

Modeling and analysis of soil data with the aim of copper exploration in Nain region

Aydin Rahimi Harzvili

Bushehr, Asalouye, South Pars Gas Complex Company, 75391311
E-mails: Aydin.rahimi1993@gmail.com

Abstract

Nain exploration area is one of the areas of interest of Isfahan Mobarakeh Steel Company for the exploration of metal deposits, including copper. Due to their low grade and high tonnage, copper deposits have gained attention in recent decades, and their exploration methods have improved as well. In this study, due to the importance and effective application of different geophysical methods in searching for different deposits and studying the formation of mineral deposits, these methods were used in the east of Nain range. First, the magnetometric data were processed and then their 3D inverse modeling was done. The results show a mass with low magnetic self-reactivity in the center of the model and at a relatively high depth, which corresponds to gabbroic intrusive masses at the surface. This mass is surrounded by another mass with high resistivity (more than SI 0.168) which has a ring structure. Next, the specific resistance and induced polarization data were inverted along a taken profile. By preparing sections of existing data models and comparing them with the geological information of the region, the presence of a lenticular metal mineralization body was shown. Also, there has been an increase in the copper grade around the intrusive gabbro masses, which has been associated with an increase in the magnetic susceptibility in this area. This indicates the effect of hydrothermal fluids with the origin of gabbroic intrusive mass on the alteration of peridotites and the increase of magnetic susceptibility.

Keywords

Copper, inverse modeling, magnetoresistance, specific resistance, discovery, Metal deposits

مدلسازی و تحلیل داده های خاک با هدف اکتشاف مس در منطقه نائین

آیدین رحیمی هرزویلی

یوشهر، عسلویه، شرکت مجتمع گازی پارس جنوبی

ایمیل نویسنده: **Aydin**

چکیده

محدوده اکتشافی نائین، یکی از محدوده های مورد توجه شرکت فولاد مبارکه اصفهان برای اکتشاف کانسارهای فلزی و از جمله مس است. کانسارهای مس به دلیل عیار پایین و تناژ بالا در دهه های اخیر مورد توجه قرار گرفته و روش های اکتشاف آنها نیز بهبود یافته است. در این تحقیق با توجه به اهمیت و کاربرد روش های مختلف ژئوفیزیک در جستجوی ذخایر مختلف و بررسی تشکیل ذخایر معدنی، از این روش ها در شرق رشته کوه نائین استفاده شد. ابتدا داده های مغناطیسی سطحی مورد پردازش قرار گرفتند و سپس نسبت به مدل سازی وارون سه بعدی آنها اقدام شد. نتایج حاصل نشان دهنده یک توده با خودپذیری مغناطیسی پایین در مرکز مدل و در اعماق نسبتاً زیاد است که در سطح منطبق با توده های نفوذی گابرویی می باشد. این توده توسط توده ی دیگر با خودپذیری بالا (بیشتر از SI 168/0) که دارای ساختار حلقوی است، احاطه شده است. در ادامه داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در امتداد یک پروفیل برداشت شده، وارون سازی شدند. با تهیه مقاطعی از مدل های داده های موجود و مقایسه آنها با اطلاعات زمین شناسی منطقه، وجود یک تنه کانی سازی فلزی عدسی شکل نشان داده شد. همچنین افزایش عیار مس در اطراف توده های نفوذی گابرو رخ داده است که با افزایش خودپذیری مغناطیسی در این محدوده همراه بوده است. این مهم نشان دهنده تاثیر سیالات هیدروترمال با منشاء توده نفوذی گابرویی بر دگرسانی پریدوتیت ها و افزایش خودپذیری مغناطیسی دارد.

کلمات کلیدی: مس، مدلسازی وارون، خودپذیری مغناطیسی، مقاومت ویژه، اکتشاف.

نام نویسنده مسئول: آیدین رحیمی هرزویلی

ایمیل نویسنده مسئول: Aydin.rahimi1993@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله:

تاریخ (های) اصلاح مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

۱- مقدمه

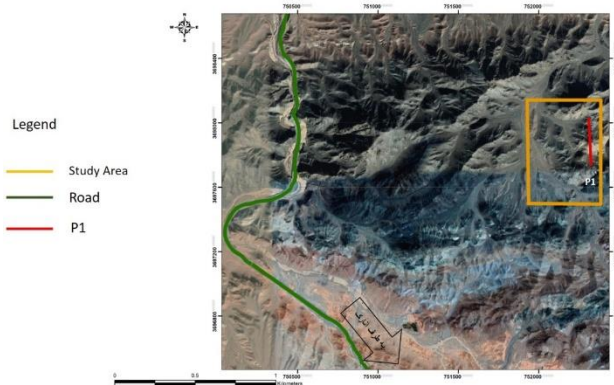
بی‌هنجاری های سیگنال های فیزیکی ناشی از تغییرات خواص فیزیکی توده های زیر سطحی را اندازه گیری میکنند. به این ترتیب می توان با انجام مدلسازی وارون داده های ژئوفیزیکی به مدلی از تغییرات خصوصیات فیزیکی زمین دست یافت [۱۰-۸]. تفسیر زمین شناسی مدل یاده شده، به تعیین شکل، محدوده و عمق توده های زیر سطحی می انجامد. معمولاً در اکثر بررسی های ژئوفیزیکی ذخایر معدنی برای افزایش سطح اعتماد به تفسیرهای انجام شده، از داده های چند روش ژئوفیزیکی و تفسیر توأم مدل های به دست آمده از وارون سازی آنها استفاده می شود [۱۴-۱۱].

مطالعه حاضر، به بررسی داده های ژئوفیزیکی برداشت شده در شرق محدوده اکتشافی نائین می پردازد. هدف از این مطالعه، بررسی ارتباط بی‌هنجاری های ژئوفیزیکی با کانی سازی مس در محدوده می باشد. در این راستا، ابتدا شرایط زمین شناسی محدوده مورد مطالعه معرفی شده و بی‌هنجاری لیتوشیمیایی عنصر مس به اجمال مورد اشاره قرار می گیرد [۱۸-۱۵]. سپس داده های ژئوفیزیکی برداشت شده در محدوده معرفی شده و با انجام پردازش های مختلف و مدل سازی وارون، مدل های خودپذیری مغناطیسی، مقاومت ویژه و شارژپذیری الکتریکی در محدوده ارائه می شود. در نهایت، با تفسیر توأم مدل های یاد شده و مقایسه آنها با اطلاعات زمین شناسی و ژئوشیمی موجود در محدوده، یک محل مناسب برای انجام حفاری اکتشافی معرفی می گردد [۲۲-۱۹].

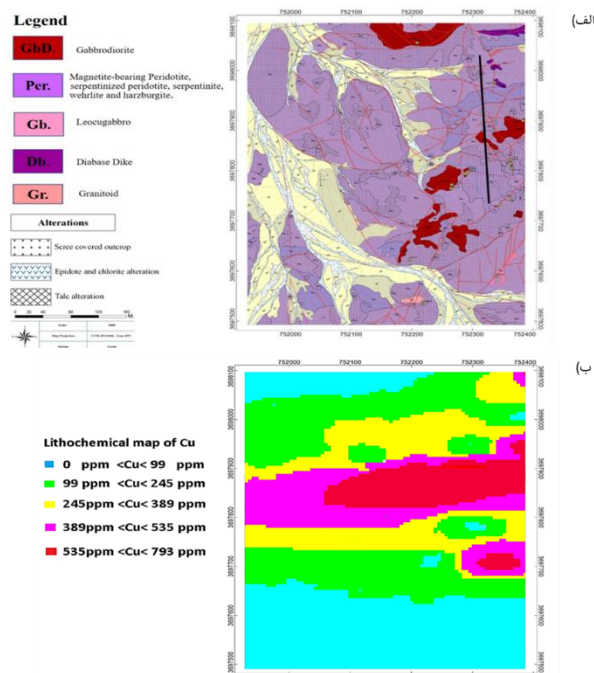
در این مقاله، برای اکتشاف کانسارهای فلزی از جمله مس به منطقه نائین پرداخته شده است که یکی از مناطق محبوب شرکت فولاد مبارکه اصفهان می باشد. باتوجه به عیار پایین و تناژ بالای مس، این پژوهش به کاربرد روش های

سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ممکن است به عنوان پلتفرم های مبتنی بر رایانه برای جمع آوری، مدیریت، تجزیه و تحلیل و تجسم داده های مکانی و افرادی که آنها را مدیریت می کنند تعریف شود. توانایی تجزیه و تحلیل کمی مقادیر زیادی از داده های اکتشاف فضایی برای تولید هدف پیشی گرفته است. برنامه های کاربردی مبتنی بر GIS برای اکتشاف مواد معدنی که شامل جمع آوری، تجزیه و تحلیل و ترکیب اطلاعات از منابع و مقیاس های مختلف است [۴-۱]. انواع مختلفی از مدل های ذخایر وجود دارد که ویژگی های زمین شناسی معمولی و تنظیمات زمین شناسی منطقه ای ذخایر معدنی را توصیف می کنند. این ذخایر منحصر به فرد هستند، زیرا هر کدام به نوعی با سایر ذخایر متفاوت هستند، حتی اگر می توان آنها را به انواع ژنتیکی طبقه بندی کرد که طیف گسترده و تعداد زیادی ویژگی مشترک دارند. علاوه بر فرآیندهای پیچیده زمین که مسئول تشکیل ذخایر معدنی هستند، همچنین باید توجه داشت که خود نهشته ها نیز می توانند به عنوان محصول نهایی زنجیره ای از رویدادهای زمین شناسی توصیف شوند. می شود می شود می شود [۷-۵].

در سال های اخیر، با کاهش عیار و تناژ کانسارهای سطحی همچنین افزایش روزافزون صنایع مختلف به مواد معدنی و به ویژه فلزات، اکتشاف و بهره برداری از کانسارهای عمیق با تناژ و عیار پایین نیز دارای صرفه اقتصادی محسوب می شوند. به دلیل پایین بودن عیار کانسارهای یاد شده و یا واقع شدن آنها در اعماق زیاد، روش های سنتی اکتشاف مبتنی بر مشاهده رخنمون کانسارها در سطح چندان جوابگوی نیاز صنایع نیستند. همین مساله سبب توجه بیش از پیش به روش های اکتشافی ژئوفیزیکی شده است. این روش ها



شکل شماره ۱: تصویر ماهواره‌ای از محدوده نائین و راه دسترسی. مستطیل نارنجی رنگ محدوده برداشت داده‌های مغناطیسی و محل قرارگیری پروفیل برداشت مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲: الف) نقشه زمین‌شناسی محدوده نائین. خط سیاه رنگ محل پروفیل برداشت داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی را نشان می‌دهد. ب) نقشه آنومالی لیتوژئوشیمی عنصر مس در محدوده اکتشافی نائین.

۳- روش های اکتشاف ژئوفیزیکی

در دهه های اخیر، تقاضای مکرر و افزایشی برای بهره برداری فلزات و کانی ها موجب شده است که روش های ژئوفیزیکی برای آشکارسازی ها با دقت بالا انجام می شود. روش های ژئوفیزیکی فقط توانایی آشکارسازی ناپیوستگی زمین شناسی را دارند. ناپیوستگی ها در مکان های با متمایز فیزیکی از مجاور خود پدیدار می شود. روش های اکتشاف ژئوفیزیکی بطور کلی به چهار روش تقسیم می شوند:

۱-۳ روش لرزه‌ای

این روش بر مبنای شیوه اندازه گیری زمان دریافت موج لرزه ای انجام می شود که به دو روش بازتابی و انکساری استفاده می شود. روش لرزه ای بازتابی موجب اندازه گیری زمان انتشار موج لرزه ای می شود. این موج از سرچشمه انرژی رها می شود و به یک سطح بازتاب کننده بازتاب می شود و در زمین به گیرنده

ژئوفیزیکی در جستجوی ذخایر مختلف و بررسی تشکیل ذخایر نفتی می پردازد که در قسمت شرقی رشته کوه نائین مورداستفاده قرار گرفته است. این روش ابتدا داده های مغناطیس سنجی را پردازش می کند و سپس مدل سازی وارون سه بعدی آن انجام می شود. نتایج بدست آمده نشان می دهد که یک توده با خودپذیری مغناطیسی پایین در مرکز مدل و در اعماق نسبتا زیاد وجود دارد که در قسمت منطبق با توده های نفوذی گابرویی یافت شده است.

بخش های مقاله به شرح زیر است:

در بخش اول در مورد مقدمه این پژوهش صحبت شده است که مربوط به روش های اکتشاف می باشد و در قسمت دوم راجب موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده نائین پرداخته شده است. در بخش سوم به روش های اکتشاف ژئوفیزیکی بطور مختصر پرداخته شده است و روش های آن مورد بررسی قرار گرفته شده است. بخش چهارم به آماده سازی و پردازش داده های مغناطیس سنجی پرداخته شده است. بخش پنجم در مورد داده های مدل سازی وارون مغناطیسی صحبت شده است و در بخش ششم نیز مطالعات مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی آورده شده است. در بخش هفتم نتیجه گیری و پیشنهادات آورده شده است.

۲- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی

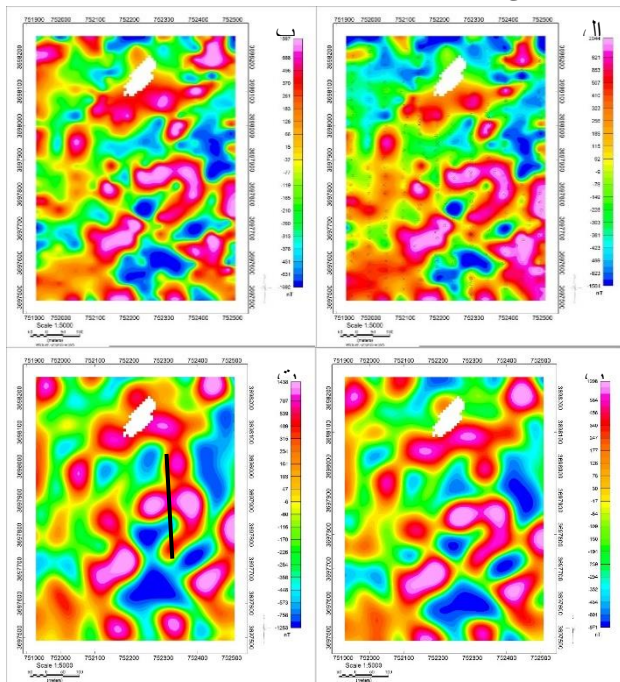
محدوده نائین در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال شهر انارک و در استان اصفهان واقع شده است. تصویر ماهواره ای محدوده در شکل ۱ نمایش داده شده است. راه دسترسی به این محدوده از طریق کنارگذر جاده آسفالت خور-انارک است. این محدوده بخشی از پهنه اکتشافی انارک می باشد که بر اساس تقسیم بندی ساختاری-رسوبی ایران، جزئی از زون ایران مرکزی محسوب می شود. ایران مرکزی یکی از واحدهای زمین شناسی اصلی ایران است که دارای ساختاری پیچیده شامل مجموعه ای از سنگ های رسوبی عمدتا کربناته به همراه سنگ های آتشفشانی و نفوذی می باشد. در شکل ۲-الف نقشه زمین شناسی محدوده با مقیاس ۱:۱۰۰۰ نمایش داده شده است. بر اساس این نقشه، لیتولوژی غالب در این محدوده از سنگهای پریدوتیتی است که با درجات مختلف دگرسان شده و آثار سرپانتینی شدن و حضور تالک در آنها مشاهده می شود. همچنین توده های گابرو در نیمه شرقی محدوده، در میان سنگ های پریدوتیتی نفوذ کرده اند. در حاشیه های شمالی و جنوبی محدوده نیز رسوبات کربناته و مارن های قرمز رنگ ظاهر شده است. حضور سازند لاخ که حاوی سنگ های کربناته دگرگون شده تا حد مرمر و مرمرهای سیلیسی شده می باشد، از دیگر ویژگی های زمین شناسی این محدوده محسوب می شود. سن این سنگ ها در حدود پروتروژئوئیک میانی تا بالایی تعیین شده است.

پی جویی های اکتشافی در محدوده نائین توسط شرکت فولاد مبارکه اصفهان در حال انجام است. از مهم ترین محورهای پی جویی های صورت گرفته، بررسی ارتباط ساختارهای زمین شناسی با کانی سازی مس در محدوده بوده است که نقشه هاله های آنومالی آن در شکل ۲-ب نمایش داده شده است. بجز ناحیه آبی رنگ، سایر زون های رنگی نمایش داده شده دارای عیار مس بیش از کلارک جهانی (۲۰۰ گرم بر تن) هستند که این مقدار در زون های قرمز رنگ به بیش از ۷۹۰ گرم بر تن می رسد. بر اساس این نقشه، بیشینه عیار مس در مرکز تا شرق محدوده مشاهده می شود که با حرکت به سوی غرب از شدت آن کاسته می شود. البته بی هنجاری قابل توجه و کوچک تر دیگری در نیمه جنوبی شرق نقشه نیز مشاهده می شود. وجود چند معدن مس متروکه در محدوده، شناخته شده بودن این بی هنجاری ها از دهه های قبل را تایید می کند.

به قطب (RTP) انجام می‌گیرد تا بی‌هنجاری مورد نظر متقارن و تک‌قطبی شده و دقیقاً روی منشا پیدایش خود قرار گیرد.

در محدوده نائین اندازه‌گیری مگنتومتري به صورت شبکه‌ای منظم از پروفیل‌ها در امتداد شمالی-جنوبی و فواصل بین پروفیلی ۵۰ متر و فاصله بین نقاط برداشت ۲۵ متر انجام شده است. برداشت این محدوده توسط دستگاه‌های مگنتومتر پروتون از نوع GEM SYSTEM مدل GSM-19T ساخت کشور کانادا انجام شده است. به منظور پردازش داده‌ها و شناسایی دقیق‌تر بی‌هنجاری‌ها ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Geosoft Oasis Montaj، میدان مغناطیسی مرجع زمین (IGRF) به مقدار ۴۷۸۹۱.۱۰ نانوتسلا از داده‌ها کاسته شد. سپس، با پردازش یک چند جمله‌ای درجه ۳، روند ناحیه‌ای موجود در محدوده محاسبه شده و از داده‌ها کاسته شد. همچنین با اعمال فیلتر پایین‌گذر با طول موج ۱۰۰ متر، اثر نوفه‌ها و پدیده‌های ریز سطحی از داده‌ها حذف شد. شکل‌های ۳-الف، ۳-ب و ۳-پ به ترتیب این مراحل پردازشی را نشان می‌دهند. شکل ۳-الف داده‌های مغناطیسی TMI اندازه‌گیری شده را پس از حذف IGRF نشان می‌دهد. همچنین در این شکل محل ایستگاه‌های برداشت داده نشان داده شده است. شکل ۳-ب، داده‌های شکل ۳-الف را بعد از حذف روند ناحیه‌ای درجه ۳ نشان داده است. داده‌های نقشه ۳-ب، پس از اعمال فیلتر پایین‌گذر ۱۰۰ متری به داده‌های نقشه شکل ۳-پ تبدیل شده‌اند. در این شکل، میدان مغناطیسی باقی‌مانده از ۹۷۱- تا ۱۲۰۸ نانوتسلا تغییر میکند. همچنین برای متقارن نمودن بی‌هنجاری مغناطیسی فیلتر برگردان به قطب بر این داده اعمال شد. شکل ۳-ت نتیجه اعمال RTP بر داده‌های باقی‌مانده در شکل ۳-پ را نشان می‌دهد. مطابق شکل ناهنجاری بیشینه در مرکز توده مقداری در حدود ۱۴۳۸ نانوتسلا را نشان می‌دهد.

مقایسه شکل ۳-ت و نقشه زمین‌شناسی محدوده در شکل ۲-الف، نشان می‌دهد که بی‌هنجاری‌های مثبت عموماً بر سنگ‌های پریدوتیتی و ویژه پریدوتیت‌های سربانتینیزه شده تمرکز یافته‌اند. همچنین بی‌هنجاری‌های منفی واقع در مرکز و نیمه جنوبی شکل ۳-ت، انطباق قابل توجهی با محل قرارگیری توده‌های نفوذی گابرویی در محدوده دارد.



شکل شماره ۳: مراحل پردازش داده‌های مغناطیسی. الف) نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (TMI) محدوده مورد مطالعه پس از حذف اثر IGRF به همراه محل نقاط برداشت. ب) نتیجه محاسبه و حذف فیلتر روند با درجه ۳ از

می‌رسد. روش انکساری لرزه‌ای موجب اندازه‌گیری زمان انتشار یک موج لرزه‌ای انکساری و که در سطح ناپیوستگی محیط انتشار شده است، می‌شود.

۲-۳ گرانی سنجی (ثقل سنجی)

در روش اکتشافی گرانی سنجی یا ثقل سنجی، اندازه‌گیری تغییرات جزئی جاذبه‌های ناشی از سنگ‌ها و کانی‌ها مدنظر است. مبنای روش ذکر شده بر اساس قانون جاذبه نیوتون می‌باشد.

۳-۳ روش الکتريکی

اساس روش الکتريکی بر مبنای اندازه‌گیری خواص الکتريکی سنگ‌ها می‌باشد و شناسایی خواص الکتريکی سنگ‌ها روش‌های مختلف و بسیاری دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به قابلیت هدایت الکتريکی، پتانسیل خودزا و القا پذیری اشاره کرد. از مرسوم‌ترین روش‌های موجود برای روش الکتريکی، استفاده از جریان الکتريکی می‌باشد که به طور طبیعی در طبیعت وجود دارد.

۴-۳ روش تشعشع سنجی

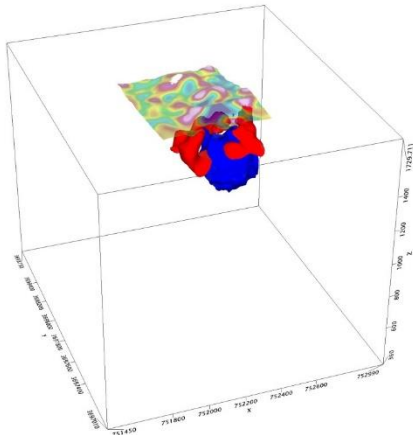
باتوجه به نیاز شدید نیروگاه‌های هسته‌ای به اکتشاف ذخایر اورانیوم و سایر عناصر رادیواکتیو، باعث شده است که روش‌های متعددی برای این بخش ارائه شود. برای پیشرفت در روش تشعشع سنجی ابزار و وسایل خاص مانند دستگاه‌های کاشف تشعشع خواهیم بود. باتوجه به ارزانی این دستگاه‌ها موجب شده است که عملیات‌های انجام شده در این مورد با پیشرفت بسیار خوبی همراه شود.

۴- آماده‌سازی و پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی

هدف اصلی مغناطیس‌سنجی شناسایی کیفی و کمی تغییرات خودپذیری مغناطیسی در زمین است. بسته به مقدار خودپذیری مغناطیسی توده‌ها، میزان مغناطش آنها در حضور میدان مغناطیسی بیرونی متفاوت بوده و در نتیجه میدان مغناطیسی تولید شده توسط آنها نیز متفاوت خواهد بود. برآیند میدان ناشی از مغناطش توده‌ها و میدان خارجی موجود در محدوده، برابر میدان مغناطیسی کل در هر نقطه خواهد بود. مگنتومترهای پروتونی که رایج‌ترین مغناطیس‌سنج‌های مورد استفاده در امور اکتشافی هستند، شدت میدان مغناطیسی کل (TMI) را در هر نقطه اندازه‌گیری می‌نمایند. به این ترتیب، داده‌های مغناطیسی برداشت شده، تنها مربوط به اهداف اکتشافی نیستند و لازم است تا با انجام پردازش‌های مختلف، میدان مغناطیسی غیر مرتبط با توده‌های هدف از داده‌ها کاسته شود. به این منظور تصحیحات و فیلترهای متنوعی پیشنهاد شده‌اند تا ضمن تقویت بی‌هنجاری ناشی از اهداف پی‌جویی، اطلاعاتی از محل قرارگیری و عمق تقریبی توده و ساختارهای زمین‌شناسی محدوده نیز به دست آید. در این راستا، ابتدا مقدار میدان مغناطیسی استاندارد مرجع (IGRF) زمین از میدان‌های اندازه‌گیری شده حذف می‌گردد. پس از کاستن IGRF، امکان دارد تغییرات دارای روندهای بزرگ در داده‌ها مشاهده شود. روندهای یاد شده عموماً توسط پدیده‌های عمیق، بزرگ و ناحیه‌ای با طول موج‌های بزرگ ایجاد شده‌اند. این پدیده‌ها معمولاً هدف بررسی‌های اکتشافی نیستند و شناسایی توده‌های معدنی را با مشکل مواجه می‌کنند. بنابراین، پدیده‌های عمیق و اثرات ناحیه‌ای با استفاده از فیلتر پایین‌گذر مناسب محاسبه شده و از داده‌ها کسر می‌شود. همچنین بسیاری از پدیده‌های کوچک سطحی که اثرشان تنها در حد یک نقطه یا تنها روی یک پروفیل مغناطیس‌سنجی ظاهر شده است، از لحاظ تحلیلی قابل اعتماد نیستند و با انجام فیلتر پایین‌گذر از داده‌ها حذف می‌شوند. داده‌های باقی‌مانده از پردازش‌های یاد شده، صرفاً مربوط به توده‌های با ابعاد و عمق مورد انتظار اهداف اکتشافی خواهد بود. با این وجود، این داده‌ها از بی‌هنجاری‌ها، رفتاری دو قطبی داشته و از بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی تشکیل شده‌اند که هیچ‌کدام دقیقاً بر محل منابع مغناطیسی قرار ندارند و همین امر تفسیر داده‌ها را مشکل می‌نماید. به منظور ارائه تفسیر ساده‌از بی‌هنجاری مغناطیسی و کاهش رفتار دوقطبی داده‌ها، پردازش برگردان

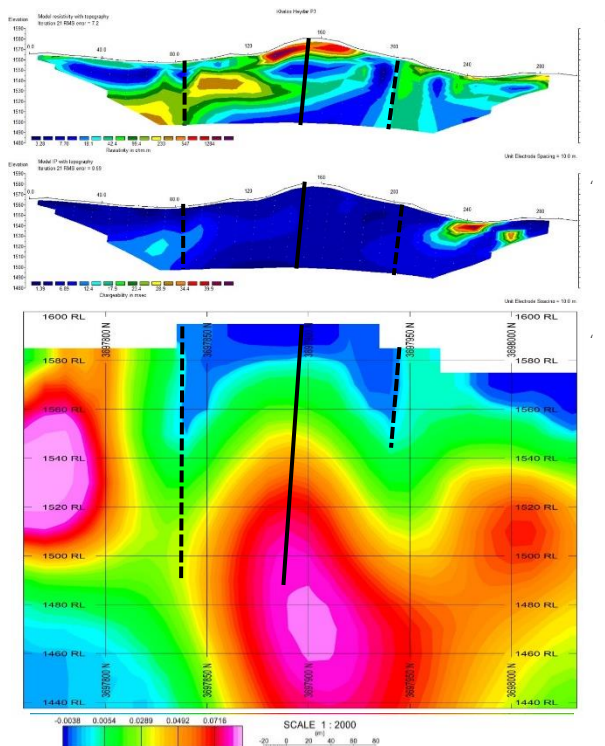
گرفته است.

با توجه به در اختیار بودن داده IP/Res تنها در یک پروفیل، مدل سازی وارون داده ها صرفا به صورت دوبعدی و با استفاده از نرم افزار Res2Dinv استفاده شده است. در این مدل سازی پس از طی ۲۱ تکرار، خطای مرتبط با پردازش داده های مقاومت ویژه به ۷/۲٪ و خطای داده های پلاریزاسیون القایی به ۵۹٪/۰ رسید. مدل های تخمین زده شده برای مقاومت ویژه و شارژ پذیری الکتریکی به ترتیب در شکل های ۵-الف و ۵-ب نمایش داده شده اند. همچنین مقطعی قائم از مدل خودپذیری مغناطیسی تخمین زده شده در محل پروفیل IP/Res نیز در شکل ۵-پ نمایش داده شده است که در ادامه توضیح داده می شود.



شکل شماره ۴: مدل سه بعدی تخمین زده شده برای خودپذیری

مغناطیسی حاصل از وارون سازی داده های مغناطیسی محدوده به همراه نقشه RTP که در بالای مدل و در سطح زمین نشان داده شده است. سطح توده با خودپذیری پایین تر از SI 001/0 به رنگ آبی و توده های با خودپذیری بالاتر از SI 168/0 به رنگ قرمز نشان داده شده است.



شکل شماره ۵: مقطع حاصل از وارون سازی داده های الف) مقاومت ویژه الکتریکی و ب) پلاریزاسیون القایی. ج) یک مقطع قائم از خودپذیری مغناطیسی تخمین زده شده در محل پروفیل IP/Res. خط چین ها در هر

داده های نقشه ۳-الف. پ) نتیجه اعمال فیلتر پائین گذر با حذف پدیده های با طول موج کمتر از ۱۰۰ متر از داده های نمایش داده شده در شکل ۳-ب. ت) نقشه برگردان به قطب (RTP) داده های نمایش داده شده در شکل ۳-پ. خط سیاه رنگ محل برداشت پروفیل IP/Res نشان داده شده در شکل ۲-الف را نشان می دهد.

۵- مدل سازی وارون داده های مغناطیسی

هر چند پردازش های معمول داده های مغناطیسی محل تقریبی قرار گیری منبع مغناطیسی را ارائه می کنند، اما اطلاعاتی در مورد شکل و گسترش عمقی توده ها به دست نمی دهند. به منظور تعیین شکل، گستره و عمق قرار گیری توده مورد نظر معمولا از مدل سازی وارون داده های مغناطیسی استفاده می شود. در مطالعه حاضر مدل سازی وارون سه بعدی داده های با استفاده از الگوریتم غیرخطی لی و اولدنبرگ (۱۹۹۶) و توسط نرم افزار UBC Mag3d 4.0 انجام شده است. در الگوریتم یاد شده، ابتدا زمین به تعدادی شبکه به نام مش شامل تعدادی بلوک مکعب مستطیلی با ابعاد و عمق از پیش تعیین شده تقسیم می شود. مقدار خودپذیری زمین در هر یک از بلوک ها در ابتدا مجهول است و پارامتر مدل نامیده می شود. با انجام مدل سازی وارون، مقادیر خودپذیری مجهول در هر یک از این بلوک ها تخمین زده می شود.

در این مطالعه، مدل سازی وارون با استفاده از یک شبکه مش با تعداد سلول $90 \times 110 \times 102$ در جهات شمالی، شرقی و عمقی انجام شد. ابعاد افقی بلوک ها در سطح زمین ۱۰ متری در نظر گرفته شد. این ابعاد به تدریج با دور شدن از مرکز و نزدیک شدن به دیواره های جانبی افزایش یافتند به گونه ای که در مرزهای جانبی مش، این ابعاد به ۶۰ متر رسید. در جهت عمق نیز ابعاد سلول ها در بلوک های واقع در سطح زمین از ۵ متر شروع شد و با افزایش عمق به صورت تدریجی به ۲۶ متر رسید.

در انجام مدل سازی یاد شده پس از طی ۱۰ تکرار، ریشه مجموع مربعات خطای تخمین (RMS) به ۱/۰۱ رسید. مدل به دست آمده از این وارون سازی در شکل ۴ نمایش داده شده است. در این شکل تنها بخشی از مدل یاد شده شامل توده آبی رنگ با خودپذیری کمتر از SI 001/0 و توده های قرمز رنگ با مقدار خودپذیری مغناطیسی در حدود SI 168/0 و بیشتر نمایش داده شده است. همچنین، نقشه داده های مغناطیسی شکل ۳-ت، بالای مدل یاد شده برای مقایسه قرار داده شده است. بنابراین شکل، توده های قرمز رنگ با خودپذیری مغناطیسی بالاتر در سطح قرار داشته و توده آبی رنگ با خودپذیری مغناطیسی پایین تر در عمق بیشتر و در وسط توده های با خودپذیری بالاتر قرار گرفته اند. محل توده های با خودپذیری بالاتر و پایینتر به ترتیب با محل بی هنجاری های مثبت و منفی در نقشه داده های مغناطیسی باقیمانده برگردان به قطب شده انطباق دارد. با توجه به انطباق بی هنجاری های یاد شده بر توده های پریدوتیتی و گابرویی، می توان گفت که احتمالا توده آبی رنگ، شکل و گسترش عمقی توده نفوذی گابرویی در میان توده های سطحی پریدوتیتی را نشان می دهد.

۶- مطالعات مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی

با توجه به وجود معدن کاری مس در چند نقطه در شرق محدوده، برداشت داده های ژئوالکتریک شامل داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در جهت عمود بر گسترش یافتگی بی هنجاری مس انجام شد. این برداشت در یک پروفیل IP/Res با طول ۳۰۰ متر و با آرایش قطبی-دوقطبی و فواصل الکترودی ۱۰ متر با روند تقریباً شمالی-جنوبی صورت گرفته است. برداشت داده ها تا پرش ۱۶ ادامه یافته است. محل این پروفیل در نقشه زمین شناسی شکل ۲-الف نمایش داده شده است. ابتدای پروفیل در سر جنوبی آن در نظر گرفته شده است. اندازه گیری داده ها با استفاده از دستگاه GDD ساخت کشورکانادا انجام

دگرسانی بالا در حد تالک در وسط پروفیل است که دقیقا در شمال یک توده گابرویی قرار گرفته است. با توجه به اینکه گابروها در همه جا با کاهش خودپذیری مغناطیسی همراه بوده اند، احتمالا سیالات هیدروترمال عامل دگرسانی پریدوتیت ها از توده نفوذی گابرویی نشأت گرفته است. بنابراین می توان انتظار داشت، که هر جا افزایش خودپذیری مغناطیسی در این محدوده به شکل چشمگیر رخ داده است، ناشی از حضور تاثیر سیالات هیدروترمال با منشأ توده نفوذی گابرویی بوده است. در اینصورت انتظار می رود که حفر چاه در حاشیه این توده ها و محل توده های با خودپذیری مغناطیسی بالا، به مشاهده نمونه های با کانی سازی فلزی قابل توجه و از جمله کانه های مس منجر شود. از این رو، در شکل های ۵-الف تا ۵-پ، حفر یک چاه اکتشافی با شیب ۸۰ درجه و در فاصله ۱۵۰ متری از ابتدای پروفیل پیشنهاد شده است. در صورت امید بخش بودن نتایج حفاری در محل یاد شده، می توان در سایر مناطقی که دارای بی هنجاری مغناطیسی بالا بوده اند نیز اقدام به حفاری نمود.

قرار گیری محدوده مورد مطالعه در ایران مرکزی و وجود توده های پریدوتیتی دگرسان شده و مجموعه ای از سنگهای رسوبی کربناته تا شیل های دگرگون شده، شاید نشان دهنده احتمال تشکیل کانسارهای ماسیو سولفید الترامافیک باشد. حضور کانی سازی توام مگنتیت و مس نیز می تواند شاهد دیگری بر این مدعا باشد. با این وجود، عدم مشاهده بازالت های بالشی که بیانگر وجود افیولیت باشند این احتمال را کاهش داده است. عیار مس مشاهده شده در نمونه های لیتوشیمیایی نیز بیشتر به عیار معمول در کانسارهای پورفیری شباهت دارد. وجود توده نفوذی با خودپذیری مغناطیسی کمتر در عمق و افزایش خودپذیری مغناطیسی در سنگهای میزبان نیز یادآور کانسارهای پورفیری است که عموما ناشی از نفوذ توده های دیوریتی و مونزونیتی در سنگهای آندزیتی و داسیتی هستند. هر چند کانسار پورفیری با نفوذ توده های گابرویی در پریدوتیتی در مطالعات پیشین یافت نگردید. همچنین، جز کلریت و اپیدوت، هیچ آلتراسیونهای مرتبط با کانسارهای پورفیری در محدوده مشاهده نشده است. هر چند این دو آلتراسیون با توده های ماسیو سولفید مافیک تیپ قبرسی نیز در ارتباطند. در مجموع نیاز به انجام مطالعات بیشتری برای شناسایی ژنز کانی سازی مس در این محدوده احساس می شود. بویژه انجام سن سنجی دقیق سنگهای الترامافیک محدوده و انجام تحلیل های ژئوشیمیایی چند عنصری می تواند گامی در جهت رفع ابهامات یاد شده باشد.

مراجع

- [۱] معتقد، ساسان، نخلیان، امین، عمادعلی، لطف الله، افتخاری، محمودیان، حشمت الله. تعیین فرکانس طبیعی خاک شهر بهبهان با استفاده از تحلیل داده های میکروترمو. جغرافیا و مخاطرات محیطی. Feb ۲۰۲۳. 24.
- [2] Yousefi M, Kreuzer OP, Nykänen V, Hronsky JM. Exploration information systems—A proposal for the future use of GIS in mineral exploration targeting. *Ore Geology Reviews*. 2019 Aug 1;111:103005.
- [3] Huang H, Shirkhani M, Tavosi J, Mahmoud O. A new intelligent dynamic control method for a class of stochastic nonlinear systems. *Mathematics*. 2022 Apr 22;10(9):1406.
- [۴] آل شیخ، رجبی. بررسی روش های وزن دهی اطلاعات مکانی در GIS (مطالعه موردی: تهیه نقشه پتانسیل معدنی). نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۲۰۰۹. Jun 22;1(1).
- [5] Natasha N, Shahid M, Bibi I, Iqbal J, Khalid S, Murtaza B, Bakhat HF, Farooq AB, Amjad M, Hammad HM, Niazi NK. Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review. *Science of the Total Environment*. 2022 Feb 20;808:152024.

شکل محل وجود دو گسل و خط پر محل یک گمانه اکتشافی پیشنهادی در محدوده را نشان میدهد.

در شکل ۵-الف، چندین جا به جایی در تغییرات جانبی و قائم مقاومت ویژه الکتریکی و قائم مشاهده می شود که احتمالا مربوط به گسل های موجود در مسیر پروفیل هستند. از میان این گسل های احتمالی، دو گسل به طور واضح تاثیر خود را بر مدل شارژپذیری الکتریکی در شکل ۵-ب و مقطع قائم مدل خودپذیری مغناطیسی در شکل ۵-پ نمایش داده اند. برای مثال در شکل ۵-ب، اثر این گسلها به تقسیم شده به سه قسمت با شارژپذیری بالا در سمت راست، شارژپذیری پایین در بین دو گسل و شارژپذیری متوسط در سمت چپ نشان داده اند. اثر این گسلها در مقطع خودپذیری مغناطیسی وضوح بیشتری دارد و نشان می دهد که سطح زمین بین این دو گسل به وضوح خودپذیری مغناطیسی کمتری نسبت به اطراف خود دارد. مقایسه محل قرار گیری این گسلها با گسلهای موجود در نقشه زمین شناسی شکل ۲-الف، وجود دو گسل در محل های تقریبی ۸۵ متری و ۲۰۲ متری از انتهای جنوبی پروفیل را تایید می کند. نکته قابل توجه دیگر وجود توده ای با مقاومت ویژه زیاد و بیش از ۱۰۰۰ اهم متر در سطح زمین در محل وسط پروفیل است. مقایسه این شکل با شکل ۲-الف نشان می دهد که یک توده پریدوتیت با دگرسانی بالا در حد تالک در وسط پروفیل و در فاصله ۱۴۰ تا ۱۶۰ متر از انتهای جنوبی آن وجود دارد. مقایسه این پروفیل با شکل ۲-ب نیز بیانگر افزایش چشمگیر عیار مس در همین محل می باشد. همچنین درست زیر این توده و عمق ۲۰ تا ۳۰ متری از سطح زمین (ارتفاع ۱۵۵۵ تا ۱۵۴۵ متر از سطح دریا)، کاهش مقاومت ویژه چشمگیر به کمتر از ۱۸ اهم متر رخ داده است. این کاهش مقاومت ویژه خود را به صورت توده ای عدسی شکل نشان داده است. اما در سمت چپ این توده، مجددا مقاومت ویژه تا بیش از ۲۳۳ اهم متر افزایش یافته است. در شکل ۵-ب، در مرکز پروفیل و سطح زمین و همچنین در محل توده عدسی وار یاد شده، شارژپذیری الکتریکی ناچیز است اما در سمت چپ آن با افزایش شارژپذیری الکتریکی مواجه هستیم. در شکل ۵-پ، در سطح زمین و محل توده عدسی وار یاد شده، خودپذیری مغناطیسی در کمترین مقدار خود است اما با حرکت به سمت عمق در همان محل، افزایش قابل توجه خودپذیری مغناطیسی رخ داده است. همچنین در محدوده بین ابتدای پروفیل تا فاصله ۸۵ متری و رسیدن به گسل سمت چپ، به طور کلی با افزایش مقاومت ویژه، افزایش شارژپذیری و افزایش خودپذیری مغناطیسی در اعماق بیش از ۴۰ متر (ارتفاع کمتر از ۱۵۴۰ متر از سطح دریا) مواجه هستیم. محل این محدوده بر یک توده پریدوتیتی پوشیده از لایه ای سنگ ریزه در نقشه ۲-الف انطباق دارد.

۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

مقایسه شکل های ۵-الف و ۵-ب گویای وجود یک تنه کانی سازی فلزی عدسی شکل در فاصله ۱۴۰ تا ۱۶۰ متری از ابتدای پروفیل IP/Res و در عمق ۲۰ تا ۳۰ متری سطح زمین است. در حاشیه جنوبی این توده و سمت چپ آن در شکل های ۵-الف و ۵-ب، افزایش مقاومت ویژه و افزایش شارژپذیری الکتریکی احتمالا نشانه کانی سازی افشان و پراکنده در ادامه همان توده فلزی است. در محلی که در سطح زمین تالک دیده شده در همان محل بی هنجاری بالای مغناطیسی نیز مشاهده می شود. بنابراین می توان احتمال داد که تشکیل تالک به دلیل تشدید دگرسانی پریدوتیت ها بوده است. می دانیم که در مرحله اول دگرسانی پریدوتیت ها با تشکیل سرپانتین، مگنتیت تشکیل می شود و سپس با افزایش دگرسانی، مگنتیت یاد شده مصرف شده و آمفیبولیت و تالک ایجاد می شوند. بنابراین توده عدسی وار که خود را با کاهش مقاومت ویژه و افزایش خودپذیری مغناطیسی نشان داده است، می تواند نشانه وجود یک تنه مگنتیتی باشد. نکته قابل توجه، قرار گیری این توده زیر توده پریدوتیت با

predictive scheme for PID tuning. *Applied Sciences*. 2021 Nov 5;11(21):10392.

[6] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A, Din SU, Mohammadzadeh A, Mobayen S. A hybrid approach for fault location in power distributed networks: Impedance-based and machine learning technique. *Electric Power Systems Research*. 2022 Sep 1;210:108073.

[7] Ghazali MF, Wikantika K, Harto AB, Kondoh A. Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. *Information Processing in Agriculture*. 2020 Jun 1;7(2):294-306.

[۸] راوک، میکائیل. روش جدید برای شیرین سازی گاز طبیعی با ادغام روش بیولوژیکی و فرآیند Seaboard و تحلیل آن با استفاده از الگوریتم تکاملی. روش های محاسباتی در علوم مهندسی، ۱۴۰۲؛ (۱۱): ۱۱-۱۵. doi: 10.22034/cmcs.2023.705577

[۹] ابدالی، علی. بررسی عددی افزایش انتقال حرارت در جریان نانوسیال داخل لوله های سینوسی. روش های محاسباتی در علوم مهندسی، ۱۴۰۲؛ (۱۱): ۱۶-۲۰. doi: 10.22034/cmcs.2023.705578

[10] Feyzi MR, Niapour SK, Danyali S, Shafiei M. Supplying a Brushless DC Motor by z-source PV power inverter with FLC-IC MPPT by DTC drive. In 2010 International Conference on Electrical Machines and Systems 2010 Oct 10 (pp. 694-699). IEEE.

[11] Cao Y, Mohammadzadeh A, Tavooosi J, Mobayen S, Safdar R, Fekih A. A new predictive energy management system: Deep learned type-2 fuzzy system based on singular value decomposition. *Energy Reports*. 2022 Nov 1;8:722-34.

[12] Fabre C. Advances in Laser-Induced Breakdown Spectroscopy analysis for geology: A critical review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2020 Apr 1;166:105799.

[۱۳] کریم پور محمدحسن، ملک زاده شفاوردی آزاده، اسمعیلی سویری عباس، شعبانی سعید. کانی شناسی و تغییرات زمین شیمیایی سنگ میزبان آلتزه شده در ناحیه معدنی سرب و روی ایرانکوه، جنوب غرب اصفهان. زمین شناسی کاربردی پیشرفته ۱۳۹۷؛ ۸(۴) (پیاپی ۳۰): ۱-۱۶. Available from: <https://sid.ir/paper/394515/fa>

[14] Ma Z, Mei G. Deep learning for geological hazards analysis: Data, models, applications, and opportunities. *Earth-Science Reviews*. 2021 Dec 1;223:103858.

[۱۵] رسولی بیرامی میثم، شفیع بافتی بهنام، عمرانی جعفر، حیدریان فرانک. رفتار ماگمایی و گرمایی عناصر کمیاب در توده سینیتی رزگاه (سراب، آذربایجان خاوری): کاربرد برای ارزیابی توان کانه زایی اورانیم توده. علوم زمین ۱۳۹۳؛ ۲۴(۹۴) (سنگ و کانی): ۱۱۳-۱۲۸. Available from: <https://sid.ir/paper/31349/fa>

[16] Adler A, Araya-Polo M, Poggio T. Deep learning for seismic inverse problems: Toward the acceleration of geophysical analysis workflows. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2021 Feb 25;38(2):89-119.

[17] Ren Z, Kalscheuer T. Uncertainty and resolution analysis of 2D and 3D inversion models computed from geophysical electromagnetic data. *Surveys in Geophysics*. 2020 Jan;41(1):47-112.

[18] Iranmehr H, Aazami R, Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi AR, Mohammadzadeh A, Mosavi AH, Guo W. Modeling the price of emergency power transmission lines in the reserve market due to the influence of renewable energies. *Frontiers in Energy Research*. 2022 Jan 13;9:792418.

[19] Danyali S, Aghaei O, Shirkhani M, Aazami R, Tavooosi J, Mohammadzadeh A, Mosavi A. A New Model Predictive Control Method for Buck-Boost Inverter-Based Photovoltaic Systems. *Sustainability*. 2022 Sep 19;14(18):11731.

[20] Manea EF, Cioflan CO, Coman A, Michel C, Poggi V, Fäh D. Estimating geophysical bedrock depth using single station analysis and geophysical data in the extra-Carpathian area of Romania. *Pure and Applied Geophysics*. 2020 Oct;177:4829-44.

[21] Aazami R, Heydari O, Tavooosi J, Shirkhani M, Mohammadzadeh A, Mosavi A. Optimal Control of an Energy-Storage System in a Microgrid for Reducing Wind-Power Fluctuations. *Sustainability*. 2022 May 19;14(10):6183.

[22] Tavooosi J, Shirkhani M, Abdali A, Mohammadzadeh A, Nazari M, Mobayen S, Asad JH, Bartoszewicz A. A new general type-2 fuzzy