



بررسی میزان انطباق واحدهای سنگی با نقشه میدان مغناطیسی کل

منطقه مورد مطالعه: کانسارهای مس سرکوه و باغ خشک، استان کرمان

امیرحسین کوهساری

دانشیار، گروه اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی،
دانشگاه یزد

سعیده احمدی

دانشجوی دکتری مهندسی معدن، گروه اکتشاف، دانشکده
مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

چکیده

مغناطیس‌سنجی از روش‌های ژئوفیزیکی پرکاربرد در تهیه نقشه‌های شبه‌زمین‌شناسی از جمله در نواحی معدنی است. فایده چنین فرآیندهایی این است که می‌توان با استفاده از روش کم‌هزینه و سریع مغناطیس‌سنجی، علاوه بر به‌روزرسانی و اصلاح نقشه‌های سنگ‌شناسی محدوده‌های مورد بررسی، برنامه‌های اکتشافی آتی برای دستیابی به واحدهای زمین‌شناسی میزبان کانی‌زایی احتمالی را نیز طراحی کرد. بر این مبنا، هدف در پژوهش حاضر، تعیین میزان انطباق واحدهای سنگی و دگرسان‌شده در محدوده کانسارهای مس سرکوه و باغ خشک با بی‌هنجاری‌های مغناطیسی مربوط به آن‌ها است. در این راستا علاوه بر نقشه شدت میدان مغناطیسی کل، از اعمال فیلترهای تبدیل به قطب و سیگنال‌تحلیلی بر نقشه شدت میدان مغناطیسی کل بهره گرفته شده است. نتایج نشان دادند در مناطقی که تنها با استفاده از نقشه‌های میدان مغناطیسی کل و تبدیل به قطب، امکان تخمین مرزهای سنگ‌شناسی وجود ندارد، می‌توان از فیلتر سیگنال‌تحلیلی بدین منظور بهره برد. این موضوع بدان دلیل است که در فرآیند RTP لازم است زوایای میل و انحراف بردار برآیند میدان مغناطیسی زمین را وارد الگوریتم کرد. این کار در مناطقی که در آن‌ها فقط مغناطیس‌القایی وجود دارد، صحیح است؛ اما در صورت وجود مغناطیس‌بازماند، از سیگنال‌تحلیلی که به زوایای میل و انحراف زمین و واحدهای سنگی وابسته نیست، نتایج بهتری به دست می‌آید. همچنین نزدیکی خاصیت مغناطیسی و میزان گستردگی واحدهای سنگی، عرض جغرافیایی منطقه، شیب توده‌های مولد بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و مقیاس برداشت در مغناطیس‌سنجی، مواردی هستند که می‌توان درباره آن‌ها، به‌عنوان عوامل اثرگذار بر «استخراج واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی» تحقیق کرد.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌شناسی، مغناطیس‌سنجی، دگرسانی، سیگنال‌تحلیلی، تبدیل به قطب

۱- مقدمه

امیدبخش مواد معدنی وجود دارد. یکی از قابل توجه‌ترین راهکارها برای دستیابی به این هدف، استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی است. امروزه می‌توان در سرتاسر دنیا نمونه‌های بسیار

در راستای افزایش احتمال کشف مواد معدنی، نیاز رو به رشدی به شناخت دقیق سنگ‌شناسی در محدوده‌های

آورده‌اند. ویلسون و همکاران (۲۰۱۱) ساختارهای سنگ‌شناسی انتاریو در کانادا را با بهره‌گیری از تلفیق روش‌های ژئوفیزیکی از جمله مغناطیس‌سنجی ترسیم و دریافته‌اند که انطباق مناسبی بین نتایج به دست آمده با سیمای شناخته‌شده زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. وانگ و همکاران (۲۰۱۵) برای به دست آوردن نقشه سنگ‌شناسی از مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی بهره برده‌اند. یان و همکاران (۲۰۱۶) نشان داده‌اند که استفاده از مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی، روشی مفید برای آشکارسازی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و کشف ذخایر معدنی واقع در عمق است. داماسنو و همکاران (۲۰۱۷) از مدلسازی توأمان مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی در مرز برزیلی استوا استفاده کرده‌اند. بدین ترتیب هندسه پیچیده ساختار منطقه و نیز تعدادی از توده‌های آذرینی که پیش‌تر شناسایی نشده بودند، آشکار شدند. سریده‌هار و همکاران (۲۰۱۷) نیز چارچوب زمین‌شناسی بخشی از کمربند سبز پالئوپروتروزوئیک را در کشور هند با استفاده از مغناطیس‌سنجی به تصویر کشیده‌اند.

از میان انبوه پژوهش‌هایی که برای استخراج نقشه شبه زمین‌شناسی و واحدهای سنگ‌شناسی از طریق داده‌های مغناطیس‌سنجی صورت پذیرفته‌اند، تعداد اندکی در مطالعات انجام شده در ایران به چشم می‌خورد. این در حالی است که داده‌های مغناطیس‌سنجی در بر دارنده اطلاعات بسیار مهمی درباره ساختار زمین‌شناسی و واحدهای سنگی هر منطقه هستند. بدیهی است واحدهای سنگی، یکی از عوامل کنترل‌کننده ذخایر معدنی هر منطقه‌اند و شناخت کامل آن‌ها، کمک به سزایی در کشف نهشته‌های معدنی به شمار می‌آید. بر اساس این ضرورت، میزان انطباق بین واحدهای سنگی و مغناطیسی در دو منطقه معدنی سرکوه و باغ‌خشک، هدف پژوهش پیش رو است. علاوه بر اینکه روش تحقیق در پژوهش پیش رو، قبلاً به کار گرفته نشده است، از نتایج این پژوهش نیز می‌توان به‌عنوان یک راهنما در تفسیر زمین‌شناسی داده‌های مغناطیس‌سنجی بهره برد. لازم به ذکر است تفسیر زمین‌شناسی داده‌های مغناطیسی بود که موجب کشف نهشته‌های بزرگ معدنی از جمله المپیک‌دم در استرالیا شد [۱].

زیادی از مطالعاتی را یافت که در راستای کشف نهشته‌های جدید از روش‌های ژئوفیزیکی بهره برده‌اند [۱]. همچنین می‌توان بررسی‌های فراوانی را مشاهده کرد که از این روش‌ها به منظور به‌روزرسانی نقشه‌های سنگ‌شناسی به ویژه اطراف مناطق امیدبخش مواد معدنی استفاده کرده‌اند [۱]. فایده این قبیل بررسی‌ها، شناخت بیشتر ساختارهای سنگی کنترل‌کننده یا میزبان مواد معدنی و در نتیجه بهبود فرآیند اکتشافی آن‌ها است. یکی از روش‌های ژئوفیزیکی که در این زمینه به وفور به کار گرفته شده است، مغناطیس‌سنجی است. به‌عنوان نمونه، شادمان و همکاران (۱۳۸۹) از داده‌های ژئوفیزیک هوابرد برای تهیه نقشه شبه‌زمین‌شناسی دیگم استفاده کرده‌اند. یزدی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از داده‌های مغناطیس‌سنجی و رادیومتری هوایی به شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی و دگرسانی مرتبط با مس پورفیری در برکه یکصد هزارم چهارگنبد در استان کرمان پرداخته و چند ناحیه کانی‌زایی احتمالی را معرفی کرده‌اند. ناسوتی و همکاران (۱۳۹۶) از داده‌های میدان پتانسیل به منظور بررسی ساختارهای زمین‌شناسی و اکتشاف تله‌های نفتی در جنوب اردبیل بهره برده و توانسته‌اند تله‌های نفتی احتمالی را شناسایی کنند. پرایس و درنسفیلد (۱۹۹۴) از مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی برای به دست آوردن سنگ‌شناسی در غرب استرالیا بهره برده‌اند. لین و گیلن (۲۰۰۵) واحدهای سنگ‌شناسی را با استفاده از مغناطیس‌سنجی استخراج و از آن‌ها برای مقایسه با نقشه زمین‌شناسی منطقه استفاده کرده‌اند. بوید و ایسلس (۲۰۰۷) داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی محدوده‌های گوناگونی را در استرالیا برای یافتن ساختارهای زمین‌شناسی تفسیر کرده و بدین نتیجه رسیده‌اند که نقشه بی‌هنجاری‌های مغناطیسی دربردارنده اطلاعات ارزشمندی درباره سنگ‌شناسی، ساختار و فرآیندهای زمین‌شناسی، مانند دگرسانی و متامورفیسم است. کووالچیک و همکاران (۲۰۱۰) واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه را با استفاده از مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی استخراج کرده‌اند. مک‌لنود و همکاران (۲۰۱۰) با بهره‌گیری از مغناطیس‌سنجی، مرزهای سنگ‌شناسی در یک پنجره تکتونیکی در شرق اقیانوس آرام را شناسایی کرده‌اند. مارتینز و همکاران (۲۰۱۱) مدل سنگ‌شناسی یک سازند آهن‌دار را در برزیل با استفاده از مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی به صورت موفقیت‌آمیز به دست

۲- منطقه مورد مطالعه

۲-۱- کانسار مس پورفیری سرکوه

محدوده کانسار مس پورفیری سرکوه در استان کرمان، در برکه ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز قرار دارد. این کانسار حدود ۱۰ کیلومتری شمال شرقی پاریز و حدود یک کیلومتری شمال روستای نوچون در استان کرمان واقع شده است (شکل ۱). دسترسی به محدوده سرکوه ابتدا از طریق جاده اصلی رفسنجان- مس سرچشمه و سپس پس از طی مسافتی حدود ۴ کیلومتر در یک جاده فرعی (از ساختمان‌های نستر) بعد از مس سرچشمه امکان پذیر است. همچنین از جاده اصلی سیرجان- بردسیر یک راه شوسه جدا و بعد از طی مسافتی به سرکوه منتهی می‌شود [۳]. منطقه مورد مطالعه کوهستانی، اما دسترسی به آن آسان است. کانی‌سازی در این منطقه در نواحی با توپوگرافی نسبتاً آرام صورت پذیرفته و تقریباً بین خط‌الرأس کوه ممزار و آبریزی که به سمت پاریز جریان دارد (شاخه فرعی رود سرخ) واقع شده است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه بین ۲۹۵۰ تا ۳۱۰۰ متر در نوسان است [۴].

۲-۲- زمین‌شناسی محدوده کانسار مس پورفیری سرکوه

پیمایش‌های صحرایی منطقه سرکوه نشان می‌دهند که قدیمی‌ترین سنگ‌ها در این محدوده، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن هستند. کمپلکس آتشفشانی- رسوبی ائوسن به وسیله باتولیت ممزار تحت تأثیر قرار گرفته، به طوری که هسته آن از گرانودیوریت شکل گرفته است و بخش‌های اطراف آن از ترکیبات متفاوت ماگمای گرانیتی به سن الیگوسن تشکیل شده‌اند. شکل (۱) بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ و دگرسانی‌های منطقه سرکوه را نشان می‌دهد که برداشت‌های مغناطیس‌سنجی در آن صورت پذیرفته‌اند. بر مبنای این نقشه، مهم‌ترین واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه عبارت‌اند از: واحدهای آتشفشانی شامل توف، آندزیت و آندزیت بازالت و واحدهای نفوذی شامل گرانیت تا گرانودیوریت، گرانودیوریت پورفیری و دایک‌ها. در ادامه به بیان ویژگی‌های هر یک از این واحدها پرداخته شده است؛ زیرا ترکیب و ویژگی سنگ‌شناسی این واحدها، تعیین‌کننده خصوصیت مغناطیسی آن‌ها و نوع ظهورشان روی نقشه‌های مغناطیس‌سنجی است.

الف- توده‌های آتشفشانی [۴]

سنگ‌های آتشفشانی منطقه متعلق به کمپلکس آتشفشانی- رسوبی ائوسن هستند که در تمام رشته‌کوه بند ممزار پروند دارند. در منطقه سرکوه این سنگ‌ها، به طور عمده پیروکلاستیکی و آتشفشانی با ترکیب آندزیتی هستند و به شرح زیر بیان می‌شوند:

- واحد (Et)

این واحد بدون آن‌که جایگاه ثابت ساختاری داشته باشد به صورت بین انگشتی داخل واحد آتشفشانی (Ev) شناسایی شده است. سیمای عمومی آن خاکستری تا بنفش‌رنگ، دانه متوسط تا دانه درشت و دارای ترکیبی آندزیتی است (توف با ترکیب آندزیتی). بر مبنای مطالعات میکروسکوپی، این واحد از بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده و تحت تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک قرار گرفته است.

- واحد (Ev)

در محدوده مس سرکوه جریان‌های آتشفشانی به طور عمده آندزیتی، آندزیت بازالتی و به مقدار کمتر پیروکسن آندزیتی هستند که گه‌گاه سنگ‌های آذرآواری آن‌ها را همراهی می‌کنند. ترکیب سنگی واحد Ev، آندزیتی است. این واحد از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند در زمینه شیشه‌ای و میکروولیتی تشکیل شده است. کانی‌های آپاک به میزان بالایی در این واحد تشکیل شده‌اند. سنگ‌های واحد Ev تحت تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند و کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت و اکتینولیت در آن‌ها تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها در برخی نقاط به رنگ قرمز یا تیره دیده می‌شوند. این موضوع می‌تواند به دلیل حضور کانی‌های کدر یا هماتیت (۴) رخ داده باشد. در این واحد، آندزیت بازالت نسبتاً کمیاب است. با این وجود آندزیت بازالت در منطقه مورد مطالعه به طور کلی از پلاژیوکلاز (به طور عمده لابرادوریت) و فنوکریست‌های پیروکسن مونوکلینیک همراه با کانی‌های مشابه در زمینه سنگ تشکیل شده‌اند.

- هورنفلس

در منطقه سرکوه رخساره هورنفلسی در وسعتی زیاد درون سنگ‌های آتشفشانی به ویژه توف‌های ریزدانه ایجاد شده است. هورنفلس‌ها بر اثر نفوذ ماگمای دارای درجه حرارت بالا و تغییر

داخل واحدهای آتشفشانی ائوسن تزریق شده‌اند و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد در محل تماس، پدیده دگرگونی مجاورتی را در حد رخساره هورنفلس ایجاد کرده‌اند. داخل توده مورد نظر و به ویژه در بخش‌های مرکزی آن دایک‌هایی با ترکیب کوارتز دیوریت پورفیری تزریق شده است. این دایک‌ها حاوی کانی‌سازی و دگرسانی و احتمالاً عامل اصلی تشکیل کانسار مس سرکوه هستند

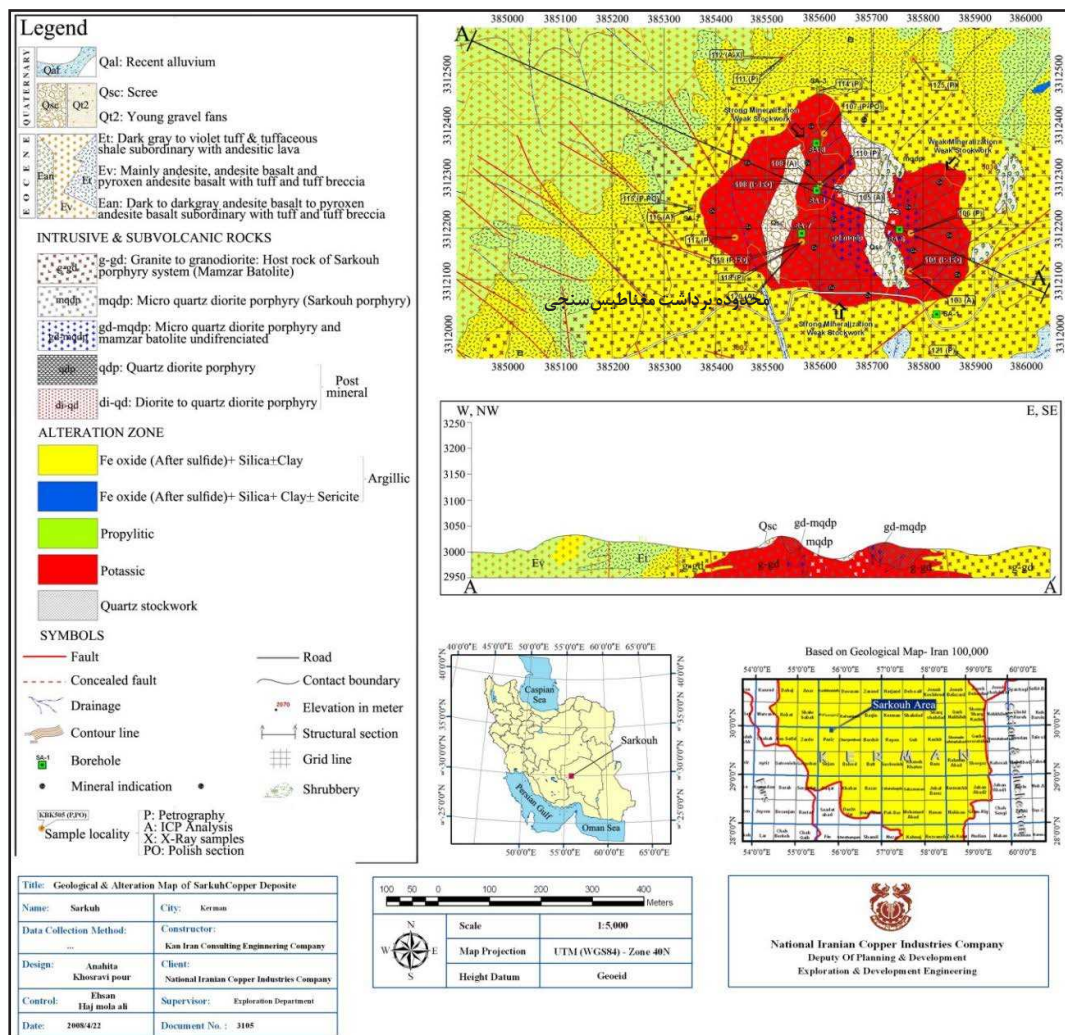
ب- باتولیت ممزار (gr-gd)

این واحد با نام باتولیت یا توده ممزار در نیمه جنوبی منطقه سرکوه قرار گرفته است. نیمه شمالی این توده تحت تأثیر فعالیت سیالات هیدروترمال قرار گرفته و دگرسان شده است. با این حال نیمه دیگر آن بدون دگرسانی است. سنگ‌های توده مورد نظر در

سنگ‌های اطراف آن‌ها به وجود آمده‌اند. در منطقه سرکوه رسوبات آتشفشانی ائوسن در تماس با باتولیت ممزار، وابسته به دوری و نزدیکی و تغییرات حرارتی توده با شدت‌های مختلف تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. فرآیند هورنفلسی از نظر کانی‌شناسی به طور عمده سبب شکل‌گیری بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند و کوارتز به صورت بافت میکروکریستالین شده است. در این میان در قسمت‌هایی بلورهای هورنبلند رشد یافته و به صورت درشت‌بلورهایی با بافت پوئی‌کلیتیک ظاهر شده‌اند.

ب- توده‌های نفوذی و ساب‌ولکانیک [۴]

بخش جنوبی ارتفاعات کوه ممزار از سنگ‌های پلوتونیک با سن الیگومیوسن و روند کلی شرقی- غربی تشکیل شده است. این سنگ‌های نفوذی با ترکیب اسیدی تا حد واسط به



شکل ۱- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی‌های کانسار مس سرکوه که برداشت مغناطیس‌سنجی در آن صورت پذیرفته است (۲۱ با تغییرات).

– واحد di-qdi (دیوریت، کوارتزدیوریت)

در اطراف و به ویژه در بخش شرقی، جنوبی و شمال شرقی منطقه سرکوه، استوک‌هایی وجود دارند که گاه به صورت دایک ظاهر می‌شوند و دیگر سنگ‌های منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هیچ‌گونه دگرسانی در این سنگ‌ها مشاهده نمی‌شود. این سنگ‌ها کاملاً متبلور و دارای بافت دانه‌ای و ترکیب کوارتزدیوریت تا دیوریت هستند. اغلب درون باتولیت ممزار و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده‌اند و هیچ ارتباطی با کانی‌سازی سرکوه ندارند. به طور عمده بافت پورفیری در زمینه میکروگرانولار دارند و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز همراه با کانی‌های ثانویه اپیدوت و کلریت هستند. به طور ضعیف دگرسانی پروپیلیتیک را تحمل کرده‌اند و زمان رخداد و جای‌گیری آن‌ها در سنگ‌های منطقه به میوسن نسبت داده شده است (شکل ۱).

۲-۳- کانسار مس پورفیری باغ خشک

محدوده کانسار مس پورفیری باغ خشک در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان و ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز قرار دارد (شکل ۲). روستای باغ خشک حدود ۳۵ کیلومتری شمال شرقی سیرجان و تقریباً در غرب روستای کوه‌پنج و شمال بیدخیری واقع است. کانسار مس باغ خشک در شمال روستای باغ خشک و شمال شرق سیرجان قرار دارد. از جاده اصلی سیرجان- بردسیر یک راه شوسه جدا شده، بعد از طی مسافتی حدود ۶ کیلومتر به این کانسار می‌رسد. محدوده مورد مطالعه، بیشتر تپه ماهوری است. جنوب شرقی منطقه با قشر نسبتاً ضخیمی از خاک پوشیده شده است. شمال شرق محدوده، کوهستانی است و گاه ارتفاع آن به بیش از ۳۰۰۰ متر می‌رسد [۴].

۲-۴- زمین‌شناسی محدوده کانسار مس پورفیری باغ خشک

پیمایش‌های صحرایی منطقه باغ خشک نشان می‌دهند که مانند دیگر نواحی کمربند کرمان، کمپلکس رسوبی-آتشفشانی ائوسن که در این منطقه عمدتاً متشکل از سنگ‌های پیروکلاستیک، توف و ولکانیک‌های آندزیتی است، تحت تأثیر دو توده نفوذی با سن مختلف قرار گرفته است. اولی، توده کوچک پورفیری از نوع کوارتزدیوریتی است و دیگری توده‌ای با ترکیبی گابرویی، دیوریتی، گرانودیوریتی و گرانیتی نابارور.

قسمت‌های حاشیه‌ای، ترکیب گرانیتی دارند و از آلکالی‌فلدسپار، کوارتز و به میزان اندک پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. به سمت مرکز، ترکیب این توده تغییر می‌کند، پلاژیوکلاز در آن به میزان زیادی افزایش می‌یابد و توده ترکیب گرانودیوریتی به خود می‌گیرد. بافت غالب توده در بخش‌های دارای ترکیب گرانیتی، گرانولار، پرتیت و گرانوفیر و در قسمت‌های گرانودیوریتی، گرانولار تا میکروفلسیتیک پورفیری است. کانی‌های بیوتیت و هورنبلند به‌عنوان کانی‌های مافیک، فراوانی کمی در این توده دارند. اسفن و آپاتیت و نیز کانه‌های فلزی به صورت فرعی در توده‌ی مورد نظر دیده می‌شوند.

بخش‌هایی از باتولیت ممزار که در نواحی مرکزی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است، میزبان کانی‌سازی مس سرکوه و دارای دگرسانی‌های هیدروترمالی از انواع پتاسیک و آرژیلیک است. کانی‌های بیوتیت و آلکانی‌فلدسپار ثانویه به همراه مگنتیت و رگچه‌های کوارتزی از مشخصه‌های دگرسانی پتاسیک و کانی‌های رسی، کوارتز، اکسیدهای آهن و به میزان کمتر سربست از ویژگی‌های دگرسانی آرژیلیک در باتولیت ممزار هستند. این در حالی است که در قسمت‌های دور از کانی‌سازی مس سرکوه، هیچ اثری از دگرسانی و کانه‌زایی در توده نفوذی ممزار مشاهده نمی‌شود و تنها شواهدی از فرآیندهای جوی روی توده گرانودیوریتی به چشم می‌خورد.

– واحد سرکوه پورفیری (میکروکوارتزدیوریت پورفیری) مرتبط با سیستم پورفیری

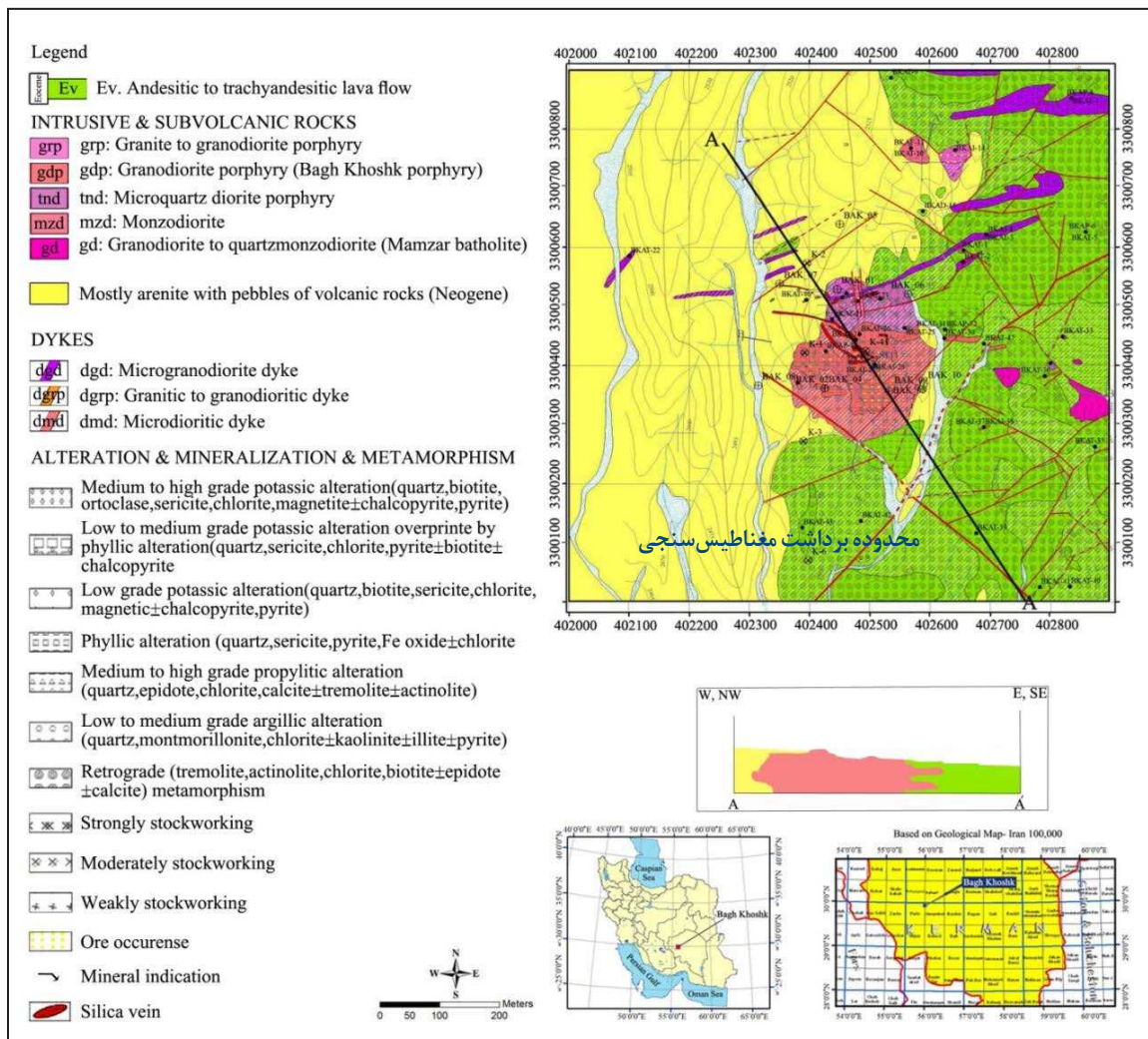
ساختار سنگی در توده سرکوه، عموماً میکروکوارتزدیوریت با بافت پورفیری است و گاه ترکیب آن تا کوارتزدیوریت تغییر می‌کند. کانی‌های واحد سرکوه پورفیری، پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول هستند و در زمینه این واحد، بلورهای کوارتز، آلکالی‌فلدسپار و پلاژیوکلاز دیده می‌شوند که به طور بخشی به سربست و کلریت تجزیه شده‌اند. رگچه‌ها و رگه‌های کوارتزی (گاهی با ساخت استوک‌ورکی) و گاهی کانه‌دار از ویژگی‌های بارز این واحد و در اکثر موارد مربوط به دو نسل زمانی نابرابر و نزدیک به هم هستند. واحد مورد نظر دارای دگرسانی پتاسیک و عامل ایجاد سیستم پورفیری سرکوه است (شکل ۱).

پیروکلاستیک برشی و توف با ترکیب آندزیتی است.
سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاستیک‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی و داسیتی
 سنگ‌های آتشفشانی باغ‌خشک عمدتاً دارای ترکیب آندزیتی و رنگ سبز تیره هستند و در مجاورت توده‌های نفوذی، هورنفلسی شده‌اند. کانی‌های اپیدوت و کلریت به وفور در این مجموعه دیده می‌شوند و رنگ سبز سنگ‌ها نیز به همین دلیل است. قطعات پیروکلاستیکی نیز گاه در این مجموعه مشاهده می‌شوند. به طور کلی کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک در سنگ‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی و داسیتی منطقه دیده می‌شود؛ اما بخشی از اجتماع این کانی‌ها ممکن است متعلق به سیمای ناهیه‌ای باشد. بر این اساس وجود اپیدوت و کلریت در تمام سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه متعلق به دگرسانی پروپلیتیک

کانی‌سازی کانسار مس پورفیری باغ‌خشک عمدتاً محدود به توده کوآرتزیدوریتی است و کمتر در سنگ‌های اطراف مشاهده می‌شود [۴]. شکل (۲) بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ و دگرسانی‌های منطقه باغ‌خشک را نشان می‌دهد که برداشت‌های مغناطیس‌سنجی در آن صورت پذیرفته‌اند. در ادامه مهم‌ترین واحدهای سنگی در محدوده مورد مطالعه در کانسار مس باغ‌خشک معرفی شده‌اند.

الف - سنگ‌های آتشفشانی [۴]

مجموعه سنگ‌های آتشفشانی منطقه باغ‌خشک مانند کانسار مس سرکوه، متعلق به کمپلکس آتشفشانی-رسوبی ائوس هستند که در تمام رشته‌کوه بند مزار برونزد دارند. دوباره بیان می‌شود که این مجموعه عمدتاً متشکل از سنگ‌های آتشفشانی،



شکل ۲- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی‌های کانسار مس باغ‌خشک که برداشت مغناطیس‌سنجی در آن صورت پذیرفته است ([۳] با تغییرات).

است؛ به طوری که وقتی تغییرات شدت میدان مغناطیسی کل (TMI) بین دو نقطه بیش از ۵۰ نانوتسلا (nT) بوده، بین آنها در فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری انجام شده است. شدت میدان مغناطیسی کل در منطقه کانسار سرکوه، ۴۵۹۷۲ نانوتسلا، زاویه میل مغناطیسی، ۴۶/۵۵۷ درجه و زاویه انحراف مغناطیسی، ۲/۵۳۵ درجه است [۴].

محدوده عملیات برداشت مغناطیس‌سنجی در محدوده کانسار مس پورفیری باغ‌خشک، بین طول جغرافیایی شمالی ۳۳۰۰۱۵۰ تا ۳۳۰۰۷۵۰ (در زون ۴۰ در سیستم مختصات UTM) به وسعت تقریبی ۰/۳۵ کیلومترمربع قرار دارد. در این عملیات، ۴۸۹ اندازه‌گیری در قالب ۱۳ پروفیل موازی صورت گرفته است. فاصله پروفیل‌ها در این برداشت به همان صورتی که در سرکوه انجام شده، ۵۰ متر و فاصله نقاط اندازه‌گیری، ۱۰ و ۲۰ متر بوده است. شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار باغ‌خشک، ۴۵۹۰۹ نانوتسلا، زاویه میل مغناطیسی، ۴۶/۳۴۶ درجه و زاویه انحراف مغناطیسی، ۲/۴۳۵ درجه است. شایان توجه است که تصحیحات لازم روی داده‌های مغناطیسی صورت پذیرفته‌اند [۲].

برای تهیه نقشه‌های مغناطیسی در این پژوهش ابتدا تصحیح IGRF روی داده‌های مغناطیسی اعمال و نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (TMI) رسم شد. سپس فیلتر تبدیل به قطب (RTP) روی نقشه به دست آمده اعمال شد. از این به بعد، نقشه‌های TMI که فیلتر RTP روی آنها اعمال شده است، TMI_RTP نامیده می‌شوند.

شایان توجه است که برای حذف اثر بی‌هنجاری‌های عمیق، فیلتر ادامه فروسو روی نقشه TMI_RTP اعمال شد. از آنجا که نقشه یاد شده پس از اعمال فیلتر ادامه فروسو در ارتفاع‌های مختلف، تفاوتی با نقشه اولیه نداشت، در ادامه بررسی از همان نقشه اولیه TMI_RTP استفاده شد. پس در پژوهش حاضر، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی سطحی با داده‌های سطحی زمین‌شناسی و دگرسانی، مقایسه شده‌اند. در این راستا ابتدا مقایسه مرزهای سنگ‌شناسی و دگرسانی با بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با استفاده از نقشه‌های TMI_RTP و سپس با کمک سیگنال تحلیلی صورت پذیرفت.

نیست و سنگ‌ها فقط در نزدیکی توده ساب‌ولکانیک متحمل دگرسانی پروپلیتیک شده‌اند. این اجتماع کانی‌ها حتی در سنگ‌های گرانودیوریتی نیز دیده می‌شود.

ب- توده‌های نفوذی و ساب‌ولکانیک [۴]

مثل کانسار مس سرکوه، توده ساب‌ولکانیک کوارتزیدیوریت پورفیری مسؤول کانی‌سازی پورفیری در محدوده کانسار مس باغ‌خشک است (شکل ۲). این توده، کوچک و دارای ابعاد حدود ۲۵۰×۳۰۰ متر است. رخنمون‌های بسیار کوچکی از توده مزبور در منطقه وجود دارند که در بیشتر موارد به ویژه به سمت شمال، غرب و جنوب، با قشر نازکی از خاک پوشیده شده‌اند. این رخنمون‌ها دارای کانی‌سازی مس اکسیدی و بافت استوک‌ورکی هستند که احتمالاً تا مسافت ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر به سمت شمال منطقه ادامه دارند.

- توده دیوریتی

در بخش میانی توده بزرگ گرانودیوریتی هوازده، توده دیوریتی برونزد دارد (شکل ۲). امتداد این توده شمال شرقی- جنوب غربی است و به نظر می‌رسد حاصل تفریق ماگمایی همان منبعی است که توده گرانودیوریتی را به وجود آورده است.

- توده گرانودیوریتی

بخش زیادی از بخش میانی نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار مس باغ‌خشک به وسیله توده گرانودیوریتی پوشیده شده است (شکل ۲). این توده به شدت مارنی و دارای کانی‌های رسی و بلورهای کوارتز و فلدسپات است. در برخی از نواحی این توده، بلوک‌های بزرگی از گرانودیوریت آزاد شده‌اند که برای استفاده به‌عنوان سنگ ساختمانی مفید هستند.

۳- مواد و روش‌ها

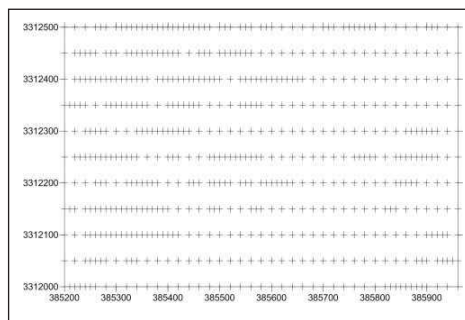
محدوده عملیات برداشت مغناطیس‌سنجی پژوهش حاضر در محدوده کانسار مس پورفیری سرکوه، بین طول جغرافیایی شمالی ۳۸۵۲۰۰ تا ۳۸۶۰۰۰ و عرض جغرافیایی شرقی ۳۳۱۲۰۰۰ تا ۳۳۱۲۵۰۰ (در زون ۴۰ در سیستم مختصات UTM) قرار دارد. در این عملیات، ۵۶۶ اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی در قالب ۱۱ پروفیل موازی صورت گرفته است. فاصله پروفیل‌ها در این برداشت، ۵۰ متر و فاصله نقاط اندازه‌گیری، ۱۰ و ۲۰ متر بوده

۴- نتایج و بحث

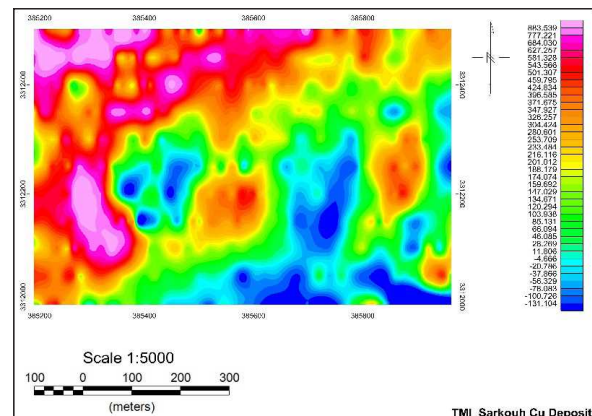
همان‌طور که مشاهده می‌شود دو نقشه پیشین تقریباً به وسیله بی‌هنجاری‌های مغناطیسی به دو محدوده مجزا تقسیم شده‌اند. به گونه‌ای که بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت بالا، بخش‌های شمال، شمال شرق، غرب و شمال غرب را در بر گرفته‌اند و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت پایین، بقیه بخش‌ها را اشغال کرده‌اند.

با توجه به شکل (۴) بخش‌های شمال شرق، شمال، شمال غرب و غرب محدوده از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی

شکل (۳) نمایش‌گر نقشه شدت میدان مغناطیسی کل همراه با موقعیت برداشت داده‌های مغناطیسی و شکل (۴) نمایش‌دهنده نقشه شدت میدان مغناطیسی کل پس از اعمال فیلتر تبدیل به قطب همراه با مرزهای سنگ‌شناسی در محدوده کانسار مس سرکوه است. شدت میدان مغناطیسی کل در این محدوده دارای بیشینه‌ی ۸۸۳/۵ و کمینه ۱۳۱- نانوتسلا است (شکل ۳).

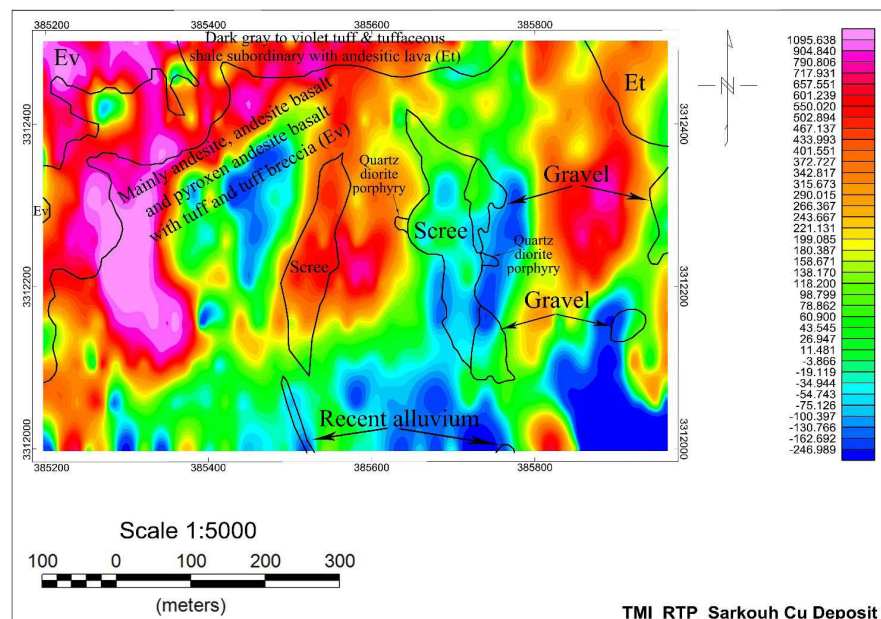


(ب)



(الف)

شکل ۳- (الف) نقشه شدت میدان مغناطیسی کل و (ب) موقعیت برداشت داده‌های مغناطیسی در محدوده کانسار مس سرکوه



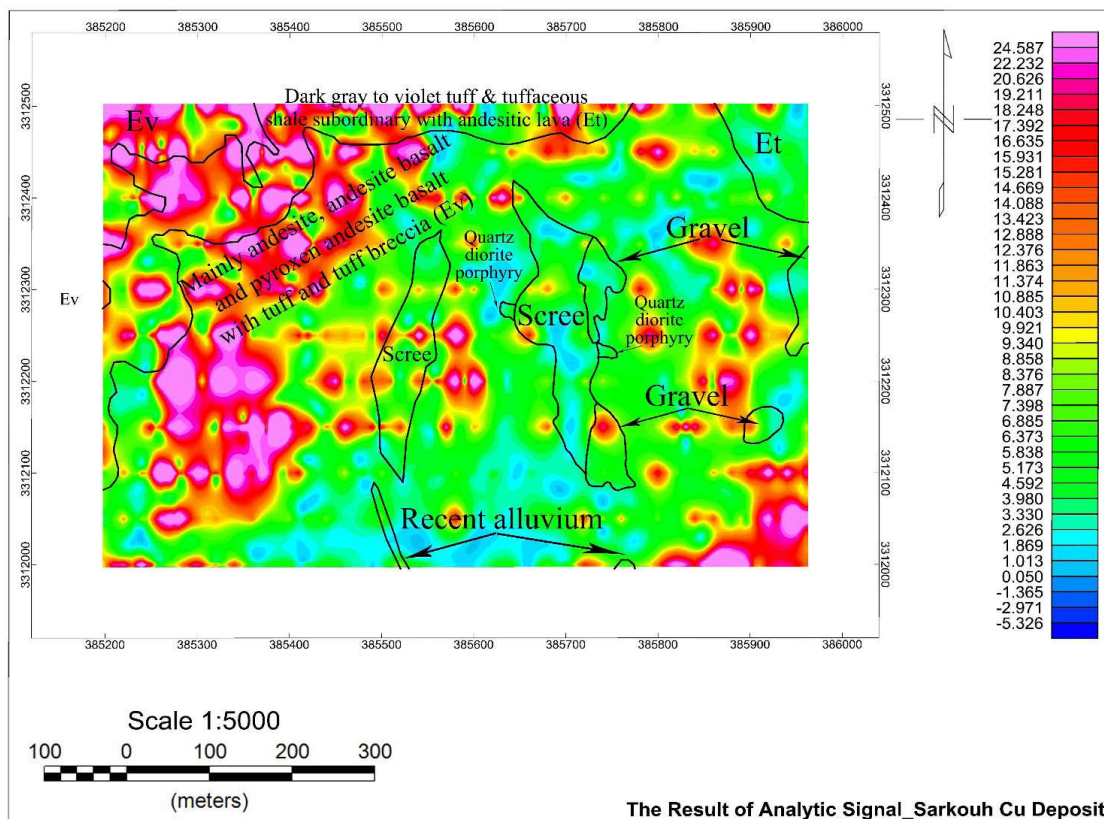
شکل ۴- نمایش سنگ‌شناسی منطقه روی نقشه تبدیل به قطب شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس سرکوه

مختصر هندسه این مرزها که در شکل (۴) دیده می‌شد نیز قابل مشاهده نیست.

ویژگی مهم کانسارهای مس پورفیری، دگرسانی آن‌ها است که از داخل به خارج کانسار به صورت دگرسانی پتاسیک، فیلیک، رسی و پروپیلیتیک رخ می‌نماید [۱۴]. یکی از کانی‌های اپاک دگرسانی پتاسیک، مگنتیت است. بر این اساس انتظار می‌رود نواحی متحمل دگرسانی پتاسیک که در مرکز کانسارهای مس پورفیری قرار دارند، بی‌هنجاری مغناطیسی بالایی داشته باشند. کانی‌های رسی نواحی آرژیلیتی، مغناطیس‌شدگی قابل توجهی ندارند و در نتیجه روی نقشه‌های مغناطیس‌سنجی با شدت پایین ظاهر می‌شوند. این در حالی است که بر اثر دگرسانی پروپیلیتیک و شکل‌گیری کانی‌های اکسید آهن، به نظر می‌رسد ناحیه‌ی پروپیلیتی شده، بی‌هنجاری مغناطیسی بالاتری نسبت به بخش آرژیلیتی داشته باشد. دگرسانی‌های منطقه روی نقشه‌های TMI_RTP و سیگنال تحلیلی به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) نمایش داده شده‌اند.

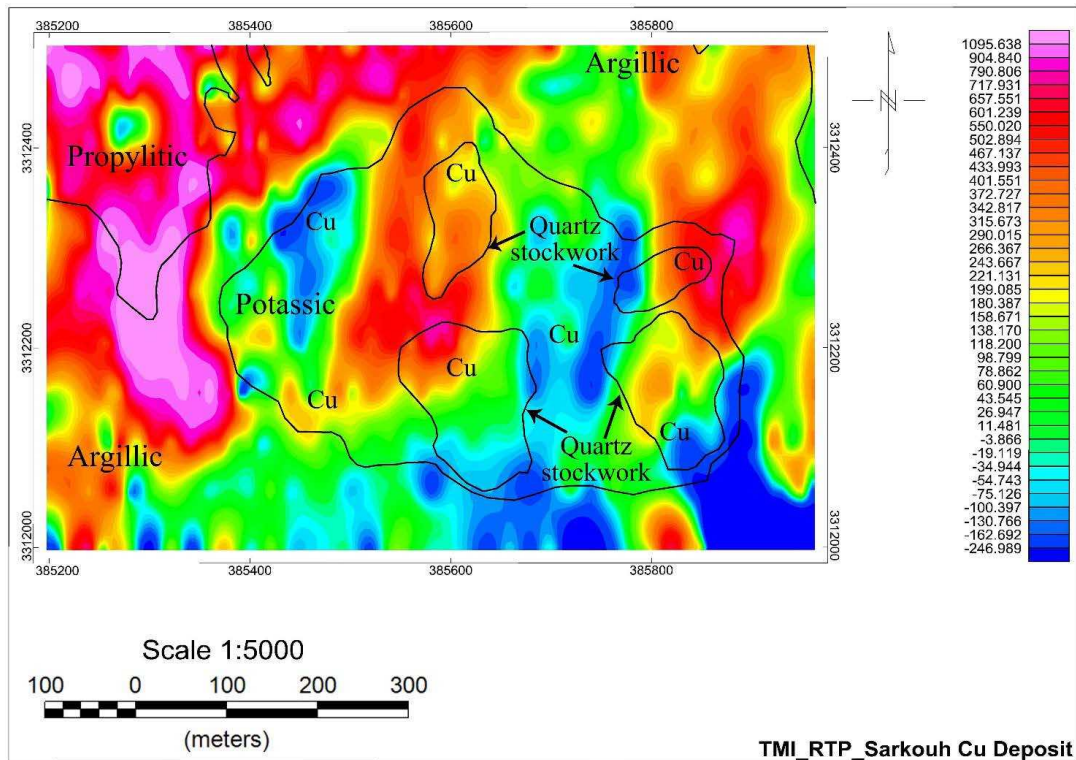
و آندزیت بازالتی (سازنده‌های Et و Ev) تشکیل شده‌اند. بر اساس انتظار و به دلیل وجود کانی‌های دارای مغناطیس‌شدگی بالا در این قبیل سنگ‌ها، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت بالا در این نواحی مشاهده می‌شوند (۴۶۷ تا ۱۰۹۵ نانوتسلا). بخش‌های مرکز، جنوب و جنوب شرق محدوده مورد مطالعه نیز که از سنگ‌های رسوبی مانند گراول و آبرفت شکل گرفته‌اند، با بی‌هنجاری‌های مغناطیسی کم‌شدت رخ نموده‌اند (۲۴۶- تا ۶۱ نانوتسلا). با بررسی شکل (۴)، می‌توان تا حدی هندسه کلی محدوده‌های سنگی را با هندسه عمومی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی مطابقت داد. این انطباق به ویژه با توجه به هندسه مرز واحد Et در شمال و غرب محدوده و نیز با توجه به هندسه واحدهای Scree در مرکز محدوده قابل پیگیری است.

در ادامه بررسی انطباق مرز واحدهای سنگی و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، در شکل (۵) مرزهای سنگ‌شناسی روی نقشه سیگنال تحلیلی شدت میدان مغناطیسی کل نمایش داده شده‌اند. در این شکل، انطباقی بین مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و واحدهای سنگی دیده نمی‌شود. همچنین شباهت

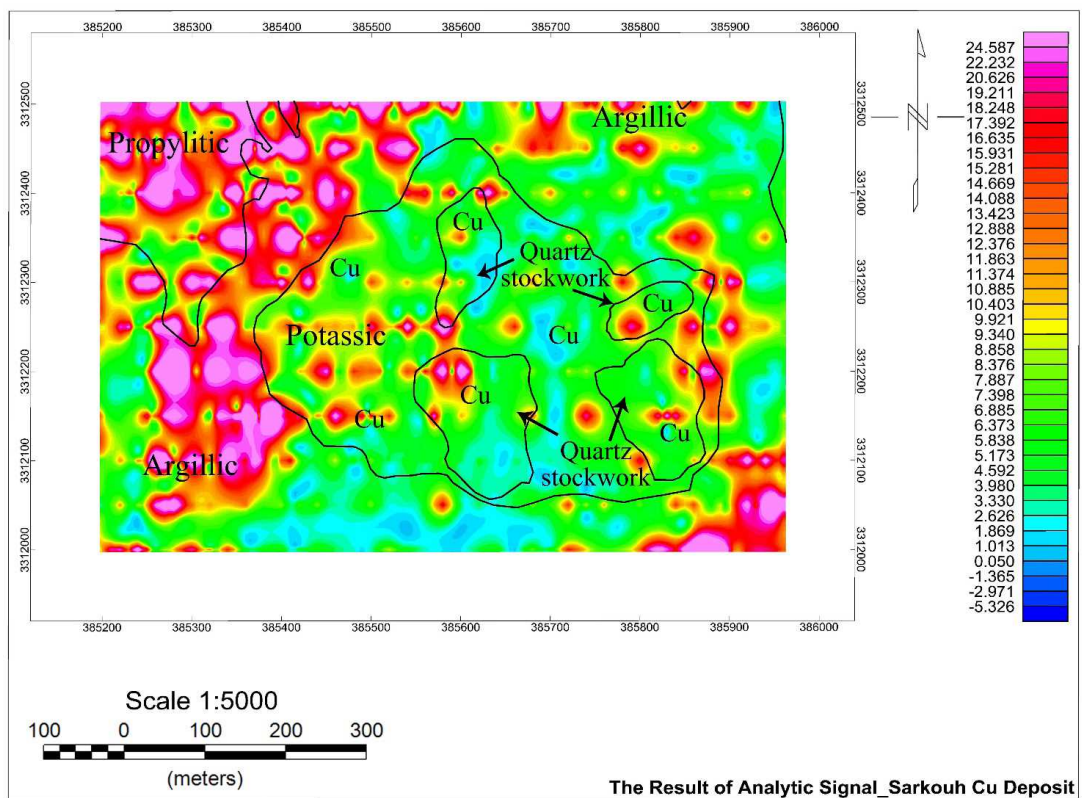


The Result of Analytic Signal_Sarkouh Cu Deposit

شکل ۵- نمایش سنگ‌شناسی منطقه روی نقشه سیگنال تحلیلی شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس سرکوه



شکل ۶- نمایش دگرسانی‌های منطقه روی نقشه تبدیل به قطب میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس سرکوه



شکل ۷- نمایش دگرسانی‌های منطقه روی نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس سرکوه

شده نسبت داد. هندسه مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در این قسمت‌ها تا حدی از هندسه مرز سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی پیروی می‌کند.

نواحی شمال غرب و غرب محدوده مورد بررسی نیز بی‌هنجاری مغناطیسی بالایی را به تصویر کشیده‌اند (بیش از ۳۰۵ نانوتسلا). حال آن‌که این دو ناحیه از رسوبات نئوژن پوشیده شده‌اند که از مغناطیس‌شدگی قابل توجهی برخوردار نیستند. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، برنزدهایی (به ویژه به صورت دایک) از آندزیت و تراکی آندزیت در بخش‌های مزبور وجود دارد؛ بنابراین به نظر می‌رسد بی‌هنجاری مغناطیسی با شدت بالا در این بخش‌ها را بتوان به وجود این قبیل سنگ‌ها در نواحی زیر رسوبات نئوژن نسبت داد. نکته قابل توجه این است که تبعیت و نه انطباق مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی از مرز واحدهای سنگی این قسمت‌ها در شکل (۹) مشاهده می‌شود.

یکی از مناطقی که می‌توان در آنجا نیز تا حدی پیروی هندسه مرز بی‌هنجاری مغناطیسی از هندسه مرز واحدهای سنگی را مشاهده کرد، جنوب محدوده مورد بررسی است که از آندزیت و تراکی آندزیت پوشیده شده است.

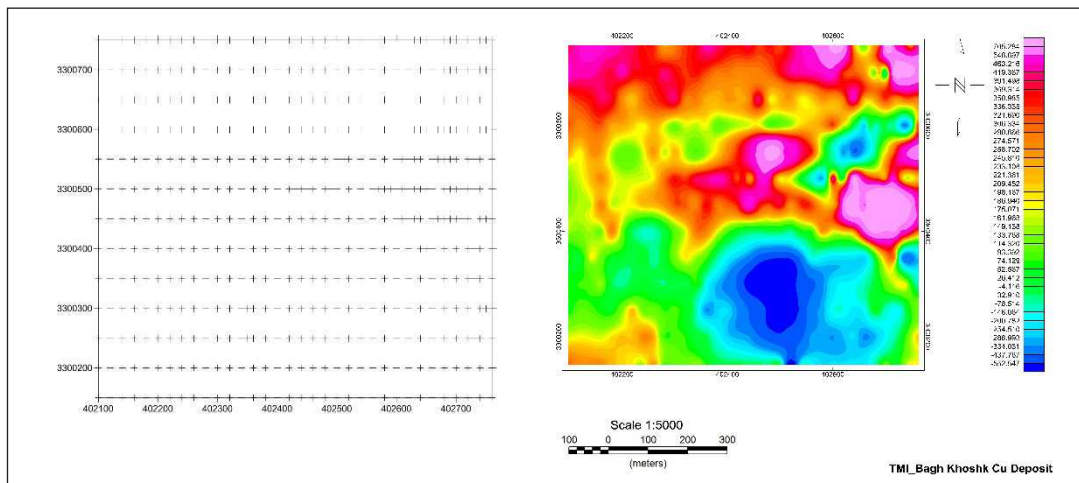
بخش‌های مرکزی محدوده مورد بررسی از سنگ‌های نفوذی مونزودیوریت و مونزودیوریت پورفیری تا دیوریت، گرانیت و گرانودیوریت پورفیری شکل گرفته‌اند. پیش‌تر اشاره شد که به جز کوارتز دیوریت، بیشتر بخش‌های بقیه سنگ‌های مزبور، نابارور هستند. این موضوع باعث شده است، قسمت‌های زیادی از این نواحی دارای شدت میدان مغناطیسی پایین باشند (کمتر از ۱۵۴ نانوتسلا). نکته جالب توجه این است که مرز این سنگ‌ها هم از نظر هندسه و هم از نظر موقعیت، تا حد قابل توجهی بر مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت پایین که در مرکز محدوده مشاهده می‌شوند، انطباق دارد. باید توجه شود که در همین محدوده، کانی‌سازی مس همراه با دگرسانی پتاسیک نیز صورت پذیرفته است؛ اما وجود کانی‌های با مغناطیس‌شدگی بالا در منطقه دارای دگرسانی پتاسیک نتوانسته است میدان مغناطیسی کل سنگ‌های نفوذی نابارور این منطقه را تحت تأثیر قرار داده، شدت میدان مغناطیسی کل در این محدوده را افزایش دهد.

انطباق نه چندان مناسب بین مرز واحدهای سنگی و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در نقشه شکل (۹)، پس از اعمال

آنچه در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود، این است که بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، مرز دگرسانی‌ها را به خوبی مشخص نساخته‌اند.

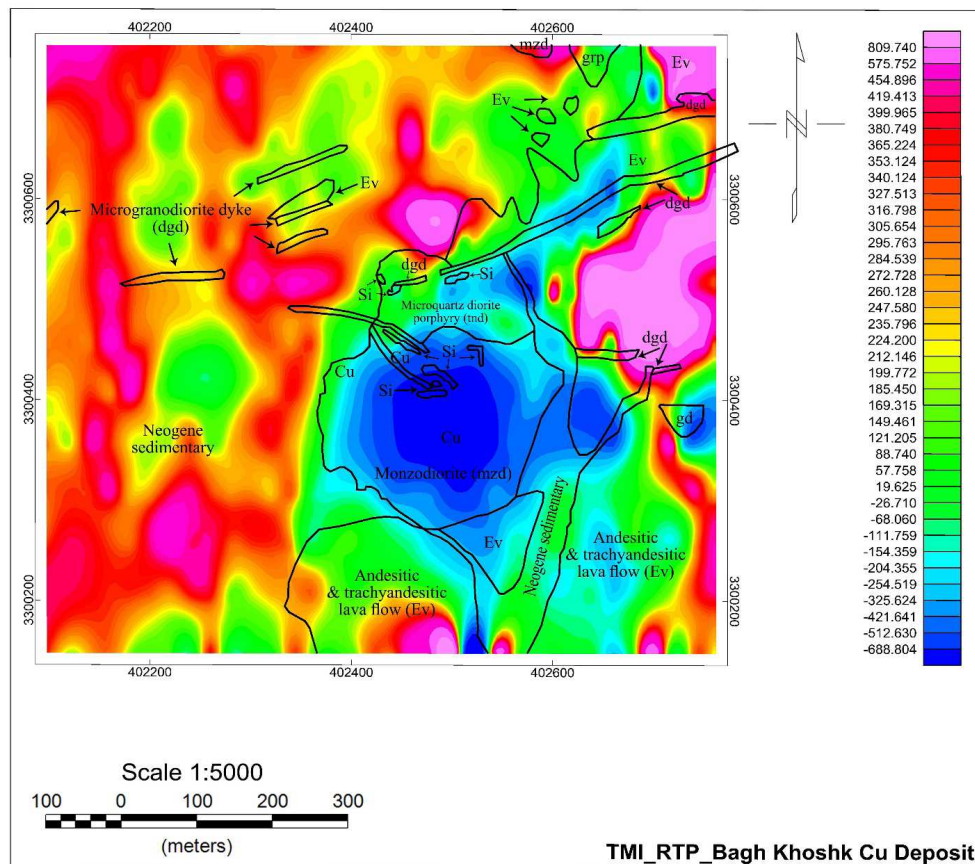
در ادامه این مبحث، ارتباط مرز واحدهای سنگی مشخص شده روی نقشه زمین‌شناسی با مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در محدوده کانسار مس باغ‌خشک بررسی شده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد کانسار مس باغ‌خشک مانند سرکوه، جزئی از کمربند کرمان است؛ از نظر سنگ دربرگیرنده و شرایط تشکیل نیز این دو کانسار با یکدیگر مشابهت دارند؛ بنابراین با بررسی هم‌زمان این دو کانسار از نظر هماهنگی بین موقعیت مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و واحدهای سنگی مولد آن‌ها بهتر می‌توان درباره امکان دستیابی به مزایای تعیین مرزهای سنگ‌شناسی با استفاده از مغناطیس‌سنجی اظهار عقیده کرد. در این راستا روندی که برای کانسار مس سرکوه طی شد، پی گرفته شده است. بر این اساس شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب نمایش‌دهنده نقشه شدت میدان مغناطیسی کل و نقشه شدت میدان مغناطیسی کل پس از اعمال فیلتر تبدیل به قطب همراه با مرزهای سنگ‌شناسی در محدوده کانسار مس باغ‌خشک هستند. شدت میدان مغناطیسی کل در این ناحیه دارای بیشینه‌ی ۷۰۵ و کمینه ۵۵۲- نانوتسلا است. بر اساس شکل (۸) می‌توان نقشه شدت میدان مغناطیسی کل را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم کرد. بخش شمال این نقشه را بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت بالا و بخش جنوب آن را بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت پایین در بر گرفته‌اند. در نقشه شدت میدان مغناطیسی کل پس از اعمال فیلتر تبدیل به قطب، موقعیت این بی‌هنجاری‌ها تغییر کرده است. بر این مبنا به جز بخش مرکزی، دیگر قسمت‌های محدوده مورد بررسی را بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت بالا (بیش از ۳۲۲ نانوتسلا) تشکیل داده‌اند که به صورت پراکنده در منطقه توزیع شده‌اند (شکل ۹).

با توجه به شکل (۹) مشاهده می‌شود که بخش‌های شمال، شمال شرق و شرق محدوده مورد بررسی از آندزیت‌ها و تراکی آندزیت‌های ائوسن شکل گرفته‌اند. بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت بالا در این بخش‌ها را احتمالاً می‌توان به کانی‌های دارای مغناطیس‌شدگی بالا در سنگ‌های یاد

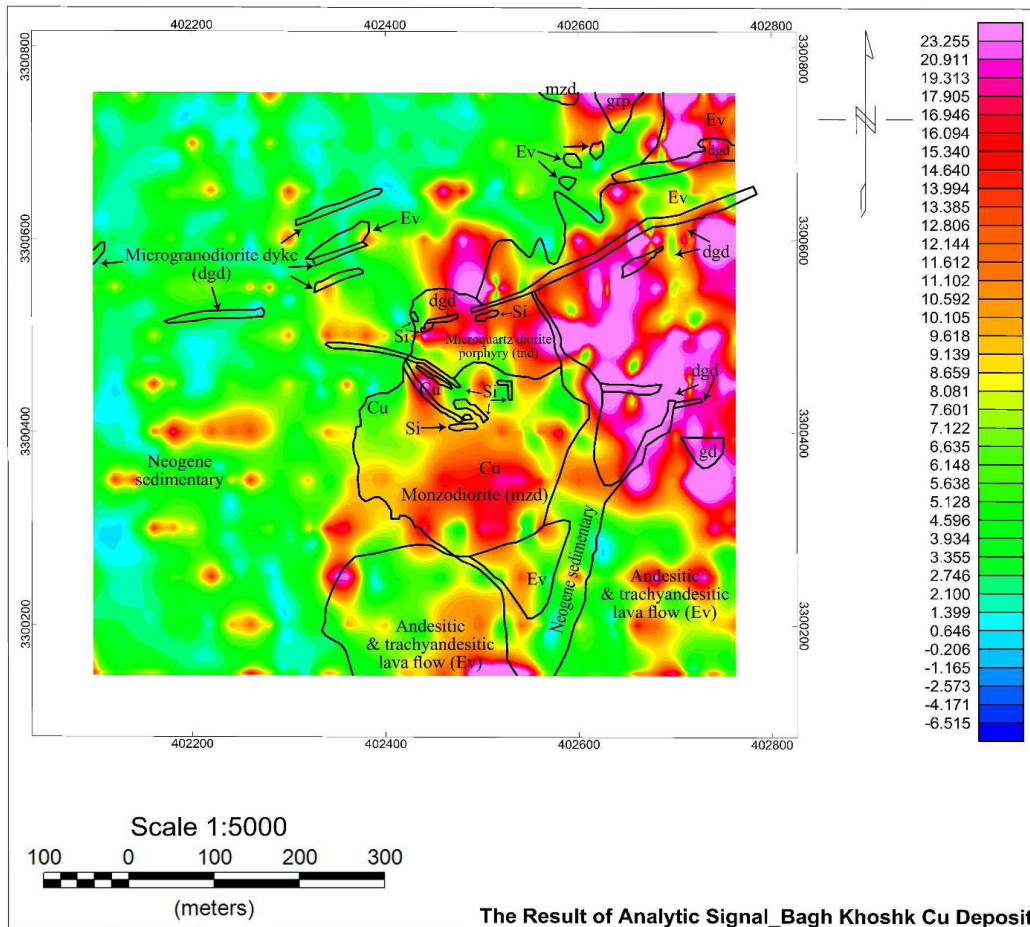


شکل ۸- الف) نقشه شدت میدان مغناطیسی کل و ب) موقعیت برداشت داده‌های مغناطیسی در محدوده کانسار مس باغ خشک

فیلتر سیگنال تحلیلی روی این نقشه و به دست آمدن نقشه
شکل (۱۰) تا حد قابل توجهی به ویژه در شرق و غرب محدوده
مورد مطالعه در باغ خشک از بین می‌رود. به طوری که سیگنال
تحلیلی توانسته است مرز رسوبات نئوژن موجود در غرب
محدوده مورد مطالعه و توده‌های آذرین شرق این محدوده را
قابل تشخیص سازد.



شکل ۹- نمایش سنگ‌شناسی منطقه روی نقشه تبدیل به قطب میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس باغ خشک

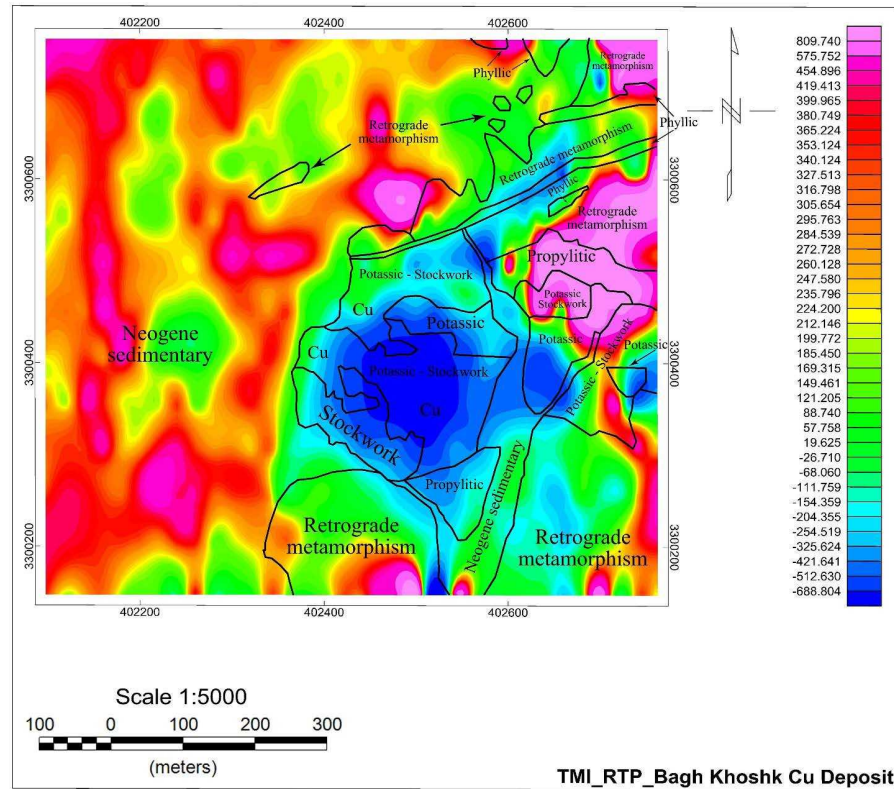


شکل ۱۰- نمایش سنگ‌شناسی منطقه روی نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس باغ خشک

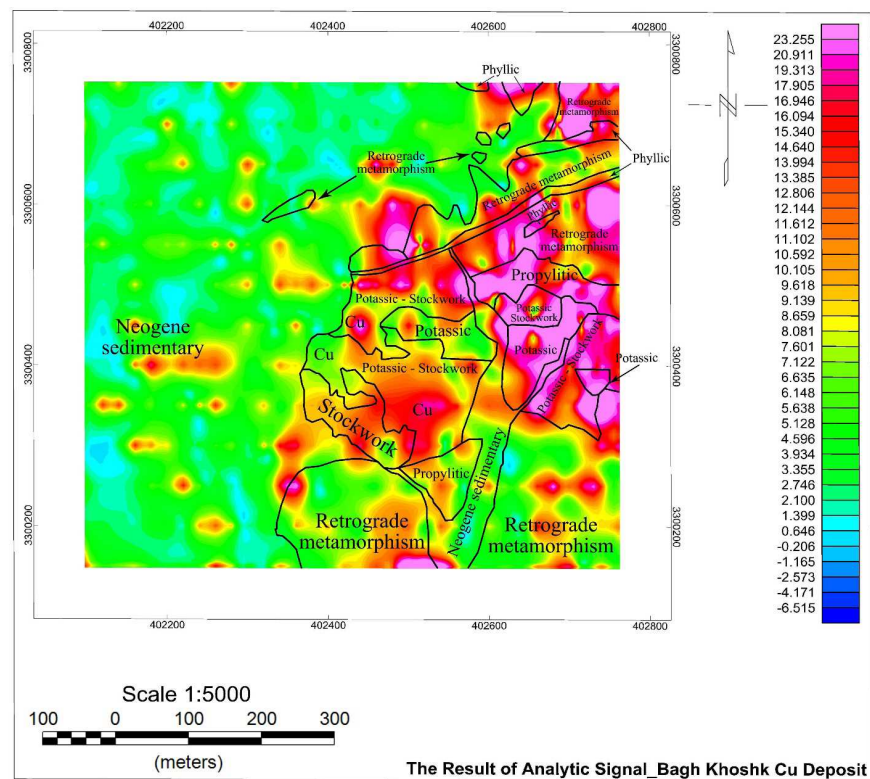
نسبت به نقشه‌های TMI_RTP بسیار افزایش یافته است. در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب مرز دگرسانی‌ها در محدوده کانسار مس باغ خشک روی نقشه‌های TMI_RTP و سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی کل مشاهده می‌شود. اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر نقشه‌ی TMI، توانسته است مرز رسوبات نئوژن را از نواحی دگرسان شده مشخص سازد (شکل ۱۲). به طور کلی مرز دگرسانی‌ها روی نقشه سیگنال تحلیلی نسبت به نقشه TMI_RTP، مطابقت بهتری با مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی دارد. همان طور که پیش‌تر گفته شد، حتی وجود دگرسانی پتاسیک و کانی‌زایی در محدوده این دگرسانی نیز نتوانسته است، بی‌هنجاری مغناطیسی را در بخش مرکزی محدوده کانسار مس پورفیری باغ خشک افزایش دهد و این بخش، برعکس آنچه انتظار می‌رود با شدت پایین روی نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی کل مشخص شده است.

با توجه به آنچه بیان شد، احتمال تعیین مرز واحدهای سنگی با استفاده از سیگنال تحلیلی بیشتر از این احتمال با استفاده از نقشه TMI_RTP است (شکل ۱۰). به گونه‌ای که سیگنال تحلیلی توانسته است به صورت کامل دو ناحیه رسوبات نئوژن غربی و توده‌های آذرین شرقی در محدوده کانسار مس باغ خشک را از یکدیگر جدا کند. علاوه بر این، مرز بی‌هنجاری مغناطیسی حاصل از سنگ‌های آذرین موجود در شمال شرق، شرق و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه، تا حدی بر مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی تولید شده به وسیله آن‌ها انطباق دارد.

نکته قابل توجه در نقشه‌های سیگنال تحلیلی، تفاوت شدت بی‌هنجاری مغناطیسی توده مرکزی محدوده کانسار مس باغ خشک با این شدت روی نقشه‌های TMI_RTP است. در سیگنال تحلیلی، شدت میدان مغناطیسی دقیقاً بر اساس انتظار، به دلیل وجود کانی‌های دارای مغناطیس‌شدگی بالا همراه با کانی‌زایی مس،



شکل ۱۱- نمایش دگرسانی‌های منطقه روی نقشه تبدیل به قطب میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس باغ خشک



شکل ۱۲- نمایش دگرسانی‌های منطقه روی نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی کل در محدوده کانسار مس باغ خشک

با استفاده از مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی تولید شده به وسیله این دو نوع سنگ قابل تعیین است؛ اما وقتی نوبت به تفکیک مرز واحدهای آذرین نیمه شرقی محدوده کانسار مس باغ‌خشک می‌رسد، توانایی مغناطیس‌سنجی افول می‌کند. دقیقاً همین موضوع در سرکوه دیده می‌شود که تماماً از توده‌های آذرین شکل گرفته است.

نکته قابل توجه دیگر این است که توده‌های مغناطیسی شده در عرض‌های جغرافیایی بالا، متقارن‌تر از سایر توده‌های مغناطیسی شده هستند و محل بی‌هنجاری مغناطیسی آن‌ها، ارتباط بسیار بیشتری با محل واحد سنگی مولد خود دارد. همچنین هندسه واحدهای سنگی بر شکل بی‌هنجاری مغناطیسی‌شان، اثر دارد. بر این اساس شاید بتوان تأثیر پنج عامل نزدیکی خاصیت مغناطیسی انواع واحدهای سنگی، گستردگی واحدهای سنگی با مغناطیس‌شدگی متفاوت، شیب توده‌های مولد بی‌هنجاری مغناطیسی، عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نیز مقیاس برداشت مغناطیس‌سنجی را بر امکان تفکیک مرزهای سنگ‌شناسی از طریق داده‌های مغناطیس‌سنجی، موضوع تحقیقات آینده در نظر گرفت. تأثیر مقیاس برداشت داده‌های مغناطیسی بر انطباق این داده‌ها با واحدهای زمین‌شناسی پیش‌تر نیز بیان شده است (مثل [۶])؛ اما در پژوهش پیش رو با تحقیق، مشاهده شد.

نکته بسیار مهم در پژوهش حاضر، موفقیت نسبی فیلتر سیگنال تحلیلی نسبت به فیلتر RTP، در تعیین مرز واحدهای سنگی مناطق مورد مطالعه است. باید توجه داشت که در فرآیند RTP لازم است زاویه میل و انحراف بردار برآیند میدان مغناطیسی زمین را وارد الگوریتم کرد. در صورتی که در منطقه مورد مطالعه، فقط مغناطیس القا شده وجود داشته باشد؛ یعنی مغناطیس بازماند موجود نباشد، استفاده از زوایای میل و انحراف زمین باعث ایجاد میدان تبدیل به قطب شده صحیح می‌شود. این در حالی است که وقتی هم مغناطیس بازماند و هم مغناطیس القا شده در منطقه مورد مطالعه وجود داشته باشند، در نظر گرفتن زوایای میل و انحراف زمین در فرآیند RTP، مشکل‌ساز است و به همین دلیل امکان دارد نقشه RTP با پهنه‌های سنگ‌شناسی مطابقت نداشته باشد. حال اگر از فیلتر سیگنال تحلیلی برای یافتن مرز واحدهای سنگ‌شناسی استفاده شود، نتیجه‌ی بهتری نسبت به

اشاره شد که دو کانسار مس پورفیری سرکوه و باغ‌خشک، بخش‌هایی از کمربند کرمان هستند. هر دو بر اثر نفوذ باتولیت گرانودیوریتی مزار در توده‌های آتشفشانی کوارتز مونوزودیوریت ایجاد شده‌اند. ساختار هندسی باتولیت مزار بر اساس دو مقطع زمین‌شناسی ترسیم شده برای این دو محدوده (شکل‌های ۱ و ۲)، نزدیک به قائم است. طبیعتاً دگرسانی‌های اطراف این دو کانسار مشابه است. تنها تفاوت عمده‌ای که در سنگ‌شناسی باغ‌خشک دیده می‌شود؛ اما در سنگ‌شناسی سرکوه قابل مشاهده نیست، وجود رسوبات نئوژن با گسترش قابل توجه در نزدیکی کانسار مس باغ‌خشک است.

هیچ یک از شباهت‌ها و تفاوت‌های یاد شده در محدوده‌های مورد مطالعه، باعث نشده‌اند مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی بر مرز واحدهای سنگی و دگرسانی‌های ایجاد کننده آن‌ها کاملاً منطبق باشد. به گونه‌ای که حتی پس از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی در محدوده کانسار مس سرکوه هم نمی‌توان بین موقعیت مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و واحدهای سنگی و دگرسانی‌های مولد آن‌ها در این منطقه هماهنگی یافت. این در حالی است که مرز توده‌های آذرین نابارور و دارای کانی‌زایی مرکز محدوده کانسار مس باغ‌خشک با مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی مربوط به خود انطباق قابل توجهی دارند. پس از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی، انطباق مزبور باز هم مشاهده می‌شود و در دیگر مرزهای عمده واحدهای سنگی باغ‌خشک نیز قابل پیگیری است. این انطباق بین مرز نواحی متحمل دگرسانی پتاسیک و پروپیلیتیک با بی‌هنجاری‌های مغناطیسی ایجاد شده به وسیله آن‌ها نیز دیده می‌شود.

گفته شد که تفاوت بزرگ بین واحدهای سنگی مناطق مورد مطالعه، وجود رسوبات دارای گسترش قابل توجه نئوژن در نزدیکی باغ‌خشک و نبود آن‌ها در محدوده مورد مطالعه سرکوه است. به طوری که در سرکوه، رسوبات به صورت پراکنده و با گسترش اندک روی توده‌های آذرین قرار گرفته‌اند. تنها با این مشاهده به طور قطعی نمی‌توان گفت؛ اما به نظر می‌رسد اختلاف مغناطیس‌شدگی سنگ‌های رسوبی و آذرین و نیز میزان گسترش آن‌ها در مناطق مورد مطالعه، بر امکان تعیین مرزهای سنگ‌شناسی در هر یک از دو محدوده در دست بررسی اثر داشته باشد. به طوری که مرز رسوبات نئوژن و توده‌های آذرین باغ‌خشک به صورت قابل توجهی

میل و انحراف زمین، موجب دستیابی به میدان تبدیل به قطب شده درست خواهد شد. این در حالی است که وقتی مغناطیس بازمند و القاشده، هر دو در منطقه مورد مطالعه موجود باشند، در نظر گرفتن زوایای میل و انحراف زمین در الگوریتم RTP، درست نیست و امکان دارد همین موضوع سبب شود نقشه RTP با پهنه‌های سنگ‌شناسی مطابقت نداشته باشد. فیلتر سیگنال تحلیلی به زوایای میل و انحراف زمین و واحدهای سنگی وابسته نیست. از این رو وقتی سیگنال تحلیلی برای یافتن مرز واحدهای سنگ‌شناسی از طریق داده‌های مغناطیس‌سنجی، به کار برده می‌شود، نتیجه بهتری نسبت به استفاده از RTP به دست می‌آید.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، برای بهبود توانایی مغناطیس‌سنجی در تفسیر زمین‌شناسی، می‌توان در آینده، اثر نزدیکی خاصیت مغناطیسی انواع واحدهای سنگی، گسترش واحدهای سنگی با مغناطیس‌شدگی متفاوت، شیب توده‌های مولد بی‌هنجاری مغناطیسی، عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و مقیاس برداشت داده‌های مغناطیس‌سنجی را بر امکان تفکیک مرزهای سنگ‌شناسی از طریق داده‌های مغناطیس‌سنجی، مورد بررسی قرار داد.

استفاده از RTP به دست می‌آید؛ چراکه سیگنال تحلیلی به زوایای میل و انحراف زمین و توده‌های سنگی وابسته نیست.

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر میزان انطباق مرز بی‌هنجاری مغناطیسی در محدوده کانسارهای مس سرکوه و باغ‌خشک با مرز واحدهای سنگی مولد این بی‌هنجاری‌ها بررسی شده است. فایده چنین پژوهش‌هایی با توجه به این موضوع مشخص می‌شود که می‌توان از نتایج آن‌ها برای به‌روزرسانی نقشه‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی با استفاده از روش سریع و کم‌هزینه مغناطیس‌سنجی، تعیین مرز دگرسانی‌ها، تعیین محدوده سنگ‌های میزبان کانی‌زایی، تعیین نواحی مناسب برای اکتشاف تفصیلی ماده معدنی و در نتیجه دستیابی به نواحی دارای کانی‌زایی بهره برد.

نتیجه قابل توجه منتج از پژوهش حاضر، موفقیت فیلتر سیگنال تحلیلی نسبت به فیلتر تبدیل به قطب، در تعیین مرز واحدهای سنگی از طریق بررسی نقشه‌های مغناطیس‌سنجی است. در الگوریتم RTP، از زاویه میل و انحراف بردار برآیند میدان مغناطیسی زمین استفاده می‌شود. اگر در منطقه مورد مطالعه، مغناطیس بازمند وجود نداشته باشد، استفاده از زوایای

منابع

- Boyd, D. M. and Isles, D. J. (2007). Geological interpretation of airborne magnetic surveys- 40 years on: in B. Milkereit, ed., Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 491-505.
- Consulting Engineers Kaniran (2008). Geology and alteration report of Sarkouh deposit 1:5000.
- Consulting Engineers Samankav (2008). Geophysical report of Sarkouh copper deposit.
- Consulting Engineers Samankav (2008). Magnetometry studies report of Baghkhoshk copper deposit.
- Damaceno, J. G., Lopes de Castro, D., Valcácio, S. N., and Souza, Z. S. (2017). Magnetic and gravity modeling of a Paleogene diabase plug in Northeast Brazil: Journal of Applied Geophysics, 136, 219-230. doi:10.1016/j.jappgeo.2016.11.006.
- Dentith, M., and Mudge, S. T. (2014). Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist: Cambridge University Press.

- Kowalczyk, P., Oldenburg, D., Phillips, N., Nguyen, T. H., and Thomson, V. (2010). Acquisition and analysis of the 2007-2009 geoscience BC airborne data: PESA Airborne Gravity Workshop, ASEG.
- Lane, R., and Guillen, A. (2005). Geologically-inspired constraints for a potential field litho-inversion scheme, GIS and Spatial Analysis: Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, IAMG, 181-186.
- MacLeod, C. J., Tominaga, M., Tivey, M., Morris, A., and Shillington, D. J. (2010). Characterization of the in situ magnetic and lithologic architecture of Hess Deep using near-bottom vector magnetic data: Abstract OS14A-05 presented at 2010 Fall Meeting, American Geophysical Union (AGU), San Francisco, Calif., 13-17 Dec.
- Martinez, C., Li, Y., Krahenbuhl, R., and Braga, M. (2011). Lithologic characterization using magnetic and gravity gradient data over an iron ore formation: SEG San Antonio 2011 Annual Meeting.
- Nasuti, N. Feizabadi, B. A. Tajvar, S. M. and A. Nasuti (2017). "Interpretation of potential field anomalies to investigate geological structures and oilfield exploration: A local study in the south Semnan." Iranian Journal of Geophysics 11(3): 90-104 (In Persian).
- Price, A. D., and Dransfield, M. H. (1994). Lithological mapping by correlation of the magnetic and gravity data from Corsair W.A.: Exploration Geophysics, 25(4), 179-188. doi:10.1071/EG994179.
- Shadman, M., Tokhmchi, B. and Kheyrollahi, H. (2012). "Application of clustering in preparation of pseudo geological maps using airborne geophysical data." Iranian Journal of Mining Engineering 7(16): 1-12 (In Persian).
- Shahabpour, J. (2007). Economic Geology: Shahid Bahonar University Press. 543 p (In Persian).
- Sridhar, M., Ramesh Babu, V., Markandeyulu, A., Raju, B. V. S. N., Chaturvedi, A. K., and Roy, M. K. (2017). A reassessment of the Archean Mesoproterozoic tectonic development of the southeastern Chhattisgarh Basin, Central India through detailed aeromagnetic analysis: Tectonophysics, 712-713, 289-302. doi:10.1016/j.tecto.2017.05.022.
- Wang, J., Meng, X., Chen, Z., Liu, G., Zheng, Y., Wang J., Zhang, S., Zhang, X., and Zheng, W. (2015). Lithologic mapping test for gravity and magnetic anomalies A case study of gravity-magnetic anomaly profile in the eastern segment of the China-Mongolia border: Journal of Applied Geophysics, 117, 23-31. doi:10.1016/j.jappgeo.2015.03.020.
- Wilson, G. A., Fraser, S., Cox, L. H., Čuma, M., Zhdanov, M. S., and Vallée, M. A. (2011). Lithological classification of large-scale 3D inversion of airborne electromagnetic, gravity gradiometry, and magnetic data- A case study from Reid-Mahaffy, Ontario: SEG San Antonio 2011 Annual Meeting.
- Yan, J., Lv, Q., Qi, G., Zhao, J., and Zhang, Y. (2016). Lithologic identification and mapping test based on 3D inversion of magnetic and gravity: EGU General Assembly 2016, held 17-22 April, 2016 in Vienna Austria, 4511.
- Yazdi, Z. Jafari Rad, A. R. and H. Kheyrollahi (2015). "Recognition of geological features and alteration zones related to porphyry copper mineralization using airborne geophysical data a case study: Chahargonbad 1:100000 geological map, Kerman province, central Iran." Geosciences 24(95): 85-94 (In Persian).