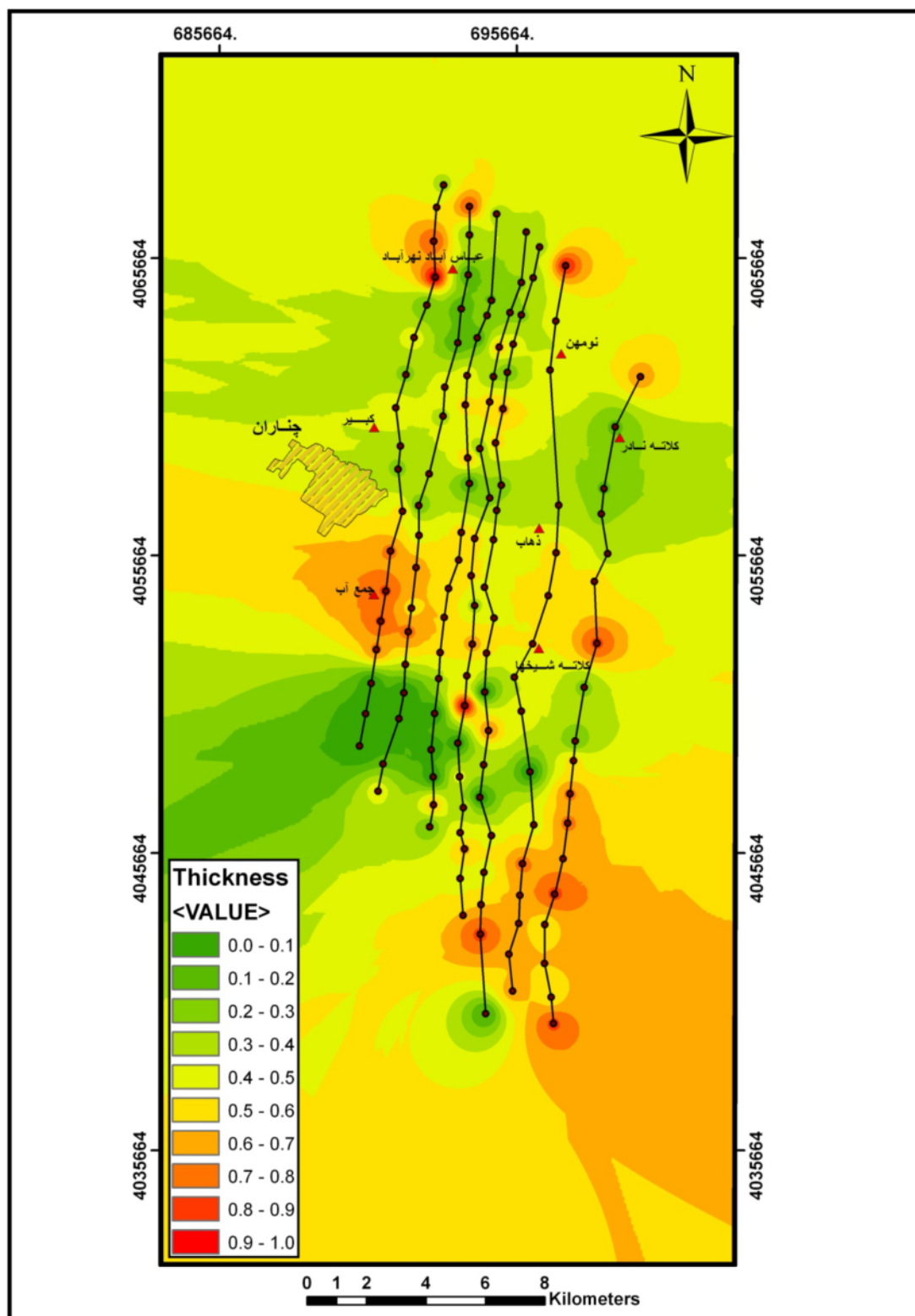
۶-۷-۲- پارامتر ضخامت

از آنجا که چاه‌های حفر شده در لایه‌های آبدار با ضخامت زیاد، از آبدهی بالایی برخوردارند، بنابراین در اکتشاف منابع آب زیرزمینی، لایه‌های آبدار با ضخامت زیاد از اهمیت بیشتری نسبت به لایه‌های آبدار با ضخامت کم برخوردارند و در نتیجه دارای ارزش وزنی بیشتری نسبت به لایه‌های با ضخامت کم می‌باشند. با توجه به اینکه پارامتر ضخامت همانند پارامتر عمق به طور مستقیم با لایه آبدار رابطه دارد و بنا به دلایلی که در بخش ۶-۷-۲ در مورد پارامتر عمق گفته شد، ضخامت لایه آبدار در ۹ گروه متفاوت دسته‌بندی شده است. جهت وزن‌دهی به مناطق آنومال به هر گروه یک مقدار ارزش نسبت داده شده است (جدول ۶-۲).

جدول ۶-۲: مقادیر ارزش مربوط به ضخامت‌های مختلف

E	μ_e	E	μ_e	E	μ_e
$E \leq 30$	۰/۱	$70 < E \leq 90$	۰/۴	$140 < E \leq 160$	۰/۷
$30 < E \leq 50$	۰/۲	$90 < E \leq 120$	۰/۵	$160 < E \leq 200$	۰/۸
$50 < E \leq 70$	۰/۳	$120 < E \leq 140$	۰/۶	$200 < E \leq 240$	۰/۹

لایه مذکور براساس امتیاز داده شده به لایه رستری تبدیل و برای تلفیق نهایی آماده گردیده است (شکل ۶-۳). با توجه به شکل نیمه شمالی پروفیل‌ها به جز چند نقطه خاص دارای ارزش کمتر از ۰/۲ می‌باشد و در نواحی مرکزی پروفیل‌ها و قسمت‌های جنوبی پروفیل‌های M و N دارای مقدار ارزش بیش از ۰/۶ می‌باشد. در نتیجه از نظر ضخامت لایه آبدار نواحی مرکزی و قسمت‌های جنوبی پروفیل‌های M و N مطلوب‌تر به نظر می‌رسند چرا که ضخامت لایه آبدار در این قسمت‌ها و نواحی بیشتر است.



شکل ۶-۳- لایه وزن دار شده ضخامت

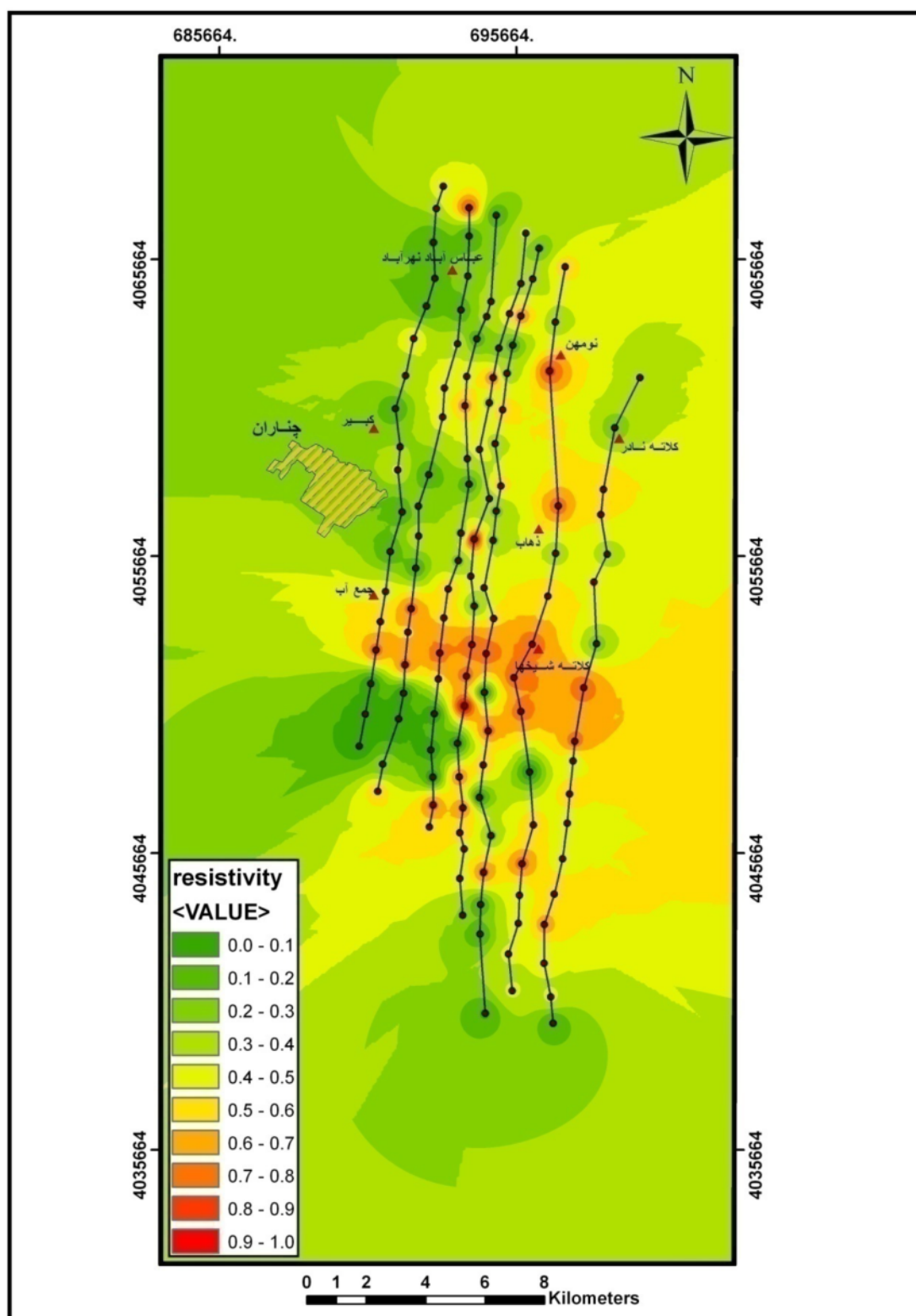
۶-۷-۳- پارامتر مقاومت ویژه

در بحث هیدروژئولوژی، میزان آبدهی و همچنین کیفیت آب در مشخص کردن پتانسیل آب منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. این دو ویژگی را می‌توان به مقاومت ویژه لایه آبدار نسبت داد. از آنجا که آبدهی کمتر چاه می‌تواند به رس بالای موجود در سفره نسبت داده شود که مقاومت ویژه لایه آبدار را پایین می‌آورد و همچنین کیفیت بالاتر آب که در اینجا به میزان املاح یا شوری کمتر نسبت داده می‌شود، در نتیجه مقاومت ویژه لایه آبدار به این صورت به کیفیت آب مربوط می‌شود که کیفیت بهتر آب یا شوری کمتر آب، سبب می‌شود مقاومت ویژه لایه آبدار بالاتر باشد و برعکس کیفیت بدتر آب یا شوری بیشتر آب، منجر به مقاومت ویژه کمتر لایه آبدار می‌گردد (البته مقاومت ویژه لایه آبدار به عوامل دیگری از جمله تخلخل، دانه‌بندی و غیره نیز مربوط می‌شود که در اینجا از بیان و تأثیر دادن آن عوامل در این بحث صرف‌نظر شده است). بنابراین لایه آبدار با مقاومت ویژه بالاتر از ارزش وزنی بیشتری نسبت به لایه آبدار با مقاومت ویژه پایین‌تر برخوردار می‌باشد. از آنجا که وجود اختلاف مقاومت ویژه ۱۰ اهم - متر یا کمتر بین دو لایه آبدار سبب تفاوت چندان زیادی در خصوصیات آن دو لایه از نظر میزان آبدهی و همچنین کیفیت آب فرق نمی‌شود، بنابراین بازه‌ها یا گروه‌های ۲۰ و ۳۰ اهم - متری برای وزن‌دهی به مقاومت ویژه لایه آبدار انتخاب شده است. انتخاب بازه‌های بزرگتر (مثلاً ۴۰ اهم - متری یا بالاتر) برای مقاومت ویژه لایه آبدار، تفاوت غیر قابل انکاری در کیفیت و مطلوبیت دو لایه آبدار مشابه با مقدار مقاومت ویژه متفاوت ایجاد می‌کند (مثلاً تفاوت بسیار زیادی بین کیفیت یا شوری آب و یا میزان رس دو لایه آبدار مشابه با مقاومت ویژه‌های ۴۰ و ۸۰ اهم - متر دیده می‌شود). برای دستیابی به لایه رستری مقاومت ویژه، مقادیر مقاومت ویژه در پنج کلاس متفاوت گروه-بندی شده‌اند به‌طوری که به حداکثر مقدار مقاومت ویژه ارزش ۰/۹ و به ترتیب ارزش‌های ۰/۷ و ۰/۵ به مقادیر پایین‌تر اختصاص داده شده است (جدول ۶-۳).

جدول ۳-۶: مقادیر ارزش مربوط به مقاومت ویژه‌های مختلف

ρ	$\rho < 30$	$30 \leq \rho < 50$	$50 \leq \rho < 70$	$70 \leq \rho < 90$	$\rho \geq 90$
μ_ρ	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹

لایه مقاومت ویژه بر اساس مقادیر وزنی موجود در جدول بالا به یک لایه وزن‌دار تبدیل شده است که در شکل (۴-۶) مشاهده می‌شود. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که تقریباً در کل طول پروفیل N و همچنین در نواحی مرکزی پروفیل‌ها مقادیر وزنی بالای ۰/۵ می‌باشد و از نظر آبدهی و کیفیت آب، این نواحی مطلوب‌تر به نظر می‌رسند.



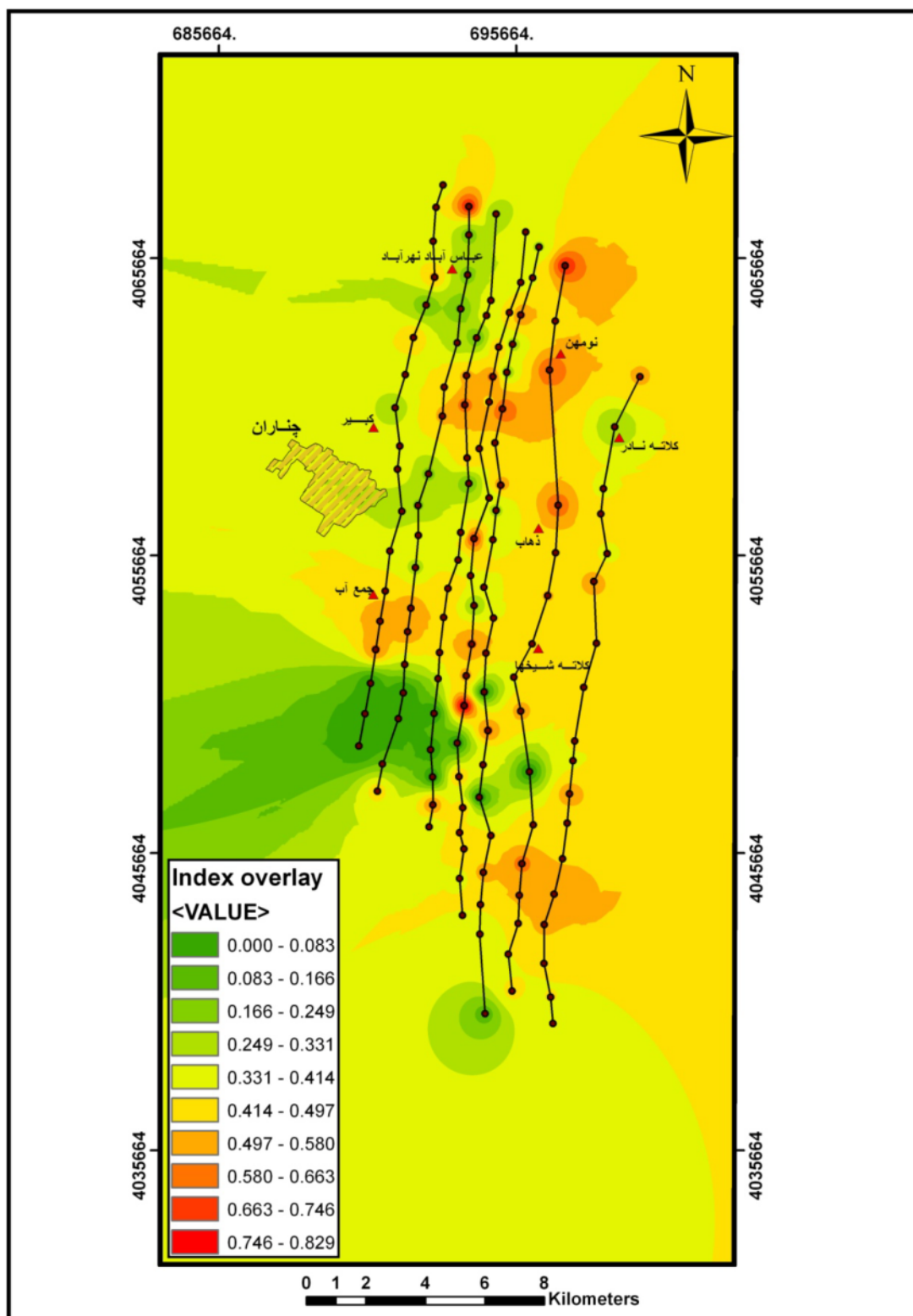
شکل ۴-۶- لایه وزن دار شده مقاومت ویژه

۶-۷-۴- تلفیق نهایی لایه‌های اطلاعاتی با روش همپوشانی شاخص

هدف از اکتشاف منابع آب زیرزمینی، دستیابی به لایه‌های آبدار با آبدهی بالا و با کیفیت مطلوب (با میزان شوری و املاح پایین) می‌باشد. از آنجا که این دو ویژگی (آبدهی و کیفیت) به مقاومت ویژه لایه آبدار مربوط می‌شوند، بنابراین مقاومت ویژه لایه آبدار دارای وزن بیشتری نسبت به ضخامت و عمق لایه آبدار می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه آبدهی لایه آبدار به ضخامت لایه آبدار نیز نسبت داده می‌شود، بنابراین ضخامت لایه آبدار دارای وزن بیشتری نسبت به عمق لایه آبدار می‌باشد. در نهایت برای مدل‌سازی نواحی با پتانسیل آبی بالا و کیفیت خوب آب به لایه مقاومت ویژه مقدار وزنی $0/45$ ، لایه ضخامت مقدار $0/35$ و لایه عمق مقدار $0/2$ داده شده است. مدل نهایی که با روش تلفیق هم-پوشانی شاخص به دست آمده و معرف نواحی امیدبخش با خصوصیات پتانسیل آبی بالا و کیفیت خوب آب می‌باشد، در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود. با توجه به شکل مذکور در بیشتر محدوده مطالعاتی مقدار ارزش بیش از $0/5$ می‌باشد. این مقدار در بعضی نواحی مانند قسمت‌های شمالی پروفیل N، محل سونداژهای O5 و P5، نواحی جنوبی پروفیل‌های M و N، محل سونداژهای S14، S15، R12 و R13 دارای مقدار وزن بالای $0/7$ می‌باشد که به وجود پتانسیل آبی بالا و با کیفیت کلی خوب آب در این مناطق دلالت می‌کند. ارزش وزنی اطراف سونداژ P14 به بیشترین مقدار می‌رسد.

مقدار ارزش در بیشتر طول پروفیل Q، R و S (نواحی شمالی و مرکزی) دارای مقادیر زیر $0/2$ می‌باشد که بیشتر نشان از شوری و رسی بودن لایه آبدار (پایین بودن مقاومت ویژه) و همچنین بالا بودن سنگ کف (ضخامت کم لایه آبدار) در این مناطق می‌باشد. مقدار ارزش در قسمت‌های جنوبی پروفیل Q، R و S دارای کمتری مقدار می‌باشد که به دلیل خشک بودن این مناطق می‌باشد.

در اینجا قابل ذکر است که می‌توان مدل‌های تلفیقی نهایی با ارزش‌های وزنی متفاوت سه پارامتر مقاومت ویژه، ضخامت و عمق در نظر گرفت که برای رعایت اختصار و همچنین عدم وجود تفاوت کاملاً آشکار بین نتایج به دست آمده در اینجا آورده نشده است.

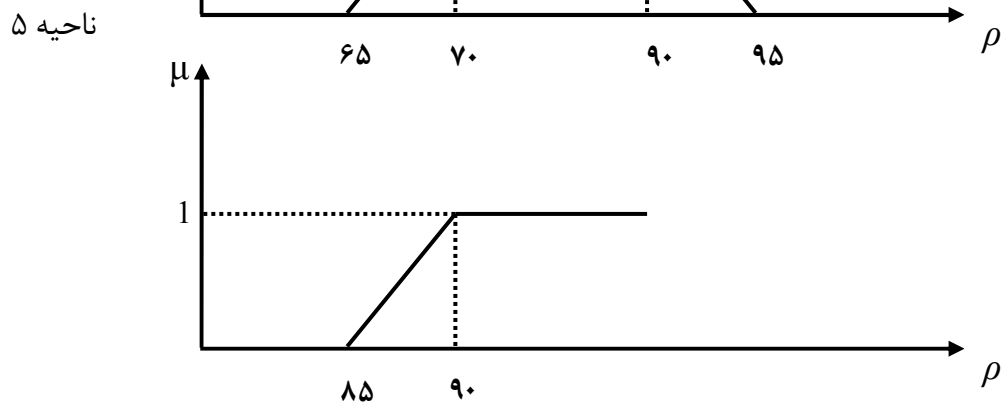
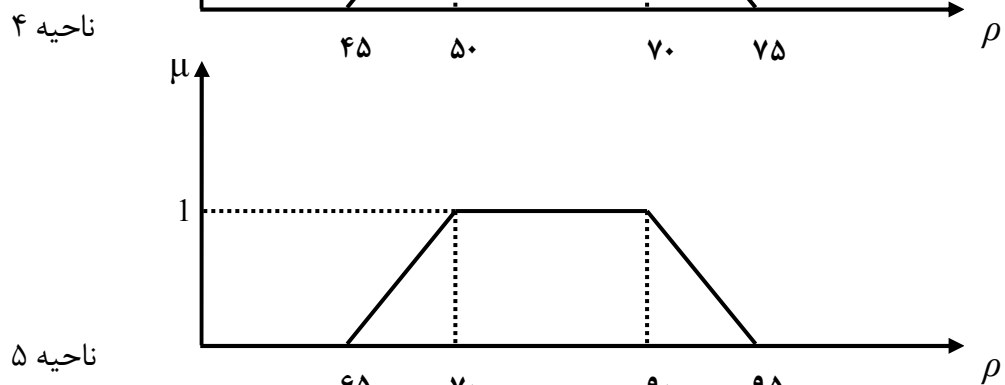
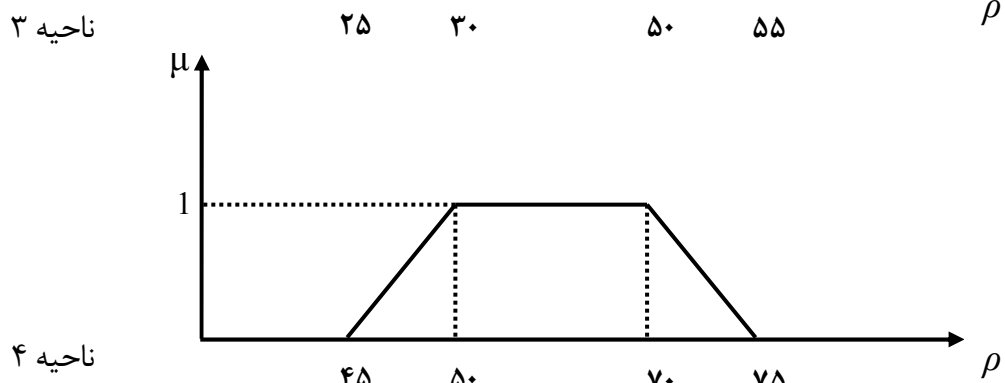
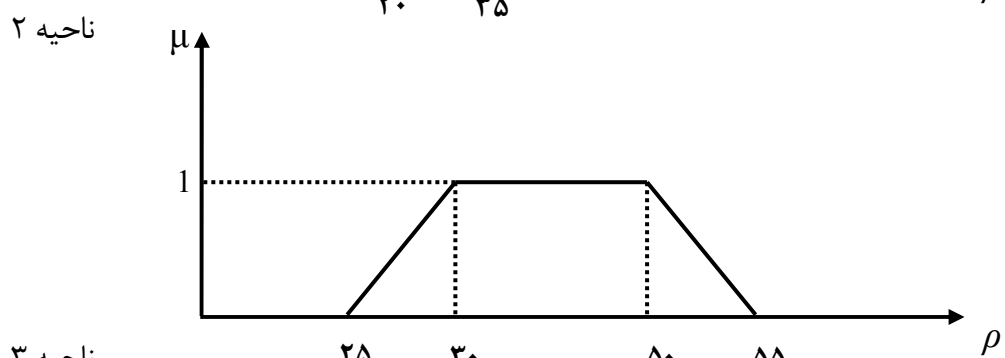
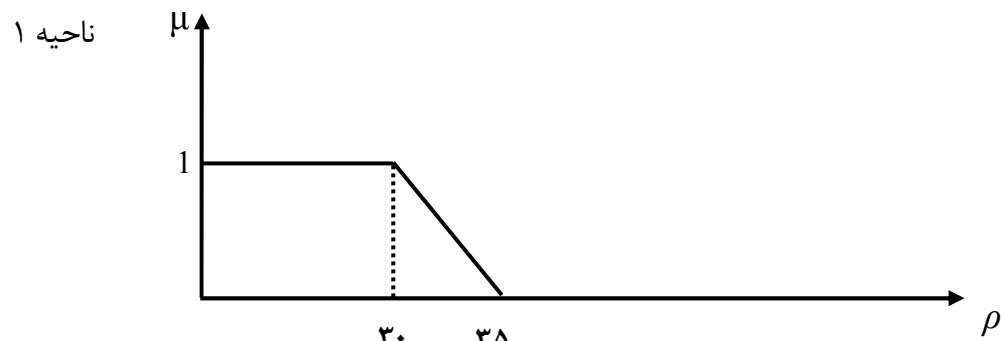


شکل ۵-۶- نواحی امید بخش پتانسیل آبی

۸-۶- مدل سازی و تلفیق پارامترهای اکتشافی به روش منطق فازی

۸-۶-۱- فازی سازی پارامترهای اکتشافی

در این مرحله سه پارامتر مقاومت ویژه، عمق و ضخامت به منظور ارائه نقشه نهایی، فازی سازی شده- اند. توابع عضویت دوزنقه‌ای مربوط به سه پارامتر مذکور در جدول ۴-۶ آمده است و همچنین برای مثال نمودارهای توابع عضویت دوزنقه‌ای مربوط به پارامتر مقاومت ویژه در شکل ۶-۶ نشان داده شده است. در شکل ۶-۶ قسمت‌های مرزی توابع دوزنقه‌ای به دلیل هم‌پوشانی مقاومت ویژه انواع لایه‌های آبدار (با میزان رس و املاح متفاوت)، و به منظور کاهش خطای جداسازی تعریف شده‌اند. تفکیک این پنج ناحیه برای مقاومت ویژه و همچنین تفکیک نه ناحیه برای عمق و ضخامت با توجه به نظر کارشناسی بوده است. توابع ریاضی f_1 تا f_9 به ترتیب مرتبط با نواحی ۱ تا ۹ در پارامتر مورد نظر می- باشند.



شکل ۶-۶- تابع عضویت دوزنقه‌ای پارامتر مقاومت ویژه

جدول ۴-۶- روابط ریاضی توابع عضویت دوزنقه‌ای پارامترهای اکتشافی

ناحیه	ضخامت	عمق	مقاومت ویژه
۱	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 30 \\ \frac{1}{3}(33-x) & 30 \leq x < 33 \\ 3 & \\ 0 & x \geq 33 \end{cases}$	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 20 \\ \frac{1}{2}(22-x) & 20 \leq x < 22 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 22 \end{cases}$	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 30 \\ \frac{1}{5}(35-x) & 30 \leq x < 35 \\ 5 & \\ 0 & x \geq 35 \end{cases}$
۲	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 28 \\ \frac{1}{2}(x-28) & 28 \leq x < 30 \\ 2 & \\ 1 & 30 \leq x < 50 \\ \frac{1}{2}(52-x) & 50 \leq x < 52 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 52 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 18 \\ \frac{1}{2}(x-18) & 18 \leq x < 20 \\ 2 & \\ 1 & 20 \leq x < 35 \\ \frac{1}{2}(37-x) & 35 \leq x < 37 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 37 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 25 \\ \frac{1}{5}(x-25) & 25 \leq x < 30 \\ 5 & \\ 1 & 30 \leq x < 50 \\ \frac{1}{5}(55-x) & 50 \leq x < 55 \\ 5 & \\ 0 & x \geq 55 \end{cases}$
۳	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 48 \\ \frac{1}{2}(x-48) & 48 \leq x < 50 \\ 2 & \\ 1 & 50 \leq x < 70 \\ \frac{1}{2}(72-x) & 70 \leq x < 72 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 72 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 33 \\ \frac{1}{2}(x-33) & 33 \leq x < 35 \\ 2 & \\ 1 & 35 \leq x < 50 \\ \frac{1}{2}(52-x) & 50 \leq x < 52 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 52 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 45 \\ \frac{1}{5}(x-45) & 45 \leq x < 50 \\ 5 & \\ 1 & 50 \leq x < 70 \\ \frac{1}{5}(75-x) & 70 \leq x < 75 \\ 5 & \\ 0 & x \geq 75 \end{cases}$
۴	$f_4 = \begin{cases} 0 & x < 68 \\ \frac{1}{2}(x-68) & 68 \leq x < 70 \\ 2 & \\ 1 & 70 \leq x < 90 \\ \frac{1}{2}(92-x) & 90 \leq x < 92 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 92 \end{cases}$	$f_4 = \begin{cases} 0 & x < 48 \\ \frac{1}{2}(x-48) & 48 \leq x < 50 \\ 2 & \\ 1 & 50 \leq x < 65 \\ \frac{1}{2}(67-x) & 65 \leq x < 67 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 67 \end{cases}$	$f_4 = \begin{cases} 0 & x < 65 \\ \frac{1}{5}(x-65) & 65 \leq x < 70 \\ 5 & \\ 1 & 70 \leq x < 90 \\ \frac{1}{5}(95-x) & 90 \leq x < 95 \\ 5 & \\ 0 & x \geq 95 \end{cases}$
۵	$f_5 = \begin{cases} 0 & x < 87 \\ \frac{1}{3}(x-87) & 87 \leq x < 90 \\ 3 & \\ 1 & 90 \leq x < 120 \\ \frac{1}{3}(123-x) & 120 \leq x < 123 \\ 3 & \\ 0 & x \geq 123 \end{cases}$	$f_5 = \begin{cases} 0 & x < 63 \\ \frac{1}{2}(x-63) & 63 \leq x < 65 \\ 2 & \\ 1 & 65 \leq x < 80 \\ \frac{1}{2}(82-x) & 80 \leq x < 82 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 82 \end{cases}$	$f_5 = \begin{cases} 1 & x < 85 \\ \frac{1}{2}(x-108) & 85 \leq x < 90 \\ 2 & \\ 0 & x \geq 90 \end{cases}$

ادامه جدول ۴-۶

ناحيه	ضخامت	عمق
٦	$f_6 = \begin{cases} 0 & x < 118 \\ \frac{1}{2}(x - 118) & 118 \leq x < 120 \\ 1 & 120 \leq x < 140 \\ \frac{1}{2}(142 - x) & 140 \leq x < 142 \\ 0 & x \geq 142 \end{cases}$	$f_6 = \begin{cases} 0 & x < 78 \\ \frac{1}{2}(x - 78) & 78 \leq x < 80 \\ 1 & 80 \leq x < 90 \\ \frac{1}{2}(90 - x) & 90 \leq x < 92 \\ 0 & x \geq 92 \end{cases}$
٧	$f_7 = \begin{cases} 0 & x < 138 \\ \frac{1}{2}(x - 138) & 138 \leq x < 140 \\ 1 & 140 \leq x < 160 \\ \frac{1}{2}(162 - x) & 160 \leq x < 162 \\ 0 & x \geq 162 \end{cases}$	$f_7 = \begin{cases} 0 & x < 88 \\ \frac{1}{2}(x - 88) & 88 \leq x < 90 \\ 1 & 90 \leq x < 100 \\ \frac{1}{2}(102 - x) & 100 \leq x < 102 \\ 0 & x \geq 102 \end{cases}$
٨	$f_8 = \begin{cases} 0 & x < 155 \\ \frac{1}{5}(x - 155) & 155 \leq x < 160 \\ 1 & 160 \leq x < 200 \\ \frac{1}{5}(205 - x) & 200 \leq x < 205 \\ 0 & x \geq 205 \end{cases}$	$f_8 = \begin{cases} 0 & x < 98 \\ \frac{1}{5}(x - 98) & 98 \leq x < 100 \\ 1 & 100 \leq x < 110 \\ \frac{1}{5}(112 - x) & 110 \leq x < 112 \\ 0 & x \geq 112 \end{cases}$
٩	$f_9 = \begin{cases} 0 & x < 195 \\ \frac{1}{5}(x - 155) & 195 \leq x < 200 \\ 1 & 200 \leq x < 240 \\ \frac{1}{5}(245 - x) & 240 \leq x < 245 \\ 0 & x \geq 245 \end{cases}$	$f_9 = \begin{cases} 1 & x < 108 \\ \frac{1}{2}(x - 108) & 108 \leq x < 110 \\ 0 & x \geq 110 \end{cases}$

برای پارامتر اکتشافی مقاومت ویژه مقادیر ارزش فازی ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ را به ترتیب برای نواحی یک تا پنج در نظر گرفته‌ایم. برای پارامتر عمق مقادیر ارزش فازی ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵، ۰/۴، ۰/۳ و ۰/۲ به ترتیب برای نواحی یک تا نه و در نهایت برای پارامتر ضخامت مقادیر ارزش فازی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ به ترتیب برای نواحی یک تا نه در نظر گرفته شده است.

برای مثال برای تهیه نقشه فازی پارامتر اکتشافی مقاومت ویژه، مقدار فازی هر سلول طبق رابطه زیر محاسبه شده است:

$$\mu_x = \frac{0.1f_1 + 0.3f_2 + 0.5f_3 + 0.7f_4 + 0.9f_5}{\sum_{i=1}^5 f_i} \quad (26-6)$$

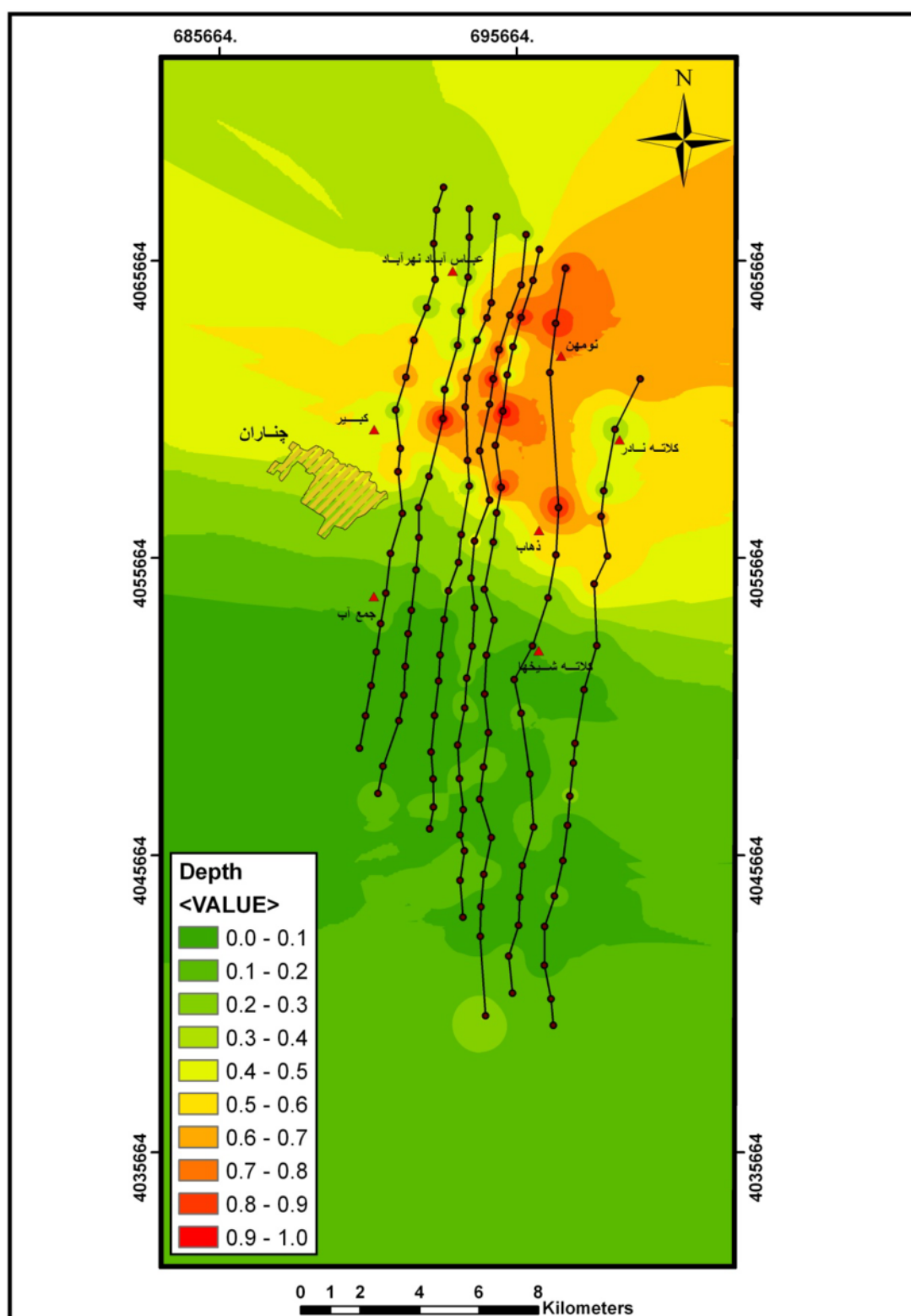
که در رابطه بالا مقادیر f_1 تا f_5 به ترتیب میزان تعلق هر سلول مشخص به نواحی یک تا پنج در نقشه مقاومت ویژه خواهد بود.

مثلاً برای مقدار $\rho = 68$ مقدار فازی برابر است با:

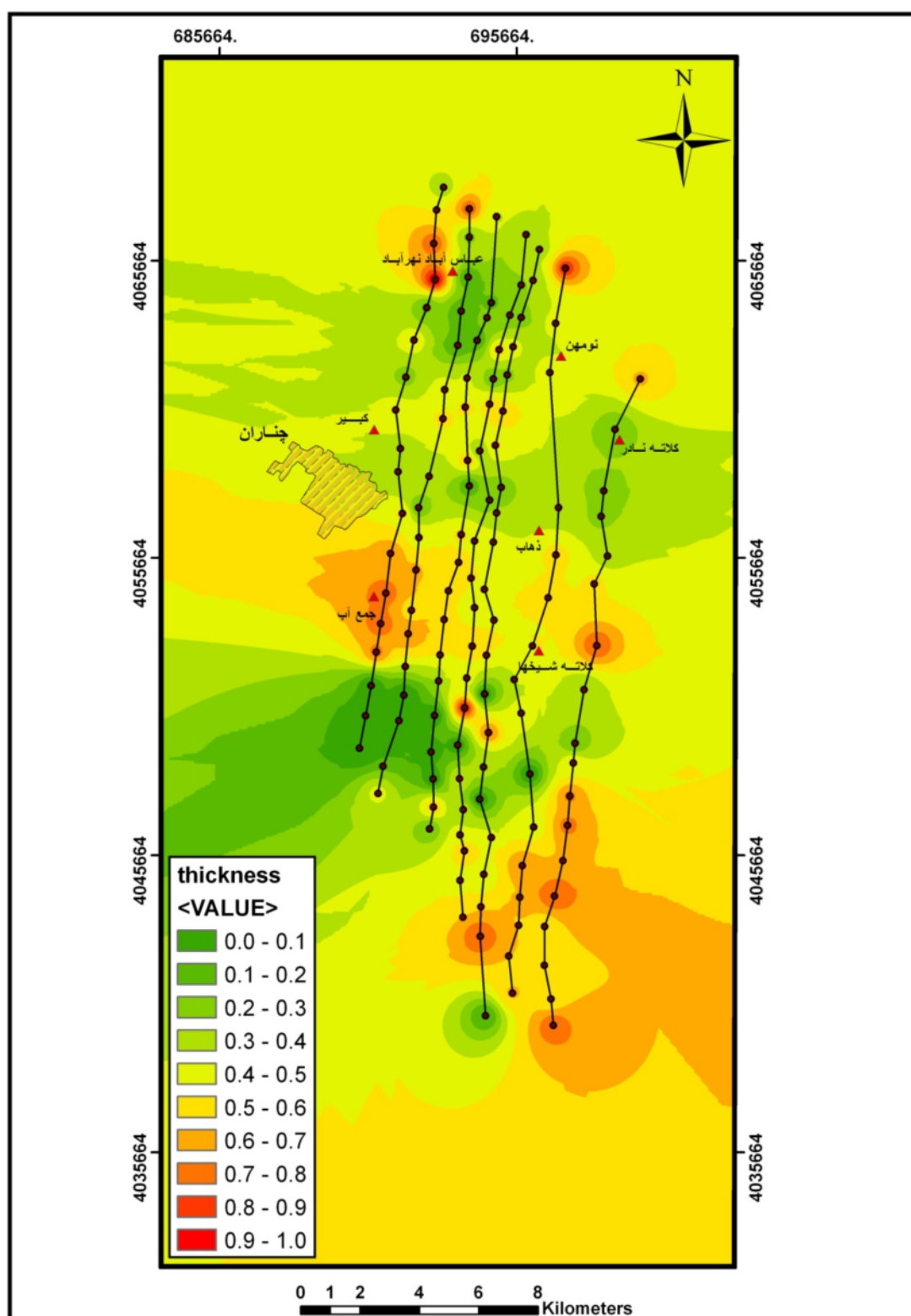
$$\mu_x = \frac{0.1(0) + 0.3(0) + 0.5(1) + 0.7(0.6) + 0.9(0)}{0 + 0 + 1 + 0.6 + 0} = 0.575 \quad (27-6)$$

برای تهیه نقشه‌های فازی عمق و ضخامت نیز به همین طریق عمل کرده‌ایم. نقشه‌های فازی عمق، ضخامت و مقاومت ویژه به ترتیب در شکل‌های (۶-۷)، (۶-۸) و (۶-۹) نشان داده شده است. با توجه به نقشه فازی عمق، مقدار ارزش فازی در نواحی جنوبی پروفیل‌ها کمتر از ۰/۲ و در اکثر نواحی شمالی دارای مقدار بالای ۰/۵ می‌باشد که نشانه عمق کم لایه آبدار در نواحی شمالی می‌باشد. در نقشه فازی ضخامت (شکل ۶-۸)، در محل سونداژهای N1، R1، S3 و S4، در نواحی جنوبی پروفیل‌های M و N، همچنین در نواحی مرکزی پروفیل‌های R و S دارای مقدار فازی بالای ۰/۷ می‌باشد. در نقشه فازی مقاومت ویژه (شکل ۶-۹)، در بخش اعظمی از نواحی مرکزی پروفیل‌ها، در محل

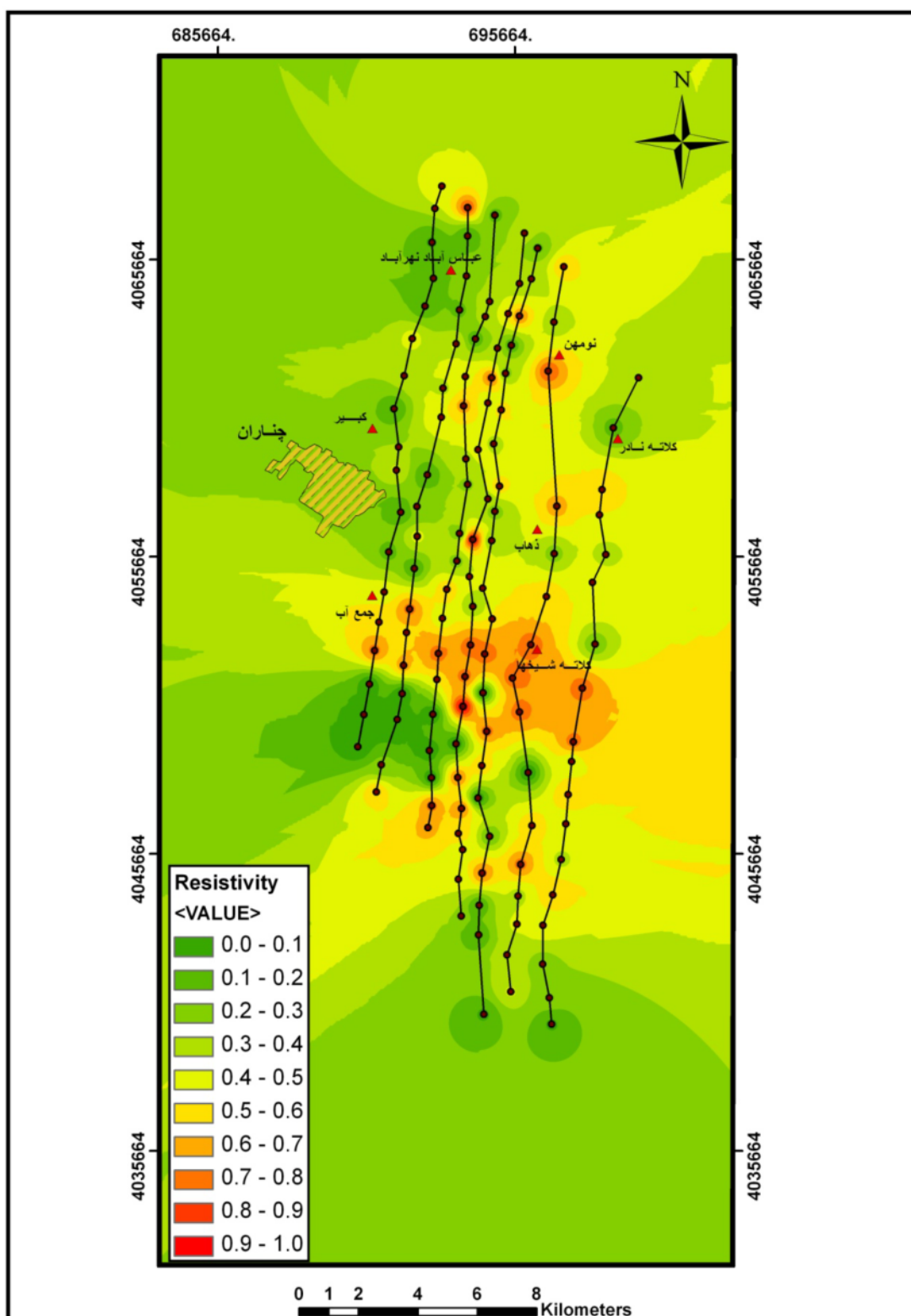
سونداژهای N3 و N4، همچنین در دو سونداژ انتهایی پروفیل P مقدار ارزش فازی بیش از ۰/۷ می-
باشد.



شکل ۶-۷- نقشه فازی پارامتر عمق



شکل ۶-۸- نقشه فازی ضخامت

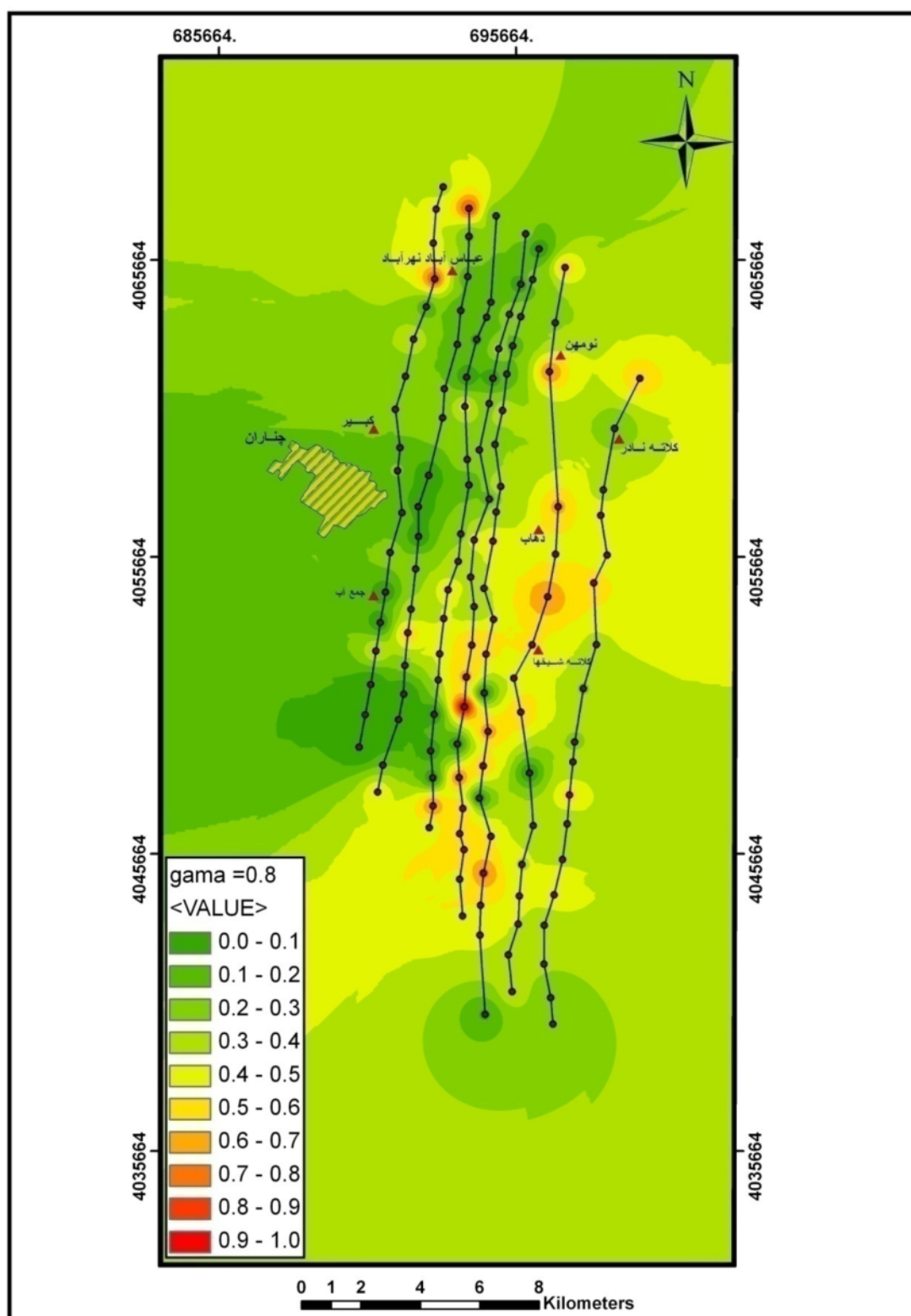


شکل ۶-۹- نقشه فازی مقاومت ویژه

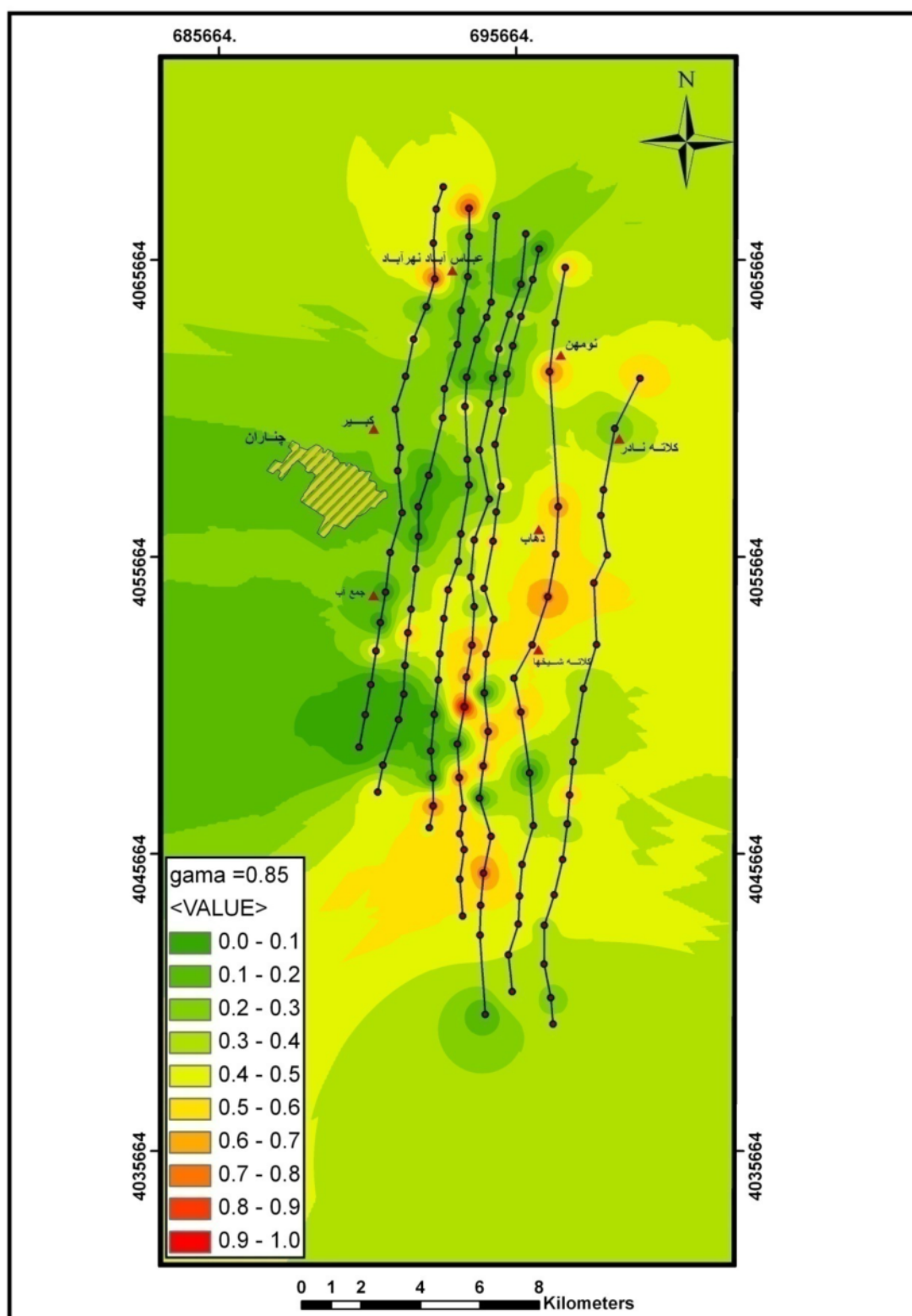
۶-۸-۲- تلفیق نهایی لایه‌های اطلاعاتی با روش منطق فازی

در این مرحله سه پارامتر فازی شده در مرحله قبل را با عملگر گاما و همچنین عملگرهای مختلف معرفی شده با روابط (۶-۲۳)، (۶-۲۴) و (۶-۲۵) تلفیق کرده و نتایج حاصله را با همدیگر مقایسه کرده‌ایم. بردار وزن برای تلفیق نهایی به صورت $W = (W_{Res}, W_D, W_t) = (0.45, 0.2, 0.35)$ می‌باشد که در آن W_{Res} ارزش وزنی لایه مقاومت ویژه لایه آبدار، W_D ارزش وزنی لایه عمق آبدار و W_t ارزش وزنی لایه ضخامت لایه آبدار می‌باشد (به‌طور کلی در اکتشاف آب‌های زیرزمینی بیشتر به دنبال دستیابی به آب‌های شیرین با املاح کم و در مرحله بعد دستیابی به حجم زیاد ذخیره آب هستیم، به همین دلیل مقدار وزن لایه مقاومت ویژه از ضخامت و ضخامت از عمق بیشتر انتخاب شده است). لازم به یادآوری است که تعیین این بردار وزن با اعمال نظر کارشناسی صورت گرفته است. از آنجا که عملگر گاما برای لایه‌های مختلف ارزش یکسانی را در نظر می‌گیرد، شاید در نگاه اول اینچنین تصور شود که این عملگر برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با وزن‌های مختلف مناسب نیست. برای استفاده از این عملگر ابتدا لایه‌های اطلاعاتی فازی شده را در مقادیر وزنی مربوطه ضرب کرده‌ایم و از لایه‌های اطلاعاتی جدید که بدین طریق حاصل شده‌اند برای تلفیق با استفاده از عملگر گاما استفاده شده است. با توجه به چاه‌های موجود در منطقه و شواهد زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه از پتانسیل آبی بالایی برخوردار می‌باشد. مقادیر گامای پایین باعث می‌شود که عملگر گاما به صورت کاهشی نمود پیدا کرده و در نتیجه مناطق امیدبخش با پتانسیل آبی بالا محدود گشته به‌طوری که در بعضی مناطق، بی‌هنجاری‌ها به‌طور کامل از بین می‌روند. به کارگیری عملگر فازی گاما، با مقادیر بالای گاما (که اثر افزایشی دارد) باعث می‌شود بی‌هنجاری‌هایی (مقادیر دارای ارزش فازی بالا در هر پارامتر) که در نقشه‌های فازی متفاوت ظاهر شده‌اند اثر همدیگر را تقویت کرده و در نهایت در نقشه نهایی بیشتر نمود پیدا کنند. بنا بر دلایل ذکر شده، در این پژوهش عملگر گاما با مقادیر گامای بالا (۰/۸، ۰/۸۵، ۰/۹ و ۰/۹۵) استفاده شده است. نتایج به دست آمده با این روش در شکل‌های (۶-۱۰)، (۶-۱۱) و (۶-۱۲) ارائه شده است.

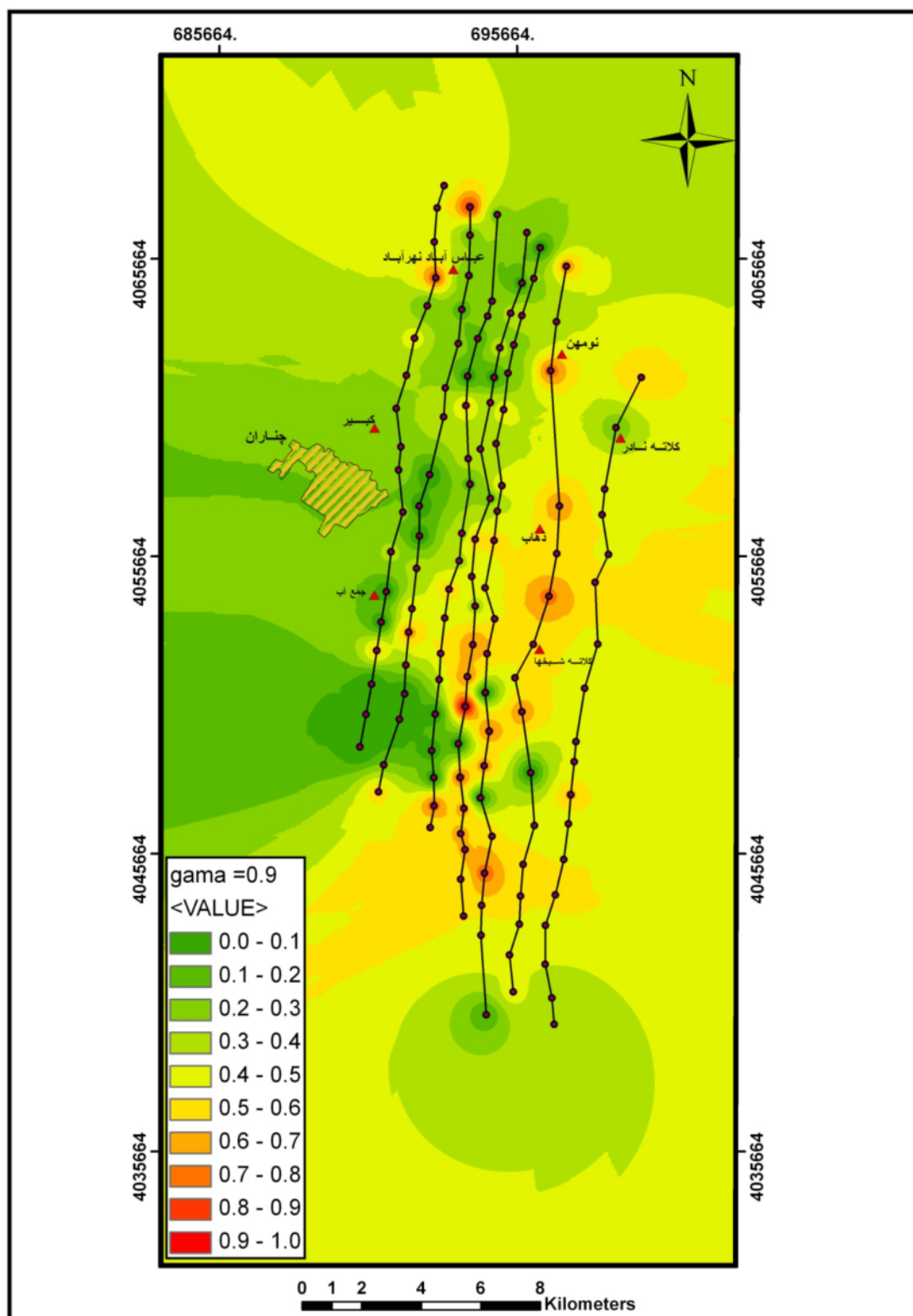
۱۱)، (۶-۱۲) و (۶-۱۳) قابل مشاهده است. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار گاما نواحی امیدبخش پتانسیل آبی (با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی و چاه‌های موجود در منطقه و همچنین با توجه به نظر کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی) به‌طور بارزتری خود را نشان می‌دهند. نقشه اکتشافی به دست آمده با گامای بالاتر ($\gamma=0/95$) که اثر افزایشی نیز دارد، شباهت بیشتری با نقشه نهایی به دست آمده با روش هم‌پوشانی شاخص دارد که خود می‌تواند تأییدی بر صحت این نقشه باشد. با توجه به شکل (۶-۱۳) مشاهده می‌کنیم که مقدار ارزش فازی در طول پروفیل M و N، در قسمت‌های مرکزی و جنوبی پروفیل‌های O و P و همچنین در محل سونداژهای R1 و S4 دارای مقدار ارزش فازی بیش از ۰/۶ می‌باشد که به‌طور کلی حاکی از پتانسیل آبی بالاتر و با کیفیت آب بهتر در این قسمت‌ها می‌باشد.



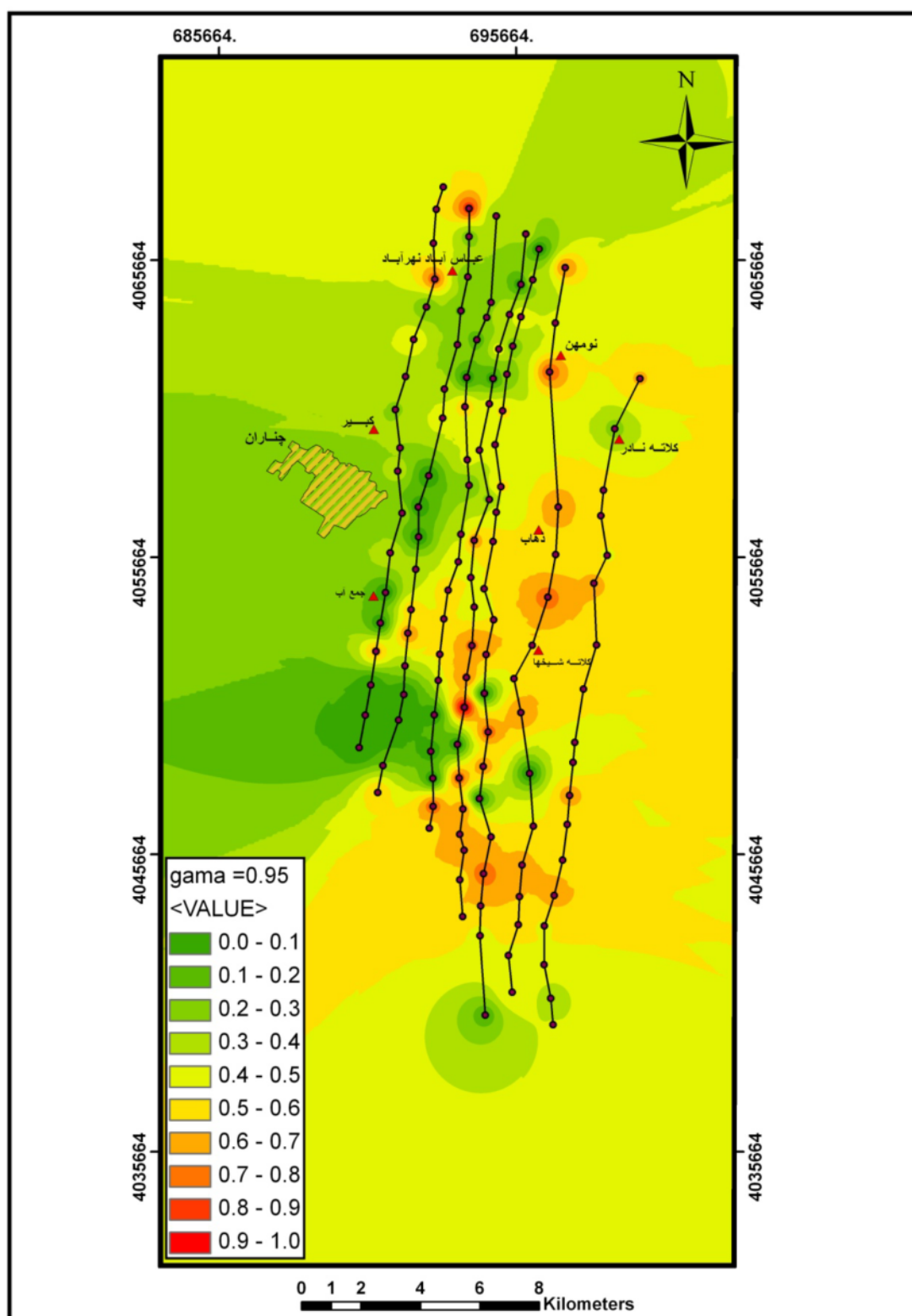
شکل ۶-۱۰- نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0.8$



شکل ۶-۱۱- نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0.85$



شکل ۶-۱۲- نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0.9$



شکل ۶-۱۳: نقشه نهایی اکتشافی با استفاده از رابطه (۶-۱۹) با $\gamma = 0.95$

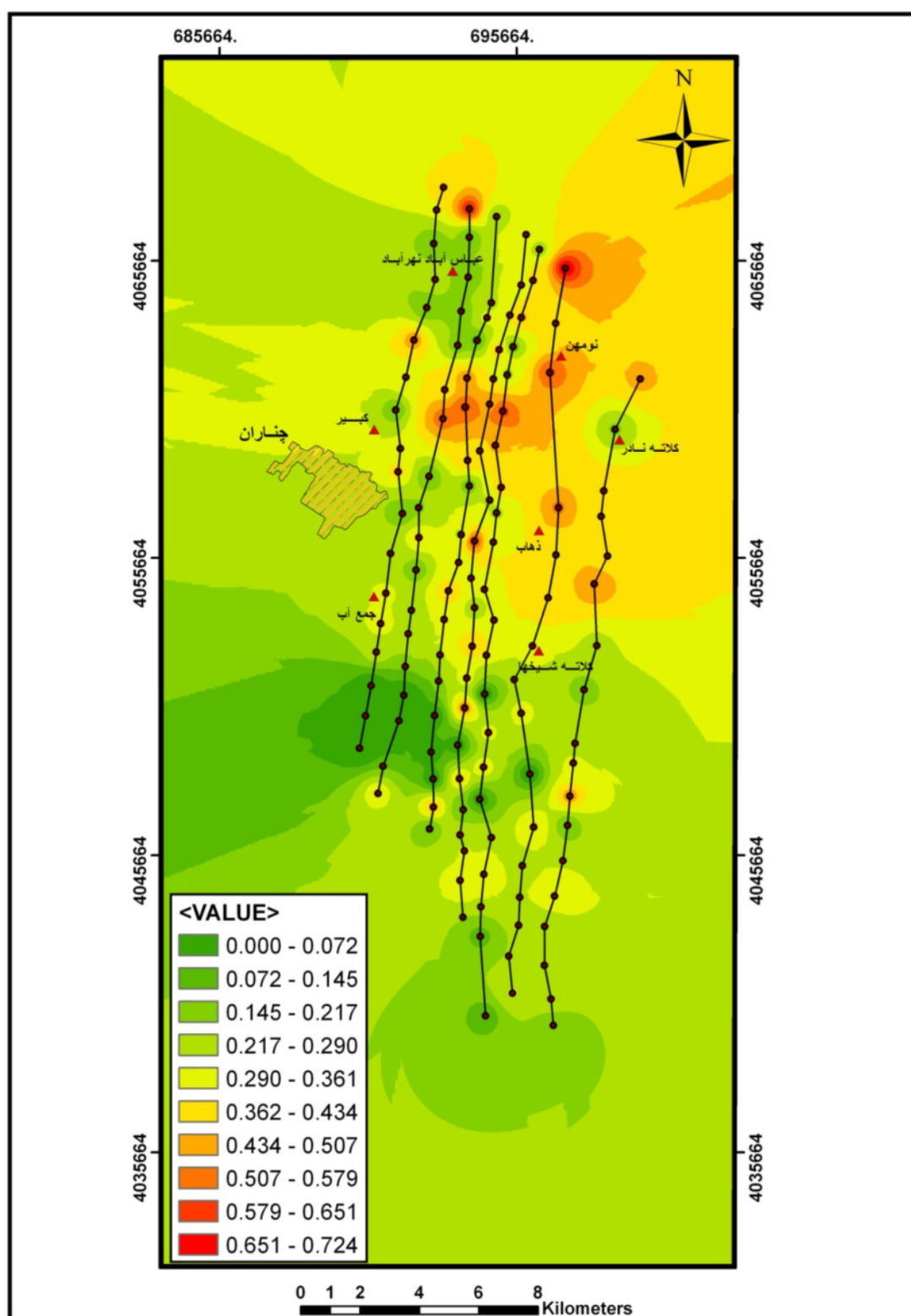
در ادامه بحث فازی برای تلفیق نقشه‌های مقاومت ویژه، عمق و ضخامت و ارائه نقشه‌های اکتشافی نهایی از عملگرهای فازی وزنی معرفی شده توسط روابط (۲۴-۶)، (۲۳-۶) و (۲۱-۶) استفاده شده است که نتایج در شکل‌های ۱۴-۶، ۱۵-۶ و ۱۶-۶ قابل مشاهده است. در تمام عملگرهای مورد استفاده برای تلفیق، بردار وزن ثابت و به صورت $W = (W_{Res}, W_D, W_t) = (0.45, 0.2, 0.35)$ در نظر گرفته شده است. اگرچه بردار وزن یکتا نیست و می‌تواند مقادیر متفاوتی را دارا باشد اما در این پژوهش از بردار وزن یکسان برای عملگرهای مختلف در بحث تلفیق استفاده شده است.

با بررسی نتایج نقشه‌های مذکور مشاهده می‌شود که در شکل‌های ۱۴-۶ و ۱۵-۶ مقدار ارزش فازی در نواحی شمالی پروفیل‌های M، N، O و P مقدار ارزش فازی بالای ۰/۵ می‌باشد و با حرکت به سمت نواحی جنوبی پروفیل‌ها از مقدار ارزش فازی کاسته می‌شود به طوری که در شکل ۱۴-۶ تقریباً تمام بی‌هنجاری‌های مورد نظر از بین می‌رود که این نتیجه با توجه به شواهد زمین‌شناسی و دبی بالای چاه‌ها چندان قابل قبول نیست.

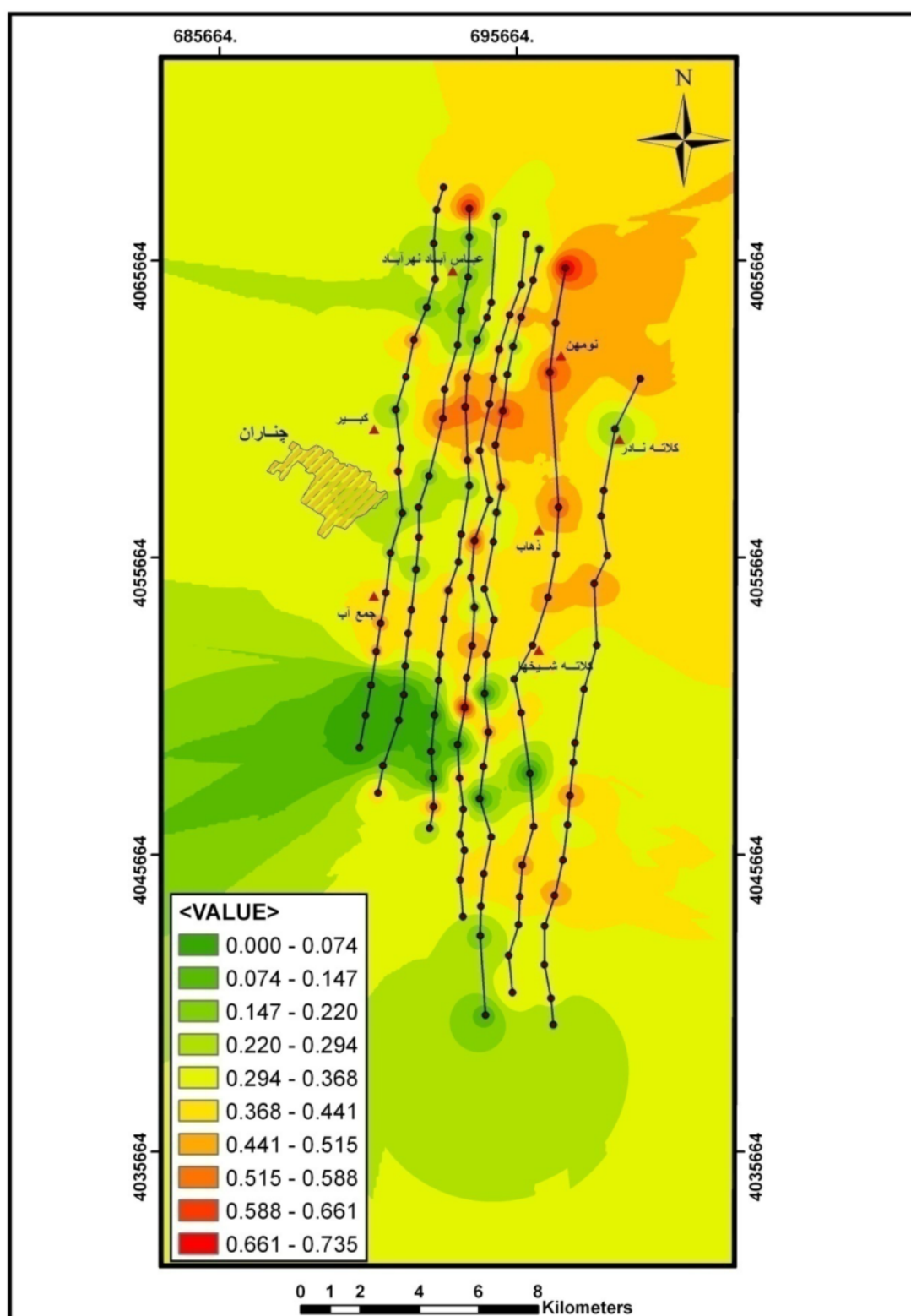
در طول پروفیل‌های شرقی (Q، R و S) نتایج به دست آمده در هر دو شکل ۱۴-۶ و ۱۵-۶ تقریباً یکسان بوده و مقدار ارزش فازی در اطراف سونداژهای O6 و R7 بالای ۰/۶ می‌باشد. در نیمه شمالی پروفیل‌های مذکور به استثنای سونداژ R1 مقدار ارزش فازی ناچیز می‌باشد که حاکی از رسی بودن لایه آبدار (پایین بودن مقاومت ویژه) و همچنین ضخامت کم لایه آبدار در این نواحی می‌باشد. در مجموع نتایج به دست آمده از عملگر (۲۳-۶) شباهت بیشتری با نتایج به دست آمده از هم‌پوشانی شاخص و عملگر گاما داشته و بی‌هنجاری را بهتر نشان می‌دهد.

در شکل ۱۶-۶ تقریباً در تمامی محدوده مطالعاتی به استثنای نواحی جنوبی پروفیل‌های Q، R و S (که فاقد آب می‌باشند) مقدار ارزش فازی بالای ۰/۵ می‌باشد که با نتایج حاصل از هم‌پوشانی شاخص، عملگر گاما و همچنین عملگرهای معرفی شده توسط روابط (۲۳-۶) و (۲۴-۶) تفاوت زیادی دارد. توجیه نتیجه به دست آمده از عملگر (۲۱-۶) به این صورت است که با توجه به عملکرد این عملگر

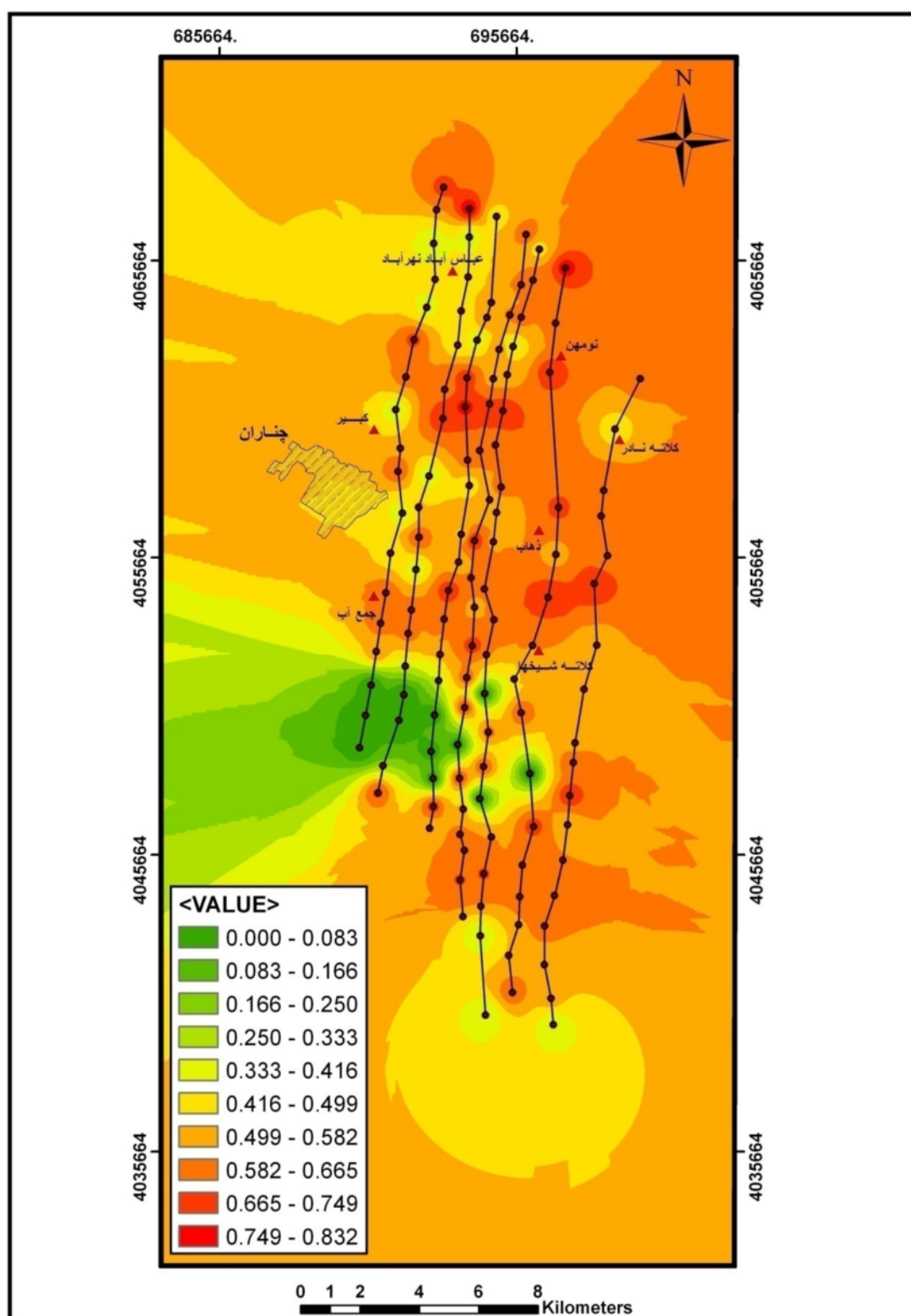
تمام اعضای توابع عضویت به توان ضریب وزنی معینی (هر چند کوچک) می‌رسند و در نتیجه مقادیر توابع عضویت افزایش می‌یابند که در نهایت باعث به وجود آمدن بی‌هنجاری‌های کاذب در شکل ۶-۱۶ شده است. با توجه به این نتیجه شاید این شبهه به وجود آید که استفاده از این عملگر در امر تلفیق چندان قابل اطمینان نیست. اما نکته‌ای که در اینجا قابل ذکر است، این است که هرچند عملگر (۶-۲۱) باعث شدت‌بخشی کاذب بی‌هنجاری‌ها می‌شود اما از عملکرد صحیحی برای تلفیق نقشه‌های اکتشافی برخوردار است. همان‌طور که در شکل ۶-۱۶ مشاهده می‌شود مقادیر ارزش فازی در تمام طول پروفیل‌های M و N و در اطراف سونداژهای P14، O6، P6، Q6 و R1 نسبت به بقیه محدوده اطلاعاتی بیشتر است که این نتیجه با نتایج قبلی نیز مشابهت دارد.



شکل ۶-۱۴- نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۶-۲۴)

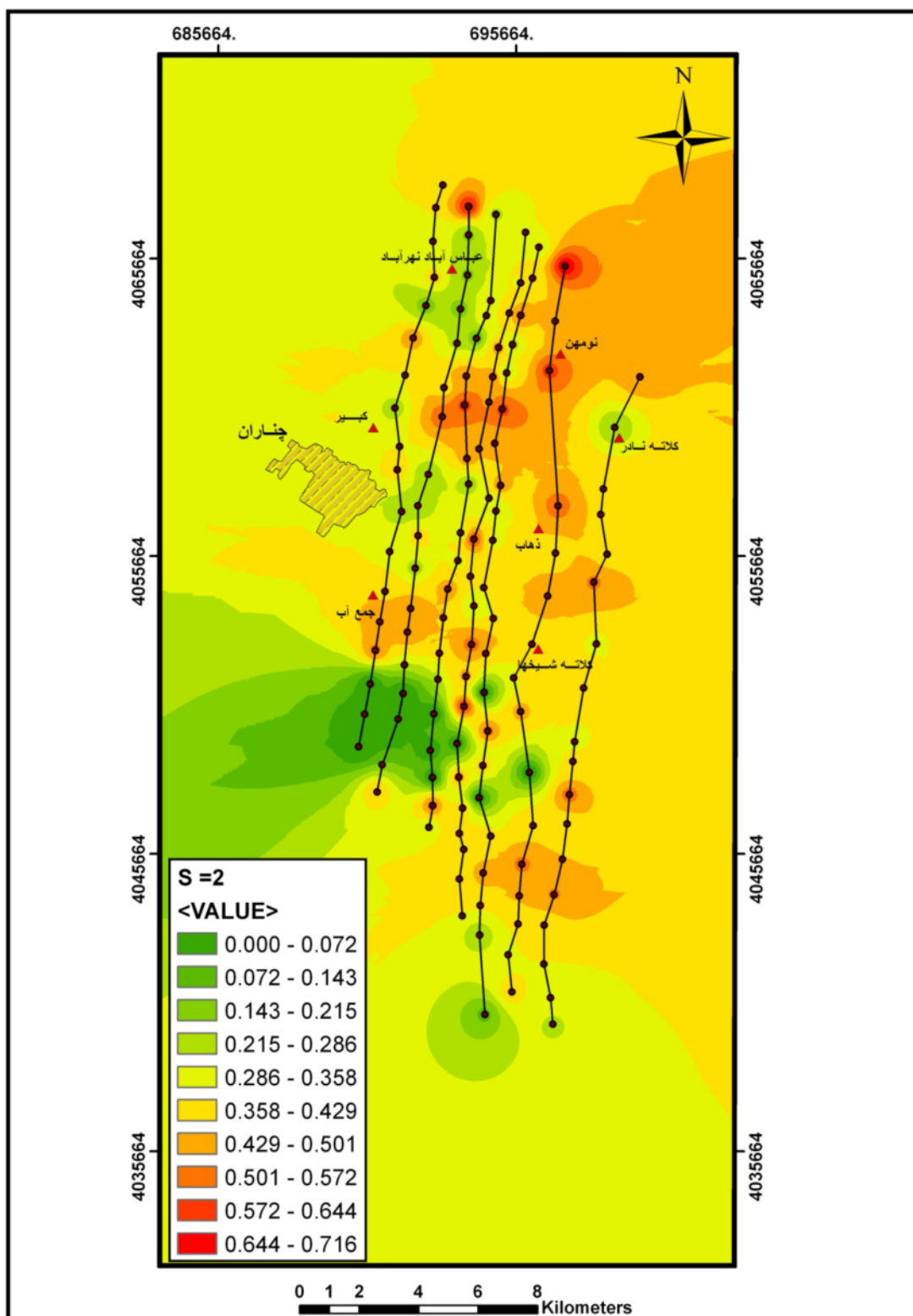


شکل ۶-۱۵ - نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۶-۲۳)

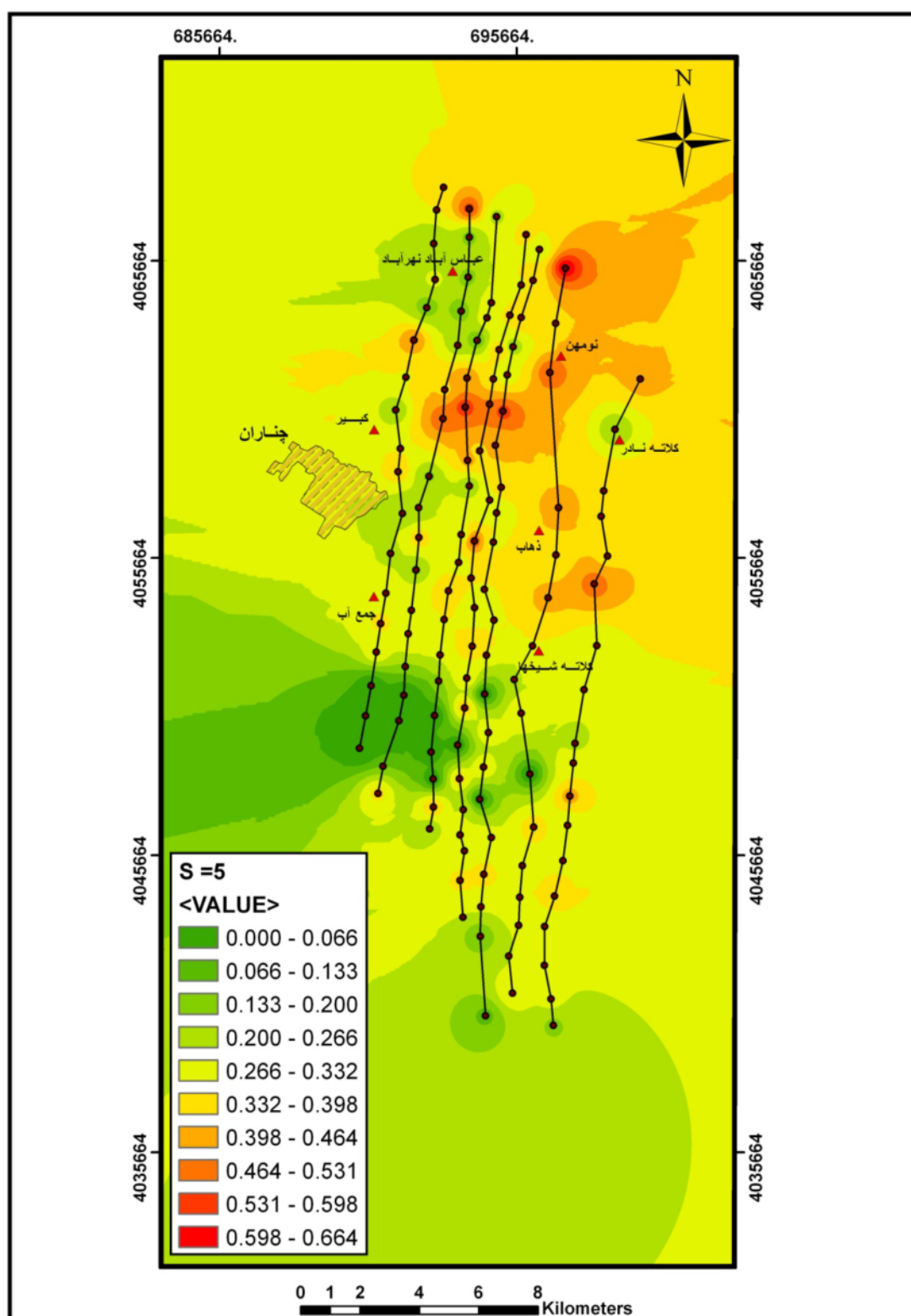


شکل ۶-۱۶- نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۶-۲۱)

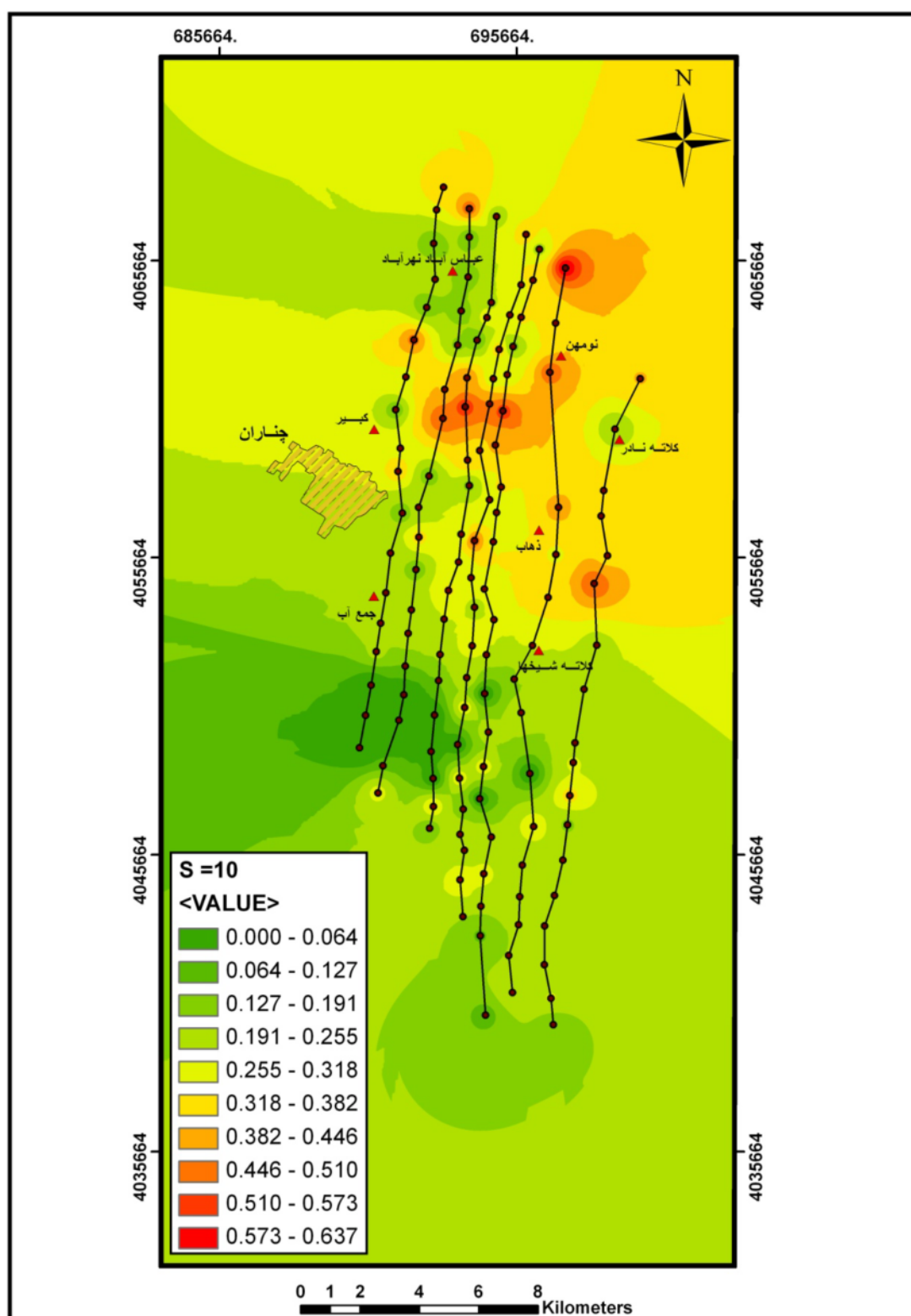
عملگر فازی وزنی رابطه (۶-۲۵) با مقادیر کوچک S در تلفیق پارامترهای فازی اکتشافی سبب شدت- بخشی کاذب و با مقادیر بالای S باعث کاهش مطلوبیت بی‌هنجاری‌ها می‌گردد. بنابراین در این مرحله نقشه اکتشافی نهایی با به کارگیری رابطه (۶-۲۵) با مقادیر $S=2$ ، $S=5$ و $S=10$ به ترتیب در شکل‌های ۵-۱۷، ۵-۱۸ و ۵-۱۹ آورده شده است. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که در نقشه اکتشافی با $S=2$ بی‌هنجاری‌ها به طور بارزتری خود را نشان می‌دهند و مقادیر ارزش فازی در نواحی شمالی پروفیل N و سونداژهای R1، O6، P6، Q6، P14، S14، S15، R12 و R13، همچنین محل سونداژهای M13، M14، N12 و N13 دارای مقدار بیش از ۰/۶ می‌باشد. با افزایش مقدار S، از شدت بی‌هنجاری- های موجود در نواحی جنوبی پروفیل‌ها کاسته می‌شود به طوری که در نقشه ۵-۱۹ ($S=10$) این بی-هنجاری‌ها به طور کامل از بین می‌روند که با توجه به شواهد موجود نتیجه قابل قبولی نیست.



شکل ۶-۱۷- نقشه اکتشافی نهایی با استفاده از رابطه (۶-۲۵) با $S=2$



شکل ۶-۱۸: نقشه اکتشافی نهایی با استفاده از رابطه (۶-۲۵) با $S=5$



شکل ۶-۱۹- نقشه اکتشافی نهایی با استفاده از رابطه (۶-۲۵) با $S=10$

فصل هفتم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر داده‌های مربوط به ۷ پروفیل و مجموعاً ۱۳۲ سونداژ ژئوالکتریک، که با آرایش شلومبرژه، در غرب شهرستان چناران برداشت شده‌اند، مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته‌اند. در فصل چهارم تفسیر یک‌بعدی ۱۳۲ سونداژ ژئوالکتریک با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای VES و IX1D صورت گرفت. با توجه به اینکه برخی از سونداژها در کنار چاه‌های آب موجود در منطقه برداشت شده است، از اطلاعات چاه‌های آب مزبور نیز برای تفسیر آن سونداژها استفاده شد. نهایتاً در محل هر سونداژ ضخامت، عمق و مقاومت ویژه لایه آبدار (در صورت وجود) تعیین شد. نتایج تفسیر سونداژهای مقاومت ویژه نشان می‌دهند که در نواحی شمالی منطقه، منابع آب زیرزمینی با توجه به مقاومت ویژه پایین لایه آبدار از میزان رس و همچنین شوری (املاح) بالایی برخوردار می‌باشند. همچنین در این نواحی با توجه به شواهد زمین‌شناسی و نتایج به دست آمده از تفسیر، سطح آب زیرزمینی بالا بوده به‌طوری که در برخی نقاط به حدود ۵ متر نیز می‌رسد. قابل ذکر است که در مناطق شمالی دشت مورد مطالعه لایه سنگ کف از رسوبات شیلی رسانا (دارای مقاومت ویژه پایین) تشکیل شده است و در عمق کمی قرار دارد، بنابراین در این مناطق ضخامت لایه آبدار کم می‌باشد (چاه‌های موجود در نواحی شمالی که از دبی پایینی برخوردارند، نتیجه به دست آمده را تأیید می‌کنند). در نواحی مرکزی و جنوبی پروفیل‌ها، مقاومت ویژه لایه آبدار افزایش پیدا کرده که نشان از کیفیت بالای لایه آبدار (شوری بسیار پایین با میزان رس کم) دارد. در این نواحی (به استثنای قسمت‌های جنوبی پروفیل‌های R و S که فاقد هر پتانسیل آبی می‌باشند) ضخامت لایه آبدار قابل توجه بوده به‌طوری که در بعضی مواقع به ۲۰۰ متر نیز می‌رسد. در نواحی مرکزی و جنوبی پروفیل‌ها سنگ کف از رسوبات دانه‌درشت مقاوم تشکیل شده است. البته در برخی نقاط چون مقاومت ویژه لایه سنگ کف مشابه مقاومت ویژه لایه آبدار بوده، در نتیجه لایه سنگ کف قابل تشخیص نبوده است. در فصل پنجم از نرم‌افزار Res2dinv برای مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی داده‌های مربوط به ۷ پروفیل

برداشت شده، استفاده شده است. به طور کلی تفسیر مقاطع دو بعدی به دست آمده نشان می‌دهند که تقریباً در طول تمام پروفیل‌ها، رسوبات افق فوقانی با داشتن حداقل مقاومت ویژه حدود ۲۰ اهم - متر از آبرفت ریزدانه بوده که در نواحی مرکزی و جنوبی مقاطع افزایش مقاومت ویژه بر افزایش دانه‌بندی دلالت دارد. این افق در نواحی شمالی از رسوبات کم ضخامت تشکیل شده و عمدتاً آبدار بوده و از میزان رس و شوری قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد و در نواحی مرکزی و جنوبی فاقد آب می‌باشد. لایه آبرفتی میانی در بخش‌های شمالی مقاطع، از نهشته‌های نسبتاً سست با مقاومت ویژه ۷ تا ۲۰ اهم - متر عمدتاً از رس و سیلت دارای درصدی از ماسه تشکیل یافته که بر روی رسوبات رسی ناتراوا قرار گرفته و سنگ کف را در نواحی شمالی تشکیل می‌دهند. در امتداد افق نامبرده به طرف نواحی مرکزی و جنوبی پروفیل‌ها افزایش تدریجی مقاومت ویژه بر افزایش دانه‌بندی دلالت دارد که در این نواحی عمدتاً لایه آبدار را تشکیل داده و از ضخامت قابل توجهی برخوردار است. آخرین لایه تفکیک شده، در بخش‌های شمالی از رسوبات رسی و شیلی رسانا (دارای مقاومت ویژه الکتریکی کمتر از ۱۰ اهم - متر) تشکیل شده و در نواحی مرکزی و جنوبی مقاومت ویژه رسوبات این لایه تا حدود ۳۰۰ اهم - متر بالا رفته که بر وجود رسوبات دانه‌درشت مقاوم دلالت دارد و سنگ کف را در این نواحی تشکیل می‌دهد. در این پژوهش برای ارائه نقشه پتانسیل آب نهایی و معرفی نواحی امیدبخش، پارامترهای مربوطه شامل عمق، ضخامت و مقاومت ویژه لایه آبدار، پس از رقومی شدن، وزن‌دهی و پردازش بر اساس اهمیت آن‌ها در بی‌هنجاری‌های موردنظر در محیط نرم‌افزار ArcGIS توسط روش هم‌پوشانی شاخص و روش منطق فازی با استفاده از عملگرهای فازی وزنی مختلف تلفیق شده‌اند که در نهایت نقشه پتانسیل آب به دست آمده از روش هم‌پوشانی شاخص، عملگر فازی گاما ($\gamma=0/95$)، همچنین عملگرهای فازی وزنی معرفی شده توسط رابطه (۶-۲۳) و رابطه (۶-۲۵) با $S=2$ ، تشابه بیشتری با هم داشته و بی‌هنجاری‌ها را به طور بارزتری آشکار می‌سازند. با توجه به نقشه به دست آمده از روش‌های مذکور مشاهده می‌شود که تقریباً در تمام طول پروفیل N و همچنین محل سونداژهای R1، O6، Q6، P6، R7، M6، P9، P12، P14، R12، R13، S13، S14، S15، M13 و M14 مقدار ارزش فازی، بالای

۰/۶ می‌باشد. مقدار زیاد ارزش فازی نشان از وجود ذخیره آبی بالا و با کیفیت خوب (بالا بودن مقاومت ویژه) در محل‌های مذکور و دستیابی راحت (به لحاظ عمقی) به این پتانسیل‌های آبی می‌باشد. وجود چاه‌های کم‌عمق با دبی بالا در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی و همچنین وجود چاه‌های با دبی بالا و با مقادیر پایین EC (مقاومت ویژه بالا) در نواحی جنوبی محدوده تأییدی بر وجود این بی‌هنجاری‌ها می‌باشد.

به‌طور کلی در این پایان نامه نتایج زیر را نیز می‌توان به‌طور خلاصه ارائه کرد:

(۱) برای تفسیر سونداژهای قائم ژئوالکتریکی به‌خصوص در مواقعی که فواصل سونداژها از همدیگر زیاد است، فقط می‌توان مدل‌سازی و تفسیر یک بعدی سونداژها را انجام داد که با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزار IX1D به‌طور قابل قبولی این مدل‌سازی و تفسیر یک‌بعدی انجام شده است. در این موارد، نتایج مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی یا سه‌بعدی کاملاً صحیح یا قابل قبول نبوده هرچند که می‌توان این نتایج را به‌طور تقریبی مورد استفاده قرار داد.

(۲) مدل‌سازی و شناسایی مناطق امیدبخش یکی از مراحل اکتشاف و ارزیابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد که با توجه به پراکندگی و تعدد اطلاعات موجود در این زمینه، مانند اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، هیدروژئوشیمی و همچنین وجود پارامترهای متعدد مربوطه، از روش‌های مختلف مدل‌سازی و تلفیق در GIS برای تلفیق نتایج یا پارامترهای مختلف مربوطه (عمق، ضخامت و مقاومت ویژه لایه آبدار) و همچنین به‌منظور تخصیص وزن به شواهد و الگوهای پیش‌گوی مورد نظر استفاده شده است.

(۳) ضعف روش هم‌پوشانی شاخص در تلفیق خطی شواهد و همچنین ماهیت افزایشی آن در امر تلفیق می‌باشد که با به‌کارگیری عملگرهای فازی وزنی متفاوت (به علت وجود قوانین ترکیب انعطاف‌پذیرتر)، این مشکل برطرف شده است.

- ۴) تابع عضویت فازی دوزنقه‌ای که در این پایان‌نامه برای فازی‌سازی پارامترهای اکتشافی مورد استفاده قرار گرفته است نتایج قابل قبولی ارائه داده و با توجه به قابلیت، انعطاف‌پذیری و تطابقی که با ماهیت مسئله دارد، به عنوان روشی مؤثر در بهینه کردن فازی‌سازی پارامترهای مربوطه و کاهش خطای تفکیک‌سازی بی‌هنجاری و زمینه مورد استفاده واقع شده است.
- ۵) ضعف روش مدل‌سازی منطق فازی نسبت به روش مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه، در نظر گرفتن وزن برابر برای نقشه‌های شاهد مختلف است که در این پژوهش با به کارگیری عملگرهای فازی وزنی مختلف سعی در حل این مشکل شده است.
- ۶) در این پژوهش تقریباً تمام عملگرهای فازی وزنی به جز عملگر (۶-۲۱) نتایج قابل قبولی را در معرفی نواحی امیدبخش نشان می‌دهند. با توجه به نتایج، استفاده از عملگر (۶-۲۱) باعث شدت‌بخشی بی‌هنجاری‌ها شده و فقط به طور نسبی بی‌هنجاری‌ها را از زمینه تفکیک می‌کند. به همین دلیل، استفاده از عملگر (۶-۲۱) به تنهایی نتایج قابل اطمینانی نخواهد داد و فقط می‌تواند تأییدی بر نتایج دیگر عملگرها باشد.

۷-۲- پیشنهادات

- با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق می‌توان به‌طور خلاصه پیشنهادات زیر را ارائه نمود:
- ۱) 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 ۱ کیلومتر و فاصله بین سونداژهای متوالی بر روی هر پروفیل از ۷۰۰ متر کمتر نبوده است)، بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور به دست آوردن نتایج ژئوالکتریکی دقیق‌تر از زیر سطح زمین منطقه مورد مطالعه علاوه بر

داده‌های مقاومت ویژه برداشت شده قبلی، برداشت‌های صحرایی مقاومت ویژه در بین پروفیل‌ها و سونداژهای برداشت شده صورت گیرد.

(۲) به منظور تأیید نتایج به دست آمده در این تحقیق به خصوص در مناطقی که از نظر پتانسیل آبی بالا بوده (با توجه به نتایج مدل‌سازی و تلفیق پارامترهای مقاومت ویژه، ضخامت و عمق لایه آبدار) پیشنهاد می‌شود چاه‌هایی به منظور بهره‌برداری از آب زیرزمینی حفر گردد. در این زمینه با توجه به اینکه بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه از پتانسیل آبی بالایی برخوردار بوده و همچنین فواصل چاه‌های حفر شده از یکدیگر دورتر است (نسبت به بخش‌های شمالی که چاه‌های بهره‌برداری از آب به صورت متراکم دیده می‌شوند)، بنابراین توصیه می‌گردد این چاه‌ها در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه حفر گردند.

(۳) در این تحقیق به منظور مدل‌سازی و تلفیق نتایج تفسیر برداشت‌های الکتریکی جهت تعیین بخش‌های با پتانسیل بالای آب از روش هم‌پوشانی شاخص و منطق فازی استفاده شده است و در این زمینه نیز به صورت محدود عملگرهای فازی وزنی مختلفی به کار گرفته شده‌اند. در همین راستا و به منظور مقایسه نتایج، پیشنهاد می‌شود از سایر عملگرهای فازی موجود و یا روش‌های دیگر مدل‌سازی و تلفیق در GIS استفاده شود. در این مورد از آنجا که روش‌های مختلف مدل‌سازی و تلفیق در GIS به دو دسته کلی داده‌محور و دانش‌محور تقسیم می‌شوند بنابراین توصیه می‌شود با توجه به وجود تعداد چاه‌های زیاد حفر شده به منظور بهره‌برداری از آب و همچنین چاه‌های پی‌زومتر، از روش‌های داده‌محور مانند روش رگرسیون لجستیکی و شبکه‌های عصبی که در این موارد حتی ممکن است نتیجه بهتری نسبت به روش‌های دانش-محور داشته باشند، جهت مدل‌سازی و تلفیق نتایج برای تعیین بخش‌های با پتانسیل آبی بالا استفاده گردد.

پیوست

پیوست الف: مدل سازی و تفسیر یک بعدی سونداژهای ژئوالکتریک

الف-۱- مقدمه

در این پیوست نتایج مدل سازی و تفسیر یک بعدی سونداژهای منطقه مورد مطالعه به طور مختصر آورده شده است. برای رعایت اختصار لایه های آبدار لایه آبدار با علامت * و لایه سنگ کف با علامت $\mathbb{R}$ مشخص شده است.

الف-۲- پروفیل S

الف-۲-۱- سونداژ S1

یک حلقه چاه در فاصله ۴۸۰ متری محل سونداژ S1 حفر گردیده که سطح آب آن در عمق ۲۵ متری است.

جدول الف-۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S1 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.01%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.2		تفسیر با منحنی های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۳	۷۸	۳/۲	۷۲	۴/۶	۱۰۰	لایه اول
۹	۴۳۴	۸/۷	۴۳۰	۱۰	۲۵۰	لایه دوم
۲۴	۸۴	۲۴	۸۵	۲۳	۱۸۵	لایه سوم
۲۶	۷۸	۲۶	۷۵	۲۵	۷۲	لایه چهارم
۱۰۵	۶۸	۱۰۶	۶۸	۹۳	۶۸	*لایه پنجم
۱۸۴	۱۲	۱۸۶	۱۱	۲۱۰	۳۰	لایه ششم
۲۵۴	۴۹	۲۵۷	۷۰	۳۴۰	۴۴	لایه هفتم
-	۸۰۷	-	۵۳۰	-	۴۰۰	لایه هشتم

الف - ۲ - ۲ - سونداژ S2

جدول الف-۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.09%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴	۱۱۸	۴	۱۲۳	۵	۱۴۰	لایه اول
۲۲	۴۷۶	۲۲	۴۸۰	۲۹	۴۲۰	لایه دوم
۶۲	۲۲۲	۶۲	۱۸۵	۷۳	۱۶۸	لایه سوم
۲۰۶	۹	۲۳۷	۱۱	۲۵۰	۱۲	لایه چهارم
-	۴۹	-	۴۳	-	۳۶	لایه پنجم

الف - ۲ - ۳ - سونداژ S3

جدول الف-۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.68%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵/۵	۱۵	۶	۱۷	۷	۱۷	لایه اول
۲۶	۸۶	۲۷	۸۲	۲۸	۵۵	لایه دوم
۲۶۶	۲۲	۲۷۴	۲۳	۲۷۵	۲۳	*لایه سوم
-	۹۱	-	۹۲	-	۹۲	۵لایه چهارم

الف - ۲ - ۴ - سونداژ S4

سونداژ S4 در فاصله ۱۴۵ متری یک چاه با عمق آب ۲۵ متری برداشت شده است.

جدول الف-۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.43%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۶	۶	۶	۶	۶	۶	لایه اول
۱۳	۶	۱۴	۷	۱۶	۷	لایه دوم
۲۴	۱۶	۲۵	۱۶	۲۷	۱۵	لایه سوم
۷۴	۱۹	۷۰	۲۰	۸۵	۱۸	*لایه چهارم
۲۸۸	۲۳	۲۷۸	۲۲	۳۴۹	۲۲	*لایه پنجم
-	۱۲		۱۳	-	۱۳	۵لایه ششم

الف - ۲ - ۵ - سونداژ S5

یک حلقه چاه در فاصله ۴۲۰ متری محل سونداژ S5 قرار دارد که عمق آب آن در ۲۰ متری می‌باشد.

جدول الف-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.22%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴	۲۴	۴/۵	۲۵	۵	۲۵	لایه اول
۱۸	۳۷	۱۸/۵	۳۸	۱۹	۳۵	لایه دوم
۶۰	۲۷	۶۲	۲۶	۵۲	۲۶	*لایه سوم
۲۳۳	۱۷	۲۴۵	۱۷	۲۷۰	۱۶	۵لایه چهارم
-	۱۲	-	۱۲	-	۱۱	لایه پنجم

الف-۲-۶- سونداژ S6

جدول الف-۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =12.66%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۳۶	۲	۳۶	۳	۲۸	لایه اول
۵/۸	۷۳	۶	۶۳	۷	۵۷	لایه دوم
۱۷	۱۷	۱۸	۱۷	۱۸	۲۴	لایه سوم
۳۹	۵۳	۴۱	۵۶	۴۰	۳۶	*لایه چهارم
۱۲۹	۱۸	۱۳۰	۱۸	۱۵۰	۲۴	*لایه پنجم
۲۳۸	۱۳	۲۴۰	۱۳	۲۷۰	۱۵	۵لایه ششم
۳۷۲	۲۵	۳۸۰	۲۵	۴۴۰	۲۷	لایه هفتم
۴۹۲	۱۵	۵۱۰	۱۶	۶۲۰	۱۱	لایه هشتم
-	۲۵۸	-	۲۳۰	-	۲۲۰	لایه نهم

الف-۲-۷- سونداژ S7

جدول الف-۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.66%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۵	۳۶	۳/۶	۳۶	۴/۶	۳۶	لایه اول
۹	۲۷	۹/۴	۲۶	۱۱	۲۹	لایه دوم
۲۷	۳۸	۲۷	۳۷	۳۳	۳۴	*لایه سوم
۷۳	۱۸	۷۴	۱۸	۸۵	۱۴	*لایه چهارم
-	۸	-	۸	-	۷	۵لایه پنجم

الف-۲-۸- سونداژهای S8

دو حلقه چاه در شمال و دو حلقه چاه در جنوب محل برداشت این سونداژ و در فاصله تقریبی ۵۰۰ متری محل سونداژ با عمق آب ۱۲ متر وجود دارند.

جدول الف-۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 2.06%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۳۱۱	۲	۲۴۸	۲/۳	۱۴۰	لایه اول
۵	۲۱	۵	۲۳	۶/۳	۲۵	لایه دوم
۱۴	۱۱۷	۱۵	۱۰۳	۲۳	۸۰	لایه سوم
۱۱۲	۱۸	۱۱۵	۱۸	۱۱۵	۱۶	*لایه چهارم
۷۳۰	۶/۵	۸۳۰	۷	۸۳۰	۷	۵لایه پنجم
-	۱۵۶	-	۱۵۰	-	۱۵۰	لایه ششم

الف-۲-۹- سونداژهای S9

جدول الف-۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 1.79%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۲۷	۲/۷	۳۳	۵/۲	۲۳	لایه اول
۵/۶	۱۰	۵/۷	۹	۸/۲	۱۱/۵	لایه دوم
۲۲	۲۹	۲۲/۵	۳۰	۲۵	۲۶	لایه سوم
۱۲۷	۱۲	۱۲۹	۱۲	۱۳۰	۱۲	*لایه چهارم
۴۷۹	۷	۴۸۷	۸	۴۸۰	۸/۷	۵لایه پنجم
-	۱۵	-	۱۸	-	۱۳	لایه ششم

الف-۲-۱۰- سونداژ S10

جدول الف-۱۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 15.57%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 8.74		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۳	۲۲۲	۱/۶	۱۸۴	۱/۹	۱۱۵	لایه اول
۱۲	۲۳	۱۴	۲۳	۲۱	۲۱	لایه دوم
۱۶	۳۰	۱۷	۲۸	۳۰	۲۴	لایه سوم
۲۵	۳	۲۷	۴	۴۰	۶	لایه چهارم
۴۲	۳۸	۴۳	۳۶	۶۰	۳۰	لایه پنجم
۶۱	۲۰	۶۵	۲۰	۹۰	۲۲	*لایه ششم
۷۰	۱۶	۷۳	۱۷	۱۰۰	۲۰	*لایه هفتم
۶۳۳	۸	۶۴۰	۷	۶۴۰	۷	۵لایه هشتم
-	۱۸	-	۲۱	-	۲۱	لایه نهم

الف-۲-۱۱- سونداژ S11

یک حلقه چاه با عمق آب ۴۳ متر در فاصله ۱۸۰ متری محل سونداژ S11 وجود دارد.

جدول الف-۱۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 5.75%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۷	۵۴	۴	۵۲	۶	۵۸	لایه اول
۱۱	۹۹	۱۳	۱۳۸	۱۶	۱۰۰	لایه دوم
۴۲	۸۴	۴۳	۷۵	۵۵	۶۵	لایه سوم
۱۸۱	۲۴	۱۸۰	۲۴	۲۱۰	۱۷	*لایه چهارم
۴۴۵	۷	۴۴۷	۸	۵۴۰	۱۲	۵لایه پنجم
-	۵۰	-	۳۶	-	۳۶	لایه ششم

الف-۲-۱۲- سونداژ S12

یک چاه آب در فاصله ۳۷۰ متری محل سونداژ با سطح برخورد به آب ۷۰ متری وجود دارد.

جدول الف-۱۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 2.27%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۷	۳۴۱	۴/۴	۳۶۰	۴/۴	۳۶۰	لایه اول
۱۶	۲۵۶	۱۶/۴	۲۶۰	۱۷	۲۶۰	لایه دوم
۶۴	۱۹۵	۶۱	۱۹۲	۶۲	۱۶۰	لایه سوم
۲۲۹	۲۹	۲۳۰	۳۰	۲۵۰	۲۵	*لایه چهارم
-	۶/۵	-	۶/۶	-	۶	۵لایه پنجم

الف-۲-۱۳- سونداژ S13

دو حلقه چاه در فاصله ۳۳۰ و ۳۸۰ متری محل سونداژ به ترتیب با عمق آب ۸۳ و ۷۵ متر و همچنین

پیزومتر جمع‌آب در فاصله ۴۰۰ متری محل سونداژ و با عمق آب ۹۲ متر وجود دارد.

جدول الف-۱۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S13 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 1.89%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۵	۸۳	۲/۸	۸۷	۴	۱۱۰	لایه اول
۷/۵	۷۳۴	۸/۵	۷۳۰	۱۰	۲۹۰	لایه دوم
۲۴	۴۲۵	۲۷	۴۲۰	۳۱	۴۲۰	لایه سوم
۹۶	۳۱۶	۹۷	۳۱۲	۱۱۸	۲۶۰	لایه چهارم
۳۴۸	۵۷	۲۹۷	۶۲	۳۱۵	۶۲	*لایه پنجم
-	۱۸	-	۱۹	-	۱۹	۵لایه ششم

الف-۲-۱۴- سونداژ S14

یک حلقه چاه در فاصله ۱۶۰ متری محل سونداژ که عمق سطح آب در آن ۱۰۰ متر می باشد حفر شده است.

جدول الف-۱۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S14 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.04%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.2		تفسیر با منحنی های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۶/۶	۴۴۸	۶/۵	۴۵۰	۶/۸	۴۵۰	لایه اول
۲۷	۴۴۲	۲۶/۵	۴۴۰	۲۹	۴۴۰	لایه دوم
۹۹	۳۰۳	۹۸	۳۱۵	۸۸	۳۱۵	لایه سوم
۳۴۱	۷۵	۳۵۰	۷۹	۳۴۰	۷۹	*لایه چهارم
-	۴۱	-	۳۹	-	۳۹	۵لایه پنجم

الف-۲-۱۵- سونداژ S15

جدول الف-۱۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S15 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.50%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 14.8		تفسیر با منحنی های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۳	۳۳۵	۴/۵	۳۳۷	۵	۳۷۵	لایه اول
۱۵	۵۹۴	۱۸	۵۷۷	۲۰	۵۲۵	لایه دوم
۱۰۹	۳۱۱	۱۰۸	۳۱۵	۹۵	۳۱۵	لایه سوم
۳۱۰	۹۷	۳۱۳	۹۴	۳۰۰	۹۵	*لایه چهارم
-	۳۰	-	۲۹	-	۲۴	۵لایه پنجم

الف-۲-۱۶- سونداژ S16

جدول الف-۱۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 5.08%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 10.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵/۷	۳۵۶	۴/۲	۳۶۰	۶/۵	۳۵۰	لایه اول
۱۶	۳۹۳	۱۵	۴۰۰	۱۶/۵	۴۰۰	لایه دوم
۳۵	۴۵۰	۳۵	۴۵۰	۵۳	۲۹۰	لایه سوم
۷۱	۵۳	۷۲	۵۷	۸۷	۱۰۵	لایه چهارم
۱۷۳	۳۴۳	۱۷۷	۳۵۰	۲۱۵	۱۷۵	لایه پنجم
-	۵۷	-	۵۷	-	۷۰	لایه ششم

الف-۲-۱۷- سونداژ S17

جدول الف-۱۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S17 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.6%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵/۵	۳۸۱	۵/۷	۳۷۰	۶/۳	۳۷۰	لایه اول
۱۸/۵	۴۶۱	۱۹	۴۷۳	۲۱	۴۳۰	لایه دوم
۵۹	۲۳۱	۶۳	۲۱۵	۷۰	۲۱۵	لایه سوم
-	۱۵۸	-	۱۶۵	-	۱۵۰	لایه چهارم

الف-۲-۱۸- سونداژ S18

جدول الف-۱۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ S18 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.15%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 20.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵	۲۴۲	۵/۶	۲۵۰	۵/۶	۲۵۰	لایه اول
۵۹	۱۳۰۶	۵۷	۱۳۴۳	۸۷	۱۱۱۰	لایه دوم
۱۸۸	۱۹۴۲	۱۹۳	۱۹۳۶	۲۴۰	۱۶۰۰	لایه سوم
-	۹۲۳	-	۹۶۰	-	۹۶۰	لایه چهارم

الف-۳- پروفیل R

الف-۳-۱- سونداژ R1

وجود یک حلقه چاه در فاصله ۲۷۰ متری که عمق برخورد به سطح آب در آن ۲۰ متر می‌باشد، نتایج به دست آمده را تأیید می‌کند.

جدول الف-۱۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R1 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =4.31%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۶	۱۳۹	۴/۴	۱۳۶	۵/۴	۱۵۲	لایه اول
۲۲	۳۸۴	۲۲	۳۷۶	۲۳	۲۸۵	لایه دوم
۹۵	۷۵	۱۰۰	۷۲	۱۱۰	۹۰	*لایه سوم
۲۱۴	۳۲	۲۱۵	۳۲	۲۱۵	۴۲	*لایه چهارم
-	۲۲۷	-	۲۳۱	-	۲۱۰	لایه پنجم

الف-۳-۲- سونداژهای R2

جدول الف-۲۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.81%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.90		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۵	۱۷۹	۴/۷	۱۷۰	۴/۷	۱۷۰	لایه اول
۲۱	۴۹	۲۱	۵۰	۲۰	۵۰	لایه دوم
۸۱	۱۷	۸۳	۱۵	۹۵	۱۵	*لایه سوم
۲۱۳	۷	۲۱۳	۷/۵	۲۱۵	۹/۵	لایه چهارم
-	۳۱	-	۲۸	-	۲۴	لایه پنجم

الف-۳-۳- سونداژهای R3

جدول الف-۲۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.51%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۵	۱۱	۲/۷	۱۱	۵/۲	۱۱	لایه اول
۱۰	۱۲	۱۰/۵	۱۳	۱۳	۱۳	لایه دوم
۳۳	۳۴	۳۴	۳۳	۳۶	۲۳	*لایه سوم
۲۴۵	۶	۲۶۴	۶	۳۶۰	۷	لایه چهارم
-	۲۵	-	۲۴	-	۳۵	لایه پنجم

الف-۳-۴- سونداژ R4

یک حلقه چاه در فاصله ۵۰۰ متری محل سونداژ R4 وجود دارد که در عمق ۱۳ متری به سطح آب برخورد کرده است.

جدول الف-۲۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 2.68%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵/۸	۹/۳	۶/۴	۹/۵	۶/۴	۹/۵	لایه اول
۱۳	۱۰	۱۶	۱۰/۵	۱۶	۱۰/۵	لایه دوم
۳۹	۲۹	۴۳	۲۸/۵	۴۳	۱۹	*لایه سوم
۱۷۴	۹	۱۷۰	۸/۷	۱۷۰	۱۰	۵لایه چهارم
۶۴۶	۵/۶	۷۰۰	۶	۷۰۰	۶/۴	لایه پنجم
-	۲۱	-	۱۹	-	۱۹	لایه ششم

الف-۳-۵- سونداژهای R5

یک حلقه چاه در فاصله ۴۶۰ متری محل سونداژ حفر گردیده که عمق آب آن در ۱۱ متری می‌باشد.

جدول الف-۲۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.78%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۸	۳۷	۴/۲	۳۸	۵	۳۸	لایه اول
۱۱	۲۴	۱۱/۵	۲۲	۱۴	۲۳	لایه دوم
۲۴	۵۵	۲۴	۶۶	۲۸	۴۶	*لایه سوم
۱۱۷	۱۱	۱۲۸	۱۰	۱۲۵	۱۱	۵لایه چهارم
۴۳۳	۶	۴۶۸	۷	۴۷۰	۷/۵	لایه پنجم
-	۱۷	-	۱۸	-	۱۵	لایه ششم

الف-۳-۶- سونداژهای R6

در فاصله ۸۵ متری محل برداشت سونداژ R6 چاهی با عمق آب ۵ متر حفر شده است.

جدول الف-۲۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 2.20%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۵	۳۸	۵/۸	۳۸	۵/۸	۳۸	لایه اول
۱۸/۵	۵۳	۲۱	۵۵	۲۱	۵۰	*لایه دوم
۱۱۳	۱۵	۱۰۹	۱۵	۱۰۹	۱۵	*لایه سوم
۶۳۵	۷	۶۳۹	۷/۴	۶۴۰	۸	لایه چهارم
-	۸۰	-	۷۴	-	۷۴	لایه پنجم

الف-۳-۷- سونداژهای R7

جدول الف-۲۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 10.58%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 13.54		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۴	۱۶	۱/۸	۱۷	۲/۴	۲۰	لایه اول
۵	۵۱	۶	۴۹	۹/۵	۴۶	لایه دوم
۶	۲۸	۶/۸	۲۸	۱۰/۵	۳۴	*لایه سوم
۳۰	۳۷	۳۳	۳۵	۴۲	۳۲	*لایه چهارم
۳۶	۲۰	۳۸	۲۱	۴۸	۲۵	*لایه پنجم
۶۳۳	۹/۵	۵۸۸	۹/۵	۳۸۰	۹	لایه ششم
-	۲۰	-	۱۹	-	۱۸	لایه هفتم

الف-۳-۸- سونداژهای R8

در محل برداشت این سونداژ سه چاه به فاصله‌های ۳۸۰، ۴۳۰ و ۵۰۰ متر حفر شده‌اند که به ترتیب عمق آب آنها در ۲۸، ۲۹ و ۲۲ متری می‌باشد.

جدول الف-۲۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.49%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۵	۳۹	۱/۶	۳۷	۱/۸	۳۸	لایه اول
۶	۲۷	۵/۶	۲۷	۸	۲۷	لایه دوم
۱۰	۶۰	۱۰	۵۹	۱۲	۵۴	لایه سوم
۲۱	۲۳	۲۱	۲۴	۲۳	۳۰	لایه چهارم
۱۱۳	۱۶	۱۱۱	۱۶	۷۸	۱۶	*لایه پنجم
۴۰۵	۵/۵	۴۱۱	۵/۵	۴۲۰	۷	لایه ششم
-	۱۵۷	-	۱۲۰	-	۱۲۰	لایه هفتم

الف-۳-۹- سونداژهای R9

در محل برداشت سونداژ R9، دو حلقه چاه به فاصله‌های ۳۰۰ و ۴۵۰ متر حفر شده‌اند که سطح آب در آنها به ترتیب در عمق‌های ۴۲ و ۴۳ متری می‌باشد.

جدول الف-۲۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.48%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۲	۱۲۵	۲/۲	۱۲۳	۲/۲	۹۵	لایه اول
۶/۷	۳۵	۶/۵	۳۵	۷/۵	۴۸	لایه دوم
۱۰	۷۳	۹/۵	۷۱	۱۱	۵۲	لایه سوم
۲۰	۹۵	۲۰	۹۴	۲۱	۶۵	لایه چهارم
۴۹	۴۰	۴۷	۳۵	۵۰	۵۵	لایه پنجم
۹۳	۳۴	۹۰	۴۴	۸۵	۲۸	لایه ششم
۴۳۷	۱۱	۴۳۰	۱۱	۴۶۰	۱۴	لایه هفتم
-	۸۴	-	۹۴	-	۷۰	لایه هشتم

الف-۳-۱۰- سونداژهای R10

در فاصله ۳۹۰ متری محل برداشت سونداژ R10 چاهی وجود دارد که در عمق ۴۵ متری به آب خورده است.

جدول الف-۲۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =5.09%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۸۳۸	۱/۶	۸۱۶	۲	۶۸۰	لایه اول
۲۲	۱۹۹	۲۲	۲۰۰	۲۰	۱۹۵	لایه دوم
۳۷	۱۰۹	۳۷	۱۰۸	۳۶	۱۶۵	لایه سوم
۵۰	۷۷	۵۰	۷۷	۴۸	۳۳	لایه چهارم
۱۴۵	۶۶	۱۴۶	۷۸	۱۲۵	۶۶	*لایه پنجم
۲۷۳	۴	۲۷۶	۴	۳۰۰	۷	لایه ششم
-	۱۶۳	-	۱۸۲	-	۷۰	لایه هفتم

الف-۳-۱۱- سونداژ R11

جدول الف-۲۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =5.94%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۶	۴۴۵	۳/۸	۴۴۰	۳/۸	۴۴۰	لایه اول
۳۱	۱۵۶	۲۹	۱۳۰	۲۴	۱۳۰	لایه دوم
۷۲	۶۷	۷۳	۶۴	۷۵	۵۳	لایه سوم
۲۰۶	۱۸	۲۲۶	۲۲	۲۴۰	۲۵	*لایه چهارم
-	۲۵۶	-	۲۴۷	-	۲۲۵	۵لایه پنجم

الف-۳-۱۲- سونداژ R12

جدول الف-۳۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.80%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 10.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۳۶۳	۳/۱	۳۹۰	۳/۴	۳۹۰	لایه اول
۷/۵	۳۳۴	۸/۶	۳۲۰	۸/۵	۳۲۰	لایه دوم
۱۸	۳۹۱	۱۹	۳۸۰	۲۱	۳۸۰	لایه سوم
۲۴	۲۶۲	۲۵	۲۸۱	۲۷	۳۲۰	لایه چهارم
۷۰	۲۴۸	۶۸	۲۵۶	۷۵	۲۷۰	لایه پنجم
۱۰۴	۲۳۵	۱۰۳	۲۴۲	۱۱۰	۲۲۵	لایه ششم
۱۸۵	۱۰۵	۱۸۳	۱۰۲	۲۴۰	۱۱۰	*لایه هفتم
۲۳۰	۵۴	۲۳۳	۵۸	۲۹۰	۶۵	*لایه هشتم
-	۲۹	-	۲۸	-	۲۶	۵لایه نهم

الف-۳-۱۳- سونداژ R13

یک حلقه چاه در فاصله ۶۰ متری محل سونداژ که عمق آب آن در ۱۰۵ متری می باشد وجود دارد.

جدول الف-۳۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R13 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 2.30%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.0		تفسیر با منحنی های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۳۸۴	۳	۳۷۵	۳/۸	۳۶۰	لایه اول
۷/۴	۲۱۳	۸/۵	۲۴۷	۸/۵	۳۰۰	لایه دوم
۱۲	۵۰۰	۱۳	۵۱۷	۱۴	۲۹۰	لایه سوم
۲۵	۳۲۹	۲۶	۳۰۶	۲۷	۳۶۰	لایه چهارم
۲۸	۲۷۳	۳۰	۲۸۰	۳۱	۳۳۰	لایه پنجم
۵۸	۲۷۱	۶۰	۲۷۴	۶۰	۲۹۰	لایه ششم
۱۰۶	۲۷۰	۱۰۸	۲۶۷	۱۲۰	۲۳۰	لایه هفتم
۲۷۴	۷۹	۲۷۸	۸۰	۲۶۰	۷۰	*لایه هشتم
-	۴۷	-	۴۸	-	۵۱	لایه نهم

الف-۳-۱۴- سونداژ R14

جدول الف-۳۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R14 به کمک روش های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 1.56%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.0		تفسیر با منحنی های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۶/۴	۳۰۹	۶/۵	۳۱۵	۶/۸	۳۱۷	لایه اول
۱۳	۳۶۲	۱۴	۳۴۰	۱۴	۳۲۰	لایه دوم
۲۳	۳۸۱	۲۴	۳۸۰	۲۵	۳۸۰	لایه سوم
۱۰۸	۲۲۲	۱۱۰	۲۱۵	۱۱۵	۲۱۵	لایه چهارم
۵۸۰	۹۹	۶۰۰	۹۰	۶۲۰	۹۰	*لایه پنجم
-	۴۹	-	۵۴	-	۵۴	لایه ششم

الف-۳-۱۵- سونداژ R15

جدول الف-۳۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R15 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.47%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.1		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵/۶	۲۳۱	۵/۲	۲۲۵	۶/۴	۲۵۰	لایه اول
۱۹	۳۶۵	۲۰	۳۵۷	۲۷	۲۹۵	لایه دوم
۱۱۵	۱۷۹	۱۰۸	۱۸۰	۹۷	۱۸۰	لایه سوم
-	۱۳۸	-	۱۳۸	-	۱۴۵	لایه چهارم

الف-۳-۱۶- سونداژ R16

جدول الف-۳۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =8.20%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 20.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۳	۲۲۱	۴	۲۴۵	۵/۸	۲۴۵	لایه اول
۸	۴۹۳	۱۰	۳۹۰	۱۳	۳۰۰	لایه دوم
۲۶	۹۳	۳۴	۹۲	۴۴	۱۱۵	لایه سوم
۵۲	۳۶۹	۵۸	۳۸۲	۶۸	۲۲۵	لایه چهارم
۸۸	۱۷۶	۹۵	۱۷۰	۱۰۵	۱۷۰	لایه پنجم
۱۸۳	۱۳۹	۱۹۵	۱۲۹	۲۰۵	۱۸۵	لایه ششم
۴۰۰	۱۴۰	۴۲۰	۱۵۰	۴۳۰	۱۵۰	لایه هفتم
-	۳۲۳	-	۳۳۰	-	۳۰۰	لایه هشتم

الف-۳-۱۷- سونداژ R17

جدول الف-۳۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R17 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =0.70%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۶	۱۲۳	۳/۲	۱۶۳	۵	۱۶۵	لایه اول
۴/۷	۵۳۳	۵	۳۷۷	۷	۲۶۰	لایه دوم
۲۳	۳۲۳	۲۶	۳۴۱	۳۳	۳۱۰	لایه سوم
۱۱۶	۲۲۳	۱۲۵	۲۰۹	۱۲۵	۱۹۰	لایه چهارم
-	۳۴	-	۳۱	-	۲۸	*لایه پنجم

الف-۳-۱۸- سونداژ R18

جدول الف-۳۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ R18 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 5.29%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 14.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵	۳۲۳	۴/۵	۳۴۱	۵	۳۱۰	لایه اول
۱۳	۳۴۱	۱۲/۵	۳۴۸	۱۴	۳۸۷	لایه دوم
۸۵	۲۲۸	۸۳	۲۵۵	۸۵	۲۳۲	لایه سوم
۱۹۶	۸۶	۱۹۸	۹۳	۲۰۰	۹۰	*لایه چهارم
۶۵۰	۵۹	۶۵۰	۵۶	۷۲۵	۵۶	لایه پنجم
-	۲۹۷	-	۲۸۰	-	۲۸۰	لایه ششم

الف-۴- پروفیل Q

الف-۳-۱- سونداژهای Q1 و Q2

در فاصله ۱۱۶ متری محل سونداژ Q1، چاهی حفر شده است که سطح آب در آن در عمق ۲۰ متری می‌باشد.

جدول الف-۳۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q1 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.04%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۲	۲۰	۲/۲	۲۳	۵/۲	۲۸	لایه اول
۳/۶	۵۷	۴	۶۴	۷	۴۵	لایه دوم
۲۰	۹۶	۲۰	۸۴	۲۳	۷۰	لایه سوم
۱۰۳	۲۹	۱۱۴	۳۲	۱۳۰	۴۰	*لایه چهارم
-	۱۳۵	-	۱۴۰	-	۱۲۰	۵لایه پنجم

جدول الف-۳۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.10%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۷۲	۲	۷۰	۱/۹	۶۲	لایه اول
۵	۱۲	۶	۱۳	۶/۲	۱۸	لایه دوم
۱۱	۲۴	۱۲	۲۲	۱۲	۲۰	لایه سوم
۲۰	۴۰	۲۲	۴۲	۳۱	۳۰	*لایه چهارم
۲۶	۱۴	۲۹	۱۵	۳۸	۲۱	*لایه پنجم
۱۳۷	۱۲	۱۴۰	۱۲	۱۳۵	۱۲	۵لایه ششم
۳۹۶	۱۱	۴۴۰	۱۱	۴۶۰	۱۱	لایه هفتم
۴۶۰	۴	۵۰۰	۵	۵۲۰	۵	لایه هشتم
-	۱۰	-	۱۰	-	۱۰.۵	لایه نهم

الف-۴-۲- سونداژ Q3

در فاصله ۴۵۰ متری محل برداشت این سونداژ چاهی حفر شده است که عمق برخورد به آب در آن ۱۱ متر می‌باشد.

جدول الف-۳۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =6.26%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴	۱۷	۴	۱۴	۶	۲۳	لایه اول
۹	۶۲	۱۱	۷۲	۱۰	۳۸	لایه دوم
۳۰	۲۳	۳۵	۲۱	۳۴	۲۲	*لایه سوم
۶۵	۴۱	۵۹	۵۲	۶۸	۳۱	*لایه چهارم
۶۴۵	۷	۵۵۰	۷	۶۲۰	۷	۵لایه پنجم
-	۲۱	-	۱۶	-	۲۱	لایه ششم

الف-۴-۳- سونداژ Q4

یک حلقه چاه با عمق آب ۱۱ متر در فاصله ۴۵۰ متری محل برداشت سونداژ Q4 وجود دارد.

جدول الف-۴۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.14%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۶/۶	۲۰۲	۶/۲	۲۱۰	۵/۶	۲۱۰	لایه اول
۱۴	۸۶	۱۵	۹۰	۱۴	۹۰	لایه دوم
۳۰	۲۴	۳۱	۲۱	۳۰	۲۱	*لایه سوم
۱۹۰	۱۳	۱۸۴	۱۳	۲۰۰	۱۳	۵لایه چهارم
۴۸۷	۷	۴۸۴	۷	۵۰۰	۹	لایه پنجم
-	۱۳	-	۱۳	-	۱۱	لایه ششم

الف-۴-۴- سونداژ Q5

در فاصله ۱۸۰ متری محل برداشت این سونداژ چاهی با عمق آب ۷ متر حفر شده است.

جدول الف-۴۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.58%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵	۲۸	۵	۲۹	۳/۸	۳۰	لایه اول
۱۱	۱۰۰	۱۱	۹۷	۱۰	۳۸	لایه دوم
۲۴	۶۴	۲۱	۷۰	۲۲	۶۴	*لایه سوم
۹۵	۱۸	۹۳	۱۷	۱۰۰	۲۱	*لایه چهارم
۱۲۵	۱۴	۱۲۳	۱۴	۱۳۰	۱۵	لایه پنجم
۴۰۶	۸	۳۹۳	۸/۵	۴۰۰	۸	لایه ششم
-	۱۲	-	۱۲	-	۱۱	لایه هفتم

الف-۴-۵- سونداژ Q6

جدول الف-۴۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 2.25%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
D (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۱۰۳	۳	۱۰۳	۴/۲	۸۵	لایه اول
۸	۳۸	۸	۳۸	۹	۴۰	لایه دوم
۲۷	۸۰	۳۰	۸۰	۳۱	۷۵	*لایه سوم
۱۲۸	۱۵	۱۳۰	۱۴	۱۰۰	۱۶	*لایه چهارم
۶۴۵	۶	۷۱۵	۶	۷۵۰	۷	لایه پنجم
-	۷۴	-	۷۰	-	۷۰	لایه ششم

الف-۴-۶- سونداژ Q7

در فاصله ۷۶ متری محل برداشت سونداژ Q7 چاهی با عمق آب ۱۷ متر حفر گردیده است که برخورد به در آن می‌باشد.

جدول الف-۴۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.40%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۸	۴۲	۴/۶	۴۰	۴/۶	۴۰	لایه اول
۲۱	۸۸	۲۰	۹۲	۲۲	۷۰	لایه دوم
۳۴	۳۵	۳۶	۳۸	۳۷	۳۸	*لایه سوم
۱۷۷	۱۶	۱۶۶	۱۴	۱۶۰	۱۸	*لایه چهارم
۴۸۶	۴	۶۰۰	۵	۶۰۰	۶	۵لایه پنجم
-	۸۸	-	۷۵	-	۷۵	لایه ششم

الف-۴-۷- سونداژ Q8

دو حلقه چاه در فواصل ۱۰۰ و ۲۹۰ متری محل برداشت این سونداژ وجود دارد که به ترتیب در ۲۵ و ۱۹ متری به سطح آب برخورد کرده‌اند.

جدول الف-۴۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =10.00%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۱	۲۷	۳/۶	۲۲	۴	۲۰	لایه اول
۶	۵	۷	۸	۶	۱۳	لایه دوم
۲۰	۲۰	۲۰	۱۸	۲۰	۱۵	لایه سوم
۳۹	۲۹	۴۱	۲۹	۴۰	۲۸	*لایه
۳۰۴	۱۰	۳۱۱	۹	۳۱۰	۹	۵لایه پنجم
۴۶۲	۱۱	۴۸۱	۱۹	۴۸۰	۱۹	لایه ششم
۶۹۷	۳	۶۲۰	۶	۶۲۰	۶	لایه هفتم
-	۱۰۲	-	۱۲۰	-	۱۲۰	لایه هشتم

الف-۴-۸- سونداژ Q9

جدول الف-۴۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.17%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit = 1.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴	۴۳	۴/۴	۴۵	۵	۴۶	لایه اول
۸	۲۴	۸/۴	۲۳	۹	۳۲	لایه دوم
۴۷	۶۸	۴۷	۶۹	۵۲	۵۸	لایه سوم
۱۷۷	۳۲	۱۸۳	۳۳	۲۳۰	۳۰	*لایه چهارم
۳۹۲	۷/۶	۳۹۰	۷/۵	۴۱۲	۱۲	۵لایه پنجم
-	۲۲	-	۲۶	-	۲۴	لایه ششم

الف-۴-۹- سونداژ Q10

در محل برداشت این سونداژ سه حلقه چاه به فاصله‌های ۵۰، ۳۵۰ و ۴۷۰ متری سونداژ Q10 حفر شده‌اند که سطح برخورد به آب در آن‌ها به ترتیب در عمق‌های ۴۵، ۶۱ و ۵۴ متری می‌باشد.

جدول الف-۴۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.97%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۹	۴۱۵	۳	۴۱۰	۳/۵	۴۱۰	لایه اول
۱۶	۲۵۴	۱۷	۲۵۰	۱۶	۲۵۰	لایه دوم
۵۲	۱۴۵	۵۳	۱۴۵	۵۲	۱۳۸	لایه سوم
۱۹۰	۴۲	۱۹۳	۴۰	۲۵۰	۳۵	*لایه چهارم
۲۵۸	۱۱	۲۵۴	۱۱	۳۱۵	۱۴	لایه پنجم
۵۰۹	۱۴	۵۰۱	۱۵	۶۰۰	۲۰	لایه ششم
-	۱۹۳	-	۱۷۰	-	۱۷۰	لایه هفتم

الف-۴-۱۰- سونداژ Q11

سه حلقه چاه در فاصله کمتر از ۴۰۰ متری این سونداژ وجود دارد که عمق برخورد به سطح آب در آن‌ها در عمق ۴۵، ۵۵ و ۶۵ متری می‌باشد.

جدول الف-۴۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.77%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.1		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۱۹۸	۴	۱۹۵	۴/۶	۲۰۰	لایه اول
۸	۲۸۸	۹	۳۰۰	۱۱	۲۵۰	لایه دوم
۳۳	۱۳۸	۳۲	۱۴۰	۴۴	۱۵۰	لایه سوم
۶۶	۲۰۵	۶۵	۱۸۷	۷۸	۱۸۷	لایه چهارم
۲۰۶	۷۵	۲۰۰	۷۴	۱۹۰	۷۵	*لایه پنجم
۴۳۶	۱۷	۴۷۰	۲۲	۴۶۰	۲۲	۵لایه ششم
-	۲۶۳	-	۲۰۴	-	۱۵۷	لایه هفتم

الف-۴-۱۱- سونداژ Q12

یک حلقه چاه در فاصله ۲۳۷ متری محل این سونداژ وجود دارد که سطح برخورد به آب در آن در

عمق ۱۱۴ متری می‌باشد.

جدول الف-۴۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.43%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۶	۳۸۰	۲/۶	۴۶۴	۴/۵	۳۲۰	لایه اول
۵/۹	۱۶۲	۵/۸	۱۳۶	۸/۵	۱۶۰	لایه دوم
۳۷	۲۶۰	۳۱	۲۸۶	۴۰	۲۶۰	لایه سوم
۱۲۱	۱۸۰	۱۳۰	۱۷۳	۱۲۵	۱۶۰	لایه چهارم
-	۶۶	-	۶۴	-	۶۴	*لایه پنجم

الف-۴-۱۲- سونداژ Q13

جدول الف-۴۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q13 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.38%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۴۰۹	۲/۲	۴۰۰	۳	۳۹۰	لایه اول
۶/۶	۲۱۳	۷	۲۲۰	۸/۵	۲۳۰	لایه دوم
۲۲	۲۸۲	۲۲	۲۹۰	۲۹	۲۷۰	لایه سوم
۲۴	۲۰۶	۲۶	۲۱۴	۳۲	۲۴۰	لایه چهارم
۱۱۷	۱۹۳	۱۱۹	۱۸۷	۱۲۵	۱۸۰	لایه پنجم
۱۴۲	۱۱۰	۱۴۶	۱۱۲	۱۵۰	۱۱۰	*لایه ششم
۵۹۳	۱۰۹	۶۲۰	۱۰۸	۶۲۰	۱۰۸	لایه هفتم
-	۶۷	-	۷۰	-	۷۰	لایه هشتم

الف-۴-۱۳- سونداژ Q14

یک حلقه چاه در فاصله ۴۸۰ متری محل سونداژ با عمق آب ۱۱۲ متر وجود دارد.

جدول الف-۵۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q14 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.42%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۱۸۴	۱/۵	۱۹۰	۱/۵	۲۱۰	لایه اول
۷/۵	۴۷۷	۸/۵	۴۶۰	۱۰	۳۸۰	لایه دوم
۱۳	۴۶۳	۱۶	۴۵۰	۲۱	۴۰۰	لایه سوم
۱۵	۲۹۰	۱۸	۲۹۰	۲۳	۳۴۰	لایه چهارم
۱۳۲	۱۹۰	۱۳۳	۱۹۰	۱۸۰	۱۸۰	لایه پنجم
۱۶۰	۱۳۵	۱۶۳	۱۳۵	۲۱۰	۱۴۵	*لایه ششم
-	۹۴	-	۹۳	-	۸۷	لایه هفتم

الف-۴-۱۴- سونداژهای Q15، Q16، Q17 و Q19

در محل سونداژهای Q15، Q16 و Q17 هیچگونه لایه آبداری وجود ندارد.

جدول الف-۵۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q15 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.18%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 7.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۲۲۵	۳/۲	۲۳۸	۴/۲	۲۶۵	لایه اول
۱۲	۳۹۵	۱۴	۳۸۷	۲۱	۳۲۰	لایه دوم
۵۴	۲۰۴	۴۱	۲۰۵	۴۴	۲۱۵	لایه سوم
۲۹۲	۱۵۲	۲۶۱	۱۶۰	۲۵۰	۱۶۰	لایه چهارم
-	۲۷۶	-	۲۳۷	-	۲۴۰	لایه پنجم

جدول الف-۵۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =4.16%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 8.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۴۳	۱/۵	۴۲	۵	۸۳	لایه اول
۵	۵۲۸	۵	۵۰۰	۸	۱۸۰	لایه دوم
۲۷	۱۱۴	۲۶	۱۱۲	۴۲	۱۴۰	لایه سوم
۴۷	۲۸۸	۴۶	۲۹۰	۶۳	۱۷۰	لایه چهارم
۱۳۵	۱۰۸	۱۳۰	۱۱۲	۱۸۵	۱۴۰	لایه پنجم
۳۴۱	۳۱۲	۳۳۲	۲۷۷	۴۰۰	۱۸۵	لایه ششم
-	۷۲	-	۸۱	-	۹۰	لایه هفتم

جدول الف-۵۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q17 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.72%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۳۸۰	۳/۵	۳۷۴	۵	۳۴۰	لایه اول
۱۷	۲۲۸	۱۹	۲۲۵	۲۰	۲۲۵	لایه دوم
۲۸	۲۸۹	۳۰	۲۷۰	۳۱	۲۴۵	لایه سوم
۴۵	۹۲	۴۲	۸۲	۴۶	۱۹۰	لایه چهارم
۱۶۰	۲۳۶	۱۶۹	۲۳۰	۱۹۰	۱۹۵	لایه پنجم
۲۶۸	۲۱۴	۲۹۰	۲۱۰	۳۲۰	۲۱۰	لایه ششم
-	۱۳۲	-	۱۳۲	-	۱۴۷	لایه هفتم

الف-۴-۱۵- سونداژ Q18

جدول الف-۵۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q18 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =4.73%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 10.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۵	۳۳۶	۳	۳۲۰	۴/۸	۳۲۰	لایه اول
۱۵	۲۵۱	۱۳	۲۴۵	۱۴	۲۲۵	لایه دوم
۳۰	۲۰۰	۲۸	۲۳۱	۳۱	۲۶۰	لایه سوم
۳۱	۱۶۰	۲۹	۱۶۵	۳۲	۱۶۵	لایه چهارم
۶۴	۱۸۷	۶۲	۱۷۳	۶۵	۲۰۰	لایه پنجم
۲۱۳	۹۸	۲۲۲	۱۰۵	۲۲۵	۱۰۵	*لایه ششم
-	۷۱	-	۶۸	-	۶۵	۵لایه هفتم

الف-۴-۱۶- سونداژ Q19

جدول الف-۵۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ Q19 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.78%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.1		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۸۵۱۰	۱/۶	۸۴۴۸	۳/۱	۱۵۰۰	لایه اول
۲/۲	۳۰۴	۲/۳	۲۷۰	۳/۸	۳۲۰	لایه دوم
۱۶	۲۰۶	۱۶	۲۰۰	۱۸	۲۰۰	لایه سوم
۲۳	۱۶۲	۲۳	۱۶۵	۲۵	۱۷۰	لایه چهارم
۵۲	۱۳۴	۵۲	۱۳۶	۵۶	۱۵۵	لایه پنجم
۱۴۴	۱۳۷	۱۴۵	۱۳۸	۱۸۰	۱۱۳	لایه ششم
۱۷۷	۸۸	۱۷۸	۹۰	۲۱۵	۹۷	*لایه هفتم
-	۳۲	-	۳۰		۳۰	لا لایه هشتم

الف-۵- پروفیل P

الف-۵-۱- سونداژ P1

دو حلقه چاه در فاصله ۴۰۰ و ۳۳۰ متری محل برداشت سونداژ P1 حفر شده است که به ترتیب در

عمق ۱۸ و ۱۷ متری به آب رسیده‌اند.

جدول الف-۵۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P1 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.36%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۵	۳۱	۲/۶	۳۰	۲/۶	۳۰	لایه اول
۶/۹	۳۳	۶/۸	۳۲	۸	۳۷	لایه دوم
۱۵	۶۶	۱۶	۷۱	۱۶	۶۴	لایه سوم
۹۲	۵۲	۹۳	۵۰	۱۱۰	۵۷	*لایه چهارم
-	۱۳۸	-	۱۴۰	-	۱۴۰	۵لایه پنجم

الف-۵-۲- سونداژ P2

جدول الف-۵۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.60%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۶	۶	۲/۴	۴/۸	۲/۷	۴/۸	لایه اول
۱۴/۹	۸	۱۴	۹	۱۵	۹/۶	لایه دوم
۳۱	۱۴	۲۸	۱۵	۲۵	۱۴	*لایه سوم
۶۴	۳۱	۶۸	۲۷	۷۰	۲۲	*لایه چهارم
۱۵۳	۳	۱۸۰	۴	۲۵۰	۸	۵لایه پنجم

الف-۵-۳- سونداژ P3

یک حلقه چاه در فاصله ۵۰۰ متری محل سونداژ با عمق آب ۱۲ وجود دارد.

جدول الف-۵۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.17%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۳	۷۹	۲/۲	۷۳	۲/۳	۷۷	لایه اول
۱۲/۷	۱۹	۱۳	۲۱	۱۳	۲۳	لایه دوم
۲۲	۳۷	۲۳	۳۴	۲۳	۳۴	*لایه سوم
۴۹	۴۹	۵۴	۴۶	۵۸	۴۰	*لایه چهارم
۸۰	۱۲	۸۶	۱۳	۹۰	۱۴	۵لایه پنجم
۴۴۸	۱۵	۴۵۶	۱۵	۴۶۰	۱۵	لایه ششم
-	۷۲	-	۵۶	-	۵۶	لایه هفتم

الف-۵-۴- سونداژ P4

جدول الف-۵۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.37%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۹	۱۱۳	۲/۱	۹۶	۲/۲	۷۵	لایه اول
۴	۲۳	۴/۷	۲۶	۴/۲	۳۸	لایه دوم
۱۱	۵۲	۱۳	۵۳	۱۲	۴۰	لایه سوم
۳۵	۲۳	۳۶	۲۲	۳۵	۲۸	*لایه چهارم
۴۰	۲۶	۴۱	۲۵	۴۰	۲۵	*لایه پنجم
۱۴۰	۲۰	۱۴۱	۲۰	۱۷۰	۱۷	*لایه ششم
۳۰۰	۴	۳۱۰	۴	۳۵۰	۶	۵لایه هفتم
-	۲۱۸	-	۱۵۰	-	۱۲۰	لایه هشتم

الف-۵-۵- سونداژ P5

جدول الف-۶۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.35%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=0.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۹	۳۰	۴/۸	۲۹	۵/۴	۳۳	لایه اول
۱۱	۷۳	۱۱/۳	۷۳	۱۲	۴۹	لایه دوم
۱۷	۵۹	۱۹	۶۰	۱۹	۶۳	*لایه سوم
۲۷	۲۸	۲۹	۲۸	۲۸	۳۶	*لایه چهارم
۴۱	۳۲	۴۴	۳۱	۴۱	۳۴	*لایه پنجم
۳۷۹	۱۲	۳۸۱	۱۲	۳۸۰	۱۳	۵لایه ششم
-	۶۵	-	۷۲	-	۶۵	لایه هفتم

الف-۵-۶- سونداژ P6

دو حلقه چاه در فاصله ۵۰۰ متری محل سونداژ P6 وجود دارد که عمق آب در آنها به ترتیب ۸ متر و ۱۲ متر می‌باشد.

جدول الف-۶۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.12%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=0.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۴	۲۹	۵	۳۱	۵	۳۱	لایه اول
۸	۴۲	۹	۳۵	۹	۳۵	لایه دوم
۲۳	۴۱	۲۴	۴۳	۲۸	۴۳	*لایه سوم
۱۱۲	۲۸	۱۲۰	۲۸	۱۳۵	۲۳	*لایه چهارم
۲۵۰	۵	۳۶۰	۵	۲۷۵	۶	۵لایه پنجم
-	۵۶	-	۵۷	-	۴۵	لایه ششم

الف-۵-۷- سونداژ P7

دو حلقه چاه در فاصله تقریبی ۵۰۰ متری محل سونداژ P7 وجود دارند که عمق آب در آنها ۱۶ متر و ۱۷ متر می‌باشد.

جدول الف-۶۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.31%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=0.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴	۲۹	۳/۵	۲۷	۴/۲	۳۱	لایه اول
۱۹	۹۵	۱۹	۸۸	۲۰	۸۰	لایه دوم
۲۷	۶۳	۲۸	۶۵	۲۸	۶۸	*لایه سوم
۷۵	۲۵	۷۵	۲۴	۶۴	۲۳	*لایه چهارم
۴۸۸	۱۴	۴۸۲	۱۴	۴۳۰	۱۴	۵لایه پنجم
-	۱۹۳	-	۱۵۶	-	۱۶۷	لایه ششم

الف-۵-۸- سونداژ P8

در فاصله ۸۹ متری محل برداشت سونداژ P8 چاهی با عمق آب ۲۰ متر وجود دارد.

جدول الف-۶۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.91%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۹	۷۹	۲/۱	۷۳	۲/۲	۶۲	لایه اول
۱۰	۲۱	۱۱/۵	۲۱	۱۴	۲۴	لایه دوم
۲۵	۳۳	۲۶	۳۵	۳۰	۳۱	لایه سوم
۴۰	۲۳	۴۱	۳۴	۴۶	۲۰	*لایه چهارم
۶۸	۴۷	۶۸	۳۶	۷۳	۳۹	*لایه پنجم
۲۵۴	۱۰	۳۸۱	۱۱	۳۰۰	۱۲	۵لایه ششم
-	۴۲	-	۴۲	-	۴۸	لایه هفتم

الف-۵-۹- سونداژ P9

دو حلقه چاه در فاصله ۲۹۰ و ۴۳۰ متری محل برداشت سونداژ P9 حفر شده‌اند که به ترتیب در عمق ۳۵ و ۴۱ متری به آب برخورد کرده‌اند.

جدول الف-۶۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.47%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۶	۱۷۶	۳/۲	۱۷۵	۳/۲	۲۱۰	لایه اول
۱۵	۷۷	۱۵	۸۱	۱۷	۸۵	لایه دوم
۳۸	۷۵	۳۹	۶۵	۴۰	۷۳	لایه سوم
۷۰	۸۵	۷۰	۸۷	۶۷	۸۵	*لایه چهارم
۱۴۹	۶۳	۱۵۰	۶۶	۱۸۰	۵۵	*لایه پنجم
۱۸۱	۴/۵	۱۸۳	۵/۵	۲۱۰	۵	لایه ششم
۵۶۲	۱۷	۵۴۶	۱۷	۶۰۰	۲۰	لایه هفتم
-	۱۸۴	-	۱۸۰	-	۱۸۰	لایه هشتم

الف-۵-۱۰- سونداژهای P10 و P11

چاهی در فاصله کمتر از ۱۰۰ متری محل سونداژ P11 وجود دارد که سطح آب آن در عمق ۹۰ متری می‌باشد.

جدول الف-۶۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =8.22%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 15.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۶۳۱	۱/۶	۶۳۰	۱/۵	۵۶۰	لایه اول
۷	۱۲۵	۶/۵	۱۲۵	۱۳	۱۶۰	لایه دوم
۹	۲۹۲	۸/۵	۲۹۰	۱۵	۲۴۰	لایه سوم
۲۲	۴۳۰	۲۲	۴۴۰	۳۰	۳۰۰	لایه چهارم
۲۴	۲۵۰	۲۴	۲۵۰	۳۲	۲۷۰	لایه پنجم
۹۲	۱۴۰	۹۲	۱۴۰	۱۰۰	۱۴۵	لایه ششم
۱۰۴	۱۰۵	۱۰۴	۱۰۵	۱۱۰	۱۰۵	*لایه هفتم
۷۵۰	۱۹	۷۰۴	۲۰	۶۶۰	۱۷	لایه هشتم
-	۱۹۹	-	۲۰۰	-	۲۰۰	لایه نهم

جدول الف-۶۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =10.76%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 19.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۷۳	۲	۸۴	۲/۷	۵۴	لایه اول
۶	۴۷۴	۶	۵۰۰	۹	۵۰۰	لایه دوم
۹	۲۵۷	۹	۲۵۰	۱۳	۳۰۰	لایه سوم
۱۱	۶۹	۱۱	۷۴	۱۴/۵	۷۵	لایه چهارم
۲۷	۷۹	۲۶	۸۰	۳۳	۹۸	لایه پنجم
۵۴	۲۲۰	۵۲	۲۲۰	۶۰	۱۵۰	لایه ششم
۸۹	۱۴۹	۸۸	۱۵۰	۹۵	۱۳۵	لایه هفتم
۱۵۹	۴۹	۱۵۸	۵۰	۱۶۵	۵۷	*لایه هشتم
۵۲۲	۳۴	۵۲۰	۳۴	۵۸۰	۴۶	لایه نهم
-	۱۴۱	-	۱۴۰	-	۱۲۵	لایه دهم

الف-۵-۱۱- سونداژ P12

دو حلقه چاه در فاصله ۷۷۰ و ۴۳۰ متری محل سونداژ P12 وجود دارد که عمق آب در این چاه‌ها به ترتیب در ۷۰ و ۷۵ متری می‌باشد.

جدول الف -۶۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.48%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۶	۲۱۲	۳/۶	۲۰۰	۳/۶	۲۰۰	لایه اول
۹	۲۱۷	۹	۲۳۰	۹	۲۳۰	لایه دوم
۸۰	۱۵۹	۷۹	۱۵۵	۸۰	۱۵۵	لایه سوم
۲۲۹	۱۱۵	۲۲۲	۱۲۰	۲۳۰	۱۱۵	*لایه چهارم
-	۵۰	-	۵۱	-	۴۶	۵لایه پنجم

الف-۵-۱۲- سونداژ P13

در فاصله ۱۸۰ متری محل برداشت سونداژ P13 چاهی با عمق آب ۹۵ متر حفر گردیده است.

جدول الف -۶۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P13 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.61%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۴	۱۷۸	۳/۶	۱۸۰	۳/۶	۱۸۰	لایه اول
۲۰	۱۱۴	۲۴	۱۱۰	۲۹	۱۱۰	لایه دوم
۳۰	۳۵	۳۱	۳۲	۳۶	۴۴	لایه سوم
۸۷	۲۳۸	۹۱	۲۲۸	۹۵	۱۹۲	لایه چهارم
۱۸۳	۹۹	۱۹۶	۱۰۰	۲۰۰	۱۱۲	*لایه پنجم
-	۷۰	-	۶۹	-	۶۵	۶لایه ششم

الف-۵-۱۳- سونداژ P14

جدول الف-۶۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P14 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =4.83%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 7.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۱۹۹	۲/۸	۲۴۰	۲/۸	۲۴۰	لایه اول
۱۴	۲۳۶	۱۸	۲۰۰	۱۸	۲۰۰	لایه دوم
۲۶	۴۱	۲۹	۴۴	۲۹	۵۰	لایه سوم
۸۷	۲۲۰	۸۹	۲۱۶	۹۰	۱۸۰	لایه چهارم
۱۵۷	۸۲	۱۶۲	۹۰	۱۸۰	۱۲۵	*لایه پنجم
۳۰۶	۶۱	۳۰۷	۶۰	۳۶۰	۶۰	*لایه ششم
-	۱۹۳	-	۱۹۸	-	۱۸۰	لا لایه هفتم

الف-۵-۱۴- سونداژ P15

در محل این سونداژ هیچگونه لایه آبداری وجود ندارد.

جدول الف-۷۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P15 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.73%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۱	۲۴۹	۳/۶	۲۵۵	۳/۸	۲۲۵	لایه اول
۲۳	۲۱۰	۲۳	۲	۲۲	۲۰۰	لایه دوم
۱۲۷	۱۳۳	۱۴۸	۱۳۵	۱۴۷	۱۴۰	لایه سوم
-	۱۷۳	-	۱۷۵	-	۱۷۵	لایه چهارم

الف-۵-۱۵- سونداژ P16

جدول الف-۷۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.36%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۹	۱۵۵	۲	۱۶۰	۱/۹	۱۶۵	لایه اول
۲۴	۲۱۱	۲۶	۲۱۵	۳۰	۲۱۰	لایه دوم
۲۷	۱۵۶	۲۹	۱۵۰	۳۳	۱۶۳	لایه سوم
۵۸	۱۰۵	۵۹	۱۲۶	۷۰	۱۵۰	لایه چهارم
۷۰	۹۹	۷۲	۱۱۵	۸۳	۱۲۰	لایه پنجم
۱۶۷	۹۸	۱۷۳	۹۸	۱۸۰	۱۰۵	*لایه ششم
-	۱۵۷	-	۱۵۵	-	۱۵۵	۵لایه هفتم

الف-۵-۱۶- سونداژ P17

جدول الف-۷۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P17 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.78%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۸۹۳	۲	۸۵۰	۲/۲	۸۵۰	لایه اول
۳/۷	۲۰۸	۳/۸	۲۱۵	۴	۲۱۵	لایه دوم
۲۳	۱۵۳	۲۷	۱۵۰	۲۷	۱۵۰	لایه سوم
۲۸	۱۱۶	۳۲	۱۲۶	۳۲	۱۴۰	لایه چهارم
۱۲۱	۱۲۰	۱۲۵	۱۱۵	۱۲۵	۱۱۵	لایه پنجم
۲۱۰	۹۸	۲۱۰	۹۸	۲۱۰	۹۸	*لایه ششم
-	۵۹	-	۶۰	-	۶۰	۵لایه هفتم

الف-۵-۱۷- سونداژ P18

چاهی در فاصله ۲۷۰ متری محل سونداژ P18 وجود دارد که عمق آب آن ۹۵ متر می‌باشد.

جدول الف-۷۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P18 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.92%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۷۱۰	۲	۶۸۰	۲/۲	۶۸۰	لایه اول
۱۲	۱۸۸	۱۲	۱۹۰	۱۲	۲۰۰	لایه دوم
۲۰	۲۲۹	۲۱	۲۱۵	۲۱	۲۱۵	لایه سوم
۶۳	۲۰۰	۶۴	۲۰۰	۶۵	۲۰۰	لایه چهارم
۹۸	۱۵۴	۹۹	۱۵۵	۱۰۰	۱۶۰	لایه پنجم
۲۰۹	۷۸	۲۰۷	۸۰	۲۱۵	۸۰	*لایه ششم
-	۶۴	-	۶۶	-	۶۰	۵لایه هفتم

الف-۵-۱۸- سونداژ P19

دو حلقه چاه در فاصله ۵۰۰ و ۳۳۰ متری محل سونداژ P12 حفر شده‌اند که سطح آب در این چاه‌ها در عمق ۹۰ متری می‌باشد.

جدول الف-۷۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P19 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.03%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۲	۹۶	۳/۶	۹۷	۳/۶	۹۷	لایه اول
۱۶	۱۲۰	۱۷/۶	۱۲۶	۱۸	۱۱۵	لایه دوم
۸۹	۱۷۰	۹۲	۱۶۹	۱۰۰	۱۷۲	لایه سوم
۲۳۹	۵۵	۲۴۵	۵۲	۲۷۰	۵۰	*لایه چهارم
-	۲۸	-	۲۷	-	۲۷	۵لایه پنجم

الف-۵-۱۹- سونداژ P20

یک حلقه چاه در فاصله ۴۹۰ متری محل سونداژ P20 با عمق آب ۸۰ متر حفر شده است.

جدول الف-۷۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P20 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.80%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۱۹۵	۲	۲۲۰	۲	۲۲۰	لایه اول
۱۳	۹۱	۱۲	۹۵	۱۲	۹۵	لایه دوم
۲۵	۳۲۶	۲۳	۲۳۷	۲۳	۲۳۷	لایه سوم
۷۰	۱۵۵	۷۲	۱۸۰	۷۲	۱۸۰	لایه چهارم
۸۰	۱۵۶	۸۲	۱۶۰	۸۲	۱۶۰	لایه پنجم
۱۹۹	۶۳	۲۰۰	۶۱	۲۴۰	۶۸	*لایه ششم
-	۳۸	-	۳۷	-	۳۴	۵لایه هفتم

الف-۵-۲۰- سونداژ P21

جدول الف-۷۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P21 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.81%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=2.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۱۲۹۱	۱/۸	۱۰۴۰	۲/۲	۶۸۰	لایه اول
۵/۵	۷۴	۷/۲	۸۰	۸/۵	۹۷	لایه دوم
۲۵	۱۳۲	۲۹	۱۴۱	۳۰	۱۲۸	لایه سوم
۹۰	۱۵۴	۹۵	۱۵۶	۹۵	۱۳۰	لایه چهارم
۱۲۲	۸۲	۱۲۵	۸۰	۱۴۷	۱۲۲	*لایه پنجم
۱۲۶	۹۲	۱۲۹	۹۰	۱۵۲	۹۸	*لایه ششم
۱۶۵	۲۱	۱۷۹	۲۰	۱۹۰	۲۵	*لایه هفتم
-	۲۹	-	۳۱	-	۲۸	۵لایه هشتم

الف-۶- پروفیل O

الف-۶-۱- سونداژ O1

دو حلقه چاه در فاصله ۳۲۰ و ۵۰۰ متری محل سونداژ O1 حفر شده‌اند که عمق آب در این چاه‌ها به ترتیب ۱۸ و ۱۷ متر می‌باشد.

جدول الف-۷۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O1 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =4.06%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۴	۹۹	۲	۸۴	۲/۲	۷۷	لایه اول
۱۹	۴۲	۲۰	۳۹	۲۰	۳۹	لایه دوم
۸۲	۱۵	۸۰	۱۵	۷۹	۱۵	*لایه سوم
۹۲	۲۰	۹۰	۲۴	۹۰	۲۳	*لایه چهارم
-	۷۱	-	۷۰	-	۶۹	۵لایه پنجم

الف-۶-۲- سونداژ O2

جدول الف-۷۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.05%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۳/۳	۲/۶	۳/۵	۲/۶	۳/۵	لایه اول
۱۱	۵	۱۲	۵	۱۲	۵	لایه دوم
۲۸	۳۹	۲۹	۳۷	۳۱	۲۳	*لایه سوم
۹۱	۱۷	۹۴	۱۹	۱۲۰	۱۹	*لایه چهارم
۴۰۲	۸/۶	۳۹۰	۸/۵	۵۴۰	۱۰	۵لایه پنجم
-	۴۸	-	۴۶	-	۴۶	لایه ششم

الف-۶-۳- سونداژ O3

یک حلقه چاه در فاصله ۴۸۰ متری محل سونداژ O3 حفر گردیده که سطح برخورد به آب در آن در عمق ۱۲ متری است.

جدول الف-۷۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =10.84%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۶۱	۲	۶۰	۲	۵۹	لایه اول
۱۲	۲۰	۱۲	۲۱	۱۲	۲۳	لایه دوم
۲۰	۴۳	۲۱	۴۱	۲۱	۲۹	*لایه سوم
۳۵	۶۱	۳۷	۵۲	۳۸	۳۵	*لایه
۶۱	۲۴	۶۴	۲۴	۸۵	۲۹	*لایه پنجم
۹۵	۴	۹۷	۴	۱۱۵	۵	لایه ششم
۲۰۲	۲۵	۲۲۰	۲۴	۳۱۵	۱۷	لایه هفتم
۳۱۴	۱۸۵	۳۲۰	۱۷۰	۴۱۰	۱۵۰	لایه هشتم
۵۵۶	۲۱	۵۶۰	۲۲	۶۵۰	۲۱	لایه نهم
-	۹۷	-	۹۶	-	۱۰۰	لایه دهم

الف-۶-۴- سونداژ O4

وجود یک حلقه چاه در فاصله ۴۴۰ متری با عمق آب ۱۲ متر، نتیجه به دست آمده را تأیید می‌کند.

جدول الف - ۸۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =6.97%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۹۰	۳	۸۷	۴/۴	۸۷	لایه اول
۱۳	۵۸	۱۴	۵۸	۱۷	۴۴	لایه دوم
۱۰۸	۲۱	۱۰۸	۲۰	۱۳۰	۱۸	*لایه سوم
۱۹۰	۲/۵	۱۸۵	۲/۵	۲۲۰	۳/۵	لایه چهارم
-	۲۱۹	-	۱۳۹	-	۴۹	لایه پنجم

الف-۶-۵- سونداژ O5

جدول الف-۸۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =6.51%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۹	۷۹	۲/۷	۸۵	۳	۸۵	لایه اول
۱۲	۵۶	۱۲	۵۵	۱۲	۵۰	لایه دوم
۴۹	۳۴	۵۰	۳۳	۵۶	۳۰	*لایه سوم
۱۷۰	۱۲	۲۰۰	۱۲	۲۱۰	۱۳	لایه چهارم
۳۱۰	۴۲	۳۳۰	۴۳	۳۴۰	۳۶	لایه پنجم
۵۶۰	۷	۶۰۰	۷	۶۱۰	۷	لایه ششم
-	۱۲۲	-	۱۲۰	-	۱۲۰	لایه هفتم

الف-۶-۶- سونداژ O6

جدول الف-۸۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =6.94%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۸	۲۱	۳	۲۲	۳/۶	۲۷	لایه اول
۱۰	۷۴	۱۰	۷۵	۱۰/۵	۵۴	لایه دوم
۱۳	۵۰	۱۳	۵۴	۲۰	۵۰	*لایه سوم
۲۴	۲۰	۲۴	۲۰	۲۴	۲۰	*لایه چهارم
۱۳۰	۲۸	۱۲۸	۲۹	۹۵	۲۸	*لایه پنجم
۱۹۸	۴	۲۰۰	۵	۲۶۰	۱۲	۵لایه ششم
۲۷۳	۳	۲۷۵	۳	۳۳۰	۵	لایه هفتم
-	۱۸۲	-	۱۱۵	-	۴۵	لایه هشتم

الف-۶-۷- سونداژ O7

یک حلقه چاه در فاصله ۳۰۰ متری محل این سونداژ با سطح آب ۱۵ متر حفر گردیده است.

جدول الف-۸۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.67%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۵۷	۳	۵۰	۲/۸	۴۸	لایه اول
۷	۲۳	۷	۲۵	۷	۲۹	لایه دوم
۱۶	۴۵	۱۶	۴۰	۱۸	۳۴	لایه سوم
۲۹	۴۷	۳۰	۵۲	۳۳	۵۱	*لایه چهارم
۱۲۳	۲۰	۱۲۵	۲۰	۱۳۰	۲۰	*لایه پنجم
۴۴۵	۹	۴۴۸	۹	۵۰۰	۱۰	۵لایه ششم
-	۴۸	-	۴۸	-	۴۴	لایه هفتم

الف-۶-۸- سونداژ O8

دو حلقه چاه در فاصله ۱۴۰ و ۴۰۰ متری محل سونداژ O8 وجود دارند که عمق آب در هر دو چاه در ۱۸ متری می‌باشد.

جدول الف-۸۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =11.01%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۳	۵۴	۳	۵۴	۳	۵۴	لایه اول
۲۰	۳۱	۲۱	۳۲	۲۰	۳۳	لایه دوم
۲۸	۱۹	۲۹	۲۰	۲۸	۲۹	*لایه سوم
۳۵	۱۳	۳۶	۱۳	۳۴	۱۶	*لایه چهارم
۵۷	۶۳	۵۷	۶۳	۵۱	۵۲	*لایه پنجم
۳۵۶	۱۲	۳۸۰	۱۲	۴۴۰	۱۳	لایه ششم
-	۶۲۱	-	۶۰۰	-	۶۰۰	لایه هفتم

الف-۶-۹- سونداژ O9

یک حلقه چاه در فاصله ۴۵۰ متری محل سونداژ حفر گردیده که سطح برخورد به آب در این چاه در عمق ۲۹ متری دیده می‌شود.

جدول الف - ۸۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 3.86%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۵	۲۵۰	۱/۵	۲۱۰	۱/۸	۱۹۰	لایه اول
۲۵	۳۷	۲۶	۳۶	۲۷	۳۶	لایه دوم
۳۳	۸	۳۳	۸	۳۲	۱۴	لایه سوم
۱۰۴	۳۴	۱۰۰	۳۵	۱۳۴	۲۴	*لایه چهارم
۱۷۲	۴	۱۶۴	۴	۱۹۶	۶	۵لایه پنجم
۲۸۵	۱۶	۲۸۴	۱۴	۳۸۰	۱۶	لایه ششم
-	۲۲۴	-	۲۶۰	-	۱۵۳	لایه هفتم

الف-۶-۱۰- سونداژ O10

یک حلقه چاه در فاصله ۲۳۰ متری محل سونداژ O10 حفر گردیده که سطح برخورد به آب در آن در

عمق ۳۲ متری است.

جدول الف - ۸۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 4.27%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۱۷۹	۱/۹	۱۷۲	۱/۷	۱۲۰	لایه اول
۴	۲۱	۵	۱۷	۷	۳۰	لایه دوم
۱۴	۳۸	۱۵	۴۸	۱۷	۴۵	لایه سوم
۳۷	۲۵	۳۷	۲۲	۴۰	۲۶	لایه چهارم
۱۴۷	۴۹	۱۴۷	۴۸	۱۵۰	۴۵	*لایه پنجم
۲۶۶	۵	۳۲۰	۸	۳۸۰	۱۲	۵لایه ششم
-	۱۶۰	-	۹۹	-	۹۰	لایه هفتم

الف-۶-۱۱- سونداژ O11

در فاصله ۳۸۰ متری محل سونداژ چاهی با عمق آب ۷۰ متر وجود دارد.

جدول الف-۸۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =6.63%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۵	۲۵۵	۳/۲	۲۵۵	۳/۲	۲۵۵	لایه اول
$3/4$	۲۵۲	۴	۲۴۰	۴	۲۴۰	لایه دوم
۳۳	۱۸۵	۳۰	۱۹۰	۳۰	۱۹۰	لایه سوم
۳۵	۱۶۲	۳۲	۱۷۰	۳۲	۱۷۰	لایه چهارم
۸۸	۱۳۶	۸۵	۱۲۶	۸۵	۱۴۰	لایه پنجم
۹۸	۱۲۳	۹۵	۱۲۰	۹۵	۱۲۰	*لایه ششم
۴۳۸	۲۰	۴۵۵	۲۰	۴۶۰	۲۵	لایه هفتم
-	۳۹۷	-	۴۰۰	-	۳۷۵	لایه هشتم

الف-۶-۱۲- سونداژ O12

در فاصله ۴۹۰ متری محل سونداژ O12 چاهی با عمق ۱۴۷ متر حفر گردیده است که عمق آب آن در

۹۵ متری می‌باشد.

جدول الف-۸۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.36%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۲۶۰	۲/۲	۲۵۵	۲/۵	۲۵۰	لایه اول
۷	۱۴۸	۹/۵	۱۵۵	۹/۵	۱۵۰	لایه دوم
۱۴	۲۸۲	۱۶/۵	۲۳۰	۱۶/۵	۲۰۶	لایه سوم
۲۵	۵۸	۲۵	۷۸	۲۵	۱۰۸	لایه چهارم
۹۲	۱۶۸	۹۶	۱۶۱	۱۳۵	۱۲۰	لایه پنجم
۱۰۶	۷۳	۱۱۲	۷۳	۱۵۰	۷۵	*لایه ششم
۲۸۵	۱۷	۲۹۵	۱۹	۳۵۰	۳۰	لایه هفتم
-	۱۹۸	-	۲۱۰	-	۲۱۰	لایه هشتم

الف-۶-۱۳- سونداژ O13

در محل برداشت سونداژ O13 و در فاصله ۳۸۰ متری چاهی با عمق ۱۳۰ متر حفر گردیده است که در آن سطح آب در عمق ۹۵ متری می‌باشد.

جدول الف-۸۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O13 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.04%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۶	۱۹۲	۲/۶	۱۹۰	۲/۸	۱۸۵	لایه اول
۵/۴	۳۷۲	۵/۶	۳۸۵	۵/۸	۳۵۰	لایه دوم
۱۳	۳۳۷	۱۴/۴	۳۲۷	۱۵	۳۲۰	لایه سوم
۱۸	۲۱۳	۲۰	۲۱۶	۲۱	۳۰۰	لایه چهارم
۱۰۰	۲۰۳	۱۰۲	۲۰۰	۱۰۳	۲۰۰	لایه پنجم
۴۰۳	۱۱۲	۴۳۲	۱۱۰	۴۵۰	۱۰۸	*لایه ششم
-	۶۹	-	۶۸	-	۷۰	لایه هفتم

الف-۶-۱۴- سونداژ O14

جدول الف-۹۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O14 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.76%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۱۸۰	۲/۷	۱۸۰	۲/۷	۱۸۵	لایه اول
۱۵	۲۵۱	۱۵	۲۵۳	۱۶	۲۳۰	لایه دوم
۳۱	۹۹	۳۲	۱۰۵	۳۳	۱۴۰	لایه سوم
۵۰	۲۴۵	۵۰	۲۰۸	۵۲	۱۸۷	لایه چهارم
۱۹۲	۲۰۲	۲۳۵	۲۰۰	۲۳۵	۲۰۰	لایه پنجم
۲۲۳	۷۹	۲۶۵	۹۹	۲۶۵	۸۶	لایه ششم
۴۱۰	۱۷۷	۴۵۰	۱۸۰	۴۵۰	۱۸۰	لایه هفتم
-	۱۵۰	-	۱۴۰	-	۱۴۰	لایه هشتم

الف-۶-۱۵- سونداژ O15

یک حلقه چاه در فاصله ۴۹۰ متری محل سونداژ O15 با عمق ۱۶۰ متر حفر گردیده که سطح

برخورد به آب در آن در عمق ۱۰۰ متری است.

جدول الف - ۹۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O15 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =5.20%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 8.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۳	۳۷۶	۳/۲	۳۷۴	۳/۲	۴۲۰	لایه اول
۱۱	۲۶۵	۱۱	۲۵۷	۱۲	۲۶۰	لایه دوم
۱۳	۴۳	۱۳	۴۶	۱۴/۵	۳۹	لایه سوم
۲۴	۱۷۶	۲۴	۱۸۰	۲۶	۱۷۵	لایه چهارم
۳۱	۱۳۳	۳۲	۱۳۳	۳۴	۱۵۰	لایه پنجم
۹۸	۱۴۱	۹۸	۱۳۵	۱۰۰	۱۳۵	لایه ششم
۱۹۰	۱۱۲	۲۰۶	۱۱۵	۲۳۵	۱۱۵	*لایه هفتم
۳۳۷	۴۳	۳۶۶	۴۶	۴۰۰	۴۶	۵لایه هشتم
۴۷۸	۷۵۶	۵۰۶	۷۵۰	۵۴۰	۷۵۰	لایه نهم
-	۲۶۰	-	۲۷۰	-	۲۷۰	لایه دهم

الف-۶-۱۶- سونداژهای O16

جدول الف-۹۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.59%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۷۹۲	۲/۲	۶۳۶	۲/۳	۶۳۰	لایه اول
۱۰	۲۰۹	۱۰	۱۹۶	۱۰/۵	۱۸۰	لایه دوم
۳۱	۱۱۸	۳۰	۱۰۴	۴۶	۱۳۰	لایه سوم
۷۰	۱۹۰	۷۱	۱۹۵	۸۵	۲۰۰	لایه چهارم
۱۴۵	۸۲	۱۴۷	۸۶	۱۶۰	۹۰	*لایه پنجم
۲۱۵	۱۹۳	۲۲۲	۱۸۴	۲۵۰	۱۴۰	۵لایه ششم
-	۲۸۱	-	۲۸۰	-	۲۸۰	لایه هفتم

الف-۶-۱۷- سونداژ O17

جدول الف-۹۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O17 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.91%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۱۳۲	۲/۶	۱۳۰	۳/۳	۱۴۵	لایه اول
۱۰	۴۲۶	۸	۴۵۲	۱۲	۳۶۰	لایه دوم
۲۹	۱۹۷	۲۲	۲۵۰	۲۶	۲۵۰	لایه سوم
۲۱۹	۱۳۸	۱۹۷	۱۴۰	۲۰۰	۱۴۰	لایه چهارم
-	۱۸۹	-	۱۸۰	-	۱۸۰	لایه پنجم

الف-۶-۱۸- سونداژ O18

دو حلقه چاه در در فواصل ۲۸۰ و ۴۷۰ متری محل برداشت این سونداژ وجود دارد که عمق آب آنها ۹۰ متر می‌باشد.

جدول الف-۹۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O18 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.03%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۷۵	۲/۲	۷۵	۲/۹	۷۵	لایه اول
۶/۳	۱۹۶	۷	۲۰۰	۸	۱۶۸	لایه دوم
۱۳	۷۰	۱۴	۶۸	۱۵	۸۵	لایه سوم
۲۵	۱۰۶	۲۷	۱۰۹	۲۸	۸۵	لایه چهارم
۱۲۱	۱۶۶	۱۱۲	۱۶۴	۱۱۵	۱۵۰	لایه پنجم
۵۲۸	۲۷	۶۷۲	۳۳	۶۸۰	۳۷	*لایه ششم
-	۲۱۹	-	۱۸۵	-	۱۸۵	لایه هفتم

الف-۶-۱۹- سونداژ O19

یک حلقه چاه در فاصله ۵۰۰ متری محل سونداژ O19 با عمق ۱۴۰ متر حفر گردیده که سطح برخورد به آب در عمق ۸۰ متری است.

جدول الف - ۹۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O19 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.71%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۸	۴۶۴	۲/۲	۴۶۰	۲/۵	۴۶۰	لایه اول
۱۴/۵	۲۰۷	۱۴	۱۸۷	۱۴/۵	۱۸۰	لایه دوم
۲۷	۱۰۳	۲۴	۱۵۷	۲۴	۱۵۸	لایه سوم
۸۸	۲۰۴	۸۹	۱۷۰	۸۵	۱۵۵	لایه چهارم
۱۷۲	۱۰۰	۱۸۵	۱۰۸	۲۳۰	۱۰۰	*لایه پنجم
۲۳۰	۸	۲۴۵	۹	۲۸۰	۱۰	۵لایه ششم
-	۱۲۸	-	۱۱۶	-	۸۸	لایه هفتم

الف-۶-۲۰- سونداژ O20

جدول الف-۹۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O20 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.87%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۲۰۹	۱/۷	۲۲۰	۱/۷	۲۲۰	لایه اول
۱۱	۳۳۸	۱۲	۳۳۰	۱۱/۵	۳۳۰	لایه دوم
۴۱	۲۲۳	۴۳	۲۳۷	۴۳	۲۶۴	لایه سوم
۱۲۸	۲۲۴	۱۳۸	۲۰۸	۱۶۰	۱۵۸	لایه چهارم
۲۴۴	۱۴	۲۴۸	۱۶	۲۷۰	۱۶	*لایه پنجم
-	۱۹۹	-	۱۳۶	-	۱۳۶	۵لایه ششم

الف-۶-۲۱- سونداژ O21

جدول الف-۹۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ O21 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.81%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۹	۱۶۸	۱/۹	۱۷۵	۱/۸	۱۹۵	لایه اول
۱۸	۳۲۴	۱۹	۳۱۹	۳۰	۲۹۰	لایه دوم
۲۵	۹۴	۲۶	۹۵	۳۴	۱۱۷	لایه سوم
۸۸	۲۵۶	۹۰	۲۶۰	۱۱۵	۱۶۴	لایه چهارم
۱۰۰	۱۱۱	۱۰۳	۱۱۰	۱۲۸	۱۱۵	لایه پنجم
۳۳۱	۲۸	۳۳۳	۲۸	۳۶۰	۳۴	*لایه ششم
-	۲۵۳	-	۲۳۴	-	۱۵۰	لایه هفتم

الف-۷- پروفیل N

الف-۷-۱- سونداژ N1

یک حلقه چاه در فاصله ۴۶۰ متری محل سونداژ N1 حفر گردیده که سطح برخورد به آب در آن در

عمق ۱۲ متری است.

جدول الف - ۹۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N1 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.88%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۶	۲۷	۳/۶	۲۷	۲/۷	۲۷	لایه اول
۱۳	۴۸	۱۳/۶	۴۸	۱۲/۵	۳۷	لایه دوم
۳۶	۴۶	۳۶	۴۵	۳۱	۵۶	*لایه سوم
۷۴	۱۷	۷۵	۱۹	۷۰	۲۳	*لایه چهارم
۲۲۷	۴۵	۲۳۰	۴۵	۲۴۰	۳۵	*لایه پنجم
-	۳۶۰	-	۳۲۴	-	۳۵۰	۵لایه ششم

الف-۷-۲- سونداژ N2

جدول الف-۹۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.32%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۲	۱۴	۳/۳	۱۲	۳/۲	۱۱	لایه اول
۸/۵	۱۳/۹	۹	۱۶	۱۲	۲۲	لایه دوم
۲۳	۶۶	۲۳	۷۰	۲۳	۶۶	*لایه سوم
۵۱	۲۴	۵۱	۲۷	۵۱	۳۴	*لایه چهارم
۹۹	۳۷	۱۱۰	۳۶	۱۱۰	۳۵	*لایه پنجم
-	۶۲	-	۶۱	-	۶۱	۵لایه ششم

الف-۷-۳- سونداژ N3

جدول الف -۱۰۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.64%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۱۸۲	۲	۲۰۰	۲	۱۴۰	لایه اول
۸	۴۶	۸	۵۰	۸/۵	۵۶	لایه دوم
۲۲	۹۲	۲۳	۷۳	۲۵	۶۲	*لایه سوم
۱۰۵	۲۸	۹۸	۲۷	۷۵	۲۵	*لایه چهارم
۳۲۰	۱۱	۳۱۰	۱۲	۳۷۰	۱۶	۵لایه پنجم
-	۹۸	-	۷۸	-	۴۸	لایع ششم

الف-۷-۴- سونداژ N4

دو حلقه چاه در فاصله کمتر از ۳۰۰ متری این سونداژ که سطح آب آن‌ها در عمق ۱۸ و ۱۹ متری می‌باشد حفر شده‌اند.

جدول الف -۱۰۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =6.38%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	
۱/۹	۱۴۴	۱/۹	۱۵۴	۲/۲	۱۳۵	لایه اول
۲/۱	۸۶	۲/۱	۸۷	۲/۴	۸۷	لایه دوم
۲۱	۲۵	۲۱	۲۶	۲۱	۲۶	لایه سوم
۲۹	۲۸	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	*لایه چهارم
۴۲	۶۳	۴۲	۶۲	۴۲	۲۵	*لایه پنجم
۸۵	۱۴	۸۵	۱۴	۸۵	۳۰	*لایه ششم
۱۳۶	۱۱	۱۳۵	۱۲	۱۹۰	۱۷	۵لایه هفتم
۲۳۷	۶۹	۲۳۵	۷۰	۲۷۰	۲۶	لایه هشتم
-	۱۵	-	۱۵	-	۲۰	لایه نهم

الف-۷-۵- سونداژ N5

یک حلقه چاه در فاصله ۱۷۰ متری محل سونداژ N5 حفر گردیده که سطح آب آن در عمق ۲۵ متری است.

جدول الف-۱۰۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.69%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۲	۹۹	۲	۱۱۲	۲	۱۱۵	لایه اول
۱۵	۱۰	۱۵	۱۰	۱۵	۱۱	لایه دوم
۲۴	۵۲	۲۴	۴۸	۲۴	۴۴	لایه سوم
۵۳	۳۰	۵۳	۳۰	۵۴	۳۰	*لایه چهارم
۱۵۵	۲۵	۱۵۲	۲۶	۱۶۵	۲۷	*لایه پنجم
-	۱۱	-	۱۱	-	۱۱	۵لایه ششم

الف-۷-۶- سونداژ N6

جدول الف-۱۰۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.52%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۴	۱۷۳	۲/۸	۱۵۷	۳/۴	۱۳۰	لایه اول
۸	۶۳	۹/۳	۷۰	۱۰	۷۸	لایه دوم
۱۵	۲۶۶	۱۶	۲۵۷	۱۷	۱۹۵	لایه سوم
۵۶	۱۵۹	۵۴	۱۶۸	۵۹	۱۶۸	لایه چهارم
۱۸۹	۸۲	۱۹۰	۷۶	۲۰۵	۸۴	*لایه پنجم
۲۲۲	۱۳	۲۲۵	۱۲	۲۴۰	۱۲	۵لایه ششم
-	۲۷	-	۲۸	-	۲۳	لایه هفتم

الف-۷-۷- سونداژ N7

یک حلقه چاه در فاصله ۳۱۷ متری محل سونداژ با عمق آب ۹۵ متر وجود دارد.

جدول الف -۱۰۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.13%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۷	۱۱۶۵	۲	۱۰۳۹	۱/۸	۱۰۵۰	لایه اول
۱۶	۱۹۴	۲۱	۱۹۰	۲۱	۱۹۰	لایه دوم
۵۱	۱۳۹	۵۶	۱۳۰	۶۵	۱۴۵	لایه سوم
۱۰۰	۲۱۲	۱۰۱	۲۴۰	۱۲۵	۱۷۰	لایه چهارم
۱۳۱	۱۲۵	۱۳۸	۱۱۷	۱۶۰	۱۴۵	لایه پنجم
-	۷۵	-	۷۳	-	۷۳	لایه ششم

الف-۷-۸- سونداژ N8

جدول الف -۱۰۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.46%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.1		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱۴	۳۰۸	۱۴/۵	۳۰۰	۱۶	۳۰۰	لایه اول
۲۰	۱۱۶	۲۰	۱۲۰	۲۱	۱۳۵	لایه دوم
۱۱۸	۱۸۷	۱۱۹	۱۹۰	۱۲۰	۱۷۶	لایه سوم
-	۱۱۴	-	۱۱۱	-	۱۰۸	لایه چهارم

الف-۷-۹- سونداژ N9

جدول الف-۱۰۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.20%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 6.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۱۳۱	۲/۵	۱۴۰	۲/۵	۱۴۰	لایه اول
۱۷	۳۴۴	۲۴	۳۰۸	۳۰	۲۸۰	لایه دوم
۲۵	۹۴	۳۱	۸۲	۳۷	۱۱۲	لایه سوم
۸۸	۲۲۷	۸۸	۲۲۰	۱۰۰	۲۰۵	لایه چهارم
۲۰۲	۱۱۷	۱۹۸	۱۲۳	۲۰۰	۱۱۲	*لایه پنجم
-	۹۱	-	۸۹	-	۹۰	لایه ششم

الف-۷-۱۰- سونداژ N10

جدول الف-۱۰۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.90%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۸	۴۹۹	۱/۶	۴۵۰	۱/۶	۴۵۰	لایه اول
۸	۱۰۳	۸/۷	۱۲۱	۱۱	۱۳۵	لایه دوم
۱۴	۲۴۱	۱۶	۲۰۶	۱۸	۱۷۰	لایه سوم
۲۰	۳۹۴	۲۳	۴۰۵	۲۵	۴۵۰	لایه چهارم
۳۷	۹۹	۴۰/۳	۱۰۸	۴۱	۱۲۰	لایه پنجم
۶۷	۲۵۲	۷۰	۲۴۰	۷۰	۲۴۰	لایه ششم
۲۵۹	۱۳۹	۲۵۰	۱۴۵	۲۵۰	۱۴۵	لایه هفتم
۳۰۸	۶۲	۳۱۰	۶۰	۳۰۰	۶۰	لایه هشتم
-	۷۹	-	۸۰	-	۸۰	لایه نهم

الف-۷-۱۱- سونداژ N11

یک حلقه چاه در فاصله ۳۷۰ متری محل سونداژ N11 حفر گردیده که سطح آب آن در عمق ۸۰ متری است.

جدول الف-۱۰۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.78%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۷	۲۴۵	۳/۷	۲۵۰	۳/۸	۲۵۰	لایه اول
۲۹	۱۱۷	۲۹	۱۲۰	۲۹	۱۲۰	لایه دوم
۷۹	۱۵۸	۷۹	۱۵۶	۷۹	۱۵۶	لایه سوم
۲۷۰	۸۵	۲۷۰	۸۴	۲۹۰	۸۴	*لایه چهارم
-	۶۰	-	۵۹	-	۵۹	۵ لایه پنجم

الف-۷-۱۲- سونداژ N12

جدول الف-۱۰۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.79%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۶	۳۳۸	۴	۳۲۰	۳/۶	۳۲۰	لایه اول
۲۶	۲۰۱	۲۴	۲۰۵	۲۶	۲۰۵	لایه دوم
۱۰۵	۱۷۲	۱۰۵	۱۶۰	۱۰۵	۱۶۰	لایه سوم
۳۰۲	۹۸	۲۹۷	۱۰۰	۳۲۰	۱۰۰	*لایه چهارم
۳۶۱	۸۲	۳۵۷	۶۱	۳۸۰	۸۵	۵ لایه پنجم
-	۳۴	-	۴۱	-	۳۴	لایه ششم

الف-۷-۱۳- سونداژ N13

جدول الف-۱۱۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N13 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.90%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۷۴۷	۱/۶	۷۵۰	۱/۶	۷۵۰	لایه اول
۲۹	۲۸۱	۲۹	۲۸۰	۲۹	۲۸۰	لایه دوم
۳۳	۲۱۹	۳۳	۱۴۰	۳۳	۱۴۰	لایه سوم
۱۱۵	۲۱۵	۱۱۴	۲۱۵	۱۱۵	۲۰۸	لایه چهارم
۱۳۰	۲۲۶	۱۲۹	۲۲۳	۱۳۰	۱۸۵	لایه پنجم
-	۵۳	-	۵۵	-	۵۵	*لایه ششم

الف-۷-۱۴- سونداژ N14

جدول الف-۱۱۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N14 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.55%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.8		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۴	۱۰۹	۲/۴	۹۴	۲/۷	۱۰۵	لایه اول
۶/۴	۳۳۸	۶/۸	۴۵۰	۶/۸	۳۱۵	لایه دوم
۲۳	۲۲۸	۲۳	۱۸۹	۲۷	۲۶۰	لایه سوم
۳۶	۲۰۹	۳۳	۲۰۰	۴۰	۱۷۰	لایه چهارم
۱۰۶	۲۶۵	۱۰۳	۲۶۹	۱۱۰	۲۶۰	لایه پنجم
۷۳۸	۵۹	۶۹۰	۵۸	۶۶۰	۶۳	*لایه ششم
-	۲۰	-	۲۰	-	۱۹	لایه هفتم

الف-۷-۱۵- سونداژ N15

یک حلقه چاه در فاصله ۵۰۰ متری محل سونداژ N15 حفر گردیده که سطح آب آن در عمق ۸۷ متری است.

جدول الف-۱۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N15 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.45%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 5.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۱۹۶	۲/۶	۱۹۴	۳	۲۱۰	لایه اول
۷	۴۹۴	۷	۴۶۳	۷/۵	۳۲۰	لایه دوم
۱۹	۳۱۷	۱۸/۵	۳۱۵	۲۰	۳۶۰	لایه سوم
۲۹	۲۲۶	۲۹	۲۲۵	۲۹	۳۰۰	لایه چهارم
۹۰	۲۷۷	۸۹	۲۷۵	۹۰	۲۵۵	لایه پنجم
۴۰۹	۵۴	۴۱۰	۵۵	۴۲۰	۵۲	*لایه ششم
-	۱۷	-	۱۶	-	۱۳	لایه هفتم

الف-۷-۱۶- سونداژ N16

جدول الف-۱۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ N16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =3.52%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.3		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۱۳۵	۲	۱۲۶	۲/۲	۱۱۵	لایه اول
۹	۱۴۸	۹/۵	۱۵۵	۱۴	۱۷۲	لایه دوم
۱۹	۳۶۸	۲۰	۳۷۵	۲۷	۴۰۰	لایه سوم
۹۵	۱۵۵	۹۴	۱۵۰	۶۵	۱۶۰	لایه چهارم
۲۴۱	۵۷	۲۵۰	۵۷	۲۲۰	۶۴	*لایه پنجم
۲۶۶	۱۱	۲۷۵	۱۳	۲۴۵	۱۱	لایه ششم
-	۲۰	-	۱۹	-	۱۹	لایه هفتم

الف-۸- پروفیل M

الف-۸-۱- سونداژ M1

جدول الف-۱۱۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M1 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.11%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۸	۱۲	۱/۸	۱۳	۱/۷	۱۴	لایه اول
۱۰	۳۷	۱۰	۳۸	۱۴	۳۰	لایه دوم
۳۰	۱۵	۳۰	۱۵	۴۲	۱۷	*لایه سوم
۱۵۲	۳۹	۱۵۶	۴۰	۱۸۵	۵۰	*لایه چهارم
-	۲۵۵	-	۲۵۰	-	۲۵۰	۵لایه پنجم

الف-۸-۲- سونداژ M2

وجود پیرومتر کلاته نادر در فاصله ۳۷۰ متری محل سونداژ با عمق آب ۱۳ متر نتایج حاصله را تأیید می‌کند.

جدول الف - ۱۱۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M2 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.82%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۸	۱۴۹	۱/۸	۱۵۰	۲	۱۵۰	لایه اول
۳/۲	۶۱	۳/۳	۶۴	۳/۴	۶۴	لایه دوم
۱۱/۴	۳۲	۱۱/۳	۳۲	۱۲/۵	۳۴	لایه سوم
۵۹	۳۰	۶۳	۳۰	۶۴	۲۹	*لایه چهارم
۷۶	۱۷	۷۹	۱۸	۸۰	۱۸	۵لایه پنجم
۱۶۵	۱۹	۱۶۹	۲۰	۱۷۰	۲۲	لایه ششم
۳۹۰	۲۵	۳۹۵	۲۵	۴۰۰	۲۵	لایه هفتم
-	۹۸	-	۱۰۰	-	۱۰۰	لایه هشتم

الف-۸-۳- سونداژ M3

وجود یک حلقه چاه در فاصله ۴۰۰ متری محل سونداژ با عمق ۱۲۰ متر و عمق آب ۱۱ متر نتیجه به دست آمده را تأیید می‌کند.

جدول الف - ۱۱۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M3 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.74%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.2		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۶	۱۱۸	۲	۱۰۳	۲	۸۵	لایه اول
۸/۷	۳۰	۸/۳	۲۷	۹	۳۳	لایه دوم
۴۹	۸۵	۴۷	۸۵	۴۷	۸۵	*لایه سوم
۱۸۹	۱۲	۲۰۰	۱۳	۲۰۵	۱۷	لایه چهارم
-	۶۵	-	۶۸	-	۵۷	لایه پنجم

الف-۸-۴- سونداژ M4

یک حلقه چاه در فاصله ۴۱۰ متری محل سونداژ با عمق آب ۱۱ متر وجود دارد.

جدول الف-۱۱۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M4 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.29%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.9		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۱۵۵	۲	۱۴۰	۲	۱۳۵	لایه اول
۱۲	۳۷	۱۲	۳۹	۱۲/۵	۳۹	لایه دوم
۱۸/۶	۴۵	۱۸/۵	۴۴	۱۹	۴۳	لایه سوم
۳۵	۳۶	۳۵	۳۷	۳۵	۳۸	*لایه چهارم
۷۰	۴۰	۷۲	۳۵	۷۲	۳۲	*لایه پنجم
۱۴۵	۸	۱۴۷	۹	۱۵۵	۹	لایه ششم
-	۶۰	-	۵۴	-	۴۵	لایه هفتم

الف-۸-۵- سونداژ M5

جدول الف-۱۱۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M5 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.03%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 0.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۵	۷۲	۲/۶	۷۳	۲/۶	۷۳	لایه اول
۲۵	۲۷	۲۶	۲۷	۲۸	۲۶	لایه دوم
۴۱	۲۳	۴۴	۲۸	۴۶	۲۸	*لایه سوم
۱۰۰	۴۶	۱۰۸	۴۲	۱۳۰	۳۶	*لایه چهارم
۲۵۵	۱۲	۲۵۸	۱۳	۳۳۰	۲۰	۵لایه پنجم
-	۱۶۰	-	۱۵۴	-	۱۱۰	لایه ششم

الف-۸-۶- سونداژ M6

یک حلقه چاه در فاصله ۹۰ متری محل سونداژ M6 حفر گردیده که سطح آب آن در عمق ۲۶ متری است.

جدول الف-۱۱۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M6 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.86%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۱۲۸	۲	۱۲۵	۲	۱۲۵	لایه اول
۱۹	۳۴	۱۹	۳۴	۲۱	۳۴	لایه دوم
۲۸	۶۲	۲۹	۶۳	۳۱	۷۲	لایه سوم
۶۱	۴۳	۶۲	۴۲	۶۵	۴۱	*لایه چهارم
۱۳۷	۳۶	۱۴۴	۳۵	۱۷۰	۳۳	*لایه پنجم
۲۵۳	۱۱	۲۴۴	۱۱	۲۹۰	۱۴	۵لایه ششم
-	۱۵۸	-	۱۵۸	-	۱۲۰	لایه هفتم

الف-۸-۷- سونداژ M7

جدول الف-۱۲۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M7 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.46%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 1.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۴/۵	۲۴	۵	۲۳	۵	۲۳	لایه اول
۱۸	۵۹	۱۸	۷۰	۱۸	۶۹	لایه دوم
۸۴	۱۷۰	۸۸	۱۶۵	۹۰	۱۵۰	لایه سوم
۳۲۴	۳۴	۳۲۳	۳۵	۳۸۰	۴۸	*لایه چهارم
-	۲۰۴	-	۲۰۰	-	۱۳۵	۵لایه پنجم

الف-۸-۸- سونداژ M8

جدول الف-۱۲۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M8 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.98%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.1		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۷	۲۶۷	۲/۸	۲۷۰	۳	۲۷۰	لایه اول
۱۹	۱۶۹	۱۹	۱۶۵	۱۹	۱۶۵	لایه دوم
۶۲	۱۲۵	۵۹	۱۳۰	۵۸	۱۴۰	لایه سوم
۱۰۴	۱۷۷	۱۰۱	۱۷۶	۱۰۰	۱۴۰	لایه چهارم
۱۸۶	۱۲۵	۱۸۱	۱۴۰	۱۸۰	۱۲۵	*لایه پنجم
۳۰۱	۸۷	۳۰۱	۸۸	۳۰۰	۱۴۰	۵لایه ششم
۴۳۳	۷۵	۴۲۱	۷۵	۴۲۰	۱۰۵	لایه هفتم
-	۳۷۸	-	۳۶۰	-	۲۵۰	لایه هشتم

الف-۸-۹- سونداژ M9

جدول الف-۱۲۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M9 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error = 6.70%		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۵	۵۲۷	۲/۸	۳۷۰	لایه اول
۵/۷	۹۱	۵/۸	۲۰۰	لایه دوم
۱۲	۲۸۷	۱۳	۱۷۵	لایه سوم
۲۴	۲۱۶	۲۵	۲۲۰	لایه چهارم
۲۹	۸۳	۲۹	۲۰۰	لایه پنجم
۹۵	۱۹۹	۹۵	۱۷۰	لایه ششم
۱۴۰	۱۱۹	۱۴۰	۱۱۹	*لایه هفتم
۱۷۰	۱۹۶	۲۰۰	۲۳۰	لایه هشتم
۱۷۵	۱۹۸	۲۰۵	۲۱۵	لایه نهم
۱۷۹	۱۰۵	۲۱۰	۱۱۰	لایه دهم
-	۲۶	-	۲۵	لایه یازدهم

الف-۸-۱۰- سونداژ M10

در محل برداشت سونداژ M10 و در فاصله ۴۰۰ متری چاهی با عمق ۱۳۰ متر حفر گردیده است که سطح آب در آن در عمق ۷۵ متری می‌باشد.

جدول الف-۱۲۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M10 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.45%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.6		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳	۲۰۸	۴/۲	۱۷۵	۵/۲	۱۷۵	لایه اول
۷	۱۰۰	۸	۱۱۳	۹/۵	۱۴۰	لایه دوم
۱۱	۲۶۷	۱۲	۲۶۹	۱۴	۱۷۵	لایه سوم
۲۳	۲۴۲	۲۵	۲۵۵	۳۰	۲۵۵	لایه چهارم
۲۷	۱۰۰	۲۹	۱۱۲	۳۴	۱۲۴	لایه پنجم
۸۸	۱۸۰	۸۹	۱۷۰	۹۰	۱۶۰	لایه ششم
۲۰۰	۵۷	۲۱۰	۵۸	۲۴۰	۶۴	*لایه هفتم
-	۱۷۸	-	۱۷۵	-	۱۷۵	۵لایه هشتم

الف-۸-۱۱- سونداژ M11

جدول الف-۱۲۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M11 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.78%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.4		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۹	۳۵۰	۲/۲	۳۱۵	۲/۴	۳۱۵	لایه اول
۶	۱۵۴	۶/۷	۱۵۵	۷/۵	۱۵۵	لایه دوم
۱۲	۲۵۶	۱۴	۲۴۷	۱۴	۲۲۵	لایه سوم
۳۷	۱۴۱	۳۸	۱۴۰	۴۰	۱۵۵	لایه چهارم
۶۳	۲۳۹	۶۲	۲۳۴	۶۴	۱۹۵	لایه پنجم
۲۶۰	۸۶	۲۶۲	۹۰	۲۷۰	۱۰۰	*لایه ششم
-	۳۰۴	-	۲۸۶	-	۲۶۰	۵لایه هفتم

الف-۸-۱۲- سونداژهای M12 و M13

جدول الف-۱۲۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M12 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.93%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 4.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۲	۱۶۷	۳/۲	۱۷۰	۳/۴	۱۸۰	لایه اول
۱۲	۲۷۱	۱۳	۲۷۰	۱۵	۲۲۰	لایه دوم
۱۷	۱۳۹	۱۸	۱۴۰	۲۰	۲۱۰	لایه سوم
۲۳	۱۰۹	۲۴	۱۱۰	۲۶	۱۶۵	لایه چهارم
۵۲	۱۲۵	۵۴	۱۲۰	۵۵	۱۵۰	لایه پنجم
۷۷	۱۸۴	۷۹	۱۸۵	۸۰	۱۴۰	لایه ششم
۱۱۷	۱۹۵	۱۱۹	۱۹۵	۱۲۰	۱۴۵	لایه هفتم
۳۱۷	۶۸	۳۱۹	۶۷	۴۰۰	۱۰۰	*لایه هشتم
-	۴۳۱	-	۴۲۰	-	۴۰۰	۵۵ لایه نهم

یک حلقه چاه در فاصله ۴۰۰ متری محل سونداژ M13 حفر گردیده که سطح برخورد به آب در آن در

عمق ۱۱۲ متری است.

جدول الف-۱۲۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M13 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.06%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 3.5		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۵	۲۹۷	۵	۳۰۰	۵	۳۰۰	لایه اول
۱۷	۲۶۶	۱۷	۲۶۰	۱۷	۲۶۰	لایه دوم
۲۳	۱۲۹	۲۳	۱۴۲	۲۳	۱۲۰	لایه سوم
۱۰۸	۱۷۴	۱۰۶	۱۷۰	۸۰	۱۷۰	لایه چهارم
۳۸۳	۵۱	۳۸۶	۵۶	۳۶۰	۷۰	*لایه پنجم
۶۰۰	۹۸	۶۲۰	۱۰۰	۶۰۰	۱۰۰	لایه ششم
-	۳۲۶	-	۲۶۰	-	۲۶۰	لایه هفتم

الف-۸-۱۳- سونداژ M14

دو حلقه چاه در فاصله ۴۵۰ و ۵۰۰ متری محل سونداژ M14 حفر شده است که عمق آب آنها به ترتیب ۱۰۷ و ۹۰ متر است.

جدول الف-۱۲۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M14 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.49%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 8.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۱/۵	۱۹۳۳۸	۱/۶	۱۲۱۵۰	۲/۴	۲۷۰۰	لایه اول
۴/۹	۱۲۵	۴/۹	۱۱۶	۸	۱۶۰	لایه دوم
۱۰	۵۵۵	۹/۹	۶۰۴	۱۳	۴۲۰	لایه سوم
۱۷	۱۹۹	۱۸	۲۰۰	۲۰	۲۵۰	لایه چهارم
۹۶	۱۸۲	۹۸	۱۸۵	۷۵	۱۹۰	لایه پنجم
۳۳۶	۸۶	۳۲۳	۸۵	۳۰۰	۹۵	*لایه ششم
۶۱۶	۹۴	۶۵۳	۹۹	۶۰۰	۱۲۵	لایه هفتم
-	۴۵۲	-	۴۰۰	-	۴۰۰	لایه هشتم

الف-۸-۱۵- سونداژ M16

یک حلقه چاه در فاصله ۱۲۰ متری محل سونداژ M16 حفر شده است که سطح آب در این چاه در عمق ۱۰۸ متری می‌باشد.

جدول الف- ۱۲۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M16 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.69%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=5.0		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲/۲	۲۲۳	۲/۲	۲۳۴	۲/۲	۲۶۰	لایه اول
۹/۴	۴۹۵	۹/۵	۴۸۴	۱۳	۴۰۰	لایه دوم
۱۱	۱۴۱	۱۱/۵	۱۴۴	۱۵	۱۶۰	لایه سوم
۱۰۴	۱۹۴	۱۰۱	۱۹۸	۱۰۵	۱۸۰	لایه چهارم
۱۰۹	۱۵۳	۱۰۶	۱۵۵	۱۱۰	۱۵۵	لایه پنجم
-	۳۷	-	۳۸	-	۳۸	*لایه ششم

الف- ۸-۱۷- سونداژ M17

جدول الف- ۱۲۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M17 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =2.11%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit=3.7		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۳/۶	۳۸۱	۳/۸	۳۶۵	۴/۲	۳۶۰	لایه اول
۱۹	۱۸۸	۲۰	۱۹۰	۲۷	۱۸۰	لایه دوم
۲۲	۱۰۱	۲۳	۹۹	۳۰	۱۴۵	لایه سوم
۷۱	۱۲۷	۷۴	۱۲۰	۵۶	۱۳۰	لایه چهارم
۱۹۶	۳۸	۲۰۲	۴۰	۲۱۵	۳۶	*لایه پنجم
-	۱۹	-	۱۸	-	۱۸	لایه ششم

الف-۸-۱۷- سونداژ M18

یک حلقه چاه به عمق ۸۰ متری در فاصله ۱۳۰ متری محل سونداژ حفر گردیده که سطح برخورد به آب در آن در عمق ۷۵ متری است.

جدول الف-۱۳۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ M18 به کمک روش‌های مختلف

تفسیر با نرم افزار IX1D RMS error =1.79%		تفسیر با نرم افزار VES Misfit= 2.1		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	d (m)	ρ ($\Omega.m$)	مشخصات
۲	۴۴۲	۲	۴۴۰	۲/۲	۴۳۰	لایه اول
۱۶	۱۷۰	۱۵	۱۷۵	۱۵	۱۷۵	لایه دوم
۱۸	۱۹۹	۱۷	۱۶۰	۱۷	۱۶۰	لایه سوم
۶۱	۶۹	۵۶	۸۰	۶۰	۷۳	لایه چهارم
۷۱	۴	۶۶	۸	۷۰	۸	لایه پنجم
۳۰۴	۲۱	۲۷۶	۲۰	۲۸۰	۲۰	*لایه ششم
-	۱۰	-	۱۰	-	۱۰	لایه هفتم

پیوست ب - معرفی نرم افزارهای VES و IX1D

ب-۱- نرم افزار VES

این نرم افزار در محیط ویندوز کار می کند و برای تفسیر سونداژهایی که با آرایش شلومبرژه برداشت شده اند طراحی شده است. ورود داده ها در این نرم افزار کمی مشکل است. برای ورود داده ها به این نرم افزار می توانید با انتخاب مسیر `System Option > Begin a Vew Model` داده های خود را وارد کنید. نرم افزار دو قسمت عمده را برای ورود داده ها در نظر گرفته است:

الف - ورود داده ها برای مدل دو یا سه لایه

چنانچه مدل سونداژ دو یا سه لایه باشد پس از انتخاب مسیری که قبلاً ذکر شد. صفحه ای برای ورود اطلاعات مدل باز می شود. در پایین این صفحه چنانچه گزینه `Automatically Interpretaion of 2 or 3 Layers` انتخاب گردد، یک مدل دولایه ای در نظر گرفته می شود. در مرحله بعد نرم افزار فایلی را که می خواهید ایجاد کنید از شما می خواهد. با انتخاب یکی از فایل هایی که در خود نرم افزار به عنوان نمونه وجود دارد جدول ورود داده ها باز می شود. این جدول از سه ستون تشکیل شده است که به ترتیب یک ستون برای ورود فواصل $AB/2$ و دو ستون برای ورود مقادیر مربوط به مقاومت ویژه ظاهری ($App. Rho$) پیش بینی شده است. در بعضی از موارد در آرایش شلومبرژه برای تعیین تغییرات جانبی رزستیویته از دو مقدار مقاومت ویژه با فواصل مختلف MN اندازه گیری می شود. در موارد معمولی فقط یک اندازه گیری وجود دارد. داده های رزستیویته در ستون دوم وارد می شوند.

برای ورود اطلاعات نکات زیر را در نظر بگیرید.

۱- در ستون اول از سمت چپ فواصل $AB/2$ در ستون دوم مقادیر $App. Rho$ را وارد نمایید.

۲- در نقاطی که دو مقدار مختلف برای مقاومت ویژه وجود دارد مقداری که MN کوچکتری دارد را وارد کنید.

۳- نرم افزار نقاطی را از طریق درونیابی به نقاطی که کاربر وارد کرده است در حین تفسیر مدل اضافه می کند که در بعضی مواقع احتیاج به تصحیح دارند.
در مرحله بعد نرم افزار ضخامت و مقاومت ویژه لایه های مختلف مدل اولیه را از کاربر دریافت می کند.

ب- ورود داده ها برای مدل بیش از سه لایه

برای ورود داده های مدل سه لایه ای مانند مدل دولایه مسیر را انتخاب کرده گزینه Automatically Interpretaion of 2 or 3 Layers را انتخاب نکنید. در این صورت در همان صفحه جدول، ورود اطلاعات مدل فعال خواهد شد. این جدول برای حداکثر پنج لایه در نظر گرفته شده است. اگر مدل مورد نظر بیش از پنج لایه داشته باشد بعد از ورود اطلاعات مدل می توانید از طریق منوی Add a Layer لایه های خود را وارد کنید. ادامه کار مانند مدل دو لایه ای می باشد.

تفسیر مدل با استفاده از نرم افزار VES NEW

در صفحه نمایش نرم افزار، نقاط داده های صحرائی با علامت ستاره رسم می شوند و نمودار مدلی که از طریق کاربر وارد می شود با خط پر رسم می شود. میزان اختلاف بین این دو سری از داده ها از طریق پارامتر Misfit به صورت دینامیکی محاسبه می گردد که معادل کوچکترین خطای مجموع مربعات می باشد.

در زیر نمودار، لایه ها همراه با اطلاعات آنها به صورت شماتیک رسم شده اند. با کلیک بر روی این قسمت منویی برای تغییر در ضخامت و مقاومت ویژه لایه های مختلف باز می شود. با تغییر در پارامتر-

های مدل در هر مرحله مدل سازی صورت می گیرد. هدف دستیابی به کمترین مقدار Misfit می باشد که با مدل اولیه نیز همخوانی داشته باشد.

ب-۲- نرم افزار IX1D

این نرم افزار به منظور معکوس سازی یک بعدی داده های سونداژهای مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، مگنتوتلوریک و الکترومغناطیس به کار برده می شود.

ویژگی های این نرم افزار:

- این نرم افزار تحت سیستم عامل Windows کار می کند.
- امکان پذیرش اکثر آرایش های الکترودی از جمله وئر، شلومبرژه، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی، قطبی - قطبی را داراست.
- امکان معکوس سازی داده های مقاومت ویژه به تنهایی یا داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی (درصد اثر فرکانس، بارپذیری یا فاز) را با هم داراست.
- امکان معکوس سازی داده های مگنتوتلوریک (مقاومت ویژه، امپدانس و فاز) وجود دارد.
- امکان معکوس سازی داده های الکترومغناطیسی (مولفه های حقیقی و موهومی) با آرایش های مختلف افقی و قائم وجود دارد.
- قابلیت خواندن نمودارهای چاه پیمایی مقاومت ویژه از فایل های ASCII وجود دارد و کاربر می تواند نمودار را به منظور مدل سازی های آتی چندین لایه تبدیل نماید.

برای وارد کردن داده ها از مسیر DC Resistivity Sounding > File > وارد می شویم، جدولی با سربرگ New Sounding Parameters ظاهر می شود که در آن نوع آرایش مورد نظر و همچنین نوع داده های ورودی (فقط مقدار مقاومت ویژه ظاهری یا داده های جریان و ولتاژ) قابل

انتخاب می‌باشند. بعد از OK کردن جدولی ظاهر می‌شود که می‌توان داده‌ها را در آن کپی کرد. راه دیگر وارد کردن داده‌ها از مسیر Import > ACSII Data File > DC Resistivity Data و فراخوانی فایل موردنظر می‌باشد.

این نرم‌افزار قابلیت دریافت مدل اولیه را نیز دارد که بعد از انجام مدل‌سازی مستقیم، منحنی حاصل از مدل اولیه با داده‌های ورودی مقایسه می‌شوند و میزان خطای RMS نمایش داده می‌شود. انجام مدل‌سازی معکوس به منظور بهبود بخشیدن تناسب بین مدل لایه‌ای و داده‌ها انجام می‌شود که باعث کاهش خطای RMS می‌شود.

خطای RMS، نشان‌دهنده میزان عدم تناسب بین داده‌های ساختگی تولید شده از مدل با داده‌های واقعی برداشت شده می‌باشد. روش محاسبه خطا به نوع داده‌های مورد استفاده بستگی دارد.

این نرم‌افزار قابلیت تخمین اتوماتیک یک مدل لایه‌ای برای داده‌های مقاومت ویژه DC و تخمین اتوماتیک یک مدل هموار را نیز دارد. همچنین در این نرم‌افزار می‌توان با استفاده از Analyze Equivalence چند مدل هم‌ارز برای مدل لایه‌ای ایجاد کرد.

منابع و مراجع

۱. بونهام کارتر گ. (۱۳۷۹)، "سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای دانش‌پژوهان علوم زمین (مدل‌سازی به کمک GIS)"، ترجمه گروه اطلاعات زمین مرجع، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، صفحه ۵۶۴.
۲. شمسایی ا.، (۱۳۷۷)، "هیدرولیک جریان آب در محیط‌های متخلخل"، جلد دوم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۴۴-۴۷۲.
۳. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، "کموگراف کیفی آبخوان دشت مشهد"، (۱۳۸۸).
۴. کلاگری ع. ا.، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات علی‌اصغر کلاگری، تهران.
۵. محمدزاده، م.، (۱۳۸۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی شوری خاک و آبهای زیرزمینی منطقه شکارآباد شاهرود با استفاده از روشهای ژئوالکتریک"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۶. مدنی ح.، (۱۳۸۶)، "آبکشی و آبرسانی در معادن"، جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، صفحه ۱۸-۲۲.
۷. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چناران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ تهران.
۸. وانگ، ال. ایکس.، (۱۳۷۸)، "سیستم‌های فازی و کنترل فازی"، تشنه لب م.، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، صفحه ۲۳.
۹. یوسفی م.، خالوکاکایی ر.، کامکار روحانی ا.، علی‌پور م.، (۱۳۸۷)، "انتخاب بهینه مناطق امیدبخش در ناحیه ماهنشان با استفاده از تلفیق معیارهای اکتشافی ژئوشیمیایی، کانی سنگین و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران. دانشگاه تهران.

10. Asfahani, J., (2007), "*Electrical earth resistivity surveying for delineating the characteristics of ground water in a semi-arid region in the Khanasser Valley*", Geology Department, Atomic Energy Commission, Syria., pp. 1085-1097.
11. Baglio, S., Fortuna, L., Graziani, S. & Muscato, G., (1994), "*Membership function shape and the dynamic behaviour of systems*" Adaptive Control Signal Process, V.8, pp. 369–377.
12. Bonham - Carter, G. F., (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS, Pergamon, Ontario.
13. Bonham - Carter, G. F., (1995). "*Geological application of GIS mineral potential mapping*", Cooperative Research Center for Australian Mineral Exploration Technologies, (CRCAMET), Department of Exploration Geophysics, Curtin University of Technology, Western Australia.
14. Carranza, E. J. M., (2002), "*Geologically - Constrained mineral potential mapping*", International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Philippines.
15. Carranza, E. J. M., (2008). "*Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*", Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol. 11, Elsevier, Amsterdam.
16. Corvallis, O. R., (2000), "*D.C. Resistivity methods*", Northwest Geophysical Associates, Inc.
17. Derecole, C., Croves, D. I., and Knox – Robinson, C. M., (2000), "*Using fuzzy logic in a geographic information system environment to enhance conceptually based prospectivity analysis of Mississippi Valley – type mineralization*", Australian Journal of Earth Science, Vol. 47, pp. 913- 927.

18. Domenico, P. A., Schwartz, F. W., (1998), "*Physical and Chemical Hydrogeology*", Vol 1, second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
19. Donald, B., Hoover and Klein, D. P. and Campbell, D. C., (1990), "*Geophysical methods in Exploration and mineral environmental investigation*", Society of Exploration Geophysicist.
20. Dubois, D. & Prade H. (1986), "*Weighted minimum and maximum operations in fuzzy set theory*" Information Sciences, V.39, pp. 205–210.
21. Fox, R. C., Hohmann, G. W., Killpack, T. J., and Rijo, L., (1980), "*Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys*", Geophysics, 45., 75–93.
22. Ginzburg, A., and Levanon, A., (1976), "*Determination of a salt-water interface by electric resistivity depth soundings*", Department of Environmental Sciences, Tel Aviv University, Ramat Aviv, Israel., pp. 561-568.
23. Kamkar- Rouhani, A., (2003), "*Recognition of magnetic anomalies associated with ore deposits using GIS in Mahneshan region*", Iran: XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG).
24. Kaymak, U. (1998) "*Fuzzy decision making with control applications*" PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
25. Kaymak, U., Sousa, J. M., (2003), "*Weighted Constraint Aggregation in Fuzzy Optimisation*", Kluwer Academic Publishers.
26. Loke M. H., Barker, R. D., (1996a). "*Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method*", Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
27. Loke, M. H., 1999, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys: ABEM.

28. Marescot, L., (2006), *“Introduction to environmental and engineering geophysics”*, Course notes, pp.29.
29. Milson, J., (1989), *“Field Geophysics”*, Geological Society of London Handbook Series, pp. 90-97.
30. Milson, J., (2003), *“Field geophysics”*, third edition, John Wiley.
31. Molano, E., Salamanca, M., Van Overmeeren, A., (1990), *“Numerical modelling of standard and continuous vertical electrical soundings”*, Geophysical Prospecting, 38, 705-89.
32. Mooney, H. M., (1980), *“Handbook of engineering geophysics”* , V.2, first edition, Bison instruments, Inc. and Minneapolis, Minnesota, pp. 1 – 31.
33. Muiuane, E. A., Padersen, L. B., (1999). *“Automatic 1D interpretation of DC resistivity sounding data”*, Journal of Applied Geophysics. 42, 35-45.
34. Piegat A. (2001) *“Fuzzy modeling and control”*, Physica-Verlag, pp. 313.
35. Reynolds, J. M., “1997”, *“An Introduction to Applied and Environmental Geophysics”*, pp. 418-459.
36. Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., (1991), *“Applied geophysics”* Cambridge University Press.
37. Tezel, O., (2002), *“interpretation of the field observation in induced polarization”*, Proceedings of international Conference on Earth Sciences and Electronics.
38. Todd, D. K., (2005), *“Groundwater Hydrology”*, second edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 42.

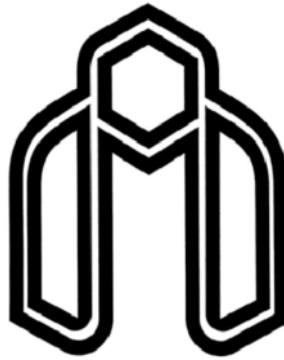
39. Vogelsang, D., 1995, "*Environmental Geophysics*", Springer-Verlag.
40. Yager, R. R. (1978) "*Fuzzy decision making including unequal objectives*" Fuzzy Sets and Systems, V.1, pp. 87–95.
41. Zadeh, L.A., (1965), "*Fuzzy sets*" IEEE Information and Control 8(3): pp. 338-353.
42. Zimmermann, H. J. (1987) "*Fuzzy Sets Decision Making and Expert Systems*" Boston, Kluwer Academic Publishers.
43. Zimmermann, H. J., Zysno, p., (1980), "*Latent connectives in human decision making*", Fuzzy Sets and Systems, V.4, pp.37-51.
44. Zonge Engineering and Research Organization, (1994), "*The Application of Surface Electrical Geophysics to Groundwater Problems*", Electrical Geophysics Seminar Notes, Inc., pp. 2-15.

Abstract

The need for groundwater resources to have sustainable development in a country is undoubted. In this research work, it is attempted to recognize and explore fresh groundwater resources and also, to investigate and analyze the quality of groundwater in Mashah –Chenaran plain for drinking and agricultural consumptions. For this purpose, the method of continuous vertical electrical sounding (CVES) has been used in which 132 sounding points on 7 lines have been surveyed in the area, and then, one-dimensional (1-D) and two-dimensional (2-D) modeling and interpretation of the results have been made. The electrical data have been interpreted using standard and auxiliary curves and also VES, IX1D and Res2dinv software packages. As a result, resistivity, thickness and depth of water-bearing formation or aquifer have been determined in each sounding location and also, the aquifer extent has been determined along each survey line. The interpretation results indicate that the depth of water table and also water quality (with respect to its total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC) and clay content) considering variation of the resistivity of water-bearing formation are varied in the study area. In northern parts of the area, water table is located at a low depth so that it is as low as 5 meters in some parts. Towards the southern parts of the area, the depth of water table increases and reaches to a maximum of 130 meters. Also, the interpretation results indicate that the water quality is low in most of northern parts of the area is low and the water possesses remarkable clay content and salinity. In the southern parts of the area, considering higher resistivity values of the water-bearing formation, the water quality improves comparatively. The bedrock in northern parts of the area is mainly formed of shale type and is located at a low depth. However, the bedrock in southern parts of the area includes coarse-grain sediments located at a relatively high depth.

Since, nowadays, most of spatial datasets are used inefficiently without employing suitable systems of data management, and thus, are wasted, an attempt has been made in this research work to digitize, organize, model and integrate in GIS environment all the data or maps (i.e. resistivity, depth and thickness of water-bearing formation) obtained from the interpretation of sounding data. For this, to model and integrate the data in GIS environment, first, each of the data or quantities comprising of resistivity, depth and thickness of water-bearing formation is classified after a preliminary processing, and then, each class is weighted separately and as a result, relevant evidence maps are obtained. In the next stage, considering different importance of each quantity in modeling and integration of the data or results to obtain the potential map of groundwater in the area, different weights are attributed to the quantities. Finally, using the capabilities of GIS and the index overlay integration method, the zones with high potential of groundwater for consumption are introduced. Furthermore, using trapezoidal membership functions corresponding to the study target (i.e. groundwater), the maps of all three quantities are fuzzified in GIS environment, and then, for integration of these fuzzy maps, considering their importance in the groundwater exploration and investigation, various fuzzy operators are used. The zones with high potential of groundwater in the area are introduced as a result of investigation of the final integration maps. Hence, fuzzy values more than 0.6 are seen in most of central and southern parts, and also in small portion of northern parts of the study area. This generally indicates a high groundwater reservoir and quality (considering high resistivity values of aquifer) and also a low depth for the water table, or an easy access to the groundwater reservoir, in these locations.

Keywords: Modeling, Resistivity sounding, Hydrogeology, Fuzzy logic, Index overlay, Chenaran.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Modeling and interpretation of resistivity sounding data and integration of the
results with geological and hydrogeological data using GIS in Chenaran area**

By:
Teymoor Kahaki

Supervisor:
Dr. Abolghasem Kamkar Rouhani

Advisor:
Dr. Abdolreza Fathi Najafi

August 2011