



بررسی چگونگی تشکیل اسکارن شمال غربی کبیرکوه با استفاده از داده‌های سنگ‌نگاری، شیمی کانی‌ها و شاره‌های درگیر جنوب غرب خواف (جنوب شرق خراسان رضوی)

محسن زنگنه قاسم آبادی*، محمد بومری، حبیب الله بیابانگرد

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۱۸، نسخه نهایی: ۹۵/۵/۳)

چکیده: اسکارن کبیرکوه در شمال شرقی بلوک لوت و جنوب غربی شهرستان خواف در استان خراسان رضوی قرار گرفته است. این اسکارن و کانی‌زایی آهن همراه با آن، در نتیجه‌ی نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی ائوسن به درون آهک‌های کرتاسه تشکیل شده‌اند. گارنت (گروسولار- آندرادیت)، کلینوپيروكسن (دیوپسید- هدنبرژیت)، اپیدوت، آمفیبول، مگنتیت، کلسیت و کوارتز کانی‌های مهم و اصلی اسکارن در شمال غربی کبیرکوه هستند. این اسکارن از نوع کلسیک و دارای منطقه‌های آمفیبول- اپیدوت اسکارن، گارنت- اپیدوت اسکارن و پیروکسن- اپیدوت اسکارن است. ترکیب شیمیایی گارنت‌های مورد بررسی از ۵۹/۴۶ تا ۹۹/۴۵ درصد آندرادیت متغیر است و کلینوپيروكسن‌ها وابسته به سری محلول جامد دیوپسید- هدنبرژیت هستند و مقدار مول درصد هدنبرژیت آنها از ۴۸/۵۴ تا ۶۷/۲۵ تغییر می‌کند. بررسی‌های شاره‌های درگیر در منطقه کبیرکوه غربی روی رگه‌های کوارتز همراه با اسکارن‌ها و کانی‌زایی آهن صورت گرفته است، دو نوع شاره درگیر این رگه‌های کوارتز حضور دارند که به نوع A و B تفکیک شده‌اند. براساس بررسی‌های دماسنجی این شاره‌های درگیر، دارای گستره دمایی بیشتر از 340°C - ۲۰۰ و نیز دامنه شوری از ۲ تا ۱۹ درصد وزنی معادل نمک طعام برای نوع A و ۳۴ تا ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام برای نوع B هستند، شاره‌های درگیر نوع A دارای شوری پایین تا متوسط ولی شوری نوع B به صورت چشمگیری بالاتر از نوع A است. وجود دو نوع شاره با شوری کم و بالا می‌تواند دلیلی بر حضور، چرخش و اختلاط آب‌های ماگمایی و آب‌های سطحی در کبیرکوه باشد. اسکارن‌ها در کبیرکوه در دو مرحله‌ی پیشرونده و پسرونده در شرایط گریزندگی اکسیژن حدواسط تا بالای تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی آهن در مرحله اسکارن پسرونده از شوراب‌های نوع B به وجود آمده‌اند. این شاره‌ها احتمالاً از خاستگاه ماگمایی هستند.

واژه‌های کلیدی: بلوک لوت؛ خواف؛ کبیرکوه؛ اسکارن؛ کانی‌زایی آهن؛ شاره‌های درگیر.

مقدمه

که حاصل ماگماتیسم بلوک لوت در نتیجه‌ی فرورانش‌اند [۱]. با این ماگماتیسم، دگرگونی و دگرنهادی گسترده‌ای در واحدهای رسوبی به ویژه کربناتی رخ داده که حاصل آن شکل‌گیری کانی‌سازی‌هایی نظیر آهن و مس در واحدهای اسکارنی بلوک لوت و از جمله تشکیل اسکارن و کانی‌زایی مس و آهن در کبیرکوه است.

اسکارن کبیرکوه شمال غربی کبیرکوه، در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خواف استان خراسان رضوی و در عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ}17'31''$ تا $34^{\circ}19'20''$ و طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}36'10''$ تا $59^{\circ}39'30''$ قرار گرفته است. توده‌های گرانیتوئیدی فراوانی در منطقه‌ی مورد بررسی رخنمون دارند

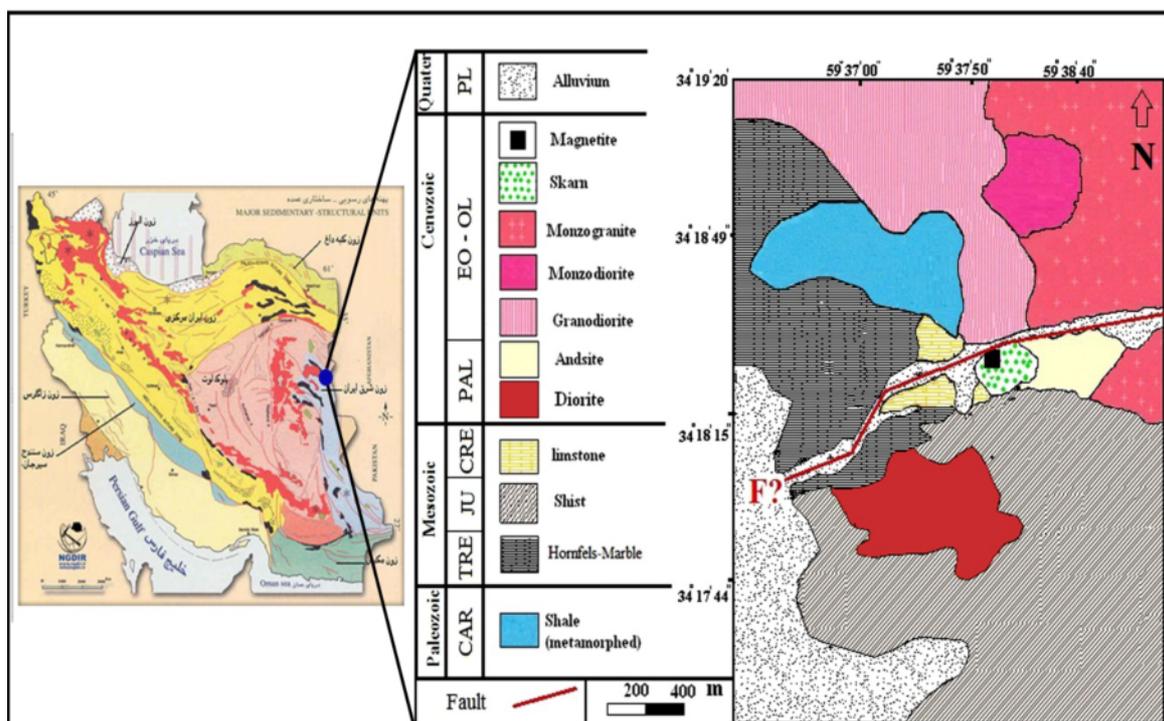
واحدهای شیلی دگرگون شده (هورنفلز) با میان لایه‌هایی از سنگ‌های آهکی دگرگون شده (مرمر) هستند که در مجاورت آهک‌های کرتاسه قرار گرفته‌اند. واحدهای هورنفلز و مرمر غالباً به صورت لایه‌های متناوب دیده می‌شوند که تقریباً در مرکز منطقه‌ی مورد بررسی و در جنوب و جنوب‌غربی گرانیتوئیدهای زوزن قرار گرفته‌اند (شکل ۱). گرانیتوئید زوزن یک فاز نفوذی گسترده با سن ائوسن پایانی - الیگوسن آغازین است که در بخش شمالی و مرکزی منطقه‌ی کبیرکوه رخ داده و بخش بزرگی از نیمه‌ی شمالی منطقه‌ی مورد بررسی را در بر گرفته است [۴].

نفوذ گرانیتوئید زوزن در آهک‌های کرتاسه موجب شکل‌گیری سنگ‌های دگرگون مرمر و اسکارن و کانی‌زایی آهن در بخش جنوبی آنها با فاصله ۴۰۰-۵۰۰ متری شده است [۶] (شکل ۱). در جنوب منطقه مورد بررسی، رخنمونی نسبتاً گسترده از سنگ آذرین دیوریت مشاهده است. دیوریت نیز به صورت دایک‌های دیوریتی، سنگ‌های گرانیتوئیدی را قطع کرده که نشان‌دهنده‌ی فاز جدیدتری از ماگماتیسم در منطقه است [۶].

از قدیمی‌ترین بررسی‌های انجام شده در این منطقه می‌توان پی‌جویی ژئوشیمیایی سازمند در برگه‌ی یکصد هزار زوزن را نام برد [۲]. بررسی‌های انجام شده بعدی در منطقه شامل تهیه‌ی نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ ژئوفیزیکی هوایی (مغناطیس‌سنجی هوایی) گناباد [۳] و تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زوزن بوده‌اند [۴]، از جمله آخرین کارهای انجام شده تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی، پی‌جویی ژئوشیمیایی و مغناطیس‌سنجی در محدوده‌ی غربی کبیرکوه [۵] بوده‌اند. با توجه به اینکه تاکنون منطقه‌ی کبیرکوه از نظر اسکارن‌زایی مورد بررسی قرار نگرفته است، این مقاله، به بررسی سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، شیمی کانی‌های اسکارنی و بررسی شاره‌های درگیر همراه با کانی‌زایی در اسکارن‌های منطقه شمال‌غربی کبیرکوه می‌پردازد.

زمین‌شناسی

منطقه‌ی کبیرکوه در پهنه‌بندی ساختاری ایران، در شمال شرقی بلوک لوت و در گستره‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زوزن قرار گرفته و رخنمون‌هایی از سنگ‌های پالئوزوئیک تا کواترنری در آن گزارش شده است [۴]. منطقه‌ی مورد بررسی در شمال‌غربی کبیرکوه قرار گرفته است و قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در این گستره شامل



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه شمال‌غربی کبیرکوه، اقتباس از [۶].

روش بررسی

بخش‌های زیادی از این توده‌ی گرانیتوئیدی دستخوش دگرسانی سریستیک، پروپلیتیک و سیلیسی شده‌اند [۶]. دایک‌ها و سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی نیز به فراوانی همراه گرانیتوئیدها مشاهده می‌شوند. این توده دارای هاله‌ی دگرگونی مجاورتی نامنظمی است که مرمر، هورنفلس و اسکارن‌ها بخشی از آن را تشکیل می‌دهند.

سنگ‌های دگرگونی

سنگ‌های دگرگون منطقه عبارتند از سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای و دگرگون مجاورتی می‌شوند. سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای در این منطقه غالباً شامل شیست‌ها با درصد‌های متفاوت، انواع کانی‌های دگرگون هستند که شامل سنگ‌های مسکویت کوارتز شیست، استارولیت آندالوزیت شیست، سریست شیست، اپیدوت سریست کوارتز شیست می‌شوند [۶] که در جنوب گسترده‌ی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ۱ و ۲). سنگ‌های دگرگون مجاورتی غالباً از هورنفلزها (سریست هورنفلس و بیوتیت آلبیت هورنفلس)، مرمر و اسکارن تشکیل شده‌اند (شکل ۱ و ۲).

هورنفلس و مرمر

هورنفلس‌ها در این منطقه به رنگ خاکستری با بافت ریزدانه هستند و شامل کانی‌های کوارتز، سریست، کلسیت و کانی‌های کدر تشکیل شده‌اند که هیچگونه جهت‌یافتگی در آنها دیده نمی‌شود. در برخی از مقاطع وابسته به این سنگ‌ها، کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول نیز حضور دارند و فضاهای خالی و شکستگی‌های هورنفلس‌ها با بلورهای کوارتز رشد یافته به صورت ثانویه پر شده‌اند. واحدهای سنگی مرمر غالباً به تناوب با هورنفلزها بخش بزرگی از غرب منطقه‌ی مورد بررسی را (با روند شمال غرب - جنوب غرب) در بر گرفته‌اند (شکل ۱ و ۲).

برای بررسی‌های کانی‌شناسی و اسکارن‌زایی منطقه کبیرکوه، تعداد ۴۴ مقطع نازک، ۹ مقطع نازک- صیقلی و ۸ مقطع صیقلی شیمی کانی‌های اسکارنی، ۴ مقطع نازک - صیقلی از سنگ‌های اسکارنی انتخاب و در دانشگاه یاماگاتای ژاپن به روش ریزپردازش الکترون کاو مدل JEOL. JXA-8600 Superprobe و ولتاژ شتاب‌دهنده‌ی ۱۵ کیلووات و جریان پرتوی 20nA مورد تجزیه قرار گرفتند همچنین برای بررسی شماره‌های درگیر ۷ نمونه دوبر صیقل بررسی شدند که از بین آنها ۳ مقطع مناسب که به رگه‌های کوارتز همراه با کانی‌زایی در زون‌های آمفیبول- اپیدوت اسکارن و گارنت- اپیدوت اسکارن انتخاب و در گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران برای ریزدماسنجی بررسی شدند.

بحث و بررسی**معرفی توده‌های نفوذی**

توده‌های نفوذی با بیشترین گستردگی، بخش شمالی منطقه مورد بررسی را (در شمال اسکارن و کانی‌زایی) به خود اختصاص داده است (شکل ۱). این توده‌ها بلندترین قله‌های منطقه کبیرکوه را به ارتفاع حدود ۱۹۰۲ متر از سطح دریا تشکیل داده‌اند. براساس بررسی‌های انجام شده [۶] توده‌های نفوذی در شمال غربی کبیرکوه با ترکیب گرانودیوریت، کوارتزدیوریت، مونزونیت، دیوریت، مونزودیوریت و گابرو هستند. آنکلاوها و میکروآنکلاوهای مافیک بوفور در این توده‌های نفوذی دیده می‌شوند. توده‌های گرانیتوئیدی یاد شده از نوع گرانیتوئیدهای I و سری مگنتیت دارای ماهیت متآلومین تا پراآلومین و کالکوالکان پتاسیم بالاست [۶، ۷]. این توده از نظر ژئوشیمی به گرانیت‌های قوس آتشفشانی (VAG) وابسته است.



شکل ۲ تصویر صحرایی از موقعیت و ارتباط واحدهای سنگی در شمال غربی کبیرکوه (دید از جنوب به شمال).

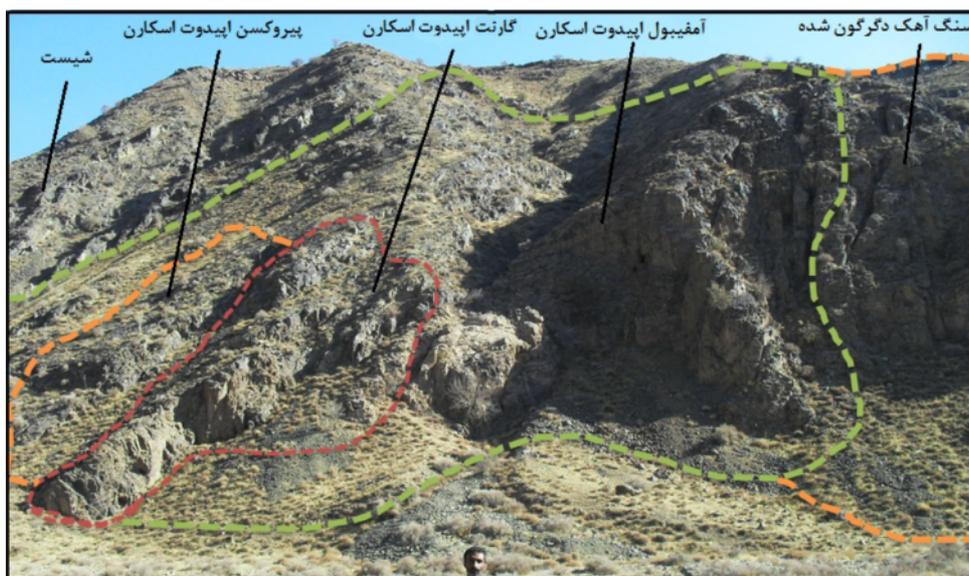
مگنتیت، کلسیت و کوارتز کانی‌های مهم و اصلی اسکارن در شمال غرب کبیرکوه هستند.

کلینوپیروکسن

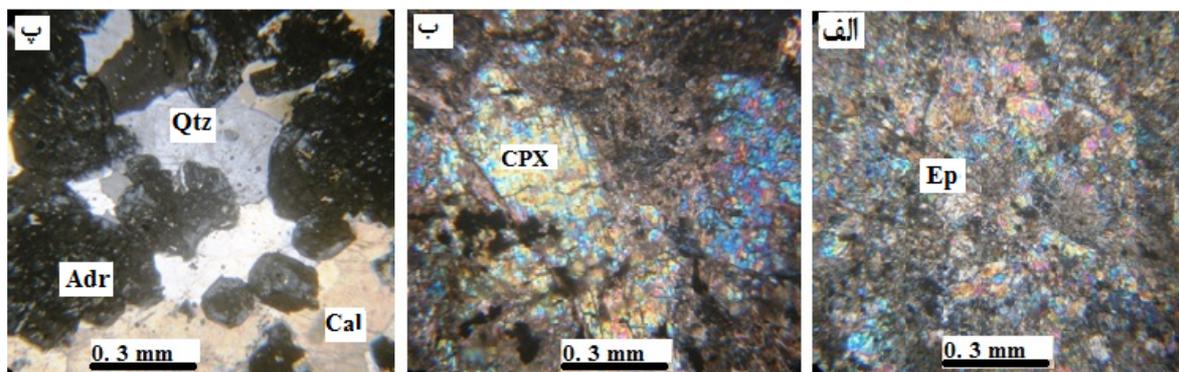
کلینوپیروکسن در مقاطع نازک و نور قطبیده‌ی طبیعی به رنگ سبز تیره دیده می‌شوند و غالباً در مجاور بلورهای گارنت به صورت هم‌رشدی با آنها دیده می‌شوند. بلورهای کلینوپیروکسن غالباً در اثر واکنش‌های هم‌رشدی و دگرسانی تخریب شده و بقایای آن به رنگ سبز و با زاویه‌ی خاموشی زیاد و دوشکستی تقریباً شدید قابل تشخیص است (شکل ۴ ب). کلینوپیروکسن-های اسکارن کبیرکوه به سری محلول جامد دیوپسید-هدنبرژیته وابسته‌اند. درصد مول هدنبرژیت از ۴۸/۵۴ تا ۶۷/۲۵ متغیر است که بیش از ۵۵ درصد هدنبرژیت دارند (جدول ۱).

مرمرها در نمونه‌ی دستی به رنگ کرم متمایل به سفید شیری و بافت دانه شکری دیده می‌شوند که غالباً لایه‌بندی نشان می‌دهند. وجود شکستگی و ریز گسل‌ها در این سنگ‌ها موجب جابه‌جایی عرضی نوارهای آهک دگرگون (مرمر) شده‌اند و در نهایت این شکستگی‌ها و رگچه‌ها غالباً توسط کانی کلسیت پر شده‌اند.

اسکارن: اسکارن و کانی‌زایی در مرکز گستره‌ی مورد بررسی و در بخش جنوبی توده‌های گرانیتوئیدی با فاصله‌ی ۱۰۰ تا ۱۵۰ متری از آن واقع شده است (شکل ۱). علیرغم گستردگی نه چندان زیاد اسکارن در این منطقه، ترتیب منطقه‌بندی مشخصی را نشان می‌دهند که شامل آمفیبول-اپیدوت اسکارن، گارنت-اپیدوت اسکارن و پیروکسن-اپیدوت اسکارن می‌شوند (شکل ۳). گارنت، کلینوپیروکسن، اپیدوت، آمفیبول،



شکل ۳ نمای از منطقه‌های اسکارنی منطقه شمال غربی کبیرکوه، دید از جنوب غربی به شمال شرقی.



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی از کانی‌های اسکارن در نور XPL. الف) اپیدوت (Ep) با رنگ تداخلی متغیر. ب) بلورهای کلینوپیروکسن (Cpx) دگرسان شده (پ) بلورهای گارنت (Adr) در زمینه‌ای از کوارتز (Qtz) و کلسیت (Cal) اقتباس از [۶].

جدول ۱ نتایج تجزیه پیکروکسن‌های منطقه کبیرکوه به روش ریز پردازش الکترونی (EPMA) (برحسب %wt).

Sample	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
SiO ₂	۵۲٫۱۰	۵۲٫۱۸	۵۲٫۴۰	۵۲٫۳۶	۵۲٫۵۰	۵۲٫۹۲	۵۱٫۱۶	۵۱٫۳۴	۵۰٫۹۹	۵۰٫۷۳
TiO ₂	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۵
Al ₂ O ₃	۰٫۲۳	۰٫۰۰	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۲۰	۰٫۲۶	۰٫۲۰	۰٫۰۰	۰٫۱۹
FeO	۱۷٫۷۳	۰٫۰۰	۱۷٫۷۶	۱۷٫۲۶	۱۷٫۰۰	۱۷٫۴۴	۱۸٫۳۸	۱۷٫۸۵	۰٫۰۰	۱۷٫۴۵
MnO	۰٫۸۵	۰٫۰۰	۰٫۵۵	۰٫۷۳	۰٫۷۳	۰٫۷۸	۰٫۸۱	۰٫۷۷	۰٫۰۰	۰٫۷۱
MgO	۷٫۶۵	۰٫۰۰	۷٫۲۱	۷٫۸۴	۷٫۸۱	۷٫۷۴	۷٫۵۶	۷٫۶۵	۰٫۰۰	۷٫۵۱
CaO	۲۳٫۴۱	۰٫۰۰	۲۳٫۸۶	۲۳٫۳۴	۲۳٫۴۷	۲۳٫۵۱	۲۲٫۹۱	۲۳٫۳۴	۰٫۰۰	۲۳٫۲۹
Na ₂ O	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۵۰
TOTAL	۱۰۲٫۰۰	۰٫۰۰	۱۰۲٫۰۰	۱۰۱٫۹۰	۱۰۲٫۱۰	۱۰۰٫۶۰	۱۰۱٫۲۰	۱۰۱٫۳۰	۰٫۰۰	۱۰۰٫۰۰
بر مبنای ۱۶ اکسیژن										
Si	۱٫۹۹	۰٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۱٫۹۸	۱٫۹۸	۱٫۹۹	۰٫۰۰	۱٫۹۹
Al ^(IV)	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Al ^(VI)	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Ti	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰
Fe ⁺²	۰٫۵۷	۰٫۰۰	۰٫۵۷	۰٫۵۵	۰٫۵۴	۰٫۵۷	۰٫۶۰	۰٫۵۸	۰٫۰۰	۰٫۵۷
Mn	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۲
Mg	۰٫۴۴	۰٫۰۰	۰٫۴۱	۰٫۴۵	۰٫۴۴	۰٫۴۵	۰٫۴۴	۰٫۴۴	۰٫۰۰	۰٫۴۴
Ca										
Mg+Fe+Mn	۱٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۹۹	۱٫۰۲	۱٫۰۱	۱٫۰۴	۱٫۰۶	۱٫۰۴	۰٫۰۰	۱٫۰۳
% Hd	۵۵٫۰۲	۰٫۰۰	۵۶٫۹۹	۵۳٫۹۹	۵۳٫۶۹	۵۴٫۴۷	۲۶٫۲۷	۵۵٫۳۲	۰٫۰۰	۵۵٫۳۱
%Di	42,30	۰٫۰۰	۴۱٫۲۳	۴۳٫۷۰	۴۳٫۹۹	۴۳٫۰۵	۴۱٫۲۲	۴۲٫۲۶	۰٫۰۰	۴۲٫۴۲
%JO	2,68	۰٫۰۰	۱٫۷۸	۲٫۳۱	۲٫۳۲	۲٫۴۸	۲٫۵۰	۲٫۴۲	۰٫۰۰	۲٫۲۸

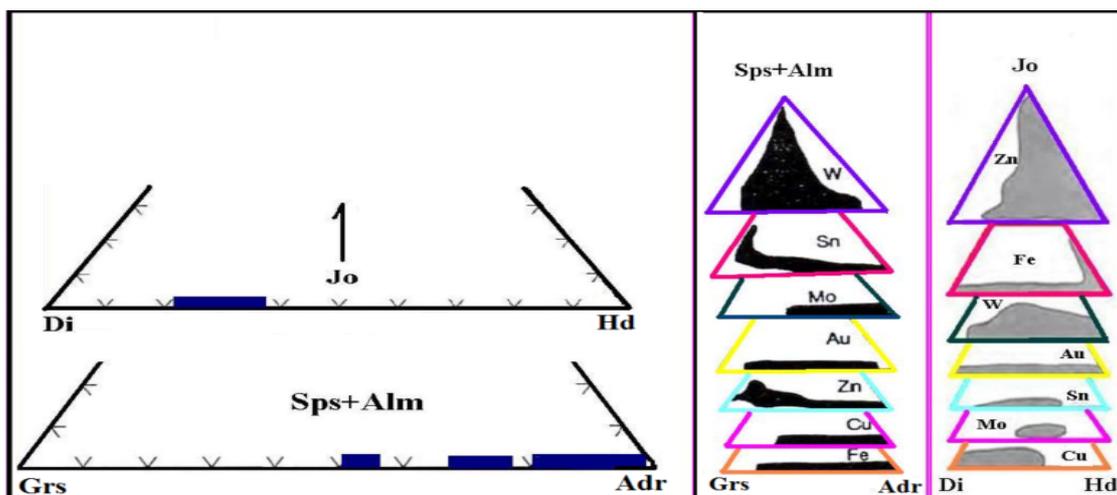
اپیدوت: این کانی معمولی‌ترین کانی آبدار است که معمولاً در همه‌ی منطقه‌های اسکارنی حضور دارد [۱۰، ۱۱]. این کانی در اسکارن کبیرکوه به صورت بلورهای بی‌شکل، فراوان و غالباً همراه با کلینوزویت قابل مشاهده است (شکل ۴ الف) که پس از گارنت‌ها و کلینوپیکروکسن‌ها تشکیل شده است. وجود اپیدوت نشان دهنده‌ی تاثیر محلول‌های آهن‌دار و دگرنهاد با دمای پائین‌تر است [۱۲].

شاره‌های درگیر

از بررسی شاره‌های درگیر تقریباً می‌توان اطلاعاتی از دما، درجه‌ی شوری و فشار آنها در زمان بدام افتادن به دست آورد [۱۳]. بررسی‌های شاره‌های درگیر منطقه‌ی کبیرکوه روی رگه‌های کوارتزی در منطقه‌های اپیدوت اسکارن و گارنت اپیدوت اسکارن و همراه با کانی‌زایی صورت گرفته است.

گارنت: این کانی در نمونه‌های دستی غالباً درشت بلور و همراه با کانی‌های اپیدوت و کلسیت است. گارنت‌ها در نور قطبیده به رنگ قهوه‌ای تا کرم، برجستگی بالا و معمولاً دارای شکستگی هستند که غالباً در زمینه‌ای از کلسیت و کوارتز قرار گرفته‌اند و موجد بافت گرانوبلاستیک می‌شوند (شکل ۴ پ).

ترکیب شیمیایی گارنت‌های مورد بررسی شامل آندرادیت-های تقریباً خالص از ۹۸٫۸۳ تا ۹۹٫۴۵ درصد آندرادیت، گارنت-هایی با ۹۲ درصد آندرادیت، گارنت‌های با ۷۴٫۶۵ تا ۸۱٫۹۲ درصد آندرادیت و گارنت‌های ۵۹٫۴۶ تا ۶۰٫۳۹ درصد آندرادیت هستند (جدول ۲). گارنت‌های منطقه‌ی کبیرکوه روی نمودارهای سه تایی آندرادیت-گروسولار-اسپسارتین و مقایسه آنها با ترکیب گارنت‌های اسکارنی کلسیک آهن دنیا نشان می‌دهد که گستره‌ی ترکیبی آنها در گستره‌ی ترکیبی اسکارن ای آهن و مس دنیا است (شکل ۵) [۸، ۹].



شکل ۵ نمودار توزیع ترکیب تجزیه‌های ریزپردازش الکترونی (EPMA) گارنت و پیروکسن‌های کبیرکوه و مقایسه‌ی آنها با ترکیب گارنت و پیروکسن اسکارن‌های کلسیک آهن دنیا [۷، ۸].

جدول ۲ نتایج تجزیه گارنت‌های منطقه کبیرکوه به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) (برحسب wt.%).

Sample	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
SiO ₂	۳۶٫۶۵	۳۶٫۰۲	۳۶٫۹۵	۳۷٫۲۰	۳۶٫۲۷	۳۷٫۴۳	۳۶٫۸۴	۳۷٫۲۱	۳۶٫۴۶	۳۷٫۲۲
TiO ₂	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۷	۰٫۱۲	۰٫۰۰	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Al ₂ O ₃	۷٫۹۳	۰٫۰۴	۳٫۳۶	۴٫۴۸	۰٫۱۱	۳٫۸۲	۷٫۷۵	۳٫۳۵	۰٫۰۲	۸٫۲۳
FeO	۱۹٫۲۰	۲۸٫۹۲	۲۵٫۷۵	۲۵٫۰۸	۲۸٫۷۳	۲۵٫۷۰	۱۹٫۳۳	۲۵٫۴۲	۲۹٫۱۰	۱۹٫۶۸
MnO	۰٫۴۴	۰٫۰۹	۰٫۳۷	۰٫۲۸	۰٫۱۳	۰٫۳۲	۰٫۴۹	۰٫۳۳	۰٫۱۸	۰٫۴۷
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۰۴
CaO	۳۵٫۰۵	۳۳٫۵۸	۳۳٫۲۹	۳۲٫۹۵	۳۳٫۳۴	۳۳٫۰۶	۳۴٫۸۲	۳۳٫۳۹	۳۳٫۶۷	۳۴٫۷۸
TOTAL	۹۹٫۳۰	۹۸٫۷۰	۹۹٫۹۰	۱۰۰٫۱۰	۹۸٫۷۰	۱۰۰٫۴۰	۹۹٫۳۰	۹۹٫۸۰	۹۹٫۵۰	۱۰۰٫۴۰
بر مبنای ۲۴ اکسیژن										
Si	۵٫۹۹	۶٫۱۴	۶٫۱۱	۶٫۱۰	۶٫۱۷	۶٫۱۲	۶٫۰۲	۶٫۱۵	۶٫۱۵	۶٫۰۰
Al ^(IV)	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al ^(VI)	۱٫۵۱	۰٫۰۱	۰٫۶۶	۰٫۸۷	۰٫۰۲	۰٫۷۴	۱٫۴۹	۰٫۶۵	۰٫۰۰	۱٫۵۶
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe ⁺³	۲٫۳۶	۳٫۷۱	۳٫۲۰	۳٫۰۹	۳٫۶۸	۳٫۱۷	۲٫۳۸	۳٫۱۶	۳٫۷۰	۲٫۳۹
Mn	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۶
Mg	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱
Ca	۶٫۱۳	۶٫۱۳	۵٫۹۰	۵٫۷۹	۶٫۰۷	۵٫۸۱	۶٫۰۹	۵٫۹۱	۶٫۰۹	۶٫۰۰
Al+Fe+Mn	۳٫۹۵	۳٫۷۳	۳٫۹۱	۴٫۰۰	۳٫۷۲	۳٫۹۶	۳٫۹۳	۳٫۸۶	۳٫۷۲	۴٫۰۱
% Gr	۳۸٫۷۰	۰٫۲۲	۱۶٫۷۰	۲۱٫۶۰	۰٫۵۸	۱۸٫۷۰	۳۷٫۹۰	۱۶٫۹۰	۰٫۱۲	۳۸٫۹۰
%Ad	۵۹٫۸۰	۹۹٫۴۰	۸۱٫۹۰	۷۷٫۴۰	۹۸٫۹۰	۸۰٫۲۰	۶۰٫۴۰	۸۱٫۹۰	۹۹٫۲۰	۵۹٫۵۰
%SPs	۱٫۵۴	۰٫۳۶	۱٫۳۴	۰٫۹۷	۰٫۴۹	۱٫۱۳	۱٫۷۲	۱٫۲۱	۰٫۶۸	۱٫۵۹

قابل رده‌بندی می‌شوند. نوع A، شامل دو فاز آبگون و گاز است (شکل ۶ الف) و فراوانی بالاتری نسبت به نوع دیگر شماره‌های

برپایه‌ی سنگ‌نگاری شماره‌های درگیر، کانی کوارتز منطقه‌ی کبیرکوه غربی به دو نوع دو فازی (نوع A) و سه فازی (نوع B)

های درگیر نوع A در جدول ۳ ارائه شده است. در شاره‌های درگیر بررسی شده، تعداد ۴ نمونه دارای دمای یوتکتیک بین ۵۵- تا ۵۶- هستند این حالت نشان دهنده‌ی حضور سیستم $H_2O-CaCl_2$ است، همچنین چند نمونه دارای دمای یوتکتیک در حدود ۵۲- می باشند، این حالت نشان دهنده حضور سیستم نمک $H_2O-NaCl-CaCl_2$ می‌باشد [۱۶]. اختلافات مشاهده شده در دماهای یوتکتیک ممکن است به دو دلیل باشد، دلیل اول رسوب هیدرات‌های ناپایدار و دلیل دوم اندازه‌ی کوچک شاره‌های درگیری مورد بررسی است که می‌تواند در تشخیص شروع و پایان ذوب فازهای مثل هیدروهالیت، و یخ مشکلاتی را ایجاد کند.

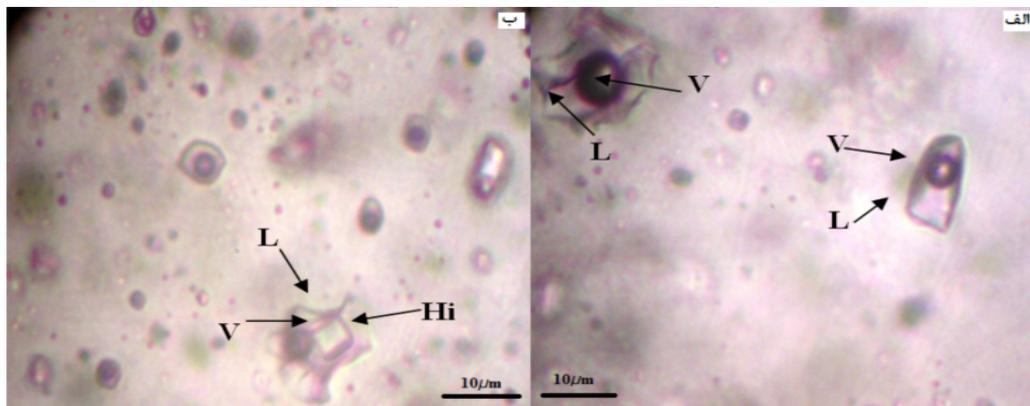
برای محاسبه شوری شاره‌های درگیر دو فازی، استفاده از سیستم آب-کلریدکلسیم ممکن است مناسبتر باشد [۱۴]. به همین دلیل برای تعیین شوری شاره‌های درگیر نوع A از نموداری که برای سیستم‌های دو فازی فاقد بلور نمک ارائه شده، استفاده شده است [۱۴]. شاره‌های درگیر نوع A دارای شوری بین ۱/۶ تا ۱۸/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند که حاکی از شوری پایین تا متوسط آنهاست (جدول ۳). نمودار ستونی مقدار شوری شاره‌های درگیر نوع A در شکل ۷ الف ارائه شده است.

برای تعیین میزان شوری در شاره‌های نوع B از دمای انحلال فاز جامد (هالیت) با بررسی گرمایش استفاده شده است. محاسبه‌ی درجه‌ی شوری با استفاده از فرمول‌ها و جدول‌های ارائه شده توسط [۱۶] برای سیستم دو تایی آب- نمک طعام با در نظر گرفتن مقدار خطا انجام شده است. نتایج اندازه‌گیری و مقادیر درجه شوری در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

درگیر مورد بررسی در منطقه کبیرکوه دارد، به طوریکه بین ۴۴ شاره‌ی درگیر بررسی شده، ۳۱ شاره به نوع A (حدود ۷۰٪) وابسته‌اند. در این نوع بیشتر حجم شاره‌های درگیر را فاز آبگون تشکیل داده است و حجم حباب‌های گازی نسبت به فاز مایع کم و یا ناچیز است. فاز آبگون حدود ۷۰-۸۰ درصد حجم شاره‌ها را تشکیل داده است به عبارتی درجه‌ی پرشدگی (degree of filling) شاره‌ی درگیر زیاد است. تعداد ۴ نمونه (۹/۵٪ کل نمونه‌های بررسی شده) به نوع B وابسته است که دارای ۳ فاز آبگون- جامد- گاز هستند که فاز جامد آنها را هالیت به شکل مکعبی شکل ۶ ب) تشکیل داده است. در نوع B نیز درجه‌ی پرشدگی بالاست، زیرا در این نوع نیز فاز مایع بیشترین حجم را دارد (جدول ۴).

بررسی‌های ریزگرماسنجی: بررسی‌های ریزگرماسنجی در ۲ مرحله‌ی سرمایش یا انجماد و مرحله‌ی گرمایش صورت گرفته‌اند. این بررسی‌ها در $-196^\circ C$, LINKAM(TMS 94), $\pm 0.1^\circ C$ تا $+600^\circ C$ که توانایی ایجاد دمایی بین $-196^\circ C$ تا $+600^\circ C$ را دارد، صورت گرفته است. در بررسی‌های سرمایش شاره‌های درگیر نوع A در کوارتزهای منطقه‌ی کبیرکوه، دمای یوتکتیک (Te) از منفی $32/70^\circ C$ تا منفی $61/10^\circ C$ درجه سانتیگراد است (جدول ۳).

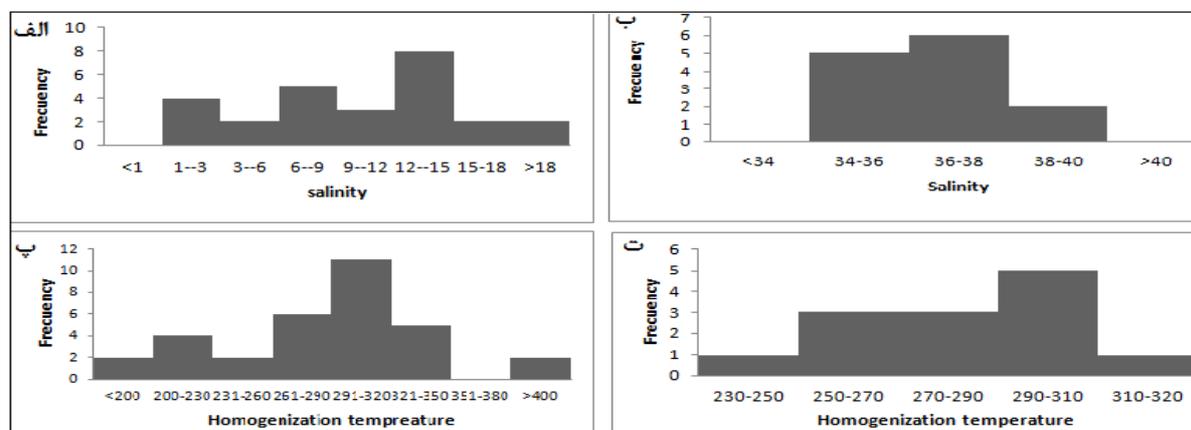
این گستره‌ی دمایی نشان می‌دهد که بررسی این شاره‌ها در کبیرکوه به سادگی با سیستم $NaCl-H_2O$ امکان‌پذیر نیست چون دمای یوتکتیک در این سیستم حدود $-21^\circ C$ درجه-ی سانتیگراد است. بنابراین علاوه بر $NaCl$ ، نمک‌های دیگری در شاره‌ی کانه‌ساز وجود دارد [۱۴، ۱۵]. دمای ذوب‌نهایی آخرین فاز (یخ، هیدروهالیت و یا هیدرات کلسیم) برای شاره-



شکل ۶ تصویر شاره‌های درگیر اولیه (P). الف) شاره‌های نوع A با ۲ فاز مایع و گاز. ب) شاره‌های نوع B با ۳ فاز جامد، مایع و گاز، نور پلاریزه طبیعی.

جدول ۳ مشخصات و نتایج حاصل از بررسی‌های ریزدامسنجی شاره‌های درگیر نوع A در رگه‌های کوارتز، منطقه‌ی شمال غربی کبیرکوه.

شماره نمونه	اندازه (μm)	شکل	فاز	مایع (%)	Te (°C)	Tmi (°C)	Th(V→L) (°C)	شوری
۲۸-۱	۱۰	بدون شکل	V+L	۷۵	-۳۶۷۰	-۳۷۵۰	۳۲۱۵۰	۵۷۰
۲۸-۲	۶	بدون شکل	V+L	۷۵	-۴۵۷۰	-۷۱۲۰	۲۵۸۵۰	۱۰۷۰
۲۸-۳	۶	بدون شکل	V+L	۷۵	-۴۶	-۱۱۲۰	۲۸۴۶۰	۲۱۰
۲۸-۴	۶	بدون شکل	V+L	۸۰	-۴۴۱۰	-۴۷۰	۲۸۶۱۰	۷۴۰
۲۸-۵	۱۰	بدون شکل	V+L	۸۰	-۳۷۵۰	-۱۱۵۰	۳۰۳۰۰	۲۶۰
۲۸-۶	۷	بدون شکل	V+L	۸۰	-۴۶۱۰	-۴۶۰	۲۹۱۲۰	۷۳۰
۲۸-۷	۵	بلورمنفی	V+L	۸۰	-	-	۱۸۸۵۰	-
۲۸-۸	۸	بدون شکل	V+L	۸۰	-۴۱۵۰	-۱۱۲۰	۳۰۹۴۰	۲۱۰
۲۸-۹	۷	بدون شکل	V+L	۸۰	-۳۲۷۰	-۰۸	۲۱۲۰۰	۱۴۰
۲۸-۱۰	۶	بدون شکل	V+L	۷۵	-۴۵۳۰	-۳۳۰	۲۲۸۵۰	۵۴۰
۲۸-۱۱	۶	بدون شکل	V+L	۷۵	-۴۴۹۰	-۴۲۰	۲۴۱۳۰	۶۷۰
۳۲-۴	۱۲	بدون شکل	V+L	۷۵	-۴۹۶۰	-۱۴۲۰	۳۰۸۱۰	۱۸۰۰
۳۲-۵	۷	بدون شکل	V+L	۷۰	-۴۷۳۰	-۹۶۰	۳۲۲۵۰	۱۳۵۰
۳۲-۶	۱۶	بدون شکل	V+L	۷۵	-۵۳۷۰	-۱۴۶۰	۲۸۳۱۰	۱۸۳۰
۳۲-۷	۱۰	بدون شکل	V+L	۸۰	-۴۹۸۰	-۷۶۰	۲۸۶۴۰	۱۱۲۰
۳۲-۸	۱۶	بدون شکل	V+L	۷۵	-۵۱۰۰	-۱۲۶۰	۳۰۰۰۰	۱۶۵۰
۳۲-۹	۸	بدون شکل	V+L	۷۵	-۴۹۸۰	-۱۵۰۰	۳۰۸۱۰	۱۸۶۰
۳۲-۱۰	۱۴	بدون شکل	V+L	۷۵	-۵۳۷۰	-۸۷۰	۲۹۲۱۰	۱۲۵۰
۳۲-۱۲	۱۰	بدون شکل	V+L	۷۵	-۵۵۸۰	-۶۰۰	۱۹۴۱۰	۹۲۰
۴۵-۱	۷	بدون شکل	V+L	۷۰	-۵۵۳۰	-۱۰۴۰	۴۵۲۸۰	۱۴۴۰
۴۵-۵	۲۰	بدون شکل	V+L	۸۰	-۵۶۱۰	-۱۰۲۰	۲۳۰۰۰	۱۴۱۰
۴۵-۶	۱۶	بدون شکل	V+L	۸۰	-۴۷۳۰	-۸۹۰	۳۱۳۱۰	۱۲۷۰
۴۵-۷	۱۲	بلورمنفی	V+L	۸۵	-۴۸۶۰	-۱۰۲۰	۲۷۶۰۰	۱۴۱۰
۴۵-۱۱	۱۲	بدون شکل	V+L+An	۸۰	-۵۲۶۰	-۱۰۲۰	۳۲۸۰۰	۱۴۱۰
۴۵-۱۲	۶	بدون شکل	V+L	۴۰	-۶۱۱۰	-۸۶۰	>۵۰۰	۱۲۴۰
۴۵-۱۳	۶	بدون شکل	V+L	۸۰	-	-	۲۳۰۰۰	-
۴۵-۱۴	۶	بدون شکل	V+L	۸۰	-	-	۲۶۵۵۰	-
۴۵-۱۵	۶	بدون شکل	V+L	۸۰	-	-	۲۹۰۸۰	-



شکل ۷ الف) نمودار ستونی مقداری شوری شاره‌های درگیر نوع A، ب) نمودار ستونی مقداری شوری برای شاره‌های درگیر نوع B، پ) نمودار ستونی دمای همگنی برای شاره‌های درگیر نوع A، ت) نمودار ستونی دمای همگنی شاره‌های درگیر نوع B.

جدول ۴ مشخصات و نتایج حاصل از بررسی‌های ریزدماسنجی شاره‌های درگیر نوع B در رگه‌های کوارتز، منطقه‌ی کبیرکوه غربی.

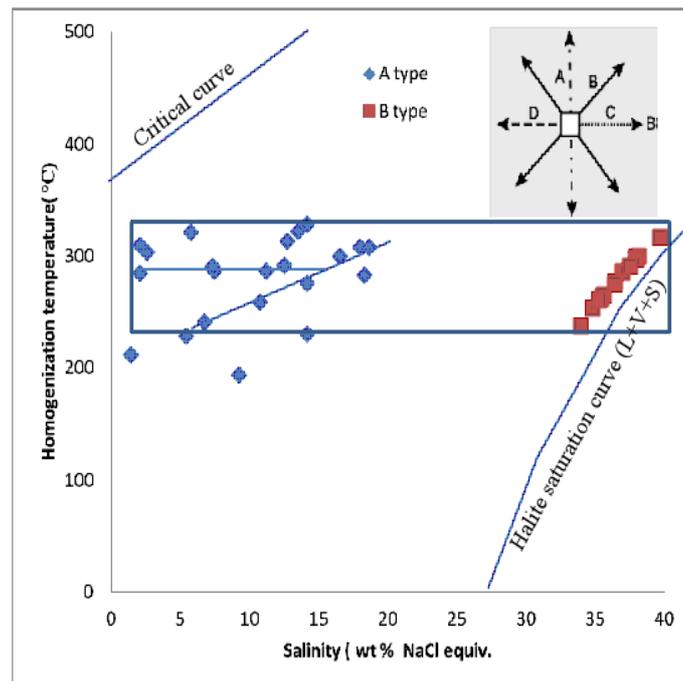
شماره نمونه	اندازه (μm)	شکل	فاز	مابع (%)	Th(V→L) ($^{\circ}\text{C}$)	Th-HI ($^{\circ}\text{C}$)	شوری
۳۲-۱	۱۶	بدون شکل	V+L+HI	۸۰	۲۳۹,۲۰	۲۹۸,۸۰	۳۸
۳۲-۲	۲۰	بدون شکل	V+L+HI	۷۰	۲۱۹,۵۰	۲۶۲,۸۰	۳۵,۵۰
۳۲-۳	۱۶	بدون شکل	V+L+HI	۶۰	۲۱۲,۴۰	۲۵۳,۴۰	۳۴,۸۰
۳۲-۱۱	۱۰	بدون شکل	V+L+HI	۷۵	۲۱۶,۷۰	۲۶۵,۴۰	۳۵,۶۰
۳۲-۱۳	۷	بدون شکل	V+L+HI	۷۰	۲۴۹,۴۰	۳۰۰,۱۰	۳۸,۲۰
۳۲-۱۴	۱۰	بدون شکل	V+L+HI	۸۰	۲۳۱,۳۰	۳۱۷	۳۹,۷۰
۳۲-۱۵	۸	بدون شکل	V+L+HI	۸۰	۲۲۱,۵۰	۲۹۶,۸۰	۳۸
۴۵-۲	۸	بدون شکل	V+L+HI	۷۰	۲۵۶,۶۰	۲۸۵,۶۰	۳۷
۴۵-۳	۱۲	بدون شکل	V+L+HI	۸۰	۲۰۶,۲۰	۲۷۶,۵۰	۳۶,۵۰
۴۵-۴	۱۴	بدون شکل	V+L+HI	۷۰	۱۸۶,۷۰	۲۷۵,۲۰	۳۶,۴۰
۴۵-۸	۱۴	بدون شکل	V+L+HI	۸۰	۲۳۸,۳۰	۲۹۱,۲۰	۳۷,۵۰
۴۵-۹	۲۰	بدون شکل	V+L+HI	۹۰	۱۸۱,۷۰	۲۳۷,۵۰	۳۴
۴۵-۱۰	۱۶	بدون شکل	V+L+HI	۸۵	۱۷۸,۸۰	۲۶۰,۵۰	۳۵,۳۰

ولی شوری نوع B به صورت قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نوع A و از ۳۴ تا ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. شوری شاره‌های درگیر نوع A از ۲ تا ۱۹ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است بنابراین بررسی‌های گرماسنجی نیز حاکی از چرخش دو نوع شاره‌ی متفاوت در منطقه مورد بررسی است.

برای تفسیر تکامل شاره‌های درگیر از شکل ۸ استفاده می‌شود [۱۶]. در این شکل دو منحنی وجود دارد که منحنی بالایی منحنی بحرانی و دیگری منحنی اشباع هالیت است. همه‌ی نمونه‌های مورد بررسی بین این دو منحنی قرار می‌گیرند که دلیل آن می‌تواند به خاطر اختلاط آب‌های با شوری بالا و کم و یا به خاطر جوشش گرمابهایی با شوری زیر ۱۰ درصد باشد [۱۴]. در گوشه‌ی بالایی سمت راست در شکل ۸ مسیرها یا جهت‌هایی نشان داده شده که رفتار گرمابها را می‌توان با استفاده از داده‌های دماسنجی به دست آمده برای شاره‌های درگیر تفسیر کرد [۱۴]. مسیر A که شوری ثابت و دما متغیر است، ممکن است به دلیل نشت و دم بریدگی و یا کاهش ساده دما باشد. مسیر B که دما ثابت ولی شوری تغییر می‌کند و نمونه‌های مورد بررسی تا حدی نیز چنین حالتی را نشان می‌دهند، و ممکن است به موجب اختلاط آب‌هایی با شوری کاملاً متفاوت باشد.

درجه‌ی شوری شاره‌های درگیر نوع B از ۳۴ تا ۳۹ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. مقادیر درجه‌ی شوری از نظر آماری در شکل ۷ ب نمایش داده شد. برای تعیین دمای همگن برای هر دو نوع شاره‌ی درگیر مورد بررسی از آزمایش گرمایش استفاده شده است. چنانکه در جدول ۳ نشان داده شد دمای همگنی شاره‌های نوع A از ۱۸۸ تا ۳۳۹ درجه‌ی سانتیگراد متغیر است، فقط دو آنالیز، دمای بالاتری را نشان می‌دهند. نمودار ستونی دمای همگنی در شکل ۷ پ نمایش داده شده است.

از آنجاکه این دو داده اختلاف زیادی با بقیه داده‌ها دارد و علت آن ممکن است نشت شاره و یا خطای تشخیص هنگام گرمایش باشد، در تفسیرها ملاحظه نمی‌شوند. همگنی کامل شاره‌های درگیر نوع B غالباً با انحلال هالیت رخ می‌دهد و دمای آن از ۲۳۷ تا ۳۰۰ درجه‌ی سانتیگراد است (جدول ۴). با بررسی آماری این آزمایش‌ها می‌توان دمای همگن شدن را برای شاره‌های درگیر بین ۲۰۰ تا ۳۴۰ درجه‌ی سانتیگراد در نظر گرفت (شکل ۷ ت). چنانکه در جدول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، شاره‌های درگیر نوع A در گستره‌ی دمایی و شوری گسترده‌ای شکل می‌گیرند و می‌توان گفت که دارای شوری و دمای پایین تا متوسط هستند. دمای همگنی در شاره‌های درگیر نوع B تقریباً در گستره‌ی دمای همگنی شاره‌های درگیر نوع A است



شکل ۸ نمودار دمای همگنی در مقابل مقدار شوری شاره‌های درگیر در کانی کوارتز همراه با کانی‌زایی، شمال غربی کبیرکوه.

در نهایت، بر اساس دماهای همگن شدن محاسبه شده، منطقی به نظر می‌رسد که گرماب‌های با شوری بالا را مسئول کانه‌زایی آهن و مس در منطقه کبیرکوه دانست.

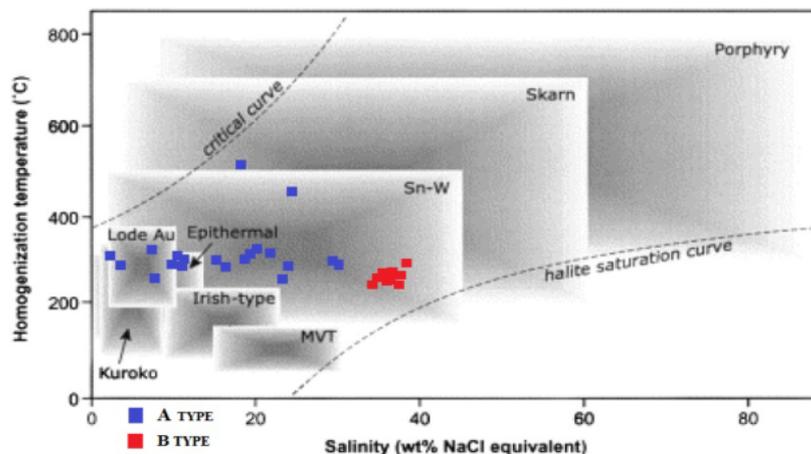
اسکارن زایی

بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، اسکارن‌زایی در منطقه کبیرکوه بخشی از رخداد دگرگونی مجاورتی، دگرنهادی و فعالیت گرمابی وابسته به نفوذ گرانیوتوئید کبیرکوه است. رخداد دگرگونی مجاورتی در کبیرکوه شامل دو مرحله اصلی متامورفیک می‌شود. اسکارن‌ها بیشتر در مرحله دگرنهادی تشکیل شدند که خود به دو مرحله اسکارن پیشرونده و اسکارن پسرونده قابل رده‌بندی هستند. بعضی از گارنت‌ها ممکن است وابسته به مرحله دگرگونی باشند.

مرحله اسکارن پیشرونده با کانی‌های بی آب آندرادیت و دیوپسید- هندنبرژیت قابل تشخیص است. از آنجا که شاره‌های درگیر در این کانی‌ها قابل بررسی نبودند امکان ارزیابی دقیقی از دمای تشکیل آنها نبود دمای همگنی شاره‌های درگیر در رگه‌های کوارتز مورد بررسی نیز فقط مربوط به مرحله پسرونده (حداکثر ۳۴۰ درجه سانتیگراد) وابسته است که با در نظر گرفتن بیشترین، فشار و دمای تشکیل می‌تواند بالاتر باشد. بنابراین دمای تشکیل اسکارن پیشرونده باید بالاتر از ۳۵۰ درجه باشد.

مسیر C، که برای هر دو نوع شاره محتمل‌ترین شرایط برای نمونه‌های مورد بررسی است نشان دهنده اختلاط آب‌های گرم با شوری بالاتر با آب‌های رقیق‌تر و سرد است.

رابطه‌ی شوری و دما در این مسیر مثبت است و در نهایت مسیر D که رابطه‌ی معکوسی از دما و شوری را نشان می‌دهد حاکی از جوشش با کاهش دماست که نمونه‌های مورد بررسی چنین روندی را نشان نمی‌دهند. با توجه به دو پارامتر شوری و دمای همگن شدن که از طریق شاره‌های درگیر حاصل می‌شود، می‌توان ارتباط بین شاره‌های درگیر و نوع کانه‌زایی را مشخص کرد. در شکل ۹ شاره‌های نوع B کاملاً در گستره‌ی اسکارن قرار می‌گیرد، بنابراین شاره‌های نوع A نیز باید به شاره‌های نوع B وابسته باشد. دمای و شوری شاره‌های درگیر نوع A حاکی از ورود آب‌های جوی در محیط کانی‌زایی است و نشان می‌دهد که در محیط‌های اسکارنی و در مرحله‌ی پسروی آب‌های جوی، بخش بزرگی از محلول‌های گرمابی را تشکیل می‌دهند. درجه‌ی شوری شاره‌های نوع B با آب‌های ماگمایی در سیستم‌های اسکارن سازگاری دارد ولی دمای آن کمتر از ۴۰۰ درجه‌ی سانتیگراد و کمتر از دمای تشکیل معمول اسکارن‌های مرحله‌ی پیشرونده است. بنابراین دمای همگنی شاره‌های درگیر نوع A و نوع B با دماهایی که برای مرحله‌ی پسرونده گزارش شده است، همخوانی دارد.

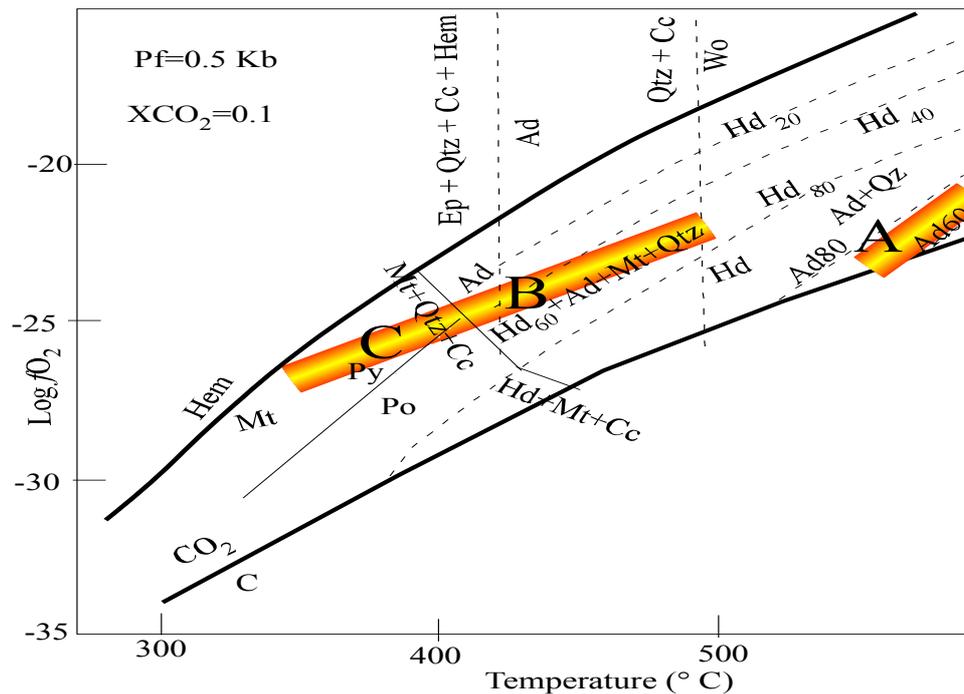


شکل ۹ نمودار درجه‌ی شوری نسبت به درجه‌ی همگن شدن شاره‌های درگیر در کانی کوارتز همراه با کانی‌زایی در کبیرکوه غربی [۱۷].

دمای کمتر از ۵۲۰ درجه تشکیل شده‌اند و با توجه به همراهی آنها با کلینوپیروکسن‌هایی که حاوی ۵۵ مول درصد هیدرژنیت هستند، می‌توان شرایط تشکیل آن را محدودی B در شکل ۱۰ در نظر گرفت. برای تشکیل گارنت و پیروکسن در سیستم‌های اسکارنی واکنش‌های زیادی ارائه شده‌اند [۸، ۱۹] که بعضی از آنها در شکل ۱۰ در دو طرف خطوط تعادلی آورده شده است.

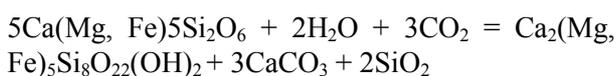
از آنجاکه کانی‌های اسکارنی یاد شده به صورت محلول جامد هستند، شیمی آنها تابع شرایط فیزیوشیمیایی محیط تشکیل است به طوریکه مقدار آهن دوظرفیتی در کلینوپیروکسن‌ها با گریزندگی اکسیژن رابطه‌ی وارون دارد بنابر شکل ۱۰) آنداردیت‌های تقریباً خالص دارای گستره‌ی پایداری گسترده‌ای است و غالباً در گریزندگی بالاتر اکسیژن تشکیل می‌شود و با کاهش گریزندگی اکسیژن و افزایش دما کسر مولی گروسولار در آن افزایش می‌یابد. همچنین کلینوپیروکسن‌هایی که کسر مولی دیوپسید نسبت به هیدرژنیت در آنها بیشتر است در گریزندگی اکسیژن بالاتری تشکیل می‌شوند [۸، ۱۹]. با توجه به ترکیب کلینوپیروکسن‌ها، اسکارن پیشرونده در منطقه کبیرکوه در شرایط گریزندگی حدواسط اکسیژن تشکیل شده‌اند. در شکل ۱۰ مرحله‌ی متامورفیک با A و اسکارن پیشرونده و اسکارن پسرونده از مرحله دگرگونی به ترتیب با B و C مشخص شده است. تشکیل آمفیبول، اپیدوت و کلسیت، شاخص اسکارن مرحله‌ی پسرونده است. با کاهش تدریجی دما، محلول‌های ماگمایی با آب‌های جوی با دمای پایین مخلوط شده و موجب دگرسانی سیلیکات‌های آهک بدون آب می‌شوند.

کانی ولاستونیت در این مرحله از اسکارن‌زایی یافت نشد که ممکن است ناشی از پایین بودن نسبت SiO_2 به Fe_2O_3 (کمتر از ۳ برابر) در محلول‌های گرمایی باشد [۱۸]. ولاستونیت غالباً در دماهای بالا و در هاله‌ی دگرگونی مجاورتی تشکیل می‌شود به طوریکه با حداقل مقدار دی‌اکسیدکربن در شاره، دمای تشکیل آن بالاتر از حدود ۵۲۰ درجه است [۱۸]. بنابراین نبود آن در نمونه‌های اسکارنی کبیرکوه می‌تواند نشانگر تشکیل مجموعه‌ی آندرادیت و هیدرژنیت در دمای کمتر از ۵۲۰ درجه-ی سانتیگراد باشد [۱۹]. عوامل زیادی در تشکیل و پایداری کانی‌های اسکارنی در سنگ‌های کربناتی دخالت دارند که می‌توان به دما، فشار، غلظت دی‌اکسید کربن در شاره، گریزندگی اکسیژن و گوگرد و غیره اشاره کرد [۸، ۱۹]. با توجه به اینکه درجه‌ی دگرگونی مجاورتی در منطقه‌ی مورد بررسی شدید نیست می‌توان فشار را معادل فشار تشکیل اسکارن در شمال غربی کبیرکوه را معادل فشار شاره و حدود ۵۰۰ بار فرض کرد. معمولاً برای تفسیر محیط فیزیوشیمیایی سامانه‌های اسکارنی، فشار حدود ۰/۵ تا یک کیلوبار فرض می‌شود [۸، ۱۹]. همچنین به دلیل عدم وجود فاز دی‌اکسید کربن (به طور مستقل) در شاره‌های درگیر مورد بررسی غلظت آن پایین و برابر با ۰/۱ فرض می‌شود. با توجه به فرضیات بالا می‌توان شرایط تشکیل اسکارن را در شمال غربی کبیرکوه در نمودار دما-گریزندگی اکسیژن نشان داد (شکل ۱۰). گارنت‌هایی که محلول جامدی از گروسولار و آندردیت هستند احتمالاً بقایایی از مرحله دگرگونی محسوب می‌شوند که در دمای بالاتری تشکیل شده‌اند (گستره‌ی A در شکل ۱۰). گارنت‌ها که تقریباً آندرادیت خالص محسوب می‌شوند در مرحله اسکارن پیشرونده و در

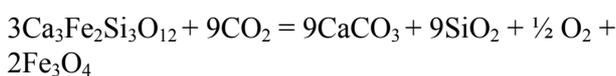


شکل ۱۰ روابط پایداری کانی‌های اسکارنی در نمودار دما - گریزندگی اکسیژن. B گستره‌ی تشکیل اسکارن پیش‌رونده و C گستره‌ی تشکیل اسکارن پسروده را نشان می‌دهند. بعضی از گارنت‌ها که محلول جامدی از آندرادیت-گروسولار هستند حاوی ۶۰ درصد آندرادیت هستند که فقط در شرایطی که با A نشان داده شده، قابل تفسیر هستند. Ad=andradite, Hd=Hedenbergite, Wo=wollastonite, Mt=magnetite, Py=pyrite, Po=pyrrhotite (مرزها از [۷، ۱۸]).

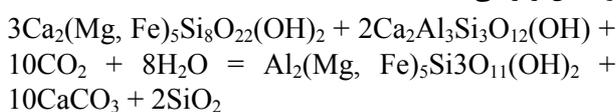
زوئیزیت و کلینوزوئیزیت نیز همراه با اپیدوت‌ها در مرحله پسروده تشکیل شده‌اند. احتمالاً با کاهش بیشتر دما اکتینولیت‌های رشته‌ای در اثر دگرسانی پیروکسن‌ها و طی واکنش زیر حاصل شده‌اند [۲۱].



همچنین با کاهش دما مجموعه کانی‌های مگنتیت، کلسیت و کوارتز از دگرسانی آندرادیت حاصل می‌شوند [۱۹]. در شکل ۶ پ تبدیل گارنت به کوارتز، کدر (مگنتیت) و اپیدوت نشان داده شده است.

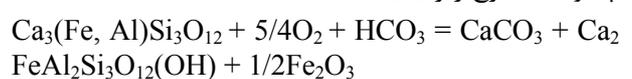


مجموعه کانیایی کلریت، کلسیت و کوارتز نیز در اواخر مرحله پسرودی تشکیل شده‌اند. تشکیل این کانی‌ها احتمالاً در اثر واکنش زیر می‌باشد [۲۱].



در این مرحله ناپایداری همبافت‌های کلریدی آهن‌دار بیشتر شده و سبب نهشت کانه‌های اکسیدی (مگنتیت) شده است. مگنتیت که مهمترین و فراوان‌ترین کانه‌ی تشکیل دهنده‌ی کبیرکوه است، دارای بافت جانیشینی و حاصل دگرسانی و جانیشینی گارنت نوع آندرادیت است.

اپیدوت فراوان‌ترین فراورده‌ی دگرسانی گارنت در مرحله پسروده در کبیرکوه است، به طوری که در تعدادی از نمونه‌های وابسته به منطقه‌ی اپیدوت اسکارن به ویژه در منطقه‌ی کبیرکوه غربی تقریباً تمام گارنت‌ها به اپیدوت و به مقدار کمتر به کانی‌های کدر (مگنتیت) دگرسان شده‌اند. در محیط‌های اکسایش و بافر شده با آب، اپیدوت فراوان است و دگرسانی گارنت به اپیدوت در دمای بالایی شروع می‌شود (۴۰۰ تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد) [۲۰] همچنین اپیدوت اسکارن در اسکارن‌های مس اکسایش معمولاً فراوان‌ترست و واکنش گارنت به اپیدوت به شرح زیر [۷] است.



[۲] سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "پروژه پیمایی جویی به روش اکتشاف ژئوشیمیایی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ محدوده اکتشافی زوزن II (واقع در ورقه یکصد هزارم زوزن)"، (۱۳۸۶).

[۳] سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "نقشه ژئوفیزیک هوایی (مغناطیس هوایی) ۱/۲۵۰۰۰۰ گناباد"، (۱۳۷۹).

[۴] بلوریان غ.، صفری م.، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زوزن"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۴).

[۵] سلاطی ا.، کریم پور م.ح.، مرادی نقندر م.، "کانی شناسی، آلتراسیون و اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده غرب کبیرکوه (خواف)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۹۰)، ۶۵ صفحه.

[۶] زنگنه قاسم آبادی م.، "زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی توده های مگنتیتی و سنگ میزبان آنها در بخش غربی و مرکزی کبیرکوه، جنوب غربی خواف، شرق ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، (۱۳۹۰)، ۲۲۲ صفحه.

[۷] بومری م.، زنگنه قاسم آبادی م.، بیابانگرد ح.، "سنگ نگاری و ژئوشیمی بخش شمال غربی توده های گرانیتوئیدی زوزن، جنوب غربی خواف (جنوب شرق خراسان رضوی)"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۴ (۱۳۹۲)، ص ۶۴۸-۶۳۷.

[8] Einaudi M.T., Mienert C.D., Newberry R., "Skarn deposits", 75th Anni of Economic Geology, (1981) 317-391.

[9] Meinert L.D., "Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog mine, central mining district, New Mexico", Economic Geology 82(1987) 523- 545.

[10] Deer W.A., Howie R.A., Zussman j., "An introduction to the rock forming minerals", 1st.Edition. Longman London (1992) 543-545.

[11] Zulfiqar A., Hariri M., "Formation and mineral chemistry of a calcic skarn from Al-Madhiq, SW Saudi Arabia", (2004) 187-201.

[12] Shimizuki H., "Characteristics of skarn deposits and related acid magmatism in Japan", Economic geology 75 (1980) 173-183.

و بالاخره در آخرین مرحله از روند تکاملی اسکارن زایی و کانی-زایی، از دگرسانی مجموعه کانیایی بالا به ویژه مگنتیت، اکسیدهای آهن آبدار از جمله هماتیت و لیمونیت تشکیل شده اند. هماتیت و لیمونیت، محصول فرایندهای اکسایش است. هماتیت در اثر دگرسانی و هوازدگی مگنتیت به وسیله ی آب-های جوی، طی فرایندهای مارتیتیزاسیون حاصل شده است. در اثر این فرآیند که پس از سرد شدن توده ی نفوذی و همزمان با هجوم شاره های با دمای پائین رخ می دهد، کانه ی مگنتیت روی رخ ها و درزهای خود به هماتیت تبدیل می شود [۲۲] اکسایش مگنتیت به هماتیت در منطقه ی کبیرکوه به مقدار بسیار کم (حدود یک درصد از مگنتیت) و بیشتر در بخش های سطحی کانسار قابل مشاهده است.

برداشت

نفوذ توده ی گرانیتوئیدی به درون آهک های کرتاسه زیرین باعث تشکیل اسکارن نوع کلسیمی و کانی زایی آهن در شمال غربی کبیرکوه شده است. گارنت های نوع آندرادیت و کلینوپروکسن های سری دیوپسید-هدنبرژیت کانی های غالب بی آب واپیدوت و اکتینولیت کانی های آبدار در این منطقه هستند. مقایسه ی ترکیب کانی های گارنت و پروکسن در اسکارن کبیرکوه با برخی از کانسارهای اسکارن کلسیک دنیا نشان داد که این کانی های اسکارنی شباهت نزدیکی با گارنت و پروکسن های اسکارن نوع آهن و مس دار دارد. نتایج حاصل از بررسی های شاره های درگیر نیز نوع کانی زایی را از نوع اسکارن مشخص می کند. دو نوع شاره در گستره ی مورد بررسی حضور داشته اند. نوع A با شوری کم تا متوسط که احتمالاً نشان دهنده ی آب های جوی است، و نوع B با شوری بالا که احتمالاً از ماگما ریشه گرفته و در کانی زایی آهن نقش اصلی را داشته است. اسکارن های تشکیل شده در کبیرکوه در دو مرحله ی پیشرونده و پسرونده از دمای ۵۲۰ درجه تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و در شرایط گریزندگی اکسیژن حد واسط تا بالای از آب های ماگمایی و جوی تشکیل شده اند.

مراجع

[۱] آقا نباتی ع.، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۸۳).

- [۱۸] مر ف.، شریفی ر.، "پاراژنز کانیها، کلید تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی و دمای اسکارن زایی، بررسی موردی منطقه ی محمد آباد خوت، جنوب غربی یزد"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۸۸) شماره ۱، ص ۱۴۷.
- [19] Einaudi M.T., Burt D.M., "Introduction, terminology, classification and composition of skarn deposits", *Economic Geology* 77(1982)745-753.
- [20] Meyers, "Characteristics of skarn deposits and related acid magmatism in Japan", *Economic geology* 75 (1980) 173-183.
- [21] Zharikov V.A., "Skarn: International Geology Review", 12(1970), P.541-559, 619-647, 760-775.
- [22] Romdohr P., "The ore mineral and their intergrowth", 2nd Ed., Pergoman Press, (1980) 1207p.
- [13] Goldstein R.H., "Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems", *Lithos* 55(2001) 159–192 .
- [14] Shepherd T., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Partical Guide to Fluid Inclusion Stadies", Blackie, USA Chapman and Hall NewYork(1985) 239p.
- [15] Viti C., Frezzotti M.-L., "Transmission electron microscopy applied to fluid inclusion investigations", *Lithos* 55(2001)125-138.
- [16] Bodnar R.J., "Systhetic fluid inclusions: Anovel technique for experimental water-rock studies", *Proceedings of the 6th international water-rock symposium* (1989) 99-102.
- [17] Wilkinson J.J., "Fluid_inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos* 55 (2001) 229-272.