[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

به‌کارگیری روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیک زمینی در پی‌جویی و اکتشاف ذخایر مس در منطقه باب زنگوییه، چهارگنبد کرمان

سعید نظری*[۱]، علیرضا عرب‌امیری[۱]، ابوالقاسم کامکار روحانی[۱]؛
دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک،
صادق کریم پولی[۳]؛
دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی معدن

تاریخ دریافت ۹۹/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش ۹۹/۰۴/۲۴

چکیده

ناحیهٔ چهارگنبد کرمان از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در جنوب زون ایران مرکزی و به‌طور عمده در کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر قرار دارد. پی‌جویی‌های اولیه و بررسی‌های اکتشافی بزرگ مقیاس در این منطقه، وجود محدوده‌های پرپتانسیلی از نظر کانی‌زایی مس و طلا را به اثبات رسانیده است. برای بررسی دقیق‌تر این پتانسیل‌ها، در این تحقیق روش سنجش از دور برای مکان‌یابی آلتراسیون‌ها در نتیجه کانی‌زایی‌های مناسب در سطح و روش ژئوفیزیک برای بررسی کانی‌زایی‌های محتمل در عمق به‌کار گرفته شدند. برای انجام بررسی‌های سنجش از دور، از تصاویر ماهواره استر برای یافتن مناطق آلتره امیدبخش استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های مختلفی از قبیل ترکیب رنگی کاذب و نسبت‌گیری طیفی پردازش و نقشه‌های مناسب تولید شدند. نتایج، حاکی از وجود آلتراسیون‌های آرژیلیک (و فیلیک) در منطقه باب‌زنگوییه است که به‌وسیلهٔ آلتراسیون پروپلیتیک احاطه شده است. چنین پراکندگی آلتراسیونی به‌خوبی می‌تواند بیان‌گر وجود پتانسیل کانی‌زایی مس باشد. با تلفیق این نتایج و اطلاعات اکتشافی پیشین، منطقه باب‌زنگوییه برای انجام پیمایش و عملیات ژئوفیزیک زمینی با روش ژئوالکتریک انتخاب شد. عملیات ژئوفیزیکی در این منطقه به دو روش پلاریزاسیون‌القایی و مقاومت‌ویژه الکتریکی و با استفاده از آرایش قطبی-دوقطبی به اجرا در آمد. پس از تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی مستقیم و معکوس داده‌های برداشت

*نویسنده مسئول s111nazari@gmail.com

شده، محدوده‌های بی‌هنجار و وضعیت کانسار شامل شکل تقریبی کانی‌سازی و عمق کانی-سازی در مدل‌های ۲ و ۳ بعدی مشخص شدند. در نهایت و با استفاده از نتایج هم‌پوشانی داده‌ها در یک مدل ۳ بعدی نقاط مناسب برای حفاری پیشنهاد شد که نتایج حفاری نشان‌دهندهٔ وجود ماده معدنی در عمق است.

واژه‌های کلیدی: دورسنجی، ژئوالکتریک، مدل‌سازی معکوس، باب‌زنگوییه، چهارگنبد کرمان.

مقدمه

امروزه صرفاً با به‌کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی نمی‌توان منابع معدنی را جستجو نمود. از آن‌جاکه دگرسانی‌های موجود در هر منطقه در ارتباط نزدیک با رخدادهای تکتونیکی و فعالیت‌های ماگمایی آن منطقه است، از این‌رو، شناخت مناطق آلتراسیونی در ردیابی کانی‌سازی فلزی اهمیت زیادی دارد. بسیاری از نهشته‌های معدنی همراه با مناطق گسترده دگرسانی هستند و به‌همین دلیل به‌عنوان راهنما برای پی‌جویی به‌کار می‌روند [۱]. سنجش از دور[1] در مقایسه با دیگر روش‌های اکتشافی به‌علت داشتن هزینه‌های کم و در عین حال بازدهی زیاد، می‌تواند در تعیین اهداف اکتشافی اولیه نقش بسیار مهمی داشته باشد. به‌منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای تکنیک‌های مختلفی از قبیل ترکیب رنگی کاذب[2] و نسبت‌گیری طیفی استفاده شد [۲].

روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های مناسب در پی‌جوئی برخی منابع معدنی هستند. تقریباً در تمامی مراحل اکتشاف از این روش‌ها که ارزان، قابل اعتماد و در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های بزرگ سرمایه‌گذاری است، استفاده می‌شود. روش‌های ژئوفیزیکی معمولاً برای به‌دست آوردن نتایج بهینه در اکتشاف کانسارها استفاده می‌شوند [۳]. روش‌های ژئوالکتریکی از مهم‌ترین زیرمجموعه‌های روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی هستند؛ که بر مبنای اندازه‌گیری جریان‌های الکتریکی زمین یا ویژگی‌های الکتریکی پیکره‌های زمین‌شناسی و معدنی استوارند [٤]. پلاریزاسیون‌القایی[3] از روش‌های معمول و کارآمد در تشخیص کانی‌های

1. Remote Sensing
2. False Color Composite- FCC
3. Induce Polarization- IP

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

سولفیدی مخصوصاً سولفیدهای پراکنده است. اندازه‌گیری‌های پلاریزاسیون‌القایی معمولاً در حوزهٔ زمان یا فرکانس صورت می‌گیرند و بارپذیری معمول‌ترین متغیر در اندازه‌گیری حوزهٔ زمان محسوب می‌شود. از آن‌جا که مقاومت‌ویژه نیز از ویژگی‌های ذاتی سنگ و تشکیلات مختلف به‌شمار می‌رود و در شناخت وضعیت ساختاری و زمین‌شناسی منطقه مورد نیاز است، به‌عنوان روش مکمل پلاریزاسیون‌القایی در اکتشاف ذخایر فلزی به‌کار گرفته می‌شود [۵].

از آن‌که در منطقهٔ بررسی شده کانی‌های فلزی به صورت پراکنده در سنگ میزبان قرار گرفته‌اند، مدل‌سازی داده‌های پلاریزاسیون‌القایی به‌عنوان روش اصلی این تحقیق انتخاب شده است. همراه با این روش، مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه نیز انجام می‌شود؛ تا با تلفیق نتایج حاصل از دو روش بتوان یک مدل نزدیک‌تر به واقعیت ارائه کرد.

برداشت‌های الکتریکی روش‌های متنوعی دارد. تنوع این روش‌ها امکان کاربرد آنها را در پژوهش‌های گوناگون مانند اکتشاف معدن، هیدروژئولوژی، ژئوتکنیک، زیست‌محیطی و مهندسی فراهم ساخته است. بعضی از این روش‌ها قدمت زیادی در بررسی سنگ‌های زیر سطحی زمین دارند. استفاده عملی از میدان الکتریکی برای تعیین مقاومت‌ویژه زمین برای اولین بار در فرانسه و به سال ۱۹۱۲ میلادی به فکر کنراد شلومبرژه خطور کرد [٦]، اگرچه قبل از او افراد دیگری نیز در این زمینه تلاش کرده بودند. در آمریکا تقریباً به‌طور هم‌زمان ونر و افراد دیگری اولین بررسی‌های الکتریکی را انجام دادند. پدیدهٔ IP اولین بار به‌وسیلهٔ کنراد شلومبرژه کشف شد و به‌طور گسترده برای اکتشاف ذخایر سولفیدی به‌کار گرفته شد [۵]. در ایران از سال ۱۳٤۲ شمسی از روش‌های الکتریکی به‌ویژه مقاومت‌ویژه در مقیاس وسیعی برای پژوهش‌های هیدروژئولوژی استفاده شد و به‌تدریج جای خود را در بررسی‌های معدنی نیز باز کرد. به‌طور مثال اکتشاف ژئوفیزیکی کانسارهای مس رسوبی در جنوب شاهرود با استفاده از روش‌های ژئوالکتریکی مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی [۷]، اکتشاف مس در منطقه بجستان [۸]، تلفیق روش‌های ژئوالکتریک و مغناطیس‌سنجی برای اکتشاف مس [۹]، تعیین عمق و ضخامت لایه بوکسیتی در یکی از ذخایر بوکسیت جاجرم [۱۰]. کاربردهای محیط زیستی مانند بررسی اثرات آلایندگی پساب کارخانه فراوری معدن مس

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

قلعه زری [۱۱] کاربردهای مهندسی دیگری مانند شناسایی شکستگی‌ها با استفاده از ژئوالکتریک در منطقه میان‌رود شیراز [۱۲] بررسی تکتونیک فعال و شناسایی گسل‌ها [۱۳] استفاده از روش های ژئوالکتریک در بررسی وضعیت نشت آب از محدوده سد رسوب‌گیر معدن مس میدوک [۱٤].

کانی‌سازی مس در چهارگنبد، در سال ۱۳۳۸ کشف و عملیات اکتشافی در آن به‌وسیلهٔ شرکت کل معادن در سال ۱۳٤۲ آغاز شد. در سال ۱۳٤۵ پی‌جویی‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و تهیه نقشهٔ زمین‌شناسی دقیق در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ به‌وسیلهٔ سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد. نتایج این بررسی‌ها در گزارش شمارهٔ ۱٦ سال ۱۳٤۷ (گزارش تفضیلی و دقیق) و گزارش شمارهٔ ۱٤ سال ۱۳٤۷ (گزارش کلی) سازمان زمین‌شناسی کشور آمده است. در سال ۱۳٤٦ نیز پژوهش‌های مفصلی از طرف یوگسلاوها در رابطه با مسائل معدنی، زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی در ناحیهٔ کرمان انجام شد که شامل چهارگنبد نیز می‌شود [۱۵].

در سال ۱۳۸۵ اکتشافات مقدماتی (پردازش داده‌های ماهواره‌ای تهیه نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ و نمونه‌برداری ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، کانی سنگین) در محدوده‌ای به‌وسعت ۳۰ کیلومتر مربع انجام شد و یک زون در منطقه بلبلی و چند زون دیگر در منطقه تخته بنه به عنوان مناسب‌ترین نقاط حاوی کانی‌سازی فلزی (عمدتا مس و طلا) برای اکتشافات بعدی پیشنهاد شد. به‌دنبال آن در سال ۱۳۸۷ در منطقه مطالعات اکتشاف نیمه‌تفصیلی و تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ و نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ ، نمونه‌برداری سیستماتیک خاک و سنگ، حفر ترانشه و نمونه‌برداری و در نهایت برداشت سیستماتیک ژئوفیزیکی، به‌روش مقاومت-ویژه و پلاریزاسیون‌القایی کرد و با تلفیق نتایج حاصل از اکتشافات مذکور، شش گمانه پیش آهنگ برای تعیین کانی‌سازی در عمق پیشنهاد شد [۱٦].

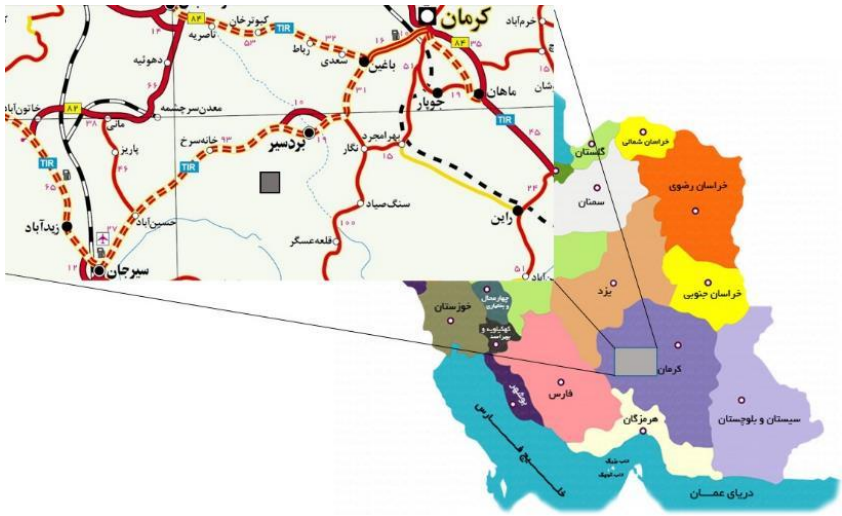
وجود کانی‌سازی مس در محدودهٔ بررسی شده به اثبات رسیده، اما برای اکتشاف مناطق کانی‌سازی مس در این محدوده، روش مؤثر، سریع و ارزان، استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی پلاریزاسیون‌القایی و مقاومت‌ویژه است. نیاز روزافزون صنایع به مس در دنیا و ایران،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

ضرورت انجام اکتشافات مس در منطقه به‌منظور استخراج و استحصال نهایی مس را توجیه می‌کند.

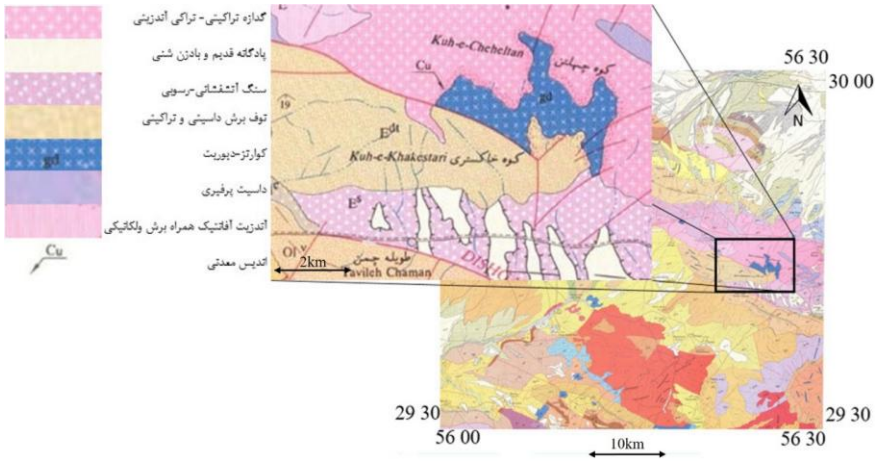
مورد مطالعاتی

محدودهٔ بررسی شده در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب غرب شهرستان بردسیر واقع شده است. این منطقه در محدودهٔ جغرافیایی ′۴۴و°۲۹ عرض شمالی و ′۲۴و°۵۶ طول شرقی در ۳ کیلومتری شمال غرب منطقه باب زنگوییه واقع شده است. فاصلهٔ این محدوده تا کرمان (مرکز استان)، حدود ۹۰ کیلومتر است. اصلی‌ترین راه دسترسی به منطقهٔ جاده کرمان–بردسیر است. موقعیت خاص جغرافیایی این منطقه و هم‌جواری با ارتفاعات موجب شده است که منطقه دارای آب و هوای معتدل کوهستانی باشد و همین امر باعث زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم شده است (شکل۱).



شکل۱. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقهٔ بررسی شده (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۹۴)

محدودهٔ بررسی شده در قسمت شمالی چهارگوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان [۱۷] و قسمت غربی ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد [۱۸] قرار گرفته است. چنان‌که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه می‌توان مشاهده کرد (شکل۲)، سن واحدهای سنگی در منطقهٔ بررسی شده، مشابه سایر بخش‌های زون ارومیه– دختر، ائوسن است.



شکل۲. موقعیت منطقهٔ اکتشافی در نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد [۱۶]

۱. زمین‌شناسی ناحیه‌ای برگه چهارگنبد

ناحیهٔ چهارگنبد از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در جنوب زون ایران مرکزی و به‌طور عمده در کمربند ولکانیکی ارومیه–دختر قرار دارد. کمربند آتشفشانی ارومیه–دختر به‌صورت نوار طویلی با روند شمال غرب–جنوب شرق از سهند تا بزمان و به موازات زون دگرگون سنندج–سیرجان کشیده شده است. این نوار به‌طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ترشیاری تشکیل شده است، به‌طوری‌که در ورقه چهارگنبد حدود ۷۰ درصد رخنمون‌های سنگی متعلق به سنگ‌های آتشفشانی است. فعالیت پلوتونیسم به‌صورت جای‌گیری توده‌های درونی و نیمه‌عمیق در زمان‌های الیگوسن و میوسن میانی و بالایی صورت گرفته است. هم‌چنین در بخش‌های جنوبی ناحیهٔ واحدهای افیولیتی کرتاسه در حد واسط دو زون ارومیه–دختر و سنندج–سیرجان قرار گرفته‌اند.

ریخت‌شناسی برگه بررسی شده، به‌وسیلهٔ سه عامل فرآیندهای زمین‌ساختی، فرسایش و سنگ‌شناسی کنترل شده است. چکادهای نوک‌تیز و دیواره‌های بلند و پرشیب و دره‌های ژرف با دیواره‌های تقریباً قائم در کوه‌ها، به‌ویژه در دامنه‌های کوه چهلتن و کوه بیدخوان دلیل خوبی است که نشان دهد منطقهٔ بررسی شده هنوز در زمان جوانی به‌سر می‌برد. وجود زمین ریخت تپه ماهوری به‌ویژه در بخش مرکزی برگه به‌دلیل سست بودن لیتولوژی است تا شدت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

فرسایش. هرچند در عین حال پدیده فرسایش باعث شده تا برونزد گرانیتی در حدفاصل معدن چهارگنبد تا چنار کف فرسوده شود و زمین‌های پست به‌وجود آید.

پیدا نشدن دره‌ها به‌دلیل روی‌داد گسلش از جمله فراوان‌ترین ریخت‌های موجود در محدودهٔ بررسی شده است. این دره‌ها با توجه به شیب لایه و جنس سنگ‌ها، شکل‌های گوناگونی دارند. در نقاطی که سنگ‌ها سخت و پایدار هستند دره‌ها به شکل V و برعکس در نقاطی که جنس مواد سازنده سست و ناپایدار هستند دره‌هایی به شکل U پدیدار گشته‌اند. بیشتر این دره‌ها دارای تقارن محوری می‌باشند.

وجود ته‌نشست‌های دانه‌ریز در کناره رودخانه سرخ گواه آن است که رودخانه کنونی نخست به‌صورت شاخه‌های بیشمار وجود داشته است (در فاز رسوب‌گذاری)، ولی با آغاز فازهای فرسایشی در منطقه، این شاخه‌ها به تنها دره موجود امروزی تبدیل شده و در نتیجه رودخانه توانسته مصالح درشت‌دانه را نیز با خود حمل نماید. به‌طوری‌که در دیواره‌های رودخانه مصالح دانه ریزرسی-سیلتی و ماسه‌ای، گاه با لایه‌هایی از شن قابل مشاهده است، در حالی‌که در بستر رودخانه آبرفت‌های دانه درشت و شنی را می‌توان دید [۱۹]، [۲۰]، [۲۱].

۲. آلتراسیون‌های برگه چهارگنبد

منطقه اکتشافی چهارگنبد به شدت تحت تاثیر آلتراسیون[1] قرار گرفته است. پردازش داده‌های ماهواره‌ای به‌روش‌های مختلف، آلتراسیون وسیع منطقه را به‌خوبی بارز سازی می‌کند. گسترش آلتراسیون رابطهٔ مستقیمی با گسترش توده‌های نفودی دارد [۲۲]. زون‌های آلتراسیون در منطقه اکتشافی ماهر آباد شامل زون‌های پتاسیک[2]، سرسیتیک‌پتاسیک[3] و پروپیلیتیک[4] بوده است، که در بررسی‌های سطحی و زیرسطحی مشخص شده است.

روش تحقیق

برای شناسایی آلتراسیون‌های منطقه از تصاویر ماهواره استر[5] استفاده شد. با توجه به پژوهش‌ها و کارهای انجام شده قبلی آلتراسیون‌های موجود برای یافتن مناطق دارای پتانسیل

1. Alteration
2. Potassic
3. Sericite Potassic
4. Propylitic
5. ASTER

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

مطلوب شناسایی شدند [۲۳]، [۲٤]. چنان‌که در شکل‌های ۳ و ٤ قابل مشاهده است، آلتراسیون‌های نشان داده شده نمایان‌گر وجود ذخیره احتمالی است و وجود اندیس معدنی در نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز تأییدکنندهٔ آن است. به‌این وسیله بهترین مکان برای انجام عملیات ژئوفیزیک انتخاب شد.

برداشت داده‌های مقاومت‌ویژه و IP به‌دلیل توانایی آرایش قطبی-دوقطبی که پوشش افقی نسبی خوبی دارد و سیگنال آن قوی‌تر است و به نوفه‌های تلوریک حساس نیست، با استفاده از آرایش مذکور با فواصل الکترودی ۲۰ متر انجام شده است. هدف از این پژوهش، تعیین محدوده‌های کانی‌سازی مس با وارون‌سازی داده‌های پلاریزاسیون‌القایی و مقاومت‌ویژه برداشت شده به‌کمک نرم‌افزار Res2DInv V3.59 ، است. از این‌رو، پس از برداشت داده‌های پلاریزاسیون‌القایی و مقاومت‌ویژه در این منطقه با آرایش قطبی-دوقطبی روی چهار پروفیل به موازی یک‌دیگر در راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب (در مجموع پانصد نقطه برداشت شده است)، مدل‌سازی داده‌ها (مستقیم و معکوس) به‌وسیلهٔ نرم‌افزار مذکور انجام و نتایج تفسیر می‌شوند. در انتها با استفاده از نتایج مدل‌سازی و تفسیر به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های انجام شده نقاط حفاری پیشنهاد می‌شود، که نتایج حفاری نشان‌دهندهٔ دقت برداشت و پردازش داده‌ها است.

۱. پردازش و تفسیر تصویر ماهواره استر

منحنی‌های استاندارد سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1] نشان می‌دهند [۲۵] که کانی‌های مونت موریونیت، کائولینیت، موسکویت و ایلیت (شاخص زون‌های آلتراسیون آرژلیک[2] و فیلیک[3]) در باند ٤ قلمرو فراقرمز دارای حداکثر انعکاس و در باند ٦ به‌دلیل وجود پیوند هیدروکسیدهای آلومینیم Al-OH دارای انعکاس پایین و کانی‌های کلریت و اپیدوت در باندهای ۵ و ٦ انعکاس بالا و در باند ۸ به‌دلیل پیوند هیدروکسیدهای منیزیم Mg-OH انعکاس پایین را نشان می‌دهند. بنابراین در ترکیب رنگی کاذب ٤٦۸ زون‌های آلتراسیون آرژلیک و فیلیک به‌رنگ قرمز تا صورتی و آلتراسیون پروپلیتی به‌رنگ سبز نمایان می‌شود [۲٦]. شکل ۳ تصویر به‌دست آمده بر اساس این ترکیب رنگی کاذب را برای منطقهٔ بررسی شده نشان می‌دهد. در

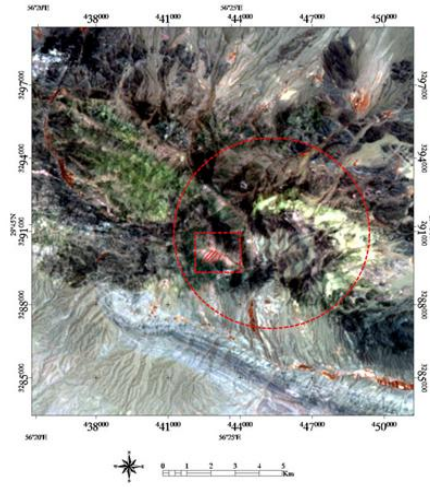
1. United State Geological Survey- Usgs
2. Argillic
3. Phyllic

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

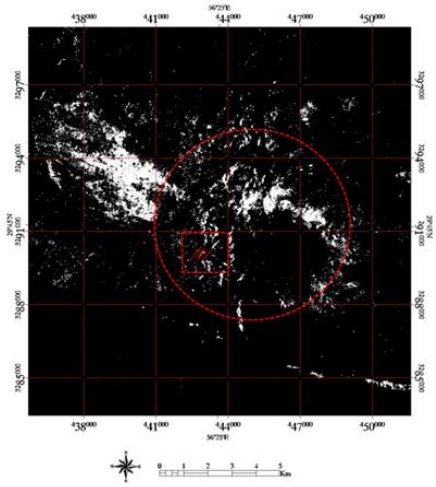
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

این شکل آلتراسیون آرژیلیک به‌رنگ صورتی (مربع قرمز رنگ) و آلتراسیون پروپلیتیک به رنگ سبز دیده می‌شود.

برای شناسایی آلتراسیون‌های پروپلیتیک موجود در منطقه از روش نسبت‌های باندی استفاده شده است [۲۷]. باتوجه به میزان انعکاس بالای کانی اپیدوت (کانی شاخص در آلتراسیون پروپلیتیک) در باند ۵ و میزان جذب بالا در باند ۸ به‌دلیل پیوند Mg-OH، از این‌رو، نسبت باندی ۵/۸ برای بارزسازی آلتراسیون پروپلیتیک استفاده شد (شکل٤) [۲۸]. تأییدکنندهٔ آلتراسیون پروپلیتیک به‌دست آمده در شکل ۳ است. چنان‌که در تصویر نیز مشاهده می‌شود، آلتراسیون پروپلیتیک مانند قیفی آلتراسیون آرژلیک را در برگرفته است (دایره قرمز رنگ) و در نتیجه اندیس معدنی صورتی‌رنگ که در شکل ۳ نیز دیده می‌شود، دارای بیش‌ترین پتانسیل برای انجام عملیات ژئوفیزیکی است و انتخاب می‌شود.



شکل ۳. آلتراسیون‌های آرژلیک و فیلیک به‌رنگ صورتی تا قرمز (مربع قرمز) آلتراسیون پروپلیتیک به‌رنگ سبز

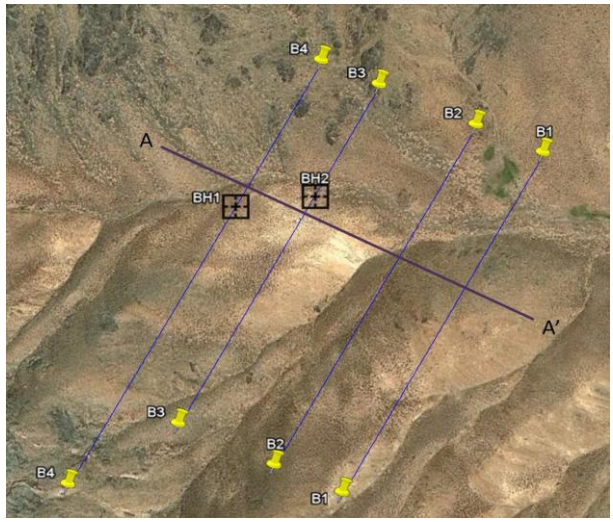


شکل ٤. آلتراسیون پروپلیتیک که به‌صورت نقاط روشن دیده می‌شوند که آلتراسیون و آرژلیک را در برگرفته‌اند (دایرهٔ قرمز)

۲. برداشت‌های ژئوفیزیکی

هدف برداشت در منطقه اکتشافی چهارگنبد باب زنگوئیه، یافتن آنومالی‌ها و گسترش تغییرات عمقی و جانبی آنها در منطقه است. با توجه به شواهد زمین‌شناسی مانند رخنمون‌های موجود در سطح و گسترش آلتراسیون‌های مشاهده شده و هم‌چنین عمق تجسس مورد نیاز

که تا ۱۰۰ متر است؛ تصمیم گرفته شد که از آرایش قطبی-دوقطبی که حساسیت نسبت به تغییرات برداشت داده‌های IP و مقاومت‌ویژه به‌دلیل توانایی آرایش قطبی-دوقطبی نسبت به آرایش دوقطبی- دوقطبی که پوشش افقی نسبی خوبی دارد و سیگنال آن قوی‌تر است و به نوفه‌های تلوریک حساس نیست [۲۹] استفاده شود، با استفاده از آرایش مذکور با فواصل الکترودی ۲۰ متر برداشت انجام شد. در منطقه با توجه به محدودیت‌های موجود تعداد چهار پروفیل با فاصلهٔ تقریبی ۷۰ متر طراحی و برداشت شد، که هر پروفیل دارای ۲٦ الکترود و طول تقریبی ۵۰۰ متر بود، که در جهت شمال‌شرق-جنوب‌غرب به اجرا در آمدند. شکل‌های ۵و٦ شبکه برداشت ژئوالکتریک را نشان می‌دهند.



شکل ۵. عکس ماهواره‌ای پروفیل‌های برداشت شده، نقاط حفاری و پروفیل مصنوعی 'AA

۳. مدل‌سازی دو و سه بعدی داده‌های ژئوفیزیکی

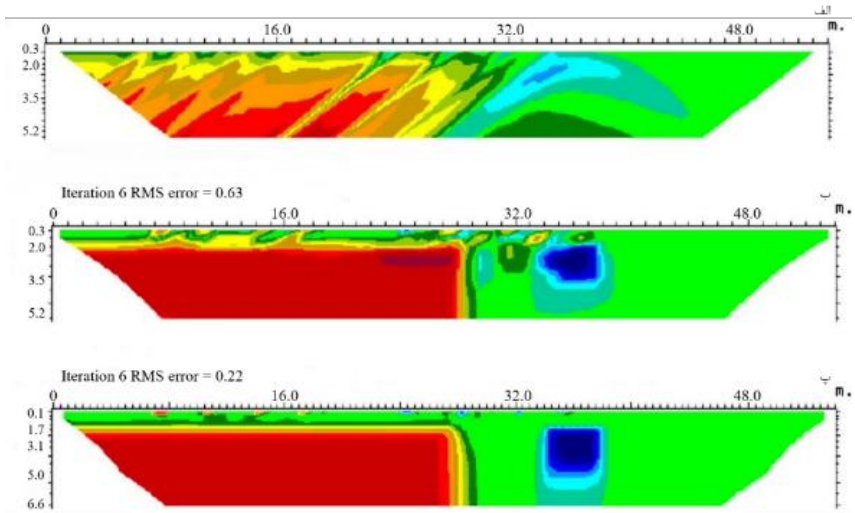
در برخی مواقع، تغییرات آشفتگی مقاومت‌ویژه در نزدیک سطح زمین برای محیط‌های غیرهمگن بسیار زیاد است. در این بین استفاده کردن از یک مدلی با عرض سلولی کم‌تر می‌تواند نتیجه بهتری را برای کاهش خطا ارائه داده و به‌عنوان تعدیل کننده مدل به‌کار رود. برای این منظور از یک مدلی با نصف فضای الکترودی حقیقی استفاده شده است (شکل ۷).

در برخی حالات استفاده از یک مدل با عرض سلولی برابر یک‌سوم تا یک‌چهارم فضای الکترودی حقیقی هم قابل پذیرش است، به خصوص اگر در پیجویی‌های پیش‌رو که در آن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

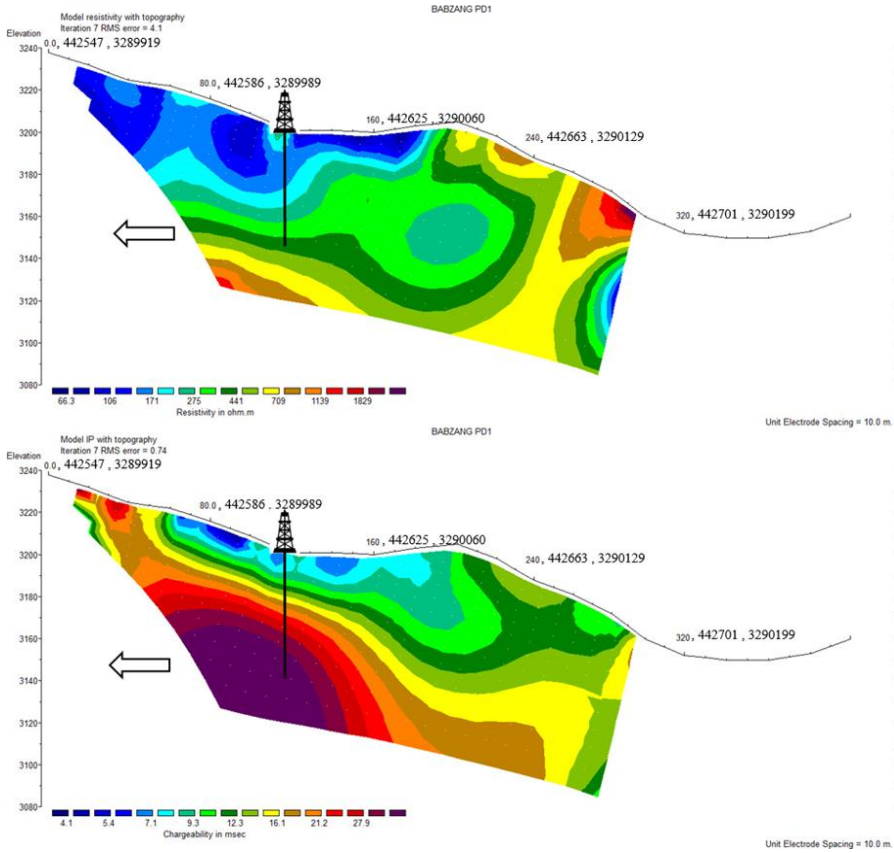
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

از آرایه قطبی–قطبی یا قطبی–دوقطبی با ضریب n خیلی بزرگ استفاده شود. اگر از عرض سلولی با یک‌چهارم فضای الکترودی اصلی یا کم‌تر استفاده کنیم، در مدل‌های مقاومت‌ویژه مقداری ایجاد ناپایداری و نوسانات در لایه‌ها می‌کند. از این‌رو استفاده از مدل‌های سلولی با عرض یک‌چهارم و یا کم‌تر توصیه نمی‌شود. استفاده از یک مدل با نصف فضای الکترودی منجر می‌شود در مرزهایی که به شدت خشن هستند، میزان خطا کم‌تر شود. البته این کاهش فضای الکترودی که خود با افزایش تعداد سلول‌ها و پارامترهای مدل همراه است، منجر به افزایش در زمان محاسبات و افزایش حافظه استفاده شده در کامپیوتر می‌شود.



شکل ۷. نتیجهٔ مدل‌سازی روی داده‌هایی که با آرایه قطبی–دوقطبی با اندازه سلول‌های متفاوت الف) شبه مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری، ب) مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه با عرض سلولی یک متر که در آن یک توزیع آشفتگی مقاومت‌ویژه پایین در بالای بلوک گسلی دیده می‌شود، پ) مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه با عرض سلولی نیم متر که در آن بیشتر آشفتگی‌ها از بین رفته است.

معکوس‌سازی دو بعدی داده‌های برداشت شده با استفاده از نرم‌افزار Res2DInv و عرض سلولی ۱۰ متر و با خطای وارون‌سازی (۲/٤ تا ٤/۸ برای مقاومت‌ویژه و ۰/٦٥ تا ۱ برای پلاریزاسون‌القایی) مناسبی انجام شد [۳۰، ۳۱، ۳۲] که بدین‌صورت است: در بالای هر شکل میزان خطا و تعداد تکرار آورده شده است.



شکل ۸ نتایج مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی پروفیل B1 و نقطه پیشنهادی حفاری و ادامه برداشت ژئوفیزیکی

چنان‌که در مقاطع ژئوفیزیکی شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ دیده می‌شود شکستگی‌هایی از سطح تا عمق ۳۰ متری قابل مشاهده هستند و مقاومت‌ویژه کاهش زیادی را نشان می‌دهد، که احتمالا به‌دلیل وجود آلتراسیون‌ها است چون شکستگی‌ها محل مناسبی برای تجمع آلتراسیون می‌باشد. نقشهٔ زمین‌شناسی که برای ناحیهٔ مس چهارگنبد و اطراف آن تهیه شده، نشان می‌دهد که کانی‌سازی به‌طور عمده در مناطق گسل‌دار و از راه فعالیت گرمابی صورت گرفته است و غنی‌ترین بخش معدن معمولاً در محل برخورد گسل‌هایی که جهت مختلف دارند، قرار دارد. ماده معدنی اولیه کالکوپیریت و پیریت است، که در رگه‌هایی یافت می‌شود، که

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

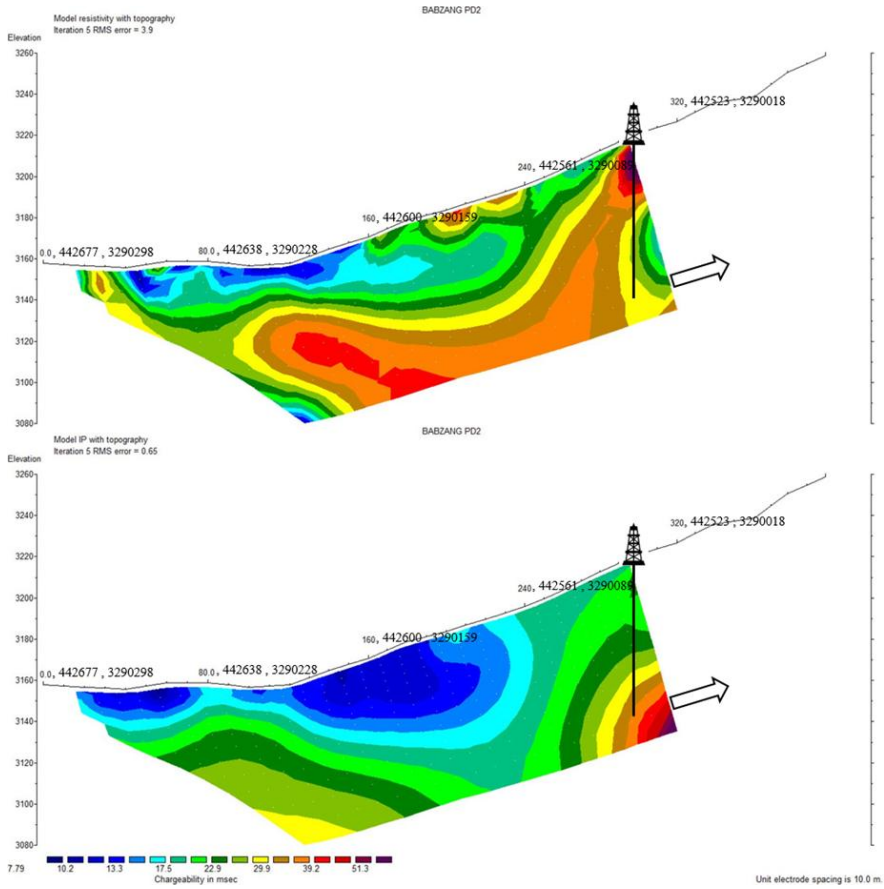
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

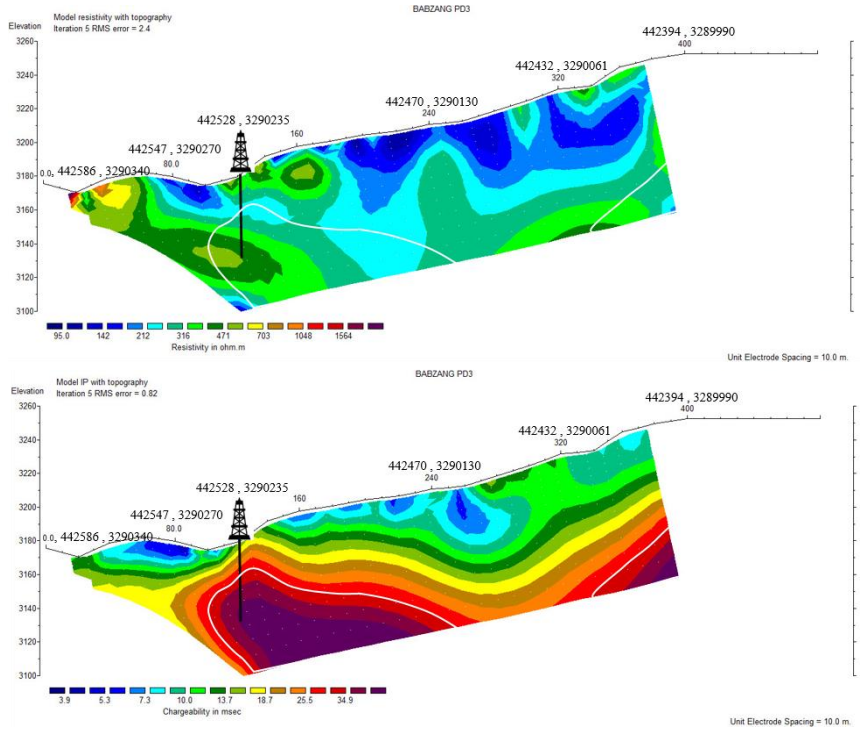
این رگه‌ها به‌علت ضخیم شدن و نازک شدن به‌شکل عدسی‌ها و هم‌چنین رگچه‌ها و به‌صورت پراکنده تظاهر می‌کنند. گانک از کلسیت و کوارتز است. سنگ‌های اطراف رگه‌ها به‌شدت سیلیسی شده‌اند و با هوازدگی به‌صورت ظاهری نسبتاً ناهموار و به‌رنگ خرمایی مایل به خاکستری در آمده‌اند. در نتیجه در تفسیر مقاطع باید به‌دنبال نقاط و محدوده‌های با پلاریزاسیون القایی بالا و مقاومت‌ویژه متوسط و متوسط به پایین بود. با توجه به مقاطع مقاومت ویژه و پلاریزاسیون‌القایی (شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱)؛ در پروفیل B1 مقاومت‌ویژه بالا که در بخش انتهای پروفیل دیده می‌شود می‌تواند به‌دلیل وجود یک توده نفوذی باشد. حداکثر میزان بارپذیری ۲۸ و حداقل آن ٤ میلی‌ثانیه است که احتمال وجود یک توده خرد شده را افزایش می‌دهد و احتمالاً حاوی مقادیر کانی‌های سولفیدی فلزی است. در محدودهٔ A مقاومت‌ویژه نسبت به محیط اطراف پایین بوده است و در همان بخش مقدار پلاریزاسیون القایی بالاست، که احتمالا نشان‌دهندهٔ یک محدودهٔ پرفیری است و یا یک توده نفوذی گُوِه مانند. در پروفیل B2 بیشینه مقاومت‌ویژه، ۵۲۸ و کمینه آن ۵۸ اهم‌متر است. این تغییرات می‌تواند به‌دلیل وجود زون آلتراسیون در سطح که مقاومت پایینی از خود نشان می‌دهند باشد. مقاومت‌ویژه در این مقطع افت زیادی را نشان می‌دهد، که احتمالاً در اثر یک توده نفوذی رسانا است. حداکثر میزان بارپذیری ۵۱ و حداقل آن ۸ میلی‌ثانیه است که احتمال وجود یک تودهٔ خرد شده را در بخش انتهایی پروفیل و در عمق ۷٤ افزایش می‌دهد. در پروفیل B3 مقاومت‌ویژه نسبتاً پایینی مشاهده می‌شود و همان بخش پلاریزاسیون‌القایی بالایی دارد، که می‌تواند دلیل وجود یک محدودهٔ احتمالی استوک‌ورک باشد این پروفیل با امتداد شمال-شرق–جنوب‌غرب و به‌طول ٤۸۰ متر و شامل ۱۵۰ نقطه برداشت شده است. بیشینه مقاومت-ویژه در این مقطع، ۱۵٦۵ و کمینه آن ۹۵ اهم‌متر است. مقاومت‌ویژه در این مقطع افت زیادی را وسط پروفیل نشان می‌دهد، که احتمالاً در اثر وجود گسل و یا یک توده نفوذی رسانا است. حداکثر میزان بارپذیری ۳۵ و حداقل آن ٤ میلی‌ثانیه است، که کم بودن مقاومت‌ویژه در این محدوده احتمال وجود یک توده خورد شده را در بخش ابتدایی پروفیل پروفیل و در عمق ٤۵ تا ۵۰ متری افزایش می‌دهد و احتمالاً حاوی مقادیر زیادی کانی‌های سولفیدی فلزی است و دارای پتانسیل بالایی در وجود ذخیره است و در نتیجه یک گمانه در این نقطه زده شده؛ که در عمق ۵۰ متری به ذخیره برخورد کرده است. در پروفیل B4 محدوده‌ای که

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

دارای پلاریزاسیون بالایی است؛ مقاومت‌ویژه پایینی مشاهده می‌شود، که احتمال وجود یک تودهٔ خرد شده با پراکندگی پایین را در بخش میانی پروفیل و در عمق ۵۰ تا ٦۰ متری افزایش می‌دهد و احتمالاً حاوی مقادیر زیادی کانی‌های سولفیدی فلزی است. بنابراین این پروفیل نیز دارای پتانسیل بالایی برای حفر گمانه اکتشافی بود و یک گمانه در آن حفر شد و در عمق ٥٤ متری به ذخیره برخورد کرد، که تأییدکنندهٔ نتایج حاصل از برداشت و وارون‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی هستند.



شکل ۹. نتایج مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی پروفیل B2 و نقطهٔ پیشنهادی حفاری و ادامهٔ برداشت ژئوفیزیکی



شکل ۱۰. نتایج مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی پروفیل B3 به‌وسیلهٔ نرم‌افزار Res2DInv که مناطق کانی‌سازی با منحنی بسته (سفید) نشان داده شده است.

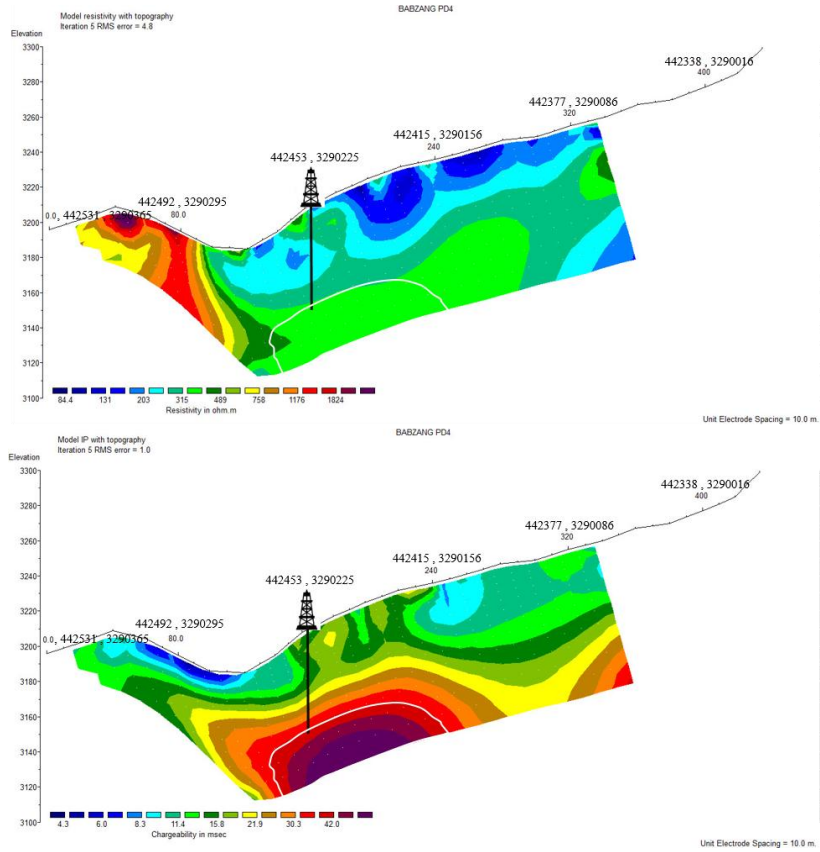
یکی از مشکلاتی که در تفسیر پروفیل‌های مختلف دوبعدی رخ می‌دهد، آن است که ستون‌های رنگی استفاده شده در همه پروفیل‌ها یکسان است. این در حالی است که مقدار عددی رنگ‌های استفاده شده با یک‌دیگر متفاوت است. این امر اگر مفسر را به اشتباه نیاندازد، کار تفسیر دقیق و تعیین ارتباط بین آنومالی‌های پروفیل‌های مختلف را بسیار دشوار می‌کند. یک راه ساده برای رفع این مشکل آن است که ضمن تعریف یک فضای تخمین مناسب، نتایج وارون‌سازی پروفیل‌های مختلف را در این فضا درون‌یابی کرده و سپس با تعیین یک حد آستانه مناسب، آنومالی‌های ژئوفیزیکی را در این فضا رسم کرد [۳۳].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]

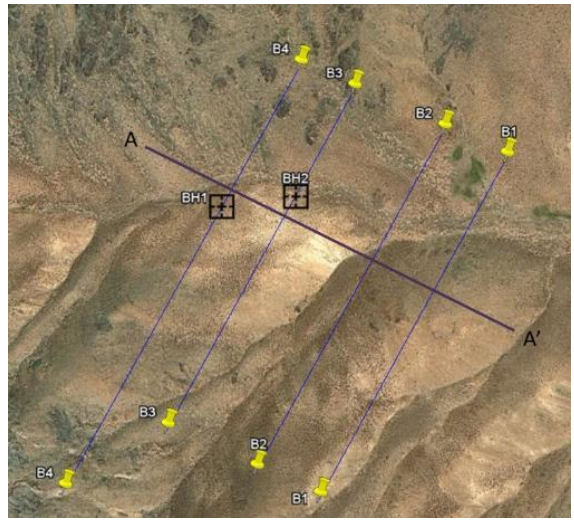
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]



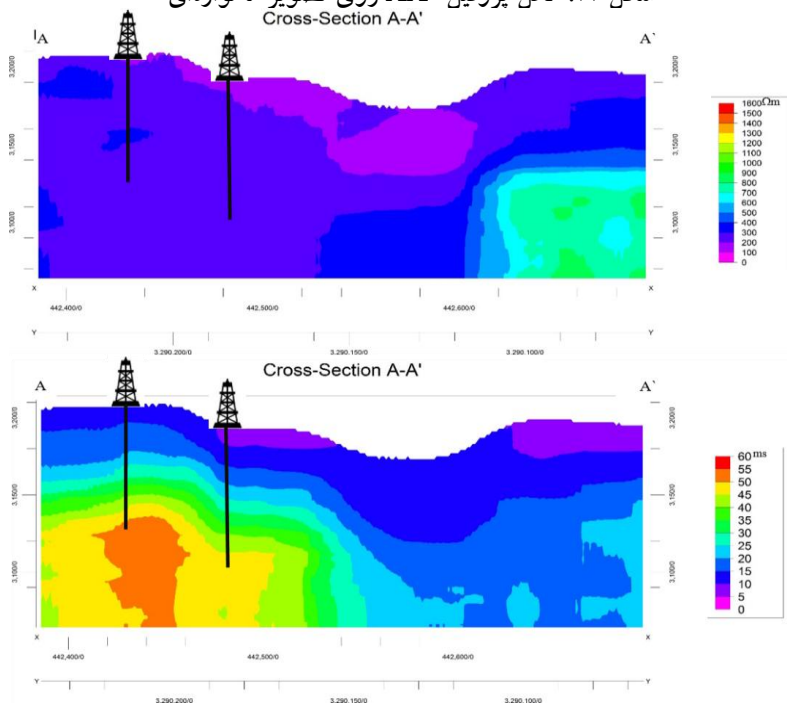
شکل ۱۱. نتایج مدل‌سازی وارون مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی پروفیل B4 توسط نرم‌افزار Res2DInv که مناطق کانی‌سازی با منحنی بسته (سفید) نشان داده شده است

برای رسیدن به ایده‌ای بهتر، نتایج مدل‌سازی معکوس انجام شده با نرم‌افزار Res2DInv و مختصات XYZ این مقادیر به‌وسیلهٔ نرم‌افزار RockWorks به‌صورت سه‌بعدی به نمایش درآمد و نتایج آن در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شد و هم‌چنین یک پروفیل به‌صورت عمود بر پروفیل‌های برداشت شده (AA`) با نرم‌افزار RockWorks به‌صورت مصنوعی ایجاد شد. لازم به ذکر است که این پروفیل فقط برای داشتن دید کلی ایجاد شده است و در بخش پیشنهادات عنوان شده که برای تأیید صحت داده‌ها و مدل نیاز به برداشت داده روی یک پروفیل عمود بر پروفیل‌های برداشت شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

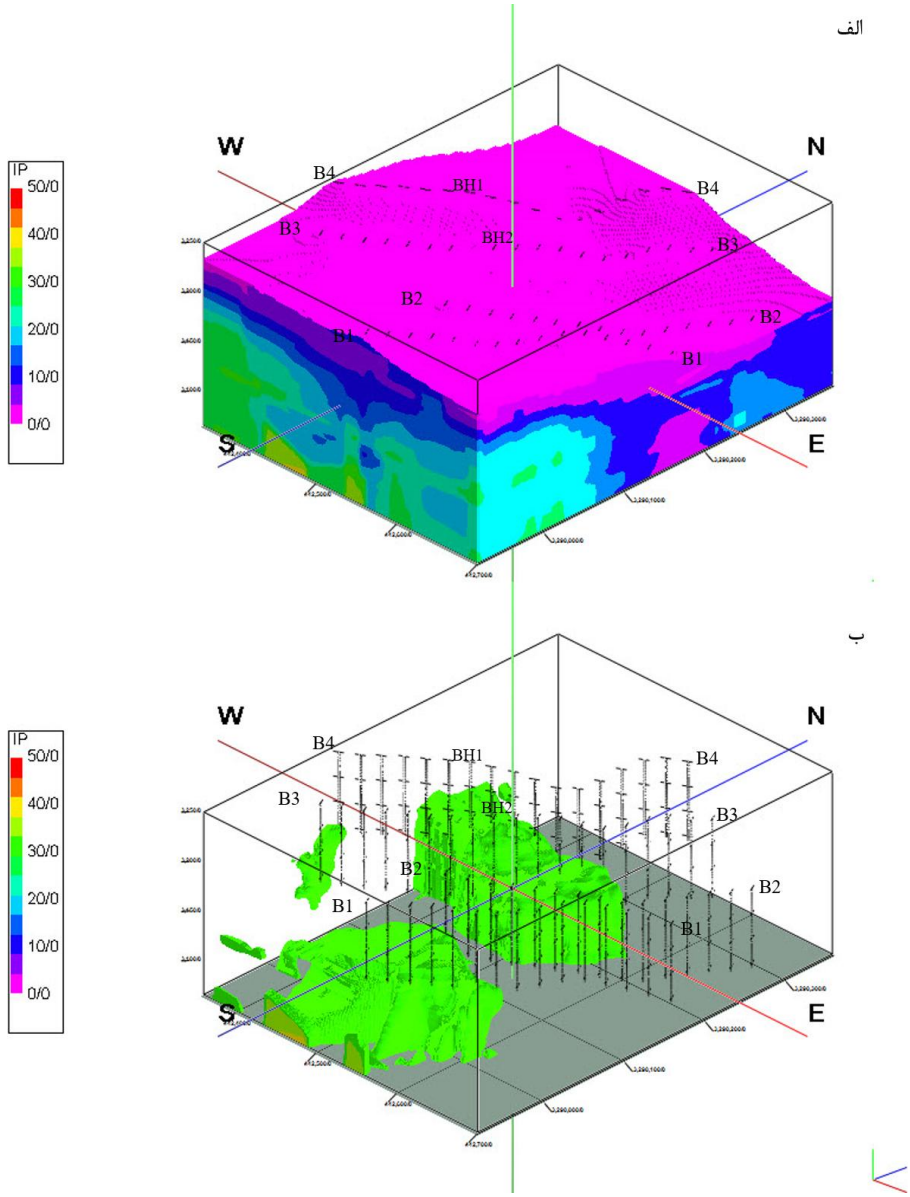


شکل ۱۲. محل پروفیل `AA روی تصویر ماهواره‌ای

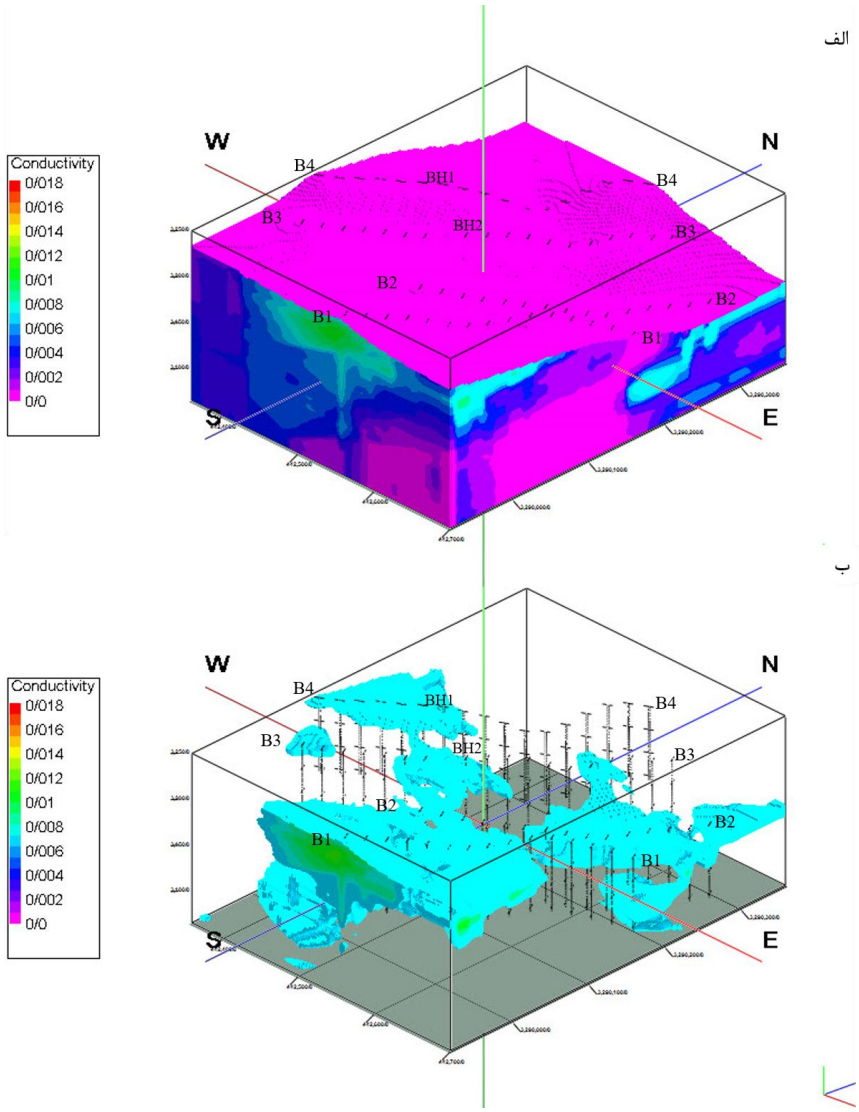


شکل ۱۳. مقطع مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی پروفیل `AA ایجاد شده به‌وسیلهٔ نرم‌افزار RockWork

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]



شکل ١٤. الف) نمایش سه‌بعدی پلاریزاسیون القایی، ب) نمایش سه‌بعدی پلاریزاسیون القایی با مقادیر بیش‌تر از ۳۸ms



شکل ۱۵. الف) نمایش سه‌بعدی رسانندگی، ب) نمایش سه‌بعدی مقادیر رسانندگی بیش‌تر از ۰/۰۰۸ (زیمنس بر متر)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

پیشنهادات

پیشنهاد می‌شود برای دست‌یابی به اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر از منطقهٔ بررسی شده، از روش‌های تکمیلی دیگر مانند روش پلاریزاسیون‌القایی طیفی[1] در برداشت‌ها استفاده شود. این روش قابلیت تفکیک کانی‌های رسی و پیریت را از سایر کانی‌های سولفیدی دارد [۲۴]. بنابراین با استفاده از روش پلاریزاسیون‌القایی طیفی می‌توان پیریت و کانی‌های رسی را از کانی‌های هدف مانند مالاکیت و کالکوپیریت تشخیص داد. از آن‌جاکه این تمایز با استفاده از روش‌های به‌کار رفته در این برداشت امکان‌پذیر نیست و هم‌چنین احتمال وجود و همراهی پیریت با کانی‌های هدف وجود و حتی حضور پیریت به تنهایی باعث ایجاد بی‌هنجاری‌های کاذب می‌شود، بنابراین استفاده از روش پلاریزاسیون‌القایی طیفی می‌تواند بسیار مفید واقع شود. نتایج تفسیر داده‌های پلاریزاسیون‌القایی طیفی و مقاومت‌ویژه تخمین قابل قبولی از گسترش عمقی بی‌هنجاری‌ها به‌دست می‌دهد که پارامتر بسیار مهمی در انتخاب نقاط حفاری است. برای تعیین گسترش زون کانی‌سازی در امتداد پروفیل B1 نیاز است تا طول برداشت افزایش یابد تا آنومالی موجود در چپ به‌طور کامل بررسی شود و یک نقطه حفاری نیز برای تأیید کانی‌سازی مس مطابق شکل (۸) پیشنهاد می‌شود. برای بررسی کامل آنومالی موجود در سمت راست پروفیل B2، پیشنهاد می‌شود طول پروفیل آنقدر افزایش یابد که آنومالی به‌طور کامل بررسی شود و یک نقطه حفاری جدید نیز پیشنهاد می‌شود این حفاری به‌منظور بررسی هرچه دقیق‌تر بی‌هنجاری مشاهده شده در انتهای سمت راست پروفیل پلاریزاسیون-القایی (شکل-۹) پیشنهاد می‌شود. زیرا از آن‌جاکه نرم‌افزار Res2DInv به‌دلیل بزرگی سلول دقت چندانی در گوشه‌ها ندارد، این بی‌هنجاری باید با دقت بیش‌تری برسی شود. البته پیشنهاد می‌شود قبل از اجرای عملیات حفاری از تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در محیط GIS[2] در مقیاس ناحیه‌ای و محلی استفاده شود. تلفیق نتایج مدل‌سازی ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی به‌همراه مدل دگرسانی‌ها می‌تواند مختصات نقطه بهینه حفاری را مشخص کند. پیشنهاد می‌شود برداشت داده‌های ژئوفیزیکی روی یک پروفیل عمود بر پروفیل‌های برداشت شده مانند پروفیل AA` ادامه یابد؛ به‌طوری‌که محل تقاطع آنها محل بی‌هنجاری‌های به‌دست

1. Spectral induced polarization- SIP
2. Geographic Information System

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

آمده در برداشت اولیه باشد. این کار به تعیین شکل بی‌هنجاری‌ها، بیش‌تر کردن دقت تفسیر و هم‌چنین تخمین میزان عیار ذخیره کمک قابل توجهی خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

مقاطع حاصل از داده‌های ژئوفیزیکی تحت تاثیر عوامل مختلف مانند وجود نوفه، بی‌هنجاری‌های کاذب، خطای اپراتور و خطای ناشی از دستگاه قرار دارند، که به‌هیچ‌وجه نمی‌توانند تصویر دقیقی از زیر سطح زمین ارائه دهند. این عوامل تأثیری روی مقاطع می‌گذارند که تفسیر مستقیم و بدون محاسبات پیچیده ریاضی را غیر ممکن می‌سازند.

در مقاطع با مقدار پلاریزاسیون‌القایی زیاد مانند پروفیل‌های B3 و B4 نتایج حفاری نشان داده که این مناطق با کانی‌سازی مس همراه هستند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). در مناطق با مقادیر پلاریزاسیون‌القایی نه چندان زیاد نیز می‌توان انتظار کانی سازی مس را داشت، که مطابق با برداشت‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی انجام شده است و بهتر است که به‌دنبال محدوده‌های با مقادیر پلاریزاسیون‌القایی زیاد برای انجام حفاری باشیم. تجربه نشان داده است که بین مقادیر مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون‌القایی رابطهٔ کلی نمی‌توان برقرار کرد تا با آن بهترین نقاط را برای حفاری تعیین کرد و یا بتوان فقط با تکیه بر مقاطع مقاومت‌ویژه به وجود کانی‌سازیی برد.

منابع

۱. سلیمی ا.، خالوکاکائی ر.، ضیائی، م.، "مطالعات دورسنجی و شناسایی و تفکیک آلتراسیون‌های منطقه‌ی جبال بارز با استفاده از تصاویر ماهوارهای ASTER و ETM+"، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران (۱۳۹۱).

۲. روشن روان ب.، "طراحی نقاط حفاری تکمیلی در کانسار مس–طلای شادان با استفاده از مدل-سازی تلفیقی داده‌های اکتشافی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان. (۱۳۹۳).

3. Gautneb H., Tveten E., "The geology, exploration and characterization of graphite deposits in the Jennestad area, Vesteralen, northern Norway", Geological Survey of Norway Vol. 436 (2000) 67-74.

4. Mikhail Z. S., "the geo electrical methods in geophysical exploration", Elsevier (1994)

۵. رمضی ح.، مصطفایی ک.، "مثال اکتشاف ژئوفیزیکی کانسار مس خونیک درخراسان جنوبی با استفاده از روش‌های ژئوالکتریکی"، اولین همایش ملی مس (۱۳۹۰).

٦. مهدوی ف.، "روش‌های الکتریکی در اکتشاف ژئوفیزیکی حوضه‌های رسوبی عمیق"، جلد۱، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۳).

۷. یعقوبی‌تبار ب.، عرب‌امیری ع.، کامکار روحانی ا.، "عملکرد روش‌های مقاومت‌ویژه و IP در اکتشاف کانسارهای مس رسوبی"، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران (۱۳۹۳).

۸. موسوی ح.، خاکی ا.، کامکار روحانی ا.، "اکتشاف مس به‌روش مقاومت‌ویژه و IP در منطقه بجستان"، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران (۱۳۹۳).

۹. ابطحی نجف‌آبادی م.، سلیمانی ش.، زارعی س.، موسوی پ.، "تعیین محل کانی‌سازی مس با استفاده از روش‌های ژئوالکتریک، پلاریزاسیون القایی و مغناطیس سنجی"، هجدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران (۱۳۹۷).

۱۰. سلیمانی ک.، عرب‌امیری ع.، کامکارروحانی ا.، شمس‌الدینی‌نژاد م.، مومنی ف.، "بررسی صحت و دقت نتایج حاصل از برداشت‌های ژئوالکتریک در تعیین عمق و ضخامت لایه بوکسیتی در یکی از ذخایر بوکسیت جاجرم"، نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی. دورهٔ ٤ ، شمارهٔ ۲ (۱۳۹۷).

۱۱. آریافر ا.، محمد قاسمی ط.، قربانی ا.، "مطالعات ژئوفیزیک و ژئوشیمی زیست محیطی جهت بررسی اثرات آلایندگی پساب کارخانه فراوری معدن مس قلعه زری، خراسان جنوبی"، فصلنامهٔ مهندسی معدن. دورهٔ ۲۳ (۱۳۹۳).

۱۲. میرزاکرده ع.، خلیلی م.، شجاعی مورجانی م.، "شناسایی شکستگی‌ها با استفاده از روش ژئوالکتریک (آرایه CRP و آرایه ونر-شلومبرژه) در منطقه میانرود شیراز"، دومین کنفرانس زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله استا البرز (۱۳۹٤)

۱۳. اله‌وردی میگونی ف.، محمدی‌وژه م.، فرخ‌نیا ع.، بوستان ا.، نظری ح.، "بررسی تکتونیک فعال و شناسایی گسل‌های جنبا به‌وسیلهٔ روش‌های ژئوفیزیکی مطالعه موردی: گوهرتپه- بهشهر"، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین. شمارهٔ ۱۱۱ (۱۳۹۸).

۱٤. یحیی آبادی س.، قربانی ا.، انصاری ع.، ساعی‌نیا ا.، "استفاده از روش‌های ژئوالکتریک در بررسی وضعیت نشت آب از محدوده سد رسوب‌گیر معدن مس میدوک"، مجلهٔ ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۱، شمارهٔ ۲ (۱۳۹٦).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

۱۵. خویی ن.، قربانی م.، تاجبخش پ.، "کانسار مس در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، تهران (۱۳۷۸).

۱٦. شرکت مهندسین مشاور درساپردازه، "گزارش تخمین ذخیره در محدوده معدنی مس چهارگنبد"، سیرجان (۱۳۸۹).

17. Geological survey of Iran, "report and geological map of Sirjan 1:1250000", Tehran, Iran (1981).

18. Geological survey of Iran, "report and geological map of Chahargonbad 1:100000", Tehran, Iran (1995).

۱۹- خان ناظر ن. ح.، "نقشه زمین شناسی ورقه یکصد هزارم چهارگنبد، سازمان زمین‌شناسی ایران"، تهران (۱۳۷٤)

20 .Bazin, D., "Copper deposits in Iran., Geological Survey of Iran", (1969).

21. Sjerp N., Issakhanian V., Brants A., "The Geological Environment of the ChaharGonbad Copper Mine: A Study in Tertiary Coppermineralization", Economic Geology, 75 (1981) 214-269.

22. Mostafaie K., Nowrouzi Gh., Askari M. S., Shiva M., "Statistical analysis and RS & IP Geophysical data modeling for Hameech mining index", first conference of economic geology association of iran, Ferdowsi university of Mashhad (2009).

23. Carranza E. J. M., "Geologically-Constrained Mineral Potential Mapping (Examples from the Philippines)", M. S. thesis, ITC Publication, Number 86 (2002).

24. Sabins F. F., "Remote Sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews", Vol. 14 (1999) 157-183.

25. Clark R. N., Swayze G. A., "Automated spectral analysis: mapping minerals, amorphous minerals, environmental materials, vegetation, water, ice and snow, and other materials: the USGS tricorder algorithm (abstract)", Lunar and Planetary Science XXVI, (1995) 255-256.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.3.0]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.337]

۲۶. عباس‌زاده م.، هزارخانی ا.، "نقشه‌برداری دگرسانی‌های گرمابی با استفاده از تصاویر استر در منطقه رابر، کرمان"، مجله علوم زمین، شمارهٔ ۸۷ (۱۳۸۹) ۱۲۳–۱۲۸.

27. Crosta C. R., "Targeting Key Alteration Minerals in Epithermal Deposits in Patagonia- Argentina Using ASTER Imagery and Principal Component Analysis", Geosciences Institute, University of Campinas (2003).

28. Beiranvand Pour A., Hashim M., "The application of Aster remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits", Ore Geology Reviews, Volume 44, (2012) 1-9.

29. Dentith M. T.Mudge S., "Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist", Cambridge University Press, United States of America, (2014) 235-340.

30. Reynolds J. M., "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd Edition", Wiley, Gemany, (2011) 27-38.

31. Orlando L., "Some considerations on electrical resistivity imaging for characterization of waterbed sediments", Journal of Applied Geophysics 95 (2013) 77-89.

32. Nyabeze P. K., Gwavava O., Sekiba M., "Using Electrical Resistivity Tomography (ERT) to delineate subsurface structures at Siloam hot spring in the Soutpansberg Basin, South Africa", Journal of Geography and Geology 10 No. 4, (2018) 19-28.

۳۳. جلیلی ص.، کریم‌پولی ص.، ستاری آ.، محمدعلی‌پور ز.، "ترکیب وارون‌سازی معکوس دوبعدی و مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌های ژئوالکتریک در محدوده اکتشافی مس خلیفه‌لو، خرم‌دره، زنجان"، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین (۱۳۹۳).