

مدل سازی دوبعدی مرزهای تیز داده‌های مگنتوتلوریک به منظور تشخیص ساختارهای هیدروکربوری منطقه گچساران

شهاب البرزبان

دانش آموخته کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشگاه صنعتی شاهرود

علی مرادزاده

استاد دانشکده معدن، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران

رضا قائدرحمتی

استادیار گروه معدن، دانشگاه لرستان

علی نجاتی کلاته

استادیار دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

محمد کشکولی

دانش آموخته کارشناسی ارشد اکتشاف نفت دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۰

shahab.alborzian@gmail.com

چکیده

روش مگنتوتلوریک (MT) یک روش الکترومغناطیسی با چشمه طبیعی می‌باشد که در اکتشاف ساختارهای زیرسطحی عمیق، مثل اکتشاف ساختارهای عمیق حاوی مواد هیدروکربوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه داده‌های مگنتوتلوریک یکی از پروفیل‌های (خط برداشت ۸۸۰۷) منطقه گچساران، جهت تشخیص ساختارهای زیرسطحی منطقه بررسی شد. پس از پردازش داده‌ها و انجام تصحیح جابه‌جایی ایستا به کمک داده‌های TEM، دو الگوریتم مدل‌سازی وارون دوبعدی گرادبان مزدوج غیرخطی (هموار) و مرزهای تیز روی این داده‌ها صورت گرفت. نتایج مدل‌سازی دوبعدی وارون مرزهای تیز داده‌های این پروفیل، سازندهای آجاجاری، میشان و گچساران و مرز فوقانی سازند آسماری را به خوبی نشان می‌دهد. همچنین گسل بزرگ پیشانی کوهستان در بخش انتهایی این پروفیل و گسل‌های کوچک عمقی و رورانده در سازند ضخیم گچساران به همراه ساختار تاقدیس سراب و جعفرآباد نیز در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا شناسایی شدند. مقایسه نتایج مدل‌سازی وارون با اطلاعات حاصل از حفاری‌های موجود در طول این پروفیل، نشان می‌دهد که مدل‌سازی داده‌های مگنتوتلوریک با روش مرزهای تیز توانسته سازندهای اصلی زیرسطحی، گسل‌های اصلی و فرعی و همچنین گسل رورانده موجود در سازند گچساران را به خوبی مدل نماید. همچنین مدل‌سازی وارون مرزهای تیز توانسته ساختارهای تاقدیسی اصلی را همراه با عمق سرسازندهای اصلی منطقه با دقت خوبی مدل نماید. از این رو این شیوه وارون‌سازی داده‌های مگنتوتلوریک در مقایسه با روش وارون‌سازی هموار، نتایج مناسب‌تری را برای شناسایی و عمق قرارگیری ساختارهای زیرسطحی مرتبط با منابع هیدروکربوری فراهم می‌سازد.

کلمات کلیدی: مگنتوتلوریک، مدل‌سازی مرزهای تیز، ساختارهای هیدروکربوری، سازند آسماری، گچساران

مقدمه

الکترومغناطیسی طبیعی موجود در اطراف زمین جریان‌های الکتریکی را در زمین القا می‌کنند، این جریان‌های القایی زیرسطحی نیز میدان‌های الکترومغناطیسی ثانویه را تولید می‌کنند. بنابراین با ثبت هم‌زمان مؤلفه‌های الکتریکی و مغناطیسی، میدان‌های الکترومغناطیسی در فرکانس‌های مختلف اطلاعات مفیدی درباره خصوصیات الکتریکی لایه‌های زیرسطحی به دست می‌دهند (Dobrin and Savit, 1988)، (Vozoff, 1991).

روش مگنتوتلوریک (MT) یکی از روش‌های ژئوفیزیکی الکترومغناطیسی با چشمه طبیعی می‌باشد که از اوایل سال ۱۹۵۰ در اکتشاف نفت، منابع معدنی و منابع ژئوترمال مورد استفاده قرار گرفته است. در روش مگنتوتلوریک با ثبت مؤلفه‌های عمود بر هم نوسانات میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در سطح زمین می‌توان توزیع رسانایی الکتریکی زمین تحت مطالعه را به دست آورد. در این روش تغییرات میدان

دستگاه چندکاناله رقومی قابل اتصال به رایانه جهت ثبت و اندازه‌گیری داده‌های خام سری زمانی وصل می‌شوند (Moradzadeh, 1998). بعد از آن داده‌های خام اندازه‌گیری شده به صورت سری‌های زمانی را با استفاده از تبدیل فوریه سریع به حوزه فرکانس انتقال می‌دهیم و بعد از انتقال به این حوزه، تانسور مختلط امپدانس (Z) که نسبت بین مؤلفه‌های افقی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است، به عنوان تابعی از فرکانس تعیین می‌شود. سپس تانسور امپدانس برای به دست آوردن امتداد ساختارهای منطقه طوری چرخانده می‌شود تا عناصر قطری آن صفر و یا کمینه شوند و در ادامه به کمک عناصر غیر قطری تانسور چرخش یافته Z' که به عنوان مؤلفه‌های اصلی تانسور امپدانس شناخته می‌شود و با استفاده از مؤلفه‌های حقیقی (Re) و مجازی (Im) آن‌ها می‌توان مقاومت ویژه ظاهری (ρ) و همچنین فاز (φ) امپدانس (اختلاف فاز بین مؤلفه میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی) هر یک از مدهای قطبش الکتریک عرضی (TE) و یا مغناطیس عرضی (TM) را به صورت زیر محاسبه نمود (Berdichevsky et al., 1998).

(رابطه ۱)

$$\begin{aligned} \rho'_{xy} &= 0.2T|Z'_{xy}|^2 \\ \varphi'_{xy} &= \tan^{-1}(ImZ'_{xy}/Re(Z'_{xy})) \\ \rho'_{yx} &= 0.2T|Z'_{yx}|^2 \\ \varphi'_{yx} &= \tan^{-1}(ImZ'_{yx}/Re(Z'_{yx})) \end{aligned}$$

اما برای بدست آوردن یک مدل مناسب از داده‌های مگنتوتلوریک، ابتدا باید اطلاعاتی از ابعاد ساختارهای زیرسطحی منطقه بدست آورد. در غیر این صورت مدل‌سازی داده‌ها می‌تواند در تخمین و یا محاسبه مقادیر مقاومت ویژه و یا عمق بی‌هنجاری‌های مورد نظر خطاهای بزرگی را ایجاد کند. همچنین ساختارهای منطقه از لحاظ ناهمگنی‌های سطحی باید مورد بررسی قرار گیرند. چون در صورت وجود این ناهمگنی‌ها در منطقه، داده‌های مگنتوتلوریک دچار اختلال و جابه‌جایی ایستا شده و بدون انجام تصحیح درست جابه‌جایی ایستا، نتایج مدل‌سازی داده‌ها در مورد ساختارهای زیرسطحی منطقه اعتبار چندانی نداشته و حتی در مواردی باعث گمراهی می‌شود (هاشمی، ۱۳۹۱). در مورد چگونگی این کار در مورد داده‌های مورد استفاده در ادامه بحث می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

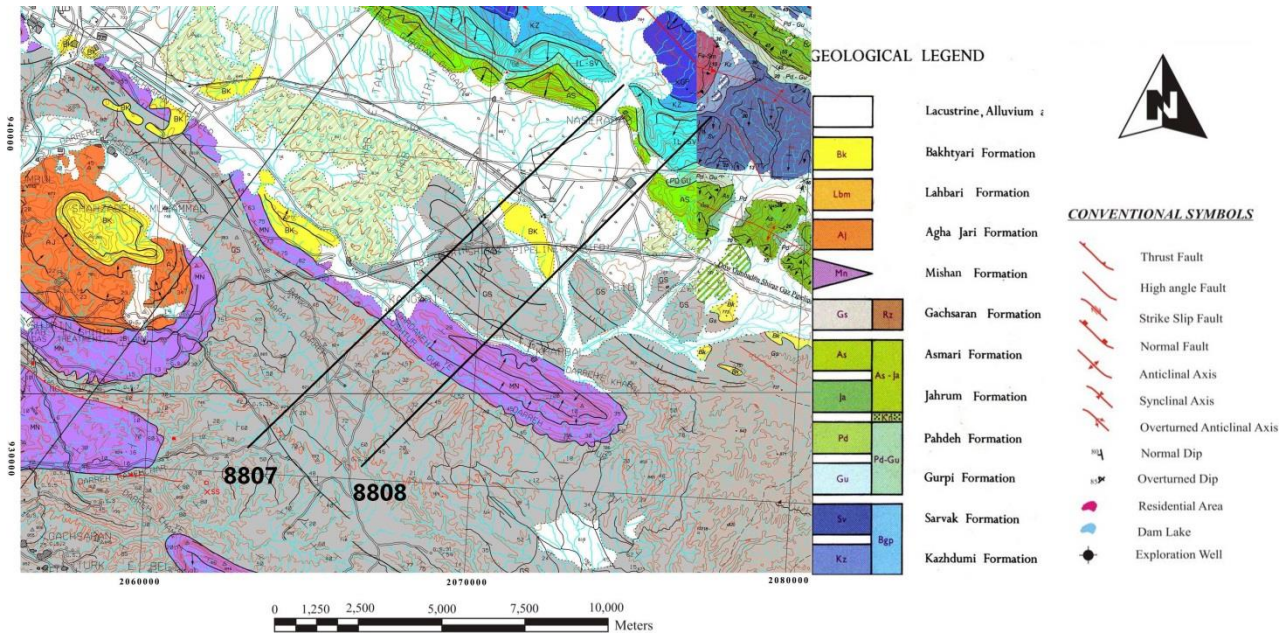
منطقه مورد مطالعه در ناحیه زاگرس چین‌خورده و در یکی از میادین نفتی جنوب غرب کشور واقع می‌باشد که داده‌های مگنتوتلوریک آن در سال ۱۳۹۰ توسط یک شرکت چینی برداشت شد. در این منطقه رخنمون وسیع سازند گچساران در سطح زمین، فشارهای تکنونیک، چین‌خوردگی‌های شدید و گسل‌های رو رانده مشکلاتی از قبیل عدم موفقیت در برداشت و تفسیر عملیات لرزه‌نگاری را به دنبال داشته است و در نهایت عملیات لرزه‌نگاری موفق به تشخیص ساختارهای زیرسطحی منطقه نشد. همچنین به دلیل عدم تشخیص دقیق ساختارهای تقادیس و ناودیس منطقه در سطح زمین و با توجه به نبود اطلاعات تحت‌الارضی کافی، نیاز به یک روش کارآمدتر کاملاً حس می‌شد که بتواند علاوه بر پیچیدگی بالای منطقه، ساختارهای تکنونیزه و چین‌خورده زیرسطحی آن را شناسایی کند. به همین جهت سونداژهای مگنتوتلوریک در روی خطوط مختلف منجمله خط برداشت ۸۸۰۷ به طول ۱۶ کیلومتر، با فواصل ۲۰۰ متر از هم برداشت شده‌اند که موقعیت این خط برداشت، نقشه زمین-

میدان الکترومغناطیس مورد استفاده در روش MT طیف وسیعی از فرکانس‌ها را در بر می‌گیرد، از فرکانس‌های بالا یا فرکانس‌های شنوایی مگنتوتلوریک برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی و ذخایر فلزات پایه استفاده می‌گردد و گستره فرکانسی مورد استفاده در اکتشافات نفتی ۰/۰۰۱ تا ۵۰۰ هرتز است (Orange, 1989). از مهم‌ترین کاربردهای روش مگنتوتلوریک به منظور اکتشاف ساختارهای هیدروکربوری، اکتشاف ساختارهای تقادیس و گنبد‌های نمکی می‌باشد که احتمال وجود نفت در این ساختارها نسبت به ساختارهای دیگر بالاتر است. این روش همچنین قادر است در مواردی وجود مستقیم هیدروکربور را نیز نشان دهد (Unsworth, 2005). همچنین در مناطقی که روش لرزه‌نگاری بازتابی به دلیل وجود توپوگرافی شدید هزینه بالایی دارد و یا به دلیل حضور برخی از روبراه‌های سطحی از کیفیت داده‌های لرزه‌نگاری کاسته می‌شود و روش لرزه‌نگاری در تشخیص ساختارهای زیرسطحی عاجز می‌ماند، در چنین مواقعی روش مگنتوتلوریک را می‌توان به عنوان یک روش مؤثر و با عمق نفوذ زیاد (بیش از ۱۰ کیلومتر) به کار برد (Moradzadeh, 2005; Moradzadeh and Chamalaun, 1998). این روش از سال ۱۹۶۰ در بخش‌های شوروی سابق برای به نقشه در آوردن ساختارهای ناحیه‌ای و ارزیابی حوضه نفتی قبل از استفاده از روش لرزه‌نگاری مورد استفاده قرار گرفت و تا به امروز نیز به عنوان یک روش بسیار کارآمد مورد استفاده قرار گرفته است (Xiao and Worth, 2006; Berdichevsky and Dimitriva, 2002). از اواخر دهه ۱۹۸۰، استفاده از روش مگنتوتلوریک جهت اکتشافات نفتی در کشورهای غربی رواج یافت. زون‌های رو راندگی به دلیل تباین بالای سرعتی در صفحه راندگی، برای روش لرزه‌های مشکلاتی را به وجود می‌آورد و به همین علت، روش MT مورد توجه قرار می‌گیرد. از آنجایی که در بسیاری از مناطق فراراندگی لایه‌های قدیمی با سرعت بالا بر روی سطح زمین و روی لایه‌های کم‌سرعت جوان‌تر رانده می‌شوند، داده‌های لرزه‌های بازتابی از کیفیت پایینی برخوردار می‌باشند. واتس و پینس در سال ۱۹۹۸ نمونه دیگر از اکتشافات نفت با استفاده از روش مگنتوتلوریک را در جنوب ترکیه ارائه نمودند. در این منطقه یک لایه نسبتاً نرم شامل رسوبات عمیق دریایی با مقاومت ویژه پایین که با توده‌های افیولیتی در آمیخته شده‌اند، بر روی کربنات‌های سخت با مقاومت ویژه بالاتر رانده شده‌اند. درحالی که داده‌های لرزه‌ای، سطح انعکاسی ناپیوسته‌ای را از مرز بالایی گروه کربنات‌ها نشان می‌دهد، تفسیر داده‌های MT تصویر به مراتب واضح‌تری را ارائه می‌دهد (Watts and Pince, 1998).

از جمله مثال‌های دیگری که برای روش MT در این زمینه می‌توان ذکر کرد عملیات اکتشاف نفت در منطقه رو رانده در شمال یونان می‌باشد که در آنجا نیز کیفیت داده‌های لرزه‌ای نامطلوب است (Watts et al., 2002). بررسی منابع نشان می‌دهند که روش MT در تعیین عمق اهداف اکتشافی عمیق خطایی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد را نسبت به عمق واقعی که به وسیله حفاری‌ها حاصل شده‌اند را دارند (Hasbrouck and Morgan, 2003). در عمل برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی از یک سری پیچ‌های القایی بسیار حساس و یک جفت الکتروود در جهات X و Y استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی قائم نیز یک پیچ در جهت Z استفاده می‌شود. مجموعه این الکتروودها و پیچ‌ها به یک سری تقویت‌کننده و فیلتر و در نهایت به یک

های متوسط تا بسیار ضخیم سنگ آهک خاکستری تا خاکستری روشن، همراه با لایه‌های سنگ آهک آرژیلیتی و رس‌دار است و دارای ضخامت حدود ۳۰۰ متر می‌باشد. در روی این سازند بخش‌های هفت‌گانه سازند گچساران با ضخامت زیاد قرار دارند که سنگ نمک، انیدریت، مارن‌های رنگارنگ، سنگ آهک و مقداری شیل بیتومین‌دار، بدون نظم چین‌های واحدهای اصلی این سازند را تشکیل می‌دهند. همچنین بخش یک این سازند، نقش سنگ پوش را برای سنگ مخزن آسماری ایفا می‌کند (مدیریت اکتشاف نفت، ۱۳۹۲).

شناسی اکتباس شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ گچساران و سازندهای منطقه در (شکل ۱) قابل مشاهده می‌باشد (مدیریت اکتشاف نفت، ۱۳۹۲). از سازندهای دارای رخنمون در منطقه به سازند کنگلومرایی بختیاری، سازند مارنی آجاجاری و میشان و سازند گچساران می‌توان اشاره کرد که تنها سازند گچساران به طور وسیعی تمام منطقه را پوشانده است (شکل ۱). همچنین سازندهای مخزنی آسماری و سروک و سازندهای پابده و گورپی در بخش شمال شرقی منطقه دارای رخنمون می‌باشند (شکل ۱). سازند هدف در این منطقه، سازند مخزنی آسماری می‌باشد که شامل لایه-



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه با نمایش محل برداشت ۸۸۰۷ (مدیریت اکتشاف نفت، ۱۳۹۲).

مبانی مدل‌سازی وارون مرزهای تیز

اصولاً مدل‌های پیچیده دوبعدی دلخواه را می‌توان با مشخص کردن میزان مقاومت ویژه واحدهای گوناگون زمین‌شناسی و نیز مکان لایه‌های مرزی آن‌ها در مجموعه‌ای از نقاط در طول مرزها تعریف کرد. در این روش مدل‌های لایه‌ای با تغییرات جانبی ضخامت که مرز هر یک از لایه‌ها با تعداد n_n نود (نقطه) و درونیابی مابین آن‌ها تعریف می‌شود، از اهمیت خاصی برخوردارند. از این‌رو برای یک مدل با تعداد n_b لایه که روی نیم فضای همگن قرار می‌گیرد، عمق مرز هر یک از لایه‌ها در n_n نود (نقطه) مشخص می‌شود و برای مجموعه عمق‌ها برای n_b فصل مشترک، یک بردار طویل $n_b \cdot n_n$ از پارامترهای مدل m به وجود می‌آید (Smith et al., 1999).

در صورتی که مقاومت ویژه (با هدایت ویژه σ) لایه‌ها مجهول باشد، آن‌وقت تعداد $n_b + 1$ (برای n لایه مجهول و نیم‌فضای همگن) مقدار ρ را می‌توان به بردار مدل m ضمیمه کرد. برای لایه‌هایی با تغییرات مقاومت ویژه جانبی، مقاومت ویژه هر لایه در n_n نقطه مشخص شده و به صورت افقی درونیابی می‌شود. سپس این پارامترهای اضافی به مدل m اضافه خواهد شد.

(رابطه ۲)

$$\left(z_{11}, z_{1n_n}, \dots, z_{n_b n_n}, \log(\rho_{11}), \dots, \log(\rho_{1n_n}), \dots, \log(\rho_{n_b n_n}) \right)^t$$

که z_{ij} عمق i امین نقطه (نود) در i امین فصل مشترک است و نماد t ترانهاده بردار را نشان می‌دهد و در آن ρ_{ij} مقاومت ویژه لایه i ام در نقطه j ام است.

هنگامی که پارامتری کردن مدل انجام شد، وارون‌سازی با کمینه کردن یک تابع هدف انجام می‌شود. برای مدل‌های لایه‌ای با ضخامت‌های متفاوت و مقاومت ویژه لایه‌ای مشخص، که مرز هر یک از لایه‌های آن به صورت تابع پیوسته $Z_{i(x)}$ از نقاط افقی بیان می‌شود، تابع زیر باید کمینه گردد. (رابطه ۳)

$$\int \left(\frac{d}{dx} z_1(x) \right)^2 dx + \dots + \int \left(\frac{d}{dx} z_{n_b}(x) \right)^2 dx + \beta |r|^2$$

برای مدل‌هایی که با تعداد محدودی پارامتر مشخص شده‌اند می‌توان مشتق‌ها را به وسیله روش تفاضل محدود و انتگرال‌ها را به وسیله جمع زدن تقریب زد و ماتریس ناهمواری R_m مدل را به صورت یک ماتریس $n_b \cdot (n_b - 1) \times n_b \cdot n_b$ مطابق (رابطه ۴) تعریف نمود (Smith et al., 1999).

افقی مقاومت (هدایت) ویژه $(d \log(\rho)/dx)$ را در لایه‌ها تقریب می‌زند. برای مدل‌هایی با تغییرات جانبی مقاومت ویژه و با کمینه شدن تابع هدف، مقادیر نسبی وزن‌های w_i و w_i' به کار رفته در تشکیل R_b و R_c به ترتیب بر اهمیت نسبی مربوط به همواری مرز و رسانندگی لایه‌ها تأثیر می‌گذارد (Smith et al., 1999).

از آنجایی که رابطه بین داده‌های MT و پارامترهای مدل، غیرخطی است؛ بنابراین برای کمینه کردن تابع هدف (رابطه ۷) از روش تکراری استفاده می‌شود. (رابطه ۷)

$$\psi = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \tau m^T R^T R m$$

برای انجام این کار می‌توان از روش‌های مدل‌سازی متفاوتی از قبیل روش اوکام و گرادیان مزدوج غیرخطی جهت کمینه کردن تابع هدف استفاده کرد.

داده‌های مصنوعی

برای آزمایش مدل‌سازی‌های دوبعدی هموار و مرزهای تیز، یک مدل مصنوعی مشابه با مدل طراحی شده توسط دگروت و کانستبل (deGroot and Constable, 2004) که در (شکل ۲) آورده شد استفاده شد. دلیل استفاده از این مدل مصنوعی به خاطر رو راندگی یک لایه با مقاومت ویژه کم (واحد ۲) روی یک لایه با مقاومت ویژه بالاتر (واحد ۳) و علاوه بر آن آزمون کارایی شیوه مدل‌سازی داده‌های MT است. در این مدل تعداد ۱۱ ایستگاه با فواصل ۵۰۰ متر از همدیگر روی یک پروفیل به طول ۵ کیلومتر و عمق ۳/۵ کیلومتر طراحی شده است. داده‌های مصنوعی ایجاد شده در محدوده فرکانسی ۰/۱ تا ۳۲۰ هرتز و در ۴ بازه فرکانسی و در هر بازه ۵ فرکانس، تولید شدند. همچنین به داده‌های ایستگاه‌های تولیدشده، مقدار ۵٪ نوفه تصادفی اضافه شد.

در این مدل مصنوعی لایه اولیه با ضخامت متغیر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و با مقاومت ویژه ۶۰۰ اهم‌متر می‌باشد. لایه دوم که می‌تواند بیانگر یک لایه رو رانده باشد، دارای ضخامت ۱۰۰۰ متری و مقاومت ۵۰ اهم‌متر است. لایه سوم نیز دارای مقاومت ویژه ۳۰۰ اهم‌متر می‌باشد (شکل ۲). با توجه به مقادیر تعریف‌شده مقاومت ویژه لایه‌های این مدل و اختلاف شدید مقاومت ویژه بین لایه‌های یک و سه با لایه رسانای دو و فرم قرارگیری آن‌ها نسبت به هم، می‌تواند مدل‌سازی‌های وارون را با مشکل مواجه کند.

در (رابطه ۴) Δx_{ij} فاصله افقی بین j امین و $j+1$ امین نود از فصل مشترک i ام می‌باشد. از این رو n_n-1 ردیف اول ماتریس R_m برای تقریب مشتق dz/dx در طول n_n-1 قسمت بین نقاط اولین فصل مشترک به کار می‌رود و n_n-1 ردیف بعدی مقدار مشتق dz/dx را در n_n-1 قسمت در طول دومین فصل مشترک تقریب می‌زند و همین طوری آخر.

(رابطه ۴)

$$\begin{bmatrix} -1/\Delta x_{11} & 1/\Delta x_{11} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1/\Delta x_{12} & 1/\Delta x_{12} & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & -1/\Delta x_{1n_n-1} & 1/\Delta x_{1n_n-1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & -1/\Delta x_{n_n n_n-1} & 1/\Delta x_{n_n n_n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

وزن‌دهی ردیف‌های ماتریس ناهمواری به وسیله $\Delta x_{ij}^{1/2}$ مربوط، منجر به وزن دادن مربعات اجزای ماتریس R_m به وسیله طول‌های بازه‌ای مرتبط Δx_{ij} می‌شود، طوری که $|R_m|^2 = m^T R^T R m$ مجموع انتگرال‌ها در (رابطه ۳) را تقریب می‌زند. در روش مدل‌سازی مرزهای تیز برای وزن‌دهی تقریب مشتق‌ها از ماتریس زیر که در آن وزن w_{ij} در هر یک از مرزها ثابت است (یعنی: $w_i \equiv w_{i1} \equiv w_{i2} \equiv \dots \equiv w_{in_n-1}$) استفاده می‌شود.

(رابطه ۵)

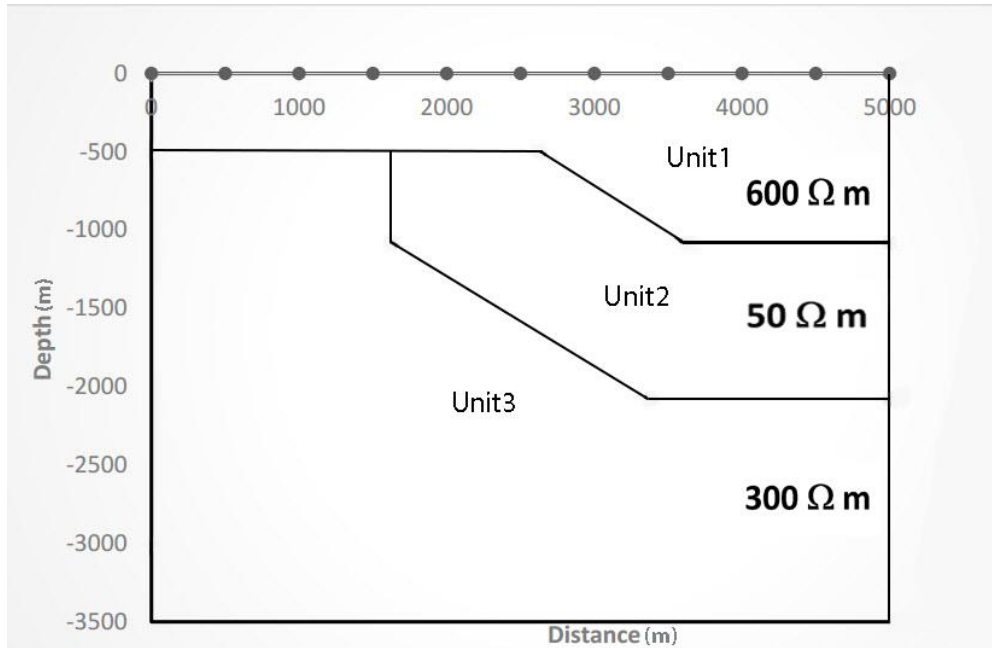
$$R_b = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -w_{11} & w_{11} & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -w_{12} & w_{12} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & -w_{1n_n-1} & w_{1n_n-1} & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & -w_{21} & w_{21} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & -w_{n_n n_n-1} & w_{n_n n_n-1} \end{bmatrix}$$

زمانی که مقادیر مقاومت (هدایت) ویژه لایه‌های متغیر جانبی به عنوان پارامترهای مجهول مدل در نظر گرفته می‌شوند. ماتریس ناهمواری مدل شامل $n_b n_b$ ستون و $n_b(n_b-1)$ سطر اضافی نیز خواهد بود، طوری که:

(رابطه ۶)

$$R = \begin{pmatrix} R_b & O \\ O & R_c \end{pmatrix}$$

که R_c در آن با یک مجموعه وزن‌دهی متفاوت ($w_i', i=1, \dots, n_b$) می‌تواند به فرم R_b باشد. زیر ماتریس R_c پارامترهای مقاومت ویژه لایه‌ای را در R_m ضرب می‌کند. $n_b(n_b-1)$ ردیف پایینی از ماتریس R_m مشتق



شکل ۲. مدل مصنوعی ایجاد شده مشابه با مدل دگروت و کانستبل (۲۰۰۴).

ادغام داده‌های هر دو مُد (TE+TM)، بهترین و نزدیک‌ترین جواب را به مدل مصنوعی ایجاد شده دارند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که برای ساختارهای پیچیده زمین‌شناسی و دارای تباين مقاومت ویژه بالای بین لایه‌ای، روش وارون‌سازی دوبعدی مرزهای تیز می‌تواند نقش مؤثرتری در تشخیص این‌گونه ساختارها داشته باشد.

داده‌های واقعی

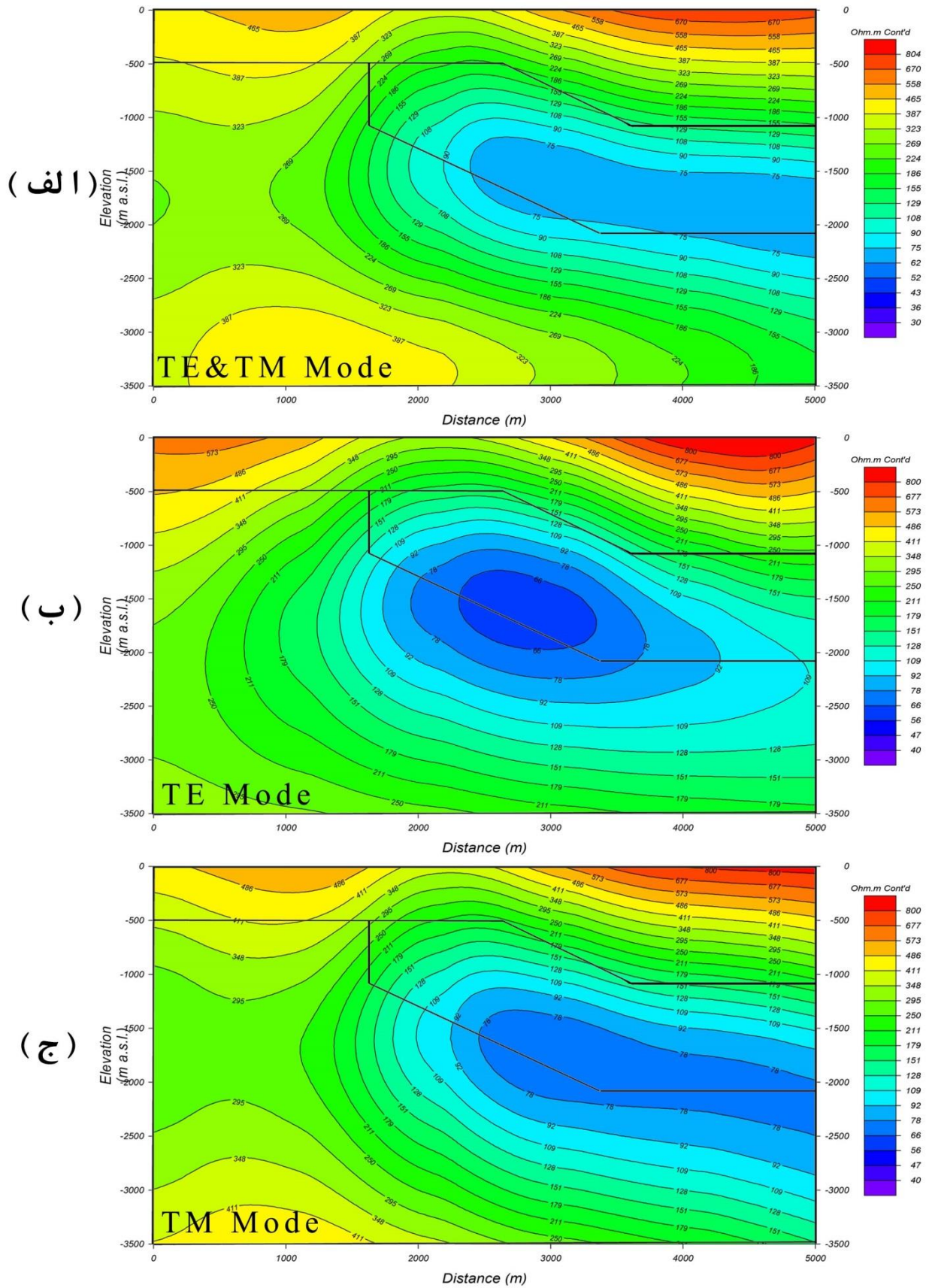
با توجه به مطالعات قبلی (البرزیان، ۱۳۹۴؛ البرزیان و همکاران، ۱۳۹۴) و با انجام روش‌های مختلف تحلیل ابعادی نشان داده شد که ساختارهای عمیق زیرسطحی منطقه گچساران عمدتاً دو و یا بعضاً سه‌بعدی می‌باشند که در بعضی نقاط ساختارهای دوبعدی عمیق از ناهمگنی سطحی سه‌بعدی متأثر شده است. به همین جهت و پس از اصلاحات بعضی از اثرات ناهمگنی‌های سطحی، می‌توان داده‌ها را به صورت دوبعدی مدل‌سازی نمود. برای انجام مدل‌سازی‌های دوبعدی هموار و مرزهای تیز داده‌های خط برداشت ۸۸۰۷ مگنتوتلوریک منطقه گچساران، از نرم‌افزار WinGLink که بر اساس الگوریتم گرادیان مزدوج غیرخطی استوار است، استفاده شد.

به دلیل سه‌بعدی بودن ساختارهای زیرسطحی منطقه در عمق زیاد (البرزیان و همکاران، ۱۳۹۴) و اینکه در این حالت، مدل‌سازی دوبعدی داده‌های مُد TM (مُد مغناطیس عرضی) جواب مناسبی از این‌گونه ساختارها از خود نشان می‌دهد و همچنین به خاطر تأثیرپذیری زیاد این مُد از مقادیر جابه‌جایی ایستا و اثر ناهمگنی‌های سطحی (Wannamaker et al., 1984)، ابتدا اثر جابه‌جایی ایستا و ناهمگنی سطحی روی داده‌های مقاومت ویژه این مُد به کمک داده‌های TEM تصحیح شد (شکل ۵). این داده‌ها بعد از انجام تصحیح جابه‌جایی ایستا توسط داده‌های سونداژ TEM برای مدل‌سازی وارون آماده شدند.

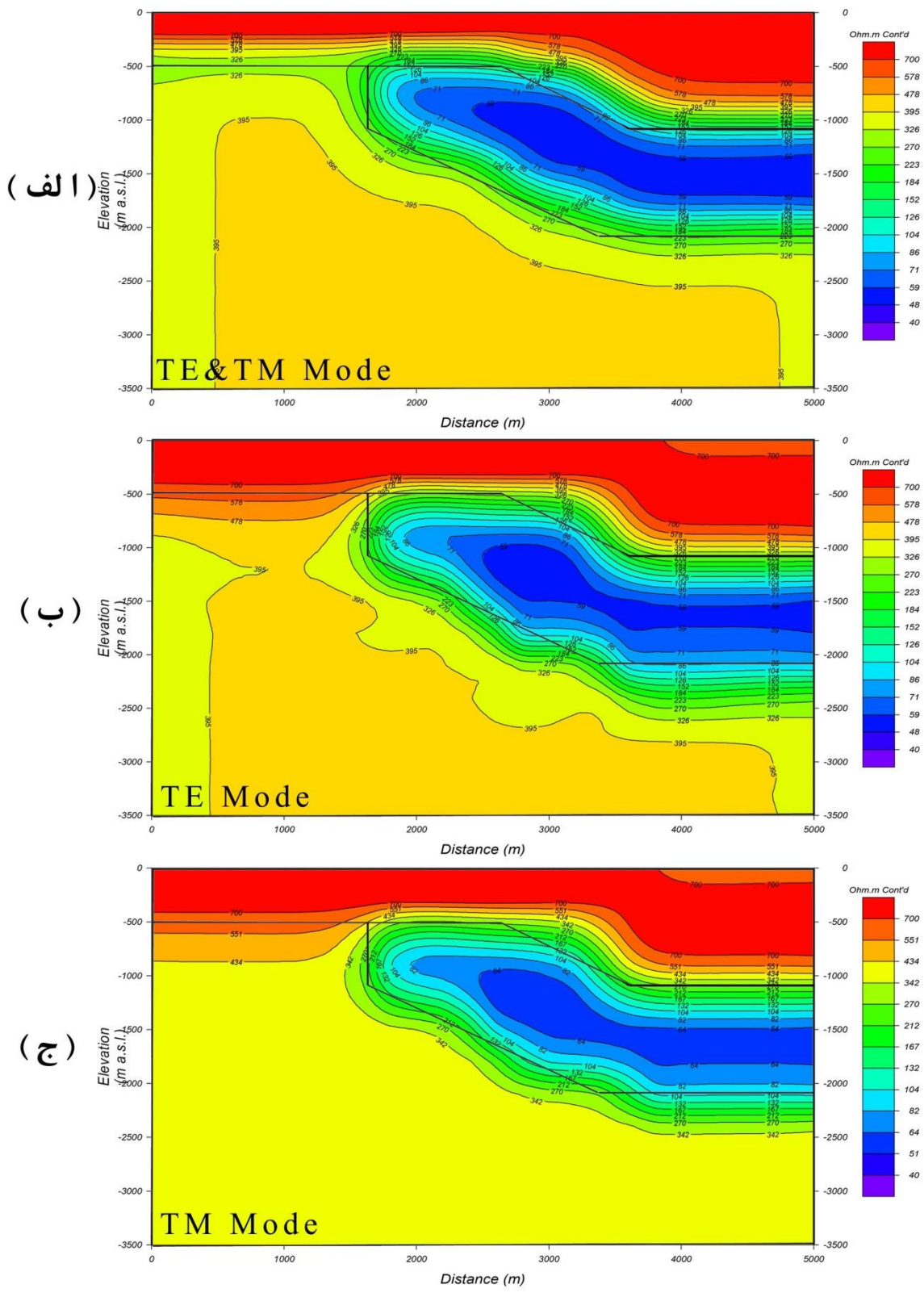
بعد از تهیه مدل مذکور و تولید داده‌های مصنوعی مقاومت ویژه و فاز هر دو مُد TE و TM ابتدا مدل‌سازی وارون هموار روی آن آزمایش شد. برای انجام این کار، ابتدا یک نیم فضا با مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم‌متر ایجاد شد و با مقدار پارامتر منظم سازی $\tau=3$ ، داده‌های پروفیل فوق در مدهای TE، TM و حالت ادغام هر دو مد به صورت وارون مدل‌سازی شدند که نتایج آن در (شکل ۳) مشاهده می‌شود. سپس مدل‌سازی وارون دوبعدی مرزهای تیز با نیم فضای ۱۰۰ اهم‌متر و مقدار $\tau=3$ ، به کمک قیود کمکی (انتخاب مقاومت ویژه نزدیک به مقاومت ویژه لایه‌ها و معلوم بودن عمق لایه‌ها به صورت تقریبی در چند نقطه) تهیه شد (شکل ۴).

با توجه به مدل‌های ایجاد شده در مدل‌سازی دوبعدی هموار (شکل ۳)، مشاهده می‌شود که به دلیل وجود یک لایه رسانا و نحوه قرارگیری آن در بین دو لایه با مقاومت ویژه بالا و تباين مقاومت ویژه بالا میان این لایه‌ها، مدل‌سازی هموار قادر به تشخیص دقیق مرز لایه‌ها و مقادیر مقاومت ویژه آن‌ها نشد. به دلیل اینکه تغییرات مقاومت ویژه بین لایه‌ها بسیار شدید بود و همچنین لایه رسانا به صورت یک لایه رو رانده و ناتمام در بین لایه‌های مقاوم یک و سه قرار گرفته است. به خاطر همین شرایط و به دلیل اینکه مدل هموار گرادیان مزدوج غیرخطی تمایل به هموارسازی لایه‌ها دارد و جهت ساختارهای همگن و ساده‌تر زمین‌شناسی تهیه شده است، در به تصویر کشیدن مدل مصنوعی ایجاد شده (شکل ۳) به صورت قابل قبولی عمل نکرد. تنها نتایج این مدل‌سازی برای ادغام داده‌های هر دو مُد (TE+TM) و داده‌های مُد TM کمی به مدل مصنوعی ایجاد شده نزدیک بود.

اما با توجه به نتایج وارون‌سازی دوبعدی مرزهای تیز (شکل ۴)، مشاهده می‌شود که در تمام مدهای ایجاد شده این شیوه مدل‌سازی توانسته است که مرز لایه‌ها و مقادیر مقاومت ویژه آن‌ها را به خوبی تشخیص دهد. از بین نتایج این مدل‌سازی، مدل مُد TM و مدل حاصل از



شکل ۳. مدل‌های دوبعدی حاصل از وارون‌سازی هموار با روش گرادیان مزدوج غیرخطی بر روی داده‌های مصنوعی در حالت مد TE&TM (الف) با $RMS=0.56$ ، مد TE (ب) با $RMS=0.64$ و مد TM (ج) با $RMS=0.62$ همراه با نمایش مرز لایه‌های مدل مصنوعی ایجاد شده.



شکل ۴. مدل‌های دوبعدی حاصل از وارون‌سازی مرزهای تیز بر روی داده‌های مصنوعی در حالت مد TE&TM (الف) با (RMS=1.31)، مد TE (ب) با (RMS=1.57) و مد TM (ج) با (RMS=1.23) همراه با نمایش مرز لایه‌های مدل مصنوعی ایجادشده.

آید. همچنین نقاط لایه اولیه ایجاد شده نیز (که نشان دهنده مرز بین هوا و سطح زمین می‌باشد)، در فایل پار پروفیل مورد نظر قفل شد. بعد از اتمام این کار قید کمکی دوم که همان مقادیر نود (مقادیر متوسط مقاومت ویژه) است، به کمک نگار مقاومت ویژه و مقادیر محاسبه شده مقاومت ویژه این سازندها در محل رخنمون سطحی آن‌ها به کمک داده‌های TEM (مدیریت اکتشاف نفت، ۱۳۹۲)، وارد ساختار فایل پار شد.

بعد از استخراج مقادیر مقاومت ویژه سازندها و وارد کردن این مقادیر در فایل پار، به دلیل عدم اطمینان کافی از صحت مقادیر آن، آن‌ها را در حین مدل‌سازی آزاد گذاشته شد تا بهترین برازش ممکن و نزدیک‌ترین نتیجه به مدل واقعی زمین بدست آید.

برای اجرای مدل‌سازی وارون دوبعدی مرزهای تیز پروفیل ۸۸۰۷، فایل پار آن به کمک پارامترهای مطرح شده فراخوانی شد و مدل‌سازی مورد نظر برای داده‌های مد TE، TM و حالت ادغام هر دو، با مقادیر مختلف پارامتر منظم‌سازی τ ($\tau=0.01$ تا $\tau=100$) تهیه شد. بعد از تهیه مدل دوبعدی مرزهای تیز با مقادیر مختلف τ ، بهترین نتایج مدل‌سازی وارون با کمترین مقدار برازش خطا، مثل مدل‌سازی دوبعدی هموار به ازای مقدار $\tau=0.1$ برای این پروفیل بدست آمد.

با توجه به نتیجه مدل‌سازی وارون دوبعدی مرزهای تیز پروفیل در مد TM (شکل ۶ ب) مشاهده می‌شود که مرز بالایی سازند آسماری به‌صورت بسیار ملموس قابل تشخیص است. همچنین وجود لندهای باقی‌مانده از فرسایش سازندهای آجاجاری و میشان در سطح نیز، به ترتیب با مقاومت ویژه ۲۰-۳۰ و ۶-۱۵ اهم‌متر کاملاً تشخیص داده می‌شوند و سازند گچساران هم در این پروفیل با مقاومت ویژه ۱۰-۴۰ اهم‌متر کاملاً از دیگر سازندها تفکیک شد. نکته جالب توجه در این مدل تشخیص تاقدیس سراب به همراه تاقدیس جعفرآباد است؛ در صورتی که نتیجه مدل‌سازی وارون دوبعدی هموار داده‌های همین پروفیل (شکل ۶ الف) تاقدیس جعفرآباد را تشخیص نداده بود و همچنین عرض تاقدیس سراب نیز در مدل‌سازی مرزهای تیز کوچک‌تر شده است.

گسل بزرگ بخش انتهایی پروفیل ۸۸۰۷ نیز، که در مدل‌سازی هموار آن (شکل ۶ الف) نمایان بود، در نتایج مدل‌سازی مرزهای تیز همین پروفیل نیز (شکل ۶ ب) به همراه لایه‌های روانه و بالآمده به‌صورت ملموس‌تر و دقیق‌تری تشخیص داده شد. همچنین در وارون‌سازی مرزهای تیز (شکل ۶ ب)، در سازند گچساران وجود گسل‌های کوچک رواندهای (بدون رخنمون سطحی) تشخیص داده شد که در مدل‌سازی هموار (شکل ۶ الف) تشخیص این گسل‌های کوچک غیرممکن بود.

با توجه به نتایج وارون‌سازی دوبعدی هموار و مرزهای تیز پروفیل ۸۸۰۷ (شکل ۶) مشاهده می‌شود که در مدل مرزهای تیز، مرز بالایی سازند آسماری با مقدار مقاومت ویژه ۵۰ اهم‌متر بسیار دقیق‌تر از مدل هموار آن بدست آمده است. نحوه توزیع مقاومت ویژه در مدل مرزهای تیز نیز در لایه‌های گچساران، آسماری، سروک و پابده نمایش بهتری از خود نشان داده است (شکل ۶ ب). همچنین در مدل هموار فقط تاقدیس سراب قابل مشاهده است که دارای طول بسیار زیادی نیز می‌باشد و خبری از تاقدیس جعفرآباد در این مدل نیست (شکل ۶ الف). در حالی که در مدل مرزهای تیز این پروفیل، تاقدیس سراب و جعفرآباد به‌خوبی تشخیص داده شده‌اند و همچنین عرض تاقدیس جعفرآباد کوچک‌تر شده است (شکل ۶ ب). این یافته‌ها با توجه به اطلاعات حفاری هم تأیید می‌گردد (جدول ۱). دلیل

توجه به اینکه مد TE در به تصویر کشیدن ساختارهای عمیق و مقاوم کارایی بهتری دارد و مد TM ساختارهای سطحی را بهتر نمایش می‌دهد، برای داشتن یک مدل دقیق‌تر ادغام دو مد TE و TM پیشنهاد می‌گردد. اما با توجه به نتایج آنالیز ابعادی که ساختارهای منطقه را دو تا بعضاً سه‌بعدی متأثر از ناهمگنی‌های سه‌بعدی تشخیص داد، پیشنهاد می‌گردد که از مد TM در مدل‌سازی داده‌ها استفاده شود (البرزیان و همکاران، ۱۳۹۴). زیرا با توجه به مطالعات (بردیچوسکی و همکاران، ۱۹۹۸) و (وانامیکر و همکاران، ۱۹۸۴)، پاسخ مد TM نسبت به اثرات ساختارهای مقاوم سه‌بعدی پایدارتر است و این مد توانایی بیشتری در به تصویر کشیدن ساختارهای سه‌بعدی دارد.

علاوه بر آن، داده‌های این پروفیل برای مد TE و ادغام مدهای TE و TM نیز مدل‌سازی شد. اما همان‌طور که توضیح داده شد و انتظار می‌رفت، نتایج این دو مد (مخصوصاً مد TE) با داشتن مقدار خطای RMS بالا و عدم برازش مناسب، تشخیص قابل قبولی از ساختارها و سازندهای زیرسطحی منطقه نداشتند. بنابراین داده‌های مد TM به دلیل تشخیص دقیق‌تر ساختارهای سطحی، همخوانی بهتر با اطلاعات حفاری و نمایش بهتر ساختارهای عمیق (عمق بیشتر از ۳ کیلومتر) جهت ارائه نتایج مدل‌سازی هموار و مرزهای تیز انتخاب شد.

برای اجرای مدل‌سازی وارون مرزهای تیز نیاز به اطلاعات کمکی از قبیل مقادیر متوسط مقاومت ویژه لایه‌های موجود و موقعیت حدودی لایه‌ها می‌باشد؛ که به صورت فایل پارامترهای هندسی (فایل پار) باید تهیه گردد و به مدل داده شود. این اطلاعات را می‌توان از طریق داده‌های لرزه‌نگاری و اطلاعات چاه‌های منطقه بدست آورد. در این منطقه قبل از برداشت داده‌های MT، عملیات برداشت لرزه‌نگاری دوبعدی صورت گرفته بود که متأسفانه به خاطر وجود سازند گچساران در سطح و ضخامت بالای این سازند، هیچ‌گونه نتیجه قابل قبولی از مرز سازندها و لایه‌های زیرسطحی بدست نیامده بود.

در نهایت برای انجام مدل‌سازی دوبعدی مرزهای تیز پروفیل ۸۸۰۷، فایل داده‌های تصحیح شده برای جابجایی ایستا، فراخوانی شد و پارامترهای هندسی توضیح داده شده نیز در مدل‌سازی لحاظ شد. با توجه به اینکه هیچ اطلاعاتی از پروفیل‌های لرزه‌نگاری منطقه استخراج نشد، تنها به کمک نتایج مدل‌سازی هموار و گزارش نهایی چاه‌های موجود روی این پروفیل که تا عمق ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از سطح زمین حفاری شده بودند، مرز بالایی سازندهای موجود (شامل سازندهای آجاجاری، میشان، گچساران، آسماری، پابده و سروک) در مسیر حفاری چاه‌ها مشخص شد.

با توجه به اطلاعات فوق، نقاط مرزی سازندهای موجود در محل حفر چاه به فایل پار پروفیل اضافه شد و به دلیل اطمینان از نقاط بدست آمده از مرز سازندها، این نقاط در فایل ایجاد شده قفل شدند. اما با این اطلاعات تنها مرز سازندها در مسیر حفاری چاه‌های موجود مشخص بود و هیچ‌گونه اطلاعات دیگری از مرز سازندها در نقاط دیگر پروفیل، در دسترس نبود. به همین دلیل از نتیجه مدل‌سازی دوبعدی هموار پروفیل (شکل ۵ الف) مرز تقریبی سازندهای موجود استخراج شد و به کمک نقاط استخراج شده از اطلاعات حفاری بخش لایه‌بندی فایل پار پروفیل مورد نظر تهیه شد. به دلیل عدم اطمینان از موقعیت دقیق مرز سازندهای فوق (به‌جز نقاط استخراج شده از اطلاعات حفاری)، نقاط لایه‌بندی وارد شده در فایل پار آزاد گذاشته شد تا با تغییر بیشتر موقعیت لایه‌ها در حین مدل‌سازی، نزدیک‌ترین مدل به مدل واقعی زمین و موقعیت دقیق مرز سازندها بدست

زمین‌شناسی CC' (شکل ۶ ج) دیده می‌شود. با توجه به مقادیر مقاومت ویژه پایین این سازندها، انتظار می‌رود که در نتایج مدل‌سازی‌های به دست آمده، بعد از سازندهای (با مقاومت ویژه بالا) آسماری و سروک، مقاومت ویژه به دلیل وجود سازندهای کم مقاومت‌تر کاهش یابد. این کاهش مقاومت را تنها به صورت بسیار مختصر می‌توان در نتیجه مدل‌سازی هموار پروفیل مورد نظر در مد TM (شکل ۶ الف) دید که باز هم می‌توان این امر را به دلیل کارایی مد TM در تشخیص ساختارهای منطقه دانست. اما در مدل‌سازی مرزهای تیز داده‌های این پروفیل (شکل ۶ ب)، این کاهش مقاومت ویژه بعد از سازندهای مقاوم‌تر آسماری و سروک مشاهده می‌شود. این امر را نیز می‌توان دلیلی بر کارایی بهتر مدل‌سازی مرزهای تیز، نسبت به مدل‌سازی هموار در منطقه دانست.

با توجه به اطلاعات موجود از حفاری چاه‌ها در روی پروفیل ۸۸۰۷، نتایج مدل‌سازی هموار و مرزهای تیز را می‌توان مورد بررسی و اعتبار سنجی قرار داد. در همین راستا با توجه به چاه‌های ۱۰۳، ۱۱۹، ۱۶۸، ۵۲ و ۲۵۵ گچساران در روی پروفیل ۸۸۰۷ اطلاعات حفاری مربوط به این چاه‌ها و عمق سر سازندهای منطقه در (جدول ۱) آورده شد (مناطق نفت-خیز جنوب، ۱۳۸۰-۱۳۶۰). با توجه به این اطلاعات مشاهده می‌شود که در چاه‌های شماره ۱۱۹ و ۱۶۸ لایه‌های هفت‌گانه سازند گچساران بعضاً تکرار شده‌اند که این تکرار شدگی تنها به دلیل وجود گسل رو رانده اتفاق خواهد افتاد. وجود این گسل رو رانده در زیر دو چاه فوق و در سازند گچساران، تنها در نتایج مدل‌سازی مرزهای تیز پروفیل ۸۸۰۷ (شکل ۶ ب) قابل مشاهده است. تأیید وجود این گسل در مدل‌سازی مرزهای تیز می‌تواند دلیلی بر تأیید سایر گسل‌های رو رانده موجود در طول پروفیل و در سازند گچساران باشد.

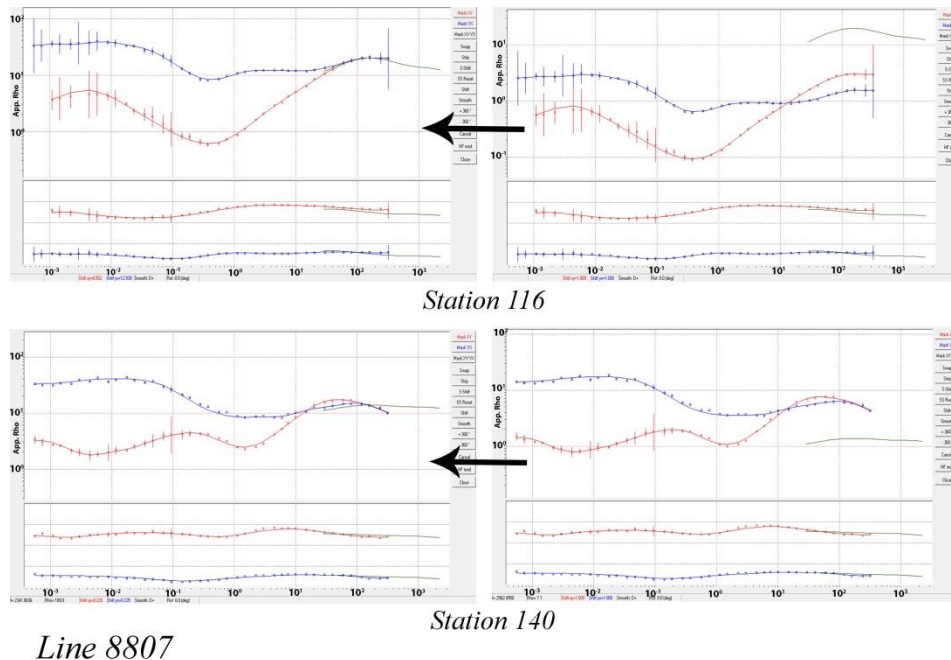
ناتوانی وارون‌سازی هموار در عدم تشخیص تاقدیس جعفرآباد و بزرگ‌تر نشان دادن تاقدیس سراب را می‌توان به خاطر گسل بزرگ رو رانده بخش انتهایی پروفیل دانست. وجود این گسل می‌تواند دلیلی برای به هم خوردن بخش انتهایی نتیجه مدل هموار این پروفیل و تاقدیس‌های سراب و جعفرآباد باشد.

از دیگر نقاط ضعف مدل هموار می‌توان به عدم تشخیص گسل‌های احتمالی رو رانده کوچک موجود در سازند ضخیم گچساران اشاره داشت. در مدل هموار پروفیل ۸۸۰۷، این گسل‌ها (که هیچ‌گونه رخنمونی در سطح هم ندارند) تشخیص داده نشده‌اند (شکل ۶-الف)؛ در حالی که در مدل‌سازی مرزهای تیز همین پروفیل، این گسل‌ها به خوبی در درون سازند گچساران نمود پیدا کرده‌اند (شکل ۶ ب).

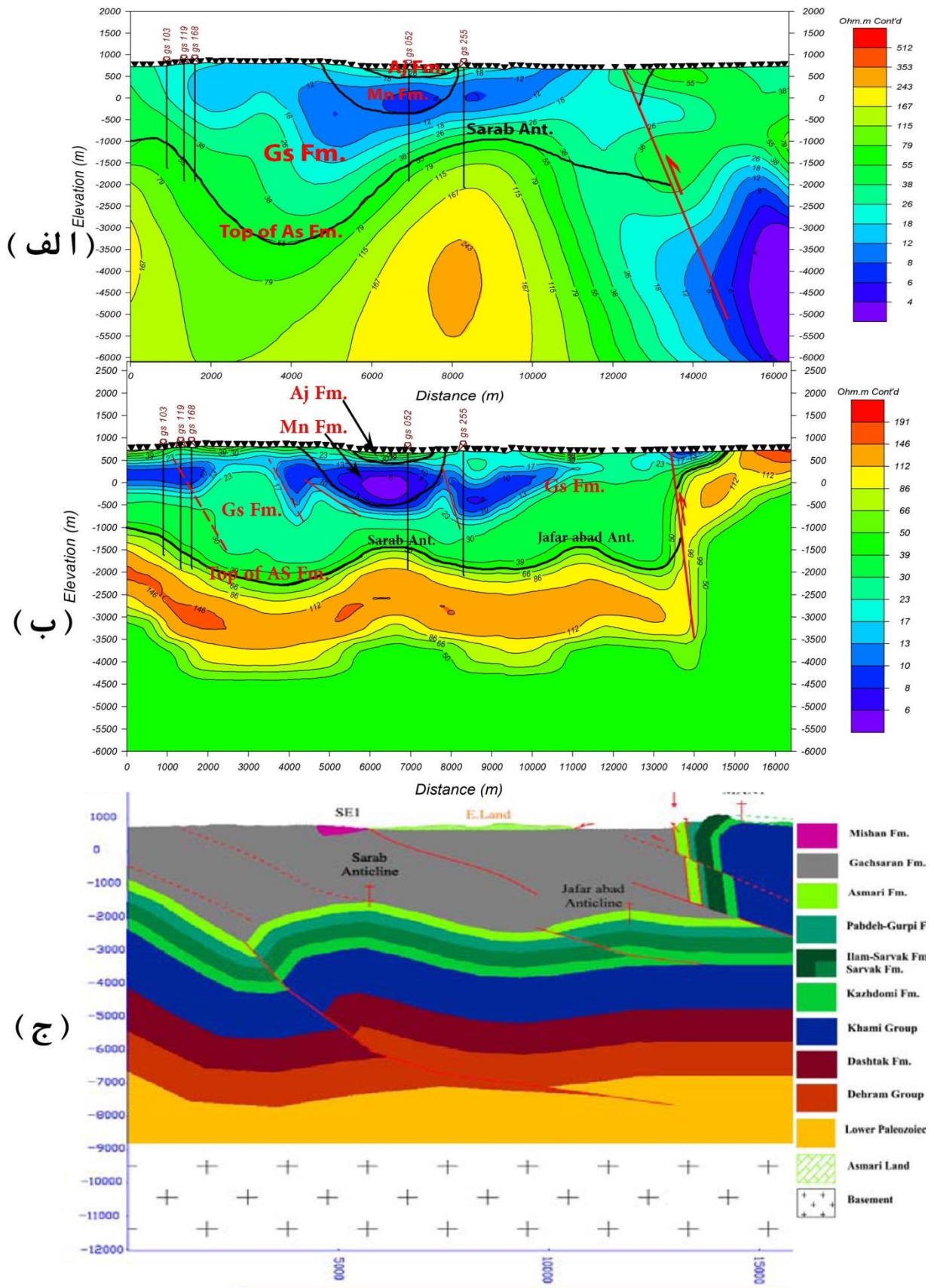
با توجه به مقطع زمین‌شناسی CC' منطبق بر پروفیل ۸۸۰۷ (شکل ۶ ج)، وجود گسل‌های رو رانده‌ای در سازند گچساران حدس زده شده است (نریمانی، ۱۳۸۸)؛ که این گسل‌ها در نتیجه مدل‌سازی مرزهای تیز این پروفیل (شکل ۵ ب) کاملاً مشهود است و با توجه به این امر می‌توان آن را دلیل دیگری برای کارایی بهتر مدل‌سازی مرزهای تیز و داده‌های مد TM در این منطقه دانست.

همچنین وجود دو تاقدیس سراب و جعفرآباد در کنار یکدیگر در مقطع زمین‌شناسی CC' (شکل ۶ ج) به چشم می‌خورد، در حالی که این تاقدیس‌ها فقط در نتیجه مدل‌سازی مرزهای تیز پروفیل ۸۸۰۷ (شکل ۶ ب) دیده می‌شود و در مدل‌سازی هموار (شکل ۶ الف) این تاقدیس‌ها تشخیص داده نشده است.

وجود سازند کزدمی با ساختار شیلی، سازندهای گروه خامی با ساختار آهکی و دولومیتی و سازند دشتک با ساختار تبخیری و شیلی در زیر سازندهای آسماری، پابده و سروک و در اعماق زیاد در مقطع



شکل ۵. نمودارهای مقاومت ویژه و فاز داده‌های مگنتوتلوریک پروفیل ۸۸۰۷ (سبز: نمودار TEM، قرمز: مد TE و آبی: مد TM) قبل تصحیح جابجایی ایستا (حالت A) و بعد از انجام تصحیح (حالت B).



شکل ۶. مقایسه نتایج مدل سازی هموار (الف) و مرزهای تیز (ب) داده های پروفیل ۸۸۰۷ با مقطع زمین شناسی (ج) این پروفیل.

بالایی سازند آسماری در نتیجه این مدل سازی و در زیر چاه ۲۵۵ اختلاف بسیار زیادی با عمق بدست آمده از اطلاعات حفاری داشته باشد. اما با توجه به مدل سازی مرزهای تیز پروفیل ۸۸۰۷ (شکل ۶ ب) مشاهده می شود که عمق مرز بالایی سازند آسماری بدست آمده از این مدل سازی در مسیر چاه های حفار شده، با اطلاعات حفاری چاه ها مطابقت دارد.

همچنین با توجه به عمق مرز بالایی سازند آسماری در چاه های پروفیل ۸۸۰۷ (جدول ۱) و نتیجه مدل سازی هموار این پروفیل (شکل ۶ الف)، می توان گفت که مرز بالایی سازند آسماری در مدل هموار در مسیر چاه های حفار شده ۱۰۳، ۱۱۹، ۱۶۸ و ۵۲ گچساران اختلاف حدود ۱۰۰ متری دارد. اما با توجه به وجود گسل بزرگ رو رانده بخش انتهایی پروفیل و تأثیر آن روی مدل هموار و تاقدیس سراب، باعث شده است که مرز

جدول ۱. اطلاعات حفاری و تقسیم بندی سازندهای زمین شناسی چاه های قرار گرفته بر روی پروفیل ۸۸۰۷ (مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۸۰-۱۳۶۰).

Well 103		Well 119		Well 168		Well 052		Well 255	
سازند	عمق سرسازند (متر از سطح دریا)	سازند	عمق سرسازند (متر از سطح دریا)	سازند	عمق سرسازند (متر از سطح دریا)	سازند	عمق سرسازند (متر از سطح دریا)	سازند	عمق سرسازند (متر از سطح دریا)
Gs. Mbr. "6"	۷۳۰	Gs. Mbr. "7 or 6"	۷۷۰	Gs. Mbr. "5"	۷۷۰	Aj	۷۰۰	Gs. Mbr. "7"	۶۷۷
Gs. Mbr. "5"	۵۰۰	Gs. Mbr. "5 Rep"	۲۴۰	Gs. Mbr. "4"	-۲۵۰	Mn	۵۲۰	Gs. Mbr. "6"	۴۳۶
Gs. Mbr. "4-2"	-۲۳۴	Gs. Mbr. "6"	-۲۳۰	Gs. Mbr. "5 Rep"	-۶۰۳	Gs. Mbr. "7"	-۵۰۰	Gs. Mbr. "5"	۱۳۸
Cap Rock	-۱۱۸۴	Gs. Mbr. "5 Rep"	-۴۳۰	Gs. Mbr. "4 Rep"	-۱۱۱۸	Gs. Mbr. "6"	-۶۵۰	Gs. Mbr. "4"	-۵۱۱
Asmari	-۱۲۱۵	Gs. Mbr. "4-2"	-۹۰۰	Gs. Mbr. "3-2"	-۱۴۴۶	Gs. Mbr. "5"	-۸۷۰	Gs. Mbr. "3"	-۱۴۹۷
Pabdeh	-۱۶۳۰	Cap Rock	-۱۵۷۰	Cap Rock	-۱۵۵۲	Gs. Mbr. "4"	-۱۲۸۰	Gs. Mbr. "2"	-۱۷۱۰
Gurpi	-۱۷۲۵	Asmari	-۱۶۰۰	Asmari	-۱۵۸۴	Cap Rock	-۱۴۴۷	Cap Rock	-۱۸۰۵
Total Depth	-۱۷۵۰	Total Depth	-۱۹۲۰	Total Depth	-۱۸۵۰	Asmari	-۱۴۸۴	Asmari	-۱۸۵۵
						Total Depth	-۱۸۳۰	Total Depth	-۲۱۲۵

نتایج مدل سازی وارون دوبعدی مرزهای تیز موقعیت دقیق گسل انتهایی پروفیل ۸۸۰۷، گسل های رو رانده داخل سازند گچساران و همچنین موقعیت تاقدیس های سراب و گچساران را به ترتیب در فاصله ۸-۵ کیلومتری و ۱۳-۱۰ کیلومتری از مبدأ این پروفیل به نمایش گذاشت. این مدل سازی همچنین توانست سازندهای سطحی آجاجاری، میشان و گچساران را به خوبی از یکدیگر تفکیک کند و مرز فوقانی سازند آسماری را نیز با مقاومت حدودی ۵۰ اهم متر به خوبی تشخیص دهد.

نتایج حاصل از مدل سازی های هموار و مرزهای تیز و مقایسه آن ها با اطلاعات زمین شناسی و حفاری نشان می دهد که در این گونه مناطق پیچیده دو تا سه بعدی، مدل سازی مرزهای تیز نتایج قابل قبول تر و نزدیک تری به مدل واقعی زمین نسبت به مدل هموار از خود نشان می دهد.

با توجه به شناسایی محل دقیق تاقدیس های سراب و جعفرآباد در پروفیل ۸۸۰۷، محل این تاقدیس ها جهت انجام عملیات حفاری و حفر چاه پیشنهاد می گردد.

نتیجه گیری

مدل سازی وارون دوبعدی داده های حاصل از یک مدل مصنوعی برای مدهای TE، TM، TE+TM به کمک روش های گرادیان مزدوج غیرخطی (NLCG) و مرزهای تیز (SBI)، در مطالعه حاضر نشان می دهد که مدل سازی هموار با روش NLCG نمی تواند اختلاف مقاومتی شدید بین لایه های مدل مصنوعی را به صورت مناسبی به تصویر بکشد. در حالی که نتایج مدل سازی مرزهای تیز این تباین مقاومتی شدید را با نمایش موقعیت لایه ها، به خوبی نشان داد.

نتایج مدل سازی هموار داده های مدل TM پروفیل ۸۸۰۷، وجود یک گسل عمقی را در بخش انتهایی پروفیل به صورت واضحی نشان می دهد. همچنین وجود ساختار چین خورده، ساختارهای تاقدیس و ناودیس، سازندهای منطقه و مرز بالایی سازند آسماری نیز در تمام پروفیل تشخیص داده شد؛ که تا حدود زیادی با اطلاعات حفاری و زمین شناسی، به جز در مناطق دارای گسل خوردگی شدید در تطابق است.

منابع

- البرزیان.ش.، ۱۳۹۴، پایان نامه کارشناسی ارشد: مدل سازی معکوس مرزهای تیز (شارپ باندری) داده های مگنتوتلوریک جهت اکتشاف ساختارهای هیدروکربوری منطقه سراب (گچساران)، دانشکده معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- البرزیان.ش.، مرادزاده.ع.، نجاتی.ع.، ایوبی.م.، قائدرحمتی.ر.، ۱۳۹۴، ارزیابی تعیین بعد ساختارهای هیدروکربوری زیرسطحی با استفاده از پارامترهای مگنتوتلوریک، اکتشاف و تولید.
- مدیریت اکتشاف نفت، ۱۳۹۲، طرح جامع بررسی اکتشافی ناحیه زاگرس، تهران.
- مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۸۰-۱۳۶۰، گزارش های نهایی چاه های منطقه گچساران، تهران.
- نریمانی.ح.، ۱۳۸۸، پایان نامه کارشناسی ارشد: تحلیل هندسی جنبشی چین های ناحیه دوگنبدان، زاگرس چین خورده-رانده، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- هاشمی.ن.، ۱۳۹۱، پایان نامه کارشناسی ارشد: وارون سازی داده های مگنتوتلوریک جهت اکتشاف ساختارهای هیدروکربوری کپه داغ غربی، دانشکده معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- Berdichevsky.M.N., and Dmitriev.V.I., 2002, Magnetotellurics in the context of the theory of ill-posed problems, Society of Exploration Geophysicists.
- Berdichevsky.M.N., Dmitriev.V.I., and Pozdnjakova.E.E., 1998, On two dimensional interpretation of magnetotelluric soundings, *Geophysical Journal International*, 133, 585-606.
- deGroot-Hedlin.C., Constable.S.C., 2004, Inversion of magnetotelluric data for 2D structure with sharp resistivity contrasts, *Geophysics*, 69, 78-86.
- Dobrin.M.D., Savit.C.H., 1988, Introduction to geophysical prospecting, (4th ed.), McGraw-Hill, New York, 868.
- Hasbrouck.J., Morgan.T., 2003, Deep groundwater exploration using geophysics, *Southwest Hydrology, Geomatrix*.
- Moradzadeh.A., 1998, Electrical imaging of the Adelaide geosyncline using magnetotellurics (MT), PhD thesis, Flinders university of South Australia.
- Moradzadeh.A., Chamalaun.F.H., 2005, Inverse modeling of TE and TM modes data in magnetotelluric survey using Rapid Relaxation Inversion (RRI) method, *Journal of science and technology*, Shahrood university of technology, 6, 59-65.
- Orange.A.S., 1989, Magnetotelluric exploration for hydrocarbons, *Proc. IEEE*, 77, February.
- Smith.T., Hoversten.M., Gasperikova.E., and Morrison.F., 1999, Sharp boundary inversion of 2D magnetotelluric data, *Geophysical Prospecting*, 47, 469-486.
- Unsworth.M., 2005, New developments in conventional hydrocarbon exploration with electromagnetic methods, *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder*, 34-38.
- Vozoff K., 1991, The magnetotelluric method, in: *Electromagnetic methods in Applied Geophysics*, Nabighian, M.N. (Ed.), Society of Exploration Geophysicists, pp. 641-707.
- Wannamaker.P.E., Hohmann.G.W., and Ward.S.H., 1984, Magnetotelluric responses of three-dimensional bodies in layered earths, *Geophysics*, 49, 1517-1533.
- Watts.M.D., Alexandros.S., Eleni.K., and Mackie.R., 2002, Magnetotellurics Applied to Sub-Thrust Petroleum Exploration in Northern Greece, In *64th EAGE Conference & Exhibition*.
- Watts.M.D., Pince.A., 1998, Petroleum exploration in overthrust areas using magnetotelluric and seismic data. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, pp. 429-431, Society of Exploration Geophysicists.
- Xiao.W., Unsworth.M., 2006, Structural imaging in the Rocky Mountain Foothills (Alberta) using magnetotelluric exploration, *AAPG bulletin*, 90(3), 321-333