



## ژئوشیمی و کانی‌شناسی لیستونیت میزبان کانی‌سازی جیوه و مقایسه آن با انواع نابارور در ناحیه طوره، غرب شهر خوی

علی امامعلی پور<sup>۱\*</sup>، مستوره یوسفی<sup>۲</sup>، مهدیه کریملو<sup>۲</sup>

(1) گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه

(2) دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکتشاف معدن، دانشگاه ارومیه

دریافت مقاله: 1391/5/21، پذیرش: 1391/10/11

### چکیده

دگرسانی سنگهای اولترامافیک افیولیتی، تشکیل لیستونیت و کانی‌سازیهای همراه، از پدیده‌های جالب در فلززایی افیولیت خوی به‌شمار می‌رود. به‌نظر می‌رسد چرخه‌های گرمایی مسؤوول کانی‌سازی، از سیستم‌های زمین‌گرمایی که متعاقب فعالیت آتشفشانی اسیدی تا حدواسط نئوژن - پلیئوسوسن به‌وجود آمده‌اند، منشأ گرفته‌اند. بازپویایی سرپانتینیت برشی با محلولهای گرمایی، به دگرسانی گرمایی سیلیسی - کربناته و تشکیل لیستونیت منجر شده است. اهمیت این دگرسانیها به دلیل کانی‌سازیهای جیوه - طلا همراه آنهاست. بر پایه بررسیهای کانی‌شناسی میکروسکپی، آنالیزهای XRD، ویژگیهای ژئوشیمیایی و روابط صحرایی، سه نوع لیستونیت شامل انواع سیلیسی، سیلیسی - کربناته و کربناته شناخته شده است. رخداد جیوه طوره در پیوند با لیستونیت نوع سیلیسی که بیریریت نیز نامیده می‌شود، تشکیل شده است. زون‌های دگرسانی، کنترل ساختاری دارند و به همبریهای گسله شیل (مارن) / سرپانتینیت محدود می‌شوند. از نظر کانی‌شناسی، لیستونیت سیلیسی عمدتاً از کانیهای کوارتز، کلسدونی، اوپال و هیدروکسیدهای ثانوی آهن تشکیل شده است. منیزیت، دولومیت، کلسیت و کانیهای رسی از فازهای فرعی هستند. به‌سمت لیستونیت‌های سیلیسی - کربناته و کربناته، از مقدار کانیهای سیلیسی کاسته و به مقدار کانیهای کربناته افزوده می‌شود. روابط صحرایی زمین‌شناسی و وجود کانی فلزی کرم اسپینل باقی‌مانده در لیستونیت ناحیه طوره سنگ میزبان اولترابازیکی را تأیید می‌کند.

بر پایه بررسی ژئوشیمیایی، میانگین مقادیر  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{MgO}$  به‌عنوان تشکیل‌دهنده‌های اصلی لیستونیت سیلیسی به‌ترتیب برابر  $82/6$ ،  $6/99$ ،  $1/02$  و  $3/74$  درصد وزنی می‌باشند. در میان عناصر کمیاب، میانگین مقادیر  $\text{Hg}$ ،  $\text{Pb}$ ،  $\text{As}$  و  $\text{S}$  به‌ترتیب برابر  $646/2$  ppm،  $517/7$  ppm،  $329/1$  ppm و  $281$  ppm به‌دست آمده است.

در این پژوهش، تغییرات جرم (افزایش و کاهش) عناصر اصلی و فرعی در طول فرآیند دگرسانی در ناحیه طوره با استفاده از معادله Gresens مورد بررسی قرار گرفته است. لیستونیت سیلیسی سینابردار، در  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{Hg}$  غنی‌شده و در  $\text{MgO}$  و  $\text{MnO}$  کاهش یافته است. نوع سیلیسی - کربناته در  $\text{CaO}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{TiO}_2$  غنی‌شدگی و در  $\text{MgO}$ ،  $\text{MnO}$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  کاهیدگی نشان می‌دهد. نوع کربناتی نیز در مقادیر  $\text{CaO}$  و  $\text{Sr}$  افزایش، و در مقادیر  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{TiO}_2$  کاهش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خوی، طوره، سرپانتینیت، دگرسانی، لیستونیت، بیریریت، تغییرات جرم، جیوه.

### مقدمه

کنش‌وری با سیستم‌های گرمایی در شرایط خاص فیزیکی - شیمیایی متحمل دگرسانی سیلیسی - کربناته شده و با کانی‌زایی فلزهایی چون جیوه، طلا و آنتیموان همراه می‌شوند. زمین‌شناسان روسی چنین سنگهایی را لیستونیت

در فلززایی افیولیت‌ها، فرآیند دگرسانی سرپانتینیت‌ها از شمار جالبترین موضوعها برای زمین‌شناسان اقتصادی است. مجموعه‌های افیولیتی و به‌ویژه سرپانتینیت‌ها در نتیجه

در این مقاله، لیستونیت‌های کانه‌دار منطقه مورد پژوهش قرار گرفته و با لیستونیت‌های فاقد کانه منطقه اند مقایسه شده است. منطقه مورد بررسی در شمال باختر کشور و در 90 کیلومتری باختر شهرستان خوی در نزدیکی مرز ایران و ترکیه قرار دارد. دسترسی به این منطقه از طریق جاده آسفالتی خوی-چالدران تا سه راهی محور اند و سپس از روستای زاویه پس از عبور از آبادیهای جنگه سر، قزل آغل، اند و بله سور پایین امکان‌پذیر است. حدود 60 کیلومتر از این مسیر آسفالتی و بقیه جاده خاکی کوهستانی است. مختصات جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه به صورت طول جغرافیایی  $44^{\circ}16'$  تا  $44^{\circ}26'$  و عرض جغرافیایی  $38^{\circ}40'$  تا  $38^{\circ}47'$  می‌باشد (شکل 1).

### روش کار

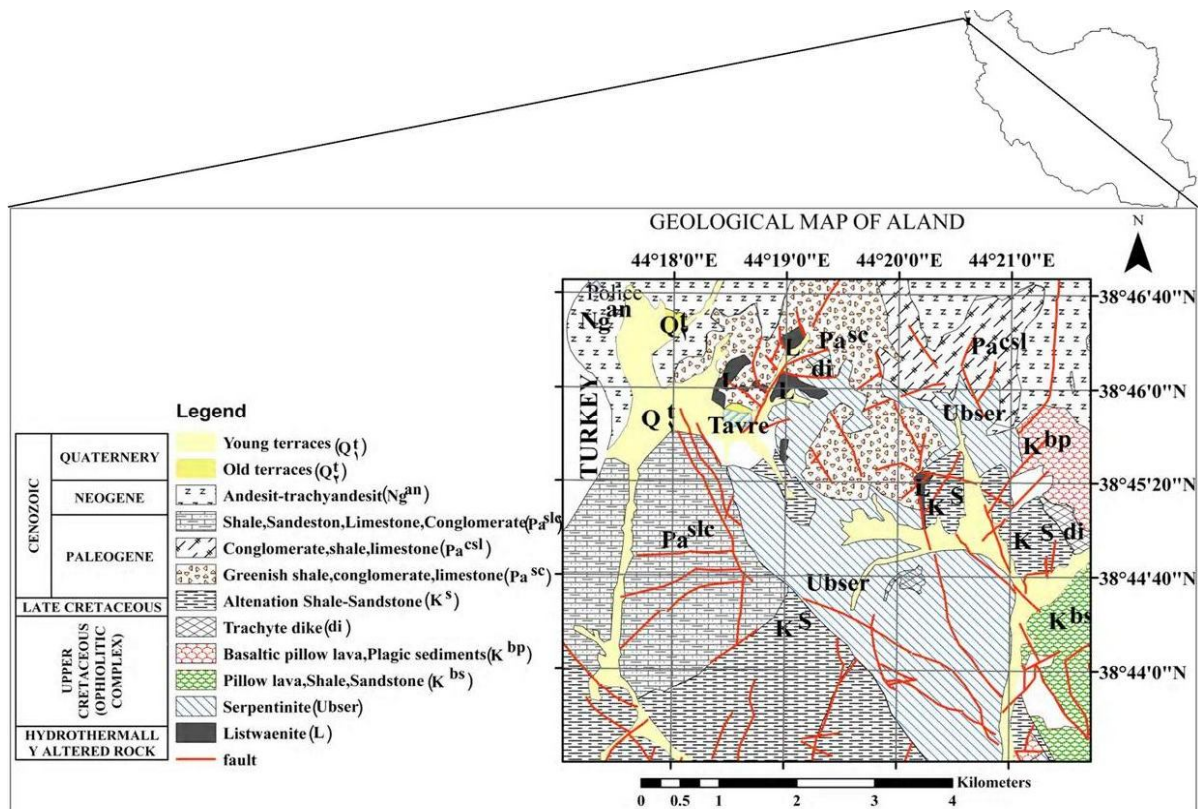
در پژوهش حاضر، با انجام بررسیهای صحرایی، وضعیت زمین‌شناسی انواع لیستونیت‌های کانه‌دار (سنگ میزبان کانی‌سازی جیوه) و فاقد کانه موجود در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. در حین بررسیهای صحرایی، تعداد 17 نمونه از انواع لیستونیت‌ها و 4 نمونه از سرپانتینیت سالم برداشت شد و تحت مطالعات پتروگرافی (بر روی 15 نمونه)، کانی‌شناسی به روش اشعه X (15 نمونه) و آنالیز شیمیایی (21 نمونه) قرار گرفتند. آنالیز شیمیایی نمونه‌ها برای اکسیدهای اصلی تشکیل‌دهنده سنگ به روش XRF در آزمایشگاه کانساران بینالود، و برای عناصر کمیاب به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel کشور استرالیا انجام گرفت است. مطالعه کانی‌شناسی XRD نیز با دستگاه فلیپس مدل PW/800 در آزمایشگاه کانساران بینالود انجام گرفت. در انجام آنالیزهای شیمیایی به روش دستگاهی XRF، عناصر اصلی و تعدادی از عناصر کمیاب و نادر خاکی با به کارگیری پودر نمونه‌های ذوب‌شده به کمک لیتیم-تترابورات اندازه‌گیری شدند. در روش دستگاهی XRF، حد اندازه‌گیری 0/01 درصد وزنی برای عناصر اصلی و 1-2 ppm برای عناصر فرعی و کمیاب بوده است. آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS، به روش انحلال در تیزاب سلطانی (Aqua Regia) انجام گرفته است. حد اندازه‌گیری برای عنصر جیوه ppm 0/01، کبالت، مس، باریم، سرب و روی ppm 0/2، نیکل ppm 1، مولیبدن، آنتیموان و استرانسیوم ppm 0/1.

می‌خوانند [1]، در حالی که زمین‌شناسان اروپایی و آمریکایی ترجیح می‌دهند که برای توصیف این سنگها از اصطلاح "دگرسانی سیلیسی - کربناته" استفاده نمایند [2]. نزدیک به 25 درصد ذخایر جیوه جهان دارای خاستگاه فوق بازی‌های افیولیتی هستند. تاکنون دهها رخداد جوان سینابر (پلیوسن-کواترنری) از مجموعه افیولیتی فرانسیسکن آمریکا گزارش شده است [3]. از دیگر کانسارهای از این دست می‌توان به کانسارهای کاله‌جیک (قره بورون ترکیه)، آق‌یاتاق (کمر بند جیوه سوان - آذربایجان) و اولوجائوک (آسیای میانه) اشاره نمود [4].

در ایران نیز تمرکزهایی از کانی‌سازی جیوه-طلا در افیولیت‌های "ایران مرکزی" گزارش شده است که کانی‌سازی در لیستونیت‌های سیلیسی رخ داده است. لیستونیت‌های سیلیسی سرپانتینیت‌هایی هستند که مورد تهاجم سیالات  $\text{SiO}_2$  قرار گرفته‌اند و بیریریت نامیده می‌شوند. این سنگها غنی از شکل‌های مختلف سیلیس یعنی کوارتز، کلسدوئن، کوارتزهای ریز جانیشینی (ژاسپروئید) شبیه چرت، اپال و اکسیدهای آهن هستند [5، 6 و 7]. در گستره افیولیت خوی، سنگهای افیولیتی و به‌ویژه سرپانتینیت‌ها، در نتیجه کنش‌وری با سیستم‌های گرمایی، در جایگاه زمین‌شناسی و ساختاری مناسب دگرسان شده و به سنگهای لیستونیتی تبدیل شده‌اند. موتور حرارتی در این ناحیه فعالیت‌های ماگمایی با ترکیب حدواسط-اسیدی است که جوانتر از افیولیت‌ها هستند و به صورت فورانهای آتشفشانی و نفوذیهای کم‌عمق در منطقه وجود داشته و شواهدی از آنها را می‌توان در امتداد گسلها و شکستگیهای بزرگ مشاهده کرد. در نتیجه تکاپوی آتشفشانی درجه زمین‌گرمایی زمین بالا رفته و سیستم‌های گرمایی از گرم شدن آبهای سطحی فرورو پدیدار شده‌اند و چرخه‌های گرمایی را تشکیل داده‌اند. در نتیجه واکنش این سیالات گرمایی با سنگهای اولترامافیکی سبب شست‌وشوی عناصر Ca، Mg و ... از این سنگها و تشکیل سیالات گرمایی کانه‌دار شده است. سپس این سیالات در حرکت به سمت بالا از گسله‌ها، شکستگیها و مناطق برشی، عناصر کانسار ساز را در این مکانها نهشت می‌دهد. دگرسانی‌های لیستونیتی در برخی مناطق با کانی‌سازی جیوه همراه هستند. رخدادهای شناخته‌شده این پدیده از مناطق "خان گلی"، "بیوک دره"، "طوره" و "فورشاقلو" گزارش شده است [4] و [8].

مجموع عناصر در هر نوع لیستونیت به 100 نرمال شده است. نظر به این‌که در این پژوهش از روش Gresens [6] و با لحاظ عامل حجم و وزن مخصوص سنگها در طی دگرسانی استفاده شده است، لذا اقدام به اندازه‌گیری وزن مخصوص تعداد 4 نمونه معرف مربوط به سرپانتینیت سالم (سنگ مادر دگرسانی)، لیستونیت سیلیسی، لیستونیت سیلیسی-کربناته و لیستونیت کربناته گردید.

آرسنیک 0/5 ppm و طلا 0/001 ppb می‌باشد. خطای آزمایشگاهی حدود  $\pm 5$  درصد و  $\pm 2$  درصد به ترتیب برای عناصر اصلی و کمیاب گزارش شده است. مقدار L.O.I (Total Loss on Ignition) پس از حرارت‌دهی نمونه‌ها در 1000 درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت و مقایسه وزن قبل و بعد از حرارت‌دادن آن‌ها به دست آمد. نتایج تجزیه شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش، در جدول 1 ارائه شده است. در این جدول، برای سهولت در استفاده از فرمول Gresens.



شکل 1. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

لیستونیت‌های خوی را می‌توان به سه نوع لیستونیت سیلیسی، سیلیسی-کربناته و کربناته تقسیم کرد. از میان این سه نوع، تنها لیستونیت سیلیسی با کانی‌سازی جیوه همراه است. تمام این رخدادهای کنترل ساختاری دارند، آن‌چنان‌که دگرسانی و انباشت کانه‌ها، در تمام رخدادهای شناخته، در همبندی تک‌تونیک سرپانتینیت/شیل، سرپانتینیت/کنگومرا و سرپانتینیت/ملائز و به‌سوی سرپانتینیت‌های برشی‌شده، روی داده است [4]. سنگ اولیه لیستونیت در منطقه سرپانتینیت است. سنگ مادر سرپانتینیت یاد شده نیز پریدوتیت (هارزبورژیت) گوشته‌ای است. در واقع سرپانتینیت‌های منطقه

## بحث و بررسی

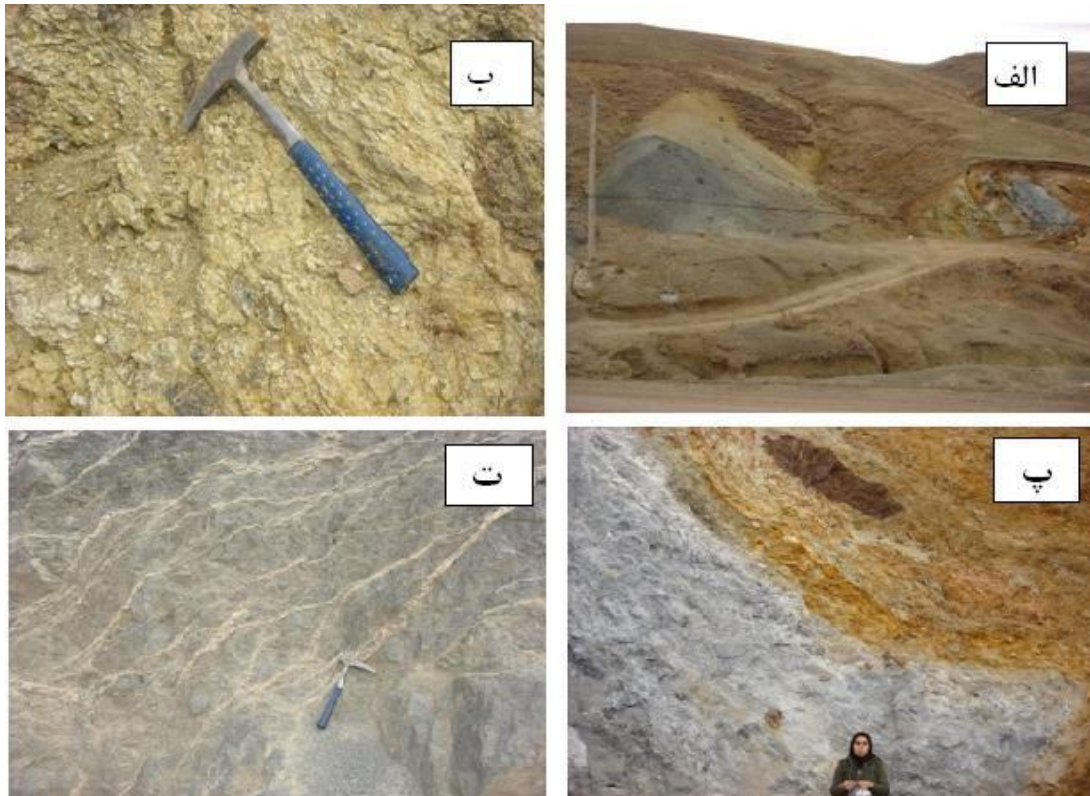
### زمین‌شناسی لیستونیت‌ها

لیستونیت‌ها به صورت رگه، تکه‌ها و قطعات نامنظم در امتداد گسل‌های قطع‌کننده سنگ‌های اولترامافیکی و یا در همبندی آنها با سنگ‌های دیگر تشکیل شده‌اند (شکل 2 الف تا ت).

ابعاد مناطق لیستونیتی به شدت متغیر است، به طوری که ضخامت آنها از حدود چند متر تا حدود 200 متر تغییر می‌کند، ولی ضخامت‌های 10-50 متری معمول است. طول آنها نیز از حدود چند ده متر تا چند صد متر تغییر می‌کند. بررسی‌های انجام گرفته توسط [8] نشان داده است که

انحراف معیار به ترتیب برابر با  $174 \pm 47$  و  $197 \pm 18$  درصد، و از نظر عناصر دیرگداز همچون کروم پرمایه‌اند [10]. گذر از زون لیستونیتی به سرپانتینیت مشخص است و با دور شدن از زون‌های گسله که دگرسانی و کانی‌زایی را کنترل نموده‌اند، از شدت دگرسانی کاسته می‌شود و در نهایت به سرپانتینیت سالم (نادگرسان) می‌رسد [4].

بخشی از اولترامافیک‌های گوشته‌ای مربوط به افیولیت خوی هستند. از نظر ژئوشیمیایی، هارزبورژیت افیولیت خوی که در برخی موارد میزبان نهشته‌های کرومیتیتی نیز هست، ویژگی‌های پریدوتیت‌های تهی‌شده را به خوبی نشان می‌دهد، به گونه‌ای که محتوای عناصر زودگداز آنها همانند  $Al_2O_3$  و CaO بسیار پایین (دامنه تغییرات میانگین با در نظر گرفتن



شکل 2. الف) لیستونیت سیلیسی و سرپانتینیت. ب) سرپانتینیت برشی (نگاه به سمت شمال). پ) لیستونیت سیلیسی. ت) رگه‌های منیزیتی در منطقه طوره (نگاه به سمت شمال).

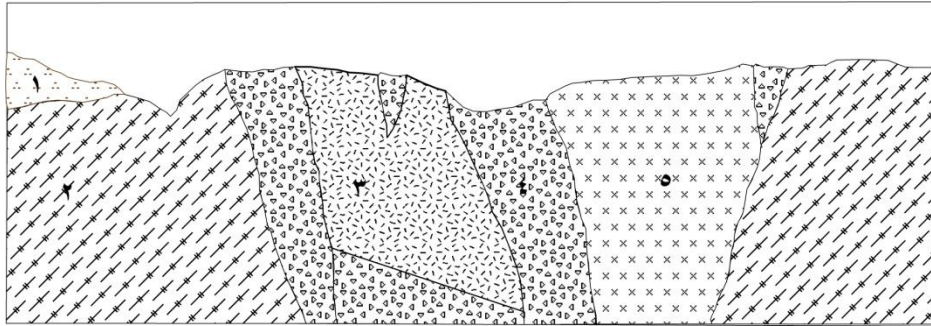
پدیدار شده است. در راستای این گسل، سنگهای سرپانتینیتی بر روی سنگهای شیلی - مارنی پالئوسن رانده شده‌اند. به سوی شرق سنگهای فلیشی و نیز بازالت‌های زیردریایی گسترش دارند. در سمت شمال نیز سنگهای آتشفشانی جوان (نئوژن) که تمام سنگهای یاد شده را قطع نموده است، رخنمون دارند. سرانجام باید از واحد سنگی ساب ولکانیکی اسیدی - حدواسط متعلق به نئوژن در شمال طوره و در ارتفاعات مشرف به منطقه بابانور نام برد.

در منطقه "طوره"، زون دگرسانی راستای شمال خاوری - جنوب باختری دارد، اما رگه‌های سینابر هم در راستای

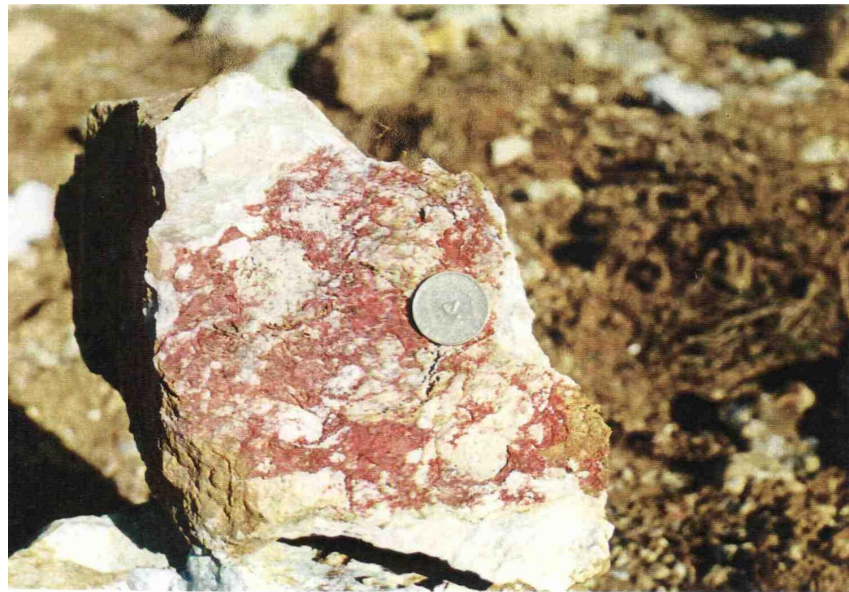
منطقه طوره یکی از مناطق جالب توجه از نظر رخداد دگرسانی لیستونیتی و کانی‌سازی جیوه است. زون دگرسانی در یکی از سرشاخه‌های رودخانه اند قرار گرفته و حدود 0/4 کیلومترمربع گسترش دارد. مهمترین واحدهای سنگی این منطقه سرپانتینیت برشی است که در همبری تکتونیک با مارن و شیل پالئوسن قرار گرفته است (شکل 1). روند ساختاری این سنگها جنوب خاوری - شمال باختری است که ادامه آن به مرز ایران و ترکیه در جنوب آبادی طوره می‌رسد. در اطراف آبادی طوره به دلیل گسترش نهشته‌های شیلی و مارنی و فرسایش‌پذیری زیاد آنها، مورفولوژی تپه ماهوری

و نارنجی که حاصل فرآیند سیلیسی شدن به اضافه هیدروکسیدهای آهن است، قابل مشاهده است. شکل 3 برش زمین‌شناسی ساده شده‌ای از منطقه لیستونیتی کانه‌دار طوره را نشان می‌دهد. همچنین تصویری از کانسنگ سینابر و مقطع میکروسکوپی آن در شکل‌های 4 و 5 آورده شده است.

یادشده و هم در راستای شمال باختری، در جابه‌جایی‌های حاصل از گسل‌های فرعی معکوس پدیدار شده‌اند [9]. این گسل‌ها در حقیقت محل بیشترین فعالیت و تمرکز سیالات لیستونیت‌ساز بوده‌اند. بافت کانی‌سازی، رگه-رگه‌چه‌ای و پرکننده فضاهای خالی است. زون دگرسانی به رنگ‌های روشن



شکل 3. برش زمین‌شناسی منطقه لیستونیتی سیلیسی طوره. واحد سنگی شماره 1، ولکانیک‌های آندزیتی - داسیتی نفوژن است که به طور دگرشیب بر روی سنگ‌های کرتاسه - پالئوسن قرار گرفته‌اند. واحد شماره 2، شیل و مارن پالئوسن است. واحد شماره 3، شیل و مارن پالئوسن است. جهت: شرقی (سمت راست) و غربی (سمت چپ)



شکل 4. کانی‌سازی جیوه به رنگ قرمز در تصویر دیده می‌شود.

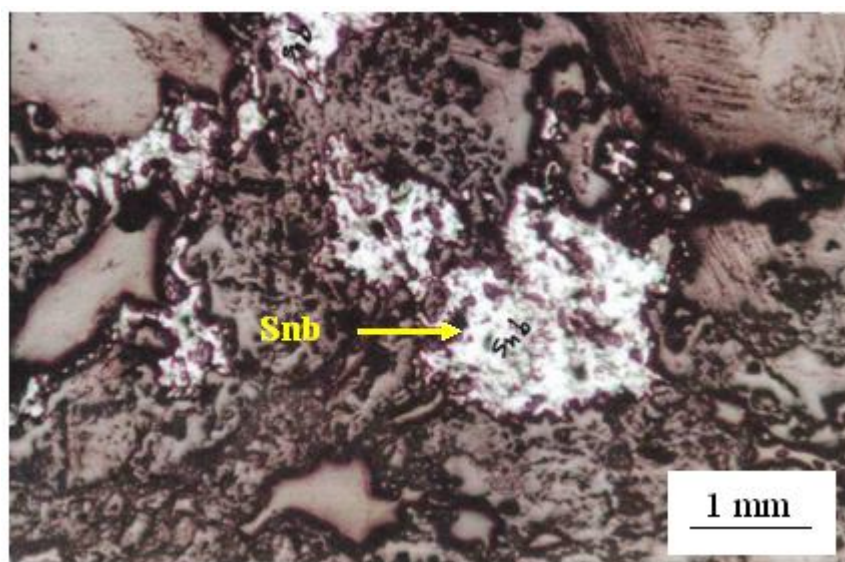
باقی‌مانده یا شبح کانی‌های اولیه را در بر گرفته‌اند (شکل‌های 6 الف و ب). فراوانی آنتی‌گوریت بر کریزوتیل رشته‌ای فزونی دارد و مقدار کانی اخیر از 5-10 درصد تجاوز نمی‌کند. کریزوتیل به‌طور عمده ریزدرزه‌ها (میکروفراکچرها) را پر می‌کند. به نظر می‌رسد که منشأ اولیه این کانی‌ها، اولیوین باشد. بقایای کانی اوپاک، کرومیت به‌صورت قطعات خردشده

#### ترکیب کانی‌شناسی

مطالعات میکروسکوپی نشان‌داد که سنگ‌های سرپانتینیتی سالم (منظور سنگ‌هایی هستند که از کانون‌های گرمایی و دگرسانی به‌دور بوده و در مسیر گسل‌های درگیر در کانی‌سازی قرار نگرفته‌اند)، به‌طور عمده از کانی سرپانتین تشکیل شده‌اند که به‌صورت مجموعه‌ای رشته‌ای - صفحه‌ای در برخی موارد

هستند و تشکیل آنها با ماگماهای بونینیتی در ارتباط است که در یک خاستگاه سوپراسابداکشنی روی داده است [10]. به علاوه، در برخی موارد، کانیهای ثانویه‌ای همچون کربنات (کلسیت یا دولومیت) نیز در سرپانتینیت‌های هوازده تشکیل شده است.

در برخی نمونه‌ها به چشم می‌خورد. بر اساس مطالعاتی که پیرامون کرومیت‌های ناحیه‌اند صورت گرفته است، ترکیب شیمیایی آنها از نظر محتوی  $Cr_2O_3$  و عدد کرم معرف کرومیت‌های افیولیتی غنی از کروم است. بر پایه ویژگیهای ژئوشیمیایی، کروم اسپینل‌های این ناحیه از نوع آلی (انسانی)



شکل 5. کانی‌سازی جیوه در مقطع میکروسکوپی (بخشهای سفید رنگ تصویر).

است. در مقاطع میکروسکوپی، این سنگ شامل قطعات خرد شده سرپانتین در اندازه‌های مختلف است که در زمینه‌ای متشکل از هیدروکسیدهای آهن، کانیهای اوپاک و به مقدار زیادی اوپال (از نظر نوری ایزوتروپ) قرار دارند. در تمام نمونه‌های لیستونیتی مطالعه شده، اوپال فاز اصلی تشکیل دهنده است، تفاوت در این نمونه‌ها به مقدار نسبی اوپال، کلسدونی، کانیهای اوپاک و همچنین بقایا یا شبح کانیهای اولیه است. در یک نمونه مطالعه شده که از زون کانه‌دار برداشته شده است، حدود 95 درصد سنگ از اوپال تشکیل یافته است و باقی‌مانده نمونه شامل سه درصد کوارتز ریز بلورین (کلسدونی) و حدود دو درصد کانیهای اوپاک به صورت پراکنده است. در یک نمونه دیگر که از مجاورت رگه‌های سیناپردار گرفته شده است، مقدار 85 درصد سنگ اوپال بوده و کانیهای اوپاک حدود 10 درصد و مقدار کوارتز ریز بلور به حدود 5-7 درصد می‌رسد (شکل 6 ت).

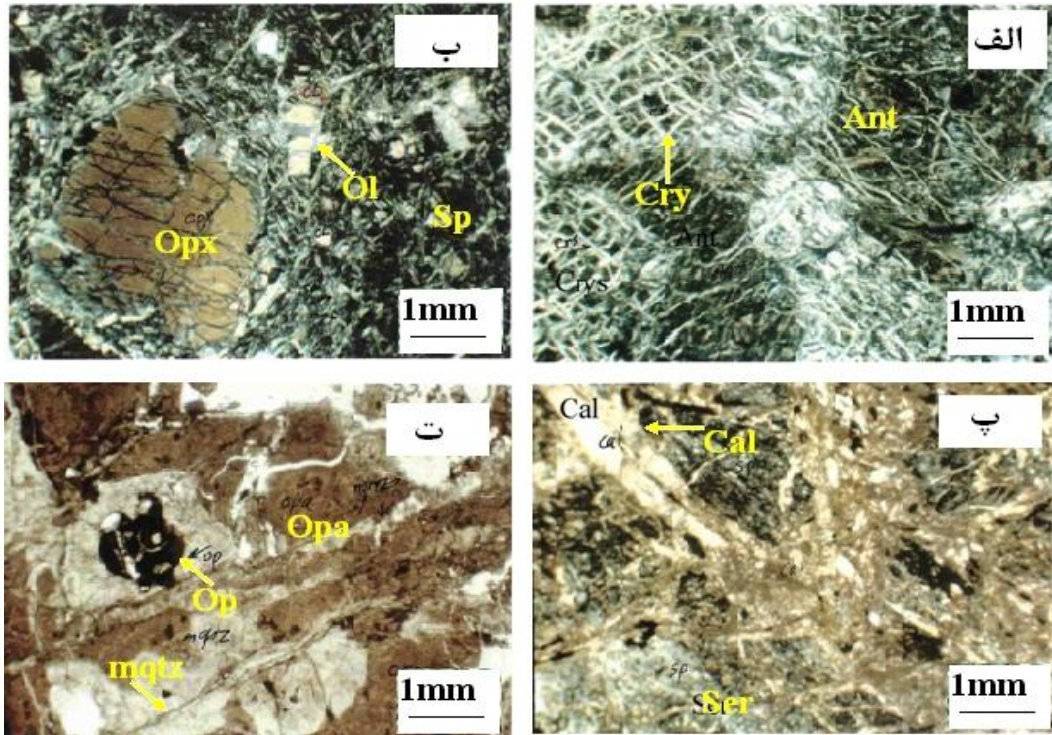
مطالعه کانی‌شناسی به روش XRD نیز این سیلیسی شدن شدید سنگ میزبان کانی‌سازی را تأیید می‌کند. دیفراکتوگرام

همچنان که گفته شد، سه نوع لیستونیت کربناته، سیلیسی - کربناته و سیلیسی در ناحیه خوی شناسایی شده است. از نظر ترکیب کانی‌شناسی، نوع نخست به‌طور عمده از کانیهای کلسیت، دولومیت و منیزیت تشکیل شده است (شکل 6 پ). کانیهای تالک، سیدریت و پیریت با آنها همراهند. ترکیب لیستونیت‌های کربناته متغیر است، به‌طوری‌که برخی از آنها اساساً از کلسیت، برخی دیگر از منیزیت و برخی نیز از دولومیت و منیزیت تشکیل شده‌اند. رنگ این لیستونیت‌ها سفید تا زرد نخودی است (شکل‌های 2 الف و پ).

لیستونیت‌های سیلیسی، با مجموعه کانی‌شناسی کوارتز، کریستوبالیت، فازهای آمورف سیلیس، اکسیدهای آبدار آهن و به مقدار کمتر کلسیت، منیزیت، دولومیت، تالک، پیریت و کانیهای رسی شناخته می‌شوند. دگرسانی سیلیسی سرپانتینیت‌ها، آنها را به سنگهایی اوپالین تبدیل کرده است که در آن فازهای آمورف سیلیس، فاز غالب است. این سنگ در واقع یک سنگ متاسوماتیک اوپالی است، به‌طوری‌که بخش اعظم سنگ به اوپال و یا فازهای ریز بلور سیلیس تبدیل شده

منیزیت و کلسیت آنها را همراهی می‌کنند. نظر به این‌که مقدار کانی سینابر در این سه نمونه کمتر از دو درصد بوده است، در دیفراکتوگرام مربوط به آنها ظاهر نشده است.

مربوط به دو نمونه مطالعه شده از این سنگها در شکل‌های 7 و 8 نشان داده شده است. اوپال و کلسدونی فازهای اصلی تشکیل‌دهنده این سنگها هستند و کانی‌هایی همچون گوتیت،



شکل 6. تصویر میکروسکوپی الف) کانی سرپانتین، کریزوتیل (Crys) و آنتی‌گوریت (Ant). ب) سرپانتین کانی‌های اولیه را در برگرفته، سرپانتین (Sp)، اولیوین (Ol) و اوتوپروکسن (Opx). پ) لیستونیت کربناته، کلسیت (Cal)، سرسیت (Ser). ت) اوپال (Opa)، اپک (Op)، کوارتز (Op)، کوارتز میکروکریستالین (mqtz).

آرژلیک پیدا می‌کند. از نظر کانی‌شناسی، مرزی مشخص بین انواع لیستونیت‌های یاد شده دیده نمی‌شود، به‌گونه‌ای که لیستونیت‌های سیلیسی-کربناته جای خود را به انواع کربناته می‌دهند. کانی‌سازی جیوه در تمام رخداد‌های شناخته شده با انواع سیلیسی همراه است.

#### ژئوشیمی

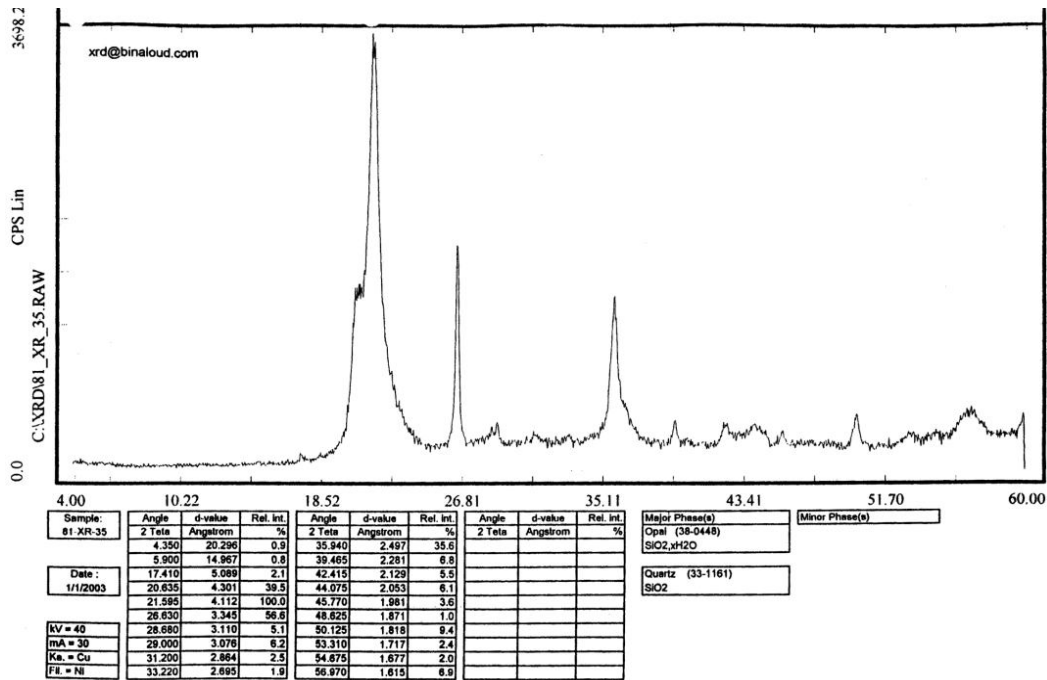
##### ژئوشیمی سنگ میزبان اولترامافیکی

میانگین اکسیدهای اصلی و برخی از عناصر کمیاب در تعداد چهار نمونه هارزبورژیت سرپانتینی (تا سرپانتینیت) برداشته شده از خارج از مناطق دگرسان در جدول 1 نشان داده شده است. اکسیدهای اصلی  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  به ترتیب با 37/70، 34/75 و 8/37 درصد اصلی‌ترین تشکیل‌دهنده این سنگ هستند. میانگین درصد مواد فرار 13/16 درصد می‌باشد.

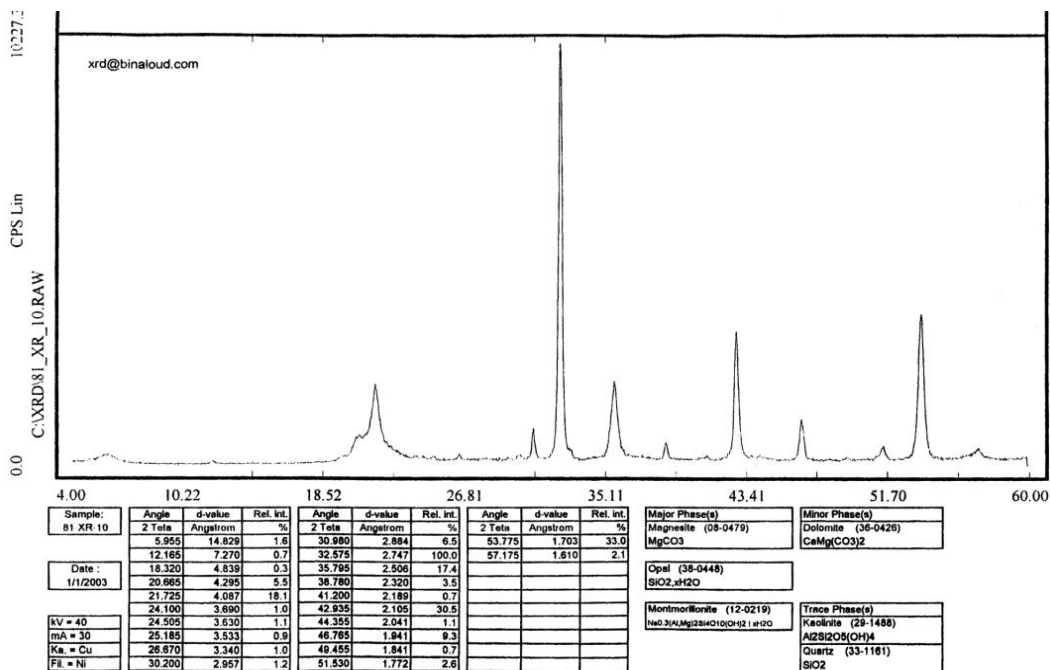
لیستونیت‌های سیلیسی - کربناته نیز حاوی کانی‌های شاخص منیزیت، دولومیت، تالک، کوارتز، کلسیت و سیدریت هستند. پیریت به‌عنوان فراوانترین کانی سولفوری در برخی از نمونه‌ها حضور دارد. در برخی موارد، فراوانی کانی‌های کربناته (منیزیت، دولومیت و کلسیت) آن‌چنان بالاست که می‌توان آنها را از نوع لیستونیت کربناته نامید. در واقع در این منطقه زونینگ یا منطقه‌بندی را در لیستونیت می‌توان مشاهده کرد، به این ترتیب که در مرکز زون لیستونیتی، از نظر کانی‌شناسی، لیستونیت از نوع سیلیسی یا بیبریریت است، به سمت بیرون بر مقدار کربنات افزوده می‌شود و لیستونیت به نوع سیلیسی-کربناته تبدیل می‌شود. نوع کربناته در این منطقه به ندرت دیده می‌شود. از نظر منطقه‌بندی همچنین از مرکز سیستم به سمت بیرون بر میزان کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن افزوده می‌شود و زون دگرسانی بیشتر ماهیت

نیکل عنصر فلزی دیگری است که فراوانی قابل ملاحظه‌ای در این سنگها دارد و میانگین آن به 2509 ppm می‌رسد. مقدار جیوه 3/33 ppm و مقدار طلا 2 ppb گزارش شده است. در میان انواع سنگها، زمینه ژئوشیمیایی جیوه در سرپانتینیت‌های افیولیتی بیشترین مقدار را دارد، به‌طوری‌که این مقدار در سنگهای یاد شده برابر 3 ppm توسط [3] گزارش شده است.

مجموع هشت اکسید اصلی دیگر به 1/1 درصد می‌رسد. هارزبورژیت‌های میزبان، ویژگیهای پریدوتیت‌های تهی‌شده را نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که محتوای عناصر زودگذار آنها نظیر  $CaO$  و  $Al_2O_3$  بسیار پایین است (به ترتیب با مقدار 0/33 و 0/25 درصد) و از نظر عناصر دیرگذاری همچون Cr پرمایه (به‌طور میانگین برابر 749 گرم در تن) است. علاوه بر کروم،



شکل 7. تصویر دیفراکتوگرام مربوط به یک نمونه سیلیسی



شکل 8. تصویر دیفراکتوگرام مربوط به یک نمونه سیلیسی



جدول 1. میانگین ترکیب شیمی انواع لیستونیت‌ها و سرپانتینیت سالم به همراه وزن مخصوص مربوط به هر کدام از آنها در افیولیت‌های منطقه طوره (n تعداد نمونه‌هاست).

تیپ سنگ	سرپانتینیت سالم (n=4)	لیستونیت جیوه‌دار (n=10)	لیستونیت سیلیسی (n=11)	لیستونیت سیلیسی - کربناته (n=3)	لیستونیت کربناتی (n=3)
وزن مخصوص	2/67		2/07	2/50	2/85
SiO <sub>2</sub> (wt%)	37/70	91/76	82/60	34/66	16/58
TiO <sub>2</sub>	0/01	0/017	0/02	0/14	0/01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0/33	0/56	0/96	2/15	0/26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8/37	4/21	6/99	9/70	7/21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0/32	0/217	0/50	0/31	0/23
MnO	0/11	0/007	0/04	0/15	0/10
MgO	34/75	0/36	1/02	21/46	20/31
CaO	0/25	0/22	0/82	8/17	15/98
Na <sub>2</sub> O	0/04	0/01	0/04	0/12	0/02
K <sub>2</sub> O	0/01	0/09	0/02	0/10	0/01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0/02	0/032	0/02	0/03	0/02
L.O.I	13/16	2/51	3/74	20/18	35/31
S(ppm)	171/49	187	281/06	140/48	87/37
Cl	576/34	34	61/23	106/74	48/96
V	45/86	54	38/08	51/91	49/92
Co	108/20	8/53	64/59	93/76	68/17
Ni	2509/55	1832	918/10	2029/72	1440/13
Cu	10/99	17/51	20/85	25/31	18/72
Zn	30/09	27	56/28	36/01	26/88
Rb	41/23	18	27/57	13/63	21/60
Sr	41/32	159	36/58	154/44	2097/31
Y	3/58	2	3/89	7/14	3/36
Nb	10/27	12	5/21	9/41	18/24
Ba	14/57	47/69	35/43	61/97	15/84
Pb	15/52	23	517/76	39/58	20/64
Zr	23/41	31	17/58	40/23	45/12
As	5/49	6	329/12	22/06	8/71
Cr	749/02	133/35	117/74	2/83	3/21
Hg	3/30	3332/41	646/21		
Mn	585/65	56	29/78		
Mo	0/96	1/4	2/25		
Sb	3/06	11/7	15/23		
Au(ppb)	2	107/06	59/71		
جمع	100/00	100/00	100/00	100/00	100/00

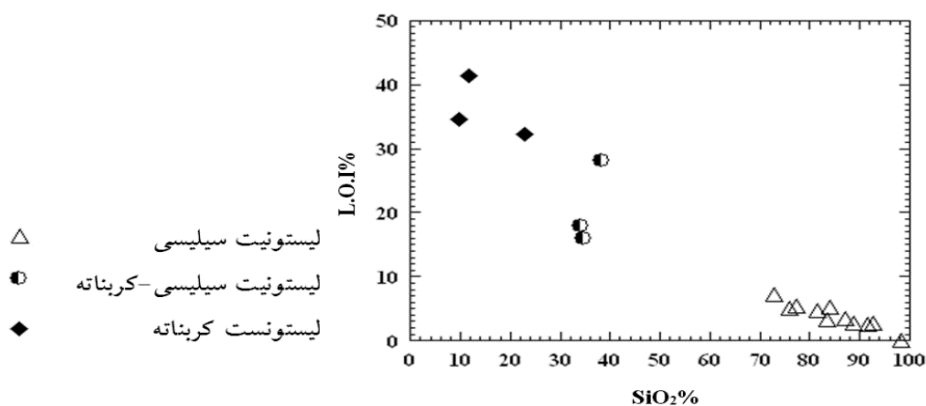
کربناته و 3 نمونه از لیستونیت کربناته، نمونه‌برداری شده است.

میانگین ترکیب شیمیایی نمونه‌های مربوط به هر تیپ سنگ به همراه جرم مخصوص هر کدام از آنها در جدول 1 آورده شده است. میانگین اکسیدهای  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  و  $\text{L.O.I}$  به‌عنوان سازندگان اصلی لیستونیت‌های سیلیسی به ترتیب برابر 82/6 درصد، 6/99 درصد، 1/02 درصد و 3/7 درصد به‌دست آمده است. میزان  $\text{Al}_2\text{O}_3$  حدود یک درصد و بقیه اکسیدهای اصلی ناچیز است. میانگین مقدار  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  برابر 0/5 درصد می‌باشد که نشانه‌ای از سنگ مادر اولترامافیکی آن می‌باشد. در میان عناصر کمیاب، میانگین عناصر  $\text{As}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Hg}$  و  $\text{S}$  در لیستونیت سیلیسی به ترتیب برابر با 646/2 ppm، 517/7 ppm، 329/1 ppm، 281 ppm به‌دست آمده است.  $\text{Ni}$  مقدار بالایی برابر 918/1 ppm دارد که می‌توان گفت از سنگ مادر سرپانتینیتی به ارث برده است. میانگین طلا در این سنگها برابر با 59/7 ppb به‌دست آمده است. در لیستونیت‌های سیلیسی-کربناته میانگین اکسیدهای اصلی  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{L.O.I}$  به ترتیب برابر با 34/7 درصد، 9/7 درصد، 21/5 درصد، 8/2 درصد، 20/2 درصد به‌دست آمده است.  $\text{Ni}$ ، 2029/7 ppm و  $\text{Sr}$  154/4 ppm نیز مقدار بالایی دارند. در لیستونیت‌های کربناته مقدار میانگین اکسیدهای اصلی  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{L.O.I}$  به ترتیب برابر با 16/58 درصد، 7/21 درصد، 20/31 درصد، 15/98 درصد و 35/31 درصد و مقدار  $\text{Ni}$  و  $\text{Sr}$  نیز به ترتیب برابر 1440 ppm و 2097 ppm به‌دست آمده است.

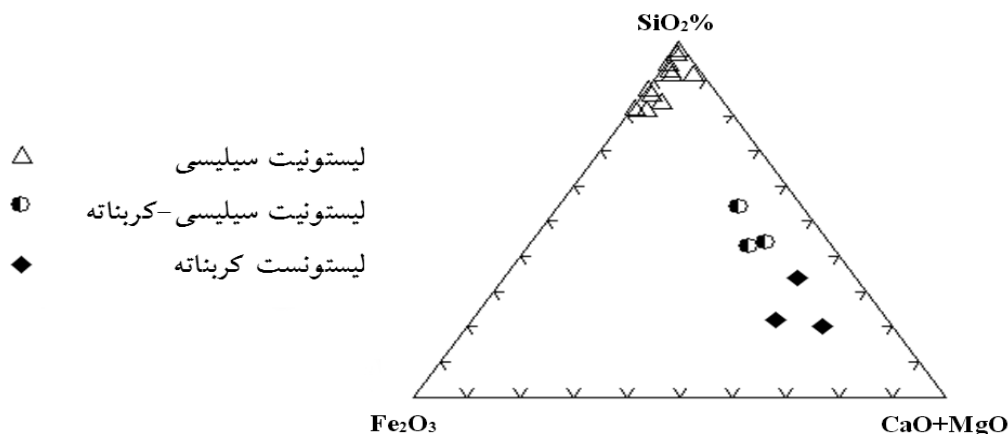
بیشتر زمین‌شناسان، افیولیت‌های تتیسی را به دو نوع مدیترانه‌ای خاوری و باختری که ویژگیهای ناهمسانی را در ژئوشیمی بازالت‌ها، کانی‌شناختی پریدوتیت‌ها و نیز حضور و یا عدم حضور انباشته‌های کرومیتی به‌نمایش می‌گذارند، بخش نموده‌اند. مطالعات انجام‌گرفته در ارتباط با ژئوشیمی افیولیت‌های مدیترانه‌ای توسط محققان گوناگون گویای آن است که پریدوتیت‌های مدیترانه‌ای خاوری از نظر عناصری که در روند ذوب‌بخشی به فاز مایع وارد می‌شوند، نظیر  $\text{Ca}$  و  $\text{Al}$  به‌شدت تهی شده‌اند، و برعکس از نظر عناصر دیرگدازی نظیر  $\text{Cr}$  غنی‌شدگی نشان می‌دهند. بنابراین هارزبورژیت‌های ناحیه خوی از نوع تهی شده‌اند و با پریدوتیت‌های افیولیت‌های سمعیل (عمان)، ترودوس (قبرس) و ورینوس (یونان) قابل مقایسه‌اند [4].

#### ژئوشیمی لیستونیت‌ها

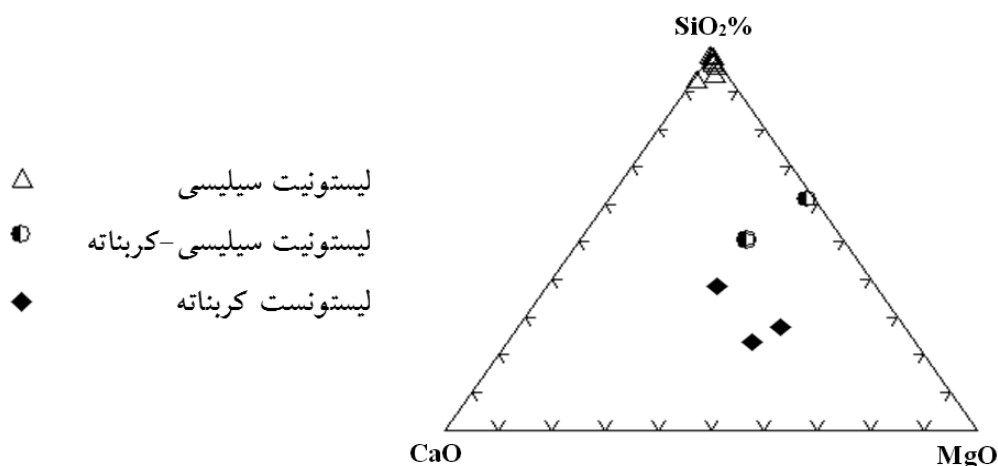
از مهمترین پارامترها برای تعیین انواع لیستونیت‌ها میزان  $\text{SiO}_2$  و  $\text{L.O.I}$  در آنهاست. به‌طوری‌که لیستونیت سیلیسی میزان  $\text{SiO}_2$  بالا و  $\text{L.O.I}$  پایین دارد و لیستونیت کربناته  $\text{L.O.I}$  بالا و  $\text{SiO}_2$  پایین دارد. لیستونیت سیلیسی کربناته حد وسط دو نوع بالایی است. در این پژوهش برای تعیین نوع لیستونیت کل نمونه‌ها از نمودار دوتایی  $\text{SiO}_2$ - $\text{L.O.I}$  و نمودارهای سه‌تایی  $\text{SiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}+\text{CaO}$  و  $\text{SiO}_2$ - $\text{CaO}-\text{MgO}$  [7] استفاده شد که در نهایت مشخص شد، 11 نمونه از لیستونیت سیلیسی، 3 نمونه از لیستونیت سیلیسی- این نمودارها در شکل‌های 9، 10 و 11 آورده شده است.



شکل 9. این شکل انواع لیستونیت‌ها را بر حسب درصد  $\text{SiO}_2$  و  $\text{L.O.I}$  نشان می‌دهد. نوع سیلیسی  $\text{SiO}_2$  بالا و  $\text{L.O.I}$  پایین دارد. نوع کربناتی  $\text{L.O.I}$  بالا و  $\text{SiO}_2$  کم دارد و نوع سیلیسی-کربناته حد واسط دو نوع دیگر است.



شکل 10. نمودار سه‌تایی  $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO+MgO}$ . در این شکل لیستونیت‌های کربناتی به قطب  $\text{CaO+MgO}$  نزدیک‌ترند و نوع سیلیسی به قطب  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  نزدیک‌ترند.



شکل 11. این نمودار انواع لیستونیت کربناتی نوع منیزیتی را از کربناتی نوع دولومیتی متمایز می‌کند، نوع دولومیتی به  $\text{CaO}$  و نوع منیزیتی به قطب  $\text{Mg}$  نزدیک‌تر است.

#### بررسی تغییر جرم

در مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته آلتراسیون را یک فرآیند حجم ثابت که مبتنی بر حفظ بافت مش سرپانتینیت است در نظر گرفته‌اند، اما باید توجه کرد که این فرآیند نمی‌تواند در حجم ثابت اتفاق بیفتد؛ به این دلیل که تغییرات حجم فرآیندی سه بعدی است، اعوجاج‌های کوچکی از بافتهای اولیه می‌تواند تغییرات حجم بزرگ را سبب شود [11] به همین دلیل در این پژوهش برای بررسی تغییرات جرم عناصر در

ضمن دگرسانی از معادله Gresen (Gresens equation)

[12 و 13] که به صورت زیر بیان می‌شود، استفاده شده است.

$$\Delta X_n = [FV * X_B * (G_B / G_A) - X_A]$$

$\Delta X_n$ : افزایش یا کاهش جرم عنصر  $n$

$FV$ : نسبت حجم سنگ آلتیره به سنگ مادر ( $V_A/V_B$ )

$X_B$  و  $X_A$ : درصد وزنی عنصر  $n$  در سنگ مادر  $A$  و سنگ

آلتیره  $B$

$G_A$  و  $G_B$ : وزن مخصوص سنگ آلتیره و سنگ مادر

آنها می‌توان ضریب حجم را به‌دست آورد.  $F_v$  مناسب نقطه‌ای بر روی محور  $F_v$  است که در آن عناصر بی‌تحرك بیشتری همدیگر را در یک نقطه قطع کرده باشند [12 و 13]. سپس در هر نمونه برای کلیه عناصر ضریب حجم مربوط به آن نمونه را در معادله *Gresens* جای‌گزین کرده و بدین طریق تغییرات جرم برای آن عنصر به دست می‌آید که این نتایج تحت عنوان تغییرات مطلق در جدول 2 ارائه شده است.

برای محاسبه تغییرات نسبی بر حسب درصد از فرمول زیر استفاده شده است که نتایج این محاسبات در ستونی تحت عنوان، تغییرات نسبی به درصد، در جدول 2 آورده شده است.

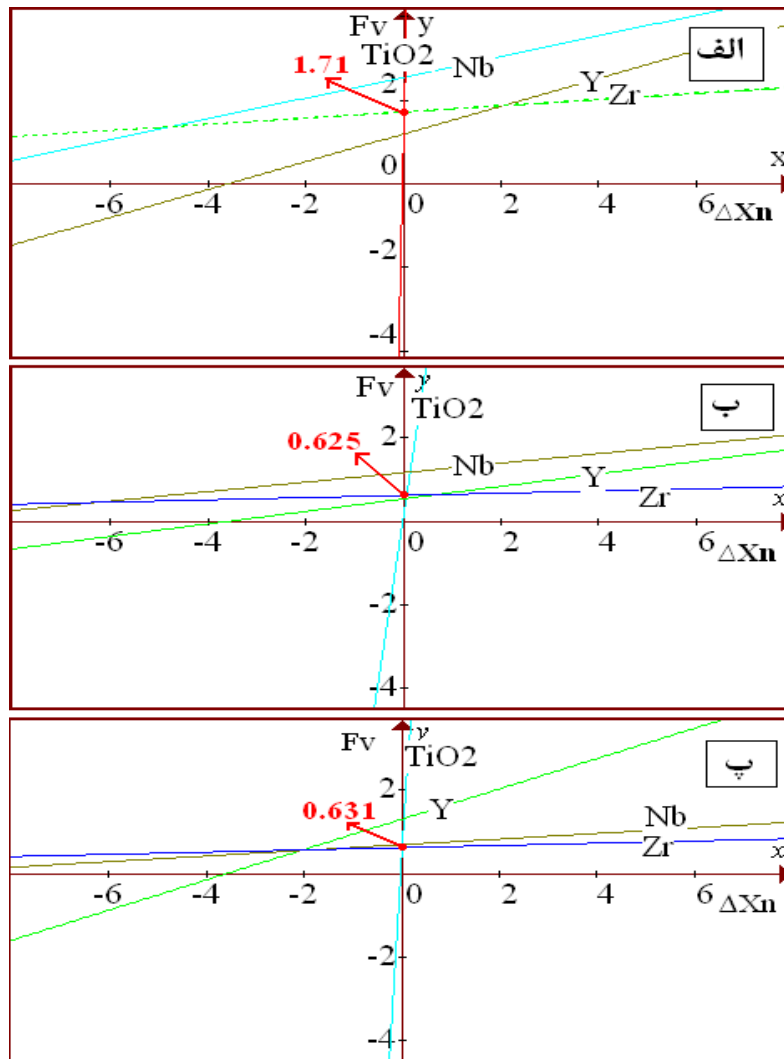
$$\frac{100 * \text{مقدار مطلق عنصر در سنگ دگرسان}}{\text{مقدار عنصر در سنگ مادر}} = \text{تغییرات نسبی بر حسب درصد}$$

به منظور این که بتوان نتایج این تغییرات را ملموس‌تر کرد، ستون مربوط به تغییرات نسبی بر حسب درصد برای هر سه نوع لیستونیت در نمودارهای میله‌ای در شکل‌های 13، 14 و 15 آورده شده است. چون تغییرات عناصر بازه وسیعی دارد، برای مشاهده بهتر درصد کاهیدگی یا افزودگی عناصر از این تغییرات بدون توجه به علامت لگاریتم گرفته شده است، سپس علامت مثبت و منفی مربوط به آن در جلو این اعداد قرار داده شده است [15]. به این ترتیب، نمودار کاهیدگی یا افزودگی به‌دست آمده است که در شکل‌های 13، 14 و 15 نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که بیشترین درصد افزودگی جرم عناصر در لیستونیت سیلیسی (شکل 13)، مربوط است به اکسیدهای  $P_2O_5$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$ . به ترتیب به میزان 285%، 189%، 205%، 140%، 107% و 72%، و در اکسیدهای  $MgO$ ,  $MnO$  به میزان 56%- و 96%- کاهیدگی دیده می‌شود. L.O.I. نیز کاهش نشان می‌دهد. در نمودار مربوط به درصد تغییرات جرم عناصر بیشترین درصد افزودگی در جیوه به میزان 109469% دیده می‌شود، بعد از آن سرب و آرسنیک و سپس طلا، آنتیموان و مولیبدن بیشترین افزایش را نشان می‌دهند. سپس  $Ba$  و  $S$ ،  $Cu$ ،  $Zn$ ،  $Rb$ ،  $Y$ ،  $Sr$ ،  $V$  افزایش و عناصر  $Co$ ،  $Nb$ ،  $Ni$ ،  $Cr$ ،  $Mn$ ،  $Cl$  کاهش نشان می‌دهند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در این معادله ضریب حجم  $F_v$  (*volum factor*) و وزن مخصوص نمونه در محاسبات تغییر جرم عناصر تأثیر داده می‌شود. یادآوری می‌شود که برای استفاده از فرمول برای هر نمونه باید جرم از 100 گرم باشد به همین علت یا باید مقدار تمام عناصر را برای رسیدن به مجموع 100 سرشکن کرد و یا مقدار جرم کل نمونه را در فرمول فوق تأثیر داد.

اگر در هر نمونه برای هر عنصر رابطه *Gresens* مربوط به آن لحاظ شود، مشاهده می‌شود که برای هر عنصر، دو مجهول  $\Delta X_n$  و  $F_v$  وجود دارد. این دو مجهول را برای فهم بهتر می‌توان  $X$  و  $Y$  مربوط به یک معادله خطی به‌صورت  $Y=aX+b$  که در آن  $\Delta X_n$  معادل  $X$  و  $F_v$  معادل  $Y$  است، در نظر گرفت. برای همه عناصر بی‌تحرك یا کم‌تحرك (عناصر با تغییرات اندک در ضمن دگرسانی) در هر نمونه می‌توان خطی رسم کرد که محور  $X$  آن، تغییرات جرم و محور  $Y$  آن، ضریب حجم ( $F_v$ ) باشد، با این کار برای هر عنصر بی‌تحرك، خط راستی به‌دست می‌آید. تخمینی از ضریب حجم را می‌توان به کمک نقطه تلاقی خطوط مربوط به عناصر بی‌تحرك در گراف به‌دست آورد. چون فرض بر این است که در طی دگرسانی عناصر بی‌تحرك تغییر جرم کمتری دارند، محلی بر روی نمودار که در آن عناصر بی‌تحرك تغییرات جرم صفر را نشان می‌دهند ( $\Delta X_n=0$ ) یا در واقع نقطه تلاقی خطوط مربوط به عناصر بی‌تحرك بر روی محور  $F_v$  (محور  $Y$ ) را می‌توان تخمینی از ضریب حجم در نظر گرفت [12 و 14]. مقدار 1 برای ضریب حجم نشان‌دهنده این است که حجم تغییری نکرده است، اگر ضریب حجم بیشتر از 1 به‌دست بیاید یعنی افزایش حجم و در صورتی که کمتر از یک به‌دست بیاید بدین معنی است که فرآیند آلتراسیون با کاهش حجم همراه بوده است [13].

ترکیبات و عناصری همچون  $Y$ ،  $TiO_2$ ،  $Hf$ ،  $Nb$ ،  $Zr$ ،  $Al_2O_3$ ،  $Zr$  در طی دگرسانی تقریباً بی‌تحركند و با در نظر گرفتن این مسأله در این پژوهش، همان‌طور که در شکل 12 ملاحظه می‌شود، سعی شده که برای جلوگیری از پیچیدگی کار فقط نمودار مربوط به این عناصر رسم شود و از آوردن دیگر نمودارها خودداری شده است. با توجه به اینکه دو نمودار مربوط به  $Zr$  و  $TiO_2$  در هر سه گراف بر روی محور  $Y$  (تغییرات جرم صفر) همدیگر را قطع کرده‌اند، از محل تلاقی



شکل 12. نمودار تعیین ضریب حجم در، الف) لیستونیت سیلیسی، ب) سیلیسی-کربناته و پ) کربناته. محل تلاقی نمودار TiO<sub>2</sub> و Zr را با خط  $\Delta X_n=0$  (محور y)، برابر مقدار Fv در نظر گرفته می‌شود. در واقع تغییرات جرم عناصر بی‌تحرك صفر فرض می‌شود.

و L.O.I. و K<sub>2</sub>O به ترتیب به میزان 1/8%، 81/29%، 4163% و بیشترین کاهش در درصد اکسیدها، مربوط است به MgO، SiO<sub>2</sub>، Na<sub>2</sub>O، TiO<sub>2</sub>، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>، به میزان 41/8%-، 46%-، 65%-، 65/5%-، 58/28%-، 70/3%-، 51/6%-، 28/7%- و MnO، 36%-، همچنین بیشترین درصد افزایش در عناصر، مربوط است به Sr، Zr، Cu سپس Nb و As و عناصر Cr، Rb، Pb، Y، S، Ni، C، Zn، Cl، Pb، Ba، کاهش می‌یابند.

در شکل 16 نیز نمودار لگاریتم درصد تغییرات جرم عناصر و اکسیدها در هر سه نوع لیستونیت برای مقایسه به صورت خطی آورده شده است. در این نمودار مقایسه تغییرات جرم عناصر به وضوح امکان‌پذیر است.

در لیستونیت سیلیسی-کربناته همان‌طور که در نمودارهای شکل 14 ملاحظه می‌شود بیشترین درصد افزایش به ترتیب در اکسیدهای CaO، TiO<sub>2</sub>، K<sub>2</sub>O، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، Na<sub>2</sub>O به ترتیب به میزان 55%، 49%، 48%، 43%، 28% دیده می‌شود و بیشترین درصد کاهش در اکسیدهای P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>، MnO، MgO، SiO<sub>2</sub>، Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> به میزان 50%-، 103%-، 44%-، 27%-، 13%- و 7%- دیده می‌شود. در این نمودار همین‌طور در عناصر Y، Cu، Pb، Sr، Ba، As افزایش و عناصر Cr، V، CO، Ni، S، Nb، Cl، Cr کاهش نشان می‌دهند.

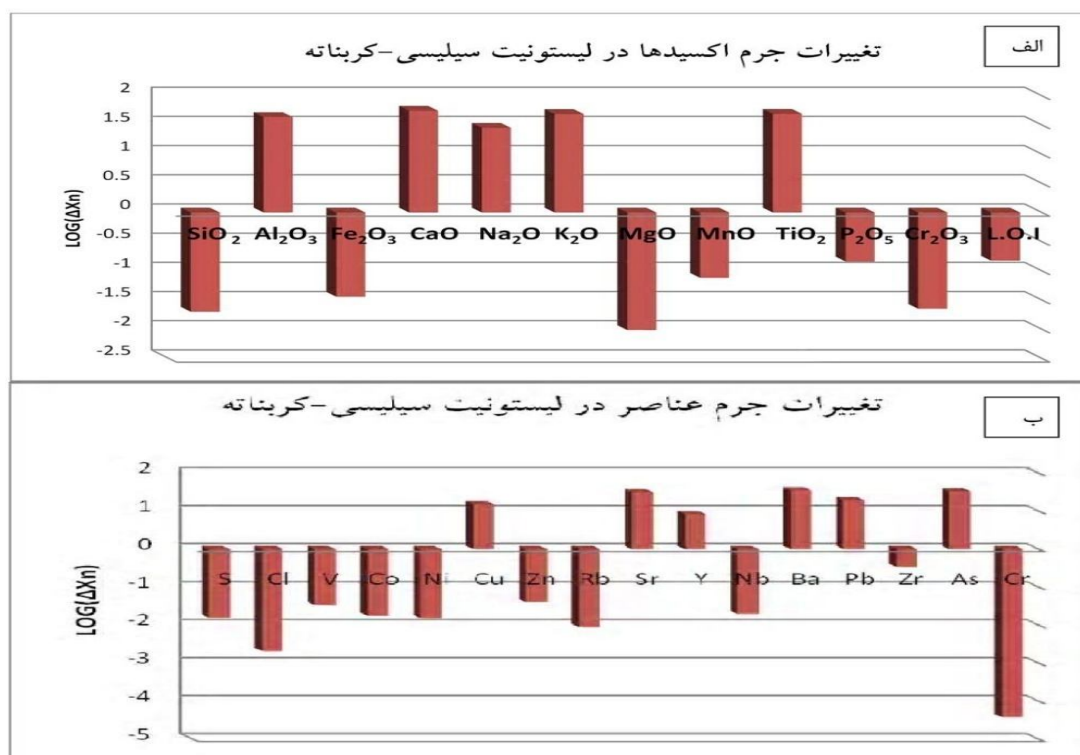
چنان‌که در نمودار مربوط به لیستونیت نوع کربناته نیز دیده می‌شود بیشترین افزایش در اکسیدها مربوط است به CaO

جدول ۲. نتایج محاسبات مربوط به سه نوع لیستونیت سیلیسی، سیلیسی-کرینا ته و کرینا ته برای به دست آوردن تغییرات مطلق و تغییرات نسبی هر عنصر نسبت به سنگ ناگرسان.

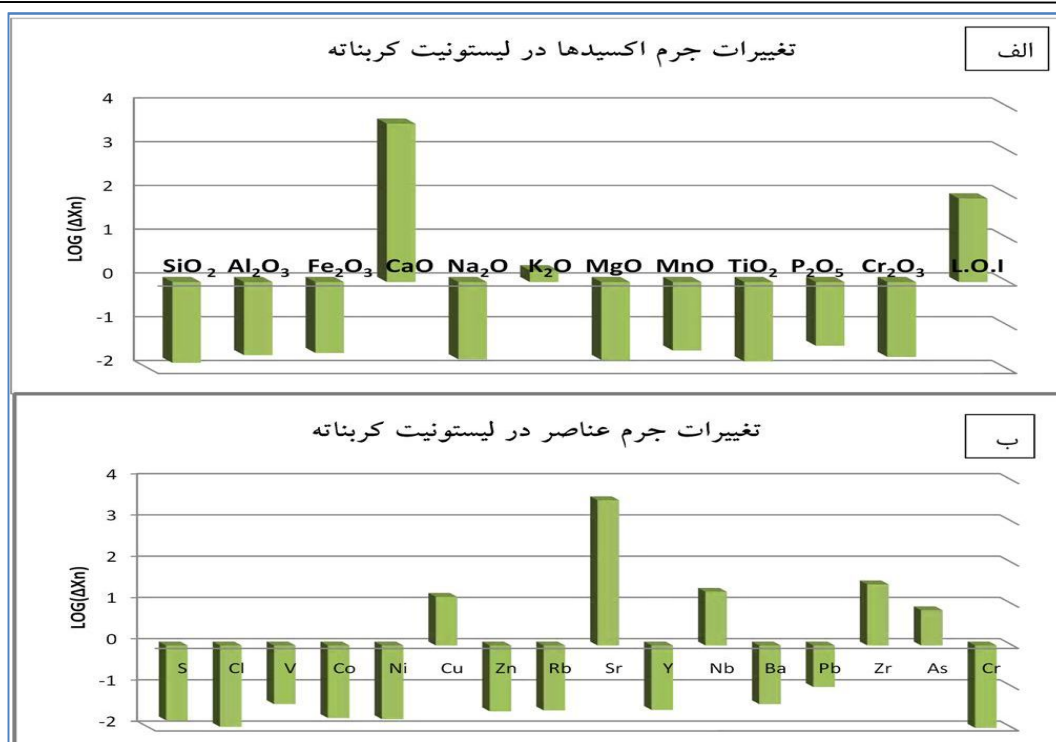
تیپ سنگ	سریالیت	لیستونیت سیلیسی	تغییرات مطلق ( $\Delta X_n$ )	تغییرات نسبی ( $\Delta X_n / X_n$ )	لیستونیت سیلیسی-کرینا ته	تغییرات مطلق ( $\Delta X_n$ )	تغییرات نسبی ( $\Delta X_n / X_n$ )	کرینا ته	تغییرات مطلق ( $\Delta X_n$ )	تغییرات نسبی ( $\Delta X_n / X_n$ )
Fv			۱/۷۱	۰/۶۲۵		۰/۶۲۵			۰/۶۲۵	
وزن مخصوص	۲/۶۷		۲/۰۶۵	۲/۵۰		۲/۵۰			۲/۸۵	
SiO <sub>2</sub>	۳۷/۷۰	۸۲/۶۰	۷۱/۵۳	۱۸۹/۷۳	۳۴/۶۶	-۱۷/۴۲	-۵۰/۲۵	۱۶/۵۸	-۲۶/۵۰	-۷۰/۳۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۳۳	۰/۹۶	۰/۹۴	۳۶/۲۵۸	۲/۱۵	۰/۹۳	۴۳/۲۰	۰/۳۶	-۰/۱۵	-۴۶/۸۶
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸/۳۷	۶/۹۹	۰/۸۷	۱۰/۴۴	۹/۷۰	-۲/۶۹	-۲۷/۷۸	۷/۲۱	-۲/۵۰	-۴۱/۸۳
CaO	۰/۲۵	۰/۸۲	۰/۸۳	۳۲۶/۹۳	۸/۱۷	۴/۵۳	۵۵/۴۲	۱۵/۹۸	۱۰/۵۴	۴۱۶۳/۶۱
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۳۷/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۳	۲۸/۲۴	۰/۰۲	-۰/۰۲	-۵۸/۳۸
K <sub>2</sub> O	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۲۰۵/۷۷	۰/۱۰	۰/۰۵	۴۸/۷۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۸۵
MgO	۳۴/۷۵	۱/۰۲	-۳۳/۴۰	-۹۶/۱۳	۲۱/۴۶	-۲۲/۱۹	-۱۰۳/۴۰	۲۰/۳۱	-۲۱/۰۲	-۶۰/۵۰
MnO	۰/۱۱	۰/۰۴	-۰/۰۶	-۵۲/۵۱	۰/۱۵	-۰/۰۲	-۱۳/۱۵	۰/۱۰	-۰/۰۴	-۳۶/۸۵
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۱۴۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۷	۴۹/۱۳	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۶۵/۴۳
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۷۲/۴۶	۰/۰۳	۰/۰۰	-۶/۹۲	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۲۸/۷۰
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۳۲	۰/۵۰	۰/۳۴	۱۰۷/۰۴	۰/۳۱	-۰/۱۴	-۴۴/۶۵	۰/۳۳	-۰/۱۷	-۵۱/۶۲
Li <sub>2</sub> O	۱۳/۱۶	۳/۷۴	-۸/۲۱	-۶۲/۳۷	۲۰/۱۸	-۱/۳۵	-۶/۷۰	۳۵/۳۱	۱۰/۷۰	۸۱/۲۹
S	۱۷۱/۴۹	۲۸۱/۰۶	۲۰۰/۲۲	۱۱۶/۷۵	۱۴۰/۴۸	-۸۹/۲۸	-۶۳/۵۵	۸۷/۳۷	-۱۱۲/۴۶	-۶۵/۵۸
Cl	۵۷۶/۳۴	۶۱/۲۳	-۴۹۵/۳۶	-۸۵/۹۵	۱۰۶/۷۴	-۵۱۳/۸۷	-۴۸۱/۴۱	۴۸/۹۶	-۵۴۲/۲۵	-۹۴/۲۶
V	۴۵/۸۶	۳/۰۸	۴/۵۱	۹/۸۲	۵۱/۹۱	-۱۵/۴۸	-۲۹/۸۲	۴۹/۹۲	-۱۲/۱۳	-۲۶/۴۴
Co	۱۰۸/۲۰	۶۴/۵۹	-۲۲/۷۸	-۲۱/۰۵	۹۲/۷۶	-۵۳/۳۳	-۵۶/۸۷	۶۸/۱۷	-۶۲/۱۴	-۵۷/۴۳
Ni	۲۵۰/۵۵	۹۱۸/۱۰	-۱۲۹۵/۴۴	-۵۱/۶۲	۲۰۲۹/۷۲	-۱۲۲۱/۷۵	-۶۵/۱۲	۱۴۴/۱۳	-۱۵۲۶/۴۹	-۶۱/۲۳
Cu	۱۰/۹۹	۲۰/۸۵	۱۶/۵۹	۱۵/۱۰۰	۲۵/۳۱	۲/۸۲	۱۵/۱۱	۱۸/۷۲	۱/۶۶	۱۵/۱۳
Zn	۳۰/۰۹	۵۶/۲۸	۴۴/۳۴	۱۴۷/۳۴	۳۶/۰۱	-۹/۰۲	-۲۵/۰۴	۲۶/۸۸	-۱۱/۹۳	-۳۹/۶۴
Rb	۲۲/۴۱	۳۷/۵۷	۱۳/۰۵	۵۵/۷۶	۱۳/۶۳	-۱۵/۴۳	-۱۱۳/۲۵	۲۱/۶۰	-۸/۸۱	-۳۷/۶۴
Sr	۴۱/۳۲	۳۶/۵۸	۷/۰۶	۱۷/۰۸	۱۵۴/۴۴	۴۹/۰۶	۳۱/۷۶	۲۰۹۷/۳۱	۱۳۷۵/۷۸	۳۳۲۹/۵۴
Y	۳/۵۸	۳/۸۹	۱/۵۶	۴۳/۵۱	۷/۱۴	۰/۵۹	۸/۳۳	۳/۴۶	-۱/۳۱	-۳۶/۶۳
Nb	۱۰/۲۷	۵/۲۱	-۳/۳۸	-۳۲/۸۷	۹/۴۱	-۴/۷۶	-۵۰/۶۴	۱۸/۲۴	۲/۰۶	۲۰/۰۱
Ba	۱۴/۵۷	۳۵/۴۲	۳۲/۲۹	۲۲/۶۱	۶۱/۹۷	۲۱/۶۹	۳۵/۰۱	۱۵/۸۴	-۳/۸۷	-۲۶/۵۳
Pb	۱۵/۵۲	۵۱۷/۷۶	۶۶۹/۲۳	۴۳۱/۶۸	۳۹/۵۸	۷/۶۴	۱۹/۳۰	۲۰/۶۴	-۱/۵۸	-۱۰/۱۶
Zr	۲۳/۴۱	۱۷/۵۸	-۰/۱۵	-۰/۶۵	۴۰/۲۳	۰/۱۴	-۰/۳۴	۴۵/۱۲	۷/۰۸	۳۰/۲۶
As	۵/۴۹	۳۲۹/۱۲	۴۲۹/۷۸	۷۸۳/۵۵	۲۲/۰۶	۷/۴۲	۳۳/۶۲	۸/۷۱	-۰/۳۹	۷/۱۴
Cr	۷۴۹/۰۲	۱۱۷/۷۴	-۵۹۳/۳۰	-۷۹/۲۱	۲/۸۲	-۷۴۷/۲۶	-۴۶۳۸۶/۲۹	۳/۲۱	-۷۴۶/۸۵	-۹۹/۷۱
Hg	۰/۷۸	۶۴۶/۳۱	۸۵۱/۳۴	۱۰۹۴۸/۹۰						
Mn	۵۸۵/۶۵	۲۹/۷۸	-۵۴۶/۲۷	-۹۳/۳۸						
Mo	۰/۹۶	۲/۲۵	۲/۰۲	۲۱۱/۴۰						
Sb	۳/۰۶	۱۵/۲۳	۱۷/۰۹	۵۵۸/۹۴						
Au	۲/۰۰	۵۹/۷۱	۷۶/۹۷	۳۸۴۸/۳۵						
جمع	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۳۲/۲۵	۱۲۸۶/۸۵	۱۰۰/۰۱	-۴۰/۸۹	-۵۵/۲۹	۱۰۰/۰۱	-۳۱/۸۴	۳۷۸۹/۲۲



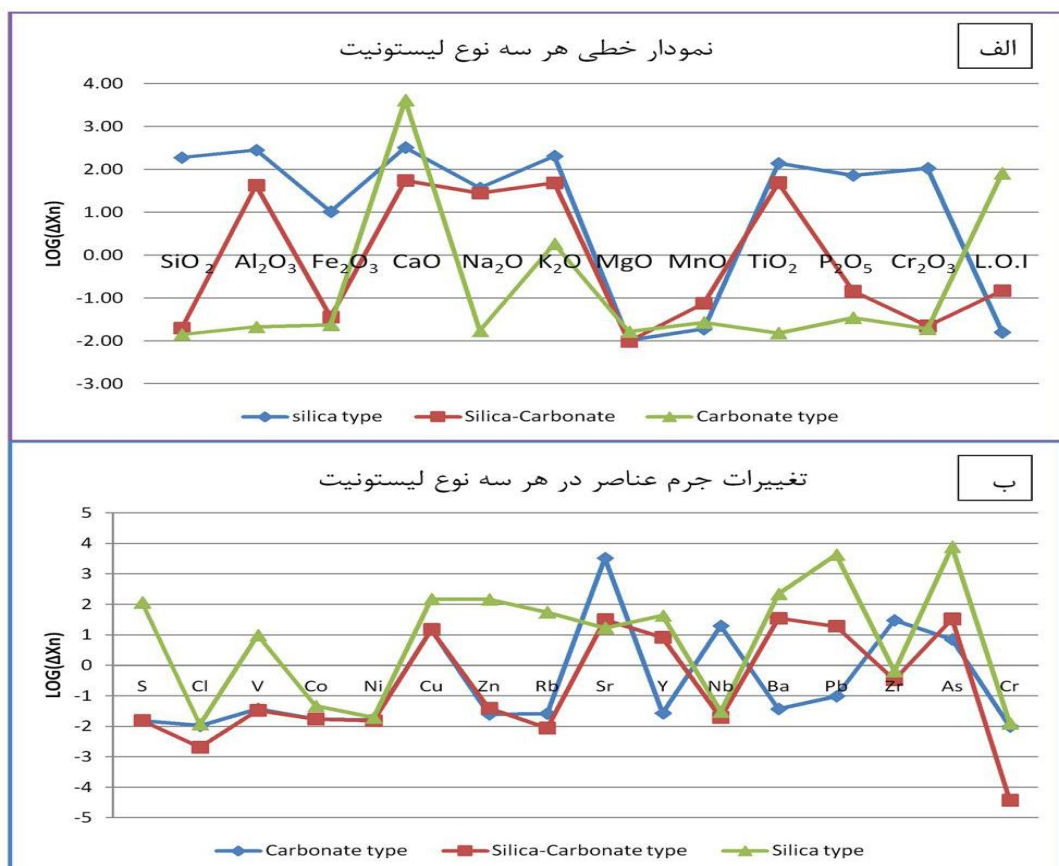
شکل 13. الف) لگاریتم درصد تغییرات جرم اکسیدها در لیستونیت سیلیسی و ب) لگاریتم درصد تغییرات جرم عناصر در لیستونیت سیلیسی.



شکل 14. الف) لگاریتم درصد تغییرات جرم اکسیدها در لیستونیت سیلیسی-کربناته و ب) لگاریتم درصد تغییرات جرم عناصر در لیستونیت سیلیسی-کربناته.



شکل 15. الف) لگاریتم درصد تغییرات جرم اکسیدها در لیستونیت کربناته و ب) لگاریتم درصد تغییرات جرم عناصر در لیستونیت کربناته.



شکل 16. الف) نمودار لگاریتم درصد تغییرات جرم اکسیدها در هر سه نوع لیستونیت سیلیسی، سیلیسی-کربناته و کربناته، ب) نمودار لگاریتم درصد تغییرات جرم عناصر در هر سه نوع لیستونیت.



## نتیجه‌گیری

هجوم محلولهای گرمابی به سرپانتینیت‌های منطقه طوره سبب دگرسانی آنها و تشکیل لیستونیت‌های این ناحیه شده است. منشأ این سیالات، گرم‌شدن آبهای سطحی فرورو در اعماق تحت تأثیر فعالیتهای آتشفشانی نئوژن در منطقه بوده است. با توجه به همیافتی لیستونیت‌ها با پریدوتیت‌های سرپانتینیتی شده و قرارگیری آنها در امتداد گسلها و مناطق برشی شده، از نوع نهشت‌های دیرزاد می‌باشند. بر پایه مطالعات کانی‌شناسی، ویژگیهای ژئوشیمیایی، روابط صحرایی و حتی رنگ، لیستونیت‌های ناحیه را می‌توان به سه نوع سیلیسی (بیریریت)، سیلیسی-کربناته و کربناته تقسیم نمود. لیستونیت سیلیسی میزبان کانی‌سازی جیوه مقدار  $\text{SiO}_2$  بالا و L.O.I پایین دارد، در حالی که در لیستونیت کربناته درصد مواد فرار (L.O.I) بالا و فراوانی  $\text{SiO}_2$  پایین است. لیستونیت سیلیسی-کربناته حد وسط دو نوع بالایی است. این سه نوع لیستونیت در نمودارهای ژئوشیمیایی قابل تفکیک هستند. لیستونیت‌های سیلیسی (و کانی‌سازی جیوه همراه آن) در همبری تکتونیکی سرپانتینیت و نهشته‌های رسوبی پالئوسن (شیل و مارن) به‌وجود آمده‌اند. لیستونیت‌های کربناته و سیلیسی-کربناته نیز به ساختارهای تکتونیکی (زون‌های برشی و گسل‌های رانده در گستره سرپانتینیت‌ها) محدود می‌شوند. از نظر کانی‌شناسی، لیستونیت‌های سیلیسی عمدتاً از کوارتز، کلسدون، اوپال (مجموعه‌ای که می‌توان بدان ژاسپیروئید اطلاق کرد) با مقادیر فرعی کلسیت، منیزیت، دولومیت و کانیهای رسی تشکیل شده است، در حالی که لیستونیت‌های کربناته عمدتاً از کانیهای کربناته همچون کلسیت، دولومیت، منیزیت، در مواردی سیدریت، با مقادیر فرعی کانیهای سیلیسی تشکیل شده‌اند. ترکیب کانی‌شناسی انواع سیلیسی-کربناته بینابین دو نوع یاد شده است. رنگ لیستونیت‌های سیلیسی خاکستری تا سفید و رنگ انواع کربناته و سیلیسی-کربناته زرد و پرتقالی است. لیستونیت‌های سیلیسی، علاوه بر جیوه در مقدار عناصر آرسنیک، سرب و طلا نیز غنی‌شدگی نشان می‌دهند. از آنجا که سنگهای اولیه لیستونیت‌های این ناحیه از نوع سرپانتینیت (پریدوتیت گشته‌ای تهی شده) هستند، از این رو بایستی عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LIL) نسبت به کندریت کاهش یابند اما در مقدار آنها افزایش دیده می‌شود و این را

می‌توان چنین توجیه کرد که این عناصر از محلولهای گرمابی به سنگ اضافه شده‌اند.

## منابع

- [1] Sazanov V. N., "Listwaenitization and ore mineralization", Russian academy of science, the Ural Scientific Central, A. N Sawaritikys institute of geology and geochemistry (1975).
- [2] Barnes I., "Formation of listwaenites from serpentinites in California Doklady", Mezhdunarodny Geokhimicheskiy kongress 2 (1973) 404-412.
- [3] Laznicka, P., "Emirical metallogeny", part a & b, Elsevier science pub (1985).
- [4] امامعلی‌پور ع., "متالوژنی افیولیت خوی با نگرشی ویژه بر انباشته‌های سولفوری در آتشفشانیهایی زیر دریایی قزل داش خوی"، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، (1380).
- [5] Mackizadeh M. A., Noghreian M., Mohammadi F., "Listvenites as targets for Au-Hg mineralization in Central Iran ophiolites", The 1<sup>st</sup> International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran (2010) 26-28.
- [6] محمدی ف., نقره‌ئیان م., مکی‌زاده م.ع., وهابی مقدم ب., "دگرسانیهای گرمابی و کانی‌زایی طلا در افیولیت نائین، شمال کوه زرد، شرق اصفهان"، دومین همایش علوم زمین، (1390).
- [7] سعیدی م., فلاحتی س., نقره‌بیان م., خلیلی م., "کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و چگونگی تشکیل سرپانتینیت‌های کربناتی-سیلیسی (لیستونیت) شمال نائین (باختر ایران مرکزی)", مجله کانی‌شناسی و بلورشناسی، سال هفدهم، شماره 3 (1388) ص 418-405.
- [8] امامعلی‌پور ع., "بررسی فلنزایی ذخایر معدنی در گستره استان آذربایجان غربی"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه ارومیه، (1387).
- [9] امامعلی‌پور ع. و عبدالمهدی شریف، ج., "بررسی ژئوشیمی کانی‌سازی جیوه و تأثیر زیست‌محیطی آن بر منطقه طوره"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد 3 شماره 2 (1390) ص 192-183.
- [10] امامعلی‌پور ع., "ژئوشیمی و محیط زمین‌شناسی کرومیت‌های ناحیه آند از مجموعه افیولیتی خوی، شمال

California", Canadian Institute of Mining, Mineralurgy and Petroleum 4 (1995).

[14] Sketchley A. D., "Gains and losses of elements resulting from wallrock alteration a quantitative basis for evaluating lithogeochemical samples", Department of Geological Science., the University of british Columbia (1986).

[15] زرین کوب م. ح، امینی ص.، آفتابی ع.، کریم پور م. ح، "کانی شناسی، زمین شیمی، موقعیت ساختمانی و ارائه مدل ژنتیکی برای لیستونیت های خاور ایران"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال سیزدهم، شماره 2 (1384) ص 363-378.

باختر ایران"، علوم زمین، سال بیستم، شماره 80 (1390) ص 56-47.

[11] Gresens R.L., Gresens R.L., "Cornposhon-Volume Relationships of metasomatism", Chemical Geology 2 (1967) 47-65.

[12] Maxeiner R. O., Watters B. R., "Alteration in the hanson lake Area: A Metasomatic evaluation", Saskatchewan ageologica survey, sask. Energy Misc. Report (1992) 4-92.

[13] Sherlock R.L., "Silica-carbonate Alteration of serpentinite: Implication for the Association of mercury and gold mineralization in Northern