

## مطالعه زمین گرمایی به روش مگنتوتلوریک در منطقه مشکین شهر

مهشید آزادفر<sup>۱</sup> و دکتر محمد کاظم حفیظی<sup>۲</sup>

### چکیده

منابع زمین گرمایی معمولاً در عمق ۱ تا ۵ کیلومتر واقع شده‌اند، بنابراین برای بهره‌برداری مناسب از این منابع، متد پیشرفته‌ای لازم است که در تعیین این ساختار زمین شناسی عمیق کمک کند. از آنجایی که دما و نفوذپذیری پارامترهایی هستند که بر روی مقاومت ویژه الکتریکی تأثیر می‌گذارند، روشهای الکترومغناطیسی و الکتریکی می‌توانند مدل زیرسطحی مناسبی را ارائه دهند. این مطالعه به تعیین دو بعدی مخزن ژئوترمال بوسیله روش مگنتوتلوریک کمک می‌کند. روش مگنتوتلوریک (MT) یکی از روش‌های الکترومغناطیسی است که با استفاده از میدان‌های الکترومغناطیسی طبیعی زمین اطلاعاتی راجع به ساختار هدایت ویژه زیرسطحی فراهم می‌کند. ناحیه مورد مطالعه در دره مویل کوه سبلان، در شمال غرب ایران واقع شده است. اندازه‌گیری‌های MT در ۲۶ ایستگاه با ارتفاع ۲۴۰۰ تا ۳۸۳۰ متر انجام شد. داده‌ها در محدوده دوره تناوب ۳۰۰-۰/۰۰۳ ثانیه بررسی شدند. تصحیح جابجایی ایستگاه قبل از وارون‌سازی دو بعدی بر اساس نتایج داده‌های TDEM و زمین‌شناسی منطقه انجام شد. مدل‌سازی دو بعدی داده‌های MT در طول پروفیل‌های انتخابی تأیید قابل توجهی از زمین‌شناسی زیرسطحی را با استفاده از تغییرات مقاومت زیرسطحی می‌دهد. عمق مخزن ژئوترمال حدوداً از ۱۰۰۰+ تا ۲۵۰۰- متر تخمین زده شد. مدل نهایی نشان می‌دهد که مقاومت ویژه الکتریکی ناحیه هادی کمتر از ۲۰ اهم - متر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: مگنتوتلوریک، زمین گرمایی، سبلان، وارون‌سازی دو بعدی

## Geothermal study by MT method in Meshkinshahr, North-Western Iran

Seyed Vahid Zare, Dr. Majid-Nabi Bidhendi, Siavash Norozi and Hamed Soleymani

### Abstract

Geothermal reservoirs are usually located at a depth range of 1 to 5 km, so to efficiently utilize such resources an advanced prospecting method is needed to detect these deep geologic structures. Since temperature and permeability are some of the parameters controlling electrical resistivity, electromagnetic and electrical methods can provide a model of the subsurface relating changes in the resistivity to changes in lithology and temperature. This study aimed to two-dimensionally characterize geothermal reservoirs by a Magnetotelluric (MT) survey. The Moil valley of Mt. Sabalan, NW Iran, was chosen as the case study area. A MT survey was carried out at 26 sites with elevation from 2400 to 3830 m. Static shifts were corrected prior to the inversion based upon the geology and TDEM results. 2D modeling of the MT data along the selected profiles shows remarkable confirmation of the subsurface

<sup>۱</sup> - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک (الکتریکی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال [Mahshid\\_azadfar@yahoo.com](mailto:Mahshid_azadfar@yahoo.com)

<sup>۲</sup> - دانشیار مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران [Hafizi@ut.ac.ir](mailto:Hafizi@ut.ac.ir)

geology using apparent resistivity variation. Estimated depth range of the geothermal reservoirs is from +1000 down to -2500 m. The final model showed that resistivity of the conductive zone is less than 20  $\Omega\text{m}$ .

**Keywords:** Magnetotelluric, Geothermal reservoirs, Sabalan Mt., 2D inversion

## مقدمه:

## تئوری مگنتوتلوریک

اساس روش مگنتوتلوریک بعنوان یک روش اکتشاف فیزیکی در سال ۱۹۵۰ پایه گذاری شد. اولین بار کانیاورد<sup>۱</sup> (۱۹۵۳) مبانی تئوری این روش و نحوه بکارگیری عملی این روش را ارائه داد. مگنتوتلوریک یک روش اکتشاف الکترومغناطیس است که منشأ آن امواج الکترومغناطیس طبیعی ایجاد شده در مگنتوسفر زمین می باشد. در این روش با ثبت مؤلفه های افقی عمود بر هم نوسانات میدان های مغناطیسی و الکتریکی در سطح زمین، می توان توزیع رسانایی الکتریکی زمین تحت مطالعه را بدست آورد. این روش را می توان در کاوش های زیرسطحی از دهها متر تا اعماق دهها کیلومتر به کار برد (وزوف<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱). تانسوری که مؤلفه های افقی میدان مغناطیسی را به مؤلفه های افقی میدان الکتریکی مرتبط می کند تانسور امپدانس نامیده می شود:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

که از این تانسور می توان اطلاعاتی در مورد بعدپذیری و امتداد ساختارهای رسانا و همچنین پارامترهای مقاومت ویژه ظاهری و فاز امپدانس، به منظور تفسیر داده های مگنتوتلوریک استخراج کرد:

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

$$(i=xx,xy,yx,yy) \quad \varphi = \text{phase}(z_i) \quad (3)$$

$\mu_0$  نفوذپذیری فضای آزاد و  $\omega$  بسامد زاویه ای می باشد (هارینارایانا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶)).

در حالت مدل دو بعدی معادلات امواج الکترومغناطیسی به دو مد قطبش مستقل TE (میدان

انرژی زمین گرمایی، انرژی است که از سیال (آب داغ یا بخار) داغی که در اعماق زمین قرار دارد، بدست می آید. در حقیقت زمین منبع عظیمی از انرژی حرارتی می باشد. هر چه به اعماق زمین نزدیکتر می شویم حرارت آن افزایش می یابد، بطوریکه این حرارت در هسته زمین به بیش از پنج هزار درجه سانتی گراد می رسد. حرارت زمین از راه های متفاوتی از جمله فوران های آتشفشانی، آب های موجود در زمین و یا بواسطه خاصیت رسانایی از بخشهایی از زمین به سطح آن هدایت می شود. در یک سیستم زمین گرمایی حرارت ذخیره شده در سنگها و مواد مذاب اعماق زمین بواسطه یک سیال حامل به سطح زمین منتقل می شود. این سیال عمدتاً نزولات جوی می باشد که پس از نفوذ به اعماق زمین و مجاورت با سنگهای داغ حرارت آنها را جذب نموده و در اثر کاهش چگالی مجدداً به طرف سطح زمین صعود می نماید و موجب پیدایش مظاهر حرارتی مختلفی از قبیل چشمه های آب گرم، آب فشانها و ... در نقاط مختلف سطح زمین می گردد. در واقع سیال خروجی از چاه، عامل انتقال انرژی از مخزن به سطح زمین است. از آن جایی که مقاومت الکتریکی با تغییرات دما و نفوذپذیری تحت تأثیر قرار می گیرد، روشهای متعددی برای اندازه گیری های رسانایی الکتریکی وجود دارد. روش مگنتوتلوریک (MT) نسبت به تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی حساس است و از آن جا که منابع زمین گرمایی، مقاومت ویژه الکتریکی را کاهش می دهند، در نتیجه این روش به خوبی می تواند آنها را شناسایی کند و بدلیل ژرفای نفوذ بیشتر نسبت به روشهای مقاومت ویژه الکتریکی برای اکتشاف منابع زمین گرمایی دقیق تر است.

<sup>1</sup> - Cagniard

<sup>2</sup> - Vozoff

<sup>3</sup> - Harinarayana

TE و TM از هم تمیز داده شوند. اصولاً در محیط‌های مقاوم منحنی مقاومت ویژه الکتریکی TM بالاتر از منحنی مقاومت ویژه الکتریکی TE قرار می‌گیرد و در محیط‌های هادی وضعیت معکوس بوده و منحنی TE بالاتر از TM قرار خواهد گرفت (وزوف<sup>۷</sup>، ۱۹۹۱). لیکن تشخیص محیط محیط هادی و مقاوم در طبیعت به سادگی امکان‌پذیر نیست. لذا عمده‌تاً دو مد TE و TM با استفاده از نمودارهای قطبش<sup>۸</sup> متمایز می‌شوند. با در نظر گرفتن این نکته که در محیط‌های دو بعدی، نمودارهای قطبش بصورت دمبلی شکل می‌باشند، در وضعیتی که محور تقارن نمودارهای قطبش بصورت افقی باشد (محیط مقاوم)، منحنی مقاومت ویژه الکتریکی TM بالاتر از TE قرار خواهد گرفت. اما اگر محور تقارن نمودارهای قطبش دمبلی شکل، عمودی باشد (محیط رسانا)، منحنی مقاومت ویژه الکتریکی TE بالاتر از TM قرار خواهد گرفت.

### پردازش داده‌های MT مشکین شهر

ناحیه مورد مطالعه در دره مویل کوه سبلان، در شمال غرب ایران واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مشکین شهر در شمال غرب ایران نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌های MT در ۲۶ ایستگاه با ارتفاع ۲۴۰۰ تا ۳۸۳۰ متر انجام شد. نمایی از ایستگاه‌های برداشت شده و پروفیل‌های انتخابی در شکل (۲) آورده شده است.

الکتریکی در راستای امتداد لایه‌ها) و TM (میدان مغناطیسی در راستای امتداد لایه‌ها) تفکیک می‌شود. مد TE طبیعت القایی داشته و برای تشخیص ساختارهای عمیق و نارسانا مفید می‌باشد، در حالیکه مد TM طبیعت گالوانیکی داشته و برای تشخیص ساختارهای کم‌عمق و رسانا مفید می‌باشد. مد TE مولفه میدان الکتریکی  $E_x$  و مؤلفه‌های میدان مغناطیسی  $H_y$  و  $H_z$  را توضیح می‌دهد. در مد TE جریان الکتریکی موازی با امتداد ساختار است. مد TM مؤلفه‌های میدانی  $E_y$ ،  $H_x$  و  $H_z$  را توضیح می‌دهد و جریان الکتریکی عمود بر امتداد ساختار است. همچنین در حالت دو بعدی مؤلفه‌های قطری تانسور امپدانس مساوی با صفر می‌باشند (آسو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶)).

برای یک ساختار دو بعدی در حالت سیستم مختصات اصلی<sup>۲</sup> با محور X در جهت امتداد ساختار، بصورت زیر خلاصه می‌شود:

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & Z_{TE} \\ Z_{TM} & 0 \end{bmatrix} \quad (۴)$$

سیستم مختصات کارترین (X,Y,Z)، یک دستگاه راستگرد است و جهت مثبت محور Z به طرف داخل زمین در نظر گرفته می‌شود. بردیچوسکی<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۸) طی مقاله‌ای بررسی هر دو مد TE و TM را در مراحل گوناگون تفسیر داده‌های مگنتوتلوریک بسیار ضروری دانستند. در مقابل، افراد زیادی مانند وانامیکر<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۸۴) و بورنر<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۹) استفاده از مد TM را ترجیح دادند، چون این مد عموماً کمتر از مد TE توسط اثرات سه بعدی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این پژوهش روش بردیچوسکی<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شده است و هر دو مد مورد بررسی قرار گرفته است.

قبل از انجام هرگونه عملیات پردازشی، ابتدا باید دو مد

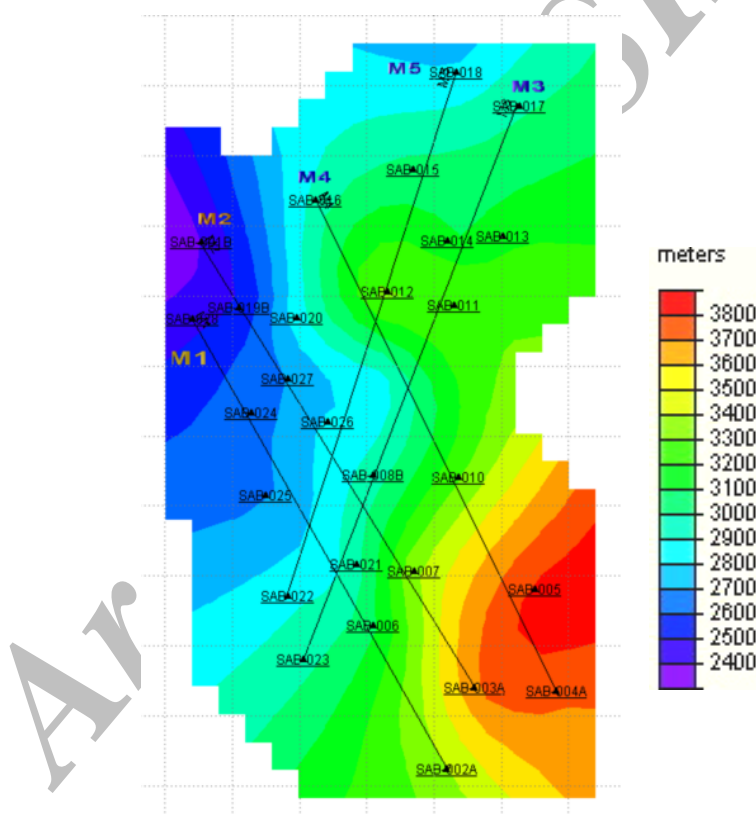
- 1- Asaue
- 2- Principal
- 3- Berdichevsky
- 4- Wannamaker
- 5- Boerner
- 6- Berdichevsky

<sup>7</sup>- Vozoff

<sup>8</sup>- Polar diagrams



شکل (۱) - موقعیت منطقه مشکین شهر در شمال غرب ایران (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین).

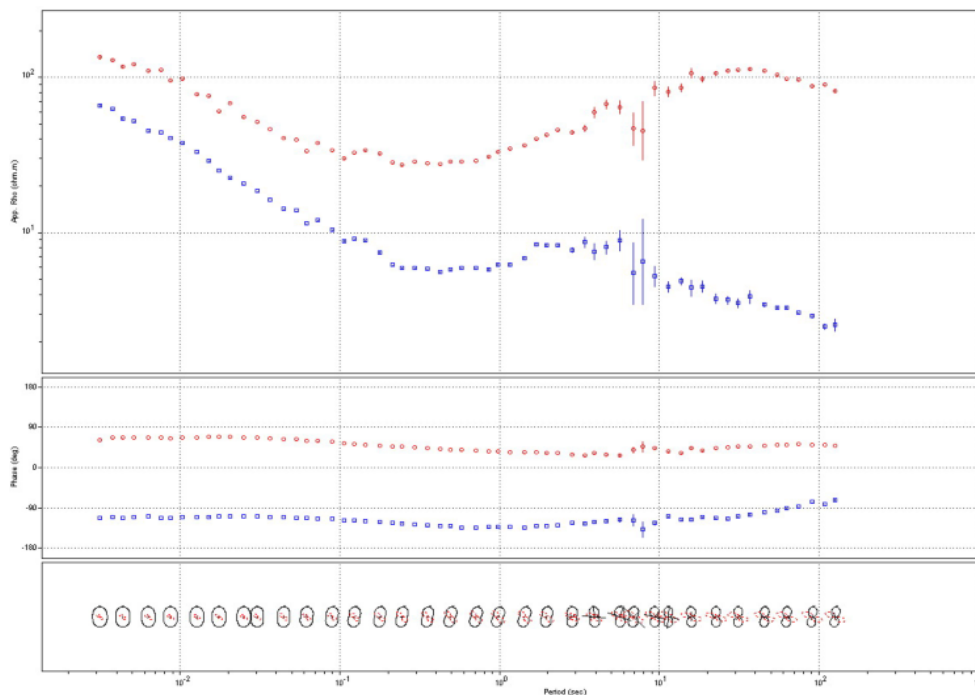


شکل (۲) - ارتفاع و موقعیت ایستگاههای مگنتوتلوریک.

ظاهری (Apparent Resistivity) و فاز (Phase) بر حسب دوره تناوب نمایش داده می‌شوند (شکل ۳). در این شکل منحنی‌های مقاومت ویژه ظاهری در دو مولفه XY و YX نشان داده شده است.

### نمایش داده‌ها

داده‌های مگنتوتلوریک در این پژوهش بصورت فایل داده‌های الکتریکی مبادله‌ای (EDI) می‌باشند که در حوزه فرکانس برداشت شده‌اند. این داده‌ها بصورت مقاومت ویژه

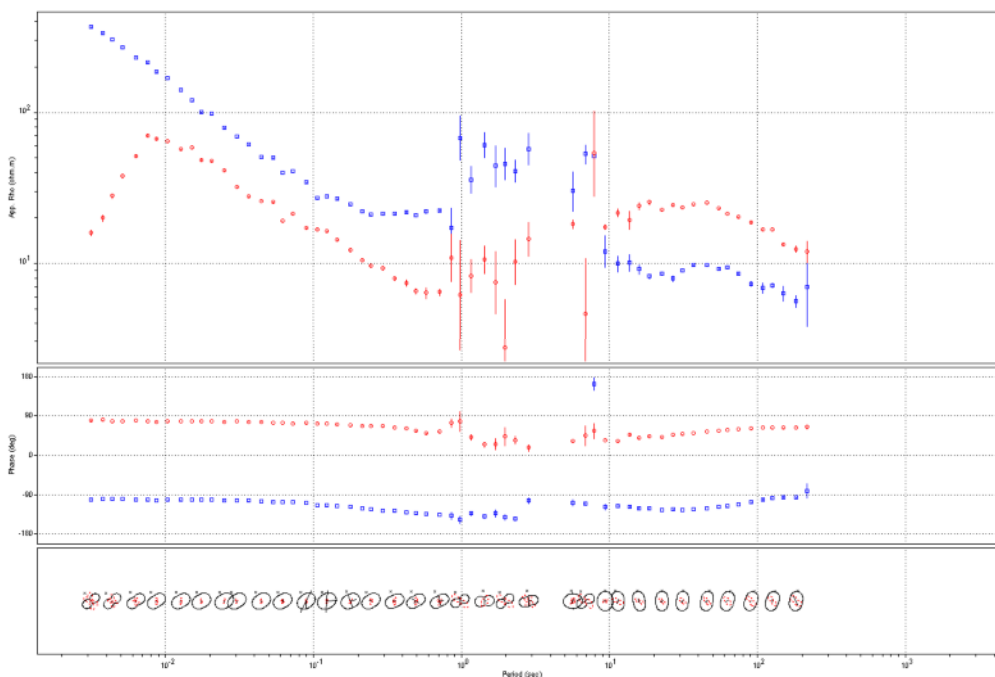


شکل (۳) - نمونه‌ای از منحنی‌های مقاومت ویژه ظاهری، فاز و نمودارهای قطبش برای ایستگاه شماره ۱۲.

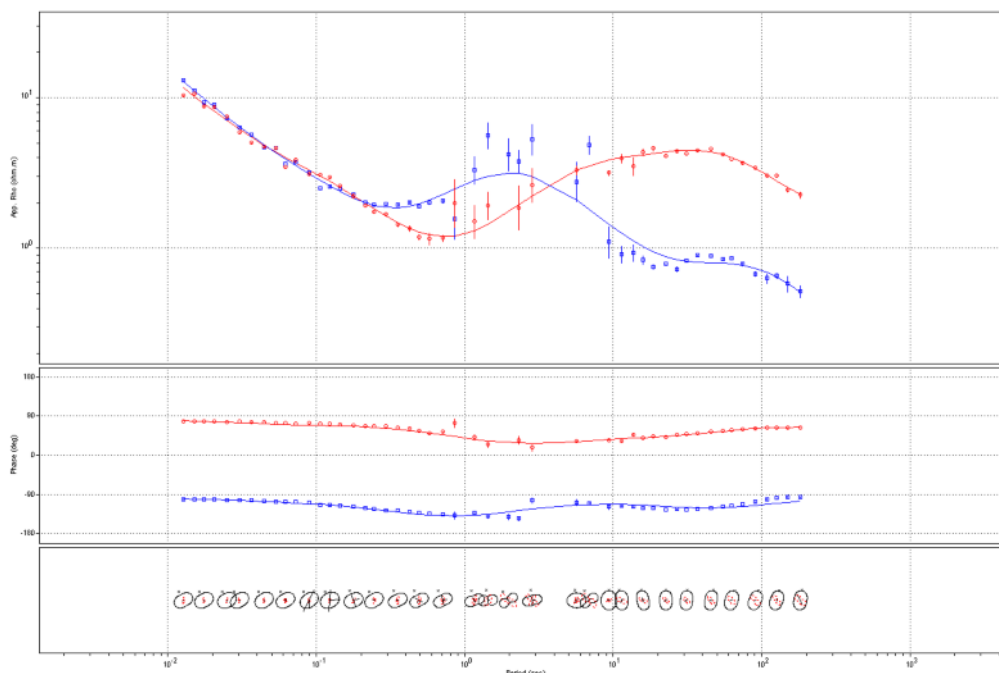
### فیلتر کردن داده‌ها

تأثیر نویزهای محیطی قرار گرفته‌اند، این داده‌ها روی منحنی‌ها کاملاً مشخص هستند و بنابراین باید حذف شوند. نمونه‌ای از فرایند حذف این داده‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است.

داده‌های نامطلوب به داده‌هایی اطلاق می‌شود که مقدار آنها خارج از محدوده مقادیر اندازه‌گیری سایر داده‌ها در محل مورد نظر است و لذا داده‌های مذکور از روند کلی منحنی داده‌ها پیروی نمی‌کنند. مانند داده‌هایی که تحت



(الف)



(ب)

شکل (۴) - نمونه‌ای از فرایند فیلتر کردن داده‌های نامطلوب مربوط به ایستگاه شماره ۷ (الف) - قبل از تصحیح و (ب) - بعد از تصحیح.

### جابجایی ایستا

جابجایی ایستا (Static Shift) بدلیل وجود بار الکتریکی روی ناهمگنیهای سطحی کوچک مقیاس و محلی ایجاد می‌شود. اثر مذکور بدلیل تباین مقاومت ویژه چند بعدی که عمق و ابعاد کمتر از عمق نفوذ واقعی میدان‌های الکترومغناطیس دارد ایجاد می‌شود. اثرات واپیچش ناشی از آن تنها روی میدان الکتریکی اثر می‌کند و بصورت جابجایی عمودی در منحنی‌های مقاومت ویژه ظاهری بدون اختلاف دیگری در شکل منحنی‌ها ظاهر می‌شود. ناپیوستگی‌های هدایت ویژه منجر به واپیچش محلی دامنه میدان‌های الکتریکی می‌شوند که حاصل پایستگی بار الکتریکی است و بنابراین باعث می‌شود که بزرگی امپدانس (پاگیری) با فاکتورهای حقیقی افزایش یا کاهش یابد.

وجود لایه رسانا در سطح، عامل جدایش منحنی‌های TE و TM می‌شود و این واگرایی چنان کم است که اثر آن روی منحنی فاز حتی در بالاترین فرکانس‌ها هم دیده نمی‌شود.

در حالتی که ضخامت جسم ناهمگن خیلی کمتر از عمق پوستی باشد، تجمع بار در مد TM (میدان مغناطیسی در راستای امتداد ساختار و میدان الکتریکی عمود بر امتداد ساختار) مقاومت ویژه ظاهری را با ضریبی ثابت بصورت عمودی جابجا خواهد کرد. در این حالت مقاومت ویژه ظاهری به پهنای جسم رسانا در رولایه و موقعیت آن بستگی خواهد داشت. با این وجود جابجایی حتی برای تغییرات جانبی مقاومت ویژه الکتریکی خیلی کوچک نیز پیش‌بینی می‌شود. جابجایی‌های خیلی کوچکتري برای مد TE (میدان مغناطیسی عمود بر امتداد ساختار و میدان الکتریکی در راستای امتداد ساختار) انتظار می‌رود و اگر تغییرات جانبی به اندازه کافی کوچک باشد آنگاه جابجایی رخ نخواهد داد. جابجایی ایستا عمدتاً در محیط‌های با مقاومت ویژه بالا که ناهمسانگردی‌های هدایت ویژه کوچک مقیاس تأثیر عمده‌ای روی میدان‌های الکتریکی دارند، رخ می‌دهد. در حالتی که دو منحنی مقاومت ویژه ظاهری (TE و TM) نسبت بهم جابجا شده ولی فازهای امپدانس تغییری ندارند، وجود جابجایی ایستا در داده‌های اندازه‌گیری شده به آسانی قابل تشخیص است. حذف

وارون‌سازی دو بعدی داده‌ها در حالت TE+TM بوسیله نرم‌افزار WinGLink انجام شد. در این مطالعه، پنج پروفیل در جهت‌های مختلف NE-SW و NW-SE با فضای تقریبی ۶ کیلومتر بررسی شد (شکل ۲). در دوره تناوب‌های کوتاه، پاسخهای TM و TE برای اکثر ایستگاه‌ها یکتا است. این امر دلیلی بر یک بعدی بودن زمین در اعماق کم می‌باشد. در دوره تناوب‌های بلندتر پاسخهای TE و TM واگرا می‌شوند که ساختاری با ابعاد بزرگتر را در اعماق بیشتر نشان می‌دهد.

داده‌های MT در محدوده دوره تناوب ۳۰۰-۰/۰۰۳ ثانیه بررسی شد و بیشینه عمق نفوذ برای مدل حدود ۳/۵ کیلومتر بدست آمد. مدل‌های مقاومت ویژه الکتریکی از وارون‌سازی دو بعدی داده‌های فاز و مقاومت ویژه ظاهری متناظر در شکل (۶) نشان داده شده‌اند. وارون‌سازی دو بعدی داده‌های حالت TM+TE به منظور شناسایی ساختارهای هادی زیرسطحی مناسب می‌باشد.

جابجایی ایستا از داده‌های مگنتوتلوریک یک امر ضروری است و به تفسیر داده‌ها کمک مؤثری می‌کند. لذا بعنوان یکی از مهمترین مراحل پردازش داده‌های مگنتوتلوریک، این جابجایی باید تصحیح گردد.

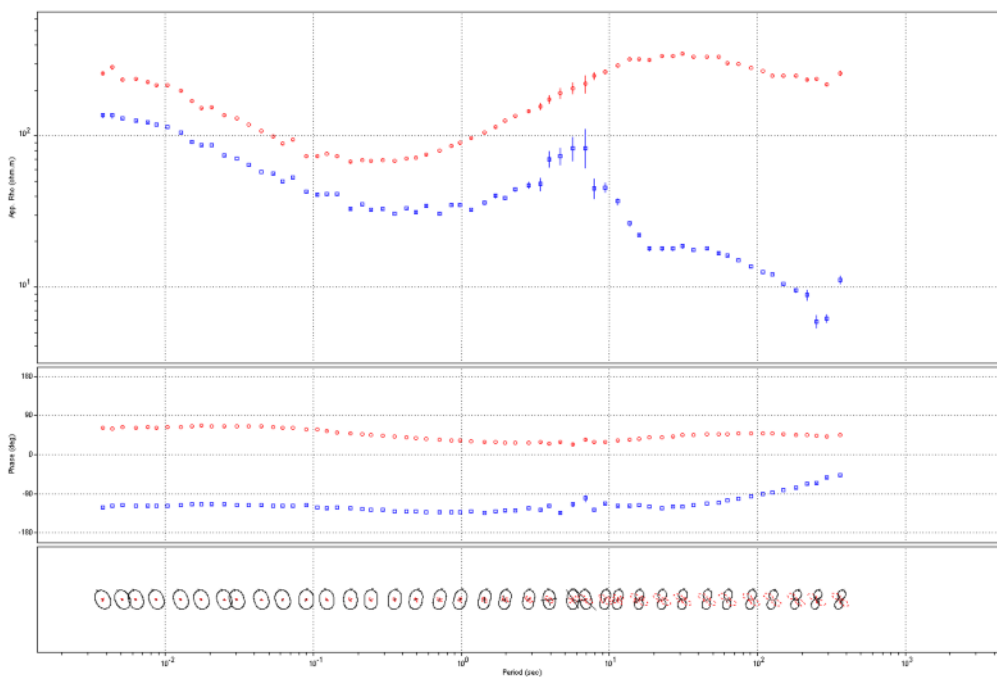
روش‌های متعددی برای حذف جابجایی ایستا وجود دارد. یکی از این روشها محاسبات نظری جابجایی ایستا از ناهمگنیهای مدفون نزدیک سطح یا اثرات توپوگرافی سطحی است (استرنبرگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۸). روش دیگر استفاده از داده‌های کمکی با توجه به زمین‌شناسی منطقه و یا از طریق اندازه‌گیری‌های مستقل نظیر سونداژزنی TEM (Transient Electromagnetic) و VES (Vertical Electrical Sounding) می‌باشد (استرنبرگ و همکاران، ۱۹۸۸). بدین صورت که با بدست آوردن مقدار دقیق مقاومت ویژه ظاهری در محل سایت مورد نظر، منحنی‌ها را به سطح مربوطه منتقل می‌کنند، که لازم است تا داده‌های مقاومت ویژه ظاهری بصورت  $\rho_{xx}$  و  $\rho_{yy}$  برداشت شده باشند و به تراز صحیح مربوطه (که در اینجا منطبق بر داده TDEM است) انتقال داده شوند.

در این مطالعه از روش مذکور برای از بین بردن اثر جابجایی ایستا استفاده شد. روش کار بدین صورت است که ابتدا مدل‌سازی یک بعدی منحنی‌های مقاومت ویژه TEM انجام گردیده و سپس منحنی‌های مذکور در کنار منحنی‌های دو مد TE و TM قرار داده شد. در نهایت هر دو مد TE و TM به سمت منحنی TEM منتقل می‌شوند. در اعماق نزدیک سطح منحنی‌های مقاومت ویژه باید بر هم منطبق شوند زیرا در نزدیک سطح زمین مدل یک بعدی منظور شده است. در شکل (۵) مثالی از تصحیح جابجایی ایستا آمده است.

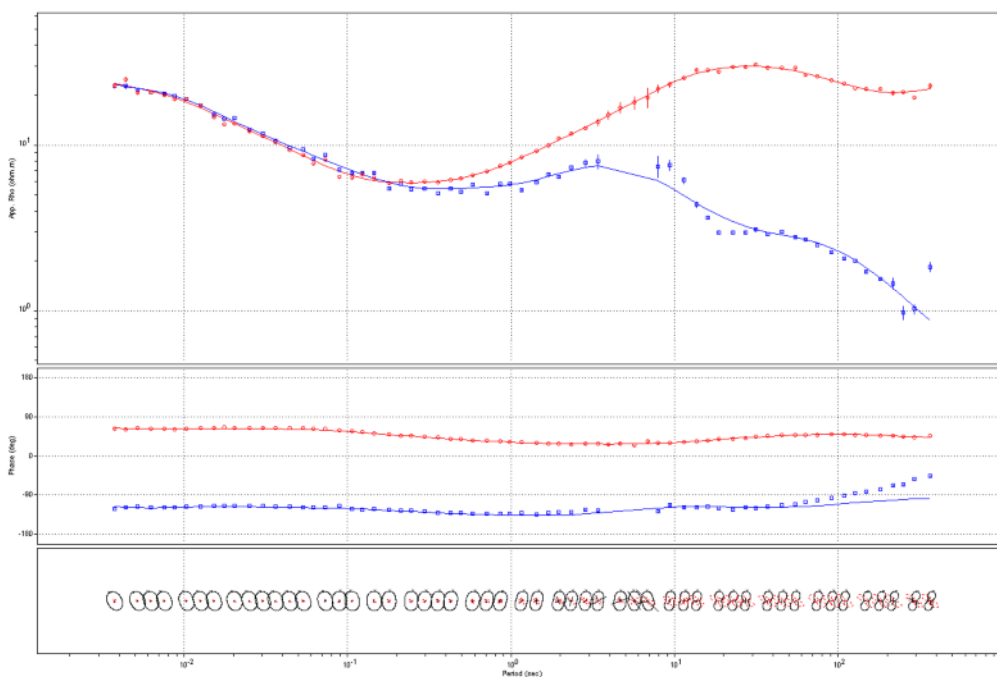
### وارون‌سازی دو بعدی

پس از اعمال نمودن مراحل پردازش فوق، وارون‌سازی داده‌ها توسط برنامه WinGLink قابل اجرا است.

<sup>۱</sup>- Sternberg



(الف)



(ب)

شکل (۵)- نمونه‌ای از تصحیح جابجایی ایستا مربوط به ایستگاه شماره ۱۶ (الف)- قبل از تصحیح و (ب)- بعد از تصحیح.

### نتیجه‌گیری

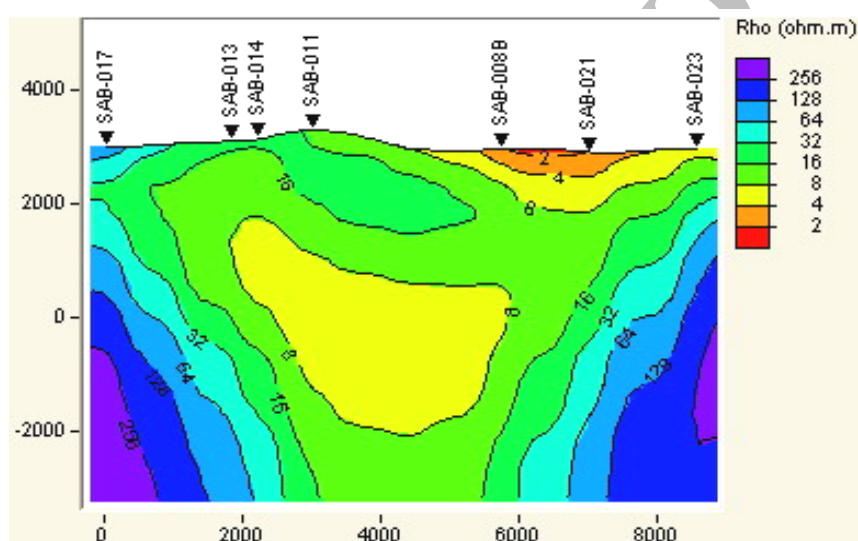
مدل نهایی مقاومت ویژه (مدل TE+TM نیمرخ M3) در شکل (۶- الف) نمایانگر مقاومت ویژه الکتریکی مواد زیرسطحی از عمق ۳/۵ کیلومتر می‌باشد. با توجه به زمین‌شناسی عمومی ناحیه انتظار می‌رفت که با افزایش عمق، مقاومت ویژه نیز افزایش یابد

مدل‌سازی دو بعدی داده‌های مگنتوتلوریک در طول نیمرخهای انتخابی، وجود ساختار زمین‌شناسی زیرسطحی به همراه تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی را نشان می‌دهد.

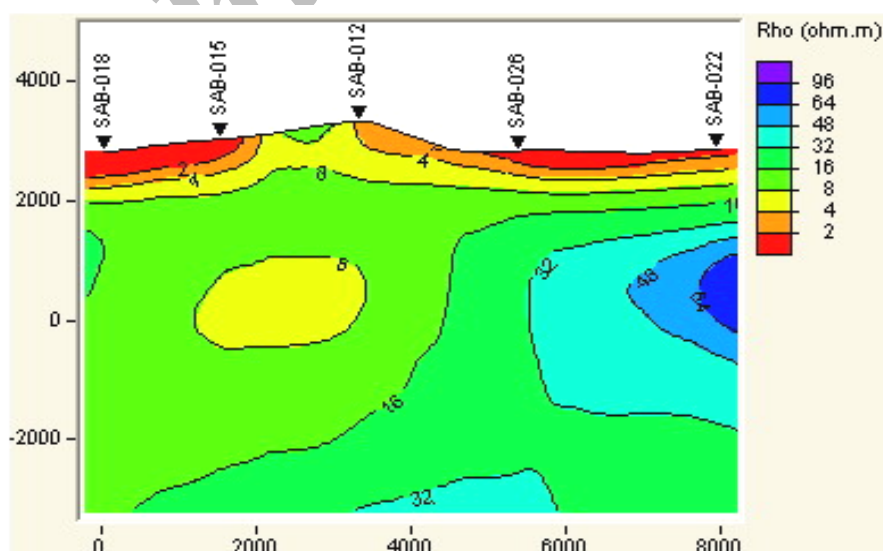


زمین گرمایی عمیق در ناحیه را آشکار می‌کند. وجود نواحی رسانا در پی‌سنگ مقاوم در بیشتر ایستگاهها بوضوح نشانگر جریان سیال‌های با حرارت بالا در گسلها و شکستگیهای سنگهای دگرگونی است. مخزن ژئوترمال در این مطالعه در بازه عمقی ۱۰۰۰+ تا ۲۵۰۰- متر تخمین زده شد و مدل نهایی، مقاومت ویژه الکتریکی ناحیه رسانا را تقریباً کمتر از ۲۰ اهم - متر نشان می‌دهد.

( $>1000 \Omega m$ )، ولی در عوض تخمین MT ناحیه‌ای بسیار رسانا با مقاومت ویژه تقریبی ۲۰-۸ اهم - متر تا عمق ۳/۵ کیلومتر را نشان داده است. تطابق منحنی‌های TE و TM مشاهده شده با منحنی‌های محاسبه شده در اکثر ایستگاهها نشان‌دهنده صحت وارون‌سازی دو بعدی می‌باشد. مقایسه کلی مقاطع مقاومت ویژه در امتداد پروفیل‌های انتخابی ساختارهای زمین‌شناسی در قالب توده‌های رسانا و مقاوم به طور کاملاً متناظر با یکدیگر قابل تشخیص هستند. نتایج مگنتوتلوریک حضور یک مخزن



(الف)



(ب)

شکل (۶) - مدل‌سازی دو بعدی (الف) - در طول نیمرخ M3 و (ب) - در طول نیمرخ M5.

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 magnetotelluric method in geophysical prospecting. Geophysics 8, 605-635.

- Harinarayana, T., Abdul Azeez, K. K., Murthy, D. N., and Veeraswamy, K., 2006, Exploration of geothermal structure in Puga geothermal field, Ladakh Himalayas, India by magnetotelluric studies: Journal of applied geophysics 58, 280-295.

- Sternberg, B. K., Washburne, J. C., and Pellerin, L., 1988. Correction for the static shift in magnetotelluric using transient electromagnetic sounding. Geophysics, 53, 1459-1468.

- Vozoff, K., 1991. The magnetotelluric method. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics (Nabighian Ed.), 3, vol. 2, 641-711 (SEG publication).

- Wannamaker, P. E., Hohmann, G. W., and Ward, S. H., 1984, Magnetotelluric responses of three-dimensional bodies in layered earths: Geophysics, 49, 1517-1534.

## تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای مهندس طالبی از سازمان انرژیهای نو ایران به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های این تحقیق و از جناب آقای مهندس پیرویان از شرکت نفت، بدلیل همکاری در استفاده از نرم‌افزار مربوطه ابراز نمایند. همچنین از جناب آقای دکتر عکاشه رییس محترم دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد تهران شمال که مطمئناً بدون همکاری و مساعدت‌های ایشان انجام این تحقیق میسر نبود، نیز تشکر می‌گردد.

## مراجع

- پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور  
<http://www.ngdir.ir>

- Asaue, H., Koike, K., Yoshinaga, T., and Takakura, Sh., 2006, Magnetotelluric resistivity modeling for 3D characterization of geothermal reservoirs in the Western side of Mt. Aso, SW Japan: Journal of applied geophysics 58, 296-312.

- Berdichevsky, M.N., Dmitriev, V. I., and Pozdnjakova, E. E., 1998, On two dimensional interpretation of