به‌کارگیری روش سی.اِس.اِی.اِم.تی در کانسار شیانشی، هونان، چین

ایرج وثوقی‌نیری [1*]

[1] دکترا، شرکت خدمات ژئوفیزیکی زمین تصویر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۲۵

چکیده

روش رادیومگنتوتلوریک با منبع کنترل‌شونده اسکالر در کانسار طلای ووشی به‌کار گرفته شد و طی آن ۲۳۷ ایستگاه در هشت خط اندازه‌گیری شدند. طراحی خطوط در راستای شمالی - جنوبی به‌گونه‌ای صورت گرفت تا ثبت داده‌ها در راستای تقریباً عمود بر ساختارهای زمین‌شناسی منطقه صورت گیرد. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده نقشه‌های کنتور مقاومت ویژه در ۱۰ بسامد ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲، ۱۰۲۴، ۲۰۴۸ و ۴۰۹۶ رسم شدند. داده‌های سی.اِس.اِی.اِم.تی اطلاعات مهمی را در مورد زون‌های کانه‌زایی و ساختارهای موجود در منطقه ارائه داد، به‌طوری که افزون بر شناسایی برخی زون‌های کانه‌زایی و تعیین پارامترهای مکانی آنها، تشخیص برخی گسل‌های جدید نیز ممکن شد. نقشه‌برداری‌های تفصیلی زمین‌شناسی و حفاری‌های بعدی بیشتر نتایج به‌دست آمده را مورد تأیید قرار دادند.

کلیدواژه‌ها: سی.اِس.اِی.اِم.تی اسکالر، مدل مقاومت ویژه، شیفت استاتیک، مقاومت ویژه ظاهری تمام زون، کانسار شیانشی.

***نویسنده مسئول:** ایرج وثوقی‌نیری

Email: dr.vosoughi@gmail.com

۱ - پیش‌گفتار

استان هونان از نظر تولید طلا تاریخچه طولانی داشته و معادن پلاسری و طلای رگه‌ای آن به‌طور موفقیت‌آمیزی مورد استخراج قرار گرفته است. کانسار آنتیموان- تنگستن- طلای شیانشی در کنار ذخیره نشانگر منابع اصلی تولید طلا در این استان هستند. کانسار شیانشی در شهر شیانشی منطقه یوآنلین در باختر استان هونان و در مختصات جغرافیایی $110^{o}\ 54'\ E$ و $28^{o}\ 32'\ N$ در مساحتی با گسترش ۱۲ کیلومتر مربع قرار گرفته است. فاصله این کانسار تا شهر چاندی ۷۹ کیلومتر بوده و در خاور یوآن‌لیان واقع شده است (شکل ۱). ذخیره آنتیموان- تنگستن- طلای شیانشی (ذخیره طلای شیانشی) در سال ۱۸۷۵ به صورت یک ذخیره پلاسری کشف شد و با ردیابی آن به سوی منبع به رگه‌های طلای اولیه دست پیدا کردند و استخراج آن را به صورت دستی آغاز کردند. متعاقب آن در سال‌های متوالی عملیات استخراجی زیادی بر روی آن صورت گرفت به‌طوری که به بزرگ‌ترین معدن طلای استان تبدیل شد.

هدف اصلی این نوشتار تشریح رویه عملیات ژئوفیزیکی و مدل‌سازی انجام شده با استفاده از ویژگی‌های مقاومت ویژه واحدهای چینه‌ای مختلف در منطقه مورد مطالعه و ارائه برخی فرضیه‌ها در مورد چینه‌شناسی، گسل‌های اصلی و ساختارهای چینه‌ای و مکان‌یابی زون‌های کانه‌ساز در منطقه است. افزون بر آن رفتار میادین منبع، برداشت ژئوفیزیکی و روش‌های تفسیر نیز توضیح داده خواهد شد.

۲- خاستگاه زمین‌شناسی

کانسار آنتیموان- تنگستن- طلای شیانشی در بخش مرکزی ساختار کمانی شوافون که در حاشیه جنوبی جین‌نان در پلت‌فرم یانگ‌تسه قرار گرفته است. ۸۰ درصد ذخایر طلای استان هونان در این منطقه قرار دارد.

ساختارهای منطقه به کمان و ساختارهای با امتداد باختری- خاوری و شمال خاوری (شکل ۲) (The Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1995) تقسیم‌بندی می‌شوند. ساختار منطقه‌ای یک تاقدیس با امتداد NEE است که دربردارنده تاقدیس‌های شیان‌شوای‌دن، شیان‌ای‌بادن و مین‌یوآشان است. افزون بر آن گسل‌های معکوس شیانشی، لن‌جیاشی، تان‌خوپین و تان‌جیایوآن با روند NEE در منطقه گسترش یافته‌اند. این تاقدیس‌ها و گسل‌های بزرگ زون ساختاری NEE را در منطقه تشکیل داده‌اند که ساختار کنترلی درجه یک و اصلی زون‌های تنگستن، آنتیموان و طلا در باختر استان هونان است (Huang, 1994; Xie, 1992).

منطقه معدن‌کاری در یال شمال خاوری تاقدیس شیان‌ای‌بادن قرار دارد. این تاقدیس با ساختار تک محوری اریب در حالتی شبیه کمان در راستای شمال خاوری قرار گرفته است (Report of Guangzhuang Quadrangle, 1996) لایه‌های تشکیلات مادی در منطقه در طی حرکات ساختاری کالدونین و پس از آن متحمل روزن‌رانی(extrusion)، دگرشکلی و جابه‌جایی‌های مداوم شده است. چین‌ها، گسل‌ها و درز و شکاف‌های فراوان در کنار شیستوزیته در طی حرکات یادشده ایجاد شده و نقش چندمرحله‌ای را در کنترل ساختاری کانه‌سازی در منطقه بازی کرده است. توزیع ذخایر طلا در منطقه مستقیماً توسط ساختارهای بزرگ مقیاس گسل اصلی شیانشی و روراندگی شین‌تیان‌وان کنترل می‌شود (Huang, 1994).

لایه‌های برونزده عمدتاً گروه لن‌جیاشی، گروه بانشی، سیستم سینی‌ین و سیستم کامبرین است. در حرکات وولین اولیه که به نام حرکات دن‌آن شناخته می‌شود گروه‌های لن‌جیاشی و بانشی تحت زاویه نسبت به هم قرار گرفتند (Niu & Ma, 1992). سنگ‌های موجود مجموعه‌ای از سنگ‌های لایه‌دار کم‌ژرفا و نزدیک ساحلی دریایی مانند اسلیت‌های کم دگرگون شده، اسلیت‌های ماسه‌دار و ماسه‌سنگ‌ها است. گاه ماسه‌سنگ‌های توف‌دار، اسلیت‌های توف‌دار، دولومیت‌ها و مارل‌های دولومیتی نیز در منطقه دیده می‌شوند. ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سینین و کامبرین نیز در یال‌های شمال‌باختری و جنوب خاوری کمان شوافون نیز دیده می‌شود. کنگلومراهای ستبرلایه سرخ رنگ در شمال منطقه گسترش یافته‌اند.

۳- متدولوژی

سی.اِس.اِی.اِم.تی می‌تواند از دو تا ده اندازه‌گیری مؤلفه‌های مجزا را بسته به پیچیدگی زمین‌شناسی و ملاحظات اقتصادی دربرگیرد. برداشت‌های مربوطه بسته به تعداد مؤلفه‌های اندازه گرفته شده و تعداد منابع مورد استفاده می‌تواند اسکالر (نردبانی)، برداری و تنسور باشد (Zonge et al., 1986). برداشت اسکالر در مناطق تک‌لایه‌ای یا در مناطقی با ساختارهای دوبعدی، مانند منطقه مورد مطالعه، که دارای روند ساختاری مشخص است قابل انجام است. مهم‌ترین برتری سی.اِس.اِی.اِم.تی هزینه نسبتاً پایین و سرعت انجام بالای آن است و از این رو سی.اِس.اِی.اِم.تی اسکالر برای انجام در این منطقه انتخاب شد. از آنجا که روند ساختار اصلی موجود در منطقه NEE است. بنابراین راستای دوقطبی منبع در راستای عمود بر آن یعنی شمالی- جنوبی انتخاب شد (که به این حالت اصطلاحاً مد یا حالت TM اطلاق می‌شود). در این حالت گسل‌های خطی و با شیب تند نیز به راحتی قابل شناسایی هستند.

با به‌کارگیری این روش دو مؤلفه Ex و Ey در هر اندازه‌گیری ثبت شدند. اندازه‌گیری‌ها در بازه بسامد ۸ تا ۴۰۹۶ هرتز که بازه بسامدی مورد نیاز برای بررسی ژرفای لایه‌های هدف در منطقه بود انجام شد.

۴- برداشت صحرایی و داده‌گیری

جایگذاری دوقطبی منبع در سی.اس.ای.ام.تی یکی از سخت‌ترین مراحل انجام کار است. چه در عمل و چه در تئوری و در مقایسه با حالت موج تخت، در منطقه نزدیک میدان مؤلفه مغناطیسی قوی‌تر از مؤلفه الکتریکی است. برعکس زمانی که دور از منبع باشد مؤلفه الکتریکی قوی‌تر شده و مقاومت‌های ویژه ظاهری بالای غیرعادی ثبت می‌شوند که الگوریتم‌های کاهشی برای حل این مشکل تدوین شده‌اند (Lakanen, 1986). به منظور تأمین شرایط کاگنیارد برای میدان منبع که همان به‌دست آوردن موج تخت در منطقه مورد مطالعه است (Goldstein & Strangway, 1975) فرستنده‌ها باید در دو نقطه مختلف که در حدود سه «ژرفای سطحی» از گیرنده‌ها فاصله داشته باشند قرار گیرند. دو فرستنده مجزای (TX1) و (TX2) هر دو در راستای شمالی- جنوبی قرار گرفته‌اند (شکل ۳). فرستنده مدل GGT-30 مؤسسه تحقیق و مهندسی جُنگ با قدرت خروجی ۱۰ کیلووات است که به یک رایانه سازگار با IBM متصل است. میدان‌های مغناطیسی نیز با بهره‌گیری از آنتن‌های مدل BF-10 اندازه‌گیری شد.

سونداژ سی.اس.ای.ام.تی در منطقه مورد مطالعه در امتداد هشت خط موازی با راستای NS انجام شد (شکل ۳ و جدول ۱). طول خط‌ها ۷۵۰ تا ۲۰۰۰ متر و فاصله بین آنها ۵۰۰ متر است. فاصله دوقطبی‌ها نیز ۵۰ متر است، بنابراین شبکه مبنا حدود ۵۰ در ۵۰ متر است. بیشترین جریان تزریق شده ۷/۵ آمپر با بسامد ۸ تا ۴۰۹۶ هرتز است. دامنه میدان مغناطیسی (Hy)، دامنه میدان الکتریکی (Ex) و فاز (φ_M) با بهره‌گیری از سی.اس.ای.ام.تی اسکالر اندازه‌گیری شدند. محور X عمود بر هر خط تعریف شد که تقریباً موازی راستای فرضی ساختارهای زمین‌شناسی اصلی در منطقه است و محور Y در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و به موازات خطوط برداشت تعریف شد.

۴-۱. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

به منظور سنجش برخی پارامترهای فیزیکی تعدادی نمونه از تشکیلات مختلف در منطقه برداشت شد. برخی آزمایش‌ها نیز به صورت برجا در منطقه انجام شد. همانطوری که در جدول ۲ دیده می‌شود، سنگ‌ها و کانه‌های موجود در کانسار تفاوت‌های مقاومت ویژه قابل توجهی را نشان می‌دهند.

با وجود آنکه نمونه‌های آزمایشگاهی ۲۴ ساعت پیش از انجام آزمون‌ها در داخل آب غوطه‌ور شده بودند ولی هنوز تفاوت‌هایی در پارامترهای الکتریکی با اندازه‌گیری‌های انجام شده در صحرا نشان می‌دهند. نتایج صحرایی بیانگر حالت واقعی سنگ‌ها و ویژگی‌های الکتریکی واقعی سیال‌ها در خلل و فرج سنگ‌ها و درز و شکاف‌های آنها است. افزون بر آن نمونه‌های آزمایشگاهی و برجا در شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوتی قرار داشته و پارامترهای الکتریکی به راحتی تحت تأثیر فاکتورهایی مانند رطوبت، دما، فشار، سیال‌ها و درجه کانه‌سازی قرار می‌گیرند. آزمون‌های آزمایشگاهی برخی تفاوت‌ها را با مشاهدات انجام شده در صحرا نشان می‌دهند و بنابراین با نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی تنها تفاوت‌های نسبی مقاومت ویژه کانه‌ها درک می‌شود.

همانطوری که در جدول ۲ دیده می‌شود، سنگ اسلیت میزبان دارای مقاومت ویژه بالا و قطبش پایین بوده و مقاومت ویژه رگه‌ها و سنگ میزبان تفاوت‌های آشکاری از خود نشان می‌دهد.

۴-۲. رفتار میدان منبع

شرط کاگنیارد برای میدان منبع دریافت، تخت بودن موج است. این شرایط زمانی تحقق می‌یابد که منبع با در نظر گرفتن بیشترین فاصله بین گیرنده و فرستنده و کمترین بسامد سونداژ (Sandberg & Hohmann, 1982) به فاصله بیش از سه "ژرفای سطحی" از گیرنده قرار گرفته باشد (Goldstein & Strangway, 1975).

پارامترهای مهم در روش سی.اس.ای.ام.تی دربردارنده کمینه و بیشینه فاصله فرستنده، بازه بسامد مورد استفاده و موقعیت فرستنده است. این پارامترها با توجه به اهداف مطالعه و ویژگی‌های فیزیکی منطقه مشخص می‌شوند. هدف مطالعه در ذخیره شیانشی تعیین گسترش ژرفای زون‌های کانه‌سازی در ژرفای حدود ۱۰۰۰ متر است. چینه‌های رخنمون‌دار در منطقه مورد مطالعه اسلیت‌های پروتروزوییک و لایه‌های سرخ کرتاسه است. میانگین مقاومت ویژه اسلیت و لایه‌های سرخ به ترتیب ۱۰۰۰ و ۳۰۰ اهم متر است.

کمینه بسامد قابل اعمال عبارت است از

$$f_{min}=p.\ (356/\delta)^2=300*\ (356/2000)^2 \approx 9.5\ Hz \qquad \text{Eq. 1}$$

وقتی که

$$\delta=503\sqrt{p/f} \qquad (\delta: \text{ژرفای سطحی})$$

بنابراین در منطقه مورد مطالعه کمینه و بیشینه بسامدهای مورد استفاده به ترتیب عبارتند از ۸ و ۴۰۹۶ هرتز. در منطقه لایه‌های سرخ کرتاسه، ژرفای نفوذ تقریبی بیشینه بسامد حدود ۱۰۰ متر است. بنابراین ژرفای تجسس روش سی.اس.ای.ام.تی اعمالی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ متر است. ژرفای تجسس به نوبه خود کمینه فاصله فرستنده را محدود می‌کند. ژرفای تجسس یک موج تخت طبق رابطه زیر بستگی به "ژرفای سطحی" دارد.

$$D=\delta/\sqrt{2} \qquad \text{Eq.2}$$

به منظور دریافت موج تخت و اعمال شرایط دور- میدان در مکان گیرنده‌ها، فرستنده‌ها باید در فاصله ۳ تا ۵ برابر "ژرفای سطحی" در کمینه بسامد مورد استفاده قرار گرفته باشند. بیشینه فاصله تراگسیلی با در نظر گرفتن نسبت سیگنال به نوفه و حساسیت ابزار محدود می‌شود. با این وجود گاه در مناطقی با مقاومت ویژه خیلی بالا با وجود بالا بودن فاصله محاسبه شده، به منظور گرفتن داده‌ها مجبور به داده‌گیری در ایستگاه‌های نزدیک به فرستنده شده یا در مناطقی مانند منطقه مورد مطالعه به دلیل بالا بودن نسبت نوفه به سیگنال امکان تأمین شرایط دور- میدان نبوده و بنابراین مجبور به دریافت داده‌ها در زون انتقالی می‌شویم. بر این اساس، داده‌های بسامدهای کمتر از ۳۲ هرتز در منطقه سنگ‌های اسلیتی در زون انتقالی قرارداده شده و مقاومت ویژه بر مبنای آن محاسبه شده است. بیشینه فاصله فرستنده ۸۳۸۰ متر (خط A4) است جایی که نسبت سیگنال به نوفه داده‌ها خوب است. کمینه فاصله فرستنده ۶۳۸۰ متر (خط A8) است جایی که داده‌ها دارای نسبت بالای سیگنال به نوفه هستند. موقعیت فرستنده و خطوط برداشت در جدول ۱ و شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

با توجه به شکل ۳، بیشینه زاویه چولگی ایستگاه‌ها در صحرا برای Tx1 و Tx2 کمتر از ۳۰ درجه است. هر دوی آنها کوچک‌تر از زاویه چولگی خط تئوریکال با میدان صفر (۴۵ درجه) بوده و بنابراین چارچوب کار منطقی و عملیاتی بوده و داده‌های گرفته شده صحیح و قابل اعتماد است.

۴-۳. کیفیت و صحت داده‌ها

محدوده اکتشافی در کنار داشتن محدوده‌های زیرکشت و مراتع دارای ساختمان‌های بسیاری نیز است. نوفه اصلی موجود در منطقه، نوفه فرهنگی و معدن‌کاری ۲۴ ساعته است. به منظور افزایش کیفیت داده‌ها، تکرار برداشت داده‌ها در برخی ایستگاه‌های تصادفی انجام شد و بدین منظور بیش از ۱۰ درصد تعداد کل داده‌ها دوباره اندازه‌گیری شدند تا بتوان به صحت قابل اطمینان داده‌ها در منطقه دست یافت.

۵- پردازش و تفسیر داده‌ها

۵-۱. مدل مقاومت ویژه و مفاهیم زمین‌شناسی آن

کانسار شیانشی دارای امتداد شیب‌دار زیادی است. ژرفای لایه شیب‌دار در تونل

شماره ۲۸ که ستبرای رگه آن یک تا سه متر است، حدود ۷۰۰ متر (از سطح زمین) است. در محدوده زون پی‌جویی نسبت ستبرای لایه به ستبرای ژرفای مدفون حدود یک صدم است که بیرون از محدوده تفکیک‌پذیری سی.اِس.اِی.اِم.تی است که مؤلفه منفی بهره‌گیری از این روش در ردیابی و شناسایی لایه‌های تک رگه است. با تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌های در دسترس، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی کانسار شیانشی به شرح زیر به‌دست آمدند:

– رگه‌ها در تشکیلات «مادی» اسلیت‌های گروه بانشی قرار دارند به‌طوری که سنگ میزبان منفرد بوده و در غیاب سنگ‌های کربناتی، مقاومت ویژه مطلوب است که این امر موجب کاهش میزان ابهام زمین‌شناسی به‌دست آمده از داده‌های ژئوفیزیکی می‌شود.

– تمامی رگه‌ها دارای زون‌های دگرسانی قوی به‌ویژه پیریتی شدن در طرفین خود هستند. این رگه‌ها در کنار داشتن تشابهات ویژگی‌های الکتریکی با دیواره‌های دگرسان شده دارای اختلافات مقاومت ویژه قابل توجهی با سنگ دیواره دگرسان نشده دارند و از این رو هدف شناسایی روش سی.اِس.اِی.اِم.تی هستند.

– از دید ژئوفیزیکی رگه‌ها همراه با سنگ دیواره دگرسان خود که به صورت موازی با ستبراهای متغیر قرار دارند ثبت می‌شوند. بر اساس مشاهدات صحرایی و داده‌های گمانه میانگین ستبرای رگه‌ها با سنگ دیواره‌های دگرسان شده آنها حدود ۵ متر است. شیب آنها ۴۵ درجه، مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم متر و میانگین متوسط طبقات بین رگه‌ها حدود ۵۰ متر است که مقاومت ویژه سنگ‌های اسلیت بین حدود ۱۰۰۰ اهم متر است. بر اساس مدل‌سازی انجام شده به صورت یک گروه دو لایه‌ای با ستبرای ۶۰ متر و مقاومت ویژه کم (حدود ۳۰۰ اهم متر) در نظرگرفته می‌شود که با کاهش فاصله رگه‌ها مقاومت ویژه لایه مدل نیز کاهش می‌یابد. به منظور ساده کردن مدل، به صورت لایه‌های افقی در نظر گرفته شد. منحنی سونداژ– مقاومت ویژه ظاهری سی.اِس.اِی.اِم.تی (شکل ۴) منحنی تیپیک H را نشان می‌دهد که نمایانگر توانایی سی.اِس.اِی.اِم.تی در پیداکردن گروه‌های رگه‌ای چندلایه‌ای موازی تحت‌الارضی است اگر چه این تشخیص امکان قابلیت تفکیک لایه‌های مجزا را نمی‌دهد.

بر اساس بحث‌های یادشده، در کانسار شیانشی، هدف اکتشافی ترکیبی از رگه‌های چندلایه و سنگ‌های دیواره دگرسان شده با مقاومت ویژه پایین و قطبش بالا است.

۵– ۲. تصحیح شیفت استاتیک و نزدیک– میدان

به منظور کاهش تأثیر نزدیک– میدان، روش مقاومت ویژه ظاهری تمام زون به‌کار گرفته شد (Tang & He, 1994). مقاطع کاذب مقاومت ویژه ظاهری خام در شکل ۵– الف نشان داده شده است.

برخی نوارهای قائم در مقاطع کاذب مقاومت ویژه ظاهری تمام زون دیده می‌شود که ناشی از شیفت استاتیک بوده و موجب بروز خطاهای اساسی در وارونگی ژرفا شوند.

از دو روش موجک و ماتریس‌های نسبی برای برآورد شیفت استاتیک در بسامدهای مختلف استفاده شد (Song et al., 1995). ماتریس ضریب همبستگی خط A4 در جدول ۳ نشان داده شده است. مشخص است که ضریب همبستگی بین بسامدهای کوچک و بزرگ کم است که نشانگر عدم همبستگی ویژگی‌های الکتریکی در ژرفاهای مختلف است و این بدان معنی است که تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های الکتریکی لایه‌های سطحی و ژرف وجود دارد. در بسامدهای بالا مقدار ضریب همبستگی افزایش می‌یابد که نشانگر تشابه ویژگی‌های الکتریکی است. ضریب همبستگی در بسامدهای کم به سرعت افزایش می‌یابد که نشانگر همگنی بیشتر ویژگی‌های الکتریکی لایه‌های ژرف است. از این رو بر اساس ماتریس‌های ضریب همبستگی وجود ناهمگنی الکتریکی در کانسار شیانشی تأیید می‌شود. این ناهمگنی الکتریکی به قدری قوی است که به مقدار قابل توجهی شیفت استاتیک را کاهش می‌دهد. افزون بر آن به‌کارگیری دوقطبی پتانسیل بزرگ (۵۰ متر) در کاهش تأثیرات شیفت استاتیک مؤثر است. با وجود تمامی این تدابیر زمانی که ضریب همبستگی بین بسامدهای کمینه و بیشینه بزرگ می‌شود شیفت استاتیک در برخی خطوط برداشت نمود می‌یابد. در چنین حالتی که مانند آن در خط‌های A1 و A2 دیده می‌شود ویژگی‌های الکتریکی در ژرفاهای مختلف تقریباً مشابه هستند.

به منظور ارزیابی و برآورد تأثیر شیفت استاتیک، چندین موقعیت نابهنجار تیپیک انتخاب شده و با روش موجک تک‌بودگی محاسبه شد که نتایج مربوطه در جدول ۴ آورده شده‌اند. در تئوری تک‌بودگی ساختارهای بزرگ نابهنجار و زمین‌شناسی ژرف مثبت و کم ژرفا منفی است. از جدول ۴ می‌توان دریافت که برخی ساختارهای بزرگ با مقاومت ویژه کم در ژرفاهای شیانشی وجود دارد که تک‌بودگی مثبت دارند. برای نابهنجاری‌هایی که تحت تأثیر استاتیک ایجاد شده‌اند تک‌بودگی منفی است. شکل ۵ – ب مقطع کاذب مقاومت ویژه خط ۴ را پس از اعمال تصحیحات نزدیک میدان و شیفت استاتیک با استفاده از روش موجک تمام زون نشان می‌دهد.

۶ – نتیجه‌گیری

پردازش و تفسیر کل داده‌های ژئوفیزیکی دریافت شده در تمامی هشت خط صورت پذیرفته است. شکل ۶ مقطع زمین‌شناسی خط A5 را به عنوان یک تفسیر زمین‌شناسی تیپیک ارائه می‌کند. نتایج به‌دست آمده شامل موارد زیر هستند.

– گسل‌های شیانشی و گانجی‌پین کنترل مرزهای بخش بالایی و شمالی کانسار شیانشی را عهده‌دار هستند.

– برخی ساختارهای جدید مانند گسل شیاجوشی و بخش میانی گسل گانجی‌پین در منطقه شناسایی شدند.

– برخی گسل‌های نرمال با شیب بسیار تند رگه‌های طلادار پروتروزوییک را بریده و موجب جابه‌جایی آنها تا چند صد متر شده است.

– زون‌های کانه‌زایی امیدبخش بین خطوط A1 و A2 در باختر شیانشی وجود دارد.

با درنظر گرفتن زمین‌شناسی منطقه، تمامی چاه‌های حفاری شده در محدوده نابهنجاری سی.اِس.اِی.اِم.تی قرار دارند. بسیاری از گسل‌های نرمال بین‌لایه‌ای، رگه‌ها را در گمانه‌ها قطع کرده و تمامی اطلاعات به‌دست آمده نشانگر زون‌های نابهنجار ژئوفیزیکی است.

بر اساس اطلاعات بیان شده و داده‌های زمین‌شناسی و چاه‌نگاری نتایج زیر به‌دست آمد:

مکان، ابعاد، ژرفا و امتداد زون‌های کانه‌زایی توسط سی.اِس.اِی.اِم.تی به نقشه درآورده شد.

دو زون کانه‌زایی غنی اصلی در منطقه مورد مطالعه دیده شد. رگه‌های کانه‌زایی ژرف در کانسار، شکل S وارونه را از دید پلان نشان می‌دهند. در مقطع قائم رگه‌ها به شکل لنزهای بزرگی دیده می‌شوند که گاه توسط سری گسل‌های نرمال قطع و جابه‌جا شده‌اند. هیچکدام از این رگه‌ها بیرون از خط A8 تداوم ندارند.

ویژگی‌های الکتریکی غیرمشابه لایه‌های مختلف برای تشخیص و به نقشه در آوردن آنها به‌کار برده شده‌اند. افزون بر آن ساختارهای اصلی منطقه مانند برخی گسل‌های اصلی ردیابی شده و به نقشه درآمدند.

کانه‌سازی در باختر خطوط طراحی شده مانند خطوط A1 و A2 قوی‌تر از خطوط خاوری یعنی A7 و A8 است.

و بر اساس نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌شود:

برخی زون‌های امیدبخش پراکنده در باختر منطقه مورد مطالعه هستند که نیاز به بررسی‌های دقیق‌تر دارند. بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، چاه‌پیمایی و ژئوفیزیکی باختر خط A1 برای انجام اکتشافات بیشتر پیشنهاد می‌شود. به‌کارگیری روش

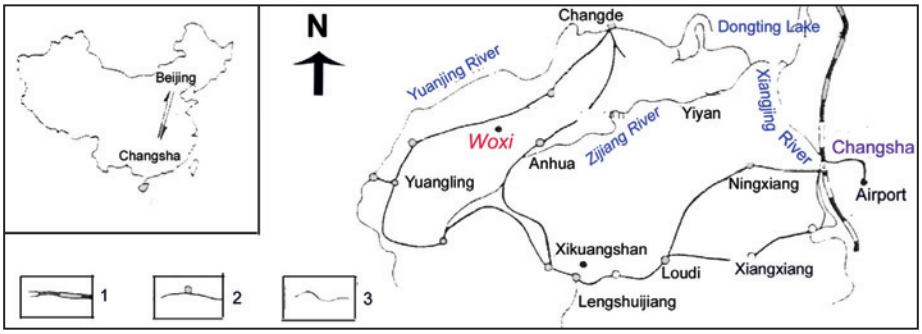
سی.اِس.اِی.اِم.تی در شبکه‌های چگال‌تر اطلاعات دقیق‌تری را در مورد زون‌های کانه‌زایی به ما خواهد داد.

سی.اِس.اِی.اِم.تی، زون‌های کانه‌زا با مقاومت ویژه کم را مکان‌یابی می‌کند اما به منظور انجام حفاری‌های دقیق‌تر و دیگر کارهای اکتشافی و تعیین موقعیت دقیق رگه‌های هدف، به‌کارگیری و اعمال روش قطبش القایی به عنوان یک روش مکمل توصیه می‌شود.

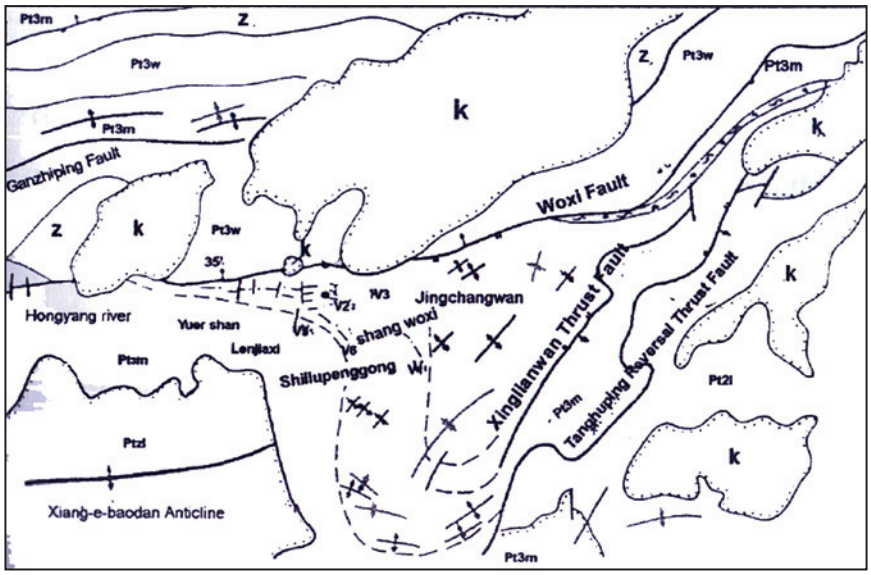
به‌کارگیری روش سی.اِس.اِی.اِم.تی تانسور برای انجام مطالعات ساختارهای کنترل‌کننده در منطقه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

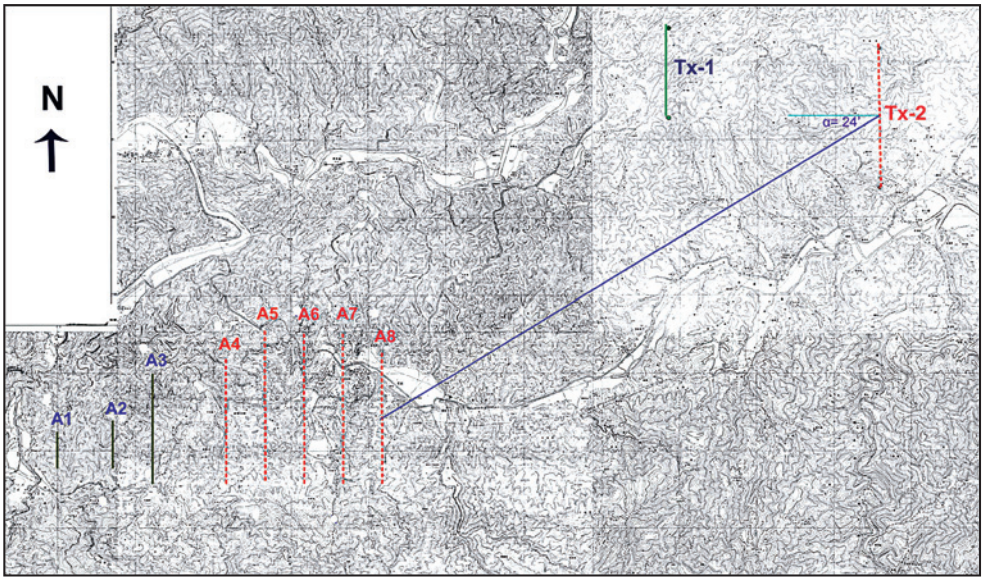
نویسنده از آقایان شی جنجو و جان شیانرون برای کمک‌هایشان در انجام برداشت‌های صحرایی سپاسگزاری می‌نماید.



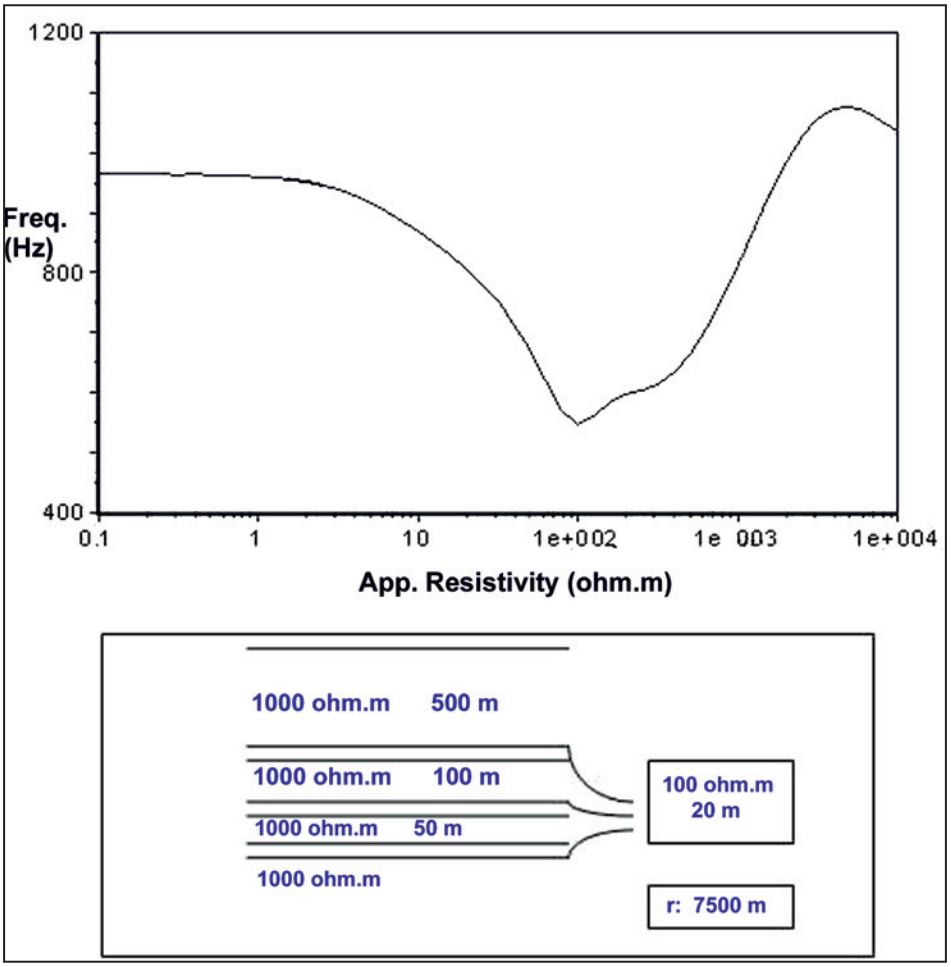
شکل ۱- نقشه نمادین موقعیت جغرافیایی کانسار شیانشی و مسیرهای ارتباطی. ۱) راه‌آهن، ۲) بزرگراه و ۳) رودخانه (بدون مقیاس).



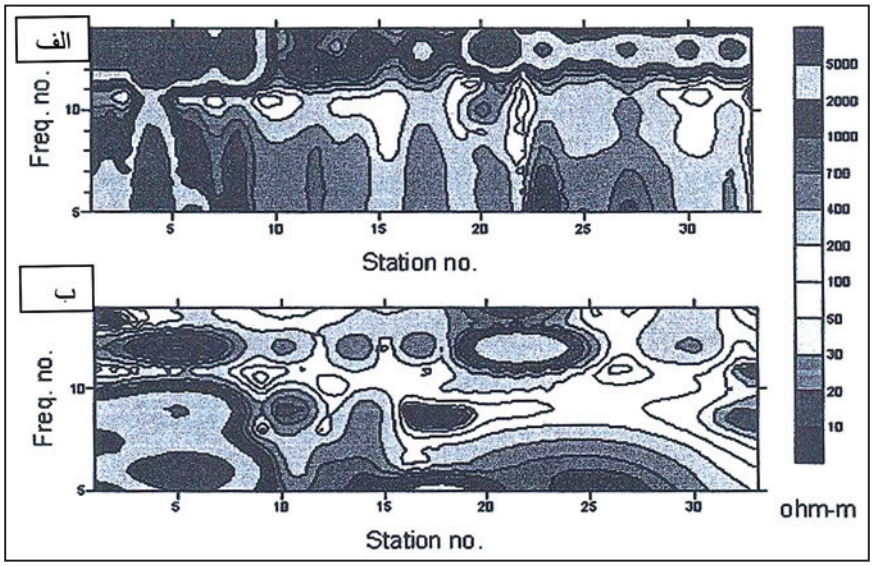
شکل ۲- ساختارهای منطقه شامل کمان و ساختارهای با امتداد باختری- خاوری و شمال خاوری.



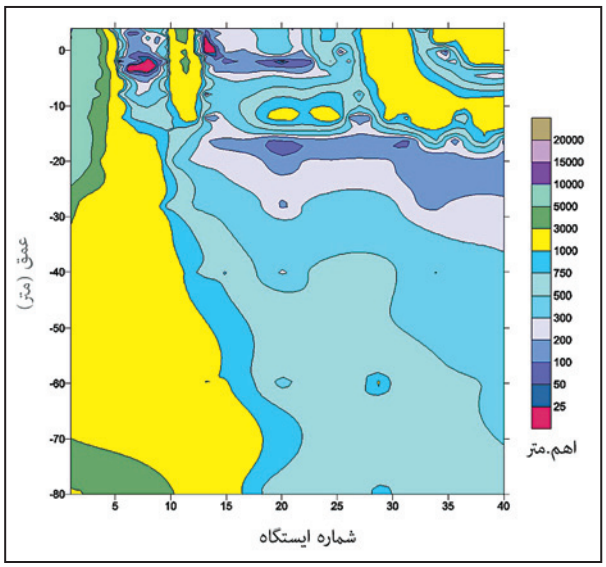
شکل ۳- مکان دوقطبی‌های طراحی شده و خطوط برداشت در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴- منحنی سونداژ- مقاومت ویژه ظاهری سی.اِس.اِی.اِم.تی که نمایانگر تیپ شاخص H است.



شکل ۵ - مقطع کاذب مقاومت ویژه ظاهری. الف) خام و ب) پردازش شده پس از اعمال تصحیحات نزدیک- میدان و شیفت استاتیک با بهره‌گیری از موجک تمام- زون.



شکل ۶- مقطع کاذب ژرفای ظاهری مقاومت ویژه ظاهری کاگنیارد تمام زون خطA5، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰.

جدول ۱- موقعیت مکانی و دیگر ویژگی‌های خطوط برداشت و دوقطبی‌های فرستنده.

شماره خط	مختصات (درجه)	تعداد ایستگاه‌ها	فاصله از فرستنده	بزرگ‌ترین زاویه	مختصات و طول دوقطبی‌ها
A1	(487528, 3155913) (487528, 3155465)	10	7840		Tx1 AB=1160 m (495368, 3161113) (495368, 3159953)
A2	(488239, 3156063) (488239, 3155465)	13	7130		
A3	(488748, 3156663) (488748, 3155264)	27	6620	27°	
A4	(489688, 3156863) (489688, 3155264)	33	8380		Tx2 AB=1860 m (498068, 3160913) (498068, 3159053)
A5	(490188, 3157212) (490188, 3155264)	40	7880		
A6	(490688, 3157212) (490688, 3155264)	40	7380		
A7	(491188, 3157212) (491188, 3155264)	39	6880		
A8	(491688, 3156963) (491688, 3155264)	35	6380	24°	

جدول ۲- نتایج تست‌های صحرایی و آزمایشگاهی بر روی ویژگی‌های الکتریکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه.

پارامتر های فیزیکی تعداد سنگ‌شناسی لایه‌ها	PFE (%)				ρ_S (ohm.m)			
	اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه			اندازه‌گیری شده در صحرا	اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه			اندازه‌گیری شده در صحرا
	تعداد نمونه‌ها	بازه واریانس	مُـــد		تعداد نمونه‌ها	بازه واریانس	مُـــد	
اسلیت بنفش، خاکستری	17	1.0-2.4	1.2	0.8-1.0	17	397-1857	1047	800-1600
اسلیت دگرسان رنگ پریده	13	0.4-4.9	2.9	1.6-2.3	13	239-2988	1135	500-1000
اسلیت کانه‌زا شده	28	2.8-9.3	4.5	6.0-8.0	28	430-1180	670	100-600
شیلیت	15	2.3-4.6	3.8	6.0-8.0	15	508-1270	720	100-700
استیبنیت	18	4.7-14.0	9.0	6.0-8.0	18	80-636	213	100-300
اسلیت کانه‌زا و سیلیسی شده	8	3.3-7.0	5.4	3.0-5.0	8	700-2198	1543	1600-2000
برش زمین ساختی (ساختاری)	9	1.8-5.4	2.6	2.0-3.0	9	1080-2908	1728	1500-2000
ماسه‌سنگ قرمز								100-300

جدول ۳- ماتریس همبستگی خط در کانسار شیانشی.

	F14	F13	F12	F11	F10	F09	F08	F07	F06	F05
F14	1.00									
F13	0.22	1.00								
F12	0.43	0.26	1.00							
F11	0.21	0.14	0.68	1.00						
F10	0.15	0.17	0.71	0.90	1.00					
F09	0.21	0.11	0.63	0.97	0.81	1.00				
F08	0.20	0.11	0.63	0.94	0.79	0.97	1.00			
F07	0.19	0.13	0.64	0.97	0.82	1.00	0.97	1.00		
F06	0.20	0.14	0.66	0.97	0.83	0.99	0.97	1.00	1.00	
F05	0.21	0.15	0.69	0.95	0.83	0.98	0.96	0.99	0.99	1.00

جدول ۴- نتایج تک‌بودگی محاسبه شده توسط روش موجک در تمامی هشت خط برداشت شده و توضیحات مربوط به آنها. شیفت استاتیک‌ها با استفاده از دیگر ویژگی‌های زمین‌شناسی و نتایج محاسبات تک‌بودگی قابل تشخیص هستند.

شماره خط	ایستگاه‌ها	تک بودگی	توضیحات
A1	8~10	0.1354	رگه
A2	15~16	- 0.1846	تأثیر استاتیک
A3	8~12	0.2344	گروه رگه
	14~17	0.1896	گروه رگه
	19~20	- 0.2137	تأثیر استاتیک، خطوط برق
A4	18~24	0.3041	گروه رگه
	30~32	- 0.1095	تأثیر استاتیک، زون گسلی
	8~10	0.0341	تأثیر استاتیک زون گسلی عریض
A5	10~12	- 0.0543	تأثیر استاتیک، زون گسلی
	18~26	0.4038	گروه رگه
	32~34	- 0.1364	تأثیر استاتیک، زون گسلی
A6	6~8	- 0.1031	زون گسلی
	18~24	0.2832	گروه رگه
	30~32	- 0.2043	تأثیر استاتیک
A7	21~24	0.2376	گروه رگه
	32~34	- 0.2345	تأثیر استاتیک
A8	22~28	0.4273	گروه رگه
	30~32	- 0.2168	تأثیر استاتیک

References

Cai, C. & Li, Z., 1986- Gold minerals in China and the characteristics of their occurrences. In: 14 th gen. Meet. Intern. Miner. Assoc., Stanford (Calif.), July 13-18, Abstr. Progr. Washington, D.C., 67 pp.

Goldstein, M. A. & Strangway, D. W., 1975- Audio-frequency magnetotellurics with a grounded electric dipole source. Geophysics, 40, 1[3].

Huang, J., 1994- Main Structural geology units of China. Beijing: Geology Press.

Lakanen, E., 1986- Scalar audiomagnetotellurics applied to base-metal exploration in Finland. Geophysics, 51(8), pp. 1628-1646.

Niu, H. & Ma, D., 1992- Geology of stratabound gold deposits in West Hunan. Geology of Mineral Deposit, 11[1].

Report of Guanzhuang Quadrangle, 1996- 1:50000 Geology Map (H49 E 021012), Hunan bureau of geology and mineral resources.

Sandberg, S. K. & Hohmann, G. W., 1982- Controlled-source audiomagnetotellurics in geothermal exploration. Geophysics, 47(1), pp. 100-116.

Sang, J. & Ho, S. E., 1987- A review of gold deposits in China. Geol. Dept. Univ. Extension, Univ. of W. Australia, pub. 11, pp. 307-320.

Song, S., Tang, J. & He, J., 1995- Wavelets Analysis and the Recognition Separation and Removal of the Static Shift in Electromagnetic Soundings, ACTA GEOPHYSICA SINACA, Vol.38,No.1, pp. 131-141.

Tang, J. & He, J., 1994- New Definitions of Full-zone Apparent Resistivity In Frequency Domain Electromagnetic Soundings Using a Grounded Electric Dipole. ACTA GEOPHYSICA SINACA, Vol.37,No.3, pp. 483-493.

Telford, W. M., Geldart, L. P. & Sherif, R. E., 1995- Applied Geophysics, Second Edition. Cambridge University Press.

The Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1995- Annals of Hunan Geology, Geological Publishing House, Beijing, ISBN 7-116100176-x, pp. 664- 720.

Xie, X., 1992- structural units division of Hunan and their geophysical features. Hunan Geology, Vol. 11, no. 4, p. 334-342.

Zonge, K. L., Hughes, L. J. & Emer, D. F., 1986- The use of IP, CSAMT, and TEM in mineral exploration: 2nd Symp. on Expl. geophys. abstracts, Xian.

Scalar CSAMT (Controlled Source Audio Magnetotelluric) Applied to Xiangxi Au-Sb-W Deposit, Hunan, China

I. Vosoughi Niri [1*]

[1] Ph.D., Geovision Geophysical Services Co., Tehran, Iran

Received: 2008 February 02 Accepted: 2013 May 15

Abstract

The Scalar controlled-source audio magnetotellurics (CSAMT) survey was carried out over the Xiangxi Au-Sb-W deposit and 237 sites in eight lines were acquired. The Lines were designed in NS direction to acquire data in TM mode approximately perpendicular to general trend of the area's structures. The survey produced apparent resistivity contour maps at ten frequencies: 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, and 4096. The CSAMT data provided important information about mineralized layers and structures in the study area so that along with detection, mapping and defining parameters of some mineralized zones, detection of some faults were made possible. Follow-up detailed geological mapping and drilling results verified most of the results of the work.

Keywords: Scalar CSAMT, Resistivity Model, Static Shift, All-Zone Apparent Resistivity, Xiangxi Deposit.

For Persian Version see pages 59 to 66

*Corresponding author: I. Vosoughi Niri; E-mail: dr.vosoughi@gmail.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional