دانشگاه تبریز

دانشکده علوم طبیعی

گروه زمین‌شناسی

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته زمین‌شناسی گرایش زمین‌شناسی اقتصادی

عنوان:

مطالعه کانی شناسی، دگرسانی و تحولات متاسوماتیکی ذخیره اسکارن پهناور (شرق سیه رود)

۱۳۸۱ /۸/ ۲۷

استاد راهنما:

دکتر علی اصغر کلاگری

اساتید مشاور:

دکتر علیرضا کریم‌زاده

دکتر محسن مؤذن

پژوهشگر:

کمال سیاه چشم

۶۱۴۲۷

شهریور ماه ۱۳۸۱

شماره ۵۰

تقدیم به:

مادرم،

مادری که محبت بی دریغش

همراه زندگی ام بوده و هست

پدرم،

او که نماد راستین فداکاریست

و

تقدیم به:

خانواده عزیزم،

که قدردانشان خواهم بود.

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس خدا وند یکتا را که توفیق اتمام این پایان‌نامه را به این حقیر ارزانی کرد.

وظیفه خود می‌دانم که نهایت سپاس و امتنان قلبی خود را به محضر استاد ارجمند و معلم علم و اخلاق جناب آقای دکتر علی اصغر کلاگری تقدیم دارم چرا که بدون راهنمائیهای علمی ارزنده و حمایت‌های معنوی بی‌دریغ ایشان ، انجام این مهم برای این حقیر بس دشوار بود. ضمناً از زحمات اساتید مشاور این پروژه ، آقایان دکتر علیرضا کریم زاده و دکتر محسن مؤذن تشکر و قدردانی می‌کنم.

مراتب سپاس خود را به کلیه‌ی اساتید و اعضای هیات علمی دپارتمان زمین شناسی که در طول مدت تحصیلم از وجودشان کسب فیض نموده‌ام، علی‌الخصوص آقایان دکتر ملک قاسمی، دکتر جهانگیری و دکتر مؤید تقدیم می‌کنم.

از جناب آقای مهندس خدابنده، کارشناس محترم سازمان زمین شناسی شمالغرب کشور به خاطر در اختیار گذاشتن اطلاعاتی سودمند راجع به منطقه‌ی مورد مطالعه قدردانی می‌کنم.

از پرسنل محترم دپارتمان زمین‌شناسی و دانشکده‌ی علوم طبیعی آقایان جهانیار، سالک سپهر،ارکانی،مسیب‌زاده و پرسنل محترم کتابخانه دانشکده علوم طبیعی سرکار خانم حسینعلی زاده، زرندی و آقای محمدی تشکرمی کنم.

از جناب آقای مهندس علی عابدینی که در مراحل مختلف پایان‌نامه به ویژه عملیات صحرایی اینجانب را یاری نموده‌اند، سپاسگزاری می‌کنم.

از دوستان و سروران بسیار عزیزم، آقایان احمدزاده، آهین، یزدانستا، سیمونز، غلامی، خضری، زریسفی، موسی الرضایی، رادمرد، حسین زاده، غبیشاوی، ساکی، محمدی، نیکی ملکی، شهسواری، طباطبائی رضائی و خانمها، حاج علی اوغلی، علیزاده، گلگون و کلیه‌ی افرادی که مجال ذکر نامشان نیست، سپاسگزارم.

در پایان از پدر و مادر بزرگوار و فداکار و خانواده‌ی عزیزم که با صبر و شکیبایی فراوان زحمات بنده را تحمل نموده‌اند و نیز از عمو و دائی مهربانم آقایان اسماعیل سیاه چشم و محمدحسین رافعی که حمایت‌های معنوی ایشان شامل حال بنده بوده است، قدردانی و سپاسگزاری می کنم.

کمال سیاه چشم

نام خانوادگی دانشجو: سیاه چشم نام: کمال

عنوان پایاننامه: مطالعه کانی شناسی، دگرسانی و تحولات متاسوماتیکی ذخیره‌ی اسکارن پهناور(شرق سیه رود).

استاد راهنما: دکتر علی اصغر کلاگری

اساتید مشاور: دکتر علیرضا کریم زاده ثمرین - دکتر محسن مؤذن

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: زمین شناسی گرایش: زمین شناسی اقتصادی دانشگاه: تبریز

دانشکده: علوم طبیعی تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۱/۶/۲۵ تعداد صفحات: ۱۳۹

کلید واژه: پهناور-اسکارن-پتروگرافی-کوارتز دیوریت-آلتراسیون متاسوماتیکی-گارنتیت-مرمر-آندرادیت-اپیدوت-آلتراسیون پیشرونده و پسرونده-شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل (T ، fO_2 و fS_2).

چکیده:

اسکارن آهن پهناور در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری شرق سیه‌رود، در بخش شمالی استان آذربایجانشرقی قرار گرفته است که از نظر متالوژنی متعلق به محدودی کمربند فلززائی قره‌داغ ـ سبلان می‌باشد. ماگماتیسم پیرنه و اثرات آن بصورت متاسوماتیسم و کانی زایی مهمترین ویژگی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. در این منطقه اولین پدیده‌ی مرتبط با تشکیل اسکارن، نفوذ توده‌ی کوارتز دیوریتی قولان با سن الیگومیوسن در بین توالی کربناته (بطور غالب آهکی) کرتاسه‌ی فوقانی می‌باشد. این توده که بخشی از باتولیت مرکب قره‌داغ محسوب می‌شود، در بخشهای واقع در محل کنتاکت با اسکارن پهناور دارای ترکیب غالب کوارتزدیوریت است که بطور محلی بصورت گرانودیوریت و تونالیت نیز ظاهر می‌شود. این توده با مشخصه‌ی متاآلومینوس و تیپ I ، وابسته به سری کالک الکالن با پتاسیم بالا بوده و در جایگاه تکتونیکی قوس‌های پس از تصادم POG (Post Orogenic Granitoids) تشکیل شده است.

بر اساس شواهد صحرائی و مطالعات میکروسکوپی، اسکارن شامل دو زون اندواسکارن محدود و اگزواسکارن گسترده است. در اندواسکارن به همراه بقایایی از گارنت، کانیهای کالک سیلیکاته زیادی خصوصاً اپیدوت، ترمولیت ـ اکتینولیت، کلریت و نیز کلسیت و کوارتز بوجود آمده‌اند که به نظر می‌رسد کانیهای بدون آب اسکارنی به فازهای آبدار و پایدارتر بعدی تبدیل شده‌اند. در اگزواسکارن مقادیر زیادی گارنت و بقایای از پیروکسن دیده می‌شود که این مجموعه را کانیهای فراوان، ترمولیت، اکتینولیت، کلریت، کلسیت، مگنتیت، هماتیت، پیریت و ... همراهی می‌کنند. به نظر می‌رسد که اگزواسکارن شامل دو زون اصلی گارنت اسکارن در سمت کنتاکت و اپیدوت اسکارن با فاصله‌ی دورتر می‌باشد. نتایج آنالیز XRD از نمونه‌های جدا شده از بخشهای مختلف زون اسکارنی نشان می‌دهد که این گارنت‌ها دارای ترکیب متوسطی از سری گراندیت هستند ولی برخلاف گارنت‌های ریز بلور با رنگ قهوه‌ای روشن و گاه سبز واقع در سمت آهک که دارای انیزوتروپی متوسط و گاه ایزوتروپ می‌باشند، گارنت‌های واقع در همبری زون کانه‌دار (در سمت کنتاکت) به رنگ قهوه‌ای قرمز یا تیره و درشت بلور بوده و پیک این گارنت‌ها قابل مقایسه با آندرادیت خالص می‌باشد. این گارنت‌ها انیزوتروپی شدید، زونینگ شعاعی، متحدالمرکز و ماکل‌های تداخلی و پلی‌سینتتیک نیز نشان می‌دهند. پس می‌توان گفت که این کانیها نه‌تنها در مقیاس یک بلور منفرد بلکه در مقیاس یک ذخیره دارای زونینگ ترکیبی و رنگی هستند. تأثیرات حرارتی قبل و همزمان با تبلور این توده سبب دگرگونی

مجاورتی، تبلور مجدد آهک‌ها و تشکیل مرمر در مقیاس وسیع و کالک سیلیکات هورنفلس در مقیاس محدوده شده است. در مرحله‌ی دگرگونی کانسارسازی انجام نگرفته و تشکیل این مجموعه با حالت شکنندگی یا زمینه‌ای نفوذپذیری برای ورود سیالات نشات گرفته از توده فراهم نموده است. به دنبال تبلور توده‌ی نفوذی، رها شدن و خروج سیالات از توده باعث ایجاد شکستگی‌های ریز و متعدد در سنگ میزبان فوق‌الذکر شده و مرحله‌ی اصلی آلتراسیون متاسوماتیکی و اسکارنی شدن با ورود سیالات حاوی مقادیر زیادی Fe (بصورت Fe_2O_3 یا FeO)، SiO_2 و ... به درون سنگ میزبان کربناته صورت گرفته است. در این مرحله‌ی دما بالا کالک سیلیکات‌های بدون آب اسکارنی مثل گارنت و پیروکسن در زون اسکارنی تشکیل شده‌اند. شواهد پتروگرافی و بررسی شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن نشان می‌دهد که این دو کانی تقریباً به طور همزمان تشکیل شده‌اند و دمای مرحله‌ای اصلی تشکیل آنها در شرایط ۵۵۰ تا ۴۲۰ درجه سا نتیگراد و 10^{-25} تا $10^{-32} = fO_2$ بوده است. با سرد شدن سیستم و نفوذ پیشرونده‌ی آبهای جوی حرارت پایین در طی مرحله‌ی دگرسانی پسرونده‌ی آغازی در اثر افت دما و تغییرات fO_2 و fS_2، این کانیها به کانیهای آبدار و جوان بعدی تبدیل شده‌اند. در طول این مرحله گارنت به مجموعه‌ی اپیدوت، کلسیت، کوارتز و مگنیتت (یا هماتیت و پیریت) تبدیل شده و پیروکسن به ترمولیت ـ اکتینولیت، کلسیت، کوارتز و مگنتیت دگرسان شده است. این دگرسانی ها باتوجه به دیاگرام پایداری کانیها در دمای ۴۲۰°C – ۴۰۰ رخ داده و این محدوده‌ی دمایی $Xco_2=0.1$ و 10^{-6} تا $10^{-7} = fS_2$ را برای اسکارن مورد مطالعه پیشنهاد می‌کند.

به نظر می‌رسد فرایند اصلی نهشت کانه‌ها (مگنتیت به همراه مقادیر کمی پیریت) به طور کلی با شروع مرحله آلتراسیون پسرونده‌ی آغازی صورت گرفته و مگنتیت به صورت پرکننده‌ی فضای خالی در بین بلورهای گارنت و در بیشتر نمونه‌ها به صورت توده‌ای جانشین آندرادیت شده است و هماتیت به دنبال تشکیل مگنتیت در اثر دگرسانی پسرونده‌ی کانی‌های اولیه اسکارنی (گارنت) تشکیل شده است و از نظر رابطه‌ی سنی، پیریت اغلب درحفرات و شکستگی‌ها و مرز بلورهای مگنتیت دیده می‌شود که نشانگر جوانتر بودن کانی‌سازی سولفایدی است. از آنجائی که نهشت آهن اکثراً در زون گارنت اسکارن صورت گرفته است پس می‌توان واکنش‌های بین سیال گرمابی و کانیهای اسکارنی اولیه و تأثیر نوعی کنترل بافتی و شیمیایی را برای اینگونه کانی‌سازی محرز دانست. مهمترین تغییرشیمیایی سیال عبارتست از خنثی شدن (یا افزایش pH) در اثر برخورد با کلسیت (مرمرکلسیتی) و تا حدودی کالک سیلیکات‌های اولیه‌ی اسکارنی که در این حالت کمپلکس‌های عمدتاً کلرایدی ناپایدار شده و محمولهٔ خود را به صورت کانسنگ اکسیدی و سولفایدی (به مقدار کمتر) برجا گذاشته‌اند. مجموعه‌ی آبدار و بدون آب کالک سیلیکاته در طول مرحله‌ی دگرسانی پسرونده‌ی تاخیری بر اثر ورود سیالات حرارت پایین‌تر مراحل انتهایی به مجموعه‌ی ریزدانه‌ای شامل کلریت، کلسیت، کوارتز و کانیهای رسی آلتره شده‌اند که این مجموعه هم همانند آلتراسیون پسرونده‌ی آغازی اکثراً در مسیر شکستگی‌ها متمرکز شده است. به دنبال این مراحل کانی‌سازی مارتیت و گوتیت در طی فرایندهای سوپرژن در اسکارن مورد مطالعه حاصل شده است.

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع

(۱-۱) ژئوشیمی آهن ۲

(۱-۲) موارد مصرف آهن ۳

(۱-۳) ذخایر جهانی آهن و توزیع جغرافیایی آنها ٤

(۱-٤) کانی‌های آهن در طبیعت ٦

(۱-٥) کانسارهای آهن ۷

(۱-٥-۱) کانسارهای آهن رسوبی ۹

(۱-٥-۱-۱) ذخایر برجای آهن ۹

الف - نهشته های بازماندی آهن ۹

ب ـ نهشته‌های شیمیایی آهن ۹

(۱-٥-۱-۲) ذخایر نابرجای آهن ۱۰

(۱-٥-۲) کانسارهای آهن آذرین ۱۱

(۱-٥-۳) کانسارهای اسکارنی آهن ۱۲

(۱-٥-٤) کانسارهای هیدروترمالی آهن ۱۲

(۱-٦) کانسارهای آهن ایران ۱۲

(۱-۷) کانسارهای اسکارن ۱٥

(۱-۷-۱) تعاریف و ترمینولوژی اسکارن ۱٥

(۱-۷-۲) تکامل اسکارن‌ها در زمان و مکان ۱٦

(۱-۷-۳) کانی شناسی اسکارن ۲۱

(۱-۷-٤) سیماهای عمومی کانسارهای اسکارن ۲٤

(۱-۷-۵) طبقه‌بندی کانسارهای اسکارنی ۲۶
(۱-۷-۵-۱) طبقه‌بندی بر اساس مجموعه کانیهای سیلیکاته ۲۶
الف - اسکارن کلسیک ۲۷
ب - اسکارن منیزمی ۲۷
(۱-۷-۵-۲) طبقه‌بندی بر مبنای نوع سنگ جانشین شونده ۲۸
الف - اندواسکارن ۲۸
ب - اگزواسکارن ۲۹
(۱-۷-۵-۳) طبقه‌بندی بر مبنای فلز اقتصادی غالب ۲۹
(۱-۷-۶) کانسارهای اسکارن آهن ۲۹
(۱-۷-۷) ژئوشیمی کانسارهای اسکارنی ۳۲
(۱-۷-۸) روشهای ژئوفیزیکی در اکتشاف اسکارن‌ها ۳۴
(۱-۷-۹) پتروژنز و جایگاه تکتونیکی اسکارن‌ها ۳۴
(۱-۸) پیشینه پژوهش و هدف از مطالعه ۳۸
(۱-۸-۱) پیشینه پژوهش ۳۸
(۱-۸-۲) هدف از مطالعه ۴۰

فصل دوم: مواد و روش‌ها

(۲-۱) موقعیت جغرافیایی و رهای دسترسی ۴۱
(۲-۲) وضعیت آب و هوایی ۴۳
(۲-۳)ژئومورفولوژی ۴۳
(۲-۴) زمین‌شناسی ناحیه‌ای ۴۴
(۲-۵) روش کار و سیر مطالعاتی ۴۶
(۲-۵-۱) مطالعات صحرایی ۴۶
(۲-۵-۲) مطالعات آزمایشگاهی ۴۷

فصل سوم: بحث و نتایج

(۳-۱) زمین شناسی عمومی منطقه پهناور ٤٨

۱) واحدهای رسوبی ٤٨

۲) توده‌های نفوذی الیگومیوسن (O^{g} - O^{gd}) ٥٠

۳) واحدهای دگرگونی- متاسوماتیکی (Sk-Mb) ٥١

۳) واحدهای آتشفشانی(K_{u}^{v}) ٥٥

(۳-۲) پترولوژی توده‌ی نفوذی ٥٦

(۳-۲-۱) رده بندی ٥٦

الف) رده‌بندی براساس ترکیب نورماتیو ٥٧

ب) رده‌بندی براساس ترکیب شیمیایی ٥٩

(۳-۲-۲) ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی توده‌ی نفوذی قولان ٦٠

الف) شاخص اشباع آلومین ٦١

ب) سری‌های ماگمایی ٦٢

ج) تعیین نوع گرانیتوئید ٦٤

(۳-۲-۳) موقعیت تکتونیکی ٦٦

(۳-۲-۳-۱) تعیین محیط تکتونیکی براساس عناصر کمیاب ٦٧

(۳-۳) پتروگرافی ٧١

(۳-۳-۱) توده‌ی آهکی کرتاسه‌ی فوقانی ٧١

(۳-۳-۲) توده‌های ولکانیکی آندزیت پورفیری ٧١

(۳-۳-۳) توده‌ی نفوذی کوارتز دیوریتی ٧٢

(۳-۳-٤) اندواسکارن ٧٤

(۳-۳-٥) اگزواسکارن ٧٨

(۳-۳-٦) مرمر ٨٩

(۳-۳-۷) هورنفلس ٨٩

(۳-٤) روش بکار رفته در تعیین جایگاه اسکارن پهناور در بین سایر رده‌های اسکارنی ٩٠

(۳-٤-۱) مطالعه پتروژنز توده‌ی نفوذی ۹۳
(۳-٤-۱-۱) ژئوشیمی عناصر اصلی ۹۳
(۳-٤-۱-۲) ژئوشیمی عناصرکمیاب ۹۷
(۳-۵) آلتراسیون و مینرالیزاسیون ۱۰٤
(۳-۵-۱) آلتراسیون متاسوماتیکی ۱۰٤
۱) اگزواسکارن ۱۰٤
الف) مرحله‌ی پیشین ۱۰٤
ب)مرحله‌ی پسرونده‌ی آغازی ۱۰۵
ج) مرحله‌ی پسرونده تأخیری ۱۰۷
۲) اندواسکارن ۱۰۷
(۳-۵-۲) سایر انواع آلتراسیون‌ها ۱۰۸
الف)سریسیتی شدن ۱۰۸
(۳-۵-۳) مینرالیزاسیون ۱۰۸
(۳-۵-٤) مدل ژنتیکی ته نشست کانه‌ها ۱۱۲
(۳-٦) شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن پهناور ۱۱۳
(۳-٦-۱) تعیین T، X_{CO2} و fO_2 ..... ۱۱۳
(۳-٦-۲) تعیین fS_2 ..... ۱۱۷

فصل چهارم:نتیجه گیری کلی ۱۲۰
منابع .....
ضمائم و چکیده‌ی انگلیسی .....

عنوان | فهرست اشکال | صفحه

فصل اول

(۱-۱) : توزیع جغرافیایی ذخایر آهن و مسیر تجارت آهن و فولاد ٦

(۱-۲): a) رابطه‌ی فوگاسیته‌ی اکسیژن و pH با انواع کانی های آهندار. b) رابطه‌ی Eh و pH با انواع ترکیبات آهن ۸

۱-۳) : تصویر شماتیک تشکیل کانسارهای آهن به وسیلهٔ فرآیندهای زمین شناسی ۱۱

(۱-٤): تصویرشماتیک تشکیل انواع تیپ‌های اسکارنی ۱۸

(۱-۵) : مراحل تکاملی ذخایر اسکارنی همراه توده های نفوذی ۲۰

(۱-٦): پلات های سه گوش معرف ترکیبات گارنت و پیروکسن انواع اصلی ذخایر اسکارنی ۲٤

(۱-۷): وضعیت عمومی اسکارن‌ها نسبت به توده‌ی نفوذی ۲٦

(۱-۸): میزان عیار درمقابل تناژ کانسارهای مهم و اقتصادی از تیپ‌های مختلف اسکارنی ۳۰

(۱-۹) مدل های تکتونیکی ایده ال برای تشکیل اسکارن ها ۳۷

فصل دوم

(۲-۱-۱) موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در شمالغرب ایران (مربع توخالی) و راههای دسترسی به آن ٤۲

٤٦

فصل سوم

(۳-۱-۱): نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ ..... ٤۹

(۳-۱-۲): عملکرد تکتونیک و وجود چین‌های محلی بین تناوب واحدهای آهکهای سیلیسی شده تیره و آهکی- مارنی ۵۳

(۳-۱-۳): آهک‌های کریستالیزه با رگچه‌های فراوان کلسیت ۵۳

(۳-۱-٤): دورنمایی از توده‌ی نفوذی قولان در اطراف اسکارن پهناور با سیستم شکستگیهای عمود برهم خاص گرانیتوئیدها ۵۳

(۳-۱-۵): نمایی از دهانه‌ی یکی از تونل‌های کانسار آهن پهناور که در زون گارنت اسکارن حفر شده است ۵۳

(۳-۱-٦): نمای نزدیک از توده‌ی مگنتیتی تقریباً خالص دیواره‌ی تونل معدن (به رنگ تیره) به همراه تراوش گوگرد درمسیر شکستگی ها ۵۳

(۳-۱-۷): نمای نزدیک از گارنتیت‌ها، بصورت تخته سنگهای بزرگ در پایین امیرخان دره‌سی ۵۳

(۳-۱-۸): مرز کنتاکت توده‌ی نفوذی کوارتز دیوریتی بازون اسکارنی و آهک‌های مرمری شده که دارای گسترش قابل ملاحظه‌ای در آنسوی زون اسکارنی هستند ٥٤

(۳-۱-۹): نمای نزدیک از مرمرهای کِرِم رنگ واقع در بالای زون اسکارنی ۵۵

(۳-۱-۱۰): تأثیر آلتراسیون سیلیسی، آرژیلیک و پروپلیتیک برتوده‌های ساب ولکان آندزیت پورفیری واحد K_u^v ۵٦

(۳-۲-۱): نمودار مثلثی An-Ab-Or برای رده‌بندی سنگ‌های گرانیتی ۵۷

(۳-۲-۲): نمودار کاتیونی R_1-R_2 ..... ۵۹

(۳-۲-۳): نمودار مجموع الکالن درمقابل سیلیس ٦۰

(۳-۲-٤): نمودار تغییرات نسبت مولکولی $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ درمقابل نسبت مولکولی $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ ٦۱

(۳-۲-۵): تمایز سری‌های مختلف ماگمایی (a) تفکیک سری‌های آلکالن از ساب‌آلکالن در نمودار SiO_2 درمقابل مجموع آلکالن (b) نمودار مثلثی AFM جهت تمایز سری‌های ماگمایی تولهایتی و کالک آلکالن از یکدیگر ٦۲

(۳-۲-٦): نمودار دوتایی K_2O درمقابل SiO_2 به منظور تقسیم‌بندی سنگهای ساب‌آلکالن به سری‌های مختلف ٦٣

(۳-۲-۷): a) نمودار تغییرات Na_2O در مقابل K_2O برای تفکیک گرانیت‌های تیپ I و S از یکدیگر.b) نمودارددوتایی K2O در مقابل Na2O برای تفکیک گرانیتوئیدهای نوع I، S و A ازیکدیگر ٦٦

(۳-۲-۸): a و b نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی گرانیتوئیدهای مختلف ٦٨

(۳-۲-۹-a و b): تمایز محیط‌های تکتونیکی گرانیتوئیدها در دیاگرام‌های TiO_2/Al_2O_3- Zr/Al_2O_3 و TiO_2-Al_2O_3 ..... ٧٠

(۳-۲-۱۰): داده‌های مربوط به توده‌ی نفوذی قولان در محدوده‌ی قوس‌های پس از تصادم (PAP) قرار گرفته‌اند ٧٠

(۳-۳-۱): آهک کریستالیزه با بلورهای درشت کلسیت..... ..... ٧٦

(۳-۳-۲): فنوکریست های کائولینیتی و سریسیتی پلاژیوکلاز در یک زمینه میکرولیتی ٧٦

(۳-۳-۳): زونینگ نوسانی در پلاژیوکلاز بصورت تکرار زون‌های سدیک و کلسیک ٧٦

(۳-۳-٤): کوارتز دیوریت با فنوکرسیت سوسوریتی و سریسیتی شده‌ی پلاژیوکلاز و بلورهای نسبتاً درشت هورنبلند درحالیکه ارتوز سالم باقی مانده است ٧٦

(۳-۳-٥): بافت پوئی‌کیلیتیک که در آن کانیهای پلاژیوکلاز، بلورهای یوهدرال هورنبلند، اسفن و کانیهای تیره توسط یک کانی بزرگ ارتوز میکروپرتیتی احاطه شده‌اند(×40, XPL)... ٧٦

(۳-۳-٦): هم‌رشدی کوارتز و الکالی فلدسپار (بافت گرانوفیری) که نشانه‌ی سردشدن سریع ماگمای تشکیل دهنده‌ی این سنگهاست ٧٦

(۳-۳-۷): مقطع عرضی از هورنبلندهای اولیه‌ی حاوی اینکلوژن‌هایی از سوزنهای آپاتیتی و زیرکن با حاشیه‌ی پلوئوکروئیک ٧٧

(۳-۳-۸): تبدیل شدگی هورنبلند به بیوتیت و به کلریت، همراه اسفن و کانیهای تیره.....

(۳-۳-۹): Kink band در بیوتیت کلریتیزه در اثر تنش‌های تکتونیکی در نزدیکی کنتاکت ٧٧

(۳-۳-۱۰): اندواسکارن با بلورهای نسبتاً ریز و خردشده‌ی کوارتز و فلدسپار که در آن پلاژیوکلاز، ارتوز، اپیدوت و کلریت مشخص‌اند ۷۷

(۳-۳-۱۱): اندواسکارن با بلورهای شدیداً سوسوریتی و کائولینیتی فلدسپار که اپیدوت بصورت پوششی روی پلاژیوکلازها را فرا گرفته است ۷۷

(۳-۳-۱۲): اندواسکارن با بلورهای پلاژیوکلاز، الکالی فلدسپار و کوارتز که در آن کالک سیلیکات هایی از قبیل اپیدوت، کلسیت، کلریت و هسته های در حال تشکیل گارنت مشخص اند ۷۷

(۳-۳-۱۳): نمونه‌ی دستی از زون پروکسیمال گارنت مگنتیت اسکارن بلورهای درشت گارنت به رنگ قهوه‌ای تا قرمز و مگنتیت به رنگ تیره دیده می‌شود. ۸۶

(۳-۳-۱٤): نمونه‌ی دستی از زون دیستال گارنت اسکارن. بلورهای نسبتاً ریزگارنت به رنگ قهوه‌ای روشن نمایان هستند ۸۶

(۳-۳-۱۵):گارنت‌های ایزوتوپ باساختار زونینگ شعاعی و ماکل‌های قطاعی. بلورهای ریز کوارتز و کلسیت فضاهای خالی گارنت‌ها را پرکرده‌اند ۸۶

(شکل ۳-۳-۱٦)): مقایسه‌ی میانگین ترکیب شیمیایی(آنالیز XRD) دونمونه‌ی جداشده از گارنت‌های قهوه‌ای تیره (پروکسیمال) و گارنت‌های قهوه‌ای روشن یا سبز(دیستمال) واقع در زون اسکارنی ۸۱

(۳-۳-۱۷): اگزواسکارن با بلورهای ایزوتوپ گارنت که از حاشیه و مرکز درحال تبدیل کامل به اپیدوت هستند و در کنار آنها کوارتز و مگنتیت حاصل از تجزیه‌ی گارنت دیده می‌شود (40×, XPL). ۸۶

(۳-۳-۱۸): اگزواسکارن با بلورهای یوهدرال گارنت، اپیدوت و کلینوپیروکسن. سودومورف گارنت زونه بوسیله‌ی تک بلور اپیدوت دیده می‌شود ۸۶

(۳-۳-۱۹): جانشینی گارنت و پیروکسن توسط کانیهای جوان (اپیدوت، ترمولیت-اکتینولیت، کلریت به همراه مگنتیت، کوارتز و کلسیت و کانیهای رسی) ۸۶

(۳-۳-۲۰): آندرادیت‌های رگه‌ای تأخیری و بقایای کلینوپیروکسن‌ها به همراه محصولات ۸۷

ثانویه‌ی اپیدوت و کوارتز به همراه کلسیت در زون اگزواسکارن .....

(۳-۳-۲۱): وجود مرزهای سالم بین گارنت و پیروکسن نشان می‌دهد که این کانیها کم وبیش بطور همزمان تشکیل شده‌اند ۸۷

(۳-۳-۲۲): بلورهای فراوان اپیدوت با بافت موزائیکی به همراه رگ‌چه‌ی اکتینولیت در زون اپیدوت اسکارن ۸۷

(۳-۳-۲۳): جانشینی گارنت بوسیله‌ی کلسیت(زمینه)، رشته‌های هماتیت، کلریت و کوارتز دیگر محصولات ثانویه‌ی آلتراسیون گارنت می‌باشند ۸۷

(۳-۳-۲٤): گارنت انیزوتروپ با ماکل پلی سینیتتیک که در مسیر شکستگی‌ها به اپیدوت، کلسیت و سیلیس تجزیه شده و رگچه‌هایی از کلسیت در شکستگیهای گارنت وارد شده است ۸۷

(۳-۳-۲۵): اسکاپولیت در زون اگزواسکارن حاوی انیکلوژنهایی از کانیهای ریز گارنت، اپیدوت و کلینوپیروکسن ۸۷

(۳-۳-۲٦): مگنتیت با بافت تیغه‌ای ۸۸

(۳-۳-۲۷): بافت جانشینی مگنتیت در داخل گارنت اسکارن ۸۸

(۳-۳-۲۸): مگنتیت زونینگ‌دار که بصورت نوارهای ظریفی به موازات حاشیه‌ی بلور دیده می‌شود ۸۸

(۳-۳-۲۹): کانی هماتیت با بافت اسپکیولار (Specularit texture) ۸۸

(۳-۳-۳۰): بافت مارتیتی (Martite texture). جانشینی مگنتیت در امتداد سطوح کیلواژ {III} توسط هماتیت ۸۸

(۳-۳-۳۱): پیریت با بافت هیپیدیومورف (Hypidiomorph texture) و پرکننده‌ی فضای خالی به همراه مگنتیت و گوتیت. این بافت نشانه‌ی اختلاف سرعت رشد کانیهاست ۸۸

(۳-۳-۳۲): مرمرهای کلسیتی با بلورهای کریستالیزه و موزائیکی کلسیت و آثاری از کالک‌سیلیکاتهایی نظیر اپیدوت ۸۹

(۳-۳-۳۳): هورنفلس کالک‌سیلیکاته با بلورهای اپیدوت، کوارتز، فلدسپار و رگچه‌هایی از ۸۹