

کانی شناسی، پترولوژی سنگ منشأ و شرایط تشکیل کانسار اسکارن آهن ابودر، شمال شرق سبزوار

محدثه پناهی شهری^(*)، محمد حسن کریم پور^۱، محمد رضا حیدریان شهری^۱، سعیده
غلامی^۲

۱- گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۹/۲۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۲/۸

چکیده

کانسار اسکارن آهن ابودر در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد و ۱۰ کیلومتری شمال شرق روستای شترسنگ واقع شده است. اسکارن آهن نوع کلسیم دار در سنگ آهک کرتاسه زیرین تشکیل شده است. اگزواسکارن شامل زون های: گارنت اسکارن، گارنت-ایدوگراز اسکارن، پلاژیوکلاز اسکارن، اکتینولیت اسکارن، زونیت اسکارن و زونیت-اپیدوت اسکارن می باشد.

گرانیت، گرانودیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری، سینودیوریت و سینیت پورفیری شناسایی شدند. سینیت و سینودیوریت از نوع آلکالن و گرانیت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت از نوع ساب آلکالن هستند. تمامی توده ها از نوع متا آلومینیوم دار اما کوارتز مونزونیت از نوع فوق آلومینیوم دار است. سینیت پورفیری از نوع فوق پتاسیم، سینودیوریت از نوع پتاسیم زیاد و گرانیت-مونزونیت و گرانودیوریت از نوع کم پتاسیم هستند. سینیت پورفیری از نوع غنی از پتاسیم و بقیه توده ها غنی از سدیم هستند. تفاوت قابل توجهی بین نمودار عنکبوتی توده های نفوذی مشاهده می شود. این موضوع تاییدی است بر اینکه این توده های نفوذی دارای منشا متفاوت هستند. در مقایسه با بازالت های میان اقیانوسی، توده های نفوذی از عناصر Rb, K, Ba, Zr, Y غنی شده هستند. و از عناصر P, Ti, Sr کاهیدگی نشان می دهند.

بر اساس پاراژنز، آندرادیت در مرحله دگرگونی پیش رونده در دمای حدود ۵۵۰°C تشکیل شده است. در دمای کمتر از ۳۰۰°C، همزمان با دگرگونی پس رونده اکتینولیت، پلاژیوکلاز، زونیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کلسیت تشکیل شده اند. کانسار ابودر از نوع اسکارن آهن فاقد مس و طلا شناسایی شد که کانه اصلی آن تنها مگنتیت می باشد. مقدار متوسط آهن حدود ۴۱/۳ درصد است.

واژه های کلیدی: ابودر، اسکارن، مگنتیت و گارنت.

مقدمه

کانسار آهن ابوذر در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد، ۸۲ کیلومتری شمال شرق سبزوار و در ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان واقع شده است. دسترسی به معدن ابوذر نیشابور از دو مسیر متفاوت جاده مشهد به قوچان و نیشابور به قوچان ممکن می باشد. راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

واژه اسکارن به سنگهایی اطلاق می شود که از سیلیکاتهای Mg ، Al ، Fe ، Cu تشکیل شده اند و در نتیجه جانشینی Fe ، Si و Mg به طریقه متازوماتیزم در سنگهای آهکی خالص و دولومیتها حاصل می شوند. اسکارنها را بر اساس شرایط و چگونگی تشکیل به دو گروه اسکارنهای واکنشی و اسکارنوتیدها تقسیم می کنند (اینودی و همکاران، ۱۹۸۱). اسکارنهای واقعی از واکنش بین محلولهای ماگمایی یا گرمابی در حرارت بالا با سنگهای کربناته به وجود می آیند.

واحدهای رسوبی منطقه از قدیم به جدید شامل آهکهای کرتاسه زیرین، مارن و ماسه سنگهای ائوسن و پلیوسن - کواترنر می باشد (امینی، ۱۳۷۹). مطالعات انجام شده شامل ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (امینی، ۱۳۷۹)، گزارش اکتشافات چکشی (بهار فیروزی و همکاران، ۱۳۷۷) و دو پایان نامه کارشناسی ارشد (پناهی، ۱۳۸۷) است. توده های ساب ولکانیک گرانیتی، مونزونیتی و سینیتی با بافت پورفیری تا تدریجی

به درون سنگ آهکها نفوذ نموده و شرایط بروز دگرگونی همبری پیرومتاسوماتیک (اسکارن زایی) را فراهم آورده است. هدف از این پژوهش مطالعه کانی شناسی، تشخیص سنگ منشأ، تعیین نوع کانی سازی آهن و شرایط فیزیکیوشیمیایی تشکیل اسکارن آهن ابوذر نیشابور می باشد.

روش مطالعه**مطالعات صحرایی:**

- تهیه نقشه های زمین شناسی و کانی سازی با مقیاس ۱:۴۰۰۰

- برداشت ۱۰۱ نمونه از اسکارن، توده های نفوذی و کانی سازی

- برداشت ۱۰ نمونه از محل های کانی سازی جهت مطالعات ژئوشیمیایی.

مطالعات آزمایشگاهی:

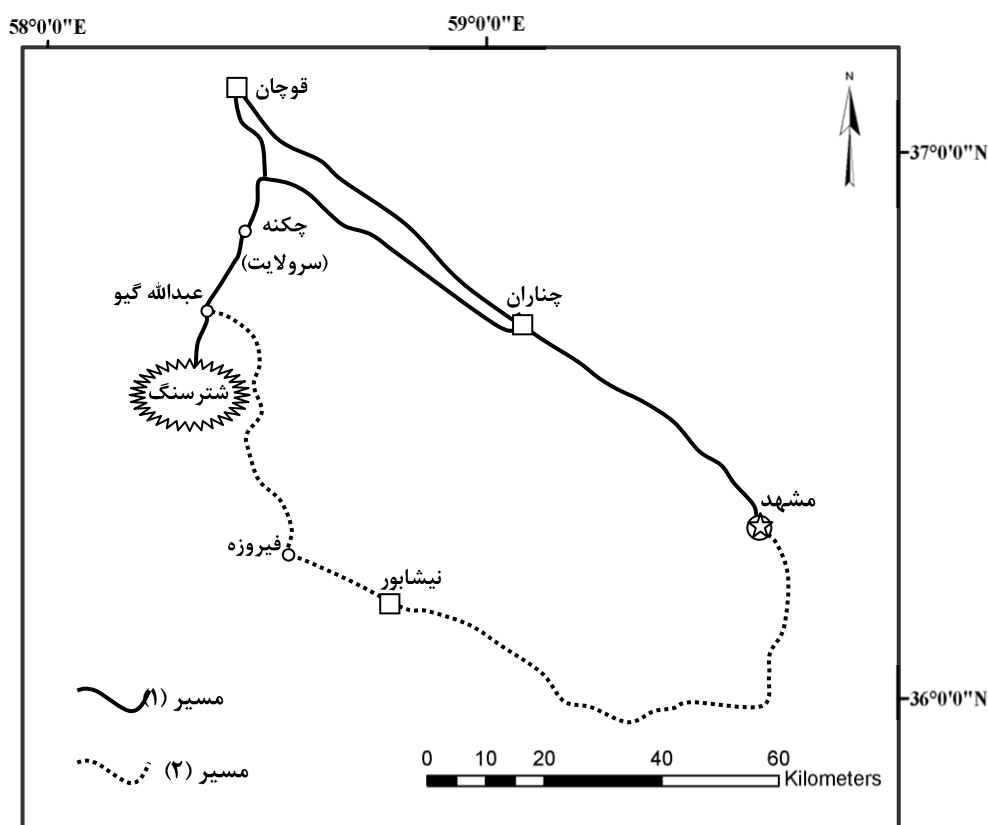
- تهیه نقشه زمین شناسی و کانی سازی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۴۰۰۰ با استفاده از نرم افزار Arc map.

- مطالعات پتروگرافی ۸۵ نمونه از توده های نفوذی، زون های اسکارنی و کانی سازی.

- مطالعات مینرالوگرافی ۱۶ نمونه از زون های کانی سازی.

- تجزیه توده های نفوذی با دستگاه XRF با دقت $\pm 0.01\%$ در دانشگاه فردوسی مشهد.

- تجزیه نمونه های کانی سازی برای عناصر جزئی و کمیاب در آزمایشگاه Acme کانادا به روش ICP-MS ذوب قلیایی 1DX و 4B



شکل ۱- راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه

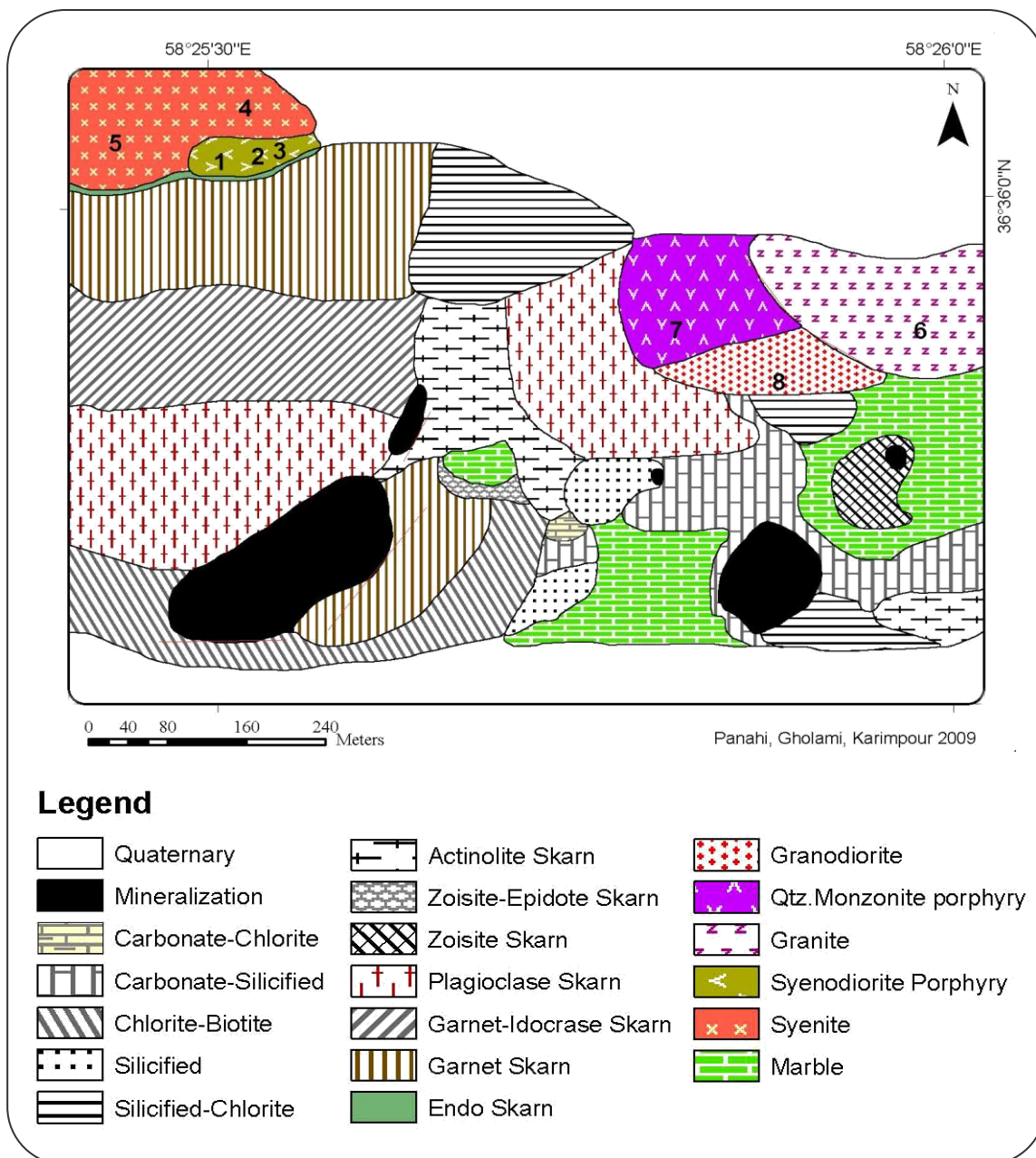
سنگ شناسی توده‌های نفوذی

کوارتز بیش از ۵ درصد تقریباً همسان و هورنبلند ۱ تا ۲ درصد. کانی‌های اوپاک به صورت پراکنده و بسیار ریز بلور در حد کمتر از ۰/۵ درصد حضور دارند. این توده فاقد محلول کانه‌دار بوده و سنگ آهک در مجاور این توده فقط به مرمر دگرگون شده است.

گرانودیوریت پورفیری: با وسعت کمتری نسبت به سایر توده‌های نفوذی در شمال شرق محدوده رخنمون دارد (شکل ۲) و دارای بافت پورفیری است. پتاسیم فلدسپات با ابعاد تقریبی ۰/۵ تا ۱ میلیمتر تا ۲۰ درصد و پلاژیوکلاز به صورت ریز بلور با ابعاد کمتر از ۰/۲ میلیمتر تا ۱۰ درصد به صورت فنوکریست شناسایی شدند.

این توده‌ها به شکل دایک و یا استوک‌های کوچک دیده شده و در شمال شرقی و شمال غربی محدوده رخنمون دارند (شکل ۲). اندازه‌گیری درصد و ابعاد کانی‌ها براساس مشاهده مقاطع نازک میکروسکوپی و نمونه‌های دستی صورت گرفته است.

گرانیت: با وسعت حدود ۱۲۰ * ۲۵۰ متر مربع در گوشه شمال شرقی محدوده مورد مطالعه رخنمون دارد (شکل ۲). بافت تدریجی (seriate) دانه ریز داشته و قسمت عمده فنوکریست‌ها را آلبیت، پتاسیم فلدسپات، کوارتز و هورنبلند تشکیل می‌دهند. آلبیت در اندازه ۱ تا ۲ میلیمتر و فراوانی تا ۳۵ درصد، آکالی فلدسپات حدود ۱۰ درصد،



شکل ۲- نقشه زمین شناسی کانسار اسکارن آهن ابوذر

توده پورفیری، حاوی حدود ۲۰ درصد درشت بلور و با زمینه آپلیتی دانه ریز است. پلاژیوکلاز (به صورت فنوکریست) ریز بلور (۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر) به میزان ۱۸-۲۰ درصد، آلکالی-فلدسپار در ابعاد ۱ میلیمتر تا حد ۱۵-۱۰ درصد و کوارتز با ابعاد بلوری کمتر از ۰/۵ میلیمتر تقریباً ۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند. کوارتز مونزونیت پورفیری و گرانودیوریت پورفیری نقش

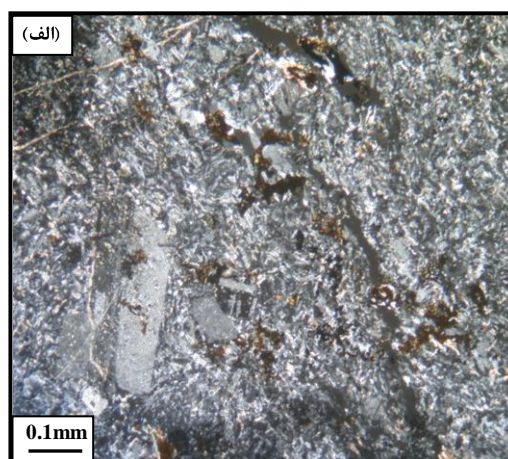
کوارتز به صورت فنوکریست به مقدار کمتر از ۲ درصد مشاهده می‌شود. زمینه سنگ عمدتاً متشکل از سوزن‌های ریز و کشیده پلاژیوکلاز به همراه ذرات کوارتز ثانویه می‌باشد. نمایی از این سنگ در شکل (۳ الف) ارائه شده است. **کوارتز مونزونیت پورفیری:** این توده در شمال-شرق منطقه واقع شده است (شکل ۲). بافت این

متشکل از کوارتز و میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار است.

سینیت پورفیری: این واحد در قسمت شمال-غربی منطقه به صورت استوک با ابعاد 100×180 مترمربع رخنمون دارد (شکل ۲). بافت سنگ پورفیری، فنوکریست ۵۰ درصد و خمیره دانه ریز است. فنوکریست‌ها شامل ۱۰ درصد پلاژیوکلاز، ۴۰ درصد آلکالی‌فلدسپات و زمینه شامل آلکالی‌فلدسپات، پلاژیوکلاز، کوارتز تا ۵ درصد، اسفن ۱ درصد و کانی اپاک ۳-۴ درصد است.

مهمی در تشکیل اسکارن آهن داشته‌اند. نمایی از این سنگ در شکل ۳ ارائه شده است.

سینودیوریت پورفیری: این واحد به شکل استوک با ابعاد تقریبی 30×120 متر مربع در شمال غرب محدوده رخنمون دارد (شکل ۲). بافت توده پورفیری تا ۲۰ درصد فنوکریست و با زمینه تراکیتی دانه ریز است. پلاژیوکلاز ۴۰-۳۵ درصد، آلکالی‌فلدسپات ۵ درصد، کوارتز ۵-۴ درصد، اسفن ۳-۲ درصد و مگنتیت ۲-۱ درصد مهمترین فنوکریست‌ها هستند. زمینه ریز بلور



شکل ۳. الف. نمایی از سنگ گرانودیوریت پورفیری (XPL) ب. نمایی از سنگ کوارتز مونزونیت پورفیری (XPL)

اندو اسکارن) و اسکارنهایی که در همبری با سنگ آهک هستند، اسکارن خارجی (اگزو اسکارن) نامیده می‌شود.

اسکارن داخلی شامل تغییرات کانی شناختی است که در توده نفوذی رخ می‌دهد. این نوع در شمال غرب محدوده به صورت نوار باریکی در محل همبری توده‌های نیمه‌عمیق با سنگهای کربناته تشکیل شده است (شکل ۲). مقادیر قابل ملاحظه‌ای کانیهای شاخص اسکارنی از جمله اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، سرسیت، کلسیت،

کانی‌شناسی اسکارن

منشأ کانی‌زائی در این کانسار، توده‌های آذرین است که درون واحدهای کربناته کرتاسه زیرین نفوذ کرده و باعث دگرگونی همبری متاسوماتیک گردیده‌اند. در مرحله اولیه کالک-سیلکاتهای بدون آب و در ادامه ضمن آلتره شدن (دگرگونی قهقرایی) کلریت، اپیدوت، کلسیت و کوارتز تشکیل شده است. براساس تقسیم‌بندی اینودی و دیگران (۱۹۸۱) اسکارنهایی که در همبری با توده آذرین هستند، اسکارن داخلی

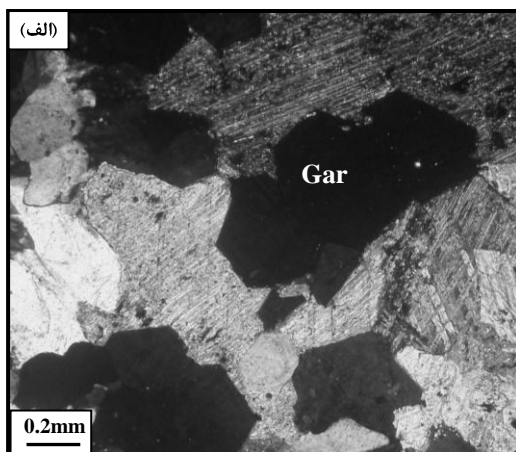
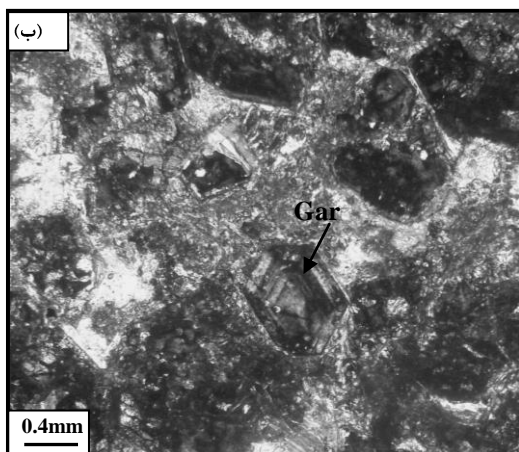
کوارتز و مقادیری جزئی گارنت در آنها مشاهده می‌شود.

اسکارن خارجی زون اصلی اسکارنی بوده و بین اسکارن داخلی و آهک‌های متبلور (مرمر) قرار دارد. اسکارن خارجی به چند زون تقسیم می‌شود: گارنت اسکارن، گارنت-ایدوکرز اسکارن، پلاژیوکلاز اسکارن، اکتینولیت اسکارن، زوئزیت اسکارن و زوئزیت-اپیدوت اسکارن و کانه‌اسکارن می‌باشد (شکل ۲).

گارنت اسکارن: این واحد در دو منطقه

رخمون دارد (شکل ۲). بخش مهم این اسکارن را

حدود ۱۵-۱۰ درصد گارنت در اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر تشکیل داده، کانی‌های کلسیت و مقدار جزئی آمفیبول نیز شناسایی شدند. بلورهای گارنت در بخش شمال غرب (در مجاور با توده نفوذی) عمدتاً ریز بلور و همسانگرد است (شکل ۴ الف). اسکارن گارنت واقع در بخش جنوبی (دور از توده نفوذی) متوسط تا ریز بلور و بعضاً ناهمسانگرد است. بلورهای گارنت در این محدوده دارای زون‌بندی هستند (شکل ۴ ب).



شکل ۴. الف. بلورهای ایزوتروپ گارنت (PPL) ب. بلورهای گارنت با حالت زون‌بندی (XPL)

کانی‌شناسی سنگ شامل ایدوکرز با فراوانی ۳۰-۲۵ درصد، گارنت ۲۰-۱۵ درصد، کوارتز ۱۰-۵ درصد، کربنات ۲۰-۱۵ درصد، کلریت ۱۵-۱۰ درصد و مگنتیت ۵ درصد هستند.

اکتینولیت اسکارن: این واحد در مرکز و جنوب محدوده مطالعاتی رخمون دارد (شکل ۲). اکتینولیت با بافت رشته‌ای و جارویی و در ابعاد تا ۲ میلیمتر است. کانی‌شناسی سنگ عبارت از:

گارنت-ایدوکرز اسکارن: این واحد به وسعت ۳۴۰×۱۱۰ متر مربع با فاصله کمی از زون گارنت اسکارن و با کشیدگی در جهت شرقی غربی رخمون دارد (شکل ۲). گارنت با اشکال بلوری کاملاً منظم و اندازه بلوری حداکثر ۰/۱ میلیمتر دیده می‌شود. ایدوکرز در مقاطع نازک مطالعه شده به صورت اشکال بلوری منظم، کشیده و اندازه بلوری حدود ۰/۲ میلیمتر است.

کلریت ۱۵-۱۰ درصد، ایدوکراز کمتر از ۱ درصد و مگنتیت ۲-۱ درصد است.

دگرسانی

در ادامه تشکیل کالکسیلیکاتهای بدون آب، دگرسانی رخ داده موجب تشکیل چند زون مهم شده است از جمله: زون سیلیسی، زون کلریت-بیوتیت، کربنات-کلریت و کربنات-سیلیسی (شکل ۲).

منطقه دگرسانی کربناتی-سیلیسی: این

منطقه در جنوب محدوده از شرق تا غرب کشیده شده و از سایر مناطق دگرسانی وسعت بیشتری دارد (شکل ۲). در مشاهدات صحرایی رگچه‌های کربنات و زمینه ریز دانه کوارتز کاملاً قابل مشاهده است. رگچه‌های کربناته حاصل وارد شدن محلول-های غنی از بیکربنات به سیستم می باشند. این رگچه‌ها در بخش‌های نزدیک به کانی‌سازی‌های اکسیده و سولفیده به طور قابل توجهی افزایش می‌یابند که نشان‌دهنده ارتباط مستقیم کانی‌سازی با دگرسانی کربناته می‌باشد. قطر این رگچه‌ها در برخی نمونه‌ها به ۴ میلیمتر نیز می‌رسد.

منطقه دگرسانی سیلیسی-کلریتی: این

منطقه به صورت پراکنده در شمال غرب، مرکز و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه واقع شده است (شکل ۲). دگرسانی فوق با پلاژیوکلاز اسکارن در شمال غرب، توده مونزو دیوریت پورفیری در مرکز و سایر دگرسانی‌ها در جنوب شرق منطقه همجواری دارد (شکل ۲). در مشاهدات صحرایی این منطقه با حضور زمینه سیلیسی و ذرات کلریت به صورت پراکنده در آن مشاهده می‌گردد. کلریت در این منطقه گاهی به صورت رگچه‌های سبز رنگ تظاهر می‌یابد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی در این دگرسانی، کوارتز به صورت ثانویه، ریز بلور، با ابعاد بلوری کمتر از ۰/۱

اکتینولیت ۶۵-۷۰ درصد، کلریت که حاصل آلتراسیون پسروده اکتینولیت می‌باشد ۱۵-۱۰ درصد و کربنات ۱۵-۱۰ درصد است.

زوئزیت و کلینوزوئزیت اسکارن: این واحد در مرکز محدوده رخنمون دارد (شکل ۲). این کانیها به شکل کشیده با ابعاد تقریبی ۲-۱ میلیمتر و با فراوانی حدوداً ۲۵-۲۰ درصد حضور داشته و به صورت میانبار بین ذرات کوارتز و کربناتهای ریز بلور قرار گرفته‌اند.

زوئزیت-اپیدوت اسکارن: بافت این سنگ در

مقاطع نازک میکروسکوپی گرانولار است. بلورهای اپیدوت به دو صورت هم‌بعد و کشیده وجود دارند. بلورهای هم‌بعد آن حاصل دگرسانی پسروده بلورهای گارنت هستند. با توجه به رابطه بافتی درهم بلورهای هم بعد و کشیده می‌توان تشکیل همزمان آنها را نتیجه گرفت. اندازه بلورهای کشیده اپیدوت به ۱/۵ میلیمتر و زوئزیت ۱/۷ میلیمتر است. کانی‌های تشکیل دهنده سنگ شامل اپیدوت ۳۵-۳۰ درصد، زوئزیت ۲۵-۲۰ درصد، پلاژیوکلاز بصورت بلورهای تجمعی با اندازه بلوری حداکثر ۰/۵ میلیمتر، ۱۵-۱۰ درصد، کانی رشته‌ای شکل اکتینولیت ۱۵-۱۰ درصد، کلریت ۵ درصد و مگنتیت ۵ درصد است.

پلاژیوکلاز اسکارن: این واحد در مرکز محدوده

ارتباط مؤثری با توده‌های نفوذی نشان می‌دهد و در غرب به نظر می‌رسد در ارتباط با توده نفوذی غایب محدوده کناری خود باشد که خارج از محدوده مطالعاتی است (شکل ۲). مقاطع نازک میکروسکوپی بافت میکروگرانولار دارد و بلورهای پلاژیوکلاز با آگرگات شعاعی به صورت تجمعی تشکیل شده‌اند (طول بزرگترین کانی به ۰/۳ میلیمتر می‌رسد). کانی‌شناسی سنگ شامل پلاژیوکلاز ۴۰-۳۵ درصد، کوارتز ۱۰-۵ درصد،

میلیمتر و کاملاً بی‌شکل عمدتاً در زمینه سنگ پراکنده شده است. کلریت در این منطقه عمدتاً به صورت کانی حاصل از دگرسانی کانی‌های مافیک دیده می‌شود. عمده کانی‌های مافیک که در این دگرسانی به کلریت تبدیل شده‌اند را هورنبلند تشکیل می‌دهد. به ندرت رگچه‌ها و یا کلریت به صورت پراکنده مشاهده می‌شود.

منطقه دگرسانی کربناتی - کلریتی: این منطقه با وسعت بسیار محدود در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه واقع شده است (شکل ۲). در بخش شمالی این منطقه کانی‌سازی با وسعت محدود دیده می‌شود که عملیات حفر گمانه اکتشافی نیز در آن صورت گرفته است. در مشاهدات صحرایی در سطح تازه حضور رگچه‌های بسیار ریز کربنات به طول کمتر از چند سانتی‌متر و ضخامت کمتر از چند میلی‌متر کاملاً مشهود است. کربنات در این سنگ‌ها به دو شکل قابل مشاهده است: ۱- به صورت کاملاً ریز بلور و پراکنده در زمینه سنگ و ۲- به صورت رگچه‌های با طول ۱۰-۲ سانتی‌متر و ضخامت کمتر از ۱/۱ میلی‌متر. کلریت در این زون عمدتاً به صورت رگچه‌های بسیار باریک سبز رنگ حضور دارد. ضخامت تقریبی این رگچه‌ها کمی بیشتر از رگچه‌های کربناته بوده و با رنگ سبز و بی‌رفرنزانس غیر عادی آبی خود کاملاً قابل تشخیص است.

کانی‌سازی

کانی‌سازی مگنتیت عمدتاً با فاصله از توده‌های نفوذی تشکیل شده است (شکل ۲). مگنتیت مهم‌ترین و فراوانترین کانه تشکیل دهنده این کانسار بوده و دارای دو رخنمون در جنوب و جنوب غرب است (شکل ۲). مقدار آن در نمونه‌های مختلف از ۵۰ تا ۹۰ درصد متغیر است. میانگین فراوانی این کانی حدود ۴۱/۳ درصد در

تشکیل شده است. در این منطقه پاراژنهای عمده مگنتیت شامل کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت، کالکوپیریت و اکسیدهای آهن از جمله هماتیت و گوتیت است. گانگ‌ها غالباً شامل کلسیت، کوارتز، بیوتیت و کلریت است (شکل ۵). در کانسار مورد مطالعه، بخش محدودی از مگنتیت در درجه حرارت بالا همزمان با دگرگونی پیشرونده تشکیل شده است. در مرحله دگرگونی پسرونده قسمت اعظم مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت به همراه اپیدوت، اکتینولیت، کلریت و بیوتیت و تشکیل شده‌اند.

با توجه به پاراژنهای مینرالی مگنتیت واکنش‌های زیر می‌توانند به چگونگی تشکیل مگنتیت کمک کنند:

همزیستی آندرادیت و هیدنبرگیت با مگنتیت (\pm کوارتز و کلسیت) با معادله زیر قابل توجیه است (لنتر و همکاران، ۱۹۹۵).



کوارتز مگنتیت کلسیت آندرادیت هدنبرگیت

معمولاً با کاهش دما و افزایش $f\text{CO}_2$ مجموعه کانی‌های مگنتیت، کلسیت و کوارتز از دگرسانی



مگنتیت کوارتز کلسیت آندرادیت

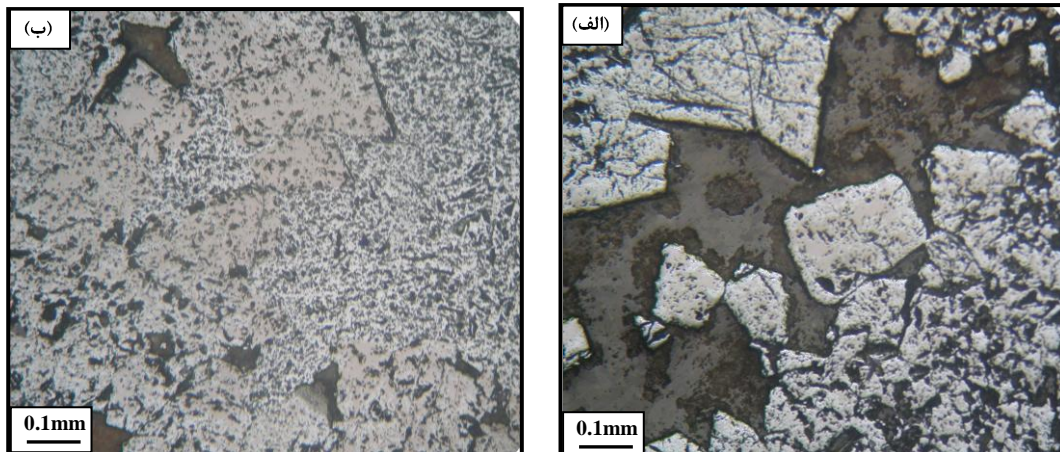
کالکوپیریت دارای شکل مشخصی نیستند و عمدتاً به صورت پرکننده فضای خالی در حاشیه مگنتیت، پیریت و یا داخل کانی‌های گانگ (کوارتز) حضور دارد. بافت کالکوپیریت پراکنده و دانه‌ای می‌باشد. این کانه در مراحل نهایی دگرسانی پسروده و کانه‌زایی سولفیدی تشکیل شده است. تعادل این کانه با رگچه حاوی گانگ کوارتز که سنگ را قطع می‌کند نیز نشان دهنده تشکیل آن در مراحل پایانی کانی‌سازی است (شکل ۶).

نمودار توالی پاراژنتیکی در شکل ۶ نمایش داده شده است. مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت در مرحله دگرسانی تشکیل شده‌اند. هماتیت محصول فرایندهای اکسیداسیون بوده و در اثر دگرسانی و هوازدگی پیریت، کالکوپیریت و بعضاً مگنتیت تشکیل شده است. فرایند مارتیتی شدن نیز در تشکیل هماتیت دخالت داشته است. کالکوپیریت به اکسیدهای آهن و کولیت اکسیده شده است.

براساس پاراژنز، آندرادیت در دمای حدود 550°C و اکتینولیت، پلاژیوکلاز، زوئزیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کلسیت در دمای حدود 300°C تشکیل شده‌اند (اینودی، ۱۹۸۲).

پیریت فراوانترین کانه سولفیدی کانسار آهن منطقه می‌باشد. میزان پیریت در ذخیره مگنتیت بخش غربی بین ۴ تا ۵ درصد و در ذخیره شرقی کمتر از ۱ درصد است. این کانه در منطقه حالت نواری و متناوب با مگنتیت نشان می‌دهد. مقدار پیریت در نمونه‌های مطالعه شده، حداکثر به ۲۵ درصد می‌رسد. اندازه بلورهای پیریت از کمتر از ۰/۵ میلی‌متر تا حدود ۱ میلی‌متر متغیر است. شکل پیریت از بلورهای نیمه شکل‌دار (ساب-هیدرال) تا بی‌شکل (آنهیدرال) تغییر می‌کند. مهم‌ترین بافت پیریت دانه‌ای و پراکنده در زمینه مگنتیت و گانگ می‌باشد. بافت برشی نیز در برخی نمونه‌ها قابل مشاهده است. با توجه به کمتر بودن دمای محیط کانی‌سازی پیریت نسبت به مگنتیت و اینکه بلورهای پیریت اغلب در حفرات، شکستگی‌ها و مرز بلورهای مگنتیت دیده می‌شوند، بنابراین تشکیل پیریت بعد از مگنتیت رخ داده است (شکل ۶).

کالکوپیریت یکی از کانی‌های سولفیدی می‌باشد که به مقدار بسیار اندک (حداکثر ۲ درصد) همراه با مگنتیت و پیریت عمدتاً در کانی‌سازی غرب مشاهده می‌شود. کالکوپیریت عمدتاً ریز دانه و در حد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر یافت می‌شود. بلورهای



شکل ۵. الف. خطوط مارتیتی هماتیت درون مگنتیت ب. مرز تبدیل مگنتیت به هماتیت

ژئوشیمی توده‌های نفوذی

نمونه‌های اخذ شده از توده‌های نفوذی منطقه با دستگاه XRF مدل فلیپس با دقت $\pm 0.1\%$ در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شدند. نتایج تجزیه در جدول ۱ گزارش شده است. به منظور نامگذاری توده‌های نفوذی از نمودار کاکس (۱۹۷۹) استفاده شد (شکل ۷). توده‌های سینیت و سینودیوریت از نوع آلکالن و توده‌های گرانتیت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت از نوع ساب‌آلکالن هستند (شکل ۷). در نمودار شاند، اندیس آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). تمامی توده‌های نفوذی از نوع متا آلومینیوم‌دار

اما کوارتز مونزونیت از نوع فوق آلومینیوم‌دار است (شکل ۸). در نمودار ریکوود (۱۹۸۹) توده‌های نفوذی به لحاظ میزان K_2O مقایسه شدند. توده سینیت از نوع فوق پتاسیم، سینودیوریت از نوع پتاسیم زیاد و گرانتیت-مونزونیت و گرانودیوریت از نوع پتاسیم کم هستند (شکل ۹). در نمودار شکل ۱۰ میزان Na_2O با K_2O مورد مقایسه قرار گرفته است. سینیت از نوع غنی از پتاسیم و بقیه توده‌ها غنی از سدیم هستند (شکل ۱۰). براساس این نتایج منشأ توده‌ها متفاوت بوده و احتمالاً سن آنها نیز یکسان نیست.

فازهای کانیاپی	→		هوازگی
	روند دگرسانی متاسوماتیک و کانی سازی		
	اسکارن پیش رونده	اسکارن پس رونده	
گارنت	*****		
اپیدوت	██████████	-----	
فلدسپارها		-----██████████	
اکتینولیت		-----██████████	
زوئیزیت		-----██████████	
اسکاپولیت		-----██████████	
اکرمانیت		-----	
کوارتز	-----██████████	-----██████████	
کلسیت	-----	-----██████████	
کلریت		-----██████████	
سرسیت		-----██████████	
مگنتیت	-----██████████	-----██████████	
هماتیت		-----	-----██████████
پیریت		-----██████████	
کالکوپیریت		-----██████████	
کولیت			-----
گوتیت			-----

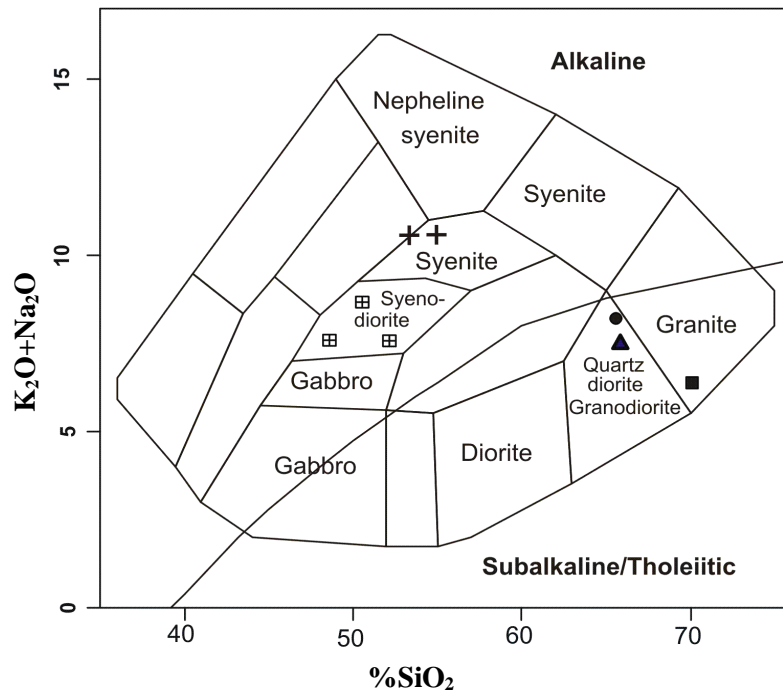
شکل ۶. توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در منطقه مورد مطالعه

هستند. در مقایسه با بازالت‌های میان اقیانوسی، توده‌های نفوذی از عناصر Rb, K, Ba, Zr, Y غنی شده هستند. و از عناصر P, Ti, Sr کاهیدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۱).

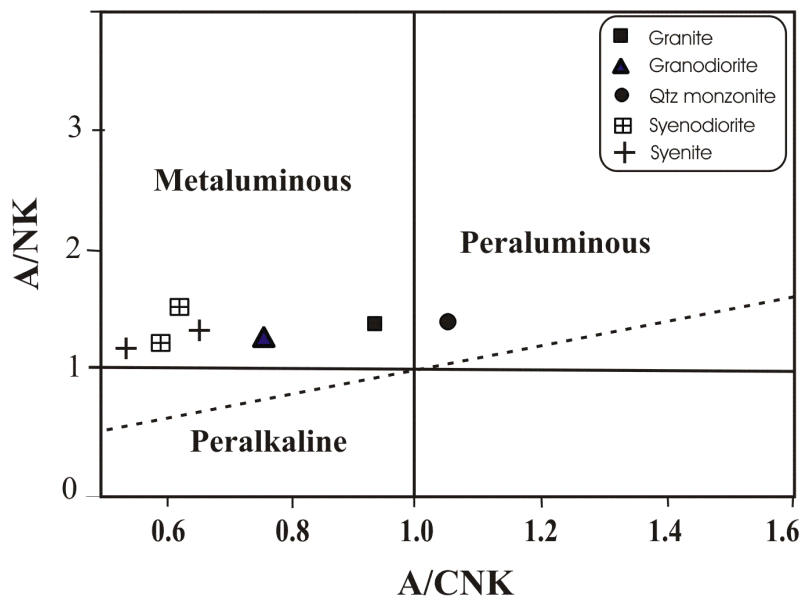
نمودار عنکبوتی توده‌های نفوذی در مقایسه با بازالت‌های میان اقیانوسی ترسیم شد (شکل ۱۱). تفاوت قابل توجهی بین نمودار توده‌های نفوذی مشاهده می‌شود. این موضوع تاییدی است بر اینکه این توده‌های نفوذی دارای منشا متفاوت

جدول ۱. نتایج تجزیه توده‌های آذرین به روش XRF (شماره نمونه‌ها در شکل ۲ مشخص شده است).

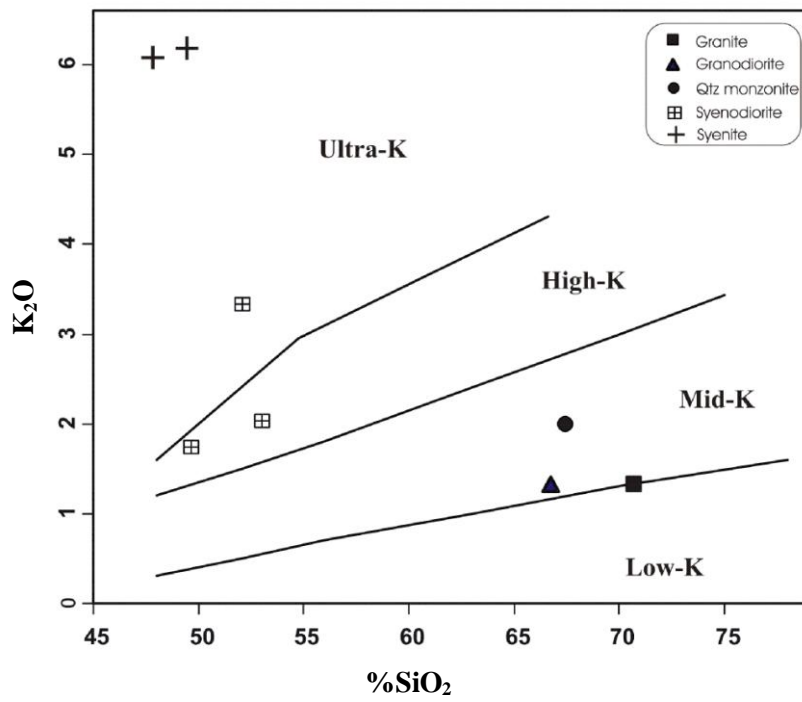
W.t%	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
SiO ₂	۴۹/۴۱	۵۲/۹۳	۵۲/۲۶	۴۹/۴۱	۵۱/۳۴	۶۹/۸	۶۶/۴۶	۶۶/۱۷
TiO ₂	۱/۷۱	۰/۶۵	۱/۱۰	۱/۵۳	۱/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۲۵
Al ₂ O ₃	۱۶/۳۵	۱۲/۳۲	۱۴/۹۵	۱۴/۷۵	۱۵/۵۳	۱۴/۱۴	۱۶/۲۷	۱۴/۲۲
TFeO	۷/۶۷	۶/۸۰	۴/۴۰	۷/۴۳	۵/۴۹	۲/۹۰	۳/۵۵	۳/۲۳
MnO	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶
MgO	۲/۵۰	۲/۹۰	۲/۵۳	۲/۲۹	۳/۳۹	۰/۵۶	۰/۳۴	۰/۲۹
CaO	۸/۹۵	۹/۶۲	۸/۳۱	۸/۹۷	۶/۵۴	۲/۷۶	۱/۸۴	۴/۰۷
Na ₂ O	۵/۶۷	۵/۴۳	۵/۳۶	۳/۲۶	۲/۹۵	۵/۲۸	۵/۷۷	۶/۰۶
K ₂ O	۱/۷۶	۲/۰۴	۳/۳۴	۶/۱۰	۶/۲۰	۱/۲۸	۱/۹۴	۱/۲۵
P ₂ O ₅	۰/۹۱	۰/۱۹	۰/۴۸	۰/۸۰	۰/۵۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۸
L.O.I	۶/۴۲	۷/۱۱	۵/۴۳	۷/۲۱	۴/۸۲	۱/۸۳	۲/۷۱	۳/۳۵
Total	۱۰۱/۷۷	۱۰۰/۱۳	۹۸/۳۳	۱۰۲/۱۸	۹۸/۰۸	۹۸/۸۴	۹۹/۲۸	۹۹/۰۳
Trace (ppm)								
V	۱۰۶	۷۱	۱۰۵	۱۲۶	۱۰۱	۱۴	۴۵	۴۰
Cr	۲۷	۱۳۵	۵۱	۳۴	۸۰	۶۶	۴۸	۷۹
Co	۱۷	۱۸	۱۰	۱۸	۱۲	۷	۱۰	۱۰
Ni	۱۵	۳۳	۲۲	۲۱	۱۵	۲۲	۲۷	۲۷
Cu	n.d	۱۱۱	۲۵	۳۲	۱۲۸	۸۸	۳۲	۴۹
Zn	۱۲۷	۱۶۱	۱۰۴	۱۷۵	۷۰	۶۷	۴۵	۸۱
Rb	۹۲	۵۳	۹۲	۱۱۳	۱۷۲	۹۷	۱۰۶	۸۶
Sr	۳۸۹	۵۶۸	۱۱۸۹	۳۲۱	۴۶۴	۳۱۱	۸۳	۲۲۹
Y	۴۰	۲۰	۳۶	۳۶	۵۵	۵۰	۴۹	۴۲
Zr	۲۵۱	۱۴۲	۴۳۰	۲۶۱	۳۷۰	۱۲۵	۱۳۳	۱۴۰
La	۱۱۴	۶۹	۱۰۸	۷۸	۱۰۲	۱۸	۲۱	۱۸
Ce	۱۹۲	۱۰۸	۱۳۰	۱۴۷	۱۴۳	۳۵	۳۳	۱۹
Ba	۱۱۱۸	۱۰۴۲	۱۴۱۸	۱۹۰۰	۱۵۸۹	۱۲۵۹	۱۱۷۸	۱۵۷۴



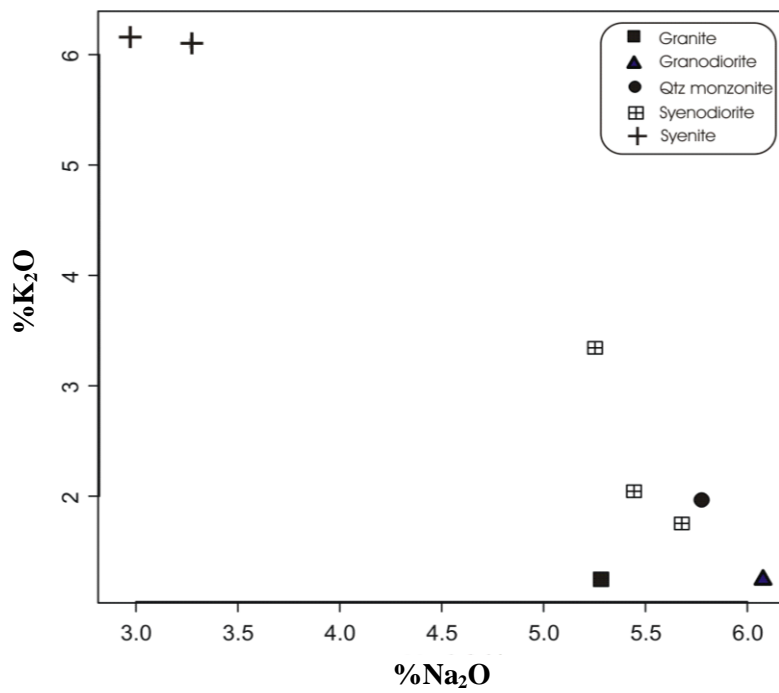
شکل ۷- نمودار نامگذاری توده‌های نفوذی (کاکس ۱۹۷۹).



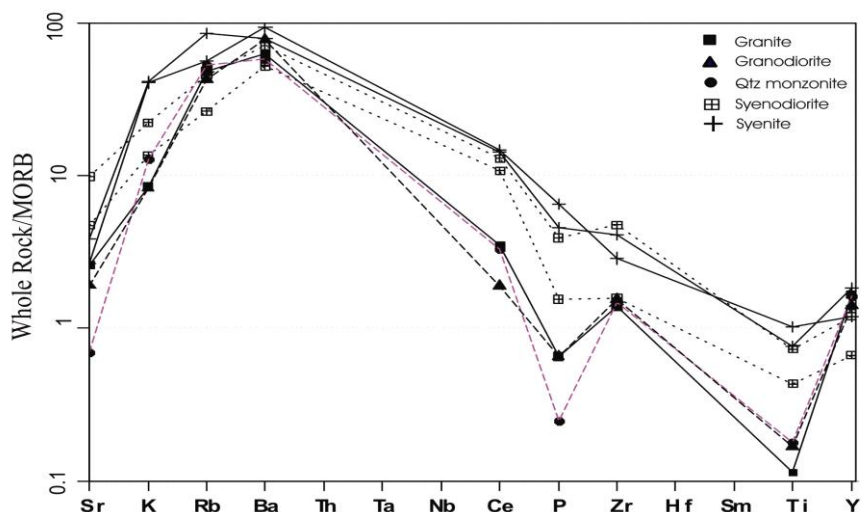
شکل ۸ - نمودار تعیین میزان Al توده‌های نفوذی (شاند، ۱۹۴۷).



شکل ۹- نمودار تعیین میزان K_2O در توده‌های نفوذی (ریکوود ۱۹۸۹)



شکل ۱۰- نمودار مقایسه میزان K_2O , Na_2O در توده‌های نفوذی



شکل ۱۱- نمودار عنکبوتی توده‌های نفوذی در مقایسه با بازالت‌های میان اقیانوسی (پیرس ۱۹۸۳)

ژئوشیمی کانسنگ مگنتیت

اسکارن‌های آهن توسط سانگستر (۱۹۶۹)؛ سوکولو و گریگوریو (۱۹۷۷)؛ انادی و دیگران (۱۹۸۱)؛ گریگوریو و دیگران (۱۹۹۰) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. کانسارهای اسکارن آهن عمدتاً برای آهن ارزش اقتصادی دارند. در موارد خاص مواد جانبی Au, Ni, Co, Cu ارزش اقتصادی دارند. بعضی از اسکارن‌های آهن میزان مس آنها نسبتاً زیاد است که به اسکارن مس تبدیل می‌شوند (کسلر، ۱۹۶۸).

نمونه‌های کانسار ابوذر به روش ICP-MS (IDX, 4B) (در آزمایشگاه Acme کانادا) برای عناصر اصلی، فرعی و کمیاب تجزیه شدند. مقادیر آهن به روش جذب اتمی و XRF تجزیه شد (جدول ۲). میانگین نتایج تجزیه ۱۰ نمونه از بخش‌های مختلف کانی‌سازی آهن ابوذر و اسکارن‌های آهن مشابه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج به دست آمده با کانسنگ‌های مشابه سنگ آهن سنگان خواف (کریم‌پور، ۱۳۷۳)، کانسار آهن سامیت و مری‌ویدو کانادا (ری و ویستر، ۱۹۹۸)، کانسار آهن اسکارنی می‌سی در شمال فنلاند (نیکلاس و

همکاران، ۲۰۰۵)؛ کانسارهای آهن اسکارنی کلی کلیمز در کانادا (اسمیت و میرز، ۱۹۸۵) مقایسه گردید. براساس نتایج این مقایسه، مقادیر عناصر اصلی و فرعی در کانسار آهن ابوذر نسبتاً مشابه سایر نمونه‌های اسکارنی است.

عیار، میزان ذخیره و نوع مواد جانبی برخی از کانسارهای Fe-Oxide Cu-Au از جمله کاندلاریا، سانتوس و مونتو و رده شیلی، آیتیک و بیجو واگ اروپا، المپیک‌دم و ارنست هنری استرالیا و آلمو و آیگراپ باهیا برزیل (کریم‌پور و خین، ۲۰۰۰؛ پلارد، ۲۰۰۰؛ مارسچیک و لویل، ۱۹۹۸؛ کریم‌پور و مظلومی، ۱۹۹۸؛ بارتون و ویدگران، ۱۹۹۸؛ کریم‌پور و دیگران، ۲۰۰۱) با کانسار ابوذر مقایسه گردید. مقادیر طلا و مس در کانسار ابوذر به مراتب پایین‌تر از کانسارهای Fe-Oxide Cu-Au است (جدول ۳). این مقادیر در کانسار ابوذر بسیار کم و غیر اقتصادی است. مقادیر La و Ce در المپیک‌دم به ترتیب ۰/۲ و ۰/۳ درصد می‌باشد که بسیار بالاتر از اسکارن ابوذر است. کانسار مورد مطالعه از نوع اسکارن آهن فاقد مس و طلا با مقدار متوسط ۴۱/۳ درصد آهن برآورد شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه نمونه‌های کانسنگ آهن ابودر به روش ICP-MS (1DX, 4B).

مرجع	Co ppm	Ni ppm	V Ppm	As ppm	Ag ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cu ppm	Au ppb	Fe%	کانسارها
پناهی (۱۳۸۷) و غلامی (۱۳۸۷)	۳۵	۵	۹۰-۸۰۰	۸	۰/۲	۱۴	۱۲۰	۴-۱۴۰	۵	۳۰-۶۰	ابودر (ایران)
کاهنی و دیگران (۱۳۸۷)	۳۰-۳۰۰	۱-۷۰	n.a	۲۵	۰/۱	۲۰-۱۰۰	۱۵	۳۰-۷۰۰	۵	۴۷-۴۹	سنگان (ایران)
ری و وبستر (۱۹۹۸)	۱۱	۵	n.a	۲۹	۰/۱	۳۰	۱۵	۲۷	n.d	n.a	سامیت (مری- ویدو)، کانادا
اسمیت و میرز (۱۹۸۵)	۱۴	۱۰۰۰	n.a	۱۵	۰/۳	۴۰-۳۰۰	۱۰	۱-۹۰۰	n.d	n.a	کلی کلیمز کانادا
نیکلاس و همکاران (۲۰۰۵)	n.a	۱۱۰	۵۰۰-۱۳۰۰	n.a	n.a	۴۰	n.d	۲۰-۵۰۰	n.a	۳۲-۷۰	می‌سی، فنلاند

جدول ۳- عیار، میزان ذخیره و نوع مواد جانبی کانسارهای Fe- Oxides Cu- Au، (کریم‌پور و خین، ۲۰۰۰: پلارد، ۲۰۰۰: مارسچیک و لویل، ۱۹۹۸: کریم‌پور و مظلومی، ۱۹۹۸: بارتون و ودیگران، ۱۹۹۸: کریم‌پور و دیگران، ۲۰۰۱)

نام کانسار	Cu%	Au g/t	ذخیره (میلیون تن)	مواد همراه
ابودر	ندارد	۰/۰۰۲	۲	ندارد
کاندلاریا (شیلی)	۱/۰۸	۰/۲۶	۳۶۶	As, Mo, Pb, Zn
مونتوورد (شیلی)	۰/۶۶	۰/۱۱	۱۱۰	n.a
سانتوس (شیلی)	۱/۷	۰/۴	۱۹	Ag
آیتیک (اروپا)	۰/۴	۰/۲	۳۰۰	Mo
بیدجوواگ (اروپا)	۱/۸	۰/۵	۳	REE, U, Te, Co, Ni
المپیک‌دم (استرالیا)	۱/۶	۰/۶	۲۰۰۰	Co, Ag, U, REE
ارنست هنری (استرالیا)	۳/۵۱	۱/۴۹	۱۱/۲	Ag, Co, Mo, Ni, REE, U
آلم-آ (برزیل)	۱/۵	۰/۸۲	۱۷۰	Mo, U
ایکاراپ-باهیا (برزیل)	n.a	۲/۹	۲۳/۴	n.a

اسفوردی میزان عناصر کمیاب ابودر کم و در حد عادی است.

ژئوشیمی عناصر کمیاب در کانسنگ مگنتیت ابودر در جدول ۴ گزارش شده است. در مقایسه با کانسار المپیک‌دم و کانسار مگنتیت- اپاتیت

جدول ۴- نتایج تجزیه عناصر کمیاب در نمونه‌های کانستگ آهن ابودر به روش ذوب قلیایی ICP-MS

Sample (ppm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
G1	۲۳/۴	۲۳/۵	۲	۵/۷	۰/۸۹	۰/۲۴	۱/۰۳	۰/۱۶	۰/۶۹	۰/۱۶	۰/۴۲	۰/۰۶	۰/۴۴	۰/۰۸
G2	۱۶/۲	۱۶/۵	۲	۵/۱	۰/۸۵	۰/۲۴	۰/۸۵	۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۴	۰/۰۷
G3	۱۸/۷	۲۲/۶	۲	۵/۹	۰/۹۱	۰/۳	۰/۸۳	۰/۱۵	۰/۸	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۰۸
G4	۱۴/۴	۱۳	۱	۵/۴	۰/۷۷	۰/۲۶	۰/۸۵	۰/۱۲	۰/۵۸	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۳۷	۰/۰۷
S1	۲۴/۶	۲۰/۱	۱/۴۴	۳/۷	۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۷	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۰۴
S2	۸/۵	۹/۴	۰/۹	۲/۷	۰/۳۹	۰/۱	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۰۵
S3	۸/۲	۹/۸	۰/۷۷	۲/۲	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۲	۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۰۴
S5	۱۰/۷	۸/۷	۰/۸	۲/۶	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۳	۰/۲۲	۰/۰۴
S7	۷/۵	۶/۹	۰/۶۶	۲	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۴۶	۰/۰۷	۰/۴۲	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۰۵	۰/۴۲	۰/۰۷
S8	۱۱/۸	۱۳/۷	۱/۲۸	۴	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۰۷	۰/۴۱	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۰۷
می‌سی،	۴۹/۳	۱۰۱	۱۰/۹	۴۵/۳	۸/۷۶	۲/۳۴	۹/۷۶	۱/۲۹	۷/۱۸	۱/۴۷	۳/۹۴	۰/۵۸	۳/۴۴	۰/۵۴
فلاند	۴/۴۲	۱۰/۶	۱/۴۴	۶/۵۶	۱/۶۴	۰/۳۳	۱/۸۸	۰/۲۵	۱/۳۷	۰/۲۹	۰/۸۱	۰/۱۱	۰/۸۵	۰/۱۳

نتیجه‌گیری

آلومینیوم‌دار است. توده سینیت از نوع فوق پتاسیم، سینودیوریت از نوع پتاسیم زیاد و گرانیت- مونزونیت و گرانودیوریت از نوع کم پتاسیم هستند. با مقایسه میزان Na_2O با K_2O ، سینیت پورفیری غنی از پتاسیم و بقیه توده‌ها غنی از سدیم می‌باشند. براساس این نتایج به نظر می‌رسد منشا توده‌ها متفاوت باشد. تفاوت قابل توجهی بین نمودار عنکبوتی توده‌های نفوذی مشاهده می‌شود. این موضوع تاییدی است بر اینکه این توده‌های نفوذی دارای منشا متفاوت هستند. در مقایسه با بازالت‌های میان اقیانوسی، توده‌های نفوذی از عناصر Rb, K, Ba, Zr, Y غنی شده هستند. و از عناصر P, Ti, Sr کاهیدگی نشان می‌دهند.

کانی‌شناسی تشکیل اسکارن طی دو مرحله دگرگونی پیش‌رونده در دمای حدود 550°C با تشکیل کانی‌های بدون آب و پس‌رونده در دمای کمتر از 300°C به همراه تشکیل کانی‌های آب‌دار رخ داده است. کانی غالب طی دگرگونی پیش-

کانی‌سازی اسکارن آهن در سنگ آهک کرتاسه زیرین تشکیل شده است. اسکارن آهن شامل دو زون اندواسکارن محدود و اگزواسکارن گسترده است. اگزواسکارن شامل زون‌های اصلی گارنت اسکارن، گارنت-ایدوکراز اسکارن، پلاژیوکلاز اسکارن، اکتینولیت اسکارن، زونزیت اسکارن و زونزیت-اپیدوت اسکارن می‌باشد. اسکارن‌زایی به سمت غرب گسترش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد و در شرق تنها نشانه‌هایی از مراحل آن دیده می‌شود. تیپ اسکارن با توجه به فراوانی گارنت احتمالاً از نوع آندرادیت در غرب و سنگ‌آهک‌های کلسیتی در شرق، از نوع کلسیم دار معرفی می‌گردد.

توده‌های نفوذی شامل: گرانیت، گرانودیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری، سینودیوریت و سینیت است. سینیت و سینودیوریت از نوع آلکالن و گرانیت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت از نوع ساب‌آلکالن هستند. تمامی توده‌ها از نوع متا آلومینیوم دار اما کوارتز مونزونیت از نوع فوق

(Cu-Au-REE) deposits, Geological Society of America., V. 48(4), p.237-250

- Cox, K.G., Bell, J.D., and Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of Igneous Rocks:

London, Allen and Unwin., p. 450

-Einaudi, M. T., Meinert, L.D., and Newberry, R.J., 1981. Skarn deposits, Economic Geology, 75th Anniv., p.317-391.

- Einaudi, M. T., 1982. General features and origin of skarns associated Adv. Geol. Porphyry Copper Deposits: Southwest North Am., p.185-209.

- Grigoryev, N.A., Sazonov, V.N, Murzin, V.V., and Gladkovskiy, 1990. Sulfides as gold carriers in skarn magnetite deposit skarns and ores: Geochem. Intern., V. 27, p. 142-146.

- Karimpour, M. H., and Mazloomi, A. R., 1998. Geochemistry and genesis of Kuh-e-Zar gold prospecting area (Torbat Heydariyeh, Iran), Scientific Quarterly Journal Geosciences., V.7(27-28), Spring and Summer, p. 1-13.

- Karimpour, M. H., and Khin, Z., 2000. Geochemistry and physicochemical condition of Qaleh-Zari Cu-Ag-Au ore bearing solution based on chlorite composition. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy., p. 3-22.

- Karimpour, M. H., Khin, Z., and Atkinson, W. W., 2001. Fluid inclusion thermometry, stable isotope geochemistry and genesis of specularite- rich Cu-Au-Ag deposit, Qaleh Zari mine, Iran: Geological Society of America Abstract. Annual Meeting November 5-8, 2001 Boston, USA.

- Kesler, S.E., 1968. Contact-localized ore formation in the Mem₃ mine, Haiti: Econ. Geol., V. 63, p. 541-552.

- Lentz, D. R., Walker, J. A., and Stirling, J. A. R., 1995. Millstream Cu-Fe skarn deposit: an example of a Cu-bearing magnetite-rich skarn system in northern New Brunswick. Explor. Mining Geol., V. 4(1), p. 15-31.

- Marschik, R., and Leveille, R. A., 1998, The Candelaria-Punta del cobre iron oxide copper-gold deposit, Chile, Geological Society of America, Abstract with Program, A., P.371.

رونده آندرادیت بوده و دگرگونی پس‌رونده با اکتینولیت، پلاژیوکلاز، زوئزیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کلسیت همراه است. کانسار مورد مطالعه از نوع اسکارن آهن فاقد مس و طلا شناسایی شد که کانه اصلی آن تنها مگنتیت می‌باشد. مقدار متوسط آهن حدود ۴۱/۳ درصد است.

منابع

- امینی، ب.، ۱۳۷۹. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان (۷۶۶۳)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- بهار فیروزی، خ.، اژدری، ع.، سیاره، ع.، ۱۳۷۷. گزارش مطالعات اکتشافات چکشی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۰ صفحه.

- پناهی، م.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی، پتروگرافی، آلتراسیون و ژئوشیمی بخش شرقی کائولن همدی هلاک‌آباد (جنوب غرب سبزوار) با نگرش اکتشاف مس پورفیری و بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و اطلاعات دقیق مغناطیس‌سنجی در شرق معدن سنگ آهن ابوذر نیشابور (شمال شرق سبزوار)، سبزوار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۱۱ صفحه.

- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۷۳. ژئوشیمی و کانی‌شناسی سنگ آهن سنگان خراسان: مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، صفحه ۱۵۶-۱۴۵.

- Barton, M. D., Johnson, D. A., and Hanson, R. B., 1998. Evolution of possible roles of nonmagmatic brines in igneous-related hydrothermal systems, especially Fe

- Rickwood, P.C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos* 22, p. 247-267.
- Sangster, D.F., 1969. The contact metasomatic magnetite deposits of southwestern British Columbia: *Geol. Surv. Canada Bull.*, P. 79-172
- Shand, S.J., 1947. Eruptive rocks : T. Murby, London., p.488
- Smith, H. O., and Meyers, R.E., 1985. Assessment Report of the 1984 Geological and Geochemical Exploration Program on the KLI 84-1 CLAIM GROUP, Province of British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources.
- Sokolov, G.A., and Grigorev, V.M., 1977. Deposits of iron, in Smirnov, V.I., ed., *Ore deposits of the USSR*: London, Pittman., V. 1, p. 7-113.
- Nicholas H.S., and Miller, O.J., 2005. Genesis of Paleoproterozoic iron skarns in the Misi region, northern Finland, *Mineralium Deposita.*, V. 40, p. 192-217.
- Pearce J. A., 1983. Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental Basalts and Mantle Xenoliths—*Hawkesworth C. J., Norry M. J., eds. (1983) Nantwich, UK: Shiva., p. 209–229.
- Polard, P. J., 2000. Evidence of magmatic fluid and metal source for Fe-Oxide Cu-Au mineralization, hydrothermal iron oxide copper- gold and related Deposits: A Global
- Ramdhor, P., 1980. The ore minerals and their intergrowth, Pergamon Press., P. 1267
- Ray, G. E., and Webster. I. C. L., 1998. Geology and Mineral Occurrence of the Merry Widow skarn camp, Northern Vancouver Island, Vancouver Island, Province of British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources.