Archive of SID

مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال سیزدهم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۸۴، از صفحهٔ ۳۷۹ تا ۳۸۸

کانی‌شناسی مرمرهای حاصل از دگرگونی لیستونیت‌ها در افیولیت-های پروتروزوئیک بالایی انارک (شمال شرق استان اصفهان، ایران)

قدرت ترابی[۱]، مسیب سبزه‌یی[۲]، شوجی آرایی[۳]، میکی شیراساکا[۳]، احمدحسن احمد[۴]

۱- عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

۲- بخش زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشکده علوم زمین دانشگاه کانازاوا ژاپن

۴- مرکز تحقیقات و توسعه متالورژی، قاهره، مصر

پست الکترونیکی: torabighodrat@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۴/۳/۱۲ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۴/۷/۲۵)

چکیده: درون افیولیت انارک که سن پروتروزوئیک بالایی دارد، مرمرهای خاصی را به صورت پراکنده می‌توان مشاهده کرد که بیشترین رخنمون را در دامنه‌های جنوبی کوه چاه گربه (دره چاه مهدی) دارند. این مرمرها با مرمرهایی که جزئی از سنگ‌های دگرگونی انارک هستند متفاوتند. در بررسی‌های صحرایی، این مرمرها را به دو شکل توده‌ای و دایکی می‌توان مشاهده کرد. نتایج حاصل از بررسی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از کانی‌های کربنات (کلسیت)، گارنت (آندرادیت)، کلینوپیروکسن (دیوپسید و اوژیت غنی از منیزیم)، آمفیبول (ترمولیت)، سرپانتین، کلریت، اپیدوت، اسپینل کرم‌دار، مگنتیت و مگنتیت-های کرم‌دار حاصل از دگرسانی اسپینل‌های کرم‌دار تشکیل شده‌اند. بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که مرمرهای موجود در افیولیت انارک درحقیقت لیستونیت‌هایی قدیمی هستند که در اثر فازهای مختلف دگرگونی ناحیه‌ای تبدیل به مرمر شده‌اند. سنگ اولیه این لیستونیت‌ها نیز دایک‌ها و توده‌های نفوذی اولترابازیک، و پریدوتیت‌های گوشته بوده است. وجود سرپانتین، اسپینل کرم‌دار، مگنتیت و مگنتیت کرم‌دار در بررسی‌های میکروسکوپی، گواه این مدعاست که این مرمرها در اثر دگرگونی ناحیه‌ای لیستونیت‌ها تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌شناسی، مرمر، افیولیت، پروتروزوئیک بالایی، انارک، ایران.*

www.SID.ir

Archive of SID

IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 13, No. 2, 1384/2005 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Mineralogy of Marbles produced by metamorphism of Listvenites of Upper Proterozoic Anarak Ophiolite (NE of Isfahan province, Iran)

G. Torabi[1], M. Sabzehei[2], S. Arai[3], M. Shirasaka[3], H. A. Ahmed[4]

1- Geology Department of Isfahan University
E-mail: Torabighodrat@yahoo.com
2- Geology Dep.,Tarbiat Modarres university
E-mail: Msabzehei@yahoo.com
3- Earth Sci. Dep. , Kanazawa University, Kanazawa, Japan
E-mail: Ultrasa@kenroku.kanazawa-u.ac.jp
4- Central metallurgical res. and development inst., Cairo, Egypt
E-mail: Ahm2@yahoo.com

(Received: 23/06/2005, received in revised form: 17/10/2005)

Abstract: In the upper Proterozoic Anarak ophiolite, the marbles are present and havr excellent exposures in different areas. Their best exposure is in southern slope of Chah-Gorbeh mountain (Chah-Mahdi valley). In the field, marbles have massive and dike like exposures. Petrographic studies and geochemistry of minerals show that marbles consist of carbonate (calcite), garnet (andradite), clinopyroxene (diopside and magnesian-augite), amphibole (tremolite), serpentine, chlorite, epidote, chromian spinel, magnetite and chromian-magnetite, that are alteration products of chromian spinel. Field and microscopic studies show that the marbles have been produced by regional metamorphism of old listvenites at different phases of metamorphism. The protoliths of these metamorphosed listvenites were ultrabasic dikes and intrusions, and mantle peridotites. Presence of serpentine, relic chromian spinel, magnetite and chromian magnetite that have changed to garnet, supports this interpretation. Therefore, the marbles of Anarak ophiolite, are productions of regional metamorphism of old listvenites.

Keywords: *Mineralogy, Marble, Ophiolite, Upper Proterozoic, Anarak, Iran.*

www.SID.ir

Archive of SID

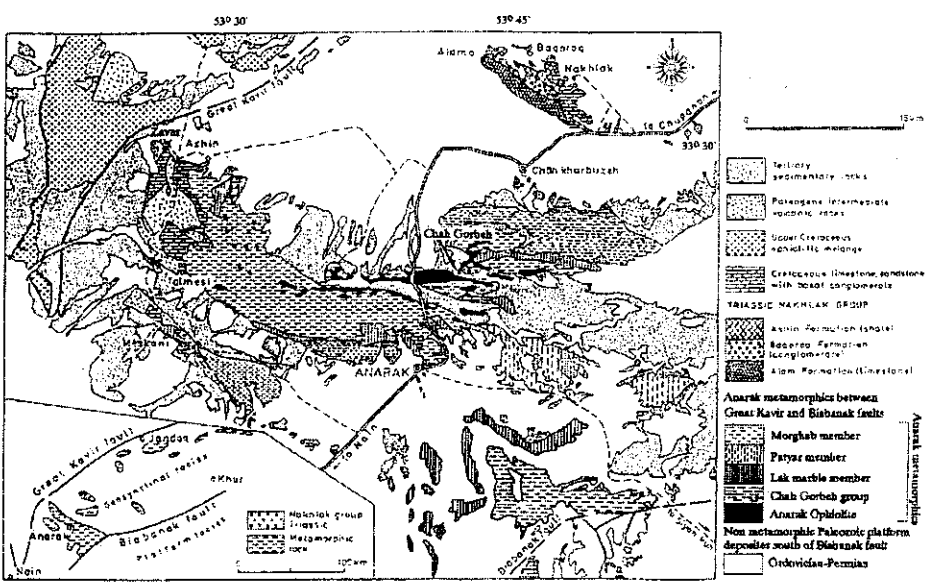
مقدمه

منطقهٔ انارک در شمال شرق استان اصفهان در حاشیهٔ جنوبی دشت کویر (کویر مرکزی) با شرایط سخت آب و هوای کویری، واقع شده‌است. این منطقه در محدودهٔ تقریبی طول‌های جغرافیایی°۵۴ ـ °۵۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی°۳۴ ـ °۳۳ شمالی قرار دارد.

در مقیاس ناحیه‌ای، منطقه انارک، با یک امتداد شمال غرب ـ جنوب شرق در میان گودال بزرگ دشت کویر در شمال و فرو افتادگی قم ـ اردکان در جنوب قرار گرفته‌است. این منطقه از غرب به کوه‌های اردستان و دم، از جنوب شرق به کویر سیاه کوه و از جنوب به کوه‌های شمالی نائین، محدود می‌شود. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، منطقهٔ مورد مطالعه در بخش‌های غربی ایران مرکزی، در حدفاصل گسل‌های درونه و بیابانک واقع شده‌است. نوسان دمای محیط بین ماه‌های مختلف سال تا ^{o}C ۶۵ نیز می‌رسد. میزان بارشهای جوی به طور متوسط mm ۱۰۸ در سال است.

در منطقه انارک دو گونه افیولیت وجود دارند [۱] (شکل ۱).

۱- افیولیت انارک: که در بخش های شمالی شهر انارک، در دامنهٔ شمالی کوه درهٔ انجیر و جنوبی کوه چاه گربه قرار دارد و دارای سن پروتروزوئیک بالایی است. سنگ های این مجموعهٔ افیولیتی در همبری با سنگ های دگرگونی انارک (با سن پروتروزوئیک بالایی – کامبرین پایینی) هستند.



شکل۱ نقشه زمین‌شناسی منطقهٔ انارک (اقتباس از [۲] با تغییرات انجام شده در مورد سنگ‌های دگرگونی و افیولیت انارک). افیولیت انارک با رنگ تیره در بخش‌های میانی تصویر، و افیولیت ملانژ عشین – زوار در بخش‌های شمال غربی دیده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

سنگ‌های تشکیل دهندهٔ افیولیت انارک عبارتند از: پریدوتیت‌ها و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته – پریدوتیت‌ها و دایک‌های زون انتقالی – سنگ‌های کومولایی – گابروها – دایک‌های بازیک و اولترابازیک – پیروکسنیت‌ها– گدازه‌های بالشی – رودینگیت‌ها، و پلاژیوگرانیت‌ها. لیستونیت‌ها و مرمرها نیز از تغییرات واحدهای سنگی افیولیت ثانویه تشکیل شده‌اند. تمام واحدهای این مجموعهٔ افیولیتی دگرگون شده‌اند. موضوع این نوشته نیز بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌های موجود در مرمرهای این افیولیت است.

۲ - افیولیت ملانژ عشین – زوار: که با سن مزوزوئیک و در بخش‌های شمال غربی منطقه انارک قرار دارد.

سنگ آهک‌های پالئوسن زیرین، و سازند آخوره با سن ائوسن پایینی، این ملانژ افیولیتی را به صورت دگرشیب پوشانده‌اند ولی درگیر ملانژ نشده‌اند. در منطقهٔ انارک سنگ‌های دگرگونی به فراوانی دیده می‌شود و بخش‌های مختلف این سنگ‌ها از قدیم به جدید عبارتند از [۳]:

*گروه چاه گربه، که از پایین به بالا شامل ۵ عضو است:

۱- شیست های سبرز، ۲- مرمرهای زیرین، ۳- شیست های زیرین، ۴- مرمرهای فوقانی، ۵- شیست های فوقانی.

* واحد مرمر لاک.

* واحد پتیار،

* واحد مرغاب.

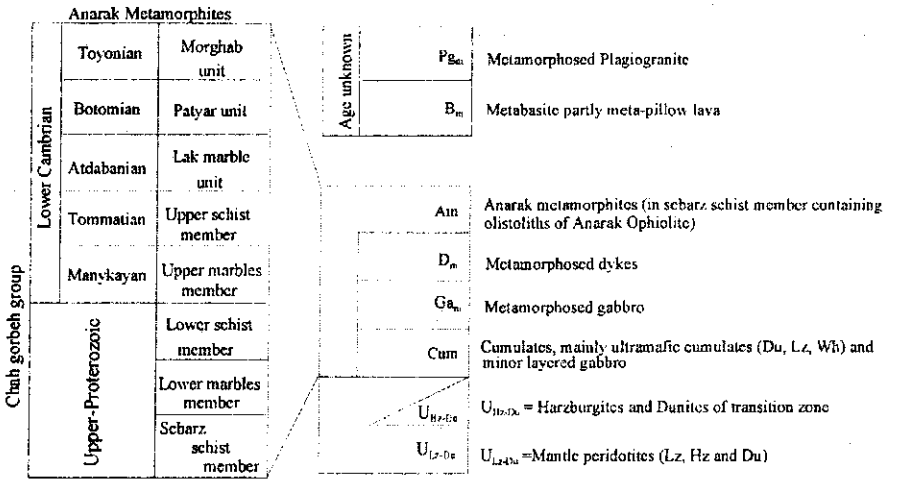
سن شیست‌های انارک با استفاده از روش Rb-Sr سنی معادل ۸۴۵ میلیون سال را براورد شده‌است [۴]. بررسی برخوردگان افیولیت انارک با عضو شیست سبرز (پایین‌ترین عضو گروه چاه گربه از سنگ‌های دگرگونی انارک) نشان می‌دهد که:

ضخامت قابل توجهی از تالک شیست‌ها و شیست‌های غنی از تالک در بخش‌های زیرین شیست‌های سبرز وجود دارد. پایین‌ترین بخش شیست‌های سبرز در حقیقت نوعی الیستوستروم است که قطعات بیگانه‌ای از اولترامافیک‌ها، لیستونیت‌ها، دایک‌ها و گابروهای افیولیت انارک را داراست. در برخی مناطق متاچرت‌های نواری در حدمیانی سنگ‌های اولترامافیک و سنگ‌های دگرگون وجود دارند. برگ وارگی درون اولترامافیک‌ها با برگ وارگی درون سنگ‌های دگرگون با یکدیگر موازی هستند. در برخوردگان الیستولیت‌های اولترامافیک با سنگ‌های دگرگون نیز تالک شیست تشکیل شده‌است، و اینکه برگ وارگی درون دگرگونه‌ها با رسیدن به الیستولیت‌های افیولیتی، آنها را دور می‌زند، همه دلایلی هستند که نشان می‌دهد افیولیت انارک از سنگ‌های دگرگون انارک قدیمی‌تر بوده و متعلق به پروتروزئیک بالایی است. تاکنون بررسیهای سیستماتیک چندی در منطقه انجام گرفته است [۵ تا ۷].

در شکل ۲ رابطهٔ چینه‌شناسی سنگ‌های افیولیت انارک با یکدیگر و با سنگ‌های دگرگون انارک نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ رابطه چینه‌شناسی سنگ‌های افیولیت شمال انارک با سنگ‌های دگرگونی انارک.

روش کار

به منظور بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌های موجود در مرمرهای افیولیت شمال انارک علاوه بر مطالعات صحرایی، تعداد ۱۰ نمونه از آنها برای تهیه مقطع نازک و مطالعات سنگ-شناسی انتخاب شدند. از بین مقاطع نازک، تعداد ۲ نمونه برای بررسی‌های ژئوشیمی کانی‌ها با استفاده از دستگاه میکروپروب در دانشگاه کانازاوا ژاپن، انتخاب و از آنها مقطع نازک صیقلی تهیه شد. نمونه‌هایی که با استفاده از دستگاه میکروپروب مورد بررسی قرار گرفتند از دامنه‌های جنوبی کوه چاه گربه (دره چاه مهدی) انتخاب شدند. در آنالیز کانی‌ها با استفاده از دستگاه میکروپروب الکترونی از میکروپروب JEOL مدل JXA-8800 (WDS) استفاده شد.

لیستونیت‌ها

از آنجاکه از ایجاد سنگ‌های این مجموعهٔ افیولیتی حداقل ۶۰۰ میلیون سال می‌گذرد و در این زمان طولانی، فازهای مختلف زمین‌ساختی و دگرسانی را تجربه کرده‌اند، لذا رخداد فازهای مختلف لیستونیتی شدن، سرپانتینی شدن، و رودینگیتی شدن قابل انتظار است. در افیولیت انارک حداقل باید ۳ فاز لیستونیتی شدن انجام شده باشد [۱]. قدیمی‌ترین لیستونیت‌ها مربوط به زمان قبل از نشستن واحدهای تهنشستی بر پریدوتیت‌ها است. فاز دوم لیستونیتی شدن همزمان با دگرشکلی پریدوتیت‌ها است و در محل گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی دیده می‌شود. جوان‌ترین فاز لیستونیتی شدن نیز در ارتباط با فرایند آتشفشانی ائوسن است.

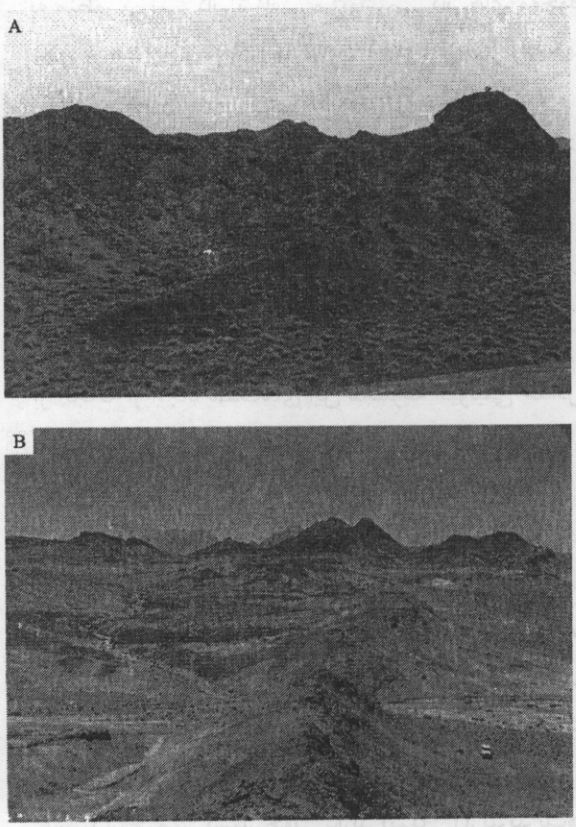
لیستونیت‌ها از دگرسان گرمابی (کربناته و سیلیسی شدن) سنگ‌های افیولیتی به دست می‌آیند [۸ و ۹]. در نزدیک به معدن متروکه پتیار بیربیریت‌ها که لیستونیت‌های غنی از کوارتز هستند رخنمون بسیار خوبی دارند (شکل ۳). بیربیریت‌ها لیستونیت‌های غنی از کوارتزند. با

www.SID.ir

Archive of SID

همهٔ این توصیفات حتی در نمونهٔ دستی نیز تشخیص اسپینل در این نوع از لیستونیت‌ها به راحتی میسر است. در مورد لیستونیت‌های فاز دوم موجود در افیولیت انارک، باید گفت که محل وجود این لیستونیت‌ها از محل گسل‌های منطقه تبعیت می‌کند. در منطقهٔ مورد مطالعه این نوع از لیستونیت‌ها در شمال کوه درهٔ انجیر (سبرز، مالگاه، کن مس، عبدالغنی، و چاه شوره) فراوانند. بیشترین مقدار این لیستونیت‌ها نیز در شمال مزرعه عبدالغنی دیده می‌شود. لیستونیت‌های فاز اول را نیز در درون شیست‌های سبرز و در محل پوندگان افیولیت انارک با سنگ‌های دگرگون در دامنه‌های جنوبی کوه چاه گربه می‌توان دید. فرایند آتشفشانی آندزیتی ائوسن نقش بسیار مهمی در تشکیل لیستونیت‌های فاز سوم منطقه داشته است و آن را می‌توان موتور گرمایی تشکیل لیستونیت‌ها در نظر گرفت.

از آنجاکه لیستونیت‌ها سنگ‌هایی هستند که از جهت مقدار طلا در آنها مورد توجه قرار دارند [۱۰]، بررسی مقدماتی در مورد تعدادی از نمونه‌های لیستونیتی انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار طلا در لیستونیت‌های این افیولیت قابل توجه است، بنابراین لازم است که این لیستونیت‌های این مجموعه سنگی از جنبه‌های اقتصادی مورد بررسی قرار گیرند.



شکل ۳ (A) دایک اولترابازیک لیستونیتی در غرب درهٔ چاه مهدی که در اثر دگرگونی تبدیل به مرمر شده‌است. سنگ دربرگیرنده این مرمرها، پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته است (نگاه به شمال). (B) فراوانی لیستونیت در منطقهٔ پتیار. در این منطقه در اثر پدیده لیستونیتی شدن، بیربیریت‌ها بوجود آمده‌اند (نگاه به شمال غرب).

www.SID.ir

Archive of SID

مرمرها

در بخش‌های مختلف افیولیت انارک حجم قابل توجهی از مرمرها را به صورت توده‌ای و یا دایکی شکل می‌توان مشاهده کرد که بیشترین رخنمون را در دامنه‌های جنوبی کوه چاه گربه (دره چاه مهدی) دارند (شکل ۳). این مرمرها از واحدهای سنگی افیولیت به دست آمده و با مرمرهایی که جزئی از دگرگونه‌های انارک را تشکیل می‌دهند متفاوتند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که این مرمرها در حقیقت از لیستونیت‌های قدیمی‌اند که طی دگرگونی ناحیه‌ای تبدیل به مرمر شده‌اند، و آنها را در نقاط مختلف افیولیت انارک به صورت پراکنده می‌توان دید. در بخش‌هایی از این مرمرها، بقایای سنگ‌های اولیه را که تبدیل به لیستونیت شده بود می‌توان مشاهده کرد. در تمامی بخشهای این مجموعه افیولیتی، سنگ دربرگیرنده این مرمرها، پریدوتیت‌های سرپانتینی شده گوشته هستند.

بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی اصلی این سنگ‌ها کربنات (کلسیت) بوده و کانی‌های فرعی که ریزدانه‌اند، نیز کلینوپیروکسن، گارنت، آمفیبول، سرپانتین، اپیدوت، کلریت، اسپینل کرم دار، مگنتیت و مگنتیت‌های کرم‌دار هستند (شکل ۴). مگنتیت‌ها و مگنتیت‌های کرم‌دار محصول دگرسانی اسپینل‌های کرم‌دار بوده و از اطراف به گارنت تبدیل شده‌اند.

نتایج تجزیه‌های الکترون میکروپروب کانی‌ها نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید و اوژیت غنی از منیزیم، با #Mg ۰٫۹۰، کربنات ها از نوع کلسیت، گارنت‌ها از نوع آندرادیت، و آمفیبول‌ها از نوع ترمولیت هستند. #Cr اسپینل های کرم دار ۰٫۵۱۲ بوده و #Mg آنها ۰٫۴۹۹ است. اسپینل‌های کرم دار موجود در این سنگ‌ها غنی از Al_2O_3 بوده (بیش از ۲۳٪) و از آنجا که این نوع از اسپینل‌ها نسبت به اسپینل‌های با #Cr بالا دارای مقاومت کمتری در برابر دگرسانی هستند، به صورت بخشی تبدیل به اسپینل غنی از آهن یعنی مگنتیت گردیده‌اند.

نتایج تجزیه‌های شیمیایی الکترون میکروپروب کانی‌های موجود در مرمرهای افیولیت انارک به همراه محاسبه فرمول ساختمانی آنها و درصد اعضای نهایی در مورد کلینوپیروکسن ها و گارنت ها در جدول های شماره ۱ تا ۳ ارائه شده است. در تفکیک آهن II و III و نمایش فرمول ساختاری کانی‌ها، از روش [۱۱] استفاده شد. دلیل اینکه جمع کل اکسید های متعلق به گارنت و مگنتیت کرم دار از ۱۰۰ فاصله زیادی دارد این است که عنصر آهن با غلظت، به صورت *FeO ارائه شده است و اگر آهن II و آهن III با دستگاه آنالیز کننده به صورت جداگانه داده می شد، این مسئله برطرف می‌شد.

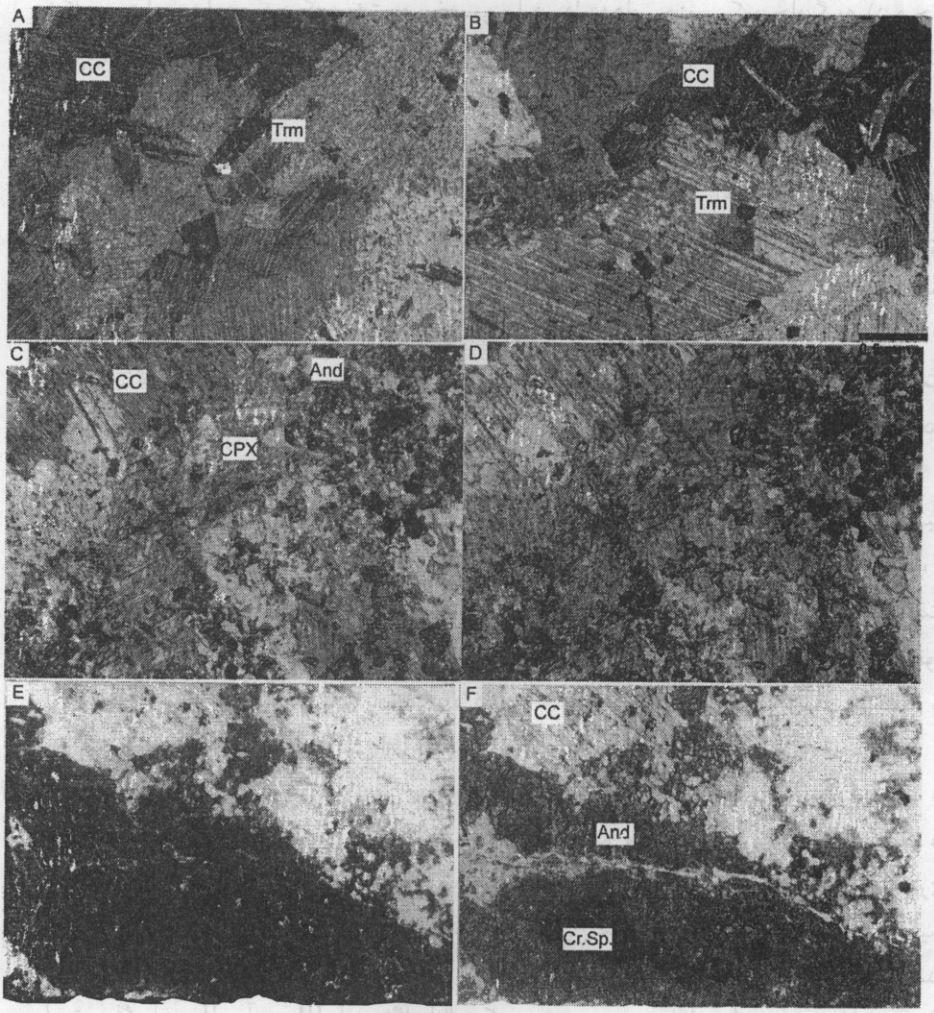
با توجه به چگونگی تشکیل این سنگ‌ها و اینکه کانی‌هایی همچون آمفیبول، کلینوپیروکسن، و گارنت به صورت کانی فرعی هستند، به نظر می‌رسد که بهترین نام برای این سنگ‌ها مرمر باشد و از نام‌هایی همچون اسکارن و یا کالک سیلیکات در این مورد استفاده نشود.

در مورد وجود کانی‌های سیلیکاته در این مرمرها و استفاده از ژئوترمومترهای معروف در مورد براورد شرایط دما و فشار تشکیل این سنگ‌ها باید گفت از آنجاکه تشکیل این سنگ‌ها حالتی بسیار خاص داشته و ۳ فاز دگرگونی را نیز گذرانده‌اند[۱]، باید در استفاده از آنها دقت فراوان کرد. در مورد این مرمرها از ژئوترمومتر گارنت – کلینو پیروکسن [۱۲ تا ۱۴] از نرم افزار PTMafic (v. 2.0)

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده شد. استفاده از این ژئوترمومتر برای نمونهٔ شماره ۳۵۳ که دارای کلینوپیروکسن و گارنت است، در گسترهٔ فشار ۱ تا ۱۰ کیلوبار، دمایی برابر ۳۲۳ تا ۳۵۸ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.



شکل ۴ (A)، و (B) تصاویر مرمرهای حاصل از دگرگونی لیستونیت‌های افیولیت انارک با کانی‌های کلسیت، آمفیبول (ترمولیت)، و مگنتیت.

(C) گارنت (آندرادیت)، دیوپسید، مگنتیت، وکلسیت در مرمرهای افیولیت انارک.

(D) همان تصویر قبل در نور عادی.

(E) گارنت، کلریت، سرپانتین، و کربنات در مرمرهای افیولیت انارک.

(F) همان تصویر قبل در نور عادی. به باقی ماندهٔ اسپینل‌های کرم‌دار اولیه در بخش داخلی گارنت توجه شود. وجود سرپانتین و اسپینل کرم‌دار بیانگر به دست آمدن این مرمرها از دگرگونی دایک‌های اولترابازیک و پریدوتیت‌های لیستونیتی است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ میانگین نتایج آنالیز کانی‌های موجود در مرمرهای افیولیت انارک.

Sample	Rock	Mineral Type	SiO_2 %	TiO_2 %	Al_2O_3 %	Cr_2O_3 %	FeO* %	MnO %	MgO %	CaO %	Na_2O %	K_2O %	NiO_2 %	Total %
۳۵۳	Massive (Marble)	A	۵۵٫۴۳۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۹	۰٫۰۴۸	۳٫۵۶۵	۰٫۱۹۹	۱۶٫۹۹۱	۲۳٫۶۶۱	۰٫۰۳۴	۰٫۰۱۱	۰٫۰۳۶	۹۹٫۹۸۵
		B	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۵۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۱	۵۴٫۳۵۷	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۷	۵۴٫۴۸۶
		C	۳۶٫۸۹۲	۰٫۰۵۵	۱٫۶۶۴	۰٫۲۱۳	۲۵٫۶۰۰	۰٫۲۹۱	۰٫۰۰۱	۳۱٫۶۳۹	۰٫۰۰۴	۰٫۰۱۷	۰٫۰۰۳	۹۶٫۳۷۸
		D	۵۷٫۸۵۴	۰٫۰۳۳	۰٫۰۵۳	۰٫۰۲۲	۳٫۶۸۴	۰٫۲۴۹	۲۲٫۴۰۰	۱۱٫۷۹۴	۰٫۲۴۴	۰٫۰۶۶	۰٫۱۵۷	۹۶٫۵۵۵
۳۷۰	Dike (Marble)	B	۱٫۱۷۳	۰٫۰۰۶	۰٫۱۴۷	۰٫۰۵۰	۰٫۳۰۷	۰٫۰۱۶	۱٫۶۳۶	۵۱٫۵۵۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۵۴٫۹۰۳
		E	۵۳٫۷۷۰	۰٫۵۲۶	۲٫۸۳۸	۱٫۰۶۴	۲٫۹۴۸	۰٫۱۰۲	۱۷٫۰۰۷	۲۰٫۷۹۵	۰٫۶۰۹	۰٫۰۱۷	۰٫۰۳۵	۹۹٫۷۱۱
		F	۰٫۰۰۴	۰٫۸۹۷	۲۳٫۳۳۳	۳۶٫۴۶۹	۲۸٫۱۳۶	۰٫۵۴۶	۱۰٫۵۷۲	۰٫۰۲۶	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۷	۰٫۱۱۹	۱۰۰٫۱۱۷
		G	۱٫۲۱۴	۰٫۰۵۰	۰٫۳۶۶	۱۴٫۸۸۴	۷۴٫۰۲۷	۱٫۰۷۳	۱٫۵۰۹	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲۰	۰٫۱۱۸	۹۳٫۲۹۳

A:۲ CPX, B: Calcite, C: ۳Garnet, D: ۵Amphibole E: Cpx F: ۳Spinel, G: Cr-magnetite.

جدول ۲ فرمول ساختمانی محاسبه شده کانی‌های موجود در مرمرهای افیولیت انارک.

Sample	Rock	Mineral Type	Oxyg. Atm.	Si	Ti	Al	Cr	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Mn	Mg	Ca	Na	K	Ni	Total
۳۵۳	Massive (Marble)	A	۶	۲٫۰۲۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۱۰۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۶	۰٫۹۲۶	۰٫۹۲۷	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۴٫۰۰۰
		B	۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۹۹۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۱٫۰۰۰
		C	۱۲	۳٫۱۱۸	۰٫۰۰۴	۰٫۱۶۶	۰٫۰۱۴	۰٫۲۳۱	۱٫۵۸۲	۰٫۰۲۱	۰٫۰۰۰	۲٫۸۶۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۸٫۰۰۰
		D	۲۳	۸٫۰۳۸	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۲	۰٫۴۲۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۹	۴٫۶۴۰	۱٫۷۵۵	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۸	۱۵٫۰۰۰
۳۷۰	Dike (Marble)	B	۳	۰٫۰۲۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۴۱	۰٫۹۳۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۱٫۰۰۰
		E	۶	۱٫۹۶۰	۰٫۰۱۴	۰٫۱۲۲	۰٫۰۳۱	۰٫۰۹۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۳	۰٫۹۲۴	۰٫۸۱۲	۰٫۰۴۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۴٫۰۰۰
		F	۳۲	Si	Ti	Al	Cr	Fe*	Fe2+	Fe3+	Mn	Mg	Ca	Na	K	Total
				۰٫۰۰۱	۰٫۱۶۷	۶٫۸۱۹	۷٫۱۴۹	۵٫۸۳۴	۴٫۱۳۸	۱٫۶۹۵	۰٫۱۱۵	۳٫۹۰۸	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
		G	۳۲	۰٫۲۷۱	۰٫۰۱۱	۰٫۱۳۲	۳٫۰۵۹	۱۸٫۹۱۸	۷٫۴۱۲	۱۱٫۰۰۷	۰٫۲۷۸	۰٫۶۸۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰

A:۲ CPX, B: Calcite, C: ۳Garnet, D: ۵Amphibole E: Cpx F: ۳Spinel, G: Cr-magnetite.

جدول ۳ درصد مولکولی اعضای نهایی محلول‌های جامد در مورد گارنت‌ها و پیروکسن‌های موجود در مرمرهای افیولیت انارک.

Sample ۳۵۳	۳ Garnet
Andradite	%۹۴٫۸۲
Grossular	%۴٫۴۳
Uvarovite	%۰٫۷۵

Sample	۳ CPX ۳۵۳	CPX ۳۷۰
Wollastonite	%۴۷٫۰۲	%۴۳٫۳۶
Enstatite	%۴۶٫۹۹	%۴۹٫۳۵
Ferrosilite	%۵٫۸۷	%۴٫۹۹
Acmite	%۰٫۱۲	%۲٫۳۰

برداشت

وجود سرپانتین، اسپینل‌های کرم‌دار، مگنتیت و مگنتیت‌های کرم‌دار حاصل از اسپینل‌های کرم‌دار اولیه که از اطراف بطور بخشی به گارنت تبدیل شده‌اند، و نیز بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که سنگ اولیه این مرمرها که در حقیقت لیستونیت‌های دگرگون شده‌اند از، دایک‌ها و توده‌های نفوذی اولترابازیک، و پریدوتیت‌های گوشته بوده و این مرمرها در اثر دگرگونی ناحیه‌ای لیستونیت‌ها تشکیل شده‌اند.

مراجع

[۱] ترابی ق.، "*پترولوژی افیولیت‌های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان) با تاکید بر مطالعه سنگ‌های اولترامافیک - مافیک افیولیت شمال انارک و سنگ‌های اولترامافیک -*
www.SID.ir

Archive of SID

مافیک ملانژ افیولیتی عشین-زوار، رساله دکترای پترولوژی، بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۳)، صفحه ۲۴۰.

[2] Weber-Diefenbach K., Davoudzadeh M., Alavi-Tehrani N., Lensch G., *"Paleozoic Ophiolites of Iran, geology, geochemistry and geodynamic implication"*, Ofioliti 11(3) (1986) 305-338.

[3] Almasian M., *"Tectonics of the Anarak area (Central Iran)"*, Islamic Azad University, Science and Research Unit, PhD thesis (1997) p. 164.

[4] Reyer D., Mohafez S., *"The first contribution of the NIOC-ERAP agreements to knowledge of Iranian geology"*, Edition techniq, Paris (1972) p. 58.

[5] V/O Technoexport, *"Geological maps of Anarak (1/250,000), Anarak (1/100,000), Ashin (1/100,000), Nakhlak (1/100,000), & Sorkhshad (1/100,000)"*, No. G7; Sheet: 6756; Sheet: 6656; Sheet: 6757; Sheet: 6657, respectively, Geological Survey of Iran (1984).

[6] V/O Technoexport, *"Geology of the Anarak area (Central Iran)"*, Geological Survey of Iran, Report TE/No.19 (1984).

[7] V/O Technoexport, *"Outline of metallogeny of Anarak area (Central Iran)"*, Geological Survey of Iran, Report TE/No. 21 (1984).

[8] Ash C. H., *"Relationship between Ophiolites and Gold-Quartz Veins in the North American Cordillera"*, Department of Energy, Mines and Petroleum Resources, British Columbia Geological Survey, Bulletin 108 (2001) p. 140.

[9] Hall C., Zhao R., *"Listvenite and related rocks: Prospectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at Cregganbaun Co. Mayo, Republic of Ireland"*, Mineralium Deposita 30 (1995) 303-313.

[10] Buisson G., Leblanc M., *"Gold in carbonatized ultramafic rocks from ophiolite complexes"*, Econ. Geol. 80 (1985) 2028-2029.

[11] Spear F. S., *"Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths"*, Mineralogical Society of America (1995) 799 p.

[12] Ellis D. J., Green D. H., *"An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria"*, Contrib. Mineral. Petrology 71 (1979) 13-22.

[13] Ganguly J., *"Garnet and clinopyroxene solid solutions, and geothermometry based on Fe-Mg distribution coefficient"*, Geoch. Cosm. Acta 43 (1979) 1021-1029.

[14] Powell R., *"Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet-clinopyroxene geothermometer revisited"*, J. metamorphic Geology 3 (1985) 231-243.

www.SID.ir