



کانی‌شناسی و شیمی کانی سرپانتینیت‌ها و متالیستونیت‌های افیولیت بیاضه (شمال شرق استان اصفهان)

نرگس نصوحیان^{*}، قدرت ترابی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۱/۱/۱۶، نسخه نهایی: ۹۱/۷/۲۱)

چکیده: افیولیت بیاضه به سن احتمالی پالئوزوئیک در راستای گسل بیاضه رخنمون داشته و در حاشیه شرقی بلوک یزد (ایران مرکزی) واقع شده است. در بررسی‌های صحرایی این افیولیت شامل پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، متاگابرو، دایک‌های اولترابازی دگرگون شده، متاپیکریت، سرپانتینیت و متالیستونیت است. گسترش فرایند سرپانتینی شدن در پریدوتیت‌های گوشته بیاضه، موجب تغییر پریدوتیت‌ها به پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و نیز سرپانتینیت، گردیده است. تبدیل تدریجی سرپانتینیت به متالیستونیت در بررسی‌های صحرایی قابل مشاهده است. بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که متالیستونیت‌های افیولیت بیاضه، در اثر دگرگونی ناحیه‌ای از لیستونیت‌های قدیمی ایجاد شده‌اند. پس از تشکیل لیستونیت‌های قدیمی، رخداد دگرگونی ناحیه‌ای موجب تغییر لیستونیت‌های کربناتی به متالیستونیت‌های کربناتی و لیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی به متالیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی با ترمولیت و اکتینولیت فراوان شده است. بررسی شیمی کروم اسپینل‌های موجود در سرپانتینیت‌های بیاضه وابستگی آن‌ها را به پریدوتیت‌های گوشته‌ای افیولیتی تهی شده نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: افیولیت؛ کروم اسپینل؛ متالیستونیت؛ ایران مرکزی؛ بیاضه.

مقدمه

افیولیت‌ها بقایایی از لیتوسفر اقیانوسی هستند که در مناطق کششی ایجاد شده و به وسیله پدیده‌های زمین‌ساختی به حاشیه قاره‌ها فرارانده می‌شوند [۱-۲] و یا بدون فرارانش بین صفحات قاره‌ای قرار می‌گیرند [۳]. افیولیت‌ها در موقعیت‌های زمین‌ساختی مختلف از جمله پشته‌های میان اقیانوسی، مراکز گسترش پشت کمان و در محیط‌های گسترش مناطق کششی بالای زون فروارانش (زون‌های سوپراسابداکشن) تشکیل می‌شوند [۲].

تغییر شکل‌هایی که همزمان و یا پس از جایگیری افیولیت‌ها بر این سنگ‌ها تاثیر می‌گذارد بیشتر شامل فرایندهای سرپانتینی شدن [۴-۶]، رودینگیتی شدن، لیستونیتی شدن

[۷] و دگرگونی ناحیه‌ای [۳-۸] است. این تغییر شکل‌ها غالباً در نتیجه‌ی جایگیری افیولیت‌ها از طریق فرایندهای زمین-ساختی فعال در پوسته‌ی قاره‌ای ایجاد می‌شود [۹]. پریدوتیت‌ها از طریق فرایند آگیری که در طول مراحل جایگیری این واحدها رخ می‌دهد، به سرپانتینیت تبدیل می‌شوند و همچنین می‌توانند دستخوش درجه‌های مختلف دگرگونی ناحیه‌ای و تبلور کانی‌ها شوند [۱۰]. به عبارت دیگر جایگیری پریدوتیت‌های گوشته در پوسته‌ی قاره‌ای و رخداد دگرگونی‌های ناحیه‌ای که پس از فرارانش در آن‌ها رخ می‌دهد، امکان تغییر ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختاری و بافتی در پریدوتیت‌ها را ایجاد می‌کند [۱۱]. افیولیت بیاضه با سن احتمالی پالئوزوئیک [۱۲] در شمال

^{*} نویسنده مسئول، تلفن: ۷۹۳۲۱۶۵ (۰۳۱۱)، نمابر: ۷۹۳۲۱۵۲ (۰۳۱۱)، پست الکترونیکی: Nosouhian@gmail.com

نزدیک به بلوک پشت بادام قرار دارد [۱۳] (شکل ۱). براساس تقسیم‌بندی جغرافیایی افیولیت‌های ایران، این افیولیت از دسته افیولیت‌های واقع در درون بخش غربی خرد قاره شرق-ایران مرکزی (بلوک یزد) است و در روند افیولیت‌های انارک، جندق و پشت بادام قرار دارد [۸].

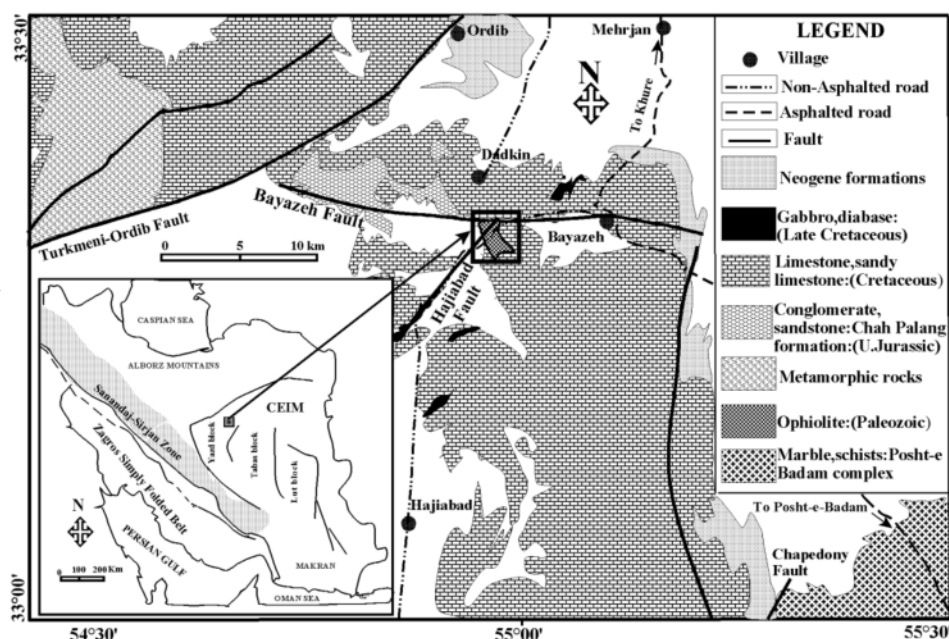
افیولیت بیاضه در راستای گسل بیاضه رخنمون دارد که این گسل مرز مجموعه افیولیت و آهک‌های سازند بیابانک وابسته به کرتاسه زیرین است. گسل بیاضه در بخش شمالی به گسل ترکمنی-اوردیب می‌پیوندد که پیوندگاه آن‌ها با رسوب-های پلیوکواترنر پوشیده شده است [۱۴]. نقشه‌ی زمین شناسی ساده شده از منطقه‌ی مورد بررسی در شکل ۱ ارائه شده است. در بررسی‌های صحرایی واحدهای سازنده‌ی این افیولیت شامل پریدوتیت دگرگون شده، متاگابرو، دایک‌های فرابازی دگرگون شده، متاپیکریت، سرپانتینیت و متالیستونیت است (شکل ۲). این مجموعه با سنگ‌های دگرگون از قبیل مرمر، شیست و ماسه سنگ‌های دگرگون شده، پوشیده شده است. سازندهای رسوبی وابسته به ژوراسیک فوقانی و کرتاسه زیرین، افیولیت بیاضه و دگرگونه‌های روی آن را می‌پوشانند (شکل ۲-الف). بازالت قلیایی نیز در این منطقه دیده می‌شوند (شکل ۲-الف).

شرق استان اصفهان قرار دارد و از ردیف‌های ناکامل افیولیتی در ایران محسوب می‌شود. تاثیر گسترده‌ی فاز شاری بر این افیولیت منجر به دگرسانی کامل پریدوتیت‌های گوشته اولیه موجود در آن شده است. با گسترش فرایند سرپانتینی شدن در این پریدوتیت‌ها، کانی‌های سازنده‌ی آن‌ها به طور کامل به کانی‌های گروه سرپانتین تبدیل شده و تنها کانی کروم اسپینل به عنوان کانی آذرین اولیه در این سنگ‌ها حضور دارد.

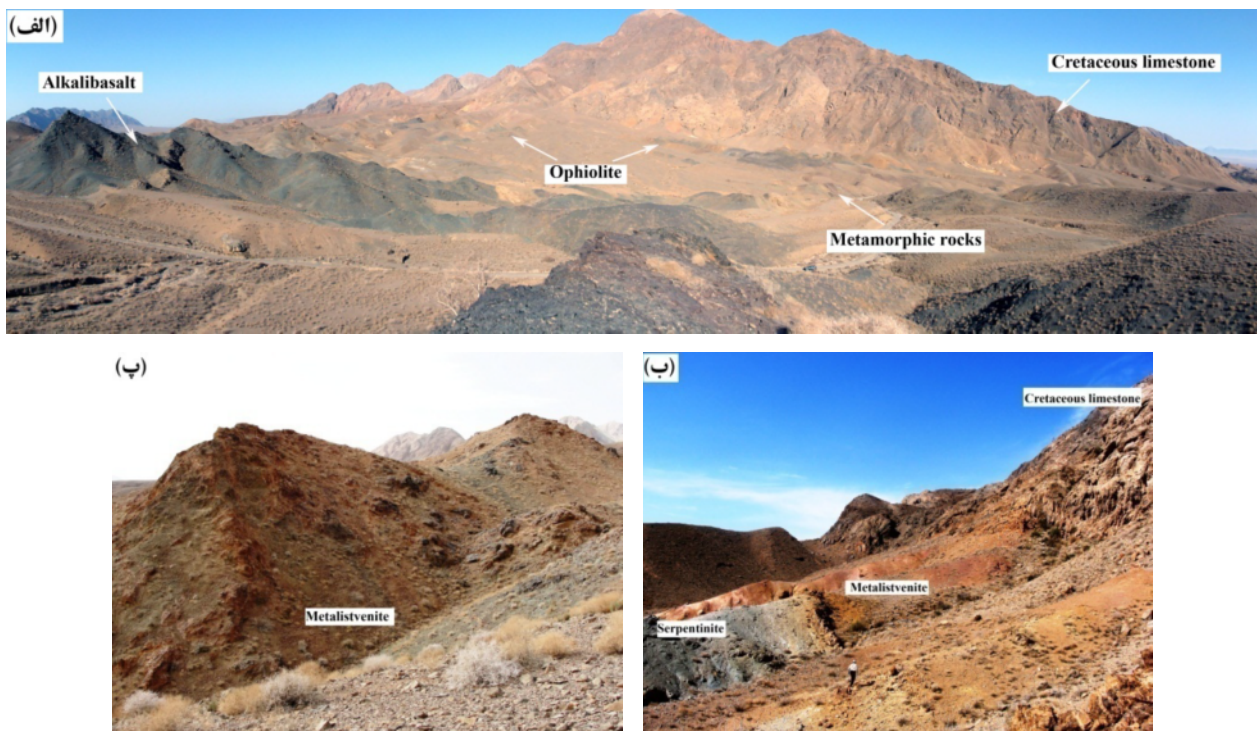
تاثیر دگرسانی گرمایی از نوع کربناتی شدن بر سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینی شده به خصوص سرپانتینیت‌های موجود در افیولیت بیاضه منجر به تبدیل این مجموعه‌های سنگی به لیستونیت شده است. رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در این منطقه، موجب دگرگونی در این لیستونیت‌ها شده و لیستونیت‌های دگرگون شده‌ی این منطقه را ایجاد کرده است. در این پژوهش با تکیه بر بررسی‌های سنگ‌نگاری و آنالیزهای ریزپردازشی، کانی‌شناسی و شیمی کانی سرپانتینیت‌ها و متالیستونیت‌های افیولیت بیاضه بررسی شدند.

زمین‌شناسی عمومی

افیولیت بیاضه در غرب روستای بیاضه و جنوب شهرستان خور (شمال شرقی استان اصفهان) واقع شده است. این منطقه در تقسیمات زمین‌شناسی ایران، بخشی از بلوک یزد است و



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی در نقشه ایران (برگرفته از قاسمی و تالوت [۱۳] با تغییرات) و نقشه زمین شناسی ساده شده از منطقه بیاضه (برگرفته از آیستوو و همکاران [۱۵] با تغییرات).



شکل ۲ تصاویر صحرایی افیولیت بیاض. (الف) پانورمایی از منطقه (دید به سمت شمال). (ب) نمایی از افیولیت بیاض، که همیافتی متالیستونیت‌ها و سرپانتینیت‌های منطقه قابل مشاهده است و این مجموعه به وسیله‌ی سنگ آهک کرتاسه بالایی نزدیک به گسل بیاض پوشانده شده است (دید به سمت شمال غربی). (پ) متالیستونیت های سیلیسی-کربناتی افیولیت بیاض (دید به سمت جنوب).

براساس بررسی‌های کانی شناسی گابروها و پیکریت‌های افیولیت بیاض تحت تاثیر دگرسانی گسترده و دگرگونی در شرایط بالای رخساره شیبست سبز تا رخساره‌ی آمفیبولیت قرار گرفته‌اند. این فرایندها منجر به تغییر برخی از کانی‌های اولیه موجود در این سنگ‌ها و تبدیل آن‌ها به کانی‌های دگرسان و دگرگون شده است. پیشینه بررسی‌های این منطقه مبتنی بر پژوهش‌های [۱۶، ۱۵، ۱۲] است. آیستوو و همکاران [۱۵] بر این باورند که همه‌ی واحدهای سنگی تشکیل دهنده‌ی افیولیت بیاض و رسوب‌های پوشاننده‌ی آن‌ها در این منطقه به طور ناحیه‌ای دگرگون شده‌اند. این پژوهشگران شرایط دما- فشار رخساره‌ی آمفیبولیت پایینی را برای این مجموعه در نظر گرفته‌اند. آنان همچنین افیولیت بیاض را به سن کامبرین تا پالئوزویک پایینی دانسته و دگرگونی‌های همراه با آن را جزئی از مجموعه‌ی افیولیت می‌دانند.

باقری [۱۲] مجموعه‌های افیولیتی واقع در درون بخش غربی خرد قاره‌ی شرق- ایران مرکزی که شامل افیولیت‌های انارک، جندق، بیاض و پشت بادام می‌شود را به پالئوزویک بالایی تا مزوزویک نسبت می‌دهند. همچنین [۱۲-۱۷] این مجموعه‌های افیولیتی را به عنوان بقایایی از پالئوتتیس به

ماتاگبروهای افیولیت بیاض از طریق رخداد دگرگونی از گابروهای توده‌ای موجود در این افیولیت ایجاد شده‌اند. این متاگابروها در بررسی‌های کانی‌شناسی و شیمی کانی، دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (لآبرادوریت و آلبیت) و آمفیبول (هورنبلند شرم‌ماکتی و اکتینولیت) هستند. کانی‌های فرعی موجود در آن‌ها نیز به ترتیب فراوانی شامل اپیدوت، کلریت (پیکنوکلریت)، کدر (مگنتیت)، کلسیت، کوارتز و اسفن است. بافت‌های غالب در این متاگابروها، گرانوبلاستیک، نماتوبلاستیک و پوئی کیلوبلاستیک است.

متاپیکریت‌های افیولیت بیاض جزئی از پیکره‌ی افیولیت هستند. در بررسی‌های سنگ‌نگاری و شیمی کانی، کانی‌های اصلی سازنده متاپیکریت‌های افیولیت بیاض به ترتیب فراوانی عبارتند از الیوین‌های کاملاً سرپانتینی شده، کلینوپیروکسن (دیوپسید، اوژیت)، فلوگوپیت و آپاتیت. کانی‌های فرعی سازنده این سنگ‌ها نیز شامل سرپانتین (آنتی گوریت)، کلریت (کلینوکلر، پنینیت)، آمفیبول (ترمولیت، اکتینولیت، هورنبلند ترمولیتی) و کدر (مگنتیت، ایلمنیت) است. بافت‌های غالب در این سنگ‌ها بافت بلاستوپورفیری، پوئی کیلوبلاستیک و نماتوبلاستیک است.

های اولیه سازنده‌ی پریدوتیت‌های این افیولیت به جز کانی کروم اسپینل، به طور کامل به‌وسیله‌ی کانی‌های گروه سرپانتین جانشین شده و سرپانتینیت‌ها را ایجاد کرده است. لیستونیت‌های منطقه، محصول دگرسانی گرمایی از نوع کربناتی‌شدن در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت-های موجود هستند و تغییر تدریجی سرپانتینیت به لیستونیت در بررسی‌های صحرایی به راحتی قابل مشاهده است. رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در این منطقه، که احتمالا می‌توان آن را به فاز کوهزایی سیمین پسین نسبت داد، تغییرات کانی شناسی لیستونیت‌های موجود را در پی داشته است که منجر به ایجاد لیستونیت‌های دگرگون شده در این منطقه شده است.

سنگ‌نگاری سرپانتینیت‌ها: در بررسی‌های صحرایی، بیشتر سرپانتینیت‌های افیولیت بیاضه در پهنه‌های گسلی با راستای خطی قرار گرفته اند. این سرپانتینیت‌ها همیافت با متالیستونیت‌های منطقه‌اند و ساخت گسل خورده و یا گسل خورده-رگه‌ای را نشان می‌دهند.

کانی‌شناسی سرپانتینیت‌های موجود نشان می‌دهد که این سنگ‌ها بیشتر از سرپانتین (آنتی گوریت) همراه با مگنتیت، کروم اسپینل، تالک، کریزوتیل، کلریت، ترمولیت، اکتینولیت و کربنات (دولومیت و کلسیت) تشکیل شده است. بافت مشبک به صورت فرعی در این سنگ‌ها دیده می‌شود.

کروم اسپینل، به عنوان تنها کانی آذرین اولیه باقیمانده از پریدوتیت‌های گوشته در این سرپانتینیت‌ها حضور دارد. بیشتر کروم اسپینل‌های موجود در سرپانتینیت‌های بیاضه شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و تحت تاثیر فرایند مگنتیتی شدن قرار گرفته‌اند. این فرایند از حواشی کروم اسپینل‌ها و در طول شکستگی‌های آن‌ها آغاز شده است (شکل ۳-الف). با گسترش واکنش سنگ/شاره حواشی مگنتیتی، کروم اسپینل‌ها عریض‌تر شده و در برخی نمونه‌ها تا تبدیل کامل اسپینل‌های کروم‌دار به مگنتیت ادامه می‌یابد (شکل ۳-ب) [۶]. دو نوع سرپانتین در این سرپانتینیت‌ها قابل تشخیص‌اند:

۱- بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD سرپانتینیت‌ها، آنتی گوریت فراوان‌ترین کانی سرپانتین موجود در این نمونه‌هاست. کریزوتیل نیز به صورت فرعی در این سرپانتینیت‌ها حضور دارد و سازنده‌ی بافت مشبک در این سنگ‌هاست (شکل ۳-پ). به عقیده‌ی مودی [۴] آنتی گوریت محصول پیشرفت دگرگونی ناحیه‌ای است که از لیزاردیت و کریزوتیل ایجاد می‌شود.

حساب می‌آورند که با چرخش پاد ساعتگرد خرد قاره‌ی شرق-ایران مرکزی از مناطق شمال شرقی ایران (آق دربند) به این بخش منتقل شده‌اند.

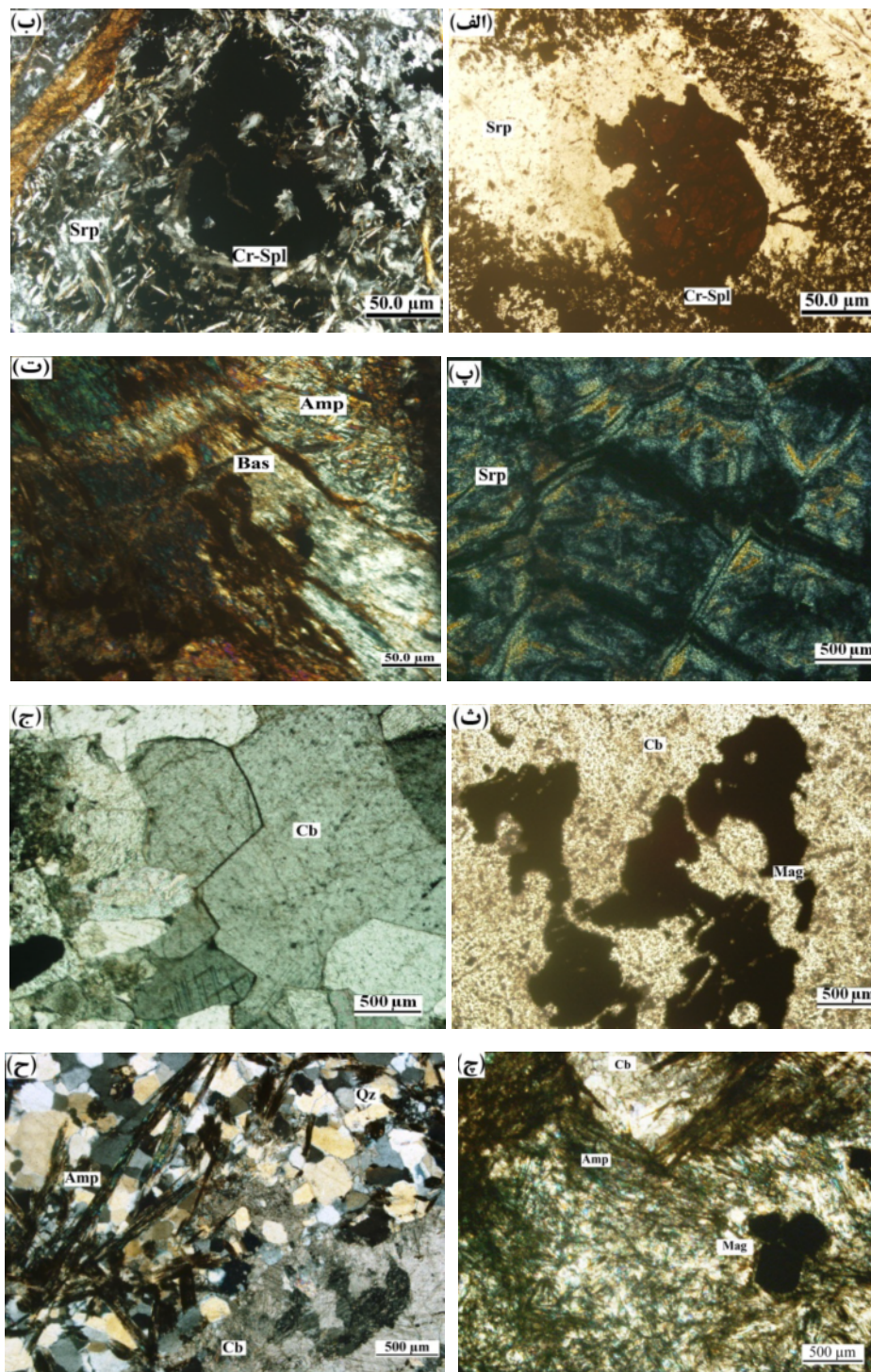
بازالت‌های قلیایی بیاضه توسط [۱۶] مورد بررسی قرار گرفته‌اند که حضور یک زنولیت پریدوتیت گوشته‌ی سرپانتینی شده و سه زنولیت شپست در این بازالت‌های قلیایی نشان می‌دهد که این بازالت‌های قلیایی، مجموعه افیولیت و دگرگونه‌های پوشاننده آن‌ها را قطع کرده‌اند. بنابراین [۱۶] بازالت‌های قلیایی وابسته به پالئوزویک بالای این منطقه را مستقل از افیولیت بیاضه و وابسته به فازهای کشتی پسا کوه‌زایی کالدونین می‌دانند. فروانش پوسته‌ی اقیانوسی پالئوتتیس از پالئوزویک پایینی تا تریاس [۱۸] موجب غنی‌شدگی گوشته از مواد فرار و ایجاد فوران بازالت‌های قلیایی در این منطقه شده است [۱۶].

روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی و نمونه برداری از مجموعه افیولیت بیاضه، تعداد ۶۰ مقطع نازک میکروسکوپی آماده شدند. با بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی از میان مقاطع وابسته-به سرپانتینیت‌ها و متالیستونیت‌های افیولیت بیاضه، تعداد ۷ مقطع برای آنالیز ریزپردازشی انتخاب و از آن‌ها مقاطع نازک صیقلی تهیه شدند. نمونه‌ها با استفاده از ریزپردازنده الکترونی JEOL مدل JXA-۸۸۰۰(WDS) در دانشگاه کانازاواوی ژاپن با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۲۰kV و جریان ۲۰nA مورد آنالیز قرار گرفتند. در محاسبه‌ی مقدار Fe^{2+} و Fe^{3+} برای دستیابی به فرمول ساختاری کانی‌ها از عنصرسنجی کانی‌ها استفاده شد. مقادیر $Cr\#$ ، $Mg\#$ و $Fe^{3+}\#$ کانی‌ها به ترتیب شامل $Cr/(Cr + Al)$ ، $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ ، $Fe^{3+}/(Cr + Al + Fe^{3+})$ بوده‌اند. نتایج آنالیز ریزپردازشی کانی‌ها (برحسب درصد) و محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن‌ها در جدول‌های ۱ تا ۴ ارائه شدند. علائم اختصاری کانی‌ها برای نامگذاری آن‌ها از [۱۹] اقتباس شده‌اند. آنالیز XRD نمونه‌های سرپانتینیت و متالیستونیت‌های موجود با XRD D8 advance, Bruker در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان صورت گرفت. همچنین از روش رنگ آمیزی مقاطع میکروسکوپی در جداسازی کانی‌های کربناتی موجود در متالیستونیت‌های افیولیت بیاضه نیز استفاده شد.

سنگ‌نگاری

افیولیت بیاضه فازهای مختلف دگرگونی و دگرشکلی را پشت سر نهاده است. در اثر گسترش فرایند سرپانتینی شدن، کانی-



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی سرپانتینیت ها و لیستونیت های دگرگون شده موجود در افیولیت بیاضه.

(الف) کروم اسپینل آذرین اولیه موجود در سرپانتینیت ها (PPL). (ب) کروم اسپینل مگنتیتی شده در سرپانتینیت ها (XPL). (پ) بافت مشبک در سرپانتینیت ها (XPL). (ت) حضور بستیت همراه با آمفیبول در سرپانتینیت ها (XPL). (ث) کانی مگنتیت با بافت گسیخته در متالیستونیت های کربناتی (PPL). (ج) کانی کربناتی (دولومیت) با بافت گرانوبلاستیک همراه با مگنتیت در متالیستونیت های کربناتی (XPL). (چ، ح) آمفیبول با بافت نماتوبلاستیک همراه با کانی های کروم اسپینل، کوارتز، سرپانتین و کانی های کربناتی در متالیستونیت های سیلیسی کربناتی (XPL). اختصارات کانی ها [۱۹]:

Amp: amphibole, Bas: bastite, Cb: carbonate mineral, Mag: magnetite, Qz: quartz, Spl: spinel, Srp: serpentine.

۲- در بررسی‌های کانی شناسی، سرپانتین نوع بستیت حاصل دگرسانی اورتوپروکسن های موجود در این نمونه‌ها بوده و جایگزین این کانی‌ها شده است (شکل ۳-ت).

بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، وجود مقادیر قابل توجه آنتی گوریت و حضور بستیت در این سرپانتینیت‌ها نشان می‌دهد که پریدوتیت سازنده این سنگ‌ها بیشتر از الیوین و اورتوپروکسن (با فراوانی کمتر نسبت به الیوین) تشکیل شده است. بنابراین می‌توان هارزبورژیت را به عنوان پریدوتیت سازنده این افیولیت در نظر گرفت.

سنگ‌نگاری لیستونیت‌های دگرگون: لیستونیت‌های افیولیت بیاضه پس از تشکیل تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند. رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در این سنگ‌ها منجر به ایجاد دو نوع سنگ با دو کانی‌شناسی متفاوت شده است:

۱- متالیستونیت‌های کربناتی: در بررسی‌های صحرایی این سنگ‌ها در راستای پهنه‌های برشی و مناطق گسل خورده با ریخت‌شناسی برجسته، دیده می‌شوند. این متالیستونیت‌ها به رنگ کرم تا زرد تیره، همیافت با سرپانتینیت‌های منطقه هستند (شکل ۲-ب). بررسی‌های کانی‌شناسی و استفاده از آنالیز XRD نمونه‌ها نشان می‌دهد که کانی اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها دولومیت بوده و کانی‌های فرعی موجود در آن‌ها نیز عبارتند از کوارتز، کلسیت، مگنتیت، کلریت و کروم اسپینل. کروم اسپینل و مگنتیت از کانی‌های فرعی موجود در لیستونیت‌های دگرگون هستند که از نظر ریخت‌شناسی نیمه شکل‌دار تا بدون شکل بوده و بافت گسیخته دارند (شکل ۳-ث). بافت غالب در این سنگ‌ها نیز گرانوبلاستیک و به ندرت پوئی کیلوبلاستیک است (شکل ۳-ج).

۲- متالیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی: این سنگ‌ها در بخش جنوبی افیولیت بیاضه دارای رخنمون‌های خوبی هستند و به رنگ زرد تا قهوه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۲-پ). بررسی کانی‌شناسی این سنگ‌ها نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی سازنده آن‌ها به ترتیب فراوانی شامل آمفیبول (ترمولیت و اکتینولیت)، دولومیت، کلسیت، سرپانتین و کوارتز بوده و دارای کانی‌های فرعی کروم اسپینل، مگنتیت، تالک، کلسدون و کلریت هستند. این سنگ‌ها دارای بافت نماتوبلاستیک و گرانوبلاستیک بوده و بافت‌های پوئی کیلوبلاستیک و کاتاکلاستیک نیز به

صورت فرعی در آن‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳-ج). آمفیبول، فراوانترین کانی در این متالیستونیت‌ها است. این آمفیبول‌ها از نوع ترمولیت و اکتینولیت بوده و دارای بافت نماتوبلاستیک هستند (شکل ۳-ج). برخی از این آمفیبول‌ها در حاشیه‌های خود به کلریت سبز رنگ تبدیل شده‌اند که نشان دهنده‌ی تاثیر یک فاز دگرگون برگشتی در آن‌ها است.

بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و کانی شناسی نشان می‌دهند که متالیستونیت‌های کربناتی (مرمرهای دولومیتی) از دگرگونی لیستونیت‌های کربناتی و متالیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی حاصل دگرگونی لیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی با سرپانتین فراوان (یا سرپانتینیت‌های کمی لیستونیتی شده) هستند. حضور سرپانتین، کروم اسپینل و مگنتیت در متالیستونیت‌ها و همیافتی آن‌ها با سرپانتینیت‌های منطقه حاکی از تشکیل آن‌ها از پریدوتیت‌های سرپانتینی شده است.

شیمی کانی

شیمی کانی‌های موجود در سرپانتینیت‌ها

کروم/اسپینل: این کانی به عنوان تنها کانی کلیدی لیتولوژی گوشته اولیه در پریدوتیت‌های کاملاً سرپانتینی شده محفوظ باقی مانده است و می‌تواند برای ارزیابی فرایندهای موثر بر سنگ مورد استفاده قرار گیرد. کروم اسپینل‌های اولیه دگرسان نشده به عنوان یک فاکتور پتروژنتیکی مهم در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک بوده و ترکیب شیمیایی این کانی‌ها وابسته به پتروژنز و شرایط فیزیکی پریدوتیت‌های میزبان آن‌ها است [۲۰]. آنالیز نقطه‌ای کروم اسپینل‌های منطقه و محاسبه فرمول ساختار آن‌ها مقادیر $Cr\#$ (۰/۶۱ تا ۰/۶۸) و $Fe^{3+}\#$ (۰/۰۲ تا ۰/۰۴) را نشان می‌دهد (جدول ۱).

آنالیز نقطه‌ای یک نمونه از کروم اسپینل‌های مگنتیتی شده موجود نشان دهنده‌ی مقادیر $Cr\#$ (۰/۷۵) و $Fe^{3+}\#$ (۰/۲۰) است و نیز میزان SiO_2 بالاتری نسبت به کروم اسپینل‌های سالم دارد. مقادیر $Fe^{3+}\#$ بالای اسپینل مگنتیتی شده نشان دهنده‌ی وجود شرایط اکسایش در طول دگرگونی آن‌ها است.

ترسیم ترکیب کروم اسپینل‌های موجود در مثلث کاتیون-های سه ظرفیتی نشان دهنده‌ی قرارگیری آن‌ها در ضلع Al-Cr است. در حالی که کروم اسپینل مگنتیتی شده در میانه مثلث Fe-Al-Cr قرار می‌گیرد (شکل ۴) [۲۱].

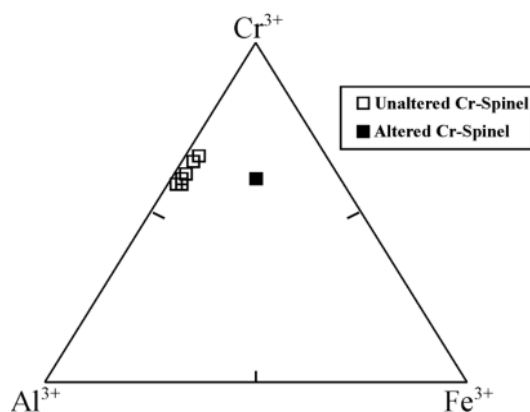
جدول ۱ نتایج آنالیز نقطه‌ای (برحسب درصد) و تعیین فرمول ساختاری کروم اسپینل‌های موجود در سرپانتینیت‌های افیولیت بیاضه.

Sample	Point	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Name
H۴۷-۱	۴۱	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۲۱٫۴۱	۴۹٫۲۴	۱۶٫۵۵	۰٫۱۰	۱۴٫۶۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱۰۱٫۹۷	Cr-Spl
H۴۷-۱	۴۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۲۰٫۲۸	۴۹٫۶۷	۱۶٫۶۲	۰٫۱۷	۱۴٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۱۰۰٫۸۳	Cr-Spl
H۴۷-۱	۴۴	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۱۹٫۹۷	۵۰٫۷۵	۱۶٫۲۹	۰٫۲۱	۱۴٫۶۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱۰۲٫۰۴	Cr-Spl
H۴۷-۱	۴۵	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۲۰٫۰۱	۵۰٫۰۷	۱۶٫۳۲	۰٫۲۱	۱۴٫۲۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱۰۰٫۹۶	Cr-Spl
H۴۷-۱	۴۶	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۲۰٫۶۹	۴۹٫۷۱	۱۶٫۵۶	۰٫۲۲	۱۴٫۲۷	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۱۰۱٫۵۰	Cr-Spl
H۵۲	۴۷	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۱۶٫۹۷	۵۲٫۷۵	۱۷٫۹۸	۰٫۳۲	۱۲٫۱۹	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱۰۰٫۴۱	Cr-Spl
H۵۲	۴۸	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۱۷٫۲۹	۵۲٫۶۰	۱۸٫۹۱	۰٫۲۶	۱۲٫۱۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۱۰۱٫۲۷	Cr-Spl
H۵۲	۵۱	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۱۷٫۵۹	۵۱٫۶۲	۲۰٫۳۳	۰٫۳۶	۱۱٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۱۰۱٫۰۷	Cr-Spl
H۵۲	۵۲	۰٫۱۵	۰٫۰۸	۱۶٫۹۳	۵۲٫۱۰	۱۸٫۵۸	۰٫۳۷	۱۱٫۸۵	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۱۰۰٫۱۰	Cr-Spl
H۴۷-۱	۴۳	۲٫۰۸	۰٫۰۶	۹٫۷۹	۴۴٫۲۳	۳۰٫۳۱	۲٫۷۸	۹٫۵۴	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۹۸٫۸۵	Cr-Mag

Structural formula based on the 32 Oxygens

Sample	Point	Si	Ti	Al(IV)	Al(VI)	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations
H۴۷-۱	۴۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۶٫۰۷	۰٫۰۰	۹٫۳۶	۰٫۵۵	۲٫۷۸	۰٫۰۰	۵٫۲۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۴٫۰۱
H۴۷-۱	۴۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۵٫۸۵	۰٫۰۰	۹٫۶۱	۰٫۵۲	۲٫۸۹	۰٫۰۰	۵٫۱۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۴٫۰۰
H۴۷-۱	۴۴	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۵٫۷۰	۰٫۰۰	۹٫۷۱	۰٫۵۷	۲٫۷۳	۰٫۰۰	۵٫۲۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۳٫۹۹
H۴۷-۱	۴۵	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۵٫۷۶	۰٫۰۰	۹٫۶۷	۰٫۵۴	۲٫۸۰	۰٫۰۰	۵٫۲۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۳٫۹۸
H۴۷-۱	۴۶	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۵٫۹۲	۰٫۰۰	۹٫۵۴	۰٫۵۳	۲٫۸۴	۰٫۰۰	۵٫۱۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۴٫۰۰
H۵۲	۴۷	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۵٫۰۵	۰٫۰۰	۱۰٫۵۲	۰٫۴۰	۳٫۴۰	۰٫۰۲	۴٫۵۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۳٫۹۹
H۵۲	۴۸	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۵٫۱۰	۰٫۰۰	۱۰٫۴۰	۰٫۴۸	۳٫۴۸	۰٫۰۱	۴٫۵۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۳٫۹۹
H۵۲	۵۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۵٫۲۲	۰٫۰۰	۱۰٫۲۸	۰٫۴۷	۳٫۸۲	۰٫۰۳	۴٫۱۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۳٫۹۸
H۵۲	۵۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۵٫۰۷	۰٫۰۰	۱۰٫۴۵	۰٫۴۵	۳٫۵۰	۰٫۰۳	۴٫۴۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۴٫۰۰
H۴۷-۱	۴۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۳٫۱۳	۰٫۰۰	۹٫۴۹	۳٫۱۸	۳٫۸۷	۰٫۶۰	۳٫۸۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲۴٫۱۴

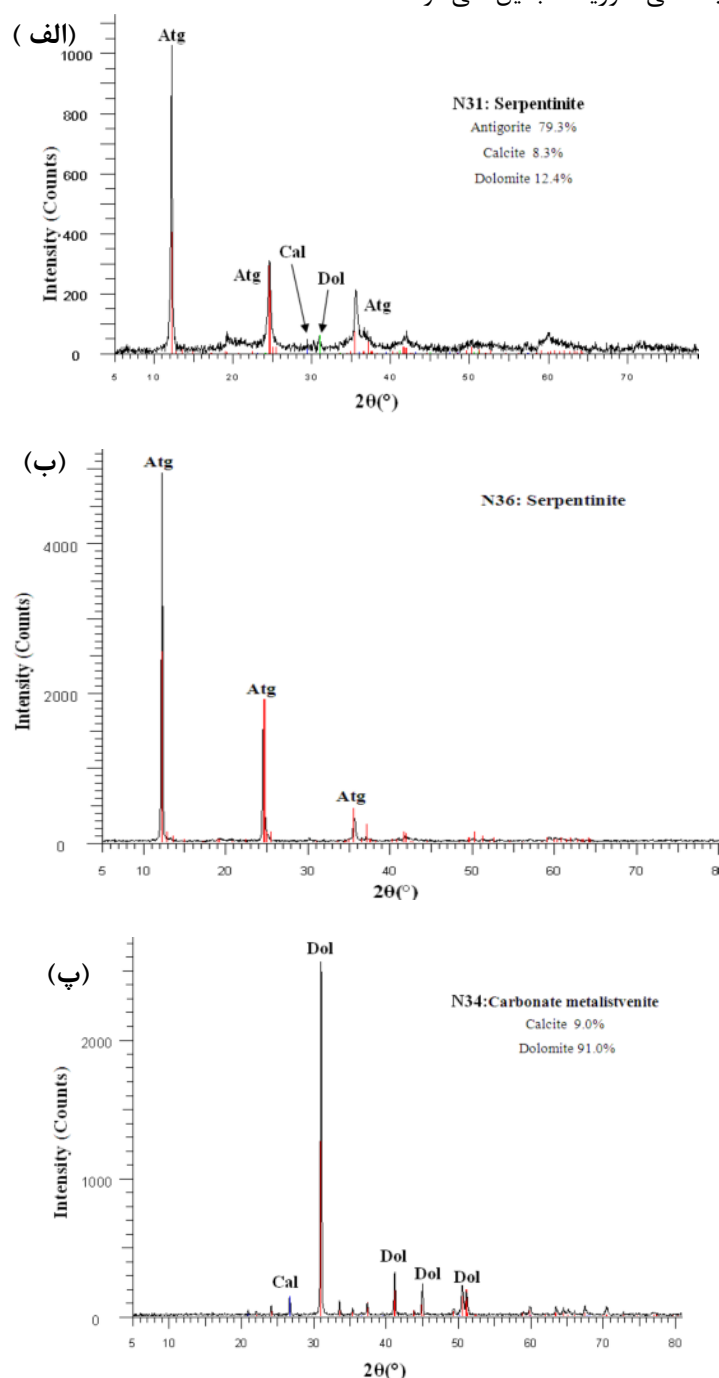
Sample	H۴۷-۱	H۴۷-۱	H۴۷-۱	H۴۷-۱	H۴۷-۱	H۵۲	H۵۲	H۵۲	H۵۲	H۴۷-۱
Point	۴۱	۴۲	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۵۱	۵۲	۴۳
Fe ³⁺ #	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۲۰
Mg #	۰٫۵۹	۰٫۵۹	۰٫۶۳	۰٫۶۱	۰٫۵۹	۰٫۵۴	۰٫۵۳	۰٫۴۶	۰٫۵۲	۰٫۵۵
Cr #	۰٫۶۱	۰٫۶۲	۰٫۶۳	۰٫۶۳	۰٫۶۲	۰٫۶۸	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۶۷	۰٫۷۵



شکل ۴ نمودار بررسی ترکیب کروم اسپینل‌های موجود در سرپانتینیت‌های افیولیت بیاضه در مثلث کاتیون‌های سه ظرفیتی Cr، Al و Fe³⁺ (با تغییرات) [۲۱].

براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، شیمی کانی و نتایج حاصل از آنالیز XRD نمونه‌ها (شکل ۵-الف، ب)، کانی سرپانتین موجود در این سنگ‌ها بیشتر از آنتی‌گوریت تشکیل شده است (جدول ۲). در بررسی‌های کانی‌شناسی کریزوتیل نیز به‌صورت کانی فرعی در این سرپانتینیت‌ها حضور دارد. آنالیز ریزپردازش سرپانتین‌ها مقادیر $Mg\#$ (۰/۹۷ تا ۰/۹۹) و Al_2O_3 (۰/۱۸ تا ۰/۴۸ درصد) را نشان می‌دهند.

سرپانتین: کانی‌های گروه سرپانتین سازنده‌ی اصلی سرپانتینیت‌های منطقه بوده و به‌صورت کانی فرعی در لیستونیت‌های دگرگون شده نیز وجود دارند. کانی‌های گروه سرپانتین بر اساس درجه دگرگونی دارای پلی‌مورف‌های مختلفی می‌باشند. در درجه‌های پایین دگرگونی کانی غالب سرپانتین، لیزاردیت است. با افزایش درجه‌ی دگرگونی لیزاردیت نخست به لیزاردیت و کریزوتیل و سپس به کریزوتیل و آنتی‌گوریت و در نهایت به آنتی‌گوریت تبدیل می‌شود.



شکل ۵ نمودارهای آنالیز XRD سرپانتینیت‌ها و متالیستونیت‌های کربناتی افیولیت بیاض.

جدول ۲ نتایج آنالیز نقطه‌ای (برحسب درصد) و تعیین فرمول ساختاری سرپانتینیت‌های موجود در سرپانتینیت‌های افیولیت بیاضه.

Sample	Point	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Name
۴۷H	۸	۴۴٫۲۷	۰٫۰۲	۰٫۳۴	۰٫۰۰	۱٫۲۹	۰٫۰۴	۴۱٫۳۶	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۸۷٫۳۳	Srp
۵۲H	۴۹	۴۱٫۲۸	۰٫۰۲	۰٫۱۸	۰٫۰۴	۱٫۸۹	۰٫۰۵	۳۶٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۷۹٫۸۰	Srp
۵۲H	۵۰	۴۷٫۲۱	۰٫۰۰	۰٫۲۱	۰٫۰۵	۱٫۱۲	۰٫۰۵	۳۸٫۳۸	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۸۷٫۱۴	Srp
۵۳H	۶	۴۳٫۹۰	۰٫۰۰	۰٫۴۸	۰٫۳۶	۱٫۰۹	۰٫۰۵	۴۰٫۸۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۸۶٫۷۴	Srp
۵۳H	۷	۴۴٫۱۱	۰٫۰۰	۰٫۴۱	۰٫۲۲	۱٫۱۵	۰٫۰۰	۴۰٫۸۳	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۸۶٫۷۴	Srp

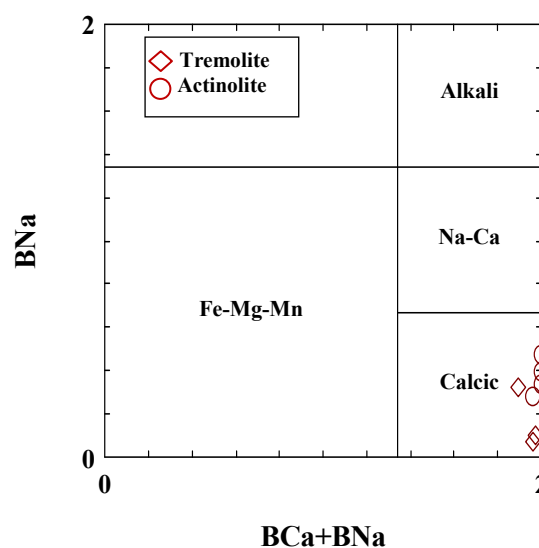
Structural formula based on the 7 Oxygens

Sample	Point	Si	Ti	Al(IV)	Al(VI)	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations
۴۷H	۸	۲٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۲٫۸۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۴٫۹۵
۵۲H	۴۹	۲٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۲٫۷۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۴٫۹۱
۵۲H	۵۰	۲٫۱۶	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۲٫۶۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۴٫۸۳
۵۳H	۶	۲٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۲٫۸۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۴٫۹۴
۵۳H	۷	۲٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۲٫۸۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۴٫۹۵

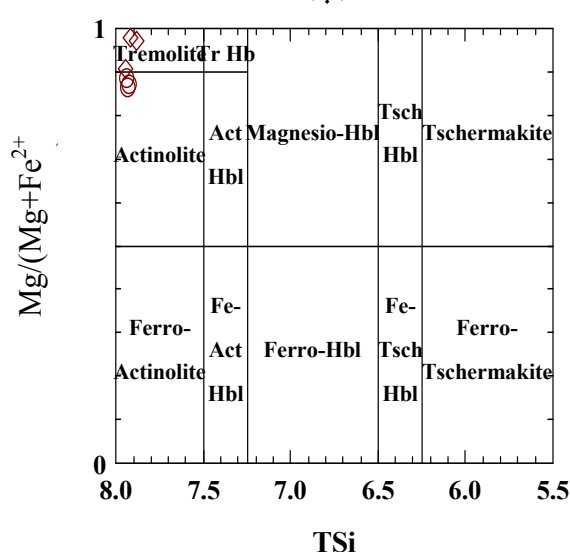
شیمی کانی‌های موجود در لیستونیت‌های دگرگون

آمفیبول: آمفیبول‌ها، از طریق رخداد دگرگونی در لیستونیت-های سیلیسی-کربناتی با سرپانتین فراوان (یا سرپانتینیت‌های کمی لیستونیتی شده) در افیولیت بیاضه به وجود آمده‌اند و سازنده‌ی اصلی بافت نماتوبلاستیک در این سنگ‌ها هستند. نتایج حاصل از آنالیز نقطه‌ای آمفیبول‌های موجود در جدول ۳، ارائه شده‌اند. ترسیم نتایج حاصل از آنالیز ریزپرداز این کانی‌ها در نمودار رده‌بندی ترکیب آمفیبول‌ها نشان می‌دهد که این آمفیبول‌ها از نوع کلسیک بوده (شکل ۶-الف) و شامل

(الف)



(ب)



شکل ۶ نمودار ترکیب آمفیبول‌های موجود در متالیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی افیولیت بیاضه [۲۲].

ترمولیت و اکتینولیت‌اند (شکل ۶-ب) [۲۲]. ترمولیت و اکتینولیت‌های موجود در این متالیستونیت‌ها به ترتیب دارای مقادیر $Mg\#$ (۰٫۹۱ تا ۰٫۹۸) و (۰٫۸۳ تا ۰٫۸۸) هستند (جدول ۳).

دولومیت: بر اساس نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها (شکل ۵-پ)، دولومیت به عنوان کانی کربناتی مهم موجود در این سنگ-هاست. کلسیت نیز به صورت فرعی در این سنگ‌ها حضور دارد که نتیجه‌ی یک نمونه آنالیز ریزپردازشی آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳ نتایج آنالیز نقطه‌ای (برحسب درصد) و تعیین فرمول ساختاری آمفیبول‌های موجود در متالیستونیت‌های سیلیسی - کربناته افیولیت بیاضه.

Sample	Point	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Name
H۵۶	۵۱	۵۷٫۶۱	۰٫۰۹	۰٫۴۵	۰٫۱۰	۸٫۳۵	۰٫۱۸	۱۹٫۳۷	۱۰٫۶۲	۱٫۲۱	۰٫۰۱	۹۸٫۰۰	Tr
H۵۶	۵۳	۵۷٫۴۴	۰٫۰۳	۰٫۷۳	۰٫۱۳	۹٫۱۲	۰٫۱۵	۱۸٫۷۸	۱۰٫۳۱	۱٫۸۶	۰٫۰۴	۹۸٫۶۰	Act
H۵۶	۵۴	۵۷٫۳۳	۰٫۰۲	۰٫۵۷	۰٫۹۷	۷٫۵۰	۰٫۱۵	۱۹٫۳۶	۱۱٫۲۴	۱٫۲۷	۰٫۰۳	۹۸٫۴۲	Act
H۵۶-۱	۶۵	۵۸٫۲۹	۰٫۰۰	۰٫۶۳	۰٫۴۱	۷٫۰۵	۰٫۱۸	۱۹٫۱۹	۱۱٫۷۴	۱٫۰۶	۰٫۰۱	۹۸٫۵۵	Act
H۵۶-۱	۶۶	۵۷٫۶۸	۰٫۰۴	۰٫۱۶	۰٫۰۵	۳٫۲۷	۰٫۰۸	۲۲٫۷۸	۱۲٫۸۳	۰٫۲۸	۰٫۰۱	۹۷٫۱۹	Tr
H۵۶-۱	۶۷	۵۸٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۶۴	۰٫۵۲	۷٫۵۹	۰٫۲۲	۱۹٫۶۵	۱۰٫۹۵	۱٫۵۳	۰٫۰۳	۹۹٫۱۳	Act
H۵۶-۱	۶۸	۵۸٫۱۳	۰٫۰۴	۰٫۶۶	۰٫۱۲	۳٫۴۶	۰٫۱۰	۲۲٫۷۱	۱۲٫۸۷	۰٫۳۹	۰٫۰۲	۹۸٫۴۹	Tr

Structural formula based on the 23 Oxygens

Sample	Point	Si	Ti	Al(IV)	Al(VI)	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations
H۵۶	۵۱	۷٫۹۴	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۵۵	۰٫۴۱	۰٫۰۲	۳٫۹۸	۱٫۵۷	۰٫۳۲	۰٫۰۰	۱۴٫۸۹
H۵۶	۵۳	۷٫۹۳	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۴۵	۰٫۶۰	۰٫۰۲	۳٫۸۶	۱٫۵۳	۰٫۵۰	۰٫۰۱	۱۵٫۰۳
H۵۶	۵۴	۷٫۹۳	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۲	۰٫۱۱	۰٫۲۷	۰٫۵۹	۰٫۰۲	۳٫۹۹	۱٫۶۷	۰٫۳۴	۰٫۰۱	۱۵٫۰۳
H۵۶-۱	۶۵	۸٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۸۲	۰٫۰۲	۳٫۹۶	۱٫۷۴	۰٫۲۸	۰٫۰۰	۱۵٫۰۲
H۵۶-۱	۶۶	۷٫۹۲	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۲۸	۰٫۱۰	۰٫۰۱	۴٫۶۶	۱٫۸۹	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۱۴٫۹۷
H۵۶-۱	۶۷	۷٫۹۴	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۳۴	۰٫۵۳	۰٫۰۳	۴٫۰۱	۱٫۶۱	۰٫۴۱	۰٫۰۱	۱۵٫۰۴
H۵۶-۱	۶۸	۷٫۸۸	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۲۶	۰٫۱۳	۰٫۰۱	۴٫۵۹	۱٫۸۷	۰٫۱۰	۰٫۰۰	۱۴٫۹۶

Sample	H۵۶	H۵۶	H۵۶	H۵۶-۱	H۵۶-۱	H۵۶-۱	H۵۶-۱
Point	۵۱	۵۳	۵۴	۶۵	۶۶	۶۷	۶۸
Fe#	۰٫۰۹	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۰۲	۰٫۱۲	۰٫۰۳
Mg#	۰٫۹۱	۰٫۸۷	۰٫۸۷	۰٫۸۳	۰٫۹۸	۰٫۸۸	۰٫۹۷

جدول ۴ نتایج آنالیز نقطه‌ای (برحسب درصد) و تعیین فرمول ساختاری کانی‌های کوارتز و کلسیت موجود در متالیستونیت‌های سیلیسی - کربناته افیولیت بیاضه.

Sample	Point	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Name
H۴۷-۱	۳۸	۹۶٫۸۳	۰٫۰۰	۰٫۲۸	۰٫۰۰	۰٫۱۳	۰٫۰۰	۱٫۷۴	۰٫۰۳	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۹۹٫۱۸	Qz
H۵۶	۵۰	۹۹٫۷۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۹	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۹۹٫۹۹	Qz
H۵۶-۱	۶۹	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲۴	۰٫۳۱	۰٫۳۱	۵۷٫۴۲	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۵۸٫۳۵	Cal

Structural formula based on the 2 Oxygens for quartz and 3 Oxygens for calcite

Sample	Point	Si	Ti	Al(IV)	Al(VI)	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations
H۴۷-۱	۳۸	۰٫۹۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۰۰
H۵۶	۵۰	۱٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۰۰
H۵۶-۱	۶۹	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۹۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۹۹

بحث

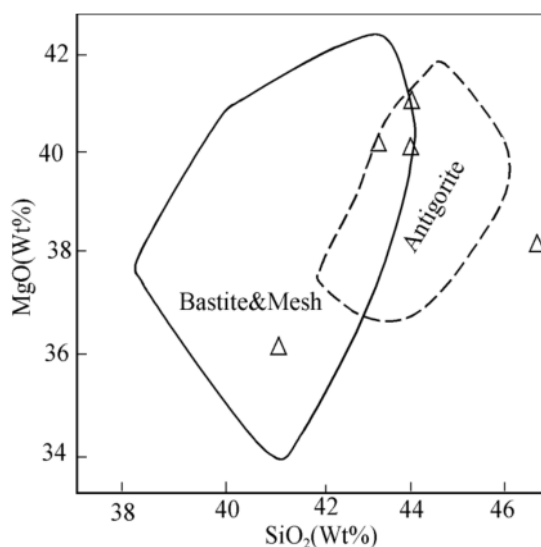
سرپانتینیت‌های افیولیت بیاضه معرف هارزبورژیت‌های هیدراته موجود در این افیولیت هستند که با گسترش فرایند سرپانتینینی شدن در این پریدوتیت‌ها کانی‌های سازنده آن‌ها به طور کامل به کانی‌های گروه سرپانتین تبدیل شده و تنها کانی کروم

اسپینل به عنوان کانی آذرین اولیه در این سنگ‌ها حضور دارد. سرپانتینیت‌ها بیشتر از کانی‌های گروه سرپانتین تشکیل شده‌اند که این گروه از کانی‌ها بر اساس دمای تشکیل دارای تعادل‌های فازی متنوعی هستند. در درجه‌های پایین دگرگونی کانی غالب سرپانتین، لیزاردیت بوده و کریزوتیل اغلب به

کروم اسپینل تقریباً به طور کامل تخریب می شود [۲۳]. به عبارت دیگر حضور کروم اسپینل دگرسان نشده در سرپانتینیت ها حاکی از عدم وجود تعادل کامل به دلیل پایین بودن نسبت سنگ/ شاره است [۶].

غنی شدگی کروم اسپینل های سالم از Cr و Mg و پایین بودن Fe^{3+} و Ti در آن ها بازتاب دهنده ی ماهیت اولیه این کانی هاست [۶]. هارزبورژیت های گوشته غالباً دارای گستره Cr# بالاتر از ۰/۲ تا ۰/۷ با میانگین ۰/۵ هستند که این مقدار در دونیت ها حدود ۰/۷ است [۲۴]. مقادیر Cr# کروم اسپینل های موجود در افیولیت بیاضه (۰/۶۱ تا ۰/۶۸) است و نشان می دهد که پریدوتیت اولیه در این منطقه بیشتر از نوع هارزبورژیت است.

ترکیب کروم اسپینل ها تحت تاثیر دگرسانی و دگرگونی امکان تغییر می یابند که این تغییرات جزئی است [۲۵]. اسپینل های دگرسان شده تحت رخساره شیست سبز دارای مقادیر Mg# (۰/۴ تا ۰/۷) هستند در حالی که اگر این کانی تحت رخساره آمفیبولیت دگرسان شود، مقدار Mg# کمتر از ۰/۳۵ خواهد داشت [۲۳]. بر اساس آنالیز انجام شده از حواشی دگرسان شده ی یک نمونه کروم اسپینل موجود در سرپانتینیت ها (نمونه ی ۱-H۴۷ شماره ۴۳) مقدار $Mg\# = ۰/۵۵$ نشان داد که می تواند حاکی از دگرسان شدن حواشی مگنتیتی شده ی این کانی در اثر رخساره ی شیست سبز باشد (جدول ۱).



شکل ۷ نمودار بررسی سرپانتینیت های موجود در سرپانتینیت های افیولیت بیاضه [۵].

صورت فیبرهایی در درون رگه ها دیده می شود [۴]. با افزایش درجه ی دگرگونی لیزاردیت نخست به لیزاردیت و کریزوتیل و سپس به کریزوتیل و آنتی گوریت و در نهایت به آنتی گوریت تبدیل می شود [۴]. بنابراین آنتی گوریت محصول پیشرفت دگرگونی ناحیه ای است که از لیزاردیت و کریزوتیل ایجاد می شود [۴]. به عقیده ی مودی [۴] آنتی گوریت در دمای بیش تر از ۵۰۰°C تشکیل می شود. این دما کمترین دما برای تشکیل آنتی گوریت، کروم اسپینل های مگنتیتی شده و کلریت در این نوع از سنگ هاست [۲۱].

از نظر ترکیب عناصر در گروه سرپانتین، لیزاردیت دارای بالاترین نسبت Fe^{3+}/Fe^{2+} ، کریزوتیل دارای Al_2O_3 پایین و آنتی گوریت دارای بالاترین مقدار Si/Mg است [۴]. بر اساس نمودار SiO_2 نسبت به MgO که بر مبنای نتایج آنالیز نقطه ای کانی های گروه سرپانتین ترسیم شده است، معلوم شد که کانی های گروه سرپانتین در این منطقه بیشتر در منطقه ی همپوشی بستیت و بافت مشبک با آنتی گوریت قرار گرفته اند (شکل ۷) [۵]. به عقیده ی [۵]، بستیت نوعی لیزاردیت محسوب می شود و کریزوتیل نیز سازنده ی بافت مشبک در سرپانتینیت هاست. با توجه به نتایج آنالیز XRD سرپانتینیت های افیولیت بیاضه، آنتی گوریت فراوان ترین کانی سرپانتین در این نمونه ها است (شکل ۵-الف، ب). کریزوتیل نیز به صورت فرعی در این سرپانتینیت ها حضور دارد که سازنده ی اصلی بافت مشبک در آن ها محسوب می شود (شکل ۳-پ).

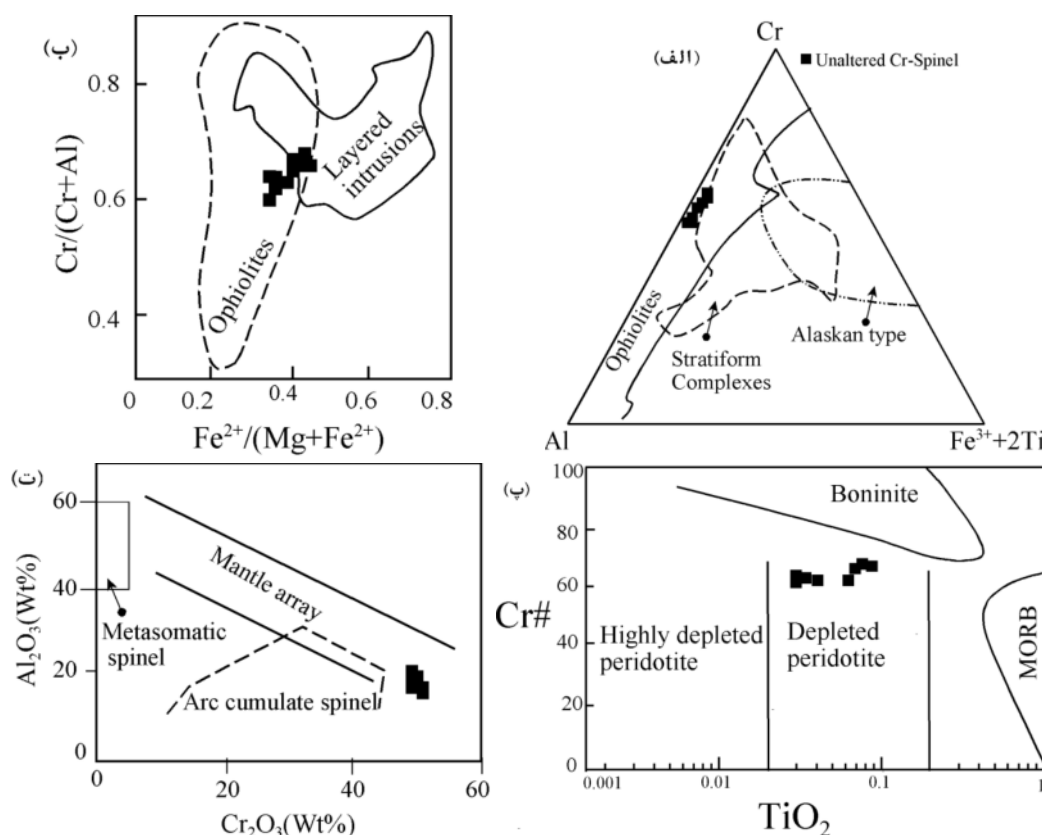
نتایج حاصل از آنالیز نقطه ای کانی های گروه سرپانتین در جدول ۲، ارائه شده اند. بر اساس نمودار SiO_2 نسبت به MgO (شکل ۷) و نتایج حاصل از آنالیز XRD نمونه های سرپانتینیت، آنتی گوریت مهمترین کانی سرپانتین حاصل از فرایند سرپانتینی شدن در این منطقه است. تشکیل سرپانتین از نوع آنتی گوریت و به ندرت کریزوتیل، وجود کروم اسپینل های مگنتیتی شده و نیز حضور کلریت، ترمولیت و اکتینولیت در سرپانتینیت های منطقه، نشان دهنده ی درجات پایین دگرگونی در حد بالای رخساره شیست سبز در این سنگ هاست. تشکیل ترمولیت و اکتینولیت در متالاستونیت های موجود نیز همین درجه از دگرگونی را نشان می دهد.

کانی کروم اسپینل به عنوان یک کانی شاخص برای بررسی ماهیت پریدوتیت و تشخیص شرایط در طول تبلور ماگماست [۲۰]. چنانچه در واکنش سنگ/ شاره، شاره غالب باشد؛ کانی

در اثر دگرگونی ناحیه‌ای امکان دگرگون شدن دارند که می‌توان به دگرگونی لیستونیت‌های موجود در افیولیت انارک و تشکیل مرمهرایی با کانی‌شناسی خاص در این افیولیت اشاره کرد [۲۸]. لیستونیت‌های قدیمی افیولیت بیاضه نیز محصول دگرسانی گرمایی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت‌های منطقه هستند. رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در این سنگ‌ها تغییرات کانی‌شناسی لیستونیت‌های قدیمی موجود در این افیولیت را در پی داشته است. بر این اساس لیستونیت‌های کربناتی به متالیستونیت‌های کربناتی (مرمرهای دولومیتی) و لیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی با سرپانتین فراوان (یا سرپانتینیت‌های کمی لیستونیت شده) به متالیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی با رخداد ترمولیت و اکتینولیت تبدیل شده‌اند که این آمفیبول‌ها دارای ماهیت دگرگون هستند (شکل ۹) [۲۹]. متالیستونیت‌های موجود در افیولیت بیاضه در بخش‌های مختلف این افیولیت به دو صورت رگه‌ای و توده‌ای حضور دارند و همیافت با سرپانتینیت‌های منطقه هستند.

کروم اسپینل‌های دگرسان نشده‌ی موجود در سرپانتینیت‌های افیولیت بیاضه دارای مقادیر پایین SiO_2 (۰/۸ تا ۰/۱۸ درصد وزنی) هستند در حالی که کروم اسپینل دگرسان شده‌ی موجود در این سنگ‌ها (نمونه‌ی ۱-۴۷ H شماره ۴۳) دارای $\text{SiO}_2 = ۲/۰۸$ (درصد وزنی) است. بنابراین مقادیر SiO_2 موجود در ساختار اسپینل‌ها، وابسته به درجه‌ی دگرسانی در آن‌ها بوده و با افزایش درجه‌ی دگرسانی افزایش می‌یابد [۶]. همچنین کروم اسپینل‌های دگرسان شده دارای مقادیر بالای Fe^{3+} هستند که حاکی از وجود شرایط اکسایش در طول دگرگونی است (جدول ۱).

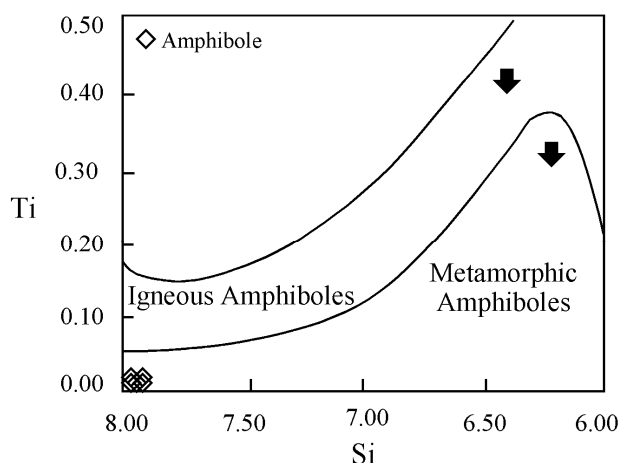
بررسی ترکیب کروم اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های افیولیت بیاضه نشان می‌دهد که این پریدوتیت‌ها ماهیت افیولیتی (شکل ۸-الف، ب) و تهی شده داشته (شکل ۸-پ) و دارای آرایه‌ی گوشته‌ای هستند (شکل ۸-ت) [۲۷، ۲۶، ۲۱، ۲۰]. لیستونیت‌ها محصول دگرانه‌ی کلسیک در دماهای پایین تا متوسط سنگ‌های اولترامافیک و مافیک سرپانتینی شده هستند [۷]. لیستونیت‌های موجود در افیولیت‌ها پس از تشکیل



شکل ۸ نمودار بررسی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده افیولیت بیاضه بر مبنای شیمی کانی کروم اسپینل‌ها. (الف) نمودار $\text{Al-Cr-(Fe}^{3+} + 2\text{Ti)}$ [۲۱]. (ب) نمودار $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ در برابر $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ [۲۶]. (ت) نمودار Cr_2O_3 در برابر Al_2O_3 [۲۷]. (پ) نمودار TiO_2 در برابر $\text{Cr\#}$ [۲۰].

مراجع

- [1] Coleman R.G., "Ophiolites: ancient oceanic lithosphere?", Springer-Verlag Publication, Berlin (1977) 229 p.
- [2] Barth M. G., Mason P. R. D., Davies G. R., Dijkstra A. H., Drury M. R., "Geochemistry of the Othris Ophiolite, Greece: Evidence for Refertilization?", Journal of Petrology 44 (2003) 1759-1785.
- [3] Juteau T., "The ophiolites of Khoy (NW Iran): their significance in the Tethyan ophiolite belts of the Middle-East", Comptes Rendus Geoscience 336 (2004) 105-108.
- [4] Moody J.B., "Serpentinization: a review", Lithos 9 (1976) 125-138.
- [5] Dungan M.A., "A microprobe study of antigorite and some serpentine pseudomorphs", the Canadian Mineralogist 17 (1979) 711-784.
- [6] Farahat E. S., "Chrome-spinels in serpentinites and talc carbonates of the El Ideid-El Sodmein District, central Eastern Desert, Egypt: their metamorphism and petrogenetic implications", Chemie der Erde Geochemistry 68 (2008) 193-205.
- [7] Tsikouras B., Karipi S., Grammatikopoulos T. A., Hatzipanagiotou K., "Listwaenite evolution in the ophiolite mélange of Iti Mountain (continental Central Greece)", European Journal of Mineralogy 18 (2006) 243-255.
- [8] Torabi G., Arai S., Koepke J., "Metamorphosed mantle peridotites from Central Iran (Jandaq area, Isfahan province)", Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie 261/2 (2011) 129-150.
- [9] Coleman R. G., "The diversity of ophiolites", Geologie en Mijnbouw 63 (1984) 141-150.
- [10] Spear F.S., "Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths", Mineralogical Society of America, Washington (1993) 799 p.
- [11] Evans B.W., "Metamorphism of alpine peridotite and serpentinite", Annual Review of Earth and Planetary Sciences 5(1977) 397-445.
- [12] Bagheri S., "The exotic Paleo-tethys terrane in Central Iran: new geological data from Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam areas", PhD thesis, Lausanne: University of Lausanne (2007) 208p.



شکل ۹ نمودار بررسی آمفیبول های موجود در متالیستونیت های سیلیسی-کربناتی افیولیت بیاضه [۲۹].

برداشت

شواهد صحرایی، کانی شناسی و بافتی همراه با حضور کانی های کروم اسپینل، مگنتیت کروم دار و سرپانتین نشان دهنده ی رخداد دگرنهادی در پریدوتیت اولیه و ایجاد پریدوتیت های سرپانتینی شده، است. با گسترش فاز شاری در منطقه، سرپانتینیت ها و لیستونیت ها تشکیل شده اند. رخداد دگرگونی ناحیه ای در این مجموعه، تغییرات کانی شناسی لیستونیت ها و تبدیل آن ها به لیستونیت های دگرگون شده را در پی داشته است. با توجه به بررسی های کانی شناسی و شیمی کانی، این دگرگونی در حد بالای رخساره شایست سبز برآورد شده است. براساس ویژگی های کانی شناسی سرپانتینیت های این مجموعه به خصوص مقدار Cr# کروم اسپینل ها و نیز حضور پیکریت در بررسی های صحرایی می توان هارزبورژیت را به عنوان پریدوتیت غالب گوشته در این افیولیت بیان کرد. مقادیر بالای Cr و Mg و میزان پایین Fe^{3+} و Ti در کروم اسپینل های موجود، ماهیت اولیه آن ها را تایید می نماید. حفظ کروم اسپینل های آذرین اولیه در این سنگ ها اشاره به نسبت پایین سنگ/شاره در این مجموعه دارد. بررسی شیمی کروم اسپینل های موجود در سرپانتینیت های منطقه وابستگی آن ها را به پریدوتیت های گوشته افیولیتی تهی شده نشان می دهد.

قدردانی

نویسندگان این مقاله از دانشگاه اصفهان به خاطر حمایت های مالی سپاسگزاری می نمایند.

- [22] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., *"An introduction to the rock forming minerals"*, Longman, London (1992) 528 p.
- [23] Barnes S.J., *"Chromite in Komatiites, II. Modifications during greenschist to mid-amphibolite facies metamorphism"*, Journal of Petrology 41 (2000) 387–409.
- [24] Arai S., *"Control of wall-rock composition on the formation of podiform chromitites as a result of magma/peridotite interaction"*, Resource Geology 47 (1997) 177–187.
- [25] Dick H.J.B., Bullen T., *"Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 86(1984) 54-76.
- [26] Barnes S.J., Roeder P.L., *"The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks"*, Journal of Petrology 42 (2001) 2279–2302.
- [27] Kepezhinskias P.K., Defant M.J., Drummond M.S., *"Na metasomatism in the island-arc mantle by slab melt-peridotite interaction: evidence from mantle xenoliths in the North Kamchatka arc"*, Journal of Petrology 36 (1995) 1505–1527.
- [۲۸] ترابی ق، سبزه ای م، آرای ش، شیراساکا م، احمد، ا. ح، *"کانی شناسی مرمهرهای حاصل از دگرگونی لیستونیت ها در افیولیت های پروتروزوئیک بالایی انارک (شمال شرق استان اصفهان، ایران)"*، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال سیزدهم، شماره ۱ (۱۳۸۴) ص ۲۰۱–۲۱۲.
- [29] Veblen D.R., Ribbe P.H., Eds., *"Amphiboles: Petrology and experimental phase relations"*, Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy 9B (1982) 390 p.
- [13] Ghasemi A., Talbot C. J., *"A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)"*, Journal of Asian Earth Sciences 20 (2005) 1-11.
- [14] Almasian M., *"Tectonics of Anarak Area (central Iran)"*: Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Unit (1997) 162 p.
- [15] Aistov L., Melnikov B., Krivyakin B., Morozov L., *"Geology of the Khur Area (Central Iran)"*, Geol. Surv. Iran (1984) Report TE/No. 20.
- [16] Torabi G., Hemmati O., *"Alkaline basalt from the Central Iran, a mark of previously subducted Paleo-Tethys Oceanic crust"*, Petrology 19(7) (2011) 690–704.
- [17] Davoudzadeh M., Lensch G., Diefenbach K.W., *"Contribution to the paleogeography, stratigraphy and tectonics of the Infracambrian and lower Paleozoic of Iran"*, Neues Jahrbuch fur Geologie and Palaontologie, Abhandlungen 172 (1986) 245-269.
- [18] Bayat F., Torabi G., *"Alkaline lamprophyric province of Central Iran"*, Island Arc 20 (2011) 386–400.
- [19] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [20] Ghazi J. M., Moazzen M., Rahghoshay M., Shafaii Moghadam H., *"The geodynamic setting of the Nain Ophiolites, central Iran: Evidence from chromian spinels in the chromitites and associated rocks"*, Ofioliti 36/1 (2011) 59-76.
- [21] Jan M.Q., Windley B.F., *"Chromian spinel-silicate chemistry in ultramafic rocks of the Jijal Complex, northwest Pakistan"*, Journal of Petrology 31 (1990) 67–71.