



مدل سازی و تفسیر داده های ژئوالکتریکی جهت اکتشاف آب زیرزمینی در منطقه دشت ساوه

مصطفی خان احمدی^۱، ابوالقاسم کامکار روحانی^۲، علیرضا عرب امیری^۳، احمد باقری^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، m.khanahmadi1717@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، kamkarr@yahoo.com

۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، alirezaarabamiri@yahoo.com

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ahmad.bagheri@gmail.com

کلمات کلیدی	چکیده
• آب زیرزمینی • مقاومت ویژه الکتریکی • سونداژ • مدل سازی	آب جز جدا نشدنی جوامع امروزی به شمار می آید؛ از این رو دسترسی به منابع آب شیرین بسیار مهم است. آب زیرزمینی به عنوان یکی از اصلی ترین منابع آب شیرین و تامین کننده نیازهای بشر می باشد. با استفاده از روش های ژئوفیزیکی و خصوصاً روش مقاومت ویژه الکتریکی که به عنوان روشی غیرتهاجمی و غیر مخرب شناخته می شود؛ می توان ساختارهای زمین شناسی، ضخامت لایه ها و عمق سطح ایستابی را مشخص نمود. با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی و مدل سازی و تفسیر داده های سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه دشت ساوه مشخص گردید، جنس آبرفت منطقه شامل آبرفت دانه درشت و دانه ریز حاوی رس می باشد. بستر رودخانه حاوی آبرفت دانه درشت است و سایر نقاط دشت درصد رس نسبتاً بالایی دارد. مقطع حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه الکتریکی نیز تهیه گردید.

Modeling and interpretation of geoelectrical data for groundwater exploration in Saveh plain

Mostafa Khan Ahmadi¹, Abolghasem Kamkar Rouhani², Alireza Arab Amiri³, Ahmad Bagheri⁴,

1-M.Sc. Graduated, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, m.khanahmadi1717@gmail.com

2- Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, kamkarr@yahoo.com

3- Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, alirezaarabamiri@yahoo.com

4- M.Sc. Graduated, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, ahmad.bagheri@gmail.com

KEYWORDS	ABSTRACT
• Groundwater • Electrical Resistivity • Sounding • Modeling	Water is an integral part of today's communities; therefore access to freshwater resources is very important. Groundwater is one of the main sources of fresh water and providers of human needs. Using geophysical methods, especially the electrical resistivity method, which is known as a non-invasive and non-destructive method; geological structures, their thicknesses and water table can be determined. Using the method of electrical resistivity and modeling and interpretation of electrical soundings data collected in the Saveh plain region, it has been found that the alluvial material of the region includes coarse-grain alluvium and clayey fine-grain alluvium. The riverbed contains coarse-grain alluvium, and other parts of the plain have a relatively high percentage of clay. The section obtained from modeling the electrical resistivity data has also been prepared.

۱ مقدمه

آب زیرزمینی به عنوان یکی از منابع تأمین کننده آب شیرین مورد نیاز انسان‌ها است. بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، برای مصارفی از قبیل: شرب، صنعت و کشاورزی بسیار توسعه یافته است [۱]. کشور ایران در منطقه‌ای با اقلیم خشک واقع شده، سطح قابل توجهی از آن را زمین‌های شور تشکیل می‌دهند، در اکثر نقاط کشور آب زیرزمینی دارای املاح زیاد است و همچنین آب بسیاری از رودخانه‌های آن شور است. علاوه بر این طبیعتاً فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی کشور، به آب شیرین شرب و قابل مصرف در صنعت و کشاورزی نیاز دارند. با توجه به این که امکان دسترسی به آب شیرین طبیعی در همه نقاط کشور به اندازه مورد نیاز وجود ندارد و در برخی از نقاط کمیاب است؛ باید از روش‌های متنوع برای اکتشاف و شناسایی نوع سفره‌ها استفاده کرد [۲]. از این رو باید به دنبال راهی برای استحصال منابع آب شرب با کیفیت مطلوب بود. حفر چاه مستلزم صرف هزینه گزافی است؛ بنابراین باید قبل از آن مناسب‌ترین مکان را یافت؛ تا بتوان در کمترین عمق به بالاترین میزان آب دست یافت. در مقایسه با روش‌های حفاری و یا بسیاری از دیگر روش‌های اکتشاف آب زیرزمینی، روش مقاومت‌ویژه الکتریکی باعث کاهش قابل توجه هزینه‌ها می‌شود. روش‌های ژئوفیزیکی به‌ویژه روش مقاومت‌ویژه الکتریکی^۱، می‌تواند میزان توسعه آبخوان را مشخص کند و همچنین برای تعیین ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی در مدل‌سازی هندسه آبخوان و گسترش زیرسطحی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد [۳]. این روش به‌عنوان روشی سریع، کم‌هزینه و با کارایی بالا برای اکتشاف و بررسی آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت ساوه پیشنهاد شده است.

۲ تئوری روش

روش مقاومت‌ویژه الکتریکی از جمله روش‌های غیرمخرب و غیرتهاجمی است؛ که به کمک آن می‌توان گستره وسیعی از اطلاعات را به‌دست آورد. روش‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی در اوایل قرن بیستم توسعه یافتند؛ اما از دهه ۱۹۷۰، به دلیل استفاده از رایانه برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها به‌طور گسترده‌ای در جستجوی منابع آب زیرزمینی و نیز نظارت بر انواع آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این روش محدود به استفاده از روش جریان مستقیم (جریان متناوب بسیار کم) می‌شود [۴]. روش مقاومت‌ویژه از سال ۱۹۶۰ میلادی به‌صورت معمول توسط مهندسين و هیدرولوژیست‌ها برای به‌دست آوردن اطلاعات کمی آبخوان شامل: ضریب قابلیت انتقال (T)، آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی (K) استفاده شده است [۵]. با این روش می‌توان از طریق ارسال جریان الکتریکی مستقیم به داخل زمین و تعیین پتانسیل الکتریکی تولید شده در سطح زمین، مقاومت‌ویژه الکتریکی زمین را اندازه‌گیری کرد. با بهره‌گیری از این روش‌ها، می‌توان به اطلاعاتی از خصوصیات الکتریکی زمین و در نتیجه ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه دست یافت [۶]. در این تحقیق، روش سونداژنی قائم الکتریکی (VES)^۲ با آرایه شلومبرژه جهت تعیین عمق سطح ایستابی، گسترش آبخوان و ساختارهای زیرسطحی مورد استفاده قرار گرفته است.

تفسیر کمی بر روی داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی معمولاً از طریق فرآیند مدل‌سازی صورت می‌گیرد؛ برای انجام مدل‌سازی و تفسیر داده‌ها، ابتدا یک مدل آزمون از زمین به همراه مقادیر مقاومت‌ویژه آن در نظر گرفته می‌شود. سپس مقادیر تئوری مقاومت‌ویژه ظاهری آن مدل محاسبه می‌شود. در مرحله بعد این پاسخ تئوری با داده‌های مشاهده شده، مقایسه می‌گردد و اختلافات پاسخ مدل با داده‌های صحرائی بررسی می‌شود. سپس مدل زمینی آزمون، آن‌قدر اصلاح می‌شود؛ که بیشترین برازش^۳ با داده‌های مشاهده شده ایجاد شود و در نهایت آخرین مدل آزمون اصلاح شده که پاسخ آن برازش قابل قبولی با داده‌های مشاهده‌ای دارد به‌عنوان مدل نهایی که نتیجه تفسیر است، در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که این فرآیند تکرار به‌صورت خودکار انجام شود، اصطلاحاً وارون‌سازی شامل مراحل تکرار^۴ نامیده می‌شود [۷]. حدود ۲۰۰ سونداژ مقاومت‌ویژه الکتریکی با طول فرستنده جریان (AB/2) بین ۴۶۴ الی ۱۰۰۰ متر در قالب ۲۷ پروفیل برداشت شده و امتداد پروفیل‌ها شمالی - جنوبی است. هر یک از سونداژها به صورت یک‌بعدی توسط نرم‌افزار IX1D تفسیر گردیده و همچنین تمام ۲۷ پروفیل موجود توسط نرم‌افزارهای RES2DINV و ZONDRES2D مدل‌سازی شده‌اند؛ ولی برای اختصار تنها یک پروفیل با تعداد ۹ سونداژ الکتریکی و به طول حدود ۲۰ کیلومتر که توسط نرم‌افزارهای فوق مدل‌سازی شده، در این مقاله بررسی و نتایج آن ارائه شده است.

۳ مدل‌سازی و تفسیر

- 1- Electrical Resistivity Method
- 2- Vertical Electrical Sounding (VES)
- 3- Fitting
- 4- Iterative Inversion

۳-۱ مدل سازی و تفسیر یک بعدی

مدل اولیه‌ای که شامل مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه‌ها به وسیله منحنی‌های استاندارد تهیه شده است را به عنوان ورودی به نرم افزار IX1D وارد می‌کنیم. پس از یک مرحله اعمال مدل سازی پیشرو در نرم افزار IX1D بر روی مدل اولیه حاصل از تفسیر به وسیله منحنی‌های استاندارد خطای جذر میانگین مربعات (RMS)^۵ آن به مقدار ۱۱/۷ درصد رسیده است که نشان می‌دهد منحنی حاصل از مدل برازش نسبتاً قابل قبولی با داده‌های سونداژ صحرایی برداشت شده دارد. خطای RMS پس از اعمال یک مرحله مدل سازی وارون، به مقدار حدود ۶/۵ درصد رسیده که با توجه به اطلاعات جانبی مقدار مناسبی می‌باشد (شکل ۱ و شکل ۲)؛ با تکرار مراحل دیگری از وارون سازی منحنی مدل از نظر ریاضی با داده‌های سونداژ صحرایی برازش بیشتری می‌یابد و RMS کمتر می‌شود، ولی این عمل مدل را از واقعیت زمین شناسی دور می‌سازد.

Resistivity Model

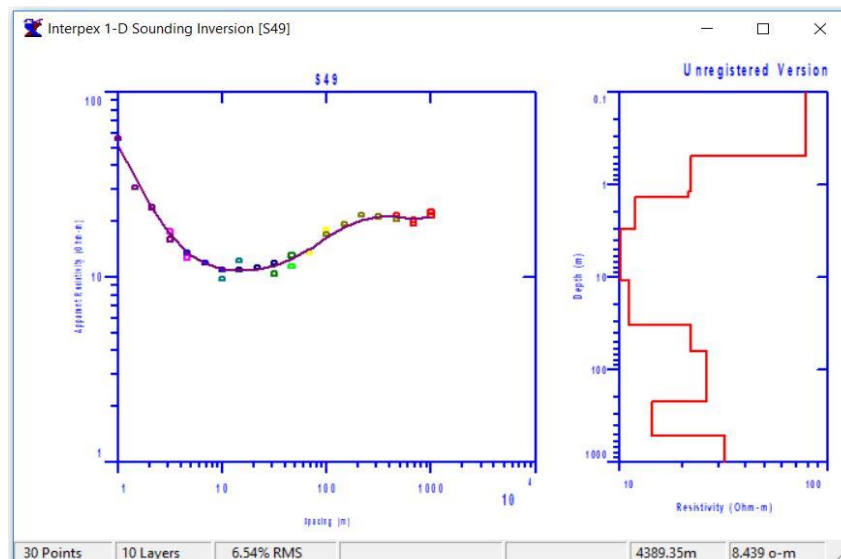
Surface Elevation: -999.00 Fitting Error: 6.5424

☒ Use Depth Instead of Thickness Units: (meters)

#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	78.157		0.49812	0.49812	-999.50	
2	21.967		0.68177	1.1799	-1000.2	
3	21.491		0.16889	1.3488	-1000.3	
4	11.957		1.7112	3.0600	-1002.1	
5	10.231		7.9010	10.961	-1010.0	
6	11.226		22.184	33.145	-1032.1	
7	21.910		30.535	63.680	-1062.7	
8	26.061		158.72	222.40	-1221.4	
9	14.481		292.21	514.60	-1513.6	
10	32.091					
11						
12						

Insert Cell Insert Row Column Math: Forward
Delete Cell Delete Row Add To One Iteration
OK Multiply By More Iterations

شکل ۱: مشخصات مدل حاصل از مدل سازی یک بعدی داده‌های سونداژ 49F، پس از انجام یک مرحله وارون سازی در نرم افزار IX1D.



شکل ۲: مدل به دست آمده (سمت راست) و برازش منحنی حاصل از مدل بر روی داده‌های سونداژ صحرایی 49F پس از یک مرحله وارون سازی (سمت چپ) در نرم افزار IX1D.

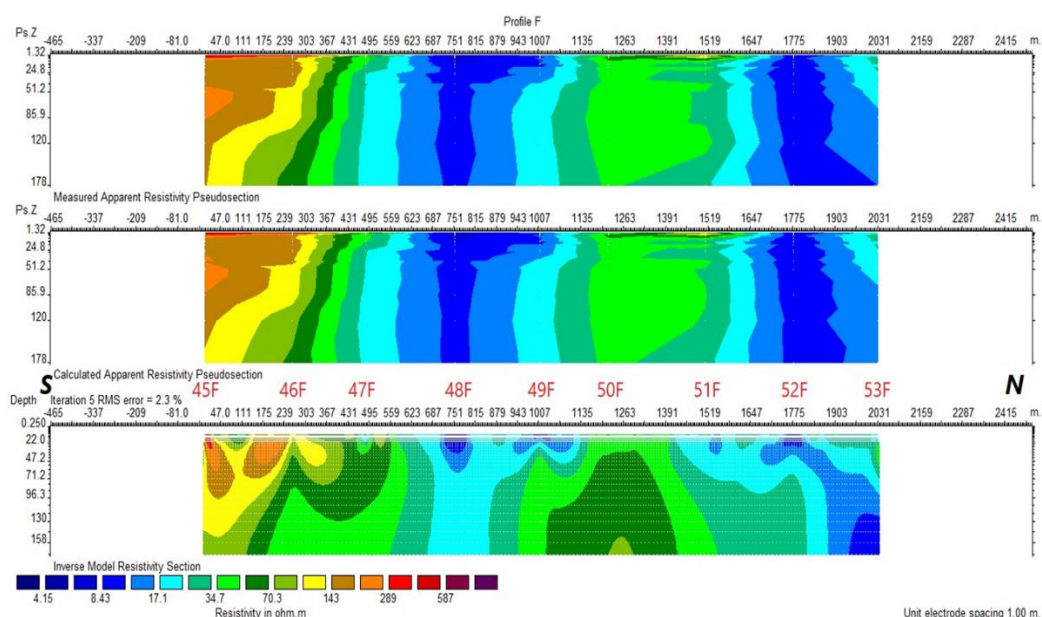
با توجه به نتایج وارون سازی حاصل از تفسیر سونداژ 49F، مدل ژئوالکتریکی حاصل یک زمین ۱۰ لایه‌ای است که لایه آخر با ضخامت بی‌نهایت فرض می‌شود؛ به کمک اطلاعات چاه امامزاده عبدالله (قدیم) که در فاصله ۲۸۸ متری این سونداژ قرار دارد و همچنین سطح

⁵- Root Mean Square (RMS) Error

ایستایی در این چاه که در عمق ۶۹ متری از سطح زمین قرار دارد لایه هشتم از عمق ۶۳/۶ متری و با مقاومت ویژه ۲۶ اهم‌متری و همچنین ضخامت ۱۵۸ متری لایه آبدار را نشان می‌دهد (شکل ۱). با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی، مقاومت ویژه نسبتاً بالا در سطح ناشی از آبرفت‌های دانه‌درشت است که با افزایش عمق مقدار رس آن افزایش می‌یابد و باعث کاهش مقاومت ویژه می‌شود. لایه نهم که از عمق ۲۲۲ متری آغاز می‌شود (شکل ۱)؛ با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی و چاه مجاور این سونداژ، سنگ کف از جنس کنگلومرا معرفی می‌شود.

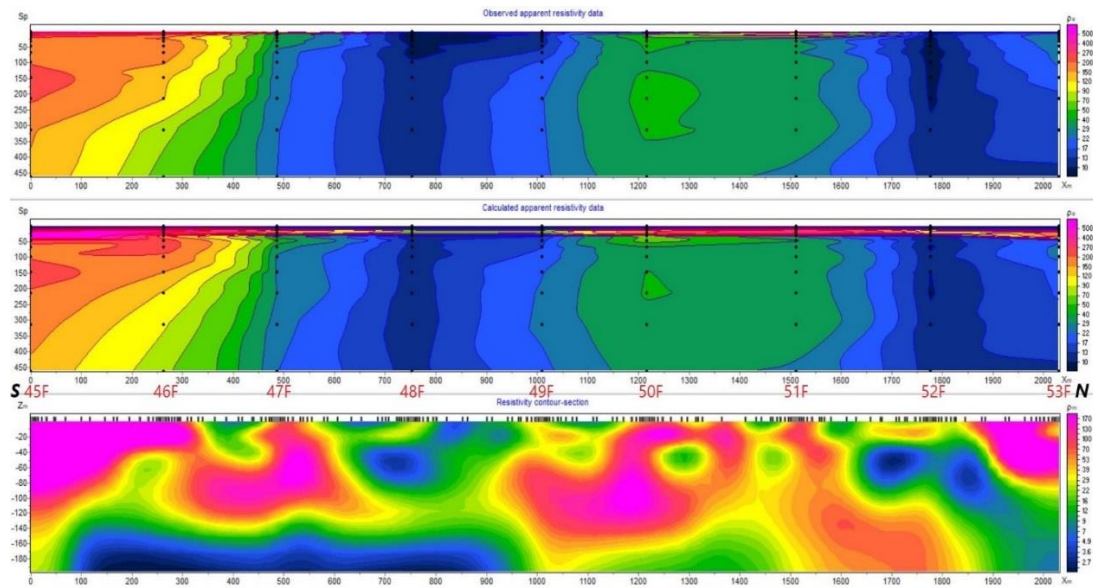
۳-۲ مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی

همانطور که مشاهده می‌کنید مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه ظاهری ۹ سونداژ الکتریکی در یک خط برداشت به طول ۲۰۳۱۴ متر را که با استفاده از نرم‌افزار Res2Dinv به دست آمده است. در (شکل ۳)، به ترتیب از بالا به پایین شبه مقطع مقادیر اندازه‌گیری شده، شبه مقطع مقادیر محاسبه‌ای و در نهایت مقطع حاصل از مدل‌سازی وارون را نشان می‌دهد. خط برداشت به صورت شمالی-جنوبی بوده و قسمت راست تصویر شمال را نمایش می‌دهد. در قسمت جنوبی خط برداشت و در محدوده بین سونداژهای 45F و 46F مقاومت ویژه لایه آبدار به دلیل وجود پادگانه‌های آبرفتی جدید و ذرات دانه‌درشت، نسبتاً بالا و بین ۱۳۰ تا ۱۸۰ اهم‌متر است و همچنین سطح ایستایی در محل این سونداژها به ترتیب در عمق ۳۷ و ۶۸ متری قرار دارد. در محل سونداژهای 47F، 48F و 49F با عمق سطح ایستایی به ترتیب ۳۷، ۵۰ و ۶۳ متر و همچنین در محل سونداژهای 51F، 52F و 53F با عمق سطح ایستایی به ترتیب ۳۵، ۵۲ و ۶۱ متر، مقاومت ویژه لایه آبدار به طور محسوسی کاهش می‌یابد و به مقدار ۲۰ تا ۲۵ اهم‌متر می‌رسد؛ که ناشی از رسوبات دانه‌ریز و افزایش درصد رس است. در محدوده سونداژ 50F به دلیل وجود رسوبات دانه‌درشت بستر رودخانه‌ای مقاومت ویژه افزایش می‌یابد.



شکل ۳: مقطع حاصل از وارون‌سازی پروفیل F که با استفاده از نرم‌افزار Res2Dinv به دست آمده است (فواصل برحسب متر و فاصله واقعی ۱۰ برابر مقادیر در شکل است).

قسمت زیرین (شکل ۴) مقطع مدل‌سازی شده داده‌های خط برداشت پروفیل F در نرم‌افزار ZondRes2D را نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هم‌خوانی خوبی بین این مقطع با مقطع حاصل از مدل‌سازی به وسیله نرم‌افزار Res2Dinv دیده می‌شود. در پیرامون سونداژ 50F به دلیل دانه درشت بوده ذرات بستر رودخانه‌ای مقاومت ویژه نسبتاً بالا مشاهده می‌شود. به دلیل عمق مدل‌سازی بیشتر، در محدوده سونداژهای 45F تا 49F و در عمق حدود ۱۴۰ متری احتمال وجود آبخوان محصور وجود دارد.



شکل ۴: مقطع حاصل از وارون سازی پروفیل F که با استفاده از نرم افزار ZondRes2D به دست آمده است (فاصل برحسب متر و فاصله واقعی ۱۰ برابر مقادیر در شکل است).

۴ نتیجه گیری

مقاومت ویژه زمین تابعی از متغیرها و عوامل تأثیرگذار مختلف است که دانستن ارتباط این عوامل با مقاومت ویژه، اهمیت بسیار بالایی در اکتشاف مواد زیر سطح زمین (به ویژه آب زیرزمینی) به کمک روش مقاومت ویژه الکتریکی دارد. در این تحقیق تفسیر داده های مقاومت ویژه برداشت شده در چندین مرحله با چند نرم افزار به کاهش خطاهای احتمالی و همچنین اعتبار بخشیدن به نتایج تفسیر کمک بسیاری نموده است. مقاومت ویژه بالا در بخش های جنوبی خط برداشت F به دلیل وجود پادگانه های آبرفتی جدید در این مناطق است. در نهایت به دلیل عمق سطح ایستابی نسبتاً کم و همچنین مقاومت ویژه نسبتاً بالای آبخوان در محدوده جنوبی پروفیل که نشان از درصد پایین تر رس و املاح نسبت به سایر نقاط پروفیل دارد، مناسبترین محل برای حفر چاه در محدوده بین سونداژهای 46F و 47F می باشد.

۵ مراجع

۵-۱ مراجع لاتین

- [3][5][7] Asfahani, J. (2007). Electrical earth resistivity surveying for delineating the characteristics of ground water in a semi-arid region in the Khanasser Valley, northern Syria. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(8), 1085-1097.
- [4] Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- [6] Corvallis, O. R; (2000), D.C. Resistivity methods, Northwest Geophysical associates, Inc.

۵-۲ مراجع فارسی

- [۱] صداقت، م، (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب (آب های زیرزمینی)" جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، صص ۷-۲۰
- [۲] لطیف کار، م، کامکار روحانی، ا، عرب امیری، ع. ل، پرریان خوی، ح، (۱۳۹۳)، "اکتشاف سفره آب زیرزمینی و ارزیابی کیفیت آن، با استفاده از روش سونداژ قائم الکتریک، یک مطالعه موردی"، همایش ملی زمین شناسی و اکتشاف منابع، شیراز.