سال بیستم، شمارهٔ ۲، تابستان ۹۱، از صفحهٔ ۲۰۱ تا ۲۱۴

کانی‌شناسی و ژئوشیمی اسکارن‌های تنگ حنای نی‌ریز - استان فارس

کمال نوری خانکهدانی*، مسیّب سبزه‌یی، لیدا طاهر زاده، معصومه راستگو، رویا جهان‌بخشی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۱، نسخه نهایی: ۹۰/۲/۱۹)

چکیده: اسکارن‌های تنگ حنای نی‌ریز در بخشی از ردیف افیولیتی زاگرس جای داشته و بنابراین جزیی از ایالت‌های ساختاری زاگرس محسوب می‌شوند. بر اساس بررسی‌های جاری، این اسکارن‌ها را می‌توان در چهار گروه اصلی زیر قرار داد:
۱- ولاستونیت اسکارن ۲- اوژیت- ولاستونیت اسکارن ۳- گروسولار- ولاستونیت اسکارن ۴- آندرادیت- تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن. بنابر ویژگی‌های ژئوشیمیایی، اسکارن‌های منطقه تنگ حنا در گستره‌ی اسکارن‌های کلسیم‌دار (calcic skarn) قرار دارند. اسکارن‌های نوع چهارم (حاوی تیتانیت) میزان TiO_2 در مواردی به ۴٪ می‌رسد که به لحاظ تمرکز REE و عناصر فرعی دیگر در کانی تیتانیت دارای اهمیت به‌سزایی است. شواهد صحرایی و کانی‌شناسی ثابت کرد اسکارن‌های بررسی شده از نوع اسکارن داخلی (endoskarn) هستند. این شواهد عبارتند از درصد بالای کانی‌های سیلیکاتی آهکی و غیر فلزی با درصد پایین کانی‌های فلزی. بنابراین اسکارن‌های تنگ حنا به‌خاطر کانی‌های غیر فلزی مثل ولاستونیت و گارنت حایز اهمیت‌اند. بررسی دنباله‌ی پاراژنتیکی کانی‌ها و نمودار تغییرات TiO_2% و Al_2O_3% نسبت به CaO% نشان داد که ولاستونیت اسکارن‌ها در مرحله‌ی اولیه و آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن‌ها در مرحله‌ی تأخیری اسکارن‌ها تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *اسکارن؛ تنگ حنا؛ نی‌ریز؛ فارس.*

مقدمه

واژه اسکارن (skarn) اول بار توسط معدن کاران سوئدی و برای توصیف مجموعه‌های سنگی غنی از آهن (حاوی هماتیت و مانیتیت) به سن آرکئن به کار رفته است [۱].

گرچه قبلاً سنگ شناسان بین واژه‌های اسکارن و تاکتیت (tactite) تفاوت قائل می‌شدند ولی در حال حاضر این دو اصطلاح معادل یکدیگر به کار می‌روند به طوری که بر اساس نظر بست [۲] اسکارن یا تاکتیت به سنگ‌های حاوی سیلیکات‌های کلسیم، منیزیوم و آهن اطلاق می‌شود که در نزدیکی سنگ آهک یا دولومیت و یا در کنار توده‌های ماگمایی قرار داشته باشند. در چنین حالتی، هرگاه فرآیندهای جانشینی یونی یا فرایند دگرنهادی (metasomatic process) مؤثر باشد و باعث انتقال یون‌هایی هم‌چون Si ، Al ، Fe ، Mg شود، سنگ‌های کربناتی منطقه تماس به سنگ‌های آهکی- سیلیکاتی (calc – silicate rocks) یا همان اسکارن‌ها تبدیل می‌شوند.

اسکارن‌ها از نظر تشکیل ذخایر اقتصادی W ، Sn ، Cu، MO ، Fe ، Zn ، Pb کاملاً شناخته شده‌اند. هم‌چنین از نظر پتانسیل اقتصادی ذخایری مثل Co ، Au ، Ag ، Bi ، Be ، F ، B ، U و REE با اهمیت فرض شده‌اند [۳-۵]. علاوه بر این حضور کانی‌های غیر فلزی ارزشمندی چون ولاستونیت، گارنت و پیروکسن باعث شده‌اند اسکارن‌ها از نظر جنبه‌های مختلف اقتصادی با اهمیت محسوب شوند. ولاستونیت در صنایع مختلف به عنوان یک ماده‌ی دیرگداز بی جانشین شناخته می‌شود و گارنت‌ها و پیروکسن‌ها نیز می‌توانند علاوه بر مصارف متعدد صنعتی به عنوان سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی محسوب شوند. توجه به موارد بالا باعث شد که اسکارن‌های شناخته شده‌ی دنیا با دقت فراوان مورد بررسی‌های علمی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۷۱۲۵۱۹۶، نمابر: ۸۲۲۹۹۹۴ (۰۷۱۱)، پست الکترونیکی: knk@iaushiraz.net

Archive of SID

www.SID.ir

متعدد زمین‌شناسان قرار گیرند. اسکارن‌های ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در تمام مناطقی که در گذشته به عنوان اسکارن معرفی شده‌اند مسایل متعدد زمین‌شناسی از جمله سنگ‌شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و زمین‌شناسی اقتصادی آن‌ها به دقت مورد بررسی قرار گرفته است.

یکی از این مناطق اسکارن‌های منطقه تنگ، حنای نی‌ریز است که از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده و بررسی‌های فراوانی با هدف‌های مختلف بر روی آن‌ها انجام گرفته است.

برخی از پژوهشگران چون ریکو [۶] و هال [۷] اسکارن‌های تنگ حنای نی‌ریز را حاصل دگرگونی مجاورتی توده‌های اولترامافیک روی مرمرهای تنگ حنا می‌دانند، در حالی‌که عده‌ای هم‌چون ادیب و پامپچ [۸] اسکارن‌های یادشده را حاصل پدیده‌ی رودنگیتی‌شدن (rodnigitization) فرض کرده‌اند.

سبزه‌یی [۹] معتقد است که در برخی نواحی تنگ حنا اسکارن‌ها در جایی تشکیل شده‌اند که هیچ‌گونه تماسی بین آن‌ها و توده‌های اولترامافیک منطقه مشاهده نمی‌شود. بنابراین فرض تأثیر توده‌های اولترامافیک گرم روی سنگ‌های کربناتی و تبدیل آن‌ها به مرمر و اسکارن نمی‌تواند در تمامی موارد درست باشد. در مقابل سبزه‌یی [۹] مناطقی از اسکارن‌ها را گزارش کرده است که این سنگ‌ها با دایک‌های بازی و عموماً دیابازی در تماس بوده‌اند. وی معتقد است این دایک‌ها عموماً به صورت دایک جمعی (dyke swarm) بوده و در زمان جایگیری خود هنوز کاملاً سرد نشده و باعث تبدیل سنگ‌های کربناتی میزبان خود به اسکارن و مرمر شده‌اند و خود نیز در اثر دگرگونی درونی (endometamorphism) تشکیل اسکارن داخلی (endoskarn) را داده‌اند. آروین [۱۰] ضمن بحث در زمینه‌ی سنگ‌نگاری و ژئوشیمی افیولیت‌های نی‌ریز در خصوص اسکارن‌ها و مرمرهای تنگ حنا نیز مطالبی را عنوان کرد و به خصوص حضور این دسته سنگ‌های کربناتی را در میان افیولیت‌های نی‌ریز به عنوان یک تفاوت مهم بین افیولیت‌های این منطقه با تعریف ارائه شده در کنفرانس پنروس (penrouse conference) عنوان کرده است.

سبزه‌یی و همکاران [۱۱] در شرح نقشه‌ی زمین‌شناسی نی‌ریز ضمن معرفی افیولیت‌های این منطقه، اطلاعاتی را در خصوص اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حنا و ارتباط آن‌ها با سری افیولیتی نی‌ریز ارائه کرده‌است.

فخار [۱۲] نیز در خصوص کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی اسکارن‌ها و مرمرهای منطقه‌ی تنگ حنا به بررسی پرداخته است.

مرادی پور و همکاران [۱۳] مدل‌های احتمالی تشکیل کانسار در گستره‌ی تنگ حنا را بررسی کرده‌اند.

در این پژوهش، ترکیب کانی‌شناسی اسکارن‌های نی‌ریز به‌دقت بررسی و معرفی شد به طوری که بتوان بر این اساس اسکارن‌های این منطقه را گروه‌بندی نموده و سپس مسایلی در خصوص ژئوشیمی آن‌ها ارائه کرد.

منطقه مورد بررسی

منطقه‌ی تنگ حنا جزیی از شهرستان نی‌ریز از توابع استان فارس محسوب می‌شود. برای دسترسی به منطقه راه‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها راهی است به طول ۲۵۰ کیلومتر از مرکز استان یعنی مسیر شیراز- استهبان- نی‌ریز- تنگ‌حنا (شکل ۱).

شکل ۱ موقعیت و راه‌های دسترسی منطقه مطالعاتی [۱۴].

Archive of SID

www.SID.ir

روش بررسی

پس از مطالعات مقدماتی نقشه‌ها و گزارش‌های موجود، نمونه‌برداری‌های صحرایی صورت گرفت. آنگاه مقاطع نازکی از سنگ‌ها تهیه و مطالعه شدند و سپس با استفاده از دستگاه‌های فیلیپس مدل‌های pw۱۸۰۰ و pw۱۴۸۰ به ترتیب بررسی‌های کانی‌شناسی XRD و شیمیایی XRF در شرکت کانساران بینالود انجام گرفته‌است.

زمین‌شناسی منطقه

از نظر تقسیم‌بندی ایالت‌های ساختاری، منطقه‌ی مورد بررسی جزیی از منطقه زاگرس مرتفع (high zagros) یا زون خرد شده (crushed zone) است (شکل۲).

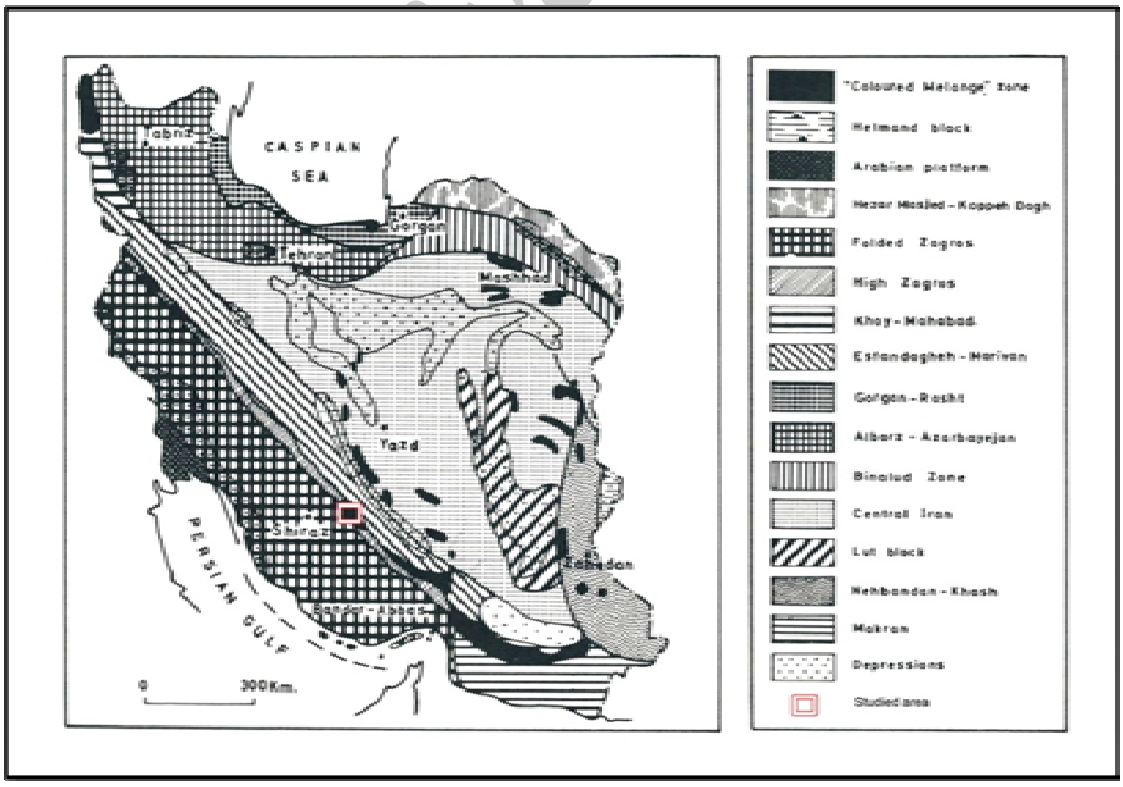
ویژگی مهم منطقه‌ی زاگرس خرد شده شدت بالای دگرشکلی و نیز رخنمون یک دنباله‌ی توالی افیولیتی (ophiolitic sequence) با سن پیش از کرتاسه پایانی است که هر دوی این ویژگی‌ها در منطقه‌ی تنگ حنای نی‌ریز مشاهده می‌شوند.

شکل ۳ نقشه‌ی زمین شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی مورد بررسی را در منطقه‌ی تنگ حنا با مختصات ″۴۸ ′۰۵ °۵۴ E و ″۳۳ ′۲۷ °۲۹ N :UL و ″۰۸ ′۱۳ °۵۴ E و ″۵۶ ′۲۲ °۲۹ N :LR نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه و در گستره‌ی موضوع این پژوهش، ردیفی از افیولیت‌های نی‌ریز مشاهده می‌شود که در گزارش‌هایی از فالکن [۱۶]، نبوی [۱۵]، ریکو [۶]، سبزه‌یی و همکاران [۱۱] و پژوهشگران دیگر مورد توجه قرار گرفته‌اند. بر اساس بررسی‌های سبزه‌یی و همکاران [۱۱] در ردیف افیولیتی نی‌ریز سه بخش اصلی زیر قابل مشاهده‌اند:

تناوب دونیت و هارزبورژیت و کمی کرومیت که قاعده‌ی این تناوب را تشکیل می‌دهد.

تناوب ورلیت، وبستریت، لرزولیت، کلینوپیروکسنیت، اولیوین وبستریت و کمی کرومیت که در بخش میانی این دنباله قرار گرفته و در برخی نوشته‌ها از آن به عنوان منطقه‌ی انتقالی (transitional zone) یاد می‌شود [۱۱].

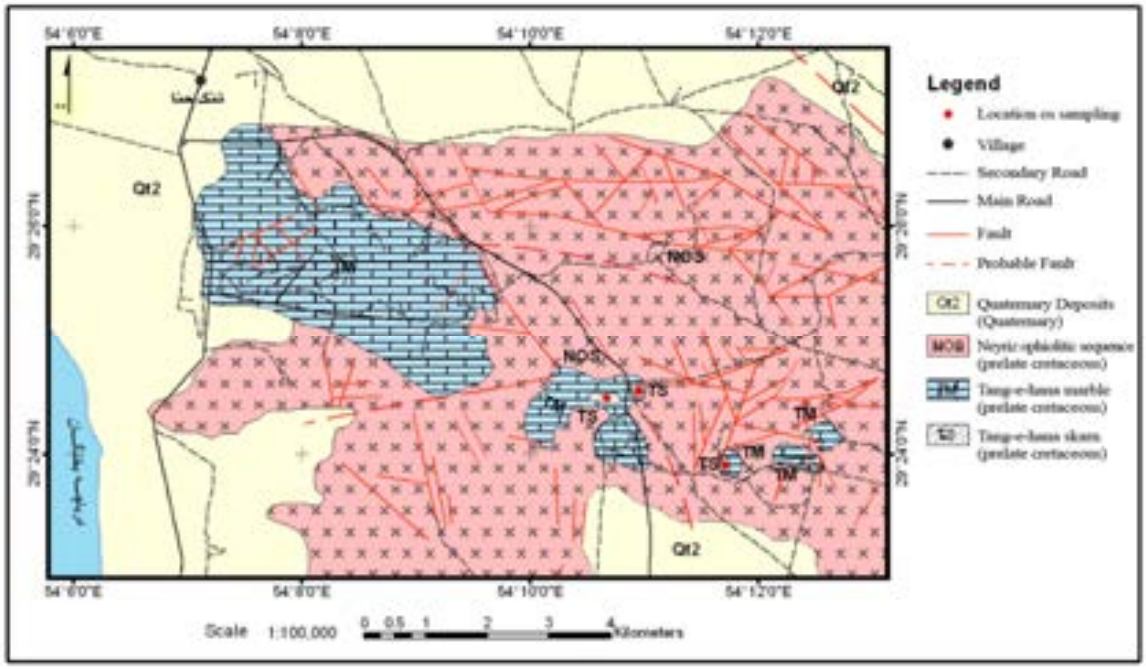
بخش گابرویی که به ترتیب از ملاگابرو و پریدوتیت‌های فلدسپات دار، تروکتولیت و آنورتوزیت در بخش زیرین و گابروهای نوریتی و نوریت‌ها در بخش میانی و فروگابروها، لوکوگابروها و در نهایت کواتزدیوریت‌ها و فرودیوریت‌ها در بخش انتهایی تشکیل شده است.



شکل۲ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در نقشه ایالت‌های ساختاری ایران زمین [۱۵].

Archive of SID

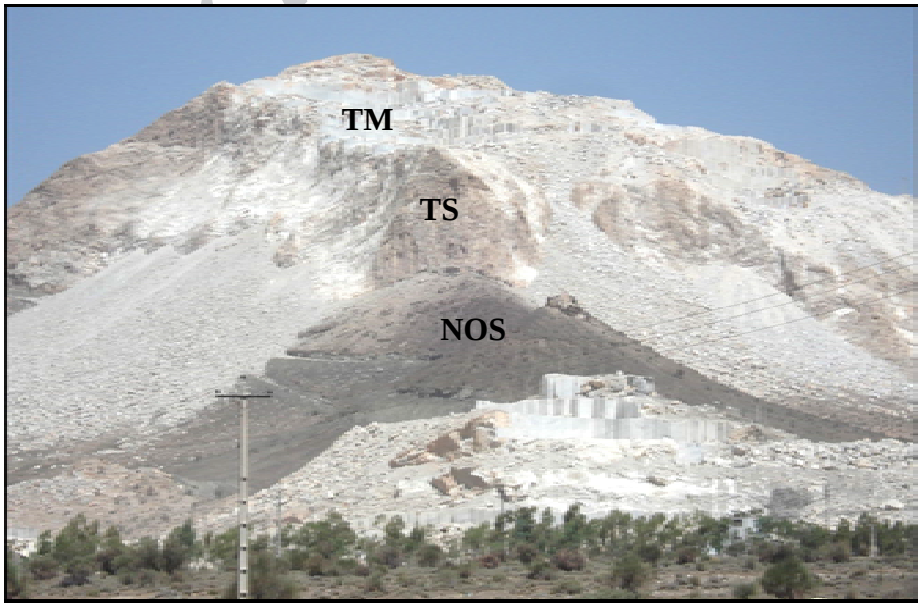
www.SID.ir



شکل ۳ نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی تنگ حنا- بر گرفته از نقشه‌ی ۱۰۰۰۰۰ : ۱ نی‌ریز [۱۱].

واحد سنگ‌شناسی با اهمیت دیگر در شکل ۳، مرمرها و اسکارن‌های تنگ حنا هستند که موضوع اصلی این پژوهش بوده و ارتباط زمین‌شناسی آن‌ها با سری افیولیتی نی‌ریز کاملاً قطعی است.

سبزه‌یی و همکاران [۱۱] به این نتیجه رسیدند که اسکارن‌ها و مرمرهای تنگ حنا روی لرزولیت‌ها و هارزبورژیت‌های دنباله‌ی افیولیتی نی‌ریز قرار داشته و به صورت توده‌های کوچک و بزرگ (تا ۲ کیلومتر طول) مشاهده می‌شوند. شکل‌های شماره ۴ و ۵ چگونگی رخنمون این واحدها را نمایش می‌دهد.



شکل ۴ رخنمون صحرایی مرمرها (TM) و اسکارن‌های تنگ حنا (TS) وابسته به سری افیولیتی نی‌ریز (NOS).

www.SID.ir

شکل ۵ رخنمون اسکارن‌های منطقه (TS) در تماس با واحدهای اولترامافیک ردیف افیولیتی نی‌ریز (NOS).

اسکارن‌ها مخصوصاً در سطح تماس مرمرها با توده‌های اولترامافیک دیده می شوند ولی این بدان معنا نیست که در نقاط دیگر مشاهده و گزارش نشده باشند. به عنوان مثال سبزه‌یی و همکاران [۱۱] همبری توده‌های اولترامافیک با اسکارن‌ها را به صورت شکل‌های زیر گزارش کرده‌اند:

در سطح تماس سنگ‌های اولترامافیک با مرمرها

به صورت عدسی‌ها، لایه‌ها و افق‌های نا ممتد درون مرمرها

به صورت دایک‌هایی که اولترامافیک‌ها را قطع می‌کنند

بنابراین واضح است که در خصوص تعیین شرایط تشکیل این اسکارن‌ها و چگونگی ارتباط صحرایی و زایشی آن‌ها با بخش‌های اولترامافیک- مافیک ردیف افیولیتی بایستی دقت کافی صورت گیرد. چراکه تمرکز اسکارن‌ها در مرز مرمرهای تنگ حنا و افیولیت‌های نی‌ریز، به نوعی مؤید نظریه‌ی دگرگونی مجاورتی همراه با دگرنهادی برای تشکیل مرمرها و اسکارن‌هاست [۷،۶] در حالی‌که شکل‌گیری اسکارن‌ها درون واحدهای افیولیتی به‌شکل دایک به‌عنوان شاهد فرآیند رودنگیتی شدن فرض شده‌است [۸]. ارتباط صحرایی اسکارن‌های بررسی شده در این پژوهش با سنگ‌های پیرامون (شکل‌های ۴ و ۵) خاستگاه دگرگونی مجاورتی ناشی از عملکرد سری افیولیتی را تأیید می‌کند.

سبزه‌یی و همکاران [۱۱] زمان دگرگونی این سنگ‌های کربناتی را - با تردید قبل از کرتاسه پایانی (Pre late cretaceous) در نظر گرفته‌اند گرچه سن سنگ‌های اولیه این مرمرها و اسکارن‌ها نیز ابهام و پیچیدگی بیشتری دارد زیرا دگرگونی چندگانه (Polymetamorphism) منطقه به صورت دگرگونی مجاورتی همراه بادگرنهادی و دگرشکلی، آثار حیات و بافتهای اولیه این سنگ‌های کربناتی را تا حد زیادی محو کرده‌است [۱۱].

نتایج بررسی‌های کانی شناسی

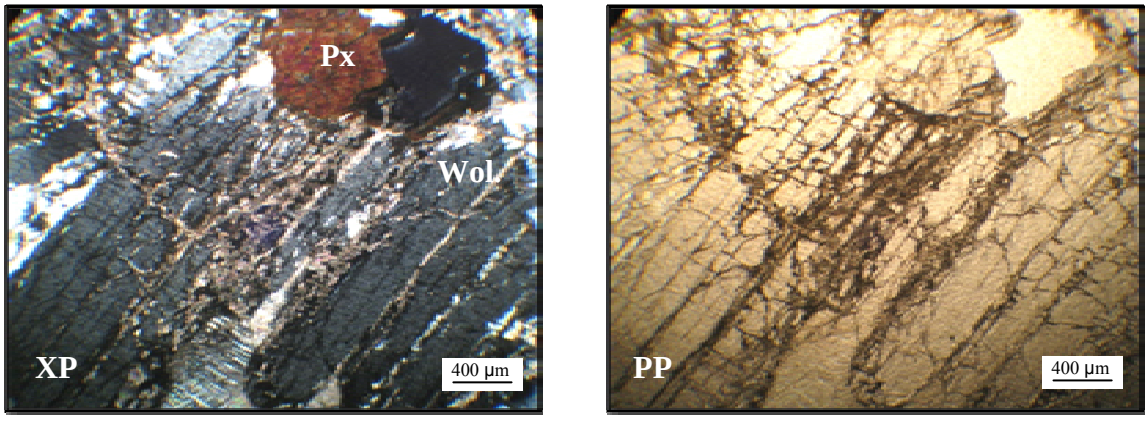
پس از بررسی مقدماتی نمونه‌های صحرایی به دست آمده از اسکارن‌های منطقه، تعداد ۳۳ نمونه دستی از مناسب‌ترین سنگ‌ها که از نظر شرایط هوازدگی و دگرسانی وضع بهتری داشته‌اند، برای تهیه‌ی مقاطع نازک و بررسیهای سنگ‌شناسی شناسایی و تفکیک شدند. مهم‌ترین کانی‌های موجود در اسکارن‌های تنگ حنا که بررسیهای سنگ‌نگاری و نیز تجزیه به روش XRD وجود آن‌ها را ثابت نموده‌است (شکل ۱۱) به‌شرح زیراند:

ولاستونیت ($CaSiO_3$)

مهم‌ترین کانی سیلیکات آهکی مشاهده شده در اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حناست که فراوانی آن به ۶۸ درصد می‌رسد و عموماً دارای سرشتی توفال مانند (lathlike) است که با شکست دوگانه‌ی ضعیف خود (خاکستری تا زرد سری اول) به راحتی قابل تشخیص است (شکل ۶).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶ بلورهای ولاستونیت (Wol) در نمونه‌ی ولاستونیت اسکارن منطقه‌ی تنگ حنا، ولاستونیت‌ها ظاهری توفال مانند نشان داده و با پیروکسن (PX) همراهی می‌شوند.

اندازه‌ی بلورهای ولاستونیت از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر (۴ الی ۵ سانتی‌متر) تغییر می‌کند که حالت اخیر تداعی کننده‌ی بافت پگماتیت اسکارنی در آن‌ها بوده و معرف وجود شرایط فیزیکوشیمیایی مناسب حین تشکیل آن‌هاست.

پیروکسن اوژیت

پیروکسن کلسیم‌دار، دومین کانی سیلیکات آهکی با اهمیت در اسکارن‌های تنگ حنای نی‌ریز محسوب می‌شود، زیرا با حضور این گونه کانی‌های سیلیکاتی می توان وجود سنگ‌های سیلیکات آهکی یا همان اسکارن‌ها را در این منطقه تأیید کرد (شکل ۷).

گارنت گروسولار ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$)

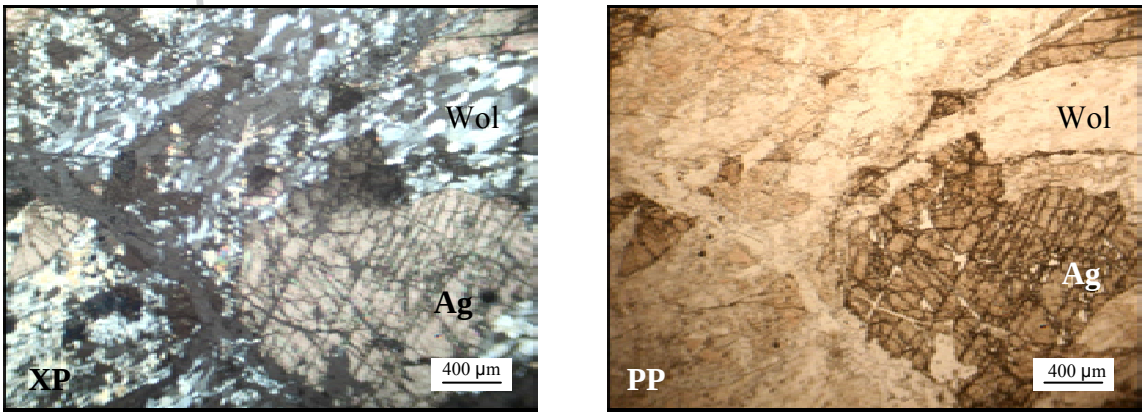
گروسولار، یکی از کانی‌های همراه (paragenesis) ولاستونیت در اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حناست که از نظر فراوانی، سومین کانی مهم این اسکارن‌هاست (شکل ۸).

دیر و همکاران [۱۷] معتقدند وجود گروسولار در سنگ‌های دگرگونی، معرف دگرگونی در یکی از شرایط زیر است:

دگرگونی مجاورتی یا ناحیه‌ای در سنگ‌های کربناتی ناخالص

دگرگونی دگرنهادی (هم‌چون شرایط تشکیل اسکارن‌ها) در سنگ‌های کربناتی خالص

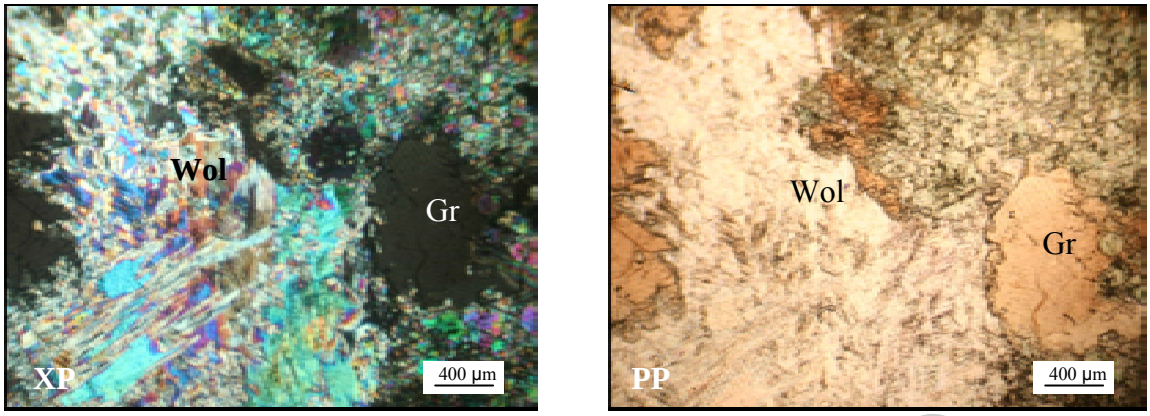
با توجه به آن‌که سنگ‌های کربناتی با خاستگاه مرمرها یا سنگ چینی معادن تنگ حنای نی‌ریز، از کیفیت بسیار بالایی برخوردارند و خلوص آن‌ها به بیش از ۹۸ درصد می‌رسد [۱۸]، بنابراین دگرگونی نوع اول برای تشکیل گروسولارهای موجود در اسکارن‌های تنگ حنا قابل قبول نبوده و صرفاً شرایط دگرنهادی سنگ‌های کربناتی اولیه می‌تواند به‌عنوان خاستگاه این نوع گارنت‌ها محسوب شود. لازم به یادآوری است فراوانی گروسولار در اسکارن‌های منطقه‌ی بررسی شده، تا ۲۵ درصد می‌رسد.



شکل ۷ پاراژنز پیروکسن اوژیت (Ag) همراه با ولاستونیت (Wol) در نمونه‌ی سنگی اوژیت ولاستونیت اسکارن تنگ حنا، فراوانی پیروکسن موجود در اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حنا به ۲۸ درصد می‌رسد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸ گارنت گروسولار (Gr) همراه با ولاستونیت (Wol) در گروسولار ولاستونیت اسکارن تنگ حنا.

گارنت آندرادیت ($Ca_3(Fe^{+3},Ti)_2Si_3O_{12}$)

حضور آندرادیت، به‌عنوان یک گارنت تیتانیوم دار و در همراهی با کانی تیتانیت (بخش ۵-۵) مؤید حضور و تأثیر TiO_2 در محیط تشکیل اسکارن‌های تنگ حناست. این همراهی در سنگ‌هایی مثل آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن مشاهده می‌شود (شکل ۹). در تأیید همین موضوع، بررسیهای کانی‌شناسی XRD ترکیب گارنت‌های همراه با تیتانیت را از نوع آندرادیت تعیین کرده‌است.

تیتانیت ($Ca,Ti[SiO_4](O,OH,F)$)

تیتانیت یا اسفن، سیلیکات کلسیمی است که به‌خاطر داشتن TiO_2 و نیز عناصر فرعی و کمیاب حایز اهمیت است. وجود بلورهای شکل دار تا نیمه شکل‌دار و برجستگی بالا از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های اسفن است که در شناسایی میکروسکوپی آن بسیار مؤثر است (شکل ۹). فراوانی تیتانیت در اسکارن‌های منطقه متغیر بوده و حداکثر به ۱۰ درصد می‌رسد.

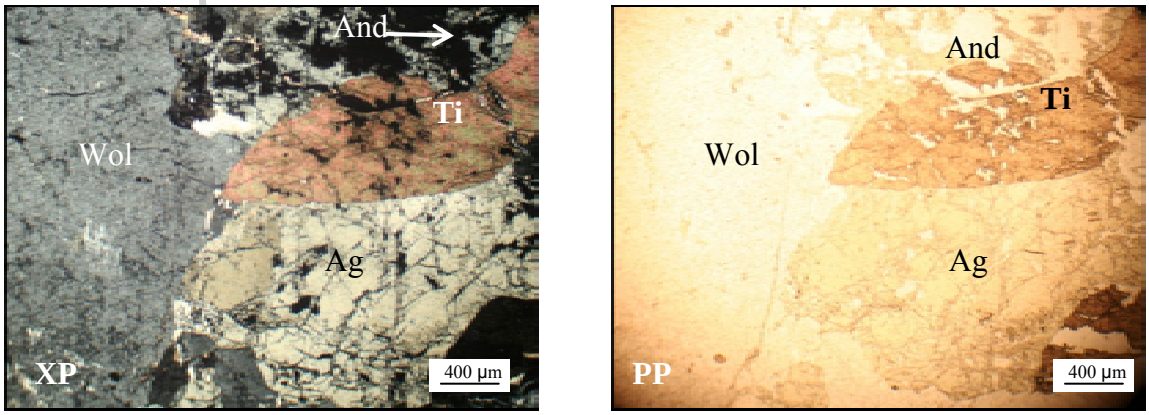
حضور و فراوانی این کانی به لحاظ جنبه‌های اقتصادی و کاربری اسکارن‌های تنگ حنا شایان توجه است.

دیگر کانی‌ها

معمولا اسکارن‌ها به دلیل تنوع ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های خاستگاه خود (سنگ‌های نفوذی و سنگ‌های میزبان) و نیز عملکرد شاره‌ها، ترکیب کانی شناسی متنوعی دارند. اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حنا نیز از این قاعده مستثنی نبوده و علاوه بر کانی‌های اصلی یاد شده، می‌توان از کانی‌های زیر به‌عنوان کانی‌های فرعی آن‌ها نام برد:

کلسیت، آنورتیت، پرهنیت، کلریت، کوارتز

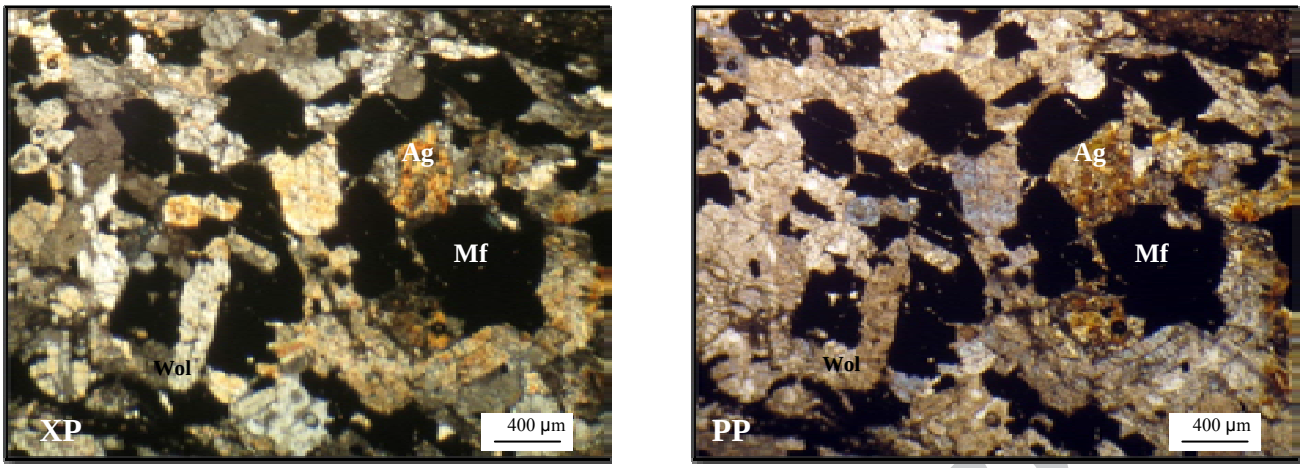
نکته قابل یادآوری دیگر آن‌است که براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری یک کانی کدر در اسکارن های منطقه مشاهده شد (شکل ۱۰) که براساس بررسی‌های دستگاهی، این کانی مگنزیوفریت ($MgFe_2O_4$) از خانواده‌ی اسپینل‌ها تعیین شده‌است.



شکل ۹ کانی تیتانیت یا اسفن (Ti) در همراهی با ولاستونیت (Wol)، اوژیت (Ag) و گارنت آندرادیت (And) در سنگ تیتانیت آندرادیت اوژیت ولاستونیت اسکارن منطقه‌ی تنگ حنا.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰ کانی مگنزیوفریت (Mf) در همراهی با ولاستونیت (Wol) و اوژیت (Ag) در اسکارن‌ها تنگ حنا، کانی مگنزیوفریت مهم‌ترین کانی فلزی مشاهده شده در اسکارن‌های منطقه‌ی مطالعاتی است.

آن‌چه به‌عنوان خلاصه‌ی بررسی‌های کانی‌شناسی قابل یادآوری است آن‌است که اسکارن‌های تنگ حنای نی‌ریز با فراوانی کانی‌های سیلیکات آهکی مشخص می‌شوند. هم‌چنین با در نظر گرفتن ترکیب کانی‌شناسی اصلی و حتی فرعی آن‌ها، اسکارن‌های منطقه در رده‌بندی بست [۲] جزء اسکارن‌های کلسیک محسوب می‌شوند.

براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و با در نظر گرفتن ترکیب اصلی و فراوانی غالب کانی‌ها، اسکارن‌های تنگ حنا را می‌توان در ۴ گروه زیر قرار داد، گرچه ممکن است دیگر کانی‌ها، این کانی‌های اصلی را همراهی کنند ولی این نامگذاری صرفاً از روی کانی‌هایی صورت گرفته است که در اسکارن مربوطه حضور مؤثرتری داشته‌اند.

۱. ولاستونیت اسکارن
۲. اوژیت - ولاستونیت اسکارن
۳. گروسولار - ولاستونیت اسکارن
۴. آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن

جدول ۱، ترکیب کانی‌شناسی اسکارن‌های تنگ حنا را نمایش می‌دهد.

بافت اصلی این اسکارن‌ها از نوع نماتوگرانوبلاستیک می‌باشد.

جدول پاراژنتیکی کانی‌ها

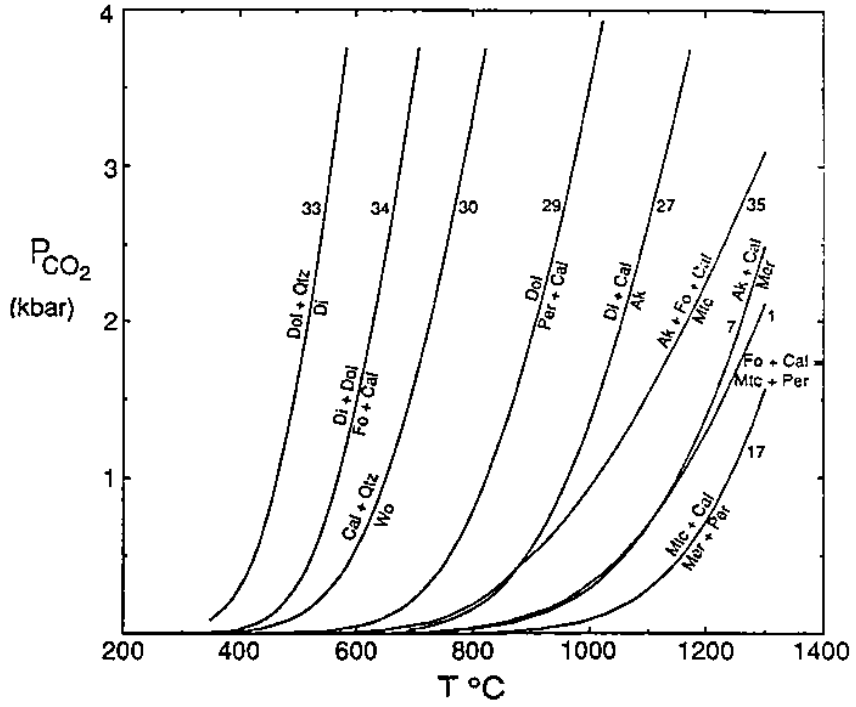
در حین تشکیل اسکارن‌های کلسیک، عموماً شرایط به گونه‌ای است که در مراحل اولیه کانی‌های سیلیکاتی آهکی بدون آب و غیر فلزی هم‌چون ولاستونیت، پیروکسن، گارنت و پلاژیوکلاز تشکیل می‌شوند [۱۹]. ولی واکنش‌های دگرگونی این اسکارن‌ها در مراحل بعدی، در جهت تشکیل کانی‌های سیلیکاتی آبدار (کلریت، اپیدوت، آمفیبول‌ها) و در نهایت کانی‌های غیر سیلیکاتی و یا فلزی (پیریت، مولیبدنیت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت) پیش خواهد رفت [۱۹]. بدین‌ترتیب کانی‌شناسی اسکارن‌های مورد بررسی تنگ حنا حاکی از تشکیل آن‌ها در مراحل اولیه‌ی واکنش‌های دگرگونی اسکارن‌هاست. با استناد به بررسیهای گرینود [۲۰] ولاستونیت در محیط‌های اسکارنی و هنگامی که فشار حدود ۱ تا ۲ کیلوبار باشد در اولین گام یعنی در دماهای $T = ۶۰۰ - ۷۰۰^{\circ}C$ تشکیل می‌شود (شکل ۱۱). هم‌چنین به عقیده‌ی مول‌هلند [۲۱] در اسکارن‌ها، پیروکسن‌ها نیز همراه با گارنت‌های گروسولار و آندرادیت در مرحله‌ی اولیه ولی با اندکی تأخیر نسبت به ولاستونیت تشکیل می‌شوند بنابراین می توان چنین تصور کرد که دسته‌ی اول اسکارن‌های تنگ حنا یعنی ولاستونیت اسکارن در اولین گام تشکیل شده و به دنبال آن‌ها اوژیت - ولاستونیت اسکارن، گروسولار - ولاستونیت اسکارن و در نهایت آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن‌ها شکل گرفته‌اند. جدول ۲، دنباله‌ی پاراژنتیکی کانی‌های اصلی اسکارن‌های تنگ حنا را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ ترکیب کانی‌شناسی و درصد مدی کانی‌ها در انواع اصلی اسکارن‌های تنگ حنا.

کانی شناسی / نام اسکارن	ولاستونیت	اوژیت	گروسولار	تیتانیت	آندرادیت	کلسیت	کوارتز	پرهنیت	کلریت	مگنزیوفریت	نام بافت	شماره نمونه
ولاستونیت اسکارن	٪۶۸	٪۲۴	-	-	-	٪۸	-	-	-	-	گرانونماتوبلاستیک	T۱S۴
اوژیت ولاستونیت اسکارن	٪۵۲	٪۲۷	-	-	-	٪۵	٪۳	-	٪۵	٪۸	گرانونماتوبلاستیک	T۱S۳
گروسولار ولاستونیت اسکارن	٪۶۲	-	٪۲۵	-	-	٪۵	٪۱	-	٪۷	-	گرانونماتوبلاستیک	T۱S۲
آندرادیت تیتانیت اوژیت ولاستونیت اسکارن	٪۴۵	٪۲۸	-	٪۱۰	٪۴	٪۳	٪۲	٪۳	٪۵	-	گرانونماتوبلاستیک	T۲S۴



شکل ۱۱ نمودار P_{CO_2} -T برای واکنش‌های مهم سیستم $CO_2 - SiO_2 - MgO - CaO$، نقل از [۲۰].

جدول ۲ دنباله‌ی پاراژنتیکی کانی‌های اصلی اسکارن‌های تنگ حنا.

مراحل / کانی‌ها	مراحل اولیه	مراحل تأخیری
ولاستونیت		
اوژیت		
گروسولار		
آندرادیت		
تیتانیت		

www.SID.ir

سنگ‌های میزبان اسکارن‌های تنگ حنا

چنان‌که در بخش زمین‌شناسی منطقه عنوان شد واحدهای اولترامافیک ردیف افیولیتی نی‌ریز، سنگ میزبان مرمرها و اسکارن‌های تنگ حنا را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۴ و ۵). نمونه‌های به دست آمده و بررسی شده از سنگ‌های مجاور این اسکارن‌ها نشان داد که ترکیب سنگ‌های میزبان در منطقه‌ی تماس از نوع هارزبورژیت است (شکل ۱۲) که کانی‌های اولیوین و اورتوپیروکسن آن‌ها به راحتی قابل تشخیص‌اند.

نتایج بررسی‌های ژئوشیمی

به منظور تکمیل بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، تعداد ۱۰ نمونه از اسکارن‌ها که دارای شرایط مناسب‌تری بوده‌اند شناسایی و جدا شده و مورد تجزیه‌ی XRD و XRF قرار گرفتند.

در این بخش نتایج حاصل از این نوع آنالیزها به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی نتایج تجزیه کانی‌شناسی XRD

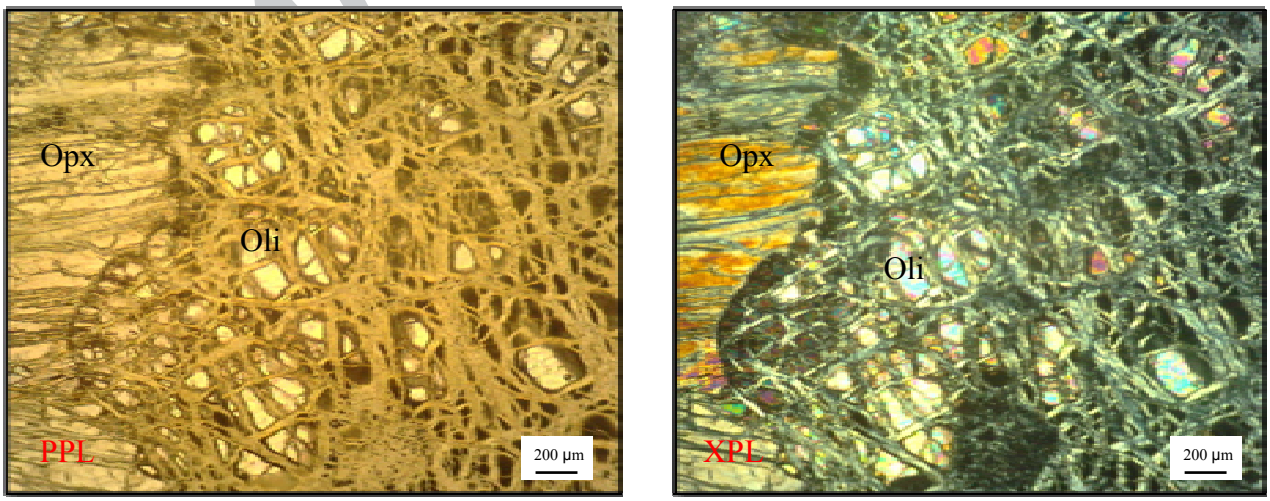
براساس نتایج این آنالیزها (شکل ۱۳)، مهم‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده‌ی اسکارن‌های تنگ حنا عبارتند از:

ولاستونیت، اوژیت، گروسولار، آندرادیت، تیتانیت، آنورتیت، کلسیت، کلریت، پرهنیت، مگنزیوفریت. تنها کانه‌ی گزارش شده در بررسی‌های XRD، مگنزیوفریت ($MgFe_2O_4$) است که جزء سری مگنتیت از کانی‌های خانواده‌ی اسپینل‌هاست.

ترکیب کانی‌شناسی بالا نیز موید آن است که سنگ کربناتی خاستگاه اسکارن‌های تنگ حنا، سنگ‌های آهکی بوده و در واقع این اسکارن‌ها از نوع اسکارن‌های کلسیک بوده‌اند زیرا کانی‌ها عموماً از سیلیکات‌های آهکی هستند.

نکته‌ی با اهمیت دیگر آن است که بر اساس نتایج تجزیه به روش XRD که با بررسی‌های میکروسکوپی هماهنگ‌اند بیشتر کانی‌ها از نوع کانی‌های غیر فلزی هستند. حضور ولاستونیت اسکارن ها به همراه گروسولار- اوژیت اسکارن که حجم اصلی اسکارن‌های تنگ حنا را تشکیل می‌دهند معرف اسکارن‌های داخلی (endoskarn) یا اسکارن‌های منطقه‌ی نزدیک‌ترند (proximal skarn). بنابراین اسکارن‌های بررسی شده به‌خاطر مسایل زمین‌شناسی اقتصادی، از نظر تشکیل ذخایر با ارزش غیر فلزی هم‌چون ولاستونیت و گارنت حائز اهمیت بوده و از نظر ذخایر فلزی که خاص منطقه‌ی اسکارن خارجی (exoskarn) یا اسکارن‌های دورتر (distal skarn) هستند، اهمیت زیادی ندارند [۱۹]. شاید تنها عضو فلزی قابل طرح در این بخش، کانی تیتانیت باشد که با حضور خود درصد TiO_2 را افزایش داده‌است. این مورد در بخش بعدی بررسی شده‌است.

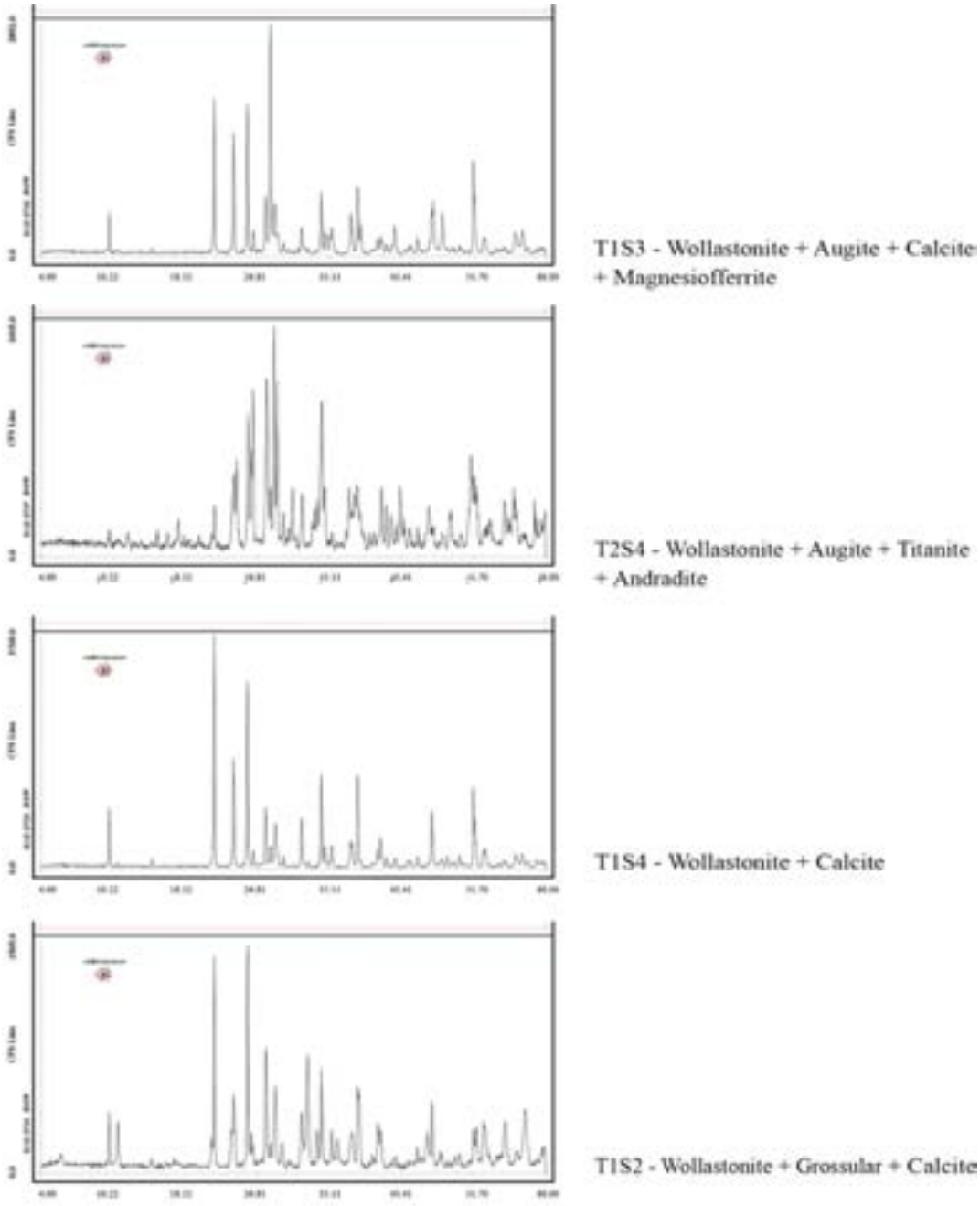
بخش اسکارن خارجی در این منطقه آشکار نبوده و عموماً پوشیده یا حذف شده‌است، ولی به‌دلیل اهمیت کانی‌سازی این بخش، بررسی‌های تکمیلی برای شناسایی آن ضروری است.



شکل ۱۲ همراهی اولیوین (Oli) و اورتوپیروکسن (Opx) در هارزبورژیت‌های کنار اسکارن‌های تنگ حنا.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱۳ نتایج تجزیه کانی‌شناسی XRD اسکارن‌های تنگ حنا.

بررسی نتایج تجزیه شیمیایی XRF

جدول شماره ۳ نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی ۱۰ نمونه از اسکارن‌های منطقه را نمایش می‌دهد. نتایج حاصل از این تجزیه روی نمودار مثلثی سیلیکات‌های کلسیم، منیزیم، آهن که برای تفکیک انواع اسکارن‌ها پیشنهاد شده‌اند [۲۲] قرار گرفته که براساس این نمودار نیز اسکارن‌های تنگ حنا از جمله اسکارن‌های کلسیک است (شکل ۱۴).

مسئله‌ی با اهمیت دیگر در خصوص ژئوشیمی اسکارن‌های تنگ حنا، بالا بودن درصد TiO_2 در اسکارن‌های تیتانیت دار است که در مواردی به بیش از ۴ درصد رسیده‌است (نمونه T2S4) این خصوصیت با بررسی‌های کانی‌شناسی هماهنگ بوده و معرف حضور کانی تیتانیت یا اسفن در این سنگ‌هاست. اهمیت حضور تیتانیت به‌عنوان یک کانی فرعی در آنست که اولا می‌تواند به عنوان یک چشمه‌ی TiO_2 مورد استفاده قرار

www.SID.ir

گیرد و ثانیاً حضور عناصر فرعی و کمیاب هم‌چون U , Th, Sn, Y, V ,Ta , Nb و Sr در شبکه‌ی بلوری تیتانیت [۲۳] باعث می‌شود که این کانی بیش از پیش با اهمیت باشد.

لازم به یادآوری است که بر اساس بررسی‌های کانی شناسی، فراوانی کانی تیتانیت در برخی اسکارن‌های تنگ حنا به ۱۰ درصد می‌رسد.

با توجه به این‌که تیتانیت در مقایسه با ولاستونیت، پیروکسن و گارنت با یک تاخیر فاز تشکیل می‌شود [۱۹] تغییرات TiO_2% نسبت به CaO در اسکارن‌های مختلف تنگ حنا مورد بررسی قرار گرفت تا روابط پاراژنتیکی کانی‌ها (جدول ۲) مورد ارزیابی قرار گیرد (شکل ۱۵). به استناد شکل ۱۵ چنین نتیجه می‌شود که از ولاستونیت اسکارن‌ها (نمونه T1S4) به سمت آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن (نمونه T2S4) همزمان با کاهش درصد CaO، میزان TiO_2 افزایش یافته‌است که این مسئله نشان‌دهنده‌ی افزایش درصد TiO_2 همزمان با کاهش دما و فشار دگرگونی و شکل-گیری از مرحله‌ی اولیه به مرحله‌ی تاخیری است.

از آن‌جا که آلومینیوم رفتار ژئوشیمیایی مشابهی با تیتانیوم دارد [۲۴] بایستی الگوی تغییرات Al_2O_3% نیز از رفتار TiO_2 پیروی کند. برای بررسی درستی این موضوع شکل ۱۶ ترسیم شده تا ثابت شود حین تحول از مرحله‌ی اولیه به تأخیری در تشکیل اسکارن‌های تنگ حنا، همزمان با کاهش CaO، میزان Al_2O_3 نیز هم‌چون TiO_2 افزایش می‌یابد.

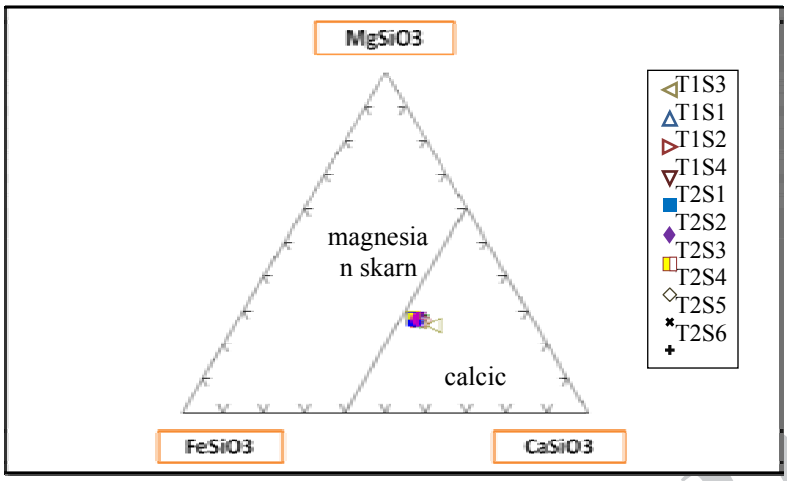
بررسی‌های ژئوشیمی اسکارن‌های تنگ حنا هم‌چنین نشان می‌دهند که درصد عناصر فلزی چون Zn , Pb , Fe , Cu در این سنگ‌ها پایین است که این ویژگی احتمالا تشکیل آن‌ها در بخش آندواسکارن را تأیید می‌کند [۱۹].

جدول ۳ نتایج تجزیه شیمیایی XRF اسکارن‌های تنگ حنا.

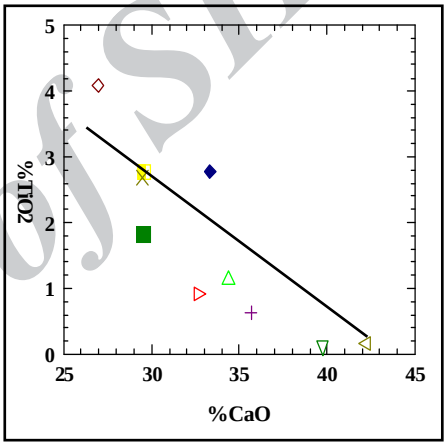
Sample		T1S1	T1S2	T1S3	T1S4	T2S1	T2S2	T2S3	T2S4	T2S5	T2S6
SiO_2	%	۴۴٫۷۰	۴۴٫۱۶	۳۹٫۹۵	۵۲٫۱۵	۴۴٫۸۱	۴۲٫۶۷	۴۳٫۹۱	۴۲٫۰۲	۴۵٫۱۷	۴۷٫۸۱
Al_2O_3	%	۸٫۹۶	۹٫۸۸	۱٫۲۹	۰٫۹۷	۱۴٫۴۵	۱۰٫۸۲	۱۳٫۵۲	۱۲٫۴۹	۱۰٫۶۶	۲٫۹۳
Fe_2O_3	%	۵٫۲۳	۴٫۰۴	۲٫۱۲	۱٫۳۹	۴٫۱۴	۴٫۳۲	۳٫۳۰	۴٫۷۹	۴٫۰۸	۴٫۶۸
CaO	%	۳۴٫۳۹	۳۲٫۷۸	۴۲٫۱۱	۳۹٫۷۶	۲۹٫۴۹	۳۳٫۳۰	۲۹٫۶۰	۲۶٫۹۳	۲۹٫۴۵	۳۵٫۶۷
Na_2O	%	۰٫۱۷	۱٫۷۹	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۹۵	۰٫۲۵	۱٫۰۲	۱٫۳۹	۱٫۵۸	۰٫۰۸
K_2O	%	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۱۵	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۱
MgO	%	۲٫۶۶	۲٫۲۰	۲٫۳۴	۲٫۰۶	۱٫۲۴	۱٫۶۷	۱٫۶۴	۲٫۳۳	۱٫۹۶	۳٫۳۲
TiO_2	%	۱٫۱۷	۰٫۹۱	۰٫۱۶	۰٫۱۰	۱٫۸۲	۲٫۷۷	۲٫۷۹	۴٫۰۹	۲٫۶۸	۰٫۶۳
MnO	%	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۰۹
P_2O_5	%	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۶۲	۰٫۱۳	۱٫۰۲	۱٫۵۳	۰٫۹۷	۰٫۰۴
SO_3	%	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
L.O.I	%	۲٫۹۶	۳٫۶۷	۱۱٫۴۲	۲٫۹۴	۱٫۷۷	۳٫۳۵	۲٫۸۴	۳٫۷۲	۳٫۰۰	۴٫۳۱
Cl	ppm	۶۲	۲۱۲	۵۳	۵۲	۱۲۴	۶۳	۷۶	۱۰۷	۹۸	۱۰۵
Ba	ppm	۸	۱۹	۳	۲۲	۱۴	۲۵	۵۳	۱۲۴	۸۰	۵۱
Sr	ppm	۱۶	۳۸	۹۳	۲۹	۲۵۵	۴۱	۱۰۹	۱۶۴	۱۷۶	۳۱
Cu	ppm	۵	۱۶	۴	۴	۱۱	۵	۱۴	۱۳	۴	۳
Zn	ppm	۲۵	۳۳	۱۲	۱۳	۲۴	۲۶	۲۵	۳۱	۳۳	۲۶
Pb	ppm	۱۰	۲	۹	۳	۷	۶	۵	۱	۱۰	۱۶
Ni	ppm	۶۶	۶۹	۱۰۲	۱۰۰	۶۰	۵۷	۵۶	۶۱	۵۸	۱۲۴
Cr	ppm	۵	۷	۲	۷	۱	۸	۵	۳	۱۰	۲
V	ppm	۱۱۷	۸۲	۱۸	۱۸	۱۵۶	۲۰۹	۲۱۸	۳۲۸	۲۱۴	۷۱
Ce	ppm	۱۴	۳	۲	۴	۶	۲	۲	۳	۲	۴
La	ppm	۷	۱	۱	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۲
W	ppm	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Zr	ppm	۳۸	۲۹	۲۱	۱۴	۴۷	۲۸	۴۲	۴۵	۴۴	۲۳
Y	ppm	۳۵	۷	۱	۴	۱۳	۱۵	۱۳	۲۴	۱۸	۳
Rb	ppm	۱۸	۱۴	۱۵	۱۳	۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	۱۴	۱۳
Co	ppm	۲	۱۲	۵	۱۱	۱۰	۴	۷	۱۲	۳	۱۷
As	ppm	۶۱	۳	۱	۲۰	۷۶	۲	۸	۹۳	۲۰	۶
U	ppm	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Th	ppm	۳	۵	۲	۸	۱	۹	۴	۲	۵	۳

Archive of SID

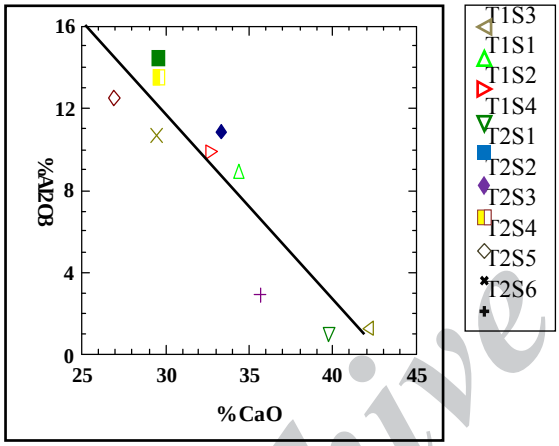
www.SID.ir



شکل ۱۴ قرار گیری اسکارن‌های تنگ حنا در موقعیت اسکارن‌های کلسیک، بر اساس [۲۰].



شکل ۱۵ نمودار تغییرات TiO_2 به CaO اسکارن‌های منطقه.



شکل ۱۶ نمودار تغییرات Al2O3 به CaO اسکارن‌های تنگ حنا.

بحث و برداشت

مهم‌ترین نتایج حاصل از پژوهش جاری در موارد زیر قابل بحث است.

اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حنای نی‌ریز در کنار توده‌های بازی-اولترابازی ردیف افیولیتی نی‌ریز قرار داشته و در حقیقت جزیی از ایالت ساختاری زاگرس خرد شده محسوب می‌شوند.

اسکارن‌های بررسی شده طی بررسیهای جاری به‌لحاظ کانی‌شناسی حاوی کانی‌های زیر بوده‌اند:

ولاستونیت، اوژیت، گروسولار، آندرادیت، تیتانیت، کلسیت، آنورتیت، پرهنیت، کلریت، کوارتز، مگنزیوفریت

براساس این بررسی‌ها، اسکارن‌های تنگ حنای نی‌ریز در چهار نوع اصلی رده‌بندی شده‌اند:

۱- ولاستونیت اسکارن ۲- اوژیت - ولاستونیت اسکارن ۳- گروسولار - ولاستونیت اسکارن ۴- آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن. بافت اصلی این اسکارن‌ها نماتوگرانوبلاستیک بوده است.

شواهد و دلایل کانی‌شناسی اسکارن‌های بررسی شده از جمله فراوانی کانی‌های سیلیکات آهکی، فراوانی کانی‌های غیر فلزی و نبود کانی‌های فلزی، موید آن است که اسکارن‌های بررسی شده ترکیب کلسیک (calcic skarn) داشته و جزء منطقه‌ی اسکارن داخلی (endoskarn) هستند.

براساس دنباله‌ی پاراژنتیکی کانی‌ها، چنین نتیجه می‌شود که در اولین مرحله ولاستونیت اسکارن‌ها شکل گرفته‌اند و به دنبال آن‌ها اوژیت - ولاستونیت اسکارن، گروسولار - ولاستونیت اسکارن و در نهایت آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن‌ها تشکیل شده‌اند.

بررسی‌های ژئوشیمی (شکل ۱۴) نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی را تأیید کرده و حاکی از قرار گرفتن اسکارن‌های منطقه در گستره‌ی اسکارن‌های کلسیک است. هم‌چنین براساس بررسی‌های اخیر، درصد TiO_2 در اسکارن‌های دارای تیتانیت، در برخی موارد به بیش از ۴ درصد رسیده است که حضور ۱۰ درصدی کانی تیتانیت در این اسکارن‌ها به‌خاطر

Archive of SID

www.SID.ir

تمرکز REE و عناصر دیگری هم‌چون Sr , U , Th , Sn , Y , V , Ta , Nb اهمیت دارد.

بررسی نمودارهای تغییرات اکسیدها ثابت کرد که حین شکل‌گیری از ولاستونیت اسکارن به آندرادیت - تیتانیت - اوژیت - ولاستونیت اسکارن، همزمان با کاهش %CaO مقدار TiO_2 و Al_2O_3 افزایش می‌یابد که این مسئله حاکی از تحول واکنش‌های مرحله‌ی اولیه به مرحله تأخیری است.

قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از نتایج طرح پژوهشی بررسی اسکارن‌های منطقه‌ی تنگ حنای نی‌ریز است که در حوزه‌ی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی شیراز تصویب و اجرا شده‌است. بنابراین شایسته است از همکاران محترم این حوزه قدردانی شود. هم‌چنین نویسندگان مقاله، لازم می‌دانند از نقطه نظرهای سودمند ارائه شده توسط داوران محترم تشکر کنند.

منابع

[1] Guilbert J. M., Park C. F., *"The geology of ore deposite"*, W. H. Freeman and company (1986) 985.

[2] Best M., *"Igneous & metamorphic petrology"*, Freeman (1982) 630.

[3] Meinert L. D., *"Skarns and skarn deposits"*, Geoscience Canada 19 (1992) 145-162.

[4] Meinert L. D., *"Igneous petrpgenesis and skarn deposits"*, Geologist Association, Canada Spec. 40 (1993) 569-583.

[5] Misra K. C. X, *"Understanding mineral deposites",* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands (1993) 845.

[6] Ricou L.E., *"Letude geologiques de la region de Neyriz (Zagros Iraniaen) et levolution structuraldes zagride",* These Universite, Paris (1974) 300.

[7] Hall R., *"Ophiolite – related contact metamorphism: skarn from Neyriz, Iran",* Geologist Association 92 (1981) 231-240.

[8] Adib D., Pumic J., *"Ultramafic and mafic cumulates from the Neyriz ophiolite complex in SE parts of the Zagros range (Iran)",* proceeding of the ophiolite symposium, Cyprus (1979) 392-397.

[۹] سبزه‌یی م.، *"خاستگاه اسکارن‌های منطقه تنگ حنای نی‌ریز و اهمیت آن در تکوین افیولیت‌های این منطقه"*، دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۶۳).

[۱۰] آروین م.، *"پترولوژی و ژئوشیمی افیولیت‌ها و سنگ‌های وابسته در زاگرس سوچر، نی‌ریز، ایران"*، پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۳).

[۱۱] سبزه‌یی م.، اشراقی ص. ع.، روشن روان ج.، علایی مهابادی س.، ورقه ۱۰۰/۰۰۰ : ۱ نی‌ریز، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۳).

[۱۲] فخار م.، *"بررسی کانی شناسی - سنگ شناسی اسکارن‌ها و مرمرهای مرتبط با افیولیت‌های نی‌ریز"*، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۴).

[۱۳] مرادی پور م.، سامانی ب.، رضوی م. ح.، مسعودی ف.، *"بررسی مدل‌های احتمالی تشکیل کانسار در محدوده‌ی تنگ حنا (شمال غرب نی‌ریز)"*، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز (۱۳۸۷).

[۱۴] بختیاری س.، *"اطلس جامع گیتاشناسی"*، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی (۱۳۸۴)، ۲۱۹ صفحه.

[۱۵] نبوی، م. ح.، *"دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"*، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۵۵)، ۱۰۹ صفحه.

[16] Falcon N. L., *"The geology of the northeast margin of the Arabian basement shield",* Advancement Science, 24 (1967) 31-42.

[17] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., *"An Introduction to the Rock Forming Minerals"*, Longman (1991) 528.

[۱۸] کریمی م.، آزادی م. ح.، *"استفاده بهینه از پودرهای حاصل از برش سنگ‌های چینی در صنایع پلاستیک، پلی اتیلن و پلی‌پروپیلن"*، همایش کاربرد روش‌ها و فن‌آوری‌های نوین در علوم زمین دانشگاه آزاد اسلامی محلات (۱۳۸۷).

[19] Brown V. S., Baker T., Stephens J. R., *"Ray gulch tungsten skarn",* Dublin Gulch, Central Yukon: Gold-tungsten relationships in intrusion-related ore systems and implications for Gold Exploration – Exploration and Geological services Division, Canada (2002) 259-268.

[20] Greenwood H. J., *"Mineral equilibria in the system MgO-SiO_2-H_2O-CO_2",* In Abelson, P. H., ed., researches in geochemistry, v. II: New York, John Wiley & Sons, (1967) 542-567.

[21] Mulholland I. R., *"Malayaite and tin-bearing garnet from a skarn at Gumble NSW Australia",* mineralogicalmagazine, v. 48 (1984) 27-30.

[22] Shimazaki H., Yamanak T., *"Iron – Wollastonite from skans and its stability relation in the $CaSiO_3$-$CaFeSi_2O_6$ join",* Geochemical journal, 7(1973) 67-79.

[23] Ahmed Z., Hariri M.M., *"Formation and mineral chemistry of a calcic skarn form Al-Madhiq, SW Saudi Arabia",* Elsevier (Chemie der EROE Geochemistry), 66 (2006) 187-201.

[۲۴] میسون ب.، مر ک.، *"اصول ژئوشیمی"*، ترجمه فرید مر و علی اصغر شرفی، انتشارات دانشگاه شیراز (۱۳۷۱).

Archive of SID

www.SID.ir