



IRANIAN SOCIETY of
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

IRANIAN JOURNAL OF
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

Vol. 16, No. 3, Fall 1387/2008

Geology, mineralogy, fluid inclusion thermometry and ground magnetic of Shahrak Magnetite-Specularite Cu-Au prospecting area, Torbat-e- Heydariyeh, Iran

L. Yousefi¹, M.R. Haidarian Shahri¹, M.H. Karimpour^{1,2}

1-Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad

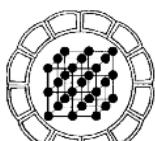
2-Department of Geology Sciences University of Colorado Boulder Co, USA

E-mail: hshahri@ferdowsi.um.ac.ir

(Received: 18/2/2008 , in revised form: 10/8/2008)

Abstract: The study area is located 92 Km south-east of Torbat-e-Heydariyeh and 12 Km to the north of Shahrak village in Khaf-Dorouneh volcanic-plutonic belt. Mineralization was formed in fault zones where they cross the intermediate plutonic rocks. Propylitic alteration is widespread and is the dominant type in the area. Magnetite and Specularite with variation in the amount form major portion of mineralization zones. Other primary minerals are Quartz, Calcite, Pyrite, Chalcopyrite and Chlorite. Analysis of a few samples of mineralization for Au, Cu, Pb and Zn elements using the A.A.S method. The amount of copper is 0.2 percent and gold 44 ppb. Microthermometry study of fluid inclusions in Quartz indicated temperature ranges from 160°C to more than 430°C and relatively high salinity for mineralization zones. Thermometry study of fluid inclusions in Quartz-Chalcopyrite veins showed Temperatures between 160°C - 203°C and relatively high salinity for the solution. Minimum and maximum salinity that obtained were equal to 19 and 31 percent respectively in terms of NaCl. The closest compound system for fluid inclusions was determined H₂O-NaCl-CaCl₂ triple system. Considering high amount of magnetite and high value of magnetic susceptibility in mineralization, ground magnetic survey was carried out which resulted to the delineation of areas of covered mineralization. Interpretation of magnetic anomalies in profiles, was indicative of the continuation of surface mineralization and increase of magnetite with depth.

Keyword: Magnetite-Specularite, Fluid inclusions, Magnetic susceptibility, Magnetic anomaly, Shahrak.



زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دما‌سنگی شاره‌های درگیر، و مغناطیس‌سنگی زمینی کانی-سازی مگنتیت-اسپیکولاریت مس-طلای منطقه پی‌جویی شهرک، تربت‌حیدریه، ایران

لیلا یوسفی سورانی^۱، محمد رضا حیدریان شهری^۱، محمد حسن کریم‌پور^۲

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه علوم زمین، دانشگاه کلرادو بولدر، آمریکا

پست الکترونیکی: hshahri@ferdowsi.um.ac.ir

(دریافت مقاله ۸۶/۱۱/۲۹، نسخه نهایی ۸۷/۵/۲۰)

چکیده: منطقه مورد بررسی در ۹۲ کیلومتری جنوب خاوری تربت‌حیدریه و ۱۲ کیلومتری شمال آبادی شهرک در کمریند آتشفسانی ژرف خاستگاه خواف-درونه واقع شده است. کانی‌سازی در زون‌های گسلی که سنگ‌های ژرف خاستگاه حدواسط را قطع کرده‌اند، تشکیل شده است. دگرسانی پروپلیتیک گسترده است و مهمترین نوع خود را در منطقه تشکیل می‌دهد. مگنتیت و اسپیکولاریت با تغییرات در میزان فراوانی، بخش مهم زونهای کانی‌سازی را تشکیل می‌دهند. کانیهای اولیه دیگر عبارتند از: کوارتز، کلسیت، پیریت، کالکوپیریت، و کلریت. تجزیه چند نمونه از زون‌های کانی‌سازی میزان فراوانی مس تا ppm ۲۰۰۰ و طلاتا ppb ۴۴ تعیین شد. بررسیهای میکرو دما‌سنگی شاره‌های درگیر موجود در کوارتز، دمای بین ۱۶۰ تا بیش از ۴۳۰ درجه سانتیگراد و شوری بین ۱۹ تا ۳۱ درصد بر حسب نمک طعام تعیین شدند. رگه‌های کوارتز-کالکوپیریت دمایی در گستره ۲۰۳-۱۶۷ درجه سانتیگراد و شوری نسبتاً بالای آبغون را نشان داد. نزدیکترین سیستم ترکیبی برای شاره‌های درگیر سیستم سه تایی $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ تعیین شد. با توجه به فراوانی مگنتیت و پذیرفتاری مغناطیسی بالا در کانی‌سازی، و مغناطیس‌سنگی زمینی انجام شده که منجر به شناسایی مناطق کانی‌سازی پوشیده شده است.

واژه‌های کلیدی: مگنتیت-اسپیکولاریت، شاره‌های درگیر، پذیرفتاری مغناطیسی، بی‌هنچاری مغناطیسی، شهرک.

موجود [۱، ۲، ۳، ۴، ۵] کانی‌سازی منطقه مورد بررسی به کانسارهای Iron-Oxide نوع مگنتیت سنگان نزدیک است. از جمله کانسارهای Iron-Oxide موجود در این کمریند می‌توان به طلا-اسپیکولاریت کوه‌زرن، تنوچه، و معدن سنگان خواف اشاره کرد [۵] (شکل ۱).

بخش بزرگ کانی‌سازی منطقه شهرک به صورت دو زون پهنه و بلند است که به فاصله تقریبی یک کیلومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند و بر پایه موقعیت مکانی زون جنوبی و زون شمال خاوری خوانده شده‌اند. پهنهای زونهای کانی‌سازی در بعضی از نقاط به حدود ۴۰ تا ۴۰ متر می‌رسد. آثار جایی در بدنه-

مقدمه گستره بی‌جویی مورد بررسی در ۹۲ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان تربت‌حیدریه و در بلندیهای شمال روستای شهرک، بین طولهای جغرافیایی "۵۲°۰۰' و "۵۹°۰۳' و "۶۰°۰۰' و عرضهای جغرافیایی "۳۵°۰۲' و "۴۸°۵۷' و "۴۵°۳۴' و "۴۸°۰۰' واقع شده است. در این منطقه زونهای گسترده‌ای از کانی‌سازی آهن، بیشتر به صورت مگنتیت و اسپیکولاریت مورد شناسایی قرار گرفته [۱]. این کانی‌سازی جزئی از کمریند آتشفسانی-نفوذی خواف-درونه به شمار می‌آید که کانسارهای Iron-Oxide متعددی در آن معرفی شده اند [۲]. بنابر تقسیم بندهای

سازی آهن، بررسیها در سه بخش زمین‌شناسی، دماسنجهای شاره‌های درگیر و ژئوفیزیکی انجام شد.

بررسیهای زمین‌شناسی- کانی‌سازی- دگرسانی

- ۱- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی- کانی‌سازی به مقیاس $1:10000$ و بررسی دگرسانی وابسته به واحدهای سنگی.
- ۲- برداشت و بررسی بیش از 100 مقطع نازک، نازک صیقلی و بلوك صیقلی از واحدهای سنگی و کانی‌سازی.

مطالعه شاره‌های درگیر

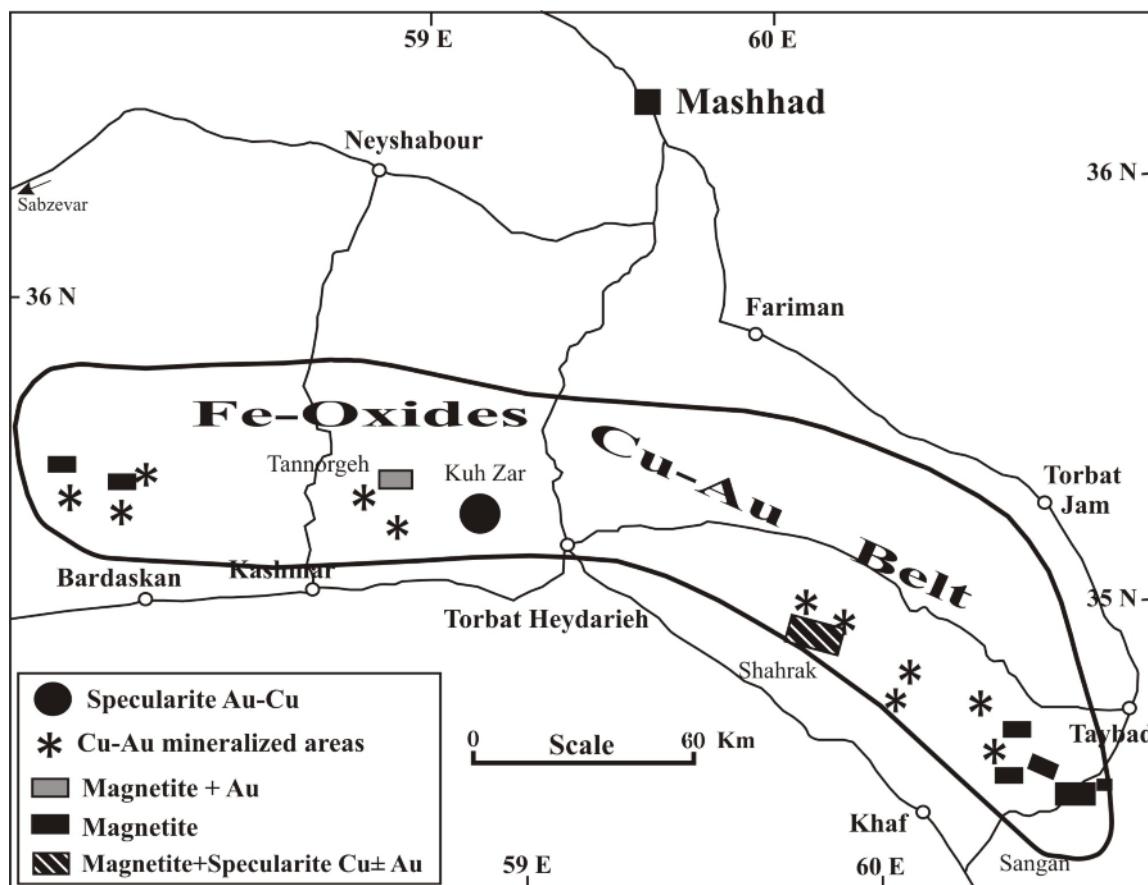
- ۱- تهیه و بررسی 6 مقطع نازک صیقلی به منظور بررسی اولیه شاره‌ی درگیر.
- ۲- تهیه و بررسی سنگ شناختی 8 مقطع نازک دوبرصیقلی و انتخاب نمونه برای بررسیهای دماسنجه.
- ۳- بررسیهای دماسنجه روی 5 نمونه به وسیله لینکام مدل THM600 با کنترل کننده دمایی TMS94 و سرد کننده LNP وابسته به بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم.

های کانی‌سازی حاکی از جایگزینی زمین ساختی زونهای آهن در سنگهای میزبان است. رخنمونهای متعددی از این کانی‌سازی با میزان مگنتیت بالاتر تا مناطق خوف، تربیت‌جام و تایباد گزارش شده است [۱].

رخنمونهای متعدد کانی‌سازی آهن، همراه با مگنتیت و پراکندگی آنها در منطقه، استفاده از روش مغناطیس‌سنجه زمینی را برای بررسی چگونگی گسترش و ارتباط آنها در عمق ایده‌آل می‌سازد. بر این پایه بخشی از بررسیها با هدف شناسایی مناطق کانی‌سازی پوشیده از آهن، با مغناطیس‌سنجهای زمینی در گستره رخنمونهای کانی‌سازی و مناطق اطراف آنها صورت گرفت. همچنین بررسیهای میکرو دماسنجهای شاره‌های درگیر به منظور تعیین دمای تشکیل زونهای کانی‌سازی هدف دیگر این کار بوده است.

روش بررسی

به منظور بررسی ارتباط زمین‌شناسی- کانی‌سازی منطقه و پاسخهای مغناطیسی آن و تعیین دمای تشکیل زونهای کانی-



شکل ۱ موقعیت کمربند کانی‌سازی نوع Iron-oxide در محور خوف- تربت‌حیدریه- کاشمر- برگرفته از [۲] با تغییرات.

بیرونی (گدازه‌ای و آذرآواری) است. قدیمی‌ترین سنگهای موجود شامل واحدهای مارن، شیل و لای و لجن به سن نسبی الیگوسن [۶] است که در جنوب منطقه رخنمون دارند. واحدهای آذرین منطقه به سن نسبی پالئوزن و ترکیب حدواسط در گسترهٔ دیوریت تا سینیت قرار می‌گیرند. بیشترین گسترش سنگ‌شناسی در منطقه به توده‌های نفوذی کم عمق با ترکیب دیوریت و مونزوئیت دارای فلدسپارهای درشت اختصاص دارد. این توده‌های نفوذی که در گستره‌های کانی-سازی رخنمون دارند عبارتند از: دیوریت، فلدسپار مونزوئیت و مونزو دیوریت، فلدسپار مونزوئیت و سینیت که دارای بافت موزاییکی بوده و در عمق کم تشکیل شده‌اند (شکلهای ۲ و ۳). سنگهای آتش‌شانی شامل گدازه‌های جریانی و سنگهای آذرآواری با ترکیب حدواسط در حد آندزیت در بخش جنوبی منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی وابسته به واحدهای نفوذی منطقه، و به ویژه توده‌های کم عمق‌اند [۱].

بررسی‌های ژئوفیزیکی

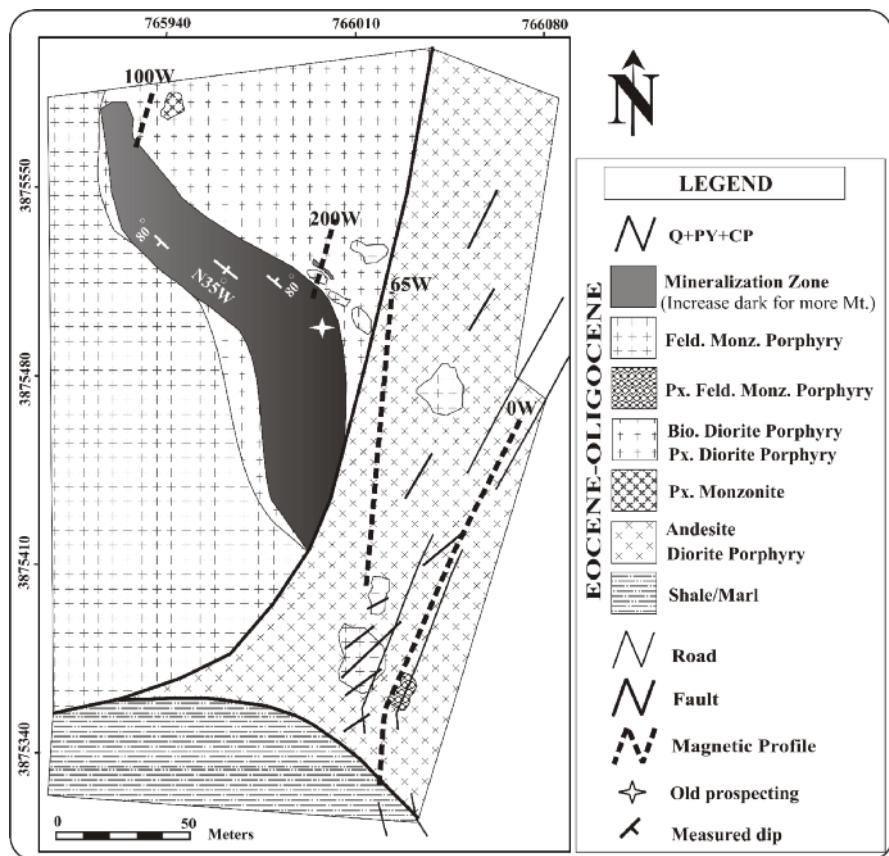
۱- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی روی ۸۱ نمونه سنگی و کانی‌سازی در طول ۱۲ خط برداشت.

۲- اندازه‌گیری شدت کل میدان مغناطیسی (TMI) جمعاً در ۴۹۹ نقطه با مجموع ۱۲ خط برداشت روی دو زون کانی‌سازی و مناطق پوشیده پیرامون آنها.

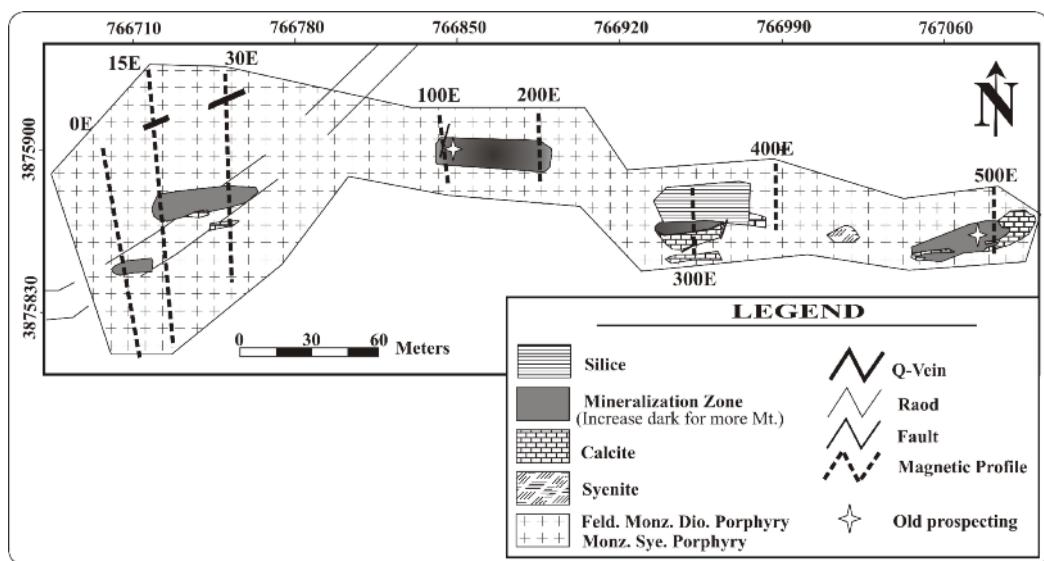
مغناطیسی سنج مورد استفاده از نوع پروتون مدل ENVI با دقت 0.1° گاما و پذیرفتاری سنج به کار برده شده مدل GMS2 با دقت $1 \times 10^{-5} \text{ SI}$ بوده است که هر دو ساخت شرکت سینترکس کانادا و متعلق به بخش زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد بوده‌اند.

زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در ناحیه‌ای کوهستانی با توپوگرافی خشن قرار گرفته است. واحدهای موجود در منطقه شامل انواع سنگهای تنه‌نشستی، آذرین درونی (عمیق و نیمه عمیق) و



شکل ۲ زمین‌شناسی گستره زون جنوبی.



شکل ۳ زمین‌شناسی گستره زون شمال خاوری.

کانی‌سازی زون جنوبی در شرق به وسیله گسلی قطع می‌شود که در حال حاضر آبراهه است. میزبان اصلی کانی‌سازی در این ناحیه را واحدهای بیوتیت دیبوریت پورفیری-پیروکسن دیبوریت پورفیری تشکیل می‌دهند (شکل ۲). زون شمال خاوری دارای راستای تقریباً خاوری-باختری بوده و در طول حدود ۳۳۰ متر در ۵ منطقه رخنمون دارد. عرض این زون در رخنمونهای موجود بین ۴ تا ۱۴ متر تغییر می‌کند. سنگ میزبان اصلی این زون واحدهای فلدسپار مونزودیبوریت پورفیری-مونزوسینیت پورفیری است (شکل ۳).

بافت کانی‌سازی در هر دو منطقه بیشتر توده‌ای و به شکل محدود پرکننده است. کانیهای مگنتیت و اسپیکولاریت مجموعاً بین ۸۵ تا ۹۰ درصد زونها را تشکیل می‌دهند. به طور کلی بیشترین میزان مگنتیت در ضلع خاوری زون جنوبی است که به بیش از ۸۰ درصد می‌رسد، ولی به سمت باختر بر میزان اسپیکولاریت افزوده می‌شود. در زون شمال خاوری اسپیکولاریت مهمترین کانه آهن را تشکیل می‌دهد. باقیمانده زونهای کانی‌سازی را مجموعه‌ای از کانیهای کوارتز، کلسیت، مالاکیت، آزوریت، پیریت، کالکوپیریت، کلریت، کانی رسی و اکسید-هیدروکسیدهای آهن ثانویه تشکیل می‌دهند که از این میان کوارتز و سپس کلسیت از اهمیت بیشتری برخوردارند [۷]. میزان کوارتز در زون شمال خاوری افزایش نسبتاً بالایی در مقایسه با زون جنوبی نشان می‌دهد. بر پایه بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفته، ۴ فاز کانی‌زایی مشخص شدند.

منطقه از نظر زمین ساختی بسیار در هم ریخته است. غالباً شکستگیها و سیستم درزهای موجود در ارتباط با گسل درونه است. وجود گسلهای یاد شده پتانسیل مناسبی برای نفوذ شلرهای کانی‌ساز فراهم ساخته است. واحدهای آهکی در حد خاوری زون شمال خاوری در تماس با رخنمونهای کانی‌سازی وجود دارند که ارتباط تنگاتنگ و همزمانی تشکیل آنها با کانی‌سازی مشهود است (شکل ۳). در ناحیه سنگان نیز وجود واحدهای آهکی در جوار کانی‌سازی گزارش شده است [۱۱].

دگرسانی

دگرسانی فرگیر در منطقه از نوع پروپیلیتیک بوده و کانیهای کلریت و اپیدوت در سنگهای آذرین به حالت رگچه‌ای و تبدیل سیلیکاتها یافت می‌شوند. دگرسانی آرژیلیک با گسترش کم و در گستره زون کانی‌سازی جنوبی تشکیل شده است. زون نسبتاً گسترده‌ای از سیلیس با برخوردگاه تدریجی در کنار رخنمونی از زون کانی‌سازی شمال خاوری وجود دارد که بررسیهای میکروسکوپی آن باقیمانده‌ای از سنگی کم عمق به شدت سیلیسی شده را نشان می‌دهد.

کانی‌سازی و ژئوشیمی

کانی‌سازی بیشتر شامل مگنتیت و اسپیکولاریت در دو منطقه زون جنوبی و زون شمال خاوری با فاصله‌ای در حدود یک کیلومتر از یکدیگر رخنمون دارند. طول کانی‌سازی زون جنوبی در حدود ۱۹۰ متر و عرض آن در بخش شرقی حدود ۴۰ متر است که در بخش باختری به ۸ متر کاهش می‌یابد. این زون دارای راستای N^{35°}W و شب S^{80°}E است.

کانی‌سازی مگنتیت علاوه بر زونهای یاد شده، در سنگهای میزبان به صورت اولیه و نیز به صورت رگچه‌های موثر بر سنگ دیده شده. اندازه بلورهای مگنتیت اولیه در سنگها ۲–۰/۱ mm است و در برخی موارد به ۳ mm می‌رسد. مقدار مگنتیت اولیه موجود معمولاً بین ۲–۱ درصد متغیر است ولی گاهی کمتر از ۱ درصد و یا بیش از ۱۵ درصد در سنگهای میزبان دیده شده است [۸].

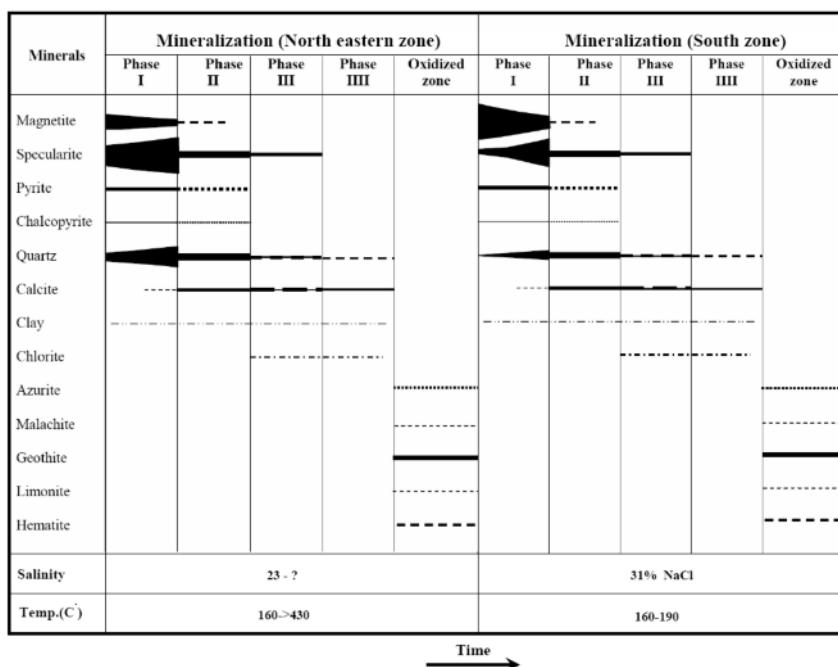
علاوه بر این در سنگهای میزبان رگه‌هایی از کانی‌سازی مس مشاهده شدن. قطر این رگه‌ها عموماً بیش از ۵۰ cm و تا ۱ متر افزایش می‌یابد. کانی اصلی این رگه‌ها کوارتز است که در میان خود مقادیر زیادی مالاکیت و نیز سولفید مس به صورت کالکوپیریت و به مقدار جزئی پیریت را در بر می‌گیرد. راستای اغلب این رگه‌ها تقریباً شمالی-جنوبی است (شکل ۲). به منظور بررسی ژئوشیمی زونهای کانی‌سازی چند نمونه به روش جذب اتمی (AAS) در بخش شیمی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه برای عناصر طلا، مس، سرب، و روی در جدول (۱) آرائه شده‌اند. میزان مس موجود در حدود ۰/۲ درصد به صورت کانی کالکوپیریت است. بیشترین مقدار عنصر طلا ۴۴ ppb به دست آمده است. عناصر سرب و روی تا ۵۷ و ۶۰ در واحد گرم بر تن گزارش شده‌اند.

فاز اول: اسپیکولاریت و مگنتیت بخش بزرگ این فاز کانی‌سازی را تشکیل داده‌اند. از ویژگیهای شاخص این فاز فراوانی میزان مگنتیت و درشت بلور بودن کانیها خصوصاً اسپیکولاریت است. بیشترین میزان مگنتیت در خاور کانی‌سازی زون جنوبی تشکیل شده است (شکل ۲). پس از کانهای مگنتیت و اسپیکولاریت کانی کوارتز بیشترین حجم کانی‌سازی را در فاز اول تشکیل می‌دهد.

فاز دوم: این فاز به صورت رگچه‌های باریک به قطر ۰/۱–۲ mm است. که بیشتر از اسپیکولاریت با حجم تقریباً برابری از کوارتز و کلسیت تشکیل شده است. کلریت با رنگ سبز تداخلی در برخی از رگچه‌ها حضور دارد. پیریت و کالکوپیریت به مقادیر اندک مشاهده می‌شوند.

فاز سوم: این فاز کانی‌سازی به صورت رگچه‌های بسیار باریک مشاهده شد که حاوی اسپیکولاریت، کوارتز، کربنات و کلریت با رنگ سبز بدون شکست و انحراف است.

فاز چهارم: به صورت رگچه‌های بسیار نازکی مشاهده شد که تنها از کانی کربنات و یا گاهی کوارتز و در برخی موارد از مجموع هر دو تشکیل یافته است. رگچه‌های تک فاز کربناتی، فراوانی بسیار زیادی در این مرحله از کانی‌سازی دارند و در راستاهای مختلف فازهای دیگر کانی‌سازی را قطع می‌کنند. دنباله پاراژنزی فازهای مختلف کانی‌سازی در شکل ۴ آرائه شده است.



شکل ۴ دنباله پاراژنزی زونهای کانی‌سازی آهن.

جدول ۱ نتایج تجزیه نمونه‌های کانی‌سازی به روش جذب اتمی.

	TNS3	TNS4	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Au (ppb)	۴۴,۱	۶,۸						
Cu (ppm)	۲۳۰۰	۲۰۰۰						
Pb (ppm)	۲۱	۱۴	۳۷,۵	۳۱	۵۷,۶	۲۱,۲	۲۲,۵	۲۳,۶
Zn (ppm)	۲۱	۸	۶۰,۷	۱۰,۱	۲۶,۷	۹,۳	۱۱,۵	۱۰,۷

می‌توان با فازهای مختلف کانی‌سازی وابسته دانست. وجود بلورهای هالیت، پایین بودن آخرین دمای ذوب یخ (T_m) در بیشتر شاره‌های مورد بررسی (کمتر از -۲۱- درجه سانتیگراد) و نیز میانگین دمای اولین ذوب یخ (T_{fm}) در این شاره‌های مورد بررسی در حدود -۶۶- درجه سانتیگراد بود که نشان دهنده شوری بالای محلول کانه‌دار است. وجود کلسیت به عنوان پاراژنه کانی در کانی‌سازی املح کلسیم‌دار را در محلول کانی‌ساز نشان می‌دهد. بنابراین، شوری اغلب شاره‌های درگیر در سیستم سه تایی $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ تعیین شد. کمترین دمای ذوب یخ در -۱۶- درجه سانتیگراد معادل ۱۹,۶ درصد شوری بر حسب نمک طعام و بیشترین شوری برآورد شده برابر با ۳۱ درصد در شاره حاوی نمک طعام اندازه‌گیری شد. دماسنجهای شاره‌های درگیر در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت، دمایی در گستره ۲۰۳-۱۶۷ درجه سانتیگراد را برای محلول نشان داد.

دماسنجهای شاره‌های درگیر

از آنجا که کوارتز مهمترین کانی شفاف همزاد با کانی‌سازی مگنتیت+ اسپیکولاریت در منطقه است، بررسیهای میکرو دماسنجهای روی شاره‌های درگیر کانی کوارتز انجام شده است. شاره‌های درگیر اولیه موجود در نمونه‌ها از نظر فازهای دربرگیرنده عموماً شامل دو نوع آبگون- گاز و آبگون - گاز- جامد (هالیت) هستند (جدول ۲).

این شاره‌ها عموماً چندوجهی و دارای سطوح صاف بوده و در بیشتر آنها پدیده کشیدگی دیده می‌شود. نوع دارای بلور نمک در زون جنوبی فراوانی بیشتری دارد. بر پایه بررسیهای سنگ شناختی انجام شده، ۴ نمونه از زونهای کانی‌سازی آهن و یک نمونه از رگه‌های حاوی مس برای بررسی دماسنجه انتخاب شدند.

دماسنجهای نمونه‌های کانی‌سازی آهن، دامنه گسترهای از دمای بین ۱۶۰ تا بیش از ۴۳۰ درجه سانتیگراد برای محلول کانی‌ساز نشان داد (جدول ۲). تغییرات دمایی به دست آمده را

جدول ۲ نتایج حاصل از میکروترمومتري

موقعیت نمونه	شماره نمونه	T_h (°C)	T_m (°C)	T_{fm} (°C)	انواع فازها در 30°C
زون جنوبی	S ₂₋₁	-۳۴- تا -۶۳	-۳۴- تا -۲۴	-۷۶- تا -۶۳	L+V± S
زون شمال خاوری	Y-2	-۲۶- تا -۶۳	-۲۶- تا -۲۱	-۷۲- تا -۶۳	L+V
زون شمال خاوری	Y-3	-۳۲- تا -۶۳	-۳۲- تا -۲۸	-۷۱- تا -۶۳	L+V
زون شمال خاوری	Y-4	-۲۸- تا -۶۴	-۲۸- تا -۱۶	-۷۴- تا -۶۴	L+V± S
رگه کوارتز- پیریت- کالکوپیریت	S ₁₋₃	-۲۷- تا -۴۹	-۲۷- تا -۲۱	-۸۰- تا -۴۹	L+V± S

علائم اختصاری : T_{fm} (دمای اولین ذوب یخ)، T_m (دمای نهایی ذوب یخ)، T_h (دمای همگن شدن).

سنجدی معتبر دنیا] (NOAA) National Oceanographic [and Atmospheric of America را در روزهای برداشت آرام گزارش کرده بودند این تغییرات ناچیز در نظر گرفته شد. تفسیر بیهوده‌های مغناطیسی زمینی با استفاده از نیمرخهای زمین‌شناسی و پذیرفتاری مغناطیسی برداشت شده انجام شد.

روندهای افزایشی و یا کاهشی تدریجی شدت میدان در نواحی قادر رخنمون (نیمرخ ۰W) معلوم کانی‌سازی با مقادیر متغیری از مگنتیت در عمق‌اند (شکل ۵). گاه این فزونیها به گونه‌ای است که تنها با افزایش قابل توجه میزان مگنتیت در عمق قابل تفسیر است (نیمرخ ۱۵E، شکل ۶). در نیمرخ ۰W روند افزایشی، می‌تواند نشانگر افزایش مگنتیت در عمق باشد یا در نیمرخ ۱۵E به سمت جنوب روند کاهشی شدت میدان حاکی از کاهش درصد مگنتیت است. برای نشان دادن تغییرات در کانی‌سازی از دو نماد بیشینه (Max) اسپیکولاریت و بیشینه مگنتیت با شدت رنگ متغیر استفاده شد.

وجود پذیرفتاری مغناطیسی بالا با بیشینه مقدار (SI^{-۵}) در رخنمونهایی از نیمرخ ۲۰۰W گویای مقدار ۱۰×۴۵۰۳۲ در خاستگاهی بالایی از مگنتیت بوده وجود قله ها گویای خاستگاهی غنی‌تر از مگنتیت در عمق است که با نشان داده شد (شکل ۷). چنین حالتی را می‌توان در نیمرخ ۵۰۰E نیز مشاهده کرد (شکل ۸).

در برخی موارد پذیرفتاریهای مغناطیسی تغییرات شدت میدان را نشان نمی‌دهند که با در نظر گرفتن تغییرات سطحی و عمقی مگنتیت و اسپیکولاریت کاملاً قابل درک است. به عنوان مثال در رخنمونهای با اسپیکولاریت بالا در حدود ۷۰ درصد و در تائید آن پذیرفتاریهای مغناطیسی پایین در حدود ۱۵۰ (SI^{-۵}) × ۱۰۰۰ با شدت میدان مغناطیسی بالا در حدود ۵۰۰E تغییرات کوچک میدان را با در نظر گرفتن تغییرات عمقی و حجمی توده کانی‌سازی می‌توان توجیه کرد (سمت شمالی نیمرخ ۵۰۰E).

اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی

پذیرفتاری مغناطیسی از ۸۱ نمونه کانی‌سازی و سنگ میزبان در طول ۱۲ خط برداشت مغناطیسی سنجدی، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق نزدیک به یکدیگر متغیر است. این تغییرات گاه بسیار بزرگ است که گویای انبوهی کانی مگنتیت و یا حضور انباشته‌ای از کانی اسپیکولاریت در کانی‌سازی است که پذیرفتاری کم دارد. پذیرفتاری مغناطیسی در زونهای کانی‌سازی که بیشتر از اسپیکولاریت تشکیل شده‌اند، در حدود (SI) ۱۰^{-۵} × ۱۲۵ با افزایش میزان مگنتیت به (SI) ۱۰^{-۵} × ۳۲۴۵ تغییر می‌کند. تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی سنگ‌های منطقه در جدول (۳) ارائه شده‌اند. بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی در فلدسپار موزنودیوریت پسورفیری (SI) ۱۰^{-۵} × ۲۳۵ و کمترین در کلسیت است. گاهی بالا بودن پذیرفتاری به دست آمده از سنگ‌های میزبان در اثر وجود رگچه‌ها و یا ریز رگچه‌های حاوی مگنتیت حاصل از تاثیر محلول کانی‌ساز نزدیک به سطح است.

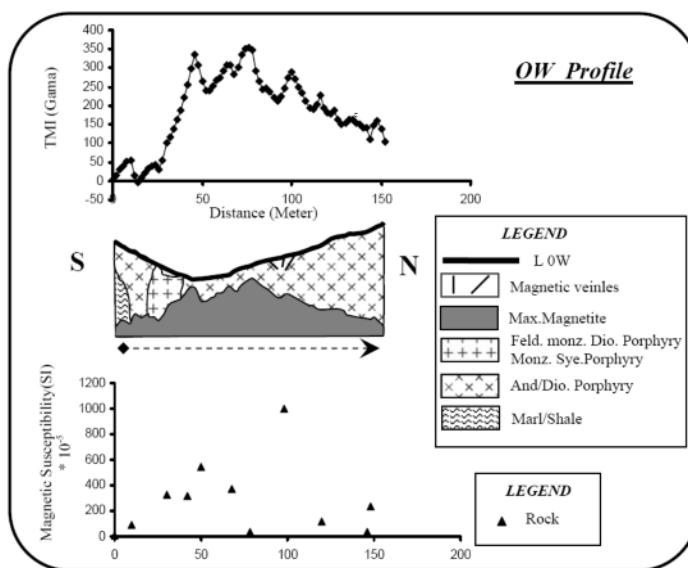
مغناطیسی سنجدی زمینی

مغناطیسی سنجدی هوایی و سپس مغناطیسی سنجدی زمینی روش اساسی برای بی‌جویی کانسار آهن بوده است به ویژه در جایی که کانی‌سازی آهن مانند منطقه مورد بررسی بیرون زدگی دارد [۹]. در کل منطقه مورد بررسی ۱۲ نیمرخ طراحی و مکان آنها روی زمین مشخص شدند (۴) نیمرخ در گستره زون جنوبی و ۸ نیمرخ در گستره زون شمال خاوری، شکل ۲ و ۳. فواصل و طول نیمرخها با یکدیگر تفاوت دارند و سعی شد تا هم نواحی با رخنمون کانی‌سازی و هم نواحی قادر رخنمون را پوشش دهد تا بتوان به گسترش کانی‌سازی پوشیده با استفاده از آگاهی‌های مغناطیسی پی برد. فواصل نقاط برداشت در هر نیمرخ ۲ متر انتخاب شد و در مکانهایی که شدت میدان تغییرات شدیدی نشان می‌داد برای دقت بیشتر این فواصل به ۱ متر کاهش یافت. جمعاً در ۴۹۹ نقطه شدت کل میدان مغناطیسی قرائت شد که پس از تصحیح تغییرات روزانه با استفاده از قرائتها تکراری مبنا در هر نیمرخ و کسر شدت میدان اصلی منطقه [۱۰] بی‌هنجاریهای مغناطیسی به صورت نیمرخ ارائه شدند. با توجه به اطلاعات پایگاههای مغناطیسی-

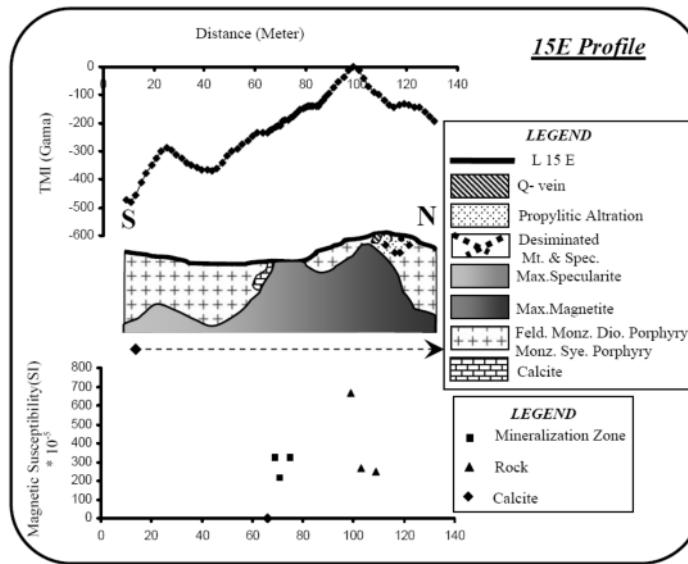
جدول ۳ مقایسه پذیرفتاری‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده در زونهای کانی‌سازی و سنگهای منطقه

نام واحد اندازه‌گیری شده	کانی‌سازی	مونزو-سینیت پورفیری	فلدسبار مونزو-دیوریت پورفیری	دیوریت پورفیری	آندرزیت	کلسیت	شیل و مارن
تعداد برداشت	۴۲	۱۹		۶	۴	۱	۱
حداقل	۶۰	۳۴		۳۵	۳۰	۳	۸
حداکثر	۳۲۴۵۰	۲۳۵۰		۱۳۳۶	۹۹۷	۳	۸
میانگین	۳۹۶۳۲۹	۶۸۹		۴۳۷	۳۳۷	۲	۸

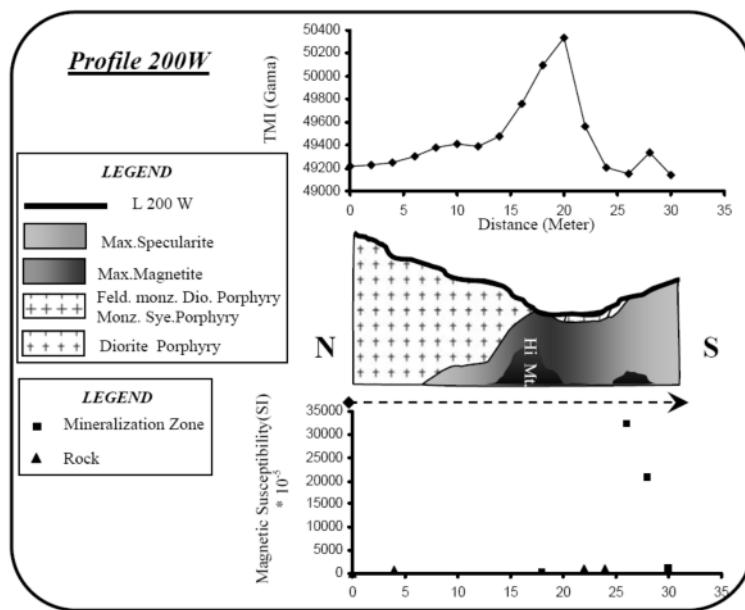
پذیرفتاری
مغناطیسی
 $\times 10^{-5}$ (SI)



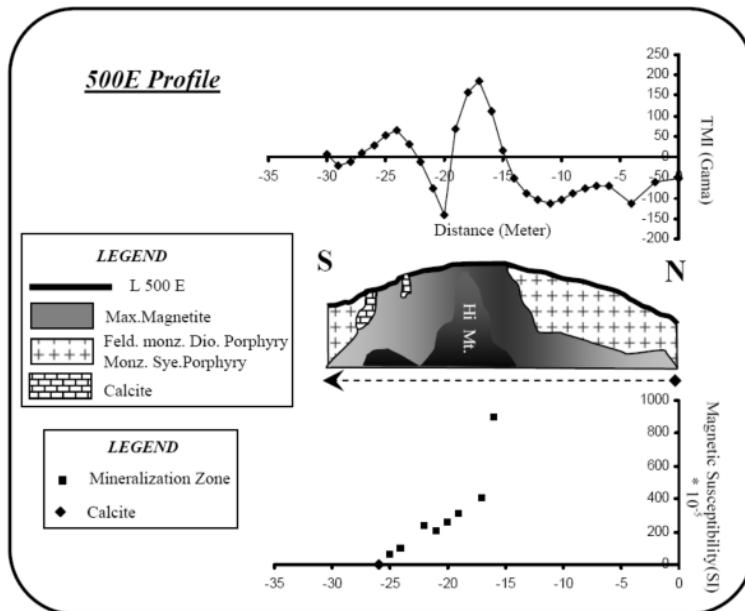
شکل ۵ نیمرخهای شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 0W و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی جنوبی، برداشت شده از منطقه پوشیده.



شکل ۶ نیمرخهای شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 15E و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی شمال شرقی، برداشت شده از بخشی از رخمنوں و منطقه پوشیده.



شکل ۷ نیمرخ‌های شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 200W و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی جنوبی، برداشت شده از بخشی از رخنمون و منطقه پوشیده.



شکل ۸ نیمرخ‌های شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 500E و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی شمال خاوری، برداشت شده از بخشی از رخنمون و منطقه پوشیده.

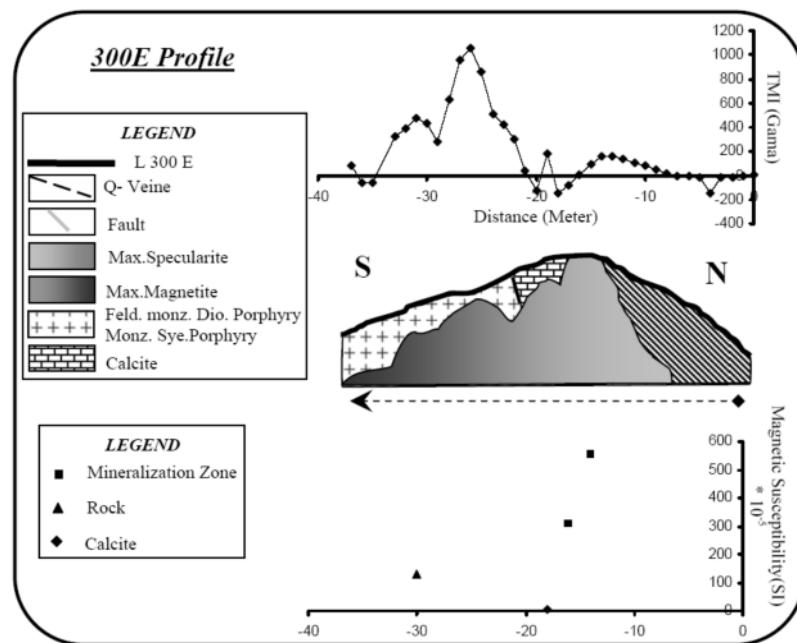
پوشیده هستند. بیشترین دامنه بی‌亨جاری مغناطیسی در ۳ ناحیه به دست آمده است که به ترتیب شدت عبارتند از:

- ۱- بخش جنوبی رخنمون چهارم از زون کانی‌سازی شمال خاوری.

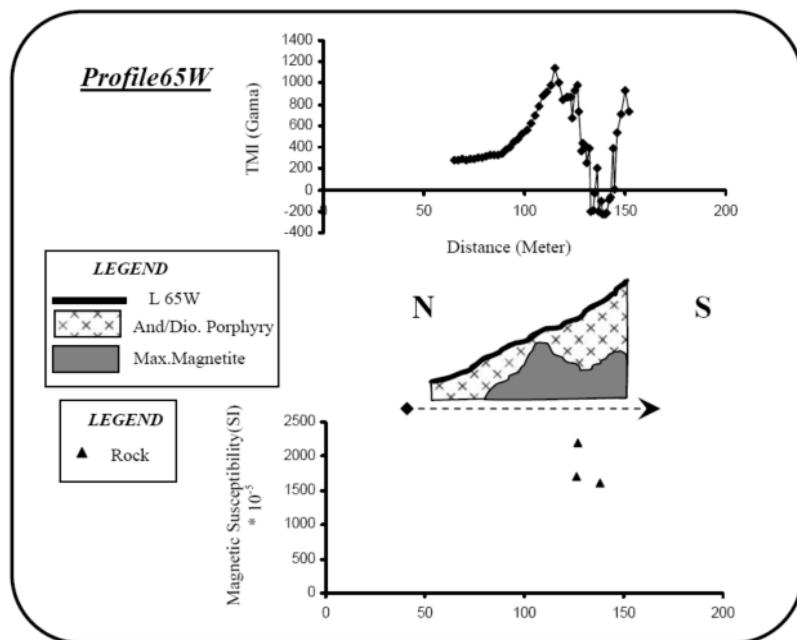
در کل منطقه کمترین و بیشترین مقدار شدت میدان به ترتیب ۵۰۰-۵۰۰ گاما در نیمرخ ۱۵E (شکل ۶) و ۱۱۵۰+ گاما در نیمرخ ۳۰۰E بوده است (شکل ۹) که اولی با روند نزولی نمودار و دیگری به صورت قله معرف تغییر شدید مگنتیت در مناطق

همچنین بالاترین گستره مقدار پذیرفتاری مغناطیسی که تقریباً با بی هنجاریهای بالای شدت میدان مغناطیسی همخوانی دارد، در زون جنوبی و رخنمون سوم زون شمال خاوری وجود دارد.

- ۲- نیمرخ 65W از مناطق پوشیده در شرق زون کانی‌سازی جنوبی (شکل ۱۰).
- ۳- با شدت دامنه کمتر در کل رخنمون سوم زون کانی‌سازی شمال شرقی.



شکل ۹ نیمرخ‌های شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 300E و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی شمال خاوری، برداشت شده از بخشی از رخنمون و منطقه پوشیده.



شکل ۱۰ نیمرخ‌های شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 65W و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی جنوبی، برداشت شده از منطقه پوشیده.

- [۲]- کریم پور م.ح، مقایسه کانسار $Cu-Ag-Au$ قلعه زری با دیگر کانسارهای نوع (Iron Oxides Cu-Au) (IOCG)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، رده بندی جدید، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱، (۱۳۸۴) ص ۱۷۶-۱۸۴.
- [۳]- کریم پور م.ح، ملک زاده شفارودی آ، مقایسه ژئوشیمی سنگ منشا تووده مگنتیت طلایدار تنورجه و مگنتیت بدون طلای معندن سنگان، استان خراسان رضوی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره اول، (۱۳۸۵) ص ۳-۲۶.
- [۴] Jensen E. P., Barton M. D., "Gold deposits related to alkaline magmatism", *Reviews in Econ. Geol.* 13 (2000) 279-314.
- [۵] Barton M. D., Johnson D. A., Zurcher L., "Phanerozoic iron-Oxide (REE-Cu-Au-U) systems in Southwestern North America and their origins", *Geological Society of Nevada Symposium* (2000).
- [۶] خلقی خسرقی م.ح، نادری ن، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دولت آباد، برگه شماره ۳، سازمان زمین‌شناسی کشور. (۱۳۷۵).
- [۷] کریم پور م.ح، حیدریان شهری م.ر و یوسفی سورانی ل، "شناسایی زونهای کانی‌سازی و تشخیص فراوانی نسبی مگنتیت و اسپیکولاریت در عمق و مناطق پوشیده با استفاده از مغناطیس سنجی زمینی در شمال شهرک (تریت حیدریه)، مجموعه مقالات سیزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد اول، (۱۳۸۴) ص ۱۲-۱۷.
- [۸] کریم پور م.ح، حیدریان شهری م.ر و یوسفی سورانی ل، "کانی‌سازی، ژئوشیمی و میکروترموتری کانی‌زایی Iron oxides Cu - Au در شمال شهرک (جنوب شرق تربت حیدریه)"، مجموعه مقالات چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد اول (۱۳۸۵) ص ۳۸۷-۳۹۳.
- [۹] T. L. Kerr, A. P. O'Sullivan and D. C. Podmore, "Geophysics and iron ore exploration, Examples from the Jimblebar and Shay Gap-Yari regions, Western Australia", *Exploration Geophysics*, vol. 25, No. 3, 169-180, 1994.
- [۱۰] یوسفی امامقلی، "نقشه شدت میدان کل مغناطیسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی"، برگه شماره ۳، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۹).

برداشت

کانی‌سازی در ۴ مرحله رخ داده است که بیشترین حجم آن به فاز اول اختصاص دارد. فازهای دوم و سوم کانی‌سازی در حجم بسیار کم و به صورت رگجه‌های باریک قطع هستند. فاز چهارم یا فاز نهایی کانی‌سازی به صورت رگجه‌های بسیار باریکی است که تنها از کانی کربنات و یا گاهی کوارتز و در برخی موارد از مجموعه هر دو تشکیل یافته است. بررسی ژئوشیمی زونهای کانی‌سازی نشان می‌دهد که میزان عنصر مس در حدود ۰/۲ درصد است. این مقدار در مقایسه با بیشترین مس به دست آمده از تووده‌های آهن سنگان و تنورجه که به ترتیب ۴۰۸ ppm و ۹۲۰ ppm هستند [۳] از حد بالاتری برخوردار است. میزان طلای کانی‌سازی منطقه شهرک ۴۴ ppb است که نسبت به منطقه تنورجه با بیشینه ۵۰۰ ppb بسیار پایین‌تر بوده و همخوانی بیشتری با منطقه سنگان با بیشینه ۳۲ ppb نشان می‌دهد [۳]. بررسی میکرو دما سنج شاره‌های درگیر نشانگر محلول کانه‌دار با شوری نسبتاً بالا و دمای متغیر بین ۱۶۰ تا بیش از ۴۳۰ درجه سانتیگراد است.

افزایش و کاهش شدت میدان مغناطیسی ارتباط مستقیم با تغییرات درصد مگنتیت در کانی‌سازی دارد. در برخی رخنمونها و یا نواحی فاقد رخنمون، افت شدید و یکباره شدت میدان مغناطیسی تنها با کاهش شدید میزان مگنتیت در کانی‌سازی و افزایش زیاد درصد اسپیکولاریت و یا اتمام روند کانی‌سازی تفسیر می‌شود. با توجه به نمودارهای بی‌亨جارتی مغناطیسی و تفسیرهای آنها، می‌توان پیش‌بینی کرد که کانی‌سازی اولیه آهن علاوه بر رخنمونهای سطحی موجود، در عمق نیز گسترش داشته و به سمت عمق بر میزان مگنتیت آن افزوده می‌شود که حاصل آن به صورت قله‌ها یا روندهای افزایشی در نمودارها، بی‌亨جارتی‌های شدت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند.

مراجع

- [۱]- یوسفی سورانی ل، "پتانسیل یابی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ دولت-آباد با استفاده از داده‌های ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای، ژئوفیزیک و پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، صفحه ۳۸۷ (۱۳۸۵).