



تفسیر داده‌های مغناطیس و قطبش القایی و مقاومت ویژه به منظور مطالعات ذخایر IOCG، مطالعه موردی: داشکسن، آذربایجان شرقی

حمیدرضا باغزندانی، میثم مقدسی، پوران دخت سلطانی
دانشجوی دکترای مهندسی معدن، گرایش اکتشاف، دانشگاه صنعتی شاهرود

حمید آقاجانی
دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

الگوهای بی‌هنجاری مغناطیسی ابزار مناسبی برای نمایش ساختارهای دگرگونی، مناطق دگرسان هیدروترمالی و ساختارهای زمین‌شناسی است، همچنین باعث کنترل و تشخیص مسیر عبور ماگما و سیالات هیدروترمالی همراه با کانی‌زایی می‌باشد. تفاسیر زمین‌شناسی قابل اطمینان از فرآیند کانی‌زایی، نیازمند درک درستی از شرایط ایجاد سنگ‌ها از ماگما، دگرگون شدن و در نهایت فرآیند هیدروترمال شدن آن‌ها می‌باشد. مدل‌های پیش‌بینی شده اکتشافی مغناطیسی برای ذخایر مس پرفیری، اکسید آهن و طلا مس (IOCG) در کنار مدل‌های استاندارد زمین‌شناسی می‌تواند تفاسیر مطمئن‌تری از مطالعات اکتشافی ارائه دهد. همچنین استفاده از چند روش ژئوفیزیکی می‌تواند نتایج دقیق‌تری از مطالعات اکتشافی را در اختیار ما قرار دهد. در این پژوهش با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی، همچنین با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی، قطبش القایی و مقاومت ویژه به مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی و کانی‌زایی در منطقه داشکسن در استان آذربایجان شرقی پرداخته شده است. مطالعات انجام شده در این محدوده، از نقطه نظر مقادیر ناهنجاری بارپذیری متوسط تا بسیار بالا بوده و در بیشتر مواقع از روند خاصی تبعیت می‌کند. در این منطقه تمرکز کانی‌زایی در بخش مرکزی و شمال شرقی منطقه است که از ساختار گسل و توده نفوذی تبعیت می‌کند. این مقدار ناهنجاری نشان از وجود کانی‌زایی را در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد. با تلفیق و تفسیر نتایج حاصل از اطلاعات زمین‌شناسی و مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی در نهایت ۹ نقطه جهت حفاری معرفی شده است.

واژگان کلیدی: مغناطیس‌سنجی، قطبش القایی، مقاومت ویژه، ذخایر (IOCG)، داشکسن.

۱- مقدمه

هیدروترمال و همچنین تشخیص ساختارهای زمین‌شناسی نظیر گسل‌ها، دایک‌ها، شکستگی‌ها که به کنترل عبور ماگما و سیالات هیدروترمال همراه با کانی‌سازی می‌باشد، است. در گذشته مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت است از:

داده‌های مغناطیس‌سنجی اطلاعات مفیدی را از توزیع مغناطیس‌پذیری سنگ‌ها در پوسته زمین در مقیاس کوچک و بزرگ ارائه می‌دهد. الگوهای مغناطیسی ابزار مناسبی برای بررسی و مطالعه سنگ‌شناسی، مناطق دگرگونی و دگرسانی‌های

آن منطقه باشد. به عنوان مثال ذخایر اپیترمال فلزات گرانبها با سنگ میزبان مافیک یا سنگ‌های آتشفشانی میانی اغلب با اثر مغناطیسی کمینه همراه هستند [۱۲].

مطالعات قطبش القایی و مقاومت ویژه در جهت تفسیر اکتشافی بهتر و آگاهی از ارتباط یا عدم ارتباط بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با بی‌هنجاری‌های پلاریزاسیون القایی مورد نظر قرار گرفته است. بهترین روشی که پاسخ‌های مناسبی در مورد کانی‌های فلزی پراکنده ارائه می‌دهد، روش پلاریزاسیون القایی است، که به طور معمول همراه مقاومت ویژه به اجرا در می‌آید. گود و همکاران (۲۰۰۰) بر روی دو نهشته پلیمتال در کشور کانادا برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی و هوایی انجام دادند. در این مطالعه نتایج حاصل از برداشت مغناطیس، مقاومت ویژه، قطبش القایی و گرانی‌سنجی بر روی دو نهشته آمده است. در این مطالعه حضور قابل توجه اکسید آهن در یک منطقه بزرگ با شدت بالای پتاسیم متاسوماتیسم را نشان داد. همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی کبالت، طلا، بیسموت و مس را در زمین‌های از شیب و اکسید آهن نشان می‌دهد و در نهایت به این نتیجه رسیدند که کانی‌سازی در محیط‌های نزدیک سطح، همزمان با ولکانیک شکل گرفته است [۱۳]. بورناس و همکاران (۲۰۱۳)، از روش‌های مقاومت ویژه، قطبش القایی، مگنتوتلوریک و الکترومغناطیس هوابرد برای اکتشافات معدنی و خصوصاً اکتشافات فلزات پایه بر روی منطقه‌ای در کانادا استفاده کردند. نتیجه به دست آمده وجود یک بی‌هنجاری عمیق با بارپذیری خیلی بالا و رسانندگی مطلوب بود؛ که مقایسه نتایج معکوس‌سازی سه‌بعدی با حفاری‌ها، حضور یک کانی‌سازی پورفیری قابل توجه در عمق را نشان داد [۱۴]. بست و همکاران (۲۰۱۵) به منظور بررسی توانایی روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه در تشخیص کانی‌سازی‌های فلزی سولفیدی از جمله مس، سرب، روی، نقره و طلا، برداشت داده‌ها را با سه آرایه الکترودی دوقطبی- دوقطبی، قطبی- دوقطبی و شلومیرژه معکوس در محل ۹ ذخیره معدنی اکتشاف شده در کانادا انجام دادند [۱۵]. آگویلف و همکاران (۲۰۱۶)، به مطالعه ارتباط بین بالک کانی‌زایی و پاسخ قطبش القایی در کانی‌زایی ذخایر اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) و مس پورفیری، در شمال شیلی پرداختند. در این پژوهش اطلاعات مربوط به ۱۲ گمانه اکتشافی برای بررسی میزان همبستگی با نتایج مقاطع قطبش القایی مورد مطالعه قرار گرفت و پارامترهای زمین‌شناسی با مدل‌های

مایو (۱۹۵۸) جزء اولین کسانی بود که رابطه بین خطواره‌ها و پتانسیل معدنی را بررسی کرد و قرارگیری ذخایر در محل تلاقی و بر روی خطواره‌ها را مورد بررسی قرار داد [۱]. بر همین اساس محققان دیگری همچون اشمیت (۱۹۶۶)، هیل (۱۹۷۲)، جیلولی (۱۹۷۶ و ۱۹۷۷) و ریچارد (۲۰۰۰)، خطواره‌ها را به عنوان یک نشانه برای تعیین محل نهشته‌های معدنی معرفی کردند [۲، ۳، ۴، ۵، ۶]. لاپونته و همکاران (۱۹۸۵)، با استفاده از مطالعه و تفسیر خودپذیری مغناطیسی واحدهای سنگی در منطقه آنتاریو کانادا، به روشی جدید در تعیین درجه میزان دگرسانی در واحدهای سنگی پرداختند [۷]. ریچارد و همکاران (۲۰۰۱) و چرنیکوف و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های مختلف تصاویر ماهواره‌ای، مغناطیس‌سنجی هوابرد و نقشه‌های زمین‌شناسی به استخراج خطواره‌ها پرداخته و جایگاه و ارتباط ذخایر را با خطواره‌ها مشخص ساخته‌اند. [۸، ۹] نوروزی و غلامی (۱۳۸۴)، به مطالعه اندیس معدنی مس سوناجیل در استان آذربایجان شرقی پرداختند [۱۰]. در این مطالعه از روش مغناطیس‌سنجی به منظور شناسایی پدیده‌های ساختمانی و بررسی ارتباط منشأ کانی‌سازی با توده‌های نفوذی، و از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه جهت شناسایی نواحی بی‌هنجار سطحی و بررسی عمقی آن‌ها استفاده شد. نتیجه مطالعات بیانگر وجود تطابق خوب بین خطواره‌های گسلی شناسایی شده است.

کلارک و همکاران (۲۰۰۴) برای افزایش کارایی روش مغناطیس‌سنجی در زمینه اکتشاف ذخایر IOCG مدل‌های مفهومی مغناطیس‌سنجی مختلفی را تهیه کردند. مدل‌های تهیه شده با توجه به نظرات زمین‌شناسان و همچنین مشخصات مغناطیس ایجاد شده در کانی‌سازی‌های مشابه می‌باشد [۱۱]. در این مدل‌ها تمام عوامل مختلف که می‌تواند میدان مغناطیس حاصل را تحت تاثیر قرار دهد در نظر گرفت شده است (مانند عملکرد تکتونیک و نوع ماگما، ترکیبات سنگ میزبان، عمق تشکیل و همچنین عمق آن بعد از فرسایش، عملکرد گسل خوردگی‌های بعد از تشکیل ذخیره، مغناطیس القایی در اثر سن سنگ‌شناسی و متامورفیسم در منطقه). بی‌هنجاری‌های مغناطیسی می‌تواند به صورت مستقیم ذخایر معدنی یا مناطق کانی‌سازی شده را مشخص کند. همچنین اثرات مغناطیسی ناشی از کانی‌زایی، همیشه دارای منشأ با مغناطیس‌پذیری بالایی نیستند و می‌تواند مناطقی با مغناطیس‌پذیری ضعیف هم نشان‌دهنده کانی‌زایی در

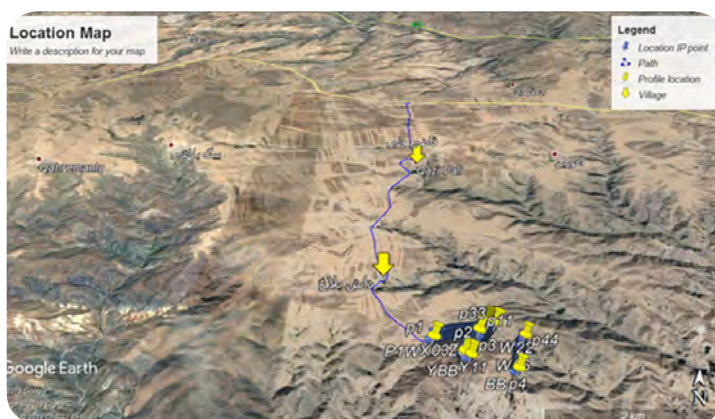
جاده اصلی ۷ کیلومتر است که با عبور از روستا داشکسن قابل دسترسی می باشد (شکل-۱).

با توجه به نقشه ۱:۱۰۰۰ زمین شناسی در شکل ۲، این محدوده به مساحت حدود ۲،۷ کیلومترمربع در ۱۸ کیلومتری غرب شهرستان میانه و در زون متالوژنی و کمر بند آتشفشانی ارومیه- دختر واقع شده است. در محدوده اکتشافی داشکسن سیستم های کانی زایی متعددی حضور دارند که این سیستم های کانی زایی در بردارنده و همراه با آلتراسیون های مختلفی هستند. کانی زایی های موجود در محدوده را به انواع رگه ای و کانی زایی احتمالی سیستم پورفیری می توان تقسیم بندی نمود. با توجه به حضور سیستم های کانی زایی مختلف که در مقوله های زمانی مختلفی رخ داده اند، لذا آلتراسیون های مختلفی نیز در مقاطع مختلف در محدوده گسترش یافته اند.

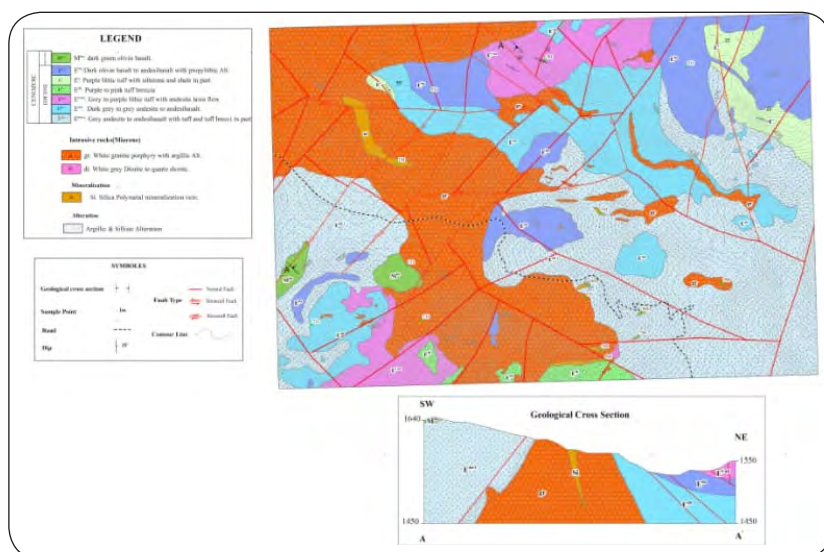
ژئوفیزیکی مورد مقایسه قرار گرفت [۱۶]. ملو و همکاران (۲۰۱۷)، به مطالعه ارتباط بین خواص فیزیکی حاصل از مدل سازی وارون دوبعدی و سه بعدی داده های مقاومت ویژه و مغناطیس سنجی و واحدهای زمین شناسی همراه با آهن، مس و سنگ میزبان پراختند. روش آن ها نتایج مطلوبی را در اکتشاف ذخایر (IOCG) در شمال برزیل ارائه داده است [۱۷].

۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی، شهرستان میانه و در نزدیک روستای داشکسن قرار گرفته است. روستای داشکسن در فاصله ۱۵ کیلومتری از شهرستان میانه، در جاده میانه-هشتگرد واقع شده است. فاصله محدوده مورد مطالعه از



شکل ۱- نقشه راه های دسترسی به محدوده مطالعاتی



شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده داشکسن

خصوصیات محدوده اکتشافی شامل درون گیر، دگرسانی، جایگاه تکتونیکی کنترل کننده‌های ساختمانی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی با مدل‌های کانی‌سازی موجود از تشابه کانی‌سازی منطقه با مدل کانی‌سازی طلای تپ اپی ترمال و مرتبط با توده‌های نفوذی فلسیک می‌باشد. مهم‌ترین عامل در کانی‌سازی این منطقه وابستگی کانی‌سازی به گسل‌های و رگچه و توده‌های نفوذی می‌باشد (شکل ۲).

۳- روش تحقیق

۳-۱- جایگاه روش مغناطیس در اکتشافات کانسارهای اپی ترمال، پورفیری و IOCG

در خصوص نقش اصلی محلول‌های هیدروترمال در حمل و تمرکز فلزات در این نوع کانسارها اتفاق نظر وجود دارد و کانی‌سازی در کانسار از سنگ دربرگیرنده جوان تر است. منشأ محلول‌های حامل کانه‌های فلزی را برخی حاصل شده از رسوبات و شوری بالای این محلول‌ها و عناصر Na و Cl موجود در آن‌ها را حاصل رسوبات تبخیری می‌دانند ولی وجود یک منبع ماگمایی به صورت توده نفوذی در عمق را به عنوان منبع حرارتی این محلول‌ها مطرح کرده‌اند محلول‌های گرم و با شوری بالا عناصر Au, Cu, Fe, K را از سنگ‌های محیط شسته و در مناطق برشی و فضاهای خالی گسل‌ها این محلول‌ها ته نشست می‌کند. گروهی نیز محلول‌های هیدروترمال را مستقیماً نشأت گرفته از توده‌های نفوذی می‌دانند و منشأ فلزات را نیز به آن‌ها نسبت می‌دهند و ارتباط تنگاتنگی بین محلول‌های شور، توده‌های نفوذی و پروسه آلبیتی شدن سنگ‌ها در راستای تکوین این‌گونه کانسارها قائل هستند و توده‌های ماگمایی را منشأ مس و محلول‌های شور دانسته که در صورت وجود سولفور به مقدار کافی در سنگ‌های اطراف و خروج گوگرد از سنگ‌های مسیر این محلول‌ها و ورود آن به محلول مرکزی از کالکوپیریت به صورت کانسار را محتمل می‌دانند و بنابراین بالا بودن گوگرد در سنگ‌ها جهت ایجاد کانسار را مهم می‌دانند. به هر حال به نظر می‌رسد که تحقیقات جدید بیشتر بر منشأ ماگمایی محلول‌های هیدروترمال مولد کانسار تاکید می‌کنند ولی ظاهراً این محلول‌ها شرایط فیزیکی و شیمیایی لازم جهت ایجاد درز و شکاف در سنگ‌های دربرگیرنده همانند آنچه در سیستم‌های پورفیری روی می‌دهد را دارا نیست و به سمت سنگ‌هایی با نفوذپذیری بالا و نواحی برشی و گسلی

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته در این محدوده اکتشافی، نهشته‌های ائوسن عموماً شیب به سمت شمال شرق دارند. این نهشته‌ها در محدوده اکتشافی به صورت توالی از سنگ‌های آتشفشانی بازیک تا میانه و سنگ‌های آذرآواری حد واسط دیده می‌شوند. نفوذ توده‌های حد واسط تا اسیدی با ترکیب دیوریت-کوارتز دیوریت و گرانیت پورفیری به صورت استوک‌های متعدد به ویژه در نیمه غربی و مرکزی محدوده، موجبات هورنفلسی شدن را در سنگ میزبان فراهم نموده است.

در محدوده اکتشافی دو سیستم شکستگی دیده می‌شود که روندهای شمال شرقی- جنوب غربی (N20-60E) شمال غرب- جنوب شرق (N20-80W) دارند. سیستم شکستگی شمال غربی- جنوب شرقی اصلی بوده و سیستم‌های دیگر به تبع آن تشکیل شده است. این روند شکستگی در جایگزینی توده‌های نفوذی، تشکیل کانی‌زایی رگه‌ای و همچنین ایجاد ساختارهای تکتونیکی نقش اصلی داشته است.

سیستم شکستگی شمال غرب- جنوب شرق همچنین سبب ارتفاع گرفتن واحدهای لیتولوژیک و تشکیل دره‌ها و رودخانه‌ها و در جابه‌جایی واحدهای سنگی و پیچ رودخانه‌ها شده است. تقریباً اکثر گسل‌های اصلی موجود در محدوده اکتشافی در این روند قرار گرفته و در تشکیل و توسعه دگرسانی‌ها به ویژه دگرسانی سوپرژن نقش بارزی داشته‌اند. غالب این گسل‌ها امتداد لغز می‌باشند.

دومین نوع گسل‌های منطقه راستای شمال شرقی- جنوب غربی دارند. این گسل‌ها جوان تر بوده و غالباً نرمال می‌باشند. به همین سبب و نیز در بلوکی شدن ارتفاعات نقش داشته و همچنین سبب توسعه آبراهه‌های شرقی- غربی شده‌اند.

با توجه به نفوذ توده گرانیت پورفیری و همچنین رگه‌های متعدد سیلیسی، انواع آلتراسیون‌های سریسیتی-سیلیسی، پروپیلیتی و همچنین آرژیلتی و سیلیسی در منطقه توسعه یافته است. آلتراسیون‌های سریسیتی-سیلیسی و آرژیلی عمدتاً در توده گرانیت پورفیری دیده می‌شود و این در حالی است که آلتراسیون پروپیلیتی در سنگ‌های ائوسن و همچنین آلتراسیون سیلیسی علاوه بر توده گرانیتی در حاشیه رگه‌های سیلیسی میزبان کانی‌زایی طلا و مولیبدن توسعه یافته استارزایی سطح فرسایش کنونی نسبت به سطح کانی‌سازی احتمالی (PHI) معرف بالا بودن سطح فرسایش و اهمیت بیشتر آنومالی‌های موجود است. مقایسه

موجود حرکت می‌کند [۱۸].

در کانسارهای IOCG توده‌های نفوذی نوع I و A وجود دارد. تنوع سنگ‌شناسی این توده‌ها زیاد است و در کانسارهای مختلف جنس سنگ‌ها از گرانیت تا گابرو می‌باشد. این سنگ‌ها عمدتاً از نوع آکالان می‌باشد لایه‌های قرمز (Red Beds) و تبخیری‌ها و دیگر سنگ‌های رسوبی نیز در این نوع کانسارها وجود دارند. کانی‌سازی فلزی در سنگ‌های ولکانیکی و گاهی سنگ‌های رسوبی و یا در سنگ‌های نفوذی روی می‌دهد. گسل‌ها و مناطق برشی از جمله مکان‌های مناسب جهت تمرکز ماده معدنی هستند. در کانسارهای نوع آهن‌دار، کانی‌های مگنتیت، هماتیت سیدریت، آپاتیت از جمله کانی‌های عمده هستند و نسبت Fe به Ti بیش از دیگر معادن آهن است. در کانسارهای مس و طلا دار (IOCG) علاوه بر کانی‌های فوق، کالکوپریت، بورنیت، پیریت، پیروتیت، کمی کالکوسیت و مقادیر کمتری از دیژنیت، مولیبدنیت، کوولیت، مس و نقره طبیعی، طلا، آرسنات‌های Co و Ni، وجود دارند. هماتیت در این نوع کانسارها از نوع اسپیکولاریت و مارتیت بوده و مگنتیت نیز با مقدار Ti پایین مشخص است. از جمله دیگر کانی‌های مهم در کانسارهای IOCG می‌توان از کانی‌های اورانیوم‌دار و عناصر نادر نظیر باستانزیت (کربنات سدیم و لانتانیم) و فلورزیت (فسفات سدیم و آلومینیوم) نام برد. کالکوسیت ثانویه در برخی از کانسارها که زون غنی شده در آن‌ها ایجاد شده باشد نیز وجود دارد، زون غنی شده اورانیوم نیز در برخی کانسارها ایجاد می‌شود [۱۲].

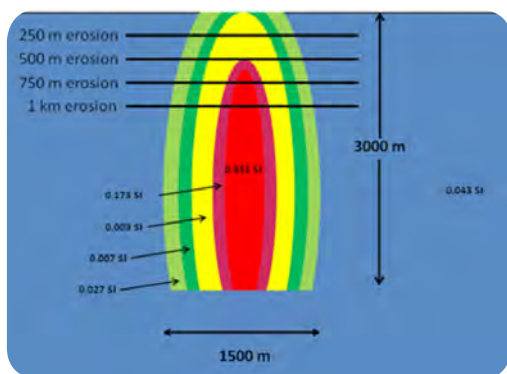
کانی‌های مس و طلا در متن اکسیدهای آهن به صورت پراکنده و یا رگه‌های ریز فضاهای خالی را پر کرده است. هماتیت از شکل ورقه‌ای-پولکی تا توده‌ای یا کروی شکل تغییر می‌یابد و جان‌شینی هماتیت به جای مگنتیت اکثر دیده می‌شود. برش‌ها ممکن است از آهن خالص تشکیل شود و یا حاوی رگه‌های آهن‌دار باشد.

عمده‌ترین آلتراسیون‌هایی که در کانسارهای IOCG روی می‌دهد آلتراسیون سدیک (آلبیتی)، پتاسیک و سربسیستی است. آلتراسیون آلبیتی عمدتاً بر اثر واکنش محلول‌ها با سنگ‌های مافیک در بخش عمیق تر کانسار ایجاد می‌شود. بر اثر واکنش‌های بین محلول‌ها و سنگ‌های مذکور، زون آلبیتی از عناصر k, Fe, U, S, عناصر نادر و اکثر فلزات تهی می‌شود. آلبیت عمده‌ترین کانی این آلتراسیون بوده و دیگر کانی‌ها نظیر اکتینولیت، آپاتیت، کلریت و مگنتیت در این زون می‌تواند وجود داشته باشد. این زون تا چند

کیلومتر هم ممکن است گسترش داشته باشد. آلبیتی شدن در حرارت ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه روی می‌دهد. آلتراسیون پتاسیک بر روی آلتراسیون آلبیتی قرار می‌گیرد و یا آن را قطع می‌کند این آلتراسیون شامل کانی‌های مگنتیت، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، آپاتیت و دیگر کانی‌ها از قبیل کلریت، اپیدت، آلبیت، هماتیت است. در صورت فلسیک بودن سنگ مادر مقدار فلدسپات پتاسیم در این زون افزایش خواهد داشت. پتاسیم ممکن است از KCl محلول‌های شور نیز در محیط وارد شود. در بخش‌های بالایی تر کانسار، آلتراسیون سربسیستی که شامل کانی‌های سربسیست، هماتیت، کربنات، باریت و فلورین است، تشکیل می‌شود، در صورتی که سنگ مادر با کلسیم بالا وجود داشته باشد کانی‌های تیپ اسکارنی مانند گارنت، کلینوپیروکسن و اسکاپولیت را نیز خواهیم داشت. آلتراسیون آرژیلی حاصل از فعالیت‌های سوپرژن در بخش سطحی برخی از کانسارها گزارش شده است.

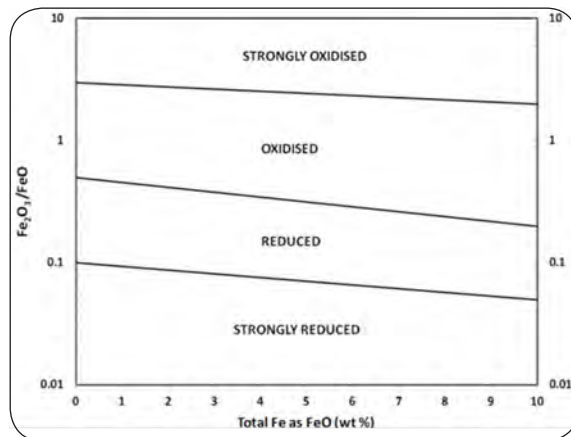
با توجه به اینکه این‌گونه کانسارها در زون‌های برشی و یا سیستم‌های گسلی متمرکز می‌یابد شناسایی این سیستم‌ها با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین عکس‌های ماهواره‌ای در مناطقی که جایگاه زمین‌ساختی این‌گونه کانسارها است (مانند نواحی ریفتی) از جمله راهکارهای اکتشاف این کانسارها در مقیاس منطقه‌ای است. ژئوفیزیک هوایی با اندازه‌گیری مغناطیسی و رادیومتری و تجزیه و تحلیل آنومالی‌های مغناطیسی می‌تواند راهگشای شناسایی این نوع کانسارها شود و یا آنومالی‌های K و U نیز جهت شناسایی زون‌های پتاسیک و یا مناطق تمرکز اورانیوم می‌تواند کمک کند. روش‌های ژئوفیزیک زمینی نظیر مغناطیس‌سنجی و IP نیز از روش‌های متداول است. جهت شناسایی توده‌های بزرگ هماتیتی نیز استفاده از روش گراویمتری کارساز خواهد بود [۱۲]. مدل‌های کانی‌سازی موجود از تشابه کانی‌سازی منطقه با مدل کانی‌سازی طلا ی تیپ اپی ترمال و مرتبط با توده‌های نفوذی فلسیک تبعیت می‌کند که مطابق این موضوع تفسیرهای بر این پایه استوار است. سنگ‌های آذرین در ارتباط با کانی‌سازی معدنی برحسب درصد کانی‌های آهن‌دار به چهار دسته قابل تفکیک می‌باشد (جدول-۱) (شکل-۳).

طبق مدل تهیه شده توسط کلارک و همکاران یک زون پتاسیک در عمق ۵۰۰ متر و با سطوح مختلف فرسایشی و همچنین میزان مختلف مغناطیس پذیری با توجه به درصد کانی‌های آهن‌دار و همچنین میزان نزدیکی به زون پتاسیک مشخص شده و در هر کدام از سطوح فرسایشی میزان میدان مغناطیس حاصله شده قابل اندازه‌گیری است (شکل-۴).



شکل ۴- مدل ارائه شده به صورت فرضی [۱۲]

در این مدل زون پتاسیک که در مرکز مدل قرار گرفته است از ماده معدنی غنی است و از نظر میزان مگنتیت بالا است و در حاله‌های اطراف زون پتاسیک میزان کانی مگنتیت کاسته شده و در نتیجه میزان مغناطیس پذیری کمتر و در نتیجه میدان نهایی هر چه از مرکز دور می‌شویم کاسته می‌شود. به زبان ساده‌تر هر چه از زون پتاسیک به سمت آلتراسیون‌های پروپیلیتیک پیش می‌رویم از میزان کانی‌های دارای خاصیت مغناطیسی کاسته می‌شود. میزان میدان مغناطیسی ایجاد شده از این مدل در حالت تبدیل به قطب برای سطوح مختلف فرسایشی محاسبه شده است (شکل-۵).

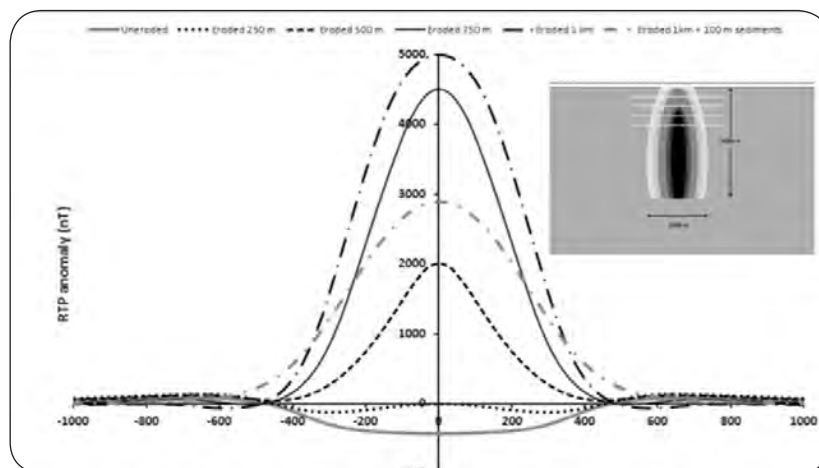


شکل ۳- درصد اکسید آهن و تقسیم بندی ارائه شده [۱۲]

جدول ۱- تقسیم بندی کانی سازی مس گرمایی بر حسب اکسید آهن [۱۲]

کانی شناسی	میزان اکسیداسیون
مگنتیت و هماتیت	اکسیداسیون بسیار قوی
مگنتیت و ایلمینت	اکسیده شده
ایلمینت بدون مگنتیت	میزان ضعیف اکسیداسیون
ایلمینت و پیروتیت	میزان بسیار پایین

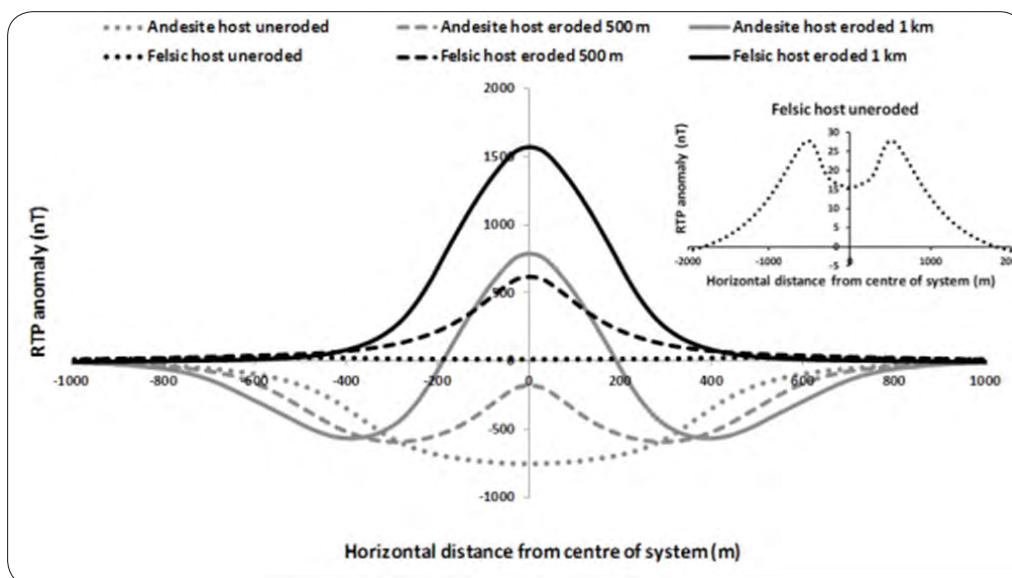
میزان کانی‌های آهن‌دار در این نوع کانی‌سازی به میزان بسیار بالایی تعیین کننده است به طوری که محلول‌های گرمایی مرتبط با کانی‌سازی مس که دارای درصد بالایی طلا است میزان کانی‌های آهن‌دار بیشتری نسبت به کانی‌سازی مس فقیر از طلا دارد. به طوری که در صورت فراوانی مگنتیت در هسته زون پتاسیک درصد طلا در کانی‌سازی مس اپی ترمال به بیش از ۰/۴ گرم بر تن خواهد رسید [۲۰، ۱۹].



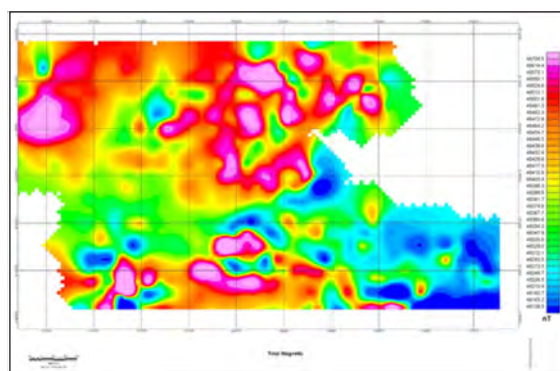
شکل ۵- میزان تغییرات میدان در سطوح فرسایش مختلف [۱۲]

آنومالی مغناطیس بخش‌هایی از منطقه که دارای پتانسیل کانی زایی است مورد برداشت داده‌های مقاومت ویژه و قطبش‌لقایی قرار گیرد. بعد از حذف اثر میدان (IGRF) نقشه حاصل به صورت شکل (۸) می‌باشد.

این پروفیل مغناطیس برای سنگ‌های میزبان مختلف می‌تواند متفاوت باشد به طوری که در نمودار زیر مشخص شده است برای سنگ میزبان کوارتزی این مقدار برای مقدار ضرایب خودپذیری متفاوت است و می‌تواند باز خورد متفاوتی را نشان دهد (شکل ۶). به طور کلی برای سنگ‌های میزبان مافیک تا حد واسط اثر مغناطیس مشاهده‌ای مانند شکل (۵) خواهد بود.



شکل ۶- میزان تغییرات میدان در سطوح فرسایش ثابت و سنگ میزبان متغیر [۱۲].



شکل ۷- نقشه بی‌هنجاری‌های پسماند منطقه

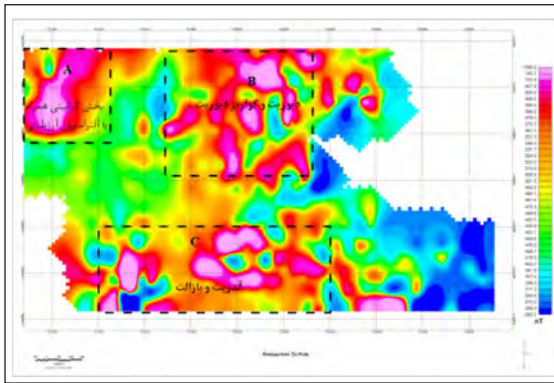
یکی از مراحل مهم در تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی، اعمال فیلتر برگردان به قطب داده‌های مغناطیس‌سنجی می‌باشد. اگر کره زمین یک کره همگن فرض شود، خطوط نیروی مغناطیسی آن، در نزدیک استوای مغناطیسی (Magnetic equator) به صورت افقی و به تدریج با زیاد شدن عرض و نزدیک شدن، به قطب مغناطیسی (Magnetic Pole) انحراف پیدا می‌کند. تا اینکه در قطب مغناطیسی به صورت قائم در می‌آید. بنابراین اثر مغناطیسی

۳-۲- تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی

بعد از انجام تصحیحات روزانه در نرم افزار Excel مختصات نقاط مقدار میدان ثبت شده در هر نقطه قرار داده شد که این فایل به عنوان ورودی نرم‌افزار GeoSoft استفاده شد. میدان مغناطیسی هر نقطه نشان دهنده میدان کل زمین است که این میدان شامل اثر ناحیه‌ای و اثر محلی در هر نقطه است. نقشه میدان کل زمین می‌تواند یک دید کلی از روند تغییرات میدان در منطقه را به ما بدهد. این نقشه نمی‌تواند در مورد محل ساختار زمین‌شناسی نتایجی را در اختیار ما قرار دهد، این نقشه می‌تواند به صورت کیفی بالا و یا پایین بودن میدان در قسمت‌های مختلف را نشان می‌دهد. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل برای محدوده مورد مطالعه در شکل (۷) ارائه شده است.

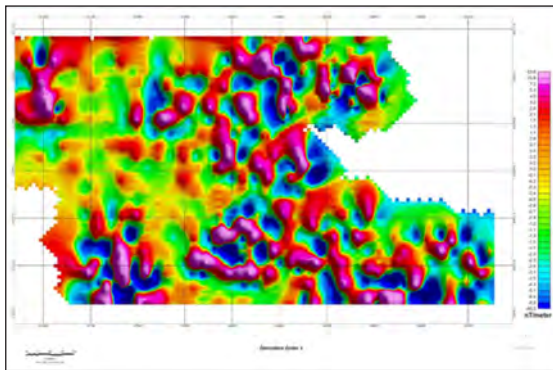
در محدوده مورد نظر بیشینه تغییرات میدان ۴۹۵۴۴ و کمترین مقدار میدان ۴۷۷۴۰ نانو تسلا است. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه و مشاهدات صحرایی و روند و گسترش

با توجه به مقطع زمین‌شناسی تهیه شده کانی‌زایی به صورت بافت پورفیری در توده گرانیتی و در ارتباط با آلتراسیون‌های سیلیسی و آرژبیلیتی صورت گرفته است. به نظر می‌رسد میدان ایجاد شده به وسیله گرانیت‌ها بسیار پایین‌تر از تغییرات ثبت شده بر روی بازالت‌ها و به طور کلی سازند با سن ائوسن منطقه است. وجود شرایط مساعد توده‌های نفوذی آندزیتی بازالتی گرانیتی‌ها و گسل‌های متعدد منطقه سبب ایجاد کانی‌زایی خوبی در بخش‌هایی که عملکرد این مجموعه سبب ایجاد آلتراسیون‌های سیلیسی نموده کرده است. در شکل (۱۰)، موقعیت مناطق مستعد کانی‌زایی از نظر زمین‌شناسی در روی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیس‌سنجی مشخص شده است.

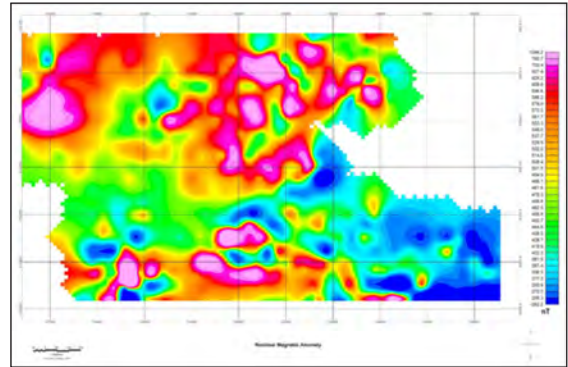


شکل ۱۰- موقعیت مناطق مستعد از نظر زمین‌شناسی با نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیس‌سنجی

همچنین استفاده از فیلتر گرادیان قائم میدان پتانسیل نیز نقش مهمی در بارسازی ساختارهای زیرسطحی دارد و سبب وضوح بهتر اشکال بی‌هنجار به‌ویژه در لبه‌های آن‌ها خواهد شد [۲۱]. بی‌هنجاری که در محدوده جنوبی نقشه‌های میدان پسماند و نقشه برگردان به قطب آشکار شده بود، در نقشه گرادیان قائم مرتبه یک و دو نیز به‌خوبی آشکار شده است (شکل ۱۱).

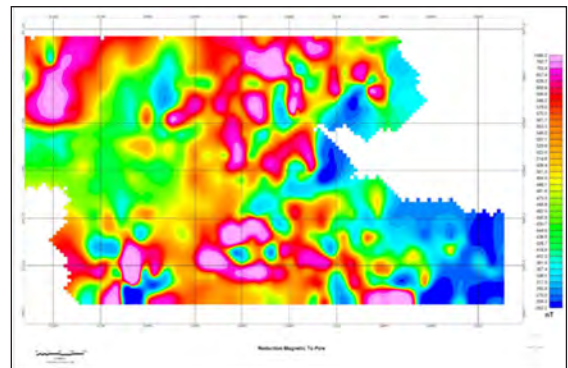


شکل ۱۱- نقشه گرادیان قائم اول



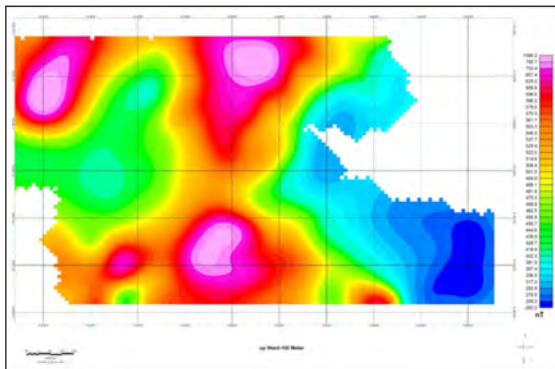
شکل ۸- نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در منطقه

زمین در عرض‌های مختلف به علت داشتن زاویه میل متفاوت، مختلف خواهد بود. از طرف دیگر چون شمال مغناطیسی درست بر شمال جغرافیایی منطبق نیست، در طول‌های مختلف زاویه انحراف تغییر خواهد کرد و در اثر آن شدت میدان تغییر می‌کند. نقشه برگردان به قطب برای محدوده مورد مطالعه در شکل (۹) ارائه شده است. برتری مهم نقشه برگردان به قطب این است که محل پیکره‌های بی‌هنجار در این نقشه به مراتب به محل واقعی آن‌ها نزدیک‌تر و دقیق‌تر است.

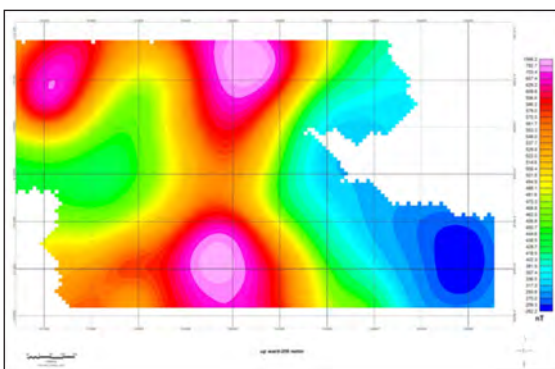


شکل ۹- نقشه برگردان به قطب

همان‌طور که توضیح داده شد در نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیس‌سنجی بی‌هنجاری‌ها نسبت به شمال جایگاهی دارند و به مکان اصلی خود نزدیک‌تر خواهد شد. در بخش مرکزی نقشه بیشتر حجم توده‌های نفوذی را داریم که این توده‌های نفوذی با توجه به وجود اکسیدهای آهن میزان مغناطیس‌پذیری بالایی را در برخی قسمت‌ها از خود نشان می‌دهد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی میزان میدان بالای مغناطیسی بیشتر به توده‌های آندزیتی و خصوصاً بازالتی و در برخی قسمت بر روی توده‌های گرانیت فاقد هوازدگی و آلتراسیون شدید دیده می‌شود.



شکل ۱۴- نقشه ادامه فراسو ۱۰۰ متر

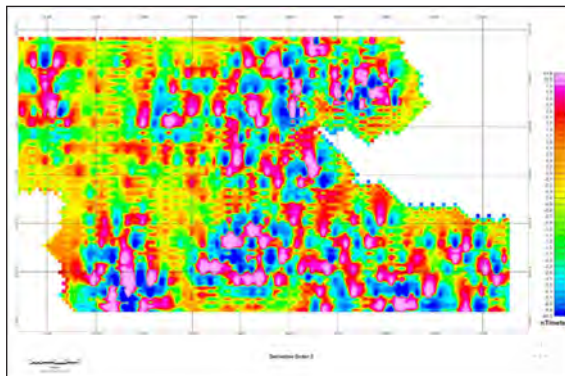


شکل ۱۵- نقشه ادامه فراسو ۲۰۰ متر

فیلتر سیگنال تحلیلی اولین بار توسط نبیعیان (۱۹۷۲) برای اجسام دو بعدی و به صورت ترکیب گرادیان‌های افقی و قائم میدان تعریف شده است. این فیلتر در مواردی که داده‌ها دارای نوفه کمتری باشند بیشتر کاربرد دارد [۲۳]. تعیین گوشه‌های آنومالی با استفاده از دامنه سیگنال تحلیلی که مقدار ماکزیمم این دامنه محل گوشه‌های آنومالی را در روی نقشه‌ها مشخص می‌کند. نقشه سیگنال تحلیلی برای محدوده مورد مطالعه در شکل (۱۶) ارائه شده است. از این نقشه می‌توان برای تعیین مرز آنومالی استفاده نمود. همان‌گونه که در شکل (۱۶) پیداست، بی‌هنجاری‌های بالادری این نقشه نیز دارای مقدار گرادیان کل بالایی هستند. در بعضی نقاط مانند ناهنجاری که عمق ناهنجاری بیشتر است مقدار گرادیان کل به طور نسبی کاهش یافته است. در نقشه سیگنال تحلیلی محل‌های آنومالی‌ها به محل اصلی خود نزدیک‌تر می‌شود و به اصطلاح مرکز آنومالی و شکل توده تا حدود زیادی مشخص می‌گردد.

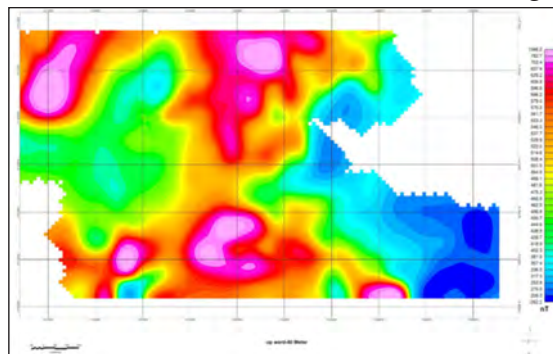
فیلترهایی که در پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی مورد استفاده قرار گرفته است، روند تغییرات و ساختارهای زمین‌شناسی را مشخص کرده‌است و با استفاده از نقشه‌ی

به عبارت دیگر وجود یک بی‌هنجاری توسط هر سه نقشه تایید می‌گردد. همچنین با توجه به درجه گرادیان، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی بخش مرکزی و شمالی از همه بخش‌ها عمیق‌تر است و از توده‌های ریشه‌دار منطقه است (شکل ۱۲). یا به‌طور کلی گرانیتهای در بخش شمالی و در برخی از مناطق جنوبی و مرکز دارای عمق و ریشه مناسبی جهت ایجاد شرایط کانی‌سازی را دارند.

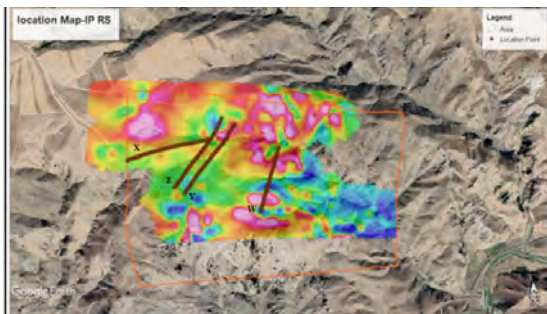


شکل ۱۲- نقشه گرادیان قائم دوم

یکی از فیلترهای بسیار مهم در تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی، فیلتر ادامه فراسو می‌باشد. در این روش تحلیلی، داده‌های میدان پتانسیل از یک سطح مینا به روش ریاضی بر روی سطوحی دیگر در بالای سطح مینای اصلی محاسبه می‌شوند تا بدین ترتیب اثرات آنومالی‌های سطحی بر روی داده‌ها، کم‌رنگ‌تر گشته و اثرات آنومالی‌های عمیق‌تر تقویت گردند. بنابراین این روش مشابه یک فیلتر پایین‌گذر است که با حذف (کاهش) اثرات سطحی سبب هموارسازی داده‌ها می‌گردد [۲۲]. با توجه به موقعیت نواحی بی‌هنجار که در شکل (۱۰) مشخص شده است همان‌طور که در نقشه‌های ادامه فراسو شکل (۱۳)، (۱۴) و ۱۵ مشاهده می‌شود اثرات ناشی از ساختارهای بی‌هنجار در سطوح ارتفاعی متفاوت قابل مشاهده است.



شکل ۱۳- نقشه ادامه فراسوی ۵۰ متر



شکل ۱۸- موقعیت برداشت پروفیل‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه

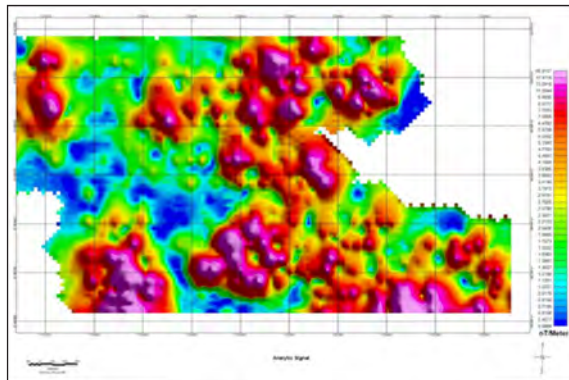
دارند و بیشترین حجم رخنمون‌ها در اطراف این توده عمیق قرار دارد. با توجه به شکل (۱۸) در منطقه شماره ۱، سه پروفیل و در منطقه شماره ۲، یک پروفیل جهت برداشت طراحی شده است.

۳-۳- تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی

تاکنون نرم افزارهای مختلفی به منظور مدل‌سازی معکوس داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری آرایش شده که در این گزارش از نرم‌افزار RES2DINV استفاده گردیده است. با توجه به بازدیدهای زمین‌شناسی صورت گرفته از منطقه و برداشت مگنتومتری پروفیل‌ها مشخص شده است و به‌عنوان مناطق پتانسیل‌دار انتخاب شد که این مناطق در ۴ پروفیل با مشخصات موجود در جدول (۲) مورد برداشت ژئوالکترونیک قرار گرفت.

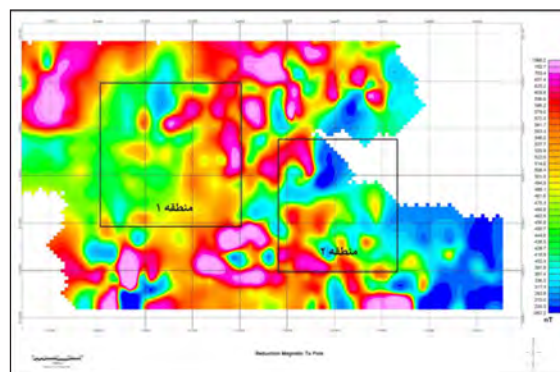
۳-۳-۱- قطبی-دوقطبی W

بر روی این پروفیل، برداشت‌ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر، پرش جریان ۱۰ متر و پرش پتانسیل ۲۰ متر و تا ماکزیمم ۱۱ پرش $n=11$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش از جنوب غرب بوده و اندازه‌گیری به سمت شمال شرق ادامه یافته



شکل ۱۶- نقشه سیگنال تحلیلی

زمین‌شناسی و تلفیق نتایج به‌دست آمده، دو منطقه برای انجام عملیات ژئوالکترونیک در نظر گرفته شده است (شکل ۱۷). مهم‌ترین و مستعدترین منطقه شماره ۱ می‌باشد. این منطقه مطابق نقشه زمین‌شناسی در بخش جنوب شرقی روستای داشکسن قرار دارد.



شکل ۱۷- مناطق تعیین شده بر روی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیس‌سنجی

جدول ۱- مشخصات برداشت‌های قطبی-دوقطبی

تعداد نقاط	محدوده	نام پروفیل	روند	A	B	MN	پرش	تعداد پرش
۲۷۰	داشکسن	W	SW → NE	∞	-20	20	10	11
۳۳۷	داشکسن	Y	SW → NE	∞	-20	20	10	10
۲۵۰	داشکسن	Z	SW → NE	∞	-20	20	10	11
۲۱۷	داشکسن	X	SW → NE	∞	-20	20	10	12

و از نظر تغییرات میدان در بخش‌هایی شاهد تخلیه میدان مغناطیسی هستیم. مطابق نقشه‌های ادامه فراسویک توده نفوذی نسبتاً عمیق در شرق این منطقه قرار دارد که این توده‌ها اصلی‌ترین نقش را در کانی‌زایی منطقه ایفا کرده‌اند مناطق اولویت‌دار انتخاب شده در محدوده بیشتر در اطراف این توده قرار

است. طول این پروفیل ۵۵۰ متر می‌باشد. به این ترتیب جمعاً ۲۷۰ ایستگاه بر روی هر پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ولت به ولت (mV/V) و مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم متر ($\Omega.m$) اندازه‌گیری شده است.

شکل (۱۹) مشخص است سطح بیشتر بخش منطقه از واحد آندزیت و بازالت با مقاومت ویژه متوسط تا پایین تشکیل شده است و حداکثر عمق نفوذ جریان به ۱۰۰ متر رسیده است و در برخی نقاط با پیش روی گسل خوردگی‌ها تغییرات مقاومت ویژه کامل بارزی را شاهد هستیم. در مقطع تهیه شده تغییرات مربوط به میدان مغناطیسی بر روی این مقطع نشان داده شده است که با توجه به نقشه زمین‌شناسی و همچنین مقطع سطحی تهیه شده میزان بالای میدان مغناطیسی بر روی آندزیت‌ها و بازالت‌ها قرار دارد و در بخش گسل خوردگی با توجه به آلتراسیون و به هم ریختگی تکتونیکی میزان میدان مغناطیسی روند کاهشی به خود گرفته است. به نظر می‌رسد در ۲۰۰ متری و ۴۰۰ متری مقطع نقاط مناسبی جهت حفاری است که در بخش نتیجه‌گیری جانمایی نقاط مشخص خواهد شد.

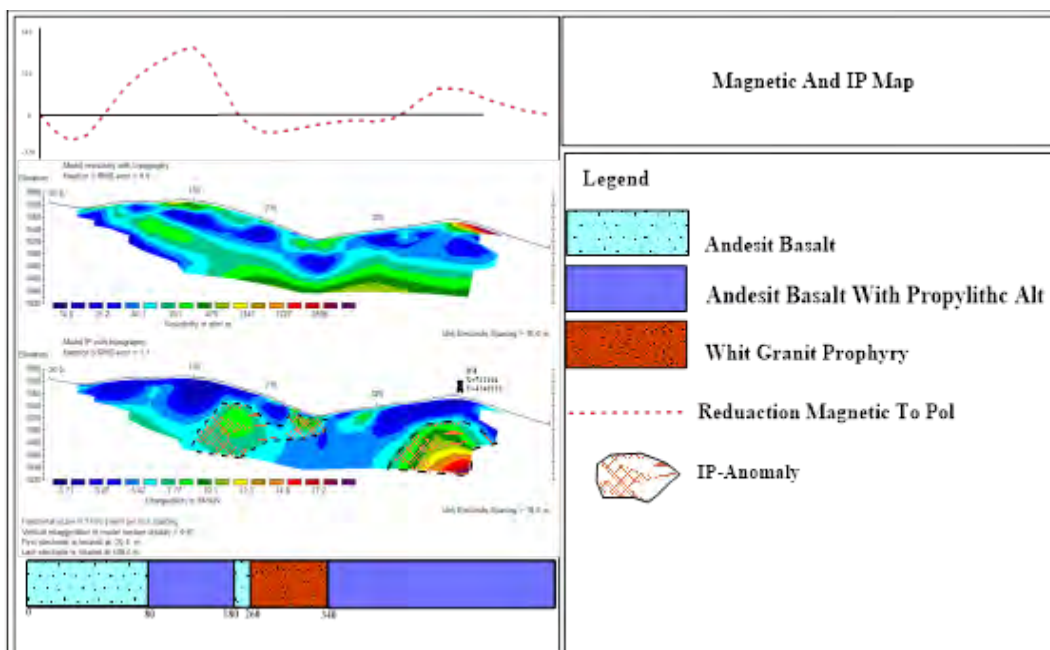
۲-۳-۳- قطبی-دوقطبی Y

بر روی این پروفیل، برداشت‌ها با فاصله الکترودی ۲۰ متر، پرش جریان ۱۰ متر و پرش پتانسیل ۲۰ متر و تا ماکزیمم ۱۱ پرش $n = 11$ برای MN انجام شده است. شروع این آرایش از جنوب غرب بوده و اندازه‌گیری به سمت شمال شرق ادامه یافته است. طول این پروفیل ۵۰۰ متر می‌باشد. به این ترتیب جمعاً ۲۳۷ ایستگاه بر روی پروفیل برداشت شده است. بخشی از این مقاطع

در سرتاسر این مقطع تغییرات شارژپذیری از مقادیر بسیار پایین تا متوسط دیده می‌شود. مقادیر شارژپذیری کمینه از ۱ میلی ولت بر ولت آغاز شده و تا مقادیر ۱۲ میلیولت بر ولت ادامه دارد. با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار، مقادیر بزرگتر از ۵ به عنوان زون ناهنجاری در نظر گرفته شد.

همچنین، در این مقطع به طور کلی مقادیر پایین تا متوسط از مقادیر مقاومت ویژه (۱۰ تا ۵۰ اهم متر) در طول پروفیل دیده می‌شود. در هر دو شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژپذیری علاوه بر مقادیر پایین ناهنجاری، روند خاصی نیز مشاهده نمی‌شود.

پروفیل W این پروفیل در بخش شرقی منطقه و در کنار یک دره با روند جنوبی غربی-شمال شرقی است در تغییرات لیتولوژی این پروفیل آندزیت و بازالت و گرانیت به عنوان توده‌های نفوذی دارای مقدار میدان مغناطیسی متغیری هستند. مطابق مقطع زمین‌شناسی در این محدوده کانی‌زایی بافت پورفیری در داخل گرانیت وجود دارد و گرانیت با شیب زیاد در کنار لایه‌های لیتولوژی دیگر قرار گرفته است. در برخی از قسمت‌ها آندزیت و بازالت‌ها دچار آلتراسیون شدیدی شده‌اند. که در برخی از این آلتراسیون‌ها به میزان کمی مقدار بارپذیری افزایش یافته است. البته میزان شارژپذیری در بخش گرانیتی بیشتر است و به نوعی آنومالی قوی‌تری را از خود نشان داده است. همان‌طور که از نقشه



شکل ۱۹- نقشه مربوط به داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی پروفیل W به همراه تغییرات میدان مغناطیسی منطبق بر پروفیل و مقطع زمین‌شناسی

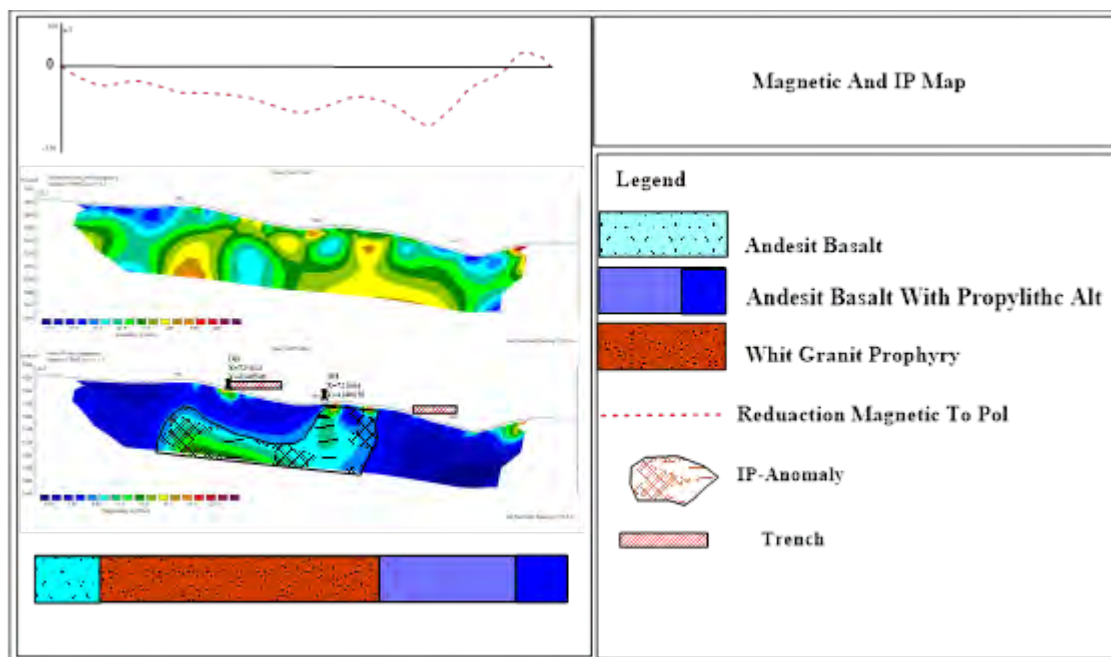
مغناطیسی بر روی این مقطع نشان داده شده است که با توجه به نقشه زمین‌شناسی و همچنین مقطع سطحی تهیه شده در شکل (۲۰)، میزان بالای میدان مغناطیسی بر روی آندزیت‌ها و بازالت‌ها قرار دارد و در بخش گسل خوردگی با توجه به آلتراسیون و به هم ریختگی تکتونیکی میزان میدان مغناطیسی روند کاهشی به خود گرفته است.

۳-۳-۳- قطبی-دوقطبی Z

مطابق شکل (۱۸)، شروع این آرایش از جنوب غرب بوده و اندازه‌گیری به سمت شمال شرق ادامه یافته است. طول این پروفیل ۶۰۰ متر می‌باشد. به این ترتیب جمعاً ۲۵ ایستگاه بر روی پروفیل Z برداشت شده است. همچنین، در این مقطع به طور کلی مقادیر پایین تا متوسط از مقادیر مقاومت ویژه (۱۰ تا ۵۰ اهم متر) در طول پروفیل دیده می‌شود. در هر دو شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژپذیری علاوه بر مقادیر پایین ناهنجاری، روند خاصی نیز مشاهده نمی‌شود. شکل (۲۱). با توجه به مقطع زمین‌شناسی در شکل (۲۱)، تغییرات لیتولوژی در منطقه از آندزیت بازالت و گرانیت تشکیل شده است. پروفیل Z بر روی توده گرانیتی برداشت شده است که میزان تغییرات میدان مغناطیسی در این پروفیل کم است و بیشینه مقدار میدان بر روی توده آندزیت و بازالت است که ۱۴۰ نانوتسلا می‌باشد. میزان مقاومت ویژه گرانیت

در زمین کشاورزی قرار دارد که این امر موجب کاهش میزان مقاومت عمق نفوذ و افزایش شارژپذیری خواهد شد. به همین علت میزان تغییرات مقاومت ویژه در این مقطع پایین‌تر است. همچنین، در این مقطع به طور کلی مقادیر پایین تا متوسط از مقادیر مقاومت ویژه (۱۰ تا ۵۰ اهم متر) در طول پروفیل دیده می‌شود. در هر دو شبه مقطع مقاومت ویژه و شارژپذیری علاوه بر مقادیر پایین ناهنجاری، روند خاصی نیز مشاهده نمی‌شود. بیشترین مقدار مقاومت ویژه در توده گرانیتی ثبت شده است که در قسمت‌هایی از این توده گرانیتی میزان بالایی شارژپذیری نیز وجود دارد.

پروفیل Y این پروفیل در بخش مرکزی منطقه و در انتها به یک دره با روند شمال غرب جنوب شرقی می‌رسد. در بخش مرکزی مقطع چندین ترانشه هم جهت با پروفیل برداشتی حفر شده است که در مقطع محل پروفیل‌ها مشخص شده است. در مقطع درست بر روی سازند گرانیتی میزان مقاومت ویژه افزایش یافته است و عمق توده گرانیتی تا ۱۰۰ متری قابل ردیابی است در داخل توده گرانیتی که میزان میدان مغناطیسی آن بسیار پایین است میزان قابل توجه‌ای تغییرات شارژپذیری را شاهد هستیم که احتمالاً به کانی‌سازی منطقه وابسته باشد. در اطراف توده گرانیتی دو گسل خوردگی یا تغییر سازندی وجود دارد که در نقشه‌ها مشخص شده است. در مقطع تهیه شده تغییرات مربوط به میدان



شکل ۲۰- نقشه مربوط به داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی پروفیل Y به همراه تغییرات میدان مغناطیسی منطبق بر پروفیل و مقطع زمین‌شناسی

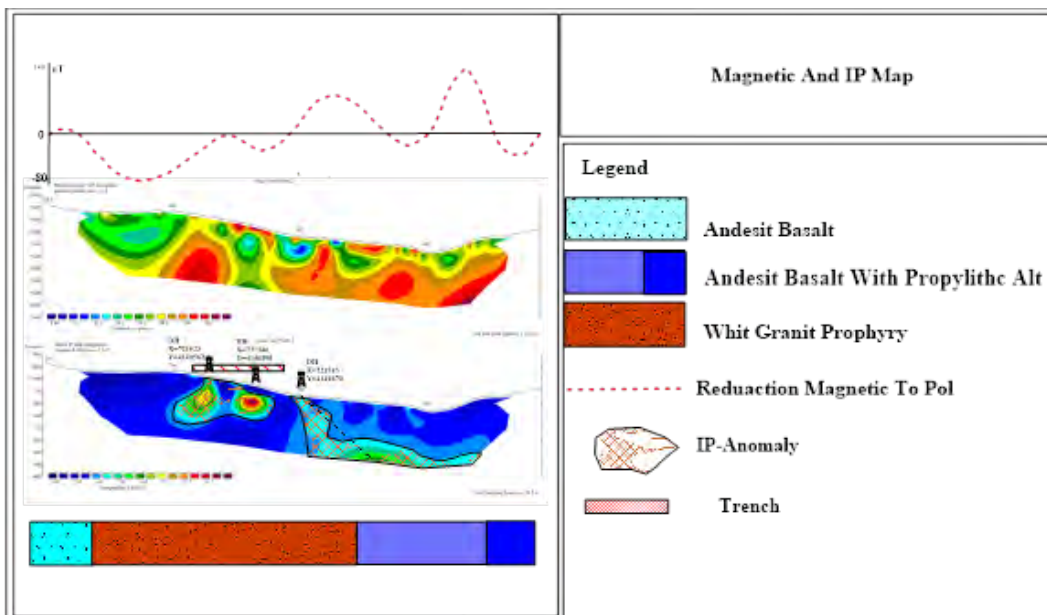
و اندازه‌گیری به سمت جنوب غرب ادامه یافته است. طول این پروفیل ۵۵۰ متر می‌باشد. همچنین، با توجه به مقطع مقاومت ویژه در شکل (۲۲)، در این مقطع مقادیر مقاومت ویژه نشان از وجود گسل خوردگی در مجاورت توده گرانیتی و همچنین در بخش مرکزی دارای به هم ریختگی ساختاری شدیدی است که سبب کاهش مقاومت ویژه توده گرانیتی به میزان قابل ملاحظه‌ای شده است.

پروفیل X در بخش انتهایی جنوب غربی منطقه و در بخشی از زمین‌های کشاورزی واقع شده است از نظر تغییرات زمین‌شناسی بر روی توده گرانیتی قرار دارد. محدوده IP نسبتاً بالایی در بخش مرکزی ثبت شده است که در این بخش‌ها آثاری از کانی‌زایی وجود دارد. همان‌طور که از نقشه کاملاً مشخص است پروفیل از واحد گرانیتی با مقاومت ویژه متوسط تا بالا تشکیل شده است و حداکثر عمق نفوذ جریان به ۱۰۰ متر رسیده است بیشترین میزان شارژ‌پذیری ثبت شده در فاصله ۳۰۰ متری پروفیل است که حدوداً در عمق ۳۰ متری واقع شده است و در چند بخش میزان شارژ‌ضعیفی به صورت سطحی ثبت شده است که در همان بخش ترانشه‌هایی حفر شده است. با توجه به شرایط موجود به نظر می‌رسد شارژ‌های ثبت شده و وجود توده گرانیتی مهم‌ترین ردیاب کانی‌سازی می‌باشد. میزان تغییرات میدان مغناطیسی در انتهایی پروفیل افزایشی است که با توجه به نقشه زمین‌شناسی در

در این پروفیل کمتر از پروفیل قبلی است و نشان از آلتراسیون با درجه بالاتر این پروفیل می‌باشد. در این پروفیل یک ترانشه حفر شده است که در این ترانشه‌ها به صورت سطحی مقداری شارژ‌پذیری ثبت شده است که در عمق میزان شارژ افزایش پیدا می‌کند. در انتهای پروفیل در عمق ۸۰ متری یک روند افزایشی میزان شارژ باز شده است که در ارتباط با مقاومت ویژه حد متوسط است و نیاز به بررسی و حفاری عمیق دارد تا مشخص شود این تغییرات مربوط به کانی‌سازی یا توف‌های موجود در عمق و یا رسوبات سطحی است. همان‌طور که از نقشه در شکل (۲۱) مشخص است مرکز پروفیل از گرانیتی با مقاومت ویژه متوسط تا بالا تشکیل شده است و حداکثر عمق نفوذ جریان به ۱۰۰ متر رسیده است و در برخی نقاط با پیش روی گسل خوردگی‌ها تغییرات مقاومت ویژه کاملاً بارزی مشاهده می‌شود. در مقطع تهیه شده تغییرات مربوط به میدان مغناطیسی بر روی این مقطع نشان داده شده است که با توجه به نقشه زمین‌شناسی و همچنین مقطع سطحی تهیه شده میزان بالای میدان مغناطیسی بر روی آندزیت و بازالت قرار دارد و در بخش گسل خوردگی با توجه به آلتراسیون و به هم ریختگی تکنونیک می‌زان میدان مغناطیسی روند کاهشی به خود گرفته است.

۳-۴-۳- قطبی-دوقطبی X

مطابق شکل (۱۸)، شروع این آرایش از شمال شرق بوده



شکل ۲۱- نقشه مربوط به داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی پروفیل Z به همراه تغییرات میدان مغناطیسی منطبق بر پروفیل و مقطع زمین‌شناسی

۵- نتیجه گیری

کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی و شناسایی منابع سولفور، از تکنیک‌های مناسب در پروژه‌های اکتشافی می‌باشد. به کارگیری روش مقاومت ویژه و قطبش القایی برای شناسایی منابع سولفور و به خصوص فلزات پایه بسیار رایج و متعارف است.

با توجه به مطالعات ۱:۱۰۰۰ زمین‌شناسی و برداشت مغناطیس‌سنجی مناطقی جهت انجام عملیات ژئوفیزیکی مشخص شد. نظر به ارتباط کانی‌سازی با گسل‌های و توده‌های عمیق، فقط از آرایش قطبی-دوقطبی برای اکتشاف ژئوفیزیکی رگه استفاده شد. بدین ترتیب محدوده با ۴ پروفیل قطبی-دوقطبی مورد مطالعه قرار گرفت. بنابر این نظر به شرایط خاص ژئومورفولوژی محدوده و تیپ کانی‌زایی برداشت‌های با آرایش دو قطبی-دوقطبی در این محدوده انجام نشد. طول و آزیموت پروفیل‌های برداشتی با آرایش قطبی-دوقطبی طوری طراحی شد تا رگه مورد نظر را قطع و با شرایط تغییرات مغناطیسی همخوانی لازم را داشته باشد.

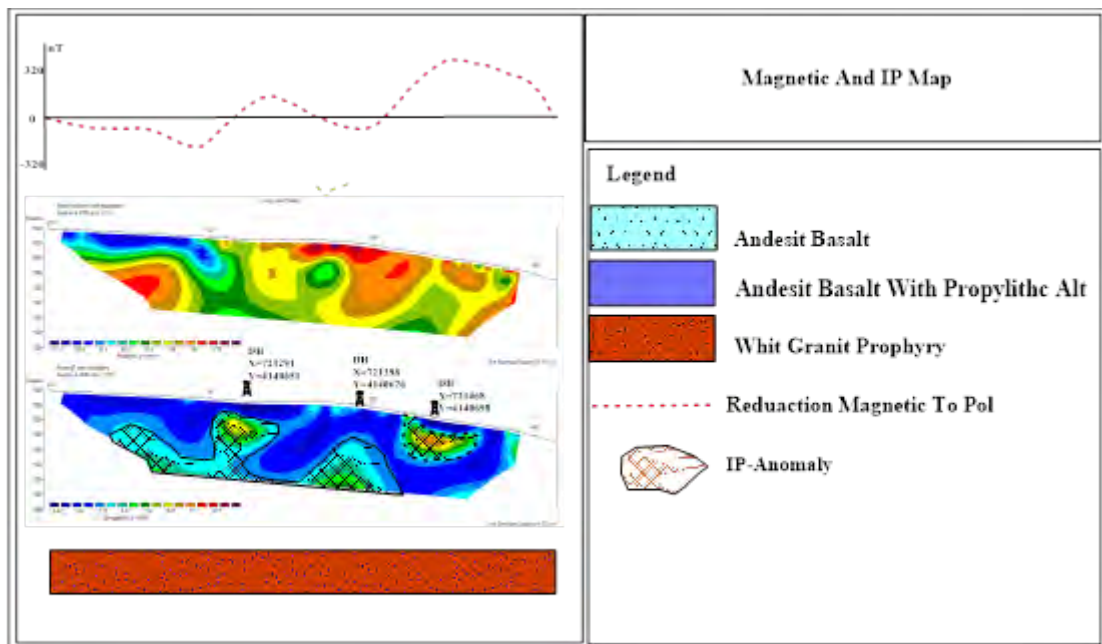
مطالعات انجام شده در این محدوده، از نقطه نظر مقادیر ناهنجاری شارژپذیری متوسط تا بسیار بالا بوده و در بیشتر مواقع از روند خاصی تبعیت می‌کند. در این منطقه تمرکز کانی‌زایی در بخش مرکزی و شمال شرقی منطقه است که از ساختار گسل و

این بخش آثاری از توده‌های آندزیت و بازالت وجود دارد. و میزان مقاومت ویژه نیز افزایش یافته است.

پروفیل Z و Y، با توجه به شکل ۱۸، از نظر موقعیت مکانی در کنار یکدیگر قرار دارند و از نظر محل آنومالی با روند یک گسل شمالی شرق-جنوب غرب منطبق است و این زون می‌تواند حائز اهمیت باشد. این پروفیل تمام شرایط مربوط به کانی‌سازی طلا را به خوبی دارد میزان شارژپذیری در این بخش در بخش گرانیتهی منطقه و همچنین میزان شارژپذیری به میزان قابل توجه ای با مقاومت بالای منطقه در ارتباط است.

پروفیل X، کاملاً بر روی توده گرانیتهی می‌باشد که با توجه به مشاهدات سطحی نیز در این بخش آثاری از کانی‌زایی وجود دارد.

مقطع سطحی تهیه شده در پروفیل W، میزان بالای میدان مغناطیسی بر روی آندزیت‌ها و بازالت‌ها قرار دارد و در بخش گسل خوردگی با توجه به آلتراسیون و به هم ریختگی تکتونیکی میزان میدان مغناطیسی روند کاهشی به خود گرفته است. به نظر می‌رسد در ۲۰۰ متری و ۴۰۰ متری مقطع نقاط مناسبی جهت حفاری است. ولی به علت پایین بودن مقدار مقاومت ویژه به نسبت بسیار زیاد ممکن است این مقدار تغییرات شارژپذیری مربوط به کانی‌سازی نباشد.



شکل ۲۲- نقشه مربوط به داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی پروفیل X به همراه تغییرات میدان مغناطیسی منطبق بر پروفیل و مقطع زمین‌شناسی

توده نفوذی تبعیت می‌کند. این مقدار ناهنجاری نشان از وجود کانی‌زایی را در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد که از نظر کیفیت و کمیت نیاز به حفاری دارد. به این منظور، تعداد ۹ نقطه حفاری برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از عملیات ژئوفیزیک در چهار پروفیل پیشنهاد شده است که به‌صورت جداگانه در جدول‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۲- نقاط حفاری پیشنهادی در پروفیل Z

No	اولویت	X	Y	آزیموت	عمق	شیب
DH-1	۱	۷۲۳۵۴۶	۴۱۶۰۵۹۸	---	۴۰	۹۰
DH-2	۲	۷۲۳۵۲۳	۴۱۶۰۵۶۲	----	۶۰	۹۰
DH-3	۳	۷۲۳۵۸۵	۴۱۶۰۶۷۰	N30E	۱۴۰	۵۰

جدول ۳- نقاط حفاری پیشنهادی در پروفیل X

No	اولویت	X	Y	آزیموت	عمق	شیب
DH-1	۱	۷۲۳۴۶۸	۴۱۶۰۶۹۸	----	۶۰	۹۰
DH-2	۲	۷۲۳۳۹۸	۴۱۶۰۶۷۶	----	۱۴۰	۹۰
DH-3	۳	۷۲۳۲۹۱	۴۱۶۰۶۵۱	----	۱۴۰	۹۰

جدول ۴- نقاط حفاری پیشنهادی در پروفیل Y

No	اولویت	X	Y	آزیموت	عمق	شیب
DH-1	۱	۷۲۳۶۱۴	۴۱۶۰۵۴۰	---	۱۴۰	۹۰
DH-2	۲	۷۲۳۶۶۴	۴۱۶۰۶۲۸	----	۱۰۰	۹۰

جدول ۵- نقاط حفاری پیشنهادی در پروفیل W

No	اولویت	X	Y	آزیموت	عمق	شیب
DH-1	۱	۷۲۳۱۰۴	۴۱۶۰۶۱۶	---	۱۶۰	۹۰

۶- منابع

- [1]. Mayo, E. B., 1958. Lineament tectonics and some ore districts of the southwest: Mining Engineering, v. 10, pp. 1169-1175.
- [2]. Schmitt, H. A., 1966. "The porphyry copper deposits in their regional setting: In Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America", U. of Ariz. Press, p. 17-33, by S. R. Titley and C. L. Hicks.
- [3]. Heyl, A.V., 1972. The 38th parallel lineament and its relationship to ore deposits, Economic Geology 67, pp. 879-894.
- [4]. Gilluly, J., 1976. "Lineaments--ineffective guides to ore deposits" Economic Geology 71, pp. 1507-1514.
- [5]. Gilluly, J., 1977. "Lineaments--ineffective guides to ore deposits-adiscussion", Economic Geology 72, p. 1360.
- [6]. Richards, J. P., 2000. "Lineaments revisited. Society of Economic Geologists", Newsletter 25 (5), pp. 52- 50.
- [7]. Lapointe, P., Morris, W. A., & Harding, K. L. 1986. Interpretation of magnetic susceptibility: a new approach to geophysical evaluation of the degree of rock alteration. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 23(3), 393-401.
- [8]. Richards, J. P., Boyce, A. J., Pringle, M. S., 2001. Geological evolution of the Escondida area, northern Chile: a model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization. *Economic Geology* 67, pp. 565-602.

[9]. Chernicoff, C. J., Richards, J. P., Zappettini, E. O., 2002. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence. *Ore Geology Reviews* 55, pp. 556-522.

[۱۰]. نوروزی غ. و غلامی س.، ۱۳۸۴، تحلیل و مدل سازی داده های ژئوفیزیکی (IP, RS, M) در محل اندیس معدنی مس سوناجیل، نشریه دانشکده فنی، شماره ۲، دوره ۳۹، ص ۲۵۳.

[11]. Clark, D. A., Geuna, S. E., Schmidt, P. W., 2004. Predictive magnetic exploration models for porphyry, epithermal and iron oxide Cu-Au deposits. P700 Final Report, 398 p. + CD Atlas of Geophysical Signatures + Relational Database of Porphyry, Epithermal and Iron Oxide Cu-Au Deposits, AMIRA International (Report can be downloaded from:

<https://wiki.csiro.au/confluence/download/attachments/457769088/Clark+etal+2004+P700+C SIRO+1073Rs.pdf>)

[12]. Clark, D. A. 2014. Magnetic effects of hydrothermal alteration in porphyry copper and iron-oxide copper-gold systems: a review. *Tectonophysics*, 624, 46-65.

[13]. Goad, R. E., Mumin, A. H., Duke, N. A., Neale, K. L., Mulligan, D. L., & Cameir, W. J. 2000. The NICO and Sue-Dianne Proterozoic, iron oxide-hosted, polymetallic deposits, Northwest Territories: Application of the Olympic Dam model in exploration. *Exploration and Mining Geology*, 9(2), 123-140.

[14]. Bourmas, N., Clements, E., & Hearst, R. 2013. Discovery of polymetallic porphyry at the Silver Queen, British Columbia using airborne EM and TITAN-24 DCIP and MT surveys. *Interpretation*, 1(1), T101-T112.

[15]. Best M., Fage I. and Daigle R., 2015, Integrating high resolution resistivity/IP surveying and core measurements over nine known mineral deposits: Yukon, Canada, Near Surface Asia Pacific Conference, P48, Waikoloa, Hawaii.

[16]. Aguilaf, S., Vargas, J. A., & Yáñez, G. 2017. Relationship between bulk mineralogy and induced polarisation responses in iron oxide-copper-gold and porphyry copper mineralisation, northern Chile. *Exploration Geophysics*, 48(4), 353-362.

[17]. Melo, A. T., Sun, J., & Li, Y. 2017. Geophysical inversions applied to 3D geology characterization of an iron oxide copper-gold deposit in Brazil. *Geophysics*, 82(5), K1-K13.

[۱۸]. کریمیپور م. ح.، ۱۳۸۴، زون های آلتراسیون کوارتز حفره دار و کوارتز-آلونیت (سولفید زیاد) بخش فوقانی سیستم مس پورفیری منطقه چاه شلغمی، جنوب بیرجند، سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۷-۱۱.

[19]. Sillitoe, R. H., 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. *Mineral. Dep.*, 14, 161-1744.

[20]. Sillitoe, R. H., 1990. Gold-rich porphyry copper deposits of the circum-Pacific region – an updated overview. *Pacific Rim 90 Congress Proceedings*, 119-126.

[۲۱]. آقاجانی، ح.، مرادزاده، ع. و هوآلین، ز.، ۱۳۸۹. تخمین موقعیت افقی و عمق آنومالی های گرانی با استفاده از گرادیان کل نرمال شده (NFG).، *مجله علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشور.*

[۲۲]. مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، آگاه، آ. و طباطبایی، س.، ۱۳۸۴، ه.، اکتشاف تله های هیدروکربوری طیس با روش جدید وارون سازی سه بعدی داده های گرانی. *مجله تحقیقاتی فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۱، شماره ۲، ص ۲۳-۳۴.*

[23]. Nabighian, M. N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, 37, 507-517.