

صلى الله عليه وسلم



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی پیشروی آب شور کویر به داخل سفره آب زیرزمینی دامغان و تعیین شوری و کیفیت سفره مذکور با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی

سعید قربانی صحت

اساتید راهنما

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر ایرج پیروز

استاد مشاور

دکتر غلامعباس کاظمی

آبان ماه ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سعید قربانی صحت به شماره دانشجویی: ۹۲۱۱۲۳۴

تحت عنوان: ارزیابی پیشروی آب شور کویر به داخل سفره آب زیرزمینی دامغان و تعیین شوری و کیفیت سفره مذکور با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی در تاریخ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: غلامعباس کاظمی		نام و نام خانوادگی: ابوالقاسم کامکار روحانی
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: ایرج پیروز

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم ہے

پدر و لسوز و مادر مہربانم

تقدیر و شکر

پاس گزاری...

پس از حمد و ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطف و رحمت اتمام این

پایان نامه را به بنده عطا فرموده است، بر خود واجب می دانم از دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی، دکتر ایرج پیروز و دکتر

غلامعباس کاظمی که مراد انجام پایان نامه یاری نمودند تقدیر و شکر نمایم.

همچنین از جناب مهندس خراسانی، ریاست اداره امور منابع آب شهرستان دامغان، مهندس شامانی کارشناس اداره امور

منابع آب شهرستان دامغان که در امر انجام این پایان نامه نهایت همکاری صمیمانه را با اینجانب نموده اند، کمال شکر و

پاس گزاری را دارم.

در پایان از تمامی دوستان گرامی که در عملیات برداشت داده نهایت کمک و همیاری را در حق اینجانب داشتند، کمال شکر

و پاس گزاری را می نمایم.

## تعهدنامه

اینجانب سعید قربانی صحت دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارزیابی پیشروی آب شور کویر به سفره آب زیرزمینی دامغان و تعیین شوری و کیفیت سفره مذکور با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی

تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر ایرج پیروز متعهد می‌شوم.

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

تاریخ:

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

آلودگی سفره آب زیرزمینی در اثر نفوذ آب شور یکی از مشکلات نواحی کویری و ساحلی کشور است. قرار گرفتن دامغان در مجاورت کویر حاج علی قلی باعث پیشروی آب شور کویر به درون سفره‌های آب زیرزمینی شیرین دامغان در نقاط مختلف شده و کیفیت آب کاهش یافته است. به منظور ارزیابی پیشروی آب شور کویر به سفره آب زیرزمینی روستای حسین آباد دولا ب شهرستان دامغان و تعیین عمق آب شور و شیرین و مرز این دو اقدام به برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی شد. در منطقه مورد نظر برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی به روش سونداژنی با استفاده از آرایش شلومبرژه و پروفیل‌زنی با برداشت دو پروفیل با استفاده از آرایش ونر انجام شده است. موقعیت سونداژ و پروفیل‌های مقاومت ویژه در بین چاه‌های آب و با توجه به اطلاعات چاه‌ها به ویژه مقادیر EC آب آن‌ها تعیین گردیده است. سونداژنی به منظور مشخص کردن لایه‌های زیرسطحی و تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و هندسی سفره آب زیرزمینی برداشت شده است. وقتی سفره‌های آب شور و شیرین زیرزمینی در مجاورت یکدیگرند به دلیل جریان یافتن آب شیرین به سمت آب شور مرز میان این دو افقی نیست. از این رو جهت تعیین دقیق‌تر عمق و مرز میان آن‌ها از پروفیل‌زنی با آرایش ونر استفاده شده است. مدل‌سازی و تفسیر داده‌های سونداژنی با استفاده از منحنی‌های استاندارد، نرم‌افزار IX1D و IPI2WIN و تفسیر پروفیل‌های مقاومت ویژه به کمک نرم‌افزار RES2DINV و ZONDRES2D انجام شد. به دلیل کم عمق بودن سفره آب زیرزمینی و تبخیر زیاد آب‌های سطحی میزان املاح موجود در بالای سفره آب و خاک منطقه افزایش یافته است. مقادیر EC نمونه‌های مخلوط با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب جهت بررسی میزان شوری خاک منطقه اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از شوری متوسط خاک منطقه است که این امر نتایج تفسیر سونداژ و پروفیل مقاومت ویژه را در سطح زمین به خوبی تأیید می‌کند. به دلیل کمتر بودن فواصل الکترودی آرایه ونر در برداشت پروفیل A نسبت به پروفیل B، عمق نفوذ پروفیل A نسبت به پروفیل B کمتر است. مقاطع حاصل از تفسیر پروفیل‌ها تا حدی

شوری را نشان می‌دهند. نتایج به دست آمده با استفاده از روش مقاومت ویژه به خوبی با نتایج EC چاه‌ها مطابقت و هم‌خوانی داشته و بیانگر تا حدی وجود آب شور احتمالی می‌باشد. بدیهی است که به منظور جلوگیری از پیشروی آب شور، مدیریت بهره‌برداری از چاه‌ها لازم و ضروری است.

**کلمات کلیدی:** مقاومت ویژه الکتریکی، پیشروی آب شور کویر، دامغان، سونداژزنی، پروفیل‌زنی، آرایه الکترودی ونر، حسین آباد دولاب.



## لیست مقالات مستخرج

۱- قربانی صحت س، کامکارروحانی ا، کاظمی غ، پیروز ا، (۱۳۹۴) "ارزیابی کیفیت و میزان شوری سفره آب زیرزمینی دامغان با استفاده از سونداژزنی مقاومت ویژه الکتریکی و ترکیب نتایج با داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه" هفتمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه دامغان، ۱۷ تا ۱۹ شهریور ماه.

۲- قربانی صحت س، کامکارروحانی ا، کاظمی غ، پیروز ا، (۱۳۹۴) "بررسی پیشروی آب شور کویر به سفره آب زیرزمینی دامغان با استفاده از روش پروفیل‌زنی مقاومت ویژه الکتریکی" هفتمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه دامغان، ۱۷ تا ۱۹ شهریور ماه.

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ تعریف مسئله	۲
۳-۱ تاریخچه کارهای انجام شده	۴
۴-۱ ضرورت انجام تحقیق	۷
۵-۱ اهداف پایان نامه	۸
۶-۱ روش انجام تحقیق	۸
۷-۱ ساختار پایان نامه	۸
فصل دوم: پیشروی آب شور به سفره‌های آب شیرین و روش مقاومت ویژه الکتریکی	۱۱
۱-۲ پیشروی آب شور به سفره‌های آب شیرین	۱۲
۱-۲-۱ پدیده پیشروی آب شور در مجاورت آبخوان‌های آب شیرین	۱۲
۲-۱-۲ روش‌های انتقال آلودگی در محیط‌های متخلخل	۱۳
۳-۱-۲ رابطه گین-هرزبرگ	۱۴
۴-۱-۲ رابطه لاسجنسکی	۱۶
۵-۱-۲ ویژگی‌های سطح مشترک آب شور و شیرین	۱۶
۶-۱-۲ روش‌های مطالعه نفوذ آب شور	۱۹

۱۹	۲-۲ مقاومت ویژه الکتریکی.....
۱۹	۱-۲-۲ اصول روش مقاومت ویژه الکتریکی.....
۲۰	۲-۲-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه زمین.....
۲۲	۳-۲-۲ روش‌های اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی.....
۲۳	۴-۲-۲ آرایه‌های مختلف الکتریکی و مزایا و معایب آن‌ها.....
۲۷	۵-۲-۲ تشخیص ناهمگنی جانبی با استفاده از آرایش شلومبرژه.....
۲۹	فصل سوم: موقعیت اقلیمی، زمین‌شناسی و آب‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۳۰	۱-۳ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه.....
۳۰	۲-۳ وضعیت آب و هوایی منطقه.....
۳۲	۳-۳ زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه.....
۳۴	۴-۳ آب‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۳۹	فصل چهارم: برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌ها.....
۴۰	۱-۴ مقدمه.....
۴۰	۲-۴ طراحی عملیات برداشت.....
۴۲	۱-۲-۴ روش‌های مورد استفاده در برداشت داده‌ها.....
۴۳	۲-۲-۴ آرایش‌های الکترودی به کار گرفته شده در محدوده مورد بررسی.....
۴۳	۳-۲-۴ عملیات صحرائی.....
۴۴	۳-۴ آزمایش نمونه‌های خاک منطقه.....
۴۶	۴-۴ مدل‌سازی و تفسیر.....

۴۶	تفسیر داده‌های سونداژزنی
۴۸	نتایج تفسیر با استفاده از منحنی‌های استاندارد
۴۹	مدل‌سازی پیشرو
۵۰	نتایج تفسیر با وارون‌سازی با نرم افزار IX1D
۵۲	نتایج تفسیر با وارون‌سازی به کمک نرم افزار IPI2Win
۵۴	نتایج نهایی تفسیر سونداژ
۵۵	تفسیر دوبعدی داده‌های حاصل از پروفیل‌زنی
۵۶	نتایج تفسیر پروفیل A
۵۹	نتایج تفسیر پروفیل B
۶۳	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۶۴	نتیجه‌گیری
۶۵	پیشنهادات
۶۶	مراجع

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: نحوه جریان‌های آب شور و شیرین در یک آبخوان باز ساحلی..... ۱۳
- شکل ۲-۲: موقعیت سطح مشترک آب شور و شیرین، طبق نظریه گین و هرزبرگ..... ۱۵
- شکل ۲-۲: افزایش میزان شوری در منطقه انتقالی بر حسب عمق. الف) مقیاس خطی، ب) مقیاس احتمالی..... ۱۸
- شکل ۳-۲: آرایه اساسی چهار الکترودی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین..... ۲۰
- شکل ۴-۲: شکل شماتیک آرایش شلومبرژه..... ۲۴
- شکل ۵-۲: آرایش الکترودی ونر..... ۲۵
- شکل ۶-۲: شکل شماتیک آرایش ونر- شلومبرژه..... ۲۷
- شکل ۷-۲: منحنی سونداژ برداشت شده با استفاده از آرایه شلومبرژه..... ۲۸
- شکل ۱-۳: راه‌های دسترسی به منطقه مطالعاتی..... ۳۰
- شکل ۲-۳: موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود..... ۳۳
- شکل ۳-۳: موقعیت چاه‌های بهره برداری و پیزومتری منطقه..... ۳۶
- شکل ۱-۴: شکل شماتیک موقعیت چاه‌ها و پروفیل‌ها و سونداژ طراحی شده در منطقه بر روی نمودار EC چاه‌ها..... ۴۲
- شکل ۲-۴: موقعیت پروفیل‌ها و سونداژ در منطقه..... ۴۴
- شکل ۳-۴: تفسیر دستی سونداژ به کمک منحنی‌های استاندارد..... ۴۹
- شکل ۴-۴: تفسیر دستی سونداژ به صورت مدل پیشرو در نرم افزار IX1D..... ۵۰
- شکل ۵-۴: مدل‌سازی معکوس سونداژ به وسیله نرم افزار IX1D..... ۵۱
- شکل ۶-۴: مقطع یک‌بعدی حاصل از تفسیر با نرم افزار IX1D..... ۵۲

- شکل ۴-۷: تفسیر سونداژ به وسیله نرم افزار IPI2Win ..... ۵۳
- شکل ۴-۸: مقطع یک بعدی حاصل از تفسیر سونداژ با نرم افزار IPI2Win ..... ۵۴
- شکل ۴-۹: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل A به کمک نرم افزار RE2DINV ..... ۵۷
- شکل ۴-۱۰: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل A به کمک نرم افزار ZONDRES2D ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۱: مقاطع حاصل از مدل سازی پروفیل A با استفاده از نرم افزارهای ZONDRES2D و RES2DINV ..... ۵۹
- شکل ۴-۱۲: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل B به کمک نرم افزار RES2DINV ..... ۶۰
- شکل ۴-۱۳: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل B به کمک نرم افزار ZONDRES2D ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۴: مقاطع حاصل از مدل سازی پروفیل B با استفاده از نرم افزارهای ZONDRES2D و RES2DINV ..... ۶۲

## فهرست جداول

- جدول ۴-۱: نتایج EC و PH چاه‌های منطقه..... ۴۱
- جدول ۴-۲: نتایج حاصل از اندازه‌گیری EC خاک منطقه..... ۴۵
- جدول ۴-۳: استاندارد جهانی روش ۵:۱ به منظور تعیین میزان شوری خاک ..... ۴۶
- جدول ۴-۴: نتایج تفسیر نهایی منحنی سونداژ به روش‌های مختلف..... ۵۵





# فصل اول:

## کلیات

## ۱-۱ مقدمه

مقدار آب موجود در کره زمین در حدود ۱۳۶۰ میلیون کیلومتر مکعب تخمین زده شده است و آب‌های زیرزمینی شیرین تنها ۰/۹ درصد این مقدار را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که اکثر مردم کره زمین نیاز خود را از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کنند (تیزرو، ۱۳۸۷). آب زیرزمینی بزرگ‌ترین منبع آب پاکیزه برای آشامیدن است و از اهمیت خاصی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان برخوردار می‌باشد (Gupta et al., 2014). مردم این مناطق از آب زیرزمینی برای اهداف کشاورزی و صنعتی و همچنین مصارف خانگی استفاده می‌کنند. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر کیفیت آب زیرزمینی اثر می‌گذارد آلودگی سفره آب زیرزمینی در اثر نفوذ آب شور می‌باشد، مقدار نفوذ آب شور تحت تأثیر عواملی از جمله طبیعت ساختار زمین‌شناسی، گرادیان هیدرولیکی، نرخ جریان آب زیرزمینی و قابلیت تغذیه آن است (Choudhury et al., 2001).

روش‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، هیدرودینامیکی و ابزارهای مدل‌سازی برای مطالعه تداخل آب شور و شیرین مورد استفاده قرار می‌گیرند (Todd, 2005). روش مقاومت ویژه الکتریکی به علت خاصیت ذاتی که در نمایان ساختن تغییرات در هدایت الکتریکی آب خلل و فرج دارد، می‌تواند به علت وجود تباين<sup>۱</sup> بالای مقاومت ویژه بین آب شور و شیرین مرز این دو را از هم تشخیص دهد.

## ۱-۲ تعریف مسئله

کشور ایران از نظر آب و هوایی جزء نواحی نیمه خشک به‌شمار آمده و از نظر منابع آب نیز غنی نبوده و ضمناً پراکندگی آن‌ها از نظر مکانی و زمانی مناسب نمی‌باشد. در حال حاضر با افزایش جمعیت و استاندارد زندگی تقاضا برای آب باکیفیت مناسب برای استفاده در بخش خانگی، صنعت و کشاورزی در همه جای دنیا افزایش یافته است.

---

<sup>۱</sup>Contrast

آلودگی آب‌های زیرزمینی به علت نفوذ آب شور یکی از عواملی است که باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی شیرین می‌شود. منشأ این آلودگی می‌تواند به علت ضایعات نمکی ناشی از فعالیت‌های انسانی، تهاجم آب شور در مناطق ساحلی و مناطق مجاور کویرها، لایه‌های نازک نمک موجود در ساختارهای زمین‌شناسی، برگشت جریان به رودخانه‌ها از زمین‌های آبیاری شده و افزایش غلظت آب به وسیله تبخیر باشد (Srinivas, 2014).

در کلیه نقاطی که سفره‌های آب زیرزمینی شور و شیرین در تماس با یکدیگر هستند، به واسطه شرایط خاص طبیعی، آب‌های شیرین، به سمت آب‌های شور جریان دارد و در این جهت تخلیه می‌شود، مگر آنکه با بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب شیرین، این حالت تغییر کند آنگاه جریان مخالفی ایجاد شده و آب شور به سمت آب زیرزمینی شیرین جریان پیدا می‌کند. این پدیده به عنوان پیشروی آب شور مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در نتیجه سفره آب شور سبب شور شدن چاه‌ها می‌شود. همچنین بهره‌برداری بیش از اندازه از چاه‌ها باعث بالآمدگی آب شور در زیر چاه می‌شود و در نتیجه آب شور وارد چاه شده و کیفیت آب کاهش خواهد یافت. پدیده پیشروی آب شور بیشتر در مناطق ساحلی و همچنین مناطق مجاور کویرها اتفاق می‌افتد و به دلیل این که جمعیت زیادی از مردم جهان در این مناطق زندگی می‌کنند؛ مطالعه آب‌های زیرزمینی، پدیده پیشروی آب شور، تعیین مرز آب شور و شیرین و بررسی کیفیت آب در نقاط مختلف برای مدیریت این منابع لازم و ضروری است (صداقت، ۱۳۸۷).

به دلیل این که آب شیرین شرب و قابل استفاده در کشاورزی در همه نقاط به اندازه نیاز وجود ندارد؛ باید برای مدیریت منابع آب، به شناسایی سفره‌های آب زیرزمینی و میزان کیفیت آب آن‌ها با استفاده از روش‌ها و فنون مناسب پرداخت. روش مقاومت ویژه الکتریکی با دقت قابل قبولی قادر به تعیین خصوصیات سفره‌های آب زیرزمینی، محدوده آب شور و شیرین زیرزمینی و کیفیت آب در نقاط مختلف می‌باشد (حجت، ۱۳۹۰).

## ۳-۱ تاریخچه کارهای انجام شده

زهدی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۹ با استفاده از روش سونداژزنی مقاومت ویژه و آرایه‌های شلومبرژه و دوقطبی - دوقطبی استوایی به بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی ال پاسو<sup>۲</sup> در تگزاس<sup>۳</sup> پرداخت و توانست با انجام ۱۲ سونداژ مقاومت ویژه با آرایه شلومبرژه و ۳ سونداژ با آرایه دوقطبی - دوقطبی استوایی در طول دو پروفیل با دقت قابل قبولی تداخل آب شور و شیرین و مرز میان آن‌ها را نشان دهد (Zohdy, 1969).

گینزبرگ<sup>۴</sup> با دو برداشت به روش سونداژ زنی و با آرایه شلومبرژه در سال‌های ۱۹۶۹ و ۱۹۷۵ در سرزمین‌های اشغالی (فلسطینی) مرز تداخل میان آب شور و شیرین را تشخیص داده و موقعیت آن را مشخص کرد. با مقایسه این دو مرز دریافت که مرز تداخل کمی جابجا شده است از این‌رو نتیجه گرفت که در طی این سال‌ها آب شور به سمت سفره آب شیرین پیشروی نموده است (Ginzburg, 1976).

در سال ۱۹۹۹ نوروزی<sup>۵</sup> نفوذ آب شور به درون سفره آب شیرین را در سواحل شرقی ویرجینیا مورد مطالعه قرار داد؛ و به این نتیجه رسید که استفاده از برنامه‌هایی مانند مدل زهدی و بیزداف<sup>۶</sup> (۱۹۸۹) که یک مدل اولیه را در نظر گرفته و سپس با تکرارهای متوالی سعی در یافتن یک انطباق خوب بین منحنی تئوری و صحرایی می‌کنند؛ نتایج سازگارتری به دست می‌دهند (Nowroozi et al., 1999).

در سال ۲۰۰۰ عبدالنصیر<sup>۷</sup> مرز آب شور و شیرین را در ایالت کداه<sup>۸</sup> در شمال غرب مالزی مطالعه کرد و بدین نتیجه رسید که روش تصویربرداری الکتریکی با استفاده از سیستم چندین الکترودی و کابل

---

<sup>۱</sup>Zohdy

<sup>۲</sup>El paso

<sup>۳</sup>Texas

<sup>۴</sup>Ginzburg

<sup>۵</sup>Nowroozi

<sup>۶</sup>Bisdorf

<sup>۷</sup>Abdul Nassir

<sup>۸</sup>Kedah

چند هسته‌ای<sup>۱</sup> و با به کارگیری آرایش‌های ونر و ونر- شلومبرژه به علت دوبعدی بودن مرز آب شور و شیرین مفید واقع شده و به خوبی و با دقت بالایی این مرز را نشان می‌دهد (Abdul Nassir, 2000).

پولسن<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۸ در دانمارک با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی برداشت‌های مختلفی را در طول سال و در ماه‌های مختلف با آرایش دوقطبی- دوقطبی انجام داد و توانست پیشروی و پسرفت آب شور را که ناشی از افت و خیز گرادیان هیدرولیکی است به خوبی نشان دهد (Poulsen et al, 2010).

ساتیش<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۸ با استفاده از روش پروفیل زنی دوبعدی و همچنین روش توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی سه بعدی با قدرت تفکیک<sup>۴</sup> بالا و با آرایه ونر- شلومبرژه نفوذ آب شور را به آبخوان شهر چنای<sup>۵</sup> در کشور هند بررسی کرد و با تولید مدل‌های دوبعدی و سه بعدی مقاومت ویژه ظاهری، کاربرد توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی سه بعدی با قدرت تفکیک<sup>۶</sup> بالا را در تشخیص پیشروی آب شور اثبات کرد (Sathish et al., 2011).

ایگروفا<sup>۷</sup> در سال ۲۰۱۰ با استفاده از روش پروفیل زنی مقاومت ویژه الکتریکی و با به کارگیری آرایه ونر پیشروی آب شور را در جزیره کری<sup>۸</sup> بررسی کرد و اطلاعات مفیدی از هندسه حجم آب شور به دست آورد و نفوذ و گسترش آب شور را در قسمت‌های مختلف منطقه به خوبی نشان داد (Igroupfa, 2010).

هری کریشنا<sup>۹</sup> با تلفیق روش‌های دورسنجی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمی و سونداژنی مقاومت ویژه الکتریکی در دریاچه کولرو<sup>۱۰</sup> واقع در کشور هندوستان نشان داد که آب شور تا فاصله ۴۰ کیلومتری از

---

<sup>۱</sup>Multicore cable

<sup>۲</sup>Poulsen

<sup>۳</sup>Sathish

<sup>۴</sup>Resolution

<sup>۵</sup>Chennai

<sup>۶</sup>Resolution

<sup>۷</sup>Igroupfa

<sup>۸</sup>Carey

<sup>۹</sup>Harikrishna

<sup>۱۰</sup>Kolluru

خط ساحلی پیشروی کرده است (Naik et al., 2012).

همدن<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۹ با استفاده از معکوس‌سازی توأم<sup>۲</sup> داده‌های توموگرافی مقاومت ویژه و لرزه‌نگاری بدین نتیجه رسید که معکوس‌سازی توأم داده‌ها، نتایج بهتر و معقول‌تری در مقایسه با معکوس‌سازی مستقل دربردارد و همچنین تفسیر نتایج را آسان‌تر کرده و سرعت فرایند تفسیر را افزایش می‌دهد و در بعضی موارد نیز باعث کاهش تعداد گمانه‌های شاهد مورد نیاز می‌شود (Hamdan, 2013).

عمر<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۴ تأثیر پمپاژ از چاه‌ها را بر پیشروی آب شور به سمت سفره آب شیرین زیرزمینی را در جزیره کاپاس<sup>۴</sup> مالزی با استفاده از روش پروفیل‌زنی مقاومت ویژه الکتریکی نشان داد. او سه برداشت را به ترتیب بلافاصله، ۴ و ۸ ساعت بعد از قطع پمپاژ ۵ ساعته از چاه‌های منطقه انجام داد و توانست به خوبی برگشت آب شور و پس‌زنی آن را بعد از قطع پمپاژ نشان دهد (Kura et al., 2014).

ابراهیم<sup>۵</sup> از اکتبر سال ۲۰۰۵ تا دسامبر سال ۲۰۰۸ با استفاده از روش تصویربرداری دوبعدی مقاومت ویژه پروفیل‌هایی به طول ۵۵۰ متر تا ۲۲۲۰ متر با آرایش‌های شلومبرژه و دوقطبی-دوقطبی در مناطق مختلف امارات متحده عربی برداشت کرد و پس از مدل‌سازی داده‌ها بدین نتیجه رسید که روش تصویربرداری دوبعدی برای بررسی آبخوان‌های کواترنری به علت تباین<sup>۶</sup> بالای مقاومت ویژه بین زون اشباع شده و خشک مناسب بوده و در مناطقی که آب شور نفوذ کرده در صورتی که مقدار رس کم باشد و یا اصلاً وجود نداشته باشد دسته‌بندی آب به مناطق شیرین، لب‌شور و شور امکان پذیر می‌باشد. همچنین دریافت که کاربرد این روش در مناطقی که آبخوان با رس همراه باشد به‌خصوص زمانی که آب لب‌شور است محدود می‌شود (Ebraheem et al., 2014).

---

<sup>۱</sup>Hamdan

<sup>۲</sup>Joint inversion

<sup>۳</sup>Umar

<sup>۴</sup>Kapas

<sup>۵</sup>Ebraheem

<sup>۶</sup>Contrast

ناصری و همکاران در سال ۱۳۸۷ در آبخوان دشت چاه دراز سیرجان با برداشت ۱۵۰ سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی توانست بالاآمدگی آب را در زیر چاه‌ها بر اثر پمپاژ زیاد و همچنین زون‌های مختلف آب شور را نشان دهد (ناصری، ۱۳۸۷).

عباسی با بررسی گسترش آب‌های زیرزمینی شور و شیرین با استفاده از توموگرافی الکتریکی دوبعدی با داده‌های ۲۵۳ سونداژ مقاومت ویژه در منطقه‌ای واقع در شهرستان گنبد و شرق اینچه برون توانست مناطق شور و شیرین را بررسی نماید. نتایج حاصل از وارون‌سازی دوبعدی داده‌های سونداژها نشان داد که آب شور بر خلاف حالت عادی بر روی آب شیرین قرار دارد (عباسی، ۱۳۹۱).

## ۴-۱ ضرورت انجام تحقیق

آبرفتی بودن منطقه، شرایط مناسب را برای کشاورزی پدید آورده است. از این‌رو با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، تقریباً اطراف روستای حسین‌آباد را باغات پسته دربرگرفته است. بنابراین نیاز به آب افزایش یافته و به‌دنبال آن چاه‌های بسیاری در منطقه حفر گردیده است. با توجه به این‌که کویر نمک حاج‌علی‌قلی در جنوب منطقه واقع شده است، پیشروی جبهه آب شور سبب کاهش کیفیت آب منطقه و از بین رفتن درختان زردآلو و توت شده است. بنابراین دسترسی به آب مناسب یکی از احتیاجات ضروری مردم منطقه است. از این‌رو به منظور تعیین محل مناسب حفر چاه و میزان دبی بهره‌برداری از چاه‌ها و به‌طور کلی مدیریت منابع آب، مطالعه پیشروی آب شور و عمق آب شور و شیرین لازم و ضروری می‌باشد. مناسب‌ترین، سریع‌ترین و ارزان‌ترین راه مطالعه پیشروی آب شور به سفره‌های آب زیرزمینی، استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی است. در این تحقیق، از این‌روش به منظور مطالعه پیشروی آب شور به سفره‌های آب زیرزمینی شیرین و تعیین عمق آب شور و شیرین و مرز این‌دو استفاده شده است.

## ۱-۵ اهداف پایان نامه

در طراحی پروژه‌های اکتشافی، برآورد هزینه و زمان بسیار مهم است. به طوری که در اغلب موارد این دو عامل هدایت کننده روند اجرای پروژه‌ها هستند. در این تحقیق هدف این است که با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی که روشی نسبتاً ارزان قیمت و سریع می‌باشد، مشخصات سفره آب زیرزمینی را تعیین نموده، پیشروی آب شور در منطقه نشان داده شود و همچنین عمق آب شور و شیرین، مرز این دو و کیفیت آب در قسمت‌های مختلف منطقه تعیین گردد.

## ۱-۶ روش انجام تحقیق

به منظور نشان دادن پیشروی آب شور کویر به سفره آب زیرزمینی شهرستان دامغان با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی، در عمل دو مرحله عمده انجام شد. در مرحله اول، منطقه‌ای در کل این شهرستان یافت شد که علاوه بر نزدیک بودن خطوط همتراز به یکدیگر، مقادیر EC چاه‌ها نیز در آن بالا بوده و همچنین سطح ایستابی در عمق کمی قرار گرفته باشد. در مرحله دوم، عملیات سونداژزنی مقاومت ویژه به منظور تعیین لایه‌ها و مشخصات سفره‌های آب زیرزمینی در عمق و پروفیل زنی مقاومت ویژه به منظور بررسی مرز جانبی آب شور و شیرین در مناطق مختلف منطقه انجام شد.

## ۱-۷ ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر از ۵ فصل تشکیل شده است. فصل اول پس از مقدمه، تعریف مسئله، تاریخچه کارهای انجام شده و ذکر مختصری از تاریخچه مطالعات پیشین در دنیا و ایران، ضرورت، اهداف و روش انجام تحقیق پایان نامه حاضر آورده شده است. در فصل دوم در ابتدا به بحث در مورد پیشروی آب شور به سفره آب شیرین، روش‌های مختلف مطالعه آن و مرز مشترک میان آب شور و شیرین پرداخته شده و سپس اصول کلی روش مقاومت ویژه الکتریکی، روش‌های مختلف برداشت داده‌ها، آرایش‌های مختلف



الکترودی و مدل سازی و تفسیر داده‌ها در این روش ارائه شده است. در فصل سوم موقعیت جغرافیایی، اقلیمی، آب‌شناسی و زمین شناسی منطقه مورد نظر بررسی شده و در فصل چهارم طراحی عملیات صحرایی، برداشت، مدل سازی و تفسیر داده‌ها ارائه شده و در نهایت در فصل پنجم نتایج این تحقیق مطرح و پیشنهادات لازم ارائه شده است.



## فصل دوم:

پیشروی آب شور به

سفره‌های آب شیرین

و روش مقاومت ویژه الکتریکی

## ۱-۲ پیشروی آب شور به سفره‌های آب شیرین

### ۱-۱-۲ پدیده پیشروی آب شور در مجاورت آبخوان‌های آب شیرین

آب در محیط‌های متخلخل از نقطه‌ای با انرژی مکانیکی بیشتر به سمت نقطه‌ای که دارای انرژی مکانیکی کمتری است حرکت می‌کند. انرژی مکانیکی مجموع سه انرژی زیر می‌باشد (شمسائی، ۱۳۹۱):

۱- انرژی پتانسیل که مقدار آن برابر است با:

$$mgz = \text{انرژی پتانسیل}$$

در این فرمول  $m$  جرم آب در نقطه مورد نظر،  $g$  شتاب ثقل و  $z$  ارتفاع نقطه مورد نظر می‌باشد.

۲- انرژی جنبشی که مقدار آن برابر است با:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \text{انرژی جنبشی}$$

که در این فرمول  $v$  سرعت حرکت آب در نقطه مورد نظر است.

۳- انرژی ارتجاعی که مقدار آن برابر است با:

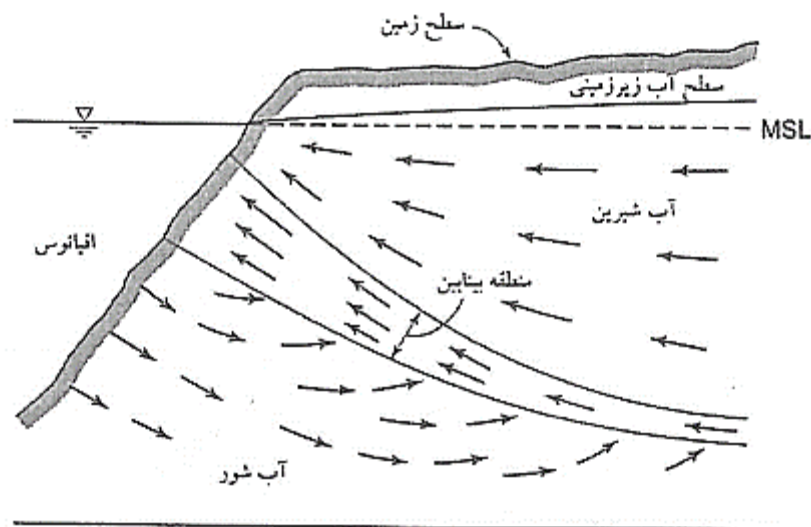
$$m \int_{p_0}^p \frac{\bar{v}}{m} dp = \text{انرژی ارتجاعی}$$

که در این فرمول  $\bar{v}$  حجم مایع مورد نظر و  $p$  فشار در نقطه مورد نظر می‌باشد.

همواره جریان آب زیرزمینی در نزدیکی خطوط ساحلی جاییکه آب شور و شیرین در کنار یکدیگرند، وجود دارد و آب شیرین از طریق یک سطح متحرک معین مطابق شکل ۱-۲ در دریا تخلیه می‌شود.

چنانچه از جریان فوق صرف‌نظر گردد و تنها چگالی آب شور و شیرین در نظر گرفته شود، تعادل هیدرواستاتیک بین آب شور و شیرین برقرار شده و سطح مشترک مسطحی به وجود می‌آید؛ که طبق

آن آب شیرین در بالا و آب شور در پایین سطح قرار خواهد گرفت (Todd, 2005).



شکل ۱-۲: نحوه جریان‌های آب شور و شیرین در یک آبخوان باز ساحلی (کاظمی نژاد، ۱۳۸۹)

بهره‌برداری سنگین از آبخوان‌ها سبب افت سطح ایستابی شده و بر گرادیان هیدرولیک تأثیر نموده و باعث پیشروی آب شور به درون سفره‌های آب‌های زیرزمینی شیرین می‌گردد، چنین پدیده‌ای به نام پیشروی آب شور مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Todd, 2005).

## ۲-۱-۲ روش‌های انتقال آلودگی در محیط‌های متخلخل

حرکت املاح در محیط متخلخل توسط سه عامل جابجایی<sup>۱</sup>، پخش مولکولی<sup>۲</sup> و پراکندگی مکانیکی<sup>۳</sup> انجام می‌شود (Craig, 2008).

جابجایی: فرآیند انتقال مواد حل شده در آب از یک نقطه به نقطه دیگر توسط جریان آب زیرزمینی را جابجایی می‌نامند، در بسیاری از مسائل انتقال آلاینده، این عامل فرایند غالب است. جابجایی به خواص آبخوان به‌ویژه هدایت هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی و تخلخل مؤثر بستگی دارد.

<sup>۱</sup>Translation

<sup>۲</sup>Diffusion

<sup>۳</sup>Dispersion

پخش مولکولی: هنگامی که غلظت ماده محلول در نقاط مختلف سیال متفاوت باشد به علت حرکت تصادفی مولکول‌های ماده حل شده در آب که ناشی از انرژی جنبشی مولکول‌هاست ماده از منطقه‌ای با غلظت بیشتر به سمت منطقه‌ای با غلظت کمتر منتقل می‌شود.

پراکندگی مکانیکی: به علت وجود ناهمگنی در محیط متخلخل خاک که باعث تغییرات محلی سرعت نسبت به سرعت متوسط جریان می‌شود و همچنین منشعب شدن آب در حین عبور از بین دانه‌ها و به هم پیوستن دوباره، پراکندگی مکانیکی اتفاق می‌افتد. در واقع ماده حل شده در آب علاوه بر این که با سرعتی معادل با سرعت واقعی جریان در منافذ محیط حرکت می‌کند، به علت تأثیر پراکندگی مکانیکی خارج از مسیر اصلی انتقال در اطراف آن نیز پراکنده و پخش می‌گردد که در نهایت منجر به رقیق شدن غلظت آلاینده می‌شود.

## ۳-۱-۲ رابطه گیبن-هرزبرگ<sup>۱</sup>

همان‌طور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. هرگاه دو مایع با جرم‌های مخصوص مختلف در لوله به شکل U ریخته شود، ارتفاع دو ستون مایع در بالای نقطه تماس متناسب با جرم مخصوص مربوط به آن‌هاست و فشار در دو طرف لوله یکسان می‌باشد. از این‌رو می‌توان نوشت (Todd, 2005):

$$\rho_s g z = \rho_f g (z + h_f) \quad (1-2)$$

در این رابطه  $\rho_s$  چگالی آب شور،  $\rho_f$  چگالی آب شیرین و  $g$  شتاب جاذبه است.

در نتیجه مقدار عمق سطح مشترک آب شور و شیرین زیر سطح دریا که با  $Z$  نشان داده می‌شود، از رابطه (۲-۲) به دست می‌آید (Todd, 2005):

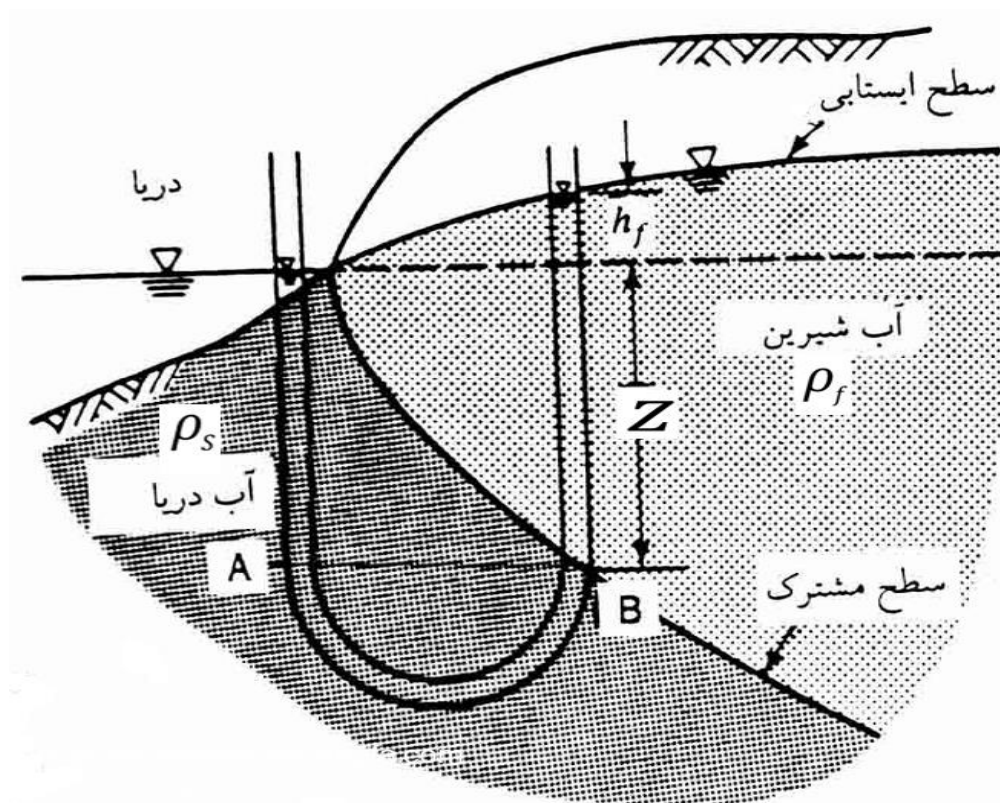
$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (2-2)$$

<sup>۱</sup>Ghyben-Herzberg

رابطه بالا به معادله گیبِن - هرزبرگ معروف است. در این رابطه  $h_f$  ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی نسبت به سطح دریا می باشد.

در رابطه (۲-۲) اگر چگالی آب شور و شیرین به ترتیب برابر  $1/0.25$  و  $1$  گرم بر سانتی متر مکعب باشد، معادله (۳-۲) به دست می آید.

$$z = 40 * h_f \quad (3-2)$$



شکل ۲-۲: موقعیت سطح مشترک آب شور و شیرین، طبق نظریه گیبِن و هرزبرگ (صداقت، ۱۳۸۷)

این رابطه نشان دهنده آن است که ارتفاع آب شیرین زیر سطح دریاهاى آزاد ۴۰ برابر ارتفاع آن در بالای سطح دریاهاى آزاد می باشد بنابراین تغییرات بسیار کوچک در ارتفاع سطح ایستابی باعث تغییرات بسیار بزرگی در عمق سطح مشترک آب شور و شیرین زیرین و بالاآمدگی شدید آن می گردد.

## ۴-۱-۲ رابطه لاسجنسکی<sup>۱</sup>

باید در نظر داشته باشیم که در معادله گین-هرزبرگ تعادل بین آب شور و شیرین وقتی برقرار است که دو شرط زیر در مورد سطح آب یا سطح پیزومتری برقرار باشد (Todd, 2005).

۱- سطح ایستابی یا پیزومتری بالای سطح آب دریا قرار گیرد.

۲- شیب افت به سمت اقیانوس باشد.

بدون این شرایط آب دریا مستقیماً به سمت ساحل پیشروی می‌کند؛ و شرایط ناپایدار به وجود می‌آید. برای مشخص شدن عمق سطح مشترک در شرایط ناپایدار دو چاه نزدیک را در نظر می‌گیریم که در یکی از آن‌ها آب شور نفوذ کرده است. در نتیجه عمق سطح مشترک از رابطه (۴-۲) به دست می‌آید (Todd, 2005).

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f - \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_s \quad (4-2)$$

در این رابطه  $h_s$  ارتفاع سطح ایستابی در چاهی که آب شور نفوذ کرده و  $h_f$  ارتفاع سطح ایستابی در چاه شیرین می‌باشد. رابطه (۴-۲) به معادله لاسجنسکی معروف است. وقتی که  $h_s = 0$  باشد آب شور در تعادل با دریاست و معادله (۴-۲) به معادله (۲-۲) تبدیل می‌شود.

## ۴-۱-۵ ویژگی‌های سطح مشترک آب شور و شیرین

### الف: شکل سطح مشترک آب شور و شیرین

مرز تداخل تیز بین آب شور و شیرین در واقعیت اتفاق نمی‌افتد، بلکه یک منطقه انتقالی<sup>۲</sup> با ضخامت محدود دو مایع را از یکدیگر جدا می‌کند. منطقه انتقالی که در شکل ۲-۲ نشان داده شده، ناحیه باریکی

<sup>۱</sup>Luszczynski

<sup>۲</sup>Transition Zone



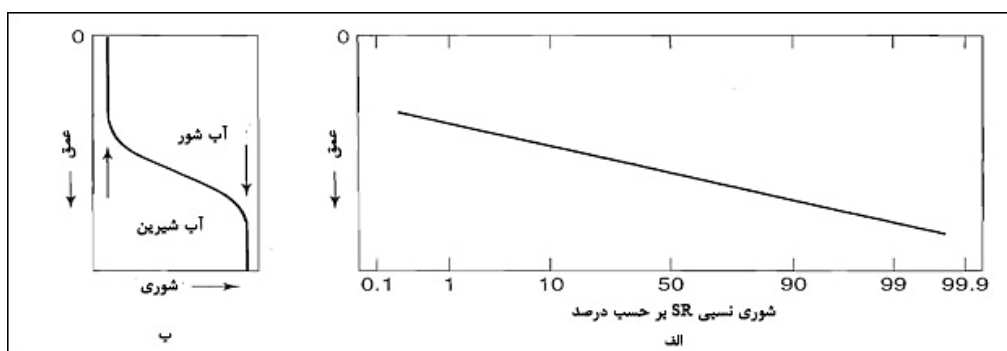
است که عرض آن ۱ متر تا بیش از ۱۰۰ متر متغیر می‌باشد. به‌طور کلی بیشترین ضخامت منطقه انتقالی در آبخوان‌های ساحلی با تراوایی بالا که تحت پمپاژ سنگین هستند اتفاق می‌افتد. یک پیامد مهم منطقه بینابین، وجود جریان رو به دریا در آن است که آب شور را به دریا انتقال می‌دهد. چون منشأ این آب شور در زیر آب شیرین واقع است از این‌رو بر اساس اصل پیوستگی یک جریان کوچک آب شور از دریا به سمت خشکی در منطقه آب شور وجود دارد (کازمی نژاد، ۱۳۸۹).

### ب: رابطه بین شوری و عمق فصل مشترک آب شور و شیرین

در منطقه انتقالی توزیع شوری آب زیرزمینی با عمق همان‌طور که در شکل ۲-۳ سمت چپ نشان داده شده است، تغییر می‌کند و با افزایش عمق و پیشرفت به سمت آب شور افزایش می‌یابد. همچنین شوری نسبی با معادله زیر بیان می‌شود (Todd, 2005):

$$s_r = 100 \left( \frac{c - c_f}{c_s - c_f} \right) \quad (5-2)$$

که در آن  $c$  غلظت آب در عمق خاصی از منطقه انتقالی،  $c_f$  غلظت آب شیرین و  $c_s$  غلظت آب شور است. منحنی شوری نسبی برحسب عمق همان‌طور که در شکل ۲-۳ سمت راست نشان داده شده است، یک خط راست می‌باشد. به دست آوردن اطلاعات از ساختار منطقه انتقالی بسیار مشکل است. با اندازه‌گیری شوری دونقطه و با کمک تکنیک رسم، منطقه انتقال تخمین زده می‌شود. مقدار ۵۰ درصدی شوری نسبی بیانگر وسط منطقه انتقالی است. که موقعیت مرز بدون اختلاط را مشخص می‌کند. وقتی که ناهمگنی در آبخوان‌های ساحلی به وجود آید، لایه‌بندی و بی‌نظمی توزیع آب شور و شیرین اتفاق می‌افتد (Todd, 2005).



شکل ۲-۲: افزایش میزان شوری در منطقه انتقالی بر حسب عمق. الف) مقیاس خطی، ب) مقیاس احتمالی (After Todd 2005)

### ج: ضخامت فصل مشترک آب شور و شیرین

ضخامت فصل مشترک آب شور و شیرین به عواملی چند به شرح زیر بستگی دارد (کاظمی نژاد، ۱۳۸۹):

۱- پدیده پخش مولکولی: حرکت یک مولکول از یک مکان به محل دیگر است و این در حالی اتفاق می افتد که دو مایع با چگالی متفاوت در مجاورت یکدیگر قرار گیرند؛ بنابراین به علت حرکت آب شور به سمت آب شیرین، فصل مشترک آب شیرین و شور ضخامت پیدا می کند.

۲- وجود جریان های آب شیرین: به دلیل وجود جریان های آب شیرین به سمت آب شور و همچنین نفوذ از عمق آب شور به دلیل چگالی بالاتر به سمت آب شیرین این دو هیچ گاه به تعادل شیمیایی نمی رسند. لذا ضخامت مرز مشترک آب شور و شیرین متغیر خواهد بود.

۳- بهره برداری از سفره آبدار: در هنگام بهره برداری از سفره های آب زیرزمینی، بخش فوقانی فصل مشترک تغییرات بیشتری نسبت به بخش زیرین خود داشته و به همین جهت ضخامت فصل مشترک آب شور و شیرین در زیر چاه بیشتر از سایر مناطق می گردد.

۴- جزر و مد و نوسانات سطح آب زیرزمینی: جزر و مد دریاها و همچنین نوسانات سطح آب زیرزمینی سبب تغییر محل مرز مشترک می شود و به دین جهت ضخامت فصل مشترک را نیز تغییر می دهد.

## ۲-۱-۶ روش‌های مطالعه نفوذ آب شور

دو روش عمده برای بررسی آلودگی سفره آب زیرزمینی بر اثر نفوذ آب شور وجود دارد.

روش‌های مستقیم از اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب و خاک چاه‌ها یا پایش چاه‌های آزمایشی به دست می‌آیند و شامل حفر چاه‌های اکتشافی، اندازه‌گیری EC آب، سن‌یابی، آنالیز شیمیایی و دسته‌بندی نمونه‌های مختلف آب، اندازه‌گیری دمای نمونه‌های آب در اعماق مختلف، تکنیک‌های ایزوتوپی، تعیین الگوی جریان در چاه‌های آزمایشی و بررسی فعل و انفعال بین ماتریکس سفره و آب زیرزمینی است.

روش‌های غیرمستقیم شامل روش‌های ژئوفیزیک سطحی یا درون چاهی که به منظور پی بردن به شرایط زیرزمینی سازندها انجام می‌گیرند و به دو بخش مجزا تقسیم‌بندی می‌شوند: ژئوفیزیک درون چاهی که شامل نگارهای الکتریکی، القایی و رادیومتری است و ژئوفیزیک سطحی که شامل روش‌های لرزه، مقاومت ویژه، الکترومغناطیس و رادار نفوذی به زمین (GPR) می‌باشد (Liu, 2002). در این تحقیق از روش مقاومت ویژه برای بررسی نفوذ یا پیشروی آب شور به داخل سفره آب زیرزمینی شیرین استفاده شده است که نتایج آن به تفصیل در فصل چهارم آورده شده است.

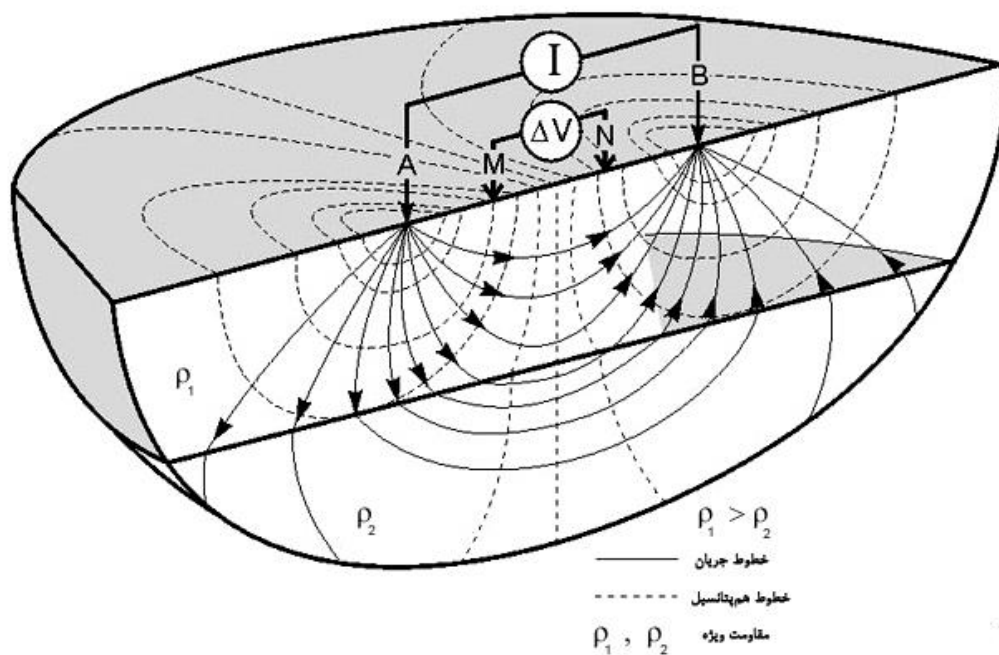
## ۲-۲ مقاومت ویژه الکتریکی

### ۲-۲-۱ اصول روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش مقاومت ویژه الکتریکی برای بررسی خصوصیات الکتریکی ساختارهای زمین شناسی از جمله توزیع فضایی آبخوان‌ها در دو جهت عمودی و افقی به کار می‌رود (Zouhri, 2010). مطابق شکل ۲-۵، در این روش جریان الکتریکی از طریق دو الکترود A و B (الکترودهای جریان) به درون زمین تزریق شده و اختلاف پتانسیل با دو الکترود M و N (الکترودهای پتانسیل) اندازه‌گیری می‌شود. سرانجام مقاومت ویژه کل مواد زیر سطح زمین از طریق رابطه (۲-۸) محاسبه می‌گردد (Reynolds, 1997):

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V_{MN}}{I} \left\{ \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[ \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\}^{-1} \quad (8-2)$$

در این رابطه،  $I$  شدت جریان ارسالی (بر حسب آمپر)،  $\Delta V$  اختلاف پتانسیل قرائت شده (بر حسب ولت) و  $\rho_a$  مقدار مقاومت ویژه ظاهری (بر حسب اهم-متر) می‌باشد.



شکل ۲-۳: آرایه اساسی چهار الکترودی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین (After Knodel, 2007)

## ۲-۲-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه زمین

حرکت الکترون‌ها و یون‌های آزاد مواد جامد و همچنین حرکت یون‌ها در آب موجود در سنگ‌ها و خاک‌ها عواملی هستند که مقاومت ویژه مواد زیر سطح زمین را کنترل می‌کنند؛ بنابراین عوامل زیادی از جمله تخلخل، اشباع‌شدگی، محتوای رس، نفوذپذیری، دما، کل مواد جامد حل شده در آب ( $TDS^1$ )، هدایت الکتریکی آب ( $EC^2$ ) و غیره بر مقاومت ویژه مواد زیر سطح زمین تأثیر می‌گذارند (Mooney,

<sup>1</sup>Total dissolved solids(TDS)

<sup>2</sup>Electrical conductivity(EC)

(1980). مقاومت ویژه آب زیرزمینی شیرین از ۱۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر تغییر می‌کند. درحالی‌که مقاومت ویژه آب دریا به علت مقدار نمک بالای موجود در آن حدود ۰/۲ اهم‌متر است. این عامل باعث شده، روش مقاومت ویژه تکنیک قدرتمندی برای به تصویر کشیدن مرز بین آب شور و شیرین در نواحی ساحلی باشد (Loke, 2010).

## الف- محتوای رس

کانی‌های رسی می‌توانند یون‌هایی مانند  $Ca, Mg, H, K, Na$  و  $NH_3$  را جذب کرده و آن‌ها را در حالت مبادله پذیر نگه‌دارند. وقتی رس با آب مخلوط می‌شود هنگامی که میزان آب بیشتر از مقدار مورد نیاز برای ساختن خمیر رس باشد، ممکن است کاتیون‌ها طی یک فرایند یونیزاسیون، از کانی رسی جدا شده و به صورت یک ابر متحرک در اطراف ذرات رس که دارای بار منفی هستند، قرار گیرند. بدین ترتیب رسانایی الکترولیت موجود در فضاهای خالی سنگ، افزایش می‌یابد (آریامنش، ۱۳۹۱).

## ب- هدایت الکتریکی آب

عکس مقاومت اندازه‌گیری شده یک محلول آبی تحت شرایط خاص، هدایت الکتریکی آب نامیده می‌شود. نتایج آزمایش را برای مقایسه با یکدیگر به صورت هدایت ویژه الکتریکی بیان می‌کنند که به صورت توانایی مکعبی به ابعاد یک سانتی‌متر برای عبور جریان برق تعریف می‌شود و معمولاً آن را با EC نشان می‌دهند. مقدار EC در مورد آب بر حسب میکرو موهو بر سانتی‌متر و یا میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بیان می‌شود. هدایت الکتریکی آب به غلظت یون‌ها، دما و نوع یون‌ها بستگی دارد؛ بنابراین هر چه غلظت نمک‌های محلول در آب بیشتر باشد هدایت الکتریکی آب افزایش می‌یابد؛ از این‌رو با تعیین هدایت الکتریکی آب می‌توان تخمینی از کل مواد جامد حل شده در آب یا TDS به‌دست آورد. از این‌رو داریم (صداقت، ۱۳۸۷):

$$TDS = K_e * EC$$

(۹-۲)

در این رابطه TDS بر حسب میلی گرم بر لیتر، EC بر حسب میکرو موهو (میکرو زیمنس) بر سانتی متر در ۲۵ درجه سانتی گراد و  $K_e$  ضریب تبدیل EC به TDS بین ۰/۵۵ تا ۰/۸ متغیر است.

## ۳-۲-۲ روش های اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی

### الف- سونداژ زنی

روش سونداژ زنی تغییرات مقاومت ویژه لایه ها را در جهت قائم مورد بررسی قرار می دهد. در این روش نقطه مرکز الکترودها را ثابت قرار داده و مقاومت ویژه به دست آمده را به این نقطه نسبت می دهند. با افزایش فاصله بین الکترودها به طور منظم و با قاعده خاصی از یکدیگر، جریان الکتریکی به عمق بیشتری نفوذ می کند و تغییرات مقاومت ویژه نسبت به عمق بررسی می گردد. از تفسیر داده های مقاومت ویژه ظاهری برای عمق های نفوذ مختلف، می توان به لایه بندی های زیرزمینی پی برد و مقاومت ویژه واقعی آن ها را به دست آورد. به این ترتیب، از دیدگاه نظری می توان لایه بندی زیرسطحی را از طریق اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی در سطح زمین به دست آورد. سونداژ زنی الکتریکی به منظور اکتشاف آب های زیرزمینی، تعیین سطح تماس آب شور و شیرین، مطالعات مهندسی و زیست محیطی انجام می گیرد. یکی از محدودیت های روش سونداژ زنی این است که تغییرات جانبی مقاومت ویژه را در نظر نمی گیرد. ناهمگنی جانبی باعث انحراف الگوی شارش جریان در اطراف ناهمگنی شده و باعث جابجایی منحنی سونداژ در امتداد محور مقاومت ویژه به سمت بالا یا پایین و یا انحراف تنها بخشی از شکل منحنی می شوند که در نهایت باعث بروز خطا در تعیین تعداد لایه ها، مقاومت ویژه و ضخامت آن ها می گردد. بنابراین باید سونداژ زنی در جهتی که تغییرات جانبی حداقل است صورت گیرد (حجت، ۱۳۹۰) و (قناتی، ۱۳۹۱).

اطلاعاتی که در سونداژ زنی باید ثبت شوند عبارتند از (Mooney, 2005):

داده های اصلی:

متغیر مستقل: فاصله الکترودی

متغیر وابسته: مقاومت ویژه ظاهری ( $\rho_a$ )

اطلاعات فرعی یا کمکی:

نوع آرایش الکترودی، آزمون خط برداشت، موقعیت مرکز آرایش،...

## ب- پروفیل زنی

در برداشت‌های پروفیل‌زنی تغییرات جانبی مقاومت ویژه در یک افق معین بررسی می‌شود. بدین منظور فاصله الکترودی ثابت نگه‌داشته می‌شود و مرکز آرایش در طول خط برداشت جابجا می‌گردد. هر چه فاصله الکترودی بیشتر شود عمق مورد بررسی افزایش می‌یابد و بالعکس. این روش به‌طور کلاسیک برای اکتشاف دایک‌ها، گسل‌ها و ساختمان‌های زمین‌شناسی مشابه به کار برده می‌شود. بسیاری از کاربردهای زیست محیطی و مهندسی نیز با روش پروفیل‌زنی انجام می‌شود (حجت، ۱۳۹۰).

اطلاعاتی که در روش پروفیل‌زنی یادداشت می‌شود عبارتند از (حجت، ۱۳۹۰):

اطلاعات اصلی:

متغیر مستقل: فاصله مرکز آرایش از یک نقطه مرجع (یا از ابتدای پروفیل)

متغیر وابسته: مقاومت ویژه ظاهری ( $\rho_a$ )

اطلاعات فرعی یا کمکی:

نوع آرایش الکترودی، فاصله الکترودی، موقعیت الکترودها، آزمون یا جهت گسترش الکترودها، تاریخ برداشت، نام برداشت کنندگان،...

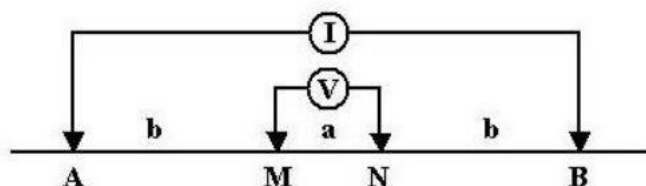
## ۲-۲-۴ آرایه‌های مختلف الکتریکی و مزایا و معایب آن‌ها

هر آرایش مزیت و معایبی از نظر عواملی مثل قدرت سیگنال، عمق نفوذ، جفت‌شدگی الکترومغناطیسی،

حساسیت نسبت به تغییرات زیر سطحی در جهت افقی و قائم، نیروی انسانی مورد نیاز، سرعت عملیات و دارا بودن ابزارهای مورد نیاز جهت تفسیر دارد؛ بنابراین با توجه به ساختار زمین شناسی منطقه، سطح نوفه زمينه و هدف اکتشافی آرایه مناسب انتخاب می‌گردد (Ward, 1990). از آن جا که در این تحقیق، از بین آرایش‌های مختلف الکترودی فقط از دو آرایش شلومبرژه و ونر استفاده شده این دو آرایش با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### الف- آرایش شلومبرژه

آرایش شلومبرژه که در شکل ۲-۶ نشان داده شده، آرایشی چهار الکترودی و خطی است. این آرایش الزاماً متقارن نمی‌باشد ولی در عمل از نوع متقارن آن به دلیل کاربرد آسان، سرعت عملیات بیشتر و تفسیر ساده‌تر استفاده می‌شود. در این آرایش فاصله بین الکترودهای پتانسیل بسیار کمتر از فاصله بین الکترودهای جریان است به طوری که این فاصله در اکثر موارد کوچک‌تر از ۴۰ درصد فاصله بین الکترودهای جریان نگه داشته می‌شود (Mooney, 1980).



شکل ۲-۴: شکل شماتیک آرایش شلومبرژه (Frank, 2012)

مزایا (Reynolds, 1997)

در دسترس بودن ابزارهای تفسیری پیشرفته

نیروی انسانی مناسب (در عملیات سونداژزنی)

عمق نفوذ نسبتاً مناسب

قابلیت تفکیک عمودی بالا



سرعت بالا در عملیات سونداژزنی

آشکارسازی تغییرات جانبی مقاومت ویژه در عملیات سونداژزنی

حساسیت کم نسبت به ناهمگنی‌های سطحی در عملیات سونداژزنی

معايب (Reynolds, 1997)

داده‌های برداشت شده در سونداژزنی نیاز به تصحیح دارد

جفت شدگی الکترومغناطیسی نسبتاً بالا

## ب- آرایش وئر

آرایش وئر یک آرایش خطی، متقارن و چهار الکترودی با فاصله میان الکترودی یکسان است. این آرایش

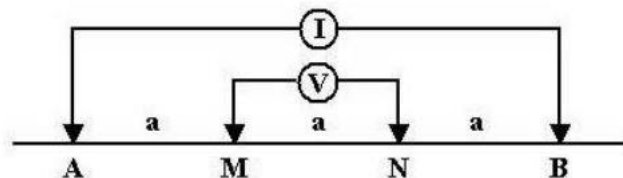
با توجه به نحوه قرار گرفتن الکترودها، به ۳ نوع یا دسته وئر  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  تقسیم می‌شود. وئر  $\alpha$  که

متداول‌ترین نوع این آرایش می‌باشد در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. در این آرایش مقدار مقاومت

ویژه ظاهری (بر حسب اهم-متر) به‌سادگی توسط فرمول  $\rho_a = \frac{\Delta V * 2\pi a}{I}$  که در آن  $\Delta V$  اختلاف

پتانسیل یا ولتاژ اندازه‌گیری شده بین دو سر الکترودهای پتانسیل (بر حسب ولت)،  $I$  مقدار جریان

ورودی به زمین (بر حسب آمپر) و  $a$  فاصله بین الکترودها (بر حسب متر) است، محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۵: آرایش الکترودی وئر (Frank, 2012)

مزایا (Reynolds, 1997)

فاصله الکترودهای پتانسیل بزرگ در این آرایش باعث افزایش دقت اندازه‌گیری می‌شود.  
به دلیل بالا بودن شدت جریان در این آرایش از آن در مناطقی که نوفه زمینه بالاست استفاده می‌شود.

موجود بودن ابزارهای تفسیری توسعه یافته

حساسیت بالا نسبت به تغییرات جانبی

قابلیت تفکیک عمودی خوب

معایب (Reynolds, 1997)

سرعت پایین عملیات صحرائی و نیاز به نیروی انسانی و کار زیاد در برداشتهای سونداژزنی

جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بالا

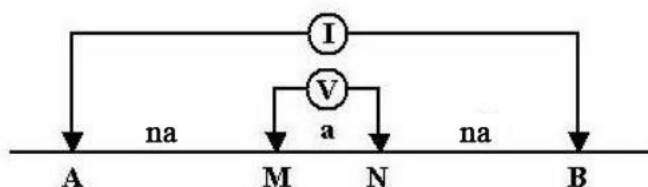
قدرت تشخیص ضعیف در ساختارهای باریک قائم در صورت بزرگ بودن فاصله الکترودی

### ج- آرایش ونر- شلومبرژه

آرایش ونر- شلومبرژه که در شکل ۲-۸ نشان داده شده، یک پیوند جدید بین آرایش ونر و شلومبرژه می‌باشد و در زمینه کارهای تصویر برداری الکتریکی کاربرد فراوانی پیدا کرده است. این آرایش وقتی که  $(n=1)$  باشد به آرایش ونر و وقتی  $(n=6)$  باشد به آرایش شلومبرژه تبدیل می‌شود. میانگین عمق بررسی برای آن وقتی  $n$  بزرگتر از سه باشد ده درصد بیشتر از عمق بررسی برای آرایش ونر با همان فاصله الکترودهای خارجی  $(c_1$  و  $c_2)$  است.

آرایش ونر- شلومبرژه به ساختارهای افقی و قائم به طور متوسط حساس است. قدرت سیگنال آن ضعیف‌تر از آرایش ونر و قوی‌تر از آرایش دو قطبی- دو قطبی و قطبی- دو قطبی بوده و متناسب با معکوس مربع مقدار  $n$  می‌باشد.

آرایش ونر- شلومبرژه پوشش افقی وسیع تری در مقایسه با آرایش ونر و باریک تر نسبت به آرایش دوقطبی- دوقطبی دارد. این آرایش یک انتخاب کاملاً معقول برای مواقعی که قدرت سیگنال بالا و قدرت تفکیک عمودی خوب لازم است می باشد (Loke, 2010).



شکل ۲-۶: شکل شماتیک آرایش ونر- شلومبرژه (Frank, 2012)

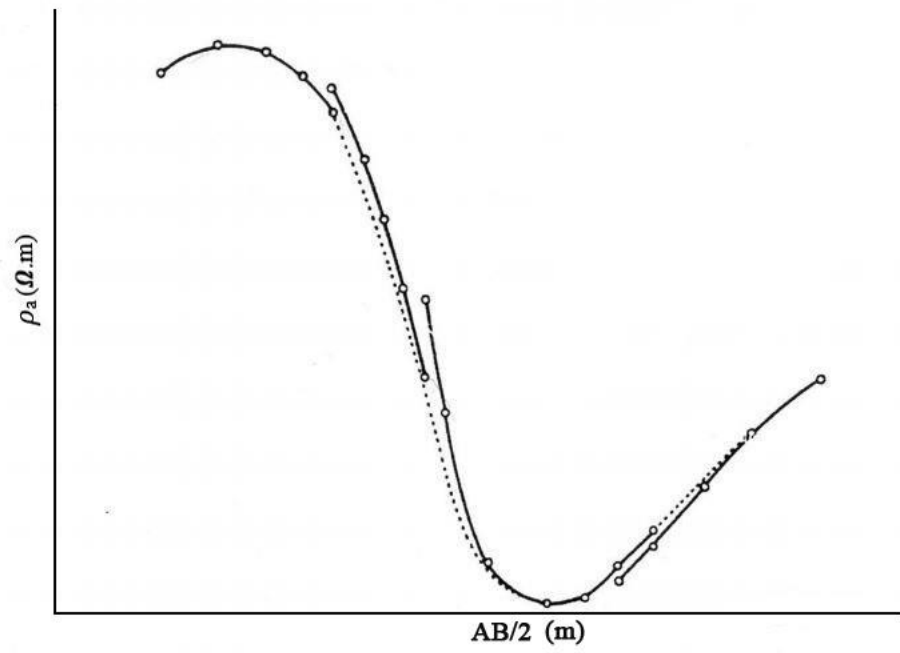
## ۵-۲-۲ تشخیص ناهمگنی جانبی با استفاده از آرایش شلومبرژه

منحنی حاصل از اندازه گیری با آرایش شلومبرژه در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. با توجه به این که این منحنی از قطعات جداگانه ای تشکیل شده، با استفاده از قواعد زیر می توان به وجود تغییرات جانبی در زیر سطح زمین پی برد (Mooney, 1980).

قسمت صعودی: (با MN کوچک تر)  $\rho_a$  (با MN بزرگ تر)  $\rho_a$

قسمت نزولی: (با MN کوچک تر)  $\rho_a$  (با MN بزرگ تر)  $\rho_a$

در صورتی که دو شرط فوق برقرار باشند؛ تغییرات جانبی مقاومت ویژه در محل سونداژ وجود ندارد.



شکل ۷-۲: منحنی سونداژ برداشت شده با استفاده از آرایه شلومبرژه

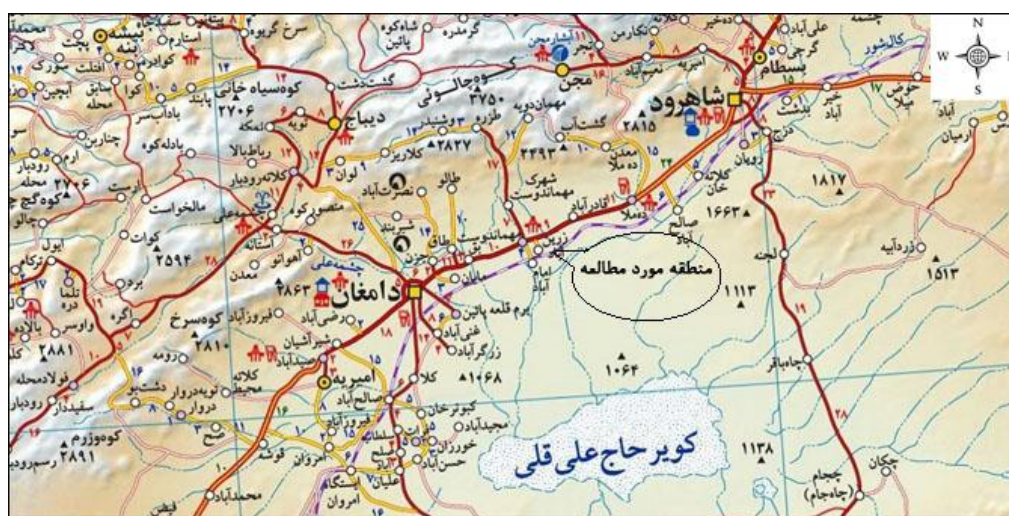
## فصل سوم:

موقعیت اقلیمی، زمین‌شناسی و

آب‌شناسی منطقه مورد مطالعه

### ۱-۳ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

منطقه مورد بررسی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی شاهرود در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه طول خاوری واقع شده است. محدوده مطالعاتی روستای حسین آباد دولاب، از روستاهای دهستان دامنگوه است که در بخش مرکزی شهرستان دامغان قرار دارد. این روستا در ۲۰ کیلومتری شمال شرق دامغان و در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب شاهرود واقع شده است. مهم‌ترین راه دسترسی به منطقه جاده اصلی دامغان- شاهرود می‌باشد. همچنین راه آهن تهران- مشهد از قسمت جنوبی روستای حسین آباد می‌گذرد و ایستگاه قطار زرین‌آباد نیز در جنوب این روستا قرار دارد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: راه‌های دسترسی به منطقه مطالعاتی (After map.iranview.com)

### ۲-۳ وضعیت آب و هوایی منطقه

به منظور تعیین اقلیم منطقه می‌توان از روش دمارتن استفاده کرد. دمارتن<sup>۱</sup> با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه، ضریبی به نام ضریب خشکی ارائه کرده است که مقدار این ضریب با توجه به جدول ۱-۳

<sup>۱</sup> De Martonne

اقلیم منطقه را مشخص می‌کند. ضریب خشکی دمارتن با استفاده از رابطه (۳-۱) محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (۳-۱)$$

در این معادله،  $p$  میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر و  $T$  میانگین دمای سالیانه بر حسب درجه سانتی‌گراد است. نماد  $I$  ضریب خشکی دمارتن نامیده می‌شود که مقدار آن نوع اقلیم منطقه را مشخص می‌کند.

جدول ۳-۱: طبقه‌بندی اقلیم بر اساس ضرایب دمارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگ‌تر از ۳۵

ضریب خشکی دمارتن برای دشت دامغان در حدود ۴ محاسبه شده است. بنابراین روش دمارتن نشان می‌دهد که دشت دامغان دارای اقلیم خشک می‌باشد (امیر حسینی، ۱۳۹۳).

دشت دامغان از نظر آب و هوایی جزو مناطق خشک و نیمه خشک کشور بوده، و دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک می‌باشد. بارش کم، اختلاف زیاد درجه حرارت در طول شبانه روز و وزش بادهای شدید از جمله ویژگی‌های اقلیمی این منطقه است (امیر حسینی، ۱۳۹۳).

### ۳-۳ زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. از نظر زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را نهشته‌های کواترنری می‌پوشانند. رسوبات آبرفتی بیشترین سهم را در بین نهشته‌های کواترنری دارند. دانه‌بندی این مواد فرسایشی که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت‌ها گسترده شده‌اند با دور شدن از ارتفاعات کاهش می‌یابد. ساختگاه این نهشته‌های آبرفتی، رودخانه‌ای سیلابی است. ولی تغییرات آبرفت‌ها به علت تغییر رژیم سیلابی در اثر تناوب چرخه‌های کم باران و پرباران و همچنین رخداد‌های زمین ساختی، آن‌ها را به واحدهای مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند (آقاناتی، ۱۳۸۳) و (گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود).

واحد  $Q^{t1}$ : این واحد شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و مارن‌های گراولی است که در قسمت بالادست رودخانه‌ها و یا در کنار دره‌ها تشکیل شده‌اند.

واحد  $Q^{t2}$ : این واحد شامل پادگانه‌ها و بادبزن‌های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی است که بر روی  $Q^{t1}$  قرار دارد.

واحد  $Q^{al}$ : این واحد شامل رسوبات پرکننده بستر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها از آبرفت‌های عهد حاضر و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد.

واحد  $Q^{sc}$ : این واحد شامل رسوبات ماسه‌ای، رسی-سیلتی و رس می‌باشد. این رسوبات به دلیل این‌که حاصل رسوب‌گذاری مواد دانه‌ریز سیلاب‌ها بعد از نقطه تقاطع بادبزن‌های آبرفتی می‌باشند، دارای ضخامت زیادی هستند.

واحد  $Q^f$ : این واحد شامل رسوبات با بادبزن‌های آبرفتی در بلندای منطقه می‌باشد.

واحد  $Q^m$ : این واحد شامل پهنه‌های گلی می‌باشد که پهنه وسیعی از بخش جنوبی منطقه را دربر گرفته است. بر اثر زهکشی آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی نمناک و تبخیر این آب‌ها، این واحد از رس





شور تشکیل شده است. همچنین ترک‌های گلی بر روی سطح آن قابل مشاهده است.

واحد  $Q^{st}$ : این واحد شامل پهنه‌های نمکی، کویر و دریاچه‌های نمکی است.

با بررسی بیشتری که بر روی منطقه مورد نظر به عمل آمد مشخص شد که سطح خاک منطقه از آبرفت‌های ماسه‌ای، سیلتی به همراه کمی رس تشکیل شده است. جنس خاک و به‌خصوص دانه‌بندی در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد. در بعضی از قسمت‌های منطقه رسوباتی با اندازه درشت‌تر نظیر قلوه سنگ دیده می‌شود که زمین در این مناطق سنگلاخی و بسیار سفت می‌باشد.

### ۳-۴ آب شناسی منطقه مورد مطالعه

دشت دامغان در بخش خشک و نیمه خشک کشور با بارش اندک (به طور متوسط ۱۰۷ میلی‌متر در سال) واقع شده است. در این مناطق بارندگی میل به متمرکز شدن در چند بارش شدید دارد که در طی آن‌ها بخش عمده‌ای از بارش سالانه صورت می‌گیرد. تحت این شرایط آب‌های سطحی نمی‌تواند به مدت طولانی وجود داشته باشد و رودخانه‌های دائمی وجود ندارد. لذا تقریباً تمام نیاز آبی دشت دامغان از منابع آب زیرزمینی و به صورت چاه، چشمه و قنات تأمین می‌گردد. در این دشت یک آبخوان آزاد و یک آبخوان تحت فشار شناسایی شده است که سالانه حجم آبی معادل ۱۵۳ میلیون متر مکعب را توسط ۹۴۷ حلقه چاه، ۴ رشته قنات و ۸ چشمه تخلیه می‌کنند. بیشترین حجم مصرف آب این دشت در بخش کشاورزی و به میزان ۱۳۹/۱۳ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. همچنین حجم کل آب مصرفی در بخش شرب و بهداشت به ۱۱/۴۸ میلیون متر مکعب در سال و برای مصارف صنعتی ۲/۴۹ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (گزارش مهندسی مشاور لار، ۱۳۸۰).

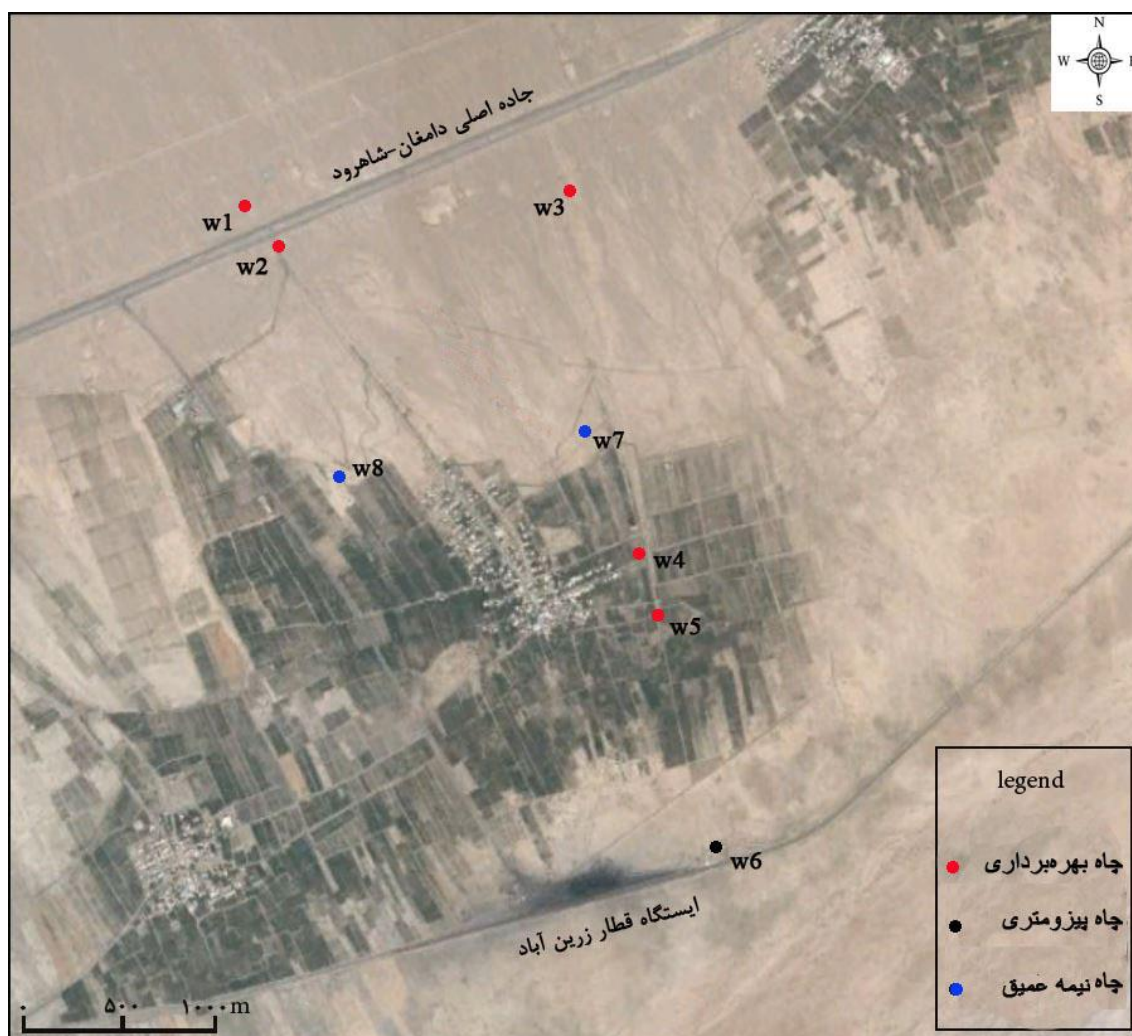
از نظر ساختمانی دشت دامغان یک چاله تکتونیکی است و گسل‌های زیادی در ارتفاعات مجاور آن شناسایی شده‌اند. مهم‌ترین تأثیر این گسل‌ها جابه‌جایی رسوبات دانه درشت و دانه ریز در سطح دشت می‌باشد. بررسی‌های ژئوفیزیکی (گزارش مهندسی مشاور لار، ۱۳۷۰) و نیز اطلاعات حاصل از لاگ‌های

حفر شده در سطح دشت (گزارش مهندسين مشاور آبريز، ۱۳۸۸) نشان می‌دهد که در اعماق بیشتر ضخامت لایه‌های رسی بیشتر شده و تناوب این رسوبات دانه ریز با رسوبات دانه درشت‌تر موجب تشکیل یک آبخوان تحت فشار و یک آبخوان آزاد در منطقه شده است. همچنین عملکرد گسل شمال دامغان که دقیقاً در مرز بین دشت و ارتفاعات عمل نموده است، باعث شده تا مجموعه‌ای از رسوبات دانه ریز در مجاورت رسوبات مخروط افکنه‌ای قرار گرفته و مانند یک سد هیدرولیکی ارتباط این نواحی را با قسمت‌های بالا دست قطع نمایند. در نتیجه میزان تغذیه آب زیر زمینی و همچنین آبدهی مناطق پایین دست گسل شمال دامغان کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است (امیر حسینی، ۱۳۹۳).

عملکرد گسل شمال دامغان و در نتیجه کاهش تغذیه سفره آب زیرزمینی، برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی، تبخیر شدید و کاهش بارندگی سبب افت سطح ایستابی در منطقه مطالعاتی گردیده است. در نتیجه جهت جریان آب زیرزمینی برخلاف حالت طبیعی در خلاف جهت توپوگرافی و به سمت ارتفاعات می‌باشد. این عوامل باعث پیشروی آب شور کویر به سفره آب زیرزمینی شیرین این منطقه گردیده است (امیر حسینی، ۱۳۹۳).

میانگین EC ۴۳ چاه پیزومتری اندازه‌گیری شده در کل شهرستان دامغان در سال ۱۳۷۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ به ترتیب ۲۳۱۱، ۲۶۷۴ و ۲۸۴۴ میکروزیمنس بر سانتی متر می‌باشد. همچنین مجموع یون‌های اصلی آبخوان افزایش قابل توجهی در طول این سال‌ها داشته است. در نتیجه بررسی تغییرات ۲۰ ساله کیفیت آب در مناطق مختلف شهرستان دامغان نشان دهنده پیشروی آب شور کویر به سفره آب زیرزمینی شیرین و شور شدن و از بین رفتن کیفیت آب در مناطق مختلف این شهرستان شده است (امیر حسینی، ۱۳۹۳).

در منطقه مورد مطالعه ۵ چاه بهره برداری عمیق، دو چاه بهره‌برداری نیمه عمیق و یک چاه پیزومتری وجود دارد که در شکل ۳-۳ موقعیت این چاه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳-۳: موقعیت چاه‌های بهره برداری و پیزومتری منطقه (google earth)

عمق چاه‌های موجود در منطقه با یکدیگر متفاوت است. در جدول ۲-۳ عمق این چاه‌ها و همچنین عمق سطح آب در چاه پیزومتری موجود بیان شده است. در این منطقه چاه‌های نیمه عمیق دیگری با عمق ۶۰ تا ۷۰ متری در برخی باغات شخصی حفر شده‌اند. چاه‌های کم عمق، با عمق ۱۵ تا ۲۰ متر نیز در برخی خانه‌ها جهت مصارف شخصی موجود می‌باشند.

جدول ۳-۲: عمق چاه‌های بهره‌برداری و سطح آب در چاه پیزومتری

نام چاه	عمق چاه
W1	۱۴۰ متر
W2	۱۲۰ متر
W3	۱۵۰ متر
W4	۱۲۰ متر
W5	۱۲۰ متر
W6	۸ متر (عمق سطح آب)
W7	۳۰ متر
W8	۳۰ متر



## فصل چهارم:

برداشت، مدل سازی و تفسیر داده‌ها

## ۱-۴ مقدمه

عملیات صحرایی و برداشت داده‌ها یکی از مهم‌ترین مراحل پروژه‌های اکتشافی است زیرا با استفاده از داده‌های با کیفیت و دقت بالاست که می‌توان پردازش و تفسیر معتبری ارائه کرد و به نتیجه درست و مطلوب رسید.

برداشت داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از روش‌های سونداژزنی و پروفیل‌زنی و تلفیق این دو روش با توجه به هدف مورد مطالعه انجام می‌گیرد. آرایش‌های مختلف الکترودی نیز مزیت و معایب خاص خود را دارند و پاسخ‌های متفاوتی به دست می‌دهند؛ بنابراین انتخاب آرایش الکترودی مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با توجه به هدف مطالعاتی، عمق بررسی مورد نظر و هزینه و زمان، باید آرایش مناسبی انتخاب گردد.

## ۲-۴ طراحی عملیات برداشت

به منظور بررسی پیشروی آب شور کویر و تعیین عمق آب شور و شیرین با روش مقاومت ویژه ابتدا یک بازدید مقدماتی به کمک اداره آب منطقه‌ای شهرستان دامغان از مناطقی که آثار پیشروی آب شور کویر در آن‌ها دیده می‌شد صورت پذیرفت. با توجه به این‌که بیشترین میزان افت سطح ایستابی در شمال شرق دامغان رخ داده و همچنین، EC بالای چاه‌ها و نزدیک بودن خطوط هم EC به یکدیگر در روستای حسین آباد دولا، بالا بودن سطح آب و راه دسترسی آسان و مناسب، این منطقه برای مطالعه انتخاب شد. در سال ۱۳۷۲ مقدار EC ایستگاه زرین ۴۶۷۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر، در سال ۱۳۸۲، ۱۱۲۸۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر و در سال ۱۳۹۲، ۱۲۲۶۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر می‌باشد (امیر حسینی ۱۳۹۳). بنابراین اندازه‌گیری EC پیزومتر ایستگاه زرین بیانگر پیشروی آب شور به سمت سفره آب شیرین در این منطقه می‌باشد. با بررسی بیشتر و نمونه‌گیری از چاه‌های موجود در منطقه و اندازه‌گیری EC آن‌ها، مکان مناسبی جهت اجرای عملیات انتخاب و موقعیت سونداژها و پروفیل‌ها



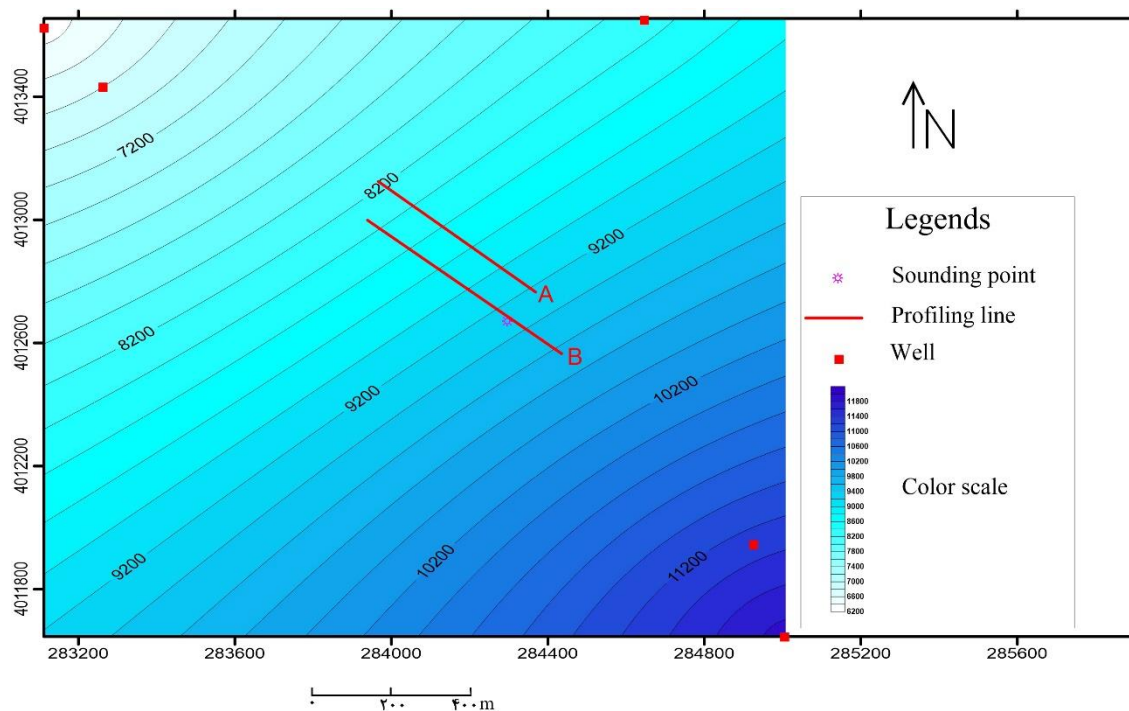
تعیین شد.

در جدول ۴-۱ نتایج حاصل از اندازه‌گیری EC و PH نمونه‌های آب گرفته شده از چاه‌های مختلف منطقه در این تحقیق بیان شده است. این نتایج بیانگر شور بودن و کیفیت نامطلوب آب و همچنین اسیدی بودن سفره آب زیرزمینی می‌باشد.

به منظور طراحی راستای برداشت پروفیل‌ها نقشه هدایت الکتریکی آب گرفته شده از چاه‌ها توسط نرم‌افزار Surfer 11 رسم گردید. همان‌طور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده پروفیل‌های مقاومت ویژه در جهت بیشترین تغییرات EC چاه‌ها طراحی شد.

جدول ۴-۱: نتایج EC و PH چاه‌های منطقه

شماره چاه	مختصات		EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	PH
	X	Y		
W3	۲۸۴۶۴۶	۴۰۱۳۶۵۴	۸۳۰۰	۵/۹۵
W1	۲۸۳۱۱۲	۴۰۱۳۶۲۵	۶۳۰۰	۵/۹۳
W2	۲۸۳۲۶۶	۴۰۱۳۴۳۵	۶۸۰۰	۵/۸۵
W4	۲۸۴۹۲۸	۴۰۱۱۹۴۸	۱۱۳۰۰	۶/۶۳
W5	۲۸۵۰۰۸	۴۰۱۱۶۴۶	۱۱۹۰۰	۶/۵
W7	۲۸۴۷۰۸	۴۰۱۲۷۴۶	۵۳۰۰	۶/۱۹
W8	۲۸۳۱۹۳	۴۰۱۲۷۰۰	۲۵۰۰	-



شکل ۴-۱: شکل شماتیک موقعیت چاه‌ها و پروفیل‌ها و سونداژ طراحی شده در منطقه بر روی نمودار EC چاه‌ها

#### ۴-۲-۱ روش‌های مورد استفاده در برداشت داده‌ها

به منظور تعیین لایه‌بندی منطقه مورد نظر و مشخص کردن محدوده سفره آب شیرین، آب شور و مرز این دو، یک عملیات سونداژزنی در منطقه صورت گرفت. در سونداژزنی مقاومت ویژه فرض بر افقی بودن لایه‌هاست و در صورت شیب‌دار بودن اطلاعات حاصل از تفسیر دارای خطا بوده و قابل اطمینان نمی‌باشد. از این رو با توجه به این که مرز بین آب شور و شیرین یک مرز افقی نیست. بنابراین برداشت دوبعدی داده‌ها می‌تواند نتایج مطلوب‌تر و قابل اعتمادتری داشته باشد. از این رو تلفیق روش سونداژزنی و پروفیل‌زنی به منظور بررسی پیشروی و نفوذ آلودگی (آب شور)، تعیین مرز آب شور و شیرین و کیفیت سفره آب در مناطق مختلف انتخاب گردید.

## ۴-۲-۲ آرایش‌های الکترودی به کار گرفته شده در محدوده مورد بررسی

عملیات برداشت داده‌ها با استفاده از دو آرایش شلومبرژه و ونر صورت گرفت. آرایش شلومبرژه با توجه عمق نفوذ مناسب و قدرت بالا در تفکیک لایه‌های افقی از یکدیگر، در عملیات سونداژزنی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین آرایش ونر با توجه به قدرت سیگنال بالا و حساسیت نسبت به تغییرات جانبی مقاومت ویژه به‌منظور بررسی مرز میان آب شور و شیرین و همچنین شوری خاک و آب زیرزمینی به صورت جانبی در طول خط برداشت انتخاب گردید.

## ۴-۲-۳ عملیات صحرائی

عملیات برداشت داده‌ها با استفاده از دستگاه ABEM SAS 1000 ساخت کشور سوئد صورت گرفت. این دستگاه بر اساس فرستنده‌ای با حداکثر ولتاژ ۴۰۰ ولت و جریان خروجی ۱۰۰۰ میلی آمپر کار می‌کند و اندازه‌گیری‌ها را در سیکل‌های منظم ۴ تایی یا بیشتر که براساس نیاز به طور خودکار تنظیم می‌شود قرائت می‌نماید. دستگاه مذکور علاوه بر محاسبه مقاومت الکتریکی بر حسب اهم، انحراف معیار (S.Dev)<sup>۱</sup> داده‌های قرائت شده را که بیانگر دقت کار می‌باشد، نیز محاسبه می‌کند.

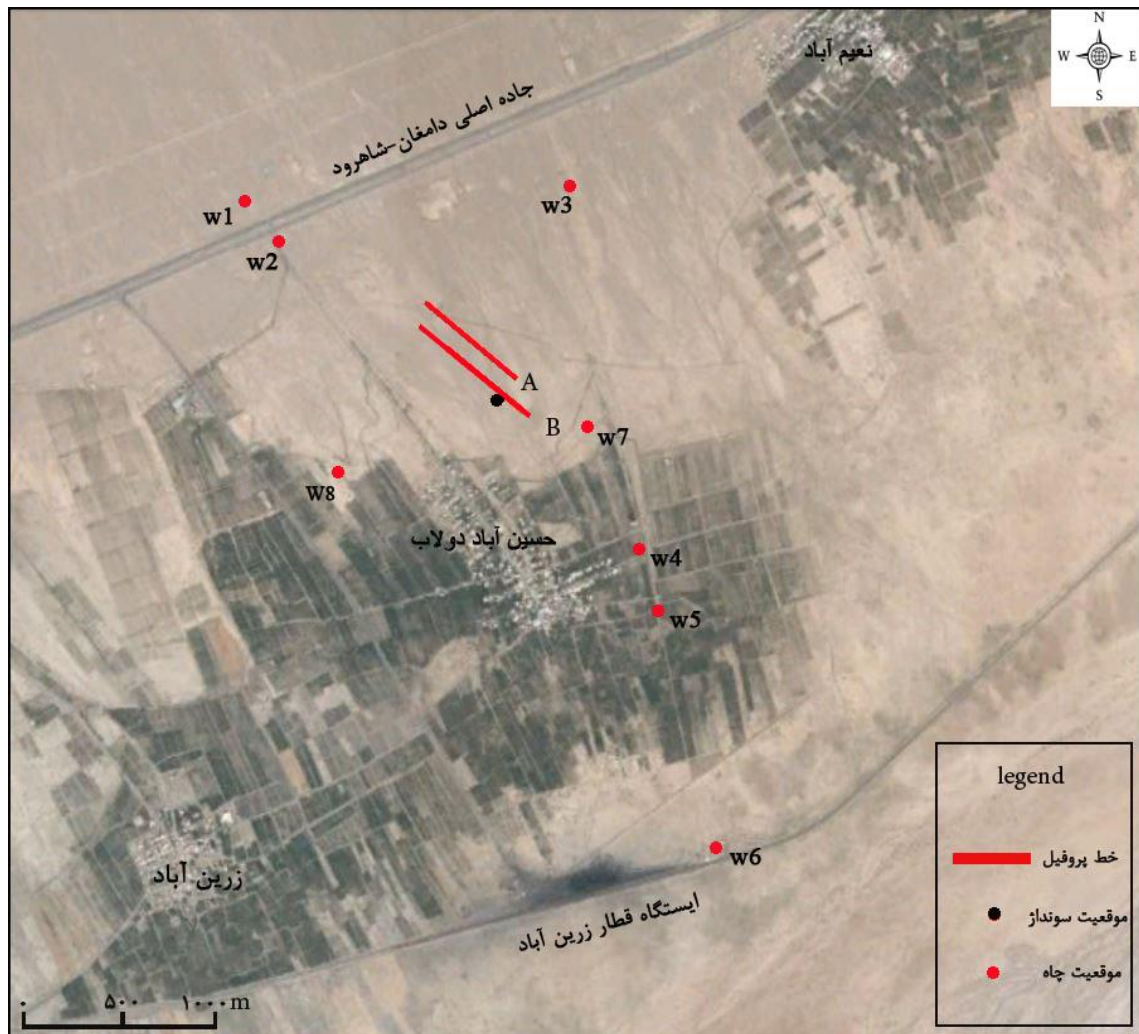
عملیات صحرائی در روزهای ۲۲، ۱۵ و ۲۴ اردیبهشت سال ۱۳۹۴ انجام شد. در ابتدا به منظور پی بردن به لایه‌بندی زیر سطح زمین و تعیین عمق و ضخامت سفره آب زیرزمینی یک سونداژ با استفاده از آرایش شلومبرژه برداشت شد. با توجه به عمیق نبودن سفره آب زیرزمینی و عدم نیاز به تعیین سنگ کف، عملیات سونداژ فقط تا AB/2، ۳۰۰ و با آزیموت ۲۲۵ درجه در منطقه مورد نظر اجرا شد.

سپس با توجه به نتایج تفسیر سونداژ به منظور ارزیابی کیفیت آب، میزان تغییرات املاح و پیشروی آلودگی (آب شور)، تعیین عمق آب شور و مرز آب شور و شیرین دو پروفیل با آرایش ونر و با فواصل الکترودی متفاوت در محل مورد بررسی برداشت شد. موقعیت سونداژ و خطوط پروفیل‌ها در شکل ۴-۴

---

<sup>۱</sup>Standard Deviation

۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲: موقعیت پروفیل‌ها و سونداژ در منطقه (google earth)

### ۳-۴ آزمایش نمونه‌های خاک منطقه

با توجه به این که مقادیر مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده در سطح زمین، بسیار کوچک می‌باشد به نظر می‌رسد که خاک منطقه شور است. به این دلیل که خاک سطحی از عوامل بسیاری تأثیر می‌پذیرد، از این رو به منظور افزایش دقت نتایج اقدام به اندازه‌گیری EC نمونه‌های مختلف از سطح و عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک منطقه با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب کردیم. در این اندازه‌گیری ۲۰ گرم خاک را با ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر مخلوط و به منظور حل شدن نمک‌های جامد به مدت یک ساعت آن‌ها را به

صورت مکانیکی تکان داده و سپس EC آن‌ها را اندازه‌گیری کردیم. نتایج در جدول ۴-۲ ارائه شده است. سپس میزان شوری خاک منطقه را با استفاده از جدول ۴-۳ که استاندارد جهانی روش ۵:۱ برای ارزیابی شوری خاک می‌باشد، تعیین کردیم.

جدول ۴-۲: نتایج حاصل از اندازه‌گیری EC خاک منطقه

شماره نمونه	مختصات		عمق نمونه‌برداری	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
	X	Y		
۱	۲۸۳۳۸۱	۴۰۱۳۵۸۹	سطح	۱۴۴
۲	۲۸۳۴۰۶	۴۰۱۳۵۷۸	سطح	۹۴۰۰
۳	۲۸۳۴۰۶	۴۰۱۳۵۷۸	۶۰ سانتیمتری	۷۷۰۰
۴	۲۸۳۹۶۶	۴۰۱۳۲۸۸	سطح	۴۰۰۰
۵	۲۸۳۹۶۶	۴۰۱۳۲۸۸	۶۰ سانتیمتری	۵۱۰۰
۶	۲۸۴۲۷۷	۴۰۱۲۸۴۶	سطح	۲۵۰۰
۷	۲۸۴۲۷۷	۴۰۱۲۸۴۶	۶۰ سانتیمتری	۵۲۰۰
۸	۲۸۴۴۲۴	۴۰۱۲۷۵۵	۶۰ سانتیمتری	۴۷۰۰
۹	آب مقطر			۱۶

میانگین EC خاک در عمق ۶۰ سانتیمتری ۵۶۷۵ میکرو زیمنس بر سانتیمتر و در سطح زمین ۵۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر است. این نتایج با توجه به جدول ۴-۳ نشان دهنده شوری متوسط خاک منطقه می‌باشد. در اثر کم عمق بودن آب‌های زیرزمینی، رطوبت کم هوا، درجه حرارت بالا، وزش بادهای شدید و در نتیجه بالا آمدن و تبخیر آب‌های سطحی، تعلق گیاهان و جمع شدن املاح در پای ریشه‌های آن‌ها میزان املاح خاک افزایش یافته است.

جدول ۴-۳: استاندارد جهانی روش ۵:۱ به منظور تعیین میزان شوری خاک (Nicholas, 2010)

طبق بندی شوری خاک	EC مخلوط (میکرو زیمنس بر سانتی متر)
غیر شور	۰-۲۰۰۰
شوری کم	۲۰۰۰-۴۰۰۰
شوری متوسط	۴۰۰۰-۸۰۰۰
شوری بالا	۸۰۰۰-۱۶۰۰۰
شوری شدید	۱۶۰۰۰-۳۲۰۰۰
شوری بینهایت	بالاتر از ۳۲۰۰۰

#### ۴-۴ مدل سازی و تفسیر

تفسیر داده‌های سونداژزنی مقاومت ویژه برای به دست آوردن مدل ژئوالکتریکی یک بعدی از لایه بندی زیر سطح زمین انجام می‌شود. به منظور تفسیر دقیق تر و تعیین تعداد، ضخامت و جنس لایه‌های زیرسطحی و سفره آب زیرزمینی با استفاده از مدل ژئوالکتریکی حاصل، باید اطلاعاتی از ساختارهای زمین شناسی و عمق سطح آب منطقه داشته باشیم.

قبل از تفسیر باید داده‌ها اصلاح شده و منحنی رسم شده شرایط زیر را داشته باشد:

- ۱- منحنی رسم شده باید هموار باشد.
- ۲- شیب قسمت بالارونده و پایین رونده منحنی نباید از ۴۵ درجه بیشتر باشد.
- ۳- شعاع انحنای منحنی در نقاط ماکزیمم و مینیمم نباید خیلی کوچک باشد.

#### ۴-۴-۱ تفسیر داده‌های سونداژزنی

هدف تفسیر سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی دستیابی به مدل ژئوالکتریکی است که با اطلاعات زمین

شناسی و هیدرولوژیکی منطقه مطابقت داشته باشد. از این رو تفسیر صحیح به تجربه و تبحر در مسائل ژئوالکتریک و همچنین آگاهی از اطلاعات هیدرولوژیکی و زمین شناسی منطقه مورد نظر بستگی دارد. روش اساسی برای تفسیر سونداژ شامل مراحل زیر است.

۱- در نظر گرفتن یک مدل زمین آزمون اولیه

۲- محاسبه منحنی نظری مورد انتظار از این مدل

۳- مقایسه این منحنی نظری با منحنی صحرایی مشاهده‌ای

۴- تصحیح یا تغییر مدل در نظر گرفته شده زمانی که بهترین انطباق ممکن با منحنی مشاهده‌ای به دست آید.

## تفسیر کیفی

گام اول در تفسیر داده‌های سونداژزنی رسم مقادیر مقاومت ویژه به دست آمده بر حسب فاصله الکترودی (AB/2) بر روی کاغذ شفاف با محورهای لگاریتمی است. به طور کلی آنچه در تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریک مورد توجه قرار می‌گیرد، نقاط ماکزیمم، مینیمم و تغییر شیب منحنی در نقاط مختلف است. هر کدام از نقاط ماکزیمم و مینیمم منحنی می‌توانند بیانگر وجود یک لایه با مقاومت ویژه متفاوت باشند. البته این یک قاعده کلی نیست و برای این که یک لایه بتواند خود را بر روی منحنی نشان دهد، باید دارای ضخامت کافی و تباین مقاومت ویژه مناسب با لایه‌های مجاورش باشد.

## تفسیر کمی

مجموعه‌ای از منحنی‌های استاندارد دو تا چهار لایه به منظور تفسیر کمی سونداژهای الکتریک تهیه شده است. با کمک انطباق منحنی سونداژ صحرایی با منحنی‌های استاندارد می‌توان تعداد، مقاومت ویژه و ضخامت لایه‌های مختلف زمین را به دست آورد. بایستی توجه داشته باشیم که این منحنی‌های

استاندارد برای طبقات افقی تهیه شده‌اند و در صورتیکه لایه‌ها شیبدار باشند تفسیر ما دچار خطا خواهد شد.

کار تفسیر با تطبیق جزء به جزء منحنی سونداژ با منحنی‌های استاندارد انجام می‌شود. برای این کار منحنی را به بخش‌های صعودی و نزولی تقسیم و هر بخش را با مدل دو لایه‌ای انطباق می‌دهیم. نقطه تقاطع محورهای قائم و افقی منحنی استاندارد را روی کاغذ لگاریتمی که منحنی سونداژ الکتریکی روی آن رسم شده با علامت (+) که آن را کراس<sup>۱</sup> می‌نامیم، مشخص می‌کنیم. طول این نقطه معادل ضخامت لایه اول و عرض آن مقاومت ویژه لایه اول را به دست می‌دهد.

برای تعیین مشخصات لایه‌های دیگر از منحنی‌های کمکی استفاده می‌کنیم. همواره برای ادامه انطباق باید توجه داشته باشیم که موقعیت کراس قبلی باید بر روی منحنی‌های کمکی مورد نظر قرار داشته باشد. با ادامه کار انطباق منحنی‌ها ضخامت و مقاومت ویژه هر یک از این لایه‌ها را به دست می‌آوریم. در نتیجه تفسیر، مدلی شامل پارامترهای تعداد، مقاومت ویژه و ضخامت یا عمق لایه‌ها به دست خواهد آمد (Mooney, 1980).

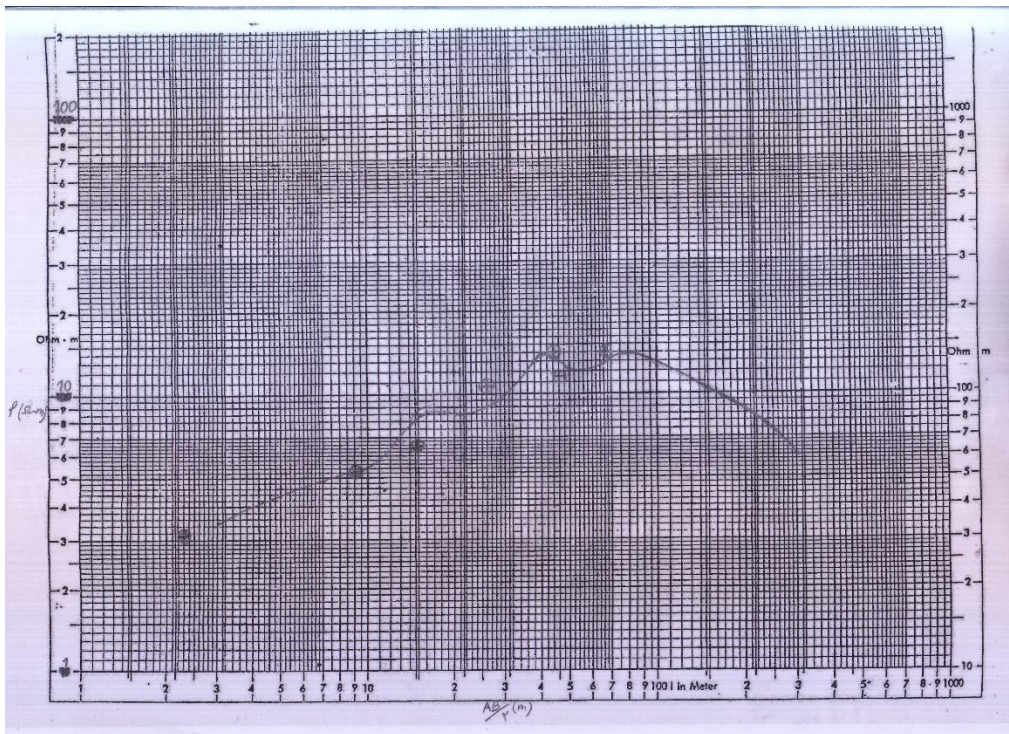
#### ۴-۴-۲ نتایج تفسیر با استفاده از منحنی‌های استاندارد

برای بدست آوردن ضخامت و مقاومت ویژه لایه‌های مختلف، تفسیر منحنی سونداژ ابتدا به کمک انطباق با منحنی‌های استاندارد و به صورت دستی انجام می‌پذیرد. در شکل ۳-۴ تفسیر اولیه با استفاده از منحنی‌های استاندارد نشان داده شده است.

---

<sup>۱</sup>Cross

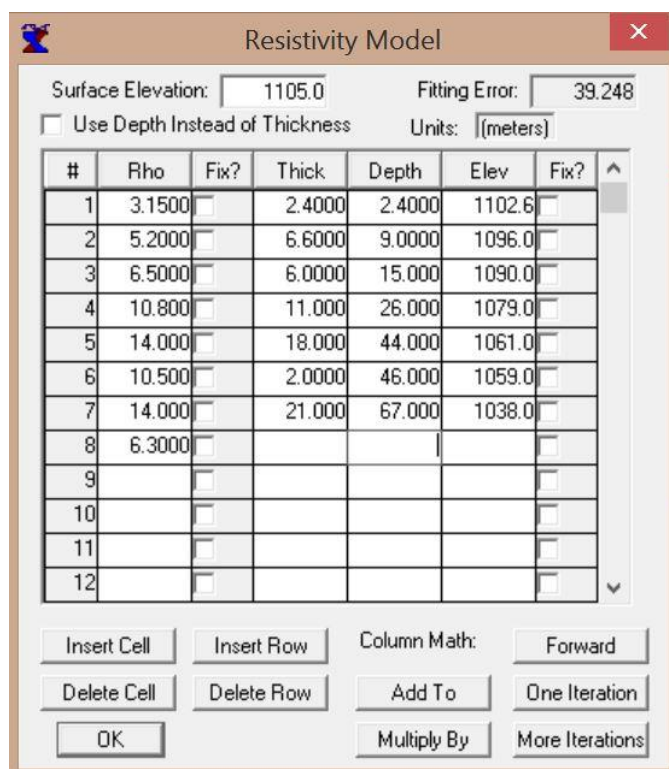




شکل ۳-۴: تفسیر دستی سونداژ به کمک منحنی‌های استاندارد

### ۳-۴-۴ مدل سازی پیشرو

به منظور ارزیابی مدل حاصل از تفسیر با منحنی‌های استاندارد، اقدام به مدل سازی پیشرو به کمک نرم افزار IX1D مدل می‌کنیم. شکل ۴-۴ نتایج حاصل از مدل سازی پیشرو، مدل اولیه به دست آمده از انطباق با منحنی‌های استاندارد را با استفاده از نرم افزار IX1D نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴: تفسیر دستی سونداژ به صورت مدل پیشرو در نرم افزار IX1D

#### ۴-۴-۴ نتایج تفسیر با وارون سازی با نرم افزار IX1D

همواره برای این که مدل ریاضی به دست آمده مدل واقعی لایه های زیر سطح زمین باشد، بایستی اطلاعاتی از سطح ایستایی، عمق چاه ها و زمین شناسی منطقه داشته باشیم و نرم افزار را به گونه ای هدایت کنیم که نتیجه نهایی با ساختارهای زمین شناسی منطقه همخوانی داشته باشد. به منظور دستیابی به مدل دقیق تر تفسیر نهایی با استفاده از دو نرم افزار IX1D و IPI2Win انجام می گیرد. شکل ۴-۵ نتایج حاصل از وارون سازی داده ها با استفاده از نرم افزار IX1D را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود انطباق خوبی بین داده های صحرائی و مدل تخمینی نرم افزار وجود دارد و خطای پایین ۱۰/۵۸ درصد نیز مؤید این نکته است.

هیچ گونه عوارض زمین شناسی سطحی مشخصی در جوار مرکز و جهت گسترش سونداژ وجود ندارد.

سطح خاک منطقه از جنس آبرفت ماسه‌ای سیلتی به همراه کمی رس می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری EC خاک بیانگر شوری متوسط خاک منطقه است که این موضوع در بخش ۳-۴ به تفصیل بیان گردید.

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	3.3753	<input type="checkbox"/>	2.3860	2.3860	1102.6	<input type="checkbox"/>
2	4.2199	<input type="checkbox"/>	3.3304	5.7164	1099.3	<input type="checkbox"/>
3	37.859	<input type="checkbox"/>	7.3044	13.021	1092.0	<input type="checkbox"/>
4	12.366	<input type="checkbox"/>	13.714	26.735	1078.3	<input type="checkbox"/>
5	24.992	<input type="checkbox"/>	11.084	37.819	1067.2	<input type="checkbox"/>
6	13.020	<input type="checkbox"/>	27.736	65.555	1039.4	<input type="checkbox"/>
7	11.159	<input type="checkbox"/>	14.686	80.241	1024.8	<input type="checkbox"/>
8	3.7835	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
9		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
10		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
11		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
12		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>

شکل ۴-۵: مدل‌سازی معکوس سونداژ به وسیله نرم افزار IX1D

تفسیر این سونداژ به شرح زیر می‌باشد:

در محل این سونداژ ۸ لایه ژئوالکتریکی مشخص شده است.

لایه‌های اول و دوم ژئوالکتریکی یک لایه زمین‌شناسی با مقاومت ویژه الکتریکی ۴ اهم-متر از جنس ماسه‌ای-سیلتی شور به همراه کمی رس می‌باشد. در این به علت دانه ریز بودن بافت خاک، املاح بالای خاک و تجمع آب در این ناحیه مقاومت ویژه کاهش چشم‌گیری یافته است.

لایه سوم با مقاومت ویژه ۳۷/۸۶ اهم‌متری لایه‌ای ماسه‌ای-سیلتی خشک می‌باشد که بافت آن از لایه

رویی درشت تر است.

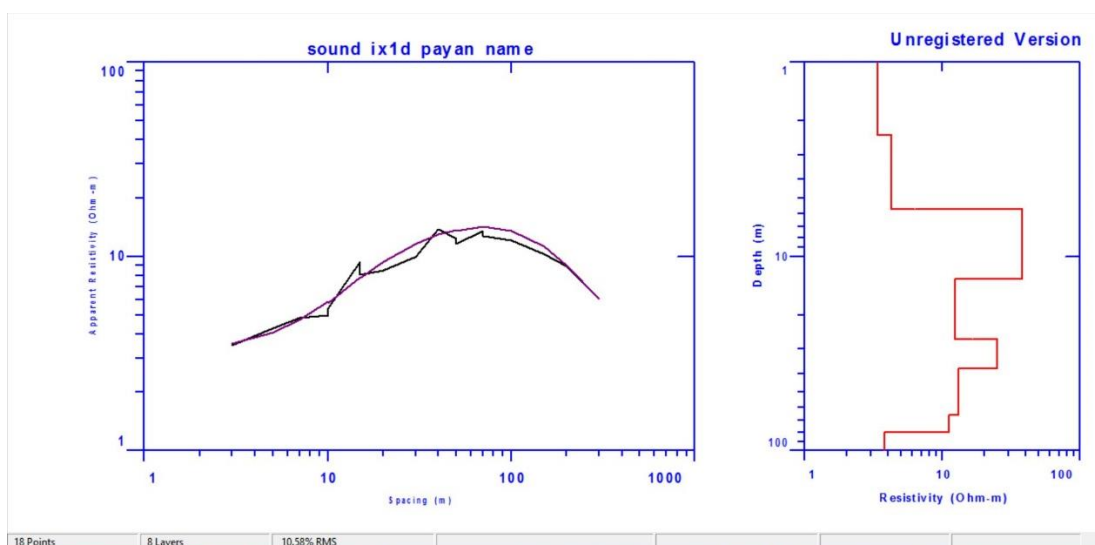
لایه چهارم با مقاومت ویژه ۱۲/۳۷ اهم- متر که از عمق ۱۳ متری آغاز می‌گردد، لایه آبدار از جنس ماسه‌ای سیلتی است و مقاومت ویژه پایین آن نشانه شوری آن به علت تجمع املاح می‌باشد.

لایه پنجم با مقاومت ویژه ۲۵ اهم- متر بیانگر آب شیرین و با کیفیت بالاتر می‌باشد.

لایه ششم و هفتم به ترتیب با مقاومت ویژه ۱۳ و ۱۱/۲ اهم- متر، بیانگر کاهش کیفیت سفره آب و تبدیل آب شیرین به آب شور با افزایش عمق می‌باشد.

لایه آخر با مقاومت ویژه ۳ اهم- متر که از عمق ۸۰ متری آغاز می‌گردد، بیانگر آب شور می‌باشد.

در شکل ۴-۶ منحنی سونداژ صحرایی به همراه مقطع حاصل از تفسیر با نرم افزار IX1D نشان داده شده است.



شکل ۴-۶: مقطع یک‌بعدی حاصل از تفسیر با نرم افزار IX1D

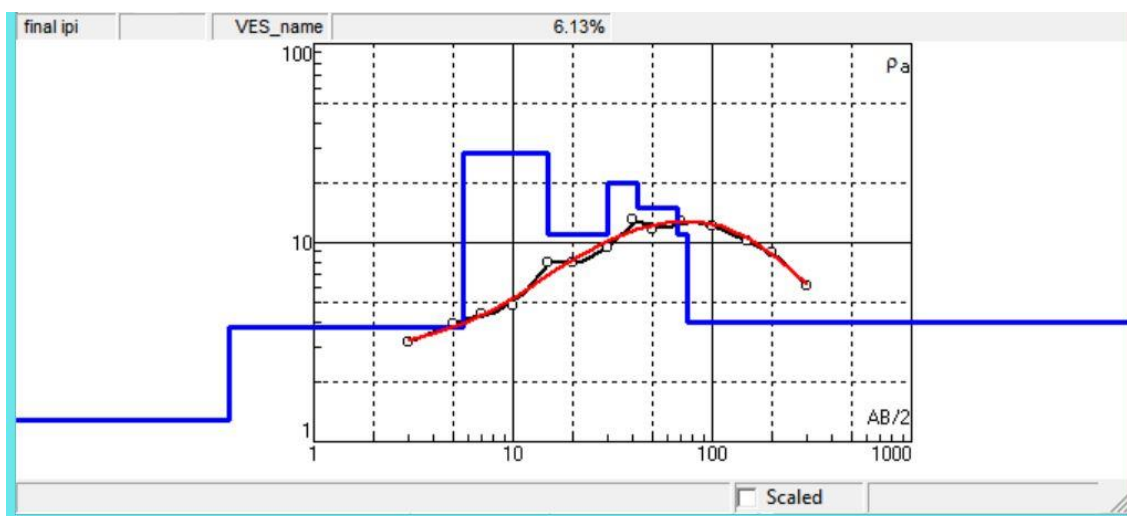
#### ۴-۴-۵ نتایج تفسیر با وارون‌سازی به کمک نرم افزار IPI2Win

شکل ۴-۷ نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌ها را با استفاده از نرم افزار IPI2Win را نشان می‌دهد.

خطای ۶/۱۳ درصدی بیانگر مدل تخمینی خوب می‌باشد. شکل ۴-۸ مقطع حاصل از تفسیر سونداژ، منحنی سونداژ صحرایی و منحنی تخمینی نرم افزار را نشان می‌دهد. انطباق بسیار خوبی بین داده‌های صحرایی و مدل تخمینی نرم افزار وجود دارد که ناشی از هموار بودن منحنی صحرایی و کیفیت خوب داده‌های برداشتی می‌باشد. نتایج حاصل از تفسیر به کمک این نرم افزار به صورت کلی با نتایج تفسیر نرم افزار IX1D مطابقت دارد.

Error = 6.13%				
N	p	h	d	Alt
1	1.28	0.374	0.374	-0.3743
2	3.78	5.28	5.65	-5.653
3	28	9.35	15	-15
4	11	15	30	-30
5	20	12	42	-42
6	15	25	67	-67
7	11	8	75	-75
8	4			

شکل ۴-۷: تفسیر سونداژ به وسیله نرم افزار IPI2Win



شکل ۴-۸: مقطع یک‌بعدی حاصل از تفسیر سونداژ با نرم افزار IPI2Win

#### ۴-۴-۶ نتایج نهایی تفسیر سونداژ

در محل سونداژ با توجه به جدول ۴-۴، ۸ لایه ژئوالکتریکی قابل تشخیص است. با توجه به اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری مختلف موجود در منطقه و چاه پیژومتری زرین آباد و تحقیقات صورت گرفته از افراد محلی و نتایج تفسیر سونداژ مقاومت ویژه می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- یک لایه ماسه‌ای سیلتی از سطح زمین تا عمق ۱۳ متری وجود دارد که با افزایش عمق لایه فشرده‌تر شده، بافت ذرات درشت‌تر گشته و میزان آب خلل و فرج کاهش می‌یابد.

۲- سفره آب زیرزمینی شیرین از جنس ماسه‌ای سیلتی می‌باشد که از عمق حدودی ۱۳ متری شروع می‌شود. ابتدای سفره تا عمق ۲۶/۷ متری به علت مقاومت ویژه پایین دارای کیفیت نامناسبی است. با افزایش عمق مقدار مقاومت ویژه افزایش می‌یابد که بیانگر افزایش کیفیت آب می‌باشد. به طور کلی کیفیت آب این سفره به علت مقاومت ویژه پایین که به احتمال زیاد ناشی از بافت ریز سفره و میزان بالای املاح است، پایین می‌باشد.

۳- از عمق ۳۸ متری دوباره مقدار مقاومت ویژه کاهش می‌یابد و بیانگر شروع آب لب شور می‌باشد که با افزایش عمق آب شیرین به آب شور تغییر ماهیت می‌دهد.

۴- از عمق ۸۰ متری سفره آب شور آغاز می‌گردد که با مقاومت ویژه پایین ۳/۸ اهم‌متری نشان داده شده است.

جدول ۴-۴: نتایج تفسیر نهایی منحنی سونداژ به روش‌های مختلف

مشخصات	تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم‌افزار IX1D RMS Error (۱۰/۵۸٪)		تفسیر با نرم‌افزار IPI2Win RMS Error (۶/۱۳٪)	
	$\rho(\Omega.m)$	t(m)	$\rho(\Omega.m)$	t(m)	$\rho(\Omega.m)$	t(m)
لایه اول	۳/۱۵	۲/۴	۳/۳۷	۲/۳۹	۱/۲۸	۰/۳۷
لایه دوم	۵/۲	۶/۶	۴/۲۲	۳/۳۳	۳/۷۸	۵/۲۸
لایه سوم	۶/۵	۶	۳۷/۸۶	۷/۳۰	۲۸	۹/۳۵
لایه چهارم	۱۰/۸	۱۱	۱۲/۳۷	۱۳/۷۱	۱۱	۱۵
لایه پنجم	۱۴	۱۸	۲۵	۱۱/۰۸	۲۰	۱۲
لایه ششم	۱۰/۵	۲	۱۳/۰۲	۲۷/۷۴	۱۵	۲۵
لایه هفتم	۱۴	۲۱	۱۱/۱۶	۱۴/۶۹	۱۱	۸
لایه هشتم	۶/۳		۳/۷۸		۴	

#### ۴-۴-۷ تفسیر دوبعدی داده‌های حاصل از پروفیل زنی

مدل‌سازی دوبعدی داده‌های برداشت شده با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV و ZONDRES2D انجام می‌گیرد.

نرم‌افزار RES2DINV یک برنامه کامپیوتری است؛ که به‌طور خودکار زیر سطح زمین را به تعدادی بلوک مستطیل شکل تقسیم‌بندی کرده و با استفاده از روش وارون‌سازی حداقل مربعات، مقاومت ویژه مناسب را برای هر بلوک تعیین می‌کند. این برنامه نیازی به مدل اولیه ندارد بلکه به‌طور خودکار پارامترهای مورد نیاز را انتخاب می‌کند. این پارامترها با این که قابل تغییر هستند، در اکثر موارد نتایج معقولی به‌دست می‌دهند.

نرم افزار ZONDRES2D یک برنامه کامپیوتری برای مدل سازی دو و نیم بعدی داده های برداشت شده با استفاده از روش تصویر برداری الکتریکی و پلاریزاسیون القایی می باشد. در این نرم افزار روش اجزاء محدود به عنوان یک ابزار ریاضی برای حل مسائل مستقیم استفاده می شود. همچنین روش حداقل مربعات با قید نظم دهی<sup>۱</sup> برای حل مسائل معکوس مورد استفاده قرار می گیرد. قید نظم دهی پایداری را در حل مسئله افزایش می دهد و امکان دستیابی به مقادیر مقاومت ویژه و توزیع پتانسیل هموارتر را فراهم می آورد. این نرم افزار از تمامی آرایش های الکترودی پشتیبانی می کند و قابلیت ویرایش و حذف داده ها در آن به آسانی وجود دارد. استفاده از آن بسیار ساده می باشد و قابلیت بسیار بالایی در نمایش مقاطع حاصل به منظور ارزیابی بیشتر جهت تفسیر بهتر و دقیق تر دارا می باشد (Kaminsky, 2010).

در ادامه نتایج حاصل از مدل سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه الکتریکی که در طول دو پروفیل A و B برداشت شده است ارائه می شود.

#### ۸-۴-۴ نتایج تفسیر پروفیل A

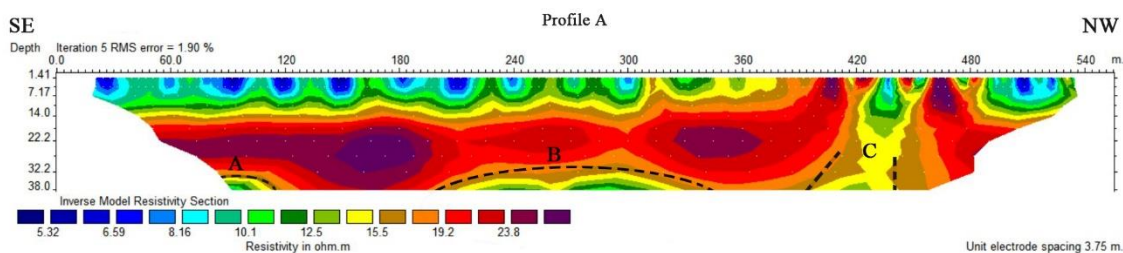
##### الف- مقطع حاصل از نرم افزار RES2DINV

شکل ۹-۴ مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل A که با استفاده از نرم افزار RED2DINV به دست آمده است را نشان می دهد. این پروفیل با فواصل الکترودی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ متری به طول ۵۴۰ متر و با آزیموت ۳۳۰ درجه برداشت شده است.

---

<sup>۱</sup>Regularization





شکل ۴-۹: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل A به کمک نرم افزار RE2DINV

با توجه به نتایج تفسیر سونداژ، سفره آب زیرزمینی در منطقه از عمق حدود ۱۳ متری شروع می شود. نتایج اندازه گیری EC آب گرفته شده از چاه ها نشان می دهد که چاه های نیمه عمیق منطقه در مقایسه با چاه های عمیق EC کوچکتری دارند. خاک منطقه آبرفت ماسه ای - سیلتی به همراه کمی رس می باشد. جنس خاک، میزان شوری و به خصوص دانه بندی آن در نقاط مختلف سطح متفاوت است. مقادیر مقاومت ویژه پایین که در سطح پروفیل مشاهده می شود به علت دانه ریز بودن، وجود رس و شور بودن سطح خاک منطقه بوده و وجود مقاومت ویژه بسیار پایین در این نواحی، ناشی از جمع شدن آب در زیر درختچه های موجود در منطقه می باشد. مناطق با مقاومت ویژه بالا در سطح زمین بیانگر دانه درشت بودن و میزان شوری کم خاک در این قسمت ها است. این پروفیل به علت کوچک بودن فواصل الکترودی تغییرات مقاومت ویژه و در نتیجه کیفیت آب را تا عمق ۳۸ متری نشان می دهد. در طول این پروفیل ۳ بی هنجاری مشاهده می شود که در ادامه به تفسیر آن ها پرداخته می شود.

زون A: مقادیر مقاومت ویژه پایین در فواصل ۸۵ تا ۱۱۵ متری از ابتدای پروفیل و در عمق حدودی ۳۳ تا ۳۸ متری به احتمال زیاد بیانگر آب لب شور و ناحیه انتقالی می باشد.

زون B: این زون در فاصله ۲۰۰ تا ۳۴۵ متری پروفیل و در عمق حدودی ۳۰ تا ۳۸ متری قرار گرفته است و بیانگر آب لب شور و ناحیه انتقالی می باشد و تغییرات مقاومت ویژه در آن بیانگر تغییر ماهیت آب شور به آب شیرین است.

زون C: در فواصل ۴۰۰ تا ۴۴۰ متری پروفیل و از سطح زمین تا عمق ۳۸ متری ادامه دارد و بیانگر وجود شکستگی، دانه ریزتر شده سفره و نفوذ آب لبشور است.

### ب- مقطع حاصل از نرم افزار ZONDRES2D

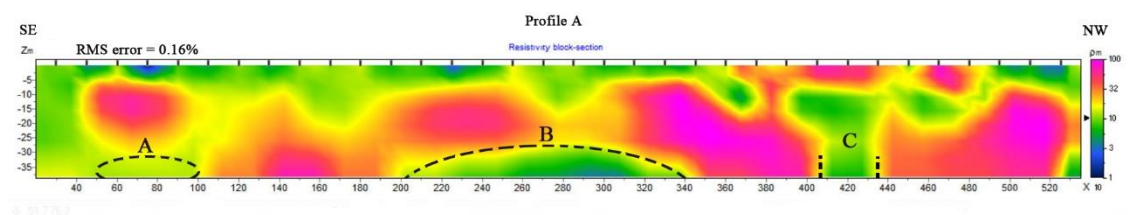
مقطع حاصل از مدل سازی معکوس پروفیل A که با استفاده از نرم افزار ZONDRES2D به دست آمده، در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. در این مقطع ۳ بی‌هنجاری دیده می‌شود که در ادامه تفسیر آن‌ها آورده شده است.

زون A: این بی‌هنجاری در فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متری پروفیل و در عمق تقریبی ۳۲ تا ۳۸ متری قرار دارد و بیانگر آب لبشور متمایل به آب شیرین می‌باشد.

زون B: این بی‌هنجاری در فاصله ۲۰۰ تا ۳۴۰ متری پروفیل در عمق تقریبی ۲۸ تا ۳۸ متری قرار دارد و بیانگر آب لبشور و ناحیه انتقالی است. با افزایش عمق، مقدار مقاومت ویژه افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش میزان شوری آب و تغییر ماهیت آن به آب شور می‌باشد.

زون C: این بی‌هنجاری واقع در فاصله ۴۱۰ تا ۴۳۵ متری که حدوداً از ابتدای سفره آب شیرین آغاز می‌گردد و تا عمق ۳۸ متری ادامه می‌یابد و احتمالاً به علت وجود شکستگی، تغییرات بافت و نفوذ آب لبشور می‌باشد.

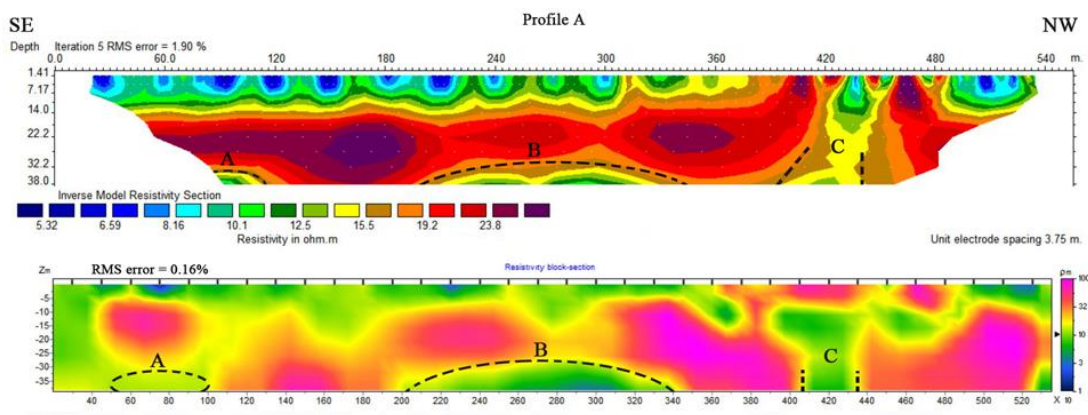
مقادیر مقاومت ویژه پایین در سطح بیانگر شوری خاک، دانه ریز بودن آن، وجود رس و جمع شدن آب و املاح در پای درختچه‌های موجود در این قسمت‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۱۰: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل A به کمک نرم افزار ZONDRES2D

### ج- جمع بندی

مقاطع حاصل از هر دو نرم افزار RES2DINV و ZONDRES2D به خوبی نفوذ آب لب شور را در طول پروفیل نشان می دهند و همان طور که در شکل ۳-۱۴ دیده می شود؛ انطباق بسیار خوبی با یکدیگر دارند. به علت عمق نفوذ کم این پروفیل آب شور در آن به خوبی مشاهده نمی گردد. از این رو می توان نتیجه گرفت که آب شور در عمق بالاتری قرار گرفته است.

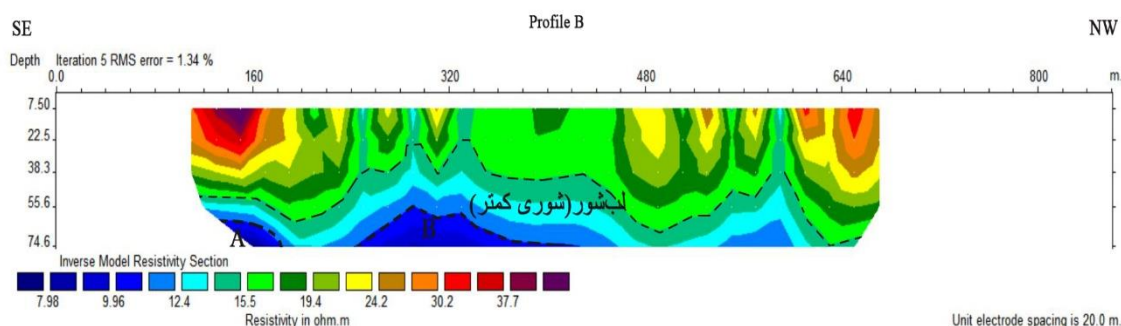


شکل ۴-۱۱: مقاطع حاصل از مدل سازی پروفیل A با استفاده از نرم افزارهای ZONDRES2D و RES2DINV

### ۴-۴-۹ نتایج تفسیر پروفیل B

#### الف- مقطع حاصل از نرم افزار RES2DINV

در شکل ۴-۱۰ مقطع حاصل از مدل سازی معکوس پروفیل B که توسط نرم افزار RES2DINV به دست آمده، نشان داده شده است. این پروفیل با فواصل الکترودی ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ متر و با آزیموت ۳۳۰ درجه برداشت شده است. همچنین به منظور افزایش دقت جانبی، داده برداری هر ۴۰ متر یک قرائت صورت گرفت.



شکل ۴-۱۲: مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل B به کمک نرم افزار RES2DINV

مقادیر مقاومت ویژه بسیار پایین در سطح زمین به علت دانه‌ریز بودن و شوری خاک، وجود رس و همچنین جمع شده آب و املاح در پای ریشه های گیاهان و درختچه‌های موجود در منطقه است. مقادیر مقاومت ویژه بالا نیز بیانگر درشت دانه بودن و شوری کم خاک در این مناطق می‌باشد. بی‌هنجاری با مقاومت ویژه پایین در طول این پروفیل مشاهده می‌شود که این زون‌ها با A، B در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده‌اند.

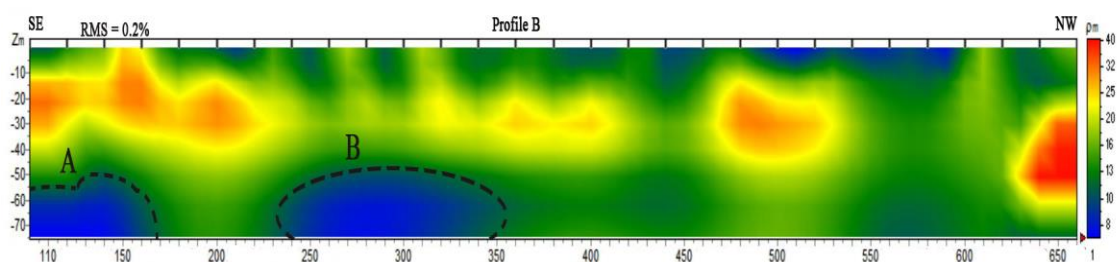
زون A: این زون در فاصله ۱۳۰ تا ۱۸۰ متری پروفیل و حدوداً در عمق ۶۰ تا ۷۵ متری قرار دارد. با توجه به مقاومت ویژه بسیار پایین این زون نشان‌دهنده نفوذ آب شور می‌باشد. ناحیه انتقالی به خوبی در اطراف این زون با تغییرات مقاومت ویژه که بیانگر تغییرات شوری می‌باشد، نشان داده شده است. زون B: این زون در فاصله ۲۴۰ تا ۳۶۰ متری پروفیل و حدوداً در عمق ۵۵ تا ۷۵ متری قرار گرفته و بیانگر آب شور می‌باشد. ناحیه انتقالی با مقاومت ویژه بالاتر در اطراف این زون به خوبی نشان داده شده است.

### ب- مقطع حاصل از نرم افزار ZONDRES2D

مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس پروفیل B به کمک نرم افزار ZONDRES2D در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. بی‌هنجاری مقاومت ویژه A و B در مقطع حاصل نشان داده شده است.

زون A: در فاصله ۱۰۰ تا ۱۷۰ متری پروفیل و در عمق حدودی ۵۲ تا ۷۵ متری قرار دارد که بیانگر نفوذ آب شور است. ناحیه انتقالی با مقاومت ویژه بالاتر که بیانگر آب لب شور می باشد، در اطراف این زون دیده می شود.

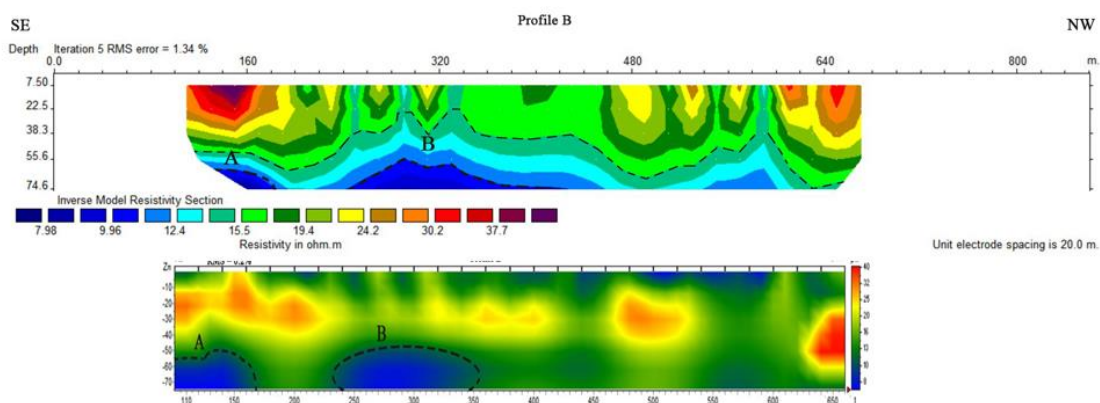
زون B: در فاصله ۲۳۰ تا ۳۵۵ متری پروفیل و در عمق حدودی ۴۵ تا ۷۵ متری قرار داشته و بیانگر نفوذ آب شور می باشد. ناحیه انتقالی در اطراف این زون به خوبی با مقاومت ویژه بالاتر دیده می شود. مقادیر مقاومت ویژه پایین در سطح به علت وجود رس، شوری خاک، دانه ریز بودن و جمع شدن آب و املاح در ریشه درختچه ها و گیاهان موجود در منطقه می باشد.



شکل ۴-۱۳: مقطع حاصل از مدل سازی معکوس مقاومت ویژه پروفیل B به کمک نرم افزار ZONDRES2D

### ج- جمع بندی

به علت فواصل الکترودی بزرگ این پروفیل و در نتیجه عمق نفوذ بالای آن موقعیت زون های آب شور، ناحیه انتقالی و آب شیرین در منطقه تا حدودی مشاهده می گردد. مقاطع حاصل از هر دو نرم افزار به خوبی زون های آب شور A و B را نشان می دهند و همان طور که در شکل ۴-۱۴ دیده می شود؛ انطباق نسبتاً خوبی با یکدیگر دارند.



شکل ۴-۱۴: مقاطع حاصل از مدل‌سازی پروفیل B با استفاده از نرم‌افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D

## نتیجه‌گیری

مقاطع حاصل از دو نرم‌افزار انطباق خوبی با یکدیگر دارند. در مقطع پروفیل A به علت عمق نفوذ کم تنها زون‌های لب‌شور تا حدودی مشاهده می‌گردند و بیانگر این می‌باشد که زون آب شور در عمق بیشتری قرار گرفته است. در پروفیل B موقعیت زون‌های آب شور و شیرین و ناحیه انتقالی که مرز این دو می‌باشد و آب شور در آن تغییر ماهیت می‌دهد، با تغییرات مقاومت ویژه به خوبی نشان داده شده است.

## فصل پنجم:

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۴-۵ نتیجه‌گیری

نتایج تفسیر سونداژ نشان می‌دهد که در منطقه مورد نظر سفره آب زیر زمینی حدوداً از عمق ۱۳ آغاز شده و از جنس ماسه‌ای-سیلتی می‌باشد. مقادیر مقاومت ویژه و در نتیجه کیفیت آب با افزایش عمق تا ۳۸ متری بیشتر می‌گردد. از عمق ۳۸ متری مقادیر مقاومت ویژه شروع به کاهش می‌کند که بیانگر آب لب‌شور و تبدیل آب شیرین به آب شور می‌باشد. با توجه به نتایج تفسیر سونداژ و پروفیل‌ها، آب شور در عمق حدودی ۷۵ تا ۸۰ متری قرار دارد و در بعضی نقاط آب شور در سفره آب شیرین نفوذ کرده و بالا آمده است.

قسمت‌های بالایی سفره آب شیرین به علت نزدیک بودن به سطح زمین و در نتیجه تبخیر آب‌های سطحی، تغذیه نامناسب سفره به علت دانه‌ریز بودن خاک منطقه، حاوی املاح بیشتر و کیفیت نامناسب‌تری می‌باشد. همچنین به احتمال زیاد بافت این قسمت‌های بالایی سفره کوچک‌تر از بافت قسمت‌های زیرین آن است.

مقادیر مقاومت ویژه بسیار پایین سطح خاک به علت شوری متوسط خاک منطقه و افزایش املاح آن بر اثر تبخیر و تعرق آب‌های سطحی، جمع شدن آب در پای گیاهان موجود در منطقه و همچنین دانه‌ریز بودن خاک منطقه می‌باشد.

منطقه انتقالی (حد واسط میان آب شور و شیرین) که بیانگر تغییر ماهیت آب شور به شیرین است با تغییرات مقاومت ویژه تا حدی مشخص شده است.

به طور کلی مقادیر مقاومت ویژه پایین بیانگر کیفیت نامناسب سفره‌های آب زیرزمینی در کل منطقه می‌باشد. که با نتایج اندازه‌گیری مقادیر EC چاه‌ها به خوبی تأیید می‌گردد. بنابراین برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و به میزان کمتر بارش اندک باعث افت سطح ایستابی شده و این عامل بر گرادیان هیدرولیکی اثر گذاشته و سبب معکوس شدن جهت جریان آب‌های زیرزمینی و پیشروی آب شور کویر



به سمت سفره آب شیرین زیرزمینی شده است.

با توجه به این که عمق آب شور با روش مقاومت ویژه حدوداً ۷۵ متر تا ۸۰ متر تشخیص داده شده است درمی یابیم که تمامی چاه های عمیق مخلوطی از آب شور و شیرین است. بنابراین به منظور جلوگیری از شور شدن چاه های آب بایستی از حفر چاه های عمیق در منطقه خودداری گردد.

با توجه به نتایج حاصل از روش پروفیل زنی به دلیل مقاومت ویژه بالا در فاصله ۴۸۰ تا ۵۴۰ متری و ۶۳۰ تا ۶۶۰ متری در طول پروفیل B، حفر چاه با حداکثر عمق ۳۰ تا ۴۰ متر در این قسمت توصیه می گردد.

## ۴-۶ پیشنهادات

- ۱- با طراحی شبکه برداشت متراکم تر و بیشتر در منطقه مورد نظر می توان با دقت بیشتری زون های آب شور را مشخص کرده و به صورت سه بعدی و با دقت بالاتر آب شور نفوذی را ارزیابی نمود.
- ۲- به منظور ارزیابی و تعیین دقیق تر عمق آب شور می توان از آرایش الکترودی که عمق نفوذ بالاتری دارند نظیر ونر- شلومبرژه، قطبی- دو قطبی و یا دو قطبی- دو قطبی استفاده نمود.

## مراجع

- ۱- آریامنش م، (۱۳۹۱) "ژئوالکتریک" چاپ اول، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران، ۵۱۰ص.
- ۲- آقاناتی ع، (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۷ص.
- ۳- امیر حسینی م، (۱۳۹۳) "بررسی تغییرات ۲۰ ساله (۱۳۷۲-۱۳۹۲) سطح و شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، ۱۲۹ص.
- ۴- تیزرو ع، (۱۳۸۷) "آبهای زیرزمینی" چاپ دوم، کرمانشاه، انتشارات دانشگاه رازی، ۲۸۱ص.
- ۵- حجت آ. و رنجبر ح، (۱۳۹۰) "اصول ژئوالکتریک کاربردی" چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران، ۲۷۸ص.
- ۶- قناتی ر، نصیرالدین ع، (۱۳۹۱) "بررسی اثر ناهمگنی‌های جانبی بر روی منحنی‌های سونداژزنی مقاومت ویژه الکتریکی" شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- ۷- شمسانی ا، (۱۳۹۱) "هیدرولیک جریان آب در محیط‌های متخلخل" جلد دوم، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۵۵۹ص.
- ۸- صداقت م، (۱۳۸۷) "زمین و منابع آب" چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه پیام نو، تهران، ۲۸۸ص.
- ۹- عباسی ب، حفیظی م، تلخستانی ا، (۱۳۹۱) "تعیین گسترش آب‌های شور و شیرین با توموگرافی دوبعدی داده‌های سونداژ مقاومت ویژه" سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، دانشگاه تهران.
- ۱۰- کاظمی نژاد م، (۱۳۸۹) "بررسی پیشروی آب شور در اثر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی" اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- ۱۱- کردوانی پ، (۱۳۷۴) "ژئوهیدرولوژی" چاپ دوم، دانشگاه تهران، تهران، ۳۵۹ص.
- ۱۲- گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- ۱۳- گزارش مهندسین مشاور آبریز، (۱۳۸۸) "گزارش هیدرولوژی دشت دامغان" شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان.

۱۴- گزارش مهندسين مشاور لار، (۱۳۷۰) "طرح مطالعات سد آستانه دامغان" شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان.

۱۵- ناصری ح، علیجانی ف، رضایی ا، (۱۳۸۷) "تعیین عمق سطح مشترک آب شور و شیرین با روش توموگرافی الکتریکی دوبعدی در آبخوان دشت چاه دراز سیرجان" سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

۱۶- نشریه شماره ۲۷۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۳) "راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل" چاپ اول.

1- Abdul Nassir S. S., Loke M. H., Lee C. Y., and Nawawi M. N., (2000) "Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys" **Geophysical Prospecting**, vol. 48, pp. 647-661.

2- Choudhury K., Saha D. K., and Chakraborty P., (2001) "Geophysical study for saline water intrusion in a coastal alluvial terrain " *Journal of Applied Geophysics*, vol. 46, pp. 189-200.

3- Craig S., (2008) "The saline Interface of a Shallow Unconfined Aquifer, Rangitikei Delta" p. 173.

4- Ebraheem a. M., Al Mulla M., Sherif M., Awad O., Akram S. F., Al Suweidi N. B., (2014) "Mapping groundwater conditions in different geological environments in the northern area of UAE using 2D earth resistivity imaging survey" **Environmental Earth Sciences**, vol. 72, pp. 1599-1614.

5- El-Naqa A., (2010) "Study of salt water intrusion in the Upper Aquifer in Azraq Basin" *IUCN-International Union for Conservation of Nature*.

6- Frank Morrison E. G., (2012). "Dc Electric Methods" .

7- Ginzburg A., Levanon A., Aviv T., and Aviv R., (1976) "DETERMINATION OF A SALT-WATER INTERFACE BY ELECTRIC RESISTIVITY DEPTH SOUNDINGS" **Hydrological Sciences Journal**, vol .21 ,pp. 561-568.

8- Gupta G., Maiti S., Erram V., and Highway K., (2014) "Analysis of electrical

resistivity data in resolving the saline and freshwater aquifers in west coast Maharashtra" *Journal of the Geological Society of India*, vol. 84, pp. 555-568.

9- Hamdan H. a., and Vafidis A., (2013) "Joint inversion of 2D resistivity and seismic travel time data to image saltwater intrusion over karstic areas" **Environmental earth sciences**, vol. 68, pp. 1877-1885.

10- [Http:// map.iranview.com](http://map.iranview.com)

11- Igroupfa S., Hashim R., and Taib S., (2010) "Mapping of salt-water intrusion by geoelectrical imaging in Carey Islands".

12- Kaminsky A., (2010), "Program for two-dimensional interpretation of data obtained by resistivity and induced polarization methods", Saint-Petersburg.

13- Knodel K., Lange G. and Voigt H. J., (2007) "**Environmental geology: Handbook of field methods and case studies**", vol. 1, First Edition, *springer*, Heidelberg, pp. 206.

14- Kura N. U., Ramli M. F., Ibrahim S., Sulaiman W. N., Zaudi M. A. and Aris A. Z., (2014) "A Preliminary Appraisal of the Effect of Pumping on Seawater Intrusion and Upconing in a Small Tropical Island Using 2D Resistivity Technique" **The Scientific World Journal**.

15- Liu L., (2002) "**Salin Water Intrusion**" *Eolss.Net*, vol. 2.

16- Loke M. H., (2010). "Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys". copyright (1996-2012).

17- Mooney H. M., (1980) "**Handbook of engineering geophysics**" Vol.2, Bison Instruments Inc., Minnesota, U.S.A., pp.27-1.

18- Naik D. R., Rao T. V., Jaisankar G., Harikrishna K., (2012) "A Study on saltwater intrusion around kolleru lake, Andhra Pradesh, India" *Int J Eng Tech*, vol. 4, pp. 133-139.

19- Nichols B. L. and Bennet S., (2010) "Pasture legumes and grasses for saltland, in Farmnote. Department of Agriculture and food, Western Australia".

20- Nowroozi A. a., Horrocks S. B. and Henderson P., (1999) "Saltwater intrusion into the freshwater aquifer in the eastern shore of Virginia: a reconnaissance electrical resistivity survey" **Journal of Applied Geophysics**, vol. 42, pp. 1-22.

21- Poulsen S. E., Rasmussen K. R., Christensen N. B., and Christensen S., (2010) "Evaluating the salinity distribution of a shallow coastal aquifer by vertical multielectrode profiling (Denmark)" **Hydrogeology journal**, vol. 18, pp. 161-171.

- 22- Reynolds J.M., (1997) "*An intruduction to applied and environmental geophysics*", vol. 1, First Edition, John Wiley and Sons Ltd, Oxford, pp. 418.
- 23- Sathish S., Elango L., Rajesh R., and Sarma V. S., (2011) "Application of Three Dimensional Electrical Resistivity Tomography to Identify Seawater Intrusion" **Earth Science India**, vol. 4, pp. 21-28.
- 24- Srinivas Y., Oliver D. H., Raj A. S. and Chandrasekar N., (2014) "Delineation of groundwater potential zones along the coastal parts of Kanyakumari district, Tamilnadu" *J. Ind. Geophysics. Union*, vol. 18, pp. 356-362.
- 25- Todd D. K. and Mays L. W., (2005) "**Groundwater hydrology**".
- 26- Ward S. H., (1990) "Resistivity and induced polarization methods" **Geotechnical and environmental geophysics**, vol. 1, pp. 147-189.
- 27- [www.Google.Erath.com](http://www.Google.Erath.com)
- 28- Zohdy A. R., Paso N. L., (1969) "The use of Schlumberger and equatorial soundings in groundwater investigations near El Paso, Texas" **Geophysics**, vol. 34, pp. 713-728.
- 29- Zouhri L., (2010) "Goelectrical structure and hydrogeological investigations of the southern Rif Cordillera (Morocco)" **Hydrological Processes**, vol. 24, pp. 1308-1317.

## **Abstract**

Groundwater pollution due to saline water intrusion is one of problems in desert and coastal areas. Location of Damghan in vicinity of Haj Ali Gholi desert causes to have saline water intrusion into Damghan fresh water aquifers in different places resulted in reduction of water quality. To evaluate the saline water intrusion from the desert into Hosseinabad-e-Doolab aquifer in Damghan area, and to determine the depth and interface of saline-fresh water, resistivity data acquisition, modeling and interpretation have been made. The locations of sounding and profiling surveys among the water wells have been determined considering the information, especially electrical conductivity (EC) of water wells. The electrical sounding survey has been made to determine the subsurface geoelectrical layers and some physical and geometrical specifications of the groundwater aquifer. When the saline and fresh ground waters are adjacent, due to flowing of fresh water to saline water, their interface is not horizontal. Thus, to determine the depth of the interface between the fresh water and saline water more accurately, we have carried out the resistivity profiling surveys using the Wenner array. The resistivity sounding data have been modeled and interpreted using standard and auxiliary curves and also IX1D and IPI2WIN software packages. Interpretation of resistivity profiling data has also been made with the help of RES2DINV and ZondRes2d. The interpretation results indicate somewhat the depth of saline water. the amount of salts existed above the aquifer, i.e. in surface and subsurface soils, have been increased. The EC values of samples obtained from the mixture of soil and water with the ration of 1 to 5, respectively, have been measured to investigate the salinity amount of the soil. The results indicate the moderate salinity in the soil that confirms the interpretation results of resistivity sounding and profiling surveys. Due to having lower electrode separations of the Wenner array in survey line A in respect to survey line B, the penetration depth along the survey line A is comparatively lower. The resistivity cross sections indicate different salinity zones. The obtained resistivity results are in good agreement with the EC results from the water wells and indicate the saline water intrusion into the groundwater. To impede the saline water intrusion, extraction management of water from the wells is obviously necessary.

**Keywords:** Electrical resistivity, Desert saline water intrusion, Sounding, Profiling, Wenner electrode array, Hosseinabad-e-Doolab, Damghan.



**University of Shahrood**

**Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering**

**Evaluation of desert saline water intrusion into Damghan groundwater aquifer  
and determination of the aquifer salinity and quality using electrical resistivity  
method**

**Saeed ghorbani sehat**

**Supervisor(s):**

**Dr. Abolghasem Kamkar Rouhani**

**Dr. Iradj Pirouz**

**November 2015**