ارزیابی میزان تطابق کیفی و کمی داده‌های ژئوفیزیکی با عیارسنجی کانسار مس دره‌زرشک یزد به‌منظور پیشنهاد موقعیت بهینه گمانه‌های اکتشافی جدید

رضا احمدی*، زهرا بهارلویی؛
دانشگاه صنعتی اراک، دانشکدهٔ مهندسی علوم‌زمین، گروه مهندسی معدن

تاریخ: دریافت ۹۸/۰۸/۲۲ پذیرش ۹۸/۱۱/۲۱

چکیده

در کانسار مس درهٔ زرشک یزد داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس سنجی، مقاومت ویژه و قطبش القایی برداشت شده و تعداد ۲۵ حلقه گمانه اکتشافی در سطح محدوده حفاری شده است. در پژوهش حاضر مدل‌سازی وارون و پردازش داده‌های ژئوفیزیکی و میزان انطباق کیفی و کمی آنها با داده‌های عیارسنجی گمانه‌ها انجام شده است. برای این منظور ابتدا نقشه شدت میدان مغناطیسی کل بعد از اعمال فیلترها و پردازش‌های لازم ترسیم شد و گسترش سطحی و عمقی بی‌هنجاری‌ها روی آن مشخص شد. ترسیم پروفیل بی‌هنجاری ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر چهار پروفیل ژئوالکتریکی نشان می‌دهد که اغلب محدوده‌های بی‌هنجار مغناطیسی، دارای بارپذیری زیاد و مقاومت ویژه کم نیز هستند که بر تطابق کیفی داده‌های مغناطیسی و ژئوالکتریک با یک‌دیگر و در نتیجه افزایش احتمال کانی‌سازی در منطقه دلالت دارد. سپس براساس تفسیر کیفی مقاطع ژئوالکتریک، موقعیت بهینه حفاری روی هر پروفیل پیشنهاد شد. ترسیم مقطع ماده معدنی منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریک با استفاده از داده‌های عیارسنجی گمانه‌ها نشان داد که حفاری برخی گمانه‌ها مبتنی بر نتایج عملیات ژئوفیزیکی نیست و بدون هیچ‌گونه منطق، هدف و طراحی درستی صورت گرفته است. به‌طورکلی بررسی میزان تطابق کیفی نتایج عملیات برداشت ژئوالکتریک با داده‌های عیارسنجی گمانه‌ها تطابق کیفی نسبتاً خوبی را نشان داد. هم‌چنین بررسی میزان هم‌بستگی خطی بین داده‌های ژئوفیزیکی وارون‌سازی‌شده با داده‌های عیارسنجی گمانه‌ها در یک محدودهٔ مشخص و یکسان، بعد از یک شبکه‌بندی معین و برابر و درون‌یابی مقادیر آنها، به‌طورکلی انطباق کمی نسبتاً خوبی (بین ۰/٤ تا ۰/۷) نشان داد.

واژه‌های کلیدی: کانسار مس دره‌زرشک یزد، داده‌های ژئوفیزیکی، مدل‌سازی وارون هموار، داده‌های عیارسنجی، تطابق کیفی و کمی

*نویسنده مسئول rezahmadi@gmail.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

مقدمه

کانسارهای فلزی به‌ویژه کانسارهای مس دارای پیچیدگی‌های زایشی و ساختاری زیادی هستند. اغلب کانسارهای مس از نوع پراکنده یا افشان، رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی بوده و در نتیجه دارای گسترش زیاد و عیار کم هستند. اکتشاف مستقیم این کانسارها از طریق حفر گمانه‌های اکتشافی، عملیاتی پرهزینه و زمانبر است و به‌همین دلیل تعیین موقعیت نقاط بهینه حفاری اهمیت به‌سزایی دارد. به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه معمولاً در مراحل اکتشاف مقدماتی و نیمه‌تفضیلی براساس نتایج حاصل از پردازش و تفسیر داده‌های اکتشافات غیرمستقیم ژئوفیزیکی، گمانه‌های اکتشافی روی بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی به‌عنوان مناسب‌ترین نقاط حفاری، پیشنهاد و پیاده‌سازی می‌شوند.

در بسیاری از روش‌های اکتشاف از جمله روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی، داده‌های خام برداشت‌شده به‌طور مستقیم قابل استفاده نیست، بلکه نیازمند انجام یک سری مراحل پردازشی و مدل‌سازی است. زیرا داده‌های خام و شبه مقاطع ژئوفیزیکی به‌عنوان معیار تصمیم‌گیری اولیه بوده و اطلاعات جامع، کامل و معتبری درباره عمق دفن واقعی، اندازه و ابعاد و خصوصیات فیزیکی توده‌های زیرسطحی در اختیار قرار نمی‌دهند؛ بنابراین مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی اجتناب ناپذیراست [۱]. هم‌چنین در تمام مراحل عملیات اکتشاف از مرحله پی‌جویی و شناسایی مقدماتی گرفته تا اکتشافات تفصیلی و حتی اکتشاف حین استخراج، می‌توان از مدل‌سازی داده‌ها استفاده کرد. بدیهی است هرچه داده‌های به‌دست آمده، بیش‌تر و درست‌تر باشند، دقت مدل‌سازی نیز بیش‌تر است [۲]، [۳]. در پژوهش حاضر مدل‌سازی کانسار مس پورفیری درهٔ زرشک واقع در محدودهٔ شهر تفت در استان یزد انجام شده است. برای این منظور ابتدا مدل‌سازی وارون هموار داده‌های ژئوفیزیکی، انجام گرفته، سپس نقشه‌ها و مقاطع ژئوفیزیکی مورد نیاز به‌ویژه مقاطع عامل فلزی[1]، ترسیم شده و در نهایت با استفاده از تطابق کیفی و کمی داده‌های ژئوفیزیکی و عیارسنجی گمانه‌های اکتشافی موجود، موقعیت بهینه نقاط حفاری جدید، پیشنهاد شده است.

در ارتباط با اعتبارسنجی نتایج عملیات اکتشاف ژئوفیزیکی با استفاده از داده‌های عیارسنجی عملیات حفاری از طریق مدل‌سازی‌های ژئوفیزیکی و پژوهش‌های ژئوفیریکی انجام شده در کانسار مس دره زرشک طی سال‌های اخیر تحقیقات معدودی انجام شده که در

1. Metal Factor

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

ادامه به آنها اشاره می‌شود. احمدی (۱۳۸۰) میزان انطباق داده‌های ژئوفیزیکی قطبش القایی[1] (IP) و مقاومت ویژه[2] (Rs) با داده‌های عیارسنجی کانسار سرب و روی تپه‌سرخ از مجتمع معادن ایرانکوه را بررسی کرد. نتایج نشان داد که کارآیی روش یا روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی بعد از انتخاب روش ژئوفیزیکی مناسب، به استفاده از مدل‌سازی وارون درست داده‌های ژئوفیزیکی و تعبیر و تفسیر درست نتایج حاصل از آنها بستگی دارد [٤]. احمدی و همکاران (۱۳۸٦) میزان انطباق شبه‌مقاطع ژئوفیزیکی با مقاطع ماده معدنی را برای کانسار مس علی‌آباد یزد بررسی کردند. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی به‌کار رفته در منطقه، کارآیی نسبتاً کمی دارد که دلیل اصلی آن، پیچیدگی خود کانسار و زیاد بودن سطح نوفه در منطقه است [۵]. مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) به‌منظور اکتشاف سرب و روی در منطقه باختر واقع در شهرستان شاهرود از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه استفاده کردند. آنها مقاطع حاصل از پروفیل‌ها را در نرم‌افزارهای Res2dinv و Res3dinv مدل‌سازی کرده و سپس صحت آنها را با استفاده از اطلاعات گمانه‌های حفاری ارزیابی کردند [٦].

قاسمی و همکاران (۱۳۹۱) برای جداسازی زون‌های پرعیار از کم عیار در کانسار مس درهٔ زرشک یزد به‌کمک داده‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی از سه روش کلاس‌بندی نظارتی ماشین بردار پشتیبان[3] (SVM)، تجزیهٔ تمایز خطی[4] (LDA) و تجزیهٔ تمایز غیرخطی[5] (QDA) استفاده کردند. در این مورد روش SVM با صحت ۸۲ درصد در مقایسه با روش LDA با صحت ۳۰/۷ درصد و QDA با صحت ۵۳/۵ درصد موفق تر عمل کرده است [۷]. بری و همکاران (۲۰۱۲) از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه برای اکتشاف و تعیین نحوهٔ توزیع و گسترش زیرسطحی آهن در پاگه[6] مالزی استفاده کردند. تصویربرداری (مدل) و روش تجزیه و تحلیل آماری استفاده شده، اعتبار و قابلیت اعتماد نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی را افزایش داد [۸]. شمس‌الدینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در منطقهٔ قلعه‌گنج در جنوب استان کرمان، بررسی‌های ژئوفیزیکی را به دو روش قطبش القایی و مقاومت ویژه به‌منظور تعیین محدوده‌های بی‌هنجار، بررسی عمق و ضخامت پیکره‌های معدنی موجود و در نهایت تعیین موقعیت نقاط بهینه حفاری، انجام دادند. پس از تفسیر نهایی محدوده‌های

1. Induced Polarization
2. Resistivity
3. Support Vector Machine
4. Linear Discriminant Analysis
5. Quadratic Discriminant Analysis
6. Pagoh

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

بی‌هنجار، وضعیت کانسار مشخص شده، سرانجام نقاط مناسب برای حفاری پیشنهاد شده است [۹]. یاسمی و همکاران (۱۳۹۳) در کانسار مس چودرچای در شرق زنجان (زیرپهنه طارم در البرز غربی) از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه به‌منظور تعیین بی‌هنجاری‌های ژئوالکتریکی، عمق کانی‌زایی و نحوهٔ گسترش آن استفاده کردند. نیمرخ‌های مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی با استفاده از نرم‌افزارهای Res2dinv و Res3dinv تهیه شده که برای تعیین عمق، گسترش و شکل کانی‌زایی مس موجود در منطقه استفاده شده است [۱۰]. علی‌لو و همکاران (۲۰۱٤) از ترکیب روش‌های ژئوفیزیکی مختلف شامل قطبش القایی، مقاومت ویژه و مغناطیس‌سنجی برای بررسی رسوبات چندفلزی منطقه حلب زنجان استفاده کردند. نتایج نشان داده که بین داده‌های ژئوالکتریک و مغناطیس‌سنجی در این مورد انطباق زیادی وجود دارد ولی در مجموع روش‌های ژئوفیزیکی برای اکتشاف کانسارهای چندفلزی، درجهٔ اطمینان اندکی دارند [۱۱]. آریفین و همکاران (۲۰۱۹) برای شناسایی پتانسیل‌های کانی‌سازی طلا در Felda Chiku3, Gua Musang, Kelantan، ساحل شرقی مالزی روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی را تا حداکثر عمق ۱۵۰ متر با طول پروفیلی ٤۰۰ متر برداشت کردند. در مدل قطعه برشی سه‌بعدی مقاومت ویژه و بارپذیری، مقادیر مقاومت ویژه کم و بارپذیری بالا به‌خوبی با یک‌دیگر هم‌خوانی دارند که به‌ویژه در اعماق ۲۵ و ۵۰ متری قابل مشاهده است. در نهایت براساس مدل‌های مقاومت ویژه و بارپذیری، چهل موقعیت حفاری پیشنهاد شده است. براساس بررسی‌های انجام شده، به‌طورکلی تاکنون بررسی جامعی دربارهٔ تطابق داده‌های ژئوفیزیکی با داده‌های عیارسنجی عملیات حفاری به‌ویژه از نوع کمی در پژوهش‌های داخل و خارج از کشور به‌جز پژوهش حاضر انجام نشده است [۱۲].

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده

کانسار مس دره زرشک در جنوب مرکزی ایران و در فاصلهٔ ٦۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان یزد، ٤۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان تفت، در مسیر جاده یزد- شیراز و غرب روستای درهٔ زرشک، در نیمهٔ‌جنوبی ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خضرآباد [۱۳]، جنوب غربی برگه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ درهٔ زرشک و بین طول جغرافیایی ۷٦۸۸۰۰ تا ۷۷۰۵۰۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۳٤۹٤۳۰۰ تا ۳٤۹٦۲۰۰ شمالی قرار دارد.

منطقهٔ دره زرشک دارای سیمای تپه‌ماهور و قله‌های متعدد است ولی گاهی توده‌های نفوذی جای گرفته درون سنگ‌ها، موجب تشکیل ریخت‌شناسی خشن و ناهموار می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

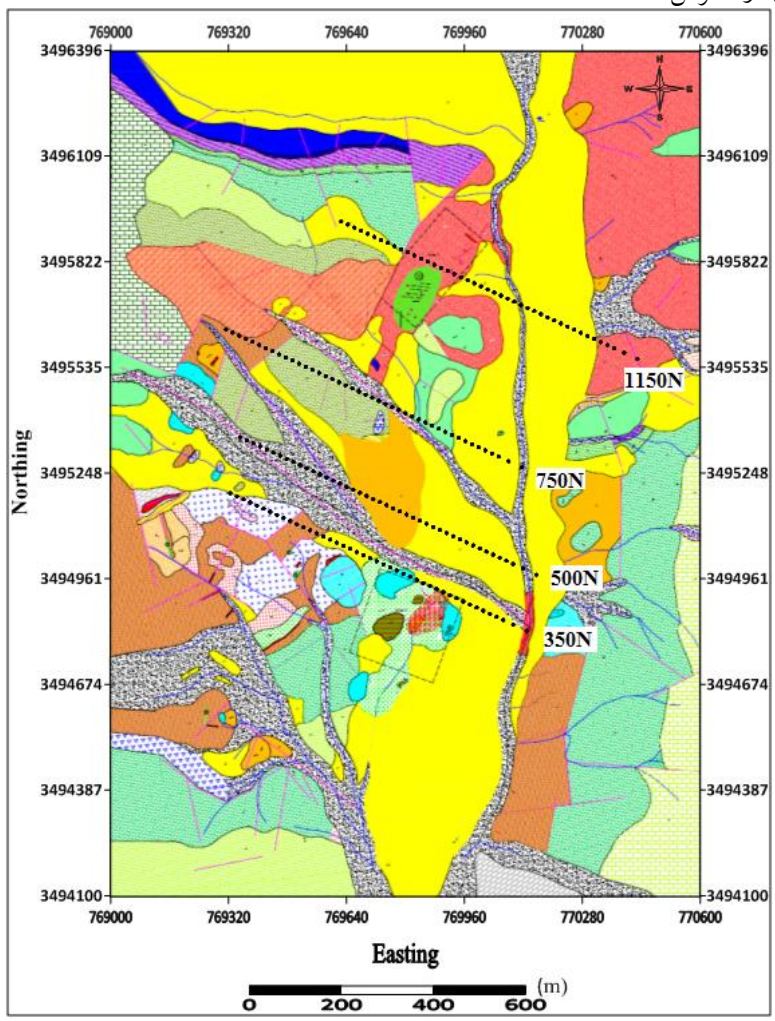
کانسار مس درهٔ زرشک روی زون تکتونیکی سنندج-سیرجان قرار گرفته و بیش‌ترین سنگ‌های رخنمون دار منطقه، مربوط به دوران دوم زمین‌شناسی است. در شکل ۱ نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده (همراه با نمایش موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک) نشان داده شده است. مطابق این شکل سنگ‌های موجود در محدودهٔ کانسار بیش‌تر شامل دیوریت، گرانودیوریت، گروناتیت، سنگ‌های اسکارنی، آهک کرتاسه زیرین و شیل و ماسه سنگ سازند سنگستان هستند. عامل اصلی کانی زایی در کانسار، توده‌های نفوذی دیوریت- گرانودیوریت پورفیری است که در امتداد چند شکستگی بزرگ، نفوذ کرده و زون‌های دگرسانی پروپیلیتیک، سریسیتیک و آرژیلیک را به‌وجود آورده است. کانی‌سازی به سه روش آغشتگی در سنگ‌های آهکی سیلیسی شده، پرشدگی بین شکستگی‌ها در سنگ‌های آذرین نفوذی و در بخش‌های عمیق‌تر به‌روش آغشتگی در شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند سنگستان و تبدیل آن‌ها به کوارتزیت، انجام شده است. کانسار مس دره‌زرشک روی کمربند آمیزه رنگین تکتونیکی و فعال ایران مرکزی یعنی زون ارومیه- دختر (که با راستای شمال غرب- جنوب شرق ناآرام ترین و فعال‌ترین زون ساختمانی ایران مرکزی بوده و فازهای مختلف دگرگونی و ماگماتیزم را پشت سر گذاشته است) واقع شده و دارای کانی‌های مختلف فلزی است. کانی‌های همزاد در این کانسار شامل پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، بورنیت، مالاکیت، آزوریت و کالکوسیت است [۱۴].

مواد و روش‌ها

۱. فعالیت‌های اکتشافی انجام شده در منطقه

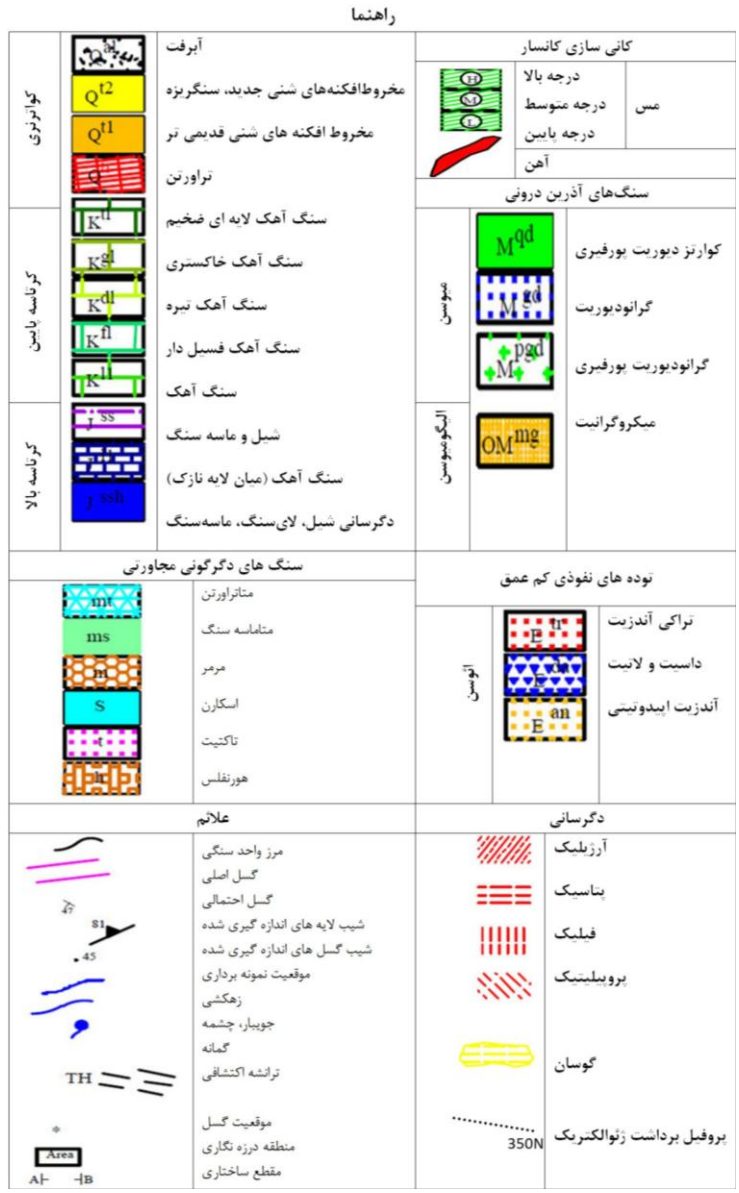
شرکت مهندسی کانی فرآوران در سال ۱۳۷۹، پژوهش‌های اکتشاف مس روی این کانسار را انجام داده و گزارشی تحت عنوان گزارش جامع اکتشاف کانسار مس درهٔ زرشک، ارائه کرده است [۱۵]. در آبان ماه سال ۱۳۸۲ پژوهش‌های ژئوفیزیک زمینی در منطقه درهٔ زرشک به‌وسعت تقریبی ۱/۲ کیلومتر مربع، به‌وسیلهٔ امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران با دو روش ژئوفیزیکی قطبش القایی (IP) و مقاومت ویژه ظاهری (Rs) با آرایه مستطیلی با فاصلهٔ بین خطوط پروفیلی ۱۰۰ متر و فاصله بین‌ایستگاهی ۲۰ متر انجام شد. بررسی‌های سطحی IP با دو طول خط جریان ۱۰۰۰ متر و ۱۲۰۰ متر انجام شد که در نقشه هم شدت بارپذیری، محدوده بی‌هنجاری IP (با مقدار بارپذیری بیش از ٤٠mv/v) دارای راستای شمال- جنوبی بوده است و به‌سمت شمال، بر شدت آن افزوده می‌شود (به مقدار ٦٥mv/v می‌رسد) که وسعت این محدوده تقریباً ۲۰۰ هزار مترمربع است. علاوه براین به‌منظور شناسایی سطحی محدوده، تعداد ١٦١٥

ایستگاه برداشت مغناطیسی، کل محدودهٔ بررسی شده را پوشش داده است [١٦]. هم‌چنین تعداد ۲۵ حلقه گمانه اکتشافی (٢٤ حلقه گمانه قائم و یک حلقه گمانه مایل)، با متراژ حفاری در مجموع ٤٠٥٥/٢ متر به‌طور پراکنده در سطح محدوده حفاری شده که تمام داده‌های برداشت ژئوفیزیکی و نتایج عیارسنجی (عیار مس و اکسید مس) مغزه‌های عمدتاً ۲ متری حاصل از حفاری دردسترس است.



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]



شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده (همراه با نمایش موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک)، برشی از شیت زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خضرآباد (برگرفته از [۱۳])

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

۲. برداشت‌های ژئوفیزیکی محدودهٔ بررسی شده

در محدودهٔ کانسار مس دره زرشک یزد عملیات برداشت ژئوفیزیکی به‌روش‌های مغناطیس سنجی، مقاومت ویژه و قطبش القایی در دو مرحله انجام شده است. در مرحلهٔ اول ۱۶۱۵ ایستگاه مغناطیس‌سنجی برای ثبت داده‌های مغناطیسی به‌منظور بررسی و شناسایی زون پتاسیک و دیگر زون‌های دگرسان شده برداشت شد. در مرحلهٔ بعدی به‌منظور بررسی بی‌هنجاری‌ها در اعماق، نحوهٔ گسترش فضایی و تعیین ابعاد آنها، برداشت‌های ژئوالکتریکی قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری در راستای چهار پروفیل ژئوفیزیکی به‌نام‌های 350N، 500N، 750N و 1150N با روند تقریبی شمال غربی- جنوب شرقی انجام شده است (هر پروفیل براساس فاصله آن از نقطه مبنا، نام‌گذاری شده و مجموع طول کلی پروفیل‌ها، حدوداً ۳۴۰۰ متر است) که در این مرحله در کل ۱۸۱۶ ایستگاه، اندازه‌گیری شد. آرایه استفاده شده برای برداشت پروفیل‌ها نیز از نوع دوقطبی- دوقطبی با فاصله الکترودی ۴۰ متر و طول گام ۲۰ متر است.

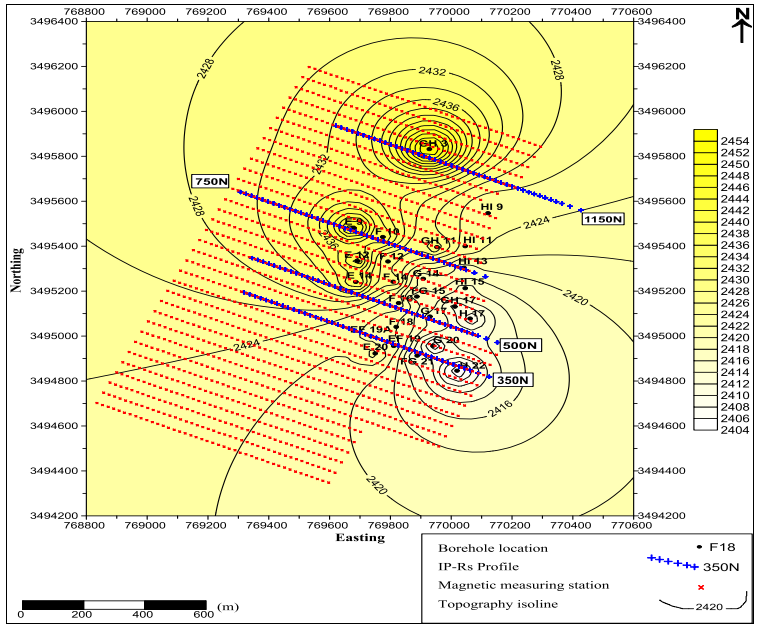
در شکل ۲ نقشهٔ موقعیت نقاط برداشت مغناطیس‌سنجی، پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک و نیز موقعیت پراکندگی مکانی گمانه‌های اکتشافی روی نقشهٔ توپوگرافی منطقهٔ بررسی شده، نشان داده شده است. در این شکل نقاط برداشت ژئوالکتریک در پروفیل‌ها با علامت ضرب‌در قرمز رنگ مشخص شده‌اند.

۳. مبانی مدل‌سازی وارون داده‌های ژئوفیزیکی

امروزه مهم‌ترین روش برای تعیین رابطهٔ دقیق بین داده‌های ثبت‌شده و خواص فیزیکی زیرسطحی، استفاده از تئوری وارون‌سازی است. به‌طور خلاصه تلاش برای دست‌یابی به اطلاعات جامعی از پارامترهای یک مدل با استفاده از یک سری داده‌های کامل و دقیق، وارون‌سازی نامیده می‌شود [۱۷]، [۱۸]. از آن‌جاکه داده‌های صحرایی اغلب ناقص، شامل پارازیت و باندهای طیفی محدود است، بنابراین تعداد نامحدودی مدل وجود دارند که می‌توانند داده‌ها را به‌طور یکسان بازسازی کنند (عدم یکتایی پاسخ). پس از طریق مدل‌سازی به‌ویژه مدل‌سازی وارون، باید مدلی را جستجو کرد که مشاهدات را کاملاً تشریح کند و شرایط و محدودیت‌های وارده از طریق فیزیک مسئله را جواب‌گو باشد.

در حال حاضر به‌کارگیری روش‌های مختلف مدل‌سازی وارون در تسهیل و تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی، امری متداول است. انواع روش‌های متداول مدل‌سازی وارون شامل مدل‌سازی وارون هموار محدود و مدل‌سازی وارون پارامتری محدود (اکیداً محدود) است.

نظریه وارون‌سازی در صورتی که ساختارهای زمین‌شناسی دارای لایه‌بندی نباشد و ساختمان آنها دوبعدی یا سه‌بعدی باشد، از سایر روش‌ها کارسازتر است. هم‌چنین با کاربرد این روش می‌توان بی‌هنجاری‌های واقعی را از بی‌هنجاری‌های کاذب (که معمولاً تعداد آنها زیاد نیز است) تمیز داد.



شکل ۲. نقشهٔ موقعیت نقاط برداشت مغناطیس‌سنجی، پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک و گمانه‌های اکتشافی روی نقشه توپوگرافی

همهٔ روش‌های وارون‌سازی در اصل تلاش می‌کنند مدلی را برای توده زیرسطحی ترسیم کنند که با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت داشته باشد. به‌عبارت دیگر روش سعی می‌کند اختلاف بین مقادیر داده اندازه‌گیری شده و محاسباتی را تا حد ممکن کم کند. از جمله برنامه‌های مناسب برای مدلسازی وارون داده‌های مغناطیسی، نرم‌افزار Oasis montaj Geosoft و برای داده‌های ژئوالکتریک، نرم‌افزار Res2dinv است [۱۹]، [۲۰]. در روش سلول- پایه که به‌وسیلهٔ برنامه Res2dinv استفاده می‌شود، پارامترهای مدل، مقادیر مقاومت ویژه یا بارپذیری مدل هستند؛ در حالی که داده‌ها، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری یا بارپذیری ظاهری اندازه‌گیری شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

٤. پژوهش‌های مغناطیس‌سنجی در محدودهٔ بررسی شده

معمولاً در بخش‌های عمقی زون دگرسانی پتاسیک، رگه و رگچه‌هایی از کانی مگنتیت همراه با دیگر کانی‌های سولفیدی آهن همانند پیریت و کالکوپیریت وجود دارند. بنابراین هدف از انجام برداشت‌های مغناطیسی در اکتشاف کانسارهای مس پورفیری و بویژه کانسار مس پورفیری دره زرشک یزد در پژوهش حاضر، آشکارسازی و تعیین محدودهٔ زون دگرسانی پتاسیک و دیگر زون‌های دگرسان شده است که در ارتباط با زون کانه زایی است. در محدودهٔ بررسی شده برداشت داده‌های مغناطیسی با فواصل پروفیلی ٤٠ متر و فواصل ایستگاهی ٢٠ متر در ١٦١٥ ایستگاه، انجام شده و عملیات پردازش و اعمال فیلترهای مختلف به‌منظور تهیه نقشه‌های نهایی، به‌وسیلهٔ نرم‌افزار Oasis montaj انجام شده است. در این منطقه میزان تغییرات مغناطیسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مبنا، بسیار کم و درنتیجه میزان تصحیح، بسیار ناچیز بود؛ بنابراین از اعمال تصحیحات روزانه صرف‌نظر شد.

در شکل ٣ نقشه تغییرات شدت میدان مغناطیسی کل منطقه با استفاده از داده‌های خام، ترسیم شده است. در این محدوده کم‌ترین مقدار شدت میدان مغناطیسی ٤٦١٥٦ گاما و بیش‌ترین مقدار آن، ٤٦٨٥٠ گاما اندازه‌گیری شده و در نتیجه دامنه تغییرات، ٦٩٤ گاما است. در این نقشه چند محدوده با شدت مغناطیسی نسبتاً زیاد به‌صورت محدوده‌های مجزا دیده می‌شود که در نیمهٔجنوبی شدت بی‌هنجاری مغناطیسی و پیوستگی، بیش‌تر است. این تغییرات مغناطیسی ممکن است ناشی از تغییرات در توپوگرافی یا لیتولوژی منطقه باشد. به‌طورکلی در منطقه سه زون قابل مشاهده است: زون با کم‌ترین شدت میدان مغناطیسی که نشان از فقدان تودهٔ کانساری در منطقه یا عمق بسیار زیاد آن در سنگ بستر رسوبی دارد. زون دارای شدت میدان مغناطیسی متوسط که می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی در منطقه و در حضور سنگ‌های آذرین اسیدی تا حدواسط باشد. زون با بیش‌ترین شدت میدان مغناطیسی که احتمالاً در ارتباط با حضور سنگ‌های آذرین نفوذی و یا وجود توده‌های با شدت مغناطیس‌پذیری زیاد است و آن نیز می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی باشد.

برای پردازش و تفسیر نقشه‌های بی‌هنجاری مغناطیسی می‌توان از روش‌های گوناگونی استفاده کرد که تقریباً بیش‌تر آنها براساس سعی و خطا هستند. شکل ٤ نقشه برگردان به قطب مغناطیسی داده‌های منطقه بررسی شده را نشان می‌دهد. فیلتر برگردان به قطب برای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

تطبیق بی‌هنجاری‌ها اعمال شده است. این فیلتر بی‌هنجاری‌های مغناطیسی را به محل خود منتقل کرده و می‌توان آن را با نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده، بهتر تطبیق داد.

در تغییرپذیری‌های مغناطیسی به‌منظور تشخیص بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای از روش گسترش به‌سمت بالا (ادامهٔ فراسو) به کرات استفاده می‌شود [۲۱]. این روش نوفهٔ مربوط به ویژگی‌های سطحی را کاهش می‌دهد [۲۲]؛ مؤلفه‌های فرکانس بالا (بی‌هنجاری‌های با طول موج کوتاه) را حذف و در مقابل مؤلفه‌های با فرکانس پایین (بی‌هنجاری‌های با طول موج بلند) را تقویت می‌کند. بدین‌ترتیب اثر ساختارهای عمیق را برجسته می‌کند [۲۳]، [۲٤]. نقشه‌های گسترش به‌سمت بالا تا ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰، ۵۰، ٦۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ متر ترسیم شد که در شکل ۵ به‌صورت انتخابی نقشه‌های گسترش به‌سمت بالا تا ۲۰، ٤۰، ۵۰، ٦۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ متر نشان داده شده است. ارتفاع ادامهٔ فراسو براساس سعی و خطا و با مقایسهٔ بی‌هنجاری‌های متعدد در ارتفاع‌های مختلف، انتخاب شده است. معمولاً انتخاب ارتفاع فیلترهای گسترش به‌سمت بالا کیفی است و با مقایسهٔ نتایج در ارتفاعات مختلف می‌توان به ارتفاع بهینهٔ تقریبی دست یافت [۲۵].

مطابق نقشه‌های مغناطیسی شکل‌های ۳ تا ۵، مقدار خودپذیری مغناطیسی سنگ‌ها در بخش مرکزی نیمهٔ شرقی محدودهٔ بررسی شده (که دارای رنگ تیره است) کمی بالاست. با توجه به نقشه‌ها، بی‌هنجاری‌های اصلی به‌طور عمده در بخش مرکزی نیمهٔ شرقی به‌صورت پیوسته و در نیمه غربی محدوده به‌صورت محدوده‌های مجزا در راستای شمال- جنوبی مشاهده می‌شوند. بی‌هنجاری‌های نیمهٔ غربی گسترش و پراکندگی بیش‌تری دارند ولی شدت میدان مغناطیسی آنها نسبت به بی‌هنجاری‌های نیمه شرقی کم‌تر است؛ این بی‌هنجاری‌ها منطبق بر سنگ‌های آذرین نفوذی (دیوریت-گرانودیوریت پورفیری) هستند. محدوده‌هایی که شدت میدان آنها مقادیر متوسط دارد، به‌ویژه از بخش مرکزی به‌سمت جنوب، به‌طور عمده بر زون دگرسانی آرژیلیک، سریسیتیک (فیلیک) و پتاسیک منطبق است.

بهترین انتخاب از بین نقشه‌های ادامه فراسوی تهیه شده برای نقشهٔ بی‌هنجاری ناحیه‌ای، مربوط به ارتفاع ٦۰ متر است زیرا بعد از این ارتفاع تمامی نقشه‌ها تقریباً روندی مشابه را دنبال می‌کنند و می‌توان گفت که از این ارتفاع به‌بعد اثر ساختارهای عمیق، برجسته‌تر و همهٔ نقشه‌ها یکسان می‌شوند. بررسی نقشه‌های بی‌هنجاری بعد از اعمال فیلتر گسترش به‌سمت بالا با ارتفاع‌های مختلف نشان می‌دهد که بی‌هنجاری‌های نیمهٔ غربی محدوده، سطحی بوده است ولی در نیمهٔ شرقی تا اعماق بیش از ۱۰۰ متر گسترش دارند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

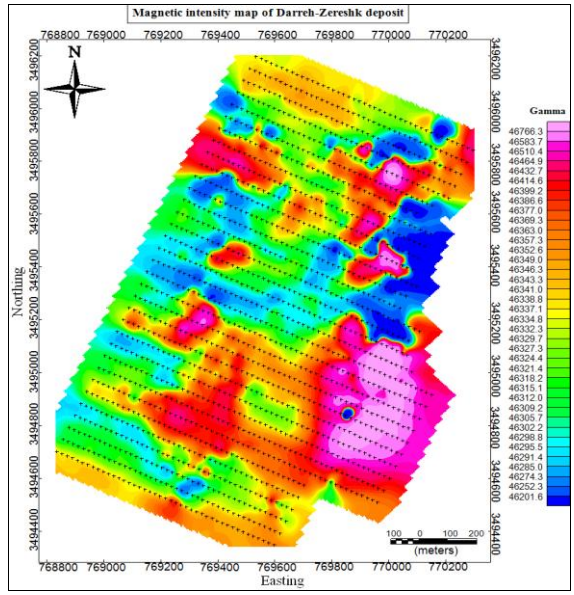
یکی از اهداف پردازش داده‌های مغناطیسی، تعیین حد و مرز محدوده دارای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی است. روش‌های متعددی برای این منظور وجود دارد که از جمله آنها می‌توان روش سیگنال تحلیلی را نام برد. بهترین ویژگی سیگنال تحلیلی آن است که بر روی توده و هم‌چنین در لبه‌های توده، دارای برجستگی است. در این روش پهنای بیش‌ترین برجستگی با عمق توده متناسب است. گفتنی است که کاربرد این روش برای عرض‌های جغرافیایی کم، مفیدتر واقع می‌شود. با توجه به این‌که سیگنال تحلیلی در سه جهت مشتق‌گیری می‌کند، اثر بی‌هنجاری‌های کوچک‌تر از بین می‌رود و پیکره تودهٔ اصلی بهتر نمایان می‌شود. به‌همین منظور مطابق شکل ٦ برای بررسی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در منطقه درهٔ زرشک از این روش استفاده شده است. در این شکل به‌واسطهٔ پایه نظری عملکرد روش سیگنال تحلیلی (مشتق‌گیری)، جزئیات بیش‌تری از منطقه نمایان شده و حد و مرز محدوده‌های بی‌هنجاری به‌ویژه در نیمهٔ شرقی محدوده به‌صورت تیزتر، واضح تر و محدودتر مشاهده می‌شوند.

استفاده از روش مغناطیس‌سنجی در اکتشاف کانسارهای مس پورفیری، دارای محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌هایی نیز است. این‌که هرگونه ماده مغناطیسی و اغلب سنگ‌های آذرین بازیک و اولترابازیک می‌توانند بی‌هنجاری‌های مغناطیسی بزرگی ایجاد کنند، فرآیند تفسیر داده‌ها در ارتباط با شناسایی زون‌های دگرسانی و به‌ویژه زون پتاسیک مرتبط با کانی‌سازی مس را قدری پیچیده و مبهم می‌سازد.

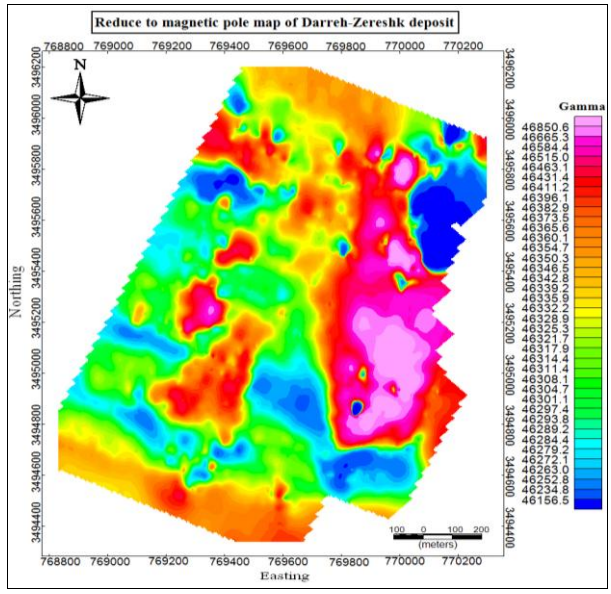
۵. مدل‌سازی وارون داده‌های ژئوالکتریک منطقهٔ بررسی شده

در پژوهش حاضر مدل‌سازی وارون هموار تمام پروفیل‌های ژئوالکتریک برداشت شده در محدودهٔ کانسار مس درهٔ زرشک یزد، به‌وسیلهٔ نرم‌افزار Res2dinv انجام شده است که در این‌جا به‌عنوان نمونه نتایج مدل‌سازی وارون داده‌های پروفیل 350N آورده شده است. مطابق شکل ۲ این پروفیل در مرکز محدوده، برای بررسی ادامه و گسترش زون بی‌هنجاری، با فواصل الکترودی ٤٠ متر و به‌طول ۸۵۰ متر، طراحی و برداشت شده است. شکل ۷ مقاطع مدل (الف) مقاومت ویژه و (ب) بارپذیری وارون‌سازی هموار شده را برای این پروفیل با تأثیر توپوگرافی نشان می‌دهد. با توجه به شکل (الف) مشاهده می‌شود که مقدار مقاومت ویژه در این پروفیل در اغلب نقاط بیش از ۱۰۰ اهم متر بوده است و در فاصلهٔ ۲۰- تا ۱۰۰ متری طول پروفیل، به بیش از ۲۰۰۰ اهم متر می‌رسد. با بررسی مقطع بارپذیری در شکل (ب) دو بی‌هنجاری احتمالاً مرتبط با زون اصلی قابل مشاهده است.

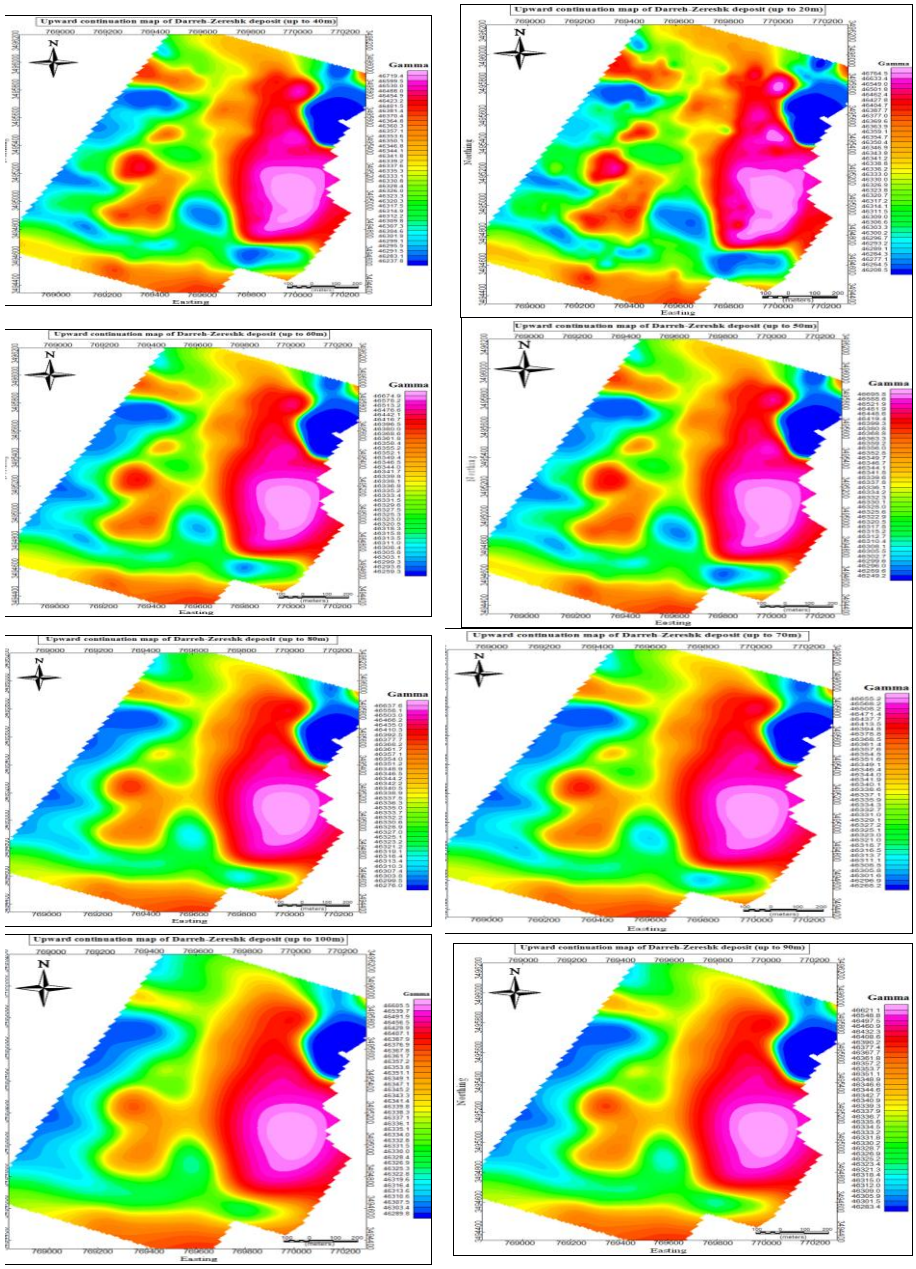
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]



شکل ۳. نقشهٔ تغییرات شدت میدان مغناطیسی کل منطقه بررسی شده (موقعیت نقاط برداشت با علامت × مشخص شده‌اند).



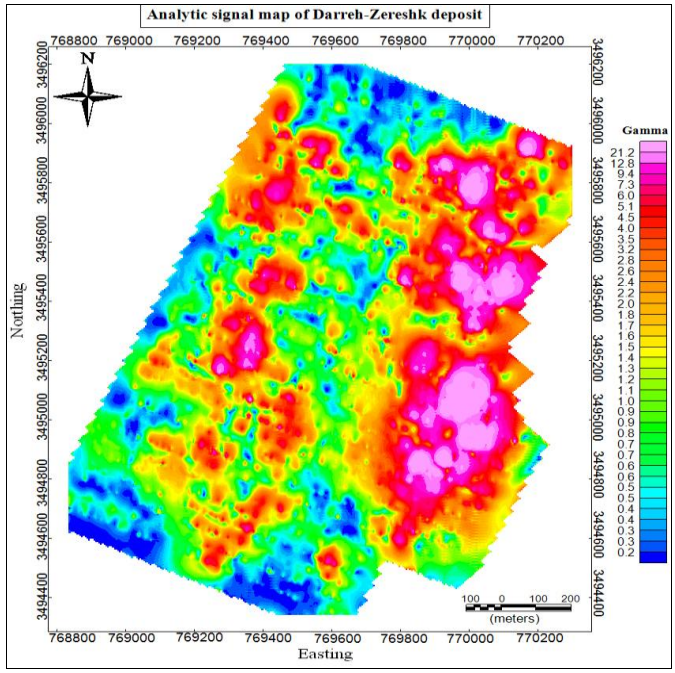
شکل ٤. نقشهٔ برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی



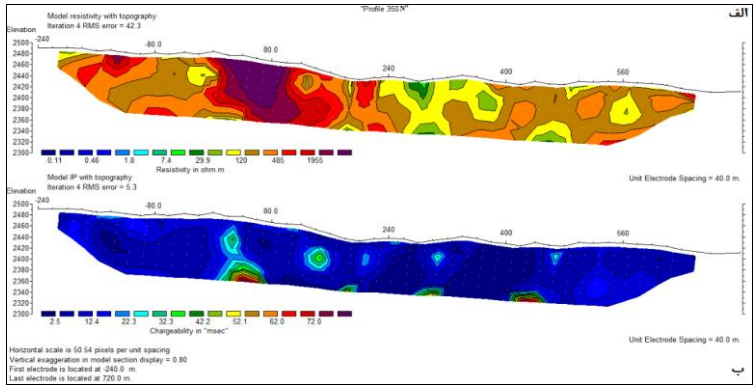
شکل ۵. نقشهٔ گسترش به‌سمت بالای داده‌های مغناطیسی تا ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ متر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]



شکل ٦. نقشه سیگنال تحلیلی حاصل از داده‌های مغناطیسی.



شکل ۷. مقاطع الف) مقاومت ویژه و ب) بارپذیری داده‌های پروفیل 350N بعد از مدل‌سازی وارون هموار

زون واقع در فاصلهٔ ۰ تا ۷۰ متری از ابتدای طول پروفیل و زون واقع در فاصلهٔ ٤۰۰ تا ٤٦۰ متری طول پروفیل که شدت بارپذیری زیادی دارد و احتمالاً کانی‌سازی این دو بخش در واحد دیوریت و گرانودیوریت انجام شده است. بقیه زون‌های با بارپذیری بالا در اعماق

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

به‌صورت محدوده‌های کوچک (که دارای مقاومت ویژه بالایی نیز هستند) احتمالاً به‌صورت اسکارنی هستند. به‌طورکلی در برداشت‌های ژئوالکتریک کاهش زیاد مقاومت ویژه می‌تواند ناشی از حضور محدوده‌های دگرسانی، لایه‌ها، عدسی‌ها و پاکت‌های رسی دانه‌ریز مرطوب، سفره‌های آب زیرزمینی و نیز توده‌های کانساری سولفیدی فلزی هادی (همانند پیریت، کالکوپیریت، سولفیدهای مس و غیره) باشد. هم‌چنین افزایش بارپذیری می‌تواند ناشی از حضور توده‌های فلزی‌هادی و یا لایه‌ها و توده‌های رسی مرطوب باشد. بنابراین با توجه با تأثیر عوامل مختلف روی پارامترهای مقاومت ویژه و بارپذیری، در تفسیر داده‌ها و نتایج روش‌های ژئوالکتریک ابهامات و عدم قطعیت‌هایی پیش می‌آید.

در اکتشاف کانسارهای فلزی، قطبش فلزی اهمیت زیادی دارد. معمولاً به‌هنگام اندازه‌گیری نمی‌توان اثر قطبش غشایی را از فلزی تشخیص داد؛ درنتیجه قطبش غشایی در اندازه‌گیری‌های قطبش القایی برای اکتشاف کانسارهای فلزی‌هادی، نوفه محسوب می‌شود. برای رفع این مشکل در شناسایی محدوده‌های مرتبط با ماده معدنی در شبه‌مقاطع، از عامل فلزی استفاده می‌شود که در واقع ترکیبی از شبه‌مقاطع بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری است. عامل فلزی در واقع یک پارامتر کیفی است که تاحدودی قطبش فلزی را از قطبش غیرفلزی جدا می‌کند و به‌عبارت‌دیگر منشأ کانی‌سازی فلزی را از غیرفلزی جدا می‌سازد، مثلاً کانی‌سازی سولفوری را از گرافیت و شیل مجزا می‌کند. عامل فلزی که با علامت اختصاری MF نشان داده می‌شود، برای قطبش القایی در حوزه زمان با استفاده از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود [۲۶]:

$$MF = \frac{M \times 2000}{\rho} \qquad (۱)$$

که در این رابطه M مقدار بارپذیری در حوزهٔ زمان و ρ مقدار مقاومت‌ویژه ظاهری است. در جدول ۱ مقادیر عامل فلزی متداول برای برخی از انواع سنگ‌های کانی‌سازی‌شده و کانی‌سازی نشده آورده شده است. با توجه به داده‌های این جدول مشاهده می‌شود که مقدار عامل فلزی برای سولفیدهای نوع افشان (پراکنده) بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ موهو بر متر است.

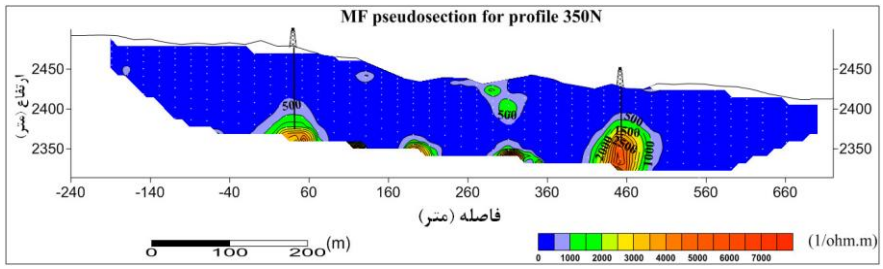
شکل ۸ مقطع عامل فلزی منطبق بر پروفیل 350N را پس از مدل‌سازی وارون هموار داده‌ها نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود مقدار عامل فلزی در چند محدوده مجزا نسبتاً زیاد است که در دو محدوده شاخص‌تر است: یکی در بین ایستگاه ۲۰ تا ۸۰ در عمق تقریبی ۱۰۰ متر و دیگری در بین ایستگاه ٤۲۰ تا ٤۸۰ در عمق تقریبی ٦۰ متری. بنابراین حفر یک

گمانه قائم تا عمق ۱۲۰ متر در موقعیت ایستگاه ٤٠ و حفر یک گمانه قائم تا عمق ۱۰۰ متر در ایستگاه ٤٦٠ مناسب‌ترین موقعیت پیشنهادی حفاری هستند.

جدول ۱. مقادیر عامل فلزی متداول (اندازه‌گیری شده در فرکانس ۱۰ هرتز)[۲۷]

عامل فلزی	نوع سنگ و کانی‌سازی
<۱	گرانیت‌های کانی‌سازی نشده
۱-۱۰	سنگ‌های بازیک کانی‌سازی نشده
۱۰-۱۰۰	سولفیدهای ریز افشان
۱۰۰-۱۰۰۰	سولفیدهای افشان
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	سولفیدهای با شکاف‌های پرشده
>۱۰۰۰۰	سولفیدهای توده‌ای

عدم امکان جداسازی کامل قطبش غشایی از قطبش الکترودی در پی‌جویی و اکتشاف کانسارهای فلزی نظیر مس پورفیری با روش قطبش القایی، موجب منحصر بفرد نشدن تفسیر و عدم قطعیت در تفسیر داده‌ها و نتایج روش ژئوفیزیکی قطبش القایی است.



شکل ۸. مقطع عامل فلزی داده‌های پروفیل 350N بعد از مدل‌سازی وارون هموار

٦. بررسی میزان انطباق داده‌های مغناطیسی با داده‌های ژئوالکتریک

به‌منظور بررسی دقیق‌تر و تفسیر بهتر داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده در منطقه و بررسی میزان انطباق داده‌های مغناطیسی با داده‌های ژئوالکتریک، تمام پروفیل‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک، ترسیم شده و تجزیه و تحلیل شده است. ازآن‌جاکه مطابق شکل ۲ طول پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک با طول پروفیل‌های مغناطیسی منطبق بر آنها دقیقاً برابر نیستند (به‌ویژه در مورد پروفیل‌های ژئوالکتریک 350N، 500N و 1150N)، بنابراین به‌منظور مقایسه داده‌های برداشت روش‌های ژئوفیزیکی مختلف

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

منطبق بر هر پروفیل، طول مشترک پروفیل تحلیل می‌شود. هدف از این کار، تحلیل بهتر داده‌های مغناطیسی با استفاده از واحدهای لیتولوژی نقشهٔ زمین‌شناسی براساس وابستگی شدید نتایج مغناطیس‌سنجی به نوع لیتولوژی از سطح زمین تا اعماق است.

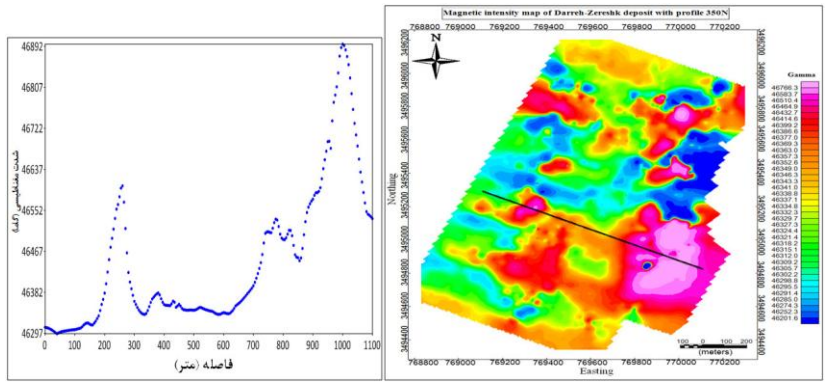
در شکل ۹ (الف) نقشهٔ شدت میدان مغناطیسی کل همراه با موقعیت ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر پروفیل ژئوالکتریکی 350N و در شکل (ب) پروفیل بی‌هنجاری شدت میدان مغناطیسی ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر پروفیل ژئوالکتریک 350N ترسیم شده است. موقعیت این پروفیل روی نقشهٔ زمین‌شناسی شکل ۱ نشان می‌دهد که این محدوده بر واحدهای لیتولوژی از جنس ماسه‌سنگ، گرانودیوریت و گرانودیوریت پورفیری قرار دارد. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که در دو بخش ابتدایی و انتهای طول این پروفیل، شدت میدان مغناطیسی بالاست که بی‌هنجاری برجسته‌ای را نشان می‌دهد. مقایسهٔ بی‌هنجاری مغناطیسی این پروفیل با مقاطع ژئوالکتریکی IP و Rs منطبق بر این پروفیل (شکل ۷) نشان می‌دهد که دو محدوده بی‌هنجاری مغناطیسی، دارای قطبش القایی بالا و مقاومت الکتریکی ویژه زیاد هستند که این موضوع دلیل بر تطابق داده‌های مغناطیسی و ژئوالکتریک با یکدیگر و نیز مرتبط بودن آنها با کانی‌سازی است. البته مقاومت ویژه بالا در این محدوده، احتمالاً ناشی از مقاومت ویژه زیاد سنگ میزبان کانی‌سازی است.

در شکل ۱۰ نیز مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری (سمت چپ به‌ترتیب از بالا به پایین)، نقشهٔ شدت میدان مغناطیسی کل همراه با موقعیت ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی و پروفیل بی‌هنجاری داده‌های ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی (سمت راست به‌ترتیب از بالا به پایین) منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریک 500N، 750N و 1150N نشان داده شده است. موقعیت پروفیل 500N روی نقشهٔ زمین‌شناسی شکل ۱ نشان می دهد که این محدوده روی ماسه سنگ‌های جوان و قدیمی، آبرفت‌ها و توده‌های سنگریزه قرار دارد. در شکل ۱۰ در ابتدای این پروفیل شدت مغناطیسی پایین است که در ادامه، این شدت به‌تدریج افزایش می‌یابد و در انتهای پروفیل نیز بی‌هنجاری چشم‌گیری به‌صورت یک محدودهٔ مجزا با شدت مغناطیسی بالا مشاهده می‌شود. مقایسه بی‌هنجاری مغناطیسی این پروفیل با مقاطع ژئوالکتریکی IP و Rs نشان می‌دهد که در ابتدای طول پروفیل میزان مقاومت ویژه زیاد بوده است ولی در ادامه طول پروفیل، کاهش می‌یابد و شدت بارپذیری، عکس آن است. بی‌هنجاری مغناطیسی سمت راست این پروفیل می‌تواند در ارتباط با کانه‌زایی در منطقه باشد زیرا لیتولوژی غالب سطح زمین در طول این پروفیل بیشتر از جنس سنگ‌های رسوبی و رسوبات است.

موقعیت پروفیل 750N روی نقشهٔ زمین‌شناسی شکل ۱ نشان می‌دهد که این محدوده بر روی سنگ‌های رسوبی از جنس آهک خاکستری رنگ و ماسه سنگ قرار دارد. در شکل ۱۰ یک

بی‌هنجاری به‌صورت محدوده‌ای مجزا با شدت مغناطیسی نسبتاً بالا در انتهای پروفیل مشاهده می‌شود که قبل از این بی‌هنجاری، شدت میدان مغناطیسی به‌صورت یکنواخت است و پس از آن در ادامه، این شدت افت زیادی داشته است. مقایسه بی‌هنجاری مغناطیسی این پروفیل با مقاطع ژئوالکتریکی IP و Rs نشان می‌دهد که این بی‌هنجاری (به‌صورت دوقطبی در انتهای طول پروفیل)، متناظر با میزان مقاومت ویژه اندک و شدت بارپذیری زیاد است و می‌تواند در ارتباط مستقیم با کانه‌زایی در داخل سنگ‌های رسوبی همانند آهک و ماسه سنگ باشد.

موقعیت پروفیل 1150N روی نقشهٔ زمین‌شناسی شکل ۱ نشان می‌دهد که این محدوده بر سنگ‌های رسوبی ماسه سنگی و رسوبات رسی (زون آرژیلیک) قرار دارد. در شکل ۱۰ یک بی‌هنجاری به‌صورت محدوده‌ای مجزا با شدت مغناطیسی نسبتاً زیاد در انتهای طول پروفیل مشاهده می‌شود که قبل و بعد از این بی‌هنجاری شدت میدان مغناطیسی افت می‌کند و این افت به‌صورت تقریباً یکنواخت ادامه می‌یابد. مقایسه بی‌هنجاری مغناطیسی این پروفیل با مقاطع ژئوالکتریکی IP و Rs نشان می‌دهد که این بی‌هنجاری متناظر با میزان مقاومت ویژه اندک و شدت بارپذیری زیاد است و با توجه به لیتولوژی سطحی، می‌تواند در ارتباط با کانه‌زایی باشد.



ب الف

شکل ۹. الف) نقشهٔ شدت میدان مغناطیسی کل همراه با موقعیت ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر پروفیل ژئوالکتریکی 350N، ب) پروفیل بی‌هنجاری داده‌های ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر پروفیل ژئوالکتریک 350N

۷. بررسی کل داده‌های ژئوالکتریک منطقه به تفکیک ویژگی‌ها (IP، Rs و MF)

با استفاده از داده‌های کل منطقه بررسی شده برای عمق‌های ٤٣، ٥٤، ٧٨، ٩٢ و ١٠٧ متری، نقشه جداگانه هر کدام از ویژگی‌ها در یک شکل به‌صورت یک‌جا ترسیم شده است تا

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

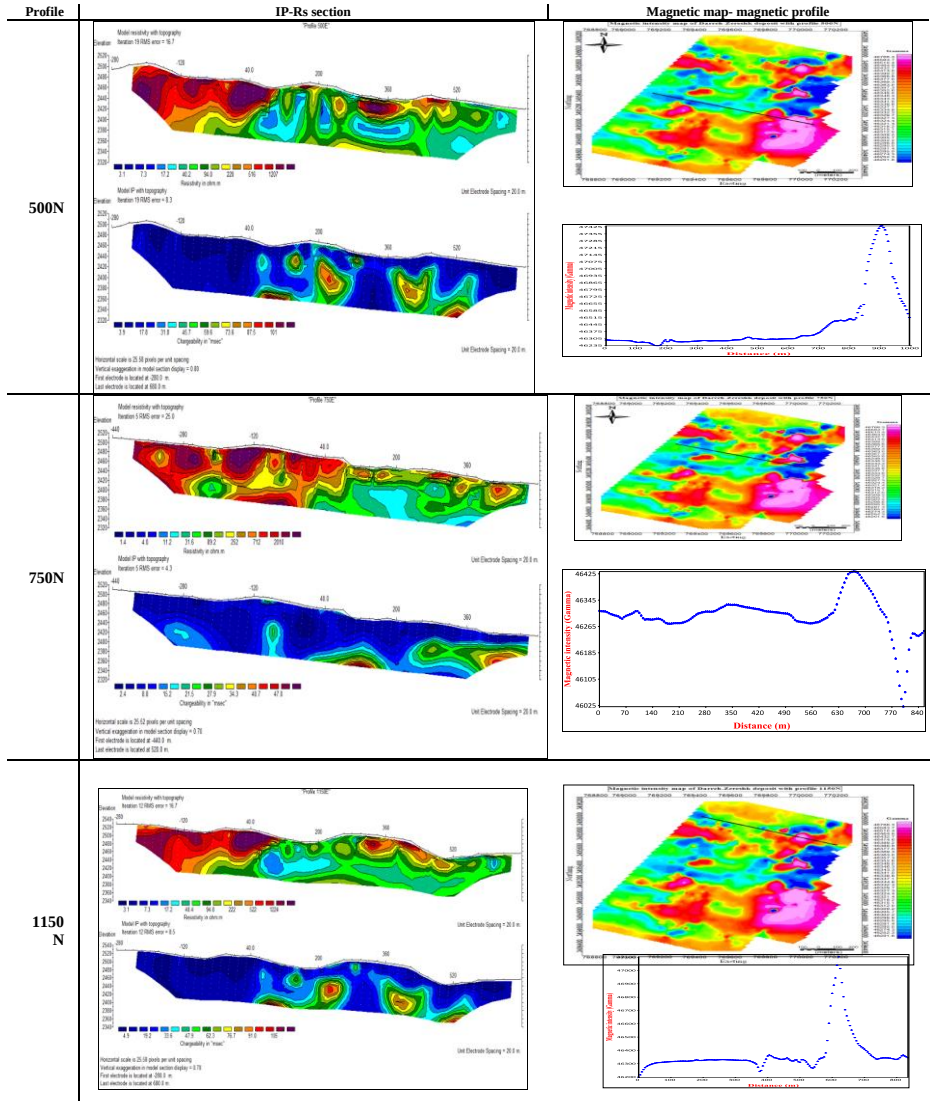
بررسی تغییرات هر ویژگی در عمق‌های مختلف بهتر و راحت‌تر انجام شود. برای دید بهتر، تمامی نقشه‌ها به‌صورت سه‌بعدی با چرخش ٤٥ درجه و زاویه تیلت ۳۰ درجه ترسیم شده‌اند. در شکل ۱۱ نقشهٔ تغییرات مقاومت ویژه کل منطقه بررسی شده در عمق‌های مختلف ترسیم شده است. مطابق این شکل مقدار مقاومت ویژه در گوشه شمال‌غربی محدوده در اعماق مختلف زیاد است که با افزایش عمق ابتدا شدت آن افزایش یافته و سپس در اعماق زیاد به‌ویژه عمق ۱۰۷ متری کاهش می‌یابد. هم‌چنین در یک محدوده با مختصات تقریبی ۷٦۹۷۰۰ شرقی و ۳٤۹٥٥۰۰ شمالی از عمق ٤۳ متری تا عمق ۷۸ متری مقدار مقاومت ویژه افزایش می‌یابد که شدت آن با افزایش عمق، کاهش را نشان می‌دهد به‌گونه‌ای‌که در عمق ۱۰۷ متری اثر آن به‌کلی محو می‌شود.

در شکل ۱۲ نقشه تغییرات بارپذیری کل منطقه بررسی شده، در عمق‌های مختلف ترسیم شده است. چنان‌که دیده می‌شود در این نقشه در عمق ٤۳ متری بخش بزرگی از محدوده به‌ویژه در نیمهٔ شرقی دارای بارپذیری زیادی است که با افزایش عمق، وسعت این محدوده به‌تدریج افزایش می‌یابد ولی از شدت آن در بخش مرکزی محدوده، کاسته می‌شود. شکل ۱۳ نقشهٔ تغییرات عامل فلزی منطقه بررسی شده را در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که میزان عامل فلزی از عمق ٤۳ متری به‌سمت اعماق بیش‌تر، افزایش می‌یابد به‌گونه‌ای‌که در عمق ۷۸ متری، هم‌وسعت و هم‌شدت آن چشم‌گیر است اما با افزایش عمق، دوباره از وسعت و شدت آن کاسته می‌شود. محدوده با مختصات ۷۷۰۱۰۰ شرقی و ۳٤۹٥۷٥۰ شمالی در عمق‌های کم، عامل فلزی ضعیفی را نشان می‌دهد اما افزایش شدت آن در اعماق، همواره حفظ می‌شود؛ بنابراین احتمال وجود کانی‌سازی فلزی در این محدوده زیاد است.

۸. بررسی کیفی میزان انطباق مقاطع اکتشافی با مقاطع ژئوالکتریک

به‌منظور اعتبارسنجی عملیات ژئوفیزیکی انجام شده و نیز پیشنهاد موقعیت بهینه عملیات حفاری‌های اکتشافی جدید در منطقه، برای تمام مقاطع بارپذیری، مقاومت ویژه و فاکتور فلزی و مقاطع اکتشافی منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریکی 350N، 500N، 750N و 1150N مقایسه کیفی انجام شده است. برای این منظور از داده‌های عیارسنجی مغزه‌های گمانه‌های اکتشافی منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریکی استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات گمانه‌های اکتشافی واقع بر پروفیل‌های ژئوفیزیکی منطقه، آورده شده‌اند. گفتنی است که برای دست‌یابی

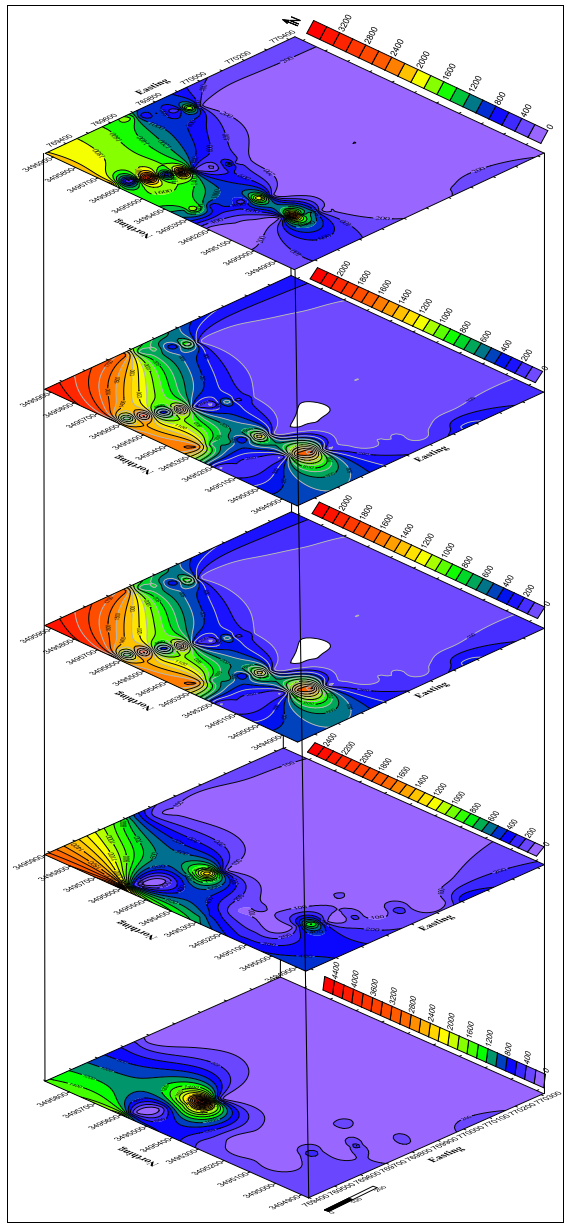
به‌دقت بیش‌تر و استفاده از اطلاعات و داده‌های اکتشافی بیش‌تر، گمانه‌های نزدیک به هر پروفیل ژئوفیزیکی، روی مقطع اکتشافی نظیر آن پروفیل، تصویر شده‌اند.



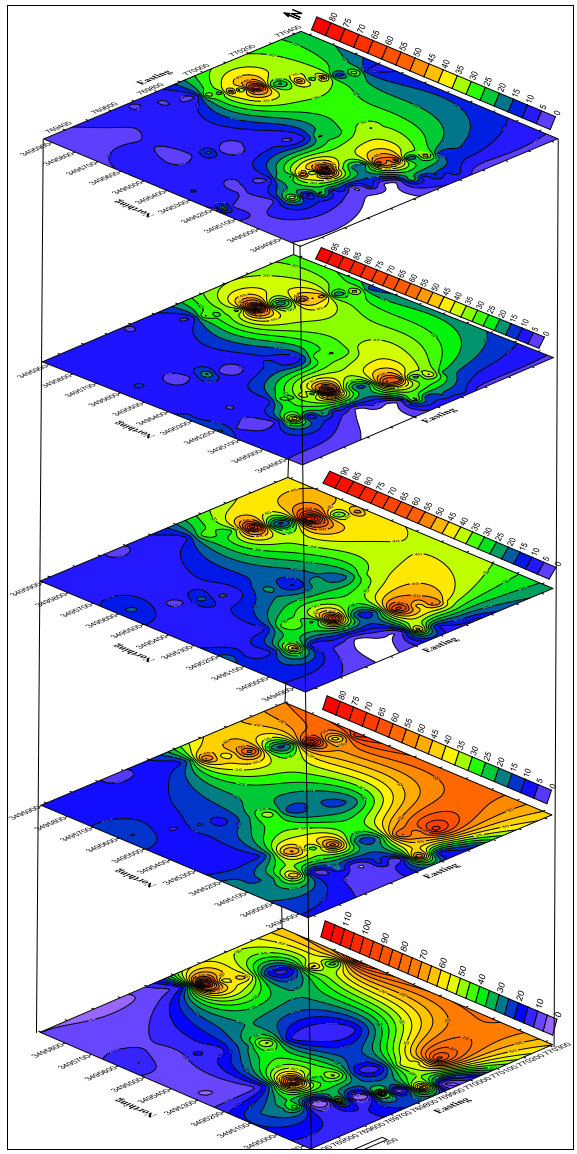
شکل ۱۰ مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری (سمت چپ به‌ترتیب از بالا به پایین)، نقشهٔ شدت مغناطیسی کل همراه با موقعیت ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی و پروفیل بی‌هنجاری مغناطیسی (سمت راست به‌ترتیب از بالا به پایین) منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریک 500N، 750N و 1150N

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]



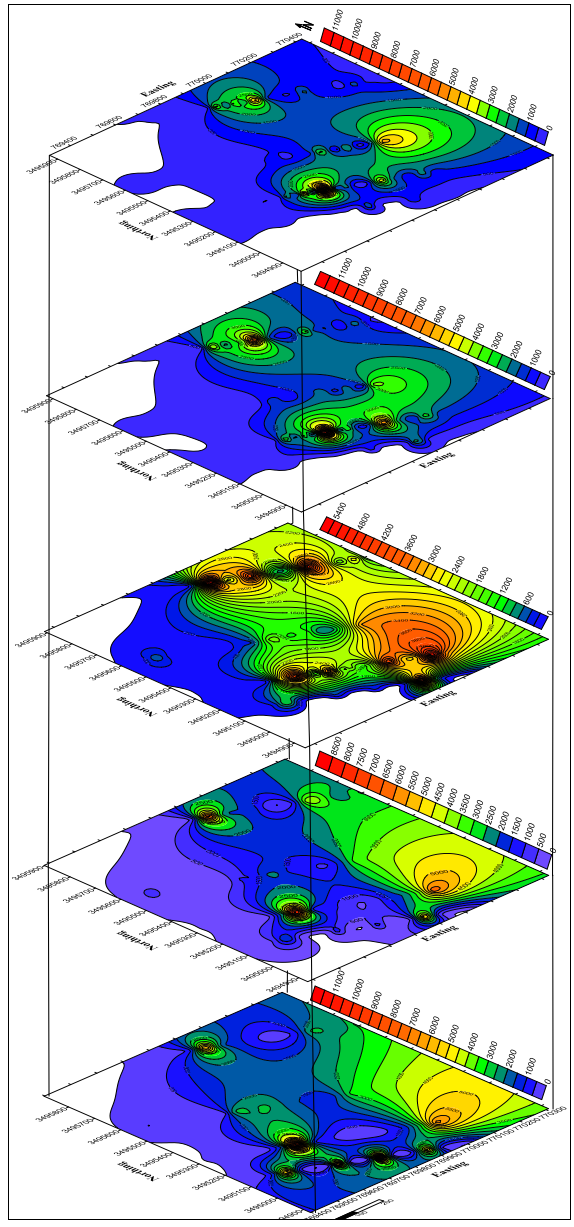
شکل ۱۱. نقشهٔ تغییرات مقاومت ویژه (بر حسب اهم متر) عمق‌های ۴۳، ۵۴، ۷۸، ۹۲ و ۱۰۷ متری (به‌ترتیب از بالا به پایین) در منطقهٔ بررسی شده



شکل ۱۲. نقشهٔ تغییرات بارپذیری (بر حسب میلی ثانیه) عمق‌های ۴۳، ٥٤، ۷۸، ۹۲ و ۱۰۷ متری (به‌ترتیب از بالا به پایین) در منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]



شکل ۱۳. نقشهٔ تغییرات عامل فلزی (برحسب عکس اهم متر) عمق‌های ٤۳، ٥٤، ۷۸، ۹۲ و ۱۰۷ متری (به‌ترتیب از بالا به پایین) در منطقهٔ بررسی شده

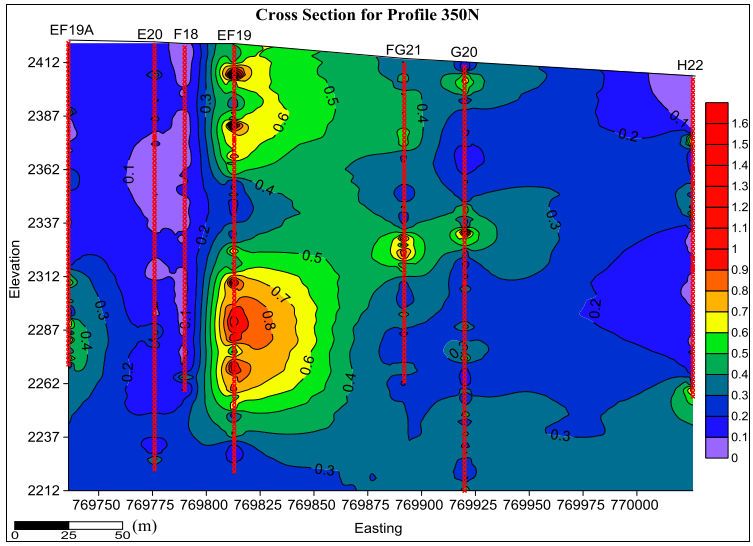
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

میزان تطابق کیفی داده‌های ژئوالکتریک با داده‌های عیارسنجی عملیات حفاری برای تمام پروفیل‌های ژئوالکتریک به شکل‌های مختلف انجام شده که به‌عنوان نمونه در شکل ١٤ مقطع اکتشافی منطبق بر پروفیل ژئوالکتریکی 350N، با استفاده از داده‌های عیارسنجی مس هفت گمانه E20، F18، EF19، EF19A، FG21، G20 و H22 ترسیم شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که ماده معدنی تنها در چند محدوده مجزا به‌ویژه در راستای گمانه EF19 دارای عیار نسبتاً زیادی است. این در حالی است که گمانه‌های EF19A، E20، F18 و H22 در هیچ عمقی به ماده معدنی برخورد نکرده‌اند. به‌عبارت دیگر حفر این گمانه‌های عمیق براساس نتایج عملیات ژئوفیزیکی نیست، بدون هیچ‌گونه منطق، هدف و طراحی درستی انجام شده است و فاقد ماده معدنی هستند.

داده‌های عیارسنجی گمانه EF19 نشان می‌دهد که میزان عیار ماده معدنی در این گمانه در دو محدوده به‌ویژه در اعماق، نسبتاً مطلوب است. مطابق شکل ۷ در موقعیت این گمانه اگرچه مقاطع ژئوفیزیکی IP و Rs بی هنجاری متوسطی را نشان می دهند، اما براساس نتایج برداشت‌های ژئوفیزیکی هیچ گمانه‌ای پیشنهاد نشده است زیرا عمق تجسس برداشت‌های IP و Rs چندان زیاد نیست. گمانه G20 براساس نتایج عملیات ژئوفیزیکی، پیشنهاد و حفاری شده است که داده‌های عیارسنجی این گمانه نیز حضور ماده معدنی در دو محدوده کوچک مجزا را نشان می‌دهد. با توجه به پیشنهاد حفاری گمانه G20 حفر گمانه FG21 بدون پیشنهاد نتایج عملیات ژئوفیزیکی در مجاورت این گمانه، ضرورتی نداشته که داده‌های عیارسنجی این گمانه دلالت بر حضور ماده معدنی چشم‌گیری ندارد. هم‌چنین در موقعیت با مختصات ٧٦٩٥٢٠ شرقی و ٣٤٩٥١٠١ شمالی پیشنهاد حفاری جدیدی شده است که به‌منظور تکمیل عملیات اکتشاف باید در آینده حفاری شود.

جدول ۲. مشخصات گمانه‌های اکتشافی واقع بر پروفیل‌های ژئوالکتریک

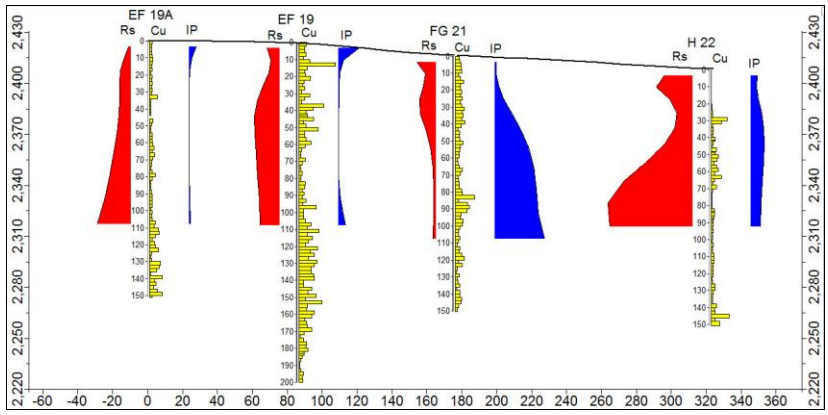
نام پروفیل	گمانه‌های واقع بر روی پروفیل
350N	EF19A, EF19, E20, FG21,H22
500N	F16, G17
750N	E9, F10, HI13
1150N	GH3



شکل ۱۴. مقطع اکتشافی داده‌های عیارسنجی مس گمانه‌های اکتشافی منطبق بر پروفیل ژئوالکتریکی 350N

در شکل ۱۵ نیز به‌عنوان نمونه مقطع چاه‌نگار گمانه‌های حفرشده منطبق بر پروفیل ژئوالکتریک 350N در منطقه دره‌زرشک یزد نشان داده شده است. در این شکل نگار گمانه‌ها شامل منحنی تغییرات عمقی مقاومت ویژه (با رنگ قرمز و افزایش از راست به چپ)، هیستوگرام تغییرات عمقی عیارسنجی مس (با رنگ زرد و افزایش از چپ به راست) و منحنی تغییرات عمقی بارپذیری (با رنگ آبی و افزایش از چپ به راست) ترسیم شده است. مطابق این شکل براساس مشاهده می‌توان گفت که در گمانه FG21 نسبت به گمانه‌های دیگر این مقطع، نتایج عملیات حفاری (داده‌های عیارسنجی) به‌طور کیفی با نتایج برداشت‌های ژئوالکتریک تطابق بیش‌تری دارند. در گمانه EF19 عیار ماده معدنی در اعماق زیاد افزایش یافته اما برداشت‌های ژئوالکتریک تا آن اعماق ادامه نیافته است. به‌طورکلی ازآن‌جاکه داده‌های ژئوفیزیکی معمولاً آغشته به مقداری از انواع نوفه‌ها است، بنابراین ممکن است که در برخی از فواصل عمقی، تطابق نسبی بین داده‌های ژئوفیزیکی و داده‌های عیارسنجی ضعیف شود و این عامل میزان هم‌بستگی بین داده‌ها را کاهش می‌دهد. برای رفع این مشکل باید با استفاده از روش‌های مناسب، تا حدامکان نوفه‌های موجود در داده‌های ژئوفیزیکی را تضعیف کرد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]



شکل ۱۵. مقطع چاه نگار (شامل مقاومت ویژه، هیستوگرام عیارسنجی مس و بارپذیری) گمانه‌های حفرشده منطبق بر پروفیل ژئوالکتریکی 350N کانسار مس دره‌زرشک یزد

۹. بررسی کمی میزان انطباق مقاطع اکتشافی با مقاطع ژئوالکتریک

به‌منظور مقایسهٔ کمی مقاطع اکتشافی با مقاطع ژئوالکتریک و بررسی میزان انطباق آنها با یک‌دیگر، میزان هم‌بستگی خطی بین داده‌های وارون‌سازی شده ژئوفیزیکی بارپذیری، مقاومت ویژه ظاهری و عامل فلزی با داده‌های عیارسنجی مس عملیات حفاری، در محدوده‌ای مشخص و یکسان، بعد از یک شبکه‌بندی معین و برابر، و درونیابی مقادیر آنها، تعیین شده است. برای درون‌یابی داده‌ها از روش تخمین کریجینگ استفاده شد و نتایج میزان هم‌بستگی پارامترهای مذکور برای پروفیل‌های مختلف نیز در جدول ۳ خلاصه شده است.

داده‌های جدول ۳ و واژه‌های توصیفی مربوط به‌میزان ضرایب هم‌بستگی در جدول ٤ نشان می‌دهند که:

۱. مطابق انتظار میزان هم‌بستگی بین داده‌های بارپذیری و مقاومت ویژه در تمام پروفیل‌ها، منفی است که مقدار آن در پروفیل‌های 350N، 750N و 1150N بسیار کم، و در پروفیل 500N کم است.

۲. میزان هم‌بستگی بین داده‌های بارپذیری و عامل فلزی، در تمام پروفیل‌ها مثبت و مقدار آن در پروفیل‌های 350N و 750N زیاد، و در دو پروفیل دیگر، متوسط رو به بالا است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

جدول ۳. ضرایب هم‌بستگی بین داده‌های مقاطع ژئوالکتریک و داده‌های عیارسنجی مقاطع اکتشافی منطبق بر آنها

پروفیل / میزان همبستگی	350N	500N	750N	1150N
IP-Rs	−۰/۰۹۶	−۰/۲۳۵	−۰/۰۹۲	−۰/۱۸۸
IP-MF	۰/۸۲۲	۰/٦٨٦	۰/۷۲۵	۰/۵۲۱
Rs-MF	−۰/۳٦۲	−۰/۳۹۳	−۰/۳٤۰	−۰/۳۵۱
Cu-IP	۰/۱٦۲	۰/۳۳۰	−۰/۱۰۳	۰/۳۹۹
Cu-Rs	۰/۰۲۲	−۰/۱۰٦	−۰/۱۲٤	−۰/۱۸۷
Cu-MF	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲	−۰/۱۰٦	۰/۱۹۲

۳. مطابق انتظار میزان هم‌بستگی بین داده‌های مقاومت ویژه و عامل فلزی در تمام پروفیل‌ها منفی و مقدار آن کم است.

٤. میزان هم‌بستگی بین داده‌های عیارسنجی مس با داده‌های بارپذیری در تمام پروفیل‌ها نسبتاً کم است و این نتیجه در پروفیل 750N بر خلاف انتظار است.

۵. میزان هم‌بستگی بین داده‌های عیارسنجی مس و مقاومت ویژه در تمام پروفیل‌ها بجز پروفیل 350N، منفی و مقدار آن بسیار کم است.

٦. میزان هم‌بستگی بین داده‌های عیارسنجی مس و عامل فلزی در تمام پروفیل‌ها به‌جز پروفیل 750N، مثبت و مقدار آن بسیار کم است که تاحدودی برخلاف انتظار است؛ هرچند مقاومت ویژه زیاد محیط میزبان کانی‌سازی می‌تواند عامل تأثیرگذار آن باشد.

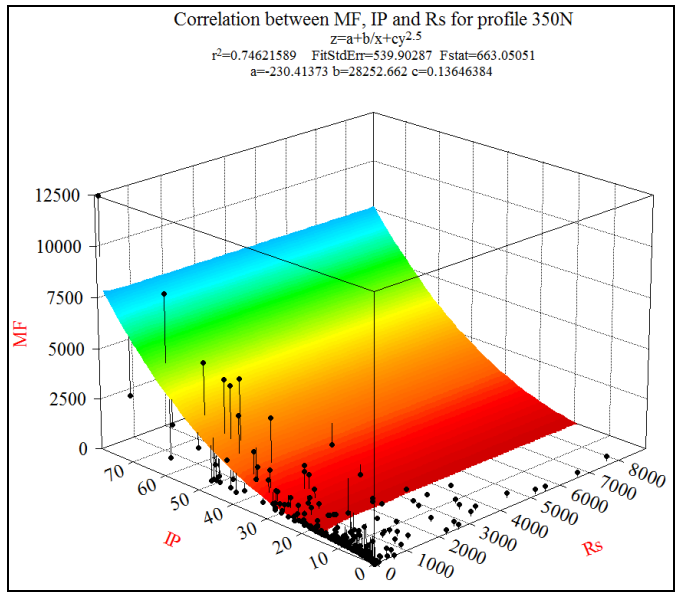
بنابراین از نظر کمی به‌طورکلی، انطباق نسبتاً خوبی بین داده‌های عیارسنجی مس گمانه‌های اکتشافی (عملیات اکتشاف مستقیم حفاری) و داده‌های بارپذیری، مقاومت ویژه و عامل فلزی (عملیات اکتشاف غیرمستقیم ژئوفیزیکی)، وجود دارد.

جدول ٤. واژه توصیفی مربوط به میزان ضریب هم‌بستگی بین دو متغیر[۲۸].

میزان هم‌بستگی	۰−۰/۲	۰/۲۱−۰/٤	۰/٤۱−۰/۷	۰/۷۱−۰/۹	۰/۹۱−۱
واژه توصیفی	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد

هم‌چنین به‌منظور تعیین رابطهٔ ریاضی ساده بین پارامترهای ژئوالکتریک IP، Rs و MF یک بررسی آماری با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده شبه مقاطع منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریک انجام شد. برای این منظور نمودار پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری شده

ژئوالکتریک متناظر با تمام پروفیل‌های ژئوفیزیکی، به‌طور جداگانه ترسیم شده و از طریق برازش منحنی سه‌بعدی با استفاده از نرم افزار TableCurve 3D علاوه بر ترسیم شکل منحنی برازش یافته بر داده‌ها، ساده‌ترین و در عین حال معتبرترین رابطهٔ ریاضی موجود بین این متغیرها (براساس پارامتر ضریب تعیین) تعیین شد. به‌عنوان نمونه شکل ۱۶ نمودار پراکندگی مقادیر MF در مقابل مقادیر IP و Rs شبه مقاطع منطبق بر پروفیل ژئوالکتریکی 350N را نشان می‌دهد که در قسمت بالای نمودار اطلاعاتی نظیر معادله ریاضی منحنی برازش یافته بر داده‌ها، میزان ضریب تعیین (r^2)، میزان خطای استاندارد برازش و مقدار آماره F نیز ارائه شده است. با استفاده از این روابط ساده ریاضی می‌توان در عمل به پیش‌بینی مقادیر پارامترهای مجهول در نقاط مختلف این کانسار یا کانسارهای مشابه پرداخت.



شکل ۱۶. نمودار میزان هم‌بستگی بین داده‌های شبه‌مقاطع IP، Rs و MF منطبق بر پروفیل ژئوفیزیکی 350N (x=Rs, y=IP, z=MF)

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مدل‌سازی وارون، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تفسیر نتایج برداشت‌های ژئوفیزیکی به‌روش‌های مغناطیس‌سنجی، مقاومت ویژه و قطبش القایی کانسار مس پورفیری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

دره‌زرشک یزد صورت گرفت. هم‌چنین تمام اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های اکتشافی موجود به‌ویژه داده‌های عیارسنجی عملیات حفاری، استفاده شد تا ضمن ارزیابی عملکرد روش‌های اکتشاف غیرمستقیم (اکتشافات ژئوفیزیکی) و تعیین میزان ارتباط آنها با نتایج عملیات اکتشاف مستقیم (عملیات حفاری)، شناخت کاملی از کانسار بررسی شده صورت گیرد. نتایج حاصل از فعالیت‌های انجام شده در این پژوهش را می‌توان بدین‌صورت خلاصه کرد:

ترسیم نقشه تغییرات شدت میدان مغناطیسی کل منطقه و پردازش داده‌های مغناطیسی به‌کمک نرم‌افزار Oasis montaj نشان می‌دهد که شدت بی‌هنجاری مغناطیسی و پیوستگی آن، در نیمهٔ غربی و به‌ویژه بخش جنوبی آن از مناطق دیگر بیش‌تر است. با ترسیم پروفیل بی‌هنجاری ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی منطبق بر چهار پروفیل ژئوالکتریکی 350N، 500N، 750N و 1150N بر نقشهٔ زمین‌شناسی محدوده، مشخص شد که محدوده‌های با بی‌هنجاری مغناطیسی نسبتاً زیاد، بیش‌تر بر واحدهای لیتولوژی سطحی از جنس سنگ‌های رسوبی قرار دارند. هم‌چنین مقایسه پروفیل بی‌هنجاری ایستگاه‌های برداشت مغناطیسی، با مقاطع IP و Rs نظیر این پروفیل‌ها نشان می‌دهد که اغلب محدوده‌های بی‌هنجار مغناطیسی، دارای قطبش القایی بالا و مقاومت الکتریکی ویژه پایین نیز هستند که این موضوع دلیل بر تطابق کیفی داده‌های مغناطیسی و ژئوالکتریک با یک‌دیگر و در نتیجه افزایش احتمال کانی‌سازی در منطقه است.

براساس تفسیر کیفی وارون‌سازی هموار شده شبه‌مقاطع مقاومت ویژه، قطبش القایی و نیز مقطع عامل فلزی چهار پروفیل ژئوالکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv موقعیت نقاط بهینه حفاری روی هر پروفیل پیشنهاد شد. بررسی وضعیت پراکندگی گمانه‌های اکتشافی حفر شده در منطقه نشان می‌دهد که تعداد ۱۰ گمانه روی پروفیل‌های ژئوالکتریکی منطبق بوده است یا در نزدیکی آنها قرار دارند. بنابراین با وجود اطلاعات زمین‌شناسی و عیارسنجی مس در گمانه‌ها و نیز اطلاعات ژئوفیزیکی عمقی در موقعیت این گمانه‌ها، نتایج پژوهش‌های ژئوفیزیکی با واقعیت زمین (داده‌های عیارسنجی) بررسی شد و میزان اعتبار آنها ارزیابی شد. با توجه به نتایج این مرحله از کار مشخص شد که آیا حفاری‌های انجام شده در موقعیت‌های بی‌هنجاری ژئوفیزیکی شناخته شده قرار دارند یا خیر. اگر در محلی که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

بی‌هنجاری ژئوفیزیکی وجود ندارد و گمانه‌ای حفاری شده است، عیارسنجی آن گمانه چگونه است؟ اگر نتایج داده‌های عیارسنجی مناسب است، چرا در آن محل بی‌هنجاری ژئوفیزیکی وجود ندارد و اگر مناسب نیست، چرا عملیات حفاری انجام شده است.

به‌وسیله ترسیم مقطع ماده معدنی منطبق بر پروفیل‌های ژئوفیزیکی با استفاده از داده‌های عیارسنجی، مشخص شد که حفاری برخی از گمانه‌های منطبق بر این پروفیل‌ها براساس نتایج عملیات ژئوفیزیکی نیست و بدون هیچ‌گونه منطق، هدف و طراحی درستی صورت گرفته و بدون ماده معدنی است. به‌منظور ارزیابی نتایج عملیات برداشت ژئوفیزیکی از طریق میزان تطابق کیفی آنها با داده‌های عیارسنجی عملیات حفاری، چاه نگار تمام گمانه‌های حفاری شده منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریک نیز، بطور دقیق بررسی شد و مقایسهٔ اطلاعات اکتشافی موجود آنها نشان داد که به‌طورکلی بین این داده‌ها، تطابق کیفی نسبتاً خوبی وجود دارد. البته در برخی نقاط که گمانه‌های عمیق وجود دارند، بررسی‌های ژئوالکتریک تا اعماق ادامه نیافته و درنتیجه امکان بررسی تطابق داده‌های ژئوالکتریک و عیارسنجی در اعماق زیاد میسر نیست.

به‌منظور بررسی میزان انطباق کمی مقاطع اکتشافی با مقاطع ژئوفیزیکی، میزان هم‌بستگی خطی بین داده‌های ژئوفیزیکی وارون‌سازی‌شده بارپذیری، مقاومت‌ویژه و عامل فلزی با داده‌های عیارسنجی مس عملیات حفاری، در محدوده‌ای مشخص و یکسان، بعد از یک شبکه‌بندی معین و برابر و درون‌یابی مقادیر آنها، تعیین و مشخص شد که به‌طورکلی انطباق کمی نسبتاً خوبی (بین ۰/٤ تا ۰/۷) بین داده‌های عیارسنجی مس گمانه‌های اکتشافی و داده‌های ژئوفیزیکی بارپذیری، مقاومت ویژه و عامل فلزی وجود دارد. هم‌چنین با استفاده از بررسی‌های آماری و براساس معیار ضریب تعیین، روابط ریاضی ساده و در عین حال معتبر، بین داده‌های پارامترهای ژئوفیریکی منطبق بر پروفیل‌های ژئوالکتریک، برای تخمین پارامترهای مجهول در نقاط مختلف این کانسار یا کانسارهای مشابه استخراج شد.

بنابراین به‌منظور اکتشاف اصولی این کانسار پیشنهاد می‌شود که گمانه‌های اکتشافی جدید پیشنهادی براساس نتایج شبه‌مقاطع وارون‌سازی‌شده ژئوالکتریک، حفاری شوند که داده‌های عیارسنجی حفاری‌های پیشنهادی جدید به‌منظور بهبود روند مراحل مختلف تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها در آینده به‌ویژه تخمین ذخیره کانسار، مورد نیاز است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

منابع

1. Aliluo S. K., Abedi M., Norouzi G. H., "IP-Rs geophysical 3D modelling of Cu-Fe skarns; A case study Ghalandar skarn deposit", Proceedings of the 18th Iranian Geophysical Conference, Tehran (May 2018) 962-964.

۲ احمدی ر.، افضلی ن.، "مدل‌سازی وارون هموار داده‌های ژئوفیزیکی اکتشافی کانسار سرب و روی حسین‌آباد خمین"، دهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، تبریز (۱۳۹۶).

3. Shahrabi M. A., Amanian M., Hafezi Moghaddas N., "Application of IP&Rs investigation method in exploration of copper ore in Kashmar", Proceedings of the 17th Iranian Geophysical Conference, Tehran, April, (2017) 21-23.

٤ احمدی ر.، "ارزیابی و تجزیه وتحلیل کارآیی اکتشافات ژئوفیزیکی انجام شده در معدن تپه‌سرخ از مجتمع معادن ایرانکوه"، بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران (۱۳۸۰).

۵ احمدی ر.، اسدی ا.، جلالی م.، "ارزیابی و تجزیه و تحلیل کارآیی اکتشافات ژئوفیزیکی انجام شده در کانسار مس علی‌آباد یزد"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران (۱۳۸٦).

٦ مهدی‌زاده ی.، پیروز ا.، عرب‌امیری ع.ر.، "بررسی صحت مدل‌سازی دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی با استفاده از نتایج حفاری: مطالعه موردی کانسار سرب و روی پیچمتو"، دومین همایش علوم زمین، آشتیان (۱۳۹۰).

۷ قاسمی ا.، مختاری ا.ر.، فتحیان پور ن.، "جداسازی ماده معدنی از باطله بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی با به‌کارگیری تکنیک SVM"، اولین کنفرانس ملی فناوری‌های معدنکاری ایران، یزد، دانشگاه یزد (۱۳۹۱).

8. Bery A. A., Saad R., Mohamad E. T., Jinmin M., Azwin I. N., Tan N. M. A., Nordiana M. M., "Electrical resistivity and induced polarization data correlation with conductivity for iron ore exploration", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17, (2012) 3323-3337.

۹ شمس‌الدینی‌نژاد م.، سلیمانی ک.، شمس‌الدینی فرد ع.، کردستانی م.، "اکتشافات ژئوفیزیکی به روش IP و Rs در اندیس معدنی مس قلعه گنج"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، تهران (۱۳۹۲).

۱۰ یاسمی ن.، قادری م.، "بررسی کانه‌زایی مس به‌روش‌های ژئوفیزیکی IP و Rs در کانسار چودرچای"، شرق زنجان، سی و سومین گردهمایی علوم زمین، تهران (۱۳۹۳).

11. Alilou S. K., Norouzi G. H., Doulati F., Abedi M., "Application of magnetometery, electrical resistivity and induced polarization for exploration of polymetal deposits, a case study: Halab Dandi, Zanjan, Iran", 2nd international, Conference on Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics (ICAEAM), May 4-5, Istanbul (Turkey) (2014).

12. Arifin M. H., Kayode J. S., Izwan M. K., Zaid H. A. H., Hussin H., "Data for the potential gold mineralization mapping with the applications of electrical resistivity imaging and induced polarization geophysical surveys", Data in Brief, 22 (2019) 830-835.

۱۳ حاج ملاعلی ع.، علوی نائینی م.، (۱۹۹۳) "نقشه زمین‌شناسی خضرآباد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۲).

۱٤ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "گزارش کانسارهای مس در ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۸).

۱۵ شرکت کنکاوران، "گزارش زمین‌شناسی معدن دره زرشک"(۱۳۸٤).

۱٦ شرکت مهندسین مشاور صمان کاو، "گزارش مطالعات تکمیلی ژئوفیزیک به‌روش پلاریزاسیون القایی (IP/RS) در محدوده معدن مس دره زرشک استان یزد" (۱۳۸۵).

۱۷ افضلی ن.، "مدل‌سازی کانسارهای سرب و روی رباط و حسین آباد خمین با استفاده از تلفیق داده‌های اکتشافی ژئوفیزیکی، لیتولوژی و عیارسنجی"، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشگاه صنعتی اراک (۱۳۹۵).

18. Loke M. H., "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys" (1999).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]

19. Loke M. H., Lane J., "The use of constraints in 2D and 3D resistivity modeling", The 8th EEGS-ES Meeting, Portugal, Sept (2002).
20. Loke M. H., "Topographic modelling in resistivity imaging inversion", 62nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstracts, Glasgow, Scolland, 29 May, 2 June (2000).
21. Claerbout J. F., "Fundamentals of geophysical data processing with applications to petroleum prospecting", Blackwell Scientific Publications (1988) 284.
22. Reynolds J., "An introduction to applied and environmental geophysics", Reynolds Geo-Sciences (2011) 710.
23. Gupta V. K., Ramani N., "Some aspects of regional-residual separation of gravity anomalies in a Precambrian", Geophysics, 45, (1980) 1412-1426.
24. Kellogg O. D., "Foundations of potential theory", Dover Publishing Inc (2010) 400.
25. Zeng H., Xu D., Tan T., "A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China", Journal of Geophysics, 72 (2007) 145-150.
26. https://wiki.seg.org/wiki/Dictionary:Metal_factor_(MF).
27. Donald J. M., Theodore R. M., "Induced polarization, a study of its causes", Geophysics, vol. xxiv, no.4, (1959) 790-816.
۲۸ احمدی ر.، "ارزیابی کانسار تپه سرخ با استفاده از تلفیق داده‌های اکتشافی به‌روش هم‌بستگی زمین‌آماری داده‌ها"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۹).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.5.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.1]