IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 13, No. 2, 1384/2005 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Mineralogy, geochemistry, structural position and a genetic model for listvenite in east of Iran

M. H. Zarrinkoub[1], S. Amini[2], A. Aftabi[3], M. H. Karimpour[4]

1- Department of geology, Birjand university
2- Department of geology, Tehran teacher training university
3- Department of geology , Kerman university
4- Department of geology , university of Mashhad
E-mail: Iran_mzarinkob@birjand.ac.ir

(Received: 27/06/2005, received in revised form: 09/10/2005)

Abstract: On the basis of mineralogy and geochemistry analysis, the listvenites in east of Iran are divided into three main carbonate, silica-carbonate and silica groups. Magnesite, dolomite, huntite and hydromagnesite are the major minerals in carbonate type. Silica listvenites contain mainly quartz, chalcedony and opal. Silica - carbonate listvenites contain minerals of carbonate and silica listvenites. The common structures in listvenites are vein and brecciaed type and the main textures are open space filling and colloidal. Mass balance consideration in listvenites and their host serpentinized ultramafic show that all the elements are loosed in ultramafic, are gained in listvenites. Nehbandan fault activity in east of Iran, produces suitable conduits for penetrating the meteoric water into deep levels, increase its temperature and solubility and then alteration the ultramafic unit of colored mélange during its path. Hydrothermal fluid flow-up through shear zones and wash the rocks during the path, and then under suitable condition of Eh and pH at the surface or low level open spaces of the earth, deposit its load as different types of listvenites.

Keyword: *Silica listvenite, Silica – carbonate listvenite, Carbonate listvenite, East of Iran.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران
سال سیزدهم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۸۴، از صفحهٔ ۳۶۳ تا ۳۷۸
انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

کانی‌شناسی، زمین شیمی، موقعیت ساختمانی و ارایه مدل ژنتیکی برای لیستونیت‌های خاور ایران

محمدحسین زرین‌کوب[۱]، صدرالدین امینی[۲]، علیجان آفتابی[۳]، محمدحسن کریم‌پور[۴]

۱- گروه زمین شناسی دانشگاه بیرجند
۲-گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران
۳- گروه زمین شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان
۴- گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
پست الکترونیکی: mzarinkob@birjand.ac.ir

(دریافت مقاله ۸۴/۴/۶ ، دریافت نسخه نهایی ۸۴/۷/۱۷)

چکیده: لیستونیت‌های خاور ایران از نظر کانی‌شناسی و زمین‌شیمی در سه گروه کربناتی، سیلیسی، و سیلیسی ـ کربناتی قرار می‌گیرند. منیزیت، دولومیت، هونتیت، و هیدرومنیزیت کانی‌های اصلی گروه کربناته‌اند. لیستونیت‌های سیلیسی بیشتر از کوارتز، کلسدوئن، اوپال تشکیل شده‌اند، و لیستونیت‌های سیلیسی ـ کربناتی کانی‌های هر دو گروه کربناته و سیلیسی هستند. ساختار معمولی لیستونیت‌ها، رگبرگی و برشی، و بافت غالب پرکنندهٔ فضای خالی و کلوئیدی است. بررسی تعادل جرمی لیستونیت‌ها و الترامافیک‌های لیستونیتی شده نشان می‌دهد که کلیه عناصر کاهیده از الترامافیک‌ها، در لیستونیت‌ها افزوده شده‌اند. عملکرد گسل نهبندان در خاور ایران، باعث ایجاد معابری مناسب برای نفوذ آبهای بارشی به اعماق، گرم شدن و افزایش قابلیت حلالیت آنها و دگرسانی واحد الترامافیک آمیزه رنگین شده‌است. آبهای گرم شده ضمن شستشوی سنگهای مسیر از طریق پهنه‌های برشی به سمت بالا حرکت و در شرایط سطحی یا نزدیک به سطح، در Eh و pH مناسب، مواد همراه خود را در فضاهای خالی به صورت انواع لیستونیت‌ها بجا گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: *لیستونیت سیلیسی، لیستونیت سیلیسی ـ کربناتی، لیستونیت کربناتی، خاور ایران.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

مقدمه

از زمانیکه برای اولین بار جی‌رز [۱] از واژهٔ لیستونیت استفاده کرد بیش از ۱۵۰ سال می‌گذرد. در این اثنا این واژه توسط محققین مختلف با مفاهیم متفاوت مورد استفاده قرار گرفت، و سنگهای میزبان و خواستگاههای گوناگونی برای آن معرفی شده‌اند. گرچه بیشتر زمین‌شناسان روسی روی لیستونیت‌ها کار کرده‌اند [۱ تا ۱۶]، اما در سالهای اخیر لیستونیت‌ها موضوع تحقیق بسیاری از زمین‌شناسان نقاط دیگر دنیا از جمله ایران نیز بوده‌اند [۱۷ تا ۳۱].

آنچه در این نوشته زیر عنوان لیستونیت معرفی شده، یک مجموعهٔ کربناتی، سیلیسی ـ کربناتی یا سیلیسی است که در درون سنگهای اولترامافیک و مافیک سرپانتینی شده، در مرز بین این سنگها و مجموعهٔ شیلی و ماسه سنگی مجاورشان (ته نشستهای رخساره فلیش کرتاسه‌ـ پالئوسن)، و یا در درون نهشته‌های دارای پی‌سنگ افیولیتی در خاور ایران، قرار گرفته‌اند. از آنجا که لیستونیتی شدن و کانی‌زایی طلا و گروه پلاتین [۳۲ تا ۳۷]، جیوه[۳۸،۳۹]، آرسنیک[۴۰] و، سرب [۴۱] عموماً همراه با هم صورت می‌گیرند، در نتیجه می‌بایست آگاهی روشنی از ترکیب کانی‌شناسی، عوامل سازنده و موقعیت ساختمانی لیستونیت‌های هر منطقه پیدا کرد. در این بررسی لیستونیت‌های بخشی از خاور ایران واقع در محدوده َ۱۰ٗ۳۲ تا ْ۳۳ عرض جغرافیایی شمالی و ْ۵۹ تا ْ۶۱ طول جغرافیایی شرقی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

روش مطالعه

مطالعه این پژوهش در سه مرحله انجام شده است:

الف) گردآوری و مطالعهٔ پیشینه کارهای انجام شده در منطقه، شناسایی و انتخاب رگه‌های لیستونیتی روی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه (بیرجند، قاین، گزیگ و نهبندان).

ب) مطالعات صحرایی و برداشت ۲۵۰ نمونه از رگه‌های لیستونیتی در مناطق مختلف. مطالعهٔ ۲۵۰ مقطع نازک و ۵۰ مقطع صیقلی.

ج) تجزیهٔ ۳۰ نمونه از لیستونیت‌ها به روش فلوئورسانی پرتو X (XRF) در دانشگاه شهید بهشتی تهران، و تعداد ۲۵ نمونه در دانشگاه بیرجند به روش XRD مطالعه شده‌اند.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنهٔ جوش خوردهٔ سیستان را تشکیل می‌دهد که به صورت بین انگشتی وارد بلوک لوت می شود(شکل ۱). در این منطقه واحدهای سنگی قدیمتر از ژوراسیک شناخته نشده است. سنگهای رخنمون یافته در منطقهٔ مورد مطالعه عبارتند از: شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک، افیولیت ملانژکرتاسه فوقانی، سنگهای تیپ رخسارهٔ فلیش کرتاسه و پالئوژن، سنگهای آتشفشانی ترشیری ـ کواترنری و کنگلومرای نئوژن ـ کواترنر. مجموعهٔ سنگهای افیولیت ملانژ در این منطقه شامل هارزبورژیت، دونیت، پیروکسینیت، سرپانتینیت، گابرو، دیاباز، اسپیلیت و توده‌های آذرین اسیدی و سنگهای رسوبی از جمله آهک پلاژیک و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

شیلهای رادیولردارند[۴۲]. سنگهای رخسارهٔ فلیش کرتاسه که به صورت سنگهای شیلی، ماسه سنگی، سنگ آهک و مارن رخنمون دارند، سخت چین خورده و دگرگونی ناحیه ای ضعیفی را نشان می‌دهند. لیستونیت‌ها به عنوان یک محصول دگرسانی شاخص در این پهنه فلیشی ـ آمیزه رنگین مورد مطالعه قرار گرفته است.

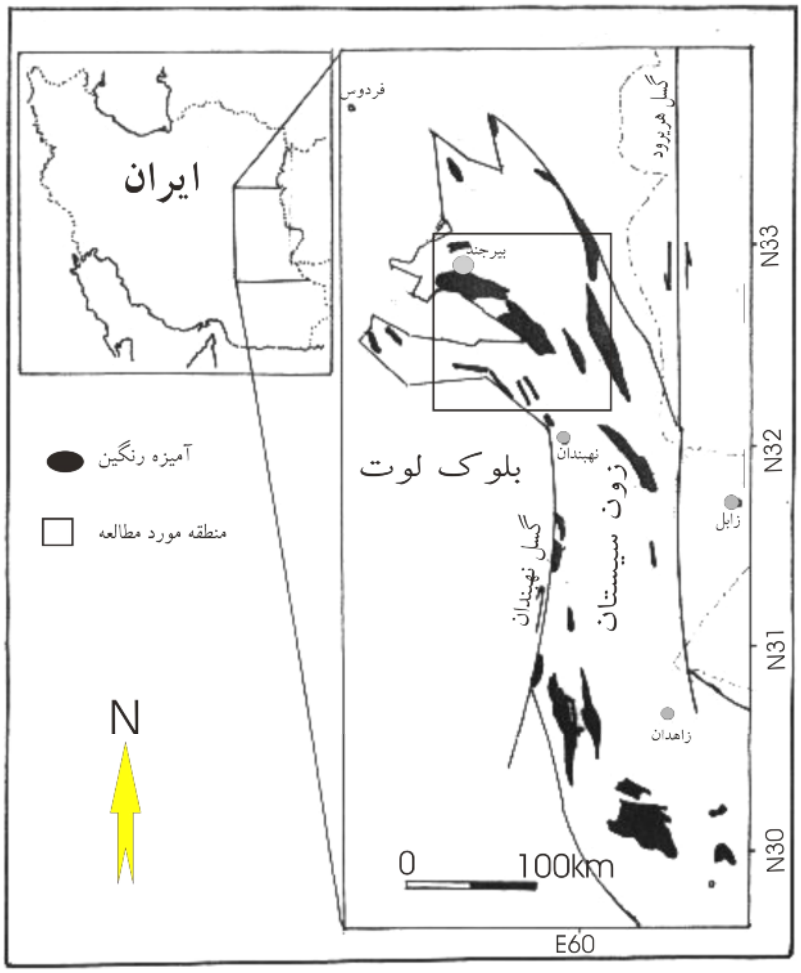
کانی شناسی و خصوصیات ظاهری لیستونیت‌های خاور ایران

با توجه به شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، لیستونیت‌های منطقه را می‌توان در سه گروه اصلی لیستونیت‌های کربناتی، لیستونیت‌های سیلیسی، و لیستونیت‌های سیلیسی_ کربناتی قرار داد. هر یک از این گروهها را می‌توان با توجه به فراوانترین نوع کانی موجود در آن به زیر گروههایی تقسیم کرد: از جمله لیستونیت‌های کربناتی این منطقه در زیرگروههای منیزیتی، هونتیتی، دولومیتی، و منیزیتی_دولومیتی قرار می‌گیرند. در لیستونیت‌های سیلیسی، کوارتز، اوپال و کلسدوئن غالب‌اند و در دو گروه لیستونیت‌های اوپالی و کلسدوئنی تقسیم می-شوند. مجموعهٔ کانیهای اصلی لیستونیتهای سیلیسی و کربناتی را می‌توان در لیستونیت‌های سیلیسی_کربناتی مشاهده کرد.

رنگ لیستونیت‌ها از سفید، خاکستری متمایل به سبز تا زرد متمایل به قهوه‌ای تغییر می‌کند و تابع کانی‌های سازنده و عملکرد فرایند هوازدگی است. فراوانترین لیستونیت‌های منطقه از نوع کربناتی‌اند. کانی‌های اصلی آنها شامل منیزیت، هیدرومنیزیت (بیشتر نسکوهونیت) هونتیت و دولومیت هستند. این امر باعث شده است تا خاور ایران به صورت یک قطب معدنی از رگبرگهای منیزیتی، هیدرومنیزیتی و هونتیتی درآید. منیزیت به صورت رگه‌های مخفی بلور به رنگ عموماً سفید ولی در مواردی به علت حضور آهن کمی قهوه‌ای دیده می‌شود. دولومیت‌ها مخصوصاً به رنگ کرم تا سبز و رشد شعاعی دارند. هیدرومنیزیت و هونتیت بیشتر به شکل گلوله‌ای و رگبرگی و به رنگ سفید در درون پهنه‌های برشی سرپانتینیت‌های هوازده حضور دارند. نتایج XRD و مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که لیستونیت‌های کربناتی علاوه برکانیهای اصلی کربناته شامل سایر کربناتها ازجمله سیدریت، آنکریت، کلسیت به همراه بقایایی از الیوین و پیروکسن، تالک، سرپانتین، و بطور جزئی کانیهای کرم اسپینل، پیریت،آرسنوپیریت، کالکوپیریت، مالاکیت و لیمونیت هستند. لیستونیت‌های سیلیسی_کربناتی در منطقه از نظر فراوانی در درجه دوم اهمیت قرار دارند. این لیستونیت‌ها دارای رنگهای متنوع‌اند و از زرد تا قهوه‌ای و گاهی سفید تغییر می کنند.

کانی‌های کربناتی اصلی در این رگه‌ها دولومیت و منیزیت است، و وجود سیدریت، آنکریت و لیمونیت باعث شد تا رنگ زرد تا قهوه‌ای را به خود بگیرند. سیلیس بیشتر به صورت مخفی بلور (کلسدوئن) و آمورف‌اند. در مواردی که فضای کافی برای رشد کانی‌ها وجود داشت، بلورهای درشت دولومیت و کوارتز تشکیل شده‌اند و گاهی تشکیل دولومیت و سیلیس با همدیگر در تناوب‌اند. کانیهای فرعی متداول عبارتند از کلسیت، کرم اسپینل، پیریت، کالکوپیریت، تالک و سرپانتین.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

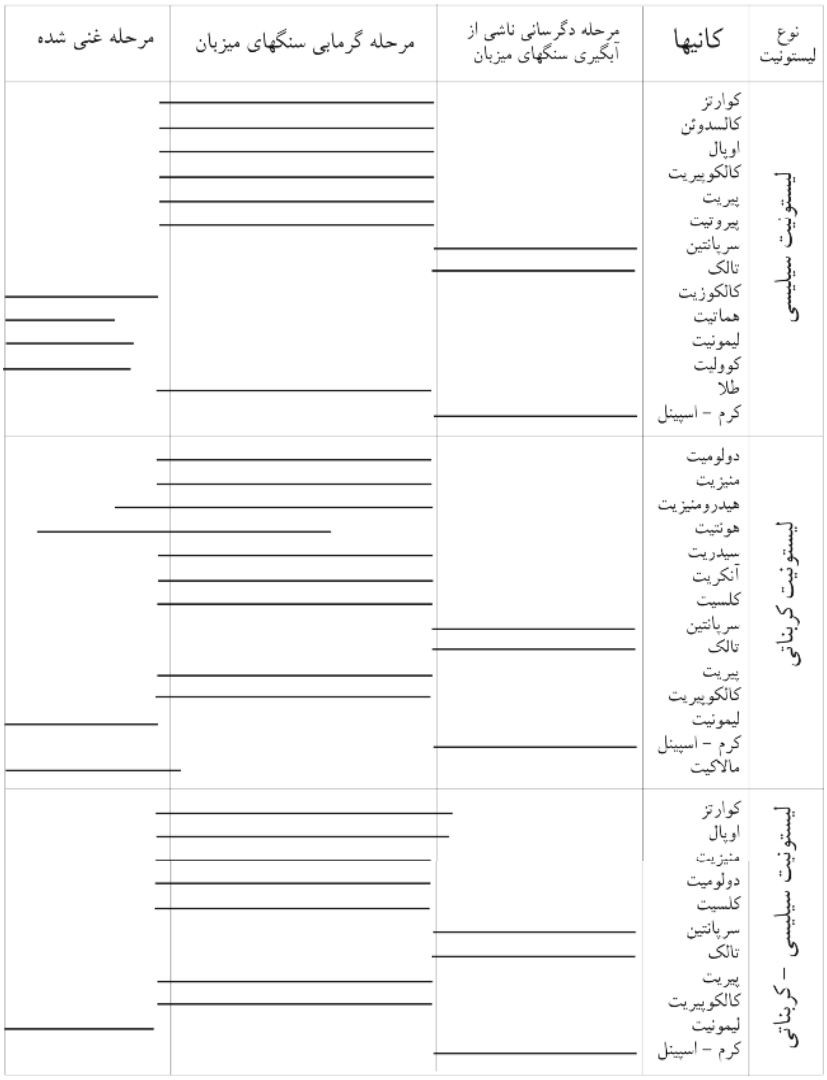


شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در زون جوش خوردهٔ سیستان در خاور ایران.

لیستونیت‌های سیلیسی که کانی اصلی آنها سیلیس است از نظر فراوانی در درجه سوم اهمیت قرار دارند. رنگ آنها سفید شیری، زرد متمایل به قهوه‌ای تا متمایل به سیاه تغییر می‌کنند. لیستونیت‌های سیلیسی به صورت رگبرگی و گاهی به صورت ورقه‌ای روی لیستونیت‌های سیلیسی ـ کربناتی، دیده می‌شوند. کانی‌های مهم در آنها شامل کوارتز مخفی بلور (کلسدوئن) و اوپال است، ولی کانی‌های کربناتی و فلزی به صورت فرعی وجود دارند. کانی‌های فلزی متداول پیریت، عبارتند از کالکوپیریت، آرسنوپیریت، کالکوزیت، کوولیت، پیروتیت و کرم اسپینل که برای داشتن عناصری همچون طلا و گروه پلاتین آمادگی دارند [۲۵، ۲۶ و ۲۸]. بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی می‌توان یک مدل پاراژنتیکی برای کانیهای سازندهٔ لیستونیت‌های منطقه ارائه کرد (جدول ۱).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

جدول ۱ مدل پاراژنتیکی کانیهای متداول در لیستونیت‌های خاور ایران.



[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

ساخت و بافت لیستونیت‌ها

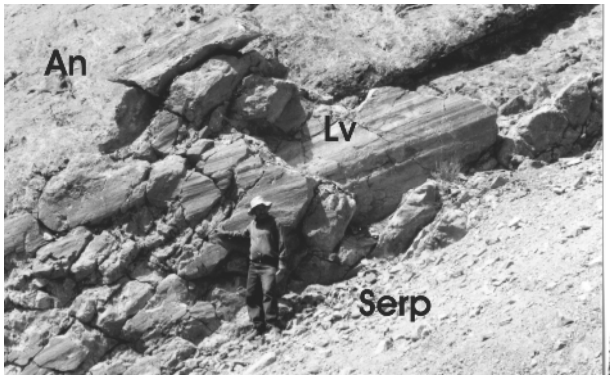
لیستونیتهای منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر با ساختار رگبرگی (شکل ۲) با عرض کمتر از یک سانتیمتر تا پانصدمتر و طول چند سانتیمتر تا چند کیلومتر در درون پهنه‌های برشی و به ندرت به صورت ورقه‌ای(شکل ۳) یا گلوله‌ای دیده می‌شوند. در مواردی که محلولهای لیستونیت ساز ضمن عبور از درون مجاری شکستگی به طرف بالا حرکت کرده و به یک سد غیر قابل نفوذ برخورد می‌نمایند، گسترش جانبی است و به صورت ورقه‌ای توزیع می‌شوند. ریخت‌شناسی سطحی لیستونیت‌ها مخصوصاً در انواع کربناتی و سیلیسی_کربناتی منحصر به فرد بوده و یکی از نکات جالب توجه برای جدا کردن لیستونیت از سایر ساختارهای رگبرگی و یا لایه‌ای موجود در منطقه (مثلاً سنگ آهکها و رودینگیت‌ها) است. لیستونیت‌های کربناتی و سیلیسی_ کربناتی با ریخت برجسته، سطحی کاملاً زبر و ناصاف پوست فیلی لوده و مخصوصاً زمانیکه کانی کربناتی اصلی دولومیت باشد بیشتر دیده می‌شوند. حضور پیکربندی کروی ناشی از نهشت اوپال به صورت نواری(شکل ۴)، تناوب نهشت سیلیس و کربنات و یا رشد شعاعی بلورهای دولومیت و به صورت گل رزی(شکل ۵) دور قطعات خرد شده در پهنه‌های برشی، و بافت غربالی در نوع لیستونیت‌های سیلیسی_کربناتی متداول است. در انواع سیلیسی و سیلیسی_کربناتی ساخت و بافت پرکننده فضای خالی، قشرگون و کلوئیدی سیلیس به صورت نهشت قلوه‌ای فراوان است.

بافتهای غالب در لیستونیت‌ها، بافت پرکننده فضای خالی(به صورت رگبرگی و قشرگون)، نواری، کوکاد، اسفرولیتی، شعاعی، گل‌رزی، کلوئیدی، گلوله‌ای و برشی هستند. بافت‌های پرکننده فضای خالی و کوکاد می‌توانند تأیید کننده نهشته شدن آنها نزدیک به سطح زمین باشد [۴۳]. به اعتقاد سیبسون [۴۴] بافت‌های کوکاد و قشرگون تا عمق ده تا پانزده کیلومتری نیز می‌توانند تشکیل شوند. همیافتی بافت‌های کوکاد و قشرگون با بافت کلوئیدی، نهشته شدن آنها را در نزدیکی سطح تأیید می‌کند .

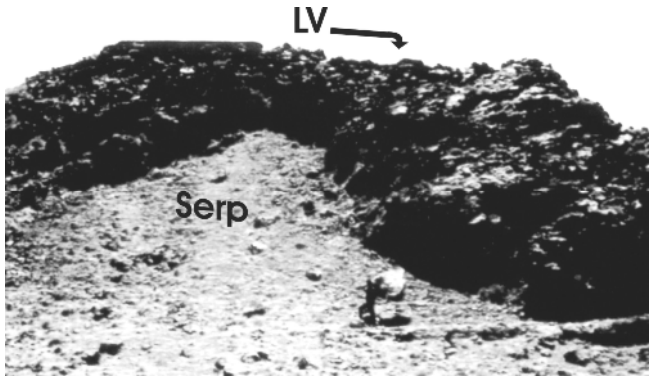
سنگهای میزبان و چگونگی ساختاری لیستونیت‌ها

متداولترین سنگ میزبان لیستونیت‌ها در خاور ایران عبارتند از پریدوتیت‌های سرپانتینی شده برش‌خورده و هوازده. علاوه بر پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، مرز برش خورده سنگهای مافیک و اولترامافیک مربوط به توالی افیولیتی، مرز برش خورده نهشته‌های رخساره فلیش و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، مرز بین سنگهای خروجی حاصل از فعالیت‌های آذرین پس از جایگیری قطعهٔ لیتوسفر اقیانوسی [۴۵] و پهنه‌های برشی درون نهشته‌های مولاسی که روی پریدوتیت‌های سرپانتینیزه قرار گرفته‌اند [۲۵]، میزبان انواع لیستونیت‌ها در شرق ایران هستند.

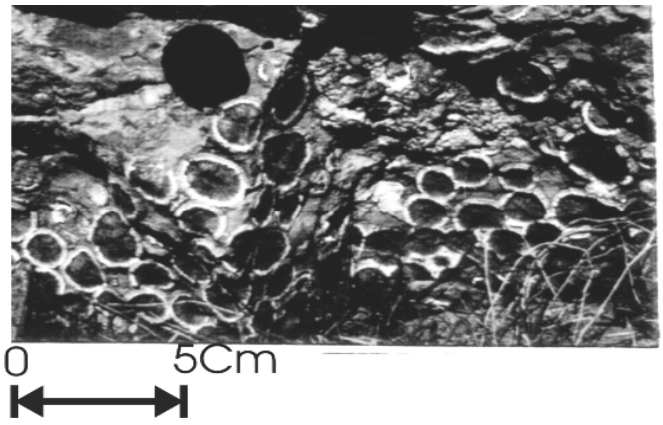
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]



شکل ۲ لیستونیت کربناته(Lv) در مرز آندزیت(An) و سرپانتینیت(Serp) به صورت رگه‌ای(رومنجان).



شکل۳ لیستونیت سیلیسی(Lv) به صورت یک ورقه برروی سرپانتینیت (Serp) (جنوب کلاته سلیمان).



[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

شکل۴ نهشت سیلیس آمورف روی قطعات لیستونیت کربناته و ایجاد پیکربندی کروی در لیستونیت‌های سیلیسی_کربناته(رزق).

شکل۵ بافت قشرگون و گل رزی در لیستونیت‌های سیلیسی _ کربناته (جنوب مود).

لیستونیت‌های منطقهٔ مورد مطالعه، عموماً در درون یا نزدیک پهنه‌های گسلهای اصلی یا سرشاخه‌های این گسلها یا پهنه‌های برشی حاصل از عملکرد این سیستمهای گسله قرار دارند. منطقهٔ مورد مطالعه بین دو سیستم گسلهٔ راستا لغز راستگرد هریرود با روند کلی شمالی _ جنوبی درخاور و گسل راستالغز راستگرد نهبندان (شکل ۱) با روند کلی شمالی _ جنوبی که در بخش شمالی روند تقریبا خاوری _ باختری می‌یابند، قرار گرفته است. رگه‌های لیستونیتی از روندهای ساختمانی حاکم بر منطقهٔ یعنی روند شمالی - جنوبی، شمال باختری - جنوب خاوری و خاوری - باختری پیروی می‌کنند.

فرایندهای درگیر لیستونیتی شدن

هم یافتی لیستونیت‌ها با پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و با سنگهایی که به نحوی در ارتباط با مجموعه سنگهای اولترامافیک سرپانتینی شده مربوط به مجموعه‌های افیولیتی هستند از یک طرف و قرارگیری آنها در پهنه‌های برشی از طرف دیگر مبین آن است که لیستونیت‌ها به عنوان نهشته های دیرزاد در اثر فرایندهای گرمابی که بر مجموعه افیولیت ملانژی و مخصوصاً روی بخش اولترامافیکی اثر گذاشته ایجاد شده‌اند. عناصر شسته شده تحت شرایط خاصی از Eh و pH ، دما، و فشار موثر CO_2 در درون زونهای برشی متمرکز شده و رگه‌های لیستونیتی را ایجاد کرده‌اند. در شرایطی که pH بالا (حدود ۸ تا ۱۰) و فشار موثر CO_2 نیز بالاست کربنات(لیستونیت کربناتی) و در شرایطی که pH پایین است (کمتر از ۶) سیلیس

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

(لیستونیت سیلیسی) نهشته می‌شود [۱۲، ۴۵ و ۴۷]. در شرایطی که تناوبی از نوارهای سیلیسی و کربناتی را در یک گروه لیستونیتی شاهد هستیم بیانگر مراحل مختلف نهشت با pH متفاوت است.

قرارگیری منطقهٔ مورد مطالعه در منطقهٔ ساختاری سیستان و عملکرد سیستم گسل نهبندان با ساز و کار غالب راستا لغز راست‌برگرد، موجب معابر مناسبی برای نفوذ آبهای سطحی به درون مجموعه افیولیت ملانژ و رخداد دگرسانی از جمله لیستونیتی شدن شده است. مطالعهٔ ایزوتوپ های کربن و اکسیژن در منیزیت های مربوط به خاور بیرجند این ایده را تایید می کند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات ایزوتوپی آب از نوع آب های بارشی و CO_2 غالباً منشاء اتمسفری داشته است [۴۸]. قائم بودن شیب غالب گسلها در منطقهٔ مورد مطالعه [۳۰]، شرایط مناسب را برای نفوذ آبهای سطحی به اعماق و گرم شدن آنها و افزایش قابلیت حلالیت آبها و بروز دگرسانی را فراهم کرده است. فعالیت‌های آذرین مربوط به بعد از جایگیری افیولیت ملانژ شرق ایران (فعالیتهای ترشیری - کواترنری) نیز در امر گرم‌شدن آبهای سطحی فرورو نقش مهمی را بازی کرده است. آبهای گرم ضمن عبور از سنگهای مسیر (که بیشتر آنها از سنگهای فرومنیزین تشکیل شده‌اند) و شستشوی آنها، از طریق پهنه‌های برشی، به سمت بالا حرکت کرده و به صورت یک محلول گرمابی غنی از عناصر قابل حل به درون معابر زمین-ساختی نفوذ کرده و در شرایط سطحی یا نزدیک به سطح، مواد همراه خود را بجاگذاشته‌اند. معابر حاصل از فعالیتهای تکتونیکی و شکستگیهای هیدرولیکی حاصل از فشار آبگون، ضمن اینکه آبگونها را از محل اولیه دور می‌کنند محلهای مناسبی برای نهشته شدن مواد همراه آبگون بوده و بدین وسیله باعث ایجاد نهشته‌های رگبرگی لیستونیتی می شوند. در مواردی که شکستگیهای هیدرولیکی در اثر سطوح غیر قابل نفوذ سد شده باشد، آبگونهای مذکور زیر این سدها و یا در زونهای جانبی آنها نهشته می‌شوند و حالت ورقه‌ای به خود می‌گیرند (شکل ۳).

ژئوشیمی لیستونیت‌ها و سنگهای میزبان

نتایج حاصل از تجزیه های شیمیایی لیستونیت‌ها به صورت میانگین ترکیبی از لیستونیت‌های کربناتی، سیلیسی و سیلیسی - کربناتی در جدول ۲ آمده است. از آنجا که سنگ میزبان غالب لیستونیت‌ها، پریدوتیت‌های سرپانتینی شده هستند، نتایج حاصل از تجزیه‌های شیمیایی آنها (۲۰ نمونه) به همراه میانگین ترکیب هارزبورژیت‌های پوسته اقیانوسی در جدول ۳ آورده شده‌اند. میانگین نتایج حاصل ازتجزیه شیمیایی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده منطقهٔ مورد مطالعه با میانگین ترکیب هارزبورژیت‌های کف اقیانوسی مقایسه شده و نتایج حاصل به صورت نمودار افزودگی یا کاهیدگی نمایش داده شده است (شکل ۶). برای محاسبه درصد کاهیدگی یا افزودگی از کار هندرسون [۳۸] استفاده شد و به صورت زیر عمل شد:

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

۱۰۰ × سنگ تازه / سنگ دگرسان شده – سنگ تازه = درصد کاهیدگی یا افزودگی

علامت درصد بدست آمده با توجه به مقایسهٔ میانگین ترکیب شیمیایی سنگ تازه و سنگ دگرسان شده انتخاب می‌شود، از درصد کاهیدگی یا افزودگی (بدون توجه به علامت) لگاریتم گرفته و علامت مثبت یا منفی مربوط به آن عدد را جلوی آن قرار داده و سپس اعداد حاصل را روی نمودار کاهیدگی - افزودگی نمایش دادیم. (شکل ۱۰). نمودارهای کاهیدگی- افزودگی سنگهای غالب میزبان لیستونیت‌ها، و سنگهای الترامافیک سرپانتینی شده، نشان می‌دهند که این سنگها از نظر سیلیسیوم، منیزیم، آهن و ... کاهیده شده‌اند. مطالعات کانی شناسی و تجزیه‌های شیمیایی لیستونیت‌ها نشان می‌دهند که عناصر کاهیده شده از سنگهای میزبان دگرسان شده، در لیستونیت‌ها قابل ردیابی هستند. محلولهای گرمابی عناصری از سنگهای میزبان دگرسان شده را کاهش داده است. از این تجزیه‌ها، نکات زیر قابل به دست می‌آیند.

میزان منیزیم و کلسیم در انواع لیستونیت کربناتی و سیلیسی – کربناتی و مقدار سیلیسیم در انواع سیلیسی قابل ملاحظه که این امر را می‌توان مربوط به فرایند سرپانتینی شدن پریدوتیت‌ها دانست. فرایند سرپانتینی شدن پریدوتیت‌ها دو پدیدهٔ مهم را در پی دارند: (الف) ایجاد سرپانتینت که نسبت به سنگ اولیه خود سبکتر و دارای تخلخل بیشتر است و در نتیجه شرایط مناسبی را برای چرخش آبهای گرم فراهم می‌کند. (ب) مازاد ماندن مقداری از منیزیم، سیلیسیم و کلسیم سنگ اولیه که در ساختار سرپانتینیت‌ها جای نگرفته‌اند و در نتیجه شرایط مناسبی برای غنی شدن محلولهای گرمابی در حال چرخش در سرپانتینیت‌ها را از عناصر منیزیم و کلسیم و تا حدودی سیلیسیم فراهم می‌کنند. بسیاری از سرپانتینیت‌های برش خورده نسبت به پریدوتیت‌های والد خود نسبت MgO/SiO_2 پایین‌تری دارند [۴۹]. عناصر کاهیده شده از سرزمین‌های سرپانتینی شده در لیستونیت‌ها قابل پی‌گیری هستند. بالا بودن مقدار L.O.I. در لیستونیت‌ها، امری عادی است زیرا کانیهای سازندهٔ لیستونیت‌ها بیشتر حاوی CO_2 یا H_2O هستند (مثل منیزیت، هونتیت، هیدرو منیزیت، دولومیت، اوپال و ...).

مقدار Na_2O وK_2O در لیستونیت‌ها خیلی کم است و این نشانهٔ آن است که سنگ بستر لیستونیتی شده (پریدوتیت‌های سرپانتینی شده) از سدیم و پتاسیم تهی بوده است. Al_2O_3 در لیستونیت‌ها خیلی کم است زیرا کانی‌های حاوی آلومینیم در درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده (کرم اسپینل و کلینوپیروکسن) در مقابل دگرسانی مقاوم هستند و از طرفی آلومینیم با pH ۵ تا ۸ عنصری کاملاً غیرمتحرک و غیر محلول بوده و وارد فاز سیال گرمابی در حال چرخش نمی‌شود.

فاز گرمابی در حال چرخش در سرزمین‌های سرپانتینی شده و مسئول فرایند لیستونیتی شدن دارای دمای نسبتاً بالا بوده و قادر است عناصر کمیابی مثل طلا، نقره و مس را از بستر اولیه شسته و در پهنه‌های لیستونیتی بجا بگذارد. براساس اندازه‌گیری انجام شده روی

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

آبگونهای درگیر در کانی کوارتز اخذ شده از لیستونیت‌های منطقه جنوب بیرجند، دمای آبگون گرمابی در گیر فرآیند لیستونیتی شدن ۲۳۰ تا ۲۷۰ ^{o}C تشخیص داده شده است [۲۸].

برداشت

لیستونیت‌های خاور ایران را براساس کانی‌های سازنده و تجزیه‌های شیمیایی می‌توان در سه گروه اصلی لیستونیت‌های کربناتی، سیلیسی - کربناتی، و کربناتی تقسیم کرد. هر یک از سه گروه اصلی لیستونیتی خود می‌توانند با توجه به کانی‌های اصلی سازندهٔ خود به زیر گروههایی تقسیم شوند. منیزیت، دولومیت، هونتیت و هیدرومنیزیت کانی‌های اصلی و کلسیت، سرپانتین، تالک، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، کرم - اسپینل و مالاکیت کانیهای فرعی گروه کربناته‌اند.

جدول۲ میانگین ترکیب شیمیایی لیستونیت‌ها در منطقه مورد مطالعه [۲۵،۲۶،۴۵].

ترکیب شیمیایی	درصد میانگین لیستونیت‌های کربناته	درصد میانگین لیستونیت‌های سیلیسی	درصد میانگین‌لیستونیت‌های سیلیسی _ کربناته
SiO_2	۷/۰۹	۸۶	۴۴/۹
TiO_2	۰/۰۵	۰/۰۳	/۰۳
Al_2O_3	۰/۲۵	۰/۵	۰/۴
Fe_2O_3*	۲/۸۵	۶/۰۴	۵/۵۵
CaO	۲۳/۶۳	۰/۸۳	۱۲/۵۷
MgO	۲۱/۸	۰/۹	۱۴/۴
K_2O	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۲
Na_2O	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۳
L.O.I.	۴۳/۹	۲/۷۹	۲۲/۴

* بیانگر کل آهن است.

جدول ۳ میانگین ترکیب شیمیایی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده در منطقهٔ مورد مطالعه و محاسبات تغییر آنها [۲۵] در مقایسه با میانگین ترکیب شیمیایی هارزبورژیت‌های کف اقیانوسی [۴۹].

ترکیب شیمیایی	درصد میانگین هارزبورژیت‌ها در کف اقیانوس	درصد میانگین پریدوتیت‌های سرپانتینی	درصد کاهیدگی یا افزودگی	لگاریتم درصد کاهیدگی یا افزودگی
SiO_2	۳۹/۱۹	۳۸/۸	-۰/۹۹	-۰/۰۰۴
TiO_2	۰/۲	۰/۰۱۷	-۹/۱۵	-۱/۹۴
Al_2O_3	۱/۹۱	۰/۰۵۶	-۷۰/۶	-۱/۸۴
Fe_2O_3	۵/۰۴	۵/۳	۴/۳۸	۱/۶۴
FeO	۲/۱	۱/۱۹	-۴۳	-۱/۶
CaO	/۹۸	۰/۶	-۳۸۷۷	-۳/۵
MgO	۳۷/۱۲	۳۶/۶۱	-۱/۳۷	-۰/۱۴
K_2O	۰/۱۸	۰/۰۲۳	-۸۲	-۱/۹۴
Na_2O	۰/۱۹	۰/۰۳۶	-۰/۰۵	-۱/۲۶
CO_2	۰/۳۸	۱۲/۱۸	۳۱۰۵	۳/۴۹
L.O.I.	۱۱	۱۶/۲۹	۵۳/۳۸	۱/۷۲

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

شکل۶ نمودار کاهیدگی یا افزودگی برای پریدوتیتهای سرپانتینی شده در منطقهٔ مورد مطالعه.

در مواردی که کانی اصلی را لیستونیت‌های کربناته، منیزیت یا هونتیت تشکیل می‌دهند آنها را به عنوان پتانسیلهای معدنی تلقی می‌کنند. لیستونیت‌های کربناتی را می‌توان به زیرگروههای منیزیتی، هونتیتی، هیدرومنیزیتی، دولومیتی و منیزیتی - دولومیتی تقسیم کرد. لیستونیت‌های سیلیسی را می‌توان در زیر گروههای اوپالی و کلسدونی قرار داد. لیستونیت‌های سیلیسی بیشتر حاوی کوارتز، کلسدوئن و اوپال همراه با کانی‌های فرعی کالکوپیریت، پیریت، پیروتیت، سرپانتین، تالک، کالکوزیت، هماتیت، لیمونیت، کوولیت، طلا و کرم _ اسپینل هستند. لیستونیت‌های سیلیسی - کربناتی کانی‌های هر دو گروه کربناته و سیلیسی را دربردارند. با توجه به پایداری سیلیس در pH پایین (کمتر از ۵) و افزایش قابلیت حلالیت آن در pH بین ۵ تا ۹ [۵۰]، می‌توان نتیجه گرفت که محلولهای گرمابی سازنده لیستونیتهای سیلیسی نخست دارای pH بالا بوده و در شرایطی که pH کاهش یافته املاح سیلیسی خود را در فضاهای باز زمین ساختی بجا گذاشته‌اند، اما برای نهشت لیستونیتهای کربناته شرایط بر عکس بوده است زیرا کربناتهای کلسیم و منیزیم درpH بالا محلول و در pH پایین غیرمحلول-اند [۵۰]. در لیستونیتهای سیلیسی _ کربناتی فازهای سیلیسی و کربناتی همزاد نیستند و علت اصلی آن به شرایط پایداری متفاوت این فازها در pH بستگی دارد. رنگ لیستونیت‌ها تابع رنگ کانی‌های سازنده و فرآیندهای هوازدگی بوده و کاملاً متغیر است. رنگ لیستونیت‌های کربناتی از سفید تا خاکستری متمایل به سبز و قهوه ای و رنگ نوع سیلیسی از زرد تا قهوه‌ای متمایل به سیاه تغییر می‌کند. رنگ سبز دولومیت در لیستونیتها ناشی از حضور کرم در آن است. رنگ سیاه سطح لیستونیتهای سیلیسی را می‌توان ناشی از اکسیداسیون کانیهای فلزی در شرایط سطحی دانست.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

لیستونیت‌ها به صورت رگه‌هایی با عرض در حد سانتیمتر تا چند صدمتر و طول چند کیلومتر در زونهای برشی یا به صورت ورقه‌هایی در زیر سطوح غیر قابل نفوذ نهشته شده‌اند. سنگ میزبان لیستونیت‌ها در درجه اول سنگهای اولترامافیک سرپانتینیزه مجموعهٔ افیولیتی و در درجه دوم سنگهای مافیک مربوط به توالی افیولیتی هستند. مرز بین سنگهای اولترامافیک و مافیک سرپانتینیزه و سنگهای رسوبی تیپ رخسارهٔ فلیش و کنگلومرای نئوژن که دارای پی سنگ افیولیتی است، مکانهای مناسبی برای نهشته شدن لیستونیت بوده است که بیانگر آن است که کلیه مواد سازنده لیستونیت‌ها از الترامافیک‌های سرپانتینی شده سرچشمه گرفته‌اند. نمودارهای کاهیدگی و افزودگی سنگهای سرپانتینی شده میزبان لیستونیت‌ها در مقایسه با پریدوتیتهای کف اقیانوس نیز این موضوع را تایید می‌کند. فعال بودن دوسیستم مهم گسله راستالغز راستگرد در خاور منطقه (گسل هریرود) و در باختر منطقهٔ مورد مطالعه (گسل نهبندان) باعث شده که این منطقه به صورت یک پهنه برشی عظیم عمل کرده و شکستگی‌های کوچک و بزرگ فراوانی در آن ایجاد شود. این شکستگی‌ها معابر مناسبی برای نفوذ آبهای سطحی به درون بخشهای پریدوتیتی، گرم شدن و افزایش قابلیت حلالیت آنها، و ایجاد یک چرخهٔ آب گرم در این سنگها، سرپانتینی شدن، و در نهایت لیستونیتی شدن شده است. گرادیان زمین گرمایی، گرمای ناشی از اصطکاک در پهنه‌های برشی و فعالیتهای آذرین ترشیری ـ کواترنری، شرایط مناسبی برای گرم کردن آبهای نفوذی، چرخه‌ای از آبهای گرم، و لیستونیتی شدن را در منطقهٔ مورد مطالعه را فراهم کرده است. گسترش زیاد مجموعهٔ افیولیت ملانژ شرق ایران و بروز شکستگیهای فراوان بوسیلهٔ سیستم گسل نهبندان، شرایط مناسبی را برای شستشوی عناصر کمیاب و با ارزش توسط محلولهای گرمابی فراهم کرده و می‌توان به وجود پتانسیلهای با ارزش، عناصری همچون طلا، نقره، جیوه، آنتیموان و در لیستونیتها امیدوار بود.

مراجع

[1] Rose G., *"Mineralogisch – geognostische Reise nach dem Ural"*, dem Altal und dem Kaspischen Meere, V. 2: Reise nach dem nordlichen Ural und dem Altai. Berkun C. W. Eichhoff (Verlag der Sanderschen Buchhandlung), (1837) xxxplus 641 p. and plates I – Vll.

[2] Lodochnikov V. N., *"Serpentine and serpentinites of Ylchrisk and other related question",* Trudi CNLGR (1936) No. 38.

[3] fremov N., *"Origin of listwaenites of the caucaus and urals",* G. S. A Bulletin 63, 12 Part 2 (1952) 1246-1247

[4] Efremov N., *"Yougorite, a listwaenite rock rich in fluorite"*, G. S. A. Bulletin 65, 12 part 2 (1954) 1339.

[5] Bok I. I., *"listvenites, their special features, varieties and conditions of formation",* Isvestiya Akademi Nauk Kazakhskoi SSR. Ser. Geol. 22 (1956) 3-22.

[6] Kashkai M. A., Allakhverdiev Sh. I., *"Listvenites, their origin and classification"*, Institute Geology in Akad, Nauk Azerbaidzhanskoi SSR, Baku, (1965) 142.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

[7] Shcherban I.P., Borovikova G. A., *"Theromodynamic data on the genesis of listwanites and listwanitized rock"*, Doklady Akademii Nauk SSR. 191, 6 (1970) 1389 - 1392
[8] Khorvat V. A.,*"Age relationships of dike forming processes and listwanitization in the Kokpatas ore field",* Uzbekskiy Geologicheskiy Zhurnal 5 (1970) 24 - 27
[9] Goncharenko A. I., *"Listwaenites in ultrabasic rocks of the northern part of kuznetsk Alatau and possibilities of their ultization"*, in: Nemetallicheskiye poleznyye iskopayemyye giperbazitov, Moscow (1973) 159 - 173.
[10] Barnes I., *"Formation of listwanites from serpentinites in California Doklady"*, Mezhdunarodny Geokhimicheskiy kongress 2 (1973) 404 - 412.
[11] Kashkai M. A., Parkhomenko E. I., Salekhi T. M., *"Electrical properties of listwaenite at high temperatures and pressures",* Transcation (Doklady) of the U. S. S. R., Academy of sciences: earth science sections 218, 1- 6 (1975) 143 - 145
[12] Sazanov V.N., *"Liswaenitization and ore mineralization"*, Russian academy of science, the Ural Scientitic centeral, A. N. Sawaritikys institute of geology and geochemistry (1975).
[13] Abovian S. B., *"Genetic of listvenites of the Armenian Republic and their metallogenic significance",* (Zapiski Armianskoe otdelenie Vsesoiliznogo). Mineralogichcskogo obshchestva. No. 9 (1978) 98 - 109.
[14] Kuleshcvich L. V., *"Listvenites in the greenstone of Eastern Karelia"*, Geologiyia Rudnykh Mestorozhdnii, Geology of Deposits (1984) 112 – 116.
[15] Spiridonov E.M., *"Listvenites and Zodites",* International Geology Review 33 (4) (1991) 397 - 407.
[16] Antonovic A., Vaskovic N., *"Listwanitization occurrences in central parts of Balkan peninsula",* Bosnia, Serbia, Macedonia, Greece Radovi – Geoinstitut. 27 (1992) 303 - 331.
[17] Buisson G., leblance M., *"Gold in carbonatized – ultramafic rocks from ophiolites complexes",* Eco. Geol. 80 (1985) 2028 - 2029
[18] Ash C. H., Arksey R. L., *"Listwanite – Lode gold association in British Columbia"*, Ministry of Energy, Mines and petroleom Res. (1990) 359 - 364.
[19] Tuysuz N., Erler A., *"Geochemistry and evolution of listwaenites in the Kagizman region",* Chemie der Erde. 53, 4 (1993) 315-329.
[20] Hall C., Zhao R., *"Listvenite and related rocks: perspectives on terminology and mineralogy with refrence to an occurrence at cregganbaun",* Co. Republic of Ireland, mineral Deposite 30 (1995) 303- 313
[21] Urcurm A., *"Geology, geochemistry and mineralization of the silica – carbonate alteration (listwenite) from Cretaceous ophiolitic melange at Curej – Diverigi in Sivas province and at Guvene. Karakuz – Hekimhan in Malatya province; central East"*, Turkey. Ph. D. thesis, University of Nevada United states (1996) 169.
[22] Koc S., Kdiojlou Y. K., *" Mineralogy, geochemistry and precious metals content of Koracakaga Yunusemre- Eskisehir Listwaenites"*, Ofioliti 21, No. 2 (1996) 125 - 130.
[23] Abedi. A., *"Ore Minerals in serpentinites of the ophiolite of South – East Birjand (IRAN)"*, Geology of ore deposits 41, No. 5 (1999) 455 - 461.
[24] Urcurm A., *"Listwaenites in Turkey: perspectives on formation and precious metal concentration with refrence to occurrences in east central Anatolia",* Ofioliti 25, No.1 (2000) 15 – 29.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

[۲۵] زرین‌کوب م. ح.، *"بررسی مواد معدنی با تاکید بر واکنشهای آبزا و پدیده لیستونیتی شدن در . . ."*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنرکرمان (۱۳۷۲) صفحه ۳۰۳.

[۲۶] غلامی غ.، *"بررسی پتانسیلهای معدنی در منطقه خشک _ قاین"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۷۴) صفحه ۲۵۱.

[۲۷] زرین‌کوب م. ح.، آفتابی ع.، کریم‌پور م. ح.، *"کانی شناسی لیستونیت‌های منطقه سهل‌آباد بیرجند"*، خلاصه مقالات چهارمین سمینار بلورشناسی وکانی‌شناسی ایران (۱۳۷۴).

[۲۸] عابدی آ.، ضیائی م.، *"مطالعات اکتشافی بر روی لیستونیت‌های حاصل از سرپانتینیت‌ها در منطقه بیرجند"*، مجموعه مقالات همایش شناخت توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن، بیرجند (۱۳۷۸).

[۲۹] امینی ص.، زرین‌کوب م. ح.، *"بررسی پتانسیل‌های معدنی در لیستونیت‌های شرق ایران"*، مجموعه مقالات همایش شناخت توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن، بیرجند (۱۳۷۸).

[۳۰] خطیب م. م.، زرین‌کوب م. ح.، *"بررسی هندسی فضای ایجاد شده برای نهشت لیستونیت‌ها و کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی در شرق ایران"*، مجموعه مقالات همایش شناخت توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن ایران مرکز بیرجند (۱۳۷۸).

[۳۱] فلسفیون ف.، نوربهشت م.، نقره‌ئیان ر. ش.، *"کانی‌شناسی و ژئوشیمی لیستونیت‌های شمال شرق انارک"*، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد (۱۳۸۲).

[32] Grensen R. L. et al., *"Alkali enrichment haloes and nickel depletion haloes around gold – bearing silica – carbonate veins in serpentine"*, Washigton state, the association explorathin geochemistry (1982) 107 - 110.

[33] Fryer B. J. et al., *"Archean precious metal hydrothermal system, dome mine, Abitibi greenstone belt. I; pattern of altration and metal distribution",* Can. J. Earth. Sci. 16 (1978) 421 - 439

[34] Buisson G., leblance M., *"Gold – bearing listwaenits carbonatized ultramafic rock from ophiolite complexes",* Pub. Institution mining metallurgy, London, England (1985).

[35] Aydal D., *"Gold – bearing listwanites in the Arac massif"*, Kastamonu, Turkey 2, No. 1 (1990) 43 - 51

[36] Leblance M., *"Platinum – group elements and gold in ophiolites complexes"*, distribution and fractionation from mantle to oceanic floor, ophiolite genesis and evolution of oceanic lithospher (1991) 231 - 290.

[37] Safono YU. G., *"Hydrothermal gold deposits distribution, geological geneticty and producitivity of ore – forming systems",* Geology of ore deposit, 39, No.1 (1997) 20 - 32.

[38] Henderson F. B., *"Hydrothermal alteration and ore deposition in serpentins – type mercury deposit"*, Eco. Geol. 64 (1969) 489 - 496.

[39] Verdenburgh I. M., *"Tertiary gold bearing mercury deposits of the coast ranges of California",* California geology (1982) 23 - 27.

[40] Pipino C., *"Gold in Ligurian ophiolites (Italy)"*, ophiolites Proceedings. International Ophiolite Symposium Cyprus (1879) 765 - 773.

[41] Moritz R. P., et al., *"Source of lead in the gold bearing – quartz fuchsite vein at the Kome mine Timmins area, Ontario, Canada",* Mineral Deposita 25 (1990) 270 - 260.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]

[42] Tirrul R., Bell l. R., Griffis J. R., Camp V. E., *" The sistan suture zone of Eastern Iran",* G. S. A. Bulletin. 94 (1983) 134 - 150.
[43] Penczak R. S., Mason R., *" Metamorphosed Archean epitermal Au - As - Sb - Zn - Hg vein mineralization at the Cambell mine northwestern Ontario"* , Eco. Geology 92 (1997) 696 - 719.
[44] Sibson R. H., *"Brecciation processes in fault zone: Inferences from earthquake rupturing"*, pure and Applied Geophysics 124 (1986) 159 - 174.
[۴۵] زرین‌کوب م. ح.، *″پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیت جنوب بیرجند″*، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۷۹) صفحه ۳۳۶.
[۴۶] زرین‌کوب م. ح.، آفتابی ع.، *″طلا در رگه‌های لیستونیتی و محلولهای گرمابی- دگرگونی و ارتباط آنها با واکنشهای آبزا در ایران و جهان″*، فصلنامه علمی، فنی، اقتصادی و خبری، شماره ۵۴ -۵۲ (۱۳۷۳) صفحه ۲۰-۲۹.
[۴۷] زرین‌کوب م. ح.، آفتابی ع.، کریم‌پور م. ح.، *″بررسی مواد معدنی با تاکید بر واکنشهای آبزا و پدیده لیستونیتی شدن در منطقه سهل‌آباد بیرجند″*، خلاصه مقالات دومین سمپوزیوم زمین شناسی خاور ایران (۱۳۷۳) صفحه ۴۴-۴۷.
[۴۸] کریم‌پور م. ح.، آدابی م. ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، *″بررسی کانی‌شناسی، عناصر اصلی و فدعی و ترکیب ایزوتوپی C-O منیزیت در معادن منیزیت افضل آباد، چاه خو و ترشک″*، دهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۸۱).
[49] Hyndman D. W., *"petrology of igneous and metamorphic rocks"*, second Edt. Mc. Graw – Hill Book company (1986) 786
[50] Mason B., Moore C. B., *"Principles of geochemistry"*, John Willey & sons, (1982) 345.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-14]