

مدل‌سازی دو بُعدی داده‌های بسامد بسیار کم VLF بر نیم‌رخ از گسل شمال تهران در منطقه شهران

نازلی صبا^۱ و بهروز اسکویی^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد ژئومغناطیس، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
^۲ استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۸۷/۲۱، پذیرش نهایی: ۹۰۷/۱۹)

چکیده

این تحقیق به مدل‌سازی دو بُعدی داده‌های تیپر اسکالر VLF تک بسامد می‌پردازد. در این تحقیق مدل‌سازی و تفسیر داده‌های تیپر اسکالر، برای داده‌های مصنوعی و داده‌های VLF صحرایی با بسامد VLF ۲۳۳۰۰ هرتز بررسی شده است. ابتدا مدل‌سازی پیشرو دو بُعدی داده‌های مصنوعی براساس طراحی یک ساختار گسل صورت گرفت. سپس برای مقایسه پاسخ واقعی مدل، نوفه به میزان دو درصد به داده‌های مدل اضافه شده و با وارون‌سازی داده‌ها، مدل ژئوفیزیکی به‌دست آمده است. مدل‌های حاصل، عوارض زمین‌شناسی را از نظر مکانی بازیابی می‌کند.

برای بررسی چگونگی تغییرات تیپر اسکالر در این مدل‌ها، منحنی تیپر برحسب فاصله نیم‌رخ رسم شد. تغییرات جانبی در رسانایی به‌شکل نقاط بیشینه و کمینه در منحنی تیپر ظاهر می‌شود. موقعیت بی‌هنجاری نیز از روی منحنی داده‌ها قابل تشخیص است.

داده‌های صحرایی این تحقیق از منطقه شهران در شمال غرب تهران برداشت شده است. در این منطقه نیم‌رخ به‌طول ۲۵۰ متر جنوبی-شمالی، شامل ۵۰ ایستگاه با فواصل ایستگاهی ۵ متر از هم طراحی شده است که با گسل شمال تهران تلاقی دارد. برداشت داده‌های صحرایی با دستگاه اندازه‌گیری VLF، WADI صورت گرفته است. بسامد برداشت داده‌های تیپر اسکالر برابر با ۲۳۳۰۰ هرتز است. وارون‌سازی دو بُعدی داده‌های این منطقه صورت گرفت. با مقایسه مدل‌های به‌دست آمده برای گسل با نتایج مدل وارون منطقه شهران، بی‌هنجاری گسل قابل مشاهده است.

واژه‌های کلیدی:

Two dimensional modeling of very low frequency (VLF) data along a profile across North Tehran Fault in Shahrn region, Iran

Saba, N.¹ and Oskooi, B.²

¹ M.Sc. of Geomagnetism, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

² Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 13 Oct 2009, Accepted: 11 Oct 2011)

Abstract

Two dimensional single frequency scalar VLF data modeling has been studied in this research. VLF method is one of the electromagnetic investigation methods. Radio frequency waves are used for investigation of conductive deposits (Paal, 1968). Synthetic modeling and inversion of single frequency and multiple frequencies of VLF signals was done by Oskooi (2004) for two dimensional simple structures. VLF transmitter antennas are high vertical wires that have the alternative current.

Conductivity of subsurface structures can be measured by single very low frequency two dimensional inversion methods. Ground VLF data is fast suitable facility for study

geological structures with maximum depth of 100 m. Temporal and spatial variations of VLF primary field on surveying should be noticed. There is a linear relation between horizontal and vertical component of magnetic field.

$$\vec{H}_z = A\vec{H}_x + B\vec{H}_y \quad (1)$$

The complex tipper vector (A, B) is only dependent on a ground structure and is independent from a transmitter azimuth. The x axis is on the direction of VLF transmitter on the geological strike. Y axis is the profile direction. For each site there is a transfer function, called complex scalar tipper. This value is recorded by instrument and it is measured by:

$$H_z = B_{sca} H_y \quad (2)$$

Interpretation and modeling of the tipper scalar data have been performed using synthetic and field data at the frequency of 23300 Hz. Considering that the limitation of VLF transmitters, the waves are coming from NWC station in Australia. With noticing the relation (2), there are 59 real and 59 imaginary data numbers. There is 5 m between each station. Skin depth is the relation between the depth and frequency.

$$Z_{skin} \approx 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (3)$$

Electromagnetic waves in conductive zones propagate in low frequency. We can estimate the depth of anomaly considering the electrical resistivity variations.

Forward model of a fault have been considered to apply a two dimensional modeling. In the forward model of fault initial electrical resistivity is drawn logarithmic and the values are 100 ohmm and 700 ohmm. In a level of 2% noise was added to the data in order to compare the results with field results. In inversion model there is a resistive layer in a distance of 150 meter. The depth of resistive layer in both inversion and forward model is 20 m. The conductive region in both models has the electrical resistivity of about 100 ohm-meter.

Field data are recorded by WADI instrument from Shahran region at the North West of Tehran. Field data acquisition along a 250 m SN-profile crossing the North Tehran Fault (NTF) consist of 50 stations with 5 m spacing. The signal is reported at a frequency of 23300 Hz that is the NWC signals. The profile is incidence with North Tehran Fault. Travers direction among profile is South-North. Geological structure under the Shahran area is east-west. Geological study of that region is done by Hafizi and Vali (1999) for estimating the underground water sources in cracks using resistivity and IP methods.

We can conclude in that region in the station of 20, there is a crack so conductive materials such as underground water are near the surface in the depth of 10 meter. Under the conductive zone there is tuff formation with electrical resistivity of about 50-100 ohm. At the distance of 100-250 meter, conductive layer is lying under the tuffs.

Final model could resolve geological features spatially and the size of the anomaly and the location of the estimated one form the model are consistent. The tipper data has been depicted in terms of distance along the profile to realize the changes laterally. Using tipper data, the location of the anomalies can be diagnosed. In this investigation field data were collected from Shahran area in North West of Tehran. The main features of the NTF are determined properly using the presented VLF data inversion and interpretation.

Key words: Fault, Forward modeling, Inversion, Skin depth, Tipper, Very low frequency

۱ مقدمه

جهت گیری فرستنده مستقل است (پدرسون و همکاران، ۱۹۹۴). جهت محور x منطبق بر امتداد زمین شناسی و در جهت فرستنده VLF در نظر گرفته می شود. محور y جهت نیم رخ است. برای هر سایت تابع تبدیل که تیپر اسکالر مختلط نام دارد با دستگاه خوانده می شود. B_{sca} به شکل زیر محاسبه می شود:

$$H_z = B_{sca} H_y \quad (2)$$

در اکتشافات ژئوفیزیکی به روش VLF توجه به تغییرات زمانی و مکانی میدان اولیه VLF مهم است. تغییرات زمانی با گیرنده ثابتی در ایستگاه مبنا (base station) ثبت و داده های برداشت شده پس از آن تصحیح می شود. این روش در برداشت های زمینی و هوآئرد VLF معمول است. تغییرات زمانی در طی ۲۴ ساعت به صورت زیر تقسیم بندی می شود (والی و همکاران، ۱۹۹۲): تغییرات در توان فرستنده امواج VLF شامل محو شدگی (fading) در زمان طلوع و غروب خورشید، دریفت (drift) اندک در طی روز. تغییرات ناگهانی در شب، می شوند.

سیگنال های طبیعی به شکل نوفه های جوئی اسفربیک (sferics) و ویستلر (whistlers) نیز می توانند منشا تغییرات زمانی در میدان VLF شوند.

۲ مدل سازی دو بُعدی یک گسل

برای مدل سازی از داده های مصنوعی VLF تک بسامد ۲۳۳۰۰ هرتز استفاده شد. مدل سازی با نرم افزار REBOCC را سیرپیون و اراپورن و اگبرت (۲۰۰۰) به انجام رساندند. روش وارون سازی REBOCC با داده های محدود، روشی غیر یکتا است. در نتیجه تعداد بی شماری ساختار رسانا می تواند با داده ها تطابق کند. یکی از روش های متداول برای حل ساختار مدل بدین صورت است که مدل را به بلوک هایی بیش از درجات آزادی موجود در داده تقسیم می کنند. سپس مدل برای

روش بسامدهای بسیار کم (VLF, very low frequency) (۳-۳۰ کیلوهرتز) یکی از روش های اکتشافی الکترومغناطیسی است. فرستنده های VLF به منظور کاربردهای ارتباطی نظامی در سراسر دنیا پراکنده اند. در ۱۹۶۵ پال کشف کرد که امواج رادیویی در بسامدهای VLF برای اکتشاف رسوبات رسانا قابل استفاده هستند. از آن تاریخ فرستنده های VLF در حکم چشمه های الکترومغناطیسی برای به نقشه در آوردن ساختارهای زمین شناسی نزدیک سطح به کار رفته است. مدل سازی و محاسبه داده های VLF را بیمیش (۱۹۹۴) عملی ساخت. از وارون سازی متناوب دو بُعدی داده های تک بسامد VLF می توان رسانایی الکتریکی ساختارهای زیر سطح را به دست آورد. تفسیر کمی داده های دو بُعدی VLF را بیمیش (۲۰۰۰) روی داده های تک بسامد VLF که با تباین مقاومت ویژه الکتریکی جانبی بالا انتخاب شده بودند به انجام رساند. اسکویی (۲۰۰۴) مدل سازی مصنوعی و وارون سازی داده های تک بسامد و چند بسامد VLF را برای ساختارهای ساده دو بُعدی عملی ساخت. آنتن های فرستنده VLF سیم های بلند قائمی هستند که حامل جریان متناوب اند. مولفه اصلی میدان مغناطیسی افقی است. خطوط میدان مغناطیسی دایره هایی هم مرکز در اطراف پایه آنتن تشکیل می دهند.

داده های VLF زمینی ابزار سریع و مناسبی برای بررسی ساختارهای زمین شناسی تا بیشینه عمق ۱۰۰ متر است (فیشر و همکاران، ۱۹۸۳). در فواصل دور از فرستنده های VLF، امواج الکترومغناطیسی به صورت امواج تخت فرض می شوند. مولفه های افقی و عمودی میدان مغناطیسی با رابطه خطی زیر با یکدیگر در ارتباط هستند:

$$\vec{H}_z = A\vec{H}_x + B\vec{H}_y \quad (1)$$

بُردار مختلط تیپر (A,B) فقط به ساختار زمین وابسته و از

لایه مقاوم سطحی که در مدل وارون در عمق تقریبی ۲۰ متری واقع شده است در شکل ۱-ج با توجه به فاصله میان نقاط کمینه و بیشینه منحنی ۱۸۰ متر است. در این شکل تغییرات جانبی در رسانایی الکتریکی در منحنی موهومی تیر به شکل نقاط بیشینه و کمینه ظاهر می شود. موقعیت گسل با مدل وارون تطبیق دارد.

۳ زمین شناسی منطقه شهران

در این تحقیق برای مدل سازی و تطبیق داده های مصنوعی با مدل واقعی زمین، از داده های برداشت شده در منطقه شهران استفاده شده است. این منطقه با گسل شمال تهران تلاقی دارد.

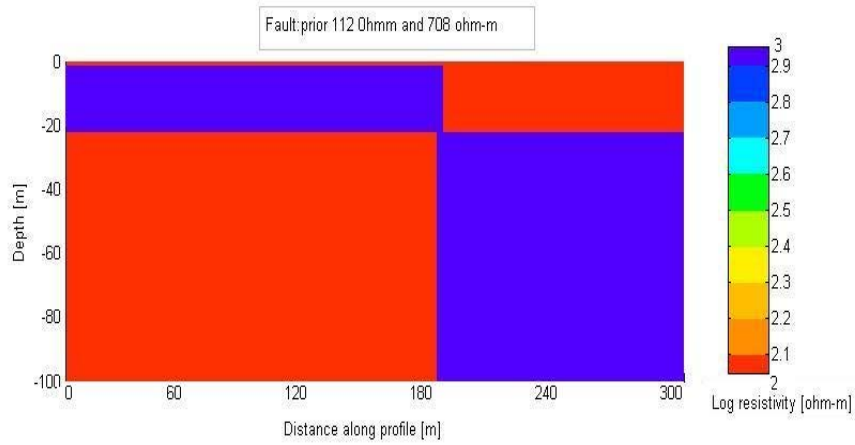
ناحیه کن و شهران در شمال غرب منطقه تهران در حد فاصل ارتفاعات شمال تهران واقع شده اند و شامل دامنه جنوبی رشته کوه های البرز مرکزی هستند. این نکته حائز اهمیت است که این ناحیه محل اتصال چندین گسله از گسله های شمال تهران است. از آن جمله می توان به گسله شمال ناحیه حصارک و همچنین تراست پورکان - وردیج و تراست حصارک اشاره کرد که هر سه در ناحیه شمالی کن به یکدیگر می رسند و در این ناحیه به خاطر عملکرد گسل های گوناگون، دارای محدوده های به شدت خرد شده و همچنین واحدهای کوچک زمین شناختی هستند. امتداد این گسله نیز عموماً شرقی-غربی است. در جنوب ناحیه اتصال گسلی نیز آبرفت های ضخیمی وجود دارد و هر چه به سمت جنوب پیشروی کنیم، تقریباً ضخامت آبرفت افزایش می یابد. همان طوری که گفته شد، نوع گسله های ناحیه تراستی است و طول هر یک نیز به بیش از دو کیلومتر می رسد. هر کدام از گسله های تراستی نیز دارای شاخه های فرعی مربوط به خود هستند. و این امر باعث می شود تا در ناحیه شمال کن محدوده های خرد شده مربوط به سازند کرج به وفور یافت شود.

ساختارهای رسانا حل می شود. با توجه به این مسئله که پایگاه های فرستنده امواج VLF محدودند و هر پایگاه بسامد خاص خود را دارد و در ایران و کشورهای همسایه فرستنده VLF وجود ندارد. این امواج مربوط به ایستگاه NWC کشور استرالیا است. با توجه به رابطه ۲ داده ها شامل مقادیر تیر مختلط اسکالر (B_{sca}) است که ۵۹ عدد حقیقی و ۵۹ عدد موهومی اند. فواصل ایستگاهی ۵ متر فرض شد. رابطه بین عمق مورد بررسی و بسامد، طبق رابطه عمق پوست (Skin Depth) به دست می آید. عمق پوست که در آن دامنه موج به e^{-1} مقدار خود می رسد برابر است با:

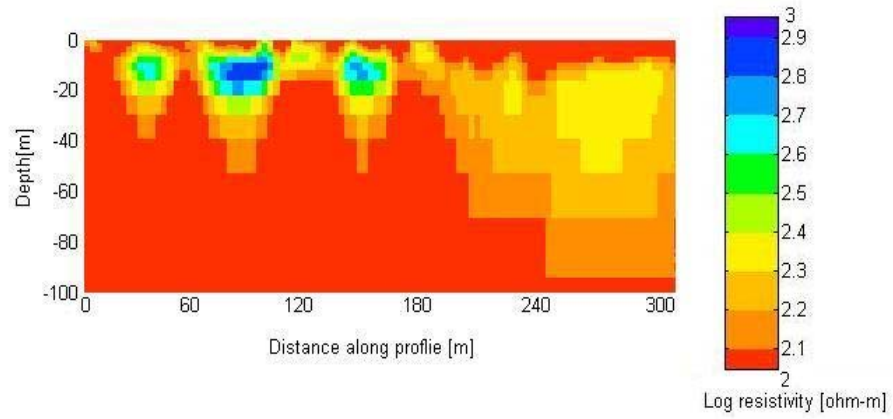
$$Z_{skin} \approx 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (۳)$$

طبق این رابطه امواج الکترومغناطیسی در محیط های با رسانایی زیاد در بسامدهای کم انتشار می یابند. از این رابطه برای تشخیص عمق بی هنجاری ها با توجه به تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی استفاده می شود.

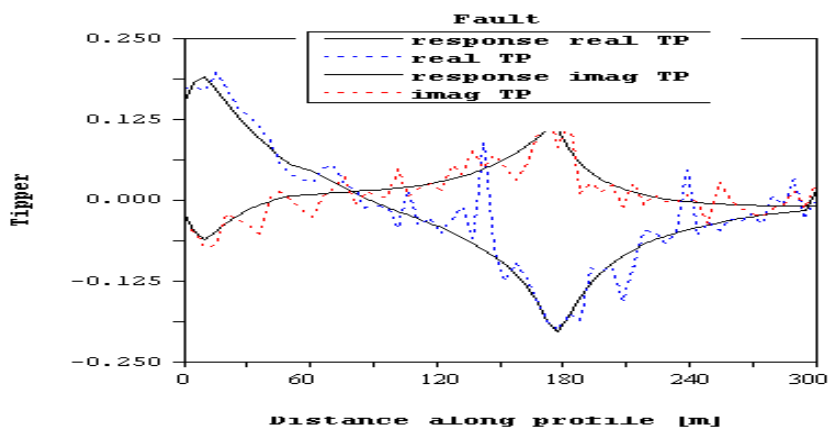
در شکل ۱-الف مدل پیشرو گسل نشان داده شده است. در مدل پیشرو مقاومت ویژه الکتریکی اولیه برحسب لگاریتم رسم شده و مقادیر آن ۱۰۰ اهم متر و ۷۰۰ اهم متر در نظر گرفته شده است. با اضافه کردن نوفه تصادفی دو درصد به داده گسل، شامل بخش حقیقی و موهومی آن است، مدل واقعی از روش وارون برآورد شده است. شکل ۱-ب مدل وارون را نمایش داده است. شکل ۱-ج منحنی تغییرات تیر را برای داده و پاسخ مدل نشان می دهد. تا فاصله تقریبی ۱۵۰ متری در مدل وارون لایه مقاوم دیده می شود. عمق لایه مقاوم در مدل وارون و پیشرو در این فاصله برابر با ۲۰ متر است. ناحیه رسانا در مدل وارون و مدل پیشرو دارای مقاومت ویژه حدود ۱۰۰ اهم متر است. شکستگی لایه در مدل پیشرو و مدل وارون دو بُعدی در فاصله تقریبی ۱۹۰ متری دیده می شود. عرض



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱. مدل گسل. (الف) مدل پیشرو گسل، (ب) مدل واقعی گسل از وارون بخش حقیقی و موهومی تیپر برای بسامد ۲۳۳۰۰ کیلوهرتز و (ج) منحنی های تیپر داده های مصنوعی و پاسخ مدل بر حسب فاصله نیم رخ.

۴ برش گسل شمال تهران در ناحیه شهران

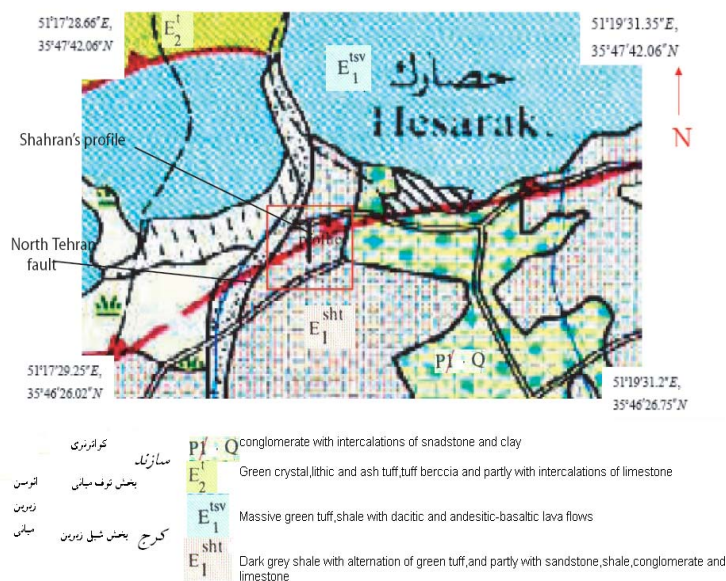
در شمال قصبه کن (شهران) در غرب تهران و در غرب و شرق رودخانه کرج مقاطعی از گسل شمال تهران مشاهده می‌شود. در غرب رودخانه کرج سازند کرج روی آبرفت‌هایی رورانده شده است. در حالی که در سمت شرق در یک محدوده متشکل از چندین گسل از غرب به شرق ابتدا سنگ‌های توف سازند کرج بر واحدهایی که متشکل از تکه سنگ‌های بزرگ سازند کرج و قطعات کوچک‌تر سنگ‌های آتشفشانی اند رورانده می‌شود. این واحد نیز بر واحدهای دیگری که متشکل از رسوبات آبرفتی با لایه‌بندی نسبتاً منظم‌اند رورانده می‌شود و ظاهراً این بخش نیز روی آبرفت‌های سرخ‌رنگ با لایه‌بندی تقریباً افقی رورانده می‌شود.

عقیده بر آن است که گسل شمال تهران در برشی شاخه‌ای از گسل معکوس است که در سازند کرج به وفور یافت می‌شود (ولی، ۱۳۷۵).

۵ سابقه بررسی ژئوفیزیکی در منطقه

بررسی ژئوفیزیکی منطقه مورد نظر از سوی حفیظی و ولی

(۱۳۷۸) به منظور روشن ساختن وضعیت منابع آب زیرزمینی در درز و شکاف‌ها با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی صورت گرفته است. وجود گسل در نواحی شمال تهران، محدوده‌هایی با شکستگی‌ها و درز و شکاف در بین سازندها و توف‌ها را به وجود آورده است. گسله‌ها و محدوده‌های خُرد شده در حوضه‌های آبریز نواحی کوهستانی شمال تهران باعث تغذیه منابع آب زیر زمینی می‌شود. این گسله‌ها محل‌های مناسبی برای ذخیره آب در بین درز و شکاف‌ها شمرده می‌شوند. در این محل آبخوان حالت آبرفتی ندارد بلکه در محل خُردشدگی گسل، آب‌ها ذخیره شده و تشکیل منبع آب زیر زمینی داده‌اند. به منظور تعیین حدود مقاومت ویژه الکتریکی آندزیت توف و ماسه‌سنگ با دستگاه آزمایشگاهی، نمونه‌هایی از منطقه شهران تهیه شده است. مقاومت ویژه الکتریکی آندزیت حدود ۱۰۰ اهم‌متر و توف حدود ۲۳۰-۵۰ اهم‌متر و ماسه‌سنگ حدود ۷۸۰-۶۰۰ اهم‌متر به دست آمده است. وجود منابع آب زیرزمینی باعث اُفت مقدار مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها خواهد شد (حفیظی و ولی، ۱۳۷۸).



شکل ۲. موقعیت نیم‌رخ VLF منطقه شهران روی نقشه زمین‌شناسی.

۶ داده های صحرائی

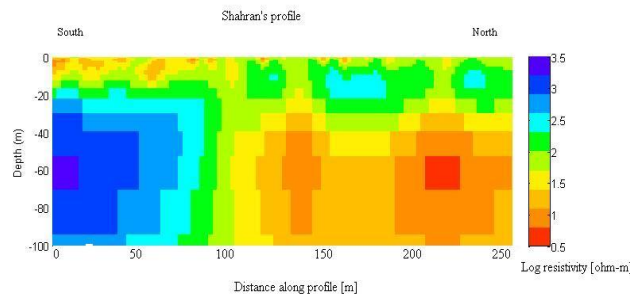
داده های صحرائی از منطقه شهران واقع در شمال غرب تهران با استفاده از دستگاه WADI برداشت شده است. در عملیات صحرائی نیم رخی به طول ۲۵۰ متر با فواصل ایستگاهی ۵ متر از یکدیگر طراحی شد. برداشت داده های تیپر اسکالر با استفاده از سیگنال های با بسامد ۲۳۳۰۰ هرتز صورت گرفت. این بسامد مربوط به ایستگاه NWC استرالیا است که در جنوب شرقی نیم رخ واقع است. نیم رخ طراحی شده، با گسل شمال تهران تلاقی دارد. جهت حرکت روی نیم رخ جنوبی - شمالی است. موقعیت نیم رخ نیز در شکل ۲ آورده شده است.

۷ برگردان داده ها

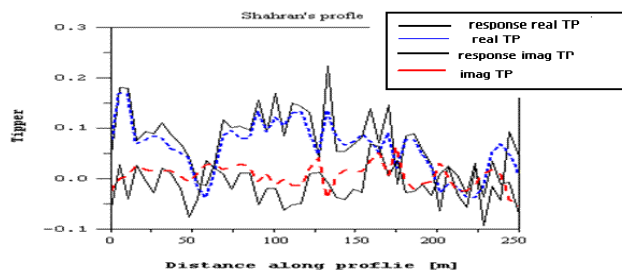
برای برگردان داده های این منطقه از نرم افزار REBOCC استفاده شد. مقاومت ویژه زمینه صد اهم متر قرار داده شد. داده های تیپر اسکالر اندازه گیری شده، داده های ورودی اند. نیم رخ شامل ۵۰ ایستگاه است که با گسل شمال تهران

تلاقی کرده است. جهت پیمایش روی نیم رخ، جنوبی - شمالی بوده است. ساختار زمین شناسی در زیر نیم رخ شهران مربوط به واحد E_1^{sh} بخش شیل زیرین سازند کرج در ائوسن میانی است که روی نقشه زمین شناسی این واحد از شیل خاکستری تیره همراه با تناوب توف سبز و ماسه سنگ، شیل، کنگلومرا و سنگ آهک تشکیل شده است.

نتیجه وارون سازی دو بُعدی این منطقه در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به مدل گسل شکل ۱ و مدل وارون دو بُعدی نیم رخ شهران و اندازه گیری های مقاومت ویژه الکتریکی در این ناحیه، می توان نتیجه گرفت که در فاصله ۱۰۰ متری، در ایستگاه ۲۰ شکستگی رخ داده است و مواد رسانا که ممکن است آب های زیر زمینی باشند، به سطح رسیده اند و در عمق حدود ۱۰ متری واقع شده اند. در زیر ناحیه رسانا توف با مقاومت ویژه الکتریکی حدود ۵۰-۱۰۰ اهم متر قرار می گیرد. در فاصله ۱۰۰ متر تا ۲۵۰ متر لایه رسانا در زیر توف واقع می شود.



(الف)



(ب)

شکل ۳. داده های نیم رخ شهران، (الف) مدل وارون داده های تیپر نیم رخ منطقه شهران و (ب) منحنی تیپر بر حسب نیم رخ.

تشخیص عمق و محل گسل به طور دقیق ممکن است. این روش نسبت به روش‌های ژئوالکتریک سریع‌تر و ارزان‌تر است. همچنین به علت سبک بودن دستگاه VLF برداشت داده‌ها آسان‌تر صورت می‌گیرد و چون در این روش به پیاده کردن آرایه‌های الکترودی نیازی نیست، برداشت داده‌ها سریع‌تر صورت می‌گیرد.

منابع

- حفیظی، م. ک.، و ولی، ج.، ۱۳۷۸، بررسی منابع آب زیرزمینی در درز و شکاف‌ها به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه مربعی، فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۵، شماره های ۱ و ۲، صفحه ۲۹-۲۳.
- ولی، ج.، ۱۳۷۵، بررسی منابع آب‌های زیرزمینی در گسله‌های شمال تهران. دانشگاه تهران.
- Beamish, D., 1994, Two dimensional, regularized inversion of VLF data, *Journal of Applied Geophysics*, **32**, 357-374.
- Beamish, D., 2000, Quantitative 2D VLF data interpretation, *Journal of Applied Geophysics*, **45**, 33-47.
- Fischer, G., Le Quang, B. V., and Müller, I., 1983, VLF ground surveys, a powerful tool for the study of shallow two-dimensional structures, *Geophysical. Prospecting*, **31**, 977-991.
- Oskooi, B., 2004, A broad view on the interpretation of electromagnetic data (VLF, RMT, MT, CSTMT), PhD Thesis, Uppsala University.
- Paal, G., 1968, Very low frequency measurements in northern Sweden, *Geoexploration*, **6**, 141-149.
- Pedersen, L. B., Qiang, W., Dynesius, L., and Zhang, P., 1994, An airborne tensor VLF system. from concept to realization, *Geophysical Prospecting*, **42**, 863-883.
- Siripunvaraporn, W., and Egbert, G., 2000, An Efficient data-subspace inversion method for 2D magnetotelluric data, *Geophysics*, **65**, 791-803.
- Vallée, M. A., Chouteau, M., and Palacky, G. J., 1992, Effect of temporal and spatial variations of the primary signal on VLF total field surveys, *Geophysics*, **57**(1), 97-105.

لایه‌های سطحی که عمدتاً از توف تشکیل یافته‌اند در مدل‌سازی وارون دو بُعدی داده‌های VLF نیم‌رخ شهران تقریباً قابل تشخیص است.

۸ نتیجه‌گیری

در این تحقیق داده‌های حاصل از مدل‌های مصنوعی مورد بررسی با استفاده از وارون دو بُعدی برگردان شده و مدل‌های نهایی به دست آمده است. این مدل‌ها با توجه به محدودیت داده‌ها از نظر اینکه سیگنال‌های الکترومغناطیسی تک بسامد مورد استفاده قرار گرفته‌اند و مدل به نحو مناسبی بازسازی شده است، زمین مصنوعی مورد نظر را می‌دهند. از نظر چگونگی داده‌ها به علت تغییرات جانبی مقاومت ویژه الکتریکی، منحنی داده‌های تیپر در لبه‌های عارضه‌ها به کمینه و بیشینه مقدار خود می‌رسد. کمینه مقدار بخش موهومی با بیشینه مقدار بخش حقیقی تیپر مقارن است.

روش وارون دو بُعدی VLF تک بسامد برای تشخیص محل تقریبی عارضه‌ها و بی‌هنجاری‌های رسانی سطحی مفید است. با توجه به چگونگی تغییرات بردار تیپر بی‌هنجاری‌هایی نظیر گسل قابل تشخیص است. به عبارتی این روش می‌تواند برای به نقشه در آوردن ساختارهای زیرزمینی کم عمق و رسانی که با سازندهای اطراف خود تباین مقاومت ویژه الکتریکی دارند، مناسب باشد.

از آنجاکه در محل خردشدگی گسل آب‌های زیرزمینی دیده می‌شود، با استفاده از روش VLF می‌توان محل خردشدگی گسل را به علت تباین زیاد میان لایه مقاوم و آب رسانی تشخیص داد. وارون دو بُعدی داده‌های VLF زون‌های آبدار کم عمق را نشان می‌دهد. در صورت مدل‌سازی و پردازش داده‌های VLF چند بسامدی امکان بررسی دقیق‌تر نوع و محل بی‌هنجاری وجود دارد. با استفاده هم‌زمان از روش VLF و روش مگنتوتلوریک،