

اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی زمینی برای اکتشاف طلا در منطقه اکتشافی هیرد، خراسان جنوبی

محمد رضا حیدریان شهری*، محمد حسن کریم‌پور** و آزاده ملک‌زاده شفارودی**

*گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

**گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

محدوده اکتشافی طلای هیرد در ۱۶۰ کیلومتری جنوب بیرجند (فاصله هوایی) و ۸۰ کیلومتری شمال غرب نهبندان در استان خراسان جنوبی واقع شده است. کانی‌سازی در منطقه معدنی هیرد در چهار منطقه به نامهای منطقه اکتشافی (۱) تا (۴) مشاهده می‌شود. سنگهای نفوذی منطقه که مرتبط با کانی‌سازی هستند از نوع گرانیت، گرانودیوریت و مونزونیت سری ایلمنیت به سن بعد از ائوسن با مقدار پذیرفتاری مغناطیسی پایین می‌باشند. نوع کانی‌سازی هیرد به دلیل سنگ منشاء احیایی و فراوانی کانیهایی مثل پیروتیت و آرسنوپیریت، طلای مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی است. مطالعات تفصیلی کانی‌شناسی نشان می‌دهد که کانی‌سازی سولفیدی همراه طلا، فقط در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) دارای پیروتیت است. مطالعات کانی‌شناسی، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی از گمانه‌های حفاری شده و برداشت‌های مغناطیس زمینی وجود پیروتیت همراه کانی‌سازی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) را تأیید می‌کند. همبستگی نسبتاً خوبی بین افزایش پیروتیت (تا ۶ درصد) و مقدار طلا (تا ۵ گرم در تن) در مطالعات تحت‌الارضی این بخش مشاهده می‌شود. پروفیل‌های مغناطیسی برداشت شده از این بخش کانی‌سازی و همچنین نقشه تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی ناهنجاریهای واضحی را در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) نشان می‌دهند که منبع ایجاد کننده آن پیروتیت همراه با کانی‌سازی است. مطالعات کانی‌شناسی، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی از گمانه‌ها و برداشت‌های مغناطیس‌سنجی در بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) و منطقه اکتشافی (۳) عدم وجود پیروتیت را با کانی‌سازی نشان می‌دهد. مقدار طلا در این مناطق نیز به مراتب پایین‌تر از بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) است. بنابراین به دلیل وجود پیروتیت همراه با کانی‌سازی طلا در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱)، روش مغناطیس‌سنجی، روش ژئوفیزیکی مفیدی برای تعیین محل حفاری و دسترسی به کانی‌سازی طلا در این منطقه اکتشافی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پیروتیت، پذیرفتاری مغناطیسی، مغناطیس‌سنجی، منطقه طلای هیرد، خراسان جنوبی.

Ground magnetic survey for gold exploration at Hired prospect area, south Khorasan

M.R. Haidarian Shahri*, M.H. Karimpour** and A. Malekzadeh**

* Department of Geology, Ferdowsi university of Mashhad

** Department of Geological Sciences, University of Colorado, Boulder Co, 80309, USA

Abstract

Hired gold mineralization area is located at 160 Km to the south of Birjand (air distance) and 80 Km to the north of Nehbandan in south Khorasan province. Mineralization in the Hired prospecting area is observed in 4 targets named target 1 to 4. Intrusive rocks associated with mineralization are illmenite-type granite, granodiorite and monzonite with low magnetic susceptibility and are post Eocene. Mineralization type at Hired is reduced intrusion-related gold system because of reduced source rocks and mineral assemblages such as pyrrhotite & arsenopyrite. Detailed mineralogical studies indicate that sulfide mineralization along with gold have pyrrhotite only in the eastern part of target 1. Mineralogical studies, magnetic susceptibility measurements on drilled cores and ground magnetic data confirm the presence of pyrrhotite on the eastern part of target 1. Based on detailed drilled core studies, there is relatively good correlation between the increase of pyrrhotite (to 6 %) and the amount of gold (to 5 ppm) in the eastern part of target 1. Total Magnetic Intensity (TMI) of the surveyed profiles and contour map from this part of the mineralization reveal obvious anomalies in the eastern part of target 1 that the causative sources of them are pyrrhotite along with mineralization. Mineralogical studies, magnetic susceptibility measurements from bore holes and ground magnetic survey on the western part of target 1 and target 3 indicate no pyrrhotite along with mineralization. The amount of gold on these areas is much less than the eastern part of target 1. Based on the presence of pyrrhotite along with gold mineralization on the eastern part of target 1, magnetic method is used as a useful geophysical method for the determination of drill hole location and consequently access to gold mineralization in the eastern part of target 1.

Keywords: Pyrrhotite, Magnetic susceptibility, Magnetic survey, Hired prospect area, Southern Khorasan, Au mineralization.

مقدمه

کالکوپیریت، مغناطیس بالا بر اثر همراهی طلا با پیروتیت یا مگنتیت و یا همراهی طلا با سنگ میزبان خاص یا یک طبقه شاخص^۱ و ساختمان خاصی که به طور غیر عادی مغناطیس، چگال، هادی یا مقاوم باشد اتفاق می افتد (دویل، ۱۹۹۰).

طلا با چگالی بالای ۱۹/۳ گرم بر سانتیمتر مکعب و قابلیت هدایت ۵×۱۰^۷ زیمنس بر متر قابلیت خوبی برای مطالعات ژئوفیزیکی دارد اما بدلیل اینکه عیار آن بسیار پایین است (در حد چند گرم در تن) پاسخ ژئوفیزیکی مستقیمی از آن بدست نمی آید.

در عین حال علایم ژئوفیزیکی غیر مستقیم مانند هدایت الکتریکی بالا بر اثر همراهی طلا با پیروتیت و

سازی طلا در هیرد غیر مغناطیس بوده و منبع ایجاد کننده ناهنجاری مغناطیسی کانی فرو مغناطیس پیروتیت است که در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) همراه با کانی سازی وجود دارد.

روش مطالعه

بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و اندازه‌گیریهای اولیه پذیرفتاری مغناطیسی (نمونه‌های سطحی و گمانه‌ها) در شرق و غرب منطقه اکتشافی (۱) و منطقه اکتشافی (۳)، تصمیم گرفته شد که چند برش مغناطیس‌سنجی در منطقه اکتشافی (۳) و بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) برداشت شود. بر همین اساس نیز یک شبکه تفصیلی برداشت مغناطیسی (۲×۱۰) برای بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) طراحی شد. ۳۴ برش اکتشافی ژئوفیزیکی و در مجموع در ۱۰۲۰ نقطه در مناطق اکتشافی (۱) و (۳) به شرح زیر انجام شد:

(۱) بیست و شش خط برداشت با جهت N35E هر کدام به طول ۶۰ متر و با فاصله ۱۰ و ۱۵ متر از یکدیگر عمود بر زون کانی‌سازی و به موازات ترائشه‌های حفاری در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱)، فواصل نقاط اندازه‌گیری ۲ متر و جمعاً در ۷۸۰ نقطه شدت کل میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شد.

سه خط برداشت شمالی - جنوبی هر کدام به طول ۶۰ متر و با فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر در بخش غربی منطقه اکتشافی (۱)، فواصل نقاط اندازه‌گیری ۲ متر و جمعاً در ۹۰ نقطه شدت کل میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شد.

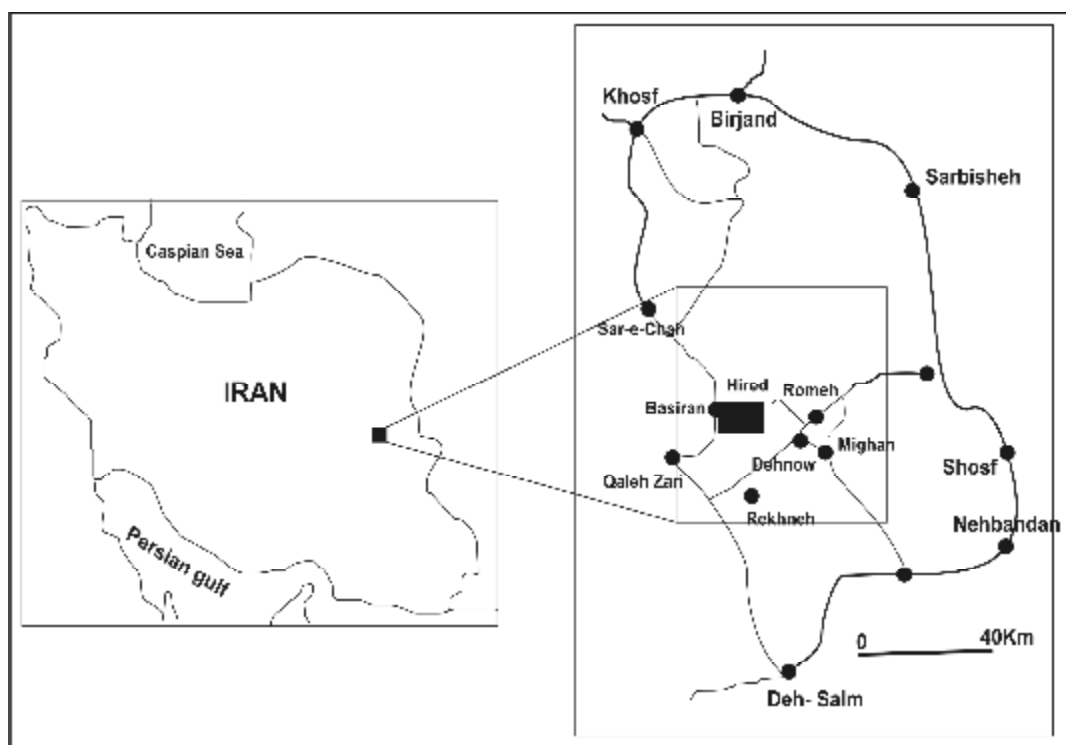
برداشت‌های گرانی و مغناطیس در آفریقای جنوبی نقش اصلی در مطالعه ساختار حوضه ویت واتر سند که میزبان کانی‌سازی طلا است، ایفا کرده (روکس، ۱۹۷۰؛ کرنر و همکاران، ۱۹۸۶ a؛ کرنر و همکاران، ۱۹۸۶ b؛ و ون‌زیجل، ۱۹۸۶) و به توسعه معادن طلای شناخته شده و کشف معادن جدید کمک کرده است.

کاربرد روش مغناطیس‌سنجی برای اکتشاف طلا بستگی به همراهی طلا با کانی مغناطیسی یا سنگ مغناطیسی دارد که به مقدار کافی وجود داشته تا بتواند با برداشت‌های مغناطیس‌سنجی شناسایی شود (بوید، ۱۹۸۴). ارتباط بین طلا و کانی مغناطیسی یا سنگ مغناطیسی بایستی قبل از برداشت‌های مغناطیس‌سنجی فهمیده شود.

محدوده اکتشافی طلای هیرد در ۱۶۰ کیلومتری جنوب بیرجند (فاصله هوایی) و ۸۰ کیلومتری شمال غرب نهبندان در استان خراسان جنوبی بین طولهای جغرافیایی ۵۹°۰۸'۰۰ و ۵۹°۱۵'۰۰ و عرض‌های جغرافیایی ۳۱°۵۴'۰۰ و ۳۱°۵۹'۰۰ واقع شده است (شکل ۱). این ناحیه در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران قرار می‌گیرد و از نظر تقسیمات ساختاری در منتهی الیه شرق بلوک لوت واقع گردیده است.

مطالعات تفصیلی کانی‌شناسی در محدوده اکتشافی هیرد نشان می‌دهد که بخشی از کانی‌سازی سولفیدی همراه طلا، در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) شامل پیروتیت است. بنابراین ردیابی پیروتیت و در نتیجه طلا با روش ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی امکان‌پذیر است.

هدف از این مطالعه ردیابی کانی‌سازی طلا بوسیله برداشت‌های مغناطیس‌سنجی است. سنگ میزبان کانی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه اکتشافی هیرد

اندازه‌گیری خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی از نمونه-های سطحی به صورت انتخابی در ۲۰۰ نقطه؛ دستگاه سنجش پذیرفتاری مغناطیس مدل GMS2 با دقت ۵SI-۱۰*۱ ساخت شرکت سیتترکس کانادا متعلق به گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد بوده است.

انجام اصلاحات مورد نیاز در داده‌های اکتشافات ژئوفیزیکی (مغناطیس‌سنجی) و ترسیم نقشه‌های مغناطیس‌سنجی و ۳۴ نیم‌رخ مغناطیسی،

تهیه نقشه زمین‌شناسی - آلتراسیون - کانی‌سازی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ مناطق اکتشافی (۱) و (۳) همراه با موقعیت برشهای ژئوفیزیکی در سامانه GIS، تهیه نقشه

پنج خط برداشت شرقی - غربی به طول ۶۰ متر و با فاصله ۵۶ متر از یکدیگر به موازات ترانسه‌های حفاری شده در منطقه اکتشافی (۳)، فواصل نقاط برداشت ۲ متر از یکدیگر و جمعاً در ۱۵۰ نقطه اندازه‌گیری شدت کل میدان مغناطیسی انجام شد.

دستگاه مغناطیس‌سنج مورد استفاده از نوع پروتون مدل ENVI با دقت ۰/۱ گاما ساخت شرکت سیتترکس کانادا متعلق به گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد بوده است.

اندازه‌گیری خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی به طور نامنظم در گمانه‌ها در ۶۹ نمونه؛

اندازه‌گیری خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه

B7 به صورت منظم در ۱۶۴ نقطه؛

به دو نوع گرانیوئیدهای سری مگنتیت و گرانیوئیدهای سری ایلمنیت تقسیم بندی کرد.

گرانیوئیدهای سری مگنتیت دارای ترکیب گابرو تا مونزونیت و گرانیوئیدهای سری ایلمنیت بیشتر دارای ترکیب دیوریت تا گرانیت هستند (نقشه ۲) (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۵ الف). نتایج اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بر روی توده‌های نفوذی سطحی و تفکیک آنها به دو سری مگنتیت و ایلمنیت به طور خلاصه در شکل (۳) نشان داده شده است.

کانی‌سازی در منطقه معدنی هیرد در چهار منطقه به نامهای منطقه اکتشافی (۱) تا (۴) مشاهده می‌شود (نقشه ۲).

کانی‌سازی استوک‌ورک اصلی‌ترین کانی‌سازی منطقه است که در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) مشاهده می‌شود. علاوه بر کانی‌سازی استوک‌ورک، کانی‌سازی رگه‌ای و جانشینی در نقاط دیگر پنجره مطالعاتی رخنمون دارد که همگی مرتبط با برخی توده‌های نفوذی گرانیوئیدی سری ایلمنیت واقع در شرق منطقه اکتشافی (۱) هستند، اما به دلیل موقعیت قرارگیری آنها نسبت به سنگ منشاء و بالا آمدن محلول کانی‌ساز از طریق زون گسلی، نوع کانی‌سازی متفاوت شده است. کانی‌شناسی در شرق منطقه اکتشافی (۱) شامل آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن است که مقدار فراوانی آنها در نقاط مختلف متفاوت است.

آلتراسیون همراه با کانی‌سازی از نوع کوارتز + تورمالین ± سرسیت ± کلسیت ± کلریت است که هم

های منحنی میزان مغناطیس زمینی از مناطق اکتشافی (۱) و (۳) با استفاده از نرم افزار Er mapper.

زمین‌شناسی و کانی‌سازی

قدیمیترین واحد لیتولوژیکی محدوده اکتشافی هیرد واحد شیلی - ماسه‌سنگی ژوراسیک است که با یک دگرشیبی زاویه‌دار به توالی رسوبی کرتاسه بالایی تبدیل می‌شود (نقشه ۲). این توالی متشکل از کنگلومرا، ماسه-سنگ، سنگ آهک، آهک ماسه‌ای، توف آهکی، آهک مارنی و مارن است.

این توالی توسط یک کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن و یک کنگلومرای قاعده‌ای ائوسن به توالی ماگمایی ترشیاری (سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی) می‌رسد (نقشه ۲). سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در نقشه شامل سنگ‌های آندزیتی، آندزیت‌های سبز رنگ، آندزیت‌های آلتیره، آندزیت آمیگدالوئیدال، توف‌های کریستال و شیشه‌ای، توف‌های سنگی، آندزیت‌های پیروکسن دار، کوارتز آندزیت‌ها و آندزیت‌های پورفیری بوده و بازالت، بازالت آندزیتی، بازالت تراکیتی و لایت‌های شدیداً آلتیره عموماً سنگ‌های آتشفشانی نئوزن را تشکیل می‌دهند (نقشه ۲).

توده‌های نفوذی در محدوده نقشه زمین‌شناسی هیرد مربوط به دوره پس از ائوسن می‌باشند. بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی بر روی ترکیب کانی‌شناسی این توده‌ها، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی آنها و ترکیب نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی و نقشه زمین‌شناسی در سامانه GIS و همچنین داده‌های پترولوژیکی تایید می‌کند که گرانیوئیدهای محدوده کانسار هیرد را می‌توان

در نمونه‌های با پذیرفتاری مغناطیسی بالا و کمبود آن در نمونه‌های با پذیرفتاری مغناطیسی پایین است.

همچنین اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی از اعماق مختلف چاه شماره B9 واقع در منطقه اکتشافی (۳) انجام شد که همگی مقدار کمتر از $SI - 5 \times 10^{-5} \times 100$ دارند (جدول ۲). این مقادیر پایین پذیرفتاری مغناطیسی نشان دهنده عدم وجود پیروتیت در این منطقه اکتشافی است.

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی از اعماق مختلف چاه شماره B20 در منطقه اکتشافی (۳) نیز انجام شد (جدول ۳) که همگی مقادیری در حد چاه شماره B9 داشته و دوباره عدم وجود پیروتیت در این منطقه اکتشافی از هیرد را نشان می‌دهد. تعداد ۱۲ اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی از اعماق مختلف چاه شماره B14 واقع در خارج از بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) انجام شد (جدول ۴) که مقادیری کمتر از $SI - 5 \times 10^{-5} \times 100$ داشته و گویای عدم وجود پیروتیت است. سه اندازه‌گیری از چاه شماره B10 واقع در قسمت غربی منطقه اکتشافی (۱) انجام شد (جدول ۵) که محدوده‌ای از $SI - 5 \times 10^{-5} \times 100$ تا $SI - 5 \times 10^{-5} \times 1880$ دارند. پذیرفتاری بالای این قرائتها در ارتباط با توده نفوذی مدفون سری مگنتیت می‌باشد. این چاه خارج از محدوده پروفیل‌های مغناطیس زمینی برداشت شده در این بخش از کانی‌سازی می‌باشد.

در سطح و هم در عمق مشاهده می‌شود (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۵ الف).

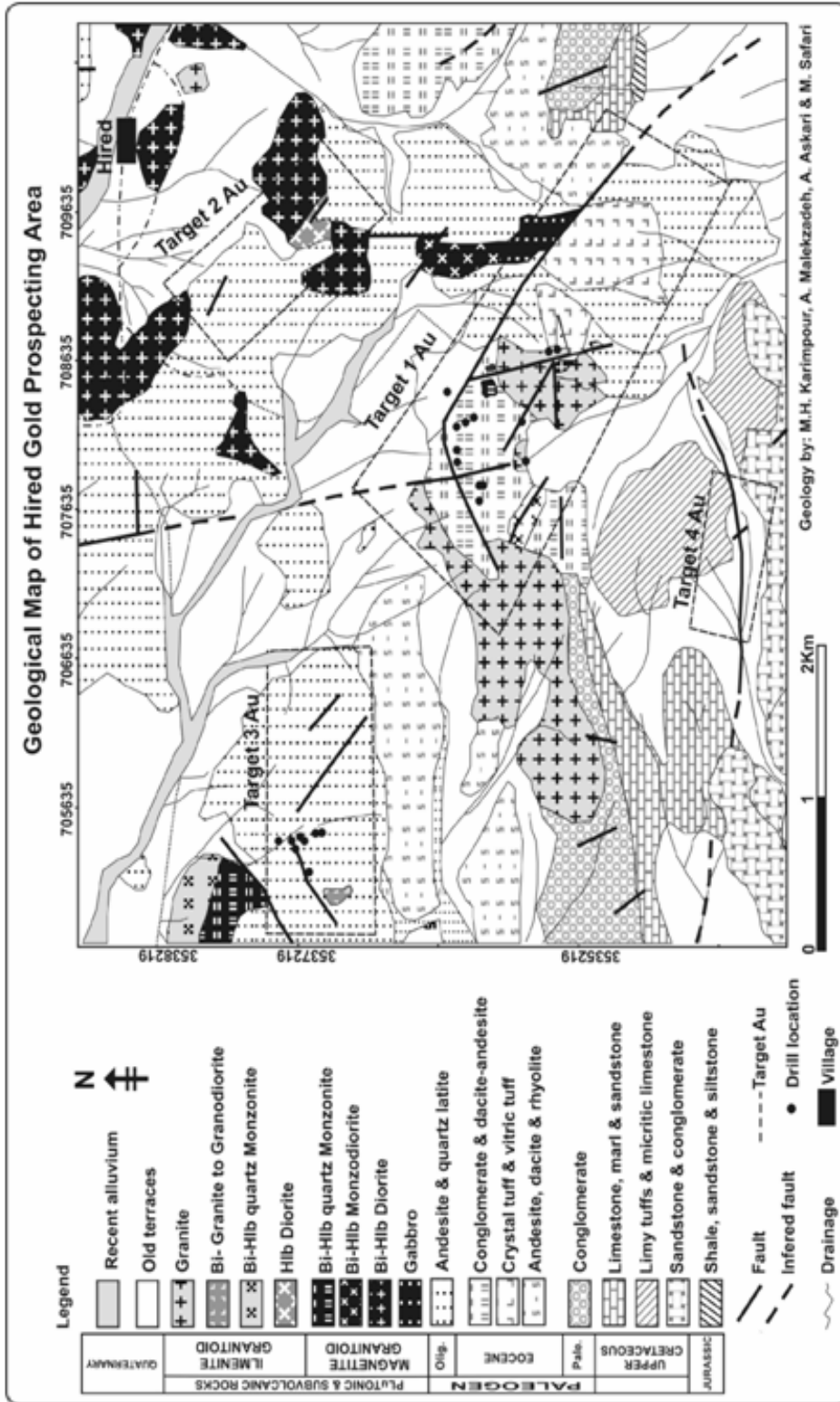
کانی‌سازی در غرب منطقه اکتشافی (۱) شامل پیریت + آرسنوپیریت \pm کالکوپیریت + اکسیدهای آهن ثانویه + تورمالین + کوارتز \pm کلریت \pm سرسیت \pm اپیدوت \pm کلسیت \pm ولاستونیت \pm آمفیبول و در منطقه اکتشافی (۳) کانیه‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت و کوارتز همراه با کانی‌های سولفیدی اکسید شده است. طلا در رگه‌های سولفیدی - سیلیسی - تورمالینی وجود دارد و نوع کانی‌سازی طلای مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۵ الف).

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی مغزه‌ها

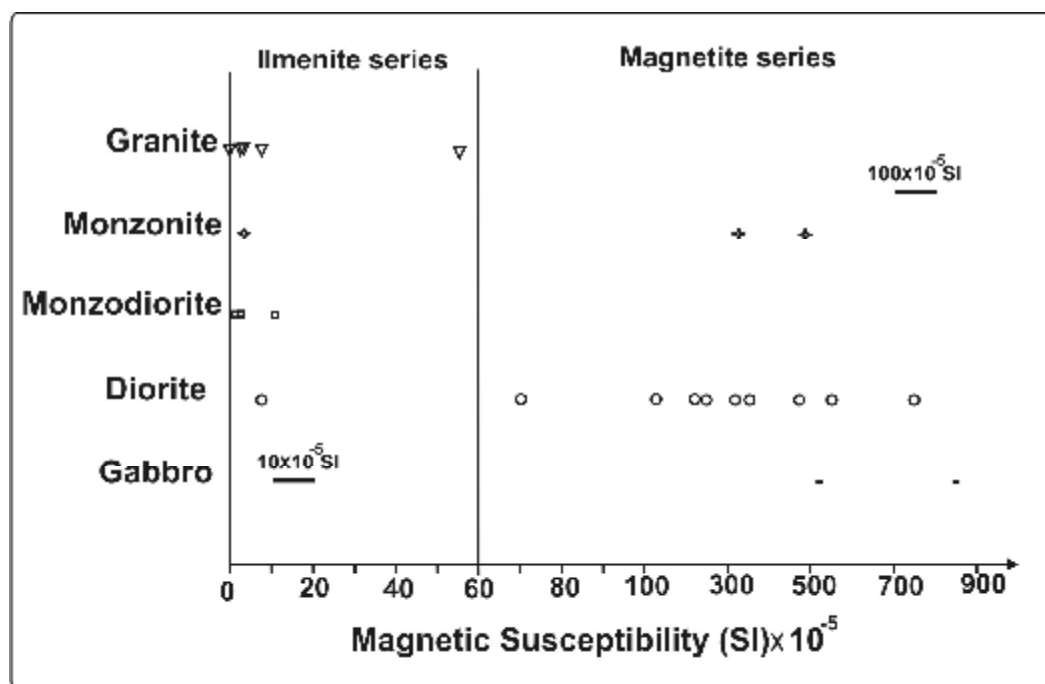
ابتدا مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی از مغزه‌های حفاری واقع در مناطق اکتشافی مختلف برای طراحی برداشتهای مغناطیسی زمینی انجام شد. اندازه‌گیریهای پذیرفتاری مغناطیسی از گمانه‌ها نیز برای تعیین خصوصیات مغناطیسی سنگ میزبان و کانی‌سازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (لاپوینته و همکاران، ۱۹۸۶). مطالعات اولیه به شرح زیر است:

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بطور نامنظم از اعماق مختلف چاه شماره B7 واقع در قسمت شرقی منطقه اکتشافی (۱) انجام شد (جدول ۱).

این اندازه‌گیریها محدوده‌ای از $SI - 5 \times 10^{-5} \times 6$ تا $SI - 5 \times 10^{-5} \times 6645$ داشته که گویای افزایش مقدار پیروتیت



نقشه ۲ - نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی هیرد (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۵ الف)



شکل ۳- نتایج اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بر روی توده‌های نفوذی سطحی در منطقه اکتشافی هیرد و تفکیک آنها به دو سری گرانیتوئید مگنتیت و ایلمنیت

جدول ۱- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه B7

عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی $SI (\times 10^{-5})$	عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی $SI (\times 10^{-5})$
۱۲	۶	۸۵	۲۶۸۱
۲۳	۱۷۲۵	۹۸	۴۴۰۵
۲۸	۲۱۵	۱۰۱	۶۶۴۵
۴۶	۶	۱۰۱	۲۷۶۱
۵۲	۶۸۰	۱۰۴	۸۸
۵۸	۳۲۴		
۵۸	۳۸۰		
۶۲	۲۱۴		

سازی پذیرفتاری مغناطیسی پایین، عدم وجود پیروتیت همراه با کانی‌سازی را نشان داد. پذیرفتاری مغناطیسی بالا مبنی بر وجود پیروتیت در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) و بر عکس آن در مناطق دیگر اکتشافی هیرد، با مطالعات کانی‌شناسی مغزه‌ها هم‌آهنگی دارد.

در مجموع اندازه‌گیری‌های اولیه تصادفی پذیرفتاری مغناطیسی از مغزه‌های حفاری چاههای مناطق مختلف کانی‌سازی هیرد نشان داد که فقط کانی‌سازی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) همراه با پیروتیت است. این کانی فرو مغناطیس سبب پذیرفتاری مغناطیسی بالا در این منطقه از کانی‌سازی شده است. در بقیه مناطق کانی-

جدول ۲- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه B9

عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی SI($\times 10^{-5}$)
۵	۳۰
۱۰	۲۴
۳۰	۱۶
۳۳	۲۷
۳۷	۱۵
۴۳	۷۱
۵۰	۸۳
۵۴	۹۳
۶۰	۳۳
۶۷	۶۱
۷۳	۳۸
۸۰	۳۳
۸۵	۲۳

جدول ۳- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه B20

عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی SI($\times 10^{-5}$)	عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی SI($\times 10^{-5}$)
۴	۲۶	۹۳	۵۲
۹	۴۲	۹۹	۲۴
۱۳	۳۰	۱۰۵	۲۰
۱۸	۲۳	۱۱۰	۱۲
۲۳	۱۶	۱۱۲	۲۶
۲۹	۲۴	۱۱۳	۱۰
۳۳	۳۱	۱۱۴	۱۷
۴۰	۳۳	۱۱۶	۶
۴۷	۳۱	۱۱۹	۵
۵۳	۲۶	۱۲۰	۶
۶۴	۲۴	۱۲۱	۴
۶۸	۴۱	۱۳۲	۳۳
۷۳/۵	۳۰	۱۳۷	۳۳
۸۵	۳۳	۱۴۵	۲۶

جدول ۴- اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه B14

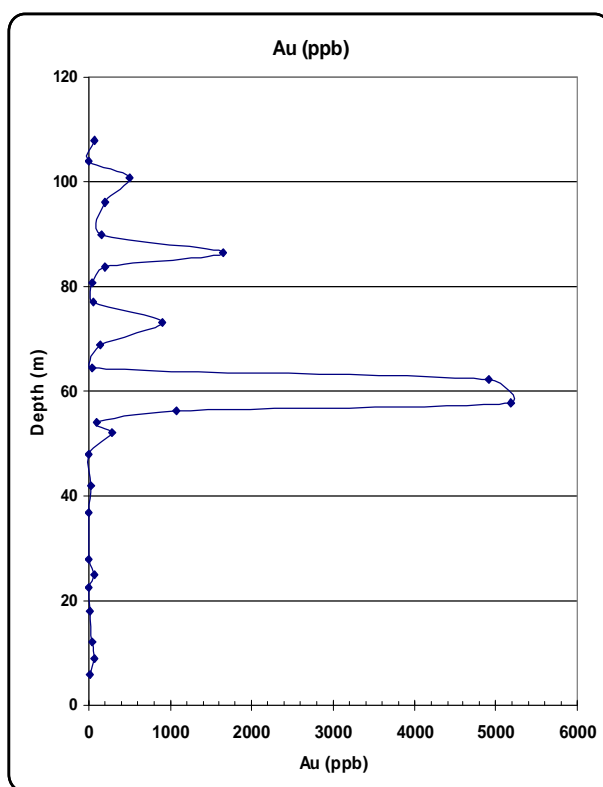
عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی SI(×10 ⁻⁵)
۶۰	۴۲
۶۳	۵۹
۶۷	۱۱
۶۸	۱۳۳
۷۰	۹۰
۷۸	۸
۸۸	۵
۹۴	۱۶
۱۰۲	۲۸
۱۰۹	۹
۱۱۷	۱۲
۱۲۰	۲۴

جدول ۵- اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه B10

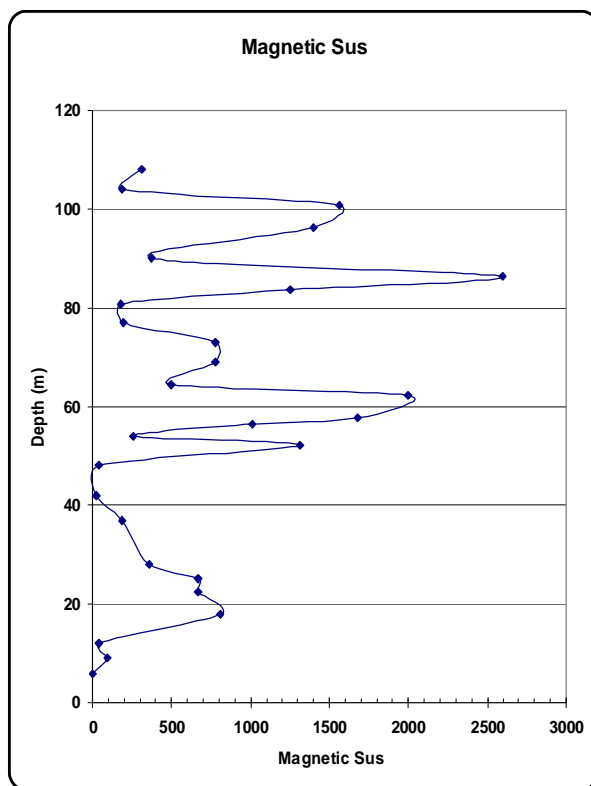
عمق (متر)	پذیرفتاری مغناطیسی SI(×10 ⁻⁵)
۱۰۳	۷۴۰
۱۱۴	۱۸۸۰
۱۱۴	۱۶۲۵

است (شکلهای ۴ و ۵). بالاترین مقدار طلا ۵۱۸۰ میلی گرم در تن در گمانه B7 از شرق منطقه اکتشافی (۱) گزارش شده است (کریم پور و همکاران، ۱۳۸۵ ب). براساس اطلاعات زمین شناسی - کانی سازی، مقادیر پایین پذیرفتاری مغناطیسی هم از سطح و هم از چاههای مناطق اکتشافی (۳) و قسمت غربی منطقه اکتشافی (۱) تصمیم گرفته شد تا چند پروفیل مغناطیس زمینی در این مناطق برداشت شود.

مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی مطالعات اولیه در چاه شماره B7 سبب شد تا این کمیت فیزیکی به صورت منظم و تفصیلی در ۱۶۴ نقطه (در فواصل ۵۰ سانتیمتری از نقاط مختلف) در طول چاه برداشت شود (برای سرشکن کردن مقادیر بالا و پایین در هر دو متر میانگین گرفته شده است) و با تغییرات ناهنجاری طلا در این گمانه مقایسه شد. اندازه گیریهای تفصیلی پذیرفتاری مغناطیسی نشان داد که انطباق نسبتاً خوبی بین افزایش پذیرفتاری مغناطیسی و مقدار طلا برقرار



شکل ۴- تغییرات مقدار طلا همراه با عمق در گمانه B7 (اطلاعات از سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۲)



شکل ۵- تغییرات مقدار پذیرفتاری مغناطیسی با عمق در گمانه B7 (واحد تغییرات SI ۵-۱۰)*

موسسه ملی اقیانوس‌شناسی و اتمسفری آمریکا، تغییرات میدان مغناطیسی ناشی از فعالیتهای خورشیدی در طول زمان برداشت (روزهای ۵، ۶، ۷، ۸ فروردین ۸۵) آرام و ناچیز بوده است.

تعبیر و تفسیر داده‌های مغناطیسی

نقشه منحنی میزان تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی در بخشهای شرقی و غربی منطقه اکتشافی (۱) و (۳) بدون کسر کردن میدان اصلی داخلی تهیه شد و تمامی پروفیلها رسم گردید.

لیتولوژی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) بیشتر گرانیت از نوع سری ایلمنیت با پذیرفتاری مغناطیسی کمتر از $SI - 5 \times 10 \times 30$ و شیلهای سیلیسی شده با پذیرفتاری مغناطیسی کمتر از $SI - 5 \times 10 \times 5$ می‌باشد. بنابراین تنها منبع ایجاد کننده آنومالی مغناطیسی بایستی کانی مگنتیت یا پیروتیت به همراه کانی‌سازی باشد. از آنجایی که اطلاعات کانی‌شناسی وجود پیروتیت و عدم مگنتیت را نشان می‌دهد، در نتیجه هر آنومالی مغناطیسی بایستی ناشی از پیروتیت به همراه کانی‌سازی طلا در این منطقه باشد. در قسمت شرقی منطقه اکتشافی (۱) به دلیل وجود پیروتیت به همراه کانی‌سازی شدت کل میدان مغناطیسی از حداقل 47300 گاما در شمال غربی به حداکثر 47900 گاما در قسمت جنوب شرقی افزایش می‌یابد (نقشه‌های ۹ و ۱۰).

ناهنجاریهای مغناطیسی ناپیوسته‌ای که از جهت شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده و در جهت شمال شرق - جنوب غرب قطع شدگی دارد، بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) را در برمی‌گیرد (نقشه‌های ۹ و ۱۰). وجود پیروتیت در کانی‌سازی و افزایش پذیرفتاری

با این داده‌ها اطمینان بیشتری از عدم پاسخ مغناطیسی کانی‌سازی در این مناطق حاصل خواهد شد. همچنین مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) و اطلاعات زمین‌شناسی و کانی‌سازی سبب شد تا به طور تفصیلی مغناطیس زمینی در این منطقه جهت تعیین موقعیت آنومالی مغناطیسی انجام شود.

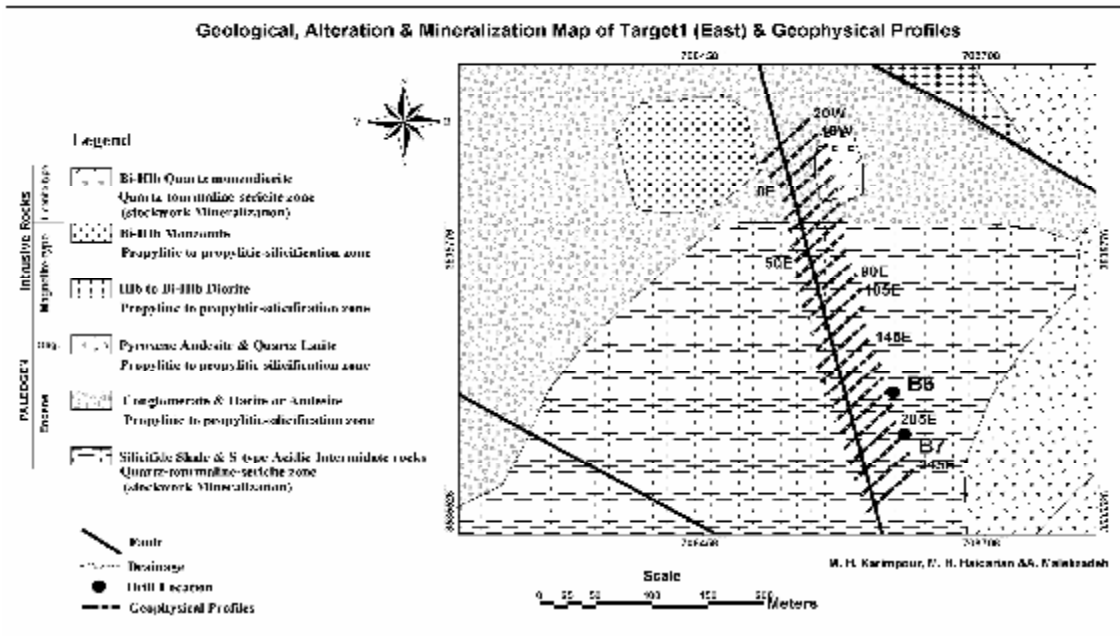
اندازه‌گیریهای مغناطیس زمینی

اطلاعات از پذیرفتاری مغناطیسی، زمین‌شناسی و کانی‌سازی نمونه‌های سطحی و مغزه‌های حفاری سبب شد تا پروفیلهای مغناطیس زمینی طراحی گردد. موقعیت پروفیلهای برداشت ژئوفیزیکی بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱)، غرب منطقه اکتشافی (۱) و منطقه اکتشافی (۳) بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی - آلتراسیون - کانی‌سازی در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است. به علت حساسیت مغناطیس سنج پروتون نسبت به جهت شمال میدان مغناطیسی، در کلیه نقاط اندازه‌گیری، با استفاده از کمپاس راستای پروفیلها تعیین شده و موقعیت گیرنده دستگاه نسبت به شمال مغناطیسی توجیه گردیده است.

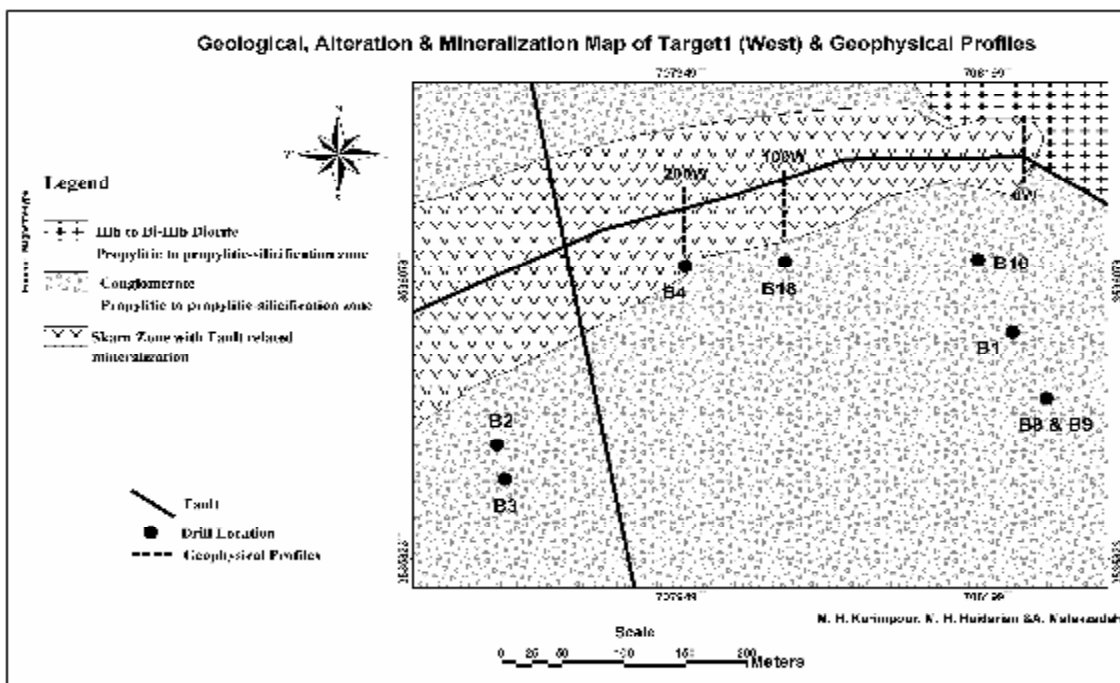
در منطقه مورد برداشت شمال جغرافیایی تقریباً با شمال مغناطیسی هم جهت در نظر گرفته شد، زیرا انحراف مغناطیسی از شمال غرب ایران تا جنوب شرق به ترتیب از ۱ تا ۴ درجه تغییر می‌کند (یوسفی، ۲۰۰۰). تصحیح تغییرات روزانه میدان مغناطیسی به علت نداشتن مغناطیس‌سنج ثبات اضافی با تکرار یک ایستگاه در زمان کوتاه کمتر از ۲ ساعت انجام شد. برپایه گزارش پایگاه مغناطیس‌سنجی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و

انتخاب گردید تا بتوان تغییرات میدان را واضح نشان داد (نقشه ۱۰).

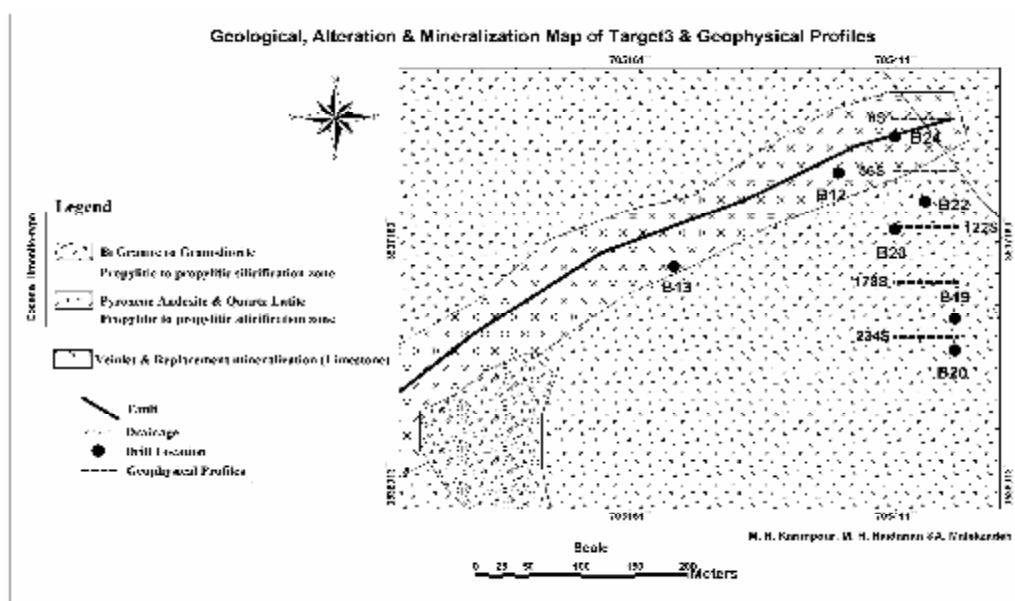
مغناطیسی در گمانه‌ها در این بخش از کانی‌سازی، ناهنجاری‌های بالا را توضیح می‌دهد. به علت تغییرات زیاد میدان به میزان ۶۰۰ گاما، فواصل منحنی میزان ۵۰ گاما



نقشه ۶- موقعیت پروفیل‌های مغناطیسی بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) بر روی نقشه زمین‌شناسی - آلتراسیون - کانی‌سازی



نقشه ۷- موقعیت پروفیل‌های مغناطیسی بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) بر روی نقشه زمین‌شناسی - آلتراسیون - کانی‌سازی



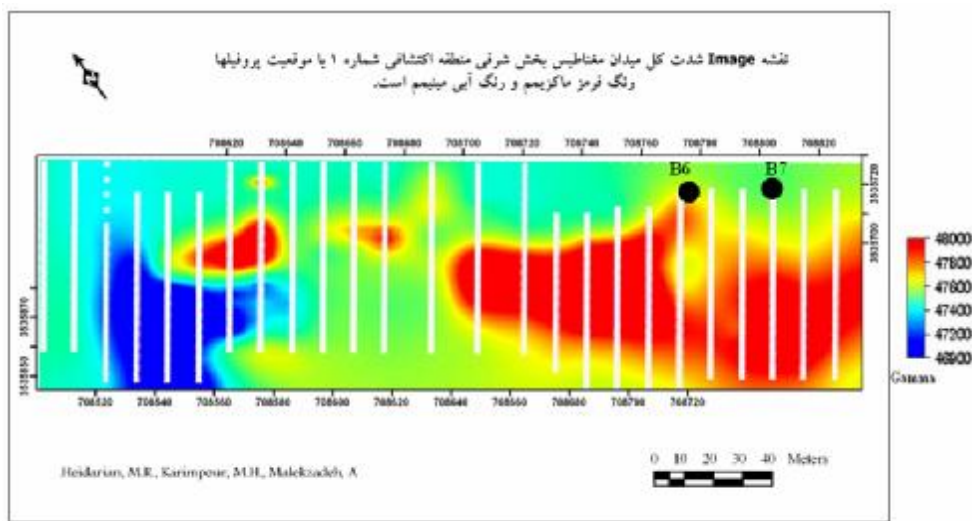
نقشه ۸- موقعیت پروفیل‌های مغناطیسی منطقه اکتشافی (۳) بر روی نقشه زمین‌شناسی - آلتراسیون - کانی‌سازی

پروفیل‌های برداشت شده از قسمت شرقی و غربی مناطق اکتشافی (۱) و (۳) از لحاظ دامنه ناهنجاری که منعکس کننده مقدار کانی مغناطیسی می‌باشد با هم مقایسه شد. برای نمونه در اینجا پروفیل شماره E ۱۶۵ از قسمت شرقی منطقه اکتشافی (۱)، پروفیل W ۱۰۰ از قسمت غربی همین منطقه اکتشافی و پروفیل S ۱۷۸ از منطقه اکتشافی (۳) با هم مقایسه شد (شکل‌های ۱۳ تا ۱۵). پروفیل شماره E ۱۶۵ (شکل ۱۳) دارای آنومالی با دامنه ۵۸۰ گاما بوده و عرض ناهنجاری به ۶۰ متر می‌رسد که در نتیجه نشان دهنده مقدار زیاد کانی مغناطیسی یعنی پیرویت همراه با کانی‌سازی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) می‌باشد. مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی از گمانه‌های واقع در این بخش، وجود پیرویت در مطالعات کانی‌شناسی و ناهنجاری مغناطیسی بالا همگی این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کند. پروفیل شماره W ۱۰۰ در بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) (شکل ۱۴) آنومالی با دامنه ۲۷ گاما داشته و عرض آن ۶ متر است که در مقایسه با دامنه آنومالی پروفیل شماره E ۱۶۵ دامنه آن ۲۰

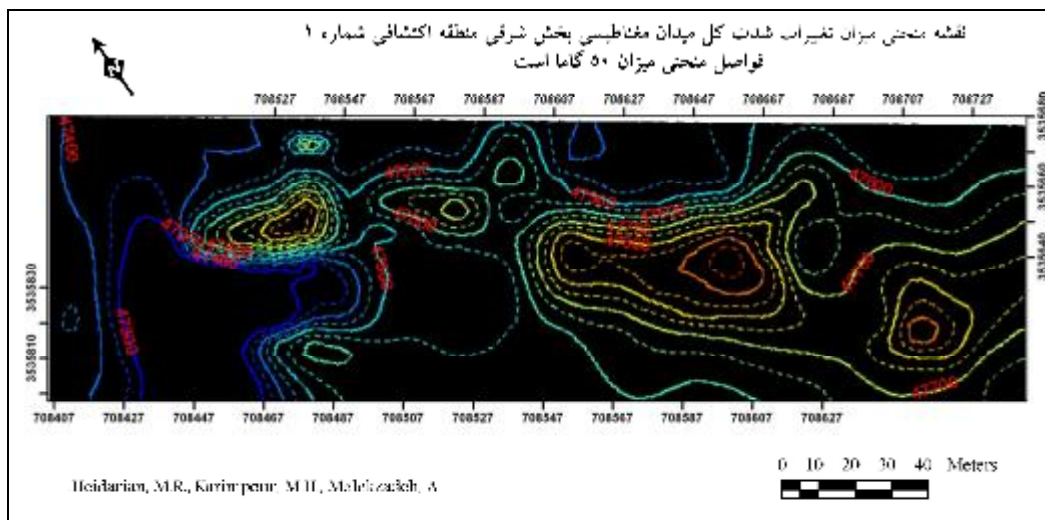
نقشه منحنی میزان قسمت غربی منطقه اکتشافی (۱) به دلیل تغییرات کم شدت میدان با فاصله منحنی میزان ۵ گاما تهیه شد (نقشه ۱۱). تغییرات شدت کل میدان حدود ۶۰ گاما بوده و هیچگونه ناهنجاری را نشان نمی‌دهد. عدم وجود پیرویت در اطلاعات کانی‌سازی و مقادیر پایین پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های گمانه‌ها دلایلی بر نبود ناهنجاری مغناطیسی در بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) می‌باشند. نقشه منحنی میزان تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی در منطقه اکتشافی (۳) با فاصله منحنی میزان ۵ گاما نیز تهیه شد (نقشه ۱۲). تغییرات شدت میدان مانند قسمت غربی منطقه اکتشافی (۱) بسیار کم بوده و ۵۰ گاما است. این نیز نشان دهنده نبود پیرویت در کانی‌سازی و در نتیجه نبود ناهنجاری مغناطیسی است. تغییرات کم شدت میدان مغناطیسی در منطقه اکتشافی (۳) هماهنگ با مقادیر پایین پذیرفتاریهای مغناطیسی اندازه‌گیری شده از گمانه‌های این منطقه اکتشافی می‌باشد.

در مجموع مقایسه دامنه آنومالی پروفیل‌های برداشت شده در قسمت شرقی و غربی منطقه اکتشافی (۱) و منطقه اکتشافی (۳) و همچنین مقایسه نقشه‌های تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی در مناطق فوق وجود ناهنجاریهای مغناطیسی مشخصی را تنها در قسمت شرقی منطقه اکتشافی (۱) نشان می‌دهد. منبع ایجاد کننده این ناهنجاریها پیرویت همراه با کانی‌سازی طلا می‌باشد و بایستی با حفاری تأیید شود

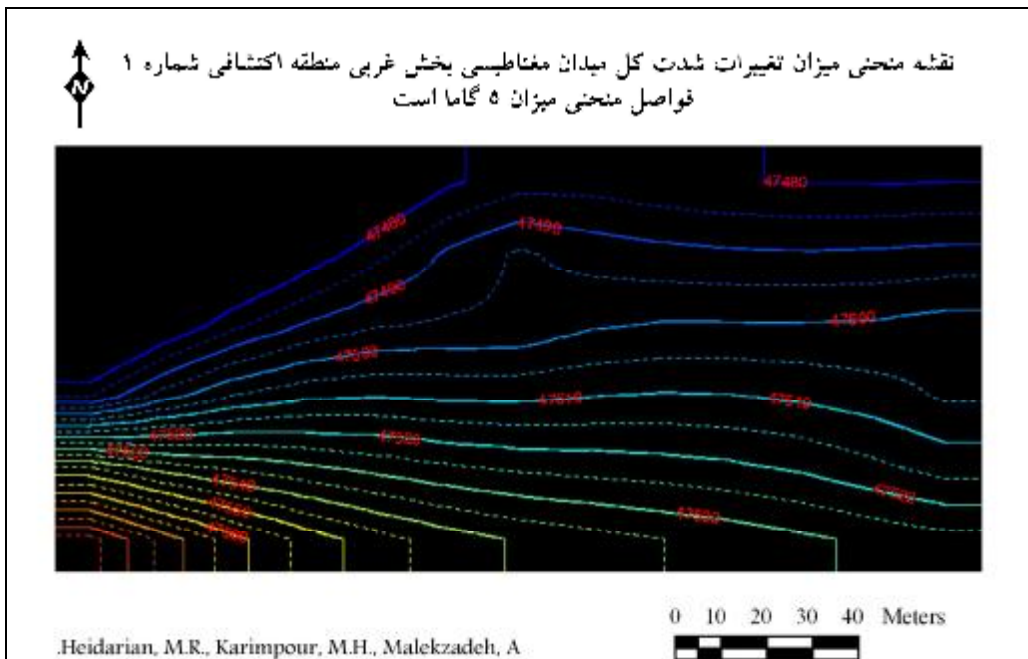
برابر کوچکتر است. این نشان دهنده عدم وجود پیرویت در بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) می‌باشد. پروفیل S ۱۷۸ (شکل ۱۵) در منطقه اکتشافی (۳) دارای آنومالی با دامنه ۲۳ گاما بوده و عرض ۴۰ متر دارد. دامنه آنومالی این پروفیل نیز ۲۰ برابر کوچکتر از دامنه آنومالی پروفیل E ۱۶۵ در قسمت شرقی منطقه اکتشافی (۱) می‌باشد. این یافته‌ها نیز نبود پیرویت در این بخش اکتشافی را تایید می‌کند.



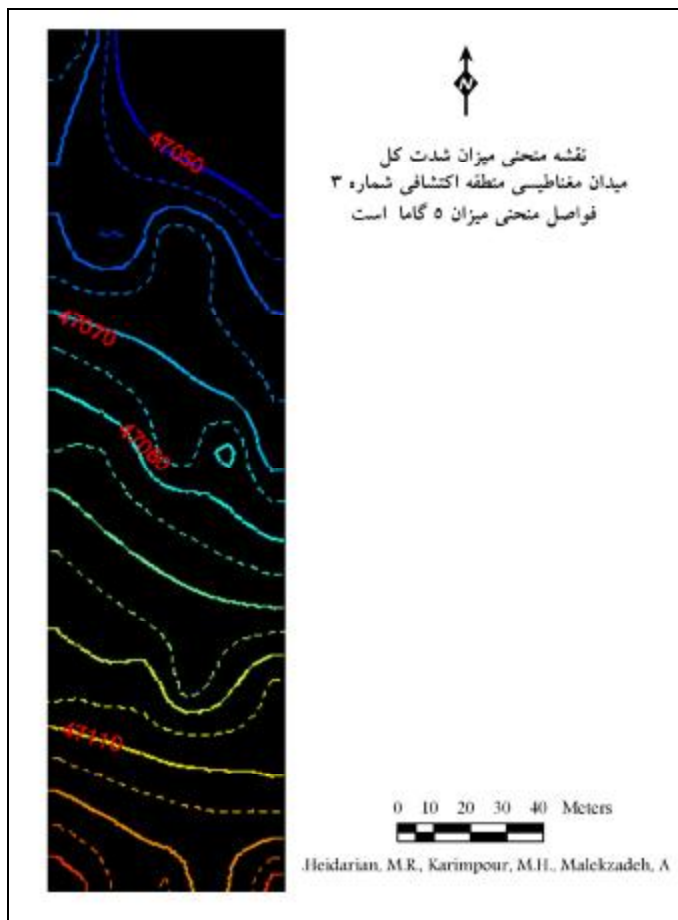
نقشه ۹- نقشه Image شدت کل میدان مغناطیسی شرق منطقه اکتشافی (۱) همراه با موقعیت پروفیل‌های ژئوفیزیکی



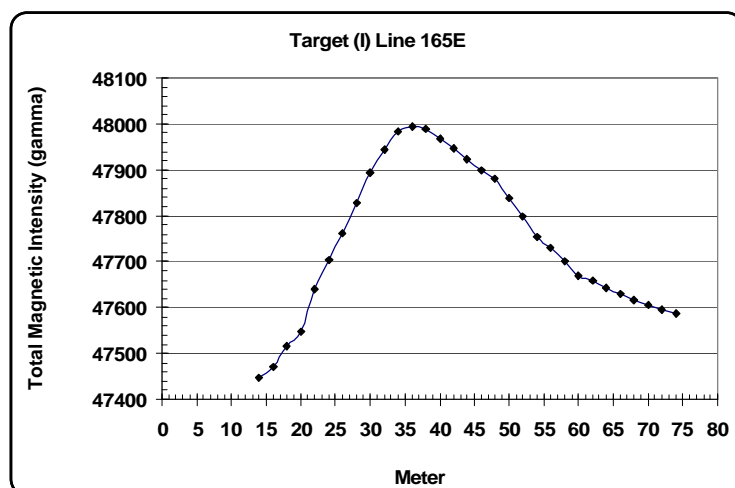
نقشه ۱۰- نقشه منحنی میزان تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی بخش شرق منطقه اکتشافی (۱)



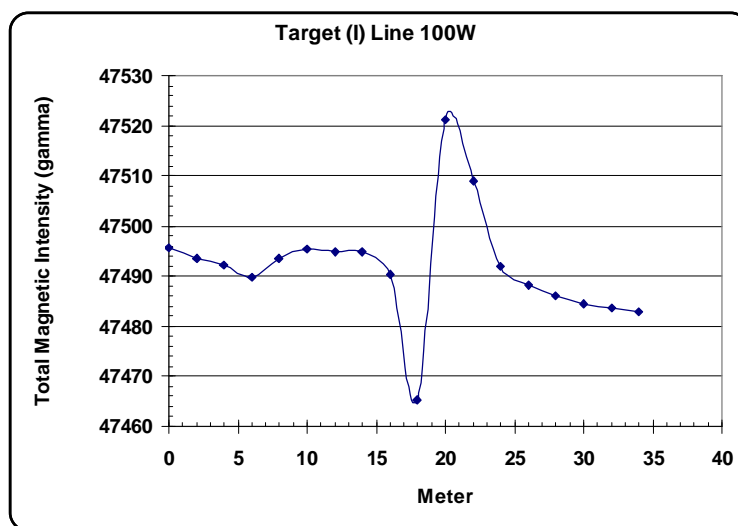
نقشه ۱۱- نقشه منحنی میزان تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی بخش غربی منطقه اکتشافی (۱)



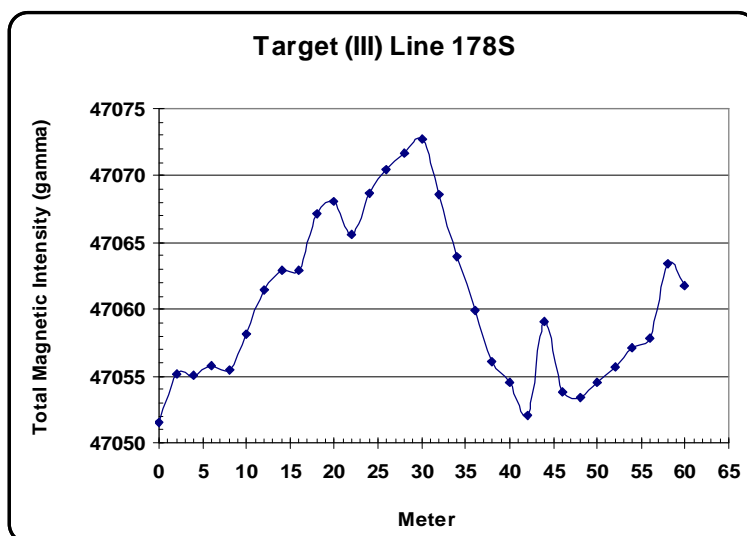
نقشه ۱۲- نقشه منحنی میزان تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی منطقه اکتشافی (۳)



شکل ۱۳- پروفیل مغناطیس‌سنجی 165E از شرق منطقه اکتشافی (۱). جهت حرکت شمال شرق - جنوب غرب



شکل ۱۴- پروفیل مغناطیس‌سنجی 100W از غرب منطقه اکتشافی (۱). جهت حرکت شمال - جنوب



شکل ۱۵- پروفیل مغناطیس‌سنجی 178S از منطقه اکتشافی (۳). جهت حرکت غرب - شرق

نتیجه گیری

مطالعات کانی‌شناسی و اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی سطحی و چاههای حفاری نشان می‌دهند که سنگ‌های منشاء و میزبان (گرانیتوئیدهای سری ایلنیت و شیل‌های سیلیسی شده) کانی‌سازی استوک‌ورک سولفیدی همراه طلا در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) فاقد کانی مغناطیسی می‌باشند. همین مطالعات حاکی از آن است که پیروتیت به همراه کانی‌سازی در این بخش اکتشافی وجود دارد. در نتیجه مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی مغزه‌های حفاری و آنومالی‌های مغناطیسی بالای مشاهده شده در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) از پیروتیت همراه کانی‌سازی سرچشمه می‌گیرد.

اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی از گمانه‌های واقع در بخش‌های شرقی و غربی منطقه اکتشافی (۱) و همچنین منطقه اکتشافی (۳) نشان می‌دهند که پذیرفتاری‌های بالا که منشاء آن پیروتیت همراه با کانی‌سازی می‌باشد، فقط در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) وجود دارد. در بخش غربی آن و نیز منطقه اکتشافی (۳) پذیرفتاری‌های مغناطیسی پایین بوده که معرف عدم وجود پیروتیت همراه با کانی‌سازی در این مناطق اکتشافی است. مطالعات کانی‌شناسی در بخش‌های مختلف اکتشافی نیز یافته‌های پذیرفتاری مغناطیسی مناطق مربوطه را تایید می‌کند.

دامنه ناهنجاری پروفیل‌های برداشت شده در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) ۵۸۰ گاما، در بخش غربی آن ۲۷ گاما و در منطقه اکتشافی (۳) ۲۳ گاما است. این اطلاعات مغناطیسی دوباره موید آن است که پیروتیت یعنی منبع ایجاد کننده ناهنجاری مغناطیسی با دامنه بالا، فقط در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) با کانی‌سازی همراه است و در بقیه مناطق اکتشافی وجود ندارد.

نقشه‌های منحنی میزان شدت کل میدان مغناطیسی از بخش‌های شرقی و غربی منطقه اکتشافی (۱) و نیز منطقه اکتشافی (۳) ناهنجاریهای ناپیوسته‌ای با تغییرات ۶۰۰ گاما را فقط در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) نشان می‌دهد. این ناهنجاریها راستای شمال غربی- جنوب شرقی داشته که در جهت شمال شرق جنوب غرب قطع می‌شوند. پروفیل‌های مغناطیسی برداشت شده در بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) و منطقه اکتشافی (۳) و همچنین نقشه‌های منحنی میزان این مناطق ناهنجاری نشان نمی‌دهد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی گمانه‌ها، دامنه آنومالی پروفیل‌های مغناطیسی برداشت شده و تغییرات منحنی میزان شدت کل میدان مغناطیسی در مناطق اکتشافی (۱) و (۳) هر سه هم‌آهنگ با مطالعات کانی‌شناسی در مناطق مربوطه است. همه اطلاعات مغناطیسی فوق مشخص‌کننده وجود پیروتیت همراه کانی‌سازی به عنوان منبع ایجاد کننده ناهنجاری مغناطیسی بالا در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) است. بالاترین مقادیر طلا در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) وجود دارد. مقایسه مقادیر طلا با مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در گمانه B7 واقع در این بخش اکتشافی، انطباق نسبتاً خوبی بین افزایش مقدار طلا و افزایش پذیرفتاری مغناطیسی نشان می‌دهد.

در نتیجه ناهنجاری‌های بالای نقشه منحنی میزان شدت کل میدان مغناطیسی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) از پیروتیت به همراه کانی‌سازی طلا منشاء گرفته و هدف‌های مهمی برای حفاری هستند.

منابع

- 6- Corner, B., Durrheim, R. J., Rodney, B.C., Wilsher, W. A., and Steenkamp, W. B., "Aeromagnetic coverage of the Witwatersand Basin and techniques used in its interpretation(abstract)": Geocongress, 86, Internat. Earth Sciences Congr., Johannesburg,(1986b) 211 – 214.
- 7- Doyle, H. A., "Geophysical Exploration for gold – A review", Geophysics, v. 55, no. 2,(1990) p.134 – 146.
- Lapointe, P., Morris, W. A., and Harding, K. L., "Interpretation of magnetic susceptibility - a new approach to geophysical evaluation by the degree of rock magnetization": Can. J. Earth Sci, 23,(1986) 393 – 401.
- 8- Roux, A. T., "The application of Geophysics to gold exploration in South Africa", in Morley, L. W. Ed., Mining and groundwater Geophysics: Geol. Surv. Can. Econ. Geol. Rept. 26,(1970) 425 – 438.
- 9- Van Zijl, J. S. V., "The role of Geophysics in the early discovery of gold in the Witwatersand Basin(abstract)": Geocongress, 86, Internat. Earth Science Congr. Johannesburg(1986).

- ۱- کریم‌پور، محمد حسن؛ حیدریان شهری، محمد رضا؛ ملک‌زاده شفارودی، آزاده و عسکری، علی؛ "مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، پترولوژی و ژئوفیزیک در منطقه کانی‌سازی طلا- قلع هیرد،(خراسان جنوبی)"، طرح پژوهشی سازمان زمین‌شناسی کشور، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران،(۱۳۸۵) الف) ۲۶۱ صفحه.
- ۲- کریم‌پور، محمد حسن؛ ملک‌زاده شفارودی، آزاده؛ حیدریان شهری، محمد رضا و عسکری، علی؛ "زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی طلای هیرد، استان خراسان جنوبی"، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند،(۱۳۸۵) ب) صفحه ۲۷۸-۲۸۴.
- ۳- یوسفی، امام‌قلی؛ "نقشه‌های مغناطیس‌هوایی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی کشور،(۲۰۰۰).

- 4- Boyd, D., "Aeromagnetic Surveys and gold", in Doyle, H. A. Ed., Geophysical exploration for Precambrian gold deposits: Univ. West. Aust., Dept. Geol. and Extension Service vol. 10,(1984) 81 – 96.
- 5- Corner, B., Dumheim, R. J., and Nicolaysen, L. O., "The structural framework of the Witwatersand Basin as revealed by gravity and aeromagnetic data(abstract)": Geocongress, 86, Internat. Earth Sciences Congr., Johannesburg,(1986a) 27 – 30.