

بهبود کیفیت داده‌های میدان نفتی سه‌قنات با استفاده از یک روش آماری پایدار با نقطه شکست بالا برای پردازش داده‌های مگنتوتلوریک

امید قانع، کارشناسی ارشد ژئوفیزیک - ژئومغناطیس، دانشگاه تهران ■ بهروز اسکویی، دکتری ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ■ رحمان جواهری، کارشناس ژئوفیزیک، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ■ عیسی منصوری دکتری ژئوفیزیک، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

چکیده

در طول دهه گذشته، ابزارهای اندازه‌گیری روش مگنتوتلوریک بسیار پیشرفت کرده‌اند و برای اینکه بتوان بهره‌برداری کاملی از این افزایش کیفیت داشت، باید از روش‌های پیشرفته تحلیل داده استفاده کرد. یکی از موفق‌ترین راه‌های بهبود کیفیت تخمین توابع انتقال مگنتوتلوریک، استفاده از اصول آماری پایدار است. تطابق روش‌های آماری پایدار با مسائل و مشکلات پردازش داده‌های مگنتوتلوریک، به اثبات رسیده است. در سال ۲۰۱۳ یک عملیات برداشت مگنتوتلوریک در میدان نفتی سه‌قنات، در جنوب غربی ایران، برای ترسیم نقشه ساختارهای ژئوالکتریکی منطقه انجام شد. میدان نفتی سه‌قنات در ناحیه رسوبی زاگرس - که بیش از ۹۵ درصد میدان‌های نفتی ایران را شامل می‌شود - قرار دارد. در این مطالعه جهت بهبود کیفیت داده‌های میدان نفتی سه‌قنات از یک روش آماری پایدار جهت پردازش داده‌ها استفاده شد. این روش توسط اسمیرنوف ارایه شده است. این تخمین زنده بالاترین نقطه شکست ممکن، شکست ۵۰ درصد را دارد که حتی اگر نیمی از داده‌ها خارج از رده باشند نتیجه معقول و مناسبی به دست خواهد آمد. طبق بررسی‌ها پروفیل ۸۸۱۵ میدان نفتی سه‌قنات دارای خطا بود و داده‌های این پروفیل کیفیت مناسبی نداشت. در نتیجه داده‌های این پروفیل جهت انجام این پژوهش انتخاب شد تا بتوان کیفیت داده‌ها را بهبود بخشید. استفاده از این الگوریتم کیفیت داده‌ها را بسیار بهبود بخشید.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۱۰/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۱۱/۲۷

واژگان کلیدی:

پردازش، روش آماری پایدار، مگنتوتلوریک، مقاومت ویژه، میدان نفتی سه‌قنات

مقدمه

ضحیم رسوبی را به تصویر بکشد مورد استفاده قرار می‌گرفت [۳]. آنالیز داده‌ها در آن زمان محدود به مدل‌سازی‌های پیشرو^۲ و معکوس^۴ یک بعدی بود که برای مناطقی با ساختار زمین‌شناسی پیچیده قابل اعتماد نبود. در سال‌های اخیر توانایی این روش در آشکارسازی ساختارهای زمین‌شناسی کاملاً بهبود یافته است. این امر با پیشرفت در وسایل اندازه‌گیری و وارون‌سازی و تفسیر دوبعدی آن محقق شده است. همچنین پیشرفت‌های زیادی در زمینه پردازش داده‌های MT صورت گرفته که این مرحله برای تبدیل داده‌ها از حوزه زمان به بسامد ضروری است. با توجه به توسعه الگوریتم‌هایی که از روش‌های آماری پایدار^۵ برای به دست آوردن مقاومت ویژه ظاهری استفاده می‌کنند، پردازش این سری‌های زمانی توسعه و بهبود یافته است. این روش‌ها به صورت خودکار می‌توانند قسمت‌هایی از داده که نوفه‌دار و نامناسب هستند را حذف کنند که باعث رفع چالش‌های بزرگی در پردازش داده‌های مگنتوتلوریک شده است [۴ و ۵]. در این مقاله از الگوریتم اسمیرنوف جهت بهبود کیفیت داده‌ها استفاده شده است [۶]. این الگوریتم بالاترین نقطه شکست^۶ ممکن یعنی نقطه شکست ۵۰ درصد را دارد که حتی اگر نیمی از داده‌ها نوفه‌ای و نامناسب باشند و کیفیت مناسبی نداشته باشند با پردازش توسط این الگوریتم می‌توان کیفیت داده‌ها را بهبود بخشید. در این پژوهش بررسی داده‌های میدان نفتی سه‌قنات^۷ انجام و مشخص شد

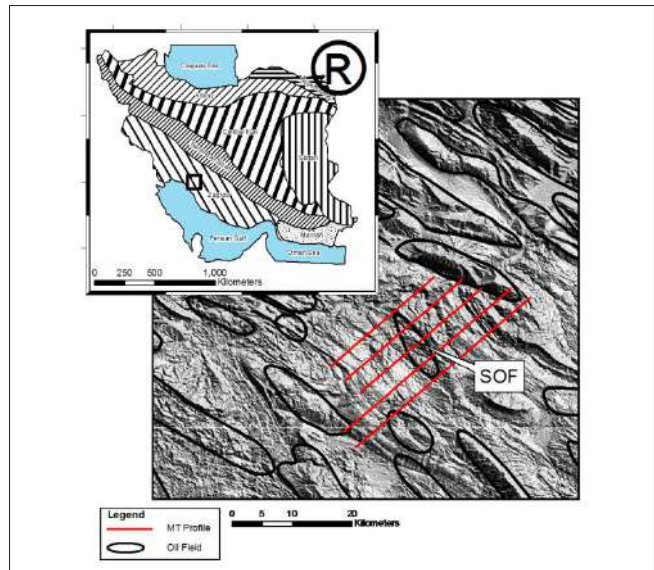
روش مگنتوتلوریک^۱ (MT) یکی از روش‌های الکترومغناطیسی در حوزه بسامد است. این روش یک روش ژئوفیزیکی سطحی غیرفعال^۲ است که از میدان‌های الکترومغناطیسی طبیعی زمین در بررسی ساختار مقاومت ویژه الکتریکی زیرسطحی استفاده می‌کند. در این روش امواج الکترومغناطیسی با توجه به بسامد و نیز مقاومت ویژه لایه‌ها، اطلاعاتی از اعماق زمین به دست می‌دهد. عمق بررسی در روش مگنتوتلوریک خیلی بیشتر از دیگر روش‌های الکترومغناطیسی است. این روش را می‌توان در کاوش‌های زیرسطحی از اعماق ده‌ها متر تا ده‌ها کیلومتر به کار گرفت. هرچه بسامد نوسان‌های میدان‌های الکترومغناطیسی کمتر باشد، عمق نفوذ میدان‌ها بیشتر خواهد شد و هرچه لایه‌های سطحی رساناتر باشند، عمق نفوذ میدان‌ها کاهش خواهد یافت. هدف از تحقیقات مگنتوتلوریک، تعیین مقاومت ویژه (یا رسانایی ویژه) ساختارهای زیرزمینی است. محدوده بسامد مورد بررسی در روش مگنتوتلوریک با چشمه طبیعی ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰۰ هرتز است [۱]. این امواج از فعالیت‌های ناشی از وقوع آذررخش در مقیاس جهانی و نوسانات مغناطیس خورشیدی سرچشمه می‌گیرد [۲]. این سیگنال‌های الکترومغناطیسی در جو به مانند امواج رادیویی منتقل می‌شوند اما در زمین پخش و به سرعت با عمق میرا می‌شوند. در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ مگنتوتلوریک در حکم یک وسیله شناسایی که می‌توانست تغییرات در ضخامت حوزه‌های

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (omidghane@ut.ac.ir)

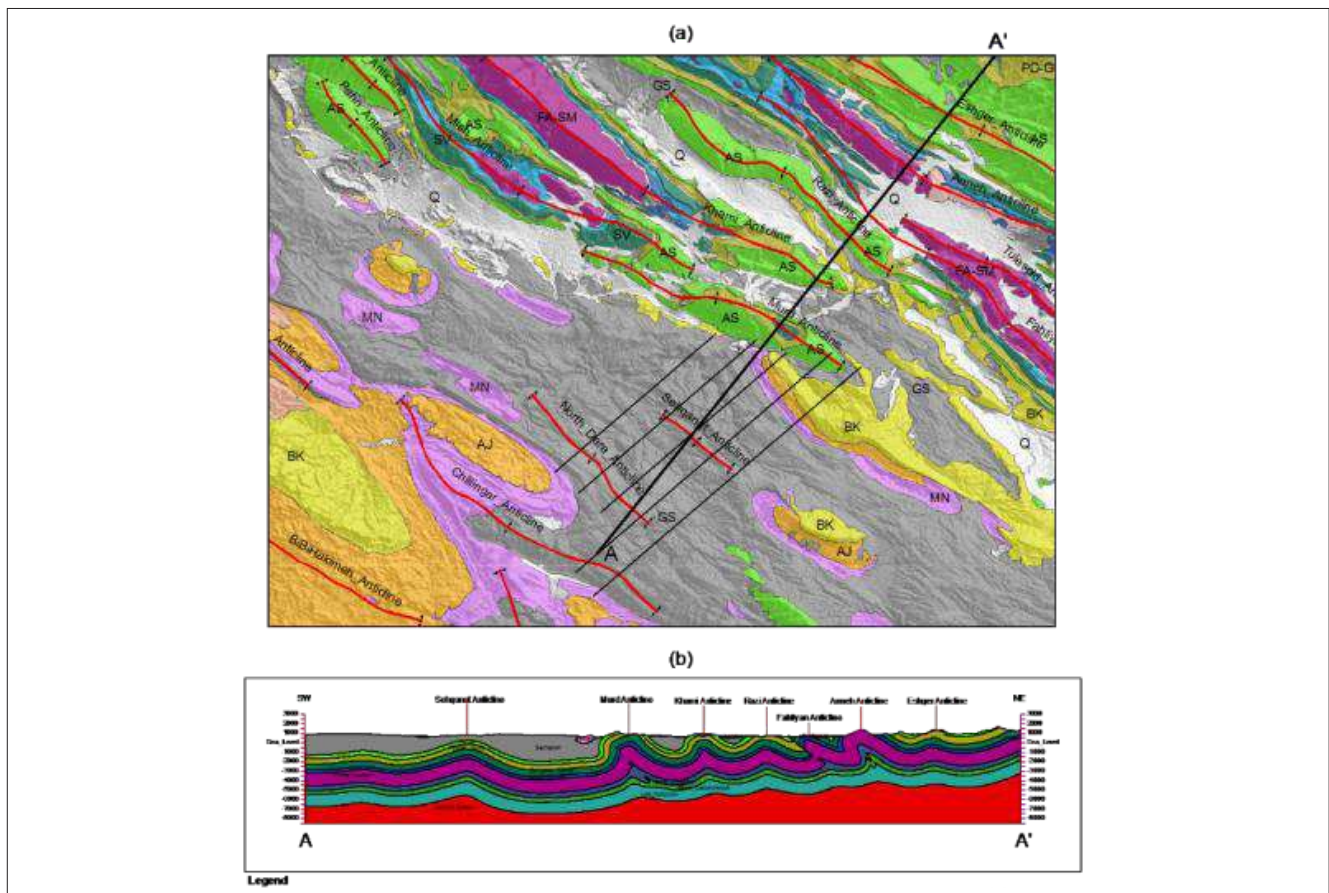
که داده‌های پروفیل ۱۸۸۱۵ این میدان نفتی کیفیت مناسبی ندارند. بنابراین مطالعات بر روی داده‌های این پروفیل ادامه یافت تا بتوان کیفیت داده‌ها را بهبود بخشید.

۱- زمین‌شناسی منطقه

کشور ایران به لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی به هفت ناحیه البرز، ایران مرکزی، کپه‌داغ، مکران، سیستان، سندج سیرجان و زاگرس تقسیم می‌شود (شکل-۱). بیش از ۹۵ درصد میدان‌های نفتی ایران در ناحیه زاگرس واقع شده است. این منطقه در اثر رسوبگذاری مداوم و تنها با وقفه‌هایی اندک، از زمان تریاس^۱ تا میوسن^۲ شکل گرفته است. عدم وجود پدیده‌های آتشفشانی و دگرگونی، پراکندگی اندک رخنمون سنگ‌های پالئوزوئیک^۱ و تعدد تاقدیس‌های بزرگ در کنار ناودیس‌های کوچک از دیگر ویژگی‌های زمین‌شناسی ناحیه زاگرس است. منطقه زاگرس در قسمت‌های شمال‌غربی، غربی و جنوب‌غربی ایران و کرانه شرقی خلیج فارس قرار دارد. امتداد زمین‌شناسی آن



۱ | تقسیم‌بندی تشکیلات ساختمانی زمین‌شناسی کشور ایران به همراه موقعیت جغرافیایی پروفیل‌های مگنتولوریک و میدان نفتی سه‌قنات در کنار میدان‌های نفتی مجاور که به شکل حلقه‌های بسته دیده می‌شود.



۲ | نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (a)؛ خطوط موازی سیاه رنگ پروفیل‌های مگنتولوریک و خطوط قرمز رنگ تاقدیس‌ها را نشان می‌دهد؛ مقطع عرضی زمین‌شناسی در قسمت (b) دیده می‌شود



شمال غربی - جنوب شرقی است و گسترشی بالغ بر ۱۵۰۰ کیلومتر را شامل می‌شود. شکل-۱، تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ساختمانی ایران را به همراه موقعیت میدان نفتی سه‌قنات (SOF) در کنار میدان‌های نفتی مجاور و پروفیل‌های مگنتوتلوریک نشان می‌دهد.

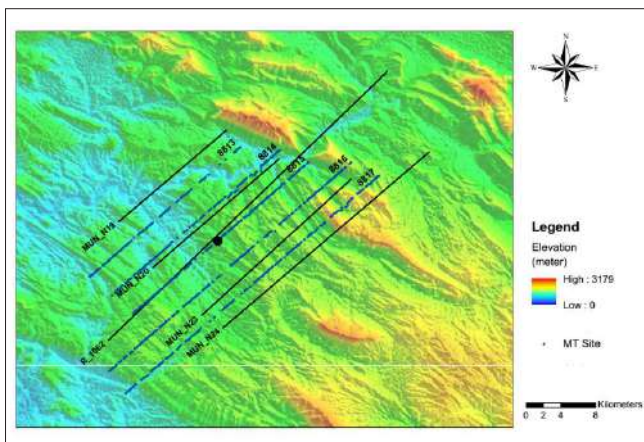
ناحیه زاگرس در مرز صفحات قاره‌ای اوراسیا و عربی واقع شده است و به دلیل کوه‌زایی حین دوران سنوزوئیک^{۱۱} در اثر همین برخورد، شکل گرفته است [۷ و ۸]. تعداد بسیار زیادی از چین‌های موازی و هم‌امتداد شمال غربی - جنوب شرقی در اثر برخورد دو صفحه تشکیل شده است که اکنون به شکل تاقدیس‌های مرتفع و کوه‌هایی با قله‌های بلند - که ارتفاع آنها گاهی به ۳۶۰۰ متر بالای سطح دریا نیز می‌رسد - دیده می‌شود. در سال ۱۹۰۸ و برای اولین بار در یکی از همین تاقدیس‌ها (در شهر مسجد سلیمان)، عملیات اکتشاف نفت به موفقیت رسید و از آن پس تلاش‌های زیادی برای جستجو بیشتر انجام شده است. در حال حاضر، حوضه رسوبی زاگرس به عنوان یکی از بزرگترین ذخائر هیدروکربنی جهان شناخته می‌شود و هر ساله تعداد زیادی عملیات اکتشافی ژئوفیزیکی به منظور جستجو مخازن جدید در حال انجام است. بیشترین ذخائر نفتی و گازی حوضه زاگرس در مخازن آهکی و کربناته است [۹]. مهمترین این مخازن، سازند آسماری با سن الیگو-میوسن^{۱۲} است که بعد از آن سازند سروک (گروه بنگستان) با سن آلبین-کامپانین^{۱۳} از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مخازن عمیق‌تری نیز در این حوضه تشکیل شده است که از جمله می‌توان به تشکیلات آهکی - دولومیتی گروه خامی با سن ژوراسیک - کرتاسه پایینی^{۱۴} و همچنین سازند کربناته دالان با سن پرمین^{۱۵} اشاره کرد.

در این بین، سازند آسماری از جمله مخازن عظیم جهان به شمار می‌رود که ضخامتی متغیر از چند متر تا بیش از ۵۰۰ متر را شامل می‌شود. این سازند عمدتاً از آهک‌های متراکم و همچنین دولومیت تشکیل شده است. بر روی افق بالایی سازند آسماری، تشکیلات تبخیری سازند گچساران قرار گرفته است که شامل صدها متر انیدریت^{۱۶}، نمک و مقدار اندکی آهک و شیل است. این سازند تبخیری سنگ پوش ایده‌آلی برای حفظ ذخائر هیدروکربنی سازند آسماری محسوب می‌شود [۹] و تقریباً بیش از ۹۰ درصد سطح منطقه مورد مطالعه را پوشانده است. در قاعده سازند آسماری تشکیلات شیلی سازندهای پابده و گورپی قرار دارد که به نوعی هم به عنوان سنگ منشاء مخزن آسماری و هم سنگ پوش دیگر مخزن کربناته یعنی سازند سروک، قلمداد می‌شود. در بخش زیرین سازند سروک نیز سازند عمدتاً شیلی کژدمی نهشته شده است که در واقع عمده‌ترین سنگ منشأ در حوضه رسوبی زاگرس به شمار می‌رود [۹].

نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، در بردارنده رخنمون سطحی

سازندهای موجود به همراه جنس و سن زمین‌شناسی آنها، امتداد تخمینی تاقدیس‌های منطقه، موقعیت پروفیل‌های مگنتوتلوریک و همچنین مقطع عرضی زمین‌شناسی در راستای خط AA' در شکل-۲ آمده است. همانطور که در مقطع عرضی زمین‌شناسی نیز دیده می‌شود، از سمت جنوب غربی به طرف شمال شرقی، همزمان با پیچیده‌تر شدن ساختارها، چندین تاقدیس کوچک و بزرگ به چشم می‌خورد که البته هندسه و موقعیت آنها دقیق نبوده و براساس اطلاعات کلی تحت‌الارضی در نقشه آمده است.

طبق اطلاعات نگارهای چاه‌پیمایی استخراج شده از چاه اکتشافی موجود در منطقه و همچنین دیگر چاه‌های حفاری شده در میدان‌های نفتی مجاور، خصوصیات فیزیکی سازندهای موجود از جمله، سرعت موج آکوستیک^{۱۷} و مقاومت ویژه الکتریکی، به خوبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تباین چشمگیری در مقدار مقاومت ویژه الکتریکی در مرز سازندهای گچساران و آسماری وجود دارد که از مقدار یک اهم متر در سازند گچساران طی یک جهش پلکانی به حدود ۱۰۰ اهم متر در سازند آسماری افزایش می‌یابد. این میزان تباین در مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی، هدف ایده‌آلی برای روش مگنتوتلوریک محسوب می‌شود. با افزایش عمق و در گذر از سازندهای پابده و گورپی، به دلیل محتوای زیاد شیل در این دو سازند، شاهد افت همزمان مقادیر سرعت موج و مقاومت ویژه الکتریکی خواهیم بود. پس از سازندهای شیلی پابده و گورپی، دیگر مخزن هیدروکربنی کربناته، سازند سروک، خواص فیزیکی مشابهی را در قیاس با سازند آسماری نشان می‌دهد. با این تفاوت که مقادیر کلی مقاومت ویژه و همچنین سرعت موج الاستیک بیشتر شده و به دلیل تراکم بالاتر این سازند نسبت به سازند آسماری، تغییرات سرعت موج دارای روند ملایم‌تری است. در عمیق‌ترین قسمت چاه اکتشافی و در بخش تحتانی سازند سروک، تشکیلات شیلی سازند کژدمی قرار دارد که



شکل ۳ | موقعیت مکانی ایستگاه‌های مگنتوتلوریک در محل میدان نفتی سه‌قنات

پردازشی کنار گذاشت. قابلیت انجام ویرایش خود کار نیز از دیگر ویژگی‌های نرم‌افزار مذکور بوده و می‌تواند طیف‌های توان متقابلی با انحراف قابل ملاحظه از محدوده میانگین را حذف کند. خروجی نرم‌افزار MT-Editor، فایل‌های استاندارد تبادل داده‌های الکتریکی^{۲۳} است که از آنها می‌توان در انجام محاسبات بعدی استفاده کرد.

نمودارهای فازی داده‌های مگنتوتلوریک با کیفیت و داده‌هایی که به خوبی پردازش شده است، در یک ربع قرار دارد و معمولاً در ربع اول (۰ تا +۹۰ درجه) یا در ربع چهارم (۰ تا -۹۰ درجه) واقع می‌شود. همچنین نمودارهای فاز و مقاومت ویژه آنها روند^{۲۴} مناسبی دارد و هیچ‌گونه شکستگی در نمودارهای فاز و مقاومت ویژه ایجاد نکرده و هموار^{۲۵} است.

بررسی داده‌های میدان نفتی سه‌قنات نشان داد که کیفیت داده‌های

به طرز مشابه با سازندهای پابده و گورپی، افت قابل ملاحظه‌ای در مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی و سرعت موج صورت می‌گیرد.

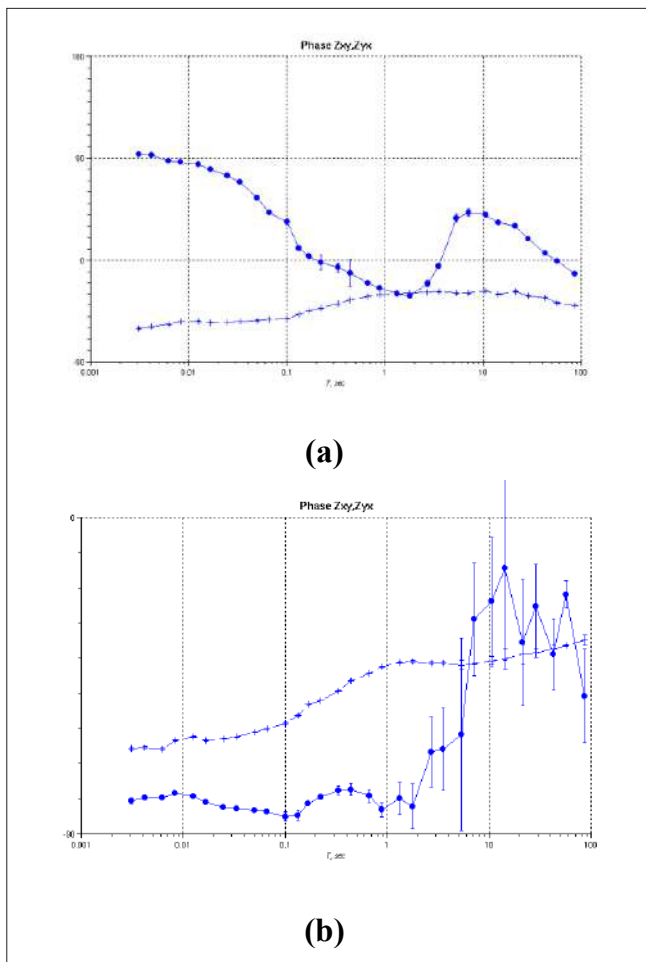
۲- برداشت داده‌ها

داده‌های مگنتوتلوریک با تفکیک مکانی^{۱۸} بسیار بالا در حوضه میدان نفتی سه‌قنات واقع در جنوب غربی ایران برداشت شده است. این داده‌ها طی مدت زمان یک سال، توسط یک پیمانکار تجاری و تحت نظارت مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران^{۱۹} جمع‌آوری شده است. اطلاعات مذکور در محل بیش از ۶۰۰ ایستگاه و در طول پنج پروفیل موازی با اسامی ۸۸۱۳، ۸۸۱۴، ۸۸۱۵، ۸۸۱۶ و ۸۸۱۷ با جهت یافتگی شمال شرقی- جنوب غربی (عمود بر روند کلی زمین‌شناسی منطقه)، ثبت شده است. فاصله بین پروفیل‌ها سه کیلومتر است و فاصله تقریبی بین ایستگاه‌ها ۳۰۰ متر بوده که در بعضی مناطق به دلیل عوارض طبیعی و مصنوعی تغییر کرده است (شکل-۳). بررسی‌هایی که روی داده‌های برداشت شده در میدان نفتی سه‌قنات انجام شد، نشان داد که داده‌های پروفیل ۸۸۱۵ نیازمند بهبود کیفیت است و در نتیجه این پروفیل جهت انجام مطالعات انتخاب شد. تا بتوان با پردازش مجدد، کیفیت داده‌ها را بهبود بخشید.

۳- روش پردازشی به‌کارگرفته شده

داده‌های برداشت‌شده با استفاده از نرم‌افزار SSMT2000 شرکت Phoenix پردازش شد. این برنامه امکان انجام ویرایش‌های مختلفی را برای هر سایت اندازه‌گیری می‌دهد. از جمله موارد ویرایشی می‌توان از تغییر نام ایستگاه، تعداد کانال‌های دستگاه، جهت جغرافیایی اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، فاصله بین الکترودها و دیگر اطلاعات ثبت شده توسط گروه برداشت داده‌ها، نام برد. در ابتدا یک فاصله زمانی جهت انجام تبدیل فوریه سریع^{۲۰} انتخاب می‌شود، سپس ضرایب فوریه محاسبه شده و در نهایت با انجام تبدیل فوریه گسسته^{۲۱}، طیف‌های توان متقابل^{۲۲} بدست می‌آید.

نرم‌افزار MT-Editor از دیگر برنامه‌های تجاری شرکت ژئوفیزیکی Phoenix است که طیف‌های توان متقابل تولید شده در نرم‌افزار پردازشی SSMT2000 را به عنوان ورودی دریافت کرده و پس از انجام محاسبات لازم، آنها را در قالب نمودارهای مقاومت ویژه ظاهری، فاز، مولفه‌های امپدانس، جهت امتداد، همدوسی و غیره در طول بازه فرکانسی برداشت داده‌ها، نمایش می‌دهد. این نرم‌افزار همچنین امکان می‌دهد تا به شکل دستی، طیف‌های توان متقابلی را که دارای کیفیت مطلوب نیستند، از میان داده‌ها جدا کرده و آنها را در مراحل بعدی



۴ | نمونه‌ای از داده‌های مگنتوتلوریک پردازش شده در میدان نفتی سه‌قنات: (a) ایستگاه ۱۱۰ و (b) ایستگاه ۱۲۵ در پروفیل ۸۸۱۵ است. در نمودارها مقادیر فاز محاسبه شده از مولفه‌های امپدانس، در دو جهت اندازه‌گیری XY (دایره‌های توپر) و YX (بعلاوه‌ها) دیده می‌شود.



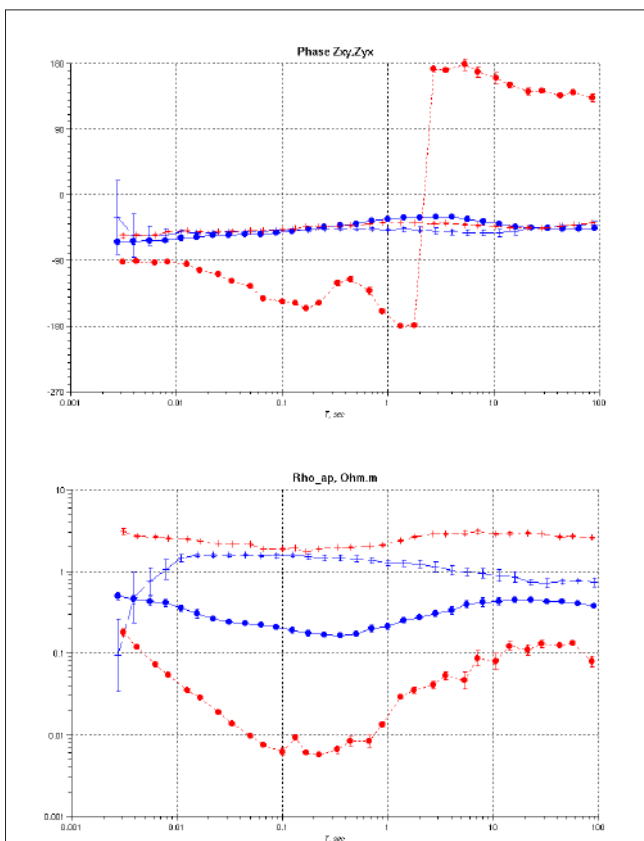
پردازش شده پروفیل ۸۸۱۵ باید بهبود یابد و نمودارهای فاز و مقاومت ویژه که پس از پردازش داده‌ها حاصل شده روند درستی را نشان نمی‌دهند. شکل ۴- تعدادی از داده‌های کم کیفیت نیازمند بهبود را نشان می‌دهد که بسیاری از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه ۱۱۰، نمودار فاز آنها در بیش از یک ربع واقع شده است. چنین داده‌هایی فرایند وارون‌سازی را دچار مشکل می‌کند و باید از جمع داده‌ها حذف شوند. همچنین در بسیاری از ایستگاه‌ها مانند نمودار فاز ایستگاه ۱۲۵، نمودارهای فاز و مقاومت ویژه دچار شکستگی شده است (منظور از شکستگی از دست دادن روند نمودار و هموار نبودن آن است). کیفیت چنین داده‌هایی باید بهبود یابد، در غیر این صورت مدل حاصل از فرایند وارون‌سازی، خطای میانگین مربعات (rms) بالایی دارد.

مشکلات ایجاد شده در داده‌ها می‌تواند دو علت داشته باشد، یا زمین منطقه مورد مطالعه ۳ بعدی آشفته‌ای دارد و این عامل باعث ایجاد مشکلاتی در داده‌ها شده است و یا داده‌ها به خوبی پردازش نشده‌اند. بنابراین در این مطالعه سعی می‌شود با به‌کارگیری یک الگوریتم پردازش شده پروفیل ۸۸۱۵ باید بهبود یابد و نمودارهای فاز و مقاومت ویژه که پس از پردازش داده‌ها حاصل شده روند درستی را نشان نمی‌دهند. شکل ۴- تعدادی از داده‌های کم کیفیت نیازمند بهبود را نشان می‌دهد که بسیاری از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه ۱۱۰، نمودار فاز آنها در بیش از یک ربع واقع شده است. چنین داده‌هایی فرایند وارون‌سازی را دچار مشکل می‌کند و باید از جمع داده‌ها حذف شوند. همچنین در بسیاری از ایستگاه‌ها مانند نمودار فاز ایستگاه ۱۲۵، نمودارهای فاز و مقاومت ویژه دچار شکستگی شده است (منظور از شکستگی از دست دادن روند نمودار و هموار نبودن آن است). کیفیت چنین داده‌هایی باید بهبود یابد، در غیر این صورت مدل حاصل از فرایند وارون‌سازی، خطای میانگین مربعات (rms) بالایی دارد.

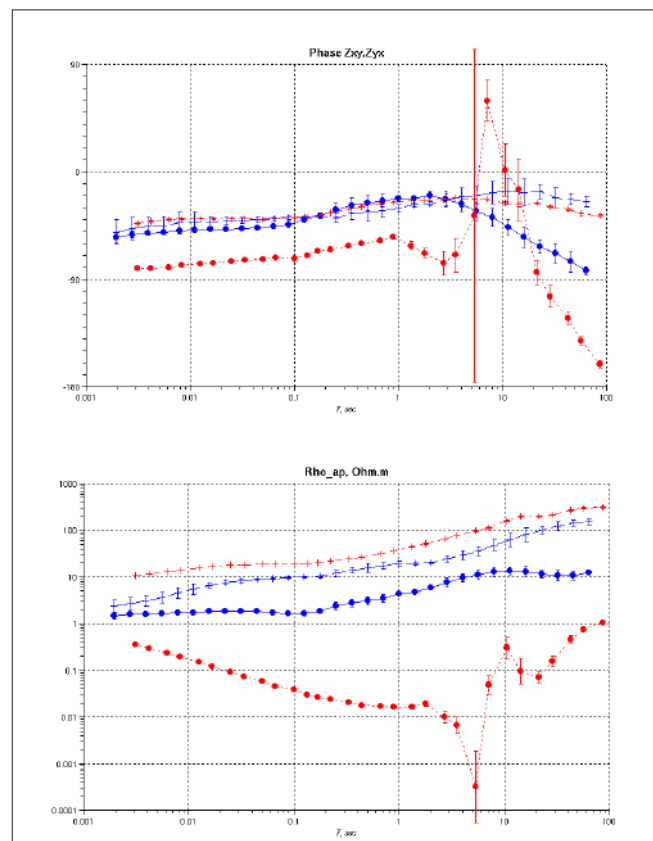
مشکلات ایجاد شده در داده‌ها می‌تواند دو علت داشته باشد، یا زمین منطقه مورد مطالعه ۳ بعدی آشفته‌ای دارد و این عامل باعث ایجاد مشکلاتی در داده‌ها شده است و یا داده‌ها به خوبی پردازش نشده‌اند. بنابراین در این مطالعه سعی می‌شود با به‌کارگیری یک الگوریتم پردازش شده پروفیل ۸۸۱۵ باید بهبود یابد و نمودارهای فاز و مقاومت ویژه که پس از پردازش داده‌ها حاصل شده روند درستی را نشان نمی‌دهند. شکل ۴- تعدادی از داده‌های کم کیفیت نیازمند بهبود را نشان می‌دهد که بسیاری از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه ۱۱۰، نمودار فاز آنها در بیش از یک ربع واقع شده است. چنین داده‌هایی فرایند وارون‌سازی را دچار مشکل می‌کند و باید از جمع داده‌ها حذف شوند. همچنین در بسیاری از ایستگاه‌ها مانند نمودار فاز ایستگاه ۱۲۵، نمودارهای فاز و مقاومت ویژه دچار شکستگی شده است (منظور از شکستگی از دست دادن روند نمودار و هموار نبودن آن است). کیفیت چنین داده‌هایی باید بهبود یابد، در غیر این صورت مدل حاصل از فرایند وارون‌سازی، خطای میانگین مربعات (rms) بالایی دارد.

۴- پردازش مجدد^{۲۶} داده‌های مگنتوتلوریک با استفاده از الگوریتم اسمیرنوف ۴-۱- معرفی الگوریتم اسمیرنوف

در سال ۲۰۰۳ اسمیرنوف یک روش آماری پایدار برای پردازش داده‌های مگنتوتلوریک معرفی کرد که شامل تخمین سیگل^{۲۷} است و براساس الگوریتم میانه تکرار^{۲۸} حداکثر حفاظت را در برابر تاثیر نقاط خارج از رده^{۲۹} و خطاهای بزرگ انجام می‌دهد. در این الگوریتم برای حذف خارج از رده‌ها و شکاف‌ها^{۳۰} در حوزه زمان، الگوریتم پیش‌بینی اتوریگرسیون پیشرو^{۳۱} استفاده شد [۶]. در طول دهه گذشته ابزارهای اندازه‌گیری روش مگنتوتلوریک بسیار پیشرفت کرده و برای امکان بهره‌برداری کامل از این افزایش کیفیت، باید روش‌های آنالیز داده نیز به همان اندازه پیشرفت کند. یکی از موفق‌ترین راه‌های بهبود کیفیت تخمین توابع انتقال مگنتوتلوریک، استفاده از اصول آماری پایدار است. تطابق روش‌های آماری پایدار برای حل مسائل و مشکلات پردازش



شکل ۶ | نمونه‌ای از بهبود کیفیک داده‌های مگنتوتلوریک پردازش شده در میدان نفتی سه‌قنات، ایستگاه ۱۲۰ در پروفیل ۸۸۱۵؛ نمودار های آبی رنگ حاصل پردازش توسط الگوریتم ماکسیم اسمیرنوف و نمودار های قرمز رنگ حاصل پردازش توسط کار فرما است.



شکل ۵ | نمونه‌ای از بهبود کیفیک داده‌های مگنتوتلوریک پردازش شده در میدان نفتی سه‌قنات، ایستگاه ۱۱۲ در پروفیل ۸۸۱۵؛ نمودار های آبی رنگ حاصل پردازش توسط الگوریتم اسمیرنوف و نمودار های قرمز رنگ حاصل پردازش توسط کار فرما است.

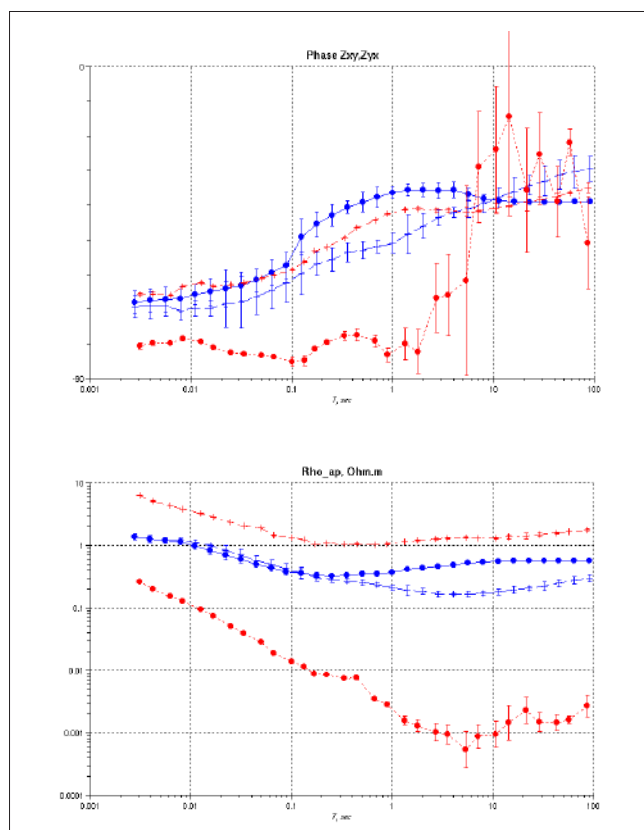
در این مطالعه از روش پایدار ارائه شده توسط اسمیرنوف استفاده می‌شود که بالاترین نقطه شکست ممکن ۵۰ درصد را دارد و حتی اگر نیمی از داده‌ها خارج از رده باشند، نتیجه معقول و مناسبی خواهد داشت. در واقع یک الگوریتم پایدار برای پردازش داده‌های مگنتوتلوریک توسط اسمیرنوف ارایه شده است که توسعه یافته تخمین سیگل است [۱۴] و مبتنی بر الگوریتم میانه تکرار (RM) است تا بتواند حداکثر حفاظت را از نتایج، در برابر تاثیر نقاط خارج از رده و خطاهای بزرگ به عمل آورد. در این الگوریتم برای حذف خارج از رده‌ها و شکاف‌ها در حوزه زمان، از الگوریتم پیش‌بینی اتورگرسیون (AR) استفاده شده و تبدیل طیفی بوسیله تبدیل فوریه سریع (FFT) از طریق تقسیم داده‌ها به بخش‌های کوچکتر با استفاده از طبقه‌بندی همدوسی انجام شده است. اسمیرنوف نشان داد که این روش یک تخمین واقع‌بینانه و مناسب از تانسور امیدانس ارایه می‌کند.

۴-۲- پردازش داده‌ها توسط الگوریتم ماکسیم اسمیرنوف

در ابتدا کدنویسی انجام شد تا بتوان داده‌های برداشت شده در پروفیل ۸۸۱۵ رابه فرمت‌های مناسب برای الگوریتم اسمیرنوف تبدیل کرد. داده‌های مگنتوتلوریک در این پروژه توسط هشت دستگاه اندازه‌گیری شده و تقریباً هر ۳۰ روز دستگاه‌ها کالیبره می‌شدند. در نتیجه برای پردازش هر ایستگاه، باید با توجه به نوع دستگاه استفاده شده و زمان برداشت، فایل کالیبراسیون مربوطه انتخاب می‌شد. برای انجام آنالیز فوریه، طول پنجره با داشتن ۱۶۳۸۴ نمونه با ۵۰ درصد همپوشانی^{۳۶} با پنجره‌های همسایه، انتخاب شد. همچنین آستانه وابستگی^{۳۷}، بالاترین حد ممکن (۰/۹)، انتخاب شد. هر کدام از باندهای فرکانسی (۳ و ۴ و ۵)، به ترتیب بانرخ‌های نمونه‌برداری^{۳۸} (۲۴۰۰ و ۱۵۰ و ۱۵) هرترز، پردازش شد. به طور کلی ۶۸ ایستگاه از این پروفیل مورد پردازش مجدد قرار گرفت. نتایج پردازش، بهبود بسیار زیادی را در کیفیت داده‌ها نشان داد. به طوری که داده‌ها خروج از فاز ندارند و شکستگی در نمودار داده‌ها مشاهده نشد.

نتایج پردازش چند ایستگاه به طور نمونه در شکل‌های ۵-، ۶ و ۷ آمده است. برای امکان مقایسه، نتایج حاصل از پردازش توسط الگوریتم اسمیرنوف (نمودارهای آبی رنگ) و نتایج حاصل از پردازش توسط کارفرما (نمودارهای قرمز رنگ)، به صورت همزمان رسم شد. بسیاری از ایستگاه‌ها در دوره‌های^{۳۹} بلند (۱۰ ثانیه تا ۱۰۰ ثانیه) خروج از فاز و شکستگی در نمودار را نشان می‌دهد و نیازمند بهبود کیفیت است. در واقع عمق هدف برای اکتشاف نفت در همین محدوده فرکانسی قرار می‌گیرد که با به کارگیری روش پردازشی اسمیرنوف، مشکل داده‌ها در این محدوده فرکانسی برطرف شد. بعلاوه در بسیاری از ایستگاه‌ها، نمودارهای فاز و مقاومت ویژه دچار شکستگی شده بود و به کارگیری چنین داده‌هایی باعث می‌شد که مدل به دست آمده حاصل از فرایند وارون‌سازی، خطای میانگین مربعات (RMS) بالایی داشته باشد که با پردازش مجدد، شکستگی‌ها برطرف و نمودارهای هموار و مناسبی جهت وارون‌سازی

داده‌های مگنتوتلوریک اثبات شده است [۱۰]. تاثیر چنین روش‌هایی نشان داده که مزیت آنها بسیار بیشتر از روش حداقل مربعات^{۳۲} است [۱۱]. همچنین در حضور خطاهای بزرگ، روش‌های پایدار برخلاف روش حداقل مربعات نتایج با ثبات‌تر و واقع‌بینانه‌تری در هر دو حوزه زمان و فرکانس تولید می‌کند. برای اینکه روش حداقل مربعات به خوبی کار کند ابتدا باید داده‌ها بررسی شوند و ویرایش داده‌ها و حذف برخی از آنها باید دستی انجام شود. در حالی که برنامه‌های آماری پایدار، آماده‌سازی داده‌ها را بصورت خودکار انجام می‌دهند. معیار اساسی برای ارزیابی توانایی یک تخمین‌زننده^{۳۳} نقطه شکست^{۳۴} (E*) آن است که به عنوان کسری (حداکثر تا ۵۰ درصد) از داده‌های خارج از رده - که می‌توانند تخمین‌زننده را معیوب کنند - تعریف می‌شود [۱۲] نقطه شکست روش حداقل مربعات صفر است و مقدار بسیار کمی نوفه می‌تواند تاثیر بسیار زیادی روی نتیجه نهایی داشته باشد. این امر منجر به استفاده از انواع مختلف روش‌های پایدار شده است. معمولاً از روش‌های پایداری استفاده می‌شود که براساس تخمین‌زننده^{۳۵} M هستند که پایدارترین آنها نقطه شکستی نزدیک به ۳۰ درصد دارد [۱۳].



شکل ۷ | نمونه‌ای از بهبود کیفیت داده‌های مگنتوتلوریک پردازش شده در میدان نفتی سه‌قنات، ایستگاه ۱۲۵ در پروفیل ۸۸۱۵؛ نمودارهای آبی رنگ حاصل پردازش توسط الگوریتم ماکسیم اسمیرنوف و نمودارهای قرمز رنگ حاصل پردازش توسط کارفرما است.

داده‌هایی فرایند وارون‌سازی را دچار مشکل می‌کند و مناسب وارون‌سازی نیست. بنابراین باید از جمع داده‌ها حذف شود. همچنین در بسیاری از ایستگاه‌ها، نمودارهای فاز و مقاومت ویژه دچار شکستگی (از دست دادن روند و هموار نبودن نمودار) است، چنین داده‌هایی باعث می‌شود که مدل به دست آمده حاصل از فرایند وارون‌سازی، خطای میانگین مربعات (rms) بالایی داشته باشد. ۳- بسیاری از ایستگاه‌ها در دوره‌های بلند (۱۰ ثانیه تا ۱۰۰ ثانیه)، نیازمند بهبود کیفیت است. عمق هدف برای اکتشاف نفت در همین محدوده فرکانسی قرار می‌گیرد که با بهبود کیفیت این داده‌ها مناسب وارون‌سازی می‌شود. ۴- در این مطالعه با به کارگیری الگوریتم پردازشی ماکسیم اسمیرنوف که بالاترین نقطه شکست ممکن را دارد، کیفیت داده‌های برداشت شده بهبود پیدا کرده و بسیاری از داده‌ها که عملاً قابل استفاده جهت وارون‌سازی نبود به جمع داده‌ها اضافه شد.

به دست آمد. در نتیجه با به کارگیری الگوریتم ماکسیم اسمیرنوف، کیفیت داده‌ها بهبود پیدا کرد و داده‌هایی که مناسب وارون‌سازی نبود و باید حذف می‌شدند، به داده‌ها برگشت داده شد.

نتیجه‌گیری:

۱- بررسی داده‌های میدان نفتی سه‌قنات نشان می‌دهد که برخی از داده‌های برداشت شده نیازمند بهبود کیفیت است تا مدلی پایدارتر و با خطای کمتر حاصل شود. به دلیل اینکه داده‌های پروفیل ۸۱۵ کیفیت مناسبی نداشت از داده‌های این پروفیل جهت انجام این پژوهش استفاده شد تا بتوان کیفیت داده‌ها و مدل‌ها را بهبود داد. ۲- بررسی داده‌های پروفیل ۸۱۵ نشان می‌دهد که بسیاری از ایستگاه‌ها خروج از فاز داشته و نمودار فاز آنها در بیش از یک ربع واقع می‌شود. چنین

پانویس‌ها

- | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1- Magnetotelluric | 14- Jurassic-lower Cretaceous | 27- Siegel estimation |
| 2- Passive | 15- Permian | 28- Repeated median |
| 3- Forward | 16- Anhydrite | 29- Outliers |
| 4- Inversion | 17- Acoustic | 30- Gaps |
| 5- Statistics Robust | 18- Spatial resolution | 31- Forward autoregression prediction |
| 6- Breakdown point | 19- NIOC | 32- Least-squares |
| 7- Sehqanat oil field | 20- Fast fourier transform (FFT) | 33- Estimator |
| 8- Triassic | 21- Discrete fourier transform (DFT) | 34- Breakdown point |
| 9- Miocene | 22- Cross-power spectra | 35- M-estimator |
| 10- Paleozoic | 23- Electrical data interchange (EDI) | 36- Overlap |
| 11- Cenozoic | 24- trend | 37- Coherency threshold |
| 12- Oligo-Miocene | 25- Smooth | 38- Sample rate |
| 13- Albian-Campanian | 26- Reprocessing | 39- periods |

منابع

- [1] Cagniard, Louis. "Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting." *Geophysics* 18, no. 3 (1953): 605-635.
- [2] Vozoff, Keava. "The magnetotelluric method." *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Volume 2, Application, Parts A and B. Society of Exploration Geophysicists*, 1991. 641712-.
- [3] Orange, Arnold S. "Magnetotelluric exploration for hydrocarbons." *Proceedings of the IEEE* 77.2 (1989): 287317-.
- [4] Egbert, Gary D. "Robust multiple-station magnetotelluric data processing." *Geophysical Journal International* 130.2 (1997): 475496-.
- [5] Larsen, Jimmy C., Randall L. Mackie, Adele Manzella, Adolfo Fiordelisi, and Shirley Rieven. "Robust smooth magnetotelluric transfer functions." *Geophysical Journal International* 124, no. 3 (1996): 801819-.
- [6] Smirnov, M. Yu. "Magnetotelluric data processing with a robust statistical procedure having a high breakdown point." *Geophysical Journal International* 152.1 (2003): 17-.
- [7] Agard, Philippe, J. Omrani, Laurent Jolivet, and Frédéric Mouthereau. "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation." *International journal of earth sciences* 94, no. 3 (2005): 401419-.
- [8] Takin, Manoochehr. "Iranian geology and continental drift in the Middle East." *Nature* 235.5334 (1972): 147150-.
- [9] Motiei, H., 1995, *Geology of Iran, petroleum geology of Zagros*, Book.
- [10] Larsen, Jimmy C., Randall L. Mackie, Adele Manzella, Adolfo Fiordelisi, and Shirley Rieven. "Robust smooth magnetotelluric transfer functions." *Geophysical Journal International* 124, no. 3 (1996): 801819-.
- [11] Jones, Alan G., Alan D. Chave, Gary Egbert, Don Auld, and Karsten Bahr. "A comparison of techniques for magnetotelluric response function estimation." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 94, no. B10 (1989): 1420114213-.
- [12] Hampel, Frank R., Elvezio M. Ronchetti, Peter J. Rousseeuw, and Werner A. Stahel. *Robust statistics: the approach based on influence functions*. Vol. 114. John Wiley & Sons, 2011.
- [13] Huber, P. J., and E. M. Ronchetti. *Robust Statistics*-Wiley, New York." (1981).
- [14] Siegel, Andrew F. "Robust regression using repeated medians." *Biometrika* 69.1 (1982): 242244-.