مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۳، شماره ۲، ۱۳۸۶، صفحهٔ ۶۹- ۷۵

وارون‌سازی ترکیبی داده‌های مقاومت ویژه با آرایه‌های شلومبرژه و دوقطبی- دوقطبی به‌منظور تعیین مسیر درز و شکاف‌های آبدار

محمدیاسر رادان[1*] و محمدکاظم حفیظی[2]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[2] دانشیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۵/۵/۱۰ ، پذیرش نهایی: ۸۶/۶/۱۷)

چکیده

به‌دلیل نیاز مبرم به منابع آب در مسیر جاده تله‌کابین توچال، طی یک طرح پژوهشی با استفاده از روش سریع و نسبتاً ارزان‌قیمت VLF محل‌های مورد تردید از نظر وجود درز و شکاف‌های آبدار مشخص شد. سپس با اجرای عملیات مقاومت ویژهٔ الکتریکی با آرایه شلومبرژه و تهیه مقطع وارون دوبعدی، وجود آب در عمق بین ۷ تا ۳۰ متری در فاصله ۱۹۳۰ متری مسیر جاده تایید و چاه حفر شده، طبق پیش‌بینی صورت گرفته به آب رسید. سپس با استفاده از آرایه دوقطبی- دوقطبی پروفیل مقاومت ویژه دیگری روی پروفیل قبلی آرایه شلومبرژه و در کنار چاه به اجرا در آمده تا محیط اطراف چاه به‌طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت برای تشخیص جهت قرارگیری درزو شکاف‌های آبدار، با استفاده از تفکیک‌پذیری عمودی خوب آرایه شلومبرژه و تفکیک‌پذیری افقی خوب آرایه دوقطبی- دوقطبی، داده‌های دو پروفیل به‌صورت ترکیبی مورد وارون‌سازی دوبعدی قرار گرفت و جزئیات بیشتری از چگونگی قرارگیری درز و شکاف‌های آبدار به‌دست آمد این امر در ادامهٔ روند و تعیین مسیر حفاری چاه به‌منظور دسترسی به درز و شکاف‌های بیشتر و پر آب‌تر، کمک شایانی کرد.

واژه‌های کلیدی: شلومبرژه، دوقطبی- دوقطبی، مقاومت ویژه الکتریکی، وارون‌سازی ترکیبی

۱ مقدمه

روش مقاومت ویژه الکتریکی به‌طور وسیعی در مطالعات منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ابراهیم و همکاران ۱۹۹۷). همچنین برای تشخیص آلودگی خاک وگا و همکاران (۲۰۰۳) روشی را معرفی کرده‌اند که در آن برای استفاده از تفکیک‌پذیری عمودی خوب آرایه ونر و تفکیک‌پذیری افقی خوب آرایه دوقطبی- دوقطبی، داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی برداشت شده با آرایه‌های ونر و دوقطبی- دوقطبی را به‌صورت ترکیبی مدل‌سازی کرده است. پژوهش حاضر برای نخستین بار در کشور موضوع استفاده ترکیبی از داده‌های مقاومت ویژهٔ الکتریکی با آرایه‌های شلومبرژه و دوقطبی- دوقطبی و وارون‌سازی آن را مشابه با آنچه وگا و همکاران (۲۰۰۲) انجام رسانده‌اند، به‌کار برده است. بدین‌صورت که مطالعات مقاومت ویژهٔ الکتریکی برای تعیین عمق بی‌هنجاری یافت شده در مسیر جاده اصلی تله‌کابین توچال (حفیظی و رادان، ۱۳۸۳) و با فرض لایه‌ای بودن زمین با آرایه شلومبرژه صورت گرفت. با وارون‌سازی داده‌های پروفیل شلومبرژه متشکل از سه سونداژ قائم، عمق و گسترش بی‌هنجاری مقاومت ویژهٔ کم که مربوط به درز و شکاف‌های آبدار است مشخص شد. در ادامه برای بررسی بیشتر روی محل مورد نظر، ترکیبی از پروفیل زنی و سونداژ زنی بااستفاده از آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی به‌کار گرفته شد. در نهایت برای بررسی امکان به‌کارگیری وارون‌سازی ترکیبی برای تعیین مسیر درز و شکاف‌های آبدار، در اینجا از این فن استفاده شده که نتایج به‌دست آمده از چاه حفر شده، صحت این بررسی را تأیید کرده

*نویسنده رابط: تلفن: ۰۹۱۲-۲۵۸۵۹۷۳ دورنگار: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۵۴۸ E-mail: moyarak@yahoo.com

است.

۲ توصیف منطقه

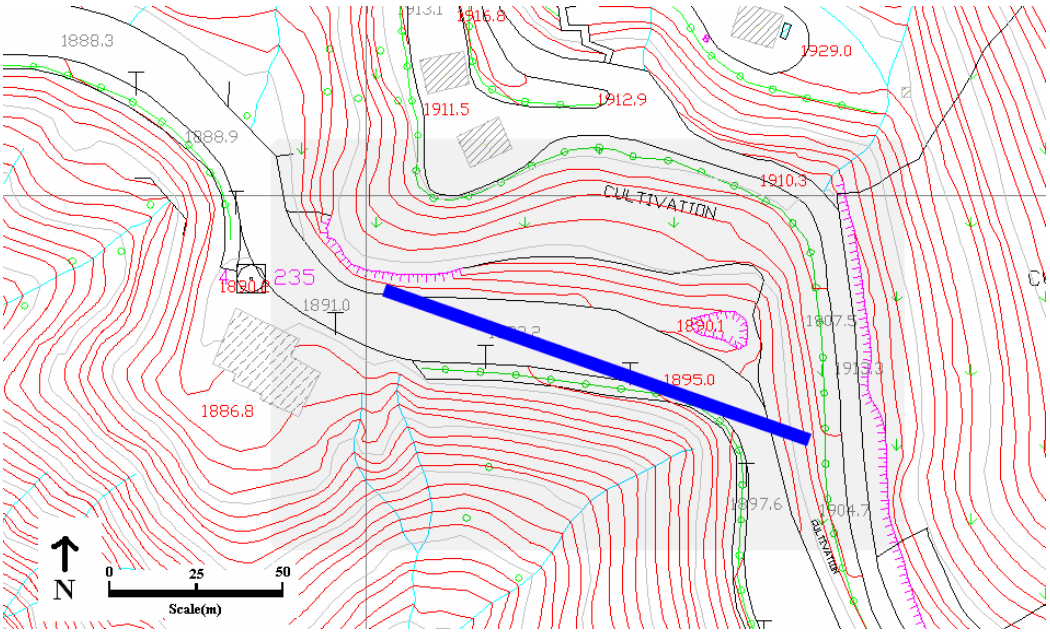
محل مورد بررسی دره‌ای است که در فاصله بین ۱۸۵۰ تا ۱۹۷۰ متری در راستای جاده اصلی تله‌کابین توچال واقع شده است. در شکل ۱، نقشه محل مورد بررسی نشان داده شده است. بررسی عکس‌های هوایی مربوط به منطقه، اطلاعات خوبی از پیشینه آن به‌دست می‌دهد. از جمله آن‌که مسیر شکاف دره تا پایین، محل خوبی برای رشد پوشش گیاهی درختی است. در شکل‌های ۲-الف و ۲-ب نمایی طبیعی از دره مورد نظر نشان داده شده است.

۳ دستگاه‌های مورد استفاده

دستگاه مورد استفاده در اندازه‌گیری مقاومت ویژه به روش شلومبرژه دستگاه Terrameter مدل SAS300C ساخت شرکت سوئدی ABEM و دستگاه مربوط به اندازه‌گیری به روش دوقطبی- دوقطبی دستگاه IPR11 به همراه الکترودهای فلزی و کابل‌های رابطی است که روی قرقره‌های مرتبط پیچیده می‌شود.

۴ عملیات صحرایی

در این پژوهش ابتدا برای تشخیص محل‌های دارای بی‌هنجاری با مقاومت ویژه کم که بیانگر درز و شکاف‌های آبدارند، با استفاده از روش سریع و نسبتاً ارزان‌قیمت VLF پروفیل‌های متعددی در مسیر جاده اصلی تله‌کابین توچال داده برداری شد. سپس با استفاده از مقاطع چگالی جریان به‌دست آمده از داده‌های VLF، دو محل بی‌هنجاری یکی در ۱۱۰۰ متری و دیگری در ۱۹۳۰ متری جاده مشخص شد که بی‌هنجاری در فاصله ۱۹۳۰ متری کاملاً شاخص‌تر و بهتر از قبلی بود. سپس با استفاده از عملیات مقاومت ویژهٔ الکتریکی با آرایه شلومبرژه و به‌دست آوردن مقطع مقاومت ویژه، فاصله ۱۹۳۰ متری از



شکل ۱. محل دره مورد بررسی در فاصله ۱۸۵۰ تا ۱۹۷۰ متری جاده ایستگاه اصلی تله‌کابین توچال تهران

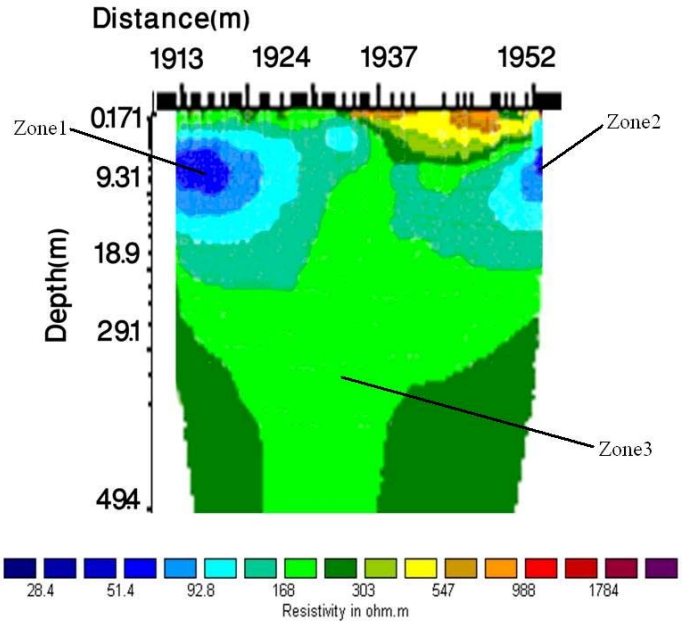
عمق ۷ الی ۳۰ متری، در حکم بهترین محل از نظر وجود بی‌هنجاری با مقاومت ویژهٔ الکتریکی کم (درز و شکاف‌های آبدار) انتخاب و حفر چاه به‌منظور استخراج آب آغاز شد. با این کار وجود آب از عمق ۷ متری به اثبات رسید. در ادامه و به‌منظور تکمیل عملیات مقاومت ویژهٔ الکتریکی، با استفاده از آرایه دوقطبی- دوقطبی پروفیلی درست روی چاه برداشت شد. همچنین به‌منظور بررسی آنومالی مقاومت ویژه کم و مقایسه آن با آنومالی‌های موجود در لایه‌های رسی و مارنی، عملیات IP نیز به روش دوقطبی- دوقطبی صورت گرفت (حفیظی و رادان، ۱۳۸۳).

۵ مدل‌سازی

پس از برداشت داده‌های مقاومت ویژه به روش شلومبرژه، با وارون‌سازی دوبعدی روی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv، مقطع مقاومت ویژه‌ای به‌دست آمد که عمق بررسی آن تا ۵۰ متر بود، اما تفکیک‌پذیری افقی مناسبی نشان نمی‌داد. با توجه به شکل ۳، در ناحیه‌های ۱ و ۲ دو بی‌هنجاری سطحی با مقاومت ویژهٔ الکتریکی کم دیده می‌شود. نظر به این‌که موضوع مورد جستجو در این تحقیق، یافتن درز و شکاف آبدار در محیط‌های سنگی است که معمولاً در عمق‌های بیشتر مورد انتظار است، بی‌هنجاری‌های یاد شده ممکن است به دلیل وجود رس در لایه‌های سطحی و هوازدهٔ خاک باشد. البته بررسی‌های تکمیلی IP به روش دوقطبی- دوقطبی نشان داد که قطبش القایی حدود ۳۰ میلی ولت بر ولت در زنار ۱ و ۲ زیاد بوده است که فرض وجود رس در آن را به یقین نزدیک می‌کند. طبق مقطع مشاهده شده در شکل ۳، بی‌هنجاری عمودی (ناحیه ۳) در فاصلهٔ ۱۹۳۰ متری که حدوداً از عمق ۷ متری آغاز شده است، بیانگر مقاومت ویژهٔ الکتریکی کم است که نشان از وجود درز و شکاف آبدار دارد. تأیید این مطلب وجود قطبش کم‌تر از ۲ میلی ولت بر ولت در زنار ۳ و نبود رس در آن است.

شکل ۲-الف. نمای طبیعی درهٔ مورد بررسی در حالی که جاده در شکل دیده می‌شود.

شکل ۲– ب. نمای طبیعی بالای درهٔ مورد بررسی.



شکل ۳. مقطع وارون دوبعدی مقاومت ویژهٔ الکتریکی از داده‌های آرایهٔ شلومبرژه که در آن ناحیه ۳ وجود درز و شکاف‌های آبدار را نشان می‌دهد. نواحی ۱ و ۲ احتمال وجود رس وجود دارد.

با وارون‌سازی دوبعدی روی داده‌های مقاومت ویژهٔ الکتریکی به‌دست آمده از پروفیل دوقطبی- دوقطبی، مقطعی مانند شکل ۴ حاصل شد که عمق بررسی آن حدود ۱۵ متر بود ولی جزئیات افقی بیشتری را نشان می‌داد. بی‌هنجاری‌های سطحی مشاهده شده در مقطع مقاومت ویژهٔ الکتریکی در شکل ۴ (ناحیه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴)، همانند بی‌هنجاری‌های سطحی در شکل ۳ بود که این موضوع با بررسی مقطع قطبش القایی در شکل ۴ کاملاً مشخص است. وجود میزان بالای قطبش القایی در زنارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ قطبش القایی حدود ۳۰ میلی ولت بر ولت، وجود بی‌هنجاری رسی را نمایان می‌کند. با مقایسهٔ مقاطع مقاومت ویژهٔ الکتریکی با مقطع قطبش القایی شکل۴، زنار ۵ محدودهٔ آبدار با قطبش کمتر از ۲ میلی ولت بر ولت از اهداف مناسب برای بررسی مورد نظر محسوب می‌شود.

در اینجا به‌منظور استفاده همزمان از تفکیک‌پذیری عمودی خوبی که آرایهٔ شلومبرژه در اختیار می‌گذارد و تفکیک‌پذیری افقی خوبی که آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی به‌دست می‌دهد، از روش وارون‌سازی ترکیبی (joint inversion) استفاده شده است. داده‌های مقاومت ویژهٔ الکتریکی به‌دست آمده از آرایه‌های شلومبرژه و دوقطبی- دوقطبی به‌طور ترکیبی مورد وارون‌سازی، قرار می‌گیرند و مقطع مقاومت ویژهٔ الکتریکی ترکیب به‌دست می‌آید. مقطع به‌دست آمده هم شامل عمق بررسی زیاد آرایهٔ شلومبرژه و هم شامل دقت افقی زیاد آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی است.

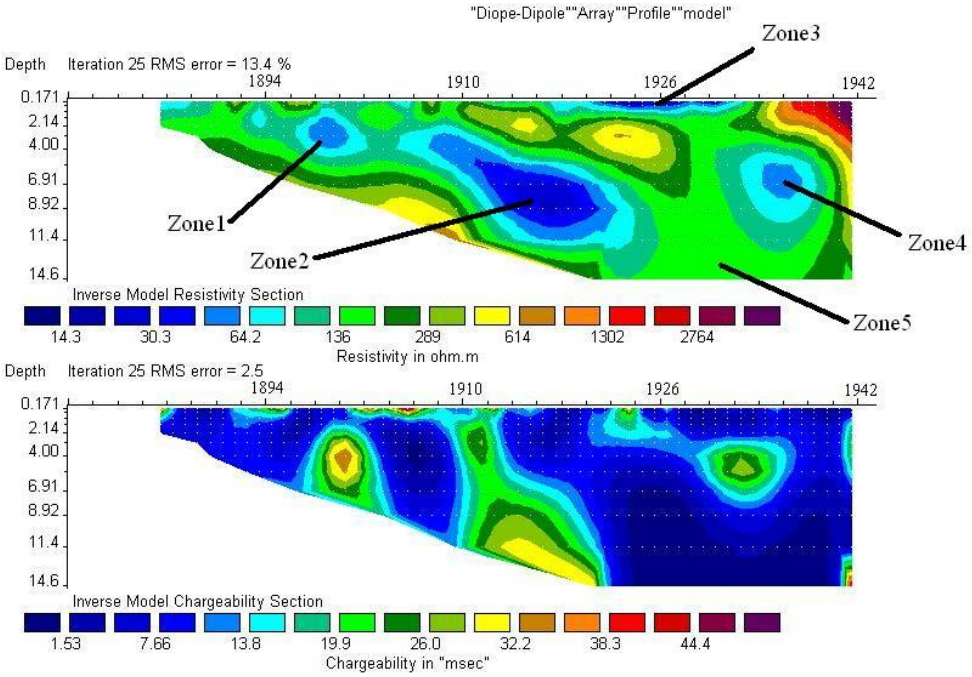
در این مرحله با استفاده از وارون‌سازی دوبعدی داده‌های آرایهٔ شلومبرژه (شکل ۳) و آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی (شکل ۴) امتداد بی‌هنجاری مقاومت ویژهٔ الکتریکی کم (درز و شکاف‌های آبدار) مشخص شد. به‌دلیل این‌که مقاومت ویژهٔ الکتریکی رس مانند مقاومت ویژهٔ الکتریکی زون آبدار، کم است و به منظور تفکیک آنها، مقطعی از داده‌های IP تهیه شد که نشان می‌دهد در فاصله ۱۹۳۰ متری مقاومت ویژهٔ الکتریکی کم به لایه رسی مربوط نیست (قطبش کمتر از ۲ میلی ولت بر ولت) و وجود درز و شکاف آبدار را اثبات می‌کند.

در نهایت با استفاده از روش وارون‌سازی ترکیبی وگا و همکاران (۲۰۰۳)، داده‌های آرایهٔ شلومبرژه و آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی با هم ترکیب و مقطع مقاومت ویژهٔ الکتریکی ترکیب (شکل ۵) تهیه شد. این مقطع به‌دلیل وجود تفکیک‌پذیری عمودی خوب آرایهٔ شلومبرژه و تفکیک‌پذیری افقی خوب آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی، به‌صورت بسیار مناسبی نحوه قرارگیری درز و شکاف‌ها و میزان گسترش آنها را به‌دست می‌دهد. با توجه به مقطع دوبعدی مدل‌سازی ترکیبی (شکل ۵) در زنارهای ۱ و ۲ بی‌هنجاری سطحی دیده می‌شود که زنار ۱ رسی و زنار ۲ غیر رسی است. اثر مشارکت داده‌های مقاومت ویژهٔ الکتریکی آرایه‌های شلومبرژه و دوقطبی- دوقطبی در شکل ۵ با توضیحات مفصلی ارائه شده است. نکته قابل توجه، ناحیه ۳ در شکل ۵ است که نشان‌دهندهٔ شکاف اصلی آبدار زیر سطحی در ۱۹۳۰ متری است. بدین نحو که از سمت چپ با خرده شکاف‌های سطحی در زنار ۲ تغذیه می‌شود. بعد از حفر چاه در محل ۱۹۳۰ متری، موارد ذکر شده مورد تأیید قرار گرفت و روشن ساخت که روش این تحقیق اطلاعات سودمندی را در حفر چاه مناسب به‌دست می‌دهد.

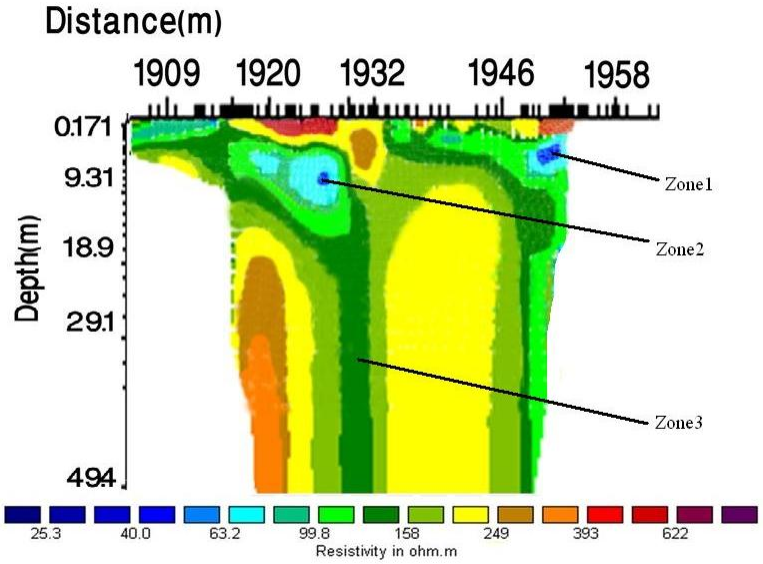
۶ نتیجه‌گیری

در عملیات مقاومت ویژهٔ الکتریکی برای بررسی دقیق‌تر و بهتر محل مورد نظر، بهتر است از ترکیب دو آرایهٔ متفاوت یکی برای بررسی قدرت تفکیک عمقی بیشتر و دیگری برای مشخص شدن جزئیات افقی بیشتر استفاده شود. در این‌صورت تفکیک‌پذیری زیادتری نسبت به هرکدام از مقاطع به‌دست آمده، به‌طور مجزا حاصل می‌شود و

جزئیات خوبی از ساختارهای زیرسطحی در محل مورد بررسی به‌دست می‌آید که در عملی ساختن مطالعات بعدی و یا حفر چاه مناسب، بسیار مفید واقع می‌شود. با به انجام رساندن روش قطبش القایی زنارهای رسی از زنارهای آبدار قابل تفکیک است و محل حفر چاه در فاصله ۱۹۳۰ متری تأییدی است بر این مطلب.



شکل ٤. مقطع وارون دوبعدی مقاومت ویژهٔ الکتریکی و IP داده‌های آرایهٔ دوقطبی- دوقطبی (بالا: مقاومت ویژهٔ الکتریکی، پایین: قطبش القایی).



شکل ۵. مقطع حاصل از وارون‌سازی ترکیبی دوبعدی مقاومت ویژهٔ الکتریکی از داده‌های آرایه شلومبرژه و آرایه دوقطبی- دوقطبی.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به سبب حمایت مالی از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شمارهٔ ۶۵۲/۲/۸۸۷ تشکر و قدردانی می‌شود و همچنین از آقایان مهندس حبیب علیزاده و مهندس حسین ثنایی‌کمال به خاطر یاری در عملی ساختن عملیات صحرایی و کمک در پیشبرد طرح کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

حفیظی، م. ک. و رادان، م. ی.، ۱۳۸۳، یافتن آب در درز و شکاف سنگ‌ها به روش VLF و مقاومت ویژه، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، تهران، ایران.

Ebraheem, A. M., Sensosy, M. M., and Dahab, K. A., 1997, Geoelectrical and hydro-geochemical studies for delineating ground-water contamination due to salt-water intrusion in the northern part of the Nile delta, Egypt. Ground Water, **35**, 216-222.

Vega, M., Lascana, A., and Osella, E., 2003, Joint inversion of Wenner and dipole-dipole data to study a gasoline-contaminated soil, J. Appl. Geophy., **57**, 97-109.