مطالعه مگنتوتلوریک در امتداد یک پروفیل با جهت شمال شرقی– جنوب غربی در استان مرکزی، ایران

نسیم پاکدل[۱] و دکتر بهروز اسکویی[۲]

چکیده

به دلیل بازتاب و شکست امواج الکترومغناطیسی (EM) در فصل مشترک‌های جداکنندهٔ دو محیط با خواص الکتریکی متفاوت، روش‌های ژئوالکترومغناطیسی برای شناسایی عوارض زمین‌شناسی و بویژه زونهای گسلی بکار برده می‌شوند. روش مگنتوتلوریک (MT) به خاطر تفکیک‌پذیری جانبی و عمق نفوذ بالا یکی از مؤثرترین روش‌های الکترومغناطیسی برای تصویرسازی الکتریکی از ساختارهای زیرسطحی می‌باشد. در سال ۱۳۸٦ اندازه‌گیری‌های مگنتوتلوریک در بازه فرکانسی وسیعی در منطقه اراک به منظور مشخص کردن هدایت الکتریکی پوسته با تاکید بر مکانیابی زونهای گسلی موجود در منطقه انجام شد.مولفه‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در طول یک پروفیل عمود بر امتداد گسل تلخاب اندازه گیری شده سپس پردازش داده ها و وارون سازی یک بعدی دوبعدی این داده‌ها انجام گردید. نتایج بدست آمده از وارون‌سازی هدایت الکتریکی ساختارها را در توافق خوبی با داده‌های زمین‌شناسی مشخص کرده است.به عنوان مهمترین نتیجه مکان درست گسل تلخاب در منطقه شناسایی شد.

کلید واژه ها: ژئوالکترومغناطیسی، مگنتوتلوریک، پردازش، وارون سازی و گسل تلخاب.

A magnetotelluric study along a NE-SW profile in Markazi province, Iran

Nasim Pakdel and Dr. Behrooz Oskooi

Abstract

Because of the reflection and refraction of the electromagnetic (EM) waves at both horizontal and vertical interfaces separating the media of different electrical parameters, geoelectromagnetic methods have been developed and employed to recognize the geological features and particularly fault zones in many regions. Due to its lateral resolution and also greater depth penetration, the magnetotelluric (MT) method is one of the most effective EM techniques to image the subsurface structures electrically. During year 2007 wide frequency range magnetotelluric measurements was carried out in Arak area ,Iran to understand the crustal electrical conductivity of the region by putting emphasis on relocating the fault zones. The electric and magnetic field components were acquired along a profile across the geological trend at 3 stations. A robust single site processing followed by the inversion and one dimensional as well as two dimensional modeling were performed. The inversion results revealed electrical conductivity structures in good correlation with geological features. As a significant result, true location of a major fault, Talkhab, was recognized in Arak area.

Keywords: geoelectromagnetic, magnetotelluric, processing, inversion and Talkhab Fault.

.

[۱]- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات nasim.pakdel@gmail.com

[۲]- استادیار گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران boskooi@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

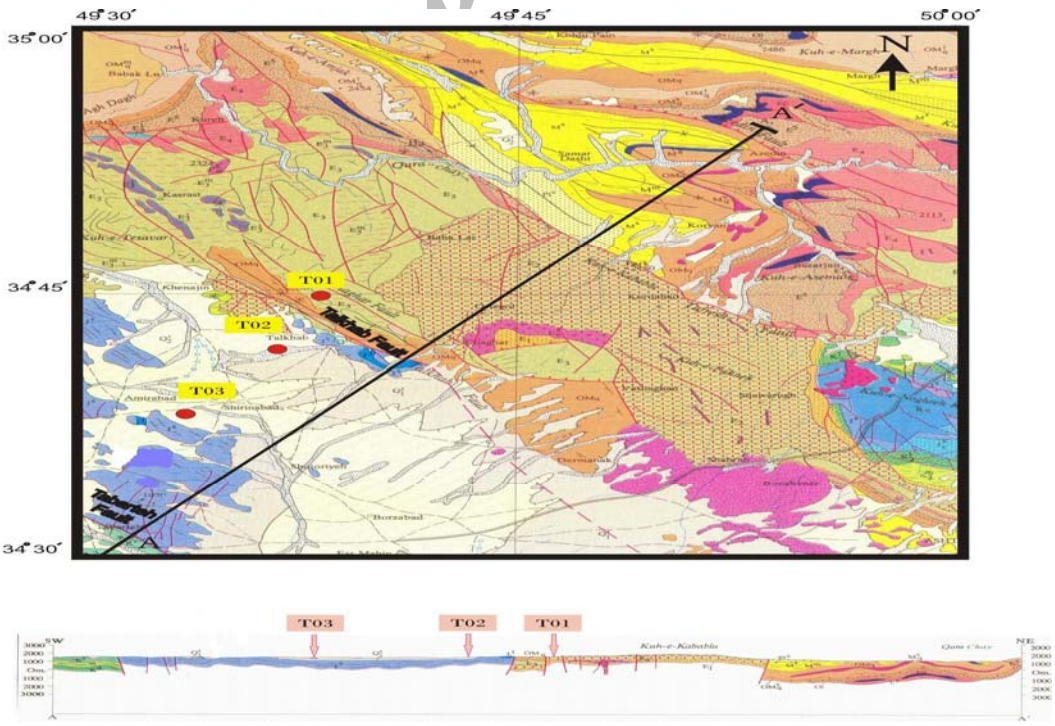
مقدمه

در طول سالهای اخیر روشهای الکترومغناطیسی به عنوان یکی از روشهای قابل توجه علاوه بر اینکه در اکتشاف کانیها و حتی شناسایی مخازن هیدروکربن مطرح شده‌اند می‌توانند به عنوان یکی از روشهای اساسی در شناسایی عوارض تکتونیکی بکار روند و در این بین، روش مگنتوتلوریک از تکنیک‌های قابل اعتمادی در به تصویر کشیدن زون‌های گسلی می‌باشد.

به طور کلی هدف از این مقاله کاربرد روش مگنتوتلوریک در تصویرسازی از ساختار زمین‌شناسی زیرسطحی و بویژه توانایی آن در آشکارسازی زونهای گسلی میباشد. در روش مگنتوتلوریک از امواج الکترومغناطیسی با فرکانس پایین برای آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی استفاده می‌شود. این امواج فرکانسهایی در باند 10^{-4} تا 10^{3} هرتز داشته و از فعالیتهای ناشی از وقوع آذرخش در مقیاس جهانی و نوسانات مگنتوسفری سرچشمه می‌گیرند این سیگنالهای الکترومغناطیسی در اتمسفر به عنوان امواج رادیویی منتقل می‌شوند اما در زمین پخش شده و به سرعت با عمق میرا می‌شوند.

زمین شناسی عمومی استان مرکزی

استان مرکزی از دیدگاه زمین شناسی در دو زون ایران مرکزی و سنندج–سیرجان تشکیل شده است. سن سازندها در آن، پرکامبرین، ژوراسیک، پرمین، کرتاسه، کواترنری و ترشیاری میباشند. از ویژگیهای آن وجود کوههای چین خورده و دشتهای فشاری است که در بخشهای مختلف استان وجود دارد. گسل تلخاب با روندی تقریبا موازی گسل تبرته در شمال شرقی آن گسترش دارد. چاههای آب حفر شده بر روی این زون که بر اساس مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی انتخاب و حفر شده اند دارای آب دهی قابل توجهی می باشد. کانون اکثر زمین لرزه ها بر روی گسل تلخاب بوده است. (میرزایی، م. و قدیمی، ف. ۱۳۸۵) (شکل ۱).



شکل ۱: مقطع زمین‌شناسی رسم شده در امتداد پروفیل اندازه‌گیری

Archive of SID

www.SID.ir

عملیات صحرایی

انتخاب وسایل و تجهیزات در یک عملیات صحرایی به محدوده عمق مورد مطالعه بستگی دارد. در مطالعات پوسته معمولا از پیچه های القایی به منظور اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین استفاده می شود. مزیت استفاده از این مگنتومترها این است که نمونه برداری آنها سریع و پردازش می تواند معمولا در محل اندازه گیری انجام شود. مگنتومترهای فلکس گیت **(Fluxgate)** نسبت به پیچه های القایی پاسخهایی در اعماق بیشتر فراهم می کنند و برای مطالعه عمق نفوذ بیشتر می باشد. در این مطالعه برای قسمت فوقانی پوسته بالایی از مگنتومترهای پیچه القایی استفاده شده است.

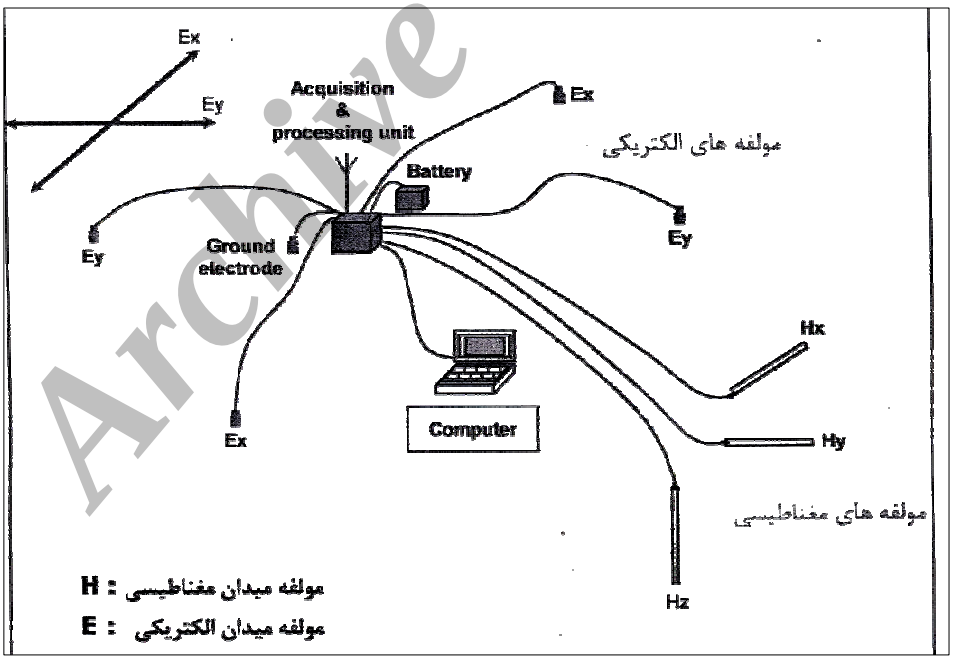
مدت زمان عملیات صحرائی به بودجه و میزان تجهیزات موجود در نظر گرفته شده بستگی دارد. عملیات صحرایی برای اهداف علمی متکی بر تجزیه و تحلیل داده‌های با کیفیت بالا از هر کدام ازسایت ها می باشند ولو تعداد سایتها اندک باشند.

لیست تجهیزات مورد استفاده

دستگاه **MT** استفاده شده در این عملیات صحرایی **GMS05** آلمانی ساخت شرکت مترونیکس میباشد. اجزای این دستگاه عبارتند از:

- نگاربردار داده ها **(GPUO5)**
- مگنتومتر فلاکس گیت یا سه سیم پیچ القایی مغناطیسی **(MFSO5)**
- نمایشگر
- جعبه تقسیم **(SDB)**
- چهار الکترود پتاسیل **(EFPO5)**
- الکترود جهت اتصال زمین
- گیرنده **GPS**

چشمه قدرت (مثل باطری)، قطب نما، کابل، وسایل حفاری (بیل، کلنگ و...)، صندلی ودیسکت (شکل ۲).



شکل ۲: آرایش معمول یک سایت مگنتوتلوریک

Archive of SID

www.SID.ir

پردازش داده های صحرایی

پردازش مشاهدات صحرایی به منظور بدست آوردن مقادیر مقاومت ویژه ظاهری نیازمند کار و تحلیل دقیق می باشد. مشاهدات صحرایی تابعی از زمان می باشند ولی پایه های تئوری روش **MT** درحیطه فرکانس هستند. بدین ترتیب لازم است قبل از اینکه تئوری با مشاهدات صحرایی با یکدیگر منطبق شوند، داده های صحرایی را به حیطه فرکانس تبدیل کرد و یا نتایج تئوری را به حیطه زمان برد. درحال حاضر تنها روشی که در عمل استفاده می شود تبدیل داده های صحرایی حیطه زمان به حیطه فرکانس است.

مراحل پردازش

حذف میل داده ها

انحراف سیستماتیک احتمالی نسبت به محور **X** را برا ی داده های سری زمانی حذف می کند.

اعمال تابع پنجره

سری های زمانی در یک پنجره (پنجره هنینگ) (Hanning Window) برای بدست آوردن تصویر بهینه از طیف فرکانسی ضرب می شوند.

تبدیل فوریه سریع (FFT)

تبدیل در حوزه زمان داده ها به حوزه فرکانس

کالیبره کردن طیف

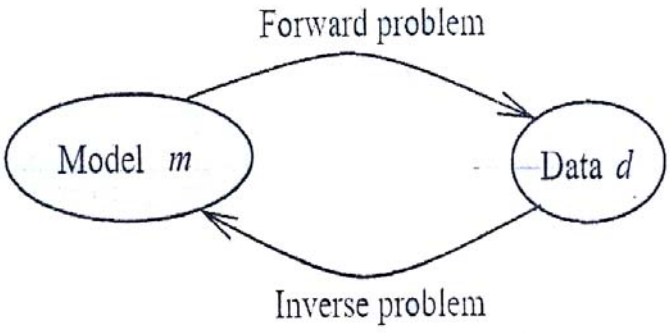
تابع کالیبراسیون مربوط به داده ها توسط یک تابع که در هنگام برداشت با فرستادن پالس های معلوم ودریافت پاسخ آنها ذخیره می شود، بدست می آید. طیف مورد نظر ازداده‌ها در معکوس تابع تبدیل سیستم اندازه گیری ضرب می شوند و بدین ترتیب اثرات دستگاهی از طیف پاک می شوند.

محاسبه طیف متقابل(Cross Spectra) و خودطیفی(Auto Spectra)

با جمع طیف بر روی کل خطوط فرکانسی درداخل یک پنجره که در وسط آن فرکانس هدف واقع شده است، بدست می آیند.

وارون‌سازی(Inversion) داده ها

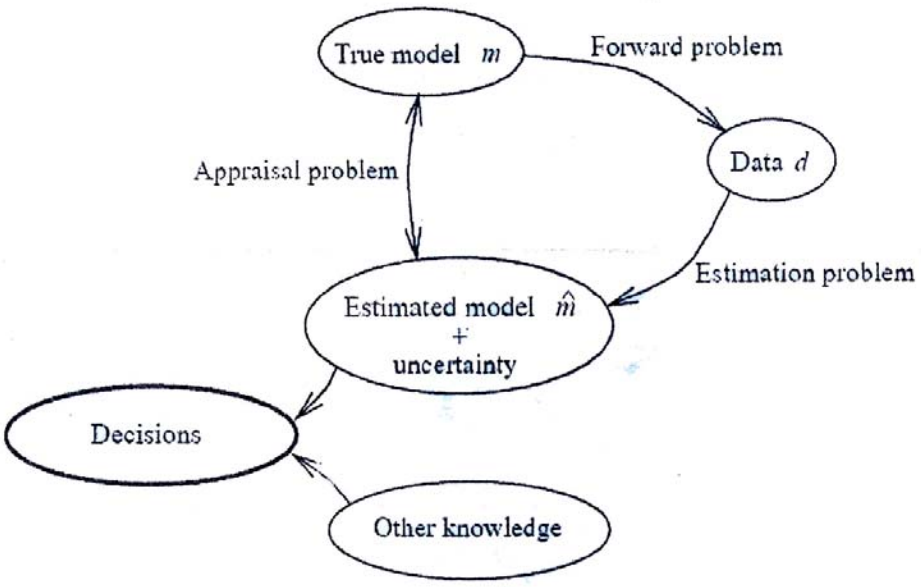
به دلیل ارائهٔ توصیف کمی از ساختارهای زیرزمینی مسائل وارون سازی یکی از مهمترین مسایل در تحقیقات ژئوفیزیکی می‌باشند. تحت شرایط ایده‌ال با مقدار نامحدود داده‌ها ، تیکونوف (۱۹۷۷) نشان داد که جواب یکتایی می‌تواند بدست آید اما با داده‌های واقعی وارون سازی داده‌های مگنتوتلوریک غیریکتاست (شکل۳ و شکل ٤). عمل اضافه کردن قیدهای اضافی به جوابها به منظور غلبه بر عدم یکتایی توسط تیکونوف قاعده‌مندسازی (regularization) نامیده شده است. قیدی که در اینجا استفاده می‌شود یافتن هموارترین مدلی (مدل مقاومت ویژه) است که با داده‌ها منطبق شود. (تشریح مسائل معکوس، اسکیل، اسنایدر، ۱۹۹۷).



شکل۳: نمایش مرسوم مسائل معکوس: مدلی پیدا می‌شود که داده‌ها را پیش‌بینی می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤ : مسائل معکوس به عنوان قسمتی از فرآیند تصمیم‌گیری

نمایش داده‌های صحرایی و مدل‌های یک بعدی

داده‌های MT بصورت مقاومت ویژه ظاهری و فاز امپدانس که به عنوان ورودی به برنامهٔ وارون‌سازی پدرسن (۲۰۰٤) داده شده اند در شکل ۵ قسمت‌های الف و ب با رنگ آبی نشان داده شده‌اند. منحنی‌های قرمز رنگ پاسخ مدل یک بعدی بدست آمده از مرحلهٔ نهایی وارون‌سازی داده‌ها می‌باشند و پارامترهای مگنتوتلوریک محاسبه شده برای تعدادی از سایت‌ها در امتداد پروفیل این پارامترها عبارتنداز:

الف) مقاومت ویژه

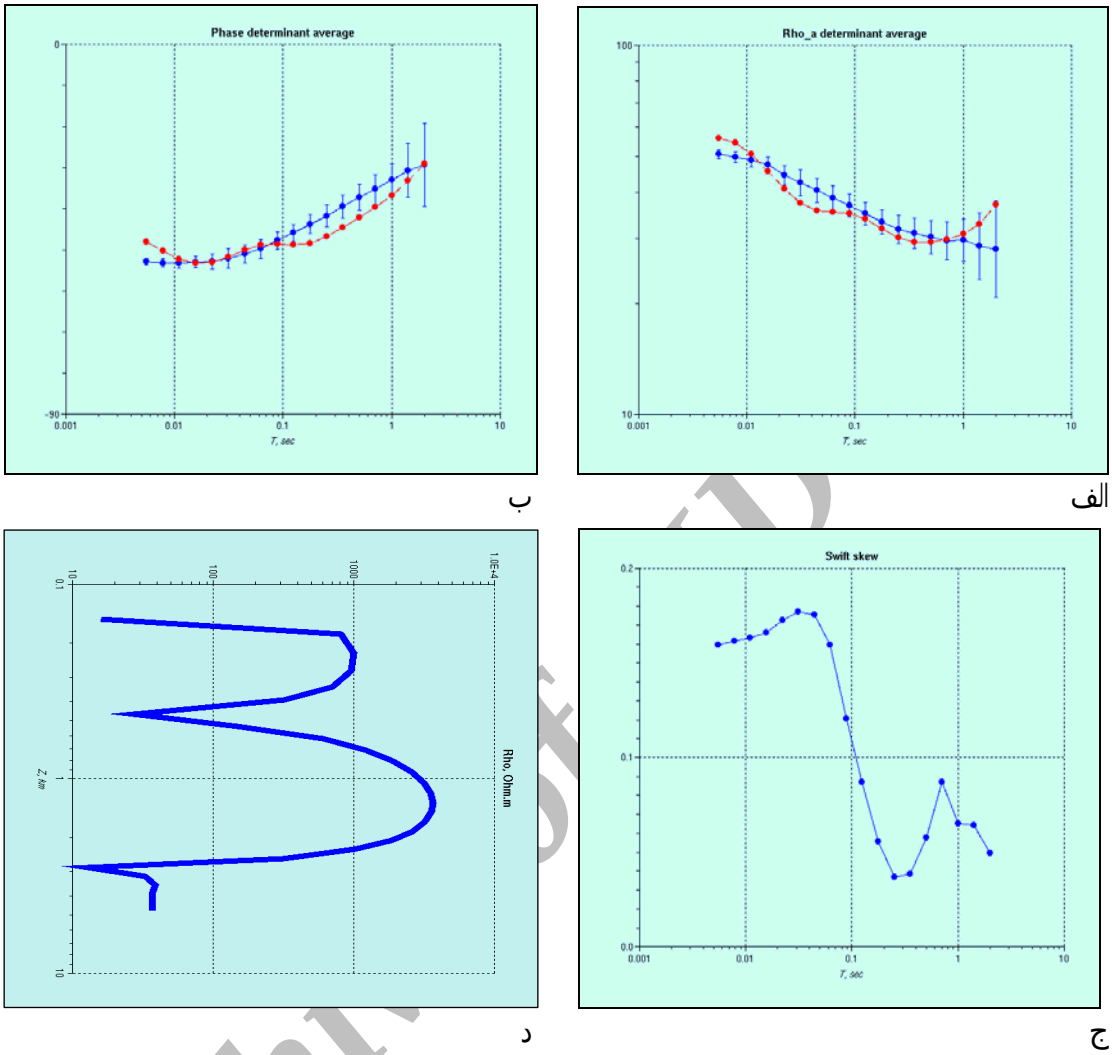
ب) فاز امپدانس

ج) فاکتور بعد (اسکیو)

د) مدل یک بعدی حاصل از برگردان داده‌های هر سایت. به طور کلی در شکل‌های مربوطهٔ هر بخش برای قسمت‌های "الف تا ج" محور افقی نشان دهنده پریود بر حسب ثانیه و در مقیاس لگاریتمی می‌باشد. محور قائم در منحنی‌های مقاومت ویژه در هر سایت مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم‌متر و در شکل‌های "ب" فاز امپدانس بر حسب درجه و در شکل‌های "ج"، مقدار، بدون بعد می‌باشد. محور قائم در قسمت "د" شکل‌های هر بخش عمق را بر حسب کیلومتر و در محور افقی مقاومت ویژه را بر حسب اهم-متر نشان می‌دهد (شکل۵).

Archive of SID

www.SID.ir



الف ب

ج د

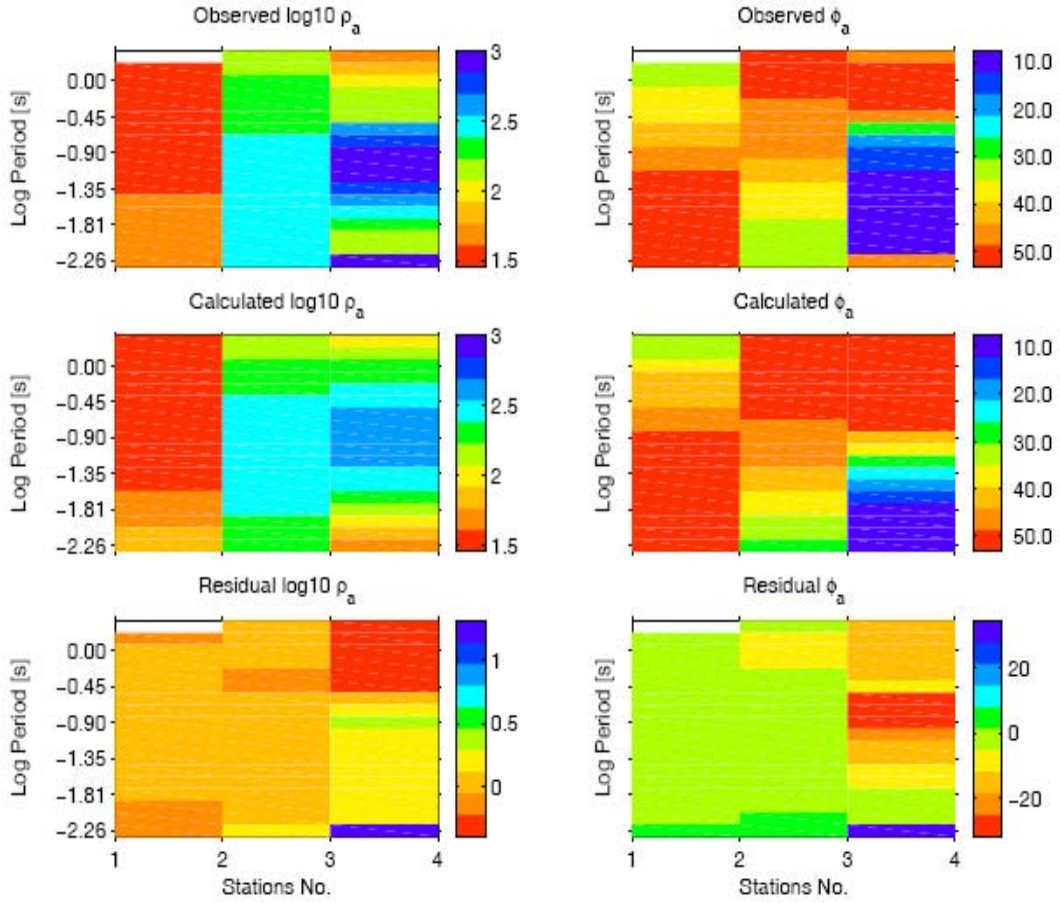
شکل ۵: پارامترهاي مگنتوتلوريك محاسبه شده براي سايت **T1** در امتداد پروفيل. الف) مقاومت ويژة ظاهري ب) فاز امپدانس ج) پارامتر اسكيو د) مدل حاصل از برگردان يك بعدي (نشان دهندة چگونگي تغييرات در رسانايي لايه‌هاي زمين)

وارون سازی و تفسیر دو بعدی در امتداد پروفیل مورد نظر در منطقه اراک

برای تفسیر دو بعدی از روش (REBOCC) که برنامه آن توسط سیریپونواراپورن و اگبرت (۲۰۰۰) نوشته شده، استفاده شده است. داده‌های مقاومت ویژه و فاز امپدانس با استفاده از الگوریتم مدلسازی (REBOCC) برگردان شدند.

Archive of SID

www.SID.ir



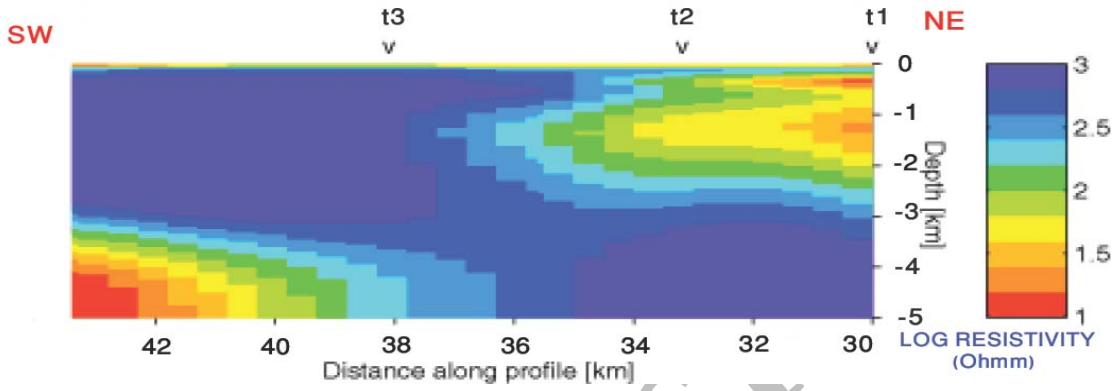
شکل٦: داده‌ها، پاسخ مدل و مقدار باقیمانده(تفاضل ریاضی بین داده و پاسخ مدل)

مقاومت ویژهٔ ظاهری و فاز امپدانس مقاطع حقیقی مقاومت ویژه در طول پروفیل مورد نظر به دست آمده و به همراه داده‌های مربوطه و پاسخ مدلها و همچنین مقادیر باقیمانده (تفاوت داده و پاسخ مدل) برای این پروفیل مشاهده می شود (شکل٦). نتایج تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که یک تفسیر دوبعدی می‌تواند در منطقه مورد مطالعه خصوصیات منطقه را از سطح تا عمق مورد بررسی بیشتر قرار دهد و در جهت تکمیل مطالعات یک بعدی ایفای نقش کند (شکل ۷). وارون‌سازی دوبعدی داده‌های مگنتوتلوریک با استفاده از کد وارون‌سازی انجام شده است که به ترتیب نتایج حاصله با زمین‌شناسی منطقه به خوبی مطابقت دارد. مدل بدست آمده از کد وارون‌سازی REBOCC ساختار مقاومت ویژهٔ زیرسطحی تا عمق ۵ کیلومتر به تصویر کشیده است. در وارون‌سازی داده‌ها با این روش از دترمینان داده‌ها به عنوان ورودی استفاده شده است که میانگینی از همه جهت‌های جریان فراهم کرده و همچنین مستقل از جهت امتداد الکترومغناطیسی می‌باشد. با توجه به مقطع مقاومت ویژه در قسمتهای فوقانی ساختاری با مقاومت ویژه متوسط در محل سایت شماره ۱ دیده می شود که رفته رفته با عمق نیز کاهش میابد. در محل سایت شماره ۲ مقاومت ویژه در اعماق کم،تقریبا بالاست. در فاصله بین این دو سایت در عمق مقاومت ویژه کاهش می یابد یعنی هدایت الکتریکی زیاد شده و این محل همان مکان گسل است که به عنوان مکان وجود شاره و مواد رسانای موجود در گسل تلخاب تفسیر می شود و از لحاظ مختصات و عملکرد کاملاً با گسل

Archive

www.SID.ir

شناسایی شده در نقشه زمین شناسی هماهنگ است. مطابق اطلاعات زمین شناسی، این گسل دارای شیب شمال شرق است و گسل در عمق ۵۰۰ متری از سطح زمین قرار دارد. در فرودیواره واحدهای جوانتر دوران میوسن بر روی واحدهای قدیمیتر مربوط به ژوراسیک واقع شده اند. بعد از سایت شماره ۳ اثر مصنوعی که در اثر وارون سازی بوجود آمده است، مشاهده میشود.



شکل۷: مقطع مقاومت ویژه وسایتهای داده برداری

نتیجه گیری

در این مقاله روش مدرن اکتشافی مگنتوتلوریک به منظور آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی در امتداد یک پروفیل شمال شرقی–جنوب غربی شهر اراک بکار گرفته شد. نتایج نهایی نشان دهندهٔ این امر است که با بکار بردن روش پیشرفتهٔ مگنتوتلوریک اطلاعات بسیار سودمندی بدست می آید. این روش همانند هر روش ژئوفیزیکی نیازمند یک تباین در خواص الکتریکی مواد می‌باشد تا ساختارهای زمین‌شناسی را به خوبی به تصویر بکشد. تفاوت بارز ساختار الکتریکی شناسایی شده داده های MT در محل ایستگاه T01 در مقایسه با ایستگاه های T02 و T03نشان دهنده موقعیت این گسل است که از لحاظ مختصات و عملکرد کاملاً با گسل شناسایی شده در نقشه زمین شناسی هماهنگ است.

لایه های زمین تا عمق حدود ۳ کیلومتر در زیر ایستگاه T01 کاملا رسانا است که موید وجود درز و شکافهای حاوی آب و مواد رسانای رسی می باشد. بین دو ایستگاه T01 و T02 در دو عمق متفاوت، منطقه رسانایی دیده می شود که به خاطر نفوذ آبهای زیرزمینی زیر گسل می باشد در حد فاصل ایستگاه T02 تا T03 تغییر سازند زمین شناسی همراه با دور شدن از محل گسل مقاومت ویژه بالایی را برای لایه های زمین ارائه می دهد. بعد از ایستگاه T03به سمت جنوب اثر مصنوعی حاصل از وارون سازی مشاهده می شود. مطابق اطلاعات زمین شناسی،این گسل دارای شیب شمال شرق است. به عنوان مهمترین نتیجه از این مقطع گسل تلخاب باامتداد شمال غرب– جنوب شرق قابل تشخیص است.

مراجع

- میرزایی، م. و قدیمی، ف.، ۱۳۸۵، گزارش زمین‌شناسی: بررسی گسل‌های تبرته و تلخاب، دانشگاه اراک.
- Pedersen, L.B., 2004, Determination of the regularization level of truncated singular-value decomposition inversion: The case of 1D inversion of MTdata: Geophysics, 52, 261-270.
- Scales, J.A. and R. Snieder, 1997, To Bayes or not to Bayes, Geophysics, 62, 1045-1046.
- Siripunvaraporn, W. and Egbert, G., 2000, 'An Efficient Data-Subspace Inversion Method for 2-D

Archive of SID

www.SID.ir

Magnetotelluric Data', Geophysics 65, 791-803.

- Tikhonov, A.N., and Arsenin, V.Y., 1977, Solutions of ill-posed problems, published by V.H.Winston and Sons.

Archive of SID

www.SID.ir