



## مقایسه کانی‌شناسی و ژئوشیمی دگرسانی لیستونیتی شدن در سنگ‌های اولترامافیک افیولیت نائین (باختر ایران مرکزی) و افیولیت خوی - چالدران (شمال غرب ایران)

حمید کریمزاده<sup>۱\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: hamidkarimzadeh73@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۳/۳، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۲۵

### چکیده

افیولیت نائین در حاشیه غربی خرده قاره ایران مرکزی در بخش غربی زون گسلی درونه- بافت واقع شده است. منطقه اول مورد مطالعه این پژوهش در جنوب افیولیت نائین قرار دارد. اصلی‌ترین واحد سنگی این آمیزه رنگین را پریدوتیت‌های دگرگون شده گوشته تشکیل داده‌اند. ترکیب غالب در پریدوتیت‌های دگرگون شده، هارزبورژیت می‌باشد که در درجات مختلف، سرپانتینی گشته‌اند. سرپانتینیت‌ها در جنوب افیولیت نائین به صورت توده‌ای و برشی یافت می‌شوند. منطقه دوم مورد مطالعه در افیولیت خوی- چالدران واقع در شمال غرب ایران در منطقه خان‌گلی قرار دارد. اصلی‌ترین واحد سنگی این افیولیت را نیز پریدوتیت‌های دگرگون شده گوشته تشکیل داده‌اند. که باز ترکیب غالب این پریدوتیت‌های دگرگون شده، هارزبورژیت می‌باشد که سرپانتینی شدن آن‌ها بیشتر از نوع برشی می‌باشد. تبدیل پریدوتیت به سرپانتینیت باعث ایجاد سنگی سبک و متخلخل می‌گردد. در نتیجه شرایط مناسبی را برای چرخش آب‌های گرم فراهم می‌آورد. صعود محلول‌های گرمایی حاوی  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  و یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  و عناصر کانساز در امتداد سطوح ضعیف سنگ‌ها باعث کربناتی شدن سرپانتینیت و تشکیل لیستونیت می‌گردد. سپس در محیط مقدار  $\text{SiO}_2$  بالا می‌رود که موجب تشکیل لیستونیت‌های سیلیسی می‌گردد. بر طبق مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و بر حسب فراوانی کانی‌های کربناتی و سیلیسی، لیستونیت‌های هر دو منطقه را می‌توان در سه گروه جای داد: لیستونیت‌های کربناته، لیستونیت‌های کربناته- سیلیسی و لیستونیت‌های سیلیسی. لیستونیت‌های هر دو منطقه از دیدگاه اقتصادی دارای آنومالی عناصر با ارزشی چون Cr، Ni، Co، As، Sb، Sn، Au، و Hg می‌باشند. براساس مطالعات ژئوشیمیایی و مقاطع صیقلی میزان عنصر طلا در جنوب افیولیت نائین و عنصر جیوه در خان‌گلی قابل توجه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: لیستونیتی شدن، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، افیولیت خوی - چالدران، افیولیت نائین

### ۱- مقدمه

منطقه اول مورد مطالعه در سکناس افیولیتی نائین در استان اصفهان می‌باشد که این سکناس از شمال جاده‌ی نائین اردستان و نائین- انارک تا روستای سهیل پاکوه امتداد دارد. توالی افیولیتی یادشده بین طول جغرافیایی  $۰۰^{\circ}$  تا  $۵۳^{\circ}$ ،  $۱۰'$  تا  $۵۳^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $۷۰'$  تا  $۳۲^{\circ}$  تا  $۱۰'$  شمالی واقع است (شکل ۱). منطقه دوم در شمال غربی کشور و در شمال غربی استان آذربایجان غربی قرار دارد. این محدوده در جنوب غربی شهرستان ماکو و در بخش مرزی ایران و ترکیه واقع شده که توالی افیولیتی این محدوده بین طول جغرافیایی  $۰۳'$  تا  $۴۴^{\circ}$ ،  $۲۸'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $۰۰'$  تا  $۳۹^{\circ}$ ،  $۱۵'$  شمالی واقع است (شکل ۱).

منطقه نائین توسط داودزاده در تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نائین مطالعه شده است (Davoudzadeh, 1991). همین‌طور لیستونیت‌های نائین توسط نقره‌ئیان و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است (Noghreyan et al., 1998). منطقه خوی- چالدران نیز توسط علوی و همکاران در راستای تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ماکو بررسی شده است (Alavi et al., 1975). لیستونیت‌های خان‌گلی نیز توسط امام علی‌پور مطالعه شده‌اند (Emamalipour, 1994).

اصطلاح لیستونیت ریشه روسی داشته و از کلمه (JIUCT) به معنی «برگ سبز درخت» گرفته شده است، که به دلیل رنگ سبز ناشی از حضور مسکوویت کروم‌دار سبز رنگ در این سنگ‌ها به آنها لیستونیت اطلاق می‌شود. مطالعات زمین‌شناسی- پترولوژی، ژئوشیمی و ژنتیکی مربوط به لیستونیت‌ها برای اولین بار توسط رز<sup>۱</sup> (۱۸۳۷) صورت گرفته است که کانی‌شناسی این لیستونیت تیپ (معیار) شامل کوارتز، کربنات و میکای کروم‌دار یا فوشزیت<sup>۲</sup> بوده است (Rose, 1873).

پریدوتیت‌هایی که در این افیولیت‌ها وجود دارند غالباً به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند و همین‌طور این سرپانتینیت‌ها به نوبه خود دچار دگرسانی‌هایی شده‌اند که می‌توان به لیستونیتی شدن و رودنژیستی شدن اشاره داشت، که در این نوشته تلاش بر آن است که در مورد لیستونیت‌ها و فرآیند لیستونیتی شدن بحث کنیم و در رابطه با این موضوع باید گفت جریان سیالات حاوی  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{CO}_2$  در طول شکستگی‌های سرپانتینیت‌ها باعث تشکیل لیستونیت می‌گردد (Karimzadeh, 2014).

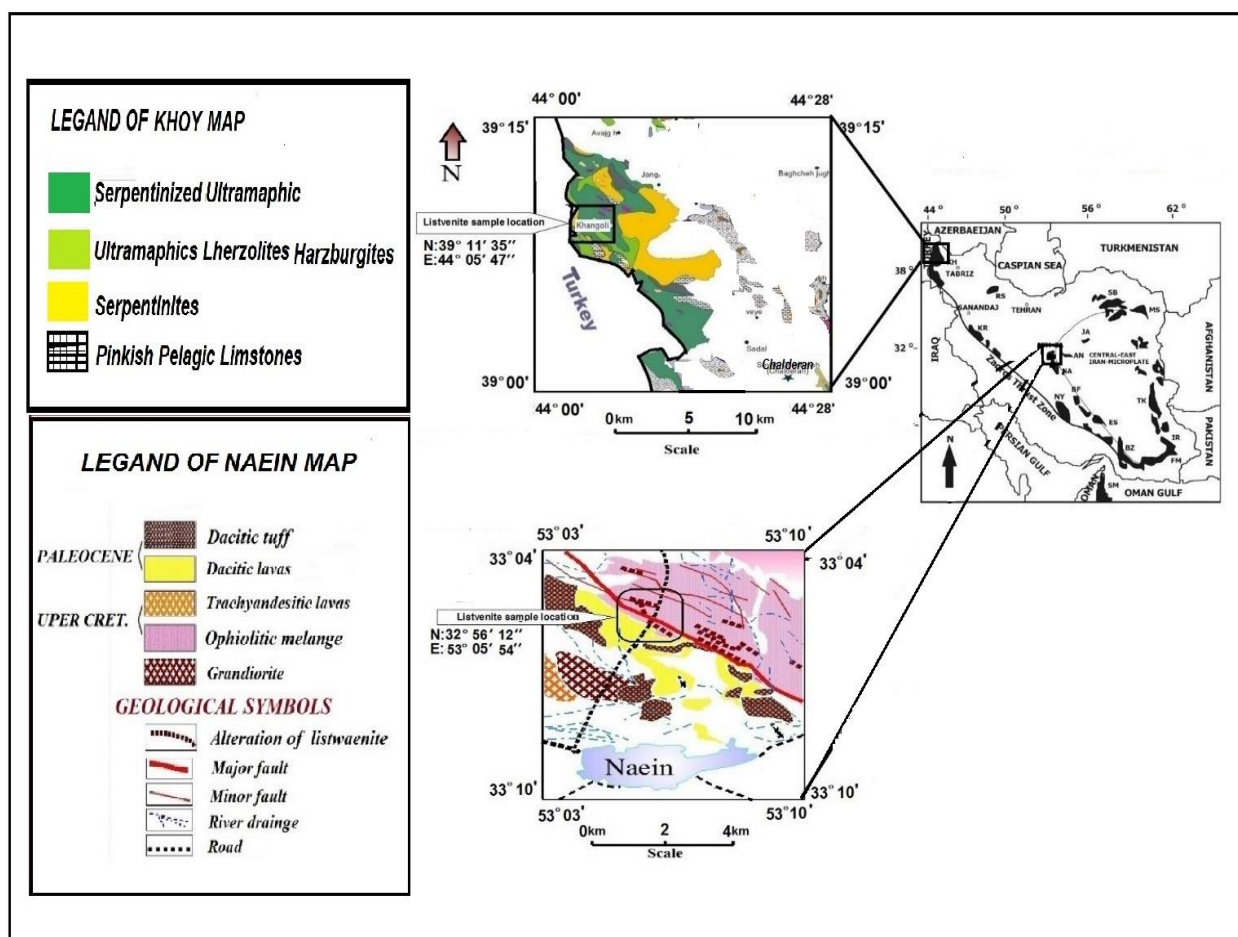
1. Rose

2. Fuchsite

## ۲- روش‌ها

میکروسکوپ انعکاسی OLYMPUS مدل BX-60 بررسی شدند. و برای تعیین غلظت عناصر اصلی و فرعی نمونه‌ها، آنالیزهای شیمیایی با دستگاه ICP-MS در دانشگاه سویا اسپانیا انجام گرفت. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

در این پژوهش جهت مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌نگاری از سنگ‌ها مقاطع نازک و صیقلی تهیه گردید. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان OLYMPUS مدل BH-2 و مقاطع صیقلی توسط



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی مناطق ناین و خان‌گلی

## ۳- کانی‌شناسی

اغلب نمونه‌های هارزبورژیت، دارای اگرگات‌های نامنظم برونزیت متوسط دانه و غالباً کینگ باند<sup>۱</sup> و تیغه‌های انحلالی از کلینوپیروکسن (دیوپسید) دارند (شکل ۲- A). لازم به ذکر است هارزبورژیت‌ها هر دو منطقه از نظر پتروگرافی خیلی شبیه هم هستند.

## ۳-۱- هارزبورژیت‌ها

هارزبورژیت‌ها بیشترین حجم پریدوتیت‌های گوشته ملانژ افیولیتی ناین و خوی-چالدران (خان‌گلی) را به خود اختصاص داده‌اند (Davoudzadeh, 1991; Alavi et al., 1975). هارزبورژیت‌ها از بیوین‌های ریز دانه و بلورهای زرد براق تا برنزی ارتوپیروکسن تشکیل شده‌اند، از دونیت به هارزبورژیت مقادیر ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن به صورت پیوسته افزایش می‌یابد. لیکن مقدار کلینوپیروکسن هرگز از ۵ درصد حجمی و مقدار ارتوپیروکسن از ۳۰ درصد حجمی تجاوز نمی‌کند (Coleman, 1977).

## ۳-۲- سرپانتینیت‌ها

سنگ‌هایی که تمام یا بخشی از آن‌ها شامل کانی‌های گروه سرپانتین باشد، به نام سرپانتینیت خوانده می‌شوند. سرپانتینیت شدن در مجموعه‌های الترامافیکی معمولاً در مناطق کوهزائی رخ می‌دهد. فقدان تاثیر حرارتی سرپانتینیت‌ها بر روی سنگ‌های در برگزیده و همراهی آن‌ها با گسل‌های

1. Kink band

رفتن آهن در محیط باعث آنکریتی شدن دولومیت‌ها نیز شده است. این دولومیت‌ها به خاطر آهن‌دار بودن بی‌فرزئانس بالایی دارند. این موضوع به این دلیل مهم است که ۱- توجه این که منبع تغذیه کننده این آهن از کجاست ما را به سنگ منشا اولترامافیکی رهنمون می‌کند ۲- نشانگر پویایی محیط تشکیل این کانی‌هاست. این زونینگ‌ها بیشتر در دولومیت‌های آهن‌دار در لیستونیت‌های خان‌گلی دیده می‌شود (شکل ۳- A) و بعضاً کلسیت‌ها و دولومیت‌ها آغشته به اکسید آهن نیز می‌باشند. اما شدت مکانیسم تشکیل کربنات‌ها به خصوص کلسیت‌ها در لیستونیت‌های دو منطقه تا حدودی با هم متفاوت هستند. چرا که در لیستونیت‌های منطقه‌ی خان‌گلی کربناتی شدن بیشتر از نوع انتشاری و شبکه‌ای است.

### ۳-۴- لیستونیت‌های کربناته - سیلیسی

فراوان‌ترین نوع لیستونیت در شمال نایین و خان‌گلی لیستونیت‌های کربناته- سیلیسی می‌باشند. کانی‌های اصلی این گروه شامل کوارتز، سیلیس آمورف، ژاسپروئید، کالسدونی و کانی‌های کربناته شامل کلسیت، دولومیت، آنکریت و غیره می‌باشند. و کانی فرعی باز کروم اسپینل‌ها می‌باشند. گاهی رگه‌های کربناته و سیلیسی در تناوب قرار می‌گیرند و گاهی به صورت متقاطع هستند که نشان از هجوم مکرر سیالات کربناته و سیلیسی به لیستونیت‌های کربناته- سیلیسی می‌باشد. شاهد این پدیده بافت آتول<sup>۴</sup> در این گروه از لیستونیت‌ها می‌باشد که کربنات‌ها در نتیجه‌ی هجوم سیالات سیلیسی انحلال یافته است. و بعضاً کلسیت‌ها در نتیجه‌ی هجوم سیالات سیلیسی بافت جزیره‌ای نیز به خود می‌گیرند (شکل ۳- B). یک سیال اسیدی اشباع از سیلیس می‌تواند باعث انحلال کربنات و نهشته شدن سیلیس گردد. شرایط تشکیل کربنات‌ها با سیلیس متفاوت است به طوری که وقتی محیط اسیدی و اکسایشی است سیلیس پایدار و کربنات ناپایدار است و وقتی محیط قلیایی و احیائی است کربنات پایدار و سیلیس ناپایدار است (Mason and Moore, 2003) پس می‌توان نتیجه گرفت که شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل لیستونیت‌های کربناته- سیلیسی متفاوت با لیستونیت‌های کربناته است، این تغییرات pH, Eh خود معلول تغییراتی از قبیل کاهش فوگاسیته CO<sub>2</sub> است که این خود نیز تحت‌تاثیر کاهش مقدار CO<sub>2</sub> موجود در منبع تغذیه کننده می‌باشد. در این شرایط عدم سیلیس می‌تواند تشکیل شود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت شرایط عدم تعادل در محیط حاکم است و لیستونیت‌های کربناته- سیلیسی حالتی بینابین دارند. شرایط تشکیل لیستونیت‌های کربناته- سیلیسی خان‌گلی نیز کم و بیش شبیه منطقه نایین است با این تفاوت که به نظر می‌رسد در منطقه خان‌گلی سرعت سیلیسی شدن نیز مانند کربناتی شدن با نرخ بالایی رخ داده است. از نشانه‌های این موضوع اول این که در مقاطع نازک این سنگ‌ها مقدار سیلیس زیاد بوده دوم اینکه نحوه هجوم سیالات سیلیسی متفاوت بوده است به طوری که در اثر هجوم شدید این شاره‌ها کربنات‌ها بافت خلیجی با حاشیه خورده شده پیدا کرده‌اند. دلیل این موضوع نیز باز به فراوانی وجود شکاف و درزه در سنگ میزبان لیستونیت‌های این منطقه

تراستی نشان‌دهنده‌ی جایگزینی تکتونیکی به صورت توده‌های جامد می‌باشد. سرپانتین در مقطع نازک ساختار شبکه‌ای به نمایش می‌گذارد که توسط دیر و همکاران توصیف شده است (Deer et al., 1991). عدم وجود رخ یا انیزوتروپ<sup>۱</sup> بودن ساختمان بلوری در الیوین تاثیر مهمی بر نحوه‌ی پیشرفت سرپانتینی شدن دارد. دگرسانی در امتداد شکستگی‌های نامنظم شروع می‌شود و شبکه‌ی دره‌می از رگچه‌های سرپانتین رشته‌ای یا صفحه‌ای تولید می‌شود. و این فرآیند به صورت غیر یکنواخت صورت می‌گیرد و تقریباً همیشه مرز میان دانه‌ها را قطع می‌کند (شکل ۲- B). سرپانتینی شدن ارتوپروکسن کم‌تر از الیوین است و در نتیجه ارتوپروکسن بافت مقاوم هوبنیل<sup>۲</sup> را بر روی سطوح هوازده‌ی هارزبورژیت تشکیل می‌دهد (Coleman, 1971). مجموعه کانیایی سرپانتینیت‌ها شامل کریزوتیل، لیزاردیت، مگنتیت و مقادیر جزئی تالک و کلریت منیزیم‌دار می‌باشند. کریزوتیل بافت لانه زنبوری<sup>۳</sup> تشکیل داده است. و در مقطع نازک به رنگ سبز پریده به (دلیل غنی بودن از آهن) و یا بی‌رنگ مشاهده می‌شود. مگنتیت و برخی کانی‌های اکسید آهن نیز در اواخر سرپانتینی شدن به دلیل آزاد شدن آهن تشکیل می‌شوند. در جریان آزادسازی آهن، کروم اسپینل‌ها نیز با جذب آهن از حاشیه تبدیل به فریت کرومیت می‌گردند (شکل ۲- C).

### ۳-۳- لیستونیت‌های کربناته

همان‌طور که از نام این دسته از لیستونیت‌ها پیداست، به لحاظ کانی‌شناختی از کانی‌های کربنات تشکیل شده‌اند. در لیستونیت‌های کربناته نایین علاوه بر کلسیت و دولومیت، کانی‌های کربناته دیگری مانند آنکریت، فریت دولومیت، برونزیت، سیدریت و منیزیت نیز تشخیص داده شده است (Saedi, 2007).

در این لیستونیت‌ها کانی‌های فرعی مانند اسپینل‌های کروم‌دار نیز وجود دارند که منشا اولترامافیکی این سنگ‌ها را تایید می‌کند. در دمای پایین‌تر از ۳۰۰°C کانی‌های سیلیکاته به آرامی حل می‌شوند و هنگامی که کانی‌های کربناتی در سنگ‌های اولترامافیک جانشین می‌شوند. واپاشی سیلیکات‌ها موجب تولید آهن، منیزیم، کلسیم و منگنز می‌گردند و سنگ دیواره، کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم آزاد می‌کند (Kerrich, 1989). حاصل مجموع این فرآیندها تولید کانی‌های کربناتی می‌باشد.

بافت این لیستونیت‌ها اغلب گرانوبلاستیک می‌باشد که حاصل قرارگیری کربنات‌ها به صورت موزائیکی هستند (شکل ۲- D). اغلب واکنش کربناته شدن کامل است. کلسیت و بعضاً دولومیت هیدروترمال به صورت نیمه شکل درون رگه‌ها شکل گرفته‌اند و همین‌طور بعضاً حالت محلول جامد میان این دو کانی دیده می‌شود. بسیاری از بلورهای کلسیت ماکل دوقلوئی نشان می‌دهند. اما آنچه در این دولومیت‌ها مهم است وجود زونینگ یا منطقه‌بندی است و این ساخت بیانگر وجود آهن و همین‌طور تغییرات سیالات گرمایی نسبت به آهن در شرایط مختلف فیزیکوشیمیایی است. بالا

1. Anisotrop
2. Nail Hob texture
3. Honey comb texture

4. Attol texture

برمی‌گردد.

۳- کوارتز تجدید تبلور یافته: گاهی در مقاطع دیده می‌شود که کوارتزهای دانه درشت در زمینه‌ای از ژاسپروئید قرار گرفته‌اند.

۴- کلسدونی: کوارتزهای شعاعی و بادبزی هستند که به صورت رگه‌ای در لیستونیت‌های سیلیسی دیده می‌شوند. به دلیل دمای پایین تشکیل کلسدونی و همین‌طور تشکیل رگه‌هایی که همه‌ی کوارتزهای نسل‌های قبلی را قطع می‌کند می‌توان نتیجه گرفت جزو آخرین نسل سیلیسی‌زائی هستند و با آغستگی اکسید آهن نیز همراه‌اند، این حالت به صورت خیلی واضح در لیستونیت‌های سیلیسی خان‌گلی قابل مشاهده است (شکل ۳- D).

مکانیسم سیلیسی شدن (بیربیریتی شدن) در دو منطقه (نابین و خان‌گلی) تقریباً همانند هستند و فقط همان‌طور که قبلاً هم گفته شد نرخ سرعت سیلیسی شدن در منطقه خان‌گلی بالاتر به نظر می‌رسد. در آخر این بخش لازم است به موضوع مهمی اشاره شود و آن هم بررسی آخرین فازهای لیستونیت‌زائی که بعد از فاز سیلیسی‌زائی رخ می‌دهند که عبارت است از کربناتی شدن تاخیری که خود را به صورت رگه‌های کربناتی که به دنبال رگه‌های سیلیسی تشکیل شده‌اند نشان می‌دهد.

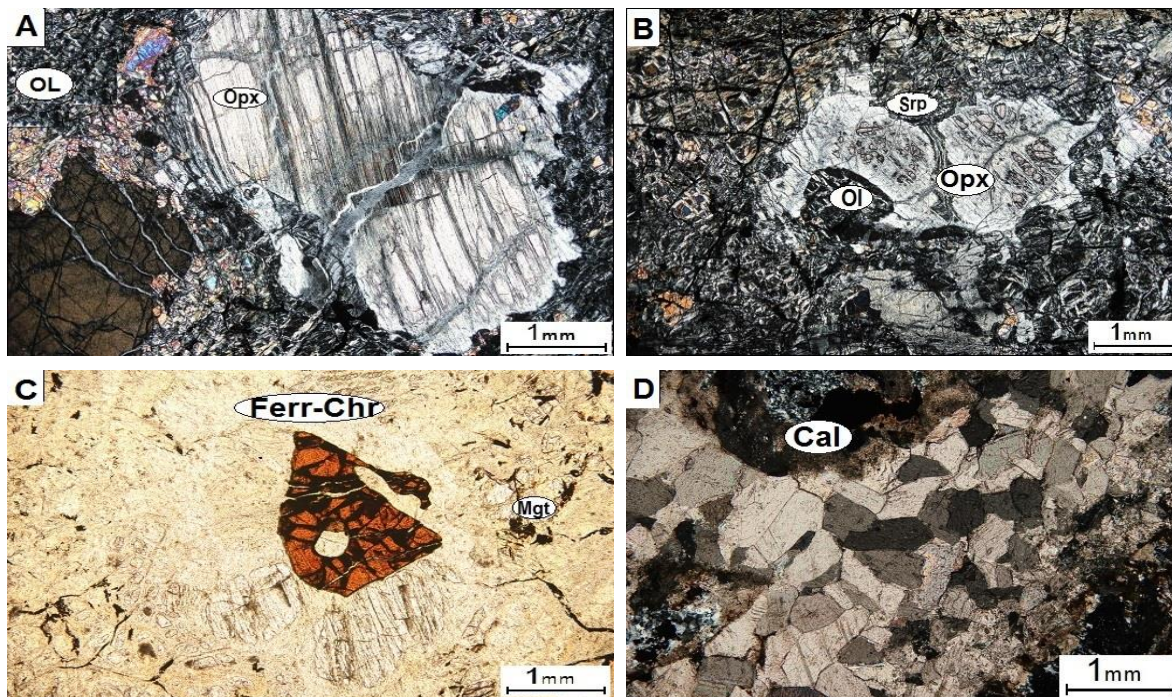
در بیربیریت‌ها هم‌زمان با فاز سیلیسی‌زائی پیریت و سینابار تشکیل می‌شود و قابل ذکر است سینابار در مقاطع بیربیریت‌های خان‌گلی مشاهده شده‌اند (شکل ۳- E). که با جیوه‌ی آزاد همراه بودند. و پیریت‌ها بیشتر در بیربیریت‌های نابین همراه با طلای آزاد دیده می‌شوند که در بیشتر مواقع به گوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۳- F). حضور گوتیت و هماتیت بیانگر فاز اکسیداسیون هستند که آخرین فاز کانی‌سازی در لیستونیت‌هاست.

### ۳-۵- لیستونیت‌های سیلیسی (بیربیریت‌ها)

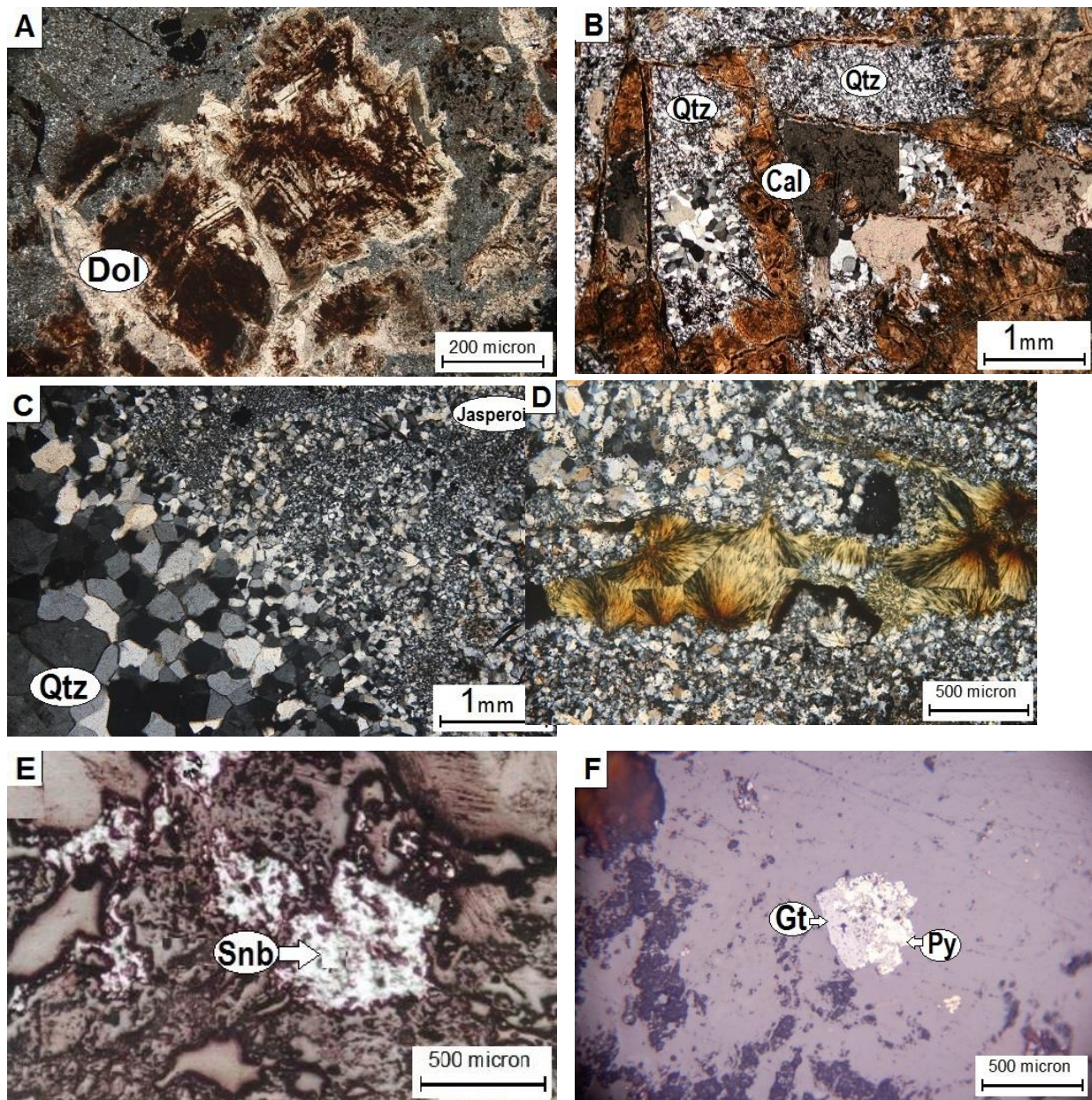
کانی‌های سیلیسی (کوارتز، ژاسپروئید و چرت، کلسدونی، اپال) تشکیل‌دهنده اصلی این دسته از لیستونیت‌ها می‌باشند. سیلیسی اغلب به صورت ژاسپروئید و دانه ریز است. کانی‌های کربناته موجود در این لیستونیت‌ها خیلی کم هستند و دارای حاشیه‌های خورده شده و اکسیده می‌باشند. که این نشان از فاز اکسیداسیون است که در سنگ رخ داده است و کروم اسپینل‌ها به مقادیر کمی در مقاطع این سنگ‌ها قابل مشاهده هستند که تقریباً به طور کامل به فریت کرومیت تبدیل شده‌اند. کانی‌های مختلف سیلیسی که در بیربیریت‌ها حضور دارند را می‌توان به چهار نسل تقسیم کرد. بر اساس ترتیب تبلور به قرار زیر هستند:

۱- کوارتز گرانولار: این کوارتزها، دانه درشت، نیمه شکل‌دار با بلورهای تقریباً هم بعد هستند و بافت موزائیکی از خود نشان می‌دهند. حضور سه گوش و حاشیه بلوری واضح این کانی نشان از تعادل محیط می‌باشند (شکل ۳- C).

۲- ژاسپروئید: این کوارتزهای بسیار دانه ریز که به راستی شبیه چرت‌ها در رسوبات شیمیایی می‌باشند و به صورت توده‌ای و یا رگه‌ای دیده می‌شوند. بعضاً این رگه‌ها کوارتزهای نسل اول را قطع می‌کنند که همین موضوع می‌تواند دلیل تأخر ژاسپروئیدها نسبت به کوارتز گرانولار باشد (شکل ۳- C).



شکل ۲- A- ارتوپروکسن‌ها در هارزبورژیت که غالباً با کینگ باند و تیغه‌های انحلالی از دیوپسید مشخص هستند. B- در سرپانتینیت رگه‌های سرپانتین رشته‌ای یا صفحه‌ای تولید می‌شود. C- کروم اسپینل موجود در سرپانتینیت با جذب آهن از حاشیه تبدیل به فریت کرومیت گردیده است. D- بافت موزائیکی کلسیت‌ها در لیستونیت‌های کربناتی. (Ol = الیون، Opx = ارتوپروکسن، Ser = سرپانتین، Ferr-Chr = فریت کرومیت، Mgt = مگنتیت، Cal = کلسیت)



شکل ۳- A- زونینگ‌ها در دولومیت‌های آهن‌دار B- کلسیت‌ها به دنبال هجوم شاره‌های سیلیسی بافت جزیره‌ای با حاشیه خورده شده به خود گرفته‌اند C- کوارتز گرانولار دانه درشت تا ژاسپروئیدی در بیریریت‌ها. D- رشته‌های کلسدونی شعاعی و آغشته به اکسید آهن در بیریریت‌ها. E- کانی سینابار موجود در بیریریت‌های خان‌گلی. F- جانشینی پیریت توسط گوتیت در بیریریت‌های ناپین که نشانگر فاز اکسیداسیون می‌باشد. (Qtz = کوارتز، Cal = کلسیت، Dol = دولومیت، Snb = سینابار، Gt = گوتیت، Py = پیریت)

خان‌گلی هستند در جدول ۱ آورده شده است.

آنالیز شیمیایی سرپانتینیت‌های جنوب افیولیت ناپین و خان‌گلی،  $MgO/SiO_2$  بالا و همین‌طور غنی‌شدگی در عناصری مانند Cr، Ni و Co و حتی As و Sb دیده می‌شود و تهی‌شدگی از عناصر ناسازگار نشان می‌دهد که مربوط به فرآیند سرپانتینیتی شدن است که این فرآیند عناصر ناسازگار را شسته و از محیط خارج کرده است ولی عناصر یاد شده از عناصر سازگار بوده و در جریان دگرسانی نامتحرک بوده‌اند.

#### ۴- ژئوشیمی

##### ۴-۱- هارزبورژیت‌ها و سرپانتینیت‌ها

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی پریدوتیت (هارزبورژیت) و همین‌طور سرپانتینیت (سنگ مادر دگرسانی) که متعلق به جنوب افیولیت ناپین و

جدول ۱- آنالیز شیمیایی هارزبورژیت‌ها و سرپانتینیت‌های جنوب افیولیت نایین و خان‌گلی

| Samples →                        | Harzburgite | Harzburgite | Serpentinite (1) | Serpentinite (2) | Serpentinite (1) | Serpentinite (2) |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Elements ↓                       | (Naein)     | (Khan goli) | (Naein)          | (Naein)          | (Khan goli)      | (Khan goli)      |
| SiO <sub>2</sub> (wt%)           | ۳۹/۵۶       | ۴۰/۵۱       | ۳۸/۳۸            | ۳۸/۴۵            | ۳۷/۹۹            | ۳۸/۱۲            |
| TiO <sub>2</sub>                 | ۰/۰۲        | ۰/۰۱۲       | ۰/۰۵۴            | ۰/۰۵۷            | ۰/۰۳۶            | ۰/۰۴۵            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۰/۶۲        | ۰/۷۰        | ۱/۳۹             | ۱/۴۰             | ۱/۹۶             | ۱/۸۷             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | ۹/۳۰        | ۹/۱۶        | ۷/۷۱             | ۷/۵۰             | ۸/۰۱             | ۷/۶۳             |
| MnO                              | ۰/۱۲        | ۰/۱۴        | ۰/۰۹             | ۰/۰۹             | ۰/۱۰             | ۰/۱۳             |
| MgO                              | ۴۲/۹        | ۴۳/۶        | ۳۶/۸۹            | ۳۷/۰۰            | ۳۶/۱۲            | ۳۶/۱۸            |
| CaO                              | ۱/۶۵        | ۱/۷۲        | ۰/۸۴۳            | ۰/۸۲۱            | ۰/۶۲۱            | ۰/۷۵۴            |
| Na <sub>2</sub> O                | ۰/۰۷        | ۰/۰۹        | ۰/۱۱             | ۰/۱۲             | ۰/۱۶             | ۰/۱۷             |
| K <sub>2</sub> O                 | ۰/۰۱        | ۰/۰۶        | ۰/۰۴             | ۰/۰۳             | ۰/۰۴             | ۰/۵              |
| LOI                              | ۴/۵۴        | ۴/۰۳        | ۱۲/۸۱            | ۱۲/۷۰            | ۱۳/۹۲            | ۱۴/۰۲            |
| MgO/SiO <sub>2</sub>             | ۱/۰۸        | ۱/۰۷        | ۰/۹۳             | ۰/۹۳             | ۰/۹۵             | ۰/۹۴             |
| Cr(ppm)                          | ۳۲۶۸        | ۲۹۳۶        | ۳۵۶۴             | ۳۶۲۱             | ۳۲۶۱             | ۳۳۲۰             |
| Ni                               | ۲۶۲۸        | ۲۰۳۶        | ۲۷۴۲             | ۲۷۵۰             | ۲۱۰۰             | ۲۱۵۶             |
| Co                               | ۱۱۰         | ۹۶          | ۱۲۲              | ۱۲۷              | ۱۰۲              | ۱۰۴              |
| As                               | ۲/۳         | ۶           | ۶                | ۷                | ۵۴               | ۴۲               |
| Sb                               | ۱/۶         | ۳           | ۸                | ۸/۴              | ۱۶               | ۱۵               |
| Au                               | ۰/۰۰۳۴      | ۰/۰۰۱۱      | ۰/۰۰۵            | ۰/۰۰۴            | ۰/۰۰۳            | ۰/۰۰۲            |
| Hg                               | ۰/۰۱        | ۰/۴۵        | ۰/۰۲۵            | ۰/۰۲             | ۰/۷۵             | ۰/۷۸             |
| Sr                               | ۱۳۰         | ۱۱۲         | ۱۴۳              | ۱۳۹              | ۱۲۳              | ۱۱۵              |
| Total                            | ۹۹/۳۷       | ۹۹/۳۷       | ۹۸/۸۸            | ۹۸/۵۴            | ۹۷/۷۲            | ۹۷/۷۰            |

#### ۴-۲- لیستونیت‌ها

در مطالعه‌ی لیستونیت‌ها که سنگ‌هایی دگرسان هستند و شناخت نوع دگرسانی، فازهای دگرسانی (کربناتی شدن و سیلیسی شدن و غیره)، ماهیت و رویکرد سیالات دگرسان ایجاد می‌کند بعد از مطالعات پتروگرافی، حتماً مطالعات ژئوشیمی نیز صورت بگیرد.

مطالعات ژئوشیمی علاوه بر اینکه مطالعات پتروگرافی را قوت می‌بخشد، برای رسیدن به اهداف زیر نیز اهمیت دارند:

۱- طبقه‌بندی دقیق لیستونیت‌ها

۲- بررسی آنومالی عناصر با ارزش اقتصادی

نتایج تجزیه شیمیایی انواع لیستونیت‌های جنوب افیولیت نایین و خان‌گلی در جدول ۲ آمده‌اند.

پریدوتیت‌های مناطق مختلف تکتونیکی را بر اساس میزان Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بررسی کرده‌اند و دلیل این موضوع این است که Al طی دگرسانی‌ها و حتی دگرگونی‌ها عنصری نامتحرک به حساب می‌آید و میزان Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> پریدوتیت‌ها از ریف‌ت درون صفحه‌ای به سمت حاشیه‌ی غیر فعال و همین‌طور زون فرورانش کاهش می‌یابد. میزان کم Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در سرپانتینیت‌های جنوب افیولیت نایین حتی نسبت به سرپانتینیت‌های خان‌گلی نشان از فرورانش در این مناطق می‌باشد (Bonatti and Michael, 1989). و با توجه به جدول ۱ می‌توان به راحتی دریافت طی فرآیند سرپانتینیتی شدن هارزبورژیت عناصر اصلی مانند Al, Ti و LOI افزایش و Fe, Si, Mg و Mn کاهش یافته‌اند.

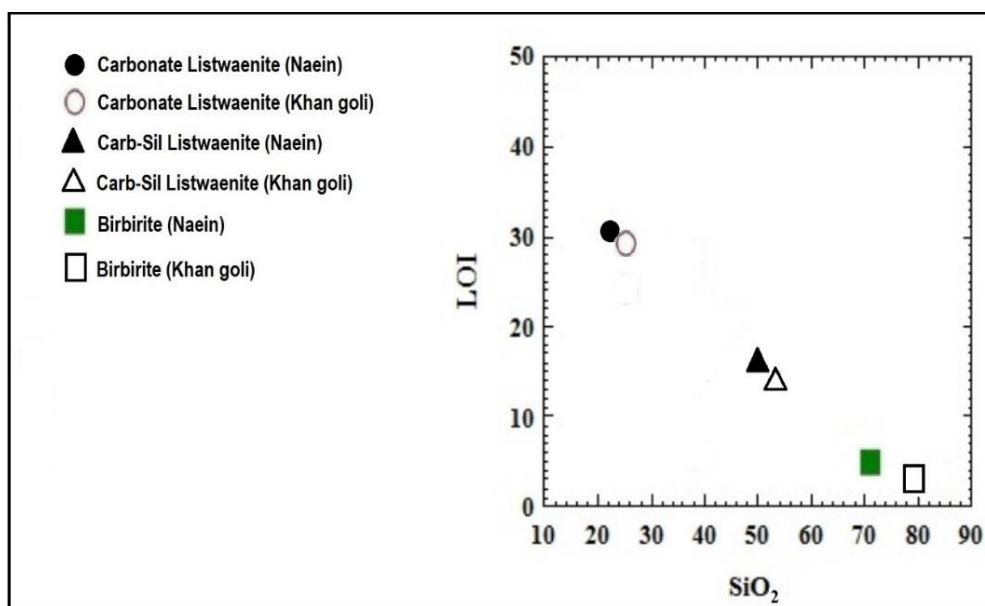
جدول ۲- آنالیز شیمیایی لیستونیت‌های جنوب افیولیت نایین و خان گلی

| Elements                         | Carbonate Listwaenite (Naein) | Carbonate Listwaenite (Khan goli) | Carb- Sil Listwaenite (Naein) | Carb- Sil Listwaenite (Khan goli) | Birbirite (Naein) | Birbirite (Khan goli) |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| SiO <sub>2</sub> (wt%)           | ۱۹/۹۵                         | ۲۱/۸۱                             | ۵۰/۴۸                         | ۵۴/۰۵                             | ۷۱/۹۹             | ۷۹/۰۲                 |
| TiO <sub>2</sub>                 | ۰/۰۸                          | ۰/۰۶                              | ۰/۰۶                          | ۰/۰۵۷                             | ۰/۰۳۶             | ۰/۰۴۵                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | ۰/۴۹                          | ۰/۶۵                              | ۰/۷۱                          | ۰/۸۷                              | ۰/۷۲              | ۰/۹۰                  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | ۳/۷۱                          | ۳/۱۶                              | ۶/۷۴                          | ۶/۴۰                              | ۸/۲۱              | ۷/۵۳                  |
| MnO                              | ۰/۱۲                          | ۰/۱۳                              | ۰/۱۲                          | ۰/۱۳                              | ۰/۱۴              | ۰/۱۵                  |
| MgO                              | ۲۰/۶۳                         | ۱۹/۶۰                             | ۱۲/۰۱                         | ۱۱/۳۵                             | ۵/۷۲              | ۳/۷۸                  |
| CaO                              | ۲۴/۴۷                         | ۲۳/۷۲                             | ۱۱/۶۱                         | ۱۰/۸۲                             | ۶/۰۲              | ۴/۱۸                  |
| Na <sub>2</sub> O                | ۰/۰۵                          | ۰/۰۶                              | ۰/۰۶                          | ۰/۰۷                              | ۰/۰۸              | ۰/۰۹                  |
| K <sub>2</sub> O                 | ۰/۰۲                          | ۰/۰۳                              | ۰/۰۴                          | ۰/۰۵                              | ۰/۰۷              | ۰/۰۸                  |
| LOI                              | ۳۰/۱۵                         | ۲۹/۷۳                             | ۱۷/۸۲                         | ۱۵/۷۰                             | ۵/۹۲              | ۳/۰۲                  |
| Cr(ppm)                          | ۹۶۴                           | ۱۰۰۶                              | ۱۳۹۶                          | ۱۴۵۲                              | ۸۵۳               | ۹۵۴                   |
| Ni                               | ۱۵۳۰                          | ۱۴۹۶                              | ۱۸۵۲                          | ۱۷۹۸                              | ۱۶۳۷              | ۱۶۰۵                  |
| Co                               | ۹۷                            | ۹۶                                | ۱۰۰                           | ۹۲                                | ۱۰۶               | ۹۰                    |
| As                               | ۲۶۷                           | ۴۶۵                               | ۴۶۸                           | ۷۹۴                               | ۱۲۳۰              | ۱۵۲۳                  |
| Sb                               | ۸                             | ۷۸                                | ۶/۵                           | ۱۲۰                               | ۸                 | ۲۵۴                   |
| Au                               | ۰/۱۴۵                         | ۰/۰۳۶                             | ۰/۷۶۵                         | ۰/۰۴۵                             | ۱/۹۶۱             | ۰/۰۷۹                 |
| Hg                               | ۱/۲                           | ۲۴۵۱                              | ۱/۸                           | ۳۸۶۲                              | ۲/۸               | ۸۸۶۵                  |
| Sr                               | ۲۶۳                           | ۱۹۵                               | ۱۴۶                           | ۱۳۵                               | ۱۱۳               | ۱۱۶                   |
| Total                            | ۹۹/۹۱                         | ۹۹/۱۹                             | ۹۹/۹۶                         | ۹۹/۹۰                             | ۹۹/۲۶             | ۹۹/۹۲                 |

نمودار (شکل ۴) مشاهده می‌شود بیربیریت‌ها نزدیک قطب SiO<sub>2</sub> قرار می‌گیرند. و لیستونیت‌های کربناتی نیز نزدیک قطب CaO+MgO قرار می‌گیرند و همین‌طور لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی در حد واسط این دو قطب قرار می‌گیرند و قرارگیری انواع لیستونیت‌ها نسبت به قطب Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> نیز همان‌طور که مشاهده می‌شود از لیستونیت‌های کربناتی به سمت لیستونیت‌های سیلیسی (بیربیریت‌ها)، در نمونه‌ها به مقدار Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> افزوده می‌شود. در نمودار سه‌تایی SiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO+MgO لیستونیت‌های کربناتی دارای CaO+MgO بیشتر از ۵۰ درصد هستند و SiO<sub>2</sub> کمتر از ۵۰ درصد دارند. در حالی که لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی به قطب SiO<sub>2</sub> نزدیکتر و لیستونیت‌های سیلیسی (بیربیریت‌ها) بسیار نزدیک به قطب SiO<sub>2</sub> و با بیش از ۵۰ درصد SiO<sub>2</sub> قرار می‌گیرند.

### ۳-۴ - طبقه‌بندی لیستونیت‌های جنوب افیولیت نایین و خان گلی

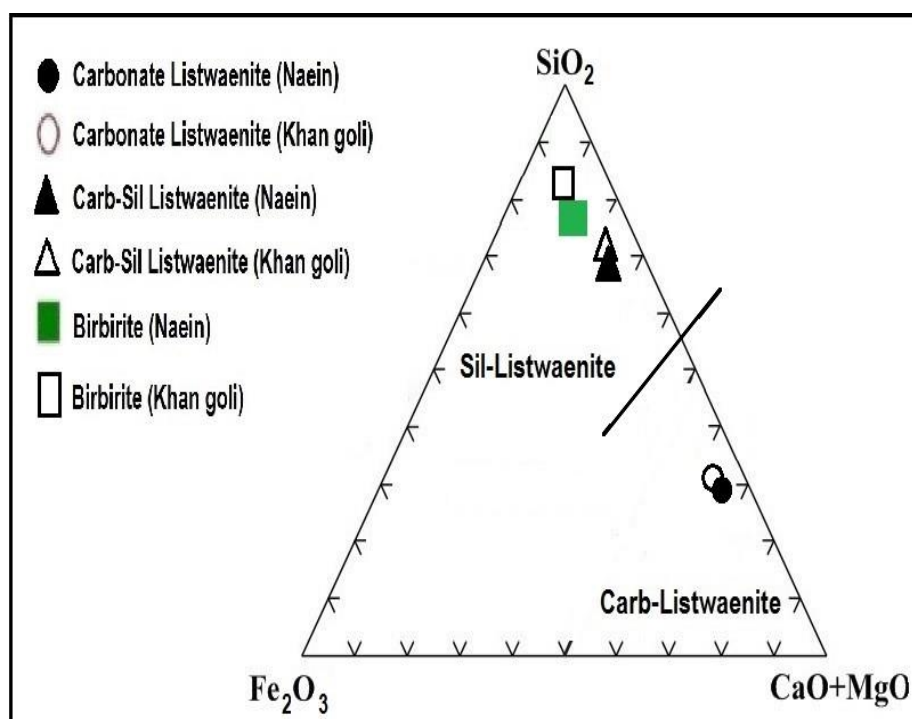
در تعیین انواع لیستونیت‌ها، مهم‌ترین پارامتر میزان SiO<sub>2</sub> و LOI در این سنگ‌ها است. بر این اساس در لیستونیت‌های کربناتی میزان SiO<sub>2</sub> پایین، ولی به دلیل مقادیر فراوان CO<sub>2</sub> و گونه‌های فرار دیگر، میزان LOI بالاست و در لیستونیت‌های سیلیسی روندی وارونه مشاهده می‌شود، به طوری که میزان LOI پایین و درصد SiO<sub>2</sub> بالاست. لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی هم به لحاظ میزان SiO<sub>2</sub> و هم مقدار LOI در حد واسط دو نوع دیگر دیده می‌شوند (شکل ۴). لیستونیت‌های جنوب افیولیت نایین و خان گلی بر اساس آنکه در



شکل ۴- نمودار LOI بر حسب  $SiO_2$  در لیستونیت‌ها (Nasir et al., 2004)

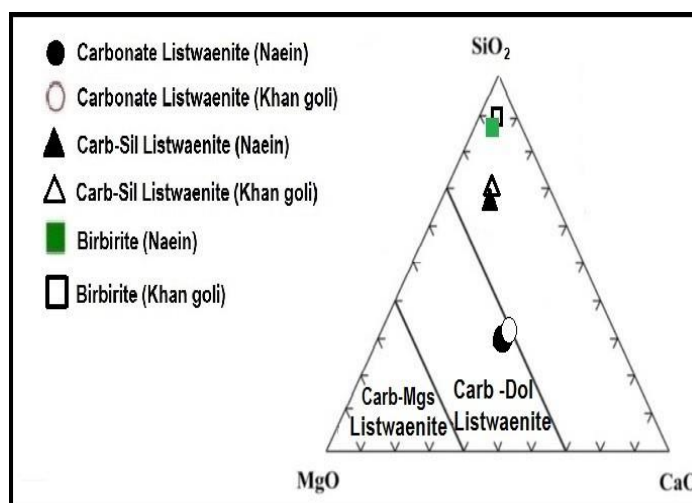
خان گلی در این طبقه‌بندی در محدوده‌ی لیستونیت‌های کربناتی دولومیتی قرار می‌گیرند (شکل ۵). و در نمودار  $SiO_2$ -CaO-MgO لیستونیت‌های کربناتی-سیلیسی در میان سه قطب  $SiO_2$  و MgO و CaO قرار می‌گیرند و لیستونیت‌های سیلیسی (بیربیریت‌ها) نزدیک قطب  $SiO_2$  دیده می‌شوند (شکل ۶).

یک تقسیم‌بندی نیز در لیستونیت‌های کربناتی وجود دارد که بر مبنای آن لیستونیت‌های کربناتی دولومیتی با بیش از ۳۰ درصد CaO نزدیکتر به قطب کلسیم قرار می‌گیرند و در نمودار سه‌تایی  $SiO_2$ -CaO-MgO و لیستونیت‌های کربناته منیزیتی هم به قطب MgO نزدیک هستند و لیستونیت‌های کربناته دولومیتی حد بینابینی بین قطب‌های سه‌گانه این نمودار دارند. لیستونیت‌های کربناتی مناطق جنوب افیولیت ناپین و



شکل ۵- نمودار سه‌تایی  $SiO_2$ - $Fe_2O_3$ -CaO+MgO (Nasir et al., 2004)





شکل ۶- نمودار سه‌تایی  $SiO_2+CaO+MgO$  (Nasir et al., 2004)

میزان پایین این سنگ‌ها از Au می‌باشد (شکل ۷). اما به این منظور نیست که این سنگ‌ها از نظر طلا اقتصادی محسوب نشوند چرا که Au در طی روند لیستونیتی شدن به خصوص در بیربیریت‌ها از خود غنی‌شدگی نشان می‌دهد و همین‌طور که در بخش پتروگرافی نیز اشاره شد لکه‌های طلا آزاد نیز در بیربیریت‌های منطقه‌ی جنوب افیولیت ناین مشاهده شده است.

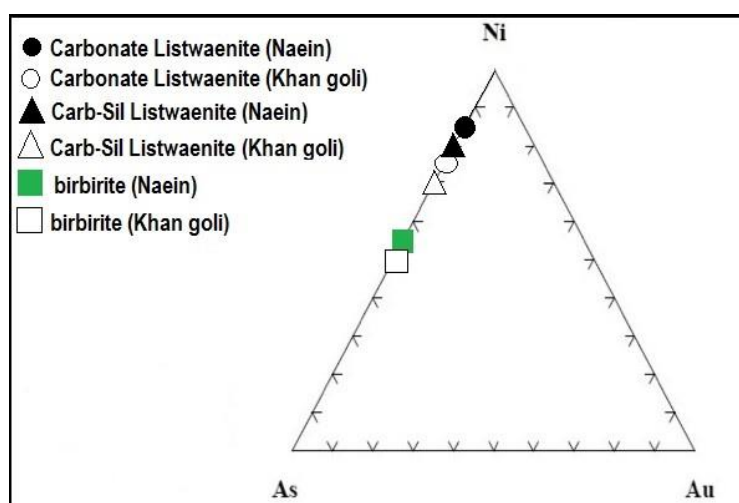
همچنین غنی‌شدگی Au در بیربیریت‌ها تایید کننده‌ی این موضوع که طلا همراه با پیریت در اواسط فاز سیلیسی شدن تشکیل می‌شوند نیز می‌باشد. مطلب دیگری که می‌توان از نمودار سه‌تایی As-Ni-Au استفاده کرد این که همبستگی که بین دو عنصر Au و As وجود دارد به خوبی قابل مشاهده است به طوری که As نیز مانند Au طی روند لیستونیتی شدن از خود غنی‌شدگی نشان می‌دهد. اما آنچه قابل ذکر است این که این موضوع به صورت کلی صدق می‌کند چرا که غنی‌شدگی As در لیستونیت‌های خان گلی بیشتر از لیستونیت‌های جنوب افیولیت ناین است در حالی که همان‌طور که گفته شد غنی‌شدگی Au در لیستونیت‌های جنوب افیولیت ناین به مراتب بالاتر از خان گلی می‌باشد.

اختلافی که میان لیستونیت‌های مناطق جنوب افیولیت ناین و خان گلی وجود دارد در مقدار  $SiO_2$ ، CaO و MgO می‌باشد به طوری که مقدار  $SiO_2$  در لیستونیت‌های خان گلی به صورت جزئی از لیستونیت‌های جنوب افیولیت ناین زیاد می‌باشند و برعکس مقدار CaO و MgO نیز در لیستونیت‌های خان گلی کمتر از لیستونیت‌های جنوب افیولیت ناین می‌باشند.

#### ۴-۴- بررسی آنومالی

##### ۴-۴-۱- نمودار سه‌تایی As-Ni-Au

در این نمودار تمامی لیستونیت‌های مناطق جنوب افیولیت ناین و خان گلی روی خط Ni-As قرار گرفته است. لیستونیت‌های سیلیسی نزدیک به As و لیستونیت‌هایی که از سیلیس آنها کاسته شده است به قطب Ni نزدیکتر هستند. بیانگر میزان فعالیت محلول‌های هیدروترمال حاوی As و از بین رفتن کانی‌هایی که حاوی عنصر Ni می‌باشند. دور بودن سنگ‌ها از Au، نشان‌دهنده

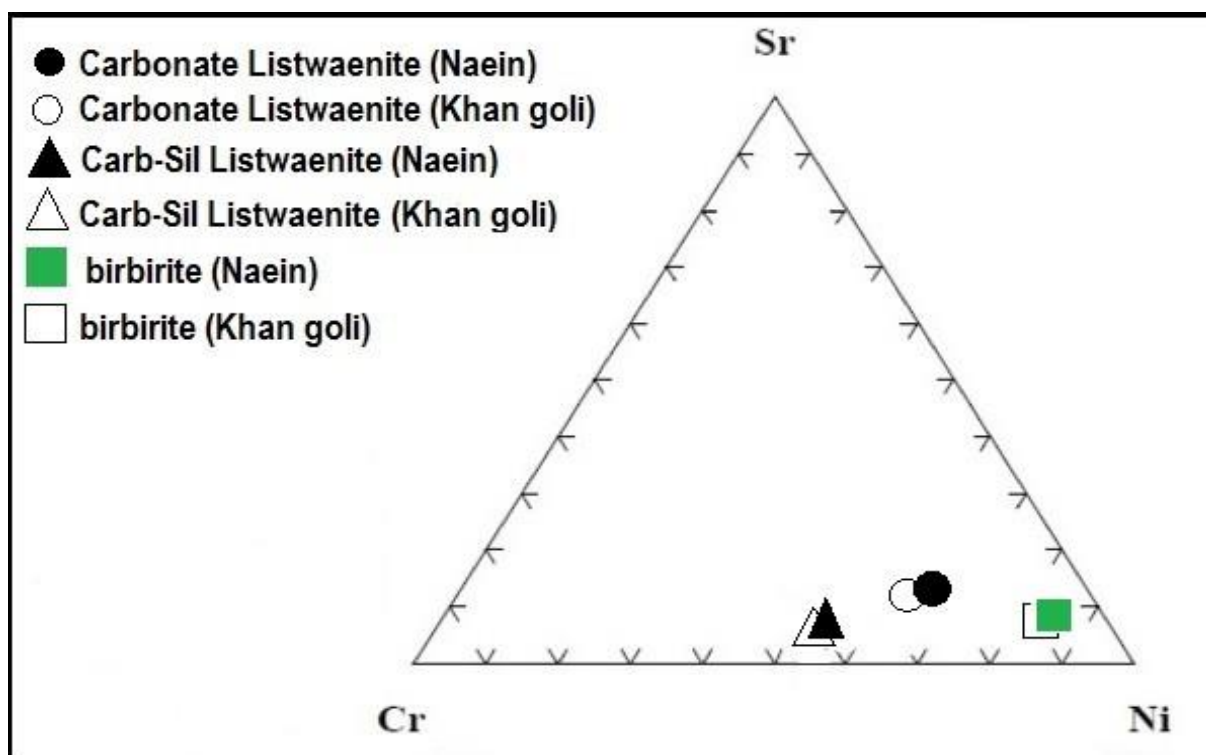


شکل ۷- نمودار سه‌تایی As-Ni-Au (Çolakoglu, 2007)

## ۴-۴-۲- نمودار سه‌تایی Cr-Sr-Ni

مقدار Sr بسیار کم موجود در لیستونیت‌ها نشان‌دهنده این مطلب است که Sr موجود در سیالات لیستونیت‌ساز کم بوده‌اند و یا به دلیل مشخصات ژئوشیمیایی در طی لیستونیتی شدن نتوانسته‌اند خود را وارد ساختار لیستونیت‌ها کنند. لیستونیت‌ها نسبت به سرپانتینت‌ها در Ni، Co و Cr تهی‌شدگی نشان می‌دهند. اما طی لیستونیتی شدن به خصوص در لیستونیت‌های کربناتی-سیلیسی غنی‌شدگی از خود نشان می‌دهند. شاید به دلیل بالا بودن مقدار کروم اسپینل‌ها باشد که در این لیستونیت‌ها نسبت به دو نوع دیگر وجود دارند.

در این نمودار تمامی لیستونیت‌های مناطق جنوب افیولیت نایین و خان‌گلی در محدوده‌ی بین Ni و Cr و دور از Sr قرار گرفته‌اند. اگر چه از سرپانتینت‌ها به سمت لیستونیت‌ها مقدار Sr بیشتر می‌شود، ولی طی روند لیستونیتی شدن از مقدار Sr کاسته می‌شود به طوری که بیشترین غنی‌شدگی را در لیستونیت‌های کربناتی نشان می‌دهد. و به سمت لیستونیت‌های کربناتی-سیلیسی و بیربیریت‌ها از مقدار آن کاسته می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸- نمودار سه‌تایی Cr-Sr-Ni (Çolakoglu, 2007)

اتفاق افتاده است فاز سیلیسی شدن (بیربیریتی شدن) شروع شده است که خود این فاز به دو مرحله مجزا اما به دنبال هم قابل تقسیم‌بندی است (Karimzadeh, 2014). که مرحله‌ی اول سیلیسی شدن پیشین (کوارتز و ژاسپروئید) و مرحله دوم سیلیسی شدن پسین (ژاسپروئید و کلسدونی) حضور دارند. تشکیل پیریت و طلا (در نایین)، سینابار و جیوه (در چالدران) اواسط فاز سیلیسی شدن (بیربیریتی شدن) اتفاق افتاده است و سپس کربناتی شدن پسین (عمدتاً رگه‌های کربناتی از جمله رگه‌های دولومیت‌های هیدروترمال) رخ داده و در نهایت فاز اکسیداسیون به صورت گوتیتی شدن پیریت‌ها و همین‌طور تشکیل هماتیت‌ها و سایر اکسیدهای آهن خود را نشان داده است. البته قابل ذکر است جیوه آزاد در فاز اکسیداسیون نیز تشکیل می‌شود (Karimzadeh, 2014).

### ۵- بررسی روابط پاراژنتیکی کانی‌های موجود در لیستونیت‌های جنوب افیولیت نایین و لیستونیت‌های افیولیت خوی - چالدران (خان‌گلی)

بر اساس بررسی‌هایی که از نظر کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در نمونه‌ها صورت پذیرفته است. روابط پاراژنتیکی کانی‌های موجود در لیستونیت‌ها به صورت جدول‌های (۳ و ۴) به نمایش در آمده است. می‌توان نتیجه گرفت بعضی پریدوتیت‌های (عمدتاً هارزبورژیت‌ها) جنوب افیولیت نایین و افیولیت خوی - چالدران (خان‌گلی) مورد سرپانتینی شدن (کریزوتیل و لیزاردیت) قرار گرفته‌اند و به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند و در ادامه در بعضی موارد سرپانتینیت‌ها مورد کربناتی شدن (عمدتاً کلسیت) قرار گرفته و وارد لیسونیت‌زائی شده‌اند. سپس براساس تغییراتی فیزیکوشیمیایی که در محیط

جدول ۳- روابط پارازنتیکی کانی‌های موجود در لیستونیت‌های جنوب افیولیت نایین

| Stages<br>Minerals                   | Initial Rack | Serpentinization | Listventinization | Birbiritization      |                     | Late Carbonatization | Oxidation |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------|
|                                      |              |                  |                   | Early Silicification | Late Silicification |                      |           |
| Olivine                              | —————        |                  |                   |                      |                     |                      |           |
| Bronzite                             | —————        |                  |                   |                      |                     |                      |           |
| Cr-Spinel                            | —————        | .....            |                   |                      |                     |                      |           |
| Serpentine<br>(Chrysotile Lizardite) |              | —————            |                   |                      |                     |                      |           |
| Ferrite-chromite                     |              | .....            | —————             | —————                | —————               | —————                | —————     |
| Calcite<br>Fe-Dolomite<br>magnetite  |              |                  | .....             | .....                |                     |                      |           |
| Vein<br>Carbonates                   |              |                  |                   |                      | .....               | —————                |           |
| Quartz                               |              |                  | —————             | —————                |                     |                      |           |
| Jasperoid                            |              |                  |                   | .....                | —————               |                      |           |
| Chalcedony                           |              |                  |                   |                      | —————               |                      |           |
| Pyrite                               |              |                  |                   | ———                  | ———                 |                      |           |
| Gold                                 |              |                  |                   | ———                  | ———                 |                      |           |
| Goethite<br>Iron oxides              |              |                  |                   |                      |                     |                      | —————     |

جدول ۴- روابط پارازنتیکی کانی‌های موجود در لیستونیت‌های افیولیت خوی-چالدران (خان‌گلی)

| Stages<br>Minerals                   | Initial Rack | Serpentinization | Listventinization | Birbiritization      |                     | Late Carbonatization | Oxidation |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------|
|                                      |              |                  |                   | Early Silicification | Late Silicification |                      |           |
| Olivine                              | —————        |                  |                   |                      |                     |                      |           |
| Bronzite                             | —————        |                  |                   |                      |                     |                      |           |
| Cr-Spinel                            | —————        | .....            |                   |                      |                     |                      |           |
| Serpentine<br>(Chrysotile Lizardite) |              | —————            |                   |                      |                     |                      |           |
| Ferrite-chromite                     |              | .....            | —————             | —————                | —————               | —————                | —————     |
| Calcite<br>Fe-Dolomite               |              |                  | .....             | .....                |                     |                      |           |
| Vein<br>Carbonates                   |              |                  |                   |                      | .....               | —————                |           |
| Quartz                               |              |                  | —————             | —————                |                     |                      |           |
| Jasperoid                            |              |                  |                   | .....                | —————               |                      |           |
| Chalcedony                           |              |                  |                   |                      | —————               |                      |           |
| Pyrite                               |              |                  |                   | ———                  | ———                 |                      |           |
| Sinnabar                             |              |                  |                   | ———                  | ———                 |                      |           |
| Mercury                              |              |                  |                   | ———                  | ———                 |                      |           |
| Goethite<br>Iron oxides              |              |                  |                   |                      |                     |                      | —————     |

Continental Rifts to Oceanic Basins to Subduction Zones", *Earth and Planetary Science Letters*, v.91, 297 P.311.

**Çolakoglu, A. R., 2007**, "Geology and geochemical characteristics of Geva listwaenites (Van-Turkey)", *Journal of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, Yerbilimleri*, 30 (1), P.59-81.

**Coleman, R.G., 1971**, "Petrologic and Geophysical nature of serpentinites", *Geological Society of America Bulletin*, v.82, P.897-918.

**Coleman, R.G., 1977**, "Ophiolites: ancient oceanic lithosphere?", *New York, Springer-Verlag*, P.229.

**Davoudzadeh, M., 1991**, "Geological map of Naevin", scale 1:100,000. *Geological Survey of Iran*.

**Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1991**, "An introduction to the rock forming minerals", *Longman Scientific & Technical*, P.528.

**Emamalipour, A., 1994**, "Geochemistry and mineralization mercury in the Listwaenites of Khoy ophiolite", *M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*, P.142.

**Karimzadeh, H., 2014**, "Mineralogical and geochemical studies of hydrothermal alterations (Listwaenitization)", *Southern part of the Naevin ophiolite, Central Iran and Khoy ophiolite (Khangoli) NW of Iran. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran*, P.146.

**Kerrick, R.W., 1989**, "Geochemical evidence on the source of fluids and solutes for shear zone hosted mesothermal Au deposits", in *mineralization in shear zones, J.T. Bursnal, Editor, Geological association of Canada, Short Course Notes*, v.6, P.129-197.

**Mason, B. and Moore, K.B. (translated by Moore, F. and Sharafi, A.A.), 2003**, "Principles of Geochemistry", *Shiraz University Press, Shiraz*, P.566.

**Nasir, s., Al Sayigh, A.R., Al Harthy, A., Al-Khribash, S., Al-Jaaid, O., Musllam, A. A., Al Mishwat, A., saidi, S., Al-Bu, 2004**, "Mineralogical and Geological characterization of Listwaenite from the Semail ophiolite", *Oman, Chemie der Erde-Geochemistry, Article in press*.

**Noghreyan, M., Mackizadeh, M.A., Sharafat, Sh., 1998**, "Petrographical and geochemical studies in the Listwaenites of Central Iran ophiolites", *University of Isfahan, Isfahan, Report*, P.66.

**Rose, G., 1837**, "Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem kaspischen Meere Volume 2: Reise nach dem sudlichen Urals und dem kaspischen Meere", *Uebersicht der Mineralien und Gebirgsarten des Ural. Berlin, G. E. Reimer (Verlag der sanderschen Buchhandlung), XV plus 606p and paltes I-V*.

**Saeidi, M., 2007**, "Petrogenetical studies in the Listwaenites of ultramafic rocks, North of Naevin (Central Iran)", *M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran*, P.120.

## نتیجه گیری

سرپانتینی شدن پریدوتیت اولاً باعث ایجاد سنگی می گردد که نسبت به سنگ منشاء خود سبک تر و دارای تخلخل و آب بیشتر است و در نتیجه شرایط مناسبی را برای چرخش آب های گرم فراهم می نماید. ثانیاً باعث ازدیاد مقداری  $\text{CaO}$  و  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{MgO}$  می گردد که در ساختار سرپانتینیت جای نگرفته اند. این عناصر در محلول هایی با  $\text{XCO}_2$  بالا غنی شده و در شرایط مناسب موجب لیستونیتی شدن سرپانتینیت ها می شوند. عناصری چون  $\text{Cr}$  و  $\text{Ni}$ ،  $\text{Co}$  در لیستونیت ها با میانگین مقدار این عناصر در سنگ های الترامافیک تقریباً اختلاف کمی دارند و به خصوص در  $\text{Co}$  و  $\text{Ni}$  که این امر نشانگر عدم فعالیت زیاد عناصر فوق در حین فرآیندهای لیستونیتی شدن و همچنین نشانگر منشا الترامافیکی این سنگ ها می باشند. لیستونیت ها از دیدگاه اقتصادی دارای آنومالی در عناصر با ارزشی چون  $\text{Sb}$ ،  $\text{Hg}$ ،  $\text{Au}$ ،  $\text{As}$  می باشند. طلا و جیوه در لیستونیت سیلیسی یا بربیریته ها به میزان قابل توجهی وجود دارند که در مناطق مورد مطالعه ما، بررسی های کانی شناختی و آنالیز شیمیایی این نوع لیستونیت ها حضور طلا در نایین و جیوه در خان گلی مورد تایید قرار می دهد.

بررسی کانی شناسی و ژئوشیمی لیستونیت های جنوب افیولیت نایین و افیولیت خوی - چالدران (خان گلی) در سه گروه لیستونیت های کربناته، لیستونیت های سیلیسی - کربناته (فراوانی بالا) و لیستونیت های سیلیسی قابل تقسیم بندی هستند ولی موضوعی که مدنظر این تحقیق می باشد این است که از نظر کانی شناختی مرزی مشخص میان انواع لیستونیت ها به آن صورت دیده نمی شود، به طوری که در برخی موارد حالت بینابین میان این ها دیده می شود. و همین طور قابل ذکر است لیستونیت را نمی توان فقط یک نمونه ی سنگی صرف در نظر گرفت. چرا که لیستونیتی شدن فرآیندی هست تدریجی و همین طور روی سنگ میزبان خود به صورت مرحله ای و در شرایط های مختلف فیزیکی شیمیایی اثر می گذارد. به طوری که کربنات و سیلیس از نظر شرایط تشکیل،  $\text{PH}$  و  $\text{Eh}$  کاملاً با هم متفاوت هستند. در حالی که این کانی ها در لیستونیت ها در کنار هم دیده می شوند، این موضوع نشان از مرحله ای بودن تشکیل این سنگ ها است.

## تشکر و قدردانی

از اساتید محترم جناب آقای دکتر محمد علی مکی زاده و آقای دکتر موسی نقره ثیان از گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان نهایت تشکر را دارم.

## مراجع

**Alavi, M., Bolourchi, M.H., Navai, I., 1975**, "Geological map of Maku, scale 1:250,000", *Geological Survey of Iran*.

**Bonatti, E., Michael, P.J., 1989**, "Mantle Peridotites from