

# مطالعه زمین شیمی، کانی سنگین، خاستگاه و پتانسیل طلا در لیستوینیت‌های

## هنگران - ناحیه مختاران (خاور ایران)

نوشته: علیرضا باباخانی\* و رضا منظمی باقرزاده\*\*

### A Study of Geochemistry, Heavy Minerals, Genesis and Gold Potential in Hangaran Listweanites, Mokhtaran Area, Iran

By: A. R. Babakhani\* & R. Monazzami Bagherzadeh\*\*

#### چکیده

رخنمون‌های گسترده‌ای از لیستوینیت (سرپانتینیت‌های کربناتی شده) در محور بیرجند-نهبندان در خاور کشور و جنوب استان خراسان وجود دارد که در وسعتی افزون بر ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع در امتداد گسل‌های اصلی و در میان مجموعه افیولیتی-آمیزه رنگین-فلش تشکیل شده‌اند. بیشترین گسترش این رخنمون‌ها در بخش جنوبی نقشه مختاران (۱:۱۰۰۰۰۰) مشاهده می‌شود. لیستوینیت‌ها از نظر سنگ شناسی به انواع سیلیسی نهان بلورین برشی حاوی کانیهای سولفیدی، سیلیسی بدون سولفید، سیلیسی-کربناتی و کربناتی تقسیم شده و بیشتر در مجاورت بلافضل سنگهای فراابازی دیده می‌شوند. از نظر کانی شناسی، متشکل از کانیهای اصلی کوارتز نهان بلورین (اپال، ژاسپ)، کوارتز بلورین، کلسیت، دولومیت، منیزیت، سیدریت، سرپانتین و کلریت، و کانیهای فرعی پیروکسن، کرومیت، مگنتیت، سینابار، کلکوپیریت، بورنیت، آرسنوپیریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن است. در این میان، لیستوینیت‌های نوع سیلیسی برشی حاوی سولفید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از نظر پی جویی طلا، گزینه مناسب‌تری هستند. در این نوع لیستوینیت، کانیهای سولفیدی از جمله پیریت، کلکوپیریت، بورنیت، آرسنوپیریت و کوولیت دیده می‌شوند. بعضی از بلورهای سولفیدی به اکسید و هیدروکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند. همچنین به منظور مطالعه کانیهای سنگین، از رسوبات دانه درشت رودخانه‌ها نیز نمونه برداری شد. در مطالعه نمونه‌های کانی سنگین، ذرات ریز طلا (۳۰ تا ۱۵۰ میکرون) همراه با کانیهای پیریت، کلکوپیریت، سینابار و مس طبیعی مشاهده شد. دگرسانی غالب در مجموعه لیستوینیتی عبارتند از: سیلیسی، لیمونیتی، هماتیتی و گوتیتی و به طور محدود آرژلیک. خاستگاه طلا، نقره، آرسنیک و دیگر عناصر همراه از سنگهای فراابازی سرپانتینیتی شده سرچشمه گرفته است. با پیشرفت دگرگونی ناحیه‌ای، محلولهای حاوی آنیونهایی مانند  $(CO_3)^{2-}$ ،  $Cl^-$ ،  $(SO_4)^{2-}$  با عناصر فلزی (Ni, Co, Cr, Cu, Hg, Sb, As, Ag, Au) کمپلکس تشکیل داده و در اثر صعود به بخشهای بالایی، در زونهای برشی و همراه با نهشت سیلیس و در سد ژئوشیمیایی بخشهای کربناتی (لیستوینیت کربناتی)، تشکیل نهشته‌های رگه‌ای سیلیسی سولفیددار حاوی طلا را دادند.

**کلیدواژه‌ها:** لیستوینیت، طلا، کانی سنگین، هنگران، مختاران، ایران

#### Abstract

The widespread listweanites (carbonatized serpentinites) outcrop in Birjand-Nehbandan axis in the east of Iran and south of Khorasan province. listweanites cover an area extending more than 25000 km<sup>2</sup>, and occur along the major faults and between flysch-colored mélange-ophiolite complex. The most extensive outcrop is in the south of Mokhtaran map (scale 1:100000). On the basis of lithology, listweanites, occurring mostly close to ultrabasic rocks, are divided into four categories: breccia cryptocrystalline silicic listweanite bearing sulfide minerals, silicic listweanite, and silicic-carbonatic listweanite. Among these, breccia silicic listweanite bearing sulfide can be a suitable case for gold exploration. Sulfide minerals such as pyrite, chalcopyrite, bornite, arsenopyrite and covellite occur in this listweanite. With respect to mineralogy, listweanite rocks consist of major minerals such as cryptocrystalline quartz (opal, jasper), calcite, dolomite, magnesite, siderite, serpentine, chlorite, and minor minerals such as pyroxene, chromite, magnetite, cinnabar, chalcopyrite, bornite, arsenopyrite and Fe-oxide-hydroxide. Some of the sulfide minerals have altered to Fe-oxide and hydroxides. Heavy mineral studies, on the samples taken from river sediment, show that the particles of gold (30-150 microns) are associated with pyrite, chalcopyrite, cinnabar and native copper.

Significant alterations in the listweanitic complex are silicification, hematization, and slight argillitization. The origin of gold, silver, arsenic and other associated elements are from serpentinized ultrabasic rocks. With development of regional metamorphism, fluid bearing anions like  $(CO_3)^{2-}$ ,  $Cl^-$ , and  $(SO_4)^{2-}$  form complexes with metallic elements such as Au, Ag, Sb, As, Hg, Cu, Ni, Cr, and Co. This fluid ascends to the upper parts, forming gold-bearing sulfide-silicic vein deposit in breccia zones and in the geochemical bars of carbonatic parts (carbonatic listweanite with silica deposition).

**Keywords:** Listweanite, Gold, Heavy minerals, Hangaran, Mokhtaran, Iran

## ۱- مقدمه

کاهش روزافزون نهشته‌های رگه‌ای و پرعیار طلا و روی آوری به نهشته‌های کم عیار، باعث شده است تا با توجه به اهمیت این فلز با ارزش، مطالعه سنگهای لیستوینیتی محور بیرجند- نهبندان به لحاظ اکتشاف طلا، مورد توجه قرار گیرد. تاکنون در چنین وسعتی برنامه اکتشافی طلا در این منطقه اجرا نشده است.

سنگهای لیستوینیتی که عمدتاً در زونهای افیولیت- آمیزه رنگین- فلیش و در مجاورت بلافضل سنگهای فرابازی دگرسان شده دیده می‌شوند، ابتدا توسط نوایی و افتخارنژاد با همکاران (۱۳۵۱) در گزارش حاشیه نقشه زمین‌شناسی سهل آباد و سپس توسط دیگر محققان علوم زمین در نقشه‌های مختاران، بیرجند، خوسف، گزیک، و ... معرفی شدند. بیشترین برونزد سنگهای لیستوینیتی در خاور کشور مشاهده شده است و در صورت اقتصادی بودن استخراج طلا در این سنگها و با توجه به گسترش وسیع آنها، دستیابی به منبع قابل توجهی از این فلز گرانبها دور از ذهن نخواهد بود. در این تحقیق، خاستگاه کانی سازی طلا در بخشهای لیستوینیتی نوع سیلیسی سولفیددار و تا حدودی بخشهای دگرسان شده به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله نکات مهم در این بررسی، گسترش مناطق دگرسانی و شکستگیها، بویژه گسلهای موجود در منطقه است که در تشکیل و تمرکز کانی سازی نقش بسزایی داشته‌اند.

## ۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

بر اساس اطلاعات به دست آمده از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور، گسترش و پراکندگی لیستوینیتها بیشتر در خاور ایران گزارش شده است (شکل ۱). در بیشتر مناطق، لیستوینیتها در مجاورت سنگهای فرابازی (دونیت، پیروکسنیت) دگرسان شده به سربانتینیت دیده می‌شوند. برونزدهای لیستوینیتی در دوازده نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و در وسعتی بالغ بر ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع مورد بررسی مقدماتی قرار گرفتند و با توجه به بیشترین گسترش این برونزدها در بخش جنوبی نقشه مختاران، مطالعه نیمه تفصیلی بر روی لیستوینیت‌های این منطقه صورت گرفت. این برونزدها در محدوده جغرافیایی با مختصات

۳۲° ۰۴' تا ۳۵° ۰۴' عرض شمالی واقع در ارتفاعات شمال-شمال خاور روستای هنگران مشاهده می‌شوند (شکل ۲). کروکی راههای ارتباطی به محدوده مورد مطالعه در شکل ۳ آورده شده است.

## ۳- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه خاوری کشور و جزئی از کمربند افیولیتی-آمیزه رنگین- فلیش در نظر گرفته می‌شود. این بخش از صفحه ایران در بیشتر تقسیم بندیهای زمین ساختی-رسوبی، با عنوان ایالت ساختاری سیستم معرفی شده است (زرین کوب، ۱۳۷۲). قدیمی‌ترین واحدهای مربوط به دوره کرتاسه و جدیدترین آن به عهد حاضر تعلق دارد.

بخش بزرگی از منطقه از سنگهای فرابازی سربانتینی با سن کرتاسه پسین که جزئی از مجموعه افیولیتی خاور کشور به شمار می‌آید، تشکیل شده است. سنگهای فرابازی، بیشتر در مرز گسلهای اصلی، بویژه گسلهای رورانه دیده می‌شوند. دیابازها از جمله سنگهای بازی با سن کرتاسه پسین هستند که بویژه در جنوب مختاران گسترش زیادی دارند. پس از آن، گابروها را می‌توان در نظر گرفت و به دلیل عملکرد زمین ساخت در منطقه، دگرسانی وسیعی در بیشتر سنگهای موجود رخ داده است. در بخش جنوبی منطقه، برونزدهای گرانیتی با سن تشریری دیده می‌شوند که به شدت خرد و دگرسان شده‌اند. در مجاورت گرانیتها، برونزدهایی از بیوتیت گنیس مربوط به اواخر کرتاسه و حتی قدیمی‌تر دیده می‌شود که حاکی از رخداد دگرگونی درجه بالا است (شکل ۴). شاخص‌ترین بخش سازندهای سنگی منطقه، سنگهای لیستوینیتی است که بحث اصلی این تحقیق را به خود اختصاص می‌دهد.

## ۴- زمین ساخت منطقه

در بررسیهایی که بر روی درزه و شکستگیهای موجود در برونزدهای لیستوینیتی منطقه هنگران صورت گرفت و با استناد به نمودار گل سرخی رسم شده از آنها (شکل ۵)، دو دسته اصلی این درزه و شکستگیهای

(مانند  $CO_3$ ) و تشکیل کمپلکسهای کلریدی و سولفیدی با عناصر فلزی پایه و گرانبها (مانند Au, Ag, Ni, Cr, Co, Cu, Pb, Zn, Pt) مشتق شده از سنگهای فرابازی سرپانتینی، زمینه برای خروج این عناصر از محیط اولیه فراهم شده است. با بررسی صحرایی، ارتباط مستقیم بخشهای لیستونیتی با سنگهای فرابازی به اثبات رسیده است، چرا که در بعضی از نمونه‌های دستی سنگهای فرابازی، تبدیل ناقص این سنگها به بخشهای لیستونیتی قابل مشاهده است و در ضمن بخشهای لیستونیتی در مجاورت بلافضل سنگهای فرابازی تشکیل شده‌اند. بهترین مکان برای صعود محلولهای گرمابی، زونهای برشی ناشی از فعالیت‌های زمین ساختی و شکستگیهای هیدرولیکی است که بر اثر چیرگی فشار سیال بر فشار لیتوستاتیک حاصل می‌شوند. این معابر ضمن اینکه سیالها را از محل اولیه دور می‌کنند، محلهای مناسبی برای نهشت مواد همراه سیال بوده و بدین وسیله باعث ایجاد نهشته‌های رگه‌ای می‌شوند.

لیستونیتها به شکل رگه‌هایی در ابعاد مختلف درون سنگهای فرابازی سرپانتینی شده در محل گسلهای اصلی و اکثراً رورانده مشاهده می‌شوند. پدیده‌های کانی سازی طلا، جیوه و مس می‌تواند در این سنگها یافت شود. با توجه به بررسیهای صحرایی و همچنین نتایج تجزیه شیمیایی، چنین مشخص شد که طلا در زونهای لیستونیتی نوع سیلیسی سولفیددار دارای تمرکز بیشتری نسبت به دیگر انواع لیستونیتهاست که احتمالاً حاکی از شرایط مناسب Eh-pH برای نهشت طلا و سیلیس است.

#### ۶- زمین شیمی

به منظور مطالعات زمین شیمیایی و تعیین عیار طلا و منشأ آن، نمونه برداری از برونزدهای لیستونیتی و فرابازی به عنوان سنگ میزبان و رسوبات رودخانه‌ای صورت گرفت.

#### ۶-۱- الگوی نمونه برداری از سنگ

از برونزدهای لیستونیتی اعم از کربناتی، سیلیسی، و سیلیسی- کربناتی با توجه بیشتر به زونهای سیلیسی برشی حاوی سولفید و همچنین سنگ میزبان فرابازی، نمونه برداری به صورت chip sampling انجام شد. در این برنامه اکتشافی سعی شده است هر نمونه بیشترین وسعت برونزدها را در برگیرد و به عنوان نماینده مناسبی از محدوده نمونه برداری محسوب گردد. وزن هر نمونه، ۳ کیلوگرم در نظر گرفته شد. نمونه‌ها پس از خردایش و نرمایش، برای تجزیه شیمیایی به کشور چین ارسال گردید.

#### ۶-۲- نتایج زمین شیمی نمونه‌های سنگی

نمونه‌های سنگی برداشت شده برای تجزیه، به دو گروه تفکیک شدند. این

منطقه، روند NNE-SSW (۱۵ درجه خاوری) و NW-SE (۱۳۵ درجه خاوری) نشان می‌دهند، به طوری که دسته دوم، هم روند با شاخه باختری گسل "نه" است که در شکل ۳ و در بخش جنوبی منطقه مختاران قابل رؤیت است. این دو دسته درزه، تشکیل درزه‌های برشی مزدوج را داده‌اند. به دلیل روراندگی در این منطقه، گسلهای راندگی به عنوان گسلهای اصلی در نظر گرفته می‌شوند که تقریباً روند خاوری- باختری دارند. با توجه به جهت فشار اصلی در منطقه (1) که عمود بر امتداد گسلهای راندگی است، درزه‌های متعددی نیز هم روند با (3) به وجود آمده‌اند که به عنوان سامانه شکستگیهای فرعی در نظر گرفته می‌شود (N65E). با توجه به روند فشارهای (1) و (3)، بیشتر رگه‌های سیلیسی سولفیدی طلا دار (مشخص شده با علامت sb در نقشه زمین شناسی- معدنی ۱:۱۳۰۰۰) در درزه‌ها و شکستگیهای کشتی هم روند با (3) تشکیل شده‌اند. روند تعدادی از رگه‌های لیستونیتی طلا دار N15W (هم روند با 1) است. با توجه به عملکرد زمین ساخت در منطقه و وجود درزه و شکستگیهای گوناگون، برخی از رگه‌های سیلیسی معدنی دارای روند های دیگری هستند که در این تحقیق در زمره رگه‌های فرعی در نظر گرفته شده‌اند.

#### ۵- لیستونیت و کانی سازی طلا در آنها

واژه لیستونیت (listwanite) نخستین بار در دهه ۱۹۳۰ توسط زمین شناسان روسی مطرح گردید. لوبوچنیکف (Lobochnikov, 1936) لیستونیت را به عنوان سنگی که در اثر افزوده شدن Si, Fe, Mg به سنگهای آهکی ایجاد می‌شود، توصیف کرد.

در این کار تحقیقی- اکتشافی، لیستونیتها به چهار دسته تقسیم شده‌اند: الف) لیستونیت نوع سیلیسی برشی دارای کانیهای سولفیددار، لیستونیت نوع سیلیسی بدون سولفید، لیستونیت نوع سیلیسی- کربناتی و لیستونیت نوع کربناتی که در مجموع از کانیهای کوارتز نهران بلورین تا ریز بلور، کلسیت، دولومیت، منیزیت، سیدریت به عنوان کانیهای اصلی سازنده سنگ و کانیهای سرپانتین، کلریت، پیروکسن، کرومیت، مالاکیت، پیریت، کلکوپیریت، بورنیت، آرسنوپیریت، سینابار، اکسید و هیدروکسیدهای آهن با مقادیر کمتر تشکیل شده‌اند.

در اثر دگرگونی ناحیه‌ای در زمان رانش پوسته اقیانوسی بر روی پوسته قاره‌ای و در ادامه آن تا استقرار کامل بر روی پوسته قاره‌ای (اواخر کرتاسه پسین)، مقادیر کافی از  $H_2O$  و  $CO_2$  تولید شد. محلول تولید شده تحت تأثیر عوامل مختلف اعم از دگرگونی و در پی آن فعالیت آتشفشانی وسیع از نوع دیابازی و پس از آن نفوذ گرانیات ترشیاری، گرم شده و انحلال پذیری آن زیاد گردید و با توجه به آنیونهای همراه خود

آهکی همراه با کانیهای ثانویه آهن و زون اکسیدی با اندکی کانی سازی فلزی برداشت شده‌اند. همچنین همبستگی خوبی بین نقره و آرسنیک دیده می‌شود (شکل ۹).

### آرسنیک

میزان آرسنیک ۱ ppm تا ۳۰۶۶ ppm در تغییر است و میانگین این عنصر در نمونه‌های برداشت شده ۱۶۲/۳۸ ppm است. جالب توجه اینکه نمونه‌های با غلظت بالای آرسنیک (نمونه‌های با ۳۰۶۶، ۱۶۶۶، ۱۵۸۸ و ۱۵۳۸ ppm) بیشتر از تجزیه نمونه‌های لیستوینتیهی سیلیسی - کربناتی تا سیلیسی همراه با اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و همچنین زونهای حاوی سولفیدها بالاخص آرسنوپیریت به دست آمده است. تغییرات عیار آرسنیک در برابر جیوه در زونهای مختلف همبستگی خوبی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

### جیوه

پایین ترین مقدار جیوه در نمونه‌های برداشت شده از سنگهای لیستوینتیهی، ۰/۱۴ ppm و بیشترین مقدار آن ۲۱۳۹ ppm اندازه گیری شده است. دو نمونه دیگر با ۶۰۲ و ۱۵۰ ppm نیز در بین نمونه‌ها شاخص هستند. این نمونه‌ها نیز بیشتر مربوط به زونهای لیستوینتیهی سیلیسی حاوی بخشهای با دگرسانی لیمونیتی - هماتیتی - گوتیتی است. میانگین غلظت جیوه به دست آمده ۲۶/۸۰ ppm می‌باشد. همبستگی عنصر جیوه با نقره منفی است (شکل ۱۱).

### ۷- مطالعه کانیهای سنگین

در راستای نمونه برداری از بخشهای سنگی و برای تکمیل مطالعه و جمع آوری داده‌ها، از بخشهای کنگلومرای - ماسه‌ای ۴۴ آبراهه منشعب از توده‌های لیستوینتیهی نمونه برداری کانی سنگین انجام شد. از پایین دست رخنمونهای لیستوینتیهی و در مسیر آبراهه اصلی، از عمق ۳۰ سانتی متری و در عرض رودخانه (عمود بر امتداد رودخانه) نمونه برداری صورت گرفت. وزن هر نمونه ۵ کیلوگرم رسوب خشک الک شده در زیر الک ۲۰ مش می‌باشد. در نمونه برداری کانی سنگین حتی الامکان سعی شده تا نمونه برداشت شده متعلق به رخنمونهای لیستوینتیهی باشد.

در اولین مرحله، نمونه‌ها با آب شسته می‌شود (مرحله لاوک شویی)، سپس در مرحله بروموفرم گیری، کانیهای با وزن مخصوص بیش از ۲/۹۸ گرم بر سانتی متر مکعب (کانیهای سنگین) از کانیهای سبک جدا می‌شوند. با توجه به مطالعه نمونه‌های کانی سنگین رخنمونهای لیستوینتیهی منطقه مورد مطالعه، چنین مشخص شد که این نمونه‌ها عمدتاً دارای کانیهای مگنتیت، کرومیت، هماتیت، پیروکسن، اولیوین، آمفیبول، آپاتیت، زیرکن، روتیل و گاه کانیهای اسفن و باریت می‌باشند. همچنین به

دو گروه شامل سنگهای لیستوینتیهی و سنگ میزبان فرابازی است و به منظور بررسی و اطلاع از میزان غلظت طلا، نقره، آرسنیک و جیوه، در مجموع، ۱۴۷ نمونه مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت (جدول ۱ و ۲).

### ۶-۲-۱- سنگهای فرابازی

به منظور بررسی عنصر طلا و عناصر همراه، از جمله Sb, Ag, Hg, As نمونه‌هایی از سنگ میزبان فرابازی سرپانتینه برداشته شد تا از نظر فقیر یا غنی شدگی غلظت این عناصر نسبت به سنگهای لیستوینتیهی مقایسه‌ای صورت گیرد. با توجه به تجزیه شیمیایی ۱۵ نمونه سنگ فرابازی سرپانتینه از محدوده مورد مطالعه، بیشترین مقدار طلا ۸/۲ ppb و کمترین آن ۰/۴ ppb و میانگین آن ۱/۵ ppb به دست آمد که خود شاخصی از فقیرشدگی طلا در سنگ میزبان سرپانتینهی نسبت به سنگ لیستوینتیهی است و انتقال طلا از سنگ میزبان فرابازی به لیستوینتیها را نشان می‌دهد.

### ۶-۲-۲- لیستوینتیها

#### طلا

از انواع مختلف سنگهای لیستوینتیهی ۱۳۲ نمونه سنگ برداشت شد. دامنه تغییرات طلا بین ۰/۵ تا ۱۳۰ میلیگرم در تن (ppb) است. عیارهای بالاتر طلا مربوط به رگه‌های لیستوینتیهی سیلیسی برشی سولفیددار است. در این بخشها، کانیهای پیریت، کلکوپیریت، بورنیت و آرسنوپیریت شناسایی شده‌اند که در برخی جاها به کانیهای ثانویه آهن‌دار دگرسان شده‌اند. این زونهای سیلیسی برشی طلا‌دار بیشتر در محل گسلهای منطقه تمرکز یافته‌اند. چنانچه مقدار ۱۰ ppb طلا به عنوان میانگین حد زمینه (background) و ۵۰ ppb طلا به عنوان حد آستانه طلا در سنگهای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شود، مناطق با عیارهای بالاتر از ۵۰ ppb طلا را می‌توان به عنوان بی‌هنجاری (anomaly) در نظر گرفت. در این ارتباط بیشترین عیارهای طلا مربوط به رگه‌های سیلیسی برشی سولفیددار خاکستری رنگ است.

تغییرات عیار طلا در برابر نقره در بخشهای مختلف در شکل ۶ رسم شده است به طوری که همبستگی نسبتاً خوبی بین این زوج عنصر وجود دارد. از سوی دیگر، همبستگی ضعیفی نیز بین زوج عنصر Au-As دیده می‌شود (شکل ۷). تغییرات عیار طلا در برابر جیوه، همبستگی منفی نشان می‌دهد (شکل ۸).

#### نقره

میزان تغییرات نقره در نمونه‌های برداشت شده از ۰/۱۰۱ ppm تا ۱/۸۹۵ ppm و میانگین آن ۰/۱۰۶ ppm است. دو نمونه که دارای بیشترین مقادیر نقره (۰/۹۶۸ و ۱/۸۹۵ ppm)، از بخشهای لیستوینتیهی

باقیمانده کانیهای پیریت و کلکوپیریت دیده می‌شود، به گونه‌ای که بقیه بخشهای کانی به هماتیت، لیمونیت و گاهگوتیت دگرسان شده است (اشکال ۱۲ و ۱۳). در بخشهایی نیز گرانیتها و رگه‌های سیلیسی - فلدسپار در بدنه لیستونینتها نفوذ کرده‌اند که بیشتر دگرسانی شدید آرژیلیک را موجب شده‌اند به گونه‌ای که بیشتر فلدسپارها به کانیهای رسی تبدیل شده‌اند. ارتباط مستقیمی بین شدت بی‌هنجاری طلا با زونهای دگرسانی مشاهده می‌شود و در محل گسلهای اصلی و با وسعت بیشتر، به دلیل به وجود آمدن معبرهایی برای حرکت محلولهای کانه دار و چرخش در بدنه سنگهای فرابازی و در نتیجه حمل، انتقال و تمرکز بیشتر عناصری از قبیل طلا، نقره، آرسنیک، جیوه، آنتیموان، مس، ... همراه با سیلیس، از یک سو مقدار طلا و عناصر همراه نهشته شده با سیلیس نهان بلورین (لیستونیت سیلیسی) بالاتر است و از طرف دیگر، چگالی دگرسانی از نظر گسترش و حجم تشکیل کانیهای ثانویه نیز نسبت به بخشهای کربناتی و بدون سولفید بیشتر است.

#### ۹- خاستگاه، نحوه تشکیل و نتیجه گیری

با توجه به مطالعات صحرایی و توالی سنگی موجود در منطقه، سنگهای فرابازی سرپانتینی شده که بیشتر پریدوتیت‌های گوشته بالایی هستند، خاستگاه اصلی طلای یافت شده در لیستونینتها می‌باشند. طلا با کانیهای مات (بوژه پیریت) و احتمالاً کرومیت و مگنتیت در سنگهای لیستونینتی همراه است و این موضوع با تجزیه شیمیایی کنسانتره پیریت حاصل از نمونه‌های کانی سنگین ثابت شده است.

لیستونینتها که در واقع سنگهای فرابازی کربناتی شده مربوط به کمپلکس افیولیتی هستند، هدف جدیدی برای اکتشاف طلا را تشکیل می‌دهند. به طور معمول، عدسیهای لیستونینتی در راستای همبرهای زمین ساختی اصلی در مراحل انتهایی جایگیری سنگهای فرابازی تشکیل شدند. از نظر اقتصادی، رگه‌های سیلیسی غنی از پیریت و آرسنید مربوط به آخرین مرحله کانی سازی، مناسب‌ترین بخشهای پیشنهادی برای اکتشاف طلا هستند.

به عنوان یک مدل پیشنهادی و در مقیاس بزرگ، سیستمهای گرمایی در گستره زمانی پس از جایگیری زمین ساختی و سرپانتینی شدن توده‌های فرابازی رخ داده‌اند (شکل ۱۴). طلا عمدتاً از کانیهای مات (مانند پیریت) به صورت کمپلکسهای آرسنیک توسط محلولهای غنی از  $\text{CO}_2\text{-S-As}$   $\text{Cl-Na-K-B}$  شسته و حمل شده است به طوری که فرض بر این است که این محلولها از آب دریا مشتق شده و مربوط به مرحله کمی پس از دگرسانی سنگهای فرابازی می‌باشد (بویسون و لوبلان، ۱۹۸۵). همبرهای زمین ساختی به عنوان کانالهای عبوری برای این شورابها با تمرکز بر

لحاظ اقتصادی، کانیهای با ارزش طلا، سینابار و همچنین پیریت، کلکوپیریت و مس طبیعی (native copper) در این نمونه‌ها مشاهده شده است.

نتایج حاصل از مطالعه ۴۴ نمونه کانی سنگین با در نظر گرفتن کانیهای با اهمیت و ارزشمند (بوژه طلا) در جدول ۳ ارائه شده است. دانه‌های طلا با شکلهای مختلفی از جمله کلوخه‌ای، اسفنجی و رشته‌ای و در اندازه‌های ۳۰ تا ۱۵۰ میکرون مشاهده شده‌اند. از نظر گردشگی، از دانه‌های زاویه دار، نیمه زاویه دار، نیم گرد شده تا گرد شده وجود دارد.

همچنین نمونه‌هایی از بخش سیلیسی سولفیددار و زون اکسیدی برداشت شد، به صورت مصنوعی (artificial) مورد خردایش قرار گرفت و نمونه‌ها در دو اندازه ۸۰- و ۴۰- مش آماده سازی شدند. در مطالعه این نمونه‌ها، ذراتی از طلا مشاهده نشد، بلکه تعداد زیادی ذره پیریت در نمونه‌های سیلیسی سولفیددار دیده شد. در ادامه، کنسانتره پیریت به لحاظ اندازه گیری مقدار طلا مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. در این نمونه‌ها که دارای بیشترین مقدار طلا بود، عیار طلا برای نمونه ۸۰- مش، ۵ ppm و برای نمونه ۴۰- مش، ۴/۳ ppm به دست آمد.

#### ۸- دگرسانی و ارتباط با کانی سازی

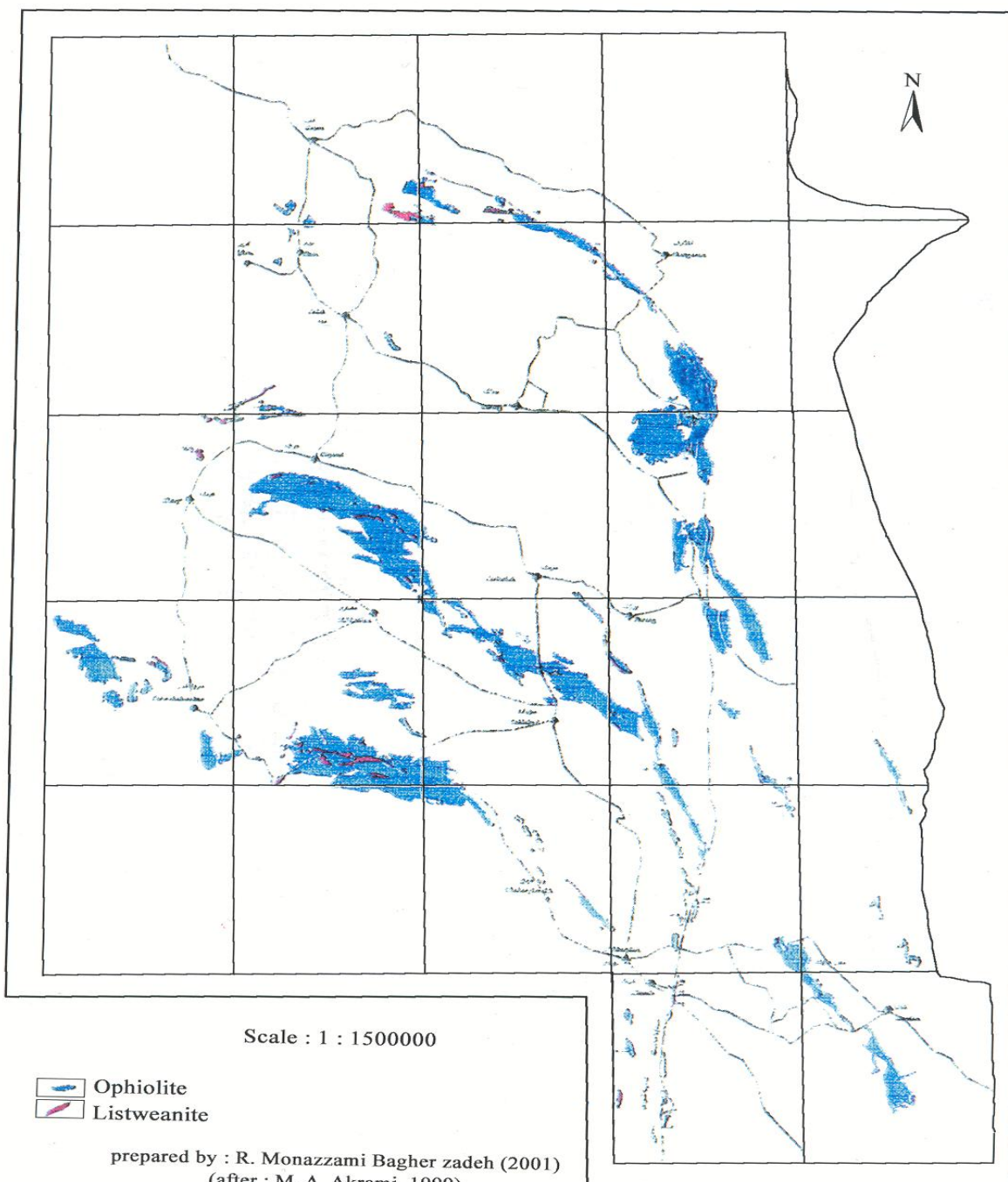
وجود تنوع سنگ شناسی و بالاخص مجموعه افیولیت- آمیزه رنگین- فلیش و لیستونینتهای واقع در درون آنها در منطقه هنگران، حاکی از عملکرد زمین ساخت در اواخر کرتاسه پسین تا اوایل پالئوژن و به شکل راندگی بخشهایی از پوسته اقیانوسی بر روی پوسته قاره‌ای بلوک خاور و در پی آن، دگرگونی، آتشفشانی و پلوتونیزم است، به گونه‌ای که وجود گسلهای متعدد از مظاهر آن است. از جمله نکات مهم در این منطقه، وجود زونهای دگرسانی شاخص است که بیشتر در مجاورت گسلها از چگالی بیشتری برخوردارند. دگرسانیهای مشهود در این منطقه عبارتند از: سیلیسی، لیمونیتی، هماتیتی، گوتیتی و در بعضی نقاط آرژیلیک. زونهای دگرسانی به صورت بخشهای رگه‌ای و با عرض کم و بیشتر در مجاورت رگه‌های لیستونینتی سیلیسی سولفیددار رخ داده‌اند. دگرسانی اولیه سولفیدها (پیریت، کلکوپیریت، بورنیت، آرسنوپیریت، ...) در بخشهای سیلیسی شده، بیشتر به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن منجر شده است. بخش مرکزی- خاوری منطقه هنگران (نقشه ۱:۱۳۰۰۰) از وسعت دگرسانی بیشتری برخوردار است که حاکی از تراکم بیشتر عملکرد گسلها در این محدوده است، بوژه اینکه در بعضی از نقاط این محور، تقاطع گسلها با یکدیگر نیز مشاهده می‌شود که در محل تقاطع، بیشترین ورود محلولها و در ادامه آن دگرسانی و کانی سازی رخ داده است. در مطالعه نمونه‌های دستی با ذره بین (با بزرگنمایی  $\times 20$ )، اثراتی از

محلولهای کانه‌دار در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. حضور دگرسانیه‌های لیمونیتی، هماتیتی، گوتیتی و تا حدی آرژلیک در بخشهایی از لیستوینتهای سیلیسی سولفیددار و همچنین رگه‌های کوارتز-فلدسپاتی می‌تواند به عنوان یک راهنمای اکتشافی کارآمد برای کشف کانی‌سازیهای احتمالی و نقاط بی‌هنجار مورد توجه قرار گیرد. وجود این نوع دگرسانیه‌ها با توجه به پایین بودن مقدار طلا، می‌تواند دارای اهمیت باشد چرا که این زونها می‌توانند خود میزبان رگه‌های سیلیسی سولفیددار همراه با طلا باشند.

فرایندهای کربناتی شدن (لیستونیت زایی) عمل کرده‌اند (زرین کوب، ۱۳۷۲). به موازات اینکه سامانه گرمایی در حال تکمیل شدن بوده محلولهای اسیدی طلا دار، پیریت-سیلیس و آرسنیدهای طلا را به هنگام ورود به محیط کاهیدگی و قلیایی سنگهای کربناتی شده، رسوبگذاری کرده‌اند. در واقع سنگهای کربناتی در برابر حرکت این محلولها، سد زمین شیمیایی تشکیل داده و باعث نهشت سیلیس به همراه عناصر فلزی در شکستگیها شده است. از بررسیهای انجام شده، ارتباطی نزدیک میان کانی سازی طلا و آرسنیک با سیالهای سیلیسی مرتبط با

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی لیستوینتها- طلا بر حسب ppb و بقیه عناصر بر حسب ppm

Au	As	Hg	Ag	Au	As	Hg	Ag	Au	As	Hg	Ag
0.5	7.5	0.16	0.106	0.8	3.8	0.11	0.06	1.7	36	8.9	0.036
130	91	0.6	0.063	1.8	7.3	0.034	0.029	0.5	93	5.1	0.034
6.7	3068	0.55	0.27	0.8	9.5	0.088	0.085	0.6	476	2.2	0.08
14	125	0.46	0.334	0.6	7.1	0.08	0.044	0.5	58	5.2	0.038
0.6	42	0.14	0.056	0.7	5.5	0.092	0.103	0.6	134	15	0.021
1.4	404	0.077	0.208	0.6	7.2	0.18	0.057	0.8	851	1.4	0.051
0.7	31	0.3	0.124	2.3	3.6	0.11	0.05	0.8	18	0.24	0.029
2.3	20	0.12	0.013	1.1	3.4	0.36	0.051	0.6	30	0.1	0.055
1.4	200	0.12	0.307	0.5	18	0.15	0.099	0.6	4.5	0.092	0.029
1.2	210	0.13	0.028	0.8	5.9	0.014	0.112	0.5	2.2	0.078	0.043
1	31	0.2	0.062	1.2	17	5	0.097	1.7	84	0.46	0.073
0.8	1.4	0.037	0.01	1.1	17	0.085	0.061	1.2	1686	50	0.087
1.2	44	1.2	0.021	1.9	4.4	0.043	0.068	1	25	4.9	0.074
1	2.1	0.08	0.016	1.1	1	0.045	0.055	0.5	22	1.9	0.031
1.4	19	0.24	0.07	1	3.8	0.09	0.042	0.6	79	1.4	0.101
0.7	63	3.1	0.078	1	4.8	0.18	0.036	0.5	155	2.5	0.058
1	28	2.5	0.078	0.9	9.9	0.18	0.03	0.6	186	6.4	0.038
1.1	181	1.2	0.517	1	4.2	0.08	0.089	0.7	156	2.8	0.058
0.6	105	2	0.068	0.6	876	18	0.04	0.7	79	1.2	0.062
7.1	112	0.69	0.203	14	125	0.59	0.054	0.88	91.4	0.05	0.54
1.2	259	2.6	0.143	1	1384	8	0.025	1.2	93.2	0.064	0.081
1.3	105	0.66	0.208	0.8	7.1	0.62	0.031	0.6	131	0.15	0.045
0.5	126	0.22	0.038	1.1	14	0.058	0.08	2.4	152	1.48	0.12
0.8	18	1.6	0.076	1.3	12	0.16	0.178	1.3	128	0.056	0.076
0.6	22	0.4	0.017	1.4	266	7.8	0.068	6.8	290	0.85	0.066
1.2	5.8	4.3	0.025	2.5	140	0.72	0.049	11	39.3	1.02	0.045
0.9	11	0.52	0.091	1.1	23	1.1	0.117	80	8.62	0.05	0.064
0.8	16	1.6	0.013	0.6	5.9	0.48	0.032	2.1	93.2	0.89	0.16
0.5	23	1.4	0.035	2	20	0.54	0.049	78	345	0.079	0.29
0.7	30	1.4	0.024	3.4	7.3	0.05	0.096	2.9	552	0.48	0.4
0.8	6.6	1.4	0.028	0.9	78	0.27	0.051	3.3	8.42	0.29	0.045
1.2	286	44	0.149	1	23	0.63	0.041	3	110	0.076	0.096
0.8	789	20	0.098	1.6	9.2	0.24	0.059				
0.8	1538	34	0.071	1.7	247	150	0.048				
8.1	226	802	0.968	2	16	1.4	0.068				
2.5	206	2139	0.089	0.7	9.4	0.33	0.034				
0.8	84	27	0.038	0.8	3	0.17	0.018				
0.7	86	27	0.041	0.7	33	1.2	0.066				
1.5	168	25	0.05	0.7	24	21	0.026				
0.7	29	0.58	0.062	0.7	44	64	0.044				
1.4	24	0.87	0.1	0.7	162	82	0.052				
2.1	9.6	0.48	0.068	0.6	72	18	0.032				
0.9	5.4	0.1	0.017	0.7	83	23	0.04				
1.3	4.4	1.4	0.029	0.8	392	11	0.028				
1.1	19	2.6	0.123	0.5	49	3.6	0.024				
25	172	1.2	0.973	0.8	283	28	0.044				
28	1588	3.1	1.895	1	32	5.6	0.021				
1.1	4.7	0.16	0.031	0.6	35	3.6	0.036				
0.9	6.7	0.042	0.024	0.9	49	7.2	0.036				
0.5	2.2	0.24	0.036	1	8.8	1.8	0.031				

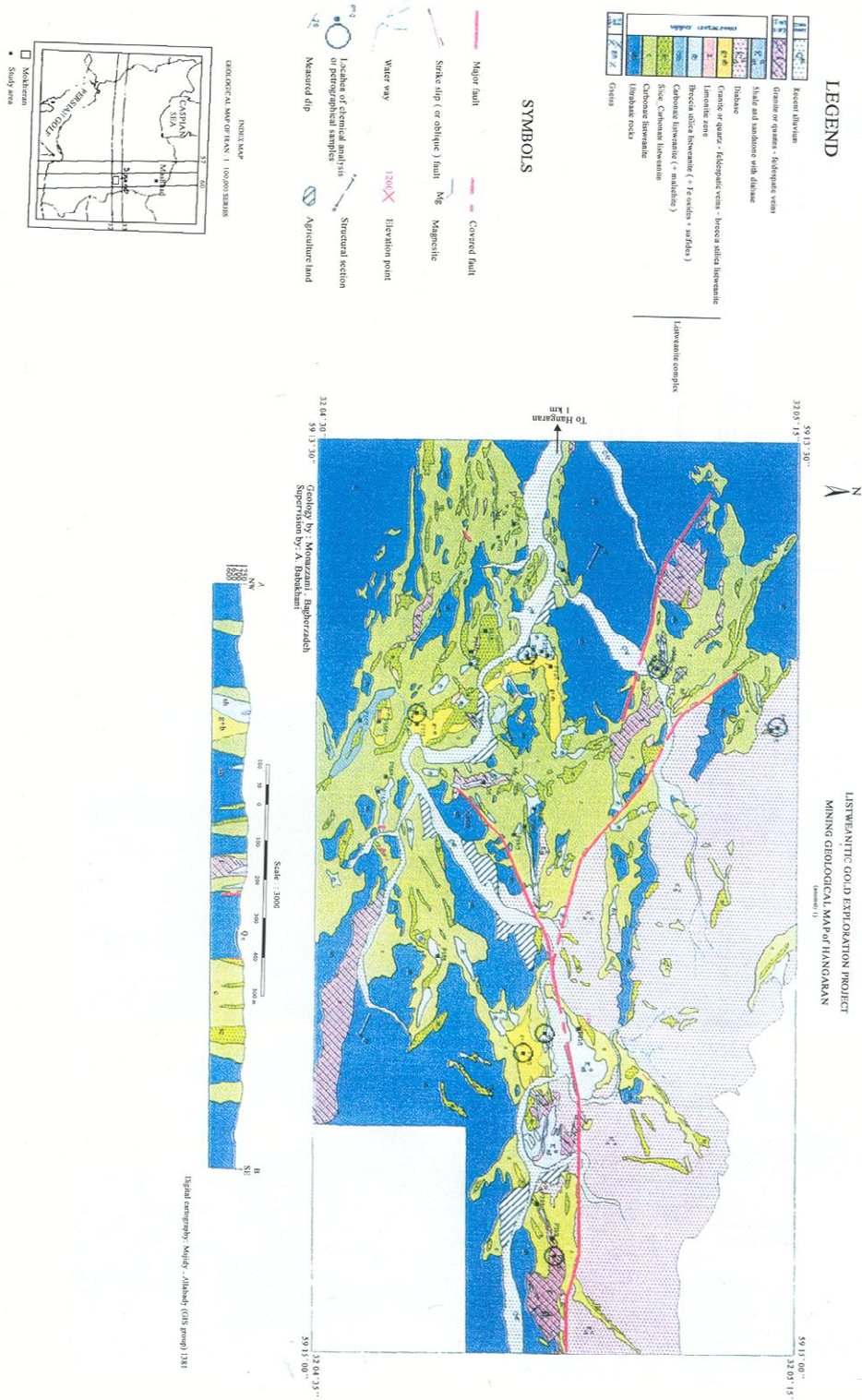


Scale : 1 : 1500000

-  Ophiolite
-  Listwanite

prepared by : R. Monazzami Bagher zadeh (2001)  
(after : M. A. Akrami, 1999)  
Digital cartography & Sh. Abbasian

شکل ۱- گسترش برونزدهای لیستوینتی در کمربند افیولیتی خاور ایران

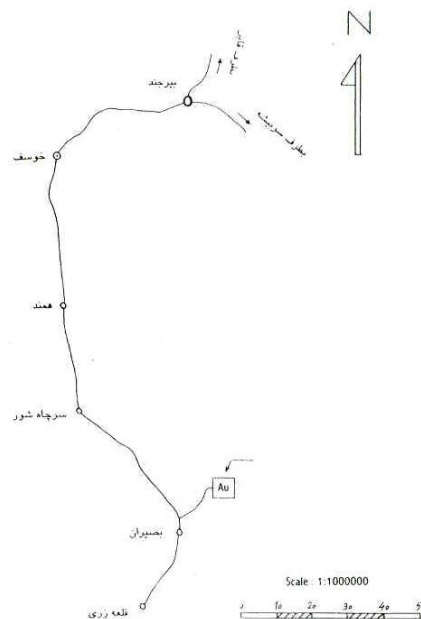


شکل ۲- نقشه زمین شناسی معدنی ۱:۱۳۰۰۰ منطقه هنگران

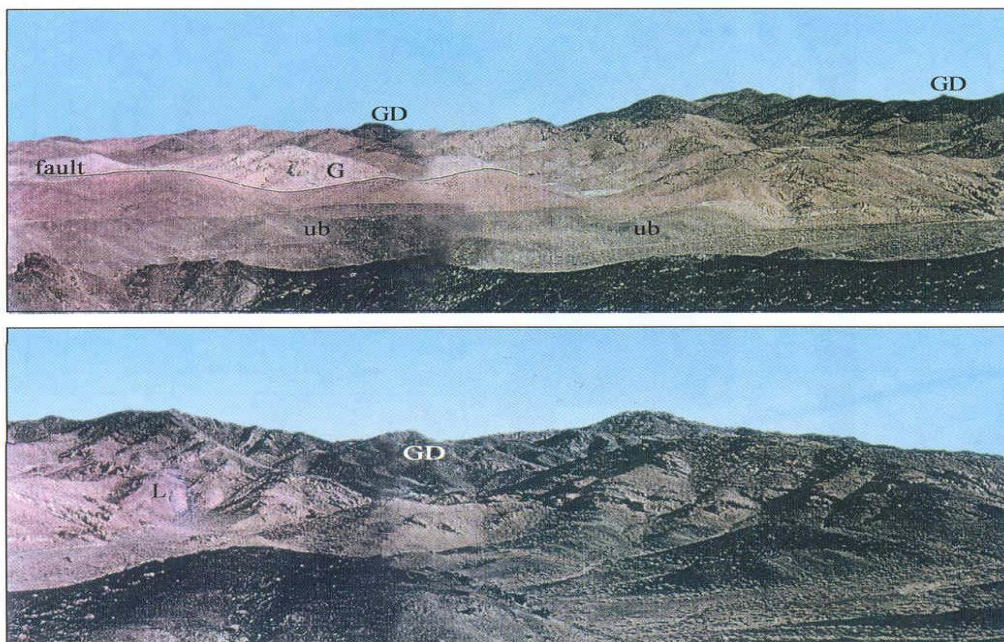


جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ میزبان فرابازی

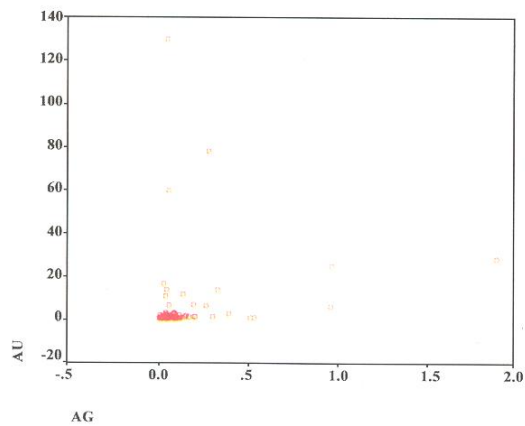
Au (ppb)	As(ppm)	Hg(ppm)	Ag(ppm)
0.6	6.7	0.032	0.048
0.6	1.4	0.032	0.023
3.4	9.4	1.4	0.015
0.5	6.5	0.087	0.023
0.4	6.5	0.09	0.03
1.6	1.6	0.031	0.031
0.8	6.1	0.21	0.046
0.5	4.8	0.039	0.032
0.8	1	0.027	0.054
8.2	2.9	0.66	0.08
1.2	4.3	0.19	0.114
1.3	1.8	18	0.037
1.3	2.6	0.18	0.05
2.1	25	0.042	0.04
0.6	1.7	0.034	0.029



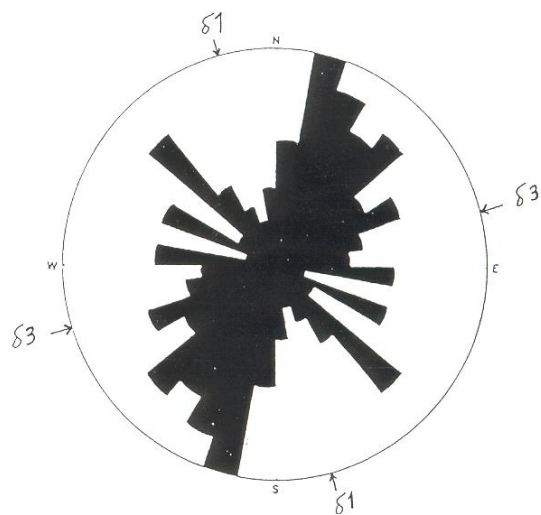
شکل ۳- کروکی راههای ارتباطی به محدوده مورد مطالعه



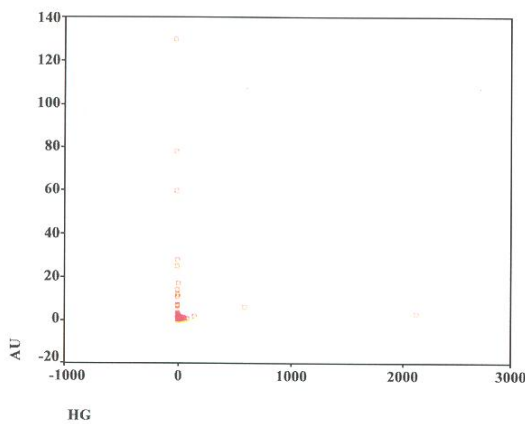
شکل ۴- تصویری جامع از سنگ شناسی منطقه هنگران G: گرانیت L: مجموعه لیستوینتی ub: فرابازیهها GD: گابرو- دیاباز



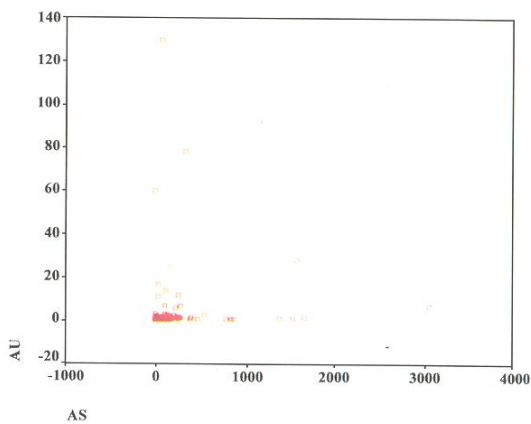
شکل ۶- تغییرات عیار طلا در برابر نقره



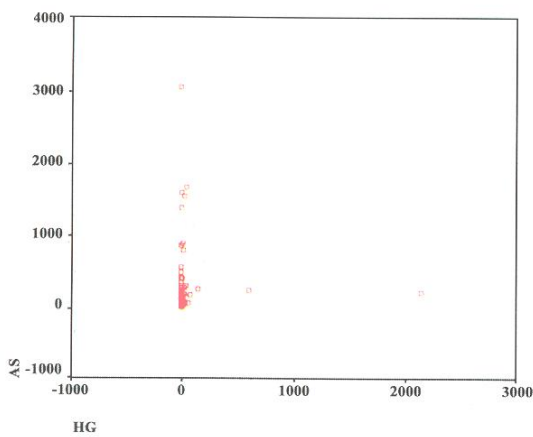
شکل ۵- نمودار گل سرخی درزه‌های برداشت شده



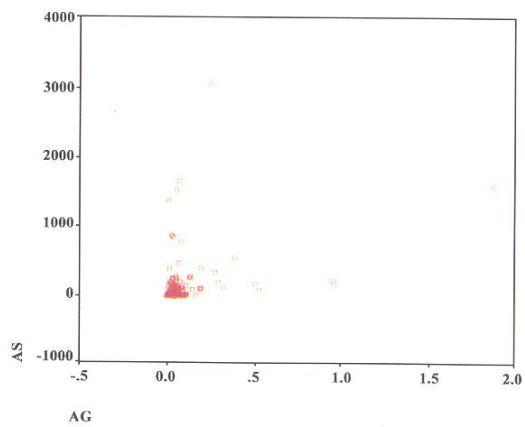
شکل ۸- تغییرات عیار طلا در برابر جیوه



شکل ۷- تغییرات عیار طلا در برابر آرسنیک



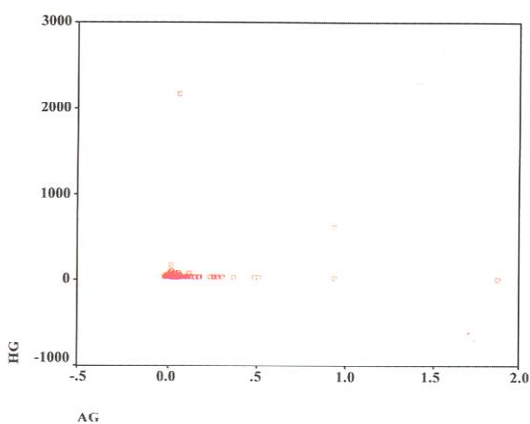
شکل ۱۰- تغییرات عیار آرسنیک در برابر جیوه



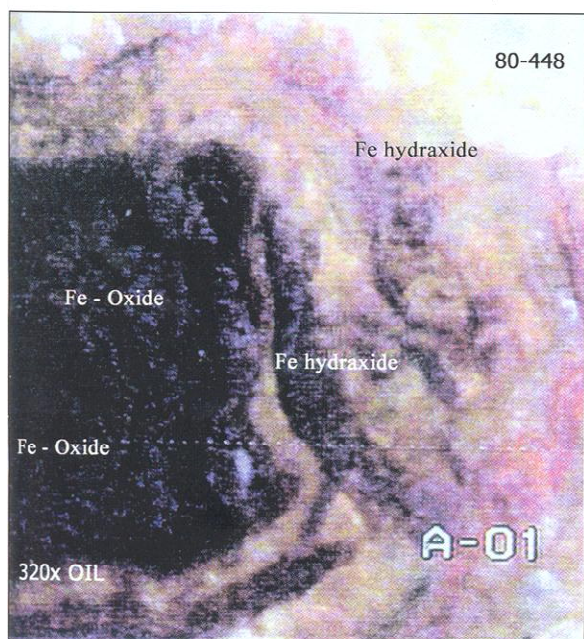
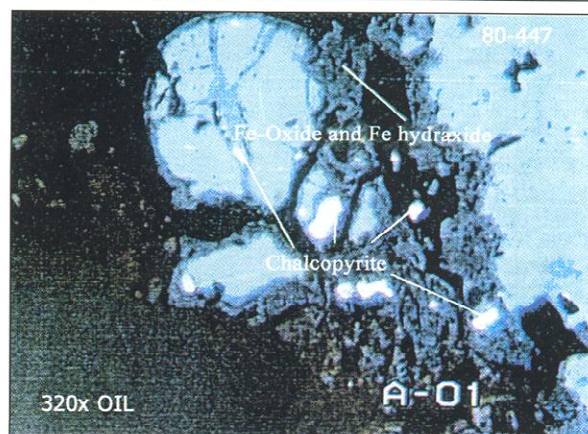
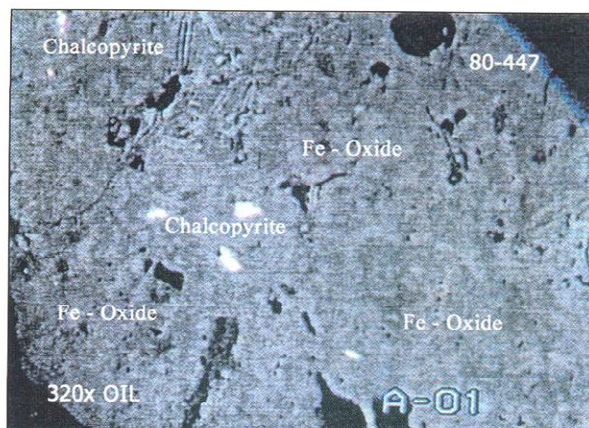
شکل ۹- تغییرات عیار نقره در برابر آرسنیک

جدول ۳- نتایج مطالعه نمونه های کانی سنگین (کانیهای با ارزش)

شماره نمونه	کانی و تعداد آن	شماره نمونه	کانی و تعداد آن
LMS-04	طلا یک عدد	LMS-27	سیناپر ۲ عدد
LMS-05	کالکوپیریت یک عدد	LMS-28	سیناپر ۲ عدد
LMS-07	سیناپر یک عدد	LMS-29	سیناپر ۱۳۰ عدد
LMS-09	سیناپر یک عدد	LMS-29	طلا ۲ عدد
LMS-11	سیناپر یک عدد	LMS-30	سیناپر ۴ عدد
LMS-12	سیناپر ۲۷ عدد	LMS-31	سیناپر ۲ عدد
LMS-14	سیناپر ۵ عدد	LMS-32	سیناپر ۱۲۰ عدد
LMS-15	سیناپر ۵ عدد	LMS-32	سیناپر یک عدد
LMS-15	طلا یک عدد	LMS-33	سیناپر ۴ عدد
LMS-16	سیناپر ۱۰ عدد	LMS-33	طلا یک عدد
LMS-16	مس طبیعی یک عدد	LMS-34	سیناپر یک عدد
LMS-22	پیریت یک عدد	LMS-34	طلا ۲ عدد
LMS-23	سیناپر ۱۵ عدد	LMS-36	طلا یک عدد
LMS-24	سیناپر ۱۶ عدد	LMS-37	سیناپر یک عدد
LMS-25	سیناپر یک عدد	LMS-38	سیناپر یک عدد
LMS-26	سیناپر یک عدد	LMS-41	سیناپر یک عدد

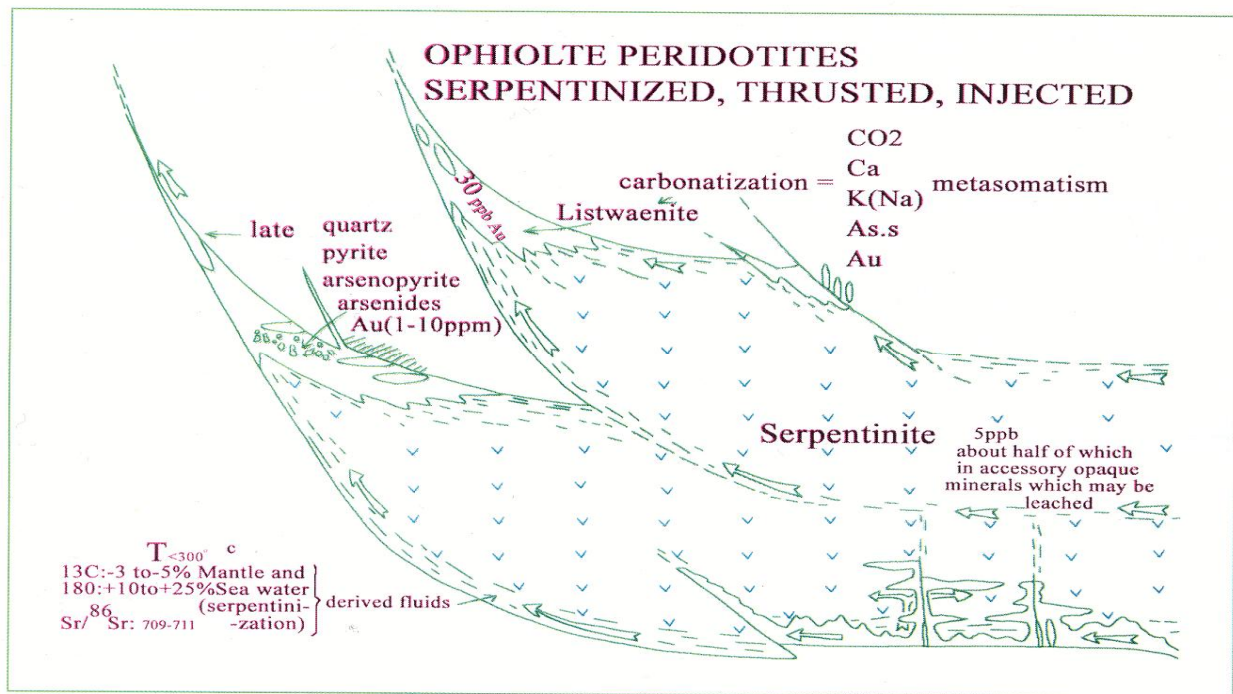


شکل ۱۱- تغییرات عیار جیوه در برابر نقره



شکل ۱۳- تصویری از زون اکسیدی

شکل ۱۲- دگرسانی شدید دانه های کلکوپیریت به کانیهای ثانویه آهن دار در محل درزه و شکستگیها



شکل ۱۴- مدل پیشنهادی برای تشکیل لیستوینیتهای طلا دار (بویسون و لوبلانک، ۱۹۸۵)

### کتابنگاری

زرین کوب، م.ح.، ۱۳۷۲- بررسی مواد معدنی با تأکید بر واکنشهای آبرو و پدیده لیستوینیته شدن در منطقه سهل آباد- بیرجند، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
 منظمی باقرزاده، ر.، ۱۳۸۰- گزارش اکتشاف طلا در لیستوینیتهای محور بیرجند- نهبندان (فاز مطالعاتی اول و دوم)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور

### References

Buisson, G. & Leblance, M., 1985 - Gold - bearing listwaenites (carbonatized ultramafic rocks) from ophiolite complexes. Publ institution mining metallurgy. London, England, 1985.  
 Movahhed avval & Emami, M.H., 1978- Geological map of mokhtaran, sheet 7854, scale 1:100000, Geological survey of Iran  
 Ucurum, A., 2000 - Listwaenites in Turkey : Perspectives on formation and precious metal Concentration with reference to occurrence in east - central Anatolia, Turkey .

\* سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران  
 \*\* سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز مشهد

\* Geological Survey of Iran, Tehran  
 \*\* Geological Survey of Iran, Mashad Branch