

استفاده از داده دترمینان برای تصحیح جابه‌جایی ایستا در داده‌های مگنتوتلوریک

بهروز اسکویی^{۱*}، امیرحسین جواهری کوپائی^۲ و احمدعلی بهروزمند^۳

^۱ استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
^۲ دانش‌آموخته، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
^۳ دانش‌آموخته، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۷/۸/۲۹، پذیرش نهایی: ۹۰/۷/۱۹)

چکیده

روش مگنتوتلوریک (زمین‌مغناطیسی MT) یکی از روش‌های الکترومغناطیسی است که با استفاده از میدان‌های طبیعی الکترومغناطیسی متغیر با زمان زمین اطلاعاتی راجع به ساختار رسانش ویژه الکتریکی زیرسطحی فراهم می‌کند. جابه‌جایی ایستا یکی از اختلال‌هایی است که به‌واسطه حضور توده‌های رسانای سطحی ایجاد می‌شود. لذا این جابه‌جایی به‌منزله یکی از مراحل پردازش داده‌های مگنتوتلوریک، باید تصحیح شود. در نبود اطلاعات کافی درباره ناهمگنی‌های سطحی، که معمولاً با بررسی‌های جانبی نظیر TEM و VES به‌دست می‌آیند، به‌منظور کاهش احتمال هرگونه تفسیر اشتباه، باید داده‌های دترمینان را برای وارون‌سازی درنظر گرفت. در این تحقیق، داده‌های دترمینان درحکم جایگزینی مؤثر برای تصحیح جابه‌جایی ایستا مورد بررسی قرار گرفته‌اند و درنهایت یک بررسی موردی از به‌کارگیری داده دترمینان مطرح شده است.

واژه‌های کلیدی: مگنتوتلوریک، رسانش ویژه، جابه‌جایی ایستا، داده دترمینان

Using the determinant data as a replacement for the Static Shift correction in Magnetotelluric surveys

Oskooi, B.¹, Javaheri K., A. H.² and Behroozmand, A. A.³

¹ Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

² Master Graduate, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³ Master Graduate, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 19 Nov 2008, Accepted: 11 Oct 2011)

Abstract

Magnetotelluric (MT) method is an electromagnetic method which provides information about subsurface conductivity structures using Earth's natural electromagnetic fields. Static shift is one of disorders arising from shallow conductors; therefore static shift must be corrected as one of MT data processing steps. In the absence of sufficient information about the near surface distortions, which usually is provided by extra works like TEM and VES, one has to consider the determinant data for the inversion to avoid any misinterpretation. In this paper, we use the determinant data as an effective replacement for the static shift correction. Finally, we present a case study to show the application of determinant data.

There are various techniques for static shift removal. One of them is theoretical calculation of static shift relating to near surface buried inhomogeneities or surface topographic effects. Alternatively, we can use auxiliary data of known geology of the region or independent measurements such as TEM and VES sounding (Sternberg et al., 1988). In these methods, after calculation of the accurate apparent resistivity values in the site of interest, the curves are transferred to the desired level.

Utilizing determinant data for inversion leads to the best results for the interpretation

in the case that the above methods are not accessible.

As a case study, MT data from a site in Inche-Boroon area in the north of Golestan Province, Iran is considered here. After processing, MT data was obtained as apparent resistivity with respect to frequency (or period) which is shown for ρ_{xy} , (green curve) and ρ_{yx} , (blue curve) in Fig.3. Also, the determinant apparent resistivity data is shown in red. As can be seen, determinant data appears as a mean of ρ_{xy} and ρ_{yx} .

According to the correlation of determinant data with geological structures, it is necessary that apparent resistivity data if measured as ρ_{xy} and ρ_{yx} , to transfer to the correct level (which is compromised to determinant data).

In order to confirm the effectiveness of determinant data, MT data was collected for station in the vicinity of an exploration well in that area. This data (as a determinant apparent resistivity) and also the information obtained from the well log are shown in Fig.4. Subsurface information of the well log has a good correlation with the 1D model derived from inversion of determinant data such that there is a conductive layer containing salt water table in the depth of 670 to 840 meters which can be seen clearly in the obtained model from determinant data too. This correlation indicates the correctness of subsurface information obtained from modeling of determinant data.

The magnetotelluric data processing is one of the most important steps in MT surveys **in the meantime** static shift correction has an important role. If the application of common techniques for removing the static shift are not accessible (such as calculation of static shift relating to near surface buried inhomogenities or surface topographic effects, using auxiliary data of known geology of the region or independent measurements such as TEM and VES sounding), to avoid any misinterpretation, it is necessary to make use of determinant data for inversion.

As previously shown, using determinant data as a proper replacement for static shift correction can be applied in magnetotelluric studies and the case study presented here clearly shows this matter and also the correlation between determinant data and subsurface structures.

Using determinant data is always applicable since it is rotation invariant and therefore, the same data is needed for modeling without regarding to the assumed strike in 2D modeling.

Determinant data often fit very well with 2D models relative to TE and TM data and it is easily possible to operate 2D inversion (similar to 1D) by ignoring the details of static shift.

Key words: Conductivity, Determinant data, Magnetotelluric, Static shift

۱ مقدمه

زاویه‌ای) تانسور امپدانس، Z ، ارتباط بین مؤلفه‌های افقی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را به صورت زیر (به عنوان تابعی از بسامد) تعیین می‌کند:

$$\begin{pmatrix} E_x(\omega) \\ E_y(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx}(\omega) & Z_{xy}(\omega) \\ Z_{yx}(\omega) & Z_{yy}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x(\omega) \\ B_y(\omega) \end{pmatrix} \quad (1)$$

که برای یک ساختار دو بُعدی در حالت دستگاه مختصات

روش مگنتوتلوریک (تیکونو، ۱۹۵۰ و کانسارد، ۱۹۵۳) یکی از روش‌های ژئوفیزیکی سطحی است که با استفاده از میدان‌های الکترومغناطیسی طبیعی متغیر با زمان، اطلاعاتی راجع به ساختار رسانش ویژه پوسته و گوشته بالایی فراهم می‌کند. بدین منظور تغییرات زمانی میدان الکتریکی (E) و میدان مغناطیسی (H) ثبت می‌شوند. بعد از انتقال سری‌های زمانی به حوزه بسامد (ω)، بسامد

(مانند وانامیکر و همکاران، ۱۹۸۴ و بورنر و همکاران، ۱۹۹۹) استفاده از مُد TM را ترجیح دادند، چون این مُد عموماً کمتر از مُد TE با اثرات سه‌بُعدی تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

با این حال بردیچوسکی و همکاران (۱۹۹۸) این بحث را مطرح کردند که این موضوع فقط در مورد ساختارهای رسانای سه‌بُعدی درست است درحالی‌که، در مورد ساختارهای مقاوم سه‌بُعدی، مُد TE کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در حالت کلی در نظر گرفتن ساختارهای یک و دو بُعدی برای مدل‌سازی ساختارهای زیرسطحی منطقی به نظر نمی‌رسد چون در بسیاری از حالت‌ها با ساختارهای سه‌بُعدی و یا حالت انتقال از ساختارهای دو بُعدی به سه‌بُعدی مواجه هستیم و لذا استفاده از این مُدها کارساز نیست. از روش‌های تصویرسازی مستقیم ساختارهای سه‌بُعدی از روی داده‌ها، استفاده از ناوردایی‌های تانسور امپدانس (Impedance Tensor Invariants) است. سزارکا و منویل (۱۹۹۷) نتیجه گرفتند که داده‌های دترمینان درحکم یکی از ناوردایی‌های تانسور امپدانس، گرایست (Bias) خوبی را برای بررسی ریخت‌شناسی سه‌بُعدی ساختارهای مقاوم فراهم می‌کنند. داده دترمینان از تانسور امپدانس با استفاده از معادله (۵) قابل محاسبه است (بردیچوسکی و دمیترویو، ۱۹۷۶):

$$Z_{eff} = \left| Z_{xx} Z_{yy} - Z_{xy} Z_{yx} \right|^{1/2} \quad (5)$$

اصلی (Principal) با محور x در جهت امتداد ساختار، به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$Z = \begin{pmatrix} 0 & Z_{TE} \\ Z_{TM} & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

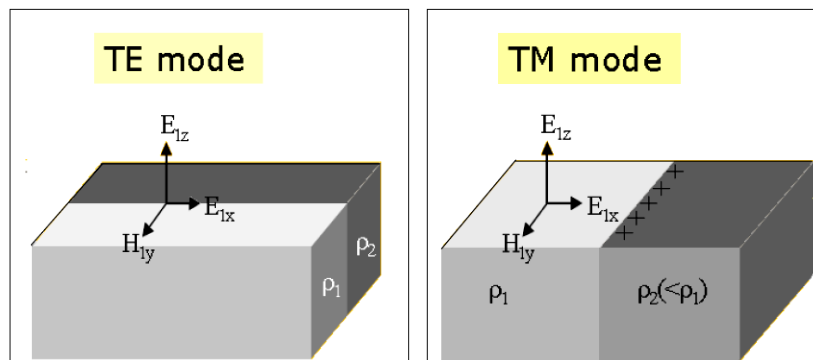
و در آن مُدهای (TE, Transverse Electric) و (TM, Transverse Magnetic) با زیرنویس نشان داده شده‌اند. در مُد TE جریان الکتریکی در جهت امتداد (Strike) ساختار و مؤلفه مغناطیسی متناظر با آن در جهت عمود بر امتداد ساختار و در مُد TM جریان الکتریکی در جهت عمود بر امتداد ساختار و مؤلفه مغناطیسی متناظر با آن در جهت امتداد ساختار در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱). مقاومت ویژه ظاهری از رابطه (۱) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\rho_{a,ij}^{MT}(\omega) = \frac{1}{\mu_0 \omega} \left| Z_{ij}(\omega) \right|^2, \quad i, j = x, y \quad (3)$$

و فاز امپدانس نیز با رابطه (۴) قابل محاسبه است:

$$\phi_{ij} = \text{phase}(Z_{ij}) \quad (4)$$

که μ_0 نفوذپذیری فضای آزاد است. دستگاه مختصات دکارتی (x,y,z) یک دستگاه راست گرد است و جهت مثبت محور z به طرف داخل زمین در نظر گرفته می‌شود. بردیچوسکی و همکاران (۱۹۹۸) طی مقاله‌ای بررسی هر دو مُد TE و TM را در مراحل گوناگون تفسیر داده‌های مگنتولوریک ضروری دانستند. در مقابل، افراد زیادی



شکل ۱. طرحوار نشان‌دهنده مؤلفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی در مُدهای TE و TM.

نتیجه‌ای از پایداری بار الکتریکی می‌شوند و بنابراین باعث می‌شود که بزرگی امپدانس با ضریب‌های حقیقی افزایش یا کاهش یابد). دورافت منحنی‌ها نتیجه‌ای از حالت رسانش ویژه در سطح است. این محدوده چنان نازک است که اثر آن روی فاز حتی در بیشترین بسامدها هم ظاهر نمی‌شود.

جابه‌جایی ایستا می‌تواند منبع 2D یا 3D داشته باشد. در حالت 2D تجمع بار در مُد TM (میدان مغناطیسی در راستای امتداد ساختار و میدان الکتریکی عمود بر امتداد ساختار) مقاومت ویژه ظاهری را با ضریب ثابت (هنگامی که ضخامت جسم ناهمگن خیلی کمتر از عمق پوستی باشد) جابه‌جا خواهد کرد که در این حالت مقاومت ویژه ظاهری به پهنای جسم و نیز موقعیت آن بستگی خواهد داشت، ولی در هر حال یک جابه‌جایی حتی برای اجسام خیلی باریک نیز پیش‌بینی می‌شود. جابه‌جایی‌های خیلی کوچک‌تر برای مُد TE (میدان مغناطیسی عمود بر امتداد ساختار و میدان الکتریکی در راستای امتداد ساختار) انتظار می‌رود و اگر جسم به اندازه کافی باریک باشد آن‌گاه جابه‌جایی دیده نمی‌شود. به طور شهودی بزرگی جابه‌جایی ایستا در مورد حالت‌های 3D یا سه‌بُعدی کوچک‌تر از اثرات مربوط به 2D (با همان شبه‌مقطع) است. با وجود این یک پاسخ مشابه TM در حالت 3D بدون توجه به قُطبش میدان وجود خواهد داشت. شکل (۲ الف) یک مدل دو‌بُعدی را با مقادیر مقاومت ویژه و عمق مربوطه نشان می‌دهد و دو بخش (ب) و (ج) از شکل، دو مدل یک‌بُعدی را نشان می‌دهند. شکل (۲د) مقایسه بین مقاومت ویژه ظاهری و فازهای امپدانس را برای موقعیتی قرار گرفته روی سطح مدل (الف) روی ناحیه مقاوم و در فاصله حدود ۳۰۰ متری از مرز و همچنین نمودارهای مربوط به مقاومت ویژه ظاهری و فازهای امپدانس 1D ناشی از مدل‌های (ب) و (ج) را نشان می‌دهد (سیمپسون و باهر، ۲۰۰۵). مطابق شکل در

با استفاده از امپدانس مؤثر، مقاومت ویژه ظاهری دترمینان (Determinant apparent resistivity) به منزله ورودی برنامه‌های وارون‌سازی) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_{a_{DET}} = \frac{1}{\mu_0 \omega} |Z(\omega)_{DET}|^2 \quad (6)$$

از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از داده دترمینان آن است که نیازی به اعمال تصحیحات جابه‌جایی ایستا ندارد، چون این داده‌ها مقدار میانگینی از امپدانس برای همه جهت‌های جریان فراهم می‌کند. پدرسن و اینگلز (۲۰۰۵) روشن ساختند که در مقیاس لگاریتمی:

$$\log \rho_{DET}^{app} = \frac{1}{2} (\log \rho_{TE}^{app} + \log \rho_{TM}^{app}) \quad (7)$$

که در آن داده دترمینان می‌تواند به صورت میانگین حسابی داده‌های مُدهای TE و TM در نظر گرفته شود (این مطلب در بررسی موردی که در ادامه آورده شده است به وضوح مشاهده می‌شود). از دیگر مزایای استفاده از داده دترمینان آن است که تشخیص مُد (مُد TE: جریان به موازات امتداد یا مُد TM: جریان عمود بر امتداد) نیاز نیست، همچنین تحلیل بُعد (Dimensionality Analysis) برای مدل‌های طبیعی یک‌بُعدی 1D و دو‌بُعدی 2D با استفاده از این داده‌ها به سادگی امکان‌پذیر است (اسکویی، ۲۰۰۶).

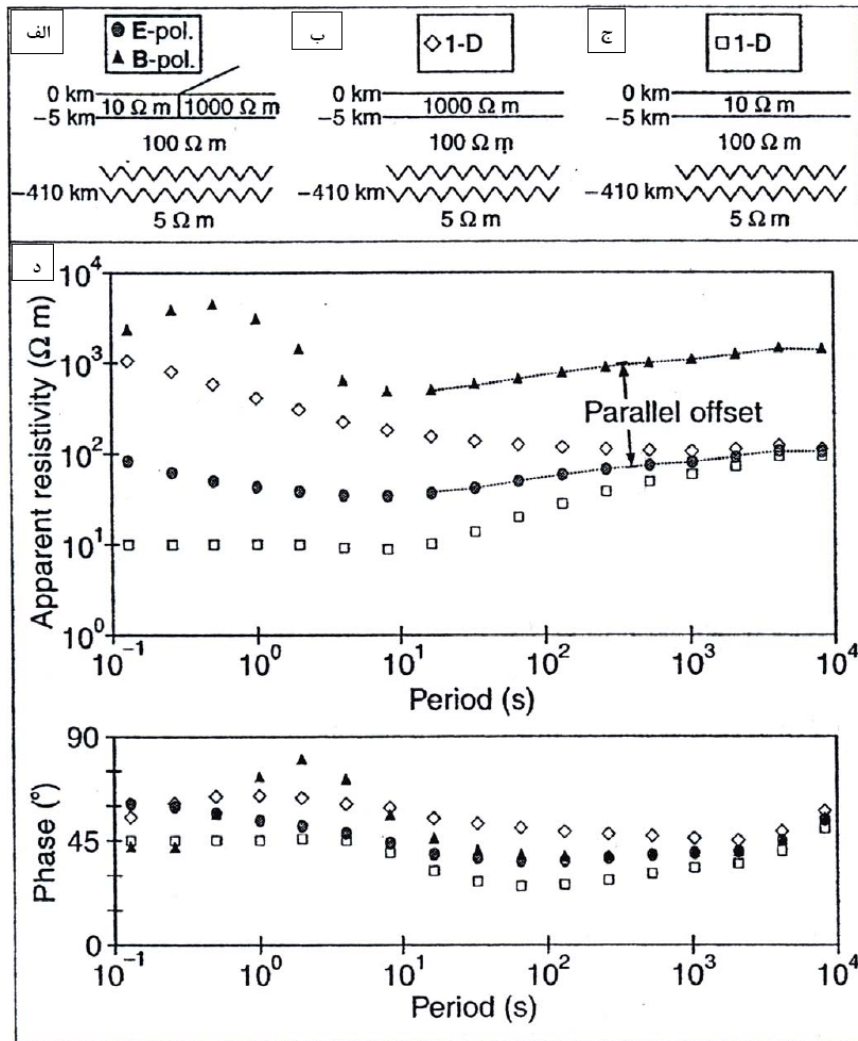
جابه‌جایی ایستا به واسطه حضور بارها روی ناهمگنی‌های سطحی کوچک مقیاس و محلی ایجاد می‌شود. این اثر می‌تواند با هر تباین مقاومت ویژه چندبُعدی با ابعاد کمتر از حداکثر تفکیک پذیری میدان‌های الکترومغناطیسی، با توجه به عمق پوستی بالاترین بسامد استفاده شده ایجاد شود. اثرات واپیچش ناشی از آن فقط روی میدان الکتریکی اثر می‌کند، چنان‌که به صورت جابه‌جایی عمودی در منحنی‌های مقاومت ویژه ظاهری بدون اختلاف دیگری در شکل منحنی‌ها ظاهر می‌شود. (ناپیوستگی‌های رسانش ویژه منجر به واپیچش محلی دامنه میدان‌های الکتریکی در حکم

درحقیقت حضور جابه‌جایی ایستا در داده‌های اندازه‌گیری‌شده در حالتی که مقاومت‌ویژه‌های ظاهری نسبت به یکدیگر جابه‌جا می‌شوند اما فازهای امپدانس تغییر ندارند، به آسانی قابل تشخیص است. جابه‌جایی‌های ایستا عموماً در محیط‌های با مقاومت‌ویژه زیاد که ناهمسانگردی‌های رسانش ویژه کوچک مقیاس تاثیر عمده‌ای روی میدان‌های الکتریکی دارند، متداول هستند. از دیدگاه کمی مقاومت‌ویژه‌های ظاهری DC را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$\rho_a^{DC} = k \frac{U}{I} \quad (8)$$

دوره‌تناوب‌های بلند، مقاومت‌ویژه‌های ظاهری یک‌بُعدی و دو‌بُعدی در مُد TE به $100\Omega m$ که مقاومت‌ویژه نیم‌فضای گسترش‌یافته از $410-5$ km است، همگرا می‌شوند، درحالی‌که در مُد TM منحنی مقاومت‌ویژه جابه‌جایی عمودی را بدون تغییر در روند منحنی به‌خود گرفته است که ناشی از پدیده جابه‌جایی ایستا است و در مورد منحنی‌های فاز تفاوت چندانی بین منحنی‌ها در حالت‌های متفاوت احساس نمی‌شود.

طبیعت مستقل از زمان جابه‌جایی ایستا بدین معنا است که هیچ فاز امپدانسی در ارتباط با این پدیده وجود ندارد.



شکل ۲. بررسی جابه‌جایی ایستا روی نمونه‌ای از حالت‌های 1D و 2D (سیمپسون و باهر، ۲۰۰۵).

مشخص منطقه و یا از راه اندازه گیری‌های مستقل نظیر سونداژزنی (TEM, Transient Electromagnetic) و (VES, Vertical Electrical Sounding) است (استرنبرگ و همکاران، ۱۹۸۸). بدین صورت که با به دست آوردن مقدار دقیق مقاومت ویژه ظاهری در محل موقعیت مورد نظر منحنی را به سطح مربوط منتقل می‌کنند، ولی در صورت نبود امکان حذف جابه‌جایی ایستا با استفاده از روش‌های فوق، چنانچه از داده‌های دترمینان برای وارون‌سازی داده‌ها استفاده شود، بهترین نتیجه برای تفسیر حاصل می‌شود.

۳ یک بررسی موردی از استفاده از داده دترمینان

به جای تصحیح جابه‌جایی ایستا

داده‌های MT برداشت شده از یکی از موقعیت‌های منطقه اینچه‌برون واقع در شمال استان گلستان، در حکم یک بررسی موردی از داده دترمینان عرضه می‌شود. موقعیت جغرافیای منطقه مورد بررسی در طول و عرض جغرافیایی زیر قرار گرفته است (جدول ۱) که این محدوده در شکل ۳ به همراه اطلاعات تکمیلی منطقه نشان داده شده است. بررسی‌های مگنتوتلوریک به گونه‌ای طراحی شده است که رسانایی الکتریکی (یا مقاومت ویژه الکتریکی) در یک محدوده تقریباً $5\text{km} \times 9\text{km}$ از سطح زمین تا عمق ۱۵۰۰ متر به نقشه در آید. منطقه مرزی اینچه‌برون در شمال استان گلستان (نقطه صفر مرزی ایران-ترکمنستان) واقع شده است. شکل ۴ موقعیت منطقه مورد بررسی و همچنین محل دقیق موقعیت‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. سازند عمده موجود در منطقه، سازند (Qt3) است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی منطقه مورد بررسی.

کد	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
1	54 42 50	37 24 51
2	54 49 19	37 24 53
3	54 42 50	37 27 19
4	54 49 15	37 27 19

که k ، ضریب هندسی، I ، جریان الکتریکی تزریق شده به زمین و U ولتاژ اندازه‌گیری شده بین الکترودهای پتانسیل است. در مقایسه با تعریف مقاومت ویژه ظاهری MT (فرمول ۳) می‌بینیم که ولتاژ U اندازه‌گیری شده بیانگر جابه‌جایی ایستای MT، بخشی از جمله دارای توان ۲ است، در حالی که تغییرات مقاومت ویژه ظاهری DC به طور خطی با U تغییر می‌کند. این، باید هنگام محاسبه کمی اثر جابه‌جایی ایستا از اندازه‌گیری‌های DC تصحیح شود. اگر f^{DC} و f^{MT} به ترتیب ضریب‌های جابه‌جایی ایستا برای DC و MT باشند، آن‌گاه خواهیم داشت (اسپیتر، ۲۰۰۱):

$$f^{DC} = \frac{\rho_{undistorted}^{DC}}{\rho_{distorted}^{DC}} = \frac{U_{undistorted}}{U_{distorted}} \quad (9)$$

$$f^{MT} = \frac{\rho_{undistorted}^{MT}}{\rho_{distorted}^{MT}} = \left| \frac{U_{undistorted}}{U_{distorted}} \right|^2 \quad (10)$$

که به رابطه ساده زیر منجر می‌شود:

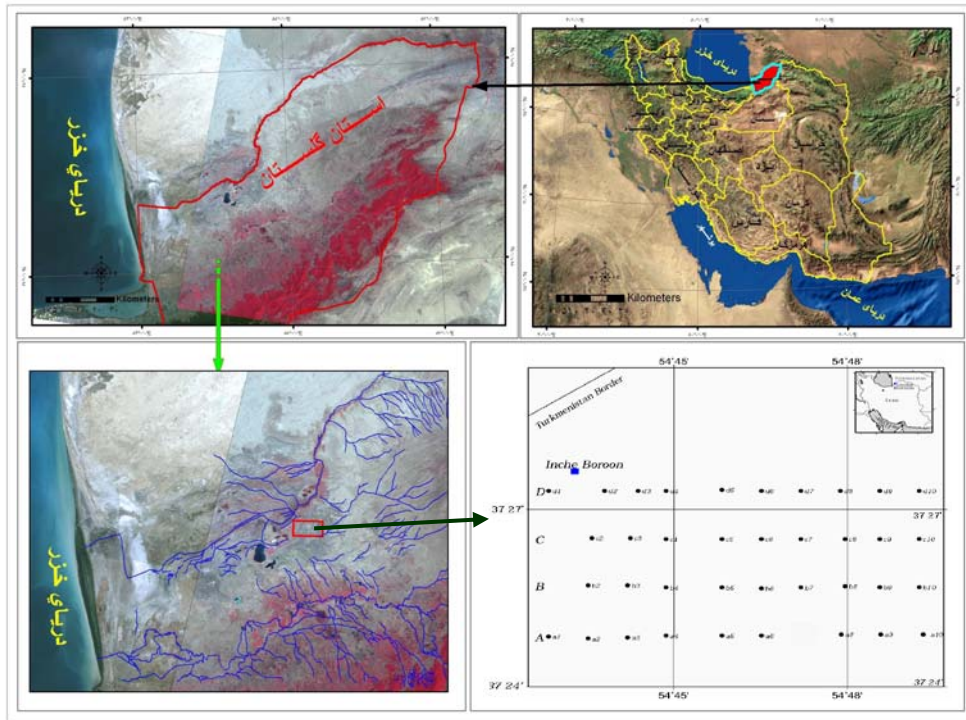
$$f^{DC} = \sqrt{f^{MT}} \quad (11)$$

به عبارت دیگر جابه‌جایی ایستای MT به صورت توان دوم با ولتاژ اغتشاش (آشفستگی) تغییر می‌کند، در حالی که حالت مشابه جابه‌جایی ایستای DC به طور خطی تغییر می‌کند و به این دلیل MT حتی نسبت به روش‌های DC به اغتشاش‌های سطحی حساس‌تر است. حذف جابه‌جایی ایستا از روی داده‌های MT یک امر ضروری است و به طور گسترده در تفسیر داده‌ها به ما کمک می‌کند.

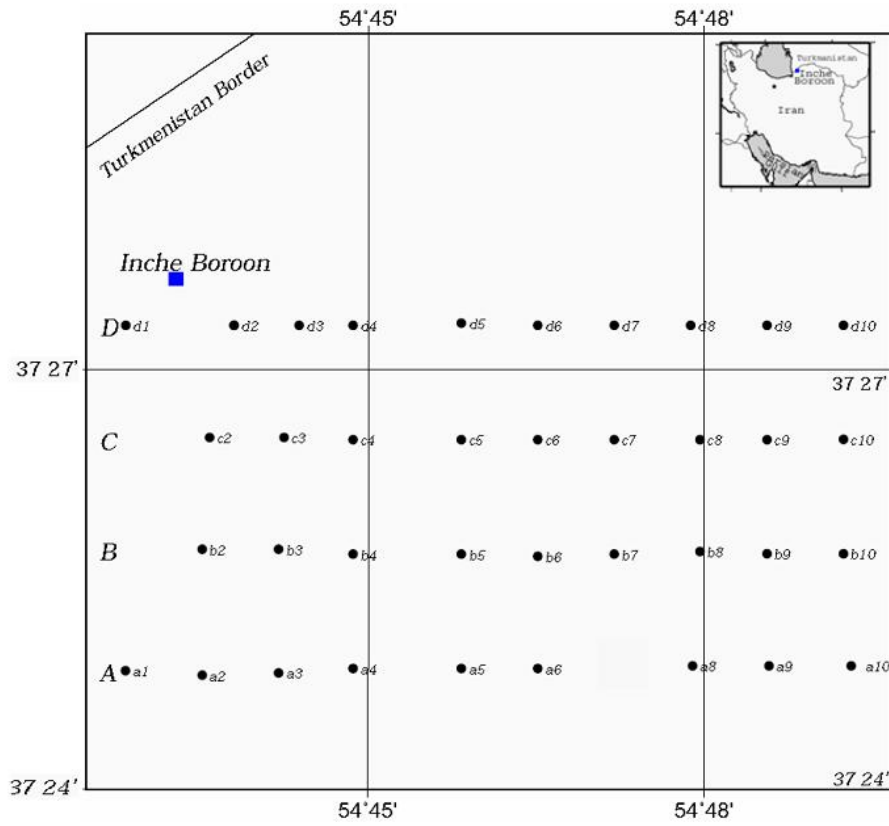
۲ روش‌های حذف جابه‌جایی ایستا از روی داده‌های

MT

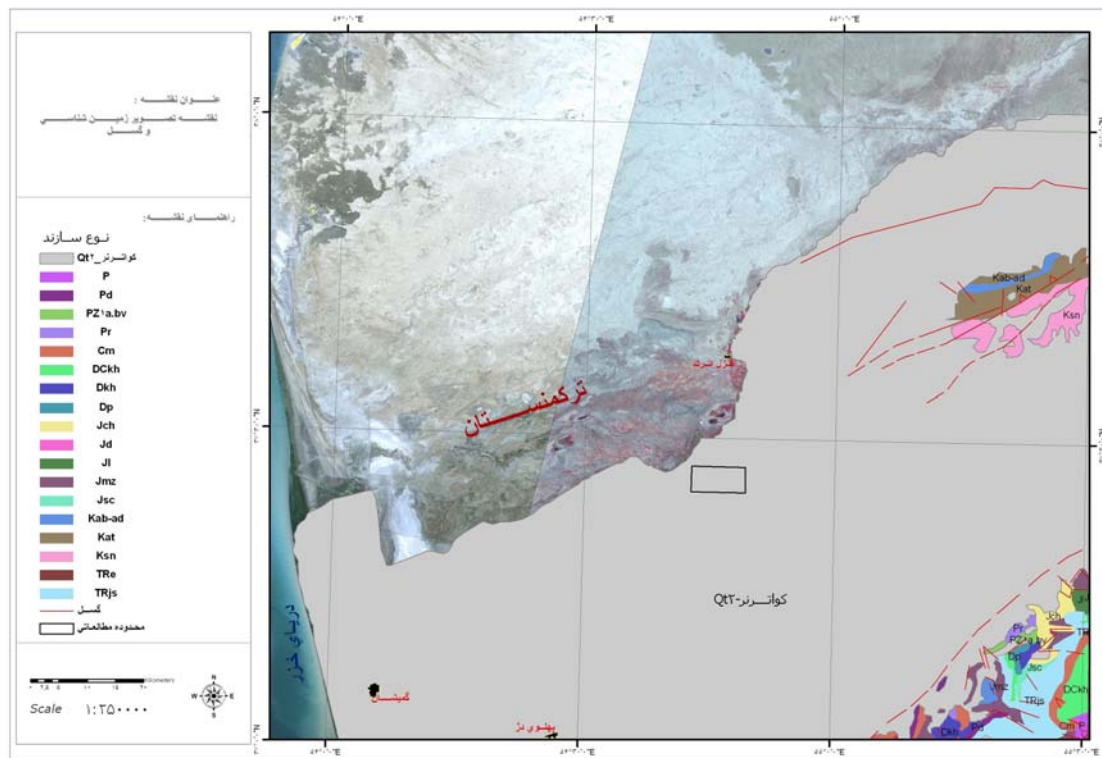
روش‌های متعددی برای حذف جابه‌جایی ایستا وجود دارد. یکی از این روش‌ها، محاسبات نظری مقدار جابه‌جایی ایستا مربوط به ناهمگنی‌های مدفون نزدیک سطح یا اثرات توپوگرافی سطحی است. روش دیگر، استفاده از داده‌های کمکی با توجه به زمین‌شناسی



شکل ۳. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی.



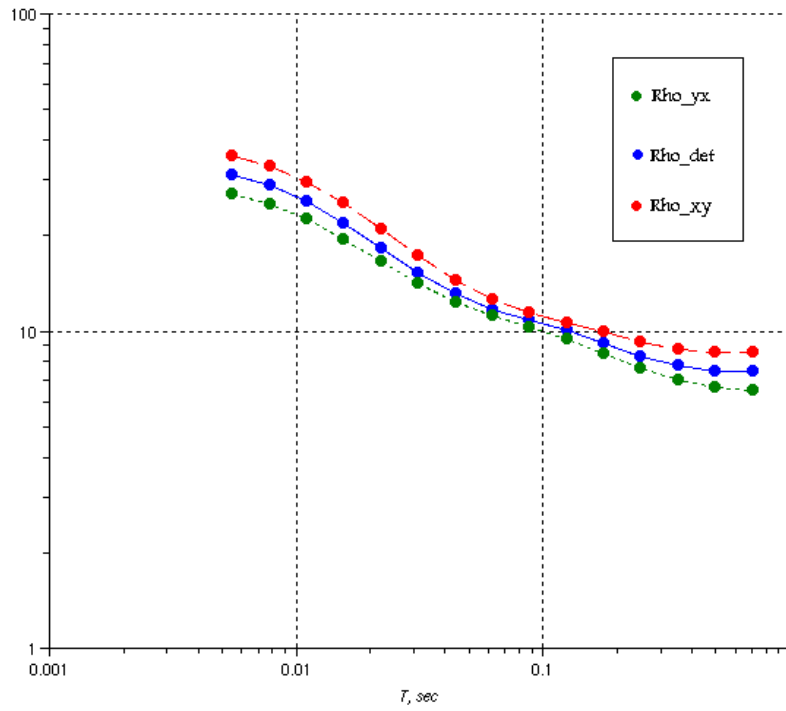
شکل ۴. نقشه $\frac{1}{50000}$ موقعیت منطقه مورد بررسی مگنتوتلوریک در شمال استان گلستان، جنوب شهر مرزی اینچه برون.



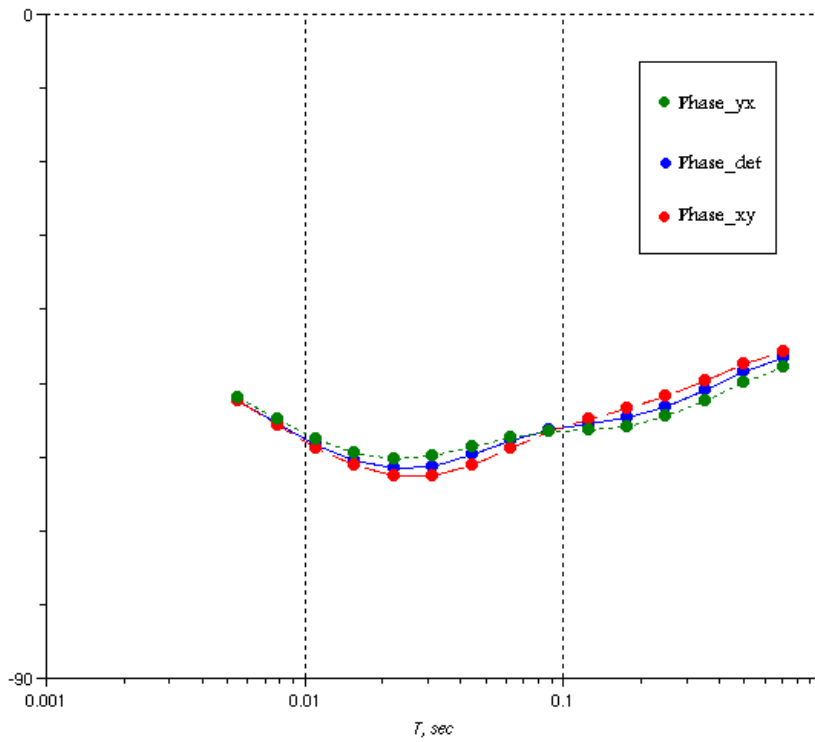
شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی.

دارند و فقط به صورت عمودی جابه‌جا شده‌اند. به منظور تأیید صحت داده‌های دترمینان و مقایسه آن با جهت‌های xy و yx این داده‌ها برای یک ایستگاه در مجاورت یک چاه در حال حفاری که در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی منطقه مورد نظر واقع بود، برداشت شده‌اند. این داده‌ها (به صورت مقاومت ویژه ظاهری دترمینان، xy و yx) و نیز اطلاعات حاصل از نگار چاه در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اطلاعات زیرسطحی حاصل از نگار چاه توافق خوبی با مدل یک‌بُعدی حاصل از داده‌های دترمینان دارد به طوری که در عمق ۶۷۰ تا ۸۴۰ متر یک لایه رسانا شامل سفره آب شور تحت فشار تشخیص داده شده است که این لایه در مدل حاصل از داده دترمینان نیز به خوبی مشاهده می‌شود. این توافق بیانگر صحت اطلاعات زیرسطحی حاصل از مدل‌سازی داده دترمینان است.

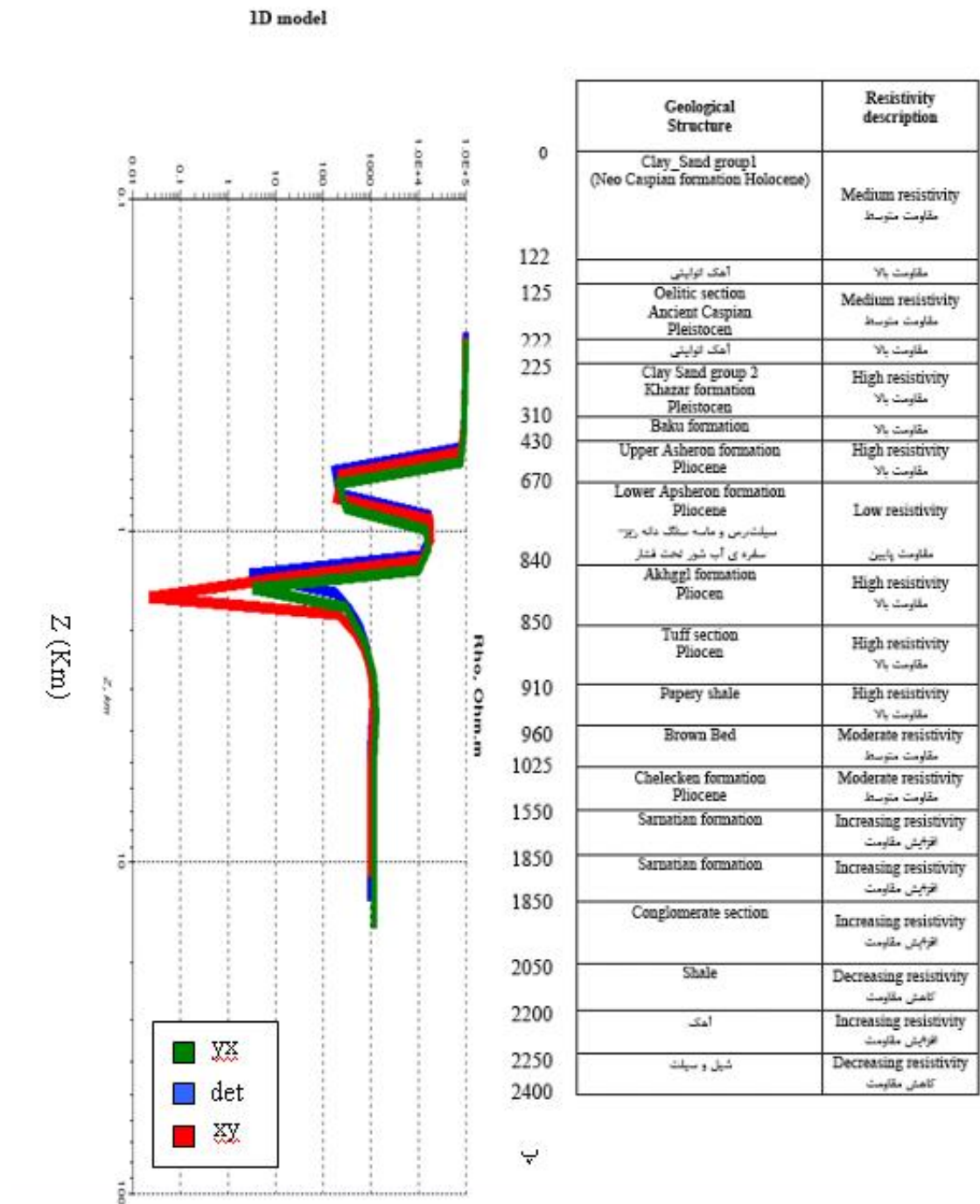
پس از اعمال مراحل پردازش، داده‌های MT به صورت مقاومت ویژه ظاهری برحسب بسامد (یا دوره تناوب) به دست آمده است که این داده‌ها برای ρ_{yx} و ρ_{xy} در شکل ۶ به صورت منحنی‌های سرخ و سبز نشان داده شده است. داده‌های مقاومت ویژه ظاهری دترمینان در این شکل به صورت منحنی آبی رنگ نشان داده شده است. همچنین فاز امپدانس مقاومت ویژه شکل ۶ نیز در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، داده‌های دترمینان به صورت میانگینی از ρ_{yx} و ρ_{xy} ظاهر شده است. با اتکا بر انطباق داده دترمینان با ساختار زمین‌شناسی (که مثالی از آن در ادامه آورده خواهد شد) لازم است تا داده‌های مقاومت ویژه ظاهری چنانچه به صورت ρ_{xy} و ρ_{yx} برداشت شده باشند به تراز صحیح مربوط (که در اینجا منطبق بر داده دترمینان است) انتقال داده شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این منحنی‌ها روند یکسانی



شکل ۶. داده‌های مقاومت‌ویژه‌ظاهری حاصل از بررسی مگنتوتلوریک در منطقه اینچه‌برون.



شکل ۷. داده‌های فاز مربوط به مقاومت‌ویژه‌ظاهری شکل ۶.



شکل ۸. مقایسه مدل یک بعدی حاصل از داده درتربیان، XY و YX با اطلاعات ساختار زمین شناسی.

روش های مرسوم برای تصحیح جابه جایی ایستا (محاسبات نظری جابه جایی ایستا از ناهمگنی های مدفون نزدیک سطح یا اثرات توپوگرافی سطحی، استفاده از داده های کمکی با توجه به زمین شناسی مشخص منطقه و یا از راه

۴ نتیجه گیری

پردازش داده های مگنتوتلوریک از مهم ترین مراحل بررسی این داده ها است و در این میان تصحیح جابه جایی ایستا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. چنانچه اعمال

- Pedersen, L. B. and Engels, M., 2005, Routine 2D inversion of magnetotelluric data using the determinant of the impedance tensor, *Geophysics*, **70**(2), 33-41.
- Simpson, F. and Bahr, K., 2005, *Practical Magnetotellurics*, Cambridge University Press.
- Sternberg, B. K., Washburne, J. C. and Pellerin, L., 1988, Correction for the static shift in magnetotellurics using transient electromagnetic sounding, *Geophysics*, **53**, 1459-1468.
- Szarka, L. and Menvielle, M., 1997, Analysis of rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor, *Geophysical Journal International*, **129**, 133-142.
- Tikonov, A. N., 1950, On determining electrical characteristics of the deep layers of the earth's crust, *Doklady* **73**, 281-285.
- Wannamaker, P. E., Hohmann, G. W. and Ward, S. H., 1984, Magnetotelluric responses of three-dimensional bodies in layered earths, *Geophysics*, **49**, 1517-1534.

اندازه‌گیری‌های مستقل، نظیر سونداژزنی (TEM, Vertical) و (VES, Transient Electromagnetic Sounding) میسر نباشد، به منظور پرهیز از هرگونه تفسیر اشتباه، بایستی از داده‌های دترمینان برای وارون‌سازی داده‌ها استفاده کرد. همان‌طور که نشان داده شد برداشت داده‌ دترمینان به‌منزله جایگزینی مناسب برای تصحیح جابه‌جایی ایستا در بررسی‌های مگنتوتلوریک کاربرد دارد که بررسی موردی عرضه شده، این موضوع و نیز انطباق داده‌ دترمینان با ساختار زیرسطحی را به‌خوبی نشان می‌دهد. استفاده از داده‌ دترمینان همواره عملی است، چون نسبت به چرخش ناورد است. در نتیجه بدون توجه به راستای امتداد مفروض برای مدل‌سازی دو بُعدی، داده‌های موردنیاز برای مدل‌سازی یکسان‌اند. داده‌های دترمینان نسبت به داده‌های TE و TM اغلب برآزش خوبی با مدل‌های 2D (همانند مدل‌های 1D) دارند و اجرای وارون‌سازی دو بُعدی بدون در نظر گرفتن جزئیات مرتبط با جابه‌جایی ایستا، عموماً به‌راحتی امکان‌پذیر است.

منابع

- Berdichevsky, M. N. and Dmitriev, V. I., 1976, Basic principles of interpretation of magnetotelluric sounding curves in Geoelectric and geothermal studies, ed Adam, A., KAPG Geophysical Monograph, Akademiai Kiado, 165-221.
- Berdichevsky, M. N., Dmitriev, V. I. and Pozdnjakova, E. E., 1998, On two-dimensional interpretation of magnetotelluric soundings, *Geophysical Journal International*, **133**, 585-606.
- Boerner, D. E., Kurtz, R. D., Craven, J. A., Ross, G. M., Jones, F. W. and Davis, W. J., 1999, Electrical conductivity in the Precambrian lithosphere of western Canada, *Science*, **283**, 668-670.
- Cagniard, L., 1953, Basic theory of the magnetotelluric method in geophysical prospecting, *Geophysics* **8**, 605-635.
- Oskooi, B., 2006, 1D interpretation of the Magnetotelluric data from Travale Geothermal Field in Italy, *Journal of the Earth & Space Physics*, **32**(2).