پردازش ۲ بعدی و تصحیح جابجایی ایستا در داده‌های مگنتوتلوریک

حسین پرنیان خوی[۱]، بهروز اسکوئی[۲]
[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، H.oseinParnian@alumni.ut.ac.ir
[۲]دانشیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، boskooi@ut.ac.ir

چکیده

روش مگنتوتلوریک (MT) یک روش ژئوفیزیک سطحی غیرفعال (پسیو) است که با استفاده از میدان‌های الکترومغناطیسی طبیعی زمین به بررسی ساختارهای مقاومت ویژه الکتریکی زیرسطحی پرداخته و توزیع مقاومت ویژه الکتریکی در زمین را مشخص می‌کند. جابجایی ایستا یکی از مشکلات ایجاد شده توسط رساناهای کم عمق می‌باشد که با ایجاد جابجایی در منحنی سونداژ مقاومت ظاهری مگنتوتلوریک منجر به مشکلات اساسی در تفسیر داده‌های مگنتوتلوریک می‌شود. بنابراین، اثر جابجایی ایستا باید به عنوان یکی از مراحل پردازش داده‌های مگنتوتلوریک تصحیح شود. در این مقاله برای نشان دادن کاربرد داده‌های دترمینان ما با ارائه یک مطالعه موردی، از داده‌های دترمینان به عنوان یک جایگزین موثر برای تصحیح جابجایی ایستا استفاده کرده‌ایم.

واژه‌های کلیدی: مگنتوتلوریک، پسیو، مقاومت ویژه، مقاومت ظاهری، جابجایی ایستا، داده دترمینان

2D processing and Static Shift correction in Magnetotelluric data

Parnian Khoy, H.[1], Oskooi, B.[2]
[1] *Master Graduate, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[2] ***Associate Professor**, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*

Abstract

Magnetotelluric (MT) method is an important passive surface geophysical method which uses the Earth's natural electromagnetic fields to investigate the electrical resistivity structure of the subsurface and determines the resistivity distribution of the earth. Static shift is one of disorders arising from shallow conductors that can lead to severe problems in the interpretation of magnetotelluric (MT) data by shifting the MT apparent resistivity sounding curve. Therefore, static shift must be corrected as one of MT data processing steps. In this paper to show the application of determinant data, we present a case study and use the determinant data as an effective replacement for the static shift correction.

Keywords: Magnetotelluric, Passive, Electrical Resistivity, Apparent Resistivity, Static Shift, Determinant Data

۱ مقدمه

روش مگنتوتلوریک یک تکنیک ژئوفیزیکی سطحی غیرفعال است که از میدان‌های الکترومغناطیسی طبیعی متغییر با زمان در بررسی ساختار مقاومت‌ویژه زیرسطحی استفاده می‌کند. در این روش امواج الکترومغناطیسی با توجه به بسامدشان و نیز مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها، اطلاعاتی از اعماق زمین به‌دست می‌دهند. عمق بررسی در روش مگنتوتلوریک خیلی بیشتر از دیگر روش‌های الکترومغناطیسی است و از امواج الکترومغناطیسی با بسامد کم برای آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی استفاده می‌شود. این امواج بسامدهایی در پهنای $۱۰^{-۴}$ تا $۱۰^{۳}$ هرتز دارند و از فعالیت‌های ناشی از وقوع آذرخش در مقیاس جهانی و نوسانات مغناطیس سپهری سرچشمه می‌گیرند (وزوف،۱۹۹۱). نقطه‌ضعف روش مگنتوتلوریک این است که ناهمگنی‌های موجود در لایه‌های بالایی، میدان الکتریکی تانسور امپدانس و مقاومت‌ویژه‌ی ظاهری را به‌شدت آشفته می‌کنند. جابه‌جایی ایستا به‌علت وجود ناهمگنی‌های سطحی الکتریکی و یا به علت وجود توپوگرافی ایجاد می‌شود. دلیل ایجاد این پدیده ناپیوستگی میدان الکتریکی افقی به‌هنگام عبور از ناهمگنی‌های جانبی است. این آشفتگی‌ها دارای طبیعت گالوانی هستند و روی کل بازه‌ی بسامدهای پایین ادامه می‌یابند و جابه‌جایی ایستای مقاومت‌ویژه‌ی ظاهری را ایجاد می‌کنند.

۲ تئوری مگنتوتلوریک

درروش مگنتوتلوریک از اندازه‌گیری‌های مولفه‌های افقی میدان الکترومغناطیسی، تانسور امپدانس مختلط به‌صورت تابعی از بسامد به‌شکل رابطه (۱) تعریف می‌شود (کانتول و مادن، ۱۹۶۰):

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که Z تغییرات افقی و عمودی رسانایی الکتریکی زیرسطحی را در یک ایستگاه اندازه‌گیری مشخص، نشان می‌دهد. تانسور امپدانس اطلاعات مفیدی را درباره بُعد و امتداد ساختارهای رسانا فراهم می‌کند. مقاومت ویژه ρ_a و فاز ϕ، کمیت‌های مطلوبی هستند که از روابط (۲) و (۳) به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند:

$$\rho_{ai} = \frac{1}{\mu_0 \omega} |Z_i|^2 \quad (۲)$$

$$\phi_i = phase(Z_i) \quad (۳)$$

$$i = xx, xy, yx, yy, DET$$

که μ_0 نفوذ پذیری مغناطیسی خلا، ω بسامد زاویه‌ای و DET نشان‌دهنده داده‌های دترمینان است.

در یک زمین دوبُعدی رسانندگی الکتریکی در امتداد یک جهت افقی (جهت امتداد زمین‌شناسی) ثابت است و معادلات ماکسول باعث جدایی مُدهای TE و TM می‌شود. یک دستگاه مختصات فرضی در نظر گرفته می‌شود که در آن محور x موازی با امتدادساختار(محور y در امتداد نیم‌رخ) و نیم‌رخ عمود بر امتداد و محور z روبه پایین است. در این حالت مولفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی در مُد TE به‌ترتیب به‌صورت H_z,H_y,E_x هستند و دراین مُد جریان‌های الکتریکی موازی با امتداد ساختار زیرسطحی هستند. مولفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی که با مُد TM توصیف می‌شوند به‌صورت H_z,H_x,E_y هستند که در این مُد، جریان الکتریکی عمود بر امتداد ساختار است.

دترمینان تانسور امپدانس، امپدانس موثر (Z_{DET}) نامیده و به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود (پدرسن و انگل، ۲۰۰۵):

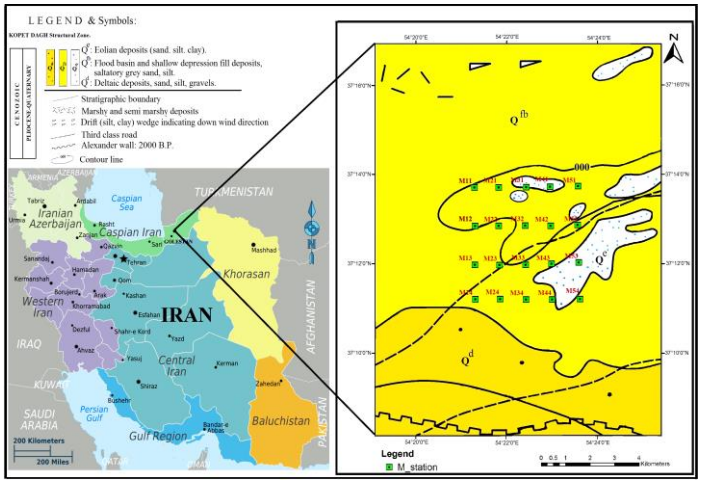
$$Z_{DET} = \sqrt{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}} \quad (۴)$$

با استفاده از امپدانس موثر، مقاومت ویژه ظاهری و فاز محاسبه می‌شود. مزیت استفاده از داده‌های دترمینان این است که میانگین مفیدی از امپدانس را برای همه جهت‌های جریان فراهم می‌کند. همچنین نیازی به تصحیح جابه‌جایی ایستا (static shift correction) نیست و بُعد (dimension) داده‌ها لحاظ نمی‌شود، چون امپدانس موثر میانگینی را از همه جهت‌های جریان به‌دست می‌دهد و باعث تولید مدل‌های یک‌بُعدی و دوبُعدی پایدار می‌شود و می‌توان گفت که داده دترمینان میانگین حسابی داده‌های مدهای TE و TM می‌باشد (اسکوئی و جواهری، ۲۰۱۱).

۳ بررسی یک مطالعه موردی

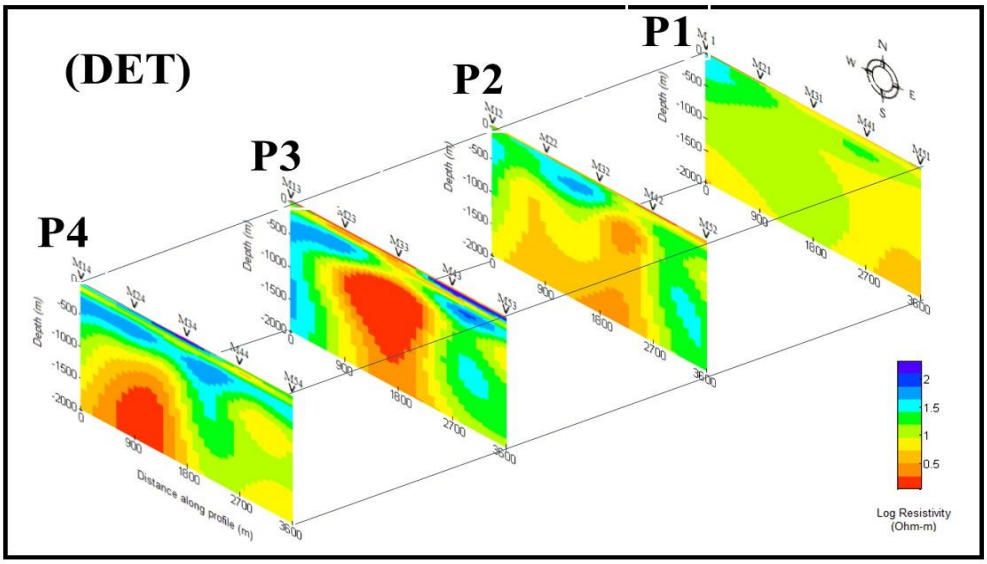
تعداد ۲۰ ایستگاه MT برداشت شده در امتداد ۴ پروفیل شرقی- غربی مجزا در استان گلستان و در شمال شرق شهر آق قلا به عنوان یک نمونه موردی برای بررسی داده‌های دترمینان مورد بررسی قرار گرفته است. فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر ۹۰۰ متر و فاصله پروفیل‌ها ۱/۵ کیلومتر می‌باشد. محل ایستگاه برداشت و زمین‌شناسی منطقه در شکل (۱) نمایش داده شده است.

شکل ۱. محل ایستگاه برداشت و زمین‌شناسی منطقه.



۴ وارون سازی دوبعدی داده‌های مگنتوتلوریک

در این تحقیق داده‌های مقاومت ویژه و فاز امپدانس با استفاده از الگوریتم REBOCC وارون‌سازی شدند که این الگوریتم در حقیقت وارون‌سازی تقلیل یافته برحسب روش OCCAM است که سیریپون واراپورن و اگبرت (۲۰۰۰) آن را معرفی کردند. پس از اعمال مراحل پردازشی وارون‌سازی دوبعدی داده‌های مگنتوتلوریک برای چهار پروفیل مربوطه در مد DET انجام شده و نتایج در شکل (۲) نشان داده شده است و در نهایت با بررسی اطلاعات حاصل از یک چاه اکتشافی در فاصله ۲۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه، نطابق قابل قبولی مشاهده شده است. لازم بذکر است با توجه به مطالعات زمین‌شناسی منطقه غالباً به صورت لایه‌ای و رسوبی است.



شکل ۲: مقطع وارون سازی دو بعدی مقاومت ویژه الکتریکی در امتداد چهار پروفیل شرقی-غربی در مد DET

۵ نتایج حاصل از حفاری

دادهای MT در ۲۰ کیلومتری یک چاه دارای نگار حفاری متعلق به سازمان صنایع و معادن استان گلستان برداشت شده است. حفاری این چاه تا عمق ۲۴۰۰ متری صورت پذیرفته است. با توجه به اطلاعات حاصله می‌توان مشاهده کرد که قسمت‌های فوقانی زمین در محل چاه عمدتاً شامل سنگ آهک و ماسه سنگ است از نظر الکتریکی بسیار مقاوم می‌باشند. عارضه زمین شناسی دیگر قابل ذکر یک لایه بسیار رسانا شامل سفره آب شور تحت فشار در عمق ۶۷۰ تا ۸۴۰ متری می‌باشد و بعد از این عمق لایه‌های مقاوم شامل توف، شیل و کنگلومرا و سنگ آهک تکرار می‌شوند.

۶ تفسیر نتایج وارون سازی دوبعدی مد DET

با بررسی نتایج وارون‌سازی دو بعدی، وجود یک توده رسانا در هر چهار پروفیل بارزترین عارضه زمین‌شناسی مشاهده شده می‌باشد که در پروفیل چهار از زیر ایستگاه M24 و M34 در عمق تقریبی ۱۰۰۰ متری شروع شده و با حرکت به سمت پروفیل ۳ تا عمق تقریبی ۷۰۰ متری بالا می‌آید و با شکافتن لایه مقاوم به یک لایه رسانای سطحی‌تر متصل می‌شود. با حرکت به سمت پروفیل دو می‌توان مشاهده کرد که از رسانایی لایه ذکر شده کاسته شده و در پروفیل ۱ این لایه رسانا دیگر در اعماق سطحی قابل مشاهده نبود و صرفاً یک لایه با رسانای پایین‌تر و در عمق تقریباً ۱۵۰۰ متری قابل مشاهده است. دیگر عارضه زمین شناسی قابل مشاهده وجود یک لایه نازک رسانای سطحی در پروفیل ۱،۲ و ۳ و یک لایه نازک مقاوم سطحی در پروفیل ۴ می‌باشد که مطمعناً عدم تصحیح جابجایی ایستا باعث تغییر در مقاومت لایه‌های زیرسطحی شده و در نهایت نتایج ناشی از تفسیر نادرست خواهند بود که بدین منظور ما از مد دترمینان در وارون‌سازی خود استفاده کرده ایم تا اثر جابجایی ایستای ناشی از این پدیده‌های ۲ بعدی یا ۳ بعدی سطحی را برا آنومالی‌های زیرسطحی تصحیح کنیم. با مقایسه این نتایج با نتایج حاصل از حفاری می‌توان مشاهده کرد که این لایه رسانا به احتمال زیاد همان لایه آب شور موجود در نگاره حفاری می‌باشد که از نظر عمقی نیز تطابق خوبی دارند و همچنین وجود لایه‌های مقاوم در نتایج وارون‌سازی با مطالعات زمین‌شناسی و نتایج حفاری قابل تایید می‌باشد.

۷ نتیجه‌گیری

در این مطالعه از الگوریتم REBOOC برای وارون سازی داده‌ها استفاده شد و با استفاده از مد DET که در واقع میانگین امپدانس در تمامی جهات جریان می‌باشد سعی گردید تا مشکلات ناشی از جابجایی ایستا در نتایج تصحیح و مانع از تفسیر ناصحیح لایه‌ها شد. از مهم‌ترین نتایج حاصله می‌توان تایید لایه بسیار رسانای موجود در مقاطع مقاومت ویژه توسط مطالعات زمین‌شناسی و نتایج حفاری عنوان کرد و همچنین می‌توان گفت در نبود اطلاعات کافی زمین‌شناسی یا مقاومتی لایه‌های سطحی، چنانچه از داده‌های دترمینان برای وارون سازی استفاده شود بهترین نتیجه برای تفسیر حاصل خواهد شد.

منابع

اسکوئی، م. جواهری، ا. بهروزمند، ا. ۲۰۱۱، استفاده از داده دترمینان برای تصحیح جابجایی ایستا در داده‌های مگنتوتلوریک

Vozoff, K., 1991" .The magnetotelluric method, in Electromagnetic methods in applied geophysics ".M. N. Nabighian, Ed., Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 2(B), 641-711.

Cantwell, T., and Madden, T. R., 1960, Preliminary report on crustal magnetotelluric measurements:Geophysics, 65(12), 4202-4205.

Pedersen, L. B., and Engels, M., 2005, Routine 2D inversion of magnetotelluric data using the determinant of the impedance tensor: Geophysics, 70, G33-G41.

Siripunvaraporn, W., Egbert, G., 2000. "*An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data*", Geophysics, 65, 791-803.