

به کارگیری روش‌های الکترومغناطیس گذرا و مگنتوتلوریک شنیداری در مطالعه یک آبخوان

محمد فیلبندی کشکولی^۱، محمد فرزامیان^۲، جوآنا آلوز ریبیرو^۳، فرناندو آ. مونتیرو سانتوس^۴

^۱فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشگاه صنعتی شاهرود، kashkoulimohammad@gmail.com

^۲دانشجوی پست دکترا، دانشگاه لیسبون، Mohammadfarzajian@gmail.com

^۳دانشجوی دکترا، دانشگاه لیسبون، joana.alves.ribeiro@gmail.com

^۴استاد تمام، دانشگاه لیسبون، fasantos@fc.ul.pt

چکیده

در بخش غرب مرکزی پرتغال در ناحیه‌ای به وسعت ۴۰ کیلومتر مربع برای مشخص کردن مشخصات زمین‌شناسی آبخوان Monte Real در مجموع ۵۰ سونداژ الکترومغناطیس گذرا و ۱۵ سونداژ مگنتوتلوریک شنیداری برداشت شده است. تحلیل بعد با استفاده از روش تانسور فاز انجام شده است. داده‌های مگنتوتلوریک شنیداری با استفاده از الگوریتم گرادینت مزدوج غیرخطی وارون‌سازی شده است. برای بدست آوردن مدل مقاومت‌ویژه لایه‌های زمین از روش یک بعدی لاونبرگ-مارکوات استفاده کرده‌ایم. نتایج روش الکترومغناطیس گذرا یکپارچه نبودن آبخوان در ناحیه مورد مطالعه را نشان می‌دهد به طوری که زون با مقاومت‌ویژه بالاتر در شمال واضح است و در شمال شرقی ناحیه‌ای با بهره‌دهی بالا را انتظار داریم. بر اساس نتایج این مطالعه هیچ آثاری از نفوذ آب شور در این آبخوان یافت نشد. بنابراین فرض بر این است که خطر نفوذ آب شور در آبخوان مورد مطالعه کم است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، مگنتوتلوریک شنیداری، الکترومغناطیس گذرا، وارون‌سازی

An Aquifer study using Transient Electromagnetic and Audio-Magnetotelluric Methods

Mohammad Filbandi Kashkoui¹, Mohammad Farzajian², Joana Alves Ribeiro²

Fernando A. Monteiro Santos²

¹Shahrood University of Technology

²IDL, Universidade de Lisboa, Portugal

Abstract

A total of 50 Transient Electromagnetic (TEM) and 15 Audio-Magnetotelluric (AMT) soundings were carried out in west central part of Portugal over an area of approximately 40 km² to characterize the geological formations associated with the aquifer of Monte Real. The dimensionality of the AMT profiles was studied using the phase tensor analysis and the AMT data was inverted using a 2D nonlinear conjugate-gradient algorithm. The TEM soundings were inverted using a 1D Lavenberg-Marquardt technique. The TEM results shows that the aquifer is not uniform through the study area; a more resistive zone is evident in the north and northeast of the investigated area where we expect to have higher productivity. Based on the results of this investigation no traces of saltwater intrusion were found for the Monte Real aquifer. Therefore, we assume that the risk of saltwater intrusion is small in the study area.

Keywords: Aquifer; Audio-Magnetotelluric; Transient Electromagnetic; Inversion

مقدمه

آبخوان Monte Real یکی از منابع مهم تامین آب برای فعالیت‌های گسترده کشاورزی و آب آشامیدنی در بخش غرب مرکزی پرتغال است. این ناحیه تحت تاثیر تکتونیک‌های نمکی فعال بوده و چاه‌های آب حفاری شده زیادی در ناحیه به واسطه انحلال رسوبات نمک حاوی آب شور می‌باشد. (آلمیدا و همکاران، ۲۰۰۰). تحقیقات اخیر نشان داده است که تلفیق روش‌های الکترومغناطیس گذرا و مگنتوتلوریک شنیداری می‌توانند به عنوان یک تکنولوژی تخریب‌ناپذیر و اقتصادی و به طور همزمان برای به نقشه درآوردن تصویر ساختارهای نیمه عمیق و عمیق آبخوان‌ها به کار برده شوند.

در این مطالعه ما برداشت الکترومغناطیس گذرا (TEM) و مگنتوتلوریک شنیداری (AMT) را برای بررسی توزیع شدگی مقاومت ویژه آبخوان Monte Real را انجام داده ایم تا سطح عمق آب زیرزمینی و محدوده فضایی آبخوان را بدست آوریم. روش الکترومغناطیس گذرا با تفکیک پذیری بالا برای مطالعات هیدروژئوفیزیک (توماس و همکاران، ۲۰۰۴؛ دنیلسن و همکاران، ۲۰۰۳)، اکتشافات آب های زیرزمینی (مژو و همکاران، ۲۰۰۱)، تحقیقات در مورد نفوذ آب دریا و آب های زیرزمینی و شور شدن خاک (میلز و همکاران، ۲۰۱۳؛ کافری و گولدمن، ۲۰۰۵؛ باور گوتوین و همکاران، ۲۰۱۰؛ هرکنرات و همکاران، ۲۰۱۰) مورد استفاده قرار میگیرند.

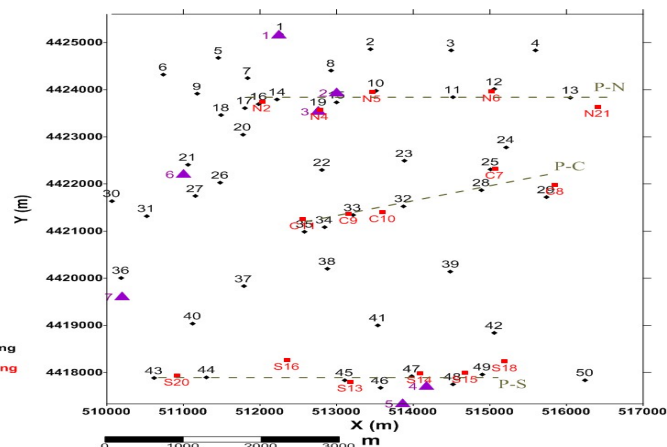
برداشت داده های الکترومغناطیس گذرا

در این مطالعه از سیستم TEM-FAST 48 که از دنباله ای از پالس های جریان مستطیلی تک قطبی با نسبت پالس به مکث ۳ به یک استفاده می کند. (آمر، ۲۰۰۲) در مجموع ۵۰ سونداژ TEM با استفاده از پیکربندی حلقه (coincident loop configuration) با حلقه فرستنده 100×100 متر جمع آوری شده است. حلقه فرستنده با جریان ۴ آمپر به کار گرفته شد. شکل ۱ موقعیت های سونداژهای TEM را نشان می دهد. کیفیت اکثر داده های TEM خوب بوده، ولی با این حال در برخی سونداژها نویز بالا مشاهده شده است که در پردازش داده ها و مدلسازی گنجانده نشده است.

برداشت داده های مگنتوتلوریک شنیداری و خصوصیات داده ها

محاسبات AMT در بازه بین ۱ تا 10^5 هرتز هست. ۱۵ سونداژ AMT در جهت غربی-شرقی برداشت شده است. (شکل ۱) داده های AMT به وسیله سیستم GMS-06 با فاصله سایت بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری و فرکانس بین بازه ۰/۵ هرتز تا ۱۰ کیلوهرتز برداشت شده است. طول دوقطبی الکتریکی تقریباً ۸۰ متر بود و چهار اجزای افقی میدان الکتریکی و مغناطیسی در جهت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی اندازه گیری شد. سونداژ C10 به شدت تحت تاثیر نویز بود و بنابراین در این مطالعه گنجانده نشده است.

نرم افزار Mapros که بر پایه پردازش قوی (robust processing) پیشنهاد شده توسط اگبرت و بوکر در سال ۱۹۸۶ است، برای پردازش سری های زمانی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه ما فقط از داده هایی با همبستگی بیشتر از ۰/۶ استفاده کرده ایم.

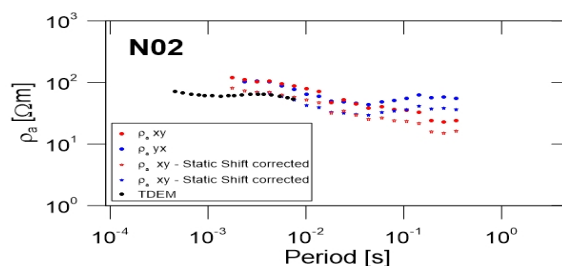


شکل ۱- موقعیت گمانه های حفاری شده، پروفایل های AMT و سونداژهای TEM و AMT

تصحیح شیفت ایستا

منحنی های مقاومت ظاهری AMT در ناحیه مورد مطالعه به وسیله روند کلی بالا-پایین-بالا تغییرات مقاومت از عمق پایین تا عمق بالا شناخته می شوند که نشان دهنده یک لایه رسانا بین دو لایه مقاوم می باشد. در بیشتر سونداژهای AMT، منحنی های xy و yx برای فرکانس های بالا سازگار هستند و در فرکانس های پایین تقسیم می شوند که حاکی از ساختار

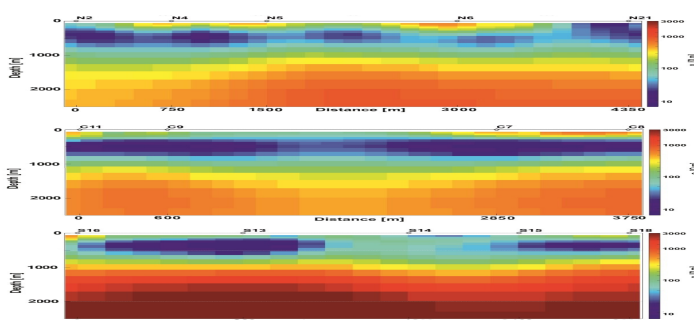
لایه ای یک بعدی بر روی ساختارهای عمیق دو بعدی می باشد. شکل ۲ مثالی از شیفت ایستا در داده های مگنتوتلوریک سونداژ N2 که با استفاده از منحنی TEM تصحیح شده را نشان می دهد.



شکل ۲- نحوه تصحیح شیفت ایستا در سونداژ N02

نتایج AMT

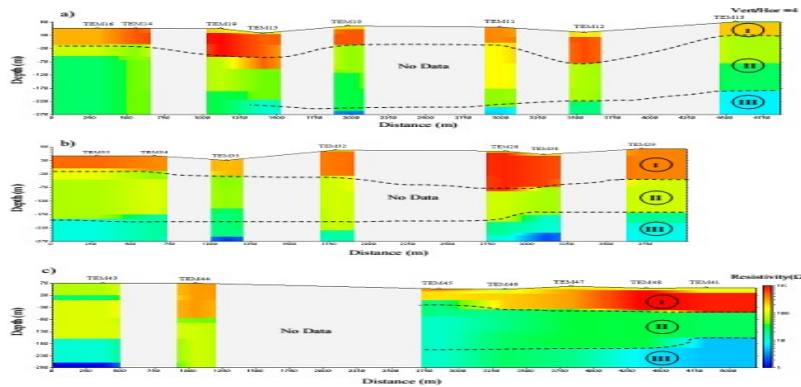
برای مدل سازی داده های AMT مدل نیم فضای همگنی با مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم.متر را برای هر سه پروفیل در نظر گرفتیم و داده ها با استفاده از کد گرادیان مزدوج غیرخطی مدل کردیم. وارون سازی با در نظر گرفتن هر دو مد (TE+TM) انجام شده و مقدار سطح خطا (error floor) برای مقاومت ویژه ظاهری ده درصد و برای فاز ۵ درصد در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن مناسبترین پارامتر تنظیم کننده (τ) (هانسن، ۱۹۹۸) چندین وارون سازی با مقادیر مختلفی از آن انجام شد که مقدار $\tau=5$ مناسبترین مقدار با توجه به مشاهدات از منحنی L بود. شکل ۳ مدل سازی دو بعدی با دو مد را نشان میدهد. این مدل ها مقدار RMS کلی برابر با ۱/۶۷، ۲/۳۵ و ۲/۲۵ برای پروفایل های P-N، P-C و P-S دارند.



شکل ۳- مدل سازی دوبعدی داده های AMT در امتداد پروفایل ها

نتایج TEM

وارون سازی یک بعدی داده های TEM توسط نرم افزار TEM-RESEARCH(TEM-RES که به صورت عددی و از روش لاونبرگ-مارکوارت استفاده می کند، انجام شده است. (کامر و همکاران، ۲۰۰۳) بر اساس بخش های مقاومت ویژه و از سطح به پایین ما سه ناحیه اصلی را شناسایی کردیم. این نواحی با خطوط خط چین در شکل ۴ مشخص شده است. ناحیه (I): ناحیه مقاوم با مقاومت ویژه بین ۱۰۰۰-۳۰۰ اهم.متر (زرد تا قرمز) که مربوط به زون ماسه ای غیراشباع است. ضخامت این زون از ۸۰ متر در پروفایل P-S بیشتر از ۱۵۰ متر در قسمت شمالی پروفایل P-N تغییر میکند. ناحیه (II) : ناحیه ای با مقاومت ویژه بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم.متر (سبز روشن تا زرد). این ناحیه زیر ناحیه مقاوم یک قابل مشاهده است. ما پیش بینی میکنیم که این ناحیه مربوط به آبخوان آب شیرین ماسه ای هست. بر پایه انجام آنالیز هم ارزی برای سونداژهای TEM، ضخامت و مقاومت ویژه این لایه دقیق ترین پارامترهای محاسبه شده در ناحیه برداشت است. ناحیه (III): زون رسانا با مقاومت ویژه بین ۱۰ تا ۲۰ اهم.متر (آبی روشن تا سبز روشن). این زون مقاطع مشاهده میشود و می تواند به دلیل حضور سازند شیل خاکستری با مقاومت پایین تر باشد. عمق پایینی مرز این سازند به علت محدود بودن عمق دسترسی در روش TEM قابل شناسایی نیست.



شکل ۴- مدلسازی یک بعدی داده های TEM

نتیجه گیری

با ترکیب نتایج و تفسیر همزمان داده های TEM و AMT ما توانستیم ساختارهای کم عمق و عمیق را نشان دهیم. بر اساس مدلسازی داده های TEM آبخوان Monte Real در منطقه مورد مطالعه یکپارچه نیست و پیشنهاد حفاری ما، مناطق شرقی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه هستند. این بدان سبب هست که مدل های TEM زون هایی با مقاومت ویژه بیشتر را در این نواحی نشان می دهند که میتواند نشانه وجود کمتر رس در این زون باشد. متاسفانه عمق جستجوی سونداژهای AMT نتوانست ساختارهای مقاوم را نشان دهند و داده اضافی که بتوان مدلسازی داده های AMT را اعتبارسنجی کرد موجود نبود. اگرچه که ما معتقدیم اگر سازند نمکی وجود داشته باشد در اعماق بیشتر از ۲ کیلومتر (خارج از محدوده اکتشافی AMT) هست. چرا که ما مقاومت ویژه بالاتری برای سازند نمکی متصور هستیم.

منابع

- Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., & Gomes, A., J. 2000. Sistemas aquíferos de Portugal Continental: Lisboa, Instituto da Água, Technical Report, CD-ROM, 661 p.
- Danielsen, J. E., Auken, E., Jorgensen, F., Sondergaard, V., & Sorensen, K. I. 2003. The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys: Journal of Applied Geophysics 53, 181–198. doi: 10.1016/j.jappgeo.2003.08.004.
- Thomsen, R., Sondergaard, V. H., & Sorensen, K. I. 2004. Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark. Hydrogeology Journal 12, 550–562. doi: 10.1007/s10040-004-0345-1.
- Meju, M. A., Fontes, S. L., Ulugergeli, E. U., La Terra, E. F., Germano, C. R., & Carvalho, R. M. 2001. A joint TEM-HLEM geophysical approach to borehole siting in deeply weathered granite terrains, Ground Water 39, 554–567. doi: 10.1111/j.1745-6584.2001.tb02344.x.
- Mills, T., Hoekstra, P., Blohm, M., & Evans, L. 1988. Time domain electromagnetic soundings for mapping sea-water intrusion in Monterey County, California. Ground Water 26, 771–782. doi: 10.1111/j.1745-6584.1988.tb00428.x.
- Kafri, U., & Goldman, M. 2005. The use of the time domain electromagnetic method to delineate saline groundwater in granular and carbonate aquifers and to evaluate their porosity, Journal of Applied Geophysics 57, 167–178. doi: 10.1016/j.jappgeo.2004.09.001.
- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. N., Christiansen, L., Herckenrath, D., Kgotlhang, L., and Zimmerman, S. 2010. Hydrogeophysical exploration of three-dimensional salinity anomalies with the time-domain electromagnetic method (TDEM). Journal of Hydrology 380(3–4), 318–329. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.11.007.
- Herckenrath, D., Odlum, N., Nenna, V., Knight, R., Auken, E., & Bauer-Gottwein, P. 2013. Calibrating a salt water intrusion model with time-domain electromagnetic data. Ground Water 51(3), 385–397. doi: 10.1111/j.1745-6584.2012.00974.x.
- AEMR. 2002. TEM-RESEARCHER, Version 6, Manual Applied Electromagnetic Research AEMR.
- Hansen, P.C. 1998. Rank Deficient and Discrete Ill-Posed Problems, Numerical Aspects of Linear Inversion. SIAM, Philadelphia. doi: 10.1137/1.9780898719697.
- Commer, M., Hordt, A., Helwig, S., & Scholl, C. 2003. Three-dimensional inversion of time-domain EM data with highly constrained model complexities. 20 Kolloquium elektromagnetische tiefenforschung, Königstein, 114-123.