



IRANIAN SOCIETY of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

Vol. 17, No. 3, Fall 1388/2009

IRANIAN JOURNAL of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

## Mineralogy, geochemistry and genesis of carbonate – silica serpentines (listwaenite) in north of Nain ophiolite (west of central Iran)

M. Saidi<sup>1\*</sup>, S. Falahati<sup>1</sup>, M. Noghreyan<sup>1</sup>, M. Khalili<sup>1</sup>, M. Ghahraipour<sup>2</sup>

1- Department of Geology, University of Isfahan

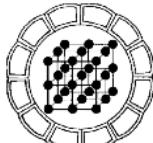
2- Geological Survey of Iran

(Received: 20/11/2008, in revised form: 5/5/2009)

**Abstract:** The mantle sequence serpentinitized peridotites of north of Nain have been converted to carbonate- silica assemblage known as listwaenite at various temperature and pH in response to CO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> bearing fluids. On the basis of carbonate and silica minerals content, three types of listwaenite have been recognized: carbonate, carbonate- silica and silica listwaenites. Generally carbonate minerals are magnesite, dolomite, ferrite-dolomite and ankerite. Calcite and other carbonate minerals are rare. Silica minerals (including quartz, chalcedony and chert) accompanied by accessory Cr-spinel, chlorite, sulfide minerals also occur in listwaenites. Silica matrix in silica listwaenite containing high amounts of Hg, Ag and As elements and shows that these elements have transported by SiO<sub>2</sub> bearing hydrothermal fluids as arsenide complexes.

**KeyWords:** *peridotites, Listwaenite, Nain ophiolite, mercury*

\*Corresponding author, Tel.: +98 (0311) 3247709, E-mail: scisaidi@yahoo.com



## کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و چگونگی تشکیل سرپانتینیت‌های کربناتی – سیلیسی (لیستونیت) شمال نایین (باختر ایران مرکزی)

معصومه سعیدی<sup>۱\*</sup>، سمیه فلاحتی<sup>۱</sup>، موسی نقره‌بیان<sup>۱</sup>، محمود خلیلی<sup>۱</sup>، مهرداد قهرایی پور<sup>۲</sup>

۱- اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

۲- تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

(دریافت مقاله: ۸۷/۸/۳۰ ، نسخه نهایی: ۸۸/۲/۱۶)

**چکیده:** پریدوتیت‌های سرپانتینی شده دنباله گوشته‌ای افیولیت شمال نایین (باختر ایران مرکزی) تحت تاثیر آبگون‌های حاوی  $\text{CO}_2$  و  $\text{SiO}_2$  در شرایط دما و pH متفاوت به مجموعه کربناتی – سیلیسی تحت عنوان لیستونیت تبدیل شده‌اند. بر اساس فراوانی کانی‌های کربناتی (دولومیت، منیزیت، آنکریت) و سیلیس سه نوع لیستونیت کربناتی، کربناتی – سیلیسی و سیلیسی حاصل شده‌اند. به طور کلی کانی کربناتی غالب در لیستونیت‌ها، منیزیت، دولومیت آهن‌دار و آنکریت بوده و کلسیت و کربنات‌های دیگر در مقادیر کمتر حضور دارند. فازهای سیلیس (شامل کوارتز، کلسیتونیت و چرت) همراه با مقادیر نادر کروم اسپینل، کلریت، هماتیت، گوتیت، اکتینولیت و پیریت نیز در لیستونیت‌ها حضور دارند. زمینه سیلیسی در لیستونیت سیلیسی حاوی مقادیر بالایی جیوه، نقره و آرسنیک است که نشان می‌دهد که این عناصر به صورت مجموعه‌های آرسنیدی در گرمابی‌های حاوی  $\text{SiO}_2$  حمل شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** پریدوتیت، لیستونیت، افیولیت نایین، جیوه.

کانی‌های سیلیس در نتیجه عملکرد آبگون‌های غنی از  $\text{SiO}_2$  حاصل شده‌اند. فاز ماقمایی ائوسن که پس از جای‌گیری افیولیت رخ داده است، با افزایش دمای زمین گرمایی در پوسته قاره‌ای ایران مرکزی منجر به تشکیل و فعل شدن سیستم‌های شکستگی و درز و ترک در پوسته و فعالیت دوباره گسل‌های قدیمی شد، و انرژی لازم برای تشکیل سلول‌های همرفتی و چرخش آبگون‌های ماقمایی - دگرگونی - جوی را در پوسته فراهم کرده است. چرخش آبگون‌ها در سطوح مختلف پوسته سبب اتحلال  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_2$  و عناصر دیگر از سنگ‌های مسیر شده است. شاره غنی از  $\text{H}_2\text{O}$  -  $\text{CO}_2$  با عبور از کanal-های شکستگی در واکنش با پریدوتیت‌های سرپانتینیزه سست و دگرسان پوسته اقیانوسی که بخش عمده دنباله افیولیتی شمال نایین را تشکیل داده‌اند، همراه با کاهش فشار، کربنات‌ها

**مقدمه**  
واژه لیستونیت را اولین بار رز [۱] برای توصیف سنگ‌های الترامافیک و مافیک دگرسان حاوی کربنات - سرسیت - پیریت که در اثر فرایند دگرسانی کوارتز-کربنات شکل گرفته- اند، به کار برد. در اروپا و آمریکای شمالی برای توصیف چنین سنگ‌هایی از دگرسانی سیلیکا - کربنات استفاده می‌شود. جریان شاره‌های حاوی  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{CO}_2$  در طول شکستگی‌های سرپانتینیت، باعث تشکیل لیستونیت می‌شود. دگرسانی گرمابی پریدوتیت‌های سرپانتینیتی شده افیولیت ملانژ شمال نایین پس از جای‌گیری آن سه نوع مشخص لیستونیت ایجاد کرده است: لیستونیت‌های کربناتی، لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی و لیستونیت‌های سیلیسی. گرمابی‌های حاصل از تشکیل لیستونیت‌های کربناتی از  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{CO}_2$  غنی بوده‌اند، در حالی که لیستونیت‌های حاوی

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۱ ۳۲۴۷۷۰۹، پست الکترونیکی: scisiaidi@yahoo.com

مدل sp sfor pioneer در دانشگاه اصفهان و شرکت کانسواران بینالود تهران به انجام رسید.

زمین‌شناسی منطقه

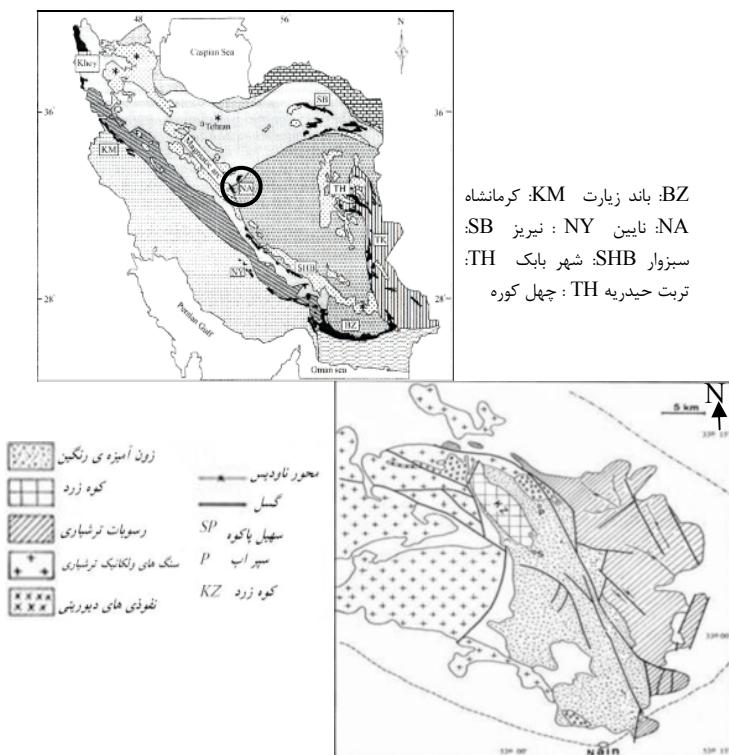
افیولیت ملانژ شمال نایین بخشی از مجموعه افیولیتی نوار حلقوی خرده ایران مرکزی است که در باخته این زون واقع شده است (شکل ۱). دنباله سنگ‌شناختی این مجموعه افیولیتی در بخش گوشه‌ای خود شامل هارزبورژیت، دونیت، لرزولیت، ورلیت و پیروکسینیت است که در حجم گستره‌ای سرپانتینیتی شده‌اند. سنگ‌های الترامافیک و مافیک کومولایی، گابروی ایزوتروپ، پلاژیوگرانیت، دایک‌های صفحه‌ای، گدازه‌های بالشی، رادیولاریت و واحد آهک پلاژیک نیز بخش پوسته‌ای این دنباله را تشکیل داده‌اند [۴ تا ۱۳]. در شمال نایین لیستونیت‌ها در ده کیلومتری شمال شهر نایین، جنوب و باخته روستای گل‌تنگو، جنوب روستای سپر آب و شمال روستای سهیل پاکوه بیشترین گستردگی، را دارند [۱۴].

لیستونیت‌ها در برخی مناطق مانند جنوب سپرآب به دلیل به هم ریختگی زمین‌ساختی واحدها در مجاورت سنگ آهک-های کرتاسه فوچانی، قار گرفته‌اند.

و عناصر دیگر را در سنگ میزبان بر جای گذاشته و منجر به تشکیل لیستونیت‌ها شده است. بررسی لیستونیت‌ها از دیدگاه نظری و عملی سودمند است، زیرا این سنگ‌ها میزبان نهشته‌های طلا، آرسنیک، کبالت، نیکل، تنگستن، نقره و جیوه خواهند شد (برای مثال [۲، ۳]).

روش کار

به دنبال چندین پی جویی صحرایی منطقه، مشاهده رخمنون های لیستونیتی و نمونه برداری هدف دار، تعیین فازهای مختلف لیستونیتی شدن در صحراء در پی داشت. بررسی های میکروسکوپی و سنگ شناختی؛ تهیه مقطع نازک و نازک صیقلی از نمونه های پریدوتیتی (بیشتر هارزبورژیت)، سرپانتینیت و لیستونیت، سپس بررسی آن ها گام بعدی این کار پژوهشی بوده است. فازهای کانی ایجاد شده در جریان لیستونیتی شدن به روش پراش پرتو ایکس (XRD) در دانشگاه اصفهان و استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM - EDX) مدل XL30 در دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس تهران شناسایی شدند. شناخت ترکیب شیمی لیستونیت ها و سنگ مادر آن ها به روش فلورسانی پرتو ایکس (XRF) (



شکل ۱ (الف) موقعیت افیولیت شمال نایین با توجه به کمریندهای افیولیتی اصلی در ایران [۱۵] ب) نقشه ساده شده واحدهای سنگی و زمین-ساختی منطقه مورد بررسی [۴].

این نوع از لیستونیت فراوان‌تر از انواع دیگر است. کانی یادشده تحت شرایط اکسایش ناشی از هجوم آبگون‌های سیلیسی به سنگ در حواشی به فریت کرومیت دگرسان شده است (شکل ۲d). خورده شدگی در کانی‌های کروم اسپینل قابل مشاهده است (شکل ۲e). کانی کربناتی در این نوع از لیستونیت بیشتر از نوع منیزیم دار است. دلومیت شبیه لوزی رخ و منطقه‌ای در بعضی از مقاطع قابل مشاهده است (شکل ۲f). کانی‌های سیلیس و کربنات همزاد نیستند و در شرایط متفاوت pH و Eh دمای گرمابها ته نشین شده‌اند. در بعضی مقاطع هجوم آبگون‌های سیلیسی به سنگ باعث انحلال حواشی کربنات شده و تشکیل بافت جزیره‌ای را داده است (شکل ۲g). تناوب و تقاطع رگه‌های سیلیس-کربنات نشانه تغییر تناوبی شرایط و ماهیت گرمابهاست (شکل ۲h). لیستونیت سیلیسی شمال نایین که در آن بیش از ۵۰ درصد حجم سنگ را سیلیس تشکیل داده است، به لحاظ فراوانی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. زمینه سنگ از سیلیس ریز دانه تشکیل شده است. کروم اسپینل تحت شرایط اکسایش که آبگون‌های سیلیسی به سنگ تحمیل کردۀ‌اند، تمامًا به فریت کرومیت تبدیل شده‌اند. در آنالیز SEM-EDX از این سنگ‌ها در زمینه سیلیسی مقادیر قابل توجهی Hg، Ag و As تشخیص داده شدند (جدول ۱).

### ژئوشیمی

نتایج تجزیه شیمیایی هارزبورژیت، سرپانتینیت و انواع لیستونیت‌های شمال نایین همراه با تجزیه شیمیایی کربنات‌های تنه‌نشستی [۱۸] در جدول ۲ آمده‌اند. در تعیین انواع لیستونیت، مهم‌ترین پارامترها میزان  $\text{SiO}_2$  و LOI در این سنگ‌هاست. بر این اساس در لیستونیت‌های کربناتی میزان  $\text{SiO}_2$  پایین (در نوع منیزیتی پایین تر از دلومیتی)، ولی به دلیل مقادیر فراوان  $\text{CO}_2$  و گونه‌های فرار دیگر، میزان LOI بالاست. در لیستونیت‌های سیلیسی روند وارون مشاهده می‌شود، به طوری که میزان LOI پایین و درصد  $\text{SiO}_2$  بالاست. لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی هم به لحاظ میزان  $\text{SiO}_2$  و هم مقدار LOI حد واسطه نوع دیگر دیده می‌شوند (شکل ۳). لیستونیت کربناتی نوع منیزیتی از  $\text{MgO}$  بالاتر و  $\text{SiO}_2$  و  $\text{CaO}$  ای پایین‌تر نسبت به لیستونیت-

### کانی‌شناسی لیستونیت‌ها

لیستونیت‌های شمال نایین به لحاظ کانی‌شناسی و بنا بر تقسیم‌بندی [۱۷] در سه گروه ۱ (کربناتی)، ۲ (سیلیسی) و ۳ (سیلیسی) قرار می‌گیرند. بر اساس فراوان‌ترین نوع کانی کربناتی موجود، لیستونیت‌های کربناتی در شمال نایین به زیر گروه‌های منیزیتی و دولومیتی تقسیم می‌شوند. این گروه از لیستونیت‌ها در نمونه دستی دارای سطح شکست سفید تا نخودی رنگ بوده و سطوح خشندی را تشکیل داده‌اند. رخمنون لیستونیت به دلیل انحلال مواد کربناتی توپوگرافی هموار داشته و دارای حفره‌های انحلالی (شکل ۲a) است. به همراه منیزیت و دولومیت، انواع دیگر کانی‌های کربناتی مانند آنکریت - فریت دولومیت - کلسیت نیز در بررسی - های XRD و EDX- SEM تشخیص داده شده‌اند. از رشد کانی‌های کربناتی بافت‌های موزائیکی گرانولblastیک، گلوله‌ای (شکل ۲b)، شکاف پرکن<sup>۱</sup>، نواری، گلوله‌ای و برشی حاصل شده است. در سنگ‌هایی که درجه لیستونیتی شدن شدید نیست، بقایای الیوین و ارتوپیروکسن سرپانتینیتی شده که بافت شبکه‌ای را در سنگ به وجود آورده‌اند، مشهود است. کروم اسپینل با بافت کششی<sup>۲</sup> و خرد شده به ندرت در مقاطع دیده می‌شود که تنها کانی اولیه در مقاطع لیستونیتی است و نشانه سنگ با خاستگاه الترامافیک است. رگچه‌های سیلیس و بلوردان‌های کلسیدونی در بعضی مقاطع دیده می‌شوند و نشان از فاز سیلیسی شدن پس از کربناتی شدن دارند. کلسیت گرمابی به صورت خودشکل در رگه‌های سیلیسی که بعداً سنگ را مورد تهاجم قرار داده است، دیده می‌شود (شکل ۲c). رگه کلسیدونی شعاعی به صورت میان روزنله‌ای<sup>۳</sup> میان کانی‌های کربناتی جای گرفته است. لیستونیت کربناتی - سیلیسی که فراوان ترین نوع لیستونیت را در شمال نایین تشکیل داده است، از انباست کانی‌های کربنات و سیلیس به وجود آمده است. در این سنگ‌ها بقایای بافت شبکه‌ای سرپانتین قابل مشاهده است و نیز کلریت و اکتنیولیت که از دگرسانی کانی‌های مافیک سنگ مادر حاصل شده‌اند، در این دسته از لیستونیت‌ها حضور دارند. کروم اسپینل در

1- Open Space Filling

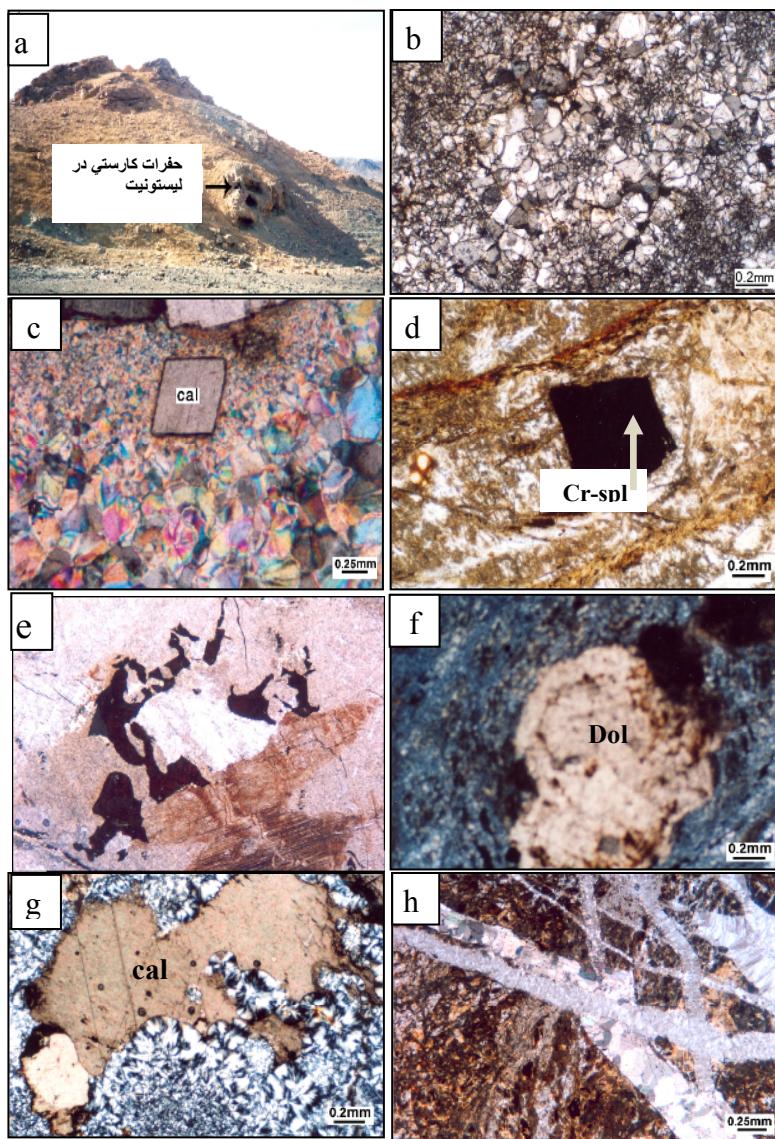
2- pull – apart

3- Interstitial

( $\text{SiO}_2 < 50\%$ ) قرار می‌گیرند، در حالی که لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی به قطب  $\text{SiO}_2$  نزدیک‌تر و لیستونیت‌های سیلیسی بسیار نزدیک به قطب  $\text{SiO}_2$  (با بیش از ۵۰ درصد  $\text{SiO}_2$ ) قرار می‌گیرند.

لیستونیت‌های کربناتی دولومیتی با بیش از ۳۰ درصد  $\text{CaO}$  نزدیک‌تر به قطب کلسیم قرار می‌گیرند. لیستونیت‌های کربناتی - سیلیسی در میانه خط  $\text{SiO}_2$ - $\text{MgO}$  و لیستونیت‌های سیلیسی نزدیک قطب  $\text{SiO}_2$  دیده می‌شوند.

های نوع دولومیتی برخوردار است. در لیستونیت‌های کربناتی نوع دولومیتی مقادیر  $\text{CaO}$  و  $\text{MnO}$  بالا و میزان  $\text{MgO}$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  پایین است. دانه‌های سیاه روی سطوح کلسیت در لیستونیت کربناتی به دلیل وجود اکسیدهای منگنز است. رنگ سرخ قهوه‌ای این سنگ‌ها به دلیل حضور اکسیدهای هیدروکسیدهای آهن است. در نمودار سه تایی  $\text{SiO}_2\text{-}\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-}\text{CaO} + \text{MgO}$  [۲۰] (شکل ۴)، لیستونیت‌های کربناتی در راستای خط  $\text{CaO} + \text{MgO} > 50\%$  ( $\text{SiO}_2\text{-}\text{CaO} + \text{MgO}$ )



شکل ۲) a) تشکیل حفره‌های انحلالی در لیستونیت کربناتی. b) کربنات‌های گلوله‌ای در لیستونیت کربناتی (PPL). c) کلسیت گرمابی در رگه سیلیسی (PPL). d) فریت کرومیت در لیستونیت (PPL). e) کروم اسپینل با بافت گسیخته در لیستونیت (XPL). f) دولومیت منطقه‌ای در لیستونیت کربناتی - سیلیسی (PPL). g) بافت جزیره‌ای در لیستونیت سیلیسی - کربناتی (PPL). h) تقاطع رگه‌های کربنات و سیلیس در لیستونیت (PPL). علامت اختصاری کانی‌ها بر اساس [۱۹]، Dol برای کلسیت، Cal برای دولومیت و Cr-sp برای کروم اسپینل است.

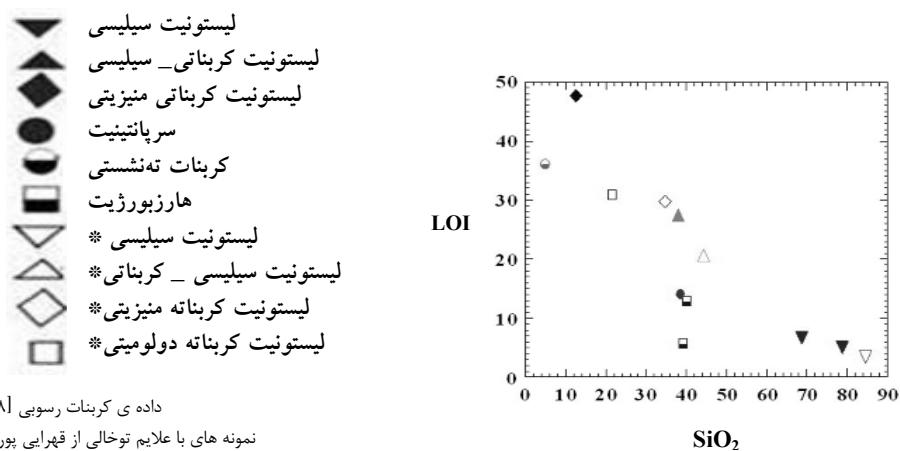
جدول ۱ تجزیه SEM - EDX از سیلیس و زمینه‌ی سیلیسی در لیستونیت شمال نایین (below detection limit b.d)

تیپ لیستونیت	سیلیسی	سیلیسی	- کربناته سیلیسی	سیلیسی	- کربناته سیلیسی	- کربناته سیلیسی
SiO <sub>2</sub> (wt%)	۸۷,۵۵	۹۷,۴	۹۵,۲	۹۴,۲۲	۸۰,۸۴	۷۷,۴۴
TiO <sub>2</sub>	۰,۵۶	۰,۱۷	۰,۲۲	•	•	۰,۳۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳,۴۷	۱,۴۴	۲,۱۹	۲,۲۴	۳,۴۷	۳,۵۹
Cr <sub>2</sub> O <sub>۳</sub>	۰,۸	۰,۲۵	۰,۱۶	b.d.	۰,۲۵	۰,۱۹
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> <sup>T</sup>	۱,۸۹	•	۰,۴۵	b.d.	۲,۵۵	۰,۱۶
MnO	۰,۷۹	۰,۰۴	۰,۲	b.d.	۰,۱۱	۰,۱۶
MgO	۱,۰۲	•	۰,۸۱	۰,۹۹	۶,۹۹	۶,۴۵
CaO	۱,۲۷	۰,۰۱	۰,۰۶	۰,۱۹	۲,۴۸	۳,۱۹
Na <sub>۲</sub> O	b.d.	b.d.	b.d.	۰,۲۲	۱,۱۴	۲,۵۳
K <sub>۲</sub> O	۰,۲۶	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۱۵	۰,۲	۰,۳
ZnO	۱,۲۱	۰,۳۲	۰,۳۲	b.d.	۰,۲۴	۰,۵۲
NiO	۱,۲	۰,۱۸	۰,۳۳	b.d.	۰,۲۴	۰,۳۸
AgO	b.d.	b.d.	b.d.	۰,۲۹	۰,۱۱	۰,۱۴
HgO <sub>۲</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	۱,۰۱	۰,۹۷	۰,۹۶
As <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	۰,۶۹	۰,۴۱	۰,۵۸
total	۱۰۰	۹۹,۸۶	۱۰۰,۰۱	۱۰۰	۱۰۰	۹۶,۹۳

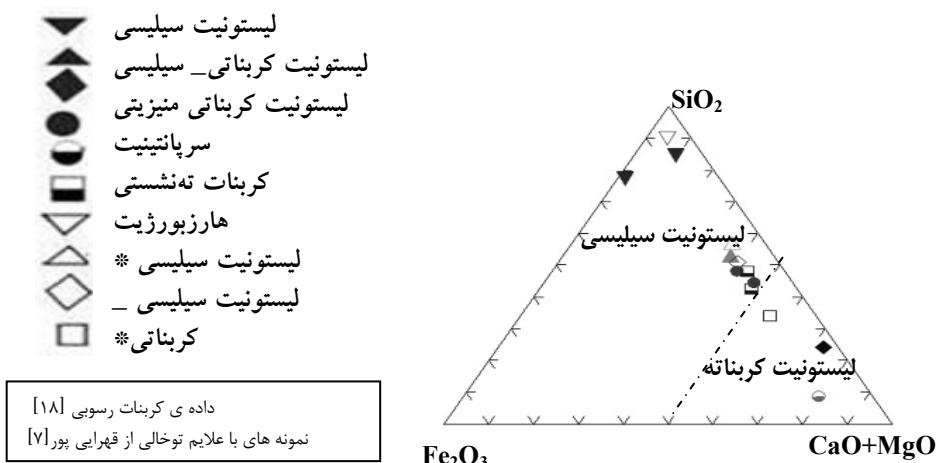
جدول ۲ ترکیب شیمیایی هارزبورژیت، سرپانتینیت و انواع لیستونیت در شمال نایین به روش XRF و NAA. ترکیب شیمیایی کربنات‌های ته-نشستی [۱۸] برای مقایسه داده شده است. (اعداد داخل پرانتز تعداد نمونه‌ها در میانگین‌اند).

تیپ سنگ	لیستونیت - کربناته سیلیسی	لیستونیت سیلیسی	لیستونیت سیلیسی	لیستونیت کربناته منیزیتی	متوسط سرپانتینیت (%)	هارزبورژیت سالم	متوسط لیستونیت کربناته منیزیتی (%)	متوسط لیستونیت کربناته دلوامیتی (%)	متوسط لیستونیت کربناته سیلیسی (%)	متوسط لیستونیت سیلیسی (%)	متوسط سنگ کربناته
SiO <sub>2</sub> (wt%)	۳۷,۸۶	۶۸,۵۹	۷۸,۶۳	۱۲,۵	۳۹,۳۸	۳۹,۵۶	۳۴,۶۴	۲۱,۹۵	۴۴,۱۳	۸۴,۵۴	۵,۱۳
TiO <sub>2</sub>	b.d.	b.d.	۰,۰۳	b.d.	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶
Al <sub>2</sub> O <sub>۳</sub>	۰,۵۶	۰,۶۸	۰,۹۲	۰,۴۳	۱,۳۹	۰,۶۲	۰,۳۸	۲	۰,۷۷	۰,۷۷	۰,۷۹
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۶,۷۲	۱۸,۴۷	۵,۷۶	۱,۷۱	۷,۷۱	۹,۳	۶,۱۲	۶,۷۰	۵,۶۷	۵,۰۲	۷,۴۴
MnO	۰,۰۹	b.d.	۰,۱۸	۰,۰۳۳	۰,۰۹	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۰۳	۰,۱۴
MgO	۲۲,۱۱	۰,۹۹	۳,۸۵	۲۶,۸۱	۳۴,۸۹	۴۲,۹	۲۴,۸۱	۱۲,۱۶	۱۶,۲۱	۲,۳۲	۷,۷۹
CaO	۴,۴۳	۰,۵۷	۴,۹۲	۰,۵۱	۰,۸۴	۱,۶۵	۲,۶۵	۲۴,۷۴	۱۱,۲۵	۲,۱۱	۴۲,۲۹
K <sub>۲</sub> O	۰,۰۵	۰,۱۵	۰,۱۴	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۶۷	۰,۷۵	۰,۵	۰,۵۲	۰,۳۲
LOI	۲۷,۴۴	۶,۶۰	۵,۰۶	۴۷,۶۶	۱۳,۸۱	۵,۰۴	۲۹,۶۶	۳۰,۶۵	۲۰,۶۶	۳,۴۷	۳۵,۸۲
MgO / SiO <sub>2</sub>	۱,۵۲	۰,۵۸	۰,۰۱	۰,۰۵	۲,۹۴	۰,۸۸	۱,۰۸	۰,۷۲	۰,۵۵	۰,۳۷	۰,۰۳
As(ppm)	b.d.	۱۳۲۰۰	b.d.	b.d.	b.d.	۶	۴۰,۱	۲۲,۲۱	۹,۴۲	۱۰,۶۲	b.d.
Cr	b.d.	۵۰۲۰	۵۳۶	b.d.	b.d.	۳۵۶۸	۳۴۳۵	۲۳۲۲,۵	۲۸۴۰	۵۲۹۰	۱۱
Ni	۲۲۴۰	۱۱۱۰	b.d.	۱۵۵۰	b.d.	۲۶۲۸	۲۲۸۸	۱۳۱۷,۰۷	۱۵۹۰	۲۲۸۰	۲۰
Sr	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	۳	۱۸۵	۴۲۴,۷	۲۷۳,۷۵	۱۵۲	۶۱۰
Co	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	۱۲۰	۷۸,۸۲	۶۹,۷۹	۷۰,۵۰	۵۵,۸۸	b.d.

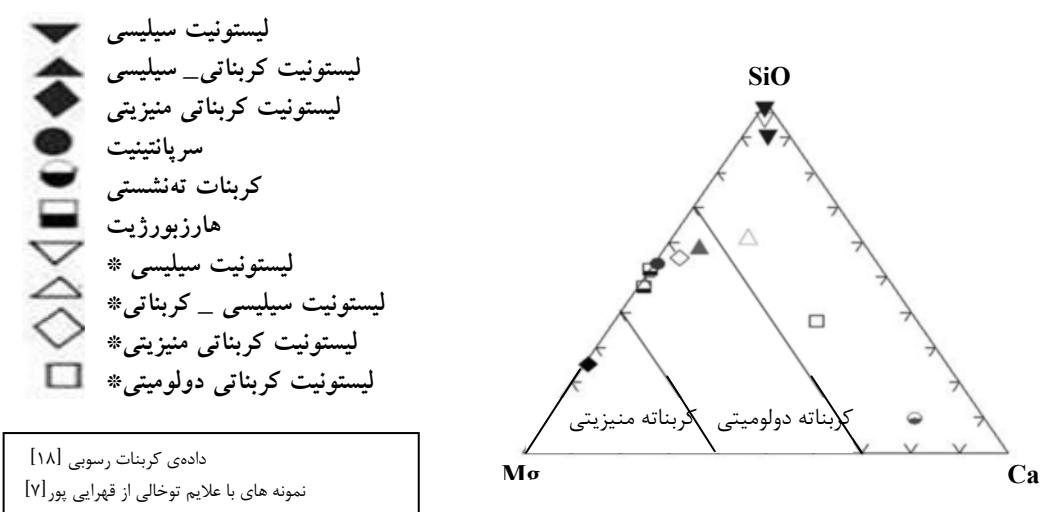
\* قهرایی پور (۱۳۸۰)



شکل ۳ نمودار LOI بر حسب  $\text{SiO}_2$ . در این نمودار می‌توان انواع لیستونیت را بر حسب مقادیر  $\text{SiO}_2$  و  $\text{LOI}$  تمیز داد.



شکل ۴ نمودار سه تابی  $\text{SiO}_2\text{-}\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO} + \text{MgO}$  [۲۰]. در این نمودار می‌توان لیستونیت‌های کربناتی، سیلیسی و کربناتی- سیلیسی را بر حسب مقدار درصد  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO} + \text{MgO}$  تمیز داد.



شکل ۵ نمودار  $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO}$  [۲۰] لیستونیت‌های سیلیسی نزدیک قطب  $\text{SiO}_2$  و لیستونیت‌های کربناتی گونه منیزیتی در راستای خط  $\text{SiO}_2\text{-MgO}$  و نزدیک  $\text{MgO}$  قرار می‌گیرند. لیستونیت‌های کربناتی گونه دولومیتی در میانه مثلث، و لیستونیت‌های کربناتی- سیلیسی در میانه خط  $\text{MgO-SiO}_2$  قرار می‌گیرند.

(هارزبورژیت تقریباً سالم در جدول ۳) و دگرسان علامت مثبت (افزایش) یا منفی (کاهش) را قبل از عدد قرار داده و نتایج را روی نمودار نشان داده‌ایم (جدول ۳ و ۴ و شکل ۶). چنانکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Cr}$  در لیستونیت‌های کربناتی نوع منیزیتی کاهش یافته است. کاهش  $\text{MgO}$  در این دسته از لیستونیت‌ها نسبت به انواع دیگر کمتر است. کاهش میزان  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در لیستونیت‌های کربناتی منیزیتی را می‌توان به مقادیر کمتر کروم اسپینل در این دسته از سنگ‌ها نسبت داد. بیشترین میزان  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  در لیستونیت‌های سیلیسی مشاهده می‌شود. در مقابل میزان  $\text{MgO}$  و  $\text{LOI}$  در این دسته از لیستونیت‌ها نسبت به هارزبورژیت و سرپانتینیت به شدت کاهش یافته است.

جدول ۳ میانگین ترکیب شیمی انواع لیستونیت و سنگ منشا آن‌ها در افیولیت شمال نایین (اعداد داخل پرانتز تعداد نمونه‌ها در میانگین است).

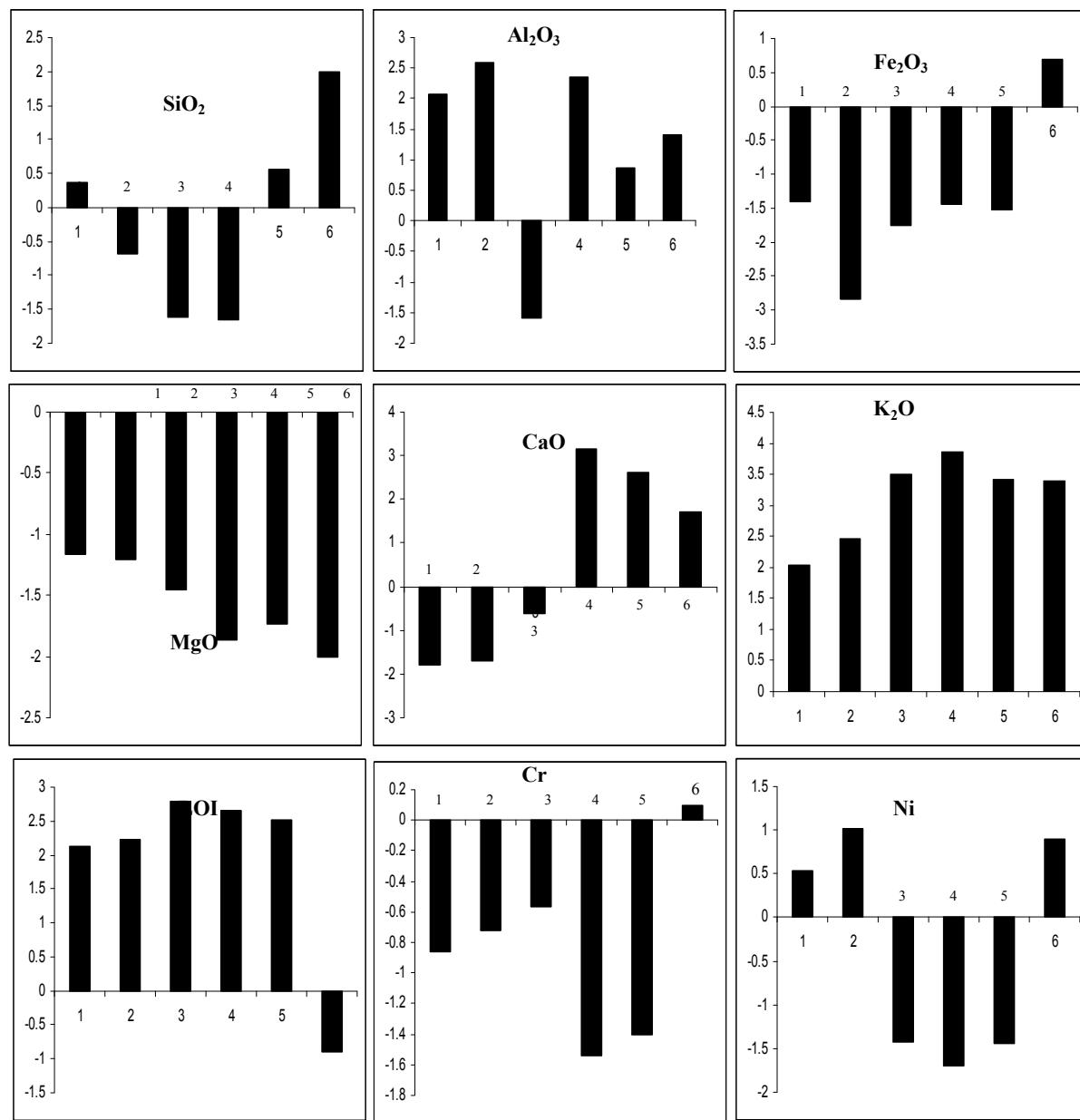
اکسید	هارزبورژیت تقریباً سالم (۱)	هارزبورژیت سرپانتینیزه (۱)	سرپانتینیت کربناته (۳)	میانگین لیستونیت تیپ کربناته منیزیتی (۳)	میانگین لیستونیت تیپ کربناته دولومیتی (۳)	میانگین لیستونیت تیپ ۲ (۵)	میانگین لیستونیت تیپ ۳ (۵)
$\text{SiO}_2$ (wt%)	۳۹,۵۶	۴۰,۴۷	۳۷,۶	۲۲,۵۷	۲۱,۹۵	۴۱	۷۷,۲۵
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۰,۶۲	۱,۳۶	۳,۰۲	۰,۴	۲	۰,۶۶	۰,۷۹
$\text{Fe}_2\text{O}_3^T$	۹,۳۰	۶,۹۴	۷,۰۱	۳,۹۱	۶,۷	۶,۱۹	۹,۷۵
$\text{MgO}$	۴۲,۹۰	۳۶,۷۱	۳۵,۸۹	۳۰,۸۱	۱۲,۱۶	۱۹,۱۶	۲,۴
$\text{CaO}$	۱,۶۵	۰,۶۲	۰,۸۱	۱,۵۸	۲۴,۷۴	۷,۸۴	۲,۵۳
$\text{K}_2\text{O}$	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۳۳	۰,۷۵	۰,۲۷	۰,۲۷
$\text{LOI}$	۵,۵۴	۱۲,۸	۱۴,۷۹	۳۸,۶۶	۳۰,۶۵	۲۴,۰۵	۵,۰۵
$\text{Cr}(\text{ppm})$	۳۵۶۸	۳۳۱۰	۳۳۸۰	۳۴۳۵	۲۳۲۲,۵	۲۶۸۰	۳۶۱۵,۳
$\text{Ni}$	۲۶۲۸	۲۷۲۰	۲۹۰۰	۱۹۱۵	۱۳۱۷,۰۶	۱۹۱۰	۲۸۲۵

جدول ۴ لگاریتم افزایش-کاهش عناصر اصلی، کروم و نیکل در هارزبورژیت سرپانتینیده، سرپانتینیت و انواع لیستونیت نسبت به هارزبورژیت سالم افیولیت شمال نایین (ر.ک. جدول ۲).

نمونه دگرسان	هارزبورژیت سرپانتینیت شده	سرپانتینیت کربناته	میانگین لیستونیت تیپ کربناته منیزیتی	میانگین لیستونیت تیپ کربناته دولومیتی	میانگین لیستونیت تیپ ۲	میانگین لیستونیت تیپ ۳
$\text{SiO}_2$	-۰,۳۶	-۰,۶۹	-۱,۶۱	-۱,۶۵	-۰,۵۶	۲
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۲,۰۷	۲,۵۹	-۱,۶	۲,۳۵	-۰,۸۶	۱,۴
$\text{Fe}_2\text{O}_3^T$	-۱,۴	-۲,۸۵	-۱,۷۶	-۱,۴۵	-۱,۵۲	-۰,۶۸
$\text{MgO}$	-۱,۱۶	-۱,۲۱	-۱,۴۵	-۱,۸۶	-۱,۷۴	-۲
$\text{CaO}$	-۱,۸	-۱,۷	-۰,۶۱	۳,۱۵	۲,۶	۱,۷
$\text{K}_2\text{O}$	۲,۰۴	۲,۴۷	۳,۵۱	۳,۸۷	۳,۴۲	۳,۴
$\text{LOI}$	۲,۱۲	۲,۲۲	۲,۷۸	۲,۶۶	۲,۵۲	-۰,۹
$\text{Cr}$	-۰,۸۶	-۰,۷۲	-۰,۵۷	-۱,۵۴	-۱,۴	۰,۱
$\text{Ni}$	۰,۵۴	۱,۰۱	-۱,۴۳	-۱,۷	-۱,۴۴	۰,۹
کاهش	-۵,۲۲	-۷,۱۷	-۹,۰۳	-۸,۲	-۶,۱	-۲,۹
افزایش	۷,۱۳	۸,۵۶	۶,۲۹	۱۲,۰۳	۹,۹۶	۱۰,۱۸
کاهش + افزایش	۱,۹۱	۱,۳۹	۲,۷۴	۳,۸۳	۳,۸۶	۷,۲۸

نمودارهای افزایشی - کاهشی  
جانشینی هارزبورژیت برای تشکیل لیستونیت با کانی -  
شناسی و شیمی متفاوت مستلزم تغییر در غلظت  
اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب در سنگ است. برای  
محاسبه لگاریتم افزایشی - کاهشی عناصر به طریق زیر  
عمل کردیم [۲۱].

درصد کاهشی یا افزایشی = (درصد سازنده در  
هارزبورژیت سالم / درصد همان سازنده در سنگ  
دگرسان - درصد سازنده در هارزبورژیت سالم)  
تجزیء شیمیایی هارزبورژیت سالم و سنگ‌های دگرسان  
افیولیت شمال نایین در جدول ۲ آمده‌اند. از عدد حاصل،  
بدون در نظر گرفتن علامت، لگاریتم گرفته و سپس با  
مقایسه درصد سازای مورد نظر در دو سنگ نا دگرسان



شکل ۶ لگاریتم افزایش - کاهش عناصر اصلی،  $\text{Cr}$ ،  $\text{Ni}$  و  $\text{LOI}$  برای سرپانتینیت، سرپانتینیت کربناتی و انواع لیستونیت نسبت به هارزبورزیت سالم افیولیت شمال نایین (۱=سرپانتینیت ۲=سرپانتینیت کربناتی منیزیتی، ۳=لیستونیت کربناتی دولومیتی، ۴=لیستونیت کربناتی سیلیسی، ۵=لیستونیت سیلیسی، ۶=لیستونیت سیلیسی).

سیلیسی به ترتیب  $7/03$ ،  $4/96$ ،  $3/3$  و  $9/2$  درصدوزنی است.

این محاسبات نشان می‌دهند که هارزبورزیتهای شمال نایین در جریان تبدیل به سرپانتینیت، مقادیر زیادی  $\text{MgO}$ ،  $\text{CaO}$  از داده‌اند، در حالی که فقط

افزایش مطلق عناصر اصلی در لیستونیت  $6/29$  درصد وزنی برای گونه کربناتی منیزیتی،  $12/03$  درصد وزنی برای گونه کربناتی دولومیتی،  $9/69$  و  $9/18$  درصد وزنی به ترتیب برای لیستونیتهای کربناتی-سیلیسی و سیلیسی است. کاهش عناصر در سرپانتینیت، لیستونیت کربناتی، لیستونیت کربناتی-سیلیسی و لیستونیت

غلظت‌های REE هنچار شده به کندrit و پوسته قاره‌ای فوقانی در شکل ۷ و ۸ آمده‌اند. الگوی REE برای کربنات‌های تهنشستی [۱۸] برای مقایسه آورده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود، عناصر نادر خاکی در لیستونیت‌ها غلظت پایین دارند. تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی در لیستونیت‌ها در مقایسه با پوسته قاره‌ای فوقانی بیشتر است. از آنجا که این سنگ‌ها از گوشه سرچشمۀ گرفته‌اند، روند REE نسبت به کندrit نیز کمی تهی‌شدگی نشان می‌دهد که به دلیل درجه بالای ذوب بخشی سنگ خاستگاه آن‌هاست.

افزایش نسبی مقادیر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و Ni در آن‌ها دیده می‌شود.

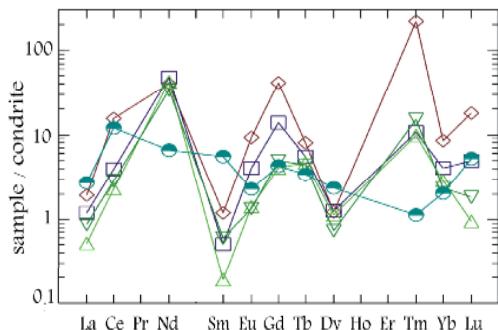
#### الگوی REE در لیستونیت‌ها

عناصر کمیاب خاکی جزء عناصری هستند که دارای کم‌ترین قابلیت انحلال بوده و در طول فرایندهای هوزادگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی نسبتاً نامتحرکند [۲۲]. لذا الگوی REE در سنگ دگرسان می‌باشد. متوسط غلظت عناصر مشابه سنگ خاستگاه آن باشد. متوسط لیستونیت عناصر کمیاب خاکی در انواع لیستونیت شمال نایین [۷] و کربنات‌های تهنشستی [۱۸] در جدول ۵ متوسط

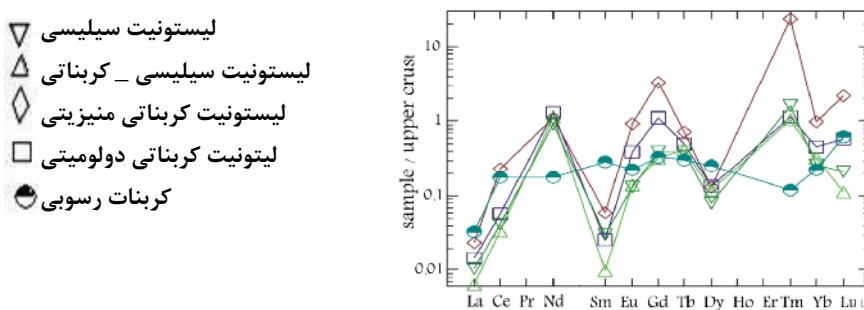
جدول ۵ متوسط REE در انواع لیستونیت افیولیت شمال نایین [۷] و کربنات‌های تهنشستی [۱۸].

REE (ppm)	نوع سنگ	لیستونیت کربناته نوع منیزیتی [۷]	لیستونیت کربناته نوع دولومیتی [۷]	-	لیستونیت کربناته سیلیسی [۷]	لیستونیت سیلیسی [۷]	کربنات رسوی [۱۸]
La		۰,۷۱	۰,۴۴		۰,۱۹	۰,۳۱	۱
Ce		۱۵	۳,۷۳		۲,۲	۲,۷۳	۱۱,۵
Nd		۲۸,۵	۳۳,۶۶		۳۰	۲۴	۴,۷
Sm		۰,۲۷	۰,۱۲		۰,۰۴	۰,۱۴	۱,۳
Eu		۰,۸۱	۰,۳۵		۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۲
Gd		۱۲,۵۵	۴,۲۷		۱,۲۴	۱,۵	۱,۳
Tb		۰,۴۷	۰,۳۲		۰,۲۷	۰,۲۵	۰,۲
Dy		۰,۴۶	۰,۴۸		۰,۴۲	۰,۲۸	۰,۹
Tm		۷,۸۴	۰,۳۸		۰,۳۵	۰,۵۳	۰,۰۴
Yb		۲,۱۵	۱,۰۲		۰,۷۲	۰,۵۹	۰,۵
Lu		۰,۷	۰,۱۹		۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۲
Ce/Yb		۶,۹۸	۳,۶۶		۳,۰۷	۴,۶۵	۲۳

- ▽ لیستونیت سیلیسی
- △ لیستونیت سیلیسی - کربناتی
- ◇ لیستونیت کربناتی منیزیتی
- لیستونیت کربناتی دولومیتی
- کربنات رسوی



شکل ۷ الگوی REE در انواع لیستونیت شمال نایین هنچار شده به متوسط کندrit [۲۳] الگوی REE کربنات تهنشستی [۱۸] برای مقایسه داده شده است.



شکل ۸ الگوی REE انواع لیستونیت، هنجار شده به ترکیب پوسته فوقانی از تیلور و مک لن [۲۴]. الگوی REE کربنات تهنه‌ستی [۱۸] برای مقایسه داده شده است.

کنترل‌های ساختاری به درون سنگ دربرگیرنده گسترش می‌یابد. بنابراین علاوه بر وجود ساختارهای درزه، گسل و شکستگی، عوامل موثر دیگری در تشکیل لیستونیت نقش دارند.

دمای موثر: فعالیتهای آذرین وابسته به بعد از جایگیزی افیولیت (فعالیتهای ماقماییسم ترشیاری) در ایران مرکزی باعث افزایش درجه زمین گرمایی، گرم شدن آب‌های سطحی و نفوذی و در نتیجه افزایش قابلیت حلایت آن‌ها شده است. لذا نقش ماقماییسم ائوسن در تشکیل لیستونیت به عنوان مotor گرمایی بسیار اهمیت دارد.

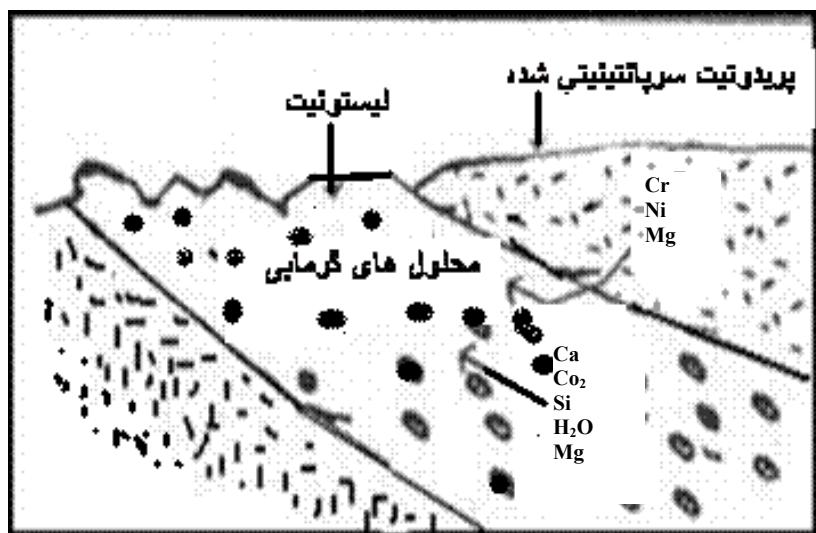
ماهیت آبگون‌های لیستونیتساز: آبگون‌های سازای لیستونیت، دارای  $\text{XCO}_2$  بala هستند. چنانکه گفته شد، فعالیت ماقمایی ائوسن در ایران مرکزی باعث افزایش درجه زمین گرمایی شده است. خاستگاه احتمالی  $\text{CO}_2$  را می‌توان کربن ماقمایی حل شده در شاره ناشی از فعالیت آذرین دانست. شاره غنی از  $\text{CO}_2$  تحت تاثیر انرژی زمین گرمایی زیادی در اعمق گرم شده و قابلیت حل کنندگی آن بالا رفته و کلریدها، سولفیدها و آرسنیدها را همراه با کلسیم، منیزیم و فلزات کمیابی نظیر  $\text{Ag}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Sb}$ ... از سنگ‌های حاوی این عناصر شسته و از طریق زون‌های گسلشی و شکستگی با خود به سطوح کم فشار حمل کرده است. با توجه به این که پریدوتیت‌های سرپانتینیده و سرپانتینیت‌ها حجم گسترهای از سنگ‌ها را در افیولیت شمال نایین تشکیل داده‌اند و این سنگ‌ها بسیار خرد شده و دگرسانند، مکان مناسبی برای نفوذ آبگون‌ها به شمار می‌روند.

REE همگرا لیستونیت‌های کربناتی شمال نایین کم‌اند و الگوی REE در آن‌ها خیلی شبیه به الگوی کربنات‌های تهنه‌ستی است. به دلیل محیط احیای لیستونیت کربناتی میزان Eu در این دسته از لیستونیت‌ها نسبت به انواع دیگر لیستونیت غنی شده است. در مقابل در محیط اکسایشی، لیستونیت‌های سیلیسی میزان Eu کاهش می‌یابد. از سوی دیگر میزان نابهنجاری Eu با فوگاسیتۀ  $\text{CO}_2$  نسبت مستقیم دارد. در لیستونیت‌های کربناتی که دارای مقادیر فراوان  $\text{CO}_2$  هستند، نابهنجاری متبت شدیدتری نشان می‌دهد. در حالی که در لیستونیت‌های سیلیسی که دارای پایین‌ترین میزان  $\text{CO}_2$  هستند، Eu کاهش می‌یابد.

## بحث

عوامل موثر در تشکیل لیستونیت شمال نایین بدین شرح است:

زمین ساخت فعال: جایگیرنی سنگ‌های الترامافیک کف اقیانوس و در پی آن گسل خودگی در راستای برقراری تعادل ایزومتری [هم فشاری]، شرایط ساختاری مناسب برای نفوذ آبگون‌های لیستونیت ساز را فراهم کرده است. علاوه بر این فاز کششی ترشیاری که پس از جایگیزی افیولیت در ایران مرکزی رخ داد، سبب ایجاد شکستگی-های جدید و یا تجدید فعالیت زون‌های گسل‌های موجود شده است. سیستم‌های درز و شکستگی به عنوان مباری اولیه نفوذ آبگون‌های لیستونیت ساز عمل می‌کنند و یک فاکتور اولیه و لازم برای تشکیل لیستونیت به شمار می‌روند. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهند که دگرسانی نافذ لیستونیتی از چندین سانتی‌متر تا ده‌ها متر خارج از



شکل ۹ شکل نموداری فرایند لیستونیتی شدن [۲۰].

REE نشان دهنده پروتولیت پریدوتیتی با درجه ذوب بخشی بالاست. زمین ساختی فعال و کنترل های ساختاری مناسب برای انتقال آبگون های لیستونیت ساز، افزایش دمای ناشی از مagma تیسم اتوسن در باخته منطقه را می توان از عوامل موثر در تشکیل لیستونیت در نظر داشت. خاستگاه  $\text{CO}_2$  ی لازم برای واکنش های لیستونیتی شدن را می توان آبگون های magma - متئوریک دانست.

#### قدرتانی

از تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان برای مساعدة در تدوین این مقاله تشکر و قدردانی می شود.

#### منابع

- [1] Rose G., "Minerologisch – 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. (1873).

با کاهش دما و فشار جزیی  $\text{CO}_2$ , قابلیت حل شوندگی کلسیم افزایش می یابد. در این شرایط کرانه های کربنات ها حل می شوند و سیلیس به صورت کوارتز و کلسیونی جانشین آن ها می شود. بدین ترتیب بافت جزیره ای در کانی های کربنات شکل می گیرد. آبگون های تا خیری حاوی  $\text{CO}_2$  و  $\text{SiO}_2$  و عناصر دیگر به صورت رگه ای، شکستگی های موجود در سنگ را پر می کنند. شکل نموداری فرایند لیستونیتی شدن [۲۰] در شکل ۹ آمده است.

#### برداشت

سرپانتینیت های شمال نایین در برخی بخش ها تحت تاثیر آبگون های حاوی  $\text{Ca}_{2+}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  و عناصر  $\text{Mg}^{2+}$  و ... به لیستونیت تبدیل شده اند. بنابر بررسی های صحرا و میکروسکوپی، لیستونیت های شمال نایین به انواع کربناتی، کربناتی - سیلیسی و سیلیسی تقسیم می شوند. لیستونیت های کربناتی - سیلیسی فراوان ترین نوع لیستونیت در شمال نایین اند. به طور کلی همه لیستونیت ها شامل مقادیر کمی از عناصر نادر خاکی هستند و الگوی بهنجار شده این عناصر نسبت به کندریت تقریباً مسطح است. تهی شدگی لیستونیت ها از

- [۱۳] سعیدی م، "مطالعه پتروژنر لیستونیت‌ها در سنگ‌های الترامافیک شمال نایین (ایران مرکزی)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۶) ۱۲۰ صفحه.
- [۱۴] نقره‌ئیان م، مکی زاده م. ع، شرافت ش، "پتروگرافی و ژئوشیمی لیستونیت‌ها در مجموعه‌های افیولیتی ایران مرکزی"، گزارش پایانی طرح پژوهشی، دانشگاه اصفهان، (۱۳۷۷) ۶۶ صفحه.
- [۱۵] Emami M. H., Sadegi M. M., Omrani S. J., "Magmatic Map of Iran", Scale 1:1,000,000, Geological Survey of Iran. (1993).
- [۱۶] علایی‌مهابادی س، فودازی م، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نایین"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی-کشور (۱۳۸۳).
- [۱۷] Aydal s., "Gold – bearing listwaenites in the Arac Massif, Kastamonu, Turkey, Terra Nova", vol. 2 No. 1. 1990, Pp. 43-51.
- [۱۸] Turekian K. K., Wedepohl K. W., "Distribution of the elements in some major units of the earths crust", Geological Society of America Bulletin, 72, (1961) 175-192.
- [۱۹] Kretz R, "Symbols for rock-forming minerals", American Mineralogists, v. 68, (1983) p. 277-279.
- [۲۰] Nasir S., Al Sayigh A.R., Al Harthy A., Al-Khirbush S., Al- Jaaid O., Musllam A. A., Al Mishwat A., Saidi S., Al- Bu, *Mineralogical and Geological characterization of listwaenite from the Semail ophiolite*, Oman, Chemie der Erde-Geochemistry, Article in press.
- [۲۱] زرین کوب م. ح، امینی ص، آفتابی ع، کریم پور م. ح، "کانی-شناسی، زمین‌شیمی، موقعیت ساختمانی و ارائه‌ی مدل ژنتیکی برای لیستونیت‌های خاور ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال سیزدهم، شماره ۲، (۱۳۸۴) ۳۷۸-۳۶۳.
- [۲۲] رولینسون ه. ر، "کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی: ارزیابی، نمایش، تفسیر"، ترجمه‌ی علی رضا کریم زاده نمرین، (۱۳۸۱)، چاپ و انتشارات دانشگاه تبریز، (۱۳۸۴) ۵۵۷ صفحه.
- [۲] Buisson G., M. Leblanc, "Gold in carbonatized ultramafic rocks from ophiolite complexes", Economic Geology, 80, (1983) 2026-2029.
- [۳] Henderson F. B., "Hydrothermal alteration and ore deposition in serpentinite- type mercury deposits", Economic Geology, 64(1969) 489-499.
- [۴] Davoudzadeh M., "Geology and Petrography of the area north of Nain Central Iran", Geological Survey of Iran, Report No.14. (1972) 89p.
- [۵] جباری ع، "زمین‌شناسی و پetroلوژی افیولیت‌های شمال نایین"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۷۶) ۱۶۲ صفحه.
- [۶] منوچهری ش، "بررسی پتروگرافی و پetroلوژی افیولیت‌های شمال نایین"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهری بهشتی تهران، (۱۳۷۶) ۱۹۰ صفحه.
- [۷] قهرابی‌پور م، "پetroلوژی فرایندهای لیستونیتی شدن در افیولیت ملانژ شمال نایین"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۸۰) ۱۵۴ صفحه.
- [۸] رحمانی ف، "پetroلوژی دایک‌های صفحه‌ای افیولیت نایین (ایران مرکزی)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۰) ۱۲۷ صفحه.
- [۹] رضایی ز، "مطالعه پetroلوژی پلاتزیوگرانیت‌ها و سنگ‌های وابسته در افیولیت نایین (ایران مرکزی)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۵) ۱۳۹ صفحه.
- [۱۰] پیرنیا نایینی ت، "پetroلوژی پریدوتیت‌های گوشته‌ی افیولیت نایین (استان اصفهان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۶) ۱۹۱ صفحه.
- [۱۱] شیردشت زاده ن، "پetroلوژی سنگ‌های دگرگونی افیولیت نایین (استان اصفهان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۶) ۱۹۲ صفحه.
- [۱۲] فلاحتی س، "بررسی کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی رودنژیت‌های مرتبط با افیولیت نایین"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۶) ۱۲۹ صفحه.

*composition and evolutions of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks*, Phil. Trans. R. Soc., (1981) A 301381 – 399.

[23] Taylor S. R., Mc Lennan S. M., *The continental crust: its composition and evolution*; Blackwell, Oxford (1985).

[24] Taylor S. R., Mc Lennan S. M., *The*