



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

L. Yousefi<sup>1</sup>, M.R. Haidarian Shahri<sup>1</sup>, M.H. Karimpour<sup>1,2</sup>

*1-Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad*

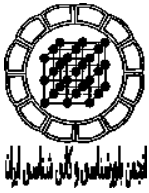
*2-Department of Geology Sciences University of Colorado Boulder Co, USA*

*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, Chalcopryrite 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-Chalcopryrite 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 H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> 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، دماسنجی شاره‌های درگیر، و مغناطیس‌سنجی زمینی کانی‌سازی مگنتیت-اسپیکولاریت مس-طلای منطقه پی‌جویی شهرک، تربت‌حیدریه، ایران

لیلا یوسفی سورانی<sup>۱</sup>، محمدرضا حیدریان شهری<sup>۱</sup>، محمدحسن کریم‌پور<sup>۲</sup>

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 تربت حیدریه و ۱۲ کیلومتری شمال آبادی شهرک در کمربند آتشفشانی 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 ۲۰۰۰ ppm و طلا تا ۴۴ ppb تعیین شد. بررسیهای میکرو دماسنجی 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 ۱۶۷-۲۰۳ درجه سانتیگراد و شوری نسبتا بالای آبگون را نشان داد. نزدیکترین سیستم ترکیبی برای شاره‌های درگیر سیستم سه تایی  $H_2O - NaCl - CaCl_2$  تعیین شد. با توجه به فراوانی مگنتیت و پذیرفتاری مغناطیسی بالا در کانی‌سازی، و مغناطیس‌سنجی زمینی انجام شده که منجر به شناسایی مناطق کانی‌سازی پوشیده شده است.

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

### مقدمه

گستره پی‌جویی مورد بررسی در ۹۲ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان تربت حیدریه و در بلندیهای شمال روستای شهرک، بین طولهای جغرافیایی  $29^{\circ} 52'$  و  $29^{\circ} 59'$  و  $60^{\circ} 00' 03''$  و عرضهای جغرافیایی  $34^{\circ} 45' 57''$  و  $35^{\circ} 02' 48''$  واقع شده است. در این منطقه زونهای گسترده ای از کانی‌سازی آهن، بیشتر به صورت مگنتیت و اسپیکولاریت مورد شناسایی قرار گرفته [۱]. این کانی‌سازی جزئی از کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف- درونه به شمار می‌آید که کانسارهای Iron-Oxide متعددی در آن معرفی شده اند [۲]. بنابر تقسیم بندی‌های

موجود [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 کمربند می‌توان به طلا- اسپیکولاریت کوه‌زر، تنورچه، و معدن سنگان خواف اشاره کرد [۵] (شکل ۱).

بخش بزرگ کانی‌سازی منطقه شهرک به صورت دو زون پهن 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. پهنای زونهای کانی‌سازی در بعضی از نقاط به حدود ۱۴ تا ۴۰ متر می‌رسد. آثار جابه‌جایی در بدنه-

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

#### بررسیهای زمین‌شناسی-کانی‌سازی-دگرسانی

- ۱- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی-کانی‌سازی به مقیاس ۱:۱۰۰ و بررسی دگرسانی وابسته به واحدهای سنگی.
- ۲- برداشت و بررسی بیش از ۱۰۰ مقطع نازک، نازک صیقلی و بلوک صیقلی از واحدهای سنگی و کانی‌سازی.

#### مطالعه شاره‌های درگیر

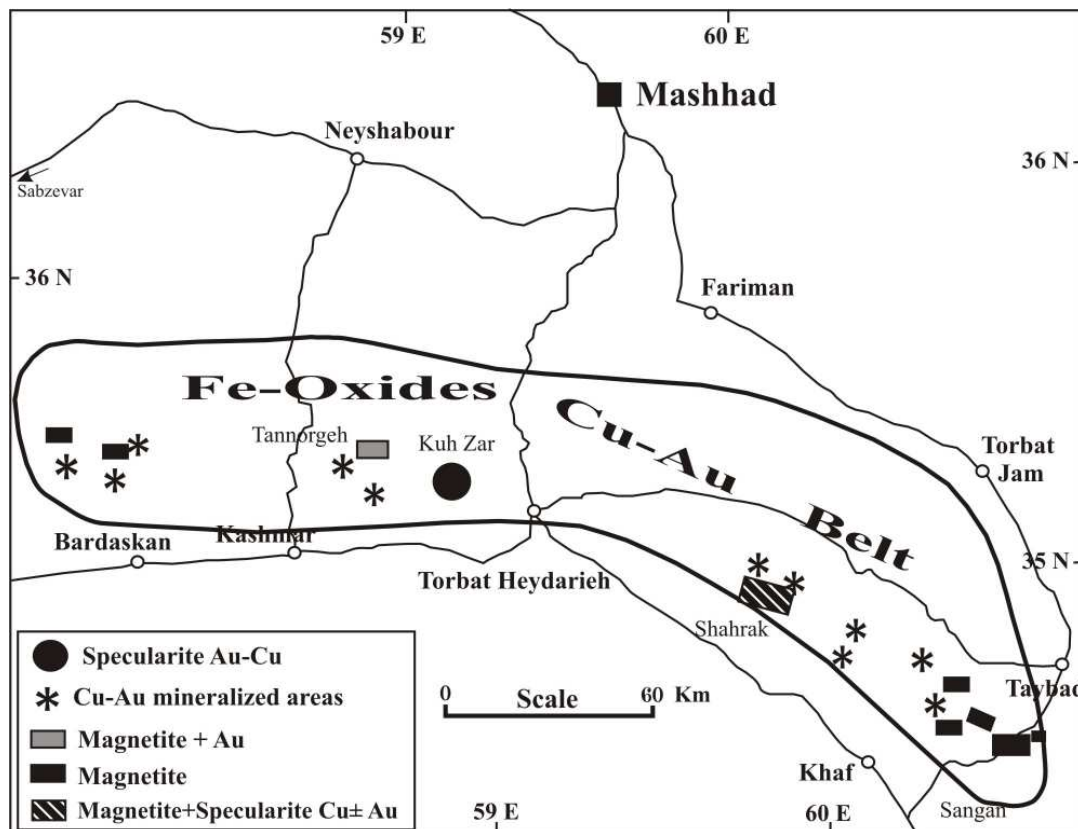
- ۱- تهیه و بررسی ۶ مقطع نازک صیقلی به منظور بررسی اولیه شارهی درگیر.
- ۲- تهیه و بررسی سنگ شناختی ۸ مقطع نازک دوبرصیقلی و انتخاب نمونه برای بررسیهای دماسنجی.
- ۳- بررسیهای دماسنجی روی ۵ نمونه به وسیله لینکام مدل THM600 با کنترل کننده دمایی TMS94 و سرد کننده LNP وابسته به بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت 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 خواف، تربت‌جام و تایباد گزارش شده است [۱].

رخنمونهای متعدد کانی‌سازی آهن، همراه با مگنتیت و پراکندگی آنها در منطقه، استفاده از روش مغناطیس‌سنجی 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 مغناطیس‌سنجیهای زمینی در گستره رخنمونهای کانی‌سازی و مناطق اطراف آنها صورت گرفت. همچنین بررسیهای میکرو دماسنجی 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 خواف- تربت‌حیدریه- کاشمر- بردسکن برگرفته از [۲] با تغییرات.

## بررسی‌های ژئوفیزیکی

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

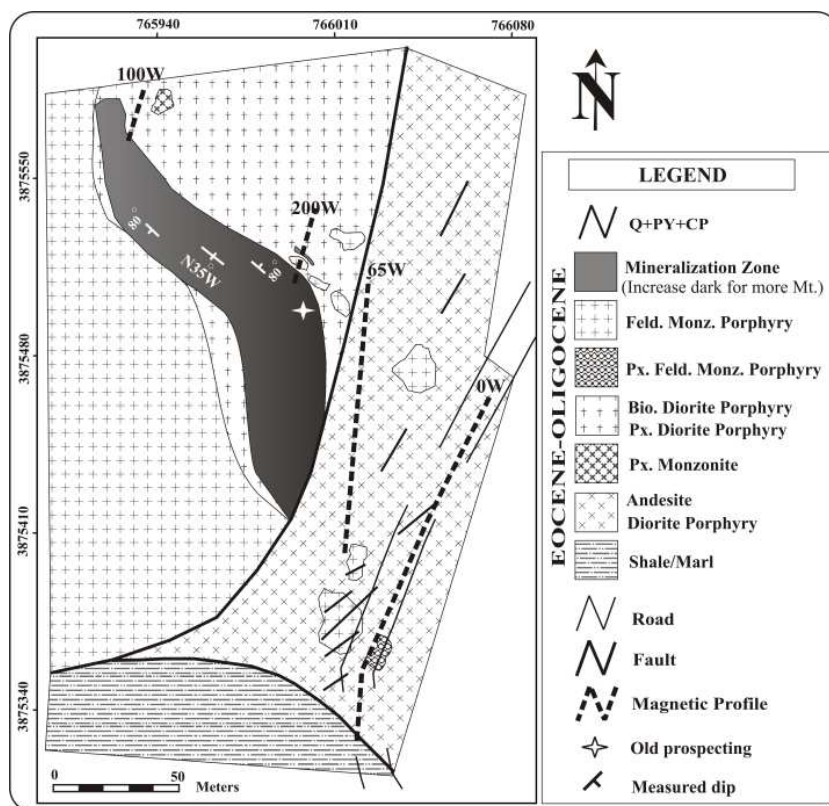
۲- اندازه‌گیری شدت کل میدان مغناطیسی (TMI) جمعاً در ۴۹۹ نقطه با مجموع ۱۲ خط برداشت روی دو زون کانی‌سازی و مناطق پوشیده پیرامون آنها.

مغناطیس‌سنج مورد استفاده از نوع پروتون مدل ENVI با دقت ۰٫۱ گاما و پذیرفتاری‌سنج به‌کار برده شده مدل GMS2 با دقت  $1 \times 10^{-5}$  SI بوده است که هر دو ساخت شرکت سینترکس کانادا و متعلق به بخش زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد بوده‌اند.

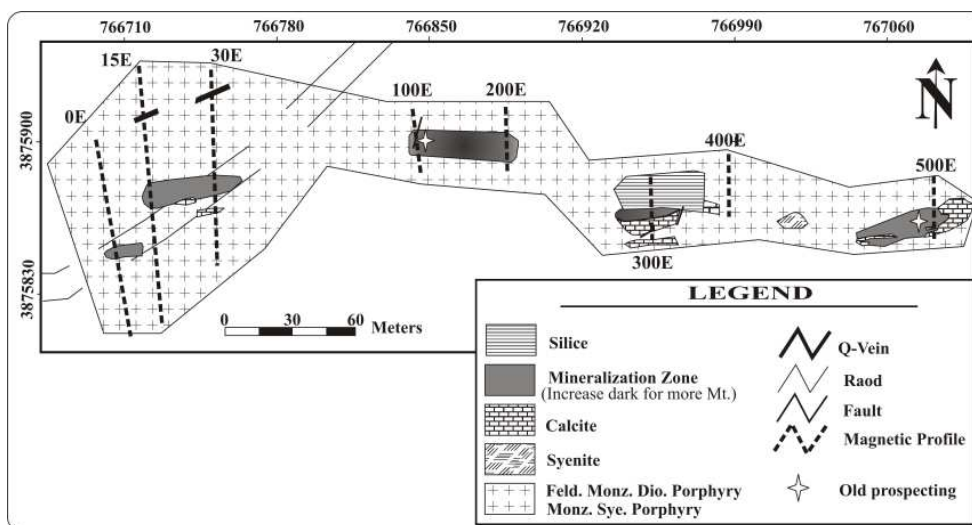
## زمین‌شناسی

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

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 پالئوژن و ترکیب حدواسط در گستره دیوریت تا سینیت قرار می‌گیرند. بیشترین گسترش سنگ‌شناسی در منطقه به توده‌های نفوذی کم عمق با ترکیب دیوریت و مونزونیت دارای فلدسپارهای درشت اختصاص دارد. این توده‌های نفوذی که در گستره‌های کانی-سازی رخنمون دارند عبارتند از: دیوریت، فلدسپار مونزودیوریت، فلدسپار مونزونیت و مونزوسینیت که دارای بافت موزایکی بوده و در عمق کم تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۳). سنگهای آتشفشانی شامل گدازه‌های جریان‌ی و سنگهای آذرآواری با ترکیب حدواسط درحد آندزیت در بخش جنوبی منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی وابسته به واحدهای نفوذی منطقه، و به ویژه توده‌های کم عمق‌اند [۱].



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 دیوریت پورفیری- پیروکسن دیوریت 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 مونزودیوریت 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، ملاکیت، 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 صحرائی و آزمایشگاهی انجام گرفته، ۴ فاز کانی‌زایی مشخص شدند.

منطقه از نظر زمین ساختی بسیار درهم ریخته است. غالب شکستگیها و سیستم درزه‌ای موجود در ارتباط با گسل درونه است. وجود گسلهای یاد شده پتانسیل مناسبی برای نفوذ شاره‌های 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 [۱].

### دگرسانی

دگرسانی فراگیر 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  $N35^{\circ}W$  و شیب  $80^{\circ}S$  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  $1-2 \text{ mm}$  است و در برخی موارد به  $3 \text{ mm}$  می‌رسد. مقدار مگنتیت اولیه موجود معمولاً بین  $1-2$  درصد متغیر است ولی گاهی کمتر از  $1$  درصد و یا بیش از  $15$  درصد در سنگهای میزبان دیده شده است [۸].

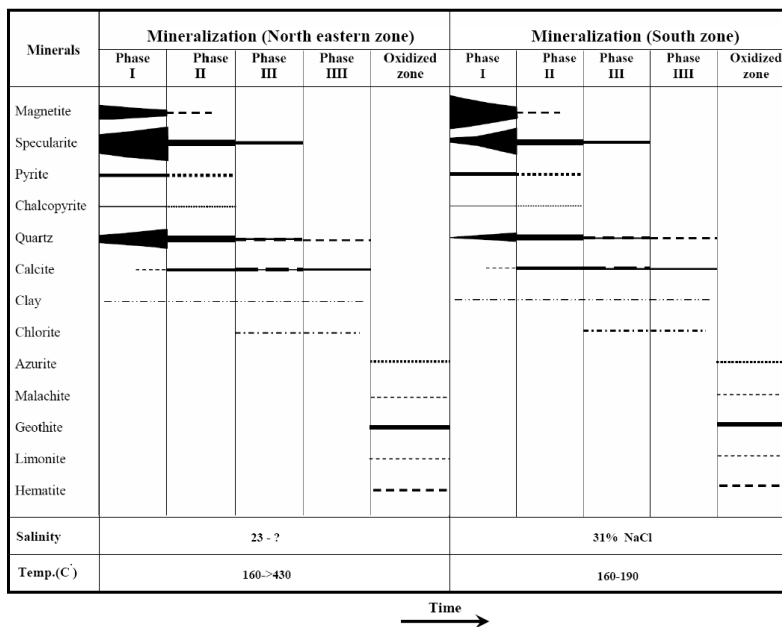
علاوه بر این در سنگهای میزبان رگه‌هایی از کانی‌سازی مس مشاهده شدند. قطر این رگه‌ها عموماً بیش از  $5 \text{ cm}$  بوده و تا  $1$  متر افزایش می‌یابد. کانی اصلی این رگه‌ها کوارتز است که در میان خود مقادیر زیادی مالاکیت و نیز سولفید مس به صورت کالکوپیریت و به مقدار جزئی پیریت را در برمی‌گیرد. راستای اغلب 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) ارائه شده‌اند. میزان مس موجود در حدود  $0.2$  درصد به صورت کانی کالکوپیریت است. بیشترین مقدار عنصر طلا  $44 \text{ ppb}$  به دست آمده است. عناصر سرب و روی تا  $57$  و  $60$  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 کانی - سازی زون جنوبی تشکیل شده است (شکل ۲). پس از کانه‌های مگنتیت و اسپیکولاریت کانی کوارتز بیشترین حجم کانی‌سازی را در فاز اول تشکیل می‌دهد.

**فاز دوم:** این فاز به صورت رگچه‌های باریک به قطر  $1-2 \text{ mm}$  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 پاراژنری فازهای مختلف کانی‌سازی در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴ دنباله پاراژنری 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

### دماسنجی شاره‌های درگیر

از آنجا که کوارتز مهم‌ترین کانی شفاف همزاد با کانی‌سازی مگنتیت+ اسپیکولاریت در منطقه است، بررسی‌های میکرو دماسنجی 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 دماسنجی انتخاب شدند.

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

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 پارائزته کانی در کانی‌سازی املاح کلسیم‌دار را در محلول کانی- ساز نشان می‌دهد. بنابراین، شوری اغلب شاره‌های درگیر در سیستم سه تایی  $H_2O - NaCl - CaCl_2$  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 شماره حاوی نمک طعام اندازه‌گیری شد. دماسنجی شاره‌های درگیر در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت، دمایی در گستره ۱۶۷-۲۰۳ درجه سانتیگراد را برای محلول نشان داد.

جدول ۲ نتایج حاصل از میکروترموتری

انواع فازها در $30^\circ C$	$T_{fm} (^\circ C)$	$T_m (^\circ C)$	$T_h (^\circ C)$	شماره نمونه	موقعیت نمونه
L+V±S	-۶۳ تا -۷۶	-۲۴ تا -۳۴	۱۸۹ - ۱۶۰	S <sub>2-1</sub>	زون جنوبی
L+V	-۶۳ تا -۷۲	-۲۱ تا -۲۶	۲۵۹ - ۱۹۰	Y-2	زون شمال خاوری
L+V	-۶۳ تا -۷۱	-۲۲ تا -۲۸	۳۱۸ - ۲۵۰	Y - 3	زون شمال خاوری
L+V±S	-۶۴ تا -۷۴	-۱۶ تا -۲۸	۴۳۰ < -۱۶۴	Y - 4	زون شمال خاوری
L+V±S	-۴۹ تا -۸۰	-۲۱ تا -۲۷	۲۰۳ - ۱۶۷	S <sub>1 - 3</sub>	رگه کوارتز-پیریت-کالکوپیریت

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

### اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی

پذیرفتاری مغناطیسی از ۸۱ نمونه کانی‌سازی و سنگ میزبان در طول ۱۲ خط برداشت مغناطیس سنجی، 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)  $10^{-5} \times 125$  بوده و با افزایش میزان مگنتیت به (SI)  $10^{-5} \times 32450$  تغییر می‌کند. تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی سنگ‌های منطقه در جدول (۳) ارائه شده‌اند. بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی در فلدسپار مونزودوپوریت پورفیری (SI)  $10^{-5} \times 2350$  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.

### مغناطیس سنجی زمینی

مغناطیس سنجی هوایی و سپس مغناطیس سنجی زمینی روش اساسی برای پی‌جویی 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 فاقد 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. جمعا در ۴۹۹ نقطه شدت کل میدان مغناطیسی قرائت شد که پس از تصحیح تغییرات روزانه با استفاده از قرائتهای تکراری مینا در هر نیمرخ و کسر شدت میدان اصلی منطقه [۱۰] بی‌هنجاریهای مغناطیسی به صورت نیمرخ ارائه شدند. با توجه به اطلاعات پایگاههای مغناطیس-

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

روندهای افزایشی و یا کاهشی تدریجی شدت میدان در نواحی فاقد رخنمون (نیمرخ 0W) معلول 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 15E، شکل ۶). در نیمرخ 0W روند افزایشی، می‌تواند نشانگر افزایش مگنتیت در عمق باشد یا در نیمرخ 15E 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.

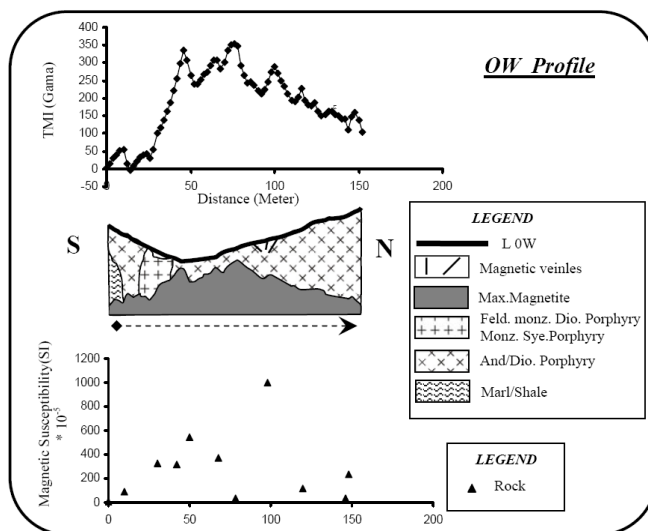
وجود پذیرفتاری مغناطیسی بالا با بیشینه مقدار (SI)  $10^{-5} \times 200W$  گویای مقدار زمینه‌ای بالای از مگنتیت بوده و وجود قله‌ها گویای خاستگاهی غنی‌تر از مگنتیت در عمق است که با Hi Mt نشان داده شد (شکل ۷). چنین حالتی را می‌توان در نیمرخ 500E نیز مشاهده کرد (شکل ۸).

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 (SI)  $10^{-5} \times 400$  با شدت میدان مغناطیسی بالا در حدود ۱۵۰ گاما قابل مقایسه نیست و حتماً باید توده‌ای با درصد مگنتیت بالاتر در عمق در نظر گرفته شود و یا راستای کانی‌سازی به سمت عمق با افزایش تدریجی مگنتیت همراه باشد (نیمرخ 500E). تغییرات کوچک میدان را با در نظر گرفتن تغییرات عمقی و حجمی توده کانی‌سازی می‌توان توجیه کرد (سمت شمالی نیمرخ 500E).

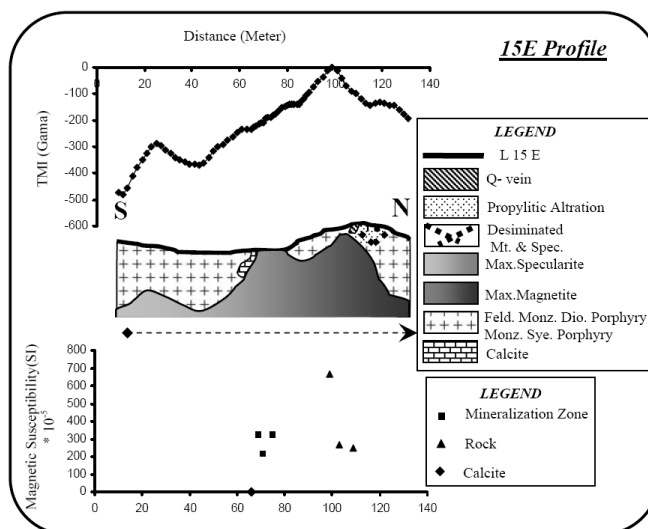


جدول ۳ مقایسه پذیرفتاریهای مغناطیسی اندازه‌گیری شده در زونهای کانی‌سازی و سنگهای منطقه

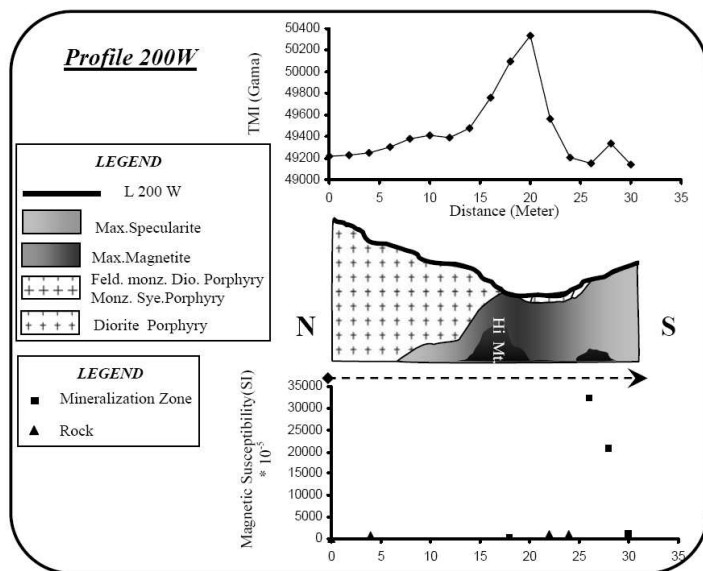
شیل و مارن	کلسیت	آندزیت	دیوریت پورفیری	فلدسپار مونزودیوریت پورفیری مونزوسینیت پورفیری	کانی‌سازی	نام واحد اندازه‌گیری شده	پذیرفتاری مغناطیسی (SI) × 10 <sup>-5</sup>
۱	۴	۶	۹	۱۹	۴۲	تعداد برداشت	
۸	۱	۳۰	۳۵	۳۴	۶۰	حداقل	
۸	۳	۹۹۷	۱۳۳۶	۲۳۵۰	۳۲۴۵۰	حداکثر	
۸	۲	۳۳۷	۴۳۷	۶۸۹	۳۹۶۳،۲۹	میانگین	



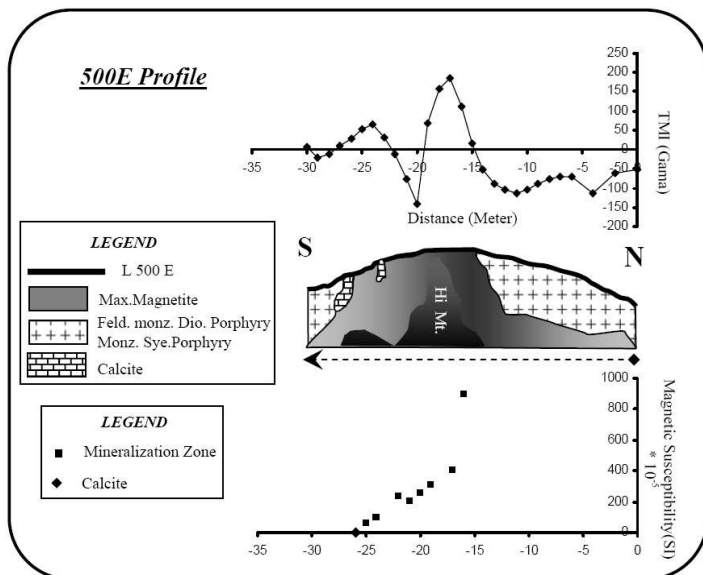
شکل ۵ نیمرخهای شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line OW و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی جنوبی، برداشت شده از منطقه پوشیده.



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 رخنمون 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.



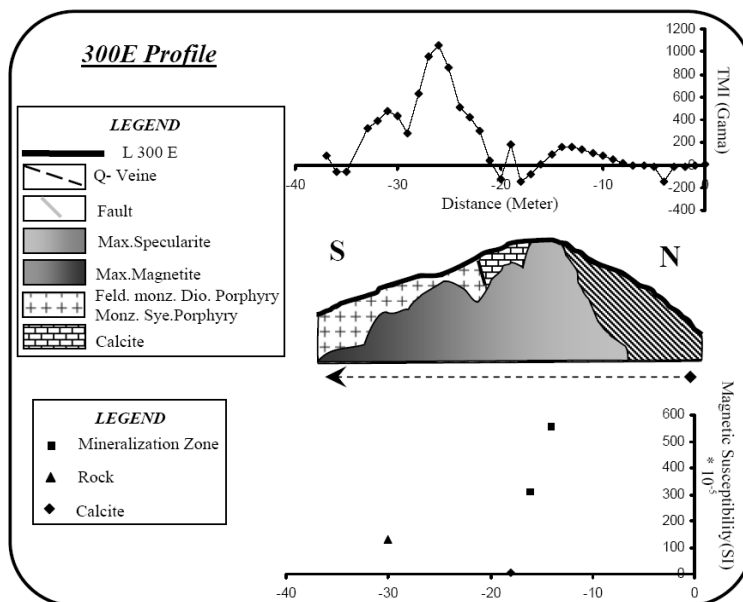
شکل ۸ نیمرخ‌های شدت میدان و پذیرفتاری مغناطیسی Line 500E و زمین‌شناسی تفسیر شده آن در گستره زون کانی‌سازی شمال خاوری، برداشت شده از بخشی از رخنمون و منطقه پوشیده.

پوشیده هستند. بیشترین دامنه بی‌هنجاری مغناطیسی در ۳ ناحیه به‌دست آمده است که به ترتیب شدت عبارتند از:  
 ۱- بخش جنوبی رخنمون چهارم از زون کانی‌سازی شمال خاوری.

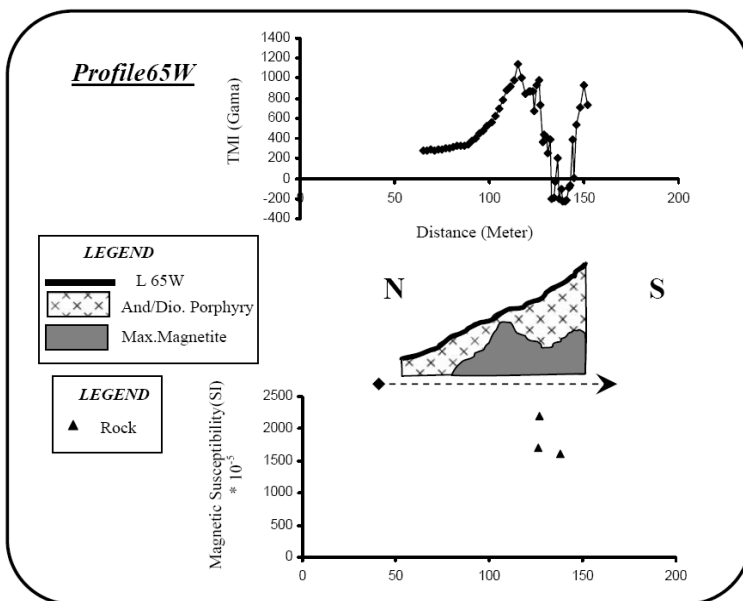
در کل منطقه کمترین و بیشترین مقدار شدت میدان به ترتیب ۵۰۰- گاما در نیمرخ 15E (شکل ۶) و ۱۱۵۰+ گاما در نیمرخ 300E بوده است (شکل ۹) که اولی با روند نزولی نمودار و دیگری به صورت قله معرف تغییر شدید مگنتیت در مناطق

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

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.

## 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 رگچه‌های باریک قطع‌کننده فاز اول هستند. فاز چهارم یا فاز نهایی کانی‌سازی به صورت رگچه‌های بسیار باریکی است که تنها از کانی کربنات و یا گاهی کوارتز و در برخی موارد از مجموع 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 توده‌های آهن سنگان و تنورچه که به ترتیب ppm ۹۲۰ و ppm ۴۰۸ هستند [۳] از حد بالاتری برخوردار است. میزان طلای کانی‌سازی منطقه شهرک ۴۴ ppb است که نسبت به منطقه تنورچه با بیشینه ۵۰۰ ppb بسیار پایین‌تر بوده و همخوانی بیشتری با منطقه سنگان با بیشینه ۳۲ ppb نشان می‌دهد [۳]. بررسی میکرو دما سنج شارهای 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 بی‌هنجاری 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، بی‌هنجاریهای شدت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند.

## مراجع

- [۲]- کریم پور م.ح.، "مقایسه کانسار Cu-Ag-Au قلعه زری با دیگر کانسارهای نوع Iron Oxides Cu-Au (IOCG) و ارائه 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 توده مگنتیت طلا دار تنورچه و مگنتیت بدون طلای معدن سنگان، استان خراسان رضوی"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره اول، (۱۳۸۵) ص ۳-۲۶.
- [4] Jensen E. P., Barton M. D., "Gold deposits related to alkaline magmatism", Reviews in Econ. Geol. 13 (2000) 279-314.
- [5] 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 زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دولت آباد"، برگه شماره ۳، سازمان زمین شناسی 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 (ترت 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 ترت حیدریه)". مجموعه مقالات چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد اول (۱۳۸۵) ص ۳۸۷-۳۹۳.
- [9] 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 ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی"، برگه شماره ۳، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۹).

[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، (۱۳۸۵) ۳۸۷ صفحه.