



کانی شناسی، پاراژنز و شرایط تشکیل اسکارن سیاه کمر، غرب دهسلم، شرق پهنه‌لوت

حبيب بیابانگرد^{*}، راضیه غنجعلی پور، علی احمدی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(دریافت مقاله: ۹۲/۵/۱۴، نسخه نهایی: ۹۲/۹/۲۵)

چکیده: هورنفلس‌ها و اسکارن‌های سیاه کمر در ۵ کیلومتری غرب روستای دهسلم و در فاصله‌ی ۸۵ کیلومتری شهرستان نهبندان، جنوب‌غربی استان خراسان جنوبی و حاشیه‌ی شرقی پهنه‌ی لوت قرار دارد. نفوذ توده‌ی گرانیتوئیدی معروف به کوهریگی به سن اوسن فوقانی داخل سنگ‌های آهکی و رسوبی کرتاسه باعث تشکیل این اسکارن شده است. کوهریگی دارای ترکیب غالب گرانوپوریتی و حاوی کانی‌های پلازیوکلاز، کوارتز، ارتوز، هورنبلند و بیوتیت است، بررسی‌های ژئوشیمیایی و زمین‌ساختی این توده نشان می‌دهد که دارای ماهیت آهکی-قلایی نوع I است. هورنفلس‌ها بیشتر حاوی کانی‌های کوارتز، پلازیوکلاز و پیروکسن هستند. بررسی‌های کانی-شناختی و زمین‌شناختی هورنفلس‌ها و زون‌های اسکارن سیاه کمر نشان می‌دهد که این کانی‌ها طی دو مرحله اصلی دگرگونی و دگرنهادی (مرحله‌ی پیشرونده و پسرونده) تشکیل شده‌اند. که در مرحله‌ی دگرگونی سنگ‌های هورنفلسی و مرمرها و در مرحله‌ی اصلی دگرنهادی پیشرونده سیلیکات‌های کلسیمی بدون آب (ولاتستونیت، گروسولار، آندرادیت و دیوپسید) تشکیل شده‌اند، در مرحله‌ی اصلی دگرنهادی پسرونده این کانی‌ها دستخوش دگرگونی و به کانی‌های سیلیکاتی کلسیمی آبدار (اپیدوت، کلریت و مقدار کمی ترمولیت-اکتینولیت) تبدیل شده‌اند و در نهایت در دگرگونی پسین مجموعه‌ای ریزدانه از کانی‌های کلریت، کوارتز، کلیست و کانی‌های رسی بوجود آمده‌اند. حضور ولاستونیت، مگنتیت و آندرادیت حاکی از تشکیل این اسکارن‌ها در گستره‌ی دمایی حدود ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و گریزندگی بالای اکسیژن ($O_2 = 10^{-12}$ -۲۳) بوده است، اسکارن سیاه کمر از نوع اسکارن‌های کلسیمی است.

واژه‌های کلیدی: اسکارن، سیاه کمر، دهسلم، دگرنهادی، دگرگونی پیشرونده و پسرونده.

اسکارن‌ها عامل مهمی برای شناخت خاستگاه، دمای تشکیل، شناختی کانسارهای با ارزش اقتصادی و غیر اقتصادی در اسکارن‌هاست. اسکارن‌ها معمولاً منطقه‌بندی نشان می‌دهند و این منطقه‌بندی حاصل دگرنهادی شاره‌ها و رفتارهای سنگ مادر است. الگوهای منطقه‌بندی و بافتی به عنوان یک ابزار مفید و با اهمیت در پی‌جویی ذخایر اسکارنی به شمار می‌روند. فعالیت‌های ماقمایی گستردۀ اوسن طی فاز کوهزایی پیرنه در بلوك‌لوت منجر به تزریق توده‌های نفوذی متعددی در این بلوك و در نتیجه در بسیاری موارد سبب ایجاد سنگ‌های دگرگون مجاورتی از جمله هورنفلس و اسکارن شده است. تزریق توده‌ی گرانیتوئیدی کوهریگی باسن اوسن فوقانی در

مقدمه

واژه‌ی اسکارن (Skarn) اول بار توسط معدن‌کاران سوئدی و برای توصیف مجموعه سنگ‌های غنی از آهن به کار رفته است [۱]. بست [۲] معتقد است که اسکارن یاتاکتیت به سنگ‌های حاوی سیلیکات‌های کلسیم، منیزیم و آهن اطلاق می‌شود که در نزدیکی سنگ آهک یا دولومیت و در کنار توده‌های ماقمایی قرار داشته باشد. در چنین حالتی، هرگاه فرآیندهای جانشینی یونی یا فرایندهای دگرنهادی مؤثر باشد باعث انتقال یون‌های چون Mg, Fe, Al, Si شده و سنگ‌های کربناتی به اسکارن تبدیل می‌شوند. بررسی کانی شناختی ابزاری مهم در تشخیص و تعیین انواع اسکارن‌هاست؛ همچنین کانی شناختی

* نویسنده مسئول، تلفن نمبر: ۰۹۱۵۳۴۰۸۵۲۶، پست الکترونیکی: h.biabangard@science.usb.ac.ir

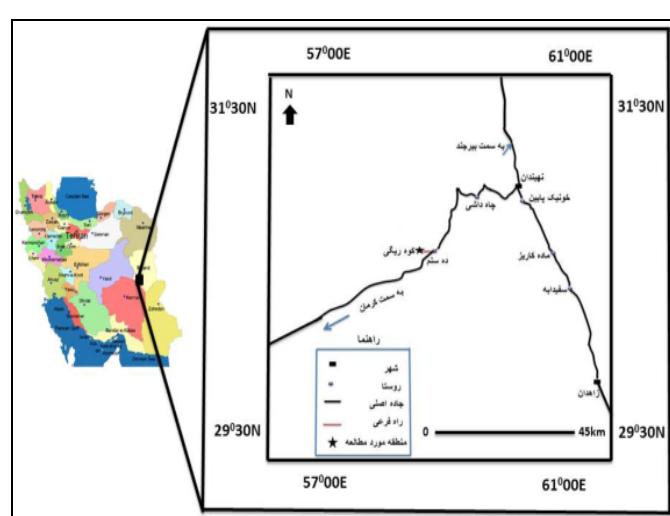
(شکل ۲).

شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده منطقه‌ی مورد بررسی را نشان می‌دهد، بر اساس این نقشه و در گستره‌ی مورد بررسی اسکارن‌زایی در بخش‌های شمالی و غربی توده‌ی گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد. اسکارن‌زایی در منطقه در همبrij توده گرانیت‌وئیدی کوه ریگی (شکل ۴) با شیل و آهک‌های کرتاسه که به صورت متنابض قرار دارند، صورت گرفته است. توده‌ی گرانیت‌وئیدی کوه‌ریگی ترکیبی از گرانیت، گرانوودیوریت و مونزونیت است که بخش‌های پایینی توده بیشتر مونزونیت و بخش‌های بالایی گرانوودیوریتی است. گرانوودیوریت‌های سازنده‌ی کوه‌ریگی از دو بخش تشکیل شده‌اند (فاز ۱ و ۲) که اختلاف آنها در میزان هوازدگی (فاز یک بیشتر هوازده) و درصد کانی‌های تیره به ویژه هورنبلنده در گرانوودیوریت فاز ۲ بیشتر است.

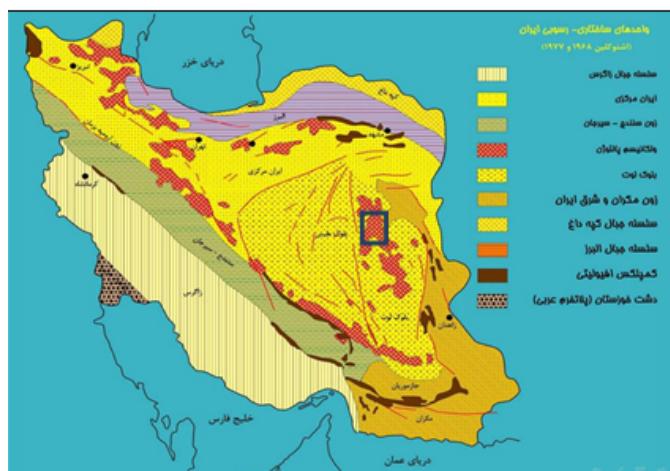
شیل و آهک‌های کرتاسه سبب ایجاد هورنفلس و اسکارن در این منطقه شده است. در این پژوهش بررسی اسکارن‌های سیاه کمر برای نخستین بار انجام و تلاشی برای شناخت شرایط تشکیل احتمالی اسکارن سیاه کمر شده است.

زمین‌شناسی

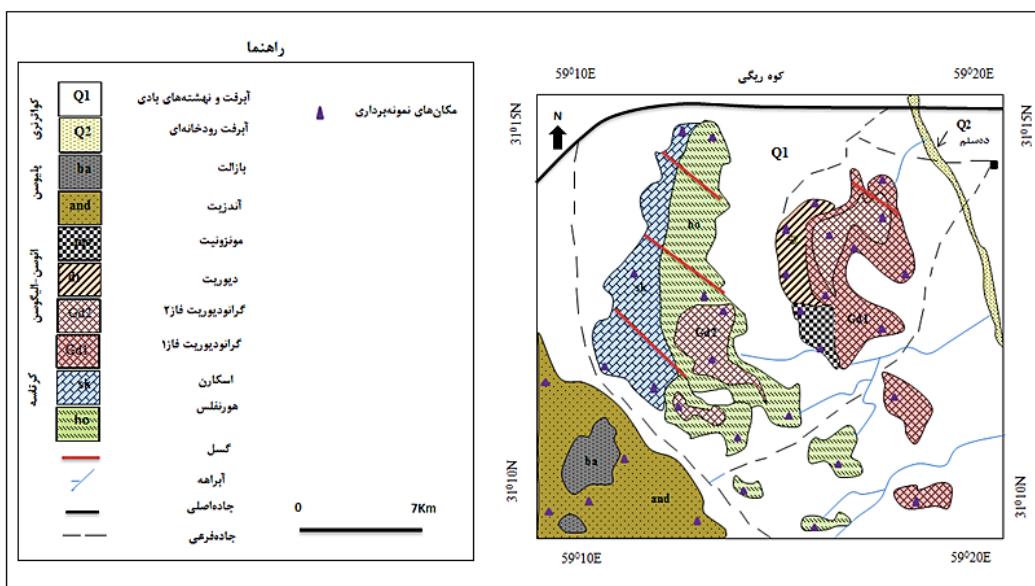
منطقه‌ی مورد بررسی در منتها الیه بخش جنوبی استان خراسان جنوبی و در حاشیه خاوری بلوک‌لوت (ایران مرکزی) بین $58^{\circ} ۵۰'$ تا $59^{\circ} ۰'$ عرض شمالی و $۳۱^{\circ} ۳۰'$ تا $۳۱^{\circ} ۰'$ طول شرقی و در فاصله ۸۵ کیلومتری باخته شهرستان نهبندان ۵ کیلومتری باخته روستای ده‌سلم قرار دارد که بهترین راه دسترسی به توده‌های نامبرده، جاده آسفالت نهبندان-شهداد است (شکل ۱). از نظر تقسیم‌بندی ایالت‌های ساختاری ایران، اشتولکلین، منطقه مورد بررسی جزئی از زون ایران مرکزی (پهنه‌لوت) است



شکل ۱ موقعیت و راه‌های دسترسی به توده‌های هورنفلسی و اسکارنی مورد بررسی کوه‌ریگی [۳].



شکل ۲ حدود تقریبی گرانیت‌وئید کوه ریگی و توده‌های اسکارنی مورد بررسی در ردیبدنی ساختاری زمین‌شناسی ایران [۴].



شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی کوه ریگی برگرفته از نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ ۵۰ سلم با تصحیحات [۵].



شکل ۴ نمایی از توده‌ی گرانیتوئید کوه ریگی دید به سمت شمال غرب.

گرانیتوئیدی کوه ریگی هستند، این سنگ‌ها دارای سیمایی خشن و رنگ سبز مایل به سیاه هستند که سنگ‌هایی بسیار مستحکم بوده و بیشتر به دلیل ریزدانه بودن و عملکرد فرسایش و نیز وجود جلای بیابان بر سطح آنها هیچ یک از کانی‌های آنها در نمونه‌ی دستی قابل تشخیص نیست. این سنگ‌ها در منطقه بیشتر در جنوب و باخترا توode دید می‌شوند که قطعاتی از این سنگ‌ها نیز جدا از هم و از طریق عوامل طبیعی حمل و در اطراف ارتفاعات کوه‌ریگی پراکنده شده‌اند (شکل ۵، الف). ابعاد قطعات هورنفلس‌ها در اطراف توode‌های نفوذی متغیر است و گاه تا ۴ متر می‌رسد و گاهی در بخش‌های بالایی توode‌های گرانو دیوریتی قرار دارند (شکل ۵، ب).

شیل‌ها و آهک‌های کرتاسه که به طور متناوب قرار دارند نفوذ توode گرانیتوئیدی ریگی در آنها سبب ایجاد هورنفلس و اسکارن‌زایی شده است. هورنفلس‌ها سنگ‌های سخت، ریز دانه، متراکم با شکستگی صدفی و تیزند. انواع هورنفلس‌ها به دمای توode‌های نفوذی و فاصله‌ای که نسبت به آن داشته باشند، واپسی است، هورنفلس‌ها با توجه به سنگ اوپلیه دارای ترکیب کانی‌شناسی مختلفی بوده و به انواع متفاوتی تقسیم می‌شوند [۶]. سنگ‌های هورنفلسی کوه‌ریگی که سن آن‌ها بر اساس بررسی‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده از این ناحیه به کرتاسه زیرین نسبت داده شده است [۵]، دارای فراوانی قابل توجهی (واسعی حدود ۲ کیلومتر مربع) پیرامون توode‌های



شکل ۵ (الف) بلوک‌های هورنفلسی پراکنده در اطراف گرانیتوئید ریگی، (ب) سنگ‌های تیره‌ی هورنفلسی در بخش فوچانی توده‌های گرانودیوریتی.

شده ۵۵ نمونه بود که از میان آنها سالم‌ترین نمونه‌ها انتخاب و مقطع نازک تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان المپوس روی آنها صورت گرفت. به منظور بررسی شیمی سنگ‌ها و بررسی‌های میکروسکوپی زمین‌شیمی آنها پس از بررسی‌های دقیق صحرایی و میکروسکوپی تعداد ۱۲ نمونه برای تعیین عناصر اصلی، فرعی و عناصر نادر خاکی به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی تهران فرستاده شدند. سعی شد تا نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند که بیشترین پوشش از واحدهای مختلف پیکره‌های گرانیتوئیدی را داشته باشند. برای تعیین عناصر اصلی از روش XRF بر اساس درصد وزنی و برای محاسبه‌ی عناصر فرعی و نادر خاکی از روش ICP استفاده شد.

اسکارن‌ها به ویژه سیلیکات‌های آهکی در بخش شمالی و باختری تپه‌های سیاه کمر، و در جوار توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و مونزونیتی برونزد دارند (شکل ۶، الف). این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی دارای رنگی روشن سفید تا شیری هستند و بیشتر حاوی درشت بلورهای گارنت (گروسولار-آندرادیت) به رنگ قهوه‌ای، بلورهای رشتہ‌ای شکل و سفید ولاستونیت و نیز مقدار زیادی اپیدوت هستند (شکل ۶، ب). درون مجموعه‌های اسکارنی می‌توان زبانه‌هایی از توده‌ی گرانیتوئیدی را به روشنی مشاهده کرد.

روش بررسی

نمونه‌برداری از منطقه مورد بررسی در بهمن ماه ۹۰، و فروردین و آبان ۹۱ انجام شد و تعداد نمونه‌های جمع آوری



شکل ۶ (الف) برونزد اسکارن‌های سیاه کمر، (ب) نمونه دستی برش خورده از اسکارن‌های سیاه کمر با لکه‌های گارنت در سطح نمونه.

پلازیوکلاز که در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد از کانی‌های سازنده این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. ارتوز مهمترین فلدسپات پتاسیم در گرانیت‌های این منطقه می‌باشد که دارای ابعادی تقریباً ۱/۵ میلیمتر و به صورت بی‌شکل بوده و در حدود ۳۰ درصد از کانی‌های سازنده این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. کانی‌های نیمه‌شکل دار بیوتیت بی‌شکل هورنبلند مهمترین کانی‌های فرومینیزین سازنده این سنگ‌ها هستند. این سنگ‌ها دارای بافت دانه‌دار هم بعدند (شکل ۷ پ).

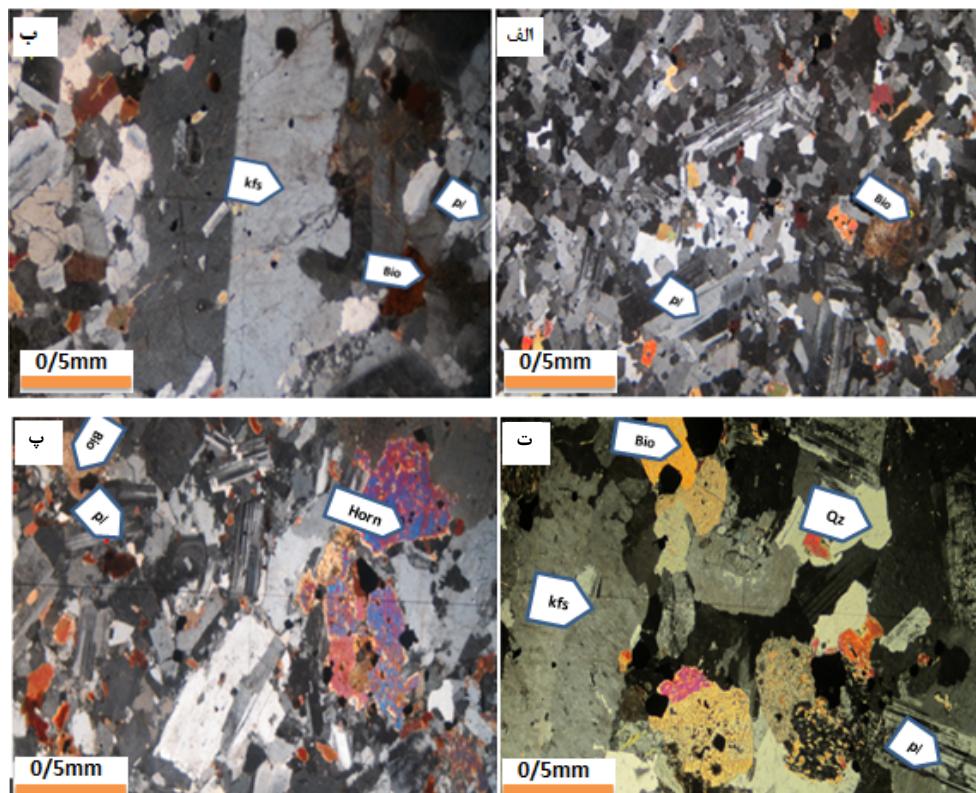
مونزونیت و کوارتز مونزونیت: این سنگ‌ها دارای کانی‌های پلازیوکلاز با درصد حجمی در حدود ۴۵ درصد وارتوز در حدود ۵۰ درصدند. کوارتز، بیوتیت و هورنبلند دیگر کانی‌های موجود در این سنگ‌ها هستند (شکل ۷ ت).

دیوریت: این سنگ‌ها دارای کانی‌های پلازیوکلاز با درصد حجمی در حدود ۶۰ درصد، بیوتیت در حدود ۲۰ درصد، هورنبلند و ارتوز در حدود ۱۵ درصد است.

سنگ‌شناسی توده نفوذی

توده‌ی گرانیت‌وئیدی کوه‌ریگی دارای ترکیب گرانودیوریت، گرانیت، مونزونیت و کوارتز مونزونیت است. گرانودیوریت‌ها در مقاطع میکروسکوپی بافت ریزدانه‌ای دارند. کانی‌های اصلی آنها درشت بلورهای پلازیوکلازند که حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کانی‌های سازنده نمونه‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل ۷، الف). فلدسپارهای قلیایی که حدود ۱۰ تا ۳۵ درصد این سنگ‌ها، را تشکیل می‌دهند بیشتر از نوع ارتوز هستند (شکل ۷، ب). کوارتز در این نوع سنگ‌ها ۲۰ تا ۲۵ درصد از کانی‌های سازنده سنگ‌اند و کانی‌های تیره این سنگ‌ها شامل درشت بلورهای هورنبلند و بیوتیت می‌شوند که حدود ۱۰ درصد از کانی‌های سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند.

سنگ‌های گرانیتی در کوه‌ریگی از کانی‌های سازنده کوارتز، پلازیوکلاز و فلدسپات پتاسیم تشکیل شده‌اند. کانی‌های کوارتز در این سنگ‌ها در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد از کانی‌های سازنده سنگ‌اند و ابعادی در حدود ۱ تا ۱/۵ میلیمتر دارند. کانی‌های

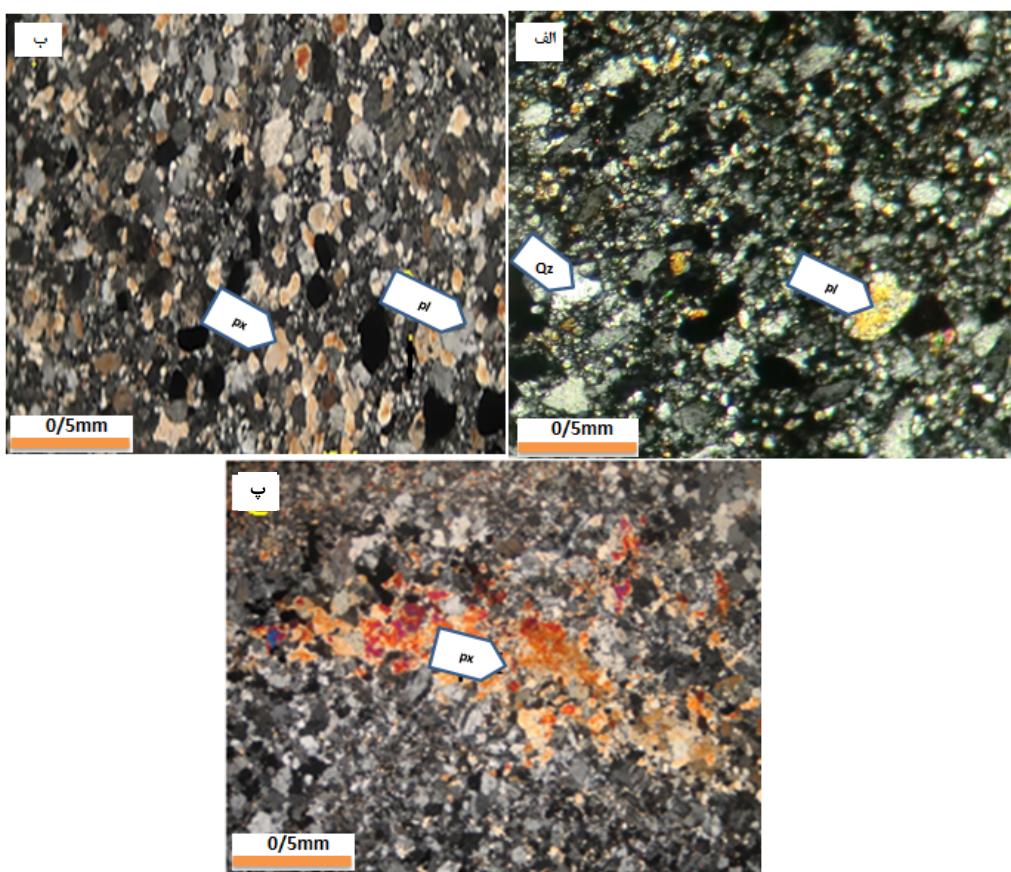


شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های گرانیت‌وئیدی کوه ریگی. (الف) پلازیوکلاز نیمه شکل دار و دارای ماکل در سنگ‌های گرانودیوریتی، (ب) درشت بلور ارتوز در گرانودیوریت‌ها با ماکل دو تایی، (پ) بافت دانه‌دار در سنگ‌های گرانیتی، (ت) بلورهای بی‌شکل هورنبلند، پلازیوکلاز و بیوتیت در سنگ‌های مونزونیتی. (تمامی تصاویر در نور قطبیده مقاطع تهیه شده‌اند).
(علاوه بر کار رفته: Z: کوارتز - Bio: بیوتیت - Kfs: فلدسپار پتاسیم - Pl: پلازیوکلاز - Horn: هورنبلند)

سازنده‌ی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند، این کانی‌ها دارای ابعادی کمتر از 2 cm می‌باشند و در نور قطبیده طبیعی زرد تا سبز کم رنگ‌اند که از خود چند رنگی نشان نمی‌دهند (شکل ۴، ب). در برخی از هورنفلس‌ها مقدار این کانی به بیش از 40% درصد می‌رسد و ترکیب سنگی پیروکسن هورنفلس است که در این سنگ‌ها پیروکسن‌ها معمولاً از نوع دیوپسیدند که به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و بسیار ریز بلور بوده و اندازه‌ی کمتر از 3 mm می‌باشد. پلازیوکلازها به صورت ادخال‌هایی کمتر از 2 mm می‌باشند و اغلب با شکل‌دارند. در برخی از هورنفلس‌ها کانی‌های پیروکسن انباست شده‌اند و زمینه‌ی شکل‌گیری بافت گرانوبلاستیک را فراهم کرده‌اند (شکل ۸، ج). کانی‌های کدر در متن سنگ پراکنده‌اند و بافت غالب هورنفلس‌ها گرانوبلاستیک است.

سنگ شناسی سنگ‌های دگرگونی

هورنفلس‌ها: این سنگ‌ها که در اکثر نقاط همراه با مجموعه‌ی اسکارنی دیده می‌شوند در مقاطع میکروسکوپی دارای این مشخصات‌اند. پلازیوکلازها مهمترین و اصلی‌ترین کانی‌های سازنده موجود در هورنفلس‌ها با 50% درصد حجمی بوده و دارای ابعادی در حدود 0.2 mm تا 0.5 mm می‌باشند و بیشتر فاقد ماکل و منطقه‌بندی هستند و به صورت بی‌شکل تا نیمه شکل‌دارند (شکل ۸، الف). در برخی از پلازیوکلازها ادخال‌هایی از کانی‌های کدر وجود دارند و هیچ نوع شکستگی در آنها مشاهده نمی‌شود. دومین کانی سازنده‌ی این سنگ‌ها کوارتز و در حدود 20% درصد حجمی است و معمولاً ریزدانه و ابعادی کمتر از 3 mm می‌باشد. اغلب با شکل‌دار و دارای خاموشی موجی هستند. کانی‌های پیروکسن به صورت بسیار ریز و بی‌شکل در این سنگ‌ها وجود دارند و کمتر از 1 mm درصد حجمی کانی‌های



شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی از هورنفلس‌های کوه‌ریگی، (الف) کانی‌های پلازیوکلاز بدون ماکل و ریز بلور، (ب) بلورهای پیروکسن و پلازیوکلاز در هورنفلس‌های کوه‌ریگی، (ج) انباست کانی‌های پیروکسن و تشکیل بافت گرانوبلاستیک. (تمامی تصاویر در نور قطبیده مقاطع تهیه شده‌اند). علامت به کار رفته: Px: پیروکسن - Pl: کوارتز - Qz: پلازیوکلاز.

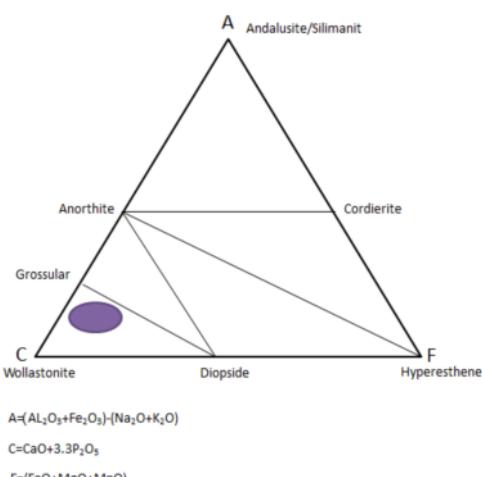
معمولًا به صورت کشیده، توفال مانند (lathlike)، بی‌شکل و حاوی ادخال‌های پیروکسن است. بیرفرنژانس این کانی‌ها ضعیف و رنگ تداخلی آنها خاکستری و سفید مرتبه اول است (شکل ۱۰). دومین کانی این زون گارنت گروسولار-آندرادیت (۲۵ درصد) است. معمولًا بی‌شکل، دارای ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز و شکستگی‌های فراوان است. این زون اسکارنی گسترش قابل توجهی دارد و معمولًا بالاترین بخش اسکارن سیاه کمر را تشکیل می‌دهد.

زون پلاژیوکلاز-کلینوپیروکسن اسکارن: پلاژیوکلاز کانی مهم این زون اسکارنی به شمار می‌رود و گاه ۴۰ تا ۵۰ درصد از کانی‌های سازنده را در این سنگ‌ها تشکیل می‌دهد. اغلب پلاژیوکلازها نیمه شکل‌دار و فاقد هر گونه لکه‌ای هستند، میزان دگرسانی آنها معمولًا کم و گاه دگرسان به سریسیت، اپیدوت، کوارتز و کانی‌های رسی شده‌اند. این کانی‌ها بی‌شکل و نیمه شکل‌دار، دارای بر جستگی پائین، فاقد چندرنگی، بیرفرنژانس ضعیف و رنگ تداخلی خاکستری مرتبه اولند (شکل ۱۰، الف). پیروکسن‌ها در این زون معمولًا از نوع دیوپسید (در حدود ۱۵ درصد حجمی) هستند و دارای چند رنگی بسیار ضعیف و بر جستگی متوسط و به صورت بی‌شکل در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. برخی از این کانی‌ها دارای شکستگی‌های طریف و برخی دیگر نیز دارای دو جهت رخ هستند (شکل ۱۰، ب). ولستونیت و کوارتز از دیگر کانی‌هایی هستند که معمولًا بی‌شکل و ریزبلور در متن پلاژیوکلازها دیده می‌شوند. این زون در اسکارن سیاه کمر گسترش کمی دارد.

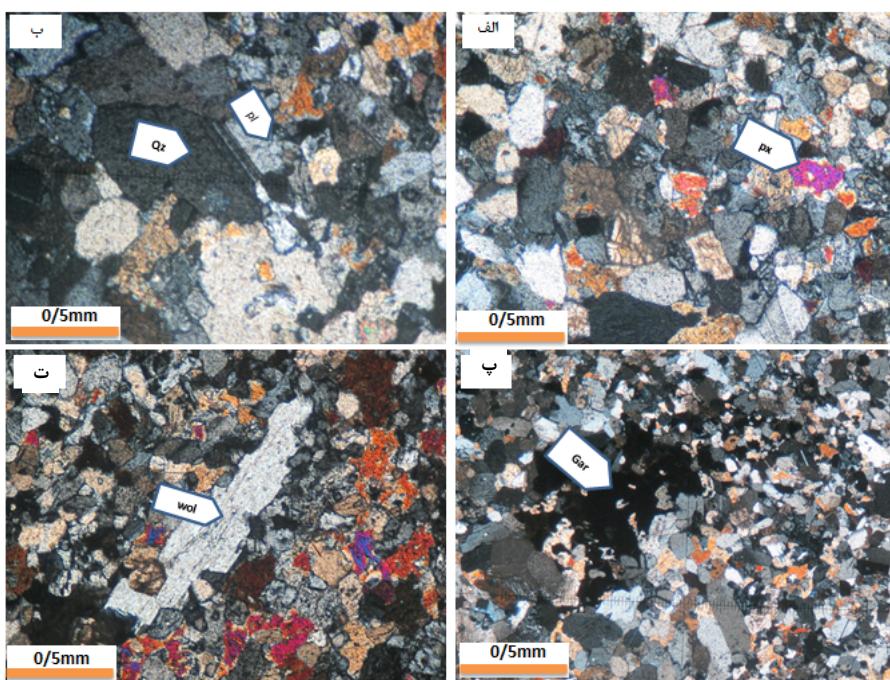
اسکارن‌ها: این سنگ‌ها شامل زون‌های اسکارنی گارنت‌دار، اسکارن‌های کلینوپیروکسن‌دار- گارنت‌دار، اسکارن‌های پلاژیوکلاز- کلینوپیروکسن دار و مرمرهای آهکی سیلیکاتی هستند که به طور کلی دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، گارنت (گروسولار- آندرادیت) و ولستونیت با بافت غالب گرانوبلاستیک‌اند و در نمودار ACF در گستره‌ی اسکارن‌های گروسولار- آندرادیت قرار می‌گیرند (شکل ۹) [۷]. مشخصات زون‌های اسکارنی فوق به شرح زیرند.

زون گارنت اسکارن: مهمترین کانی این زون گارنت، گروسولار- آندزیت با فراوانی ۳۰ تا ۴۰ درصدند و عموماً فاقد منطقه‌بندی و شکل خاص است (شکل ۱۰ پ) و گاه در اثر واکنش‌های قهقهایی به ویژه در محل شکستگی‌ها و خردشده‌ی ها به کلریت، اپیدوت، کلیست و اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند. دیر و همکاران [۸] معتقدند که وجود گروسولار در سنگ‌های دگرگونی معرف دگرگونی مجاورتی یا ناحیه‌ای در سنگ‌های کربناته خالص یا دگرگونی دگرنهادی (اسکارن زایی) در سنگ- های کربناتی خالص است که به نظر می‌رسد در اسکارن‌های سیاه کمر خاستگاه این نوع گارنت ناشی از دگرنهادی سنگ- های کربناتی اولیه باشد. ولستونیت و به مقدار کمتر پلاژیوکلاز دیگر کانی‌های این زون‌اند که اغلب به صورت بلورهای ریز بی- شکل تا نیمه شکل‌دار کانی‌های گارنت را در بر دارند. این زون اسکارنی بیشترین گسترش را در مجاورت هورنفلس‌ها دارد و غالباً زبانه‌هایی از گرانوپیوریت در آن دیده می‌شوند.

زون کلینوپیروکسن- گارنت اسکارن: ولستونیت مهمترین کانی این زون به شمار می‌رود که فراوانی در حدود ۶۵ درصد دارد



شکل ۹ نمودار مثلثی ACF برای کانی‌های دگرگونی موجود در اسکارن‌های تپه‌های سیاه کمر [۷]. (بیضی داخل شکل نشان دهنده‌ی گستره‌ی اسکارن‌های مورد بررسی است).



شکل ۱۰ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های اسکارنی تپه سیاه‌کمر. (الف) کانی‌های نیمه شکل دار پلازیوکلاز دارای لکه‌ی کارلسbad و پلی سنتیک، (ب) کانی‌های نیمه شکل دار پیروکسن در اسکارن سیاه کمر، (پ) کانی‌های بی‌شکل و تیره گارنت دارای ادخال‌هایی از پلازیوکلاز، (ت) کانی کشیده، بیشکل و دارای رخ یک جهتی ولاستونیت (تمامی تصاویر در نور قطبیده متقطع تهیه شده‌اند). (علامه به کار رفته: Px: پیروکسن-Gar: گارنت-Wol: ولاستونیت-Pl: پلازیوکلاز).

دارند (شکل ۱۲) [۱۰]. در نمودار AFM نمونه‌های توده‌ی گرانیتوئیدی کوه ریگی در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۳) [۱۱]. این نمونه‌ها در نمودار شاخص اشباع از آلومینیم اغلب در گستره‌ی شبه آلومین (شکل ۱۴) [۱۲]. تنها دو نمونه در گستره‌ی پرآلومینوس قرار می‌گیرند که مربوط به سنگ‌های گرانودیبوریتی هستند که احتمالاً دگرسانی این نمونه‌ها سبب قرار گیری آنها در این گستره شده است.

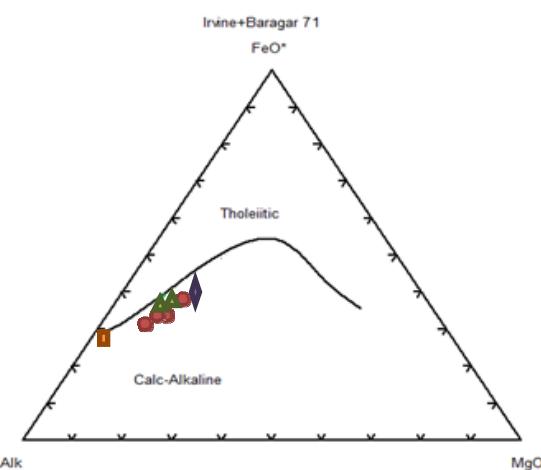
معمولًاً واکنش‌ها و مجموعه کانی‌های موجود در اسکارن‌ها به ویژگی‌های سنگ مادر، فشار، دما و ترکیب شاره‌های دیگر بستگی دارد [۱۴، ۱۳]. بررسی‌های میکروسکوپی اسکارن سیاه کمر نشان می‌دهد که فرآیندهای اسکارن‌زایی در این منطقه

طی دو مرحله اصلی پیشرونده و پسرونده صورت گرفته است. مرحله پیشرونده: نظر به شکل گیری هورنفلس‌ها در منطقه به نظر می‌رسد نخست یک مرحله دگرگونی گرمایی ایزوکمیکال در نتیجه نفوذ توده‌ی کوه ریگی در منطقه صورت پذیرفته است که با نفوذ توده و ایجاد ترک و شکستگی‌ها و کاهش حجم زمینه برای رشد کانی‌های آهکی سیلیکاتی بدون آب نظیر مگنتیت، گارنت و ولاستونیت فراهم شده است و به

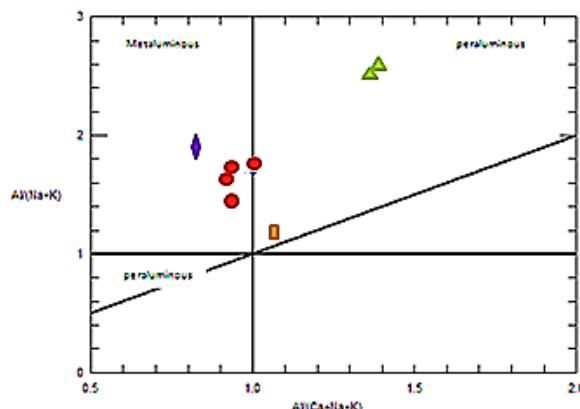
کانه‌زایی: در اسکارن سیاه کمر اکسیدهای آهن به ویژه مگنتیت و کمتر هماتیت مهمترین کانه‌هایی هستند که اغلب به صورت پراکنده، جانشینی و بسیار کم به صورت رگه‌ای دیده می‌شوند. در برخی از نقاط اکسیدهای آهن و هیدروکسیدهای آن به نظر حاصل اکسایش کانی‌های اولیه سنگ هستند، در برخی نقاط اسکارن سیاه کمر مقدار بسیار کمی از سولفیدهای آهن، پیریت و کالکوپیریت گاه به چشم می‌خورند. این اسکارن به نظر از لحاظ اکسیدهای آهن به ویژه مگنتیت دارای اهمیت اقتصادی است چرا که سطح تلامسه‌های اطراف این توده‌ها از اکسیدهای آهن (پلاسرهای بادی) پر بوده و به رنگ سیاه دیده می‌شوند و گاهی کارهای معدنی انجام شده بر روی آنها نشان داد که دارای اهمیت اقتصادی هستند.

بحث و بررسی

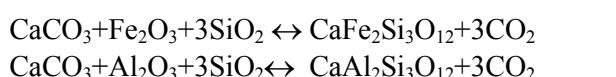
بررسی‌های سنگ‌شناختی و زمین‌شیمیایی توده‌ی گرانیتوئیدی کوه ریگی نشان می‌دهد که سنگ‌های سازنده‌ی توده در گستره‌های گرانودیبوریت، مونزونیت، کوارتزمونزونیت و گرانیت قرار می‌گیرند (شکل ۱۱) [۹]. نمونه‌های سنگی مورد بررسی در نمودار تعیین سری ماقمایی در گستره‌ی نیمه قلیایی قرار



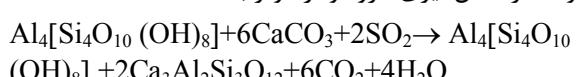
شکل ۱۳ نمودار AFM، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده کالک-آلکالن قرار می‌گیرند [۱۱].



شکل ۱۴ نمودار تعیین درجه اشباع از آلومین سنگ‌های گرانیتیوئیدی کوه ریگی [۱۲].

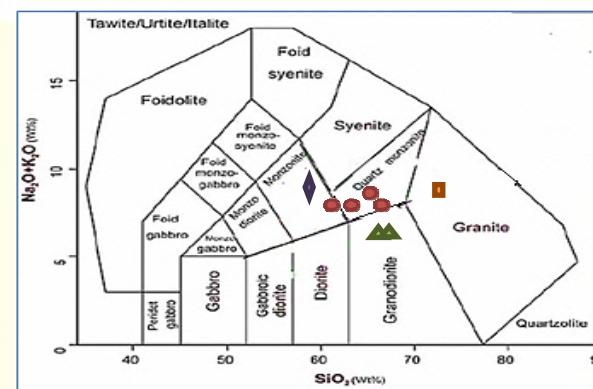


همچنین اگر سنگ اولیه آهک مارنی باشد، کائولینیت نیز می‌تواند در شکل‌گیری گروسوپلار موثر باشد [۱۷].

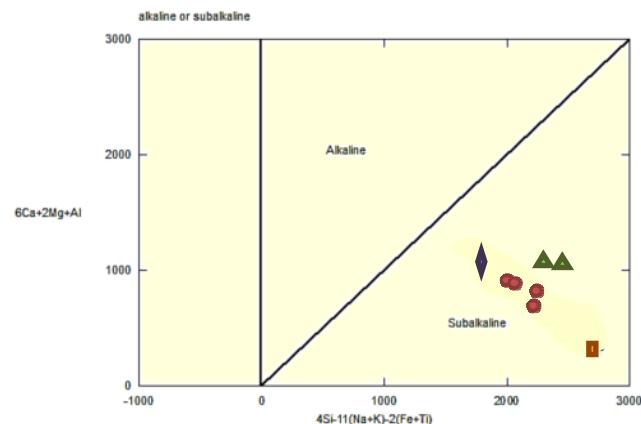


با جایگیری و شروع انجماد توده‌ی گرانیتیوئیدی کوه‌ریگی، به نظر می‌رسد که حجم فازهای گرمابی غنی از مواد فرار افروده شده و دگرنهادی روی کانی‌های تشکیل شده قبلی شروع شد، همچنین در این مرحله شکستگی‌هایی که در سنگ‌های میزبان در نتیجهٔ نفوذ توده و فشار شاره‌ها ایجاد شده، مجاری مناسب برای ورود شاره‌های دگرسان کننده به داخل سنگ‌های میزبان را فراهم کرده است. در این مرحله

دنبال آن فرآیندهای دگرنهادی و کانی‌های دیپسید و گارنت شکل می‌گیرند. با نفوذ توده‌ی گرانیتیوئیدی کوه‌ریگی در سنگ‌های آهکی تپه‌های سیاه کمر سنگ‌های کربناتی ناخالص به مرمر و اسکارن و سنگ‌های شیلی و ماسه سنگی به هورنفلس‌ها تبدیل شده‌اند؛ به نظر می‌رسد تشکیل ولاستونیت حاصل واکنش بین سیلیس (مجموعه‌های ماسه‌سنگی) و کربنات‌ها $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow$ آهک‌های کرتاسه طبق فرمول $\text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$ باشد، تشکیل ولاستونیت در اسکارن‌ها نیازمند سنگ اولیه غنی از کلسیم SiO_2 بالا که یا از سنگ اولیه و یا بوسیلهٔ شاره وارد سیستم شده باشد، حرارت بالا و اکتیوتیه CO_2 می‌باشد که هر سه حالت برای تشکیل ولاستونیت لازم است. هر چه فعالیت گاز کربنیک بیشتر شود دمای لازم برای تشکیل ولاستونیت بیشتر است [۱۵]. به دلیل ورود آهن از شاره به سنگ‌های کربناتی کانی‌های گارنت (گروسوپلار-آندرادیت) بنابر واکنش زیر تشکیل شده است [۱۶].



شکل ۱۱ نامگذاری سنگ‌های توده‌های گرانیتیوئیدی کوه‌ریگی با استفاده از نمودار $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ نسبت به Si_2O [۹].



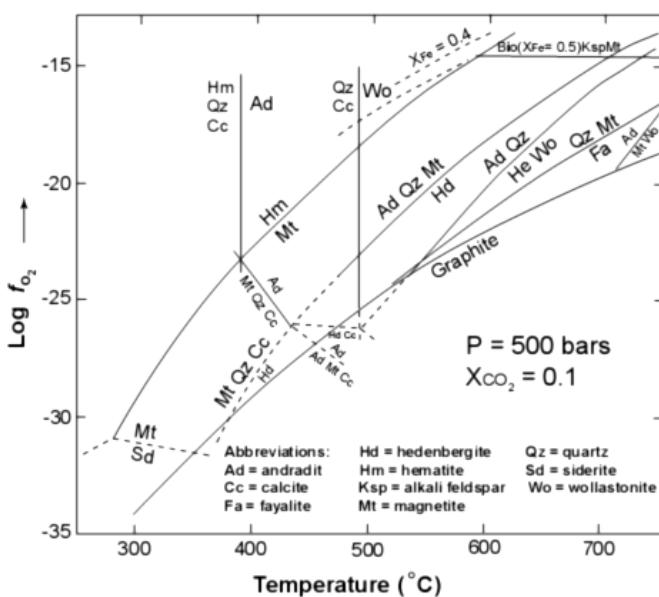
شکل ۱۲ موقعیت سنگ‌های گرانیتیوئیدی کوه‌ریگی در قلمرو شبه-قلیایی [۱۰].

کانی‌های گروسولار، آندرادیت و لاستونیت در اسکارن سیاه کمر مهمترین و کلیدی‌ترین کانی‌ها برای شناخت شرایط احتمالی تشکیل این اسکارن هستند، معمولاً در مراحل دگرنهادی شاره‌های غنی از Mg, Si, Fe با فعالیت بالا و حالت‌های نسبتاً اکسنده باعث گسترش واکنش‌های کربن‌ذایی و گسترش سیلیکات‌های کلسیم‌دار بدون آب می‌شوند. نبود بافت‌های جانشینی بین کانی‌های اخیر حاکی از تشکیل همزمان لاستونیت و گارنت است، حضور آندرادیت معمولاً بیانگر گریزندگی اکسیژن متوجه و در دمای نسبتاً بالاست [۱۹]. که اگر گریزندگی اکسیژن افزایش یابد کانی‌های مگنتیت و هماتیت تشکیل می‌شوند. در اسکارن سیاه کمر آندرادیت و اکسیدهای آهن فراوان حضور دارند. بنابراین احتمالاً تشکیل آن در گریزندگی بالای اکسیژن صورت پذیرفته است، از طرفی وفور کانی لاستونیت حاکی از تشکیل اسکارن سیاه کمر در دمای بالاتر از ۵۵۰ درجه سانتیگراد و احتمالاً در گستره‌ی دمایی ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد دو گستره‌ی $fO_2=10$ - $fO_2=20$ تشکیل شده‌اند (شکل ۱۵). در دمای کمتر از ۴۷۰ درجه‌ی سانتیگراد و گستره $fO_2=10-21$ -۱۰-۲۴ آندرادیت به کانی‌های کوارتز، کلسیت و مگنتیت و در دمای کمتر از ۴۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و $fO_2>10-21$ به کوارتز - کلیست و هماتیت تبدیل می‌شود (شکل ۱۵).

کانی‌های مرحله قبلی از جمله گروسولار- آندرادیت و دیوپسید گسترش می‌یابند.

مرحله پسرونده: دگرسانی پسرونده در بسیاری از اسکارن‌ها رایج است [۱۸]. در اسکارن‌های سیاه کمر مرحله‌ی پسرونده به خوبی با تشکیل کانی‌های اپیدوت، ترمولیت- اکتینولیت و کانی‌های کدر (اکسیدهای آهن، نظیر هماتیت) مشخص می‌شود، دگرسانی این مرحله ناشی از ورود گرمابه‌ای با دمای پایین و انجام فرآیندهای آبکافت و کربن‌گیری روی کانی‌های مراحل قبلی است. احتمالاً واکنش اپیدوت ناشی از شکسته شدن گارنت‌ها در نتیجه‌ی افزایش گریزندگی اکسیژن است. $Ca_3(Fe,Al)_2Si_3O_{12}+5/4O_2+HCO_3 \leftrightarrow CaCO_3+Ca_2FeAl_2Si_3O_{12}(OH)+1/2Fe_2O_3$ به نظر می‌رسد تشکیل کوارتز- کلیست و کوارتز در اطراف پلازیوکلازها، اپیدوت ناشی از دگرسانی شاره‌های با دمای پایین می‌باشد. با توجه به مجموعه کانی‌ای اخیر در اسکارن‌های سیاه کمر، به نظر می‌رسد که مراحل تشکیل کانی‌ای این اسکارن به شرح زیر است: در مراحل اولیه کانی‌های سیلیکاتی آهکی بدون آب و غیرفلزی لاستونیت، دیوپسید، گارنت و پلازیوکلاز تشکیل شده است (مراحل پیشونده اصلی)، سپس در مراحل بعدی (مراحل پسرونده) کانی‌های سیلیکاتی آبدار نظیر کلریت و اپیدوت و در مراحل پایانی سیلیکات‌های کلسیم آبدار دستخوش دگرسانی شده و کانی‌های ثانویه کلریت، کلیست و کوارتز تشکیل شده‌اند (جدول ۱).

مراحل کانی	دگرگونی	دگرسانی	
		پیشونده	پسرونده
لاستونیت			
گروسولار			
آندرادیت			
مگنتیت			
دیوپسید			
اپیدوت- کلریت			
کلریت- کلسیت- هماتیت			
کوارتز			



شکل ۱۵ نمودار $\log f_{\text{O}_2}$ نسبت به دما در فشار شاره ۵۰۰ بار و 10°C برای سیستم $\text{Ca}-\text{Fe}-\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$. [۲۰]

- ۳- پاراژنز کانیابی موجود در اسکارن‌های سیاه کمر (ولاتونیت، مگنتیت، گروسولار- آندرادیت، دیوپسید، اپیدوت و کلریت) حاکی از تشکیل این اسکارن طی دگرگونی و دگرسانی است که در دگرگونی هورنفلس‌ها و مرمرها شکل می‌گیرند و در دگرسانی پیشرونده کانی‌های سیلیکاتی بدون آب نظیر ولاتونیت، گارنت و مگنتیت تشکیل شده‌اند و در دگرسانی پسرونده کانی‌های اپیدوت، کلریت، کلریت، سرسیت و کانی‌های رسی به وجود آمده‌اند.
- ۴- حضور مجموعه‌های مگنتیت- ولاتونیت، آندرادیت- ولاتونیت و احتمالاً حاکی از تشکیل این اسکارن در دمای حدود ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و شرایط اکسایش - $f_{\text{O}_2} = 10^{-10} - 10^{-12}$ است.

-۵- گسترش کانی‌های اپیدوت، کلریت و کلیست حاکی از تشکیل آنها از کانی‌های اولیه در دمای پایین (زیر ۳۰۰ درجه-ی سانتیگراد) است.

-۶- شواهد صحرایی، کانی شناسی، پاراژنز و بررسی‌های زمین شیمیابی نشان می‌دهند که اسکارن تپه‌های سیاه کمر از نوع کلسیمی هستند.

مراجع

- [1] Gulbert J. M., Park C. F., "The geology of ore deposite", W. H. Freeman and Company, 985p. 1986.
- [2] Best M., "Igneous and metamorphic petrology", Freeman, 630p. 1982.

بنابراین طی دگرسانی پسرونده در اسکارن سیاه کمر مجموعه سیلیکات‌های بدون آب نظیر آندرادیت، گروسولار و گارنت به کانی‌های اپیدوت، کوارتز، کانی‌های کربناتی دگرسان شده‌اند، در این مرحله Ca^{2+} به تدریج از سیلیکات‌های کلسیم آبشویی شده و باعث تشکیل برخی از کانی‌های کربناتی می‌شود. نبود پیریت و فراوانی مگنتیت و هماتیت در اسکارن سیاه کمر حاکی از بالا بودن شرایط اکسایش (گرینزندگی بالای اکسایشن) نسبت به شرایط سولفیدی است. هر چند در شرایط سولفیدی و در دمای‌های نسبتاً بالا کانی آندرادیت پایدار است (شکل ۱۵)، که در اسکارن سیاه کمر حضور این کانی در اکثر زون‌های با دما بالا کاملاً مشهود است.

برداشت

مهمنترین نتایج حاصل از این پژوهش عبارتند از :

- ۱- توده‌ی نفوذی گرانیت‌وئید کوه‌ریگی ترکیبی از گرانوودیوریت، کوارتزمونزونیت، مونزونیت و گرانیت دارد که گرانوودیوریت‌ها پیکره‌ی اصلی توده را تشکیل می‌دهند، مشخصات سنگ- شناختی و زمین‌شیمی توده حاکی از شبه‌خشنان تا پرآلومین با ماهیت آهکی- قلیایی است.

۲- هورنفلس‌ها و اسکارن‌ها مهمنترین سنگ‌های دربرگیرنده‌ی توده‌ی کوه‌ریگی و حاصل دگرگونی مجاورتی آن هستند این سنگ‌ها بیشتر دارای کانی‌های پلازیوکلаз، کوارتز، پیروکسن، گارنت و ولاتونیت و بافت گرانوبلاستیک‌اند.

- [12] Maniar P. D., picolli P. M., "Tectonic discrimination of granitoid Geological society of America", 101 (1989) 635-643p.
- [13] Titley S. R., "Pyrometasomatism – an alteration type", Economic Geology 68 ,1326-1328p. 1973.
- [14] Guilbert J. M., Lowell J. D., "Variations in zoning patterns in porphyry Copper deposits", Canadian Institute of mining and Metallurgy Bulletin 67, 99-109p. 1974.
- [۱۵] هوشمندزاده ع.، "تکوین سنگ‌های دگرگونی"، انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۱۵ صفحه. ۱۹۷۴
- [16] Sengupta P., Raith M. M., "Garnet Composition as a petrogenetic indicator: an example from a marble-calc- granulite interface at Kondapalle", Eastern Ghats Belt, India, American Journal of Science, Vd. 302, 686-727p, 2002.
- [۱۷] درویش زاده ع.، "سنگ شناسی دگرگونی"، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۷۰ ص. ۱۳۹۱.
- [18] Meinert L. D., "Skarns and Skarn deposits", Geoscience Canada 19 (4), 145-162p. 1992.
- [19] Burt D. M., "Mineralogy and geochemistry of Ca- Fe- Si skarn deposits", unpublished Ph.D. Dissertation, Harvard University, 256p. 1972.
- [20] Einaudi M. T., "Description of skarn associated with porphyry copper plutons, southwestern North American", In: Titley, S. R., (Ed.), Advances in the geology of porphyry copper deposits. The University of Arizona press, Tucson 139-184, 1982.
- [۳] اطلس راه‌های ایران، نقشه راه های ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰. چاپ و نشر سازمان جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی ۱۰۴ ص، ۱۳۸۵.
- [4] Stocklin J., "Structural history and Tectonic of Iran: A review", American association of petroleum Geologists Bulletine. V. 52, 1299-1258p. 1968.
- [۵] گرفیس ۵، مگریز ج، بهروزی ا، حمزه پور ب، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش ده سلم" ، سازمان زمین شناسی واکتشاف معدنی ایران، ۱۳۷۱.
- [۶] درویش زاده ع، "زمین شناسی ایران" ، نشر دانش امروز، ۹۰۱ ص، ۱۳۷۰.
- [۷] زرعیان س، ایران پناه ا، سرابی ف، "سنگ شناسی" ، جلد دوم، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.
- [8] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "Rock forming minerals: orthosilicates", Vol. 1A, longman London, pp. 467-657.1989.
- [9] Midelmost E. A. K., "Magma and magmatic rocks: An Introduction to igneous petrology", Longman Group U. K. 73-86p. 1985.
- [10] Batchelor R. A., Bowden P., "Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters", Chemical Geology 48:43-55p. 1985.
- [11] Irvin I. C., Baragar W. R. A., "A guid to chemical classification of the common Volcanic rocks", Canadian Journal of earth sciences, 8, 523-548p. 1971.