مجله زمین شناسی اقتصادی
سال ۱۳۸۹، شماره ۱ (جلد ۲)
صفحه : ۷۷ تا ۹۶

Journal of Economic Geology
2010, No. 1 (Vol. 2)
ISSN 2008-7306

زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و مطالعات مغناطیس‌سنجی در کانی‌سازی آهن منطقه کلاته‌شاهین، استان خراسان‌رضوی

مریم جاویدی مقدم،[1] محمدرضا حیدریان‌شهری، محمدحسن کریم‌پور

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله:۱۳۸۸/۱۱/۲۷، نسخه نهایی : ۱۳۸۹/۲/۱۸

چکیده:
کانی‌سازی آهن کلاته‌شاهین در ۱۰۷ کیلومتری جاده قوچان- نیشابور (استان خراسان رضوی) قرار دارد. توده‌های نیمه‌عمیق با ترکیب مونزونیت تا هورنبلند دیوریت پورفیری در آهکهای کرتاسه نفوذ کرده‌اند. واحدهای رسوبی منطقه از قدیم به جدید شامل آهکهای مربوط به کرتاسه زیرین و میکروکنگلومرا تا ماسه‌سنگهای مربوط به ائوسن و پلیوسن- کواترنر می‌باشد. کانی‌سازی در این منطقه طی دو مرحله هیپوژن و سوپرژن شکل گرفته است. در مرحله هیپوژن، پیریت، مگنتیت و اسپکیولاریت و در مرحله سوپرژن، گوتیت، لیمونیت و هماتیت تشکیل شده‌اند. بررسی شرایط دمایی و فوگاسیته اکسیژن، دمای تشکیل کانی‌های هیدروترمالی شرق منطقه را در محدوده کمتر از ۳۵۰°C معرفی می‌نماید. در غرب منطقه، میزان هماتیت و گوتیت بسیار کمتر و اغلب به‌صورت رگه و رگچه‌ای همراه با دولومیت هیدروترمالی می‌باشند. محلولهای هیدروترمالی عامل کانی‌سازی در غرب منطقه نسبت به شرق با میزان سولفید کمتر، اکسیدان‌تر و دمای کمتر بوده‌اند. نتایج آنالیز ژئوشیمی به روش جذب اتمی برای عناصر Fe، Mn، Mg و Ca، نشان‌دهنده بیشترین میزان آهن (۳۰/۴ درصد) در محل ترانشه در شرق منطقه است. آهن و منگنز در محل ترانشه همبستگی مثبت نشان می‌دهند. همچنین رابطه‌ای بین میزان این عناصر و فاصله از توده‌ها وجود ندارد. بنابراین توده‌های نفوذی منطقه غیربارور بوده و نقشی در کانی‌سازی ندارند. شدت کل میدان مغناطیسی در ۷۴۲ نقطه در دو شبکه ۵×۲۰ متر اندازه‌گیری شد. نقشه‌های شدت‌کل میدان مغناطیسی، انتقال به قطب و همچنین ادامه به‌سمت بالا با نرم‌افزار ER Mapper تهیه شد. بررسی نقشه‌های تهیه‌شده، وجود آنومالی‌های A، B، C، F، E، D_1، D_2 و D_3 را در منطقه نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در فاصله تقریباً ۴۰ متری آنومالی‌های B و C، توده هورنبلند دیوریت پورفیری رخنمون دارد، این احتمال وجود دارد که منبع آنومالی‌ها مربوط به توده نفوذی باشد. از طرفی به‌دلیل وجود کانی‌سازی هماتیت در آهک‌های منطبق بر آنومالی‌های B و C این احتمال نیز وجود دارد که منبع این آنومالی‌ها مربوط به کانی‌سازی مگنتیت در عمق باشد. بنابراین در محل این دو آنومالی، حفاری اکتشافی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *کلاته‌شاهین، آهن هیدروترمال، رگه و رگچه، مگنتیت، هماتیت، گوتیت، مغناطیس سنجی .*

مقدمه

منطقه کانی‌سازی آهن کلاته‌شاهین در ۱۰۷ کیلومتری جاده قوچان- نیشابور، استان خراسان رضوی، در گستره‌ای بین عرض‌های °۵۸ تا ″۴۵ ′۲۷ °۵۸ طول جغرافیایی و ″۰۴ ′۳۵ °۳۶ تا ″۵۸ ′۳۴ °۳۶ عرض جغرافیایی واقع شده است. براساس تقسیم بندی نبوی [۱]، منطقه مورد مطالعه در بخش غربی زون بینالود قرار می‌گیرد که مرز جنوبی و شمال‌غربی آن به ترتیب گسل میامی و گسل سمنان است [۱]. این زون بخش شرقی البرز به شمار می‌آید و با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی میان صفحه توران و خرد قاره ایران مرکزی جای دارد.

زون بینالود نتیجه برخورد صفحه توران و ایران مرکزی و بسته شدن دریای پالئوتتیس بوده است. این زون دست‌کم تحت تاثیر دو فاز کوه‌زایی قرار گرفته است. توده‌هایی با ترکیب

[1] مسؤول مکاتبات : Geo.javid@yahoo.com

گرانودیوریت- کوارتز مونزونیت و فلدسپات گرانیت بعد از اولین فاز دگرگونی ناحیه‌ای و قبل از کنگلومرای تریاس فوقانی نفوذ کرده‌اند. این توده‌ها در مراحل اولیه برخورد قاره‌ای تشکیل شده و بر اساس ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی از بخش تحتانی پوسته قاره‌ای منشأ گرفته‌اند [۲].

زون بینالود که نبوی [۱] آن را زون تدریجی بین ایران مرکزی و البرز معرفی نموده دارای ویژگیهای زمین‌شناسی خاصی است که رخساره‌های آن قبل از دوران مزوزوئیک کاملاً شبیه به ایران مرکزی است. اما رخساره‌های مزوزوئیک و تا حدودی سنوزوئیک آن به رخساره‌های البرز شباهت دارند. واحدهای رسوبی منطقه از قدیم به جدید شامل سنگ‌آهکهای کرتاسه زیرین، آهکهای ماسه‌ای با میان لایه‌های ماسه و کنگلومرا مربوط به کرتاسه فوقانی بوده و میکروکنگلومرا تا ماسه سنگهای مربوط به ائوسن و پلیوسن- کواترنر می‌باشد.

تاکنون مطالعات جامعی در مورد زمین‌شناسی و نوع کانی‌سازی منطقه صورت نگرفته است. اطلاعات در مورد ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان تنها در غالب نقشه زمین‌شناسی آن [۳] و گزارش اکتشافات چکشی[۴] تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور موجود است.همچنین برداشتهای ژئوالکتریکی به روش اشلوم‌برژر و برداشتهای ژئوشیمیایی به منظور تعیین درصد آهن و عناصر مزاحم در طرح اکتشاف مقدماتی منطقه کلاته شاهین آمده است.

هدف از این کار پژوهشی، تهیه نقشه دقیق زمین‌شناسی، کانی‌سازی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰، انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی، پتروگرافی، ژئوشیمی، کانی‌سازی، تعیین سنگ منشأ و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار و همچنین مغناطیس سنجی برای ردیابی کانی‌سازی و اکتشاف ذخایر پنهان که در سطح رخنمون کانی‌سازی ندارند، می‌باشد. تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی بر اساس اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای زمین‌شناسی و اطلاعات کانی‌سازی انجام شده است.

روش مطالعه

این مقاله بیشتر به بررسی زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و مطالعات مغناطیس سنجی در این منطقه می‌پردازد. بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این ناحیه شامل مراحل زیر است:

الف) تهیهٔ نقشه‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی به مقیاس ۱:۲۰۰۰، ب) برداشت نمونه‌های سنگی (۶۰ نمونه) به‌منظور بررسیهای سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی، پ) بررسی سنگ‌شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی در مقاطع نازک و مقاطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی، ت) برداشت ۱۱ نمونهٔ خرده‌سنگی به‌منظور بررسیهای ژئوشیمیایی از کانسنگ و سنگ میزبان کربناته و آنالیز آنها به روش AAS برای ۴ عنصر Fe، Mg، Ca و Mn در دانشگاه فردوسی مشهد، ث) انجام مغناطیس سنجی زمینی در ۵۵۳ نقطه بر روی شرق منطقه و ۱۸۹ نقطه در غرب منطقه بر اساس شواهد کانی‌سازی ج) اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بر روی رخنمونهای سنگی موجود در ایستگاههای مغناطیس‌سنجی، چ) تهیه نقشه های ژئوفیزیکی با استفاده از اطلاعات موجود در نرم افزار ER Mapper و ح) تفسیر نتایج.

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشهٔ جنوب شرقی برگهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان قرار گرفته است. واحدهای رسوبی منطقه شامل آهکهای مربوط به کرتاسه-زیرین، ماسه سنگ و میکروکنگلومرای مربوط به پلیوسن-کواترنر می‌باشد.

سنگ میزبان کانی‌زایی واحدهای کربناته‌ای است که تحت تأثیر نفوذ محلولهای هیدروترمال قرار گرفته و به شکل رخنمونهای بزرگ در مشاهدات صحرایی قابل تشخیص است. این واحد قدیمی‌ترین سنگهای منطقه را به سن کرتاسه زیرین تشکیل می‌دهد که در شمال محدوده بیرون‌زدگی قابل ملاحظه‌ای دارد. از نظر سنگ شناسی این واحدها، آهکهای دانه‌ریز میکروفسیل‌دار بوده که در اثر نفوذ محلولهای هیدروترمال، کانی‌سازی در آنها شکل گرفته است.

واحد ماسه سنگی با رخنمونی با ابعاد ۹۰×۸۰ متر مربع در شرق منطقه کلاته شاهین رخنمون دارد. واحد ماسه‌سنگی به رنگ خاکستری تیره و با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم و مرز تدریجی با واحد میکروکنگلومرایی می‌باشد. اجزای اصلی این واحد شامل: ۱– کوارتز: حدود ۴۰-۶۰ درصد به‌صورت بلورهای ریز تا متوسط دانه (۱-۰.۲میلی‌متر) و نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل می‌باشد. میزان کمی از این کوارتزها از نوع پلوتونیکی، به‌صورت مونوکریستالین، با خاموشی مستقیم تا

کمی مواج و بی‌شکل هستند (۲-۴ درصد) ولی عمدتاً نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار بوده و منشأ ولکانیکی دارند. با توجه به موارد بالا، کوارتز از یک منشأ مشخص تأمین شده است.

۲– فلدسپاتها به شدت دگرسان شده اند و بیشتر به سرسیت تبدیل شده اند. هوازدگی ممکن است در ناحیه منشأ و یا در طی دیاژنز رخ داده باشد **[۵]**. تشخیص نوع فلدسپاتها به‌علت دگرسانی شدید بسیار مشکل است اما با توجه به آثار باقی مانده بیشتر آنها پلاژیوکلاز تشخیص داده شد. میزان فلدسپات‌ها به میزان کم (۲-۳٪) به‌صورت بلورهای ریز دانه (۰/۲-۰/۸میلی‌متر)اغلب نیمه شکل‌دار می‌باشند.

۳– خرده‌سنگها: عمدتاً منشأ ولکانیکی را نشان می‌هند. خرده-سنگها در مقاطع به مقدار فراوان دیده می‌شوند و بیش از ۷۰٪ خرده سنگهای آذرین، ولکانیک بوده و به میزان کمتر خرده-سنگهای پلوتونیکی دیده می‌شوند. بافت عمده این خرده سنگها میکرولیتی و میکرولیتی- پورفیری است. ترکیب آنها در حد آندزیت (سنگهای حد واسط) تا اسیدی بوده و نشان می‌دهد که ماسه سنگ تک منشائی بوده‌است. خرده‌سنگهای رسوبی از نوع چرت بوده و مقدار آنها در ماسه سنگ به ۲٪ می رسد. خرده‌سنگهای ولکانیک را می‌توان بر اساس وجود بلورهای نازک وکشیده فلدسپات که عمدتا پلاژیوکلازهای زونینگ‌دار در یک زمینه دانه ریز (میکرولیت)، پورفیری و بافت شیشه‌ای، میکروگرانولار تشخیص داد که در این مقاطع به خوبی دیده می‌شود. تشکیل دهندگان فرعی: در این ماسه سنگ مگنتیت به مقدار فراوان دیده می‌شود، که به صورت آواری حمل شده و در بعضی مقاطع تجمع زیادی را در یک گوشه نشان می‌دهد.

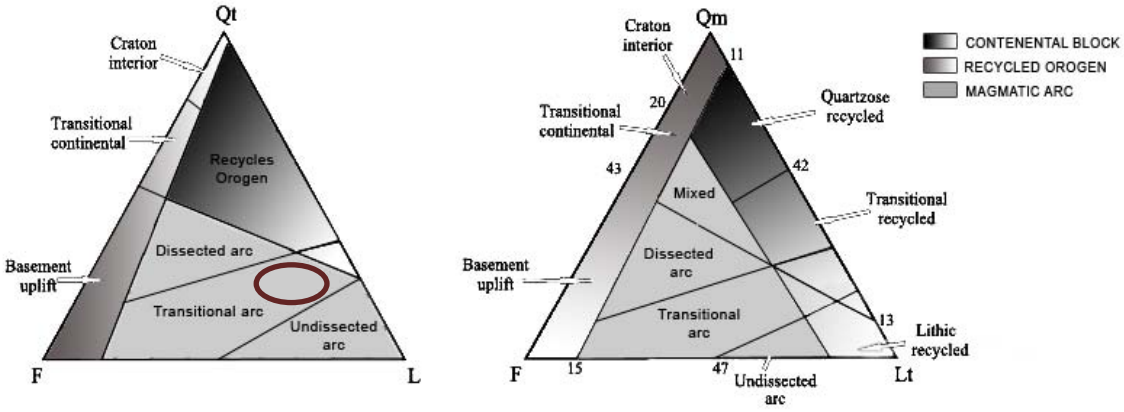
پذیرفتاری مغناطیسی این ماسه سنگها در محلهایی که رخنمون داشت بین ۲۵۰×۱۰^{-۵}SI تا ۱۳۲۰×۱۰^{-۵}SI متغییر بود و به سمت شمال منطقه پذیرفتاری بیشتر می‌شود که نشان از تجمع مگنتیت آواری در ماسه سنگهای شمال منطقه است. امکان وجود ذخایر پلاسری در این رسوبات وجود دارد که نیازمند بررسیهای بیشتری است.

ازآن‌جایی که منشأ ماسه سنگ از یک قوس ماگمایی (زون فرورانش حاشیه قاره یا جزایر قوسی) است(شکل ۱) و همچنین عمده خرده‌سنگها ترکیب اسیدی تا حدواسط دارد (وجود سنگ مادر خرده سنگهای موجود در این رسوبات سیلیسی آواری به عنوان سنگ منشأ کانی‌سازی) می‌تواند تأییدی بر وجود اسکارن آهن در منشأ باشد. وجود دانه‌های مگنتیت به میزان فراوان در ماسه سنگ که به صورت آواری حمل شده و همچنین وجود کانی‌سازی مگنتیت در داخل قطعات کربناته موجود در میکروکنگلومرا این احتمال را تقویت می‌کند.

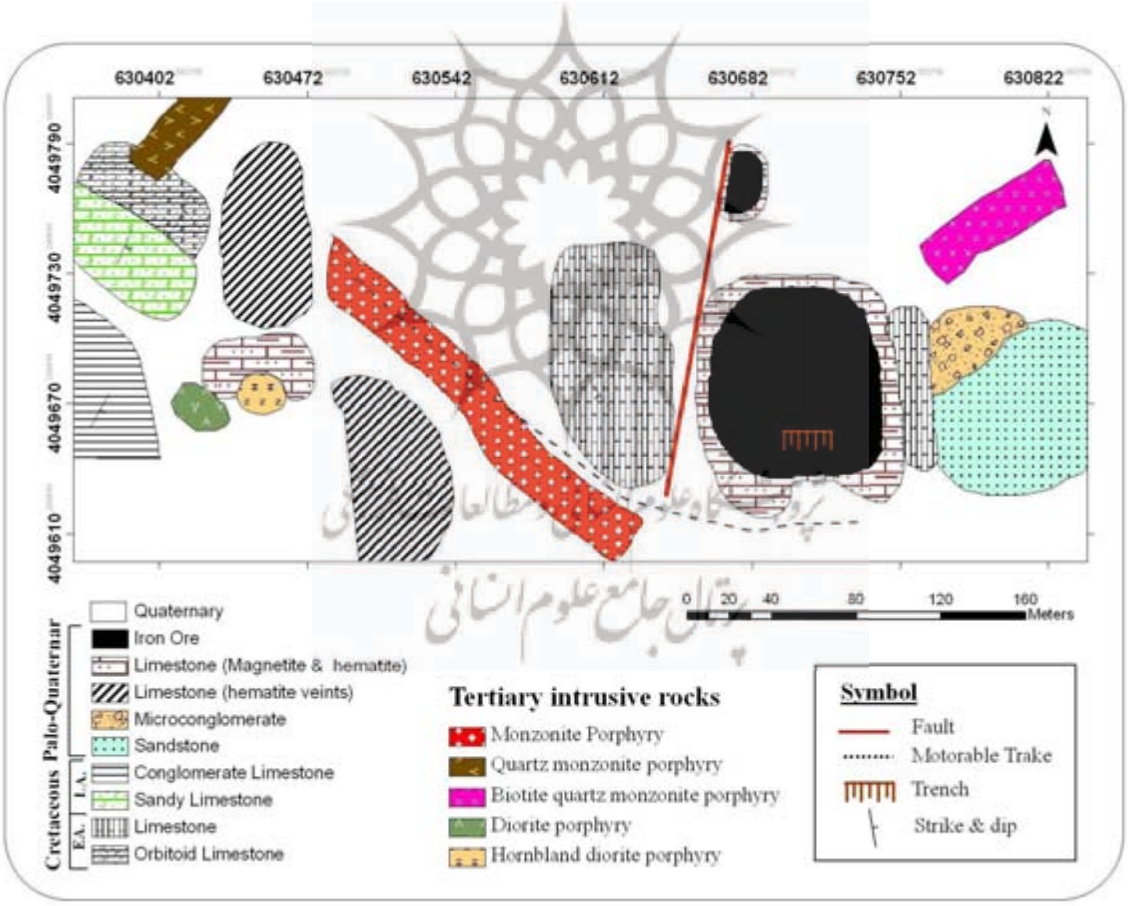
توده‌های آذرین منطقه اغلب به شکل دایک‌هایی با بافت پورفیریک تا سرآیت (بیوتیت کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، مونزونیت) و استوک‌های کوچک با بافت پورفیریک (دیوریت و هورنبلند دیوریت پورفیری) در منطقه نفوذ نموده‌اند (شکل ۲). کوارتز مونزونیت در شمال منطقه به صورت دایک با ابعاد ۲۰×۸۰ متر مربع برون‌زد دارد.

توده مذکور با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب با مرز شارپ از سنگهای اطراف متمایز می‌شود. بافت غالب توده سنگی مورد نظر بیشتر سرآیت است تا پورفیری. پلاژیوکلازها در ابعاد ۰/۲ تا ۱ میلی‌متر و فراوانی ۲۰-۲۵ درصد به صورت ذرات طویل و کشیده و بدون جهت‌یابی مشخصی در متن سنگ پراکنده شده‌اند. در این سنگ پلاژکلازها عمدتاً به سرسیت تبدیل شده‌اند ولی از روی باقی مانده آن و ماکل پلی‌سنتتیک به راحتی قابل تشخیص هستند. کوارتزهای اولیه در این سنگ با فراوانی ۴ تا ۶ درصد تقریباً همسان با زمینه سنگ و ابعاد تقریبی کمتر از ۰/۲ میلی‌متر وجود دارند. کانیهای اوپاک به صورت پراکنده و بسیار ریز بلور در حد کمتر از ۱ درصد در سنگ حضور دارند.

آلتراسیون در این سنگ بدین شرح است: کانیهای فلدسپاتی تقریباً همگی به سرسیت (۲۵-۳۰٪)، کربنات (۴-۶٪) و کانیهای رسی (۲٪) تبدیل شده‌اند. در برخی موارد آلتراسیون سیلیسی ۳٪مشاهده شد که به نظر باید نتیجه تبلور سیلیس مازاد حاصل از آلتراسیون سایر کانیها باشد. بیوتیت کوارتز مونزونیت پورفیری در شمال‌شرق منطقه در غالب دایک با ابعاد ۲۰۰×۱۰۰متر مربع برون‌زد دارد (شکل ۲). این توده با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب در منطقه نفوذ نموده است. پلاژیوکلاز عمده ترین فنوکریست تشکیل دهنده سنگ با ابعاد ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر است.کوارتز به صورت اولیه در این توده نیمه‌عمیق در حدود ۵ درصد مشاهده می‌شود. اغلب فنوکریستهای کوارتز خرد شده‌اند که می‌تواند ناشی از عوامل تکتونیکی باشد. سرسیتی شدن در این واحد کمتر از واحدهای مونزونیت پورفیری و کوارتز مونزونیت است. از ویژگیهای این



شکل ۱. دیاگرام‌های مثلثی نشان دهنده برخاستگاه تکتونیکی ماسه سنگ‌ها اقتباس از دیکینسون [۶].



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه کلاته شاهین.

سنگ وجود بافت جریانی است. آلتراسیون در این سنگ بدین شرح است: تقریباً همه فضاهای مابین قطعات (۲۰-۱۵٪)، سرسیت (۱۲-۱۰٪) و اکسیدهای آهن (۳-۲٪) تبدیل شده‌اند. بیوتیت‌ها نیز به سرسیت (۲۰-۱۵٪) تبدیل شده‌اند. در برخی موارد آلتراسیون سیلیسی (۲٪) مشاهده می‌شود که به‌نظر باید نتیجه تبلور سیلیس مازاد حاصل از آلتراسیون سایر کانیها باشد. فنوکریستهای عمده آن پلازیوکلاز و کوارتز می‌باشد. ماکزیمم اندازه بلورهای پلاژیوکلاز گاه به ۱ میلی‌متر و کوارتز به ۲/۵ میلی‌متر می‌رسد.

مونزونیت پورفیری در مرکزی منطقه به صورت دایک با ابعاد ۳۰×۲۰۰ متر مربع رخنمون دارد. توده مذکور با راستای جنوب‌شرق- شمال‌غرب در آهکهای منطقه نفوذ نموده این واحد نسبت به واحدهای آذرین دیگر گسترش بیشتری در منطقه دارد.

در مطالعات میکروسکپی بافت پورفیری با فنوکریست‌های مختلف دیده می‌شود که در زمینه‌ای ریز دانه پراکنده شده‌اند. فلدسپاتها عمدتاً به سرسیت تبدیل شده‌اند و فقط قالب فلدسپات باقی مانده است. سرسیتی شدن فلدسپات‌ها در این واحد نسبت به کوارتز مونزونیت کمتر است. آلتراسیون در این سنگ بدین شرح است: کانیهای فلدسپاتی به سرسیت (۲۰-۲۵٪) و کربنات (۴-۵٪) تبدیل شده‌اند. در این سنگ پلاژیوکلازها عمدتاً به کربنات دگرسان شده ولی از روی باقی‌مانده آن و شکل طویل و ماکل پلی‌سنتتیک به راحتی قابل تشخیص است. تقریباً تمام بیوتیت‌ها و احتمالاً آمفیبول‌ها به سرسیت تبدیل شده‌اند. در برخی موارد آلتراسیون سیلیسی ۲٪ مشاهده شد که به‌نظر باید نتیجه تبلور سیلیس مازاد حاصل از آلتراسیون سایر کانیها باشد.

دیوریت پورفیری در جنوب‌غرب منطقه در غالب استوک (توده‌های کوچک) با ابعاد ۸×۶ متر مربع برون‌زد دارد. این توده در مجاورت توده هورنبلند دیوریت پورفیری است. فنوکریستهای عمده آن هورنبلند بوده که در نمونه دستی به رنگ قرمز تیره دیده می‌شوند. ماکزیمم اندازه این فنوکریستها به ۳ میلی‌متر می‌رسد. این توده به شدت کربناته شده به‌طوری‌که فقط فنوکریستهای هورنبلند در آن دیده می‌شود. زمینه حاوی پلاژیوکلازها و هورنبلندها به وضوح قابل رؤیت نیست. فنوکریستها از حاشیه به اکسیدهای آهن از جمله مگنتیت و از مرکز به کلریت تبدیل شده‌اند و در بعضی فنوکریستها فقط قالب آمفیبول باقی مانده است. خوردگی ماگماتیکی و آلتراسیون فنوکریستها احتمالا در اثر واکنشهای اکسیژن جو با لاوای در حال خروج صورت می‌گیرد. مقطع نازک صیقلی تهیه شده از این توده وجود مگنتیت در حاشیه کانی را تأیید می‌کند. فومآلتراسیون در این سنگ بدین شرح است

آلتراسیون عمده کربناته شدن می‌باشد، به طوری که این توده با HCl ۱۰٪ به راحتی می‌جوشد. و کربناته شدن (۴۰-۶۰٪) و اکسیدهای آهن (۱۰-۱۵٪) در این توده رخ داده است. رگچه‌های کربناتی با عرض حداکثر ۳ میلی‌متر سنگ را قطع می‌کنند. در این رگچه‌ها کربنات شامل کلسیت با بافت موزاییکی و نشان دهنده این است که در آخرین مرحله تشکیل شده است. رگچه‌های سیلیسی با عرض حداکثر ۱ میلی‌متر نیز توده را قطع کرده و همراه با رگچه‌های کربناته در آخرین مرحله تشکیل شده است.

هورنبلند دیوریت پورفیری در غالب استوک با ابعاد ۱۰×۸ متر مربع برون‌زد دارد (شکل ۲). این توده در مجاورت توده دیوریت پورفیری بوده ولی کربناته شدن در آن خیلی کمتر از توده دیوریت پورفیری است. فنوکریست‌های هورنبلند با ابعاد ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر و فراوانی ۲۰-۳۰ درصد می‌باشند. این هورنبلندها از حاشیه به اکسیدهای آهن از جمله مگنتیت تبدیل شده‌اند. هورنبلندها از مرکز به کلریت تبدیل شده و در برخی موارد فقط قالب هورنبلند باقی مانده است. آلتراسیون در این سنگ بدین شرح است: تقریبا تمام هورنبلندها به اکسیدهای آهن (۲۰-۳۰٪)، کلریت (۱۰-۱۵٪) و کربنات (۵-۱۰٪) تبدیل شده‌اند. پلاژیوکلازها به سرسیت (۲-۳٪) تبدیل شده‌اند.

رگچه‌های کربناتی با عرض حداکثر ۲ میلی‌متر سنگ را قطع می‌کند. در این رگچه‌ها کربنات شامل کلسیت با بافت موزاییکی و نشان دهنده این است که در آخرین مرحله تشکیل شده است. رگچه‌های سیلیسی با عرض حداکثر ۱ میلی‌متر نیز توده را قطع کرده و نشان دهنده این است که همراه با رگچه‌های کربناته در آخرین مرحله تشکیل شده است. رگچه‌های کلریتی با عرض حدود ۲۰ میکرون و اغلب همراه با رگچه‌های کربناتی سنگ را قطع می‌کنند

کانی‌سازی

کانی‌سازی در شرق منطقه مورد مطالعه به‌صورت محدوده نسبتاً کوچکی با ابعاد تقریبی ۱۰۰×۴۰ متر مربع و در غرب منطقه به‌صورت رگه‌ای و رگچه‌ای شکل گرفته است. عمده کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه را گوتیت، هماتیت و به میزان کمتری مگنتیت تشکیل می‌دهد. شواهد موجود در منطقه نشان می‌دهد که کانی‌سازی در شرق و غرب منطقه کلاته - شاهین با یکدیگر متفاوت است. منشأ کانی‌سازی در کل منطقه محلولهای هیدروترمالی است ولی شرایط این محلول در شرق و غرب منطقه با هم متفاوت بوده و باعث کانی‌سازی متفاوت در این دو قسمت شده است. از طرفی بررسیهای زمین‌شناسی نشان داد که کانی‌سازی شرق منطقه در اثر عملکرد یک گسل نرمال از محل اولیه خود جابه‌جا شده و در مکان کنونی قرار گرفته است. در این قسمت به‌طور جداگانه به بررسی کانی‌سازی در شرق و غرب منطقه می‌پردازیم.

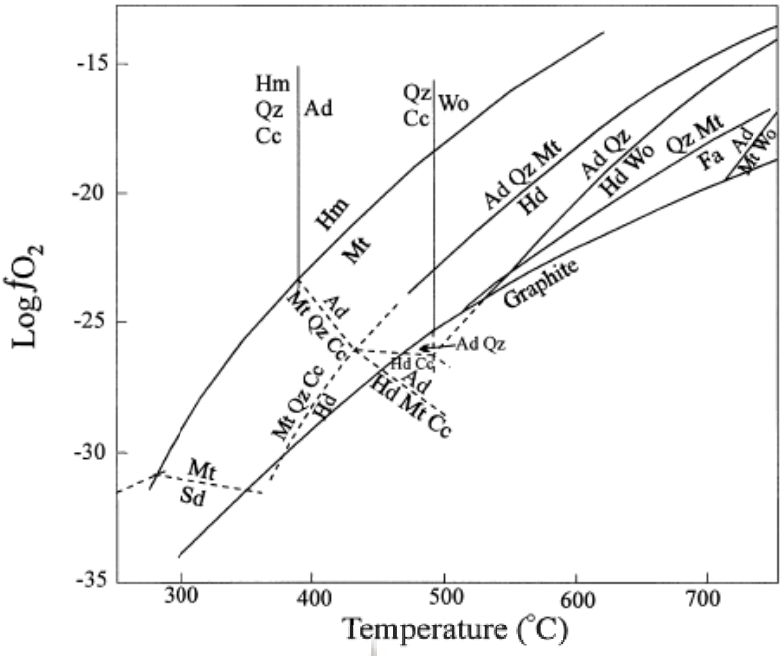
شرق منطقه: در مجاور زون کانی‌سازی، گسلی نرمال با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شیب ۷۰درجه دیده می‌شود. این گسل در مرز آهک با کانسنگ است. بررسیهای صحرایی نشان داد که این گسل از نوع نرمال می‌باشد. مطالعه مقاطع و همچنین نمونه ژئوشیمی برداشت شده از آهک نشان داد که این واحد فاقد کانی‌سازی است. بنابراین کانی‌سازی خارج از منطقه شکل گرفته و در اثر عملکرد این گسل از محل اولیه خود جابه‌جا شده و در مکان کنونی قرار گرفته است. کانی‌سازی در این منطقه طی دو مرحله هیپوژن و سوپرژن شکل گرفته‌است.

کانی‌سازی هیپوژن: در تشکیل کانسار آهن کلاته‌شاهین محلولهای هیدروترمالی کانه‌دار حاوی کمپلکس‌های کلریدی که در طی تبلور و تفریق توده نفوذی حاصل شده‌اند، پس از خروج توده و ادامه حرکت خود به سمت بالا، با آبهای زیرزمینی مخلوط شده و با ورود به سنگ میزبان کربناتی با آن واکنش داده و باعث تشکیل اکسیدها و سولفیدهای آهن شده‌اند. تغییر شرایط فیزیکی محیط حمل و نقل از جمله افت دما در اثر مخلوط شدن با آبهای زیر زمینی و ورود به سنگهای کربناتی سردتر و کاهش فشار و انبساط در اثر وارد شدن سیال به منطقه گسل‌خورده و برشی سنگ میزبان و از همه مهمتر افزایش pH در اثر مصرف H^+ و انحلال کربنات‌ها باعث ناپایداری کمپلکس‌های فلز- کلر شده و ته نشست کانسنگ اسیدی و سولفیدی را ممکن می‌سازد. مهمترین تغییر شیمیایی سیال عبارت است از خنثی شدن (یا افزایش pH) در اثر برخورد با کلسیت که در این حالت کمپلکس‌های عمدتاً کلریدی ناپایدار شده و محموله خود را به‌صورت کانسنگ اکسیدی و سولفیدی (به مقدار کمتر) بر جا گذاشته‌اند. وجود مگنتیت با بافت مارتیزاسیون و نبود کانیهای اسکارنی (گارنت، پیروکسن، میکا) نشان می‌دهد که دمای محلول کانه‌ساز کمتر از ۳۵۰ درجه بوده است (شکل ۳).

پیریت: در مشاهدات صحرایی و نمونه‌های دستی آثاری از حضور این کانی در محل ترانشه به چشم نمی‌خورد. در مقاطع صیقلی تهیه شده از بخشهای کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه، کانی سولفیدی پیریت به ندرت و بسیار ریز بلور در بین گوتیت‌ها و مگنتیت‌ها مشاهده می‌شود. این کانی تنها سولفید منطقه است. در زون سوپرژن به صورت آثار باقی‌مانده، همراه با اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن دیده می‌شود. ابعاد بلوری این کانی به کمتر از ۰/۱ میلی‌متر و فراوانی آن در اغلب مقاطع بین ۰- ۰/۵ درصد می‌رسد. در اثر فرآیند سوپرژن و محلولهای اکسیدان پیریت به اکسیدها، هیدروکسیدها و سولفات‌های آهن (لیمونیت و گوتیت) تبدیل شده است.

مگنتیت: همان‌طور که قبلاً ذکر شد، میزان این کانه نسبت به کانه‌های دیگر آهن در منطقه کم است. فراوانی مگنتیت در محلهای کانی‌سازی (محل ترانشه) به ۱۵-۲۰ درصد و اندازه بلوری حداکثر ۲ میلی‌متر می‌رسد. این کانه در مرحله اکسیداسیون دمای بالا تشکیل شده است. مگنتیت در درجه حرارت بالا حاوی هماتیت به شکل محلول در خود بوده و به هنگام افت دما باعث تشکیل در فوگاسیته اکسیژن ماکزیمم 10^{-25} فعالیت آهن به عنوان فرآیند کانی‌شناسی توسعه یافته افزایش می‌یابد [۸]. طبق نمودار $\log fO_2$ به دلیل حضور Fe^{+2} در ترکیب شیمیایی مگنتیت، این کانی در فوگاسیته اکسیژن کمتری نسبت به هماتیت پایداری از خود نشان می‌دهد در حالی که دمای تشکیل هر دو تقریباً یکسان به نظر می‌رسد (شکل ۳).

اسپیکولاریت: این کانی اغلب همراه با کوارتز در داخل رگچه‌ها دیده می‌شود. وجود اسپیکولاریت نشان می‌دهد که محلول در محیط اکسیدان‌تری قرار داشته است. این کانی در شرایط سوپرژن در منطقه دچار دگرسانی نشده است



شکل ۳. نمودار $\log fO_2$ در فشار ۵۰۰ بار و X_{CO2}~0.1 برای سیستم Ca-Fe-Si-C-O-H (Einaudi,1982)
Ad=andradite,Cc=calcite,Fa=fayalite, Hd=hedenbergite,Hm=hematite,Mt=magnetite,Qz=quartz, Sd=siderite and Wo=wollastonite.

کانی‌سازی سوپرژن: خردشدگیها و شکستگیهای فراوان و همچنین حضور کانیهای سولفیدی در سنگ میزبان موجبات گسترش دگرسانی و کانه‌سازی سوپرژن را فراهم نموده است.

اکسیداسیون سولفیدها تابعی از بالا آمدگی سنگها، آب و هوا (خشک و نیمه خشک مناسبتر است)، ترکیب سنگ اولیه (به ویژه محتوای پیریت) و ساختار سنگ میزبان (از نظر گسل خوردگی و شکستگی) است. با فرض مطلوب بودن سه عامل آخر، برای اکسیداسیون سولفیدها باید شرط بین فاکتور دیگر که همان بالا آمدن توده‌های سولفیدی (در اثر فرسایش سطحی و یا تکتونیک) تأمین گردد.

بالا آمدگی سنگها (به‌علت فرسایش و یا تکتونیکی) سبب می‌شود تا سطح سفره آبهای زیر زمینی پایین آمده و زون‌های سولفیدی بخش زیرین در معرض واکنش با محلولهای هوازده کننده اکسیدان قرار گیرند و در عین حال فرسایش قابل ملاحظه‌ای را متحمل نشوند. اکسیداسیون سولفیدهای آهن معمولاً باعث تشکیل اکسیدهای آهن و اسید سولفوریک می‌شود. پیریت در این فرآیند نقش مهمی دارد و در محیطی که اکسیژن به عنوان اکسید کننده عمل کند طبق واکنشهای زیر اکسید می‌شود.

$2FeS_2+7O_2+H2O = 2FeSO_4(aq)+2H_2SO_4(aq)$

پیریت

$2FeSO_4(aq) + 2H2SO_4(aq) + 0.5H_2O = Fe_2(SO4)_3(aq) + H_2O$

و در محیطهای غنی از اکسیژن:

$2FeS_2 + 7.5O_2 + H2O = Fe_2(SO4)_3(aq) + H_2O$

پیریت

در چنین محیطهایی حتی پیریت می‌تواند به طور مستقیم طبق واکنش زیر به هماتیت تبدیل شود:

$2FeS_2 + 7.5O_2 + 4H_2O = Fe_2O_3 + 4SO_{4-2} + 8H^+$

یا این‌که طبق واکنش زیر مستقیماً به گوتیت تبدیل شود:

$$2FeS_2 + 3.5H_2O + 3.75O_2 = 2Fe(OH)_3 + 2SO_{4-2}\,4H^+$$

پیریت مهمترین سولفید اسیدساز محسوب می‌شود. Fe^{+3} تولید شده در طی اکسیداسیون پیریت با افزایش pH به اکسید و هیدروکسید Fe^{+3} و دیگر ترکیبات سولفاتی آهن تبدیل می‌شود. Fe^{+3} خود یک عامل اکسید کننده خیلی مهم برای سولفیدهای آهن در شرایط اسیدی است و خیلی موثرتر از اکسیژن عمل می‌کند.

حال با توجه به این نکته که سنگ میزبان سولفیدها در منطقه سنگهای کربناته است، می‌توان گفت که pH محلولهای حاوی اسید سولفوریک و یون آهن در حین برخورد با این سنگها بالا رفته و سبب نهشت اکسید و هیدروکسید آهن شده است. کانی‌سازی عمده در این مرحله شامل گوتیت، هماتیت، و لیمونیت می‌شود.

هماتیت: یکی از فراوانترین کانه‌های تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه است. این کانه محصول فرآیندهای سوپرژن بوده و در اثر دگرسانی مگنتیت توسط آبهای جوی اکسیدان و در طی فرآیند مارتیتیزاسیون حاصل شده است. در اثر این فرآیند که پس از سرد شدن توده نفوذی و همزمان با هجوم سیالات دما پایین روی می‌دهد، مگنتیت در امتداد کلیواژهای خود به هماتیت تبدیل می‌شود [۹]. در بخشهایی تبدیل‌شدگی مگنتیت به هماتیت تا اندازه‌ای می‌رسد که آثار کمی از مگنتیت دیده می‌شود. ثابت نبودن فوگاسیته اکسیژن، بالاتر از بافر هماتیت-مگنتیت، منجر به گسترش هماتیت شده است [۱۰]. براساس نمودار $\log fO_2$ در مقابل دما بیشترین پایداری هماتیت در دمای ثابت کمتر از ۳۸۰°C و فوگاسیته اکسیژن بیش از ۱۰-۲۵ بوده و این امر به دلیل وجود Fe^{+3} در ترکیب شیمیایی این کانی است.

گوتیت: به عنوان فراوانترین کانه آهن در منطقه است، که از اولین فرآورده‌های اصلی سوپرژن در توالی پاراژنتیکی کانه‌سازی می‌باشد. این کانه در مقیاس مزوسکوپیکی دارای بافت‌های کلیه‌ای، شعاعی، جعبه‌ای و کلوئیدال و در مقیاس میکروسکپی دارای بافت کلیه‌ای، کلوئیدال، اسکلتال، جعبه‌ای و شعاعی می‌باشد. این کانه محصول دگرسانی پیریت بوده و در بعضی مقاطع بقایای پیریت به صورت ریز بلور در بین گوتیت‌هایی که دارای بافت اسکلتال هستند قابل مشاهده است.

لیمونیت: در اثر دگرسانی پیریت و دیگر سولفیدهای آهن (به‌صورت مخلوطی از کانیهای گوتیت، جاروسیت و هماتیت) حاصل شده و غالباً بصورت آگرگاتهای دانه ریز، به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است.

پاراژنز در این کانسار به دو مرحله تقسیم شده است که عبارتنداز:

الف) کانی‌سازی هیدروترمال

ب) کانی‌سازی سوپرژن (شکل ۴).

وجود بافت جعبه‌ای که یک بافت ثانویه و اکسایشی است دراین منطقه نشان دهنده آب‌شویی سوپرژن کانه‌های سولفیدی بوده و شامل حفرات خالی با دیواره‌ای از اکسیدهای آهن همراه یا بدون حضور باقی‌مانده سولفیدها می‌باشد. وجود بافت جعبه‌ای به صورت خیلی شاخص و گسترده در مقیاس مزوسکوپی و میکروسکپی در کانی گوتیت (به میزان کمتر هماتیت) و حضور پیریت به صورت آثارباقی‌مانده در کنار حفرات خالی و نیز در اکثر موارد حفرات شکل‌دار نشان دهنده میزان فراوان این سولفیدها در سنگ میزبان، قبل از فرآیندهای سوپرژن است.

بافتهای کلوئیدی نتیجه نهشته شدن کلوئیدی کانیها از محلولها هستند. رسوبات کلوئیدی (ژل) نیمه پایدار بوده و در اثر کم شدن حلال که معمولا آب است، آگرگات‌های میکروکریستالین تشکیل می‌دهند. کانی گوتیت که کانه اصلی آهن در کانسار کلاته‌شاهین است این بافتها را در مقیاس مزوسکوپی و میکروسکپی به طور شاخص نشان می‌دهد. این امر نشان دهنده حضور محلولهای کلوئیدی آهن‌دار در سنگها بوده که در فضاهای باز، داخل حفرات و شکستگیها در زمان کافی کانیهای اکسید آهن را بر جای گذاشته‌اند. با توجه حضور فراوان سولفیدهای آهن‌دار (تشکیل شده در طی فرآیند هیپوژن) در سنگ میزبان کربناته، تشکیل چنین محلولهایی در زون سوپرژن امری رایج است.

بافت جانشینی جزو بافتهای ثانویه بوده و معمولا در شکستگیها، حاشیه دانه‌ها و کلیواژها رخ می‌دهد. باقی‌مانده

Mineral phase	Decreasing Age →		
	Hydrotermal mineralization Hypogen	Supergen	Fracturing stage
Quartz			
Magnetite			
Hematite			
Pyrite			
Goethite			
Specularite			

شکل ۴. توالی پاراژنتیکی مجموعه‌ای از کانیهای هیدروترمالی منطقه.

اثرات پیریت در رگچه‌های گوتیتی- هماتیتی و در عدسیهای توده معدنی را می‌توان نوعی بافت جانشینی باقی‌مانده در نظر گرفت. بافت اسکلتال که به بافت بقایای اصلی سنگ معروف است نیز یک بافت جانشینی است که با توجه به شاخص بودن و گستردگی آن در توده معدنی می‌توان به حضور فراوان و گسترده سولفیدهای آهن در سنگ میزبان قبل از عملکرد فرآیندهای سوپرژن اشاره کرد.

کانی‌سازی غرب منطقه، در ارتباط با شکستگیها بوده و غالبا به صورت رگه، رگچه و پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود. کانی‌سازی عمده در این منطقه شامل پیریت، هماتیت و دولومیت است. کانه زایی سوپرژن در این منطقه با شدت کمتری رخ داده‌است. کانی‌سازی عمده در این مرحله شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. در این منطقه نسبت به شرق منطقه رگه و رگچه‌ها فراوان و میزان گوتیت کم است.

رگه‌ها و رگچه‌ها

شکستگیهای نوع استوک‌ورک و داربستی که قبل یا همزمان با کانه‌زایی در داخل واحدهای آهکی توسعه یافته‌اند، بسترهای مناسبی را برای شکل گیری بسیاری از انواع رگه‌ها و رگچه‌ها فراهم آورده‌اند. این شکستگیها به طور متوالی توسط سیالات هیدروترمالی پر شده و تشکیل انواع رگچه‌های کوارتزی، سولفیدی، کربناتی، کربناتی- اکسیدی و اکسیدی را داده‌اند. انواع این رگچه‌ها بر اساس محتوای کانیایی و وضعیت تقاطع آنها، به شرح زیراست.

رگچه‌های کوارتزی:

رگچه‌های کوارتزی تقریبا همه سازی حضور داشته و از نظر زمانی به دو شکل مجزا حضور دارند. الف) رگچه‌های کوارتزی با ضخامت ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر که

در این رگچه‌ها بلورهای کوارتز بصورت ریز تا متوسط دانه با بافت موزاییکی حضور داشته و خود توسط رگچه‌های سولفیدی و اکسیدی متقاطع به شکل استوک ورک قطع شده‌اند

.ب) رگچه‌های کوارتزی با ضخامت ۰/۵ تا ۱ میلی متر داخل واحد آهکی که کوارتز در آنها با بافت موزائیکی خضور داشته و فاقد هرگونه کانی‌سازی سولفیدی و یا اکسیدی می‌باشند.

رگچه‌های سولفیدی: این رگچه‌ها با بافت استوک‌ورک و ضخامت ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر قابل مشاهده بوده و عمدتاً شامل بقایای پیریت به صورت ریز دانه و بی‌شکل بوده که اغلب به گوتیت تبدیل شده‌اند.

رگچه‌های کربناته: رگچه‌های کلسیتی با عرض حداکثر ۳ میلی‌متر، متشکل از بلورهای ریز کلسیت با بافت موزاییکی می‌باشند و هیچ گونه آثاری از کانی‌سازی در آنها دیده نمی‌شود. این رگچه‌ها اغلب در داخل واحدهای آهکی و توده‌های منطقه نفوذ نموده است. این رگچه‌ها همراه با اکسیدهای آهن نبوده و در اغلب موارد رگچه‌های اکسید آهن را قطع می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که در آخرین مرحله تشکیل شده‌اند.

رگچه‌های کربناتی- اکسیدی: این رگچه‌ها متشکل از کانی دولومیت متوسط تا درشت بلور اغلب همراه با اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) دیده می‌شود. محلولهای هیدروترمالی در حین حرکت به سمت نواحی کم عمق‌تر و سردتر، توانایی کانی‌سازی و دولومیت‌زایی را می‌یابند. بدین ترتیب در طول و اطراف مناطق نفوذپذیر، دولومیت‌سازی روی می‌دهد. این دولومیت‌ها در دمای ۷۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نهشته می‌شوند. این دولومیت‌ها از انواع درشت بلور می‌باشند.

رگچه‌های دولومیتی فقط در داخل آهکهای منطقه دیده می‌شود و رخ رومبوئدرال در آنها اغلب همراه با زون‌بندی است. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن به‌صورت پراکنده حضور داشته که حاصل دگرسانی سوپرژن پیریت می‌باشند. به‌طوری‌که هنوز آثار باقی‌مانده و بسیار ریز دانه‌ای از پیریت در نمونه‌های میکروسکپی قابل مشاهده است.

ضخامت این رگچه‌ها در مقایسه با نوع کربناتی بیشتر می‌باشد. در اصل این رگچه‌های دولومیتی- سولفیدی بوده که بعد [illegible] ای سوپرژن، سولفیدهای آن در اثر اکسیداسیون به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن آلتره شده‌اند.

رگچه‌های اکسیدی: این رگچه‌ها داخل واحد آهکی حضور داشته و شامل گوتیت- هماتیت می‌باشند. کانیهای بی‌شکل و گاهی سودومورف گوتیت و هماتیت به‌صورت استوک‌ورک در واحد آهکی قابل مشاهده‌اند.

آثار باقی‌مانده از پیریت و سودومورف‌های گوتیت بعد از پیریت نشانگر تبدیل پیریت به گوتیت در طی فرآیند سوپرژن است.

یک رگه هیدروترمالی در شمال منطقه وجود دارد که آثار کنده‌کاری و حفاری قدیمی در آن دیده می‌شود.

پاراژنز در این منطقه به دو مرحله تقسیم شده است که عبارتند از:

الف) کانی‌سازی هیدروترمال

ب) کانی‌سازی سوپرژن (شکل ۵).

در این منطقه بقایای پیریت هیدروترمالی به‌ندرت مشاهده شد. عمده کانه آهن منطقه هماتیت است و میزان گوتیت نسبت به شرق منطقه بسیار کمتر و مگنتیت مشاهده نشده است.

هماتیت به‌صورت اولیه از محلولهای هیدروترمالی همراه با پیریت ایجاد شده که در این صورت محلول هیدروترمال باید اکسیدان‌تر بوده تا هماتیت همراه پیریت ایجاد گردد. علاوه بر شرایط اکسیدان برای تشکیل هماتیت همراه با پیریت، از آن‌جایی که در منطقه کانی‌سازی مگنتیت شکل نگرفته است، می‌توان گفت دمای محلول کمتر از ۲۰۰C بوده است. از طرفی وجود دولومیت‌های هیدروترمالی که دمای تشکیل آنها بین ^{0}C ۵۰-۲۰۰ می‌باشد این موضوع را تأیید می‌کند (شکل ۶).

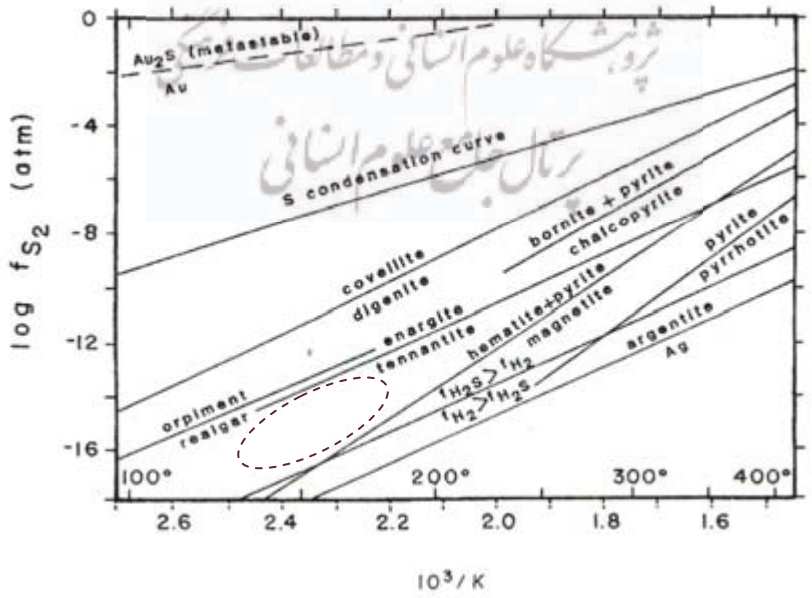
مطالعات ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

به منظور انجام مطالعات ژئوشیمی، ۱۱ نمونه خرده‌سنگی از کانسنگ و سنگ میزبان کربناته با روش طیف سنجی جذب اتمی برای اندازه‌گیری میزان عناصر Fe، Mg، Ca و Mn در منطقه آنالیز گردید. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول (۱) ارائه شده است. از این ۱۱ نمونه تعداد ۲ نمونه از (۱ و ۲) کانسنگ، یک نمونه از رگه (۵) و ۸ نمونه دیگر از آهکهای منطقه که اغلب حاوی کانی‌سازی آهن به صورت رگچه‌ای بودند، برداشت گردید (جدول ۱).

هدف از نمونه‌برداری از آهکهای حاوی رگچه‌های اکسید آهن،

Type of veinlet and micro-veinlet		Decreasing Age → Fracturing mineralization stages		
		Hypogen		Supergen
		I	II	
Quartz		▬▬▬	▬▬▬	▬▬▬
Sulfide		▬▬▬		
Carbonate	Calcite		▬▬▬	
	Dolomite+Hemetite	▬▬▬	▬▬▬	
Oxide	Hematite	▬▬▬	▬▬▬	
	Hematite+Goethite		▬▬▬	▬▬▬

شکل ۵. توالی پاراژنتیکی مجموعه‌ای از کانیهای هیدروترمالی منطقه.



شکل ۶. نمودار مقایسه محدوده پایداری ترکیبات سولفیدی در شرایط مختلف از نظر غلظت گوگرد و دما [۱۱].

جدول ۱. نتایج نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده ار کانسنگ و سنگ میزبان کربناته.

نمونه	Mg	Ca	Mn	Fe
واحد	%	%	%	%
۱	۰/۲	۱/۳	۲/۳	۲۶/۶
۲	۰/۲۷	۵/۸	۴/۹	۳۰/۴
۳	۰/۰۶۴	۰/۸	۰/۰۱۳۲	۱/۷
۴	۰/۱۴	۳۷/۴	۰/۳	۱
۵	۰/۳۳	۴/۴۱	۱/۵	۲۲/۵
۶	۰/۰۹۵	۳۴/۳	۰/۱۴	۰/۵
۷	۰/۰۸۴۹	۳۳/۸	۰/۱۷	۰/۷
۸	۰/۰۶۹۸	۲۹/۵	۰/۱۹	۱/۹
۹	۰/۱۷	۱۵/۶	۰/۲۲	۲/۸
۱۰	۰/۰۴۹۳	۴۷/۲	۰/۱۳	۰/۵
۱۱	۰/۲۲	۹/۷	۰/۱۲	۳/۳

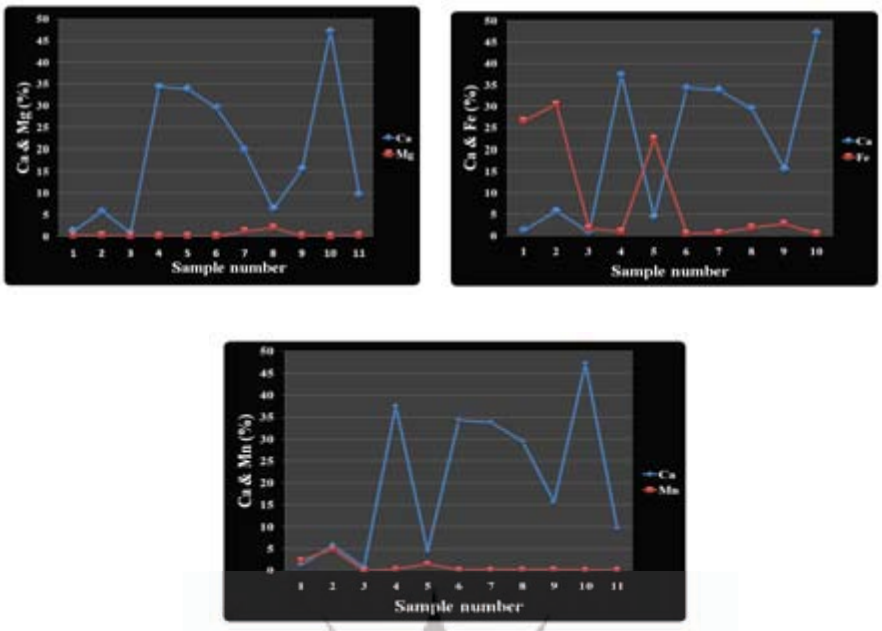
بررسی میزان تغییرات عناصر Fe، Mg، Ca و Mn در این واحدها، میزان واکنش پذیری آهک با محلولهای هیدروترمالی و بررسی تغییرات این عناصر در واحدهای آهکی نسبت به فاصله آنها از توده‌های موجود در منطقه است.

بررسی همبستگی عناصر

برای تعیین این‌که آیا ارتباط معنی داری میان تغییرات عناصر وجود داردیا نه همبستگی میان آنها را بررسی می کنیم. همبستگی معنی‌دار نشان دهندهٔ ارتباط پاراژنزی بین عناصر است. همان‌طور که قبلاً گفته شد سنگ میزبان در این کانسار سنگهای کربناته است. به منظور بررسی میزان واکنش‌پذیری سنگ میزبان نسبت به محلولهای هیدروترمالی نمودارهای مقادیر عناصر Mn، Mg و Fe در مقابل Ca ترسیم گردید. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که بیشترین میزان Ca، مربوط به واحدهای آهکی و آهک فسیل‌دار منطقه بوده و کمترین میزان Ca مربوط به توده معدنی و آهک هماتیتی می‌باشد. بنابراین واحدهای آهکی و آهک فسیل‌دار منطقه کمترین واکنش پذیری را با محلولهای هیدروترمالی داشته‌اند و کمترین میزان Ca نشان می‌دهد که در محل کانسنگ و آهک هماتیتی بیشترین واکنش پذیری با محلولهای هیدروترمالی صورت گرفته است (شکل ۷).

طبق نتایج آنالیز صورت گرفته بیشترین میزان Fe مربوط به توده معدنی در محل ترانشه ۳۰/۴ درصد بوده و کمترین کنگلومرایی می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که سنگ میزبان کانی‌سازی به دلیل بالا بودن Ca و پایین بودن Mg از نوع کلسیتی است که بررسی مقاطع میکروسکپی و رنگ‌آمیزی با آلیزلرین قرمز این موضوع را تأیید کرد. بررسی نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که رابطه‌ای بین میزان این عناصر و فاصله از توده‌ها وجود ندارد. بنابراین توده‌های نفوذی منطقه غیر بارور بوده و نقشی در کانی‌سازی منطقه ندارند.

بیشترین میزان آهن در غرب منطقه مربوط به رگه‌ای با ۲۲/۵درصد آهن بوده که آثار کنده‌کاری‌های قدیمی نیز در این منطقه دیده می‌شود. آهن و منگنز در محل ترانشه همبستگی مثبت داشته که نشان می‌دهد هر دو یک منشأ



شکل ۷. نمایش مقادیر عناصر Mn، Mg و Fe در مقابل Ca در نمونه‌های سنگی.

داشته و از محلولهای هیدروترمال منشأ گرفته‌اند. درحالی‌که در نمونه‌های دیگر میزان منگنز بسیار پایین است. میزان Mg در اغلب نمونه‌ها کم می‌باشد

ژئوفیزیک

به منظور برداشتهای ژئوفیزیکی دو شبکه در منطقه پیاده گردید. در شرق منطقه خط مبنا به طول ۳۶۰ متر و با امتداد شمال شرق- جنوب غرب پیاده شد و بر روی آن ۲۵ پروفیل با فواصل ۲۰ متر در نظر گرفته شد و روی ترانشه حفر شده فواصل ۱۰ متری انتخاب شدند، زیرا کانی‌سازی مگنتیت به خوبی در سطح رخنمون داشت. در مجموع شدت کل میدان مغناطیسی در ۵۵۳ نقطه اندازه گیری شد. فاصله نقاط برداشت روی این پروفیل ها ۵ متر در نظر گرفته شد. به منظور بررسی حساسیت مغناطیسی سنگهای منطقه و ارتباط آن با کانی سازی در روی پروفیل های برداشت شدت کل میدان مغناطیسی در محلهایی که رخنمون سنگی مشاهده می شد، اندازه‌گیری حساسیت مغناطیسی، انجام شد. شبکه دوم در غرب منطقه طراحی شد. خط مبنا به طول ۱۴۰ متر و با امتداد شمال شرق- جنوب غرب پیاده شد و بر روی آن ۷ بودن منبع آنومالی را دریافت. بدین صورت که در محل‌هایی پروفیل با فواصل ۲۰ متر در نظر گرفته شد. مجموعاً شدت کل میدان مغناطیسی در ۱۸۹ نقطه برداشت گردید. فاصله نقاط برداشت روی این پروفیل ها ۵ متر در نظر گرفته شد.

به منظور تصحیح روزانه از روش Tie line در اندازه‌گیریهای مغناطیس سنجی زمینی استفاده شده است. شدت کل میدان مغناطیسی بر حسب فاصله برای همه پروفیل‌ها ترسیم گردید. برداشتهای زمین‌شناسی در طول پروفیل‌ها انجام شد و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد برداشت مغناطیسی تهیه شد. تهیه نقشه‌های Image، منحنی میزان، انتقال به قطب و فراسو از داده‌های مغناطیسی انجام شد. تفسیر پروفیل‌ها و نقشه‌های مغناطیسی با توجه به پذیرفتاری مغناطیسی اندازه گیری شده و برداشتهای زمین‌شناسی صورت گرفت. پس از انجام تصحیح روزانه بر روی داده‌های حاصل از مغناطیس سنجی زمینی، نیمرخ شدت کل میدان مغناطیسی و پذیرفتاری مغناطیسی مربوط به پروفیل‌های هر یک از مناطق، بدون کسر میدان اصلی ترسیم شد و با نیمرخ زمین‌شناسی تهیه شده مورد مقایسه قرار گرفت.

از مقایسه نمودارهای پذیرفتاری مغناطیسی و شدت کل میدان مغناطیسی می‌توان به طور نسبی عمیق یا کم عمق که میزان حساسیت مغناطیسی سنگهای سطحی و شدت کل

میدان مغناطیسی بالا است، منبع آنومالی به سطح نزدیک و در جاهایی که حساسیت پایین و شدت کل میدان مغناطیسی بالا است، عمق آنومالی بیشتر می‌باشد [۱۲].

نقشه‌های سیاه و سفید تابش نور تهیه شده از نقشه‌انتقال یافته به قطب(RTP Grey scale Sunshade) در این نقشه که نور با زاویه ۴۵ درجه از جهت شمال غربی (Azimuth 45) تابیده شده است، ساختارهای خطی (گسلها) و آنومالی‌های موجود، یعنی ساختارهایی با جهت شمال شرق- جنوب غربی را برجسته‌تر نشان می‌دهد. از این تصاویر بیشتر برای آشکار سازی ساختارهای خطی استفاده می‌شود.

در این تصویر دو ساختار خطی واضح مشاهده می‌شود که یکی از این ساختارها دارای راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب بوده و منطبق بر گسل مشاهده شده در شرق منطقه است. ساختار خطی دیگر در جنوب منطقه با راستای تقریبا شمالی- جنوبی منطبق بر جاده و قسمتی از ترانشه حفر شده می‌باشد (شکل ۱۱).

نقشه مشتق اول قائم (1VD) منطقه

مشتق اول قائم (گرادیان عمودی) اثر آنومالی‌های عمیق با فرکانس پایین را حذف کرده و تاثیر منابع کم عمق با فرکانس بالا را به نمایش در می‌آورد [۱۵]. نقشه گرادیان عمودی از آن‌جا که نوعی فیلتر بالا گذر می‌باشد، تصویری فیلتر شده از میدان مغناطیسی فراهم می‌کند که ویژگیهای زمین‌شناسی نزدیک سطح زمین را برجسته می‌کند [۱۶] و [۱۷]. با بررسی نقشه مشتق اول قائم (گرادیان عمودی) منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با نقشه انتقال به قطب می‌توان چنین استنتاج کرد که موقعیت آنومالی‌های ظاهر شده در هر دو نقشه با یکدیگر تطابق دارند. از طرفی آنومالی‌های کوچک D_1، D_2 و D_3 واضح‌تر شده که نشان دهنده کم عمق بودن منبع آنومالی است به‌طوری‌که آثار کانی‌سازی مگنتیت در محل ترانشه این مطلب را تأیید می‌کند.

نقشه‌های فراسو یا ادامه به سمت بالا
(Upward continuation)

این فیلتر تاثیر منابع محلی و کم عمق را که در نقشه‌های گرادیان عمودی آشکار بود حذف می‌کند [۱۸]. نقشه‌های ادامه به سمت بالا در منطقه مورد مطالعه مربوط به اعماق آنومالی A در شرق منطقه منطبق بر رخنمون واحدهای ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر تهیه گردید. در نقشه‌های ادامه به سمت بالا، مربوط به ارتفاع ۳۰ متر (شکل ۱۲) مشاهده می‌شود که اثر آنومالی‌های کوچک D_1، D_2 و D_3 ضعیف‌تر می‌شود. بنابراین می‌توان چنین استنتاج کرد که آنومالی‌های کوچک سطحی هستند و می‌توان پیش‌بینی نمود که در اعماق بیشتر حذف شوند. آنومالی‌های E، B و C که در غرب منطقه قرار گرفته‌اند در عمق ۳۰ متر به هم می‌پیوندند.

در نقشه‌های ادامه به سمت بالا، مربوط به ارتفاع ۵۰ متر (شکل ۱۳) مشاهده می‌شود که آنومالی‌های کوچک D_1، D_2 و D_3 در این عمق به طور کلی حذف می‌شوند. آنومالی A همچنان در شرق منطقه دیده می‌شود. آنومالی‌های C،B و E که در عمق ۳۰ متر به هم پیوسته‌اند در عمق ۳۰ تا ۲۰۰ متر گسترش می‌یابند.

در نقشه‌های ادامه به سمت بالا، مربوط به ارتفاع ۵۰ متر مشاهده می‌شود که اثر آنومالی A در این عمق ضعیف‌تر شده و در نقشه ادامه به سمت بالا مربوط به ارتفاع ۱۵۰ متر کاملا حذف می‌گردد (شکل ۱۴).

انطباق نقشه مغناطیس‌سنجی (RTP) و زمین‌شناسی کل منطقه

با توجه به اهمیت محرز مغناطیس‌سنجی در تکمیل نقشه‌های زمین‌شناسی، سعی شده است نقشه‌های زمین‌شناسی و مغناطیسی انتقال یافته به قطب به طور دقیق با یکدیگر مقایسه گردد. جهت تطبیق آسان‌تر، آنومالی‌های قابل مشاهده در نقشه مغناطیس‌سنجی نام‌گذاری گردید.

برای مشخص شدن موقعیت آنومالی‌ها روی زمین و تطبیق بهتر دو نقشه زمین‌شناسی و مغناطیس سنجی از منطقه مورد مطالعه، نقشه انتقال یافته به قطب (RTP) که محل واقعی آنومالی‌ها را نمایش می‌دهد، بر روی نقشه زمین‌شناسی قرار داده شده است.

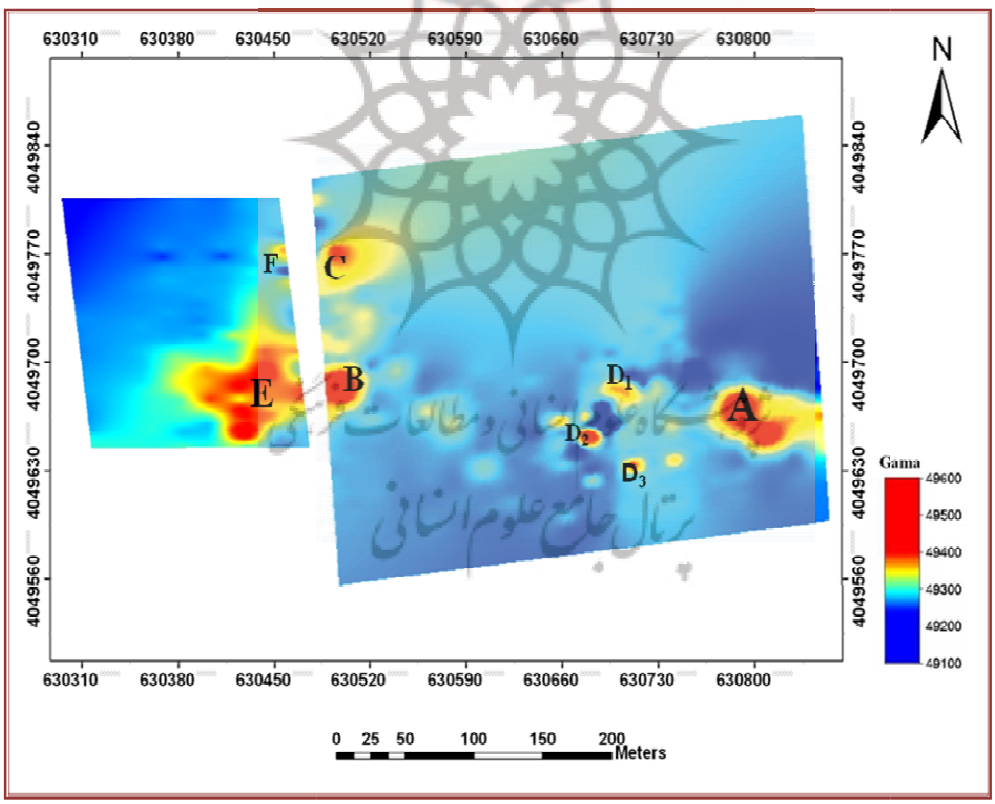
نتایج حاصل از مقایسه به شرح زیر است: در نقشه مغناطیس سنجی آنومالی‌های کوچک D_1، D_2 و D_3 که در شرق منطقه قابل مشاهده‌اند با توده کانی‌سازی اصلی در شرق منطقه، در نقشه زمین‌شناسی مطابقت دارند. بنابراین می‌توان گفت که منبع این آنومالی‌ها مربوط به کانی‌سازی مگنتیت بوده که در محل ترانشه در سطح رخنمون دارد.

میکروکنگلومرایی و ماسه‌سنگی در نقشه زمین‌شناسی

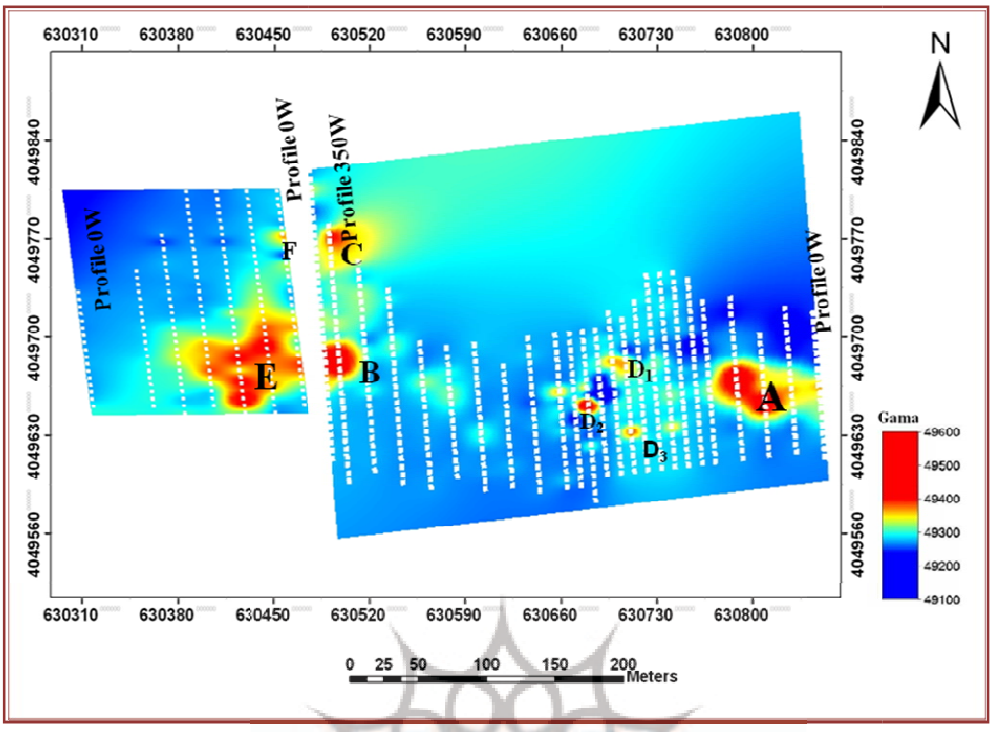
می‌باشد. از آنجایی که این واحدهای ماسه‌سنگی و میکروکنگلومرایی حاوی مگنتیت آواری و خرده‌سنگهای ولکانیکی (حاوی مگنتیت به صورت کانی فرعی) بوده و پذیرفتاری تا حدود ۱۳۵۰×۱۰^{-۵}SI را نشان می‌دهند، بنابراین منبع آنومالی A مربوط به واحدهای میکروکنگلومرایی و ماسه‌سنگی بوده و ارتباطی به کانی‌سازی ندارد.

قسمتی از آنومالی بزرگ E در غرب منطقه با توده‌های هورنبلند دیوریت پورفیری و دیوریت پورفیری در نقشه زمین‌شناسی منطقه مطابقت دارد. توده هورنبلند دیوریت پورفیری پذیرفتاری تا حدود ۲۳۰۰×۱۰^{-۵}SI و توده دیوریت پورفیری نیز پذیرفتاری در حدود ۳۵۰×۱۰^{-۵}SI را نشان می‌دهند. بنابراین این احتمال وجود دارد که منبع این آنومالی مربوط به این توده‌ها باشد.

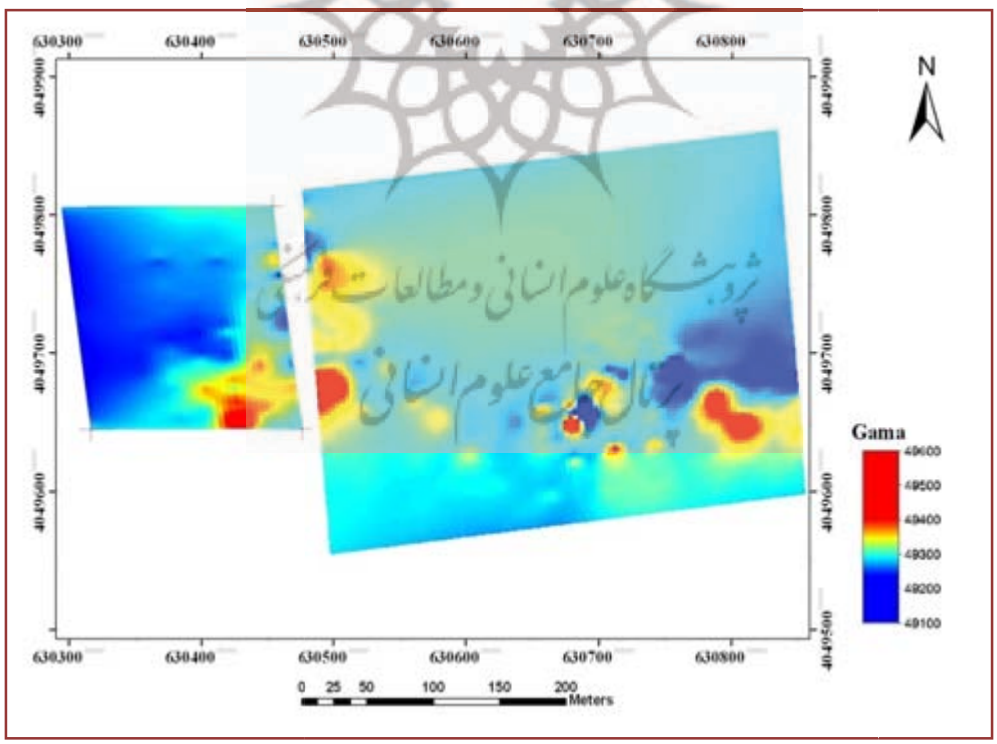
آنومالی کوچک F در غرب منطقه منطبق بر واحد آهکی با رگچه‌های هماتیتی است. آنومالی C در شمال منطقه منطبق بر واحد آبرفتی در نقشه زمین‌شناسی می‌باشد. آنومالی B که در فاصله ۴۵ متری از آنومالی C قرار دارد منطبق بر واحد آهکی حاوی رگچه‌های هماتیتی است. بنابراین می‌توان گفت که منبع آنومالی B در عمق می‌باشد. همچنین یک دسته آنومالی‌های کوچک در مرکز منطقه با شدت کل میدان مغناطیسی کمتر نسبت به آنومالی‌های دیگر و روند جنوب‌شرق- شمال‌غرب منطبق بر دایک مونزونیت پورفیری در نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌باشند (شکل ۱۵).



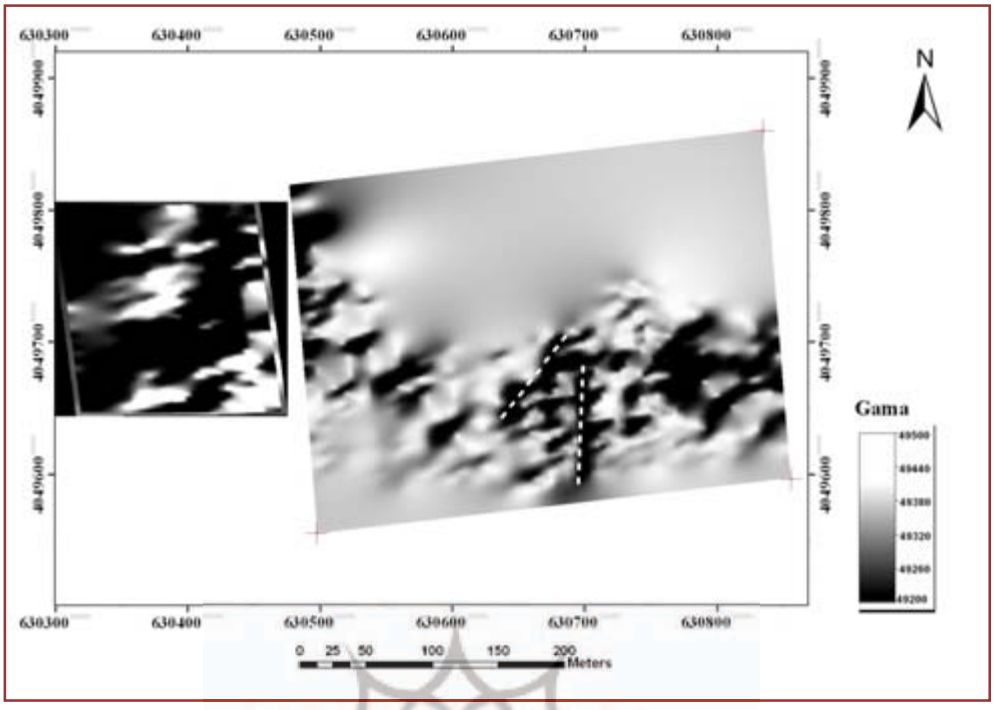
شکل ۸. نقشه کل شدت میدان مغناطیسی.



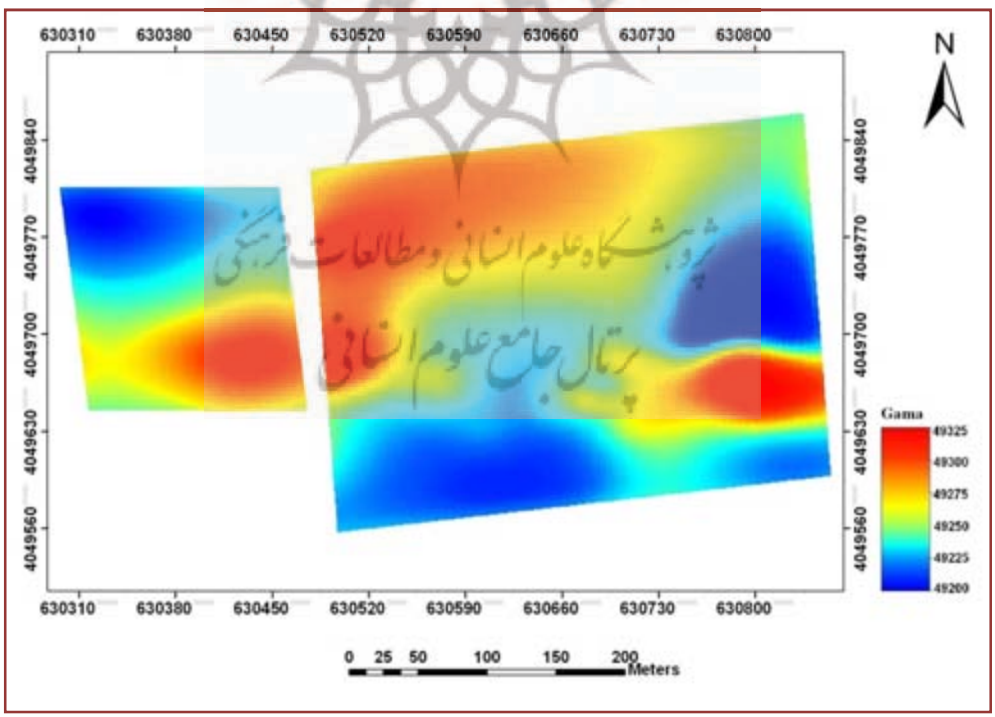
شکل ۹. نقشه شدت کل میدان مغناطیسی به همراه محل پروفیل‌ها.



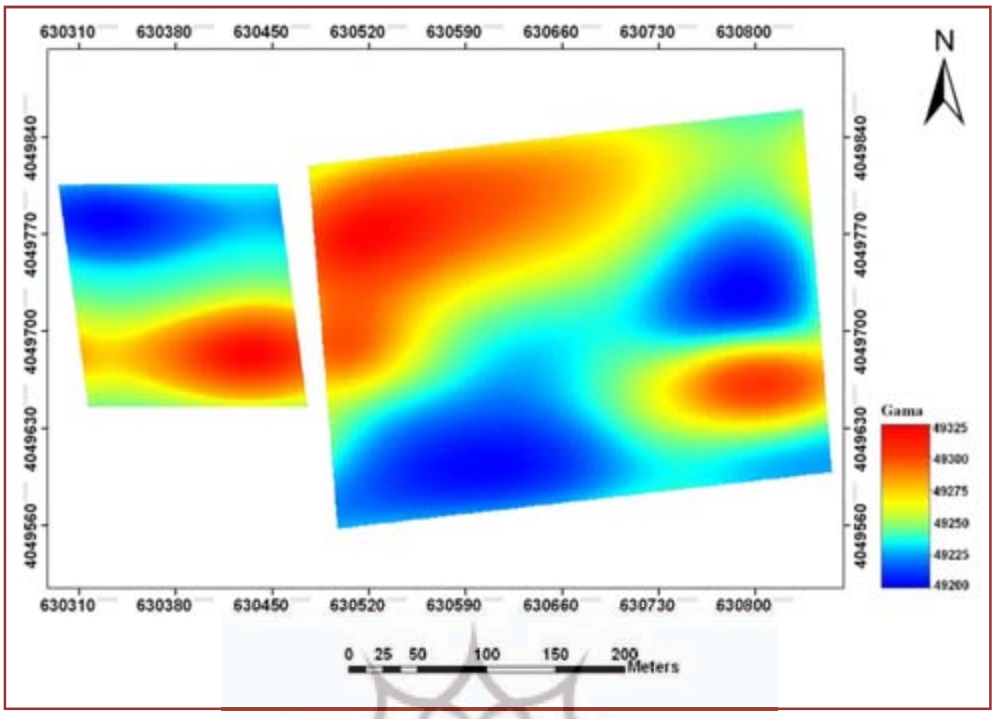
شکل ۱۰. نقشه انتقال‌یافته به قطب.



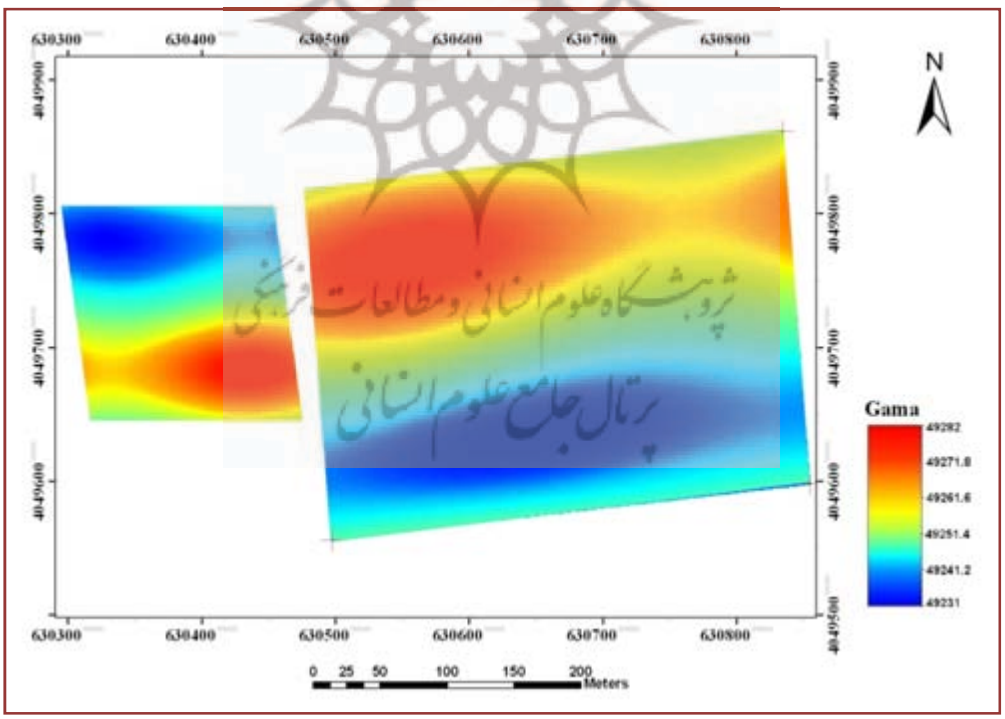
شکل ۱۱. نقشه‌های سیاه و سفید تابش نور (RTP Grey scale Sunshade).



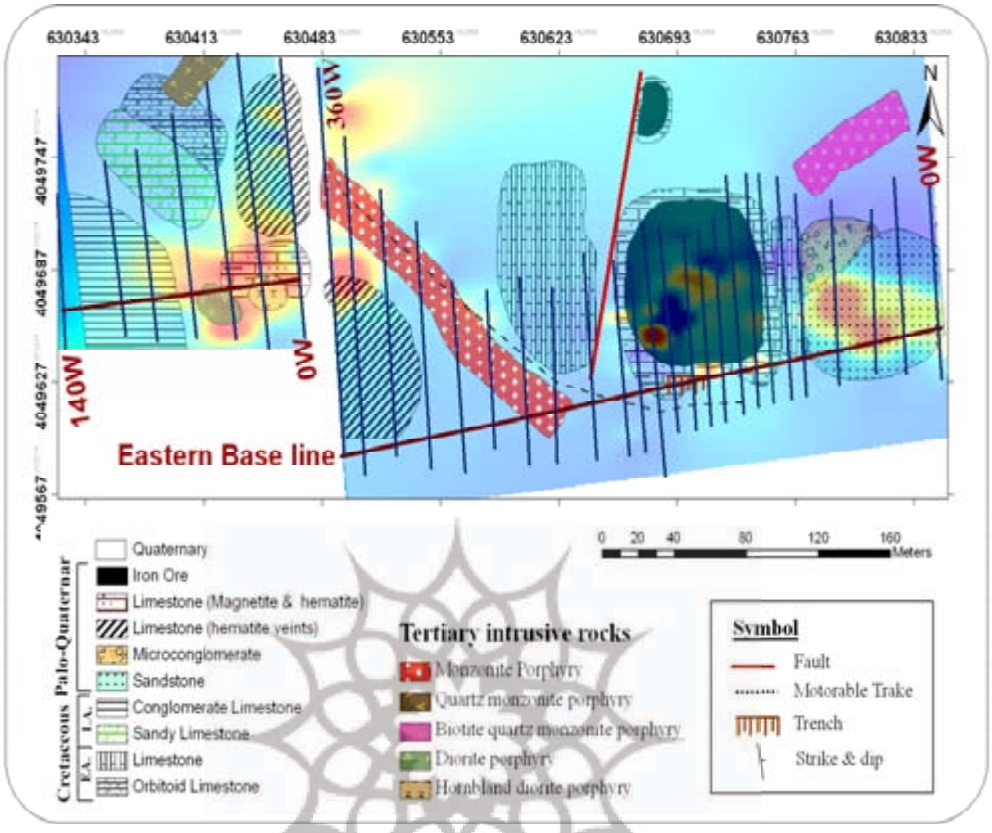
شکل۱۲. نقشه فراسو مربوط به ارتفاع ۳۰ متر.



شکل۱۳. نقشه فراسو مربوط به ارتفاع ۵۰ متر.



شکل۱۴. نقشه فراسو مربوط به ارتفاع ۱۵۰ متر.



شکل۱۵. موقعیت نقشه RTP بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه کلاته شاهین به همراه محل پروفیل‌ها.

بحث و برداشت

توده‌های نیمه عمیق با ترکیب بیوتیت کوارتز مونزونیت، کوارتزمونزونیت، مونزونیت، دیوریت و هورنبلند دیوریت پورفیری در آهکهای کرتاسه نفوذ کرده‌اند. شواهدی از کانیهای اسکارنی در مرز این توده‌ها با آهک دیده نمی‌شود. کانی‌سازی در شرق و غرب منطقه کلاته شاهین متفاوت است. در شرق منطقه، گسلی نرمال با راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب و شیب ۷۰ درجه دیده می‌شود. این گسل در مرز آهک با کانسنگ می‌باشد. بررسیهای صحرایی نشان داد که این گسل یک گسل نرمال بوده و نسبت به کانی‌سازی جوانتر است. بنابراین کانی‌سازی خارج از منطقه شکل گرفته و در اثر عملکرد این گسل از محل اولیه خود جابه‌جا شده و در مکان کنونی قرار گرفته است. کانی‌ساز ی در این منطقه طی دو مرحله هیپوژن و سوپرژن شکل گرفته است. مرحله هیپوژن در ارتباط با تشکیل پیریت، مگنتیت و اسپیکولاریت بوده و مرحله سوپرژن در ارتباط با تشکیل گوتیت و هماتیت است. پیریت تنها سولفید منطقه می‌باشد و به صورت بلورهای بسیار دانه ریز و بی شکل و در زون سوپرژن به‌صورت آثار باقی‌مانده در کنار حفرات همرا با اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن دیده می‌شود. بررسی شرایط دمایی و فوگاسیته اکسیژن، دمای تشکیل کانیهای هیدروترمالی شرق منطقه را در محدوده کمتر از ۳۵۰°C معرفی می نماید.درحالی‌که در غرب منطقه میزان گوتیت و هماتیت بسیار کمتر و اغلب به‌صورت رگه و رگچه‌ای همراه با دولومیت هیدروترمالی است. محلولهای هیدروترمالی عامل کانی‌سازی در غرب منطقه نسبت به شرق میزان سولفید کمتر، اکسیدان تر و دمای کمتر بوده اند.

نتایج آنالیز ژئوشیمی برای عناصر Fe، Mn، Mg و Ca *نشان داد که* بیشترین میزان آهن ۳۰/۴ درصد در محل ترانشه در

شرق منطقه است و آهن و منگنز در محل ترانشه همبستگی مثبت داشته که نشان می‌دهد هر دو یک منشأ داشته و از محلولهای هیدروترمال منشأ گرفته‌اند. میزان Mg در آهک فاقد کانی سازی پایین بوده در حالی‌که میزان کلسیم بالایی داشته که تأیید کننده سنگ میزبان کلسیتی است. در نقشه مغناطیس سنجی آنومالی‌های کوچک D_1، D_2 و D_3 که در شرق منطقه قابل مشاهده‌اند با توده کانی‌سازی اصلی در شرق منطقه، در نقشه زمین‌شناسی مطابقت دارند. بنابراین می‌توان گفت که منبع این آنومالی‌ها مربوط به توده کانی‌سازی (مگنتیت) بوده که در محل ترانشه در سطح رخنمون دارد.

آنومالی A در شرق منطقه بر رخنمون واحدهای میکروکنگلومرایی و ماسه‌سنگی در نقشه زمین‌شناسی منطبق می‌باشد. از آن‌جایی که این واحدهای ماسه‌سنگی و میکروکنگلومرایی حاوی مگنتیت آواری و خرده‌سنگهای ولکانیکی (حاوی مگنتیت به صورت کانی فرعی) بوده و پذیرفتاری تا حدود 1350×10^{-5} SI را نشان می‌دهند، منبع آنومالی A مربوط به واحدهای میکروکنگلومرایی و ماسه‌سنگی بوده و ارتباطی به کانی‌سازی ندارد.

قسمتی از آنومالی بزرگ E در غرب منطقه با توده‌های هورنبلند دیوریت پورفیری و دیوریت پورفیری در نقشه زمین‌شناسی منطقه مطابقت دارد. با توجه به این‌که در فاصله تقریباً ۴۰ متری آنومالی‌های B و C، توده هورنبلند دیوریت پورفیری رخنمون دارد این احتمال وجود دارد که منبع آنومالی ها مربوط به توده نفوذی باشد. از طرفی به دلیل وجود کانی‌سازی هماتیت در آهکهای منطبق بر آنومالی‌های B و C این احتمال نیز وجود دارد که منبع این آنومالی‌ها مربوط به کانی‌سازی مگنتیت در عمق باشد. بنابراین در محل این دو آنومالی حفاری اکتشافی پیشنهاد می شود.

مراجع

[۱] نبوی، م. ح.، *"دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۵).

[۲]کریم‌پور م. ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، و حیدریان شهری م. ر.، *" اکتشاف ذخایر معدنی"*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۴) ۶۳۲ صفحه.

[۳] امینی ب.، *" نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان (۷۶۶۳)"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹).

[۴] بهار فیروزی خ.، اژدری ع.، سیاره ع.، *"گزارش مطالعات اکتشافات چکشی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان"*، سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۷) ۱۹۰ صفحه.

[5] Tucker M.E., "*Sedimentary Petrology"*. Third Edition, Blackwell, Oxford, (2001) 260p.

[6] Weltje G.J. Eynatten H.V., "*Quantitative provenance analysis of sediment: review and outloo"k*, Sedimetaty Geology, 171, (2004) 1-11.

[7] Dickinson W.R., "*Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstone". In Zuffa, G.G., (Ed.), Provenance of Arenites. Reidel Publishing Co., Dorderchet, The Netherland*s, (1985) 338 – 361.

[8] Zharikov V.A., "*Skarns"* :Internat.Geology Rev.,v12 (1970).

[9] Ramdhor P *The ore minerals and their intergrowth* , Pergamon Press, ., (1980) 1267P.

[10] Velasko,F., *Mineralogy and Origin of the skarn from Kala* ,Economic Geology.,v.76., no.3., (1982) pp.719-727.

[11] Henley R. W., Truesdell A. H., Barton, P. B., "*Fluid-mineral Equilibria in Hydrothermal System"*: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, V. 1 (1984) 267P.

[۱۲]حیدریان شهری، م.ر.، *"مبانی اکتشافات ژئوفیزیک"*: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۴) ۷۵۰ صفحه.

[13] Clark D. A., "*Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys"*: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17(2), (1984) p. 83-103.

[۱۴] یوسفی ا.، *" نقشه شدت کل میدان مغناطیسی ۱:۱۰۰۰۰۰"*، برگه شماره ۳، سازمان زمین‌شناسی کشور (۲۰۰۰).

[15] Gunn P. J., Dentith M.C., "*Magnetic responses associated with mineral deposits"*: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17(2) (1997) p. 145-158.

[16] Cooper G. R., Cowan D. R., "*Filtering using variable order vertical derivative Computers & Geosciences"*, v. 30 (2004) pp. 455-459.

[17] Ford K., Keating P., Thomas M. D.," *Overview of Geophysical signature Associated with canadaian or Deposits"*, Geological Survey of Canada, 601 Booth Street, Ottawa, Ontario, K1A0E8 (2004).

[18] Gunn P. J.," *Workshop Interpretation of aeromagnetic data"*: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics (1996).