انطباق پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه الکتریکی برای اکتشاف مس و عناصر همراه در منطقه صاحب‌دیوان مشگین‌شهر

محمدجعفرمحمدزاده [۱*]، آینورناصری [۲] و سجاد انصاری [۳]

[۱] دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی معدن و زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران
[۳] دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹/ ۰۴/ ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۱۷/ ۱۲/ ۱۳۹۴

چکیده

منطقه صاحب‌دیوان در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال باختر مشگین‌شهر در استان اردبیل قرار گرفته است. این منطقه متشکل از مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی از کوارتزمونزونیت تا گرانیت با گستره‌ای از دگرسانی‌های بسیار مرتبط با فرایندهای گرمابی است. این مقاله با هدف ثبت دگرسانی‌ها و شناسایی مناطق امیدبخش فلزی از جمله مس، تحت پوشش عملیات ژئوفیزیکی پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه قرار گرفت تا وجود مواد معدنی در ژرفا بررسی و موقعیت توده‌های زیر سطحی ثبت شود. بدین منظور ابتدا با برداشت آرایه مستطیلی و تفسیر نقشه‌های مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل، پهنه‌های بی‌هنجاری و امیدبخش برای کانی‌سازی به‌صورت اولیه شناسایی شد. برای شناسایی عوامل کانی‌ساز با بیشترین تغییرپذیری و بررسی تفصیلی پهنه‌های مستعد کانی‌سازی، نیمرخ‌های IP دوقطبی- دوقطبی در راستای عمود بر روند کانی‌سازی در جهت‌های شمالی- جنوبی پیاده و برداشت شد. همچنین برای بررسی چگونگی توزیع فلزات، همبستگی میان بارپذیری و مقاومت ویژه ارزیابی شد و در پایان تحت شبیه‌سازی و مدل‌سازی، شبه‌مقاطع بارپذیری و مقاومت ویژه تعبیر و تفسیر شد. با توجه به شبه‌مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ‌ها، موقعیت، ژرفا، شدت و گسترش کانی‌سازی تعیین شد. انطباق بی‌هنجاری‌های حاصل از نتایج ژئوفیزیکی با ترکیب سنگی و دگرسانی‌های موجود منطقه نشان از آن دارد که در شمال و جنوب خاور منطقه، کانی‌زایی مس همراه با افزایش بارپذیری و کاهش مقاومت ویژه بوده است. در این راستا اعمال تصحیحات توپوگرافی سبب شدت بخشی به هاله‌ها شد. همچنین دامنه نوسان‌های بارپذیری، امکان تفکیک دگرسانی‌های مهم منطقه را در ارتباط با کانی‌زایی مس فراهم ساخت؛ به‌طوری که بارپذیری بالا احتمالاً نشان‌دهنده مناطق دگرسانی فیلیک است که همراه با پیریت نیز هستند؛ در حالی که دگرسانی پتاسیک با کاهش بارپذیری همراه بوده و منطبق بر توده‌های آذرین نفوذی است. نتایج نشان از آن دارد که سیال مادر توده پورفیری میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت به عنوان منشأ کانی‌سازی بوده و این همراه با آندزیت- داسیت‌آندزیت پورفیری به عنوان منبع بی‌هنجاری موجود است. با توجه به همه شواهد حاصل از مطالعات صحرایی و انطباق نتایج ژئوفیزیکی با ترکیب سنگی و دگرسانی‌های منطقه و در پایان بررسی پهنه‌های مستعد کانی‌زایی، نقاط حفاری بهینه با اولویت بی‌هنجاری (SABH1) منطبق بر پهنه پتاسیک به دلیل پتانسیل بالای کانی زایی مس پیشنهاد شد.

کلیدواژه‌ها: پلاریزاسیون القایی، مقاومت ویژه، دگرسانی، کانی‌زایی مس، مناطق امیدبخش، صاحب‌دیوان، مشگین‌شهر.

***نویسنده مسئول:** محمدجعفرمحمدزاده
E-mail: mj_mohammadzadeh@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

منطقه مورد مطالعه روی فلززایی مس شمال باختر، نزدیک مرز استان آذربایجان شرقی و در محدوده استان اردبیل قرار گرفته است. این پهنه پتانسیل بالقوه ذخایر فلزی و منابع معدنی را دارد. در راستای اکتشاف این فلزات، انتخاب و به کارگیری روش‌های اکتشافی مناسب و کم خطای مؤثر لازم و ضروری است. کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی و تلفیق این روش‌ها در راستای احتمال کاهش کمبودهای هر کدام از این روش‌ها همراه با افزایش اطمینان از کارآیی و تفسیر دقیق‌تر نتایج می‌تواند احتمال کشف و امکان دست‌یابی به مناطق امیدبخش را با قطعیت بالا افزایش دهد.

پیشینه پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی کاربرد گسترده‌ای در علوم زمین به‌ویژه اکتشاف معدن دارد (نمکی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Hoover, 1992؛ Van Blaricom, 1980 ؛ Macnae, 1979؛ Smith, 2002). به‌طوری که می‌توان به کاربرد روش پلاریزاسیون القایی (IP; Induced Polarization) در اکتشاف معدن، آب‌شناسی و محیط زیست (Vacquier et al., 1957; Marshall & Madden, 1959; Sumner, 1976; Klein & Sill, 1982; Towel et al., 1985; Sternberg & Oehler, 1990; Kiberu, 2002) و کاربرد روش مغناطیس‌سنجی در تعیین ژرفای کانی‌سازی (Ramadan & Sultan, 2004)، بررسی ساختارهای زمین‌شناسی (Ndougsa et al., 2012; Feumoé et al., 2012)، کشف توده‌های سطحی و زیرزمینی (Talwani, 1965) و همچنین ارائه شکل بی‌هنجاری در ژرفا اشاره کرد. همچنین این روش در مطالعات معدنی و نفتی (کانسارهای مگنتیتی، کانسارهای ایلمنیتی، کانسارهای کرومیت آهن‌دار، کانسارهای دارای تباین مغناطیسی با سنگ میزبان، هاله‌های مگنتیتی و پیروتیتی وابسته به کانسارهای سولفیدی و تشخیص ساختارهای گنبدی شکل با منشأ آذرین از گنبدهای نمکی)، در تعیین محل اجسام مدفون، مخزن‌های فلزی سوخت، مواد آلوده و سمی و شفت‌ها و راهروهای معادن قدیمی، در مطالعات زمین شناسی (تعیین مرز سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی (مانند گسل‌ها) زمانی که تباین مغناطیسی میان آنها وجود داشته باشد، در تعیین ساختارهای زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس) و در مطالعات باستان‌شناسی کاربرد قابل توجهی دارد (نوروزی، ۱۳۸۸). موفقیت این روش وتلفیق آن با دیگر روش‌ها در افزایش کارآیی برای اکتشاف فلزات پایه از جمله مس پورفیری به اثبات رسیده است (ملک‌زاده شفارودی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ترابی و همکاران، ۱۳۸۹).

همچنین برای برآورد ژرفا و شکل بی‌هنجاری مغناطیسی و تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی (اویسی‌مؤخر و همکاران، ۱۳۸۷؛ فنایی خیرآباد و همکاران، ۱۳۸۷؛ کامکار روحانی و بیکی، ۱۳۸۸) و همچنین ثبت گسل پنهان در منطقه کرکسار (اویسی‌مؤخر و همکاران، ۱۳۸۷) از روش‌های بالا استفاده شده است. بنابراین با توجه به توانایی روش‌های مختلف ژئوفیزیکی در مطالعات اکتشافی و اهمیت منطقه صاحب‌دیوان از دید اکتشاف ذخایر فلزی، مقاله حاضر با هدف بررسی وجود مواد معدنی در ژرفا، ثبت موقعیت توده‌های زیرسطحی در منطقه و مدل‌سازی وارون بر پایه الگوریتم المان محدود انجام گرفت. نظر به اینکه انتخاب روش مطالعه

ژئوفیزیکی به نوع کانی‌سازی محدوده بستگی دارد، کانی‌سازی مس در محدوده صاحب‌دیوان از نوع پورفیری با پراکندگی زیاد در سطح سنگ میزبان دیده می‌شود. بنابراین افزایش سطح تماس و حضور کانی‌هایی با قطبش‌پذیری بالا موجب انتخاب روش قطبش القایی (IP) در منطقه شد. هر چه سطح تماس کانه مس با الکترولیت بیشتر باشد، می‌تواند اثر IP قابل توجهی ایجاد کند و این اثر از راه القای جریان و اندازه‌گیری پاسخ زمین آشکار می‌شود؛ بنابراین به منظور بهینه‌سازی عملیات اکتشافی و دست‌یابی به ذخایر فلزی موجود از جمله مس (با توجه به شواهد زمین‌شناسی از جمله روند دگرسانی‌ها و امتداد گسل‌ها) محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت ظاهری تحت پوشش عملیات ژئوفیزیکی قرار گرفت. برای بررسی چگونگی توزیع فلزات همبستگی میان بارپذیری و مقاومت ویژه ارزیابی شد و در پایان تحت شبیه‌سازی و مدل‌سازی شبه‌مقاطع بارپذیری و مقاومت ویژه تعبیر و تفسیر شد.

۲- زمین‌شناسی منطقه صاحب‌دیوان

محدوده معدنی صاحب‌دیوان در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال باختر شهرستان مشکین‌شهر و ۴۴ کیلومتری شمال خاور شهرستان اهر جای دارد. این محدوده بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ لاهرود است و در بخشی از واحد زمین‌ساختی البرز- آذربایجان جای دارد که کوه‌های قره‌داغ و ارسباران را شامل می‌شود. بر پایه تقسیم‌بندی‌های معمول ساختاری رایج زمین‌شناسی ایران، محدوده مورد مطالعه در پهنه البرز- آذربایجان (نبوی، ۱۳۵۵) یا پهنه میانی (آقانباتی، ۱۳۸۵) جای گرفته و به دلیل داشتن دگرسانی‌های شدید و بسیار بارها مطالعه شده است. مجموعه ماگمایی موجود در این منطقه همانند دیگر توده‌های مشابه موجود در کمربند آتشفشانی- رسوبی ترشیری البرز- آذربایجان جزیی از کمان پس از برخورد البرز- آذربایجان به شمار می‌رود و پتانسیل بالایی برای مس و دیگر فلزات پایه دارد. نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی محدوده صاحب‌دیوان با گسترش ۱/۴ کیلومتر مربع با مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه و در شکل ۱ ارائه شده است. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی شامل آندزیت- داسیت‌آندزیت پورفیری، میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت پورفیری و میکروگرانودیوریت- میکروگرانیت پورفیری مربوط به الیگوسن و الیگومیوسن است. مطالعات سنگ‌شناسی از ۸ گمانه در منطقه صاحب‌دیوان نشان می‌دهد که بیشتر واحدهای زمین‌شناسی شامل توده‌های مونزونیت پورفیری، استوک‌ها و دایک‌های مونزودیوریتی، دایک‌های تراکی‌بازالت و اولیوین بازالت و سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی هستند (بدخشان نوجه‌ده، ۱۳۸۹). وی بر پایه نمودار Blevin (2004) توده‌های یاد شده را از نوع I-type معرفی و ماگمای مادر آنها را دارای سرشت کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا تا شوشونیتی با ویژگی‌های متاآلومینوس می‌داند. مطالعه یاد شده نشان می‌دهد که سیال‌های درگیر اولیه و ثانویه به‌صورت نوع دوفازی غنی از مایع درون رگچه‌های کوارتز تظاهر یافته‌اند و کانی‌سازی در منطقه شامل دو مرحله است: کانی‌سازی اولیه شامل مگنتیت، کالکوپیریت، بورنیت و پیریت و کانی‌سازی ثانویه شامل هماتیت، گوتیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت است. با توجه به همه شواهد به دست آمده از مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌نگاری و مطالعات میانبارهای سیال می‌توان گفت کانی‌زایی مس در منطقه احتمالاً از نوع پورفیری و تشکیل کم پهنه‌های برون‌زاد به دلیل تأثیر محلول‌های سطحی بر پهنه کانی‌سازی برون‌زاد بوده است. نظر به اهمیت کانی‌زایی در منطقه صاحب‌دیوان، قهرمانی اسکوئی و همکاران (۱۳۹۳) منشأ پهنه‌های دگرسانی کائولینیزه را بر پایه فرایند تبدیل سنگ‌های اولیه کوارتز- مونزونیتی همراه با تهی‌شدگی- غنی‌شدگی REEها اعلام می‌دارند. به‌طوری که جذب ترجیحی LREEها را توسط هماتیت، گوتیت و آلونیت مهم‌ترین عامل تفریق LREEها از HREEها می‌دانند. مطالعات میکروسکوپی این نویسندگان نشان می‌دهد که پهنه‌های دگرسانی فراگیر شامل طیف‌های پتاسیک، فیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک و آرژیلیک است و بیشتر کانی‌های اصلی عبارتند از کائولینیت، ایلیت، ژاروسیت، هماتیت، مونت‌موریلونیت، گوتیت، دیکیت، پیروفیلیت و آلونیت. حضور ۳ کانی آخر نشان می‌دهد که پهنه‌های دگرسانی منطقه در حد آرژیلیک پیشرفته را تجربه کرده‌اند. شناسایی الگوهای دگرسانی در منطقه صاحب‌دیوان اطلاعات ارزشمندی برای تفسیر ماهیت سامانه گرمابی، تشکیل کانی‌زایی و پیش‌بینی تغییرات رخ داده در گذشته ارائه می‌کند که از دیدگاه اکتشافی برای پیش‌بینی محل‌های بهینه حفاری اهمیت دارد. نظر به اینکه منطقه مورد مطالعه یک منطقه تکتونیزه بوده و از نظر کانی‌زایی فلزی دارای اهمیت است، انطباق دگرسانی‌های گرمابی و مناطق امیدبخش با اولویت‌بندی منطقه از دید اکتشافی با استفاده از تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی و یافته‌های ژئوفیزیکی مد نظر مقاله حاضر است.

۳- مواد و روش ها

پروژه اکتشافی یک مجموعه فعالیت‌های علمی و فنی است که برای کشف ذخایر معدنی با طبیعت غیر قابل تجدید صورت می‌گیرد. در همه عملیات اکتشافی یکی از نیازهای بنیادین تعیین محل دقیق نیمرخ‌های اندازه‌گیری و خط مبناست که باید خط مبنا موازی با روند دگرسانی در نظر گرفته شود تا بتوان پاسخ بهتری از وضعیت و شکل پهنه دگرسان شده به دست آورد. مطالعات انجام شده پیشین در منطقه صاحب‌دیوان نشان می‌دهد که پتانسیل کانی‌زایی احتمالی برای تشکیل نهشته‌های آهن، مس و منگنز وجود دارد (انصاری، ۱۳۹۰؛ انصاری و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به ویژگی‌های این نوع از کانی‌سازی، برداشت ژئوالکتریکی شامل پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه انجام شد. برای طراحی شبکه برداشت و انتخاب آرایش مناسب، عملیات صحرایی در محدوده صاحب‌دیوان، با توجه به پهنه‌های مستعد و کانی‌سازی شده حاصل از نتایج زمین‌شناسی منطقه با آرایش مستطیلی و دوقطبی- دو قطبی به دلیل بررسی ژرفای بیشتر انجام شد (شکل ۲).

۳- ۱. آرایش مستطیلی در محدوده صاحب‌دیوان

طی عملیات صحرایی تعداد نقاط اندازه‌گیری شده شامل ۵۳۲ نقطه قطبش القایی و ۵۳۲ مقاومت ویژه با شدت مقاومت ویژه ۵۰ اهم‌متر تا ۲۰۰ اهم‌متر و شدت بارپذیری ۱۵ mv/v تا ۵۵ mv/v انجام شد که با بررسی و ثبت پهنه‌های مستعد زمین‌شناسی و دگرسانی محدوده و روند شمال خاوری- جنوب باختری گسل‌ها و خاوری- باختری دگرسانی‌ها، امتداد خطوط برداشت شمالی- جنوبی تعیین شد تا بیشترین تغییرپذیری در عوامل کانی‌ساز حاصل شود؛ بنابراین امتداد الکترودهای جریان آرایه مستطیلی (AB) شمالی- جنوبی بوده و فاصله الکترودی AB در آرایش مستطیلی برابر ۱۰۰۰ متر است؛ اندازه‌گیری‌ها در شبکه مستطیلی به ابعاد ۷۶۰×۱۵۰۰ متر و فاصله نقاط ایستگاهی (طول MN) برابر ۲۰ متراست (شکل ۲). برداشت روی نیمرخ‌هایی با راستای شمال- جنوب و به فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر که درون مستطیل قرار دارند، انجام و به‌طور کلی ۵۳۲ نقطه ایستگاهی برداشت شد.

۳- ۲. برداشت آرایه دوقطبی- دوقطبی در محدوده صاحب‌دیوان

با توجه به تفسیر کیفی نقشه‌های مقاومت ویژه و بارپذیری آرایش مستطیلی (شکل‌های ۳ و ۴)، دو نیمرخ عمود بر روند کانی‌سازی در سوی شمالی - جنوبی پیاده و برداشت شد. نیمرخ‌ها از محدوده بی‌هنجاری A و B گذشته و روند گسل‌های محدوده را قطع می‌کنند.

برای تعیین گسترش پهنه کانی‌سازی لازم است نیمرخ‌ها از منطقه حد زمینه شروع شوند و دو پهنه بی‌هنجاری A و B را به‌صورت جداگانه قطع کنند. باتوجه به گستره ژرفای بررسی در امتداد هر یک از این دو نیمرخ از آرایش دوقطبی- دوقطبی استفاده شد تا با استفاده از شبه‌مقطع آنها، موقعیت کانی‌سازی احتمالی تعیین شود. در نقشه بارپذیری شکل ۴ این نیمرخ‌ها با dd1 و dd2 مشخص شده است؛ نیمرخ dd1 از پهنه

A و نیمرخ dd2 از پهنه B می‌گذرد. با توجه به نقشه بارپذیری اگر موقعیت نیمرخ dd1، ۳۰۰ متر به سوی خاور جابه‌جا شود، نتیجه بهینه‌ای از کانی‌سازی ارا ئه می‌دهد.

– برداشت نیمرخ dd1: نیمرخ dd1 روی توده‌های میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت پورفیری و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. این نیمرخ از دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک پیشرفته عبور می‌کند. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته به دلیل داشتن کانی‌های رسی می‌تواند بارپذیری به نسبت بالایی ایجاد کند. کانی‌های رسی همچنین می‌توانند IP غشایی ایجاد کنند؛ این نوع IP سبب نوفه می‌شود. تفسیر شبه‌مقاطع حاصل در بخش نتایج و بحث و شکل ۴ ارائه شده است.

– برداشت نیمرخ dd2: این نیمرخ از واحدهای میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت پورفیری، توف‌های شیشه‌ای و بلوری و رسوبات عهد حاضر می‌گذرد. پهنه‌های دگرسانی شامل فیلیک و آرژیلیک پیشرفته است. کوارتز، پیروفیلیت، ژاروسیت و مقادیر احتمالی از آلونیت و ژیپس از کانی‌های مهم دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و کوارتز، سریسیت، پیریت و ژاروسیت از کانی‌های مهم دگرسانی فیلیک هستند.

نیمرخ dd2 به طول ۷۰۰ متر و با فاصله ۴۰ متر میان الکترودهای جریان و الکترودهای پتانسیل قرار گرفته است و نقاط ایستگاهی از یکدیگر ۲۰ متر فاصله دارند. اندازه‌گیری‌ها از شمال به جنوب بوده و برداشت مشابه نیمرخ dd1 انجام گرفته است. اندازه‌گیری‌های روی این نیمرخ شامل ۲۳۰ خوانش است. شکل ۷ شبه‌مقطع نیمرخ dd2 و شکل ۸ این شبه‌مقطع را با توپوگرافی نشان می‌دهد.

۴- نتایج و بحث

عملیات صحرایی و نتایج حاصل از تلفیق مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که با توجه به چگونگی آرایش‌ها، دو محدوده بی‌هنجاری A و B مشخص می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴)؛ با توجه به نقشه‌ها در این دو پهنه (A و B) بارپذیری افزایش و مقاومت ویژه کاهش یافته است، پهنه A در شمال صاحب‌دیوان جای گرفته و از شمال باختری تا شمال خاوری محدوده گسترش یافته است؛ پهنه B در جنوب خاوری محدوده جای دارد.

در نقشهٔ بارپذیری (شکل ۴)، بی‌هنجاری A نیم‌بسته بوده و در امتداد شمال خاوری- جنوب باختری کشیده شده است. بی‌هنجاری نیم‌بسته شمال خاور (C) نیز با بارپذیری بیش از ۵۰ mv/v، نیاز به بررسی دارد؛ ولی مقطعی برداشت نشده است.

انطباق مطالعات زمین‌شناسی با بررسی بی‌هنجاری ژئوفیزیکی بیانگر این است که پهنه A روی واحد پورفیری میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت با دگرسانی آرژیلیک (متوسط و پیشرفته) و فیلیک و واحد پورفیری آندزیت- داسیت‌آندزیت با دگرسانی سیلیسی قرار گرفته است. شدت‌های بالای بارپذیری در پهنه A را می‌توان به فراوانی کانی پیریت در پهنه آرژیلیک پیشرفته نسبت داد و بارپذیری با شدت‌های ۳۵ mv/v تا ۴۵ mv/v و مقامت ویژه ۵۰ اهم‌متر تا ۱۰۰ اهم‌متر می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی مس باشد.

بی‌هنجاری نیم‌بسته B، روی میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت، آندزیت- داسیت‌آندزیت و توف‌های شیشه‌ای و بلوری با دگرسانی آرژیلیکی متوسط، پروپیلیتیک، فیلیک و سیلیسی قرار گرفته است. این پهنه در مقایسه با پهنه A گسترش کمتری دارد.

بررسی نقشه‌های نیمرخ‌های dd1 و dd2 بیانگر این مطلب است که شکل های ۵ و ۶ شبه‌مقطع نیمرخ dd1 را با و بدون در نظر گرفتن توپوگرافی نشان می‌دهد. با وجود اینکه نیمرخ یاد شده از دو ترکیب سنگی مختلف می‌گذرد، ولی مقاومت ویژه تغییرات زیادی را در نزدیکی سطح و در هریک از ترکیب‌های سنگی نشان می‌دهد. تغییرات مقاومت ویژه در یک ترکیب سنگی احتمالاً می‌تواند در ارتباط با تغییرات تخلخل و اشباع از آب باشد. مقاومت ویژه‌های پایین نیز در ارتباط با درز و شکاف‌های آب‌دار است و مقدار مقاومت ویژه روی رسوبات افزایش می‌یابد. با استفاده از شبه‌مقطع مقاومت ویژه، دو ساختار با شیب شمالی قابل تشخیص است که رفتاری مشابه با گسل دارند و مقاومت ویژه در حواشی آنها تغییرات به نسبت زیادی نشان می‌دهد.

همچنین با توجه به شکل می‌توان گفت که بارپذیری بالا، احتمالاً نشانه‌ای از حضور دگرسانی فیلیک است و بارپذیری بالای این دگرسانی را می‌توان به پیریت نسبت داد. برعکس، دگرسانی پتاسیک بارپذیری پایینی نشان می‌دهد. این دگرسانی‌ها را می‌توان با ویژگی‌های یاد شده مشخص کرد.

با توجه به شبه‌مقطع نیمرخ dd1 (شکل ۵) و در نظر گرفتن توپوگرافی آن (شکل ۶)، دو پهنه بی‌هنجاری مهم مشخص شد که در گستره بارپذیری ۳۸/۸ mv/v تا ۸۲ mv/v قرار دارند. بی‌هنجاری SABH1 روی رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است و دگرسانی فیلیک در پیرامون آن حضور دارد. این بی‌هنجاری حدوداً در ژرفای ۲۰ متری قرار گرفته است و گسترش ژرفایی آن به سوی شمال ادامه دارد؛ ولی بی‌هنجاری SABH2 روی توده پورفیری میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت قرار گرفته و دگرسانی پتاسیک در مجاورت آن است. این بی‌هنجاری در ژرفای بیشتری (حدود ۴۰ متری) قرار دارد؛ شیب بی‌هنجاری به سوی شمال است و گسترش جانبی و ژرفایی بیشتری را نشان می‌دهد.

بررسی زمین‌شناسی و صحرایی نشان می‌دهد که بی‌هنجاری SABH1 در مجاورت مناطق پیریتی قرار گرفته و از آنجا که پیریت دارای بارپذیری بالا و مشابه با کانی‌های مس‌دار همچون کالکوپیریت و بورنیت است، این بی‌هنجاری می‌تواند ناشی از حضور پیریت باشد بدون آنکه ارتباطی به کانی‌سازی مس داشته باشد؛ ولی اگر پیریت گسترش سطحی داشته باشد نمی‌تواند سبب ایجاد این بی‌هنجاری در ژرفای ۲۰ متری شود و ارتباط به کانی‌سازی مس خواهد داشت. شکل‌های ۷ و ۸ شبه‌مقاطع نیمرخ dd2 با و بدون در نظر گرفتن اثر توپوگرافی را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود اعمال اثر توپوگرافی بی‌هنجاری‌ها را با شدت و قطعیت بالایی نشان می‌دهد.

بررسی شبه‌مقاطع (شکل ۸) نشان‌دهنده دو بی‌هنجاری SABH3 و SABH4 است. این بی‌هنجاری‌ها با مقادیر بارپذیری بیش از ۴۳/۶ mv/v مشخص می‌شوند. بی‌هنجاری SABH3 بر روی رسوبات عهد حاضر قرار دارد و دگرسانی فیلیک در شمال و جنوب آن دیده می‌شود. رسوبات روی توده میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت گسترده شده است. بی‌هنجاری SABH4 منطبق بر پورفیری میکروکوارتزمونزونیت- میکرومونزودیوریت با دگرسانی فیلیک است.

ژرفای بی‌هنجاری‌ها روی دو شبه‌مقطع، متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که در شبه‌مقطعِ بدونِ توپوگرافی، بی‌هنجاری SABH4 در ژرفای بیشتری قرار دارد؛ ولی همینِ بی‌هنجاری در شبه‌مقطعِ توپوگرافی‌دار، در ژرفای کمتری نسبت به بی‌هنجاری SABH3 دیده می‌شود. از آنجا که توپوگرافی در شبه‌مقطع شکل ۸ تأثیر داده شده، دقت نتایج آن بیشتر است. به‌طوری که می‌توان گفت با اعمال تصحیحات توپوگرافی نوعی حذف اثر سینژنتیک انجام شده است و هاله‌ها با دقت بیشتری شدت یافته‌اند.

به دلیل جای گرفتن بی‌هنجاری SABH3 در دره و بی‌هنجاری SABH4 روی تپه، برای رسیدن به توده بی‌هنجاری SABH4، حفاری بیشتری (حدود ۶۵ متر) نسبت به بی‌هنجاری SABH3 (حدود ۵۰ متر) نیاز است.

در شکل ۹ نقشه داده‌های پلاریزاسیون القایی (الف) و مقاومت ویژه (ب)، در ژرفای ۵۰ متری برای تجسم گسترش ژرفایی کانی‌زایی به تصویر کشیده شده است. روشن است که در هر دو نقشه پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه موقعیت کانی‌سازی گسترش یافته است. از روی بارپذیری بالای کانه‌های مس مانند کالکوپیریت و بورنیت، می‌توان نقاط پتانسیل‌دار کانی‌سازی احتمالی مس را روی نقشه پلاریزاسیون القایی تشخیص داد.

۴– ۱. پیشنهاد نقاط بهینه حفاری

با توجه به نتایج روش‌های ژئوفیزیکی انجام شده در این محدوده و بررسی پهنه‌های مستعد کانی‌سازی همانند پهنه‌های A، B، C و نیز ناحیه بی‌هنجاری اصلی کانی‌زایی که تعیین شده است، می‌توان نقاطی را با در نظر گرفتن شواهد کانی‌سازی، زمین‌شناسی تعیین و اولویت‌بندی کرد. طبق نتایج این مطالعه، اولویت نخست (SABH1) به پهنه پتاسیک (به دلیل پتانسیل بالای آن برای کانه‌زایی مس) اختصاص می‌یابد. شکل ۱۰، موقعیت بی‌هنجاری‌ها و محل‌های بهینه حفاری را نشان می‌دهد. این بی‌هنجاری‌ها در برخی موارد همبستگی خوبی با یکدیگر دارند. معمولاً با افزایش ژرفا، این بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی نتایج دقیق‌تری نشان می‌دهند.

۵– نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج تلفیق روش‌های مختلف پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه الکتریکی، محدوده صاحب‌دیوان مشگین‌شهر دارای امتداد کانی‌سازی خاوری- باختری است. کانی‌سازی پاراژنزی از عناصر آهن، مس و منگنز دارد. بر پایه پاراژنز کانی‌ها، کانه‌زایی آهن مانند مگنتیت (با خودپذیری بالا نسبت به زمینه) با کانی‌سازی مس، با استفاده از نیمرخ‌های الکتریکی پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه، اطلاعات بیشتر از شیب و حتی ستبرای کانی‌سازی در ژرفا طراحی و برداشت شد.

طی عملیات صحرایی تعداد نقاط اندازه‌گیری شده شامل ۱۱۶۳ نقطه قطبش القایی-مقاومت ویژه بود. با توجه به تفسیر کیفی نقشه‌های مقاومت ویژه و بارپذیری آرایش مستطیلی، دو نیمرخ عمود بر روند کانی‌زایی در جهت N-S پیاده و برداشت شد تا بیشینه تغییرپذیری در عوامل کانی‌زایی حاصل شود.

نقشه‌های حاصل از عملیات صحرایی نشان از دو محدوده بی‌هنجاری در شمال و جنوب خاور منطقه اکتشافی دارد. این بی‌هنجاری‌ها نشان می‌دهند که بارپذیری در این پهنه افزایش و مقاومت ویژه کاهش یافته است. تلفیق نتایج یافته‌های ژئوفیزیکی و میدانی نشان می‌دهد که افزایش بارپذیری احتمالاً مؤید دگرسانی فیلیک است؛ در حالی که گسترش سطحی پیریت نیز می‌تواند سبب بی‌هنجاری دروغین شود. ولی گستره این بی‌هنجاری‌ها به سوی ژرفا دلیلی بر وجود بی‌هنجاری‌های واقعی در ژرفاست. در برابر آن، دگرسانی پتاسیک بارپذیری پایینی نشان می‌دهد که بیشتر بر ترکیب‌های سنگی توده‌های نفوذی آذرین کوارتزمونزونیت و مونزودیوریت منطبق است و نشان از عجین شدن با بی‌هنجاری‌های واقعی کانی‌زایی مس در ژرفا دارد.

بی‌هنجاری دوم روی توده پورفیری آذرین و دگرسانی پتاسیک در مجاورت آن قرار دارد. این بی‌هنجاری در ژرفای بیشتری جای گرفته است و شیب بی‌هنجاری گستره فضایی وسیعی را نشان می‌دهد.

انطباق بی‌هنجاری‌های حاصل از نتایج ژئوفیزیکی با ترکیب‌های سنگی و دگرسانی‌های موجود در منطقه نشان از آن دارد که در شمال و جنوب خاور منطقه، کانی‌زایی مس با افزایش بارپذیری و کاهش مقاومت ویژه همراه بوده است.

دامنه نوسان‌های بارپذیری امکان تفکیک دگرسانی‌های مهم منطقه در ارتباط با کانی‌زایی مس را فراهم ساخت؛ به‌طوری که بارپذیری بالا احتمالاً نشاندهنده حضور دگرسانی فیلیک همراه با پیریت و در برابر آن، دگرسانی پتاسیک همراه با کاهش بارپذیری منطبق بر توده‌های آذرین نفوذی است.

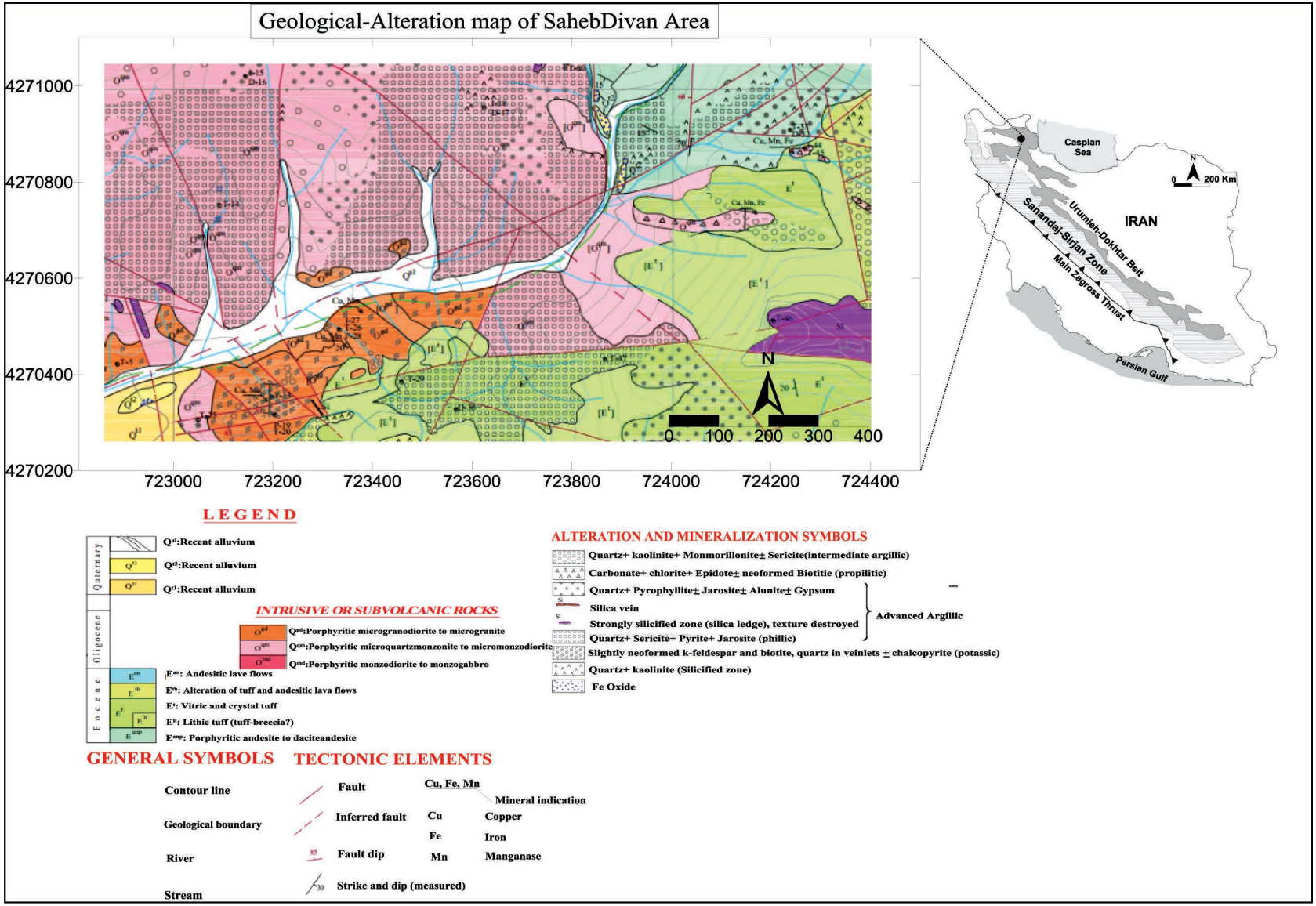
اعمال تصحیحات توپوگرافی در مورد بی‌هنجاری‌های ثبت شده از منطقه صاحب‌دیوان سبب افزایش دقت نتایج و شدت بخشی به هاله‌ها و ثبت ژرفای کانی‌زایی با درستی بیشتر نسبت به هم و تعیین ژرفای حفاری مورد نیاز برای هرکدام از پهنه‌های امیدوار کننده شد.

با توجه به همه شواهد حاصل از مطالعات صحرایی و انطباق نتایج ژئوفیزیکی با ترکیب سنگی و دگرسانی‌های منطقه و در پایان بررسی پهنه‌های مستعد کانی‌زایی، نقاط حفاری بهینه با اولویت بی‌هنجاری (SABH1) منطبق بر پهنه پتاسیک به دلیل پتانسیل بالای کانی‌زایی مس پیشنهاد می‌شود.

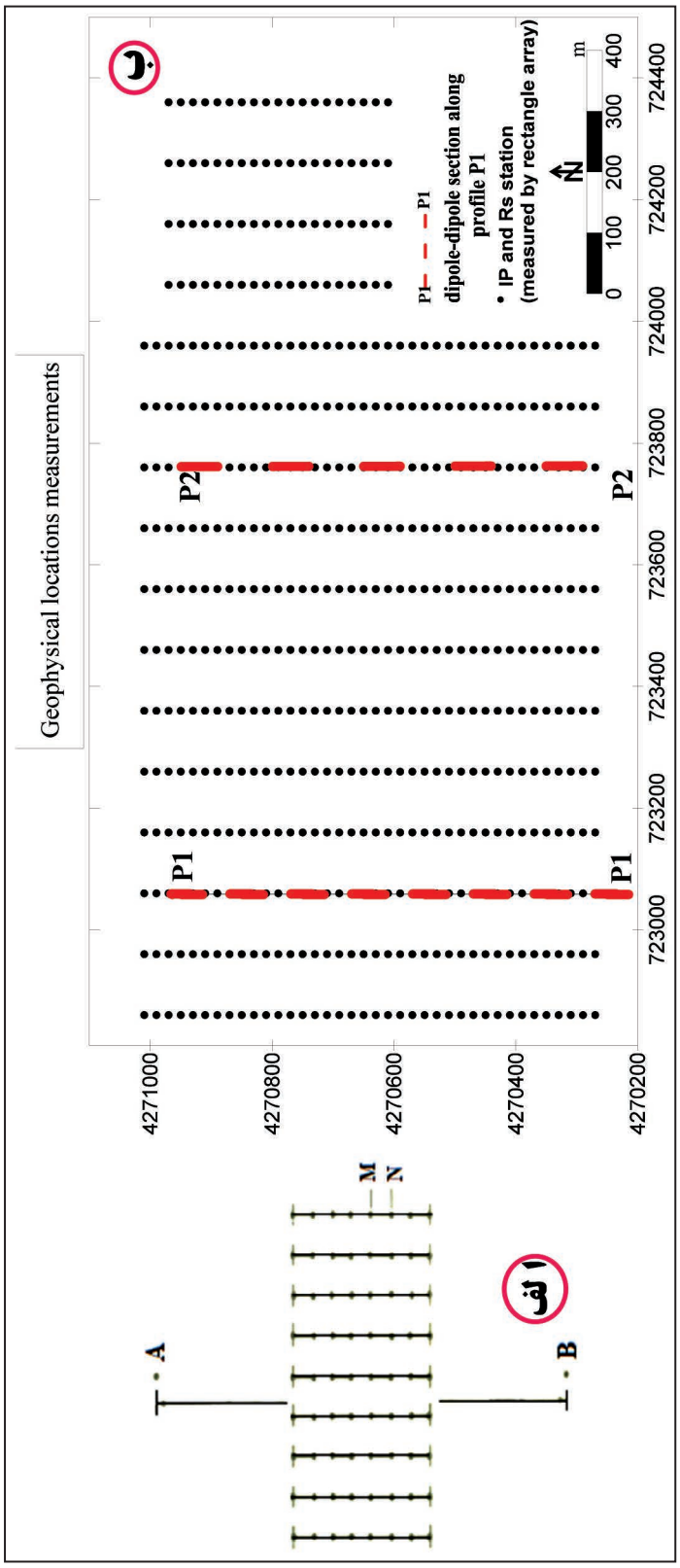
از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به نوع نهشته چندفلزی، تلفیق و انطباق روش‌های ژئوفیزیکی به کارگرفته شده در اکتشاف فلزی منطقه سبب کاهش عدم قطعیت در پیشنهاد نقاط بهینه حفاری طبق نقشه هدف و افزایش احتمال کشف در ثبت مناطق امیدبخش کانی‌زایی شد. در پایان برای اعتبارسنجی بهتر این روش‌های ژئوفیزیکی، لازم است همه نتایج با اطلاعات حاصل از گمانه‌ها نیز تطبیق داده شود.

سپاسگزاری

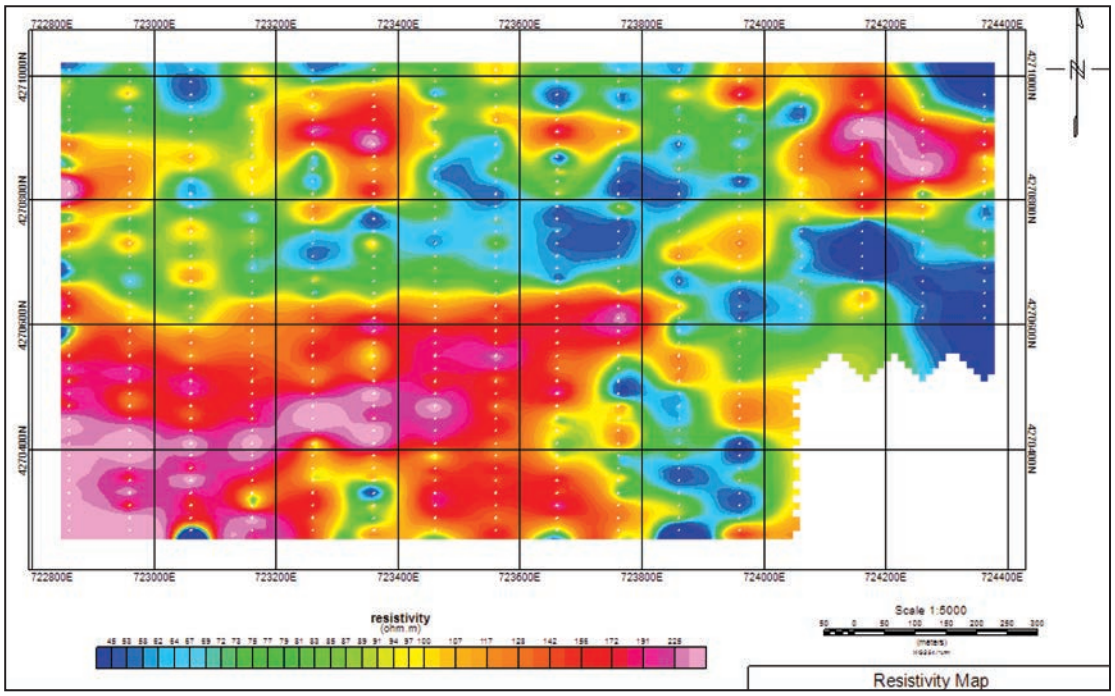
نگارندگان از داوران محترم فصلنامه علوم زمین که زحمت مطالعه و بررسی مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، سپاسگزاری می‌کنند.



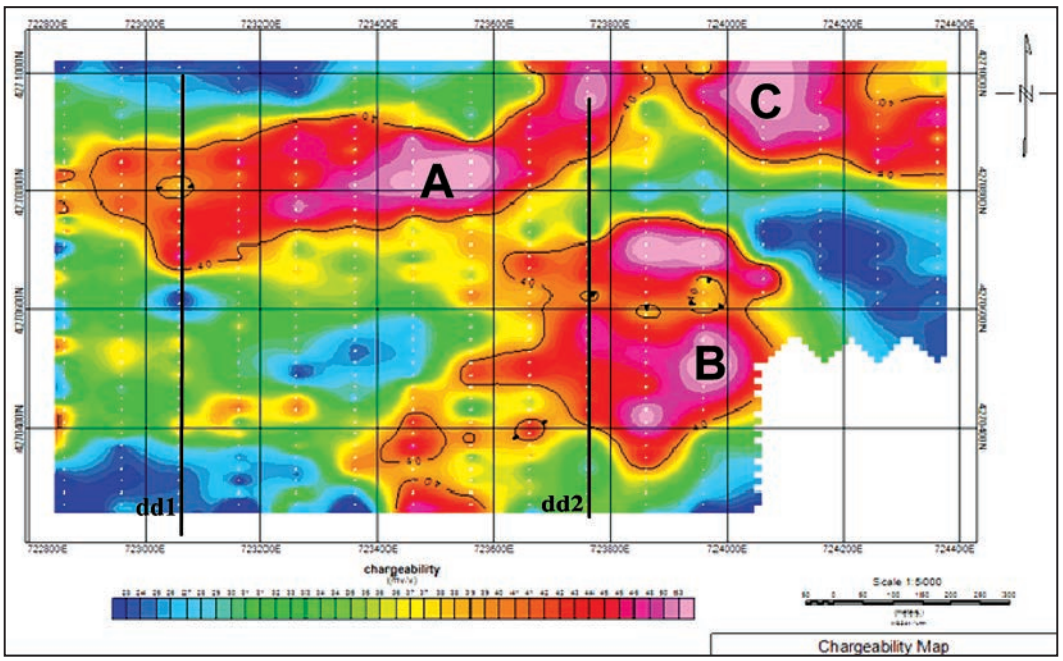
شکل ۱- موقعیت، نقشه زمین‌شناسی و آلتراسیون‌های منطقه صاحب دیوان.



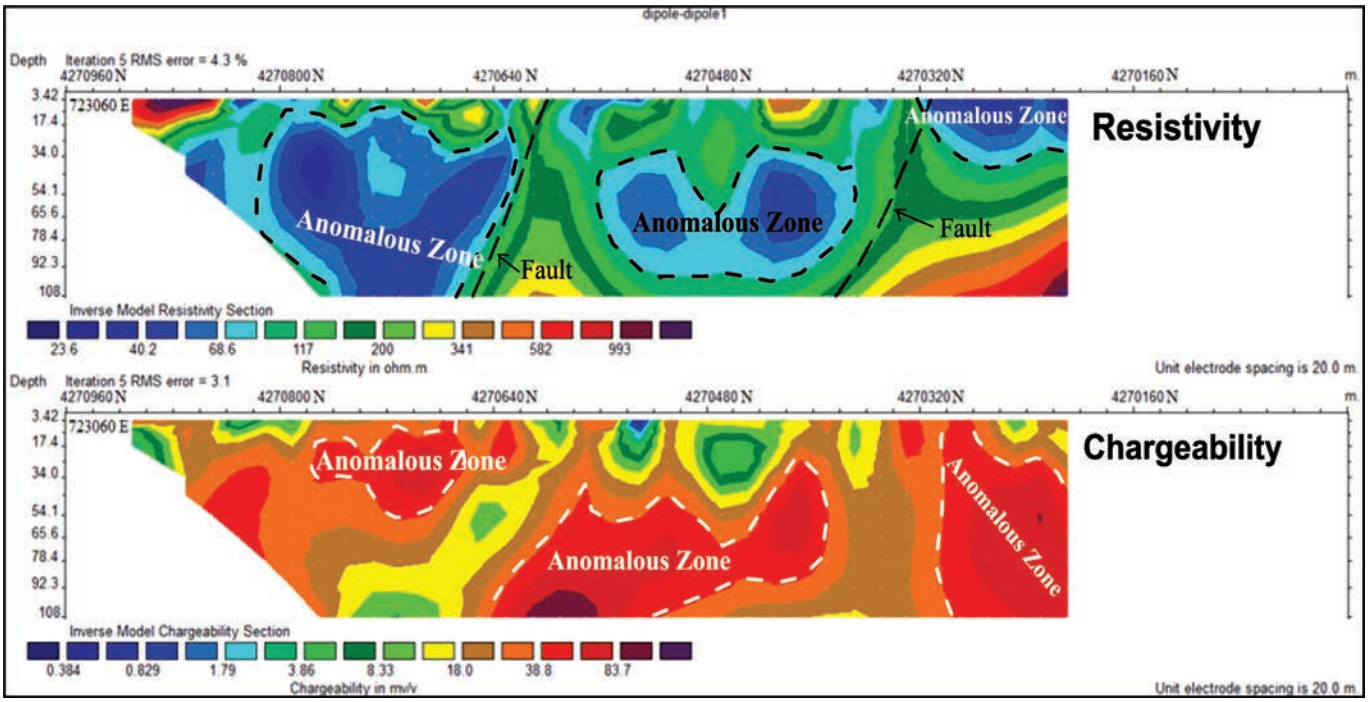
شکل ۲- چگونگی برداشت با آرایش مستطیلی و آرایش دوقطبی در محدوده صاحب‌دیوان.



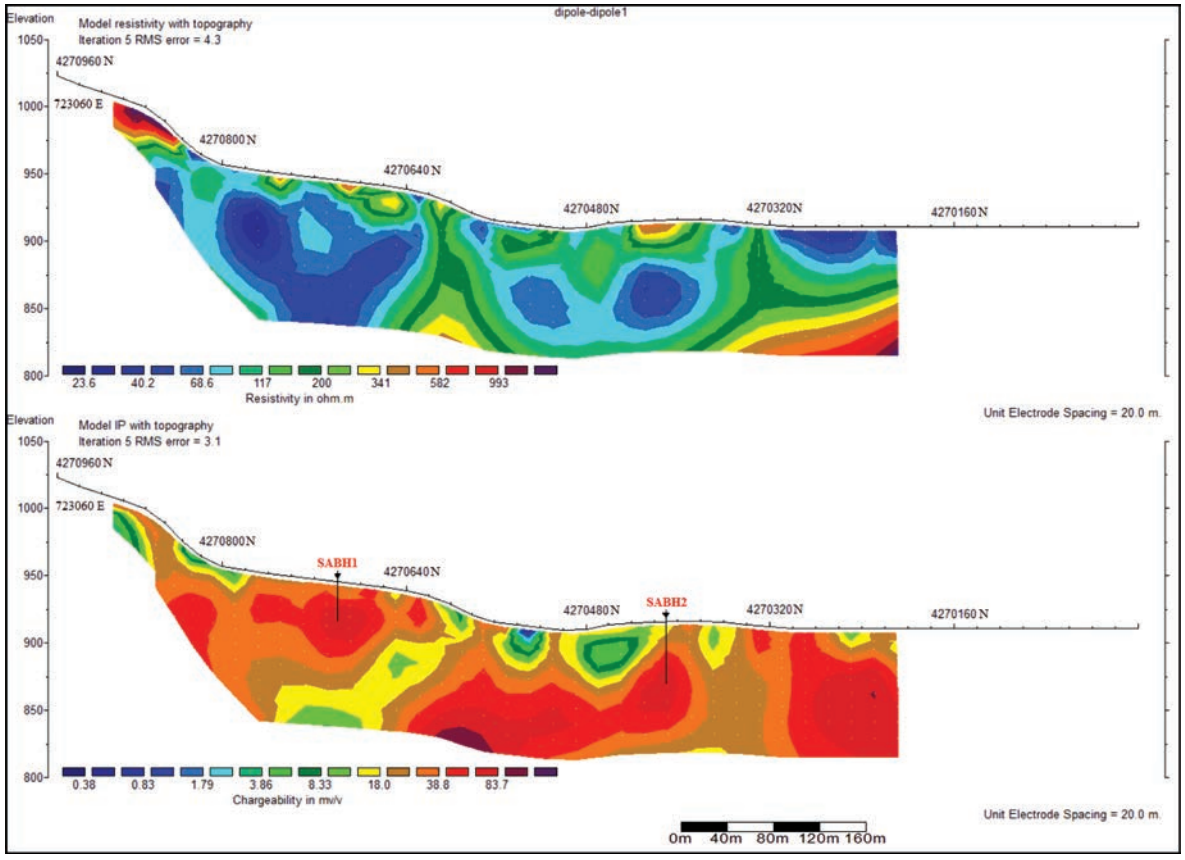
شکل ۳- نقشه مقاومت ویژه آرایش مستطیلی محدوده صاحب دیوان.



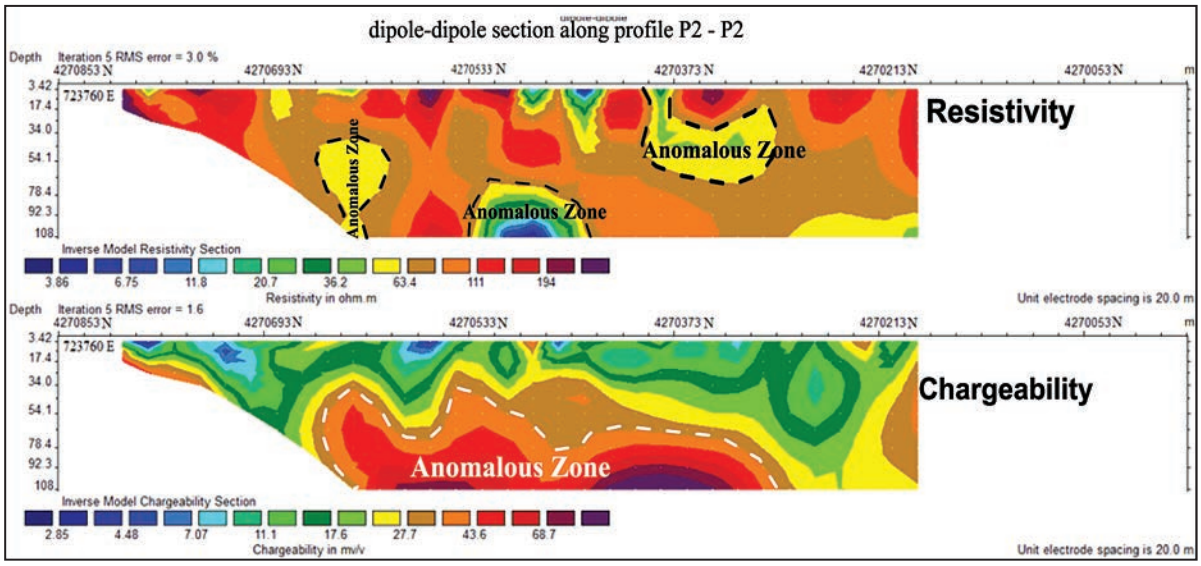
شکل ۴- نقشه بارپذیری آرایش مستطیلی محدوده صاحب دیوان همراه با پهنه‌های بی‌هنجاری A، B و C و نیمرخ‌های dd1 و dd2.



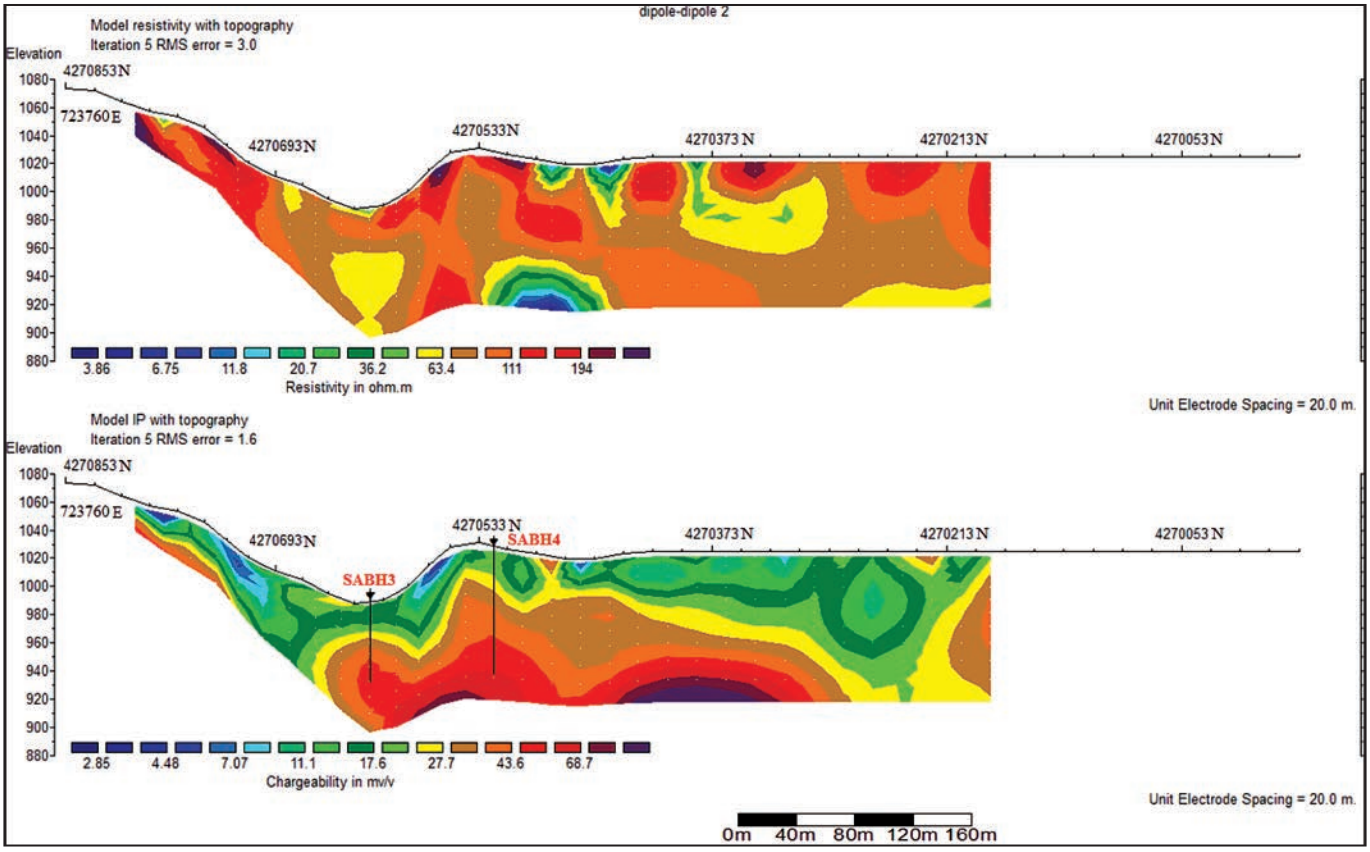
شکل ۵- شبه‌مقطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ dd1 همراه با ساختارهای گسلی.



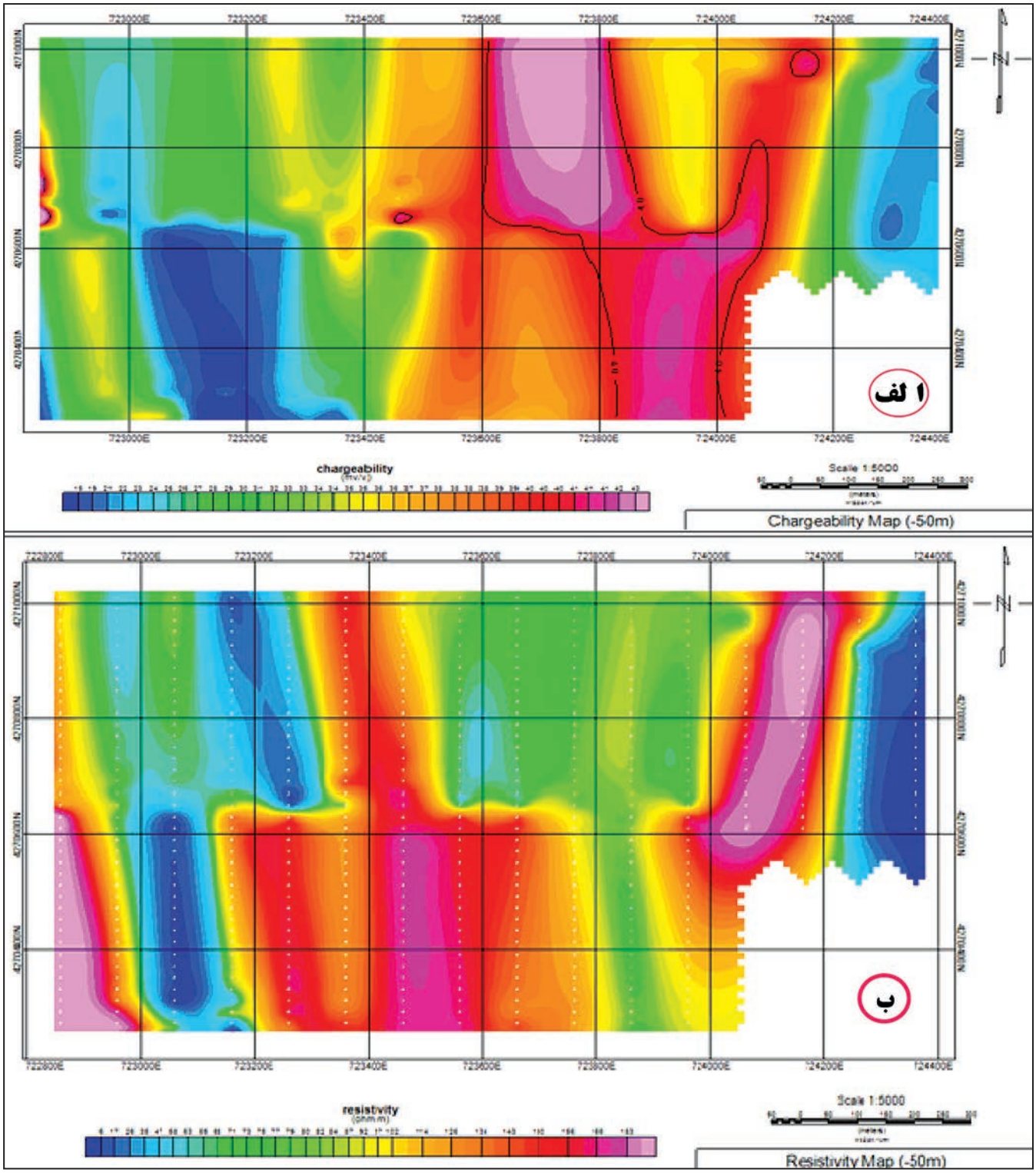
شکل ۶- شبه‌مقطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ dd1 با توپوگرافی.



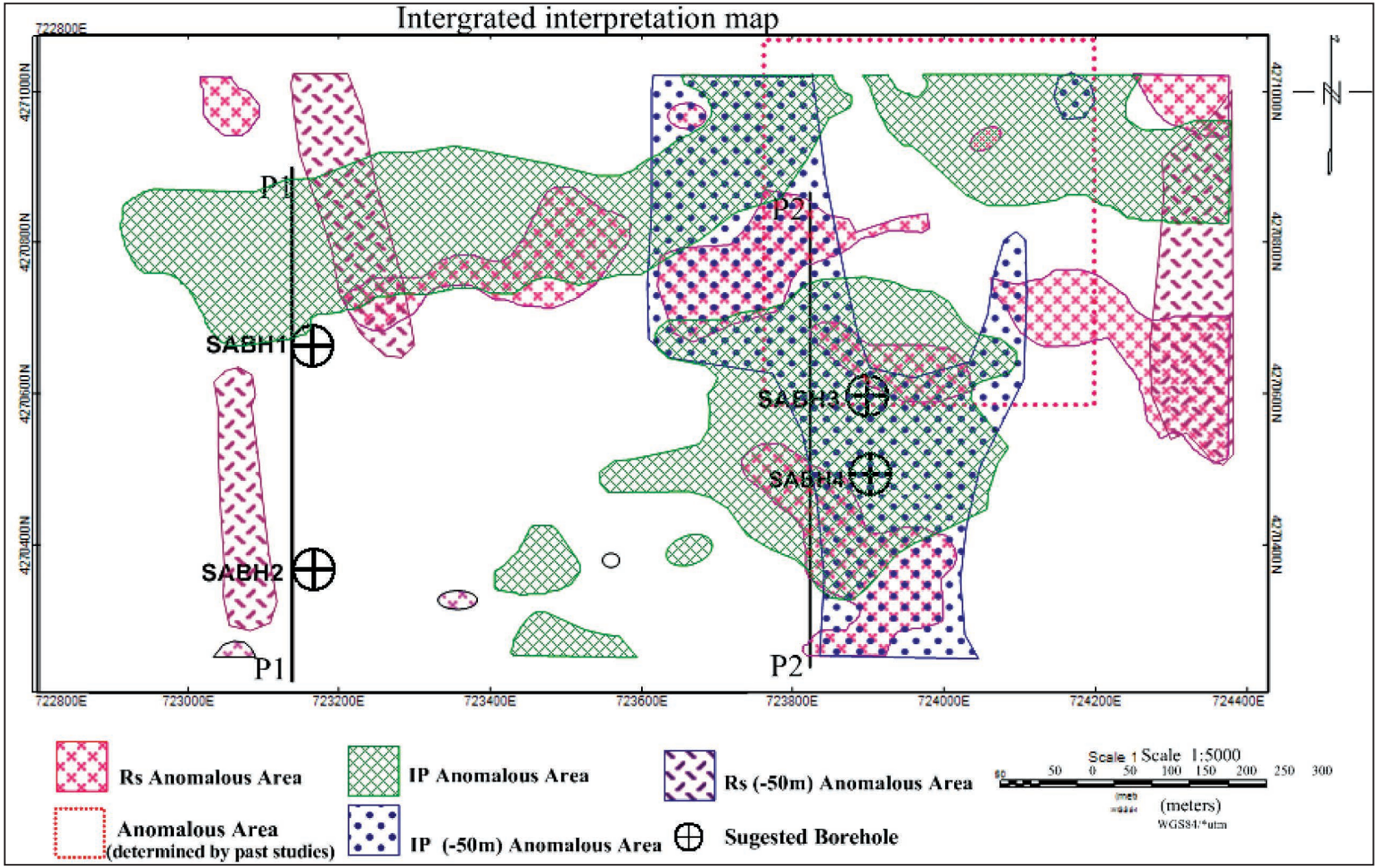
شکل۷- شبه‌مقطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ dd2.



شکل۸- شبه‌مقطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ dd2 با توپوگرافی.



شکل ۹- الف) پلاریزاسیون القایی (۵۰- متر) و ب) مقاومت ویژه الکتریکی (۵۰- متر)، به ترتیب از بالا به پایین.



شکل ۱۰- نقشه موقعیت بی‌هنجاری‌های مس بر پایه تلفیق اطلاعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی در محدوده صاحب دیوان.

کتابنگاری

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۸۶ ص.

انصاری، س.، ۱۳۹۰- تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و دگرسانی با روش‌های قطبش القایی و مغناطیس‌سنجی با هدف ارزیابی پتانسیل کانه‌زایی مس در منطقه صاحب‌دیوان مشکین‌شهر، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی معدن ، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ۱۸۷ ص.

انصاری، س.، محمدزاده،م. ج.، طباطبایی،س. ه. و ناصری، آ.، ۱۳۹۲- بهینه‌سازی اکتشافی کانی‌زایی مس صاحب دیوان مشکین شهر، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

اویسی‌مؤخر، م.، شاه‌نظری اول، ح. و قاسمی، و.، ۱۳۸۷- تشخیص گسل نهان صحنه در منطقه کرکسار با استفاده از روش مغناطیسی و VLF، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۲، صص. ۶۵ تا ۸۱ .

بدخشان نوجه‌ده، ز.، ۱۳۸۹- مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی منطقه صاحب دیوان- دوست بیگلو با نگرش خاص بر دگرسانی‌های گرمابی در منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور استان آذربایجان شرقی.

ترابی، ح.، انصاری، ع. و اسدی هارونی، ه.، ۱۳۸۹- تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی در محدوده خاوری اندیس مس- مولیبدن پورفیری کهنگ، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

فنایی خیرآباد، غ.، حسین‌زاده گویا، ن.، نمکی، ل. و صداقت، ب.، ۱۳۸۷- پردازش داده‌های مغناطیس هوایی منطقه بصیران با استفاده از اسپلاین مکعبی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۲، صفحه ۴۳ تا ۵۱.

قهرمانی اسکوئی،ن.، عابدینی، ع. و کاظم‌پور، ا.، ۱۳۹۳- ژئوشیمی و منشأ زون‌های کائولینیزه منطقه صاحب دیوان، شمال باختر مشگین شهر، استان اردبیل، سومین گردهمایی ملی علوم زمین.

کامکار روحانی، ا. و بیکی، م.، ۱۳۸۸- پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی به منظور پی‌جویی ذخایر کرومیت در منطقه سبزوار، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۳، صفحه ۱۳ تا ۳۴.

ملک‌زاده شفارودی، آ.، حیدریان شهری، م. و کریم‌پور، م.، ۱۳۸۹- شناسایی مرکز و بخش مهم کانی‌سازی مس- طلا پورفیری بر اساس برداشت‌های IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی در منطقه اکتشافی ماهرآباد، جنوب باختری بیرجند، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۵ ص.

نمکی، ل.، حفیظی، م. و میرزایی، م.، ۱۳۸۹- معرفی روشی برای مدل‌سازی دوبعدی اتوماتیک داده‌های مغناطیس‌سنجی با بررسی موردی منطقه مکران در جنوب خاور ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۱، صص. ۱۲۷ تا ۱۳۷.

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نوروزی، غ.، ۱۳۸۸- ژئوفیزیک اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۸۲ ص.

References

Blevin, P. L., 2004- Metallogeny of granitic rocks. The Ishihara Symposium: Granites and Associated Metallogenesis, Geoscience Australia, 1-4.

Feumoé, A. N. S., Ndougsa-Mbarga, T., Manguelle-Dicoum, E. & Fairhead, J. D., 2012- Delineation of tectonic lineaments using aeromagnetic data for the south-east Cameroon area. Geofizika 29, 175-192.

Kiberu, J., 2002- Induced polarization and resistivity measurements on a suite of near surface soil samples and their empirical relationship to selected measured engineering parameters. Interntional Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, availabel at: http://www. itc. nl/library/Papers/msc.

Klein, J. D. & Sill, W. R., 1982- Electrical properties of artificial clay-bearing sandstone. Geophysics, 47(11), 1593-1605. doi: 10.1190/1.1441310.

Macnae, J. C., 1979- Kimberlites and exploration geophysics. Geophysics 44, 1395-1416.

Marshall, D. J. & Madden, T. R., 1959- Induced polarization, a study of its causes. Geophysics, 24(4), 790-816. doi: 10.1190/1.1438659.

Ndougsa-Mbarga, T., Feumoe, A. N. S., Manguelle-Dicoum, E. & Fairhead, J. D., 2012- Aeromagnetic data interpretation to locate buried faults in South-East Cameroon. Geophysica 47, 49-63.

Ramadan, T. M. & Sultan, A. S., 2004- Integration of remote sensing, geological and geophysical data for the identification of massive sulphide zones at Wadi Allaqi area Middle East J., Ain Shams Univ., Earth Sci. Ser. 18 165–74.

Smith, R. J., 2002- Geophysics of Iron Oxide Copper-Gold Deposits (Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective vol 2) ed T M Porter (Adelaide: PGC Publishing) pp 357–67.

Sternberg, B. K. & Oehler, D. Z., 1990- Induced polarization in hydrocarbon surveys: Arkoma basin case histories Induced Polarisation: Applications and Case Histories vol 4, ed S H Ward (USA: Society of Exploration Geophysicists).

Sumner, J. S., 1976- Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration (Amsterdam: Elsevier) 277 pp.

Talwani, M., 1965- Computation with the help of a digital computer of magnetic anomalies caused by bodies of arbitrary shape. Geophysics 30, 797-817.

Towel, J. N., Anderson, R. G., Pelton, W. H., Olhoeft, G. R. & LaBrecque, D., 1985- Direct detection of hydrocarbon contaminants using the induced-polarization method. SEG Technical Program: pp 145–147.

Vacquier, V., Holmes, C. R., Kintzinger, P. R. & Lavergne, M., 1957- Prospecting for ground water by induced electrical polarization. Geophysics 22, 660-687.

Van Blaricom, R., 1980- Practical geophysics: Northwest Mining Association, 303 p.

Electrical resistivity and induced polarization data correlation for Copper exploration and associated elements in Sahebdivan area, Meshkinshahr

M. J. Mohammadzadeh [1*], A. Nasseri [2] & S. Ansari [3]

[1] Associate Professor, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, Ahar Branch, Ahar, Iran
[3] Ph.D. Student, Faculty of Mining Engineering, Sahand university of Technology, Tabriz, Iran

Received: 2015 June 30 Accepted: 2016 March 07

Absract

Sahebdivan area is located at 20.km of Meshkinshahr in Ardebil province. The study area is comprises of volcanic rocks and intrusive masses consisting of quartz monzonite and granite along with several vast epithermal alterations. The main objective of this paper is to recognize the present alteration zones indicating metal promising areas using geophysical methods such as induced polarization (IP) surveying and resistivity (RS) in order to assess the presence of minerals and delineate the subsurface masses at depth. Therefore, IP/resistivity survey was carried out based on rectangular array in the area and their corresponding maps were prepared. Accordingly, their promising anomalous zones for mineralization were initially detected. Furthermore, a new IP survey was attempted based on a dipole-dipole electrode array for detailed potential mapping. Considering IP/RS pseudo-sections, the position, depth, intensity and extent of mineralization was defined. Correlating the anomalous zones obtained from geophysical results with Lithology and alteration zones in the area indicate Cu mineralization along E-W trend in Sahebdivan which is associated with increase in chargeability and reduction in resistivity. Furthermore topographic corrections were attempted resulting in anomalous halos enhancement. Discriminating the important alteration zones in the area were carried out based on chargeability variations where higher chargeability indicate phyllic alteration with pyrite and in contrast the Potassic alteration with low chargeability that coincide with igneous intrusive. It can be deduced from this study that the porphyry micro quartz monzonite - micro quartz diorite generator fluids was recognized as source of mineralization along with surrounding andesite–dacite andesite as source of the anomalous zones in Sahebdivan area. Summing all the evidences from field studies and their compliance with geophysical results, Lithology, alterations and ultimately considering the susceptible mineralization zones, the optimal drilling points was proposed with priority of SABH-1 according to the Potassic zone in terms of potential copper mineralization.

Keywords: Induced Polarization, Resistivity, Alterations, Copper mineralization, Promising area, Sahebdivan, Meshkinshahr.

For Persian Version see pages 247 to 258

*Corresponding author: M. J. Mohammadzadeh; E-mail: mj_mohammadzadeh@yahoo.com

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