

## کانی های واکنشی و واکنش های رودنژیته شدن در افیولیت های سبزوار (منطقه سلیمانیه، شمال شرقی سبزوار)

حسین مهدی زاده<sup>\*</sup>، زهرا مصلحی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

### چکیده

در محدوده روستای سلیمانیه واقع در شمال شرقی سبزوار تعداد زیادی دایک میکروگابرو و گابروی وجود دارند که قطع کننده افیولیت های سبزوار هستند. اغلب این دایک ها بشدت از حالت تیره به سبز، سفید، زرد و قرمز تغییر رنگ داده اند. افیولیت های در برگیرنده آن ها نیز شدیداً سرپانتینیزه شده اند. مطالعات پتروگرافی دایک های تغییر رنگ داده نشانگر تغییر و تبدیل کانی های الیوین، اورتو پیروکسن ها، کلینوپروکسن ها و پلاژیوکلازهای کلسیک (دارای سطح انرژی بالا) به کاتی های ولاستونیت، پرهنیت، کلریت، اپیدوت، هیدروگرسولر، پکتولیت و زنونولیت (دارای سطح انرژی پائین تری) می باشند.

در گام ها بعدی مطالعات: XRD, Analyze thermic, Microsonde electronic واکنش ها و

کانی های تشخیص داده شده توسط میکروسکوپ پلاریزان را تایید نموده اند.

براساس این مجموعه کانی شناسی و بافتی با یک مجموعه رودنژیته سر و کار داریم. معمولاً سازوکار رودنژیته شدن به این صورت است که: سرپانتینی شدن الیوین، پیروکسن در هارزبورژیت ها و لرزولیت ها منجر به آزاد شدن یون کلسیم از ساختمان آن ها می شود. از آنجا که این کاتیون در ساختمان بلوری سرپانتین جایگاهی ندارد، در سیال ناشی از سرپانتینی شدن متمرکز می شود. فوق اشباع شدن سیال از کلسیم، همراه با پائین ماندن  $X_{CO_2}$  و فراهم بودن شرایط مناسب (حضور سنگ های واکنش پذیر مثل گابروها) منجر به واکنش با سنگ های فوق و تشکیل کانی های غنی از کلسیم خواهد شد. این سیالات با کانی های سنگ های بازیک به خصوص پلاژیوکلازها واکنش نموده و مجموعه کانیهای رودنژیته ها را ایجاد می نمایند. در پاره ای مواقع نیز کانی هایی از قبیل پکتولیت و زنونولیت تشکیل شده به صورت رگچه در داخل رودنژیته ها جایگزین می شوند.

\* عهده دار مکاتبات

## واژه‌های کلیدی: کانی های واکنش، واکنش های رودنژیتی شدن، افیولیت های سبزوار

### مقدمه

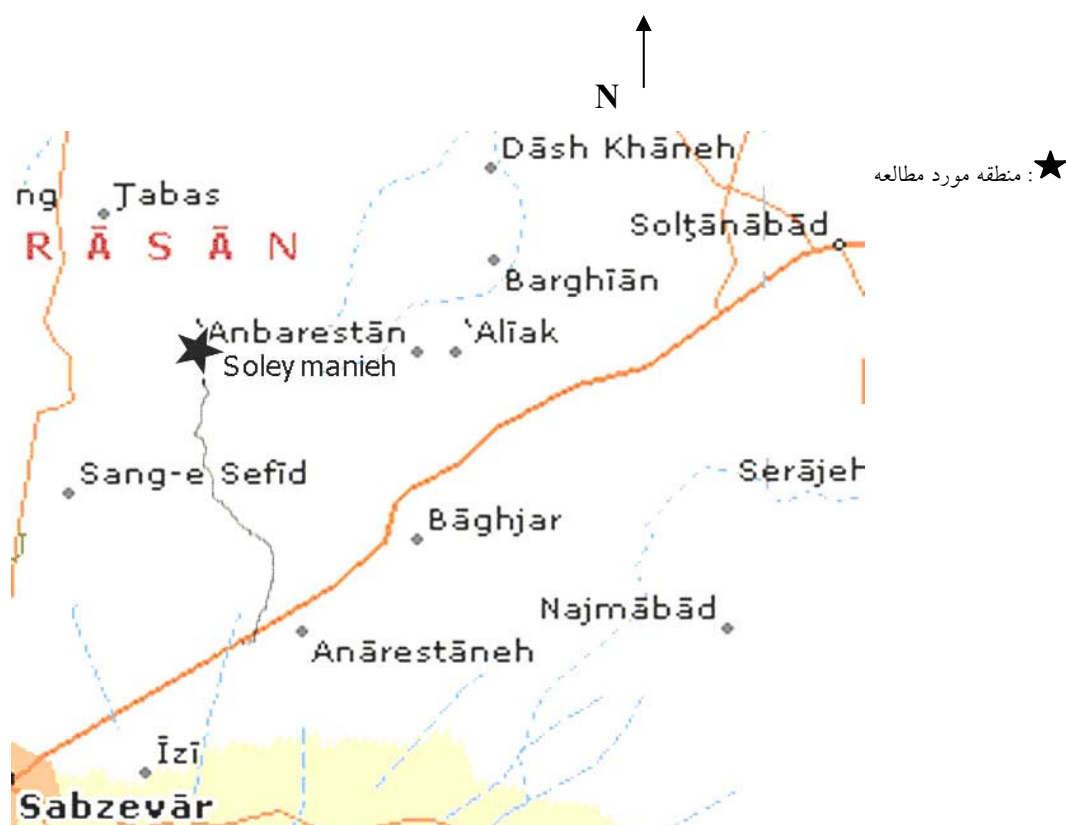
سرزمین افیولیتی شمال سبزوار عمدتاً شامل سکانس افیولیتی کرتاسه و سنگ های رسوبی همراه با سنگ های ولکانوسدیمتر اواخر کرتاسه پسین<sup>(۱)</sup>، سنگ های رسوبی میوسن و پلیوسن، نهشته‌های عهد حاضر (کواترنر)، همچنین توده‌های نفوذی گابرویی، دیوریتی، و گرانیتی است<sup>(۲)</sup>، اگر چه از نظر توالی بخش های مختلف افیولیت در این ناحیه به طور وسیعی در هم ریخته شده است، با این وجود شامل سنگ هایی است که بیانگر یک سکانس افیولیتی کامل است. سنگ های عمده در افیولیت سبزوار از هارزبورژیت و دونیت تشکیل شده‌اند. دایک های دیابازی، گابرویی به تعداد زیاد به صورت نفوذی‌های آلتیه شده (رودنژیتی شده) در سنگ های الترامافیک گسترش دارند. سنگ های ولکانیکی شامل بازالت های بالشی به همراه سنگ های رسوبی (سنگ آهک پلاژیک فسیل دار و رادیولاریت) تکمیل کننده این کمپلکس افیولیتی هستند.<sup>(۳)</sup>

منطقه مورد مطالعه متشکل از افیولیت های سرپانتینی شده می باشد که به وسیله دایک های دیابازی و گابروئی به ضخامت حد اکثر دو متر قطع شده‌اند. دایک های مذکور بسیار زیادند و قبلاً در قالب یک رساله دکتری<sup>(۴)</sup> مطالعه شده اند. در کناره های این دایک ها مجموعه کانی‌های گارنت (هیدروگرسولر و گروسولر)، ولاستونیت، پرهنیت، کلریت، بیوتیت، کانی های گروه اپیدوت، پکتولیت و زنونولیت<sup>(۵)</sup> مشاهده می شوند، که تشکیل دهنده رودنژیت ها این منطقه می باشند. معمولاً پدیده رودنژیتی شدن از حواشی دایک ها شروع می شود و درجه رودنژیتی شدن در هر دایک و حتی در بخش‌های مختلف یک دایک، متفاوت می باشد. این فرآیند از جمله فرآیندهایی است که در افیولیت سبزوار مشاهده می شود. در این فرآیند رنگ سنگ ها روشن تر می شود و از حالت تیره به سبز، سفید، زرد و قرمز تغییر رنگ می دهند. به طور کلی رودنژیتی شدن در دو مرحله صورت گرفته است: مرحله اول دگرسانی سنگ های موجود و مرحله دوم حاصل واکنش سیالات مختلف با سنگ های دگرسان شده می باشد.

### مواد و روشها

#### راه دسترسی به منطقه

منطقه مورد مطالعه در محدوده شمال - شمال شرق سبزوار بین عرض های جغرافیایی ۱۵'، ۳۶' تا ۲۲'، ۳۶ شمالی و طول های جغرافیایی ۴۵'، ۵۷' تا ۵۸' شرقی (نقشه شماره ۱) واقع شده است.



نقشه شماره (۱) راههای ارتباطی منطقه مورد مطالعه

در مسیر جاده قدیم سبزوار - نیشابور (سبزوار - سلطان آباد) در فاصله حدود ۵ کیلومتری در جاده ای خاکی به سمت شمال پس از طی ۷ کیلومتر به منطقه مطالعاتی وارد می شویم، ناگفته نماند که این مسیر تنها راه دسترسی به محدوده با وسیله نقلیه می باشد. نمونه های مورد مطالعه در اطراف روستای سلیمانیه، بخصوص بخش غربی آن از کناره های شمالی مسیلی نسبتاً بزرگ برداشت شد. در حواشی و داخل دایکهای بازیک متعددی که افیولیت های به شدت سرپانتینی شده را قطع کرده اند، عمل کرد ردنژیتی شدن به وفور صورت گرفته است. رگه هایی از پکتولیت و زنوتولیت که ظاهری شبیه رگه های کلسیت دارند، در داخل دایک ها و همچنین در مرز آن ها با افیولیت ها مشاهده می شود و به راحتی قابل نمونه برداری هستند.

#### وضعیت زمین شناسی

افیولیت های سبزوار یک مجموعه افیولیتی وسیعی را در طول مرز شمالی خرده قاره ایران ایجاد کرده و یکی از افیولیت های ایران مرکزی به حساب می آید. منطقه مورد مطالعه در محدوده شمال - شمال شرق سبزوار در شمال مسیر سلطان آباد، در جاده ای خاکی و ۷ کیلومتر از جاده آسفالتی واقع شده است از نظر زمین شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه عبارتند از:

**واحد هارزبورژیت:** واحد فوق دارای گسترشی نسبتاً زیاد است. ترکیب کلی هارزبورژیتی دارند، که در بخش هایی سرپانتینیته شده و گاهی نیز در اثر پدیده های تکنونیکي بعد از جایگزینی کاملاً قطعه قطعه شده اند.

**واحد سرپانتینیته:** ظهور این سنگ ها بیشتر در امتداد و طول گسل های بزرگ می باشند. سنگ های پریدوتیتی اعم از هارزبورژیت، دونیت، لوزولیت و غیره تحت تاثیر دگرسانی شیمیایی، سرپانتینیته شده اند و دایک های متعدد گابرو و دیابازی قطع کننده این واحد است و در کناره ها و داخل دایک ها، رودنژیتی شدن رخ داده است.

**واحد گابروهای لایه ای:** این واحد نیز بخشی از مجموعه افیولیتی بوده و در دره سلیمانیه و با لایه بندی بسیار مشخص که ناشی از تفکیک لایه های تیره غنی از کانی کلینوپیروکسن و لایه های روشن پلاژیوکلاز کلسیک برونزد دارد.

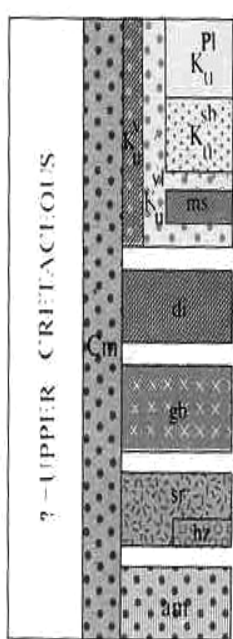
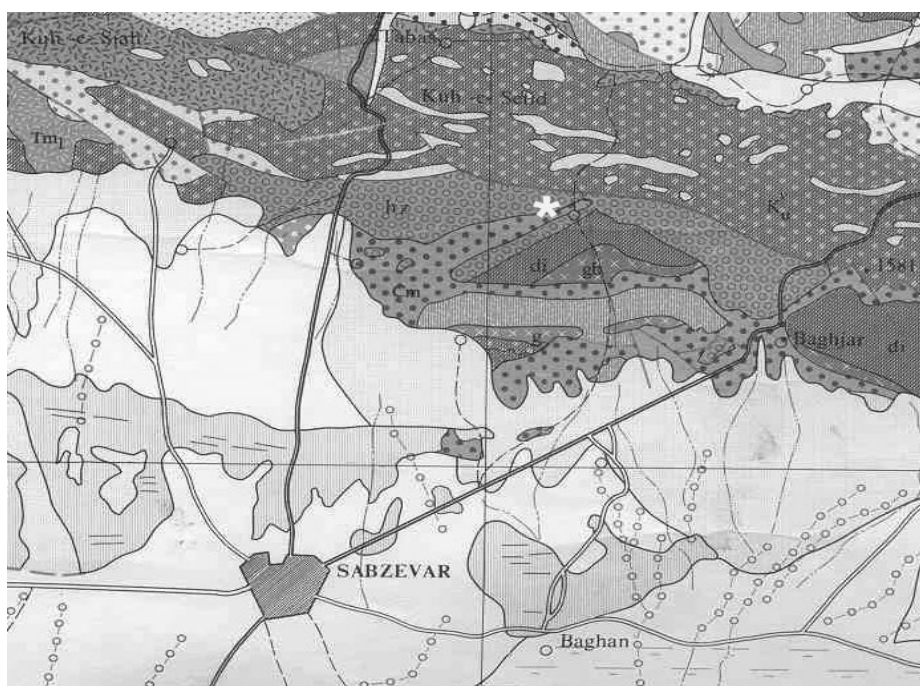
**واحد توده های گابرویی - دیوریت گابرویی:** این توده ها، متوسط بلور، با رنگ خاکستری، در دره سلیمانیه برونزد داشته و افیولیت ها را قطع می نمایند و از نظر علوی<sup>(۶)</sup> سن آن ها هم ارز کرتاسهٔ پسین (فاز لارامید) و شاید جوان تر ارزیابی می شود.

**واحد میکروگابرو - دیاباز:** گسترهٔ وسیعی از سنگ های میکروگابرو - دیابازی در شمال خاوری ورقه سبزوار، و در رخنمون های کوچک تری در نقاط دیگر برونزد دارند. دایک هایی با روندهای گوناگون واحدهای هارزبورژیت و سرپانتینیته را بریده است. این دایک های دیابازی و گابرویی تحت تاثیر فرایند رودنژیتی شدن به مجموعه ای از کانی های دیوپسید، گارنت، پرهنیت و کلریت تبدیل شده اند، همراه این دایک ها، رگه های فراوان پکتولیت، پرهنیت و هیدروسلیکات کلسیم (Xenotlite) دیده می شود.

جایگاه چینه شناسی این واحد در مجموعه افیولیتی، بالاتر از کومولاهای گابرویی است، لیکن این دایک ها می توانند تغذیه کننده یک افق بالاتر باشند. طبق نظر<sup>(۷)</sup> پیدایش مجموعه دایک ها را در اثر تزریق متوالی ماگمای بازیک در امتداد زون های کششی می دانند.

سنگ های این واحد را می توان متادیاباز نامید، زیرا در اثر باز شدگی کف اقیانوس و خروج ماگمای بازیک و داغ، نوعی دگرگونی گرمابی در آن ها رخ می دهد، که موجب سوسوریتی و پرهنیتی شدن پلاژیوکلازها و اورالیتی شدن پیروکسن ها می گردد. این دگرگونی در حد رخساره شیبست سبز است.

**واحد سنگ های آتشفشانی زیر دریایی:** در شمال سلیمانیه گستره وسیعی همراه با لایه هایی از سنگ های آهنکی صورتی رنگ کرتاسه بالایی - پالتوسن برونزد دارد. سنگ های این واحد شامل گدازه های بالشی، هیالوکلاستیت ها، هیالوکلاستیت های دارای گدازه بالشی، برش های هیالوکلاستیتی و کمی توف برش و توف است.



- Pl : Globotruncana limestone. سنگ آهک گلوبوترانکانادار.
- K<sub>u</sub> : Submarine lava and Pelagic limestone. گدازه‌های زیردریایی و آهک پلاژیک.
- sh : Shale minor radiolarite. شیله و مقدار کمی رادیولاریت.
- ms : Meta spilite: Prehenite - pumpellyite to green schist facies. اسپیلیت دگرگون شده: رخساره پرهینیت-پمپلیلیت تا رخساره سبز.
- Cm<sub>2</sub> : Association of spilitic diabase and granophyre. پمپلیت: مجموعه‌ای از اسپیلیت دیاباز و گرانوفیر.
- di : Diabase. دیاباز.
- Cm<sub>1</sub> : Serpentinite in association with submarine lava. سرپانتینیت همراه با گدازه‌های زیردریایی.
- gb : Gabbro. گابرو.
- K<sub>u</sub> : Submarine lava, tuff, locally radiolarite. گدازه‌های زیردریایی، توف و بطور محلی رادیولاریت.
- Cm : Colored melange, undifferentiated. آمیزه رنگین، تفکیک نشده.
- sr : Serpentinized harzburgite and dunite. هارزبورگیت و دونیت سرپانتینیزه شده.
- hz : Harzburgite. هارزبورگیت.
- am : Amphibolite: garnet amphibolite. آمفیبولیت و آمفیبولیت گرونادار.

نقشه شماره (۲) نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی سبزوار (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)<sup>(۸)</sup>

### پتروگرافی

منطقه مورد مطالعه بخشی از افیولیت های سبزوار می باشد، سنگ‌های تشکیل دهنده آن‌ها شدیداً سرپانتینیزه بوده و توسط دایک هایی از جنس گابرو، میکروگابرو و دیاباز قطع شده اند. حاشیه این دایک ها نشانگر خرد شدگی و شکستگی زیاد بوده که به خاطر حرکات تکتونیکی قوی بعد از جایگزینی آن ها در وضعیت فعلی است. آن ها با شدت بسیار زیادی تحت تاثیر دو فرایند دگرسانی و متاسوماتیسم واقع شده اند، پلاژیو کلازها که

کلسیک بوده اند، و در اثر دگرسانی آن‌ها پره‌نیت و کلینو زوئیزیت بوجود آمده است. کلینو پیروکسن‌ها در اثر دگرسانی به سرپانتین و کلریت تبدیل شده اند. اورتوپیروکسن‌ها نخست به باستیت (نوعی سرپانتین، تبدیل می‌شوند، مطالعات میکروسکوپی این سنگ‌ها حاکی از تخریب شدید بافت آن‌ها بعد از جایگزینی آن‌هاست. شدت زیاد متاسوماتیسم در تبدیل پره‌نیت به ئیدروگروسولار و تشکیل کانی‌های ثانوی باکلسیم زیاد است که معرف وجود یک زون واکنش رودنژیتی در غلاف سنگ‌های بازیک دگرسان شده منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این تغییرات باعث تغییر رنگ‌ها می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). در بعضی از مناظر آثار دینامیکی نیز همزمان با فرآیند رودنژیتی شدن مشاهده می‌شود (شکل ۳)



شکل ۲ یک دایک گابرویی رودنژیتی شده با رنگ متمایل به صورتی (منطقه مورد مطالعه)

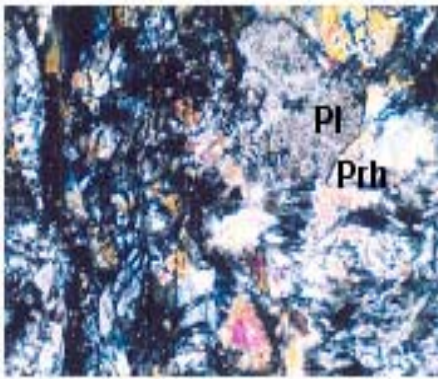


شکل ۱ یک دایک گابرویی با یک رگه باریک پکتولیت در قسمت فوقانی آن (منطقه مورد مطالعه)

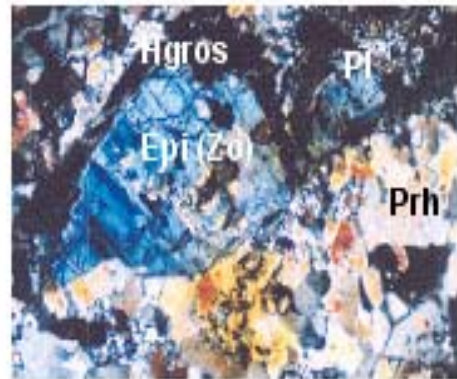


شکل ۳ نمایی از دایک‌های گابرویی بشدت رودنژیتی شده بصورت دینامیکی (منطقه مورد مطالعه)

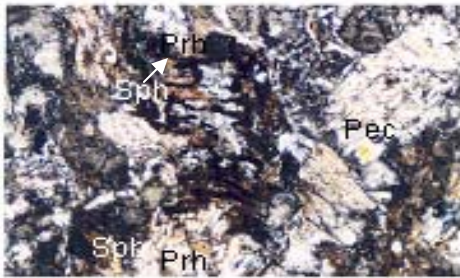
کانی‌های مختلف موجود در اثر دگرسانی و متاسوماتیسم تغییر ترکیب داده و به کانی‌های جدیدی تبدیل شده اند و یا نوظهورند که تصاویر میکروسکوپی بعضی از آن‌ها به عنوان شاهد ذیلاً آورده شده اند (شکل‌های ۱ از الف تا ز) و در مبحث "واکنش‌های رودنژیتی شدن در منطقه" به این تبدیلات اشاره خواهد شد.



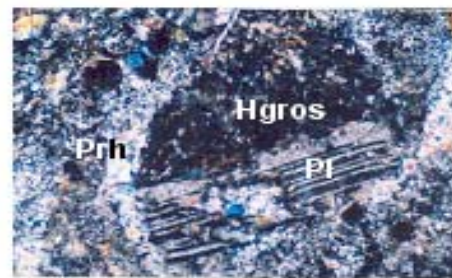
شکل ب



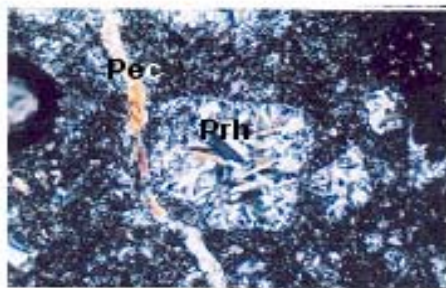
شکل الف



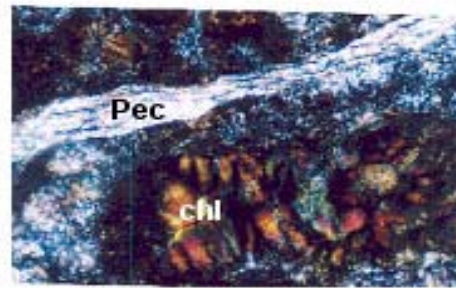
شکل د



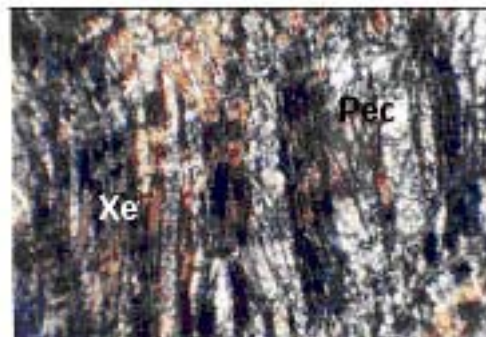
شکل ج



شکل و



شکل ه



شکل ز

Pl = پلاژیوکلاز, Epi = اپیدوت, Prh = پرهنیت, Hgros = هیدروگلاسلولار, Sph = اسفن, Pec = پکتولیت, Xe = زنوتلیت شکل های شماره ۴ از الف تا ز نشانگر دگرسانی کانی های سنگ های ا فیولیتی در منطقه مورد مطالعه می باشند..

بررسی های میکروسکوپی رودنژیت های این منطقه نشانگر شواهدی بر بیش از یک فرایند متاسوماتیسم می باشد، که احتمالاً در رابطه با تکتونیک فعال مجموعه اولترامافیک منطقه در زمان جایگزینی رودنژیت هاست.

بر اساس مطالعات پتروگرافی انجام شده، مجموعه های زیر در رودنژیت های افیولیت سبزوار قابل تشخیص است<sup>(۹)</sup>:

۱- هیدروگروسولر (گروسولر) + پرهنیت + بقایای کلینوپیروکسن، ۲- هیدروگروسولر + کلریت

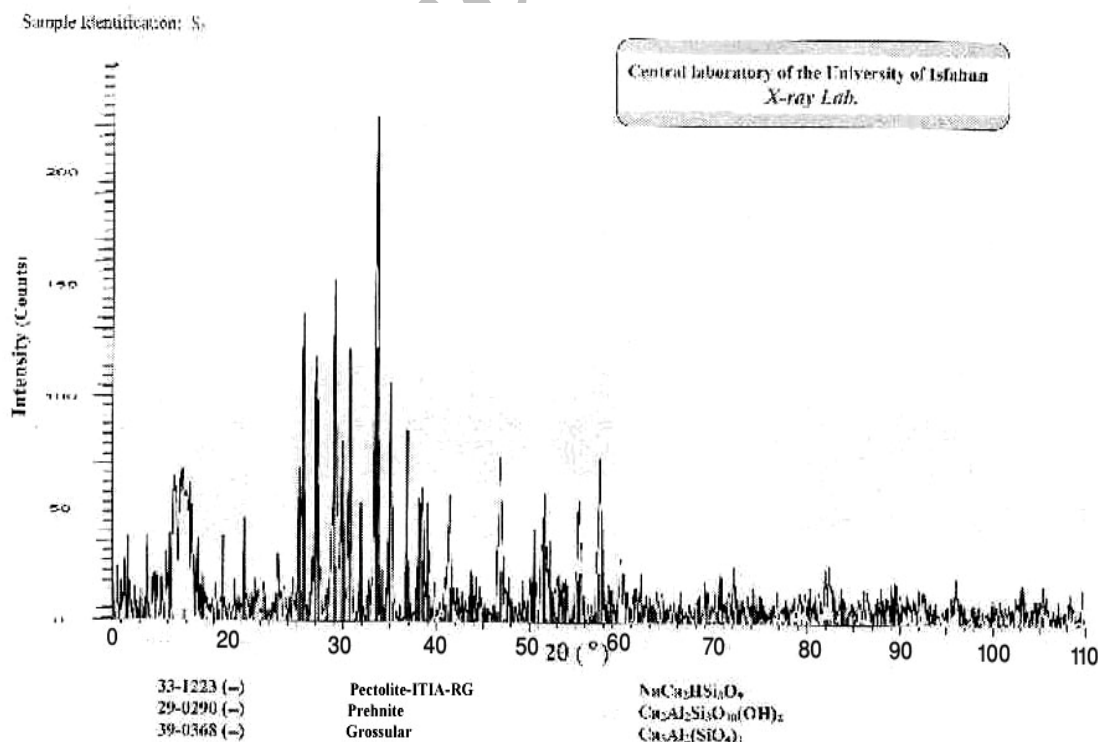
۳- پرهنیت + (ترمولیت - اکتینولیت) + کلریت منزیم دار، ۴- اپیدوت + کلریت + پرهنیت

۵- دیوپسید + (ترمولیت - اکتینولیت) + هیدروگروسولر

### مطالعات XRD رودنژیت های منطقه

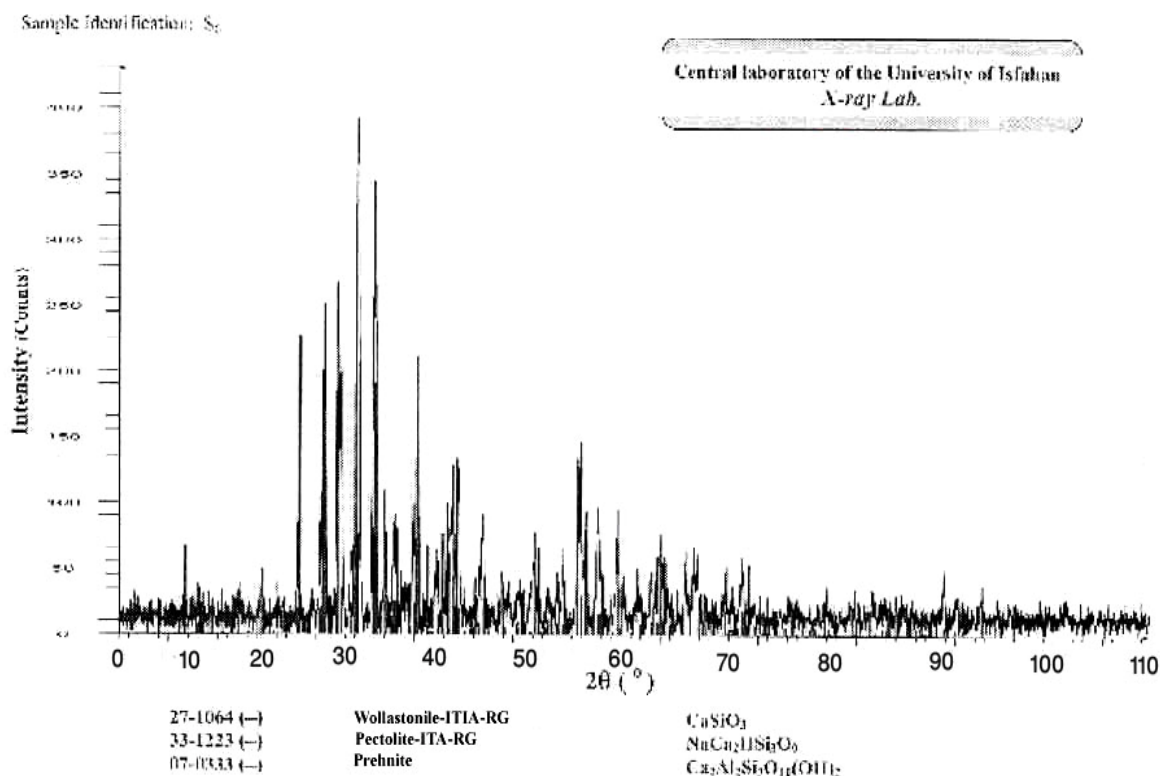
برای اطمینان از تشخیص صحیح کانی های تشکیل دهنده رودنژیت ها به صورت میکروسکوپی نمونه هایی برای مطالعات XRD به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان ارسال گردید. نتایج دریافتی، کانی های شناخته شده توسط میکروسکوپ را تایید نموده اند ( نمودارهای شماره ۱ و ۲). دو نمونه مربوط به دو نوع رودنژیت منطقه می باشد.

همان طوری که مشاهده می شود در دو نمونه رودنژیت که به صورت اتفاقی ارسال شده است دو مجموعه کانی متفاوت گزارش شده است: پکتولیت، پرهنیت، گروسولار و پکتولیت، ولاستونیت اعلام شده است. وجود رگه های بعضی کانی ها می تواند دلیل تاخیری بودن تشکیل آن ها یا به عبارت دیگر محصولات نهایی فرایند های رودنژیتی باشد.



نمودار دیفرکتومتری اشعه ایکس (۱) که نشانگر کانیهای پکتولیت، پرهنیت و گروسولار است.





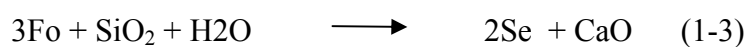
نمودار دیفرکتومتری اشعه ایکس (۲) که نشانگر کانیهای ولاستونیت، پکتولیت و پرهنیت است.

آنچه از نتایج تجزیه حرارتی و رفتار گرمایی دو کانی پکتولیت و زنوتلیت استنباط می شود این است که: زنوتلیت در حرارت ۸۲۰ تا ۸۴۰ درجه سانتی گراد و پکتولیت در حرارت ۷۸۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد آب داخل شبکه بلوری خود را کاملاً از دست داده و ساختار بلوری آن متلاشی می شود<sup>(۵)</sup> به علت این که نمودارهای نمونه های ارسالی برای آنالیز ترمیک از کیفیت خوبی برخوردار نبود از آوردن آن ها خودداری شد) به عبارت دیگر وجود دو کانی توسط روش تجزیه حرارتی نیز تایید شد.

### نتایج و بحث

#### واکنش های رودنژیتی شدن در منطقه

تمام واکنش ها از سرپانتینی شدن پریدوتیت ها شروع می شود. در این فرآیند سیالات غنی شده از  $Ca^{2+}$  بوجود می آید، که لازمه و عامل اصلی رودنژیتی شدن است. طبق پیشنهاد<sup>(۱۰)</sup>، کانی فورستریت در پریدوتیت ها بیش از ۰,۰۴۲ درصد  $CaO$  دارد، و سرپانتین فاقد  $CaO$  می باشد، برای سرپانتینی شدن اولیوین می توانیم واکنش زیر را بنویسیم:

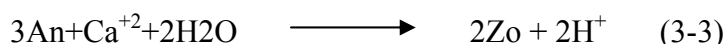


(Serpentine)

اورتوپروکسن پریدوتیت نیز، مطابق با نظریه<sup>(۱۰)</sup>، بیش از ۱۴،۲ درصد  $\text{CaO}$  دارد که در اثر دگرسانی به سرپانتین تبدیل می‌شود، و می‌توان واکنش زیر را برای این تبدیل نوشت:



گابرو سنگ اصلی است که متحمل رودنژیته‌ی شدن می‌شود و کانی‌های اصلی آن شامل کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز کلسیک و اولیوین است. دو واکنش زیر نیز توسط<sup>(۱۱)</sup> در این مورد ذکر شده است:

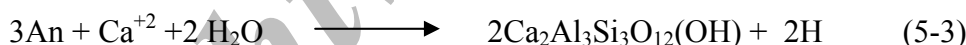


(Zoisite)



(Hydrogrossular)

بنا بر این بر پایه مطالعات میکروسکوپی سنگهای رودنژیته برداشت شده از منطقه سلیمانیه (شکل‌های شماره ۱ از الف تا ز) می‌توان واکنش‌های رودنژیته‌ی شدن را در این سنگ‌ها ارائه نمود، این واکنش‌ها قبلاً نیز توسط<sup>(۱۲)</sup> برای رودنژیت‌های ایران، پیشنهاد شده، لذا، در مورد رودنژیت‌های مجموعه‌ی افیولیتی سبزوار نیز می‌توان آن‌ها را نوشت: مشاهده پلاژیوکلازها که سطح آن‌ها اپیدوتی شده است، واکنش زیر را تداعی می‌کند (پلاژیوکلاز کلسیک که عمدتاً از نوع آنورتیت تا لابرادوریت می‌باشد متحمل این نوع واکنش شده است) (شکل ۱ الف):



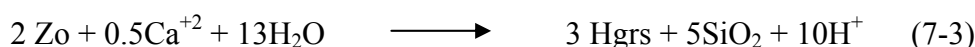
(Zoisite)

زوئیزیت را می‌توان یک فاز حدواسط در نظر گرفت که در نهایت با افزایش آب و کلسیم در دمای بالا به هیدروگروسولر تبدیل می‌شود:

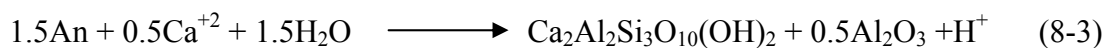


(Hydrogrossular)

همچنین می‌توان واکنش زیر را در نظر گرفت چرا که در فرآیند رودنژیته‌ی شدن، رودنژیت‌ها از سیلیس فقیر می‌شوند:



از طرفی مشاهده می‌شود که پلاژیوکلازها مستقیماً به پرهنیت تبدیل شده‌اند (شکل ۱ ب):



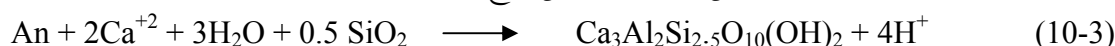
(Prehnite)

پرهنیت نیز یک کانی حدواسط می باشد و با تشکیل هیدروگرسولر باز هم از سیلیس فقیرتر می شود (شکل ۱ ج):

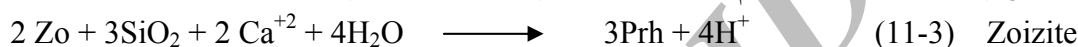


شواهد میکروسکوپی نشان داد که در اکثر موارد، مراحل حدواسط (زوئیزیت و پرهنیت) تشکیل نمی شود و

پلاژیوکلاز مستقیماً به هیدروگرسولر تبدیل شده است (شکل ۱ ج):



جانشینی اپیدوت (با افزایش کلسیم در محیط) توسط پرهنیت نیز امکان پذیر است:



(Prehnite)

در بعضی سنگ ها مقدار زیادی اسفن مشاهده می شود. که احتمالاً  $\text{TiO}_2$  آزاد شده از شبکه مگنتیت و یا

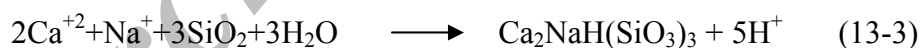
کلینوپیروکسن ها می باشد که در فوگاسیته پائین  $\text{CO}_2$  در واکنش زیر شرکت کرده است (شکل ۱ د):



(Sphene)

در نهایت فرایند رودزیتی شدن در منطقه مورد مطالعه با تثبیت یون سدیم به صورت کانی پکتولیت خاتمه

می یابد. واکنش تشکیل پکتولیت را می توان به صورت زیر نوشت (شکل ۱ ه) و (و):



(Pectolite)

سدیم از فروپاشی پلاژیوکلاز حین پرهنیتی - گارنتی شدن و سیلیس نیز از گارنتی شدن نهایی پلاژیوکلاز حاصل

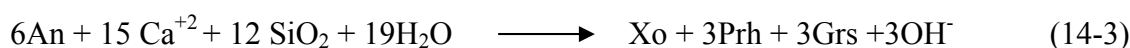
می شود.

زنوتلیت با آلبیت، پکتولیت و هیدروگرسولر همراه می باشد و همچنین به همراه پرهنیت و گرسولر ظاهر می شود.

مطالعات تجربی داده های ایزوتوپی پایدار بر روی کانی های مرتبط با زنوتلیت ها، نشان می دهد که زنوتلیت از

واکنش بین آب های جوی دارای  $\text{Ca}^{+2}$  و پلاژیوکلاز تشکیل شده است<sup>(۱۳)</sup>، و می توان واکنش زیر را برای آن

پیشنهاد کرد:



(Xonotlite)

با توجه به مطالعات کانی‌شناسی به خصوص همیافتی کانی‌ها و تشکیل زنونیت به تنهایی و مستقل (شکل

۱ ز) در رگچه‌ها، به نظر می‌رسد که واکنش زیر صحیح‌تر باشد: <sup>(۵)</sup>



(Xenotlite)

در این واکنش  $\text{SiO}_2$  از رودنژیتی شدن حجم عظیمی از دایک‌ها حاصل شده است،  $\text{CaO}$  مورد نیاز نیز بالطبع

در محیط رودنژیتی شدن همیشه در دسترس است، که در اثر سر پانتینی شدن حاصل می‌شود.

#### ژئوشیمی و ترکیب کانیهای رودنژیت‌های منطقه

برای اطمینان بیشتر از تشخیص صحیح میکروسکوپی کانی‌های متشکله رودنژیت‌ها نمونه‌هایی برای

تجزیه میکروسوند الکترونیک به مرکز ملی تحقیقاتی علمی (CNRS) در مون‌پلیه فرانسه ارسال شد. نتایج دریافتی

تشخیص صحیح همه کانی‌ها را تأیید نمود (جدول شماره ۱).

جدول شماره (۱) نشانگر مقادیر اکسیدهای مختلف تشکیل دهنده کانی‌های رودنژیت‌های منطقه می‌باشد

Oxides	SiO2	Al2O3	Na2O	K2O	CaO	MgO	MnO	FeO	TiO2	Total
Grossular	35.99	23.56	0.00	0.00	36.20	0.03	0.01	0.22	0.03	96.06
Wolastonite	48.34	3.38	0.00	0.00	43.92	0.00	0.01	0.02	0.00	95.69
Wolastonite	48.13	5.01	0.00	0.00	42.94	0.00	0.02	0.02	0.03	96.15
Grossular	35.49	23.36	0.00	0.00	35.85	0.02	0.00	0.35	0.01	95.11
Wolastonite	48.20	5.54	0.03	0.00	42.16	0.00	0.00	0.01	0.00	95.95
Wolastonite	49.74	0.02	0.21	0.00	46.10	0.00	0.00	0.02	0.00	96.09
Xenolite	48.40	0.00	0.66	0.00	45.71	0.00	0.01	0.01	0.00	94.80
Wolastonite	49.83	0.03	0.62	0.00	45.98	0.00	0.02	0.01	0.00	96.48
Sphène	28.52	1.88	0.00	0.00	26.57	0.00	0.02	0.28	37.43	94.73
Sphène	28.60	1.58	0.00	0.00	26.69	0.00	0.01	0.30	37.87	95.10
Sphène	29.08	1.60	0.00	0.00	26.93	0.00	0.00	0.26	38.10	95.96

ادامه جدول شماره ۱ ...

Sphene	29.73	2.08	0.02	0.00	27.86	0.00	0.03	0.41	37.31	97.45
Wolastonite	48.61	0.01	0.02	0.00	46.68	0.00	0.02	0.01	0.01	95.38
Calcite	0.14	0.00	0.00	0.00	51.69	0.03	0.11	0.17	0.00	52.15
Plagioclase	53.91	27.95	10.80	0.47	4.90	0.00	0.00	0.08	0.00	98.11
Plagioclase	60.80	23.83	8.15	0.60	5.30	0.00	0.00	0.05	0.00	98.73
Pectolite?	53.09	0.71	8.29	0.01	33.84	0.00	0.00	0.01	0.02	95.98
Pectolite?	52.65	0.61	8.27	0.00	33.95	0.00	0.02	0.01	0.00	95.55
Wolastonite	50.48	0.00	0.11	0.00	46.75	0.00	0.00	0.00	0.00	97.35
Biotite	38.70	15.00	0.22	9.82	0.08	17.53	0.08	10.89	2.31	94.73
Biotite	36.60	13.91	0.25	9.14	0.26	17.37	0.04	10.64	1.96	90.27
Biotite	36.01	16.99	0.05	5.82	0.40	19.84	0.03	12.24	0.50	91.96
Biotite	37.62	16.40	0.06	7.74	0.46	19.06	0.05	11.89	0.46	93.84
Idocrase	34.49	14.83	0.01	0.00	41.04	0.26	0.03	1.33	0.00	91.99
Wolastonite	50.38	0.02	0.00	0.00	46.80	0.00	0.00	0.00	0.00	97.22
Calcite	0.21	0.00	0.00	0.00	51.96	0.00	0.03	0.04	0.00	52.23
Wolastonite	46.08	2.52	0.01	0.00	45.88	0.00	0.06	0.06	0.00	94.60
Plagioclase	62.43	23.82	8.75	0.24	4.75	0.00	0.00	0.00	0.01	100.01
Plagioclase	61.78	23.71	8.47	0.00	5.00	0.01	0.00	0.05	0.00	99.04
Calcite	0.17	0.00	0.00	0.00	51.41	0.01	0.08	0.21	0.00	51.92
Chlorite	27.81	20.85	0.02	0.01	0.39	12.24	0.29	26.31	0.05	87.97
Grossulaire	33.36	22.09	0.00	0.00	37.97	0.02	0.02	0.81	0.45	94.71
Grossulaire	33.41	22.84	0.01	0.00	38.43	0.02	0.01	0.56	0.09	95.38

ادامه جدول شماره ۱ ...

Chlorite	30.19	18.60	0.05	0.04	0.47	16.53	0.35	22.20	0.08	88.54
Chlorite?	32.57	18.78	0.05	0.44	10.52	9.54	0.31	18.89	1.68	92.82
Chlorite	28.77	16.09	0.03	0.27	2.92	12.02	0.35	26.20	2.65	89.36
Xonolite	49.12	0.00	0.00	0.00	44.31	0.00	0.08	0.01	0.01	93.55
Chlorite	30.67	17.59	0.02	0.02	2.20	15.39	0.33	22.36	0.16	88.75
Grossulaire	33.10	21.74	0.00	0.00	38.19	0.01	0.06	2.29	0.04	95.43
Chlorite	29.76	19.13	0.01	0.02	0.37	16.02	0.32	22.12	0.05	87.84
Xonolite	49.00	0.01	0.01	0.00	43.35	0.00	0.16	0.01	0.00	92.53
Xonolite	49.25	0.00	1.45	0.00	43.16	0.00	0.17	0.03	0.00	94.06
Opaque	0.04	0.02	0.00	0.00	0.22	0.01	2.13	46.60	50.60	99.70
Sphene	22.80	0.40	0.00	0.00	21.29	0.00	5.00	7.86	42.27	99.73
Chlorite	30.10	19.67	0.04	0.03	0.46	17.37	0.42	19.36	0.06	87.55

همان طوری که در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود تعداد زیادی از کانی‌های مربوط به فرایندهای رودنژیتی شدن می‌باشد. اکثر کانی‌های قابل تشخیص توسط میکروسکوپ پلاریزان و تایید شده توسط میکروسوند، کانی‌های دارای کلسیم زیاد هستند، و فراوانی سیالات کلسیم را در محیط و نقش آن‌ها را در انجام و اکشن‌های رودنژیتی شدن تأیید می‌کند.

تعدادی از کانی‌ها مانند زیرکن، بیوتیت و کلریت دارای  $\text{CaO}$  جزئی یا بدون آن می‌باشند (شکل شماره ۲). کانی‌های کلسیم دار، بیش از ۲۰ درصد  $\text{CaO}$  دارند، لیکن پلاژیوکلازها که باید کلسیک باشند، در اثر آلپیتیزاسیون حدود ۵ درصد  $\text{CaO}$  دارند (جدول شماره ۲) در حالی که در این کانی‌ها مقادیر  $\text{Na}_2\text{O}$  خیلی بیشتر از  $\text{CaO}$  (بیش از ۱/۵ برابر) می‌باشند (شکل‌های شماره‌های ۳ و ۴). و گذشته از آن مقادیر  $\text{SiO}_2$  این پلاژیوکلازها در مقایسه با نوع سدیک آن‌ها پائین می‌باشد، که این امر نشانگر خروج کلسیم از شبکه این کانی‌هاست. بنا براین پلاژیوکلازها نیز می‌توانند یکی از منابع تامین  $\text{CaO}$  در سیالات موثر در فرایندهای رودنژیتی باشند.

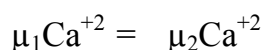
جدول شماره (۲) ترکیب پلاژیوکلازهای منطقه مورد مطالعه را سدیک نشان می دهد

SS	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	FeO	TiO <sub>2</sub>	Total
Plagioclase	53.91	27.95	10.8	0.47	4.9	0	0	0.08	0	98.11
Plagioclase	60.8	23.83	8.15	0.6	5.3	0	0	0.05	0	98.73
Plagioclase	62.43	23.82	8.75	0.24	4.75	0	0	0	0.01	100.01
Plagioclase	61.78	23.71	8.47	0	5	0.01	0	0.05	0	99.04

### سازوکار رودنژیتی شدن

رودنژیتی شدن یک فرآیند پلی ژنتیک بوده، که عامل اصلی آن وجود سیالات اشباع از کلسیم است. قسمت اعظم CaO لازم از سرپانتینی شدن کانی های فرومینیزین تامین می شود. طبق نظر<sup>(۱۰)</sup>، کانی فورستریت در پریدوتیت ها همان طوری که قبلاً اشاره شد، بیش از ۰/۰۴۲ درصد CaO دارد که معادل ۱/۳۹ درصد Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> است، و در اورتوپروکسن های پریدوتیت ها نیز، بیش از ۲/۱۴ درصد CaO وجود دارد که معادل ۴/۴۰ درصد CaSiO<sub>3</sub> است، که در اثر سرپانتینی شدن آن ها این اکسید های کلسیم آزاد می شوند.

طبق توضیحات<sup>(۱۴)</sup>، آب خارج شده از نواحی سرپانتینی شده غنی از Ca(OH)<sub>2</sub> هستند و معمولاً مقدار pH بالایی دارند (در حدود ۱۱)، آب های غنی از Ca<sup>+2</sup> و (OH)<sup>-1</sup> آزاد شده از واکنش های (1-3) و (2-3) با سنگ سرپانتینیت در برگرنده ناسازگار هستند و Ca<sup>+2</sup> نمی تواند در ساختار بلوری کانی های سرپانتین بماند. در حقیقت، سیال غنی از Ca<sup>+2</sup> تمایل زیادی به واکنش با کانی ماگمایی دایک های بازیک و یا توده های گابرویی دارند. این دایک ها که در اثر فرآیند تکتونیکی در مجاورت توده های اولترامافیک قرار گرفته اند، مکان های بسیار مناسب برای نفوذ و واکنش این سیالات با کانی های موجود در کنارها و امتداد شکستگی های آنهاست. بر اساس نظریه<sup>(۱۲)</sup>، بین پریدوتیت سرپانتینی شده و دایک بازیک یک اختلاف پتانسیل شیمیایی (μCa<sup>+2</sup>) ایجاد می شود، که باید به هر طریقی موازنه شود. این کار توسط واکنش های انجام شده بین سیالات غنی از Ca<sup>+2</sup> و سنگ های بازیک انجام می شود تا تعادل زیر برقرار گردد:



پتانسیل شیمیایی Ca<sup>+2</sup> در سرپانتینیت = پتانسیل شیمیایی Ca<sup>+2</sup> دایک بازیک.

در این رویداد، انرژی آزاد سیستم حداقل شده و مجموعه کانی های جدیدی به خرج کانی های ماگمایی موجود ظاهر می شوند، ظهور مجموعه کانی های جدید بر ترتیب واکنش های جدید اشاره دارد.

تشکیل سیالات غنی از کلسیم و شروع تاثیر آن بر کانیهای گابروها آغاز واکنش های رودنژیتی شدن است. در یک سنگ گابرویی تیپیک کانی های اصلی پروکسن ها و پلاژیوکلازها هستند، آمفیبول ها و الیوین نیز در این سنگ ها حالت فرعی دارند. هیدروکسیل های آمفیبول ها، در اثر هیدراته شدن تولید آب می نمایند و بر اثر

رودنژیتهی شدن بر اساس آنچه که در نمونه های منطقه شاهد آن بودیم، در ابتدا در اثر تجزیه پلاژیوکلازها پرهنیت تشکیل و در نهایت پرهنیت به هیدروگروسولر تبدیل شده است. البته در بعضی از نمونه ها پلاژیوکلاز به طور مستقیم به هیدروگروسولر تبدیل می شود. کلریت نیز ممکن است از تجزیه پلاژیوکلاز و پیروکسن به مقدار زیاد در حین فرآیند رودنژیتهی شدن گابروها حاصل شود. پکتولیت، حاصل از تأثیر آب های جوی سدیم دار بر سنگ رودنژیتهی است که در درزه ها و شکستگی های (برشی شدن در اثر عوامل تکتونیک) سنگ های موجود در آخرین مرحله رودنژیتهی شدن تشکیل شده است. در نهایت پدیده سیلیسی شدن را در سنگ های رودنژیتهی شده شاهد هستیم که این پدیده همراه با متاسوماتیسم بر سنگ تحمیل شده است.

نتیجتاً اساس واکنش های رودنژیتهی شدن بر پایه مجموعه کانی های حاصله در سنگ رودنژیت به قرار زیر

است:

همان طوری که اشاره شد در اثر عمل سرپانتینی شدن کانی های فرومنیزین سنگ های مافیک و اولترا مافیک سیالات غنی از کلسیم به وجود می آیند، این فرآیند در اعماق و در اثر نفوذ سیالات ماگمایی فاقد  $CO_2$  یا فقیر از  $CO_2$  ایجاد می شود. مسئله قابل توجه وجود رودنژیت و نبود لیستونیت در منطقه مورد مطالعه می باشد که علت آن را در کم بودن میزان دی اکسید کربن سیالات هیدروترمال باید جستجو کرد، در صورتی که میزان دی اکسید کربن محیط فراوانتر بود به همراه رودنژیت در منطقه لیستونیت و منیزیت را (مانند افیولیت های بیرجند و نائین) شاهد بودیم<sup>(۱۵)</sup>.

بنابراین در نهایت فرآیند رودنژیتهی شدن در منطقه مورد مطالعه با تثبیت یون سدیم به صورت کانی پکتولیت خاتمه می یابد. واکنش (3-13) تشکیل پکتولیت را نشان می دهد.

سدیم لازم برای واکنش ها از فروپاشی پلاژیوکلاز حین پرهنیتی - گارنتی شدن و سیلیس نیز از گارنتی شدن نهایی پلاژیوکلاز حاصل می شود. با توجه به شواهد موجود، فاکتورهای اصلی در فرآیند رودنژیتهی شدن  $Ca^{+2}, H_2O, SiO_2$  هستند. بنابر این، رودنژیت ها سنگ هایی هتروژن هستند و دلیل تشکیل آن : فعالیت  $Ca^{+2}$  در بخش های مختلف محیط به صورت متفاوت، فراوانی  $H_2O$  در قسمت های مختلف و حضور یا عدم حضور  $SiO_2$  در محلول های مهاجم از مکان های واکنشی مختلف است. با توجه به این که  $SiO_2$  آزاد شده در طی فرآیند رودنژیتهی شدن همراه با  $H_2O$ ، سرپانتینی شدن سنگ میزبان را افزایش می دهد و در طی این واکنش (که به صورت یک واکنش Feed Back یا باز خور می باشد)  $Ca^{+2}$  زیادی در داخل سیال آزاد می شود که به رودنژیتهی شدن کمک می کند<sup>(۱۲)</sup>.

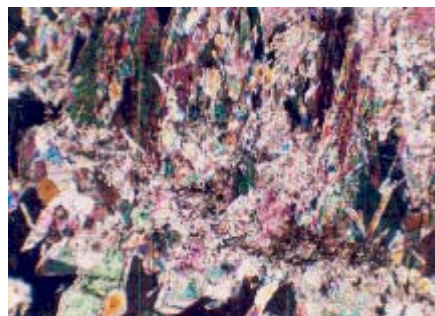
پکتولیت برای اولین بار در ایران در افیولیت های اسفندقه<sup>(۱۶)</sup> گزارش شده است. در مشاهدات ماکروسکوپی، پکتولیت یک کانی به شکل رگه های سفید رنگ توده رودنژیت ها را قطع می نماید (شکل ۶) و در بیشتر موارد سطوح جدا شده درزه ها را پوشانده است. این کانی تجمع شعاعی رشته ای ظریف یا موازی و فشرده را نشان می دهد که جلای شیشه ای تا ابریشمی در آن مشاهده می شود، پکتولیت با فرمول  $Ca_2NaH(SiO_3)_3$  از خانواده شبه پیروکسن هاست. پکتولیت منحصراً به صورت رگه ای مجموعه رودنژیتهی شده را قطع می کند. این کانی در نور عادی بی رنگ و در نور پلاریزه بیرفرنژانس نسبتاً قوی (رنگ های سری سوم) از خود نشان می دهد. در



بعضی مواقع یک جهت کلیواژ (100 و یا 001) به خوبی دیده می‌شود. ظاهراً این کانی در تعادل با یک کانی ایزوتروپ با برجستگی بیشتر که در حقیقت شکل دروغین پکتولیت است دیده می‌شود، تجزیه پکتولیت به استیونیت ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ) در اثر واکنش با آب و  $MgH_2(CO_3)_2$  گزارش شده است.<sup>(۱۰)</sup>



Pec



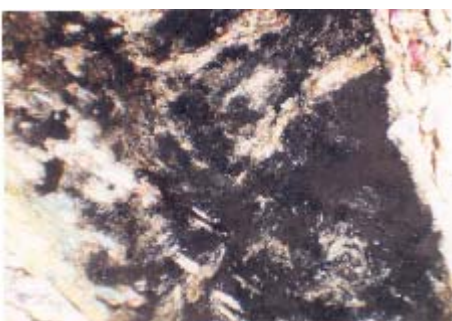
Pec

شکل (۶) نمایی از رگچه

گابروی رودنیتی شده را قطع کرده است  
(منطقه مورد مطالعه)

شکل (۷) تصویر میکروسکوپی بخشی از یک

پکتولیتی که رگچه پکتولی XPL 32  
(از منطقه مورد مطالعه)



شکل (۸) تصویر میکروسکوپی، تجزیه پکتولیت به استیونیت

(از منطقه مورد مطالعه) XPL 32

زنوتلیت نیز که یک کانی فرعی و همراه سایر کانی های رودنیت ها مشاهده می شود از واکنش بین آب های جوی دارای  $Ca^{+2}$  و پلاژیوکلاز تشکیل شده است<sup>(۱۳)</sup>، و می توان واکنش (3-14) را برای آن پیشنهاد کرد.<sup>(۱۲)</sup> با توجه به مطالعات کانی شناسی به خصوص همیافتی کانی ها و تشکیل زنوتلیت به تنهایی و مستقل (شکل ز) در رگچه ها، به نظر می رسد که واکنش (3-15) صحیح تر باشد.<sup>(۵)</sup> زنوتلیت با اگرگات سوزنی در رگچه های موازی حاشیه دایک ها در مجاورت سرپانتینیت ها و در طول زون واکنشی بین سنگ میزبان سرپانتینیتی و دایک ها دیده می شود (شکل ۹).



شکل ۹. رگچه زنوتلیتی (Xe) در مرز با سرپانتینی و دایک رودنژیت با سنگ میزبان (از منطقه مورد مطالعه)

از کانی های این خانواده می توان به زنوتلیت، توبرموریت، ژنیت و... اشاره کرد، در مقایسه با این کانی ها زنوتلیت در درجه حرارت بالاتر و مقدار آلومینیوم کمتری نسبت به توبرموریت با فرمول  $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$  قرار دارد، از نظر ساختاری زنوتلیت شباهت زیادی با توبرموریت نشان می دهد. معمولاً زنوتلیت به وسیله رودنژیتی شدن دایک های مافیک در طی سرپانتینی شدن توده های الترامافیک در دماهای پائین تر از ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی گراد بوجود می آید و در سرپانتینیت های احاطه کننده نیز مرتبط با لیزاردیت می باشد.<sup>(۱۷)</sup>

تجزیه شیمیایی نمونه ای از رگچه خالص زنوتلیت از منطقه سلیمانیه به شرح زیر است:

$\text{SiO}_2$  49.25,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.65,  $\text{Na}_2\text{O}$  0.04,  $\text{MgO}$  0.34,  $\text{K}_2\text{O}$  0.02,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.017,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.06,

$\text{CaO}$  45.30,  $\text{TiO}_2$  0.122,  $\text{MnO}$  0.006, L.O.I 4.29

بنا به عقیده<sup>(۱۷)</sup> زنوتلیت در مرز نهشته های دگرگون شده در داخل سنگ آهک، سرپانتینیت ها و سنگ های متاولکانیک نیز ایجاد می شود.

تحت شرایط هیدروترمال توسط آب زدایی زنوتلیت یا از یک ژل با ترکیب مناسب در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد، فشار اتمسفر، و در ۴۳۰ درجه سانتی گراد، تحت افزایش فشار، ولاستونیت تشکیل می شود<sup>(۱۸)</sup> این به خوبی با پایداری کانی های سرپانتینی از سنگ میزبان سرپانتینیتی مطابقت دارد.

### نتیجه گیری

رودنژیتی شدن سنگ های گابروی در مرز با توده های سرپانتینیت به وسیله فرایند متاسوماتیسم با سیال غنی از  $\text{Ca}^{+2}$  آزاد شده در حین سرپانتینی شدن پریدوتیت ها ایجاد می شود (غالباً فرآیندهای متاسوماتیک در شرایط فشار و حرارت رخساره شیبست سبز ایجاد می شوند).<sup>(۱۴)</sup> در طی واکنشهای منجر به تشکیل پارازنهای رودنژیت، در بعضی  $\text{SiO}_2$  آزاد شده و در بعضی از آن ها مصرف شده است. تشکیل رگچه های زنوتلیتی را می توان به  $\text{SiO}_2$  آزاد شده در طی این واکنش ها و همچنین  $\text{Ca}^{+2}$  آزاد شده ناشی از سرپانتینی شدن پریدوتیت ها نسبت داد، به همین

ترتیب سدیم لازم برای تشکیل پکتولیت را می توان از فروپاشی پلاژیوکلاز حین پرهنتی - گارنتی شدن و سیلیس را نیز از گارنتی شدن نهایی پلاژیوکلاز دانست.

با توجه به مطالعات صحرایی و پتروگرافی و ژئوشیمی رودنژیت های افیولیت منطقه سلیمانیه در شمال شرقی سبزوار مطالب زیر استنباط می شود:

۱- رودنژیته شدن دایک های گابرویی، دیابازی، آمفیبولیت و بازالتی در مرز با توده های سرپانتینی و توسط واکنش با سیال غنی از  $Ca^{+2}$  حاصل از سرپانتینی شدن سنگ های الترامافیک صورت گرفته است.

۲- مجموعه کانی های تشکیل شده در این فرآیند شامل: هیدروگروسولر، پرهنتیت، اپیدوت (کلینوزوئیزیت و زوئیزیت)، دیوپسید، بیوتیت و کانی های پکتولیت و زنوتلیت می باشد.

۳- کانی های پکتولیت و زنوتلیت بشکل رگچه ای و جانشینی در مراحل آخر رودنژیته شدن ایجاد می شوند. سدیم، کلسیم و سیلیس مورد نیاز برای این واکنش ها از آلتراسیون پلاژیوکلازها و انتقال سیالات کلسیم دار و سیلیس آزاد شده در واکنش های منجر به رودنژیته شدن سنگ، تأمین می گردد.

۴- بر اساس اصول ترمودینامیکی، رودنژیته شدن پتانسیل شیمیایی پائینی را به همراه دارد. سرپانتینی شدن پریدوتیت ها، یک سیال غنی از  $Ca^{+2}$  ایجاد می کند که پتانسیل شیمیایی بالایی دارد. سیال مذکور در جهت کاهش انرژی آزاد سیستم، با سنگ های بازیک واکنش می نماید که محصول این واکنش ها کانی های موجود در رودنژیت هاست.

۵- فرآیند رودنژیته شدن و سرپانتینی شدن هم زمان با هم صورت گرفته و این فرآیند حاکی از یک سازوکار FeedBack (باز خور) می باشد.

### پیشنهاد

با توجه به نتایج حاصله، برای ادامه مطالعات و تحقیقات در این زمینه، مطالعات تجربی، مطالعات ایزوتوپ های پایدار، بررسی انکلوزیون های سیال (Fluid inclusion) برای تعیین میزان شوری سیال و تعیین درجه حرارت پیشنهاد می گردد.

### References:

1. Alavi, N., *Report presented Tehran Symposium on the Geodynamics of Southwest, Tehrani, Asia* (1975).
2. Madjidi, H., *Geological Survey and Mineral Explorations of Iran. 1/100000 Geological map of Sabzevar, 7562* (2002).
3. Shojaat, B., Hassanipak, A.A., Mobasher. K and Ghazi, A. M., *Jorunal of Asian Earth Sciences*, 1 (2003).
4. Noghreyan, M.K., *Thesis. Nancy, France. Evolution Geochemique, Mineralogique et Structural d'un Edifice Ophiolitique Singuliere, Le Massif de Sabzevar(partie central), NE de l'IRAN*, 239 (1982).
5. Moslehy, R., Mehdizadeh Shahri, H., Noghreiyen, M.K. and Makizadeh, M.E., *8<sup>th</sup> congress of Geological Society or Iran, Shahrood Univ. of technology* (2004).

6. Alavi Tehrani, N., *Geological survey and Mineral Explorations of Iran Re.*, Geology and Petrology of Sabzevar Ophiolitic Complex (1977).
7. M. et Vines, F.J., *Evaluations and Implications. Phil. Trans. Toy. Soc. Lond.*, 268 Moorees (1971).
8. Sadredin.i, S.E., *1/250000 Geological Map of Sabzevar from his thesis*, Geological survey and mineral explorations of Iran (1974).
9. Moslehy, R., Mehdizadeh shahri, H., Noghreiyen. M. K., and Makizadeh, M. E, *11<sup>th</sup> congress of Earth Sciences*, Geological survey and mineral explorations of Iran (2003).
10. Howir, W.R., Zussman, R.A., *J. Longman*, Essex, U.K (1982).
11. Coleman, R.G., *Low, U. S. Geol; Sure. Bull*, 1247 (1967).
12. Sabzehei, M., *Journal of Sciences*, **13**(2), 155 (2002).
13. Wenner, D.B., *Geochemical et Cosmochemical Acta*, **43**, 603 (1979).
14. *Coleman, R.G., Ophiolites :Ancient Ocea- nic Lithospher Verlag*, Berlin, 299 ( 1977).
15. Bazubandi, M.H., *study of Petrography and Petrology of Soltan-Abad Metamorphic Complex in Relation with Sabzevar Ophiolite, MS thesis*, Tehran Univ (2000).
16. Sbazehei, M., *Les Melanges Ophiolitiques de la Region d' Esfandagheh*, Thesis, Grenoble, France, 303 (1974).
17. Cuevas, J., *Esteban J. Southern*, Spain, 161 (2003).
18. Buchner, D. A., Roy, D.N. and Roy, R., *Am. J. Sci.*, **258**, I32 (1960).

Archive of SID