

مطالعه‌ی ساختارهای هیدروکربنی یکی از میادین جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های مگنتوتلوریک

محمد فیلبندی کشکولی^{*}، ابوالقاسم کامکار روحانی^۱، دانشگاه صنعتی شاهرود • علی مراد زاده^۲، دانشگاه تهران • حسین عاصی^۳، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران |

چکیده

روش مگنتوتلوریک از مهم‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی برای شناسایی ساختارهای پیچیده‌ی هیدروکربنی است که معمولاً به‌همراه روش لرزه‌نگاری استفاده می‌شود. در این پژوهش داده‌های یک پروفیل از اندازه‌گیری‌های مگنتوتلوریک در منطقه‌ی سراب گچساران جهت مطالعه‌ی ساختارهای هیدروکربنی بررسی شده است. پس از پردازش‌های اولیه ابتدا با استفاده از داده‌های الکترومغناطیس حوزه‌ی زمان، جابجایی ایستا روی داده‌ها تصحیح شده و سپس جهت تعیین ابعاد مدل‌سازی، آنالیز تحلیل ابعادی داده‌ها انجام گردید. در مرحله‌ی بعد با استفاده از الگوریتم اکام و توسط نرم‌افزارهای WinGLink و ZondMT2D مدل‌سازی یک و دوبعدی انجام شد. با استفاده از نتایج مدل‌سازی دوبعدی انجام شده، ساختارهای منطقه به‌طرز نسبتاً خوبی تشخیص داده شد؛ بدین صورت که تاقدیس‌های سراب و جعفرآباد در فواصل ۵ و ۱۳/۵ کیلومتری از ابتدای پروفیل و در عمق‌های یک کیلومتری و ۷۵۰ متری شناسایی گردیدند. همچنین سازند میشان و آغاچری با تباین مقاومت ویژه‌ای که دارند در بالای تاقدیس سراب شناسایی شدند. سر سازند آسماری^۴ که سنگ مخزن منطقه است نیز با توجه به مقاومت ویژه‌ی ۷۰ در نظر گرفته شده مشخص گردید. همچنین در انتهای پروفیل گسل خوردگی عمیقی شناسایی شد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۴/۱۱/۱۶

تاریخ ارسال به داور: ۹۴/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۹/۱۳

واژگان کلیدی:

مگنتوتلوریک، اکام، گچساران، وارون‌سازی، آسماری

مقدمه

وارون‌سازی داده‌های مگنتوتلوریک ساختارهای هیدروکربنی کپه‌داغ غربی را شناسایی کرد [۸]. جهت به نقشه درآوردن ساختارهای زیرزمینی منطقه‌ی مدل‌سازی روی ۸۱ ایستگاه که در بازه‌ی بسامدی ۳۲۰-۰/۰۰۰۵ هرتز برداشت شده انجام گرفته است. در شکل ۱- توزیع ایستگاه‌ها و موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی موردنظر نشان داده شده است. در این مقاله سعی می‌شود با انجام مدل‌سازی یک و دوبعدی، ساختارهای هیدروکربنی منطقه از جمله سرسازند آسماری که سنگ مخزن منطقه را تشکیل می‌دهد و همچنین رورانده‌ی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه شناسایی شوند.

روش مگنتوتلوریک (MT) یکی از روش‌های الکترومغناطیسی است که از میدان‌های طبیعی زمین برای به نقشه درآوردن تغییرات مقاومت ویژه‌ی الکتریکی زیر سطح زمین استفاده می‌کند [۱ و ۲]. عمق نفوذ زیاد میدان‌های الکترومغناطیسی در روش MT (از ده‌ها متر تا ده‌ها کیلومتر) که تقریباً به‌صورت امواج تحت در زمین نفوذ می‌کنند باعث شده این روش جایگاه ویژه‌ای در بین همه‌ی روش‌های الکترومغناطیسی داشته باشد.

البته علت کاربرد خاص این روش برای اکتشاف ساختارهای عمیق زمین‌شناسی و هیدروکربنی و همچنین ذخایر معدنی عمیق، عمق اکتشاف زیاد آن به دلیل میدان‌های با فرکانس پایین است [۳]. اکتشافات نفتی به‌روش MT از دهه‌ی ۶۰ میلادی در کشور شوروی سابق با موفقیت استفاده شده است. در خلال دهه‌های ۸۰-۶۰ میلادی بیش از ۱۰ هزار سونداژ MT با مساحتی معادل سه میلیون کیلومتر مربع در این کشور برداشت شد.

روش MT جهت اکتشاف نفت در کمر بند چین خورده‌ی پاپوان واقع در کشور گینه‌ی نو انجام شده است [۴]. در ۱۹۹۸ واتز و پینس [۵] نیز این روش را برای شناسایی ساختارهای منطقه‌ی Adiyaman به کار گرفتند. همچنین در ۱۹۹۹ ماتسوئو و نگی [۶] روش MT را برای اکتشاف نفت در منطقه‌ی مینامی-نوشیرو به کار بردند. در سال ۲۰۰۲ نیز برداشت داده‌های MT در دامنه‌ی کوه‌های راکی کشور کانادا جهت تصویرسازی ساختارهای رانده‌ی با استفاده از نقشه‌ی توزیع مقاومت ویژه‌ی الکتریکی انجام گردید [۷]. در سال ۱۳۹۰ هاشمی با استفاده از



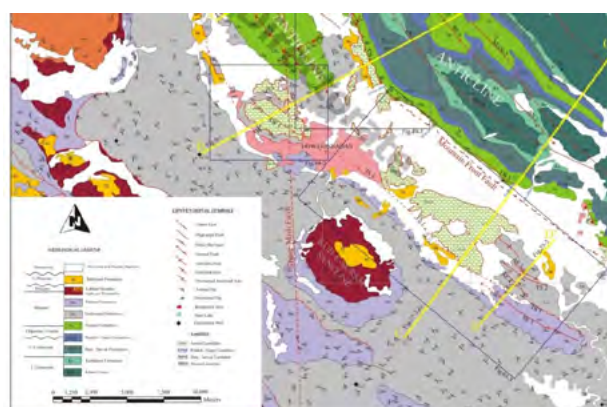
شکل ۱ | موقعیت پروفایل‌های مگنتوتلوریک و محدوده‌ی مورد مطالعه

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (kashkoulimohammad@gmail.com)

۱- زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه در یکی از میدان‌های نفتی جنوب غربی کشور قرار دارد و داده‌های MT آن در سال ۱۳۹۰ توسط یک شرکت چینی برداشت شد. در این منطقه، رخنمون سازند گچساران در سطح و تکتونیزه بودن شدید منطقه، مشکلاتی از قبیل عدم موفقیت در برداشت و تفسیر عملیات لرزه‌نگاری را به دنبال داشته است. به دلیل حرکات تکتونیکی و بالاآمدگی تقریباً تمامی سازندهای نفتی ایران در این منطقه در سطح زمین دیده می‌شوند اما سازند غالب در سطح زمین منطقه‌ی سازند گچساران است. در شکل ۲- نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مشاهده می‌شود.

در شکل ۳- برش ساختاری که با طول ۲۵ کیلومتر در منطقه‌ی مورد مطالعه رسم شده مشاهده می‌گردد که طبق شکل ۲- پروفیل مورد نظر بر



شکل ۲ | نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه (برگرفته از گزارش ۲ | زمین‌شناسی منطقه، تهیه شده توسط مدیریت اکتشاف و تولید شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۶) [۹]



آن منطبق است و تا قسمت میانی این برش ادامه دارد. در این برش ساختارهای خامی و میش، تاقدیس‌های زیرسطحی جعفرآباد و سراب، توده‌ی نابرجای شرقی به ترتیب از شمال شرق به جنوب غرب قابل مشاهده هستند [۱۰].

جهت اکتشاف ساختارهای زیرسطحی منطقه از روش ژئوفیزیکی MT استفاده شده است. داده‌های MT در طول خط برداشت به طول ۱۷ کیلومتر و با ۸۱ ایستگاه برداشت شده است.

۲- مفاهیم تئوری روش‌های TM

منشأ اصلی میدان‌های طبیعی الکترومغناطیس در روش MT در محدوده‌ی فرکانسی ۰/۰۰۰۱ تا ۱۰۰۰۰ هرتز، فعالیت‌های خورشیدی و آذرخش‌های بزرگ مقیاس است. این فعالیت‌ها میدان‌های الکترومغناطیسی تولید می‌کنند که در فضای بین یونسفر و سطح زمین منتشر می‌شوند. در روش MT جریان‌های الکتریکی در اثر تغییرات میدان الکترومغناطیسی طبیعی در زمین القاء می‌گردند. این جریان‌های القایی میدان‌های الکترومغناطیس ثانویه را تولید کرده و باعث تغییر میدان الکترومغناطیسی کل در سطح زمین می‌شوند. جریان القایی تولید شده در زمین به بزرگی میدان‌های الکترومغناطیسی و خواص الکتریکی سنگ‌ها بستگی دارد [۱۱]. تئوری پایه برای بررسی رفتار میدان‌های الکترومغناطیس توسط معادلات ماکسول بیان می‌شود که اولین بار در قرن نوزدهم منتشر شد [۱۲]. به‌طور عملی ثابت شده که مقاومت ویژه‌ی ظاهری (ρ_{yx}, ρ_{xy}) زمین از مؤلفه‌های الکتریکی و مغناطیسی میدان، به‌صورت تابعی از بسامد و طبق روابط ۲ و ۱ به دست می‌آیند:

$$\rho_{yx} = 0 / 2T \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (1)$$

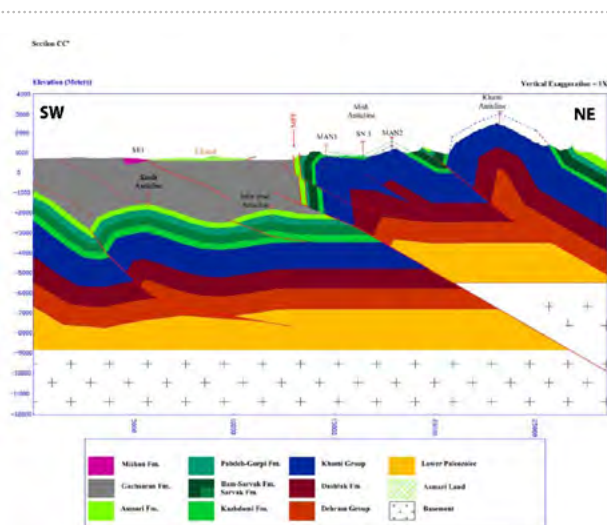
$$\rho_{xy} = 0 / 2T \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (2)$$

که T دوره‌ی تناوب سیگنال‌ها، H_x و H_y مؤلفه‌های افقی میدان مغناطیسی برحسب نانو- تسلا و E_x و E_y مؤلفه‌های افقی میدان الکتریکی برحسب میلی‌ولت بر کیلومتر هستند. عمق نفوذ سیگنال‌های MT یکی از مفاهیم اساسی است که به‌عنوان عمق پوسته مطرح می‌شود و از رابطه‌ی ۳- قابل محاسبه است [۱۳]:

$$\delta = 503 \sqrt{\rho \times T} \quad (3)$$

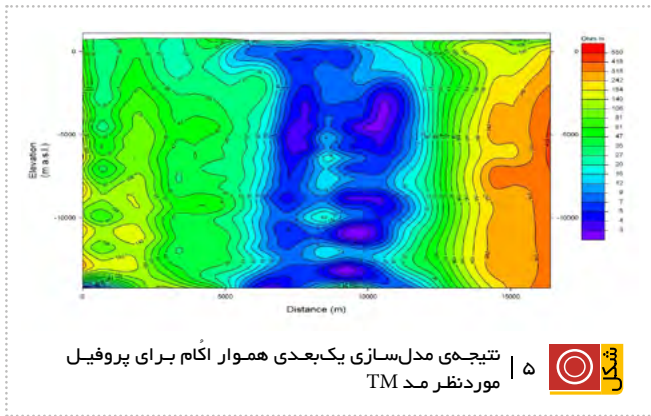
۳- تصحیح جابجایی ایستا و آنالیز ابعادی

در اکتشاف ساختارهای زمین‌شناسی و منابع هیدروکربنی با استفاده از روش MT که در آن فواصل ایستگاه‌های برداشت زیاد باشد، مشکل اغتشاش گالوانیکی ناشی از تغییرات الگوی جریان الکتریکی روی منحنی‌های مقاومت ویژه‌ی ظاهری وجود دارد. این اثر در روش MT اثر جابجایی ایستا نامیده می‌شود [۱۴]. در تفسیر داده‌های MT



شکل ۳ | برش ساختاری که پروفیل مگنتوتلوریک مورد نظر تا کوهان MAN1 این برش و منطبق بر آنست [۱۰]





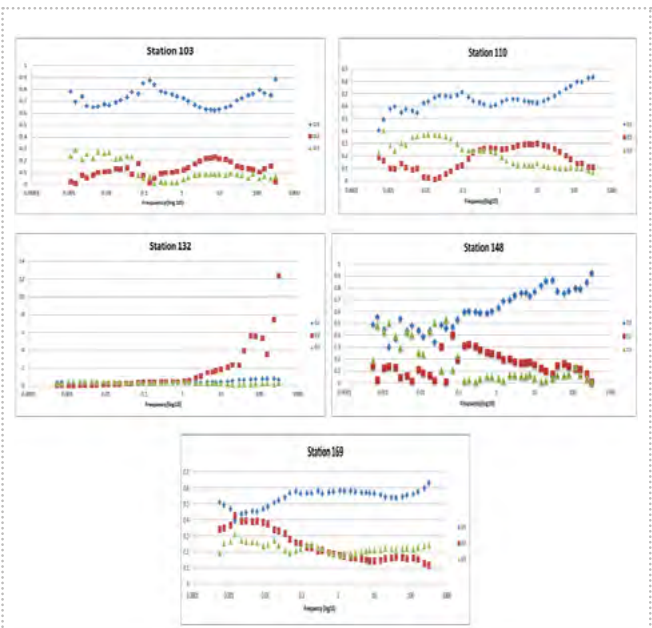
باید جابجایی‌های ایستایی که به علت وجود ناهمگنی‌های سطحی الکتریکی ایجاد و در صورت وجود توپوگرافی تشدید می‌شوند، قبل از مدل‌سازی و تفسیر داده‌ها حذف یا تعدیل گردند. برای تصحیح این اثر روش‌های مختلفی وجود دارد. تصحیح جابجایی ایستای داده‌های مورد استفاده در این مقاله با استفاده از داده‌های الکترومغناطیس حوزه‌ی زمان (TDEM) انجام می‌شود [۱۵]. سپس آنالیز ابعادی داده‌های موردنظر انجام شد تا ابعاد ساختارهای الکتریکی منطقه معلوم گردد. با انجام آنالیز ابعادی معلوم شد که بیشتر ساختارهای منطقه سه‌بعدی و بعضاً دویبعدی هستند [۱۶]. در شکل-۴ و جدول-۱ نتایج حاصل از اندیس‌های وزنی نرمال شده و معیار نامتغیر چرخشی وال که برای تعیین بُعد ساختارهای منطقه استفاده شده مشاهده می‌گردد.

۴- مدل‌سازی یک‌بعدی

پس از تصحیح اثر جابجایی ایستا و تعیین ابعاد ساختارهای زیرسطحی، مدل‌سازی یک‌بعدی و دویبعدی به‌منظور به‌دست آوردن اطلاعات توزیع مقادیر مقاومت ویژه و هندسه‌ی ساختارهای زیرسطحی انجام می‌شود. در این مقاله مدل‌سازی‌های یک‌بعدی و دویبعدی به‌وسیله‌ی نرم‌افزارهای WinGLink [۱۸] و ZondMT2D [۱۷] انجام می‌گردد. الگوریتم مورد استفاده برای انجام مدل‌سازی یک‌بعدی در نرم‌افزار WinGLink، الگوریتم اُکام است. به‌دلیل آنکه مدل انتخابی تطابق زیادی با مدل مشاهده‌ای دارد و ملاک‌های مبهم به‌مجموع پاسخ‌ها وارد نمی‌شوند، مدل حاصل در این الگوریتم می‌تواند گویای مدل واقعی زمین باشد.

مدل‌سازی وارون یک‌بعدی در مد TM برای تمامی ایستگاه خط برداشت موردنظر انجام شد. شکل-۵ نتیجه‌ی مدل‌سازی یک‌بعدی هموار اُکام را برای پروفیل موردنظر نشان می‌دهد.

مدل‌سازی یک‌بعدی، ناحیه‌ای با مقاومت ویژه‌ی زیاد را در سمت راست پروفیل و ناحیه‌ای با مقاومت ویژه‌ی کم را در وسط پروفیل نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مدل‌سازی انجام شده در مد TM بوده، مدل در تصویرسازی برای ساختارهای عمیق ناتوان است. با توجه به مدل‌سازی، احتمالاً ناحیه‌ی با مقاومت ویژه‌ی زیاد یک



مقادیر اندیس‌های نرمال در ایستگاه‌های مختلف. محور قائم مقادیر هریک از اندیس‌ها و محور افقی مقادیر لگاریتمی فرکانس است. لوزی آبی‌رنگ مقادیر اندیس D1، مربع قرمز رنگ مقادیر اندیس D2 و مثلث سبزرنگ مقادیر اندیس D3 هستند

جدول ۱ | آنالیز معیار نامتغیر چرخشی وال در ایستگاه‌های مختلف

| سایت | بند | کمترین فرکانس | بیشترین فرکانس | بُعد تعیین بعد |
|------|-----|---------------|----------------|----------------|
| 103 | 1 | 240 | 360 | 5 |
| | 2 | 30 | 160 | 3 |
| | 3 | 4.5 | 20 | 5 |
| | 4 | 2 | 3 | 7 |
| | 5 | 0.37 | 1.5 | 0 |
| | 6 | 0.00055 | 0.281 | 4 |
| 110 | 1 | 240 | 360 | 5 |
| | 2 | 30 | 160 | 3 |
| | 3 | 4.5 | 20 | 5 |
| | 4 | 2.25 | 3 | 7 |
| | 5 | 0.37 | 1.5 | 0 |
| | 6 | 0.00055 | 0.281 | 5 |
| 132 | 1 | 120 | 320 | 5 |
| | 2 | 40 | 80 | 3 |
| | 3 | 0.141 | 30 | 5 |
| | 4 | 0.047 | 0.094 | 3 |
| | 5 | 0.0088 | 0.035 | 0 |
| | 6 | 0.0014 | 0.0059 | 7 |
| | 7 | 0.00055 | 0.0011 | 0 |
| 148 | 1 | 40 | 320 | 5 |
| | 2 | 10 | 30 | 4 |
| | 3 | 4.5 | 7.5 | 5 |
| | 4 | 2.25 | 3 | 3 |
| | 5 | 0.141 | 1.5 | 5 |
| | 6 | 0.023 | 0.094 | 4 |
| | 7 | 0.0176 | 0.0293 | 7 |
| | 8 | 0.00055 | 0.0022 | 5 |
| 169 | 1 | 240 | 320 | 4 |
| | 2 | 20 | 160 | 3 |
| | 3 | 6 | 15 | 7 |
| | 4 | 0.0176 | 4.5 | 5 |
| | 5 | 0.0088 | 0.0117 | 4 |
| | 6 | 0.00055 | 0.0059 | 5 |

گسل خوردگی را در سمت راست پروفیل نشان می‌دهد.

۵- مدل‌سازی دوبعدی

برای مدل‌سازی دوبعدی از نرم‌افزار ZondMT2D استفاده شده است. در این نرم‌افزار جهت وارون‌سازی داده‌ها از الگوریتم اکام استفاده شده است. در این روش با توجه به غیرخطی بودن و حل یکتا نداشتن مسأله‌ی معکوس داده‌های سونداژ الکترومغناطیس، برای رفع مشکل عدم یکتایی پاسخ از قید هموار بودن استفاده می‌شود [۱۹]. بر اساس یکی از تئوری‌های اکام که در اوایل قرن چهاردهم نوشته شده [۲۰ و ۱۹] این کار بیهوده‌ای است که در آن عملی که به روش ساده‌تر و با تعداد مراحل کمتر قابل انجام است با اعمال پیچیده‌تر و مراحل بیشتر انجام می‌گردد. روش وارون‌سازی هموار یا روش اکام نیز بر این اساس توسعه و نام‌گذاری شده است. اساس وارون‌سازی هموار یا جستجو برای مدل هموار اینست که مدل‌های فاقد مطابقت با داده‌های مشاهده‌ای، در مجموعه‌ی پاسخ‌ها وارد نشوند [۱۹]. در نتیجه انتظار می‌رود که نواحی با مقاومت ویژه‌ی زیاد یا مقاومت ویژه‌ی کم از مدل هموار، در عین سادگی، معرف مدل واقعی زمین باشند. از دیگر فواید روش وارون‌سازی

هموار آنست که یک مدل خاص با مشخصات انتخاب شده جستجو می‌شود که به حدس اختیاری اولیه بستگی ندارد [۲۱].

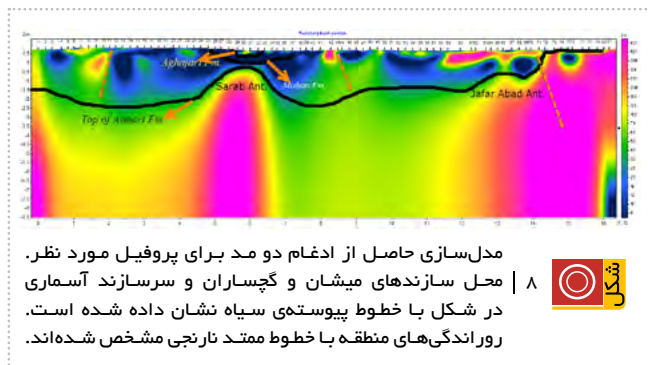
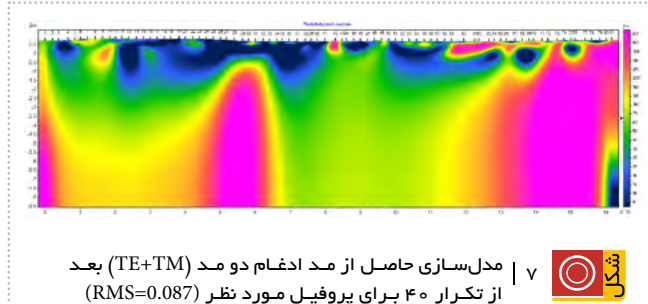
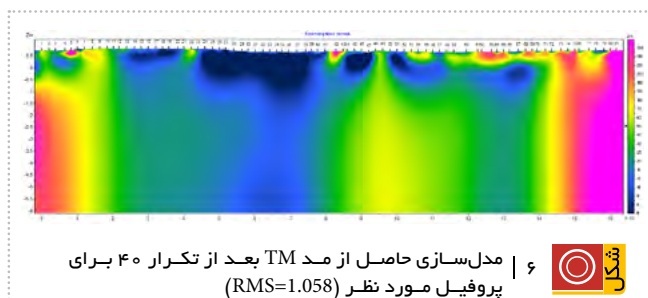
برای توصیف ساختارهای چندبعدی معمولاً معادلات پخش میدان‌های الکترومغناطیس در دو مد بررسی می‌شوند [۲۲]. زمانی که میدان الکتریکی در جهت امتداد ساختار و میدان مغناطیسی در جهت عمود بر امتداد ساختار باشد این وضعیت را قطبش E می‌نامند که به آن مد الکتریکی عرضی^۶ یا به اختصار TE می‌گویند. در این مقاله مدل‌سازی با استفاده از ادغام دو مد (TE+TM) انجام شده است. در حالتی که مؤلفه‌ی میدان الکتریکی عمود بر امتداد ساختار و مؤلفه‌ی میدان مغناطیسی در جهت امتداد ساختار باشد را قطبش H می‌نامند که به آن مد مغناطیسی عرضی^۷ یا به اختصار مد TM می‌گویند. رفتار این دو مد در برخورد با ناهمگنی‌های جانبی متفاوت است. در مد TE میدان الکتریکی در جهت امتداد ساختار است و جریان‌های الکتریکی تمایل به شارش در جهت مؤلفه‌های میدان الکتریکی دارند. در نتیجه آنها روی سطح ناپیوستگی‌ها باری‌القاء نمی‌کنند. بنابراین اطلاعات حاصل از پاسخ این مد کمتر توسط ناپیوستگی‌های جانبی مغشوش می‌شود و این مد نسبت به ناپیوستگی‌های جانبی حساسیت کمتری دارد. در مد TM میدان الکتریکی عمود بر ساختار بوده و جریان‌های الکتریکی وادار به عبور در راستای عمود بر امتداد ساختار شده و باعث القای بارهای سطحی می‌گردند. مد TE به پروفیل مقاومت ویژه که دقیقاً زیر محل قرار دارد پاسخ می‌دهد. یعنی اینکه با کاهش فرکانس و دسترسی به عمق زیاد، این مد اثرات ناهمگنی‌های کم عمق را نادیده می‌گیرد. اما پاسخ مد TM حتی برای فرکانس‌های کم نیز توسط ناهمگنی‌های کم عمق مغشوش می‌شود.

در این مقاله برای مدل‌سازی از ادغام دو مد (TE+TM) استفاده شده است. بدین ترتیب هم اثرات مربوط به عمق‌های کم و هم اثرات مربوط به عمق‌های زیاد لحاظ خواهد شد.

در شکل ۶- مدل‌سازی مربوط به مدل‌سازی در مد TM و در شکل ۷- مدل‌سازی در ادغام دو مد برای پروفیل مورد نظر دیده می‌شود.

نتایج مدل‌سازی نشان داد که در حالت ادغام دو مد، پاسخ مدل، شکل واقعی تری را از ساختارهای منطقه نشان می‌دهد و تفسیرهای انجام شده در ادامه‌ی مقاله روی این مدل صورت خواهد گرفت.

با توجه به مدل‌سازی انجام شده محل تاقدیس‌های سراب و جعفرآباد به خوبی مشخص شد. تاقدیس سراب در فاصله‌ی ۵ کیلومتری از ابتدای پروفیل و در عمق یک کیلومتری از سطح زمین و همچنین تاقدیس جعفرآباد در فاصله‌ی ۱۳/۵ کیلومتری از ابتدای پروفیل و در عمق ۷۵۰ متری از سطح زمین شناسایی شد. همچنین مدل مزبور سازند میشان که مقاومت ویژه‌ی آن در منطقه‌ی بین ۱۰-۵ اهم متر است را در بالای تاقدیس سراب به خوبی مشخص کرد. مدل مزبور قادر به شناسایی سازند آغاچری در بالای سازند میشان (که تباین مقاومت ویژه‌ی زیادی دارند) شده است. با توجه به اطلاعات چاه‌نگاری در منطقه، مقاومت ویژه‌ی سازند آسماری بین ۱۰۰-۶۰ اهم متر متغیر است. با توجه به



مطالعه نیست که دلیل آن سه بعدی بودن زمین منطقه است. ■ نتایج مدل سازی دوبعدی به خوبی توانست ساختارها و رورانندگی منطقه را شناسایی کند. بدین ترتیب که تاقدیس سراب و جعفرآباد در عمق های یک کیلومتری و ۷۵۰ متری و در فواصل ۵ و ۱۳/۵ کیلومتری از ابتدای پروفیل مشخص شدند. همچنین سازندهای میشان و آغاجری و مرز بالایی سازند آسماری که سنگ مخزن منطقه است شناسایی شدند. این نتایج مطابقت بسیار خوبی با نتایج حاصل از حفاری چاه های منطقه داشت. دو رورانندگی در فواصل ۱/۵ و ۹ کیلومتری از ابتدای پروفیل شناسایی شد. همچنین گسل خوردگی عمیقی در انتهای پروفیل تشخیص داده شد.

شناسایی سازند میشان و همچنین رورانندگی های موجود در منطقه که در شکل ۸- نشان داده شده مقاومت ویژه ی ۷۰ اهم متر برای این سازند تعیین گردید که سرسازند آسماری در شکل ۸- ارائه شده است.

نتیجه گیری

■ استفاده از داده های الکترومغناطیس حوزه ی زمان (TDEM) برای تصحیح جابجایی ایستای داده های MT منطقه بسیار کارآمد بوده و اثرات ناهمگونی های الکتریکی سطحی که در صورت وجود توپوگرافی تشدید می شوند را هم از بین برد. ■ مدل سازی یک بعدی، معرف مدل واقعی زمین در منطقه ی مورد

پانویس ها

- | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| 1. kamkarr@yahoo.com | 4. Top of Asmari | 7. Transverse Magnetic |
| 2. a_moradzadeh@ut.ac.ir | 5. Magnetotelluric | |
| 3. h_assi@yahoo.com | 6. Transverse Electric | |

منابع

- [1] Tikhonov, A. N. , "On the determination of electrical characteristics of deep layers of the Earth's crust (in Russian)" Dokladi-AkademiiNauk SSSR,1950,73,295-297.
- [2] Cagniard, L. , "Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting" Geophysics,1953, 18,605-635.
- [3] Dobrin, M., B., Savit, C. H. , "Introduction to geophysical prospecting" Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, 1988, 867.
- [4]. Christopherson, K. R. (1991). "Applications of magnetotelluric to petroleum exploration in Papua New Guinea: A model for frontier areas". The Leading Edge. V. 10, pp. 21-27.
- [5]. Watts, M. D, and Pince, A. (1998). "Petroleum exploration in overthrust area using magnetotelluric and seismic data". SEG expanded abstract, New Orleans.
- [6]. Matsuo, K. and Negi, T. (1999). "Oil exploration in difficult Minami-Noshiro area-Park two: magnetotelluric survey". The Leading Edge Exploration.
- [7] Xiao, W. and Unsworth, M., (2006) "Structural imaging in the Rocky Mountain Foothills (Alberta) using magnetotelluric exploration" AAPG Bulletin, 90, 3, 321-333.
- [۸] هاشمی، ن.، (۱۳۹۱)، "ارون سازی داده های مگنتوتلوریک جهت اکتشاف ساختارهای هیدروکربنی کپه داغ غربی"، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده ی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [۹] مدیریت اکتشاف و تولید شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۶، گزارش و نقشه ی زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه ی گچساران
- [۱۰] نریمانی، ح.، (۱۳۸۸)، "پایان نامه ی کارشناسی ارشد: تحلیل هندسی جنبشی چین های ناحیه ی دو گنبدان، زاگرس چین خورده -رانده"، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- [11] Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. , "Applied geophysics" Cambridge University Press, 1990, 770.
- [12] Maxwell, J. C. , "A treatise on electricity and magnetism" "Dover Publ., New York, (unabridged and unaltered republication of the third edition of 1891), 1954, 506.
- [13]. Vozoff, K., "Themagnetotelluric method" In: Nabighian, M.N. (Ed.), Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Vol. 2. SEG, Tulsa, OK, 1987, 641-707.
- [14] Jones, A. G., "Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment: Geophysics, 1988, 53" 967-978.
- [۱۵] تصحیح جابجایی ایستای داده های مگنتوتلوریک با استفاده از داده های الکترومغناطیس حوزه ی زمان (مطالعه ی موردی: یکی از میدان های نفتی جنوب غربی ایران)، محمد فیل بندی کشکولی، ابوالقاسم کامکار روحانی، علی مرادزاده، رضا قائد رحمتی، حسین عاصی، مجله ی مهندسی منابع معدنی و هیدروکربوری
- [16]. FilbandiKashkouli, M., KamkarRouhani, A., Moradzadeh A., Assi, H. (2015) "Dimensionality Analysis of Subsurface Structures in Magnetotellurics Using Different Methods (A Case Study: Oil Field in Southwest of Iran)" Journal of Mining and Environment, V. 7. pp. 119-126.
- [17] Zond Software., A guide to using ZondMT2D, 2015, ver 4.1.
- [18] Geosystem SRL., A guide to using WinGLink, 2003, ver.2. 1. 1.
- [19] Constable, S. C., Parker, R. L. and Constable, C. G. (1987). "Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data". Geophysics. V. 52, No. 3, pp. 289-300.
- [20] Russell. B. (1946) "History of western philosophy" George Allen and Unwin, Ltd.
- [۲۱] قائد رحمتی. ر.، (۱۳۹۲)، "نخمسین بهینه ی پارامتر منظم سازی برای بهبود معکوس سازی دو و سه بعدی داده های مگنتوتلوریک"، رساله ی دکتر، دانشکده ی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [22] Berdichevsky, M. N. & Dmitriev, V. I., "Distortion of magnetic and electric fields by near-surface lateral inhomogeneities. Acta Geodaet. Geophys. Montanist. Acad. Sci. Hung. 11" 1976, 447-483