

بررسی نقش موثر ریگ بلند کاشان در مقابله با بیابان زایی کویر مرکزی

مهدی رحمانی جوینانی*^۱، جهانگیر پرهمت^۲

*۱- کارشناس پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، Mehdirahmanigevinani@yahoo.com

۲- استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری Jahanpor@yahoo.com

چکیده

اغلب جریانات زیر قشری در کویر و مناطق بیابانی، آب شور است و اندک آب شیرین حاصل از بارش در مواجهه با زمین به سرعت شور می‌شود. ریگ بلند کاشان در حاشیه کویر مرکزی یک قابلیت محیطی در ذخیره آب شیرین حاصل از بارش است و نقش بسیار موثری در بیابان زدایی و به تبع آن کشاورزی و دامپروری در منطقه دارد. بنابراین شناخت هر چه دقیق پتانسیل وجود آب شیرین در مناطق کویری بسیار حائز اهمیت می‌باشد چرا که تأثیر زیادی در مبارزه با بیابان زایی و مدیریت و بهره برداری از آب شیرین در مصارف کشاورزی و خانگی دارد. این اثر ارائه دهنده طراحی دو پروفیل دوقطبی- دوقطبی در دو منطقه (چاه تقی و چاله سنبک) در دو فاصله متفاوت در حاشیه ریگ بلند کاشان، با کمترین زمان و هزینه ممکن به منظور تفکیک مرز آب شیرین و شور است. در این خصوص، مدل‌سازی دو بعدی بر اساس داده‌های برداشت شده با استفاده از نرم افزارهای RES2DINV و تدقیق سازی نتایج مدل با استفاده از مطالعات زمین شناسی و چاه موجود در منطقه انجام پذیرفت. با توجه به نتایج حاصله، مرز آب شیرین و شور و ستون آب شیرین در پروفیل منطقه چاه تقی به میزان ۵ متر و با استفاده از قانون آرچی تخلخل ۰/۲۹ حاصل گردید. در پروفیل دوم در منطقه چاله سنبک، با استفاده از نتایج مدل، از عمق ۰/۸ متری سطح زمین ستون آبی آشکارسازی گردید که تا عمق ۲۷ متر ادامه دارد. بدون حفاری و با استفاده از میزان تخلخل به دست آمده از پروفیل اول، میزان شوری آب حدود ۱۰/۴۴۴ میلی زیمنس بر سانتی متر تخمین زده شد که آبی غیر قابل استفاده برای مصارف کشاورزی است و این گواه بر این حقیقت است که با فاصله گرفتن از ریگ بلند کاشان نقش موثر آن در تغذیه آب شیرین کاهش یافته و جریان زیر قشری کاملاً شور می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پروفیل دوقطبی-دوقطبی، جریانات زیر قشری آب شیرین و شور، چاه تقی، چاله سنبک، نرم افزار RES2DINV

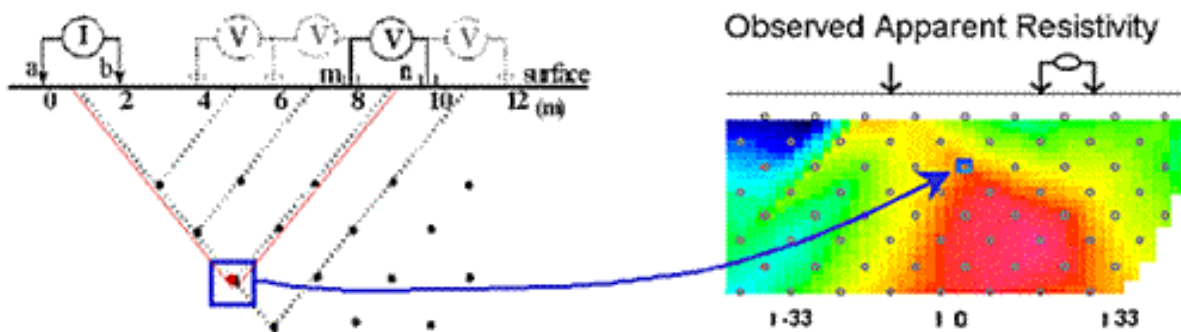
مقدمه

یکی از مهمترین مسائل مبتلا به کشور و جهان پدیده مخرب فرسایش بادی است که در ابعاد جهانی، منطقه‌ای، ملی و محلی دارای اهمیت است و بیدار شدن اژدهای خفته فرسایش بادی می‌تواند منابع زیستی و اقتصادی را بلعد و پیامدهای عمیق زیستی و خسارات وسیعی از طریق ایجاد گرد و غبار فراهم کند. گستره شهرستان آران و بیدگل، در طول جغرافیایی بین ۵۱ تا ۵۲ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۴۵ شمالی قرار گرفته است. از لحاظ زمین ریخت‌شناسی، غربی‌ترین بخش دشت کویر واقع در کویر مرکزی بوده که توسط رشته کوه های کم ارتفاع نخجیر و ملک‌آباد از پلایای جندق واقع در شرق کویر مرکزی تفکیک می‌شود. بزرگترین تپه شنی ایران یک کانون فرسایش به نام ریگ بلند کاشان است که از آران و بیدگل آغاز شده و تا اردستان ادامه دارد. طول این کانون فرسایش ۹۰ کیلومتر است (بنی طب، ۱۳۹۷).

یکی از راهکارها در تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از روند بیابان زایی کاشت گیاهان شور پسندی است که به مدت ۲ سال نیازمند آبیاری و حفاظت است. تأمین آب برای آبیاری در کانون فرسایش بادی از دیگر مسائل مرتبط با بیابان زدایی است. شاید در نگاه نخست، بزرگترین تپه شنی ایران (ریگ بلند کاشان) منشأ طوفان های گرد و غبار باشد ولی نقش بسیار موثری در ذخیره آب شیرین حاصل از بارش دارد. بنابراین شناخت هر چه دقیق پتانسیل وجود آب شیرین در مبارزه با بیابان زایی و مدیریت و بهره برداری از آب شیرین در مصارف کشاورزی و خانگی حائز اهمیت است. با مطالعات ژئوالکتریک میتوان به آشکارسازی مرز بین جریان زیرقشری آب شیرین و شور پرداخت. یکی از روشهای متداول در تعیین مرز لایه بندی، برداشت به روش دوقطبی- دوقطبی است. در این روش فاصله بین الکترودهای جریان و پتانسیل ثابت بوده و پهن شدگی آرایش بسته به



ساختار زمین شناسی و دقت دستگاه افزایش می‌یابد. داده های حاصله بسته به فاصله بین الکترودها و پهن شدگی آرایش و موقعیت الکترودها، به عمق مربوطه نسبت داده می‌شود (Zohdy, 1969). شکل زیر نمایی از برداشت به روش آرایش دوقطبی - دوقطبی و موقعیت داده برداشت شده در مقطع مدل سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- برداشت به روش آرایش دوقطبی - دوقطبی در امتداد پروفیل و موقعیت داده حاصله در مقطع مدل سازی (Loke, 1999).

مرور بر منابع نشان داد که طیف وسیعی از تحقیقات موضوعی و موضعی پیرامون آشکارسازی جریانات زیر قشری و روشهای بررسی منتشر شده است که با توجه به هدف اکتشاف و نوع ساختار زمین شناسی، می‌توان از آرایه‌های الکترودی متفاوتی از قبیل آرایه مربعی^۱، دوقطبی - دوقطبی^۲، قطبی-دوقطبی^۳، ونر^۴ و شلومبرژه^۵ استفاده کرد که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌های مربوط به خود می‌باشند (Habberjam, 1972). Boleve و همکاران (2009) روش توموگرافی پتانسیل خودزا را برای تعیین حرکت آب در سدهای خاکی در جنوب فرانسه مورد مطالعه قرار دادند و موفق ردیابی نشت آب از دیداره سد شدند. قلی نژاد (1396) با استفاده از آرایه شلومبرژه در اراضی کشاورزی روستای گلشین از توابع شهرستان ساری به شناسایی لایه های آب شیرین در سفره آب شور پرداخت و نتایج حاصل نشان داد برخلاف تصور رایج، در برخی نقاط، در لایه های اشباع از آب شور، میان لایه های آب شیرین یافت می‌شوند که به وضوح در منحنی‌های مقاومت ویژه خودنمایی می‌کنند. اسحاقی و همکاران (1392) از روش توموگرافی دوقطبی - دوقطبی به منظور بررسی قنات و ساختارهای زیر سطحی کم عمق استفاده کردند در مقاطع حاصله، موقعیت قنات از روی کاهش مقاومت ویژه ناشی از نفوذ رطوبت به اطراف مشخص گردید. لشکری پور و همکاران (1387) از سه پروفیل موازی با مجموع 19 سونداژ شلومبرژه در حوضه آمودریا در شمال شرق افغانستان به ردیابی مسیرهای قدیمی رودخانه آمودریا پرداختند و منجر به اکتشاف آبخوانی باریک برای تأمین آب شرب شدند. شریفی و همکاران (1396) از توموگرافی الکتریکی در آشکارسازی حرکت آب و ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز وردیج استفاده کردند و موفق به شناسایی فرار آب از کرانه راست سد زیرزمینی وردیج شدند. در مطالعه آشکارسازی مرز بین آب شیرین و شور منطقه آران و بیدگل از توموگرافی دوقطبی - دوقطبی استفاده شده است. دلیل انتخاب آرایه دوقطبی-دوقطبی، به سبب حساسیت بالای این آرایه به تغییرات افقی مقاومت ویژه بوده که باعث شده این آرایه در به نقشه در آوردن ساختارهای پیوسته به مانند مرز آب شیرین و شور نسبت به سایر آرایه ها قوی تر باشد.

- 1 Square Array
- 2 Dipole-Dipole
- 3 Pole-Dipole
- 4 Wenner
- 5 Schlumberger

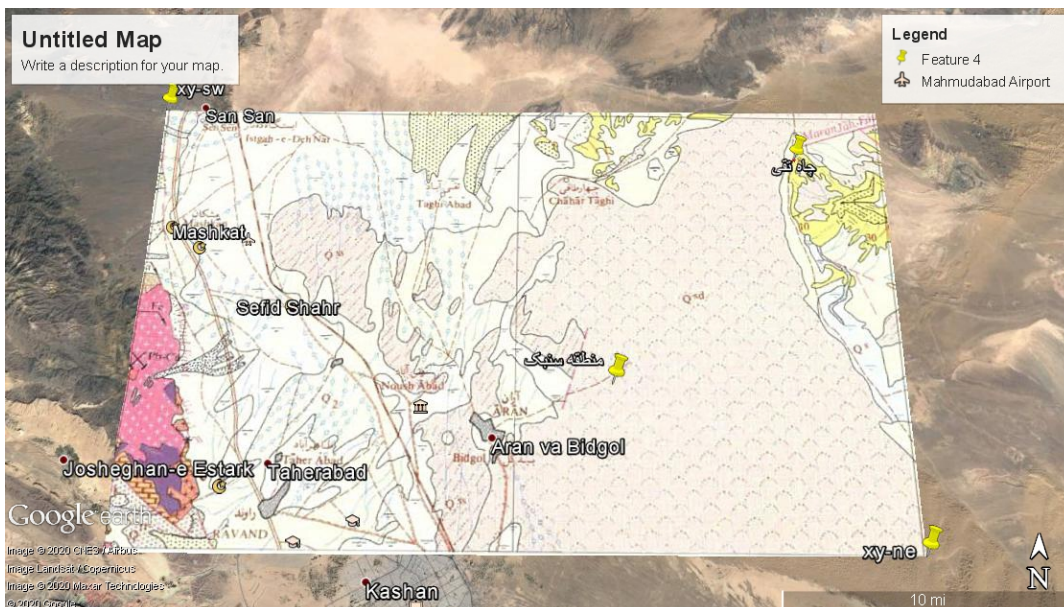
مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی و ویژگی های زمین شناسی مناطق مورد مطالعه

سایت اول در محل چاه تقی با مختصات عرض و طول جغرافیایی $34^{\circ} 33' 13''$ و $51^{\circ} 41' 30''$ در مجاورت تپه های شنی (Q_{sd}) و در کفه نمکی (Q_s) واقع شده و سایت دوم در منطقه چاه سنیک با مختصات عرض و طول جغرافیایی $5^{\circ} 18.25'$ و $34^{\circ} 33' 39.49''$ در تپه های شنی (Q_{sd}) قرار دارد (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲ - موقعیت چاه تقی و منطقه سنیک در منطقه ریگ بلند کاشان.



شکل ۳: نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ و ساختار زمین شناسی چاه تقی و منطقه سنیک.

به منظور بررسی و تعیین ضخامت رسوبات آبرفتی، سنگ بستر، تعیین سطح ایستابی، بررسی کیفیت آب موجود و تعیین حدود مناطقی که از لحاظ آبهای زیرزمینی غنی می باشد، از روشهای ژئوالکتریک استفاده می گردد. این روش بر اساس خصوصیات الکتریکی لایه های زیر سطحی و بر مبنای قانون اهم عمل می نماید. به عبارت دیگر لایه های مختلف زیر سطحی بر حسب مقاومت

الکتریکی مخصوص بخود از دیگر لایه ها قابل تشخیص می باشد. زیرا مقاومت الکتریکی لایه های مختلف زمین بر حسب جنس مواد تشکیل دهنده لایه ها (درصد مواد ریزدانه) و نوع آب موجود در لایه لای ذرات، مقاومت های متغیری را نشان می دهند. بر اساس این تغییر، مقاومت ها لایه های زیر سطحی قابل تشخیص می باشند. گاهی اوقات نزدیک بودن مقاومت مخصوص لایه ها به همدیگر به اندازه ای است که تفکیک آنها امکان پذیر نمی باشد و یا ضخامت لایه آنقدر کوچک است که قابل تفکیک نمی باشد. در این مواقع باید در کنار روش های ژئوفیزیکی انجام عملیات حفاری در مناطق محدودی در دستور کار قرار گیرد تا امکان تشخیص و تفکیک جزی لایه های زیر سطحی فراهم آید.

در مطالعات ژئوالکتریک در محدوده مورد مطالعه به سبب بررسی اهداف مورد نظر از روش چهار الکترودی دو قطبی- دو قطبی استفاده گردیده است.

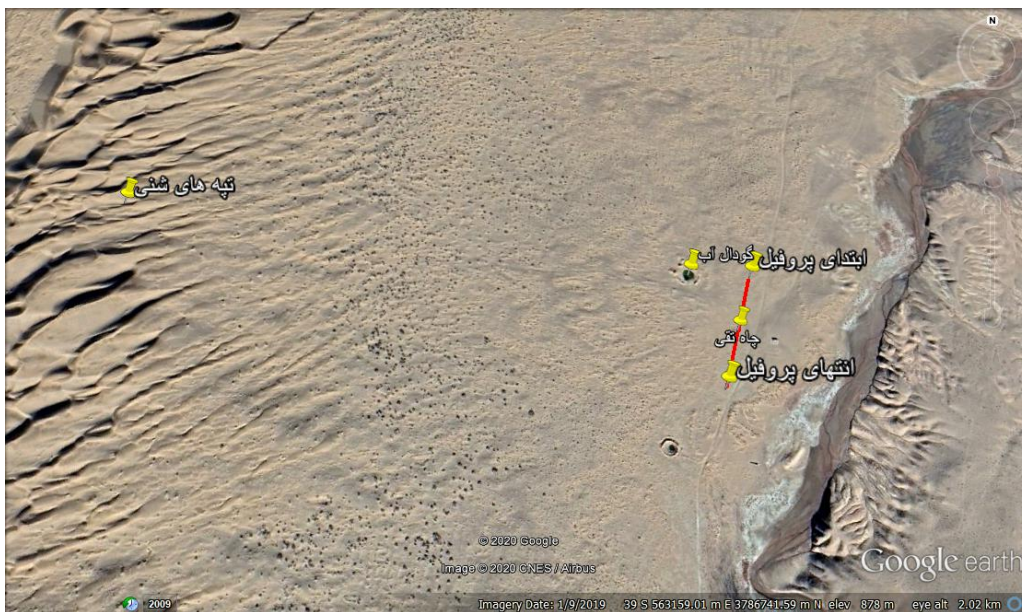
مطالعات ژئوالکتریک چاه تقی

برای مطالعه محل چاه تقی، پروفیلی با آرایش دو قطبی - دو قطبی در فاصله ۱/۵ متری چاه، با گام برداشت ۵ متر و تا عمق اکتشاف حدوداً ۱۶ متر و به طول ۲۰۰ متر با مختصات ذیل برداشت گردید (در شکل ۴ موقعیت چاه در فاصله ۱۰۰ متری ابتدای پروفیل در مرکز آن قرار دارد).

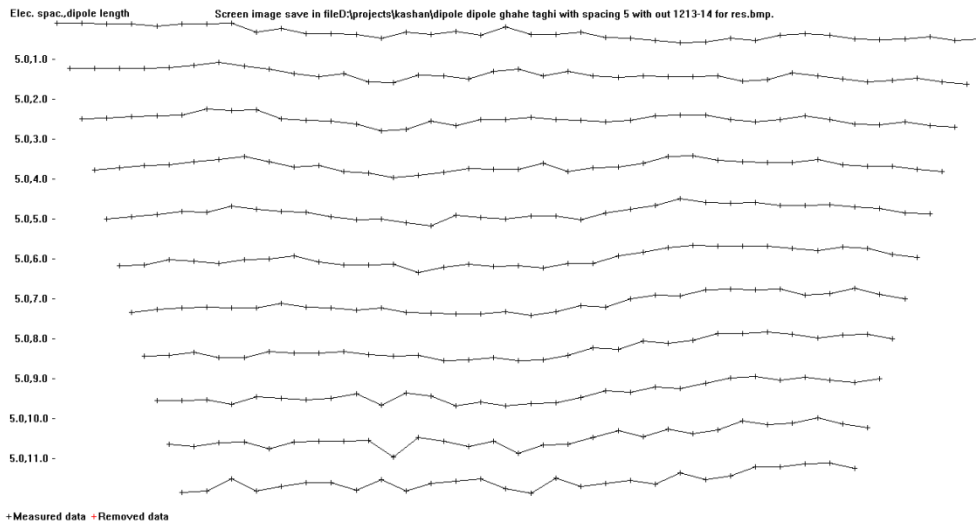
جدول ۱- مختصات ابتدا و انتهای پروفیل چاه تقی.

	X	Y
مختصات ابتدای پروفیل	۵۶۳۴۵۹/۶	۳۷۸۶۶۱۷/۱۵
مختصات انتهای پروفیل	۵۶۳۵۱۶/۳۱	۳۷۸۶۸۰۷/۵۵

لازم به ذکر است در طول این پروفیل ۴۳۵ قرائت (داده) در مدت زمان دو روز برداشت شد.



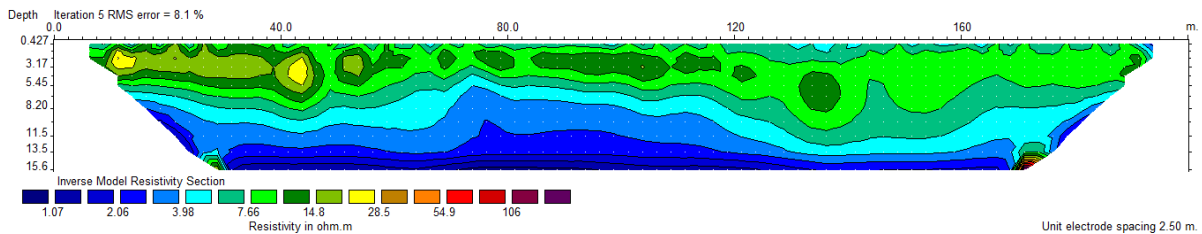
شکل ۴ - موقعیت پروفیل چاه تقی.



شکل ۵- محل قرارگیری داده‌ها در پروفیل چاه تقی.

نتایج تفسیر ژئوالکتریک پروفیل چاه تقی

داده‌های برداشت شده پس از آنالیز اولیه (بررسی داده‌ها و حذف داده‌های پرت، شکل ۵) با اعمال توپوگرافی در نرم افزار اصلی RES2DINV مدل‌سازی شد (Loke، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۳). شکل زیر مقطع ژئوالکتریک پروفیل اول تا عمق حدوداً ۱۶ متری سطح زمین است. لازم به ذکر است که عمق اکتشاف بر اساس گام برداشت و حداکثر فاصله بین الکترودهای پتانسیل و جریان تعیین می‌شود.



شکل ۶- مقطع ژئوالکتریک پروفیل اول: در مرکز پروفیل چاه آبی به نام چاه تقی وجود دارد، لکه سبز رنگ در موقعیت ۱۰۰ متری اول پروفیل که تا عمق حدود ۵ متری ادامه دارد معرف میزان ستون آب شیرین در این چاه است (منبع، همین مطالعه).

همانطور که در شکل بالا ملاحظه می‌شود فرآیند مدل‌سازی با ۵ تکرار و خطای ۷/۹ (Iteration 5 Abs. Error=8.1) صورت گرفته که این امر، معقول در فرآیند مدل‌سازی است. دامنه مقاومت ویژه ظاهری در مقطع بالا بین یک اهم متر (آبی پر رنگ) تا بیش از ۱۰۶ اهم متر (قرمز تیره) می‌باشد و هر چه به عمق می‌رویم مقاومت ویژه الکتریکی کاسته می‌شود. مقاومت ویژه پایین، بیانگر محیطی خیلی رسانا و مقاومت ویژه بالا بیانگر رسانایی کمتر است.



شکل ۷ - مشخصات چاه تقی.

در مرکز پروفیل چاه آبی به نام چاه تقی وجود دارد. عمق چاه (تقی) ۱/۷۵ متر و سطح ایستایی آب ۱/۲۵ متر است (شکل ۷). شوری اندازه گیری شده از نمونه آب چاه ۴/۸۲ میلی زمینس بر سانتی متر (۲/۰۷۴۶ اهم متر) است که بر اساس روابط بین شوری آب با مقدار مقاومت ویژه سازند، قانون آرچی:

$$\rho = \rho_w a(\phi)^{-m}$$

ρ : مقاومت ویژه الکتریکی سازند، ρ_w : مقاومت ویژه الکتریکی آب داخل سازند، a : ضریب هندسی فضای خالی سنگ و در بیشتر رسوبات سخت نشده برابر یک (atkins و همکاران، ۱۹۶۱)، ϕ : تخلخل و m ضریبی است که به درجه سیمانی شدن دانه های تشکیل دهنده سفره آبخوان وابسته است و برای ماسه کوارتزی مقدار $m=1/5$ در نظر گرفت. با توجه به شکل ۹ در فاصله ۱۰۰ متری ابتدای پروفیل (موقعیت چاه) و در عمق ۱/۷۵ از سطح زمین مقاومت الکتریکی سازند آبدار حدوداً ۱۳ اهم متر است و با جایگزینی در رابطه بالا مقدار تخلخل $0.29 = \phi$ می شود.

از تخلخل به دست آمده و مقدار مقاومت ویژه ۲ اهم متر در عمق ۱۶ متری در موقعیت مرکز پروفیل، مقدار مقاومت ویژه آب سازند $\rho_w = 0.3191$ اهم متر و یا رسانندگی $33/13$ میلی زمینس بر سانتی متر می شود که شوری آن از آب شور دریا نیز بیشتر است. بنابراین هرچه از سطح به عمق می رویم بر شوری آب سازند افزوده می شود.

مطالعات ژئوالکتریک منطقه چاله سنبک

برای مطالعه منطقه چاله سنبک، پروفیلی با آرایش دوقطبی - دوقطبی با گام برداشت ۱۰ متر و تا عمق اکتشاف حدوداً ۲۷ متر و به طول ۲۰۰ متر با مختصات ذیل برداشت گردید (لازم به ذکر است مکان انتخاب شده با مزارع هندوانه (مکان پیشنهادی اولیه) به دلیل اجازه ندادن مالکین مزارع، حدوداً ۱۵۰۰ متر فاصله دارد (شکل ۸)).

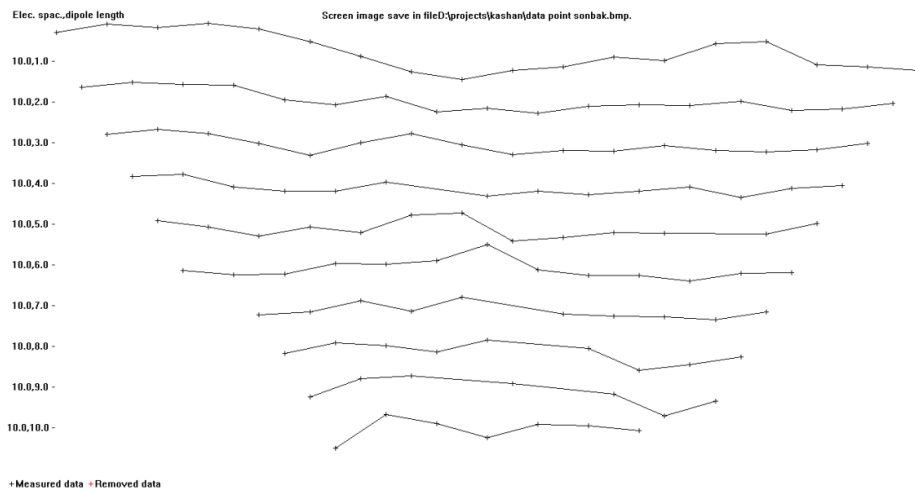
جدول ۲- مختصات ابتدا و انتهای پروفیل چاله سنبک.

	X	Y
مختصات ابتدای پروفیل چاله سنبک	۵۵۱۷۵۲	۳۷۷۲۰۰۰
مختصات انتهای پروفیل چاله سنبک	۵۵۱۷۵۱	۳۷۷۲۱۹۹

لازم به ذکر است در طول این پروفیل ۱۲۴ قرائت (داده) در مدت زمان یک روز برداشت شد.



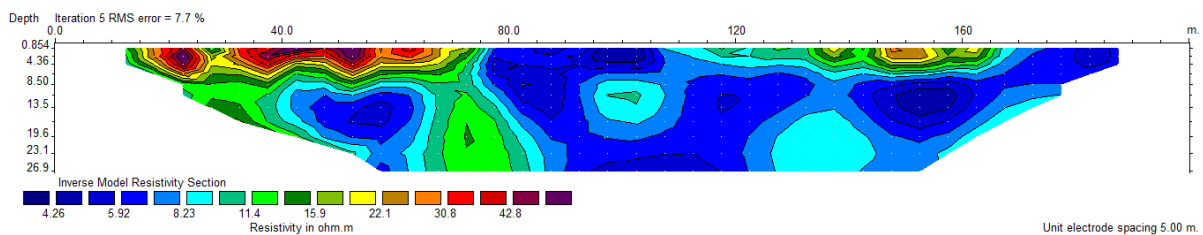
شکل ۸ - موقعیت پروفیل چاله سنیک و مزارع کاشته هندوانه.



شکل ۹ - محل قرارگیری داده‌ها در پروفیل چاله سنیک.

نتایج تفسیر ژئوالکتریک پروفیل منطقه چاله سنیک

داده‌های برداشت شده پس از آنالیز اولیه (بررسی داده‌ها و حذف داده‌های پرت، شکل ۹) با اعمال توپوگرافی در نرم افزار اصلی RES2DINV مدل‌سازی شد. شکل زیر مقطع ژئوالکتریک پروفیل دوم تا عمق حدوداً ۲۷ متری سطح زمین است. لازم به ذکر است که عمق اکتشاف بر اساس گام برداشت و حداکثر فاصله بین الکترودهای پتانسیل و جریان تعیین می‌شود.



شکل ۱۰ - مقطع ژئوالکتریک پروفیل چاله سنیک: در مرکز پروفیل (منطقه آبی رنگ با مقاومت ویژه ۶ اهم متر) شاهد وجود جریانات زیر قشری در فاصله نیم متری سطح زمین می‌باشیم ولی به دلیل شوری بالا (۱۰/۴۴۴ میلی زمینس بر سانتی متر) قابل استفاده برای کشاورزی نیست (منبع، همین مطالعه).

همانطور که در شکل بالا ملاحظه می‌شود فرآیند مدل‌سازی با ۵ تکرار و خطای ۷/۷ (Iteration 6 Abs. Error=7.7) صورت گرفته که این امر، معقول در فرآیند مدل‌سازی است. در مقطع بالا مقاومت ویژه مناطق آبی رنگ به طور متوسط حدود ۶ اهم متر است که با توجه به قانون آرچی مقاومت ویژه آب زیر قشری ۰/۹۵ اهم متر و یا ۱۰/۴۴ میلی‌زیمنس بر سانتی متر می‌باشد و در گروه آب خیلی شور قرار می‌گیرد و این نتیجه حاصل می‌شود که هر چه از مزارع کاشت هنداونه (ریگ بلند و تپه های شنی) فاصله می‌گیریم، آب زیر قشری شورتر می‌شود.

نتایج

در منطقه مورد مطالعه به منظور تحقق هدف، آشکارسازی مرز بین جریان زیرقشری آب شیرین و شور در دو سایت پیشنهادی در آران و بیدگل، در مدت زمان ۳ روز اقدام به برداشت ۲ پروفیل ژئوالکتریک به روش دوقطبی- دوقطبی گردید. در پروفیل اول در منطقه چاه تقی (با گام برداشت ۵ متر و عمق اکتشاف ۱۶ متر) مرز بین جریان زیر قشری آب شور و شیرین در عمق ۵ متر آشکارسازی شد و هر چه به عمق می‌رویم مقاومت ویژه الکتریکی (از ۱۳ اهم متر به حدود ۱ اهم متر) کاسته و بر شوری آب سازند افزوده می‌شود. در مرکز این پروفیل چاه آبی به نام چاه تقی وجود دارد، لکه سبز رنگ در موقعیت ۱۰۰ متری اول این پروفیل که تا عمق حدود ۵ متری ادامه دارد (شکل ۶)، معرف میزان ستون آب شیرین در این چاه است. در پروفیل دوم در منطقه چاله سنبک (با گام برداشت ۱۰ و عمق اکتشاف ۲۷ متر) مرز بین جریان زیر قشری آب شور و شیرین آشکارسازی نشد.

بحث و نتیجه گیری

تفکیک مرز بین جریان زیر قشری آب شیرین و شور در مناطق کویری بسیار حائز اهمیت می‌باشد چرا که تأثیر زیادی در مدیریت و بهره برداری از آب شیرین در مصارف کشاورزی و خانگی دارد. با استفاده از روش‌های ژئوالکتریک می‌توان به طور غیر مستقیم و بدون نمونه برداری به شوری لایه های مختلف دست یافت و این امر کمک فراوانی در تصمیم‌گیری در خصوص کف کنی و یا حفر چاه جدید در منطقه می‌کند. در دو سایت پیشنهادی در آران و بیدگل، در پروفیل اول در منطقه چاه تقی (با گام برداشت ۵ متر و عمق اکتشاف ۱۶ متر) مرز بین جریان زیر قشری آب شور و شیرین در عمق ۵ متر آشکارسازی شد. با نمونه گیری از آب چاه، شوری آب ۴/۸۲ میلی‌زیمنس بر سانتی متر (مقاومت ویژه ۲/۰۷۴۶ اهم متر) به دست آمد. بر اساس روابط بین شوری آب با مقدار مقاومت ویژه سازند (قانون آرچی) مقدار تخلخل $\phi = 0.29$ حاصل گردید. از تخلخل به دست آمده و مقدار مقاومت ویژه ۲ اهم متر در عمق ۱۶ متری در موقعیت مرکز پروفیل، مقدار مقاومت ویژه آب سازند $\rho_w = 0.31$ اهم متر و یا رسانندگی ۳۳/۱۳ میلی‌زیمنس بر سانتی متر می‌شود که شوری آن از آب شور دریا نیز بیشتر است. بنابراین در کف کنی چاه تقی به بیش از ۵ متر (ستون آب شیرین) به آب شور برخورد می‌کنیم و هر چه به عمق می‌رویم بر شوری آن افزوده می‌شود. در پروفیل دوم در منطقه چاله سنبک (با گام برداشت ۱۰ و عمق اکتشاف ۲۷ متر) مرز بین جریان زیر قشری آب شور و شیرین آشکارسازی نشد. در شکل ۱۰ مقاومت ویژه مناطق آبی رنگ به طور متوسط حدود ۶ اهم متر است که با توجه به قانون آرچی (با توجه به اطلاعات بدست آمده از پروفیل اول، تخلخل ۰/۲۹ و بکارگیری آن برای پروفیل دوم) مقاومت ویژه آب زیر قشری ۰/۹۵ اهم متر و یا ۱۰/۴۴ میلی‌زیمنس بر سانتی متر می‌باشد و در گروه آب خیلی شور قرار می‌گیرد و این نتیجه حاصل می‌شود که هر چه از مزارع کاشت هنداونه (ریگ بلند و تپه های شنی) فاصله می‌گیریم، آب زیر قشری شورتر می‌شود و در این منطقه در صورت حفر چاه، آب استحصال شده مناسب برای کشاورزی نیست. بنابراین ریگ بلند کاشان در حاشیه کویر مرکزی یک قابلیت محیطی در ذخیره آب شیرین حاصل از بارش و نقش بسیار موثری در بیابان زدایی و به تبع آن کشاورزی و دامپروری در منطقه دارد.

منابع

- اسحقی، ا.، کامکار و ع. عرب امیری. ۱۳۹۱. مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی داده‌های توموگرافی الکتریکی به منظور بررسی قنات‌ها و ساختارهای زیرسطحی کم عمق. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی معدن. جلد ۷. شماره ۱۷. ۱۰۷-۱۱۲.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



- بنی طباطبائی، ع. ۱۳۹۷. زمین شناسی و ذخایر معدنی بیابانی آران و بیدگل. برگرفته از لینک <http://www.persiadesert.com>
- شریفی، ف.، م. رحمانی و ج. داودی. ۱۳۹۶. معرفی و کاربرد روش کمی توموگرافی الکتریکی دوبعدی در آشکارسازی حرکت آب و ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری، مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز وردیج، شمال غرب تهران. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی آبخیز. جلد ۹. شماره ۴. ۴۶۵-۴۷۸.
- قلی نژاد، ک. ۱۳۹۶. شناسایی میان لایه های آب شیرین در سفره آب شور به روش مقاومت ویژه الکتریکی. اولین همایش بین المللی پژوهش و پیشرفت در علوم زمین. موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی
- لشکری پور، غ.، م. غفوری و م. خدادادی. ۱۳۸۷. کتشاف رودخانه مدفون با روش ژئوالکتریک و مطالعات زمین شناسی جهت تامین آب منطقه شیرخان بندر در شمال شرق افغانستان. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز. شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب.
- Atkins ER, Smith GH. 1961. The significance of particle shape in formation resistivity factor-porosity relationships. *Journal of Petroleum Technology*. 13(03): 285-291
- Boleve, A., A. Revil. 2009. Preferential fluid pathways in embankment dams imaged by self-potential tomography. *Near Surface Geophysics*, 447-462.
- Habberjam, G. M. 1972. The effects of anisotropy on square array resistivity measurements. *Geophysical Prospecting*, 20: 249-266.
- Loke, M.H., 1999, Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the least squares method, Software manual, <http://www.abem.se>.
- Loke, M. H., 2004, Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys, Geotomo Softwares, Penang, Malaysia.
- Loke, M. H., J.E. Chambers, D.F. Rucker, O. Kuras and P.B. Wilkinson. 2013. Recent developments in direct-current geoelectrical imaging method, *Journal of Applied Geophysics*, 95: 135-156.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, R.E. Sheriff. 1990. *Applied geophysics*, 2nd Ed. London, Cambridge university press, 768 pages.
- Zohdy, A.A.R.. 1969. The use of Schlumberger and equatorial in ground-water investigation near El Paso, Texas. *Geophysics* 34, 713-728.