



تعیین مناطق کانی‌سازی با استفاده از پردازش داده‌های قطبش‌القای طیفی و مقاومت‌سنجی در منطقه تپه‌سرخ ایرانکوه

نوشته : علیرضا عرب امیری* و دکترنادر فتحیان‌پور**

Determination of mineralization zones using interpretation of SIP and Resistivity Data in Tappeh Sorkh Area, Iran-kuh

By: A. R. Arab Amiri*, & Dr. N. Fathianpour **

چکیده

دسترسی به مواد معدنی اولیه یکی از ملزومات گام نهادن در شاهراه توسعه است. این درحالی است که منابع سهل‌الوصول سطحی رو به اتمام است. لذا بهره‌گیری از روش‌های نوین اکتشافی به منظور دستیابی به ذخایر عمیق‌تر گریز ناپذیر است. باتوجه به دلایل فوق، در این مقاله سعی بر آن است تا با به‌کارگیری نتایج مطالعات زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی سطحی، ضمن تکمیل مطالعات مذکور، با استفاده از روش‌های نوین زمین فیزیکی اکتشافی موقعیت مکانی زون کانی‌سازی سرب و روی غرب معدن تپه‌سرخ (از معادن مجتمع معدنی باما، ایرانکوه) تعیین شود. متداول‌ترین روش‌های زمین‌فیزیکی قابل‌استفاده در اکتشاف کانسارهای سولفیدی سرب و روی روش‌های قطبش‌القای و مقاومت‌سنجی است. از مزایای به‌کارگیری روش قطبش‌القای امکان انجام اندازه‌گیری‌های قطبش‌القای طیفی می‌باشد. در این پژوهش، از این روش نسبتاً جدید، در حوزه زمان استفاده شد. پارامترهای ثابت زمانی ظاهری، وابسته بسامد ظاهری و بارپذیری حقیقی استخراج گردید. با استفاده از نتایج پارامتر ثابت‌زمانی میانگین دانه‌بندی دانه‌های فلزی در منبع تولیدکننده قطبش‌القای استنباط گردید. همچنین از نتایج پارامتر وابسته بسامد، میزان پراکندگی دانه‌های فلزی (بافت کانی‌سازی) تعیین شد. باتوجه به اینکه نتایج خام اندازه‌گیریها اطلاعات کمی دقیق و مطمئنی درباره عمق و هندسه توده‌های کانی‌سازی شده زیرسطحی در اختیار قرار نمی‌دهند؛ با استفاده از مقاطع حاصل از پارامترهای قطبش‌القای طیفی و مدل‌سازی‌های معکوس (هموار و پارامتری) برای تعیین محلهای احتمالی، گسترش‌های جانبی و قائم کانی‌سازی‌های زیرسطحی استفاده شد.

کلید واژه‌ها: قطبش‌القای طیفی، مقاومت‌سنجی، سرب و روی، اکتشاف، بارپذیری، وابسته بسامدی، ثابت‌زمانی، مدل‌سازی معکوس هموار و پارامتری

Abstract

Accessibility to industrial minerals and ores is one of the necessities to facilitate the development. Meanwhile, it is clear that the shallow mineral resources are near to exhaust, therefore, using modern exploration methods to attain deeper mineral deposits is inevitable. An attempt has been made in this paper to apply and accomplish the results of geological and surface geochemical studies for determination of spatial mineralized zones in western area of Tappeh Sorkh lead - zinc mine (which is one of Bama mining complex mines).

IP and Resistivity techniques are the most popular geophysical methods for exploration of Pb and Zn sulfide deposits. There are some advantages in applying SIP method, such as identification of mineralization texture, grain structure, type of material, ore phase and parasitical data. In this study, a relatively new method of time domain SIP was used and apparent time constant, apparent frequency -dependent and true chargeability parameters were extracted. By using the results of time constant parameter, the average of metal grain size was determined, also the amount of metal grain dispersion (mineralization texture) was determined by applying the results of frequency dependent parameter. Probable mineralization places were determined by using SIP sections. Since the results of raw data do not indicate accurate information about the depth and geometry of mineralization, smooth and parametric inverse modeling were applied to determine probable zones and vertical and horizontal extent of mineralization.





Key words: Spectral induced polarization (SIP), Resistivity, Lead and zinc, Exploration, Chargeability, Frequency - dependent, Time constant, Smooth and parametric inverse modeling.

مقدمه

تکامل تمدن بشری بر پایه وجود فلزهای پایه مانند آهن، مس، سرب، روی و ... بوده و چرخ تولید آنها را مواد انرژی‌زایی همچون نفت، گاز، زغال‌سنگ و اورانیم به حرکت درمی‌آورند؛ که همگی آنها از زمین استحصال می‌شوند. از آنجا که منابع سهل‌الوصول سطحی، به مرور با روشهای ساده کشف شده و بهره‌برداری شده‌اند، برای تداوم تکامل، به‌کارگیری روشهای جدیدتر برای رسیدن به منابع عمیق‌تر زیرزمینی ضروری است. امروزه صرفاً با به‌کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی، نمی‌توان به منابع مدفون دست یافت؛ بلکه باید از روشهای مکمل مانند زمین‌فیزیک اکتشافی نیز بهره برد. این روشها ارزان و قابل اعتماد هستند و در بسیاری موارد، باعث کاهش ریسک بزرگ سرمایه‌گذاری می‌شوند.

در محدوده مورد مطالعه، تنها نتایج مطالعات زمین‌شناسی سطحی و برداشتهای زمین‌شیمیایی در مقیاس 1:5000 در دسترس بود؛ لذا هدف اصلی این است که با انجام مطالعات زمین‌فیزیک، در مناطق دارای بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی وسیع‌تر سرب و روی، در صورت تایید پتانسیل کانی‌سازی با اطمینان بیشتری درخصوص ادامه فعالیت‌های اکتشافی برنامه ریزی نمود. از آنجا که زایش ماده معدنی در مناطق مجاور، عموماً ساخت سولفید رگه‌ای و گاه افشان از خود نشان می‌دهد، بهترین روش مطالعه زمین‌فیزیک در این خصوص، روش قطبش‌القای و روش مقاومت ویژه الکتریکی است. شایان ذکر است که در پاره‌ای از موارد، بررسی‌های مغناطیس‌سنجی نیز به‌طورمکمل نتایج با ارزشی نشان می‌دهند که به دلیل عدم وجود امکانات در حین اجرای این پژوهش، به‌کارگرفته نشدند.

موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده مورد مطالعه

مجمع معادن ایرانکوه در بیست کیلومتری جنوب غربی شهرستان اصفهان در طول جغرافیایی $51^{\circ} 32'$ تا $45^{\circ} 51'$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 28'$ تا $32^{\circ} 37'$ و در دامنه‌های شمالی و جنوبی ایرانکوه (شاهکوه سابق) واقع شده است.

شکل 1 موقعیت کانسارهای شرکت معدنی باما و راههای دسترسی به محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محدوده مورد مطالعه، در یال شمالی ایرانکوه و در محدوده 300 تا 400 متری مرز باختری معدن تپه‌سرخ واقع شده‌است.

تاریخچه مطالعات و نتایج اکتشافی قبلی

در سال 1354، نخستین مطالعات زمین‌فیزیکی توسط شرکت C.G.G. در محدوده‌ای به وسعت 5 هکتار صورت گرفته و روشهای مورد استفاده قطبش‌القای، مقاومت‌ویژه الکتریکی و پتانسیل خودزا بوده‌است.

در سال 1356، مؤمن‌زاده به بررسی مسائل زمین‌شناسی ناحیه پرداخت. در سال 1361 راستاد به شرح وقایع زمین‌شناسی و حوادث زمین‌ساختی منطقه پرداخت و نقشه زمین‌شناسی کل منطقه را در قالب دکترای خود تهیه نمود، که در حال حاضر کامل‌ترین راهنمای زمین‌شناسی منطقه است.

در سالهای 1360، 1366 و 1367، آخرین مطالعه زمین‌فیزیکی توسط گروه زمین‌فیزیک سازمان زمین‌شناسی کشور با به‌کارگیری روش قطبش‌القای و با استفاده از آرایه‌های مستطیلی و دوقطبی- دوقطبی انجام گرفت.

در سال 1377، مطالعه زمین‌شیمیایی سطحی، در آخرین مطالعه سیستماتیک اکتشافی پیش از برداشتهای زمین‌فیزیکی اخیر بوده‌است.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه معدنی ایرانکوه از نظر زمین‌شناسی، شرایط استثنایی و ویژه‌ای دارد (راستاد، 1361). به همین دلیل جدالهای علمی بین زمین‌شناسان در مورد علل کانه‌زایی آن هموار رونق دارد. تا به حال نظریه‌های متعددی در مورد زمین‌شناسی منطقه و زایش ماده معدنی ارائه شده؛ که گاهی این نظریات اختلاف زیادی باهم دارند. همین امر مسئله را کمی پیچیده می‌کند. اما صرفنظر از این‌گونه مسائل، نوع موادمعدنی کاملاً شناخته‌شده و افق‌های قرارگیری آنها از منظر چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی مشخص شده‌است. قدیمی‌ترین سنگهای ایرانکوه مربوط به ژوراسیک پایینی است که تنها رخنمون‌های آن در گسل شمالی در گردنه‌آنبیل در شمال باختر منطقه قابل مشاهده‌است. در این منطقه سنگهای رسوبی سن ژوراسیک میانی و بالایی (مالم و دوگر) وجود ندارد.

سطح اصلی منطقه پوشیده از رسوبات لایه‌ای کربناتی است که به شکل یک ناپیوستگی بر روی رسوبات ژوراسیک زیرین قرار گرفته است. این رسوبات شامل تناورهای پیوسته‌ای از سن باریمن به آلبین پایینی است. ضخامت این سنگها بیش از 800 متر و متشکل از سنگ آهک و دولومیت به همراه مقادیر ناچیزی شیل و مارن است. این رسوبات به





هماتیت، کوارتز، باریت، اسفالریت و پیریت در ابعاد ریزدانه با بافت برشی اسپارایتی در زونهای کانی سازی شده یافت شدند. تقریباً در همه مقاطع، پدیده دولومیتی شدن دیده می‌شود. شکل 3 دو نمونه تیغه نازک و مقطع صیقلی مربوط به همین مطالعات را نشان می‌دهد.

مطالعات زمین‌فیزیکی

در عمل با در نظر گرفتن عوامل زمین‌شناختی، اقتصادی و فناوری، هندسه طبیعی کانسار، شیب، امتداد و عمق کانسار، عیار حد و مسائل فنی استخراج، عمق کاوش، بودجه در نظر گرفته شده، اطلاعات جمع‌آوری شده از گذشته و فرایندهای اجرایی، دو نیمرخ به فاصله 100 متر از یکدیگر به نامهای 300W و 400W به ترتیب در فاصله 300 و 400 متری باختر معدن تپه‌سرخ بر روی گسترده‌ترین بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی پیاده شد (به دلیل محدودیت، در ادامه تنها نتایج بررسیهای مربوط به نیمرخ 400W ارائه می‌شود). امتداد نیمرخ‌ها تقریباً عمود بر امتداد لایه‌بندی زمین‌شناسی منطقه و با آزیموت 208 درجه در نظر گرفته شد. آرایش دوقطبی-دوقطبی با فواصل برداشت بیست متر انتخاب شد. تعداد گام‌ها حداکثر هشت گام در نظر گرفته شد، چرا که در گام‌های بالاتر از هشت، نسبت سیگنال به نوفه به شدت افت می‌کند و در عمل آنچه در برداشت‌های با گام‌های بالاتر ثبت می‌شود، مقادیر نوفه است (Luo & zang, 1998). در نهایت، عمق بررسی به 80 تا 90 متر می‌رسد.

در پروژه‌های مشابه در کشور ما، معمولاً پیش از آنکه هیچ عملیات آماده سازی یا فیلترگذاری خاصی بر روی داده‌های برداشت شده اعمال شود، مقاطع بار پذیری و مقاومت ویژه ظاهری رسم و تفسیر می‌شود. اما از آنجا که نتایج خام در اندازه‌گیریهای زمین الکتریک نمی‌توانند هیچ‌گونه اطلاعات کمی درباره عمق یا توزیع مقاومت‌های ویژه الکتریکی در زیرزمین بیان کنند؛ لذا مدل‌سازی داده‌ها اجتناب‌ناپذیر است (طالبی مزرعه شاهی، 1377 و Ward, 1990). شکل 4 نشانگر شبه‌مقاطع مقاومت‌سنجی و بار پذیری داده‌های خام برداشت شده نیمرخ 400W است.

در زمین‌فیزیک و علوم وابسته برداشتها به صورت سامانمند و در شرایط کنترل شده انجام می‌شود و نتایج این برداشتها، به صورت مقادیر عددی ارائه می‌شوند. این مشاهدات را داده‌های تجربی یا مشاهده‌ای می‌نامند. برای هر نوع نتیجه‌گیری از این داده‌ها، باید رابطه بین توزیع خواص فیزیکی سامانه مورد مطالعه (زمین) و پاسخ زمین‌فیزیکی قابل مشاهده معلوم شود. دستگاه معادلاتی که این رابطه را نشان می‌دهد، نظریه مستقیم (مدل‌سازی پیشرو) نامیده می‌شود. استنباط خواص فیزیکی سامانه مورد مطالعه از روی

عنوان سنگ میزبان ذخایر معدنی ایرانکوه قلمداد شده و به هفت افق مجزا تفکیک می‌شوند:

* کنگلومرای قاعده ودولومیت ماسه‌ای صورتی تا سرخ k_1

* آهک اربیتولین‌دار خاکستری متمایل به زرد k_2^l

* دولومیت سرخ تا قهوه‌ای و آهک خاکستری k_3^l (واحد اصلی شروع ماده معدنی)

* آهک‌های خاکستری با لایه‌بندی ضخیم تا توده‌ای حاوی فسیل اربیتولین k_4^l

* آهک‌های خاکستری توده‌ای اربیتولین‌دار و رودیست‌دار kl

* سنگ‌های شیلی و مارنی با عدسی‌هایی از آهک k_{5sh}

* مارن‌های آهکی اربیتولین‌دار k_6^l

شیوه تشکیل کانسارهای سرب و روی در منطقه ایرانکوه

بعضی از محققان بر این باورند که سازندهای یال‌های شمالی و جنوبی ایرانکوه از جانشینی متاسوماتیک در آهک‌های کرتاسه به‌وجود آمده‌اند (Burnol, 1968). یک مدل اپی‌ژنتیک نیز برای نهشته‌های ایرانکوه پیشنهاد شده، که این مدل با ماهیت ناهم‌شیب آنها، جایگزینی در طول خط گسل ایرانکوه، افت نسبت ایزوتوپ‌های پایدار کربن دولومیت‌های میزبان به موازات کانی‌سازی و ویژگی‌های ایزوتوپی دولومیت و باریت در مرحله اصلی کانی‌زایی تایید می‌شود (غضبان، 1373).

پاراژنز کانسار سرب و روی منطقه ایرانکوه

مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع تهیه شده در نواحی سولفیدی نشانگر آن است که کانی‌سازی اولیه اساساً از جانشینی اسفالریت و گالن در سنگ‌های آهکی با توسعه ضعیف سیلیسی‌شدگی به‌وجود آمده‌است. غالباً اسفالریت و گالن به صورت منظم بر روی هم استقرار یافته‌اند. گاهی هم یک هسته گالن با نوارهایی از اسفالریت احاطه شده‌است که این حالت بسیار نادر است (Burnol, 1968). در این ناحیه آثار کانی‌سازی باریت و فلوریت نیز دیده می‌شود.

به‌منظور بررسی‌های بیشتر سنگ‌شناسی، بیش از پانزده نمونه مقطع صیقلی و نازک از محل مورد مطالعه برداشت شد که نتایج زیر حاصل بررسی‌های میکروسکوپی مربوط به این نمونه‌ها است.

کانی‌های کلسیت، دولومیت، اکسیدهای آهن مانند





ناهماهنگ و گاه متناقض هستند. در نتیجه، بینهایت مدل مناسب برای یک مجموعه از این داده‌ها وجود دارد. باید مدلی یافت که مشاهدات ما را به‌طور کامل تشریح کند و محدودیت‌های وارده از طرف فیزیک مسئله را پاسخگو باشد.

رگرسیون ریج، روشی برای برآورد ضرایب رگرسیون داده‌های نامتعاد است. در این روش ضرایب برآورد شده در مقایسه با برآوردهای کمترین مربعات به روش معمول، میانگین مربع خطای کوچک‌تری دارند. از آنجا که برآوردهای کمترین مربعات ریج پایدار بوده، تحت تاثیر تغییرات جزئی داده‌ها قرار نمی‌گیرند و میانگین مربعات خطا در آنها کمتر از روشهای معمول است؛ لذا مقادیر برآورد شده با این روش، در مقایسه با روشهای معمول، به مقادیر حقیقی ضرایب رگرسیون نزدیک‌تر است. چون مقادیر حقیقی مجهول هستند، استفاده از این روش در مواقعی که بین داده‌ها هم‌راستایی چندگانه بسیار بالایی وجود دارد، توصیه می‌شود (Telford et al, 1990 و Marquardt, 1963).

نتیجه معکوس‌سازی پارامتری داده‌های نیم‌رخ 400W با استفاده از نرم افزار RESIXIP2DI، در شکل 6 آمده است. جدول 1 نیز نشان‌دهنده ویژگی توده‌های زیرسطحی شناخته‌شده حاصل از مدل‌سازی پارامتری مربوط به همین نیم‌رخ است.

در این مقطع، علت پایین بودن مقاومت ویژه زمینه را می‌توان ناشی از گسترش شدید فعالیت زمین ساختی، سطح توپوگرافی نسبتاً آرام و گسترش دولومیت‌های آهن‌دار دانست. به نظر می‌رسد توده اصلی فلزی، توده شماره 2 باشد. احتمالاً بارپذیری بالا به علت وجود پیریت یا گالن است. البته وجود پیریت در منطقه، با بررسی‌های پراش پرتو ایکس روی چند نمونه نیز ثابت شده است. شکل 7 نتایج مربوط به یک نمونه از این تجزیه را نشان می‌دهد.

اما از آنجاکه همراهی گالن و اسفالریت نیز در منطقه ثابت شده؛ لذا احتمال وجود اسفالریت نیز دور از ذهن نیست. لازم به ذکر اینکه به علت پایین بودن بارپذیری ذاتی اسفالریت، امکان تشخیص آن از طریق این برداشتهای زمین‌فیزیکی دشوار است. توده گوه‌ای و سطحی شماره 4 نیز بارپذیری بالا و مقاومت ناچیز دارد. احتمال می‌رود این توده در ارتباط با پرشدگی ثانویه یک زون برشی یا گسلی با کانی‌های رسی باشد و احتمال کانی‌سازی فلزی در آن کمتر است.

همچنین در همه مواردی که تغییرات شیب سطح توپوگرافی بالاتر از 10 درجه است، لازم است تصحیح توپوگرافی انجام شود. چون اثر توپوگرافی باعث تغییر شکل ظاهری پاسخ توده مورد مطالعه در برداشتها و در بعضی از حالات باعث مخفی کردن بی‌هنجاری‌های واقعی موجود در زیر سطح می‌شود؛ از روش اجزای محدود برای تصحیح توپوگرافی

داده‌های مشاهده‌ای، یک روند معکوس است و ابزار کمی مورد نیاز برای رسیدن به آن، نظریه معکوس (مدل‌سازی معکوس) خوانده می‌شود (Luo & zang, 1998).

ورودی مدل‌سازی پیشرو، پارامترهای مدل است که با انجام محاسبات بر روی این پارامترها، پاسخ محاسبه شده یا معادل مصنوعی داده‌ها، به عنوان خروجی دریافت می‌شود. در روش مدل‌سازی پیشرو، با استفاده از روشهای عددی تفاضل محدود، تحلیل شبکه، اجزای محدود و معادله انتگرال، مدل‌ها تفسیر می‌شوند.

از آنجا که روشهای مدل‌سازی پیشرو کند و ضعیف هستند، برای کاهش ریسک عملیات اکتشاف مدل‌سازی‌های قدرتمند و سریع معکوس‌سازی جایگاه ویژه‌ای در مسائل زمین‌فیزیکی یافته است.

ورودی مدل‌سازی معکوس داده‌های مشاهده‌ای است که با انجام محاسبات مربوط به نظریه معکوس‌سازی بر روی آنها پارامترهای مدل به عنوان خروجی دریافت می‌شود (Luo & zang, 1998).

- مدل‌سازی معکوس هموار

یکی از روشهای مناسب برای معکوس‌سازی داده‌های اندازه‌گیری شده که قطعاً دارای خطاست و از حیث تعداد هم ناقص است؛ اعمال شرایط هموار است (Luo & zang, 1998). این روش، راهی ساده و ارزان برای حل مسائل ناپایدار یا مسائل با داده‌های کم است و در عین حال، اگر محدودیت‌های اولیه یا مدل اولیه در دسترس نباشد، بهترین است (Yungul, 1996). در فرمول‌بندی مسائل معکوس‌سازی هموار، مطلوب آن است که پارامترهای مدل نسبت به مکان، تغییرات کمی همراه داشته باشند. در این صورت می‌توان اختلاف بین پارامترهای مجاور را کمینه کرد (Luo & zang, 1998).

نتیجه معکوس‌سازی هموار داده‌های نیم‌رخ 400W با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل 5 آمده است. در مقطع بارپذیری، می‌توان توده اصلی کانی‌سازی را در فاصله 160 تا 200 متری مبدا حدس زد. که در قسمتهای سطحی‌تر دو شاخه شده و در فواصل 180 تا 120 متری و 180 تا 220 متری میدا قابل مشاهده است. در این نیم‌رخ، آثار شکستگی‌های زیادی دیده می‌شود که احتمال وجود کانی‌سازی و اثر گسل اصلی منطقه را تقویت می‌کند.

- مدل‌سازی معکوس پارامتری

داده‌های برداشت‌شده صحرائی، دارای دقت کم و





ثابت‌زمانی فراهم می‌کند.

نتایج فوق تنها برای یک دانه منفرد و برای سنگهای کانی‌سازی شده با دانه‌های هادی همگن معتبر است. اما سنگهای طبیعی دارای چندین عضو کانی‌سازی با دانه‌های کانی متعدد و دارای ثابت‌های زمانی مختلف می‌باشند. بنابراین، حتی اگر رفتار الکتروشیمیایی دانه‌های کانی و محلول درون آنها برای همه عضوهایی قطبش پذیر یکسان باشد (C یکسان باشد)، اختلاف مقادیر ثابت‌های زمانی باعث طیف گسترده مقاومت مختلط می‌شود و در نتیجه وابسته بسامد ظاهری کم می‌شود. اگر وابسته بسامد قطبش سطحی ($c^{(s)}$) نامیده شود، رابطه بین وابسته بسامد قطبش سطحی و حجمی به صورت رابطه 4 است. یعنی وقتی دانه‌های کانی فلزی همگن هستند، $c=c^{(s)}$ است و وقتی دانه‌ها ناهمگن هستند، $c < c^{(s)}$ است (Horel & Kennard, 1970b).

(4)

$$c \leq c^{(s)}$$

بر اساس رابطه 1، سه پارامتر قطبش‌القای طبیعی حوزه‌زمان یا بسامد عبارتند از C, τ, m ، که همگی وابسته به منبع قطبش‌القای هستند.

(m) بار پذیری، عبارت است از حاصل تقسیم ولتاژ باقیمانده بلافاصله پس از قطع جریان بر ولتاژ مشاهده شده درست پیش از قطع جریان. مقدار آن در فاصله (1 و 0) متغیر است (Apparao, 1997).

(τ) ثابت‌زمانی، تعیین‌کننده آهنگ افت ولتاژ باقیمانده، که مقدار آن با افزایش میانگین دانه‌بندی دانه‌های فلزی در منبع تولیدکننده قطبش‌القای افزوده می‌شود. در حقیقت، این پارامتر بیشتر وابسته به مربع اندازه متوسط دانه‌بندی است. در عمل این پارامتر دارای گستره تغییرات زیادی از چند میلی‌ثانیه تا چندین هزار ثانیه است و مبنایی است در تشخیص توده‌های قطبش پذیر از دیگر ساختارهاست (Apparao, 1997).

(C) وابسته بسامد، کنترل‌کننده انحنا منحنی‌افت است و از نظر فیزیکی وابسته به میزان پراکندگی دانه‌های فلزی در منبع تولیدکننده قطبش‌القای است. جدول 2، نشانگر گستره تغییرات وابسته بسامد برای سنگهای با کانی‌سازیهایی مختلف است (Apparao, 1997).

اندازه‌گیری قطبش‌القای طبیعی حوزه زمانی

تیمب در سال 1981 برای استفاده از روش قطبش‌القای طبیعی حوزه‌زمانی نشان داد که پاسخ رسیده به گیرنده در زمان t پس از قطع جریان I_0 بر اساس رابطه 5 است.

$$V(t) = m I_0 R_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{t}{\tau}\right)^{nc}}{\eta_{(nc+1)}} \quad (5)$$

داده‌ها استفاده شد. این روش بر این اساس استوار است که شبه‌مقطع زمین ناهموار در طول خط برداشت برای زمین همگن با مقاومت‌های ویژه یک اهم- متر مدلسازی می‌شود و مقاومت‌های ویژه ظاهری مشاهده شده، بر مقادیر متناظرشان تقسیم می‌شوند. در حقیقت در این فرایند، ضریب هندسی با یک روش بهنجارسازی، تصحیح می‌شود (طالبی‌مزرعه‌شاهی، 1377 و Loke & Barker 1996).

- روش قطبش‌القای طبیعی

اشاره شد که روش‌های الکتریکی مانند مقاومت‌سنجی و قطبش‌القای، در اکتشاف کانسارهای فلزی با بافت افشان اولویت خاصی دارند. از طرفی، چون اندازه‌گیری‌های قطبش‌القای قادر به تشخیص منابع مختلف تولیدکننده خود نیستند؛ لذا استفاده از قطبش‌القای طبیعی برای رفع این مشکل ضروری است (Pelton et al, 1978).

اندازه‌گیری قطبش‌القای طبیعی در دو حوزه بسامد، و زمان متداول است. برتری اندازه‌گیری حوزه زمانی نسبت به حوزه بسامد، سرعت بیشتر اندازه‌گیری‌ها و صرفه‌جویی در زمان است. به علت بالا رفتن ارزش زمان در اکتشاف، اندازه‌گیری حوزه‌زمانی به سرعت پیشرفت کرده است (Hohmann, 1975).

در سال 1978 پلتون و همکاران برای تفسیر پدیده قطبش‌القای طبیعی حوزه بسامد رابطه 1 را که به مدل کُل-کُل معروف است، به‌کار گرفتند (Johnson, 1984 و Tombs, 1981).

$$Z(i\omega) = Z(0) \left\{ 1 - m \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right] \right\} \quad (1)$$

$Z(i\omega)$ میدان مختلط برحسب اهم، $Z(0)$ مقاومت DC برحسب اهم، m مقدار بار پذیری بدون بعد، τ ثابت زمانی برحسب ثانیه، ω بسامد زاویه‌ای برحسب عکس‌ثانیه، c وابسته بسامد بدون بعد و $i = \sqrt{-1}$ است. با بهنجارسازی ($i\omega$) و $Z(0)$ از راه اندازه‌گیری آرایه و محاسبه مقاومت از رابطه 2:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} = KZ \quad (2)$$

K ضریب هندسی آرایه مقاومت مختلط مربوط به قطبش حجمی از رابطه 3 بدست خواهد آمد.

$$\rho(i\omega) = \rho(0) \left\{ 1 - m \left[1 - \frac{1}{1 + (i\tau\omega)^c} \right] \right\} \quad (3)$$

ثابت‌زمانی قطبش حجمی معمولاً کوچک‌تر از ثابت‌زمانی قطبش سطحی دانه‌های کانیهای رساناست. رفتارهای مختلف ثابت‌زمانی (τ) برای دانه‌های قطبش پذیر کانی‌سازی، پایه‌های نظری مناسبی را برای تشخیص توده‌های قطبش‌پذیر بر اساس ساختار آنها با استفاده از یک





بهرتر است از نتایج نهایی مدل‌سازی معکوس پارامتری استفاده گردد.

4 - انجام تصحیح توپوگرافی بر روی داده‌های با توپوگرافی بزرگ‌تر از 10 درجه ضروری است، چراکه شیب زیاد توپوگرافی باعث انحراف بیشتر خطوط جریان و به دنبال آن سطوح هم‌پتانسیل می‌شود. در نتیجه، اختلاف بین کمترین و بیشترین مقاومت ویژه ظاهری حاصل، بیشتر می‌شود که این امر باعث ایجاد بی‌هنجاری‌های دروغین و تضعیف بی‌هنجاری‌های واقعی می‌شود.

5 - با بررسی نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که مقاطع مربوط به داده‌های خام و مقاطع پارامترهای قطبش‌القای طیفی باهم تفاوت‌هایی دارند که در صورت تأیید نتایج مطالعات، می‌توان به پتانسیل‌های مفید استفاده از پارامترهای قطبش‌القای طیفی حوزه‌زمانی در تشخیص منابع تولیدکننده قطبش‌القای پی‌برد.

6 - یکی از عوامل مؤثر و کنترل‌کننده توزیع پارامترهای قطبش‌القای

طیفی، بافت و ساخت توده‌های کانی‌سازی شده است که در این میان بافت‌های افشان، رگه‌ای و پیوسته را می‌توان به‌خوبی و از طریق پارامتر ثابت‌زمانی از هم تمیز داد. همچنین وابسته بسامد در تعیین توزیع دانه‌بندی و تشخیص نوفه‌های جفت شدگی القایی به‌خوبی قابل استفاده است.

باتوجه به نتایج به دست آمده از مطالعات این مقاله و نتایج تحقیقات انجام‌شده و در حال انجام دیگر محققان دنیا، پیشنهاد می‌شود:

1 - از آنجاکه هیچ یک از روش‌های اکتشافی به تنهایی روش جامع و کاملی نیست و روش قطبش‌القای طیفی حوزه‌زمانی هم از این قاعده مستثنی نیست، لذا برای دستیابی به اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر، از روش‌هایی مانند مغناطیس‌سنجی و در صورت وجود ابزار و وسایل اندازه‌گیری از روش قطبش‌القای مغناطیسی در ادامه مطالعات استفاده شود.

2 - با توجه به مقاطع مربوط به مدل‌سازی معکوس و پارامترهای قطبش‌القای طیفی حوزه زمان پیشنهاد می‌شود دست کم یک گمانه اکتشافی به عمق تقریبی 135 متر بر روی نیمرخ 400W و در فاصله 140 متری مبدا نیمرخ با شیب 73 درجه و به سمت جنوب (عمود بر سطح زمین شیب‌دار) حفر شود. بدیهی است که تنها با بررسی نتایج حاصل از حفاری مذکور می‌توان در خصوص منابع ایجاد بی‌هنجاری‌های قطبش‌القای اطمینان مطلق حاصل کرد.

3 - از آنجاکه توپوگرافی محدوده برداشت کاملاً دویعدی نیست، پیشنهاد می‌شود از مدل‌سازی‌های سه‌بعدی که دقت عمل بیشتری نسبت به دویعدی دارند، استفاده شود. برای رسیدن به این هدف، لازم است داده‌ها با تراکم بیشتر

همان پارامترهای به کار رفته در مدل کل-کل $Z_0 = R_0, m, \tau, c$

و تابع گاما است. اکنون باید پارامترهای m, c, τ با اندازه‌گیری $V(t)$ مشخص شوند. دو روش عمده برای تشخیص وجود دارد که در این مقاله تنها به ذکر آنها اکتفا می‌شود. یکی روش ترسیم، دیگری روش عددی. اشکال روش ترسیم، زمان‌بر بودن و استفاده از روش سعی و خطا برای تشخیص پارامترهای مناسب است.

برای استخراج پارامترهای طیفی قطبش‌القای حوزه زمان در ناحیه مورد مطالعه، یک برنامه رایانه‌ای نوشته‌شد و پارامترهای مطلوب به دست آمد. شکل 8 نشان‌دهنده پارامترهای طیفی مربوط به نیمرخ 400W است.

مقادیر بزرگ ثابت‌زمانی بیشتر تمرکز با بافت و ساخت رگه‌ای و یکپارچه با ابعاد دانه‌بندی درشت را نشان می‌دهد. وابسته بسامد بزرگ (میانگین 0/42) نشانگر توزیع یکنواخت دانه‌بندی فلزی است. زون اصلی کانی‌سازی احتمالاً در فواصل 140 تا 200 متری قرار دارد. البته در فاصله 260 تا 280 متری مبدا نیمرخ نیز مقادیر بالای بارپذیری مشاهده می‌شود که ریشه‌ای نیست و احتمالاً ناشی از پرشدگی زون برشی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

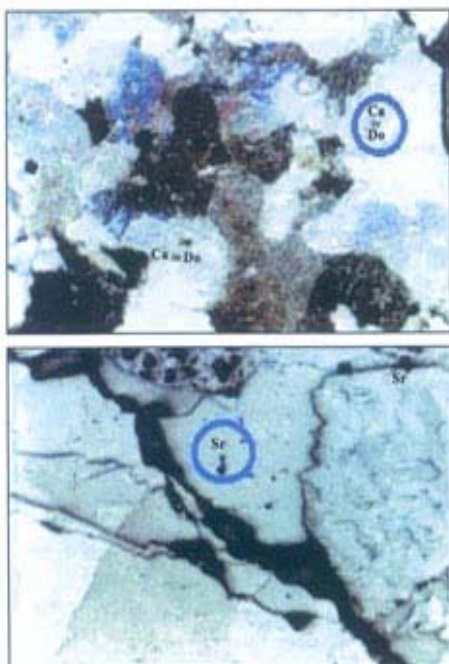
از مجموع مقاطع مدل‌سازی معکوس داده‌های اندازه‌گیری‌شده صحرائی و همچنین بررسی‌های طیفی داده‌های قطبش‌القای، نتایج آتی به دست آمد:

1 - به علت وجود نوفه در داده‌های اندازه‌گیری شده، نتایج متفاوت آرایه‌های گوناگون بر روی یک مدل خاص و وجود بی‌هنجاری‌های دروغین به همراه بی‌هنجاری‌های حقیقی، حتماً باید از مدل‌سازی معکوس به منظور اخذ موقعیت دقیق توده زیرسطحی استفاده شود تا محل‌های حفاری با دقت بیشتری تعیین گردد.

2 - با مقایسه مقاطع مدل‌سازی‌های مختلف نتیجه می‌شود که از بین روش‌های معکوس‌سازی، روش‌های هموار در مقایسه با روش‌های پارامتری نسبت به نوفه حساسیت کمتری دارند. همچنین از میان روش‌های پارامتری، روش رگرسیون ریبج به دلیل به‌کارگیری ضریب تعدیل مارکارت، در مقایسه با سایر روش‌های پارامتری نسبت به پارازیت حساسیت کمتری دارد و با یک حدس اولیه نسبتاً ضعیف هم می‌تواند به سوی مدل واقعی همگرا شود.

3 - روش معکوس‌سازی هموار، هاله‌ای از توده بی‌هنجاری را نشان می‌دهد که به تدریج به زمینه تقلیل می‌یابد. حال آنکه با استفاده از معکوس‌سازی پارامتری می‌توان محل دقیق توده را مشخص کرد. لذا جهت تعیین محل حفاری‌های اکتشافی





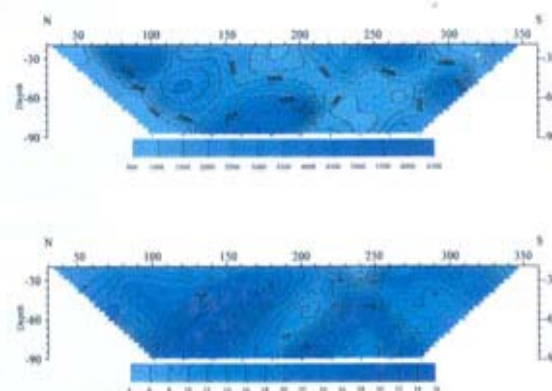
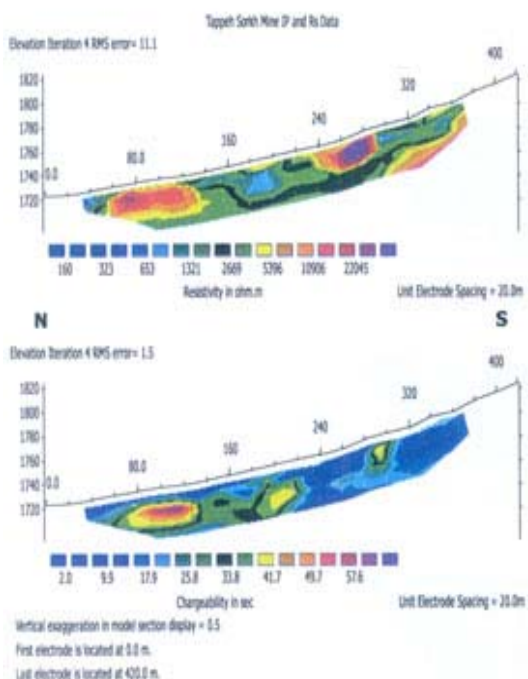
راهنمای نقشه

LIGHT BROWN DOLOMITE	LD
TALLUS & BRECCIA	TA
TICK BEDDED DOLOMITE	D
ALLUVIUM	Q

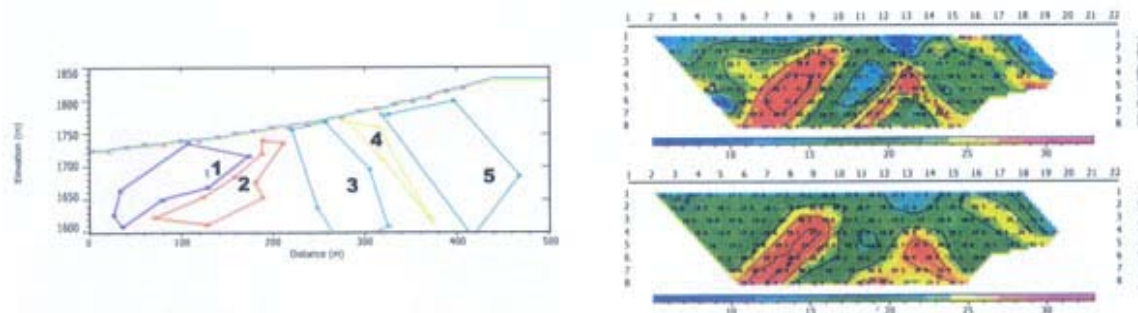
مقیاس 1:5000

شکل 3- دو نمونه تیغه نازک و مقطع صیقلی مربوط به محدوده مورد مطالعه

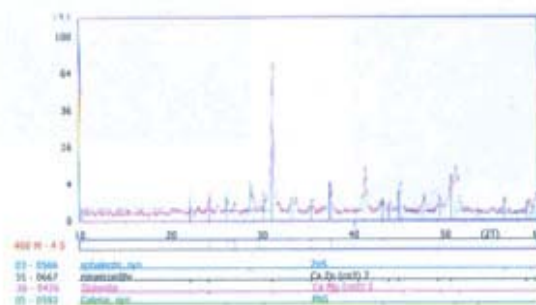
شکل 2- نقشه زمین‌شناسی منطقه برداشت



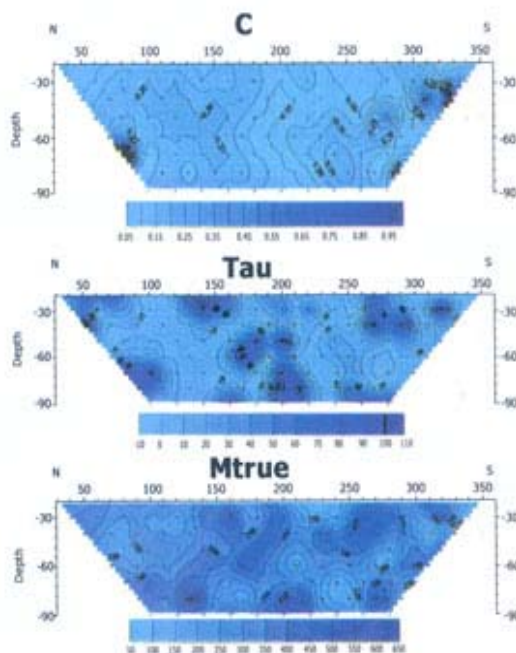
شکل 4- شبه‌مقاطع داده‌های خام نیم‌رخ 400W (بالا): شکل 5- مقاطع مقاومت‌ویژه (قسمت بالا) و قطبش‌القای (قسمت پایین) حاصل از مدل‌سازی معکوس هموار نیم‌رخ 400W



شکل 6- مقطع قطبش‌القای (سمت راست) و توده‌های زیر سطحی (سمت چپ) حاصل از مدل‌سازی معکوس پارامتری پروفیل 400W



شکل 7- نتایج حاصل از تجزیه پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده‌شده در نیمرخ 400W



شکل 8- مقاطع مربوط به پارامترهای طیفی نیمرخ 400W

کتابنگاری

طالبی مزرعه شاهی، م.، 1377- تصحیحات اثر توپوگرافی بر روی داده‌های ژئوالکتریک با استفاده از روش اجزاء محدود، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

غضبان، ف. و حاجی کاظمی، ا.، 1373- شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی موجود در سنگ میزبان نهشته‌های سرب، روی و باریم در ناحیه ایرانکوه غرب ایران مرکزی، چهارمین سمپوزیم معدنکاری ایران، جلد اول (اکتشاف)، ص ص 79 - 49، یزد.

References

- Rastad, E., 1981- Geological mineralogical and ore facies investigations on the lower cretaceous strata band Zn, Pb, (Ba, Cu) deposits on the Irankuh mountain range, Isfahan west central Iran, Ph.D. Thesis.
- Burnol, L., 1968 - Contribution a L'etude des gisements de plomb et zinc L'Iran essais de classification paragenetique, Geological survey of Iran, Report No 11.
- Luo, Z.Z., Zang, G., 1998- Theory and application of Spectral Induced Polarization, Geophysical monograph series, No.8, SEG publication.
- Ward, S.H., 1990- Investigations in geophysics Geotechnical and environmental geophysics, No.5, SEG publication.
- Yungul, S. H., 1996-Electrical methods in geophysics exploration of deep sedimentary basins, 1st edition, Chapman Hall.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., , 1990- Applied geophysics, 2nd editions, Cambridge University Press.
- Marquardt, D.W., 1963- "An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters", J. Soc. Indust. Appli. Math., Vol.11, no.2.
- Loke, M.H., Barker, R.D., 1996-"Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo sections by a quasi-Newton method", Geophysical prospecting, No.44, pp. 131 – 152.
- Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, P.G., Sill, W.R., Nelson, P.H., 1978- "Mineral discrimination and removal of Induced Polarization Coupling with multi frequency IP.", Geophysics, Vol.43, No.3, pp. 588-609.
- Hohmann, G.W., , 1975- "3-D Induced Polarization EM modeling", Geophysics, Vol.40, pp. 309 - 324.
- Johnson, I.M., . 1993 - 2003, 1984 -"Spectral Induced Polarization parameters as determined through Time-domain measurements", Geophysics, Vol.49, No.11, pp.
- Tombs, J.M.C., 1981- "The feasibility of Spectral Induced Polarization measurements in the Time-domain", Geo exploration, Vol.19, pp. 91 - 102.
- Horel, A.E., Kennard, R.W., 1970b -"Ridge regression: Application to non orthogonal problems", Tachnometrics, No.12, pp. 69 – 82.
- Apparao, A., 1997-Developments in geo electrical methods, National geophysical research institute, Hyderabad, A. A. Balkama. Pub.

* عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود
** استادیار دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی اصفهان

* Academic staff of Shahrood University of Technology

**Assistant professor of Isfahan University of Technology

