

## تعیین ویژگی‌های آب زیرزمینی دشت شیرین آب در جنوب غرب ایران با روش مقاومت الکتریکی

لطیف صمدی<sup>۱</sup> و محمد نخعی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی تهران

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۰

### چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های آب زیرزمینی نظیر عمق، ضخامت، زون‌های مستعد، منبع شوری و زمین‌شناسی زیر سطحی در حوضه شیرین آب در جنوب غرب ایران با استفاده از سونداژ الکتریکی قائم (VES) و اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری تعیین شده است. در این منطقه بدلیل بالا بودن نرخ رشد جمعیت، نیاز به منابع جدید آب افزایش یافته و در اثر ازدیاد برداشت، منابع موجود آب شرب و کشاورزی تهدید می‌شود. در این منطقه تعداد ۱۷۰ سونداژ الکتریکی در ۱۹ پروفیل با آرایه شلومبرژه اجرا شده است. بیشترین فاصله بین الکترودهای جریان (AB) ۱۰۰۰ متر است. در این تحقیق نتایج زیر بدست آمده است: ۱- محدوده مورد مطالعه آبخوان آبرفتی است و توسط طاق‌دیس کوهانک به دو ناحیه شمالی و جنوبی تقسیم شده است. ۲- با استفاده از نتایج پردازش نمودارهای الکتریکی و تغییرات مقاومت الکتریکی، زون‌های شور و شیرین و مرز آنها تفکیک شده است. ۳- نقشه تغییرات رسانایی الکتریکی و میزان کلر در نمونه‌های آب چاه‌های بهره‌برداری همبستگی خوبی دارند و نشان می‌دهند که شوری عامل اصلی کنترل‌کننده مقاومت الکتریکی است. ۴- مقاومت الکتریکی ویژه آبخوان در نیمه شمالی دشت ۱۳ تا ۳۸۰ اهم متر و در نیمه جنوبی ۴ تا ۲۱۹ اهم متر است. ۵- با توجه به مسیر و سرچشمه رودخانه شور آب و همچنین جهت جریان آب زیر زمینی به نظر می‌رسد تشکیلات ماسه‌ای - مارنی سازند آغاچاری منبع اصلی شوری آب دشت می‌باشد. ۶- نقشه تغییرات مقاومت الکتریکی عرضی (RT) در محدوده دشت محاسبه و رسم شده است. با توجه به اینکه مقاومت الکتریکی عرضی با تراوایی آبخوان متناسب می‌باشد با استفاده از این نقشه، زون‌های مستعد جهت حفر چاه‌های بهره‌برداری تفکیک شده اند.

واژه‌های کلیدی: سونداژ الکتریکی قائم (VES)، مقاومت عرضی (RT)، شوری، حوضه شیرین آب، ایران

### مقدمه

سوی دیگر می‌تواند بطور موثر در تخمین میزان آب، مدیریت و کنترل کیفیت آب، تعیین سطح (عمق) آب، ضخامت آبخوان و سنگ کف استفاده شود (Hubbard and Rubin, 2002).

در مطالعات سفره‌های آب زیرزمینی از کمیت مقاومت عرضی استفاده می‌شود و بصورت حاصل ضرب ضخامت سفره در مقاومت الکتریکی ویژه تعریف می‌شود. مقاومت عرضی کمیت مرکبی است که ارتباط مستقیم با تراوایی هیدرولیکی آبخوان دارد (Niwas and Singhal, 1981). در مناطقی که آزمایش پمپاژ

شناخت ویژگی‌های آبخوان در مدیریت منابع آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است. این پارامترها معمولاً با کمک آزمایش پمپاژ تخمین زده می‌شوند. تعداد چاه‌های موجود در منطقه ممکن است از یک سو محدود باشد و از سوی دیگر انجام آزمایش پمپاژ زمان بر و پرهزینه است. روش‌های ژئوفیزیکی بخصوص ژئوالکتریک، روش مناسب در تعیین پارامترهای آبخوان است. روش ژئوالکتریک از یک سو کم هزینه بوده و از

شرق محدوده سرچشمه می‌گیرند از میانه دشت می‌گذرند. از نظر زمین‌شناسی منطقه شیرین آب در حوزه رسوبی پهنه ایران جنوبی (ورق زاگرس) قرار دارد. زاگرس از نظر ریخت‌شناسی از شمال شرق به جنوب غرب شامل زاگرس مرتفع، زاگرس چین خورده و دشت خوزستان است (آقائباتی، ۱۳۸۵).

زاگرس مرتفع با پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر به صورت نواری کم پهن است و بلندترین قسمت‌های رشته کوه‌های زاگرس را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). سنگ‌های تشکیل دهنده ارتفاعات در زاگرس مرتفع بیشتر از نوع مارن، رادیولاریت، افیولیت و انباشته‌های آواری است. از ویژگی‌های زاگرس مرتفع وجود راندگی فراوان است (آقائباتی، ۱۳۸۵).

زاگرس چین خورده با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر ناوه حاشیه‌ای سپر عربستان است که در مزوزوئیک و سنوزوئیک در حال نشست پیوسته بوده است. در زاگرس چین خورده رخنمونی از سنگ‌های پرکامبرین دیده نشده است (آقائباتی، ۱۳۸۵).

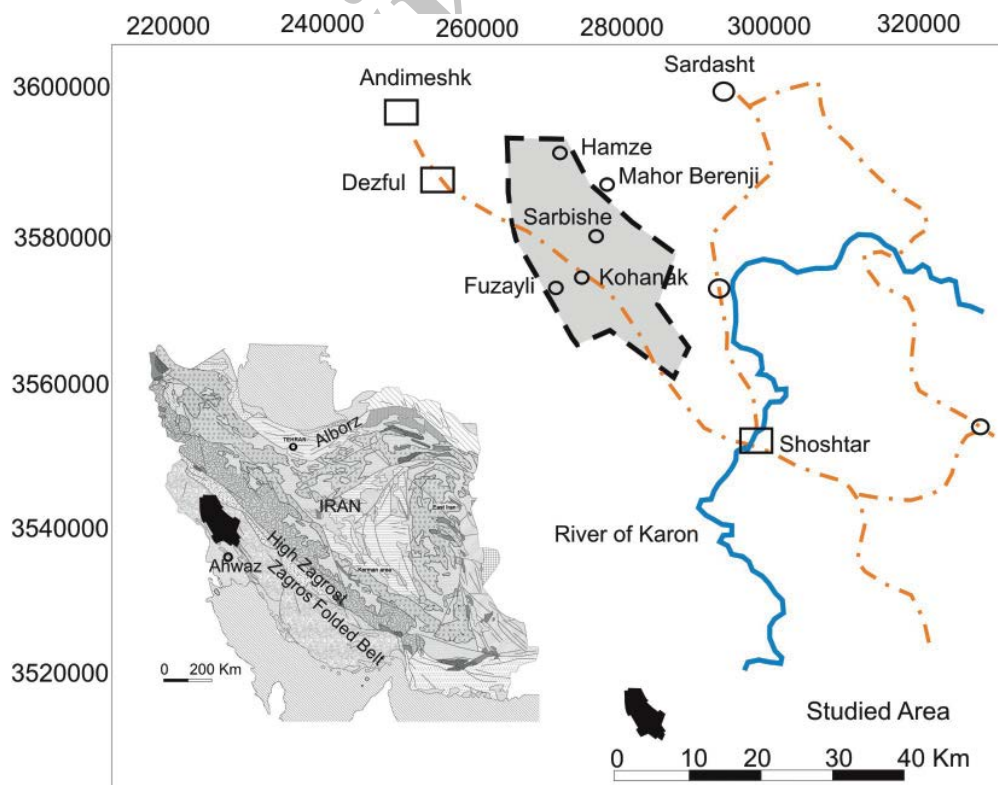
سرزمین خوزستان از نظر زمین‌شناسی ساختمانی قسمتی از زاگرس چین نخورده است. این بخش از حوزه زاگرس، توپوگرافی همواری دارد. از ویژگی‌های سرزمین خوزستان تشکیل چین‌های ملایم با روند شمالی جنوبی است. آب‌های روان مواد حاصل از فرسایش کوه‌های زاگرس را در سطح چین ساختمانی متراکم نموده و شکل کنونی به آن بخشیده است. مقطع تیپ سنوزوئیک (پالئوسن - الیگو میوسن) در زاگرس بترتیب از عمق به سطح، شامل سازندهای پابده (شیل و آهک مارنی)، آسماری (ماسه سنگ آهکی)، گچساران (تناوب آهک نازک

وجود ندارد از تحلیل نمودارهای سونداژ الکتریکی می‌توان ضخامت و مقاومت الکتریکی آبخوان و در نتیجه مقاومت عرضی آن را محاسبه کرد. منطقه شیرین آب در جنوب غرب ایران و در شمال شرق اهواز قرار دارد. در این منطقه به دلیل بالا بودن نرخ رشد جمعیت از یک سو نیاز به منابع جدید آب افزایش یافته و از سوی دیگر منابع موجود آب شرب و کشاورزی در اثر ازدیاد برداشت تهدید می‌شود. در این منطقه آب زیر زمینی منبع اصلی برای مصارف شرب و کشاورزی است.

این تحقیق در چارچوب برنامه مطالعات ملی برای تعیین ویژگی سفره و کیفیت آب در محدوده شیرین آب اجرا شده است. هدف این مقاله استفاده از داده‌های مقاومت الکتریکی و پردازش نمودارهای سونداژ الکتریکی برای شناخت هندسه سفره، ضخامت آبرفت، عمق سطح آب، تعیین سنگ کف، شناسایی زون های مستعد و تراوا و تفکیک زونهای شور و شیرین در بستر دشت برای حفاظت، ذخیره و عرضه آب است.

### زمین‌شناسی منطقه

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه  $۲۷^{\circ}۳۲' - ۳۰^{\circ}۴۸'$  شمالی و  $۴۵^{\circ}۴۸' - ۳۰^{\circ}۴۸'$  طول شرقی است. طول محدوده بطور متوسط ۳۵ کیلومتر، گسترش عرضی آن حدود ۱۱ کیلومتر و مساحت محدوده حدود ۳۶۵ کیلومتر مربع است. محدوده مورد مطالعه از شرق و شمال شرق به ارتفاعات زرد آب بید و کوه تدریه و از غرب به اراضی زمین‌های شبکه کرخه و دز محدود است (شکل ۱). رودخانه‌های شیرین آب و شور آب که از ارتفاعات

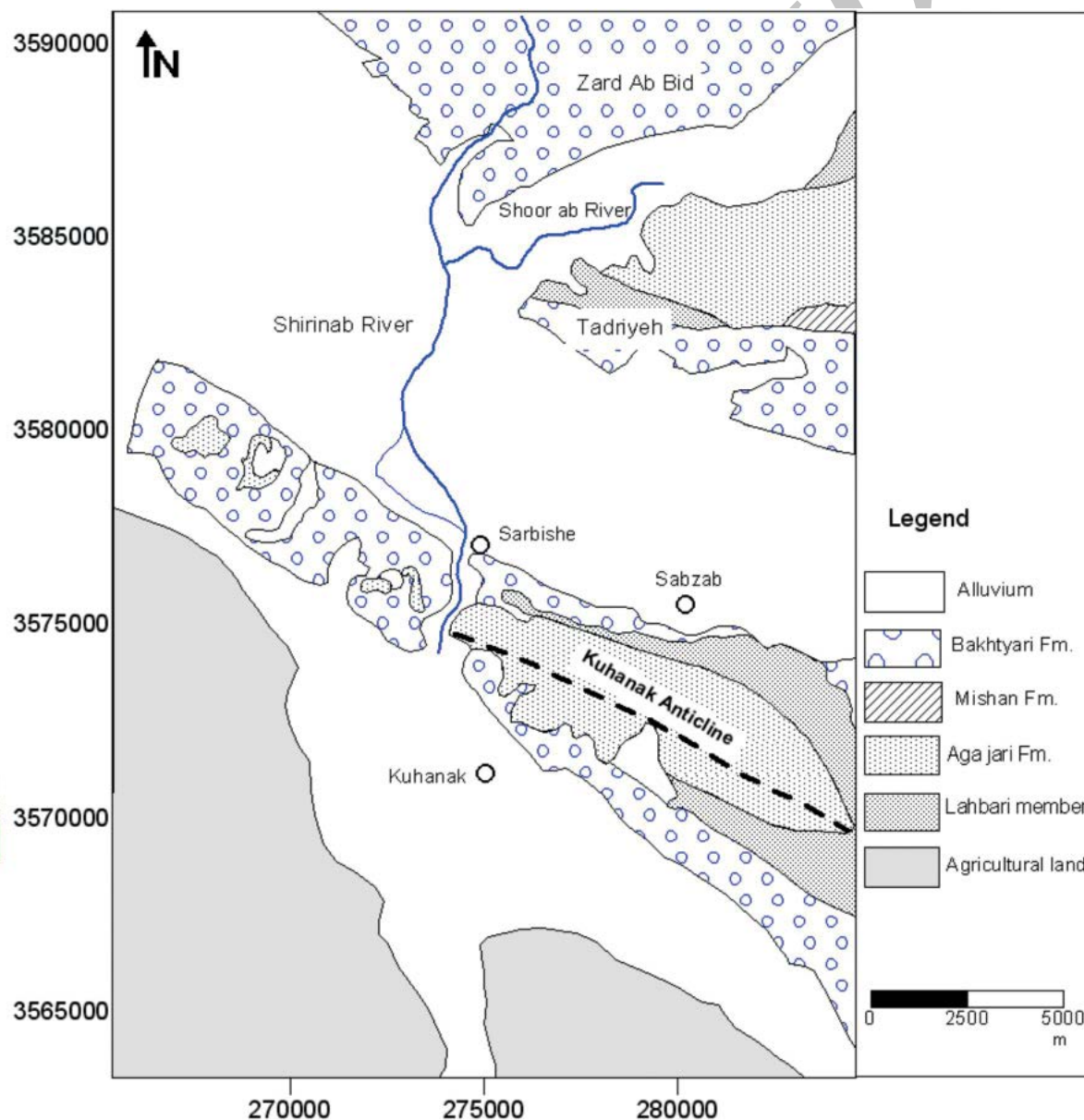


شکل ۱. نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه در دشت تالوگ

### شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای گرم و خشک بوده و میانگین بارش سالیانه ۲۵۰ میلی متر است (Rouhipour, 2006). رود کارون، بزرگترین رودخانه ایران در این استان جریان دارد. بیش از یک سوم کل آب‌های سطحی ایران بالغ بر ۹۶ بیلیون متر مکعب وارد استان خوزستان می‌شود. با این وجود بیشتر ساکنین مناطق مرکزی و جنوبی با کمبود آب مخصوصاً در تابستان مواجه هستند (Afkhani et al., 2007). رودخانه‌های شیرین آب و شور آب که از ارتفاعات شمال شرق سرچشمه می‌گیرند از میانه دشت می‌گذرند (شکل ۲). به نظر می‌رسد این رودخانه‌ها از زون گسکی عبور می‌کنند. این سفره عموماً توسط بارش سالیانه و جریان آب‌های سطحی که از ارتفاعات شرق منطقه سرچشمه می‌گیرد تغذیه شده و توسط جریان‌های زیر زمینی بطور طبیعی

لایه، شیل و انیدریت)، میشان(مارن و آهک)، آجاجاری(ماسه سنگ، مارن ژپس‌دار و سیلتستون) و کنگلومرای بختیاری است (National Iranian Oil Company, 1967). بخشی از سازند آجاجاری به نام بخش لهبری از سیلت استون رنگین، ژپس، مارن سیلتی و ماسه سنگ است. عموماً سنگ کف در حوزه شیرین آب از کنگلومرای بختیاری و سازند آجاجاری تشکیل شده است. در قسمت میانی حوزه، رخنمونی از کنگلومرای بختیاری و آجاجاری در طاق‌دیس کوهانک مشاهده می‌شود(شکل ۲). سطح محدوده مطالعات از رسوبات جوان تشکیل شده است. این رسوبات عموماً ترکیبی از آبرفت ریز دانه، سیلت و رس، گراول و ماسه است که از تخریب و فرسایش ارتفاعات مجاور در شرق منطقه و حمل توسط رودخانه شیرین آب و شور آب که از میانه دشت عبور می‌کنند بوجود آمده است.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده دشت تالوگ

زمینی و تعیین ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی پیدا کرده است. از سونداژ الکتریکی قائم در مطالعات هیدروژئولوژی جهت تعیین عمق، ضخامت و مرز آبخوان (Ibe Sr and Uzoukwu, 2001; Zohdy, 1969)، آلودگی آب زیرزمینی (Kaya, 2001; Kelly, 1976)، تعیین مرز بین آب شور و شیرین (Awni, 2006; El-Jackson, et al., 1978)، تخلخل سفره (Wahedi, 1992; Mohamed, 2006)، هدایت هیدرولیکی سفره (Singhal et al., 1998; Yadav and Abolfazl, 1998)، و تراوایی سفره (Kelly, 1977; Niwas and Singhal, 1985; Kosinski, 1981) استفاده می‌شود. مقاومت عرضی<sup>۱</sup> که بصورت حاصل ضرب ضخامت سفره در مقاومت الکتریکی ویژه تعریف می‌شود کمیت مرکبی است که ارتباط مستقیم با تراوایی هیدرولیکی آبخوان<sup>۲</sup> دارد. با معلوم بودن ضخامت و مقاومت الکتریکی حقیقی لایه‌ها که از تفسیر داده‌های سونداژ الکتریکی حاصل می‌شوند، مقاومت عرضی (T) آبخوان محاسبه می‌شود. رابطه تجربی زیر بین مقاومت الکتریکی عرضی و تراوایی وجود دارد. این رابطه در سال ۱۹۸۱ توسط نیواس و همکاران ارائه شده است (Niwas and singhal, 1981):

$$T = K\sigma T \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $T'$  - تراوایی آبخوان،  $T$  - مقاومت عرضی،  $K$  - نفوذ پذیری هیدرولیکی<sup>۳</sup> و  $\sigma$  رسانایی الکتریکی ویژه است.  $T$  یکی از پارامترهای دارزاروک<sup>۴</sup> است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T = h \cdot \rho \quad (2)$$

در رابطه (۲)،  $\rho$  و  $h$  به ترتیب ضخامت و مقاومت الکتریکی ویژه لایه است. تحقیقات نشان می‌دهد در مناطقی که از زمین‌شناسی و کیفیت آب مشابه برخوردار هستند کمیت  $K\sigma$  ثابت بوده و رابطه بین تراوایی و مقاومت عرضی خطی است (Kosinski and Kelly, 1981; Niwas and Singhal, 1985). بنابراین در مناطقی که آزمایش پمپاژ وجود ندارد مقاومت عرضی کمیتی است که روند تغییرات آن با تراوایی آبخوان متناسب است.

### برداشت و تحلیل داده‌ها

مطالعات صحرایی و سونداژهای ژئوالکتریکی در بهار ۱۳۸۷ انجام گرفته است. در این مطالعه تعداد ۱۷۰ سونداژ الکتریکی با آرایه شلومبرژه در ۱۹ پروفیل طولی اجرا شده است (شکل ۳). فواصل پروفیل‌های ژئوالکتریکی بین ۱ تا ۱/۵ کیلومتر و فواصل سونداژها حدود ۱ کیلومتر است. مختصات جغرافیایی نقطه‌های سونداژ با GPS برداشت شده است. با توجه به موقعیت محل‌های سونداژ الکتریکی، ماکزیمم فاصله بین الکترودهای تغذیه (AB) از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ متر است.

به رودخانه شیرین آب و همچنین رود کارون در جنوب شرق محدوده تخلیه می‌شود. آب دشت بصورت مصنوعی از طریق چاه‌های بهره‌برداری که در محدوده دشت حفاری شده‌اند تخلیه می‌شود. از این چاه‌ها بیشتر برای کشاورزی استفاده می‌شوند. توسعه سریع کشاورزی در منطقه موجب افزایش نیاز به آب شده است. مشاهدات نشان می‌دهند که سطح آب در منطقه کاهش می‌یابد. دلیل این افت ناشی از برداشت زیاد آب در مقایسه با میزان تغذیه طبیعی در سال‌های اخیر است.

این مطالعه بر اساس داده‌های ۱۷۰ سونداژ الکتریکی قائم، اطلاعات لیتولوژی و آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در ۲۰ حلقه چاه بهره‌برداری است. از پردازش مجموعه داده‌ها برای محاسبه شرایط ساختمانی و هیدروژئولوژی تا عمق ۲۵۰ متر استفاده شده است. بر اساس نتایج این مطالعات، کیفیت آب زیرزمینی و محدوده مناسب برای توسعه چاه‌های بهره‌برداری نیز تعیین شده است.

### سونداژ الکتریکی قائم

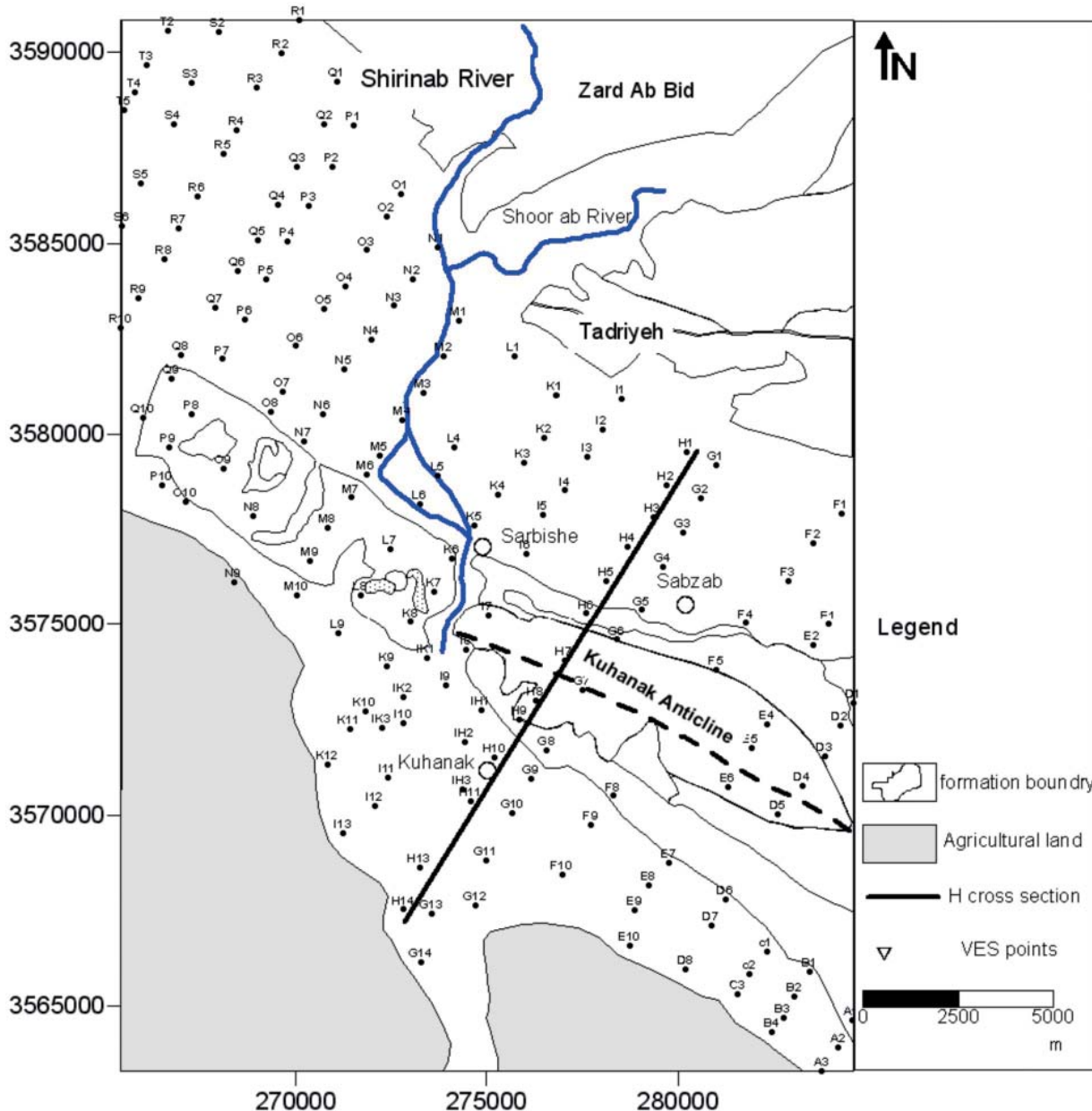
هر چند روش‌های سونداژ الکتریکی و الکترومغناطیسی متعددی نظیر سونداژ مگنتو تلوریک<sup>۱</sup>، سونداژ فرکانسی<sup>۲</sup>، سونداژ گذری در حوزه زمان<sup>۳</sup> توسعه یافته‌اند، اما روش سونداژ الکتریکی قائم<sup>۴</sup> بدلیل سادگی، کم بودن هزینه اجرا و مفید بودن، کاربرد زیادی در حل ابهامات آب زیرزمینی آبرفتی، کارستی و تشکیلات زمین‌شناسی سخت پیدا کرده است. اولین بار سونداژ الکتریکی قائم (VES) در سال ۱۹۱۲ توسط کونراد شلومبرژه اجرا شده است (Koefoed, 1979; Matviev, 1982).

اصول فیزیکی روش VES در سال ۱۹۲۰ توسعه یافته است (Gish and Rooneys, 1925). در روش سونداژ الکتریکی قائم، رابطه بین مقاومت الکتریکی مواد با عمق مطالعه می‌شود. مقاومت الکتریکی مواد به عوامل داخلی (ترکیب کانی شناسی و ساختمان درونی) و عوامل خارجی (تخلخل، درزو شکاف، آب زیر زمینی، میزان شوری، لیتولوژی سفره، درجه حرارت و...) بستگی دارد (Khemelevskoy and Shevnin, 1994).

در روش VES، جریان الکتریکی ثابت از طریق زوج الکترودهای تغذیه (AB) به زمین ارسال شده و اختلاف پتانسیل الکتریکی از طریق زوج الکترودهای پتانسیل (MN) اندازه‌گیری می‌شوند. عمق نفوذ جریان الکتریکی به فاصله الکترودهای تغذیه (AB) بستگی دارد. با تغییر دادن فاصله بین الکترودهای تغذیه می‌توان لیتولوژی مقطع را در راستای عمودی تفکیک نمود. امروزه روش VES کاربرد زیادی در اکتشافات منابع آب زیر

- 1- Magnetotelluric
- 2- Frequency Sounding (FS)
- 3- Transit Sounding (TS) , Time Domain
- 4- Electromagnetic Sounding (TDEM)
- 5- Vertical Electrical Sounding (VES)
- 6- Transverse resistivity
- 7- Aquifer transmissivity
- 8- Hydraulic permeability
- 9- Dar-zarouk



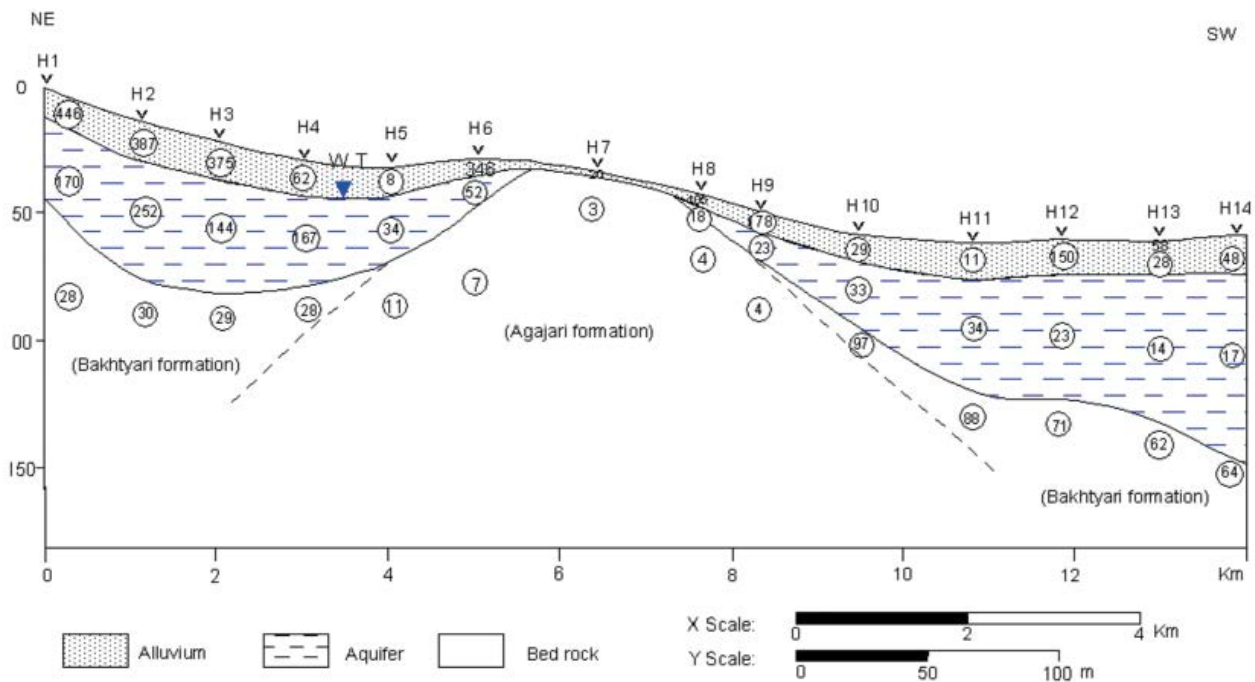


شکل ۳. نقشه موقعیت سونداژهای الکتریکی در محدوده مطالعات

رایانه‌ای با توجه به ویژگی‌های مقطع ژئوالکتریکی و اطلاعات زمین‌شناسی، برای هر نقطه سونداژ یک مدل اولیه تخمین زده می‌شود و با مقایسه منحنی صحرایی و منحنی مدل (تئوری) در چند مرحله با تغییر دادن پارامترهای مدل، بهترین انطباق بین منحنی صحرایی و تئوری حاصل می‌شود که این مرحله را حل وارون<sup>۲</sup> می‌گویند. پارامترهای مدل در نهایت بعنوان پارامتر مقطع منظور می‌شود. در سونداژ الکتریکی قائم (VES) مقاومت الکتریکی ظاهری، تابع ضخامت و مقاومت الکتریکی ویژه حقیقی لایه‌ها است. بدلیل وجود اصل هم ارزی در منحنی‌های سونداژ الکتریکی از اطلاعات لیتولوژی تعداد ۲۰ حلقه چاه آب بهره‌برداری در محل سونداژها استفاده شده است. در این چاه‌ها

معمولاً داده‌های سونداژ الکتریکی با کمک منحنی‌های الگوی<sup>۱</sup> دو لایه، سه لایه و یا با استفاده از برنامه کامپیوتری تفسیر می‌شوند (Khemelevskoy and Shevnin, 1994). در این پروژه مطالعاتی به موازات برداشت صحرایی، برای هر نقطه، مقاومت الکتریکی ویژه ظاهری برحسب  $AB/2$  در مقیاس لگاریتمی رسم شده و با استفاده از منحنی‌های الگوی دو لایه روند تغییرات مقطع و همچنین کیفیت داده‌ها در صحرا کنترل شده است. اصول تبدیل منحنی‌های سونداژ الکتریکی به ضخامت و مقاومت الکتریکی ویژه حقیقی لایه‌ها توسط کفود و دیگران پایه‌گذاری شده است (Zohdy and Bisdorf, 1989; Koefoed, 1979). برای تفسیر نهایی داده‌ها از برنامه رایانه‌ای استفاده شده است. در روش

1- Master curve  
2- Inversion



شکل ۴. مقطع ژئوالکتریکی حوضه شیرین آب در امتداد پروفیل H

مقطع ژئوالکتریکی پروفیل H را بعنوان نمونه نشان می‌دهد. پروفیل H از میانه دشت عبور می‌کند (شکل ۳). به طوریکه در مقطع H دیده می‌شود اولاً محدوده دشت توسط طاقدیس کوهانک به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم شده است و ثانیاً ساختار دشت در هر دو نیمه از سه لایه اصلی شامل: آبرفت خشک، آبرفت آبدار و سنگ کف تشکیل شده است. سنگ کف در محدوده‌های منتهی به طاقدیس، از سازند آغاچاری و در بقیه قسمت‌ها از کنگلو برای بختیاری تشکیل شده است. مقاومت الکتریکی متوسط در نیمه شمالی دشت در مجموعه پروفیل‌ها در آبرفت خشک، اشباع، سنگ کف (بختیاری و آغاچاری) به ترتیب ۲۷۰، ۱۵۱، ۵۴ و ۶ اهم متر و در نیمه جنوبی به ترتیب ۱۱۰، ۳۵، ۵۰ و ۵ اهم متر است. عمق و ضخامت متوسط لایه آبدار در ضلع شمالی به ترتیب ۲۹ و ۶۹ متر و در نیمه جنوبی به ترتیب ۱۸ و ۱۰۰ متر است. در جدول ۱

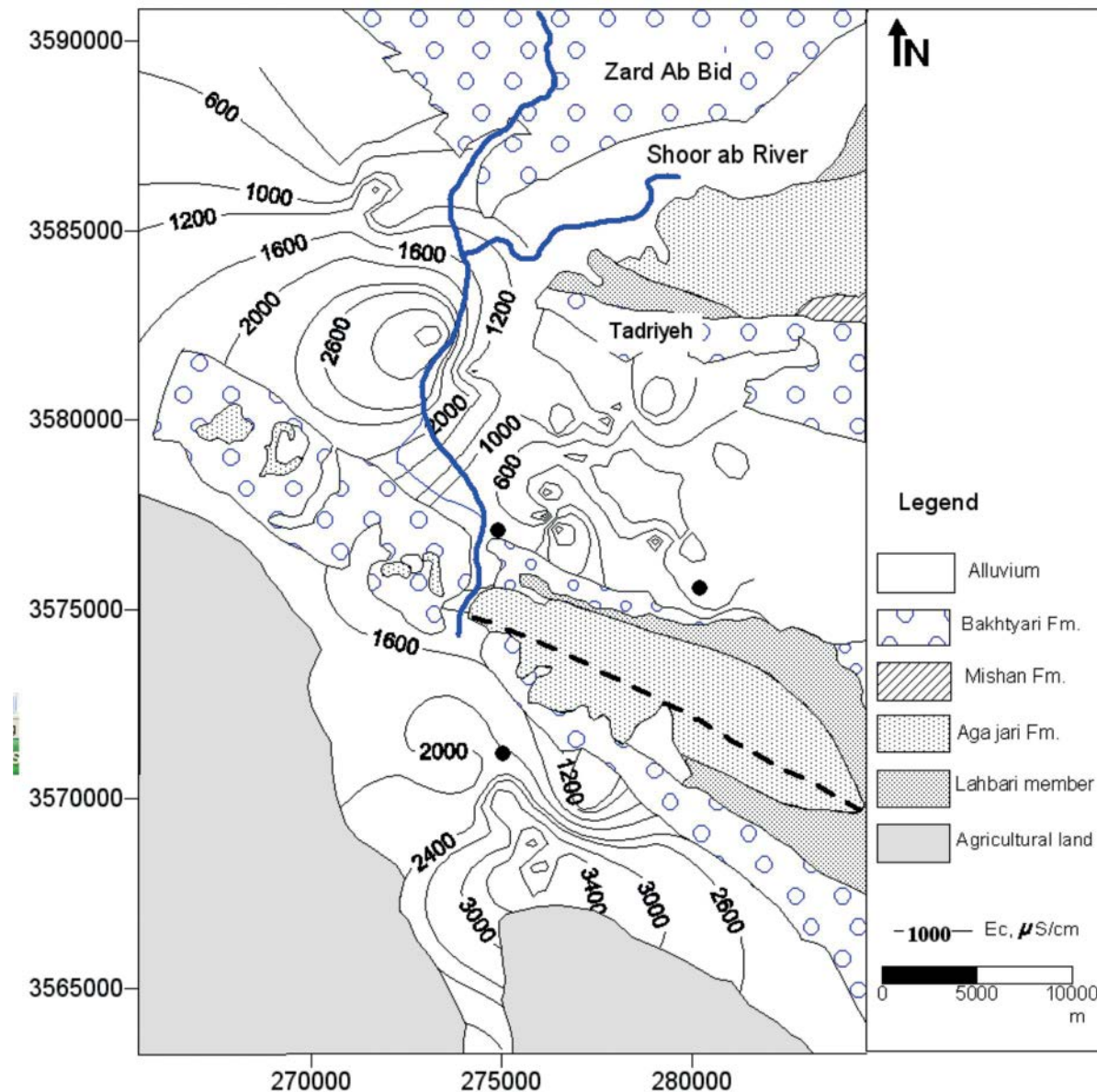
اطلاعات مربوط به سطح آب، لیتولوژی، هدایت الکتریکی (EC) و آنالیز شیمیایی درج شده است. از تفسیر نمودارهای سونداژ الکتریکی در هر نقطه، ضخامت و مقاومت الکتریکی حقیقی لایه‌ها محاسبه شده است. در تفسیر کمی داده‌ها از نرم افزار IPI2win استفاده شده است (Bobachev, 1994). بدلیل استفاده از اطلاعات چاه‌های موجود در مراحل تفسیر، نتایج بدست آمده از دقت بالایی برخوردار است. پارامترهای هیدروژئولوژیکی دشت شیرین آب در جدول ۱ خلاصه شده است.

### بحث و بررسی

نتایج پردازش نمودارهای الکتریکی در هر پروفیل بصورت مجموعه‌ای از مقاطع ژئوالکتریکی محاسبه شده و خلاصه‌ای از پارامترهای این پروفیل‌ها در جدول ۱ بیان شده است. شکل ۴

جدول ۱. پارامترهای هیدروژئولوژیکی دشت مورد مطالعه

Aquifer parameter	North part	South part
Alluvium resistivity range (Ohm-m)	۷۳۰-۸	۵۵۶-۶
Aquifer resistivity range (Ohm-m)	۳۸۰-۱۳	۲۱۹-۴
Bedrock (Bakhtyari Fm) resistivity range(Ohm-m)	۲۱۱-۱۶	۱۵۹-۲۷
Bedrock (Aghajari Fm) resistivity range(Ohm-m)	۱۲-۷	۱۰-۴
Ground water depth, m	۶۲-۲	۴۴-۲
Aquifer thickness, m	۱۵۰-۱۰	۲۰۰-۳۰
EC range Mmose/Cm	۳۰۰۰-۶۰۰	۳۰۰۰-۱۲۰۰
Chloride concentration range, mg/l	۲۲-۲	۳۲-۴

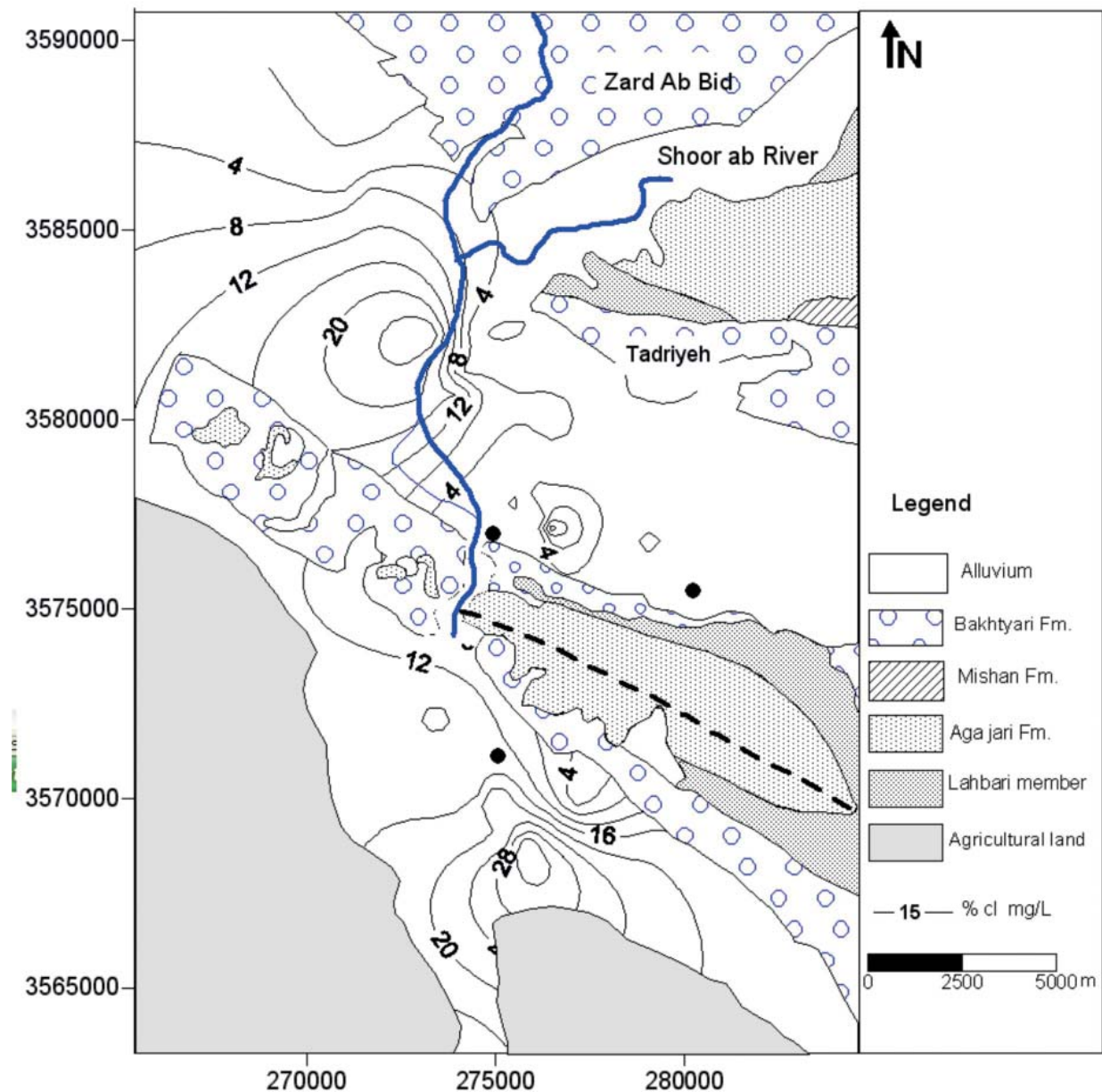


شکل ۵. منحنی تغییرات رسانایی الکتریکی در نمونه‌های چاه‌های بهره‌برداری

در قسمت مرکزی در مسیر رودخانه‌های شیرین آب و شور آب، میزان مقاومت عرضی کمتر از ۵۰۰۰ اهم-متر مربع است و این محدوده برای توسعه مناسب نیست. در نیمه جنوبی طاق‌دیس کوهانک (area2 در شکل ۷) محدوده‌های غرب و جنوب مرکزی دشت از پتانسیل خوبی برخوردار است. با توجه به شکل ۷ عموماً از شمال به جنوب و جنوب شرق مقاومت عرضی و در نتیجه تراوایی هیدرولیکی کاهش می‌یابد. مقایسه شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که بین میزان غلظت کلر موجود در آب و رسانایی الکتریکی همبستگی خوبی وجود دارد به طوری‌که شوری یکی از عوامل اصلی در کنترل مقاومت الکتریکی است. این موضوع موجب شده است که نقشه RT نیز با دو نقشه شکل‌های ۵ و ۶ هم خوان باشد و در زون‌های شور (کلر و EC بالا) میزان مقاومت عرضی کاهش یابد. با توجه به سرچشمه و مسیر جریان

خلاصه‌ای از پارامترهای الکتریکی محدوده دشت بیان شده است. با استفاده از نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های آب در چاه‌های بهره‌برداری، منحنی‌های تغییرات رسانایی الکتریکی و میزان کلر بترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ رسم شده‌اند. دامنه تغییرات رسانایی الکتریکی در نیمه شمالی و جنوبی دشت بترتیب ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ و ۱۲۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر است. تغییرات میزان کلر در نیمه شمالی و جنوبی بترتیب ۲ تا ۲۲ و ۴ تا ۳۲ میلی‌گرم در لیتر است. نقشه تغییرات مقاومت عرضی (RT) آبخوان در محدوده دشت در شکل ۷ رسم شده است. نقشه (RT) نشان می‌دهد که در نیمه شمالی طاق‌دیس کوهانک (area1)، قسمت‌های شمال غرب و جنوب شرق برای توسعه منابع آب و بهره‌برداری مناسب است. در این محدوده میزان مقاومت عرضی از ۵۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ اهم-متر مربع است.





شکل ۶. منحنی تغییرات میزان کلر در نمونه‌های چاه‌های بهره‌برداری

شده است و در هر بخش از سه لایه اصلی آبرفت خشک، آبخوان و سنگ کف تشکیل شده است.

۲- ضخامت متوسط لایه‌های خشک، اشباع در نیمه شمالی دشت بترتیب ۲۹ و ۶۹ متر و در نیمه جنوبی ۱۸ و ۱۰۰ متر است. مقاومت الکتریکی ویژه متوسط در آبرفت خشک، اشباع و سنگ کف (بختیاری و آغاچاری) در نیمه شمالی بترتیب ۲۷۰، ۱۵۱، ۵۴ و ۶ اهم متر و در نیمه جنوبی بترتیب ۱۱۰، ۳۵، ۵۰ و ۵ اهم متر است.

۳- مقاومت الکتریکی آبخوان از شمال غرب به جنوب و جنوب شرق کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه تغییرات میزان کلر و EC، علت این کاهش می‌تواند ناشی از افزایش شوری باشد.

۴- با توجه به نقشه مقاومت عرضی (RT)، پتانسیل آبخوان در محدوده مطالعات تعیین شده است. نقشه RT نشان می‌دهد

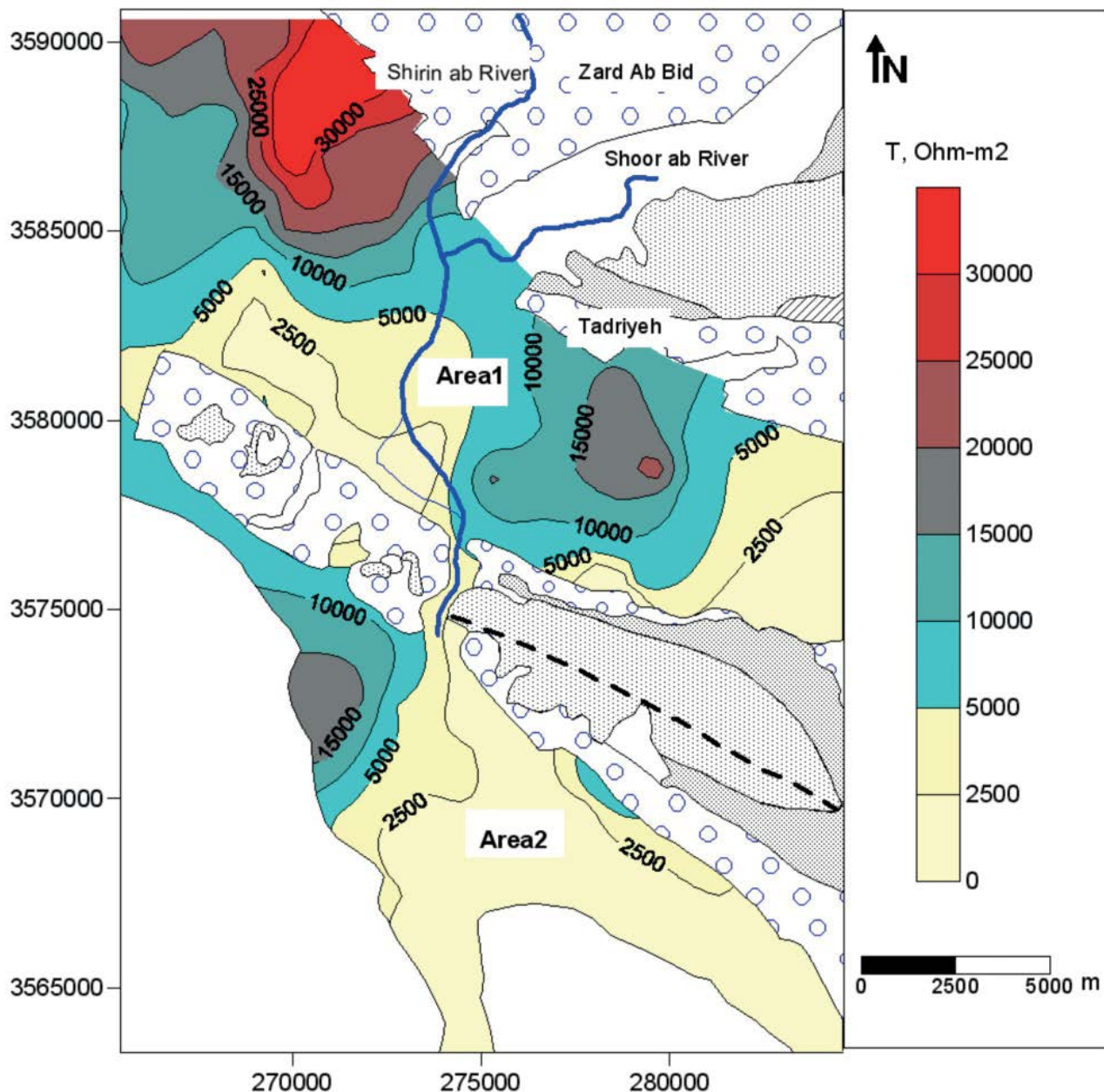
رودخانه شور آب که از شمال به جنوب جریان دارد و همچنین جهت جریان آب زیرزمینی در سفره که از شمال غرب به جنوب و جنوب شرق می‌باشد، به نظر می‌رسد عامل شوری، ناشی از سازند آغاچاری در سرچشمه رودخانه شور آب بوده و وارد سفره آب زیرزمینی می‌شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات نشان می‌دهد روش ژئوالکتریک (VES) ابزار قوی در مطالعات هیدروژئولوژی و شناخت ویژگی‌های آبخوان است. از تفسیر مجموعه داده‌های ژئوالکتریک در محدوده دشت شیرین آب نتایج زیر حاصل شده است:

۱- آبخوان آبرفتی در راستای شمال غرب - جنوب شرق توسط طاقدیس کوهانک به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم





شکل ۷. نقشه تغییرات مقاومت عرضی (RT) در محدوده دشت شیرین آب

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان آب و برق خوزستان بدلیل حمایت‌های مالی این پروژه مطالعاتی و تحقیقاتی و همچنین تامین اطلاعات چاه‌های موجود در منطقه، کمال تشکر و قدردانی را دارد.

### منابع

- آقائباتی، س.ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

- Afkhani, M., Shariat, N., Ghadri, H. and Nabizadeh, R., 2007. Developing a water quality management model

که محدوده شمال غرب و جنوب شرق در نیمه شمالی دشت و محدوده‌های جنوب غرب در نیمه جنوبی دشت پتانسیل بالایی برای توسعه و بهره‌برداری دارند. محدوده‌های فوق تراوایی هیدرولیکی بالایی دارند.

۵- همبستگی بین میزان کلر و مقاومت الکتریکی نشان می‌دهد که شوری عامل اصلی کنترل‌کننده مقاومت الکتریکی است. با توجه به سرچشمه و مسیر جریان رودخانه شور آب و همچنین جهت جریان آب زیرزمینی سفره که از شمال غرب به جنوب و جنوب شرق می‌باشد، به نظر می‌رسد علت شوری ناشی از سازند آغاچاری در مسیر و سرچشمه رودخانه شور آب و ورود آن به سفره است.

for Karoon and Dez rivers. Iranian Journal Environmental Health Science Engineering. 4, 106.

- Awni, T.B., 2006. Use of electrical resistivity methods for detecting subsurface fresh and saline water and delineating their interfacial configuration: a case study of the eastern Dead Sea coastal aquifers, Jordan. Hydrogeology Journal, 14, 12, 77-83.

- Bobachev, A.A., 1994. IPI2Win software: <http://geophys.geol.msu.ru/ipi2win.htm>

- El-Wahedi, M.M., Merlanti, F. and Pavan, M., 1992. Geoelectrical resistivity survey of the central part of Azrak Basin (Jordan) for identifying saltwater/ fresh water interface. Journal of Applied Geophysics, 50, 125-133.

- Gish, O.H. and Rooney, W.J., 1925. Measurement of receptivity of large masses of undisturbed earth, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, 30, 161-188.

- Hubbard, S. and Rubin, Y., 2002. Hydrogeophysics: State-of-the-Discipline, EOS Article, 83, 51, 602-606.

- Ibe Sr, K.M. and Uzoukwu, S.C., 2001. An appraisal of subsurface geology and groundwater resources of owerri and environs Based based on electrical resistvity survey and borehole data evaluation. Environmental Monitoring and Assessment, 70, 303-321.

- Jackson, P.N., Taylor, S.D. and Stanford, P.N., 1978. Resistivity porosity particle shape relationships for marine sands. Geophysics, 43, 12, 50-68.

- Kaya, G.K., 2001. Investigation of ground water contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste disposal site: a case study from Isparta, Turkey, Environmental. Geology. 14, 725-731.

- Kelly, W.E., 1977. Geoelectrical sounding for estimating aquifer hydraulic conductivity. Ground Water, 5, 420-425.

- Kelly, W.E., 1976. Geoelectrical sounding for delineating ground water contamination, Ground Water, 14, 6-11.

- KHEMELEVSKOY, V.K., 1984. Geoelectrical prospecting, Moscow, MSU, 422.

- KHEMELEVSKOY, V.K. and SHEVNIN, V. A., 1994. Resis-

tivity Method of Exploration, Moscow, MSU 160.

- Koefoed, O., 1979. Geosounding Principle-1, resistivity sounding mesurments Amsterdam, Elsevier, 276.

- Kosinski, W.K. and Kelly, E.W., 1981. Geoelectrical sounding for predicting aquifer properties. Ground Water, 19, 163-171.

- Matviev, B.K., 1982. Geoelectrical exploration, Moscow, Nedra, 380.

- Mohamed H. K., 2006. Geoelectric resistivity sounding for delineating salt water intrusion in the Abu Zenima area, west Sinai, Egypt. Journal of Geophysics and Engineering, 3, 243-251.

- National Iranian Oil Company (NIOC), 1967. Geological Compilation Map of Shushtar, scale 1:100,000.

- Niwas, S. and Singhal, D.C., 1981. Estimation of aquifer transmissivity from Dar Zarrouk parameters in porous media. Hydrology, 50, 393-399.

- Niwas, S. and Singhal, D.C., 1985. Aquifer transmissivity of porous media from resistivity data. Journal of Hydrology, 82, 143-153.

- Rouhipour, H., 2006. 2ed Fluctuations of Soil Moisture Content and Condensation Process in Khuzestan Sand Dune 14th Int. Soil Conservation Organization Conference. (ISCO) 1-5.

- Singhal, D.C., Niwas, S., Shakeel, M. and Adam, E.M., 1998. Estimation of hydraulic characteristics of alluvial aquifers from electrical resistivity data. Journal of Geological Society of India, 51, 461-470.

- Yadav, G.S. and Abolfazli, H., 1998. Geoelectrical sounding and their relationship to hydraulic parameters in semi-arid region of Jalore, north-western India. Journal of Applied Geophysics, 39, 35-51.

- Zohdy, A.A.R., 1969. Application of deep electrical soundings for ground water exploration in Hawaii. Geophysics, 34, 584-600.

- Zohdy, A.A.R. and Bisdorf, R.J., 1989, Programs for the automatic processing and interpretation of Schlumberger sounding curves in Quick Basic. U.S. Geological Survey Open File Report, 89-137-2, 64.