

Mineralization, alteration and geochemistry of Hired gold-tin prospecting area, South Khorasan province

M. H. Karimpour^{1,2}, A. Malekzadeh¹, M. R. Hidareian, A. Askari³

1- Geology Department, Ferdowsi University of Mashhad

2- Department of Geological Sciences University of Colorado Boulder Co, USA

3- Geological Survey of Iran (E. Branch)

(Received: 25/11/2006, received in revised form: 14/6/2007)

Abstract: Exposed rocks at Hired gold-tin prospecting area are mainly Mesozoic and Paleocene sedimentary and Eocene volcanic rocks. Oligo-Miocene Granitoids are intruded the Eocene and older rocks. Based on petrology and physical characteristics of rocks, granitoids are two types: 1) S-type and 2) I-type. Mineralization is seen as stockwork, fault mineralized zone, skarn and in replacement. Stockwork mineralization is exposed in the eastern part of target (1) and it is found within S-type granite and silicified – tourmaline rich shale. Hypogene minerals are: pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, $\pm$ galena, $\pm$ sphalerite, tourmaline, quartz, chlorite, calcite and sericite. Gold is mainly found in veinlets contain sulfide, quartz and tourmaline. Based on S-type granite, stockwork mineralization, tourmaline alteration and Sn anomalies (581 ppm), Hired is a Tin – Gold mineralized system. Geochemical data from drill holes in target (1) and (3) indicate that the high value of Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As and Sb are found mainly between depth of 50 to 100m in eastern part of target (1), therefore this area is close to the source of fluid. Tin – Gold mineralized system at Hired is associated with S-type granite.

Keyword: Hired, S-type Granitoid, Stockwork, Tourmaline, Tin, Intrusion-related gold system.



کانی سازی، دگرسانی، و ژئوشیمی منطقه اکتشافی طلا- قلع هیرد، استان خراسان جنوبی

محمدحسن کریم پور^۱، آزاده ملک زاده شفاوردی^۱، محمدرضا حیدریان^۱،
علی عسکری^۳

۱- گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- گروه علوم زمین، دانشگاه کلرادو بولدر، آمریکا

۳- سازمان زمین شناسی کشور (شعبه شرق کشور).

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۹/۵، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۵/۱۰/۲۴)

چکیده: زمین شناسی منطقه طلا - قلع هیرد شامل سنگهای رسوبی مزوزوئیک و پالئوسن و سنگهای آتشفشانی انوسن است. توده های گرانیتوئیدی اسیدی - حدواسط با سن الیگو- میوسن در این مجموعه نفوذ کرده اند. براساس بررسیهای سنگ شناسی و پتروفیزیک، توده های نفوذی را می توان به دو دسته I و S تقسیم کرد. کانی سازی منطقه به شکلهای داربستی، رگه ای، و جانشینی مشاهده می شود. کانی سازی داربستی در توده های نوع S و شیل های سیلیسی شده در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) همراه با دگرسانی غنی از تورمالین مشاهده می شود. کانیهای اولیه رگچه ها شامل آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تورمالین، کوارتز، کلریت، کلسیت، و سرسیت است. طلا در رگچه های سولفیدی - سیلیسی - تورمالینی وجود دارد. وجود سنگ خاستگاه گرانیتی احیایی نوع S، کانی سازی داربستی، دگرسانی تورمالین و بی هنجاری قلع تا ۵۸۱ ppm دلایل مهمی بر کانی سازی قلع - طلا در منطقه هیرد است. مقایسه ژئوشیمی گمانه ها در مناطق اکتشافی (۱) و (۳) نشان می دهد که بالاترین مقادیر Au، Ag، Cu، Pb، Zn، As و Sb در شرق منطقه اکتشافی (۱) قرار دارند، بنابراین این منطقه نزدیکترین مکان به خاستگاه توده های کانی سازی است. کانی سازی قلع - طلای هیرد با توده های گرانیتوئیدی نوع (S) وابسته است.

واژه های کلیدی: هیرد، گرانیتوئید نوع S، داربستی، تورمالین، قلع، سیستمهای طلای وابسته به توده های نفوذی.

مقدمه

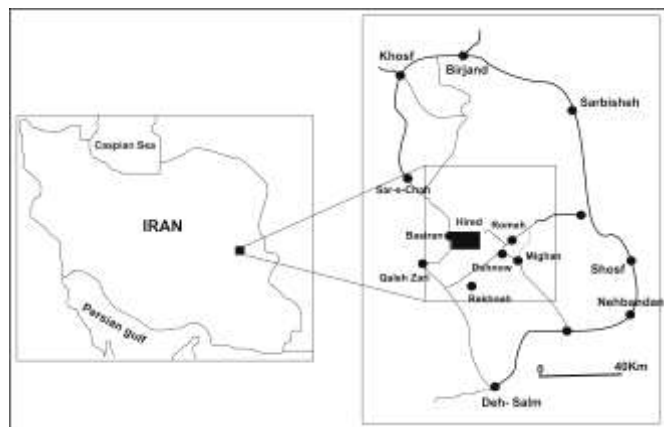
گستره اکتشافی طلا- قلع هیرد با مساحتی برابر با ۹۷ کیلومترمربع در ۱۶۰ کیلومتری جنوب بیرجند (فاصله هوایی) و ۸۰ کیلومتری شمال غرب نهبندان در استان خراسان جنوبی، بین طولهای جغرافیایی ۵۹°۰۸' و ۵۹°۱۵' و عرضهای جغرافیایی ۳۱°۵۴' و ۳۱°۵۹' واقع شده است (شکل ۱). این ناحیه در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران قرار می‌گیرد، که از نظر تقسیمات ساختاری در منتهی الیه شرق بلوک لوت قرار دارد. مرز شرقی بلوک لوت گسل نهبندان و حوضه فلیشی شرق ایران و مرز غربی آن گسل نایبند و بلوک طبس است. در نقشه زمین ساخت ایران [۱] مرز شمالی این بلوک به فرونشست جنوب کاشمر و مرز جنوبی آن به فرونشست جازموریان بسته می‌شود.

اکتشافهای ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ روی ورقه زمین‌شناسی بصیران در غالب نمونه‌برداری آبراهه‌ای و متعاقب آن سنگی از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور [۲] منجر به کشف منطقه هیرد شد. هدفهای مهم این کار پژوهشی شامل بررسی دقیق توده‌های نفوذی منطقه؛ اصلاح نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ هیرد، تهیه نقشه‌های دگرسانی - کانی‌سازی؛ بررسی دقیق دگرسانیها با هدف وجود احتمالی عناصر دیگر؛ بررسی کانی‌سازی؛ انواع رگچه‌ها به لحاظ نوع کانی‌سازی و سن نسبی آنها؛ بررسی ژئوشیمیایی از نظر عنصر طلا و دیگر عناصر همراه و برداشتی از نحوه تشکیل کانی‌سازی و نوع آن بوده‌اند.

روش مطالعه

پس از جمع آوری و بررسی اطلاعات، گزارشها و نقشه‌های مربوط به منطقه، بررسیهای صحرایی در غالب موارد زیر انجام گرفت:

(۱) برداشتهای زمین‌شناسی در ارتباط با شناسایی زونهای دگرسانی، نوع کانی‌سازی، تفکیک و شناسایی انواع توده‌های نفوذی و موارد دیگر.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه اکتشافی هیرد.

۲) برداشت بیش از ۷۰ نمونه از توده‌های نفوذی مختلف و زونهای کانی‌سازی، در مناطق اکتشافی (۱) و (۳).

۳) برداشت نمونه‌های ژئوشیمیایی به روش خرده سنگی از سطح منطقه اکتشافی (۱) به منظور تجزیه طلا و عناصر خاص دیگر.

بررسیهای آزمایشگاهی نیز به صورت زیر انجام گرفت:

(۱) بررسی دقیق گمانه‌هایی که از نظر کانی‌سازی (به ویژه گمانه‌های B6 و B7) از اهمیت بیشتری برخوردار بوده‌اند.

- برداشت بیش از ۴۰ نمونه برای بررسیهای سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی.

- برداشت ۸ نمونه ژئوشیمیایی به روش خرده سنگی از مغزه‌ها به منظور تجزیه طلا و دیگر عناصر خاص.

۲) تهیه ۳۷ مقطع نازک به منظور بررسیهای سنگ‌شناسی - دگرسانی از نمونه‌های سطحی و مغزه.

۳) تهیه ۱۸ مقطع نازک صیقلی و صیقلی به منظور بررسیهای دگرسانی - کانی‌سازی از نمونه‌های مغزه.

۴) ارسال ۱۳ نمونه ژئوشیمیایی از سطح و مغزه‌ها (منطقه اکتشافی (۱)) برای تجزیه Au و عناصر دیگر به روش فعال سازی نترون به کشور کانادا و در آزمایشگاه ACME.

۵) تجزیه ۱۳ نمونه ژئوشیمیایی از سطح و مغزه‌ها (بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱)) برای تجزیه W و Sn به روش XRF در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

۶) اصلاح نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ هیرد در سامانه GIS با تاکید بر توده‌های نفوذی.

۷) تهیه نقشه دگرسانی - کانی‌سازی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ هیرد در سامانه GIS.

۸) بررسی انواع رگچه‌ها به لحاظ نوع کانی‌سازی و سن نسبی.

۹) ترسیم انواع نمودارهای ژئوشیمیایی مناسب برای عناصر As, Ag, Zn, Pb, Cu, Au و Sb با استفاده از دستاوردهای تجزیه ژئوشیمیایی سازمان زمین‌شناسی کشور از مغزه‌ها و تفسیر آنها.

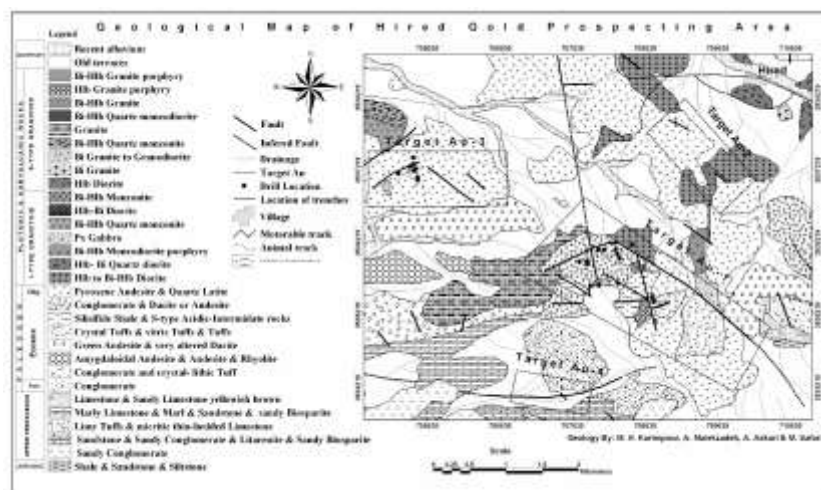
زمین‌شناسی

ناحیه اکتشافی هیرد بخشی از دنباله شرقی بلوک لوت است. بخش بزرگی از بلوک لوت را سنگهای آتشفشانی دوران سوم تشکیل می‌دهند، ولی برونزدهایی از تهنشستهای اواخر دوران اول و مخصوصاً تهنشستهای دوران دوم نیز به طور پراکنده در آن رخنمون دارند. توده‌های

گرانیتوئیدی به سن ژوراسیک بالایی و ترشیاری نیز در برخی مناطق سنگهای قدیمتر را تحت تاثیر قرار داده‌اند. به علاوه بخشی از بلوک به وسیلهٔ ته‌نشستهای پلیوسن-کواترنری پوشیده شده است. منطقه مطالعاتی از نظر زمین‌شناسی ساختاری، با توجه به قرارگیری در جنوب خمیدگی زون درز، و با عنایت به عملکرد بلوکهای افغان و لوت دارای تعداد زیادی گسل از نوع روراندگی و چین‌خوردگی است. بیشتر شکستگیهای ناحیهٔ هیرد دارای روند شمال غرب-جنوب شرق و نیز شمال شرق-جنوب غرب است [۳].

قدیمترین واحد لیتولوژیکی گسترهٔ اکتشافی هیرد، واحد شیلی-ماسه‌سنگی ژوراسیک است که با یک دگرشیمی زاویه‌دار به دنبالهٔ ته‌نشستی کرتاسه بالایی تبدیل می‌شود (شکل ۲). این دنباله متشکل از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ آهک، آهک ماسه‌ای، توف آهکی، آهک مارنی و مارن است. این دنباله با یک کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن و یک کنگلومرای قاعده‌ای ائوسن به دنبالهٔ ماگمایی ترشیاری (سنگهای آتشفشانی و نفوذی) می‌رسد (شکل ۲). سنگهای آتشفشانی ائوسن در نقشه، شامل سنگهای آندزیتی، آندزیت‌های سبز، آندزیت‌های دگرسان، آندزیت آمیگدالوئیدال، توفهای کریستال و شیشه‌ای، توفهای سنگی، آندزیت‌های پیروکسن دار، کوارتز آندزیت‌ها، و آندزیت‌های پورفیری بوده و بازالت، بازالت آندزیتی، بازالت تراکیتی و لاتیت‌های به شدت دگرسان، عموماً سنگهای آتشفشانی نئوژن را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). مقداری تودهٔ نفوذی در حد گرانیت نوع S همراه با شیل‌های سیلیسی شده با سن اواخر ائوسن در گستره شرقی منطقهٔ اکتشافی (۱) مشاهده می‌شود که به علت رخنمون اندک قابل نمایش در نقشه نبودند. این توده‌ها به همراه دیگر توده‌های نفوذی S پس از ائوسن مربوط به همان منطقه، نقش اساسی در کانی‌سازی ایفا کرده‌اند (شکل ۲).

بیشتر توده‌های نفوذی در گسترهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی هیرد، مربوط به دوره پس از ائوسن هستند. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی روی ترکیب کانی‌شناسی این توده‌ها، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی آنها و ترکیب نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی و نقش زمین‌شناسی در سامانهٔ GIS و نیز داده‌های سنگ‌شناختی تایید می‌کند که گرانیتوئیدهای گسترهٔ کانسار هیرد را می‌توان به دو بخش گرانیتوئیدهای نوع I و گرانیتوئیدهای نوع S تقسیم کرد. گرانیتوئیدهای نوع I شامل هورنبلند تا بیوتیت هورنبلند دیوریت، هورنبلند بیوتیت کوارتز دیوریت، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، پیروکسن گابرو، بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزونیت، هورنبلند بیوتیت دیوریت، و یوتیت هورنبلند مونزونیت است. گرانیتوئیدهای نوع S عبارتند از: هورنبلند دیوریت، بیوتیت گرانیت، بیوتیت گرانیت تا گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزونیت، گرانیت، بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانیت، هورنبلند گرانیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند گرانیت پورفیری (شکل ۲).



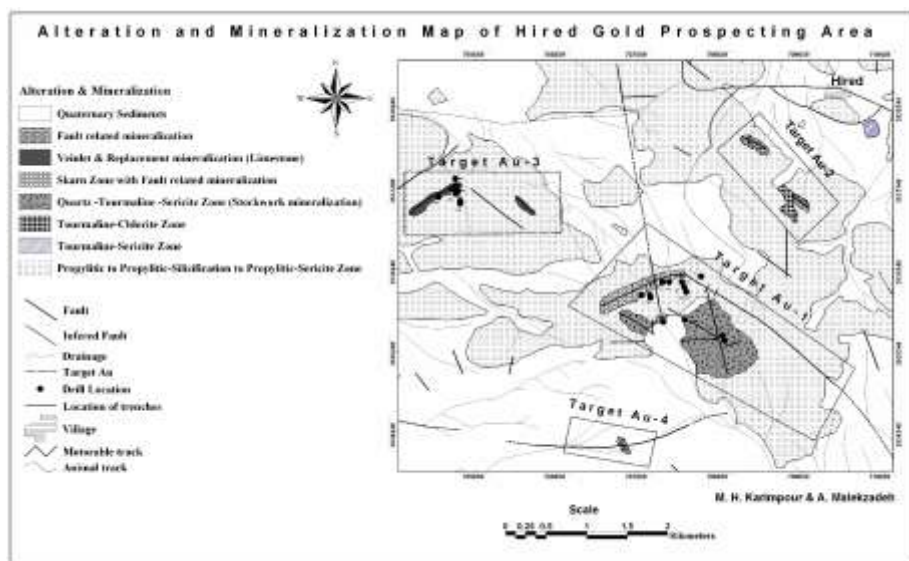
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی گستره اکتشافی هیرد (با تغییرات اساسی توسط نویسندگان پس از سازمان زمین‌شناسی کشور، [۳])

دگرسانی

دگرسانی، گستره گسترده‌ای از منطقه اکتشافی هیرد را تحت تاثیر قرار داده است که از همه مهم‌تر زونهای تورمالین‌دارند که در بخش کانی‌سازی که مورد بحث قرار می‌گیرد. برداشتهای صحرایی و بررسیهای آزمایشگاهی چهار نوع دگرسان در واحدهای سطحی را نشان می‌دهد که در نقشه دگرسانی-کانی‌سازی منطقه (شکل ۳) نشان داده شده‌اند. این دگرسانیها به شرح زیرند:

الف - زون پروپلیتیک $\pm$ سیلیسی $\pm$ سرسیتی

بیشتر سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه، دارای زون پروپلیتیک $\pm$ سیلیسی $\pm$ سرسیتی هستند ولی شدت دگرسانی در نقاط مختلف متفاوت است. کانیهای ثانویه این زون شامل کلریت ($0/5$ تا 10 درصد، که بیشتر از دگرسان شدن کانیهای آهن و منیزیم‌دار (گاهی تا 80 درصد) مثل هورنبلند و بیوتیت، کلسیت ($0/1$ تا 10 درصد، از دگرسان شدن هورنبلند و گاهی پلاژیوکلازها) و کانیهای کدر ثانویه (تا 1 درصد که بیشتر شکل‌دار و تا اندازه $0/2$ میلیمتر از دگرسان شدن کانیهای آهن و منیزیم‌دار به همراه کلریت) است. یکی از ویژگیهای مهم این زون در منطقه هیرد عدم وجود یا کم بودن کانی اپیدوت است. فقط در برخی از نمونه‌ها مقدار اپیدوت تا 5 درصد می‌رسد. کم بودن اپیدوت در زون پروپلیتیک منطقه هیرد، حکایت از شرایط احیایی محلول کانی‌ساز دارد. کوارتز تا 3 درصد و سرسیت تا 5 درصد در بعضی نقاط در داخل این زون وجود دارند.



شکل ۳ نقشه دگرسانی - کانی‌سازی منطقه اکتشافی هیرد

ب- زون تورمالین - سرسیت

این زون در واحد بیوتیت گرانیات (توده نفوذی نوع S) در شرق نقشه هیرد در جنوب شرقی روستای هیرد (شکل ۳) مشاهده می‌شود. تورمالین به شکل شعاعی بیشتر از نوع شورل و کمی دراویت ۲ تا ۳ درصد در متن سنگ دیده می‌شود. پلاژیوکلازها در برخی نقاط تا ۱۰۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند و در کل ۱۵ درصد سرسیت در سنگ دیده می‌شود. فلدسپاتهای آلكالی کمتر به سرسیت تبدیل شده‌اند. کانیهای آهن و منیزیم‌دار نیز تا ۵۰ درصد به کلریت با بی‌رفرژانس آبی تبدیل شده‌اند و در کل ۲ تا ۳ درصد از این کانی در متن سنگ وجود دارد. کلسیت نیز ۰/۵ تا ۱ درصد دیده شد.

پ - زون تورمالین - کلریت

این زون در واحدهای نفوذی نوع S هورنبلند دیوریت در شرق نقشه و گستره منطقه اکتشافی (۲) و نیز بیوتیت هورنبلند گرانیات در گستره منطقه اکتشافی (۳) مشاهده می‌شود (شکل ۳). تورمالین به اشکال تقریباً گرد و شعاعی نوع شورل از ۰/۵ تا ۲ درصد در این زون وجود دارد. کلریت حاصل دگرسان شدن کانیهای آهن و منیزیم‌دار از ۱ تا ۸ درصد در برخی نقاط دیده می‌شود. مقدار اندکی سرسیت (۱ درصد) نیز از دگرسان شدن فلدسپاتها، کلسیت از دگرسان شدن هورنبلند و بیوتیت (۰/۵-۱ درصد) و کوارتز به صورت رگچه‌ای و یا شعاعی نیز در این زون وجود دارند.

ت- زون کوارتز - تورمالین - سرسیت

این زون، مهم‌ترین دگرسانی همراه با کانی‌سازی اصلی منطقه (کانی‌سازی داربستی) است که در گستره منطقه اکتشافی (۱) مشاهده می‌شود (شکل ۳). رگه‌های کوارتز - تورمالین به عرض ۰/۵ تا ۵ سانتیمتر واحدهای سنگی (توده‌های نفوذی نوع S و شیل‌های سیلیسی شده) را قطع کرده‌اند. در این دگرسانی، تورمالین بیشتر از نوع شورل و کمی دراویت از ۲ تا ۳۰ درصد است که در مکان‌های مختلف متغیر است. کوارتز ثانویه نیز هم به صورت رگچه و هم در متن سنگ تا ۳۰ درصد دیده می‌شود. پلاژیوکلازها گاهی تا ۱۰۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند و در کل ۲۵ تا ۳۰ درصد سرسیت در کل متن سنگ وجود دارد. اکسید آهن و کانی‌های سولفیدی نیز مشاهده می‌شوند.

بررسی‌های زیر زمینی نیز دگرسانی‌های زیر را نشان می‌دهد؛

الف- زون کوارتز - تورمالین $\pm$ سرسیت $\pm$ کلسیت $\pm$ کلریت

این زون مهم‌ترین دگرسانی گستره اکتشافی هیرد و همراه اصلی کانی‌سازی داربستی است، به طوری که کانی‌های کوارتز، تورمالین، سرسیت، کلسیت و کلریت با مقادیر متفاوت در اعماق مختلف در غالب رگچه همراه با کانی‌های سولفیدی مشاهده می‌شوند. عمده این زون در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) و در گمانه‌های B6 و B7 در محل توده‌های گرانیتوئیدی نوع S، شیل‌های سیلیسی شده و گاهی میان لایه‌های آهکی اسکارنی شده وجود دارند. در بخش سطحی همین منطقه نیز دگرسانی کوارتز-تورمالین-سرسیت دیده می‌شوند (شکل ۳). در برخی از گمانه‌های دیگر (در منطقه اکتشافی (۳)) نیز به طور محدود این زون در نفوذی نوع S و میان لایه‌های آهکی اسکارنی شده مشاهده شده است.

در گمانه B6 این زون به صورت رگچه‌هایی به عرض ۰/۱ میلیمتر تا حدود ۳ سانتیمتر، همراه با کانی‌های سولفیدی منطقه مشاهده می‌شود. کانی‌شناسی رگچه‌ها عبارتند از؛
(۱) رگچه کوارتز + تورمالین + سولفید $\pm$ کلریت $\pm$ سرسیت: در این رگچه‌ها ۶۰-۶۵ درصد آن را تورمالین (نوع شورل و کمی دراویت)، ۲۰-۲۵ درصد کوارتز و ۱۰ تا ۱۵ درصد را کانی‌های سولفیدی تشکیل می‌دهند. در بخش‌هایی از آن کلریت با بی‌رفرژانس قهوه‌ای و کمی آبی در حدود ۲ درصد و کمی سرسیت مشاهده می‌شود.

(۲) رگچه کلسیت + کوارتز + سولفید: ۸۰-۸۵ درصد رگچه را کلسیت، ۱۰ درصد را کوارتز تا اندازه ۰/۴ میلیمتر و حدود ۵ درصد را کانی سولفیدی به عرض حداکثر ۷۴ میلیمتر تشکیل می‌دهند.

(۳) رگچه کلسیت + سولفید + کلریت + کوارتز $\pm$ سرسیت $\pm$ تورمالین: بیشتر این رگچه را کلسیت، کلریت، کوارتز و کانی سولفیدی شامل می‌شوند.

۴) رگچه کوارتز $\pm$ سولفید $\pm$ تورمالین: بیشتر این رگچه‌ها از کوارتز (۸۵-۹۰ درصد) تشکیل شده است.

تمامی این رگچه‌ها خود به وسیله رگچه‌های باریک و ظریفی در حد چند صدم تا دهم میلیمتر از کوارتز و کلسیت قطع شده‌اند. علاوه بر رگچه‌ها، در متن سنگ نیز کوارتز ثانوی در حد ۳۵ تا ۴۰ درصد، تورمالین (نوع شورل) در حد ۳ تا ۱۵ درصد در برخی نقاط، سرسیت حاصل دگرسانی کامل فلدسپاتها در حد ۱۵ تا ۴۰ درصد، در بعضی اعماق کلریت حاصل دگرسانی کانیهای آهن و منیزیم‌دار و کانیهای سولفیدی به صورت پراکنده مشاهده می‌شوند.

در گمانه B7 نیز این زون به صورت رگچه‌هایی به عرض ۰/۱ میلیمتر تا ۵ سانتیمتر دیده می‌شود. کانی‌شناسی رگچه‌ها را بیشتر تورمالین-کوارتز-کلسیت و یا کانی سولفیدی تشکیل می‌دهد. رگچه‌های متعددی از کوارتز - سولفید - تورمالین- کلسیت مشاهده می‌شود که در برخی از آنها کوارتز کانی غالب است و ۸۰ تا ۸۵ درصد رگچه را به خود اختصاص داده است. اندازه کوارتزها از ۰/۲ میلیمتر تا ۱/۵ میلیمتر متغیر است. در بعضی دیگر از رگچه‌ها کلسیت کانی شاخص بوده و تا ۷۵ درصد رگچه را به خود اختصاص داده است. کلسیتها نیز اغلب درشت بلورند و تا ۱/۵ میلیمتر می‌رسند. تورمالین نوع شورل نیز در رگچه‌ها دیده می‌شود که مقدار آن بین ۲ تا ۷۰ درصد در مکانهای مختلف متغیر است. ۱۰ تا ۱۵ درصد رگچه‌ها را نیز کانیهای سولفیدی تشکیل می‌دهد که در برخی نقاط به تبدیل آهن اکسیده شده‌اند.

اضافه بر رگچه‌ها در متن سنگ، کلسیت (۱-۲ درصد)، سرسیت حاصل دگرسانی کامل فلدسپاتها تا حد ۱۰-۱۵ درصد، کلریت حاصل دگرسانی کانیهای آهن و منیزیم‌داری مثل بیوتیت در حد ۶-۷ درصد، اپیدوت در حد ۲-۳ درصد و تورمالین شعاعی بیشتر از نوع شورل در حد ۵-۶ درصد به صورت پراکنده مشاهده می‌شوند.

در گمانه B20 از منطقه اکتشافی (۳) نیز این زون به صورت رگچه‌ای و پراکنده در متن مشاهده می‌شود. درشت بلورهای سنگ که از نوع آهن و منیزیم‌دار بوده‌اند بیشتر به تورمالینهای شعاعی و گرد (بیشتر از نوع شورل و کمی دروایت) حدود ۱۰ درصد، کلریت با بی‌رفرژانس آبی حدود ۱ درصد و کلسیت حدود ۵-۶ درصد تبدیل شده‌اند. رگچه‌هایی از کلسیت به عرض تا ۰/۳ میلیمتر در آن مشاهده می‌شود. مقادیری کوارتز ثانوی نیز در متن سنگ به چشم می‌خورد.

ب - زون پروپلیتیک

این زون در واحدهای نفوذی نوع I و نیز سنگهای آتشفشانی زیرزمینی دیده می‌شود. کانی اصلی این زون کلریت با بی‌رفرژانس بیشتر آبی است که از دگرسانی پیروکسن، هورنبلند و

بیوتیت تشکیل شده و مقدار آن از ۳ تا ۲۰ درصد در بخشهای مختلف متغیر است. کلریت علاوه بر متن سنگ به صورت رگچه‌ای و گاهی همراه با کمی کلسیت به عرض ۲ تا ۲ میلی‌متر مشاهده می‌شود. اپیدوت نیز در این زون به مقدار ۴-۵ درصد وجود دارد و مقدار آن در منطقه اکتشافی (۳) بیشتر است. فلدسپاتها به صورت بسیار جزیی به سرسیت نیز تبدیل شده‌اند.

کانی‌سازی

کانی‌سازی در گستره اکتشافی هیرد در ۴ منطقه به نامهای هدف ۱ تا هدف ۴ مشاهده می‌شود که بزرگترین و مهمترین آن منطقه اکتشافی شماره (۱) است (شکل ۳). بررسیهای انجام شده قبلی و گزارشهای سازمان زمین‌شناسی که تاکنون انجام گرفته نوع کانی‌سازی را رگه‌ای و با زونهای گسلی وابسته دانستند، ولی بررسیهای انجام شده در این مقاله نشان داد که کانی‌سازی اصلی منطقه که در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) و در گستره توده‌های گرانیتوئیدی نوع S قرار دارد، از نوع داربستی است. داربستها در این منطقه به خوبی در سطح زمین و در گمانه-های این بخش (B6 و B7) قابل مشاهده‌اند. علاوه بر کانی‌سازی داربستی، کانی‌سازی رگه‌ای و جانیشینی در نقاط دیگر پنجره مطالعاتی رخنمون دارد که همه آنها با برخی توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی سری S منطقه مربوط می‌شوند. ولی به دلیل موقعیت قرارگیری آنها نسبت به سنگ خاستگاه و بالا آمدن محلول کانی‌ساز از طریق زون گسلی، نوع کانی‌سازی متفاوت است.

• منطقه اکتشافی شماره یک

(۱) بخش شرقی منطقه اکتشافی

کانی‌سازی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) در جنوب غسل بزرگ و در گستره‌ای به پهنای بیش از یک کیلومتر مربع مشاهده شده و از نوع داربستی و افشان است (شکل ۳). رگچه‌های کانی‌سازی در توده‌های نفوذی نوع S و نیز شیل‌های سیلیسی شده و بعضاً آهک‌های اسکارنی شده قرار دارد و در واقع این واحدها سنگ میزبان کانی‌سازی داربستی را تشکیل می‌دهند. کانی‌سازی داربستی، کانی‌سازی اصلی گستره معدنی هیرد است و خاستگاه محلولهای ماگمایی کانی‌ساز با توجه به پارائز کانی‌شناسی احیایی منطقه، همان توده‌های گرانیتوئیدی نوع S هستند. از آنجاکه در شرق منطقه اکتشافی (۱)، توده‌های نفوذی S متعدد به خوبی در سطح رخنمون دارند، کانی‌سازی اصلی منطقه (داربستی) تنها در این گستره از پنجره مطالعاتی مشاهده می‌شود که نزدیکترین مکان به توده‌های خاستگاه اصلی است. دگرسانی همراه با رگچه‌هایی از نوع کوارتز + تورمالین $\pm$ سرسیت $\pm$ کلسیت $\pm$ کلریت است که هم در سطح و هم در عمق مشاهده می‌شوند (شکل ۳). همراه با کانیهای دگرسان، رگچه‌هایی از کانیهای سولفیدی وجود دارند که در سطح بیشتر به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده‌اند. ضخامت

رگچه‌ها از چند میلیمتر تا ۵ سانتیمتر متغیر است و مقدار آنها در مکانهای کانی‌سازی در واحد طول حداقل به ۲۰ رگچه و حداکثر به ۸۰ رگچه می‌رسد. کانی‌شناسی رگچه‌ها بسیار گوناگون است و چون یکدیگر را قطع کرده‌اند، نشاندهنده مرحله‌های مختلف کانی‌سازی و محلول متفاوت از نظر ترکیب شیمیایی است که می‌توان از قطع‌شدگیها سن نسبی آنها را تعیین کرد. کانی‌شناسی رگچه‌ها شامل آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن است که مقدار فراوانی آنها در نقاط مختلف متفاوت است. در برخی از رگچه‌ها آرسنوپیریت کانی غالب است و تا ۸۰ درصد رگچه‌ها را به خود اختصاص داده است. آرسنوپیریتها به صورت شکل‌دار (لوزی و مثلث) تا نیمه شکل‌دار و تا اندازه ۰/۶ میلیمتر می‌رسند. در بعضی رگچه‌ها پیریت کانی غالب است و به ۸۵ درصد رگچه می‌رسد. پیریتها نیز از شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شوند و تا اندازه ۱ میلیمتر نیز می‌رسند. مقدار پیروتیت بین ۱۵ تا ۷۰ درصد در برخی رگچه‌ها متغیر است. مقدار کالکوپیریت در مجموع در رگچه‌ها اندک است و حداکثر تا ۱ درصد است. اسفالریت نیز گاهی تا ۳۵ درصد رگچه‌ای را به خود اختصاص داده و بافت اکسلوشن بین اسفالریت و کالکوپیریت در بیشتر موارد دیده می‌شود که نشاندهنده همزمانی تشکیل این دو کانی است. گالن نیز به مقداری در حدود ۱ درصد در برخی از رگچه‌ها مشاهده شد. تصویری از کانی‌سازی داریستی در شکلهای ۴ تا ۶ ارائه شده است.

از تلفیق بررسیهای حاصل از گمانه‌ها و مقاطع میکروسکوپی نازک صیقلی و صیقلی، ترتیب تشکیل کانی‌سازی به طور کلی به صورت زیر است:

(۱) نخست رگچه‌های تورمالین‌دار تشکیل شدند. این رگچه‌ها به صورت رگچه‌های تورمالین + سولفید + سرسیت، سولفید + تورمالین + سرسیت، سولفید + تورمالین، کوارتز + سولفید + تورمالین و کوارتز + تورمالین + سولفید + کلسیت مشاهده می‌شوند.

(۲) پس از آن رگچه‌های ظریفی از کوارتز و کلسیت دیده می‌شود که رگچه‌های تورمالین‌دار را قطع کرده است.

(۳) سپس رگچه‌های کانیهای سولفیدی بدون تورمالین تشکیل شده‌اند که شامل رگچه‌های کوارتز + سولفید، کوارتز + سولفید $\pm$ سرسیت، کوارتز + کلسیت + سولفید و کلسیت سولفید هستند.

(۴) رگچه‌های کوارتز ظریف که رگچه‌های قبلی را قطع کرده‌اند،

(۵) رگچه‌های کوارتز + سولفید.

(۲) بخش غربی منطقه اکتشافی (۱)

کانی‌سازی بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) در امتداد بخش غربی گسل بزرگ در راستای N65E، تشکیل شده است. کانی‌سازی از نوع اسکارنی وابسته به زون گسلی است (شکل ۳).

در این منطقه، محلول کانی‌ساز که خاستگاه آن همان توده‌های گرانئوئیدی نوع S (در بخش شرق منطقه (۱)) است، از طریق گسل منطقه به سطح راه یافته است، و از آنجا که گسل در داخل واحد کنگلومراست و این کنگلومرا دارای قلوه‌هایی از جنس چرت، سنگ آهک، شیل سیلیسی شده، کوارتز شیری رنگ، گرانیت و سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیت-داسیت است؛ در بخشهایی که قلوه‌های آن سنگ آهک باشد، از طریق فرایند دگرنهادی، کانیهای کالک سیلیکاته‌ای مثل اپیدوت، کلریت، کلسیت، آمفیبول و ولاستونیت به وجود آمده و تشکیل اسکارن موضعی و ناپیوسته را داده است. در نتیجه در این بخش کانی‌سازی هم به صورت اسکارنی و هم به صورت رگه‌ای است. تفاوت نوع کانی‌سازی در بخشهای مختلف منطقه باعث شده که کانی‌سازی حالت بی‌نظمی داشته و دارای عیاری نامتجانس باشد. کانی‌شناسی این بخش از کانی‌سازی نیز شامل پیریت + آرسنوپیریت $\pm$ کالکوپیریت + اکسیدهای آهن ثانویه + تورمالین + کوارتز $\pm$ کلریت $\pm$ سرسیت $\pm$ اپیدوت $\pm$ کلسیت $\pm$ ولاستونیت $\pm$ آمفیبول است. دگرسانی غالب همراه با این کانی‌سازی پروپلیتیک + سیلیسی تا پروپلیتیک + سرسیتی و کانیهای حاصل از اسکارنی شدن هستند.

• منطقه اکتشافی شماره (۲)

کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای وابسته به زون گسلی است (شکل ۳). بزرگترین زون گسلی این گستره به طول ۳۰۰ متر و ضخامت ۲۰ سانتیمتر تا ۴ متر با راستای شمال غربی - جنوب شرقی درون توده‌های دیوریتی I و S و سنگهای آتشفشانی در حد آندزیت و لاتیت است که کانی‌سازی مس به صورت کربنات‌ها و سیلیکات‌های مس در اولین مشاهدات به چشم می‌خورد [۳]. کانیهای سولفیدی پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه نیز در منطقه وجود دارند. دگرسانی این منطقه تورمالین - کلریت و نیز پروپلیتیک - سیلیسی است (شکل ۳). به علاوه در شمال غرب این گسل، در فاصله یک کیلومتری آن نیز گسلی دیگر وجود دارد که در آن نیز کانی‌سازی نوع رگه‌ای همراه با دگرسانی پروپلیتیک - سیلیسی مشاهده می‌شود. در منطقه اکتشافی (۲) نیز محلول کانی‌ساز برخاسته از برخی توده‌های نفوذی S (که بخشی از آنها در شرق منطقه اکتشافی (۱) مشاهده می‌شدند) از طریق گسل به سطح زمین راه یافته و موجب تشکیل کانی‌سازی رگه‌ای شده است.

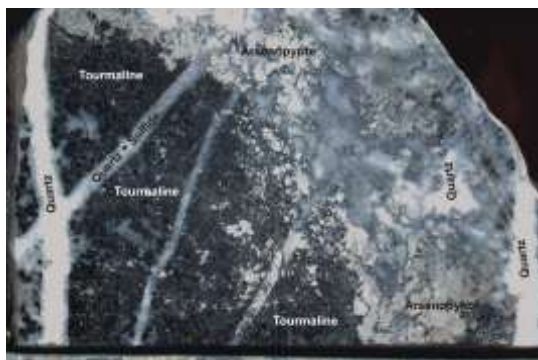
• منطقه اکتشافی شماره (۳)

کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای درون زونهای گسلی و به طور محدود جانشینی است (شکل ۳). گسلهای این منطقه درون سنگهای آتشفشانی پیروکسن آندزیت و کوارتز لاتیت با میان لایه‌هایی از آهک قرار دارد که به علت رخنمون کم آهک در مقیاس نقشه زمین‌شناسی

قابل نمایش نبوده است. محلول ماگمایی - گرمابی کانی‌ساز که از همان توده‌های گرانیتوئیدی نوع S منشأ گرفته است در این منطقه نیز از طریق گسل به سطح راه پیدا کرده و باعث کانی‌سازی رگه‌ای شده است، و در جاهائیکه که میان لایه آهکی بوده به طور محدود جان‌شینی دگرنهادهی رخ داده است. دگرسانی این منطقه پروپلیتیک - سیلیسی شدید بوده و کانیهای کلریت، اپیدوت، کلسیت و کوارتز همراه با کانیهای سولفیدی اکسید شده مشاهده می‌شوند.

• منطقه اکتشافی شماره (۴)

در جنوب گستره معدنی هیرد در امتداد گسلی با راستای شرقی - غربی منطقه اکتشافی شماره چهار قرار گرفته است (شکل ۳). دگرسانی رسی - سیلیسی همراه با اکسیدهای آهن ثانویه در بخشهایی از آن مشاهده می‌شود و بخش بزرگی از آن با واریزه و آبرفت پوشیده شده است. با وجود این در مسیر آبراهه رخنمون زون مورد نظر به ده متر می‌رسد و آثار کمی از خاکبرداریهای قدیمی روی آن مشاهده می‌شود [۳]. کانی‌سازی در این منطقه نیز وابسته به زون گسلی و شیوه تشکیل آن مشابه منطقه اکتشافی (۲) است. کانیهای پیریت، کالکوپیریت، کربناتهای مس و اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن در آن دیده شده‌اند [۳].



شکل ۴ تصویری از کانی‌سازی داربستی از گمانه بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱)



شکل ۵ تصویری از کانی‌سازی داربستی از گمانه بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱)



شکل ۶ تصویری از کانی‌سازی داربستی از گمانه بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱).

ژئوشیمی

پس از اکتشافهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و کشف منطقه معدنی هیرد، بررسیهای ژئوشیمیایی تفصیلی سطحی و زیرزمینی (حفاری و ترانشه) از سوی سازمان زمین‌شناسی کشور [۳] صورت گرفت. منطقه هیرد تاکنون تنها به عنوان یک گستره اکتشافی طلا در نظر گرفته می‌شده است و همه در تلاشها در جهت دستیابی به عنصر طلا و چند عنصر همراه (مثل فلزات پایه) بوده است. طلا در منطقه با مقدار زیادی آرسنیک همراه است که لازم است در بهره‌برداریهایی آینده برای استحصال طلا مورد توجه قرار گیرد. در بررسی اخیر با توجه به وجود گرانیتهایی احيایی در منطقه و ارتباط آنها با کانی‌سازی، نوع کانی‌سازی داربستی و نیز دگرسانی غنی از تورمالین به عنوان زون اصلی دگرسانی، این مسئله توسط پژوهشگران مورد توجه قرار گرفت که ضرورت دارد سیستم از لحاظ قلع، تنگستن، و عناصر کمیاب مورد بررسی قرار گیرد که خوشبختانه تجزیه‌ها، بی‌هنجاری قلع بالایی را در منطقه نشان داد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله نخست به بررسی نتایج ژئوشیمیایی زیر زمینی عناصر Cu ، Au ، Pb ، Zn ، Ag ، As ، و Sb حاصل تجزیه گمانه‌ها از مناطق اکتشافی (۱) و (۳) که بخشهای مهم کانی‌سازی منطقه هستند، پرداخته می‌شود و سپس نتایج تجزیه عناصر قلع، تنگستن نمونه‌های سطحی و برخی نمونه‌های زیر زمینی مربوط به این مقاله ارائه می‌شود. در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) دو گمانه B6 (۱۰۵ متر) و B7 (۱۰۸ متر)، از بخش غربی منطقه اکتشافی (۱) هشت گمانه B1 (۷۰ متر)، B2 (۱۲۸ متر)، B3 (۹۸ متر)، B4 (۷۹ متر)، B8 (۱۱۶ متر)، B9 (۸۹ متر)، B11 (۱۳۳ متر) و B18 (۱۳۳ متر) و در منطقه اکتشافی (۳) چهار

گمانه B12 (۱۰۳ متر)، B13 (۵۵ متر)، B17 (۹۵ متر) و B19 (۸۰ متر) برای بررسی در نظر گرفته شده‌اند. تجزیه‌ها در کانادا و به روش ICP انجام گرفته است [۳].

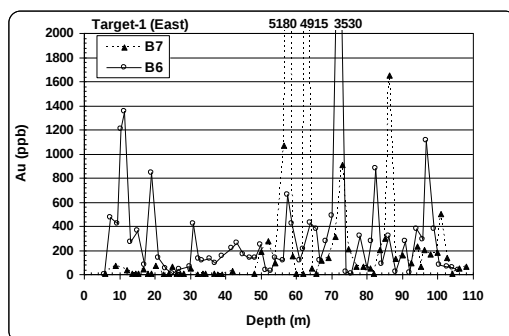
در منطقه شرق منطقه اکتشافی (۱)، بیشترین مقدار طلا در عمق ۵۶/۴ تا ۵۷/۷ متری گمانه B7 با مقدار ۵۱۸۰ ppb و کمترین مقدار آن در اعماق ۱۰ تا ۴۰ متری B7 مشاهده می‌شود. بیشترین میزان طلا در B6 در عمق ۷۰ تا ۷۱/۹ متری با مقدار ۳۵۳۰ ppb است. بی‌هنجاری بسیار خوبی از طلا از سطح تا عمق ۱۰ متری و نیز از اعماق ۵۰ تا ۱۰۰ متری هر دو گمانه دیده می‌شود (شکل ۷). بیشترین مقدار نقره در حد ۱۲۵ ppm در عمق ۸۱/۲ تا ۸۲/۴ متری گمانه B6 وجود دارد و کمترین آن در اعماق ۱۰ تا ۲۰ متری و ۴۵ تا ۵۵ متری از B6 و ۷۰ تا ۸۰ متری B7 است. بی‌هنجاری نقره از عمق ۸۰ تا ۱۰۰ متری هر دو گمانه مشاهده می‌شود. همبستگی خاصی بین طلا و نقره وجود ندارد (شکل ۸). سرب و روی در منطقه، همبستگی خوبی نشان می‌دهند. بیشترین مقدار سرب ۲۰۵۳۲ ppm در عمق ۸۱/۲۵ تا ۸۲/۴ متری B6 وجود دارد و بالاترین میزان آن در گمانه B7 در عمق ۱۰۰ تا ۱۰۰/۸ متری با مقدار ۲۸۵۰ ppm است. در گمانه B7 بالاترین مقدار سرب با بالاترین میزان نقره هماهنگی دارد که نشان می‌دهد نقره در ساختار گالن جای گرفته است. در مجموع بی‌هنجاری خوب سرب از عمق ۷۰ تا ۱۱۰ متری هر دو گمانه مشاهده می‌شود که با بی‌هنجاری روی هماهنگی کامل دارد (شکل ۹). بیشترین مقدار روی ۲۴۱۵۸ ppm در عمق ۹۵/۸ تا ۹۶/۸ متری B6 است. در گمانه B7 بیشترین روی ۳۱۷۰ ppm است (شکل ۱۰). مس نیز از عمق ۸۰ تا ۱۰۰ متری هر دو گمانه بی‌هنجاری بالایی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار مس در عمق ۸۳/۷ تا ۸۵ متری B7 وجود دارد (شکل ۱۱). اطلاعات آرسنیک و آنتیموان فقط از گمانه B7 موجود بود. به علت وجود مقدار زیاد کانی آرسنوپیریت که کانی اصلی منطقه است، بی‌هنجاری خوبی از آرسنیک وجود دارد. از سطح تا عمق ۵۰ متری B7 بی‌هنجاری آرسنیک دیده می‌شود و از آن به بعد نیز مقدار آن بسیار زیاد شده و به بیش از ۱۰۰۰۰ ppm رسیده است (شکل ۱۲). آنتیموان نیز از عمق ۵۰ تا ۱۰۰ متری مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. در مجموع بیشترین بی‌هنجاری این منطقه از عمق ۵۵ تا ۱۰۰ متری دیده می‌شود (شکل ۱۳).

در منطقه غرب منطقه اکتشافی (۱)، بالاترین مقدار طلا ۱۴۳۰ ppb در گمانه B11 در عمق ۲۰ تا ۳۰ متری است. پس از B11 گمانه B8 و B9 نیز طلای بالایی دارند (شکل ۱۴). اطلاعات عناصر دیگر فقط برای گمانه‌های B1 تا B4 موجود بود. بیشترین مقدار نقره ۳ ppm در گمانه B1، در عمق حدود ۵۰ متری است (شکل ۱۵). سرب و روی هماهنگی خود را در این منطقه نشان می‌دهند. در اعماق ۲۰ تا ۳۰ متری، ۴۰ تا ۵۰ متری و ۷۵ تا ۹۰ متری در

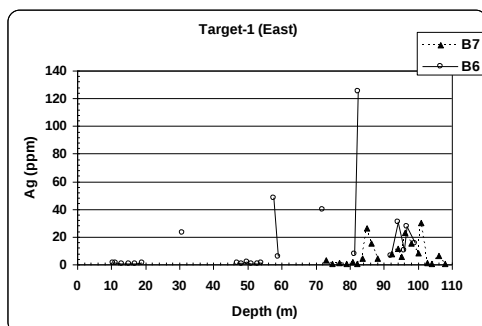
B1, B2 و B3 سرب و روی بالایی دیده می‌شود. بیشترین سرب در اعماق ۴۰ تا ۵۰ متری B1, ۷۰۰ ppm و بیشترین روی در عمق ۸۵ متری B2 و ۵۰ متری B4, ۶۰۰ ppm است (شکلهای ۱۶ و ۱۷). بالاترین میزان مس ۱۰۰۰ ppm در عمق حدود ۸۰ متری B3 است (شکل ۱۸).

در منطقه اکتشافی (۳)، بیشترین بی‌هنجاریها از سطح تا عمق ۴۰ متری مشاهده می‌شود. بیشترین طلا ۲۴۴۰ ppb در عمق ۳۴ تا ۳۵ متری گمانه B13 وجود دارد (شکل ۱۹). بی‌هنجاری نقره با طلا هماهنگی داشته و بیشترین آن در همان عمق و در همان گمانه با مقدار ۳/۱۳ ppm است (شکل ۲۰). بالاترین مقدار سرب نیز در عمق ۲۸ تا ۳۰ متری B13, ۱۰۰/۵ ppm است (شکل ۲۰). روی با سرب هماهنگی داشته و بالاترین آن ۵۷۰ ppm در عمق ۳۰ تا ۳۲/۴ متری B13 است (شکل ۲۰). مس بی‌هنجاری خوبی نشان داده و در هر دو گمانه بالاست. بالاترین عیار مس B13, در عمق ۳۸ تا ۳۹/۹ متری، ۱۱۳ ppm است (شکل ۲۰). آرسنیک و آنتیموان تا عمق ۴۰ متری بی‌هنجاری خوبی دارند. وجود آرسنیک بالا نشان‌دهنده کانی آرسنوپیریت در آن بخش است. بیشترین آرسنیک ۵۵۵۰ ppm در عمق ۳۴ تا ۳۵ است که با مقادیر بالای طلا و نقره هماهنگی دارد (شکل ۲۰). بالاترین مقدار آنتیموان ۹۱۰ ppm در عمق ۲۲ تا ۲۴ متری B12 است.

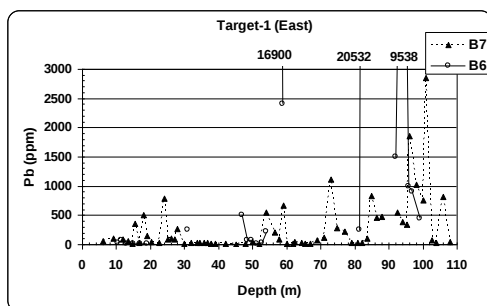
نتایج تجزیه قلع، تنگستن تعدادی از نمونه‌های سطحی و زیر زمینی از بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) به روش XRF، در جدولهای (۱ و ۲) ارائه شده‌اند. قلع در نمونه‌های زیر زمینی تا ۵۸۱ ppm و در نمونه‌های سطحی تا ۵۵۵ ppm می‌رسد که مقدار آن قابل توجه است. می‌توان گفت که قلع یکی از عناصر مهم همراه با طلا در بخش کانی‌سازی داربستی بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) همراه با توده‌های نوع S است. ضرورت دارد تا منطقه هیرد علاوه بر طلا برای اکتشافی قلع مورد توجه قرار گیرد.



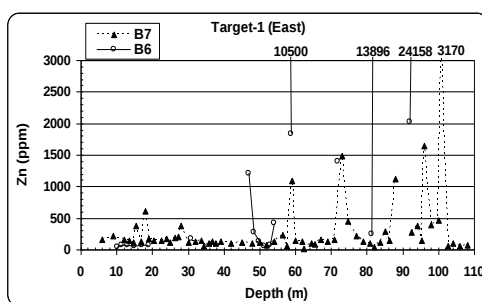
شکل ۷ تغییرات طلا در شرق منطقه اکتشافی (۱).



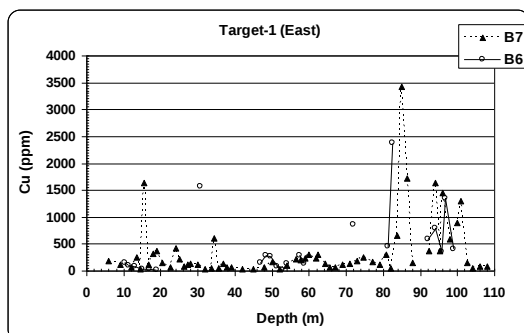
شکل ۸ تغییرات نقره در شرق منطقه اکتشافی (۱).



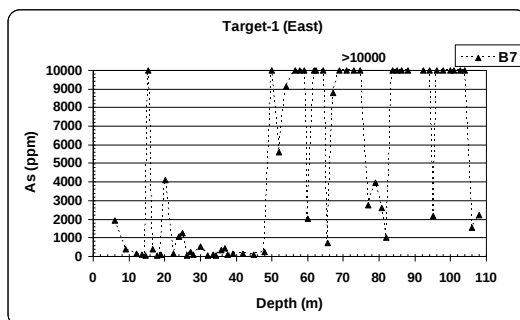
شکل ۹ تغییرات سرب در شرق منطقه اکتشافی (۱).



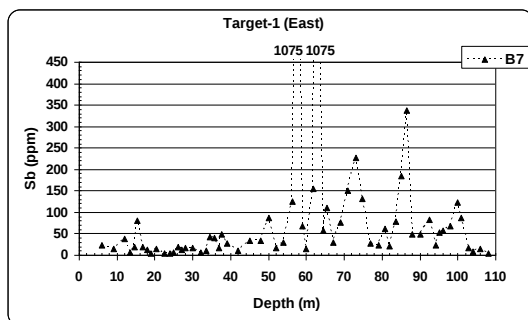
شکل ۱۰ تغییرات روی در شرق منطقه اکتشافی (۱).



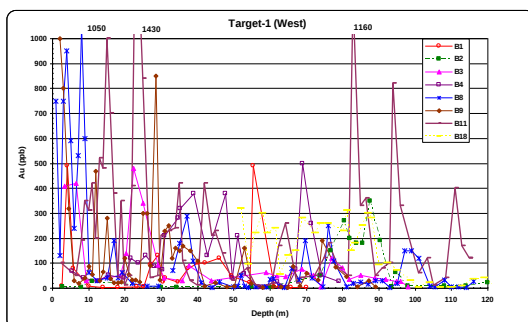
شکل ۱۱ تغییرات مس در شرق منطقه اکتشافی (۱).



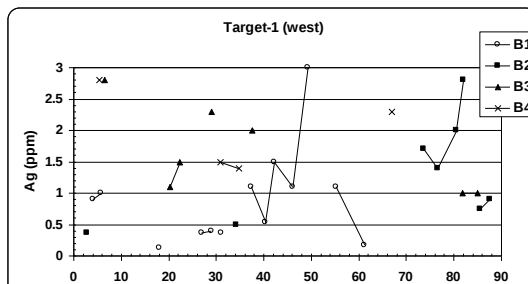
شکل ۱۲ تغییرات آرسنیک در شرق منطقه اکتشافی (۱).



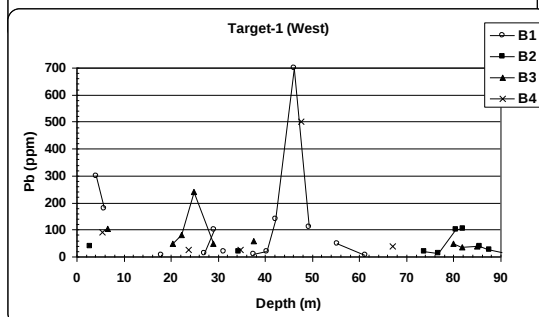
شکل ۱۳ تغییرات آنتیموان در شرق منطقه اکتشافی (۱).



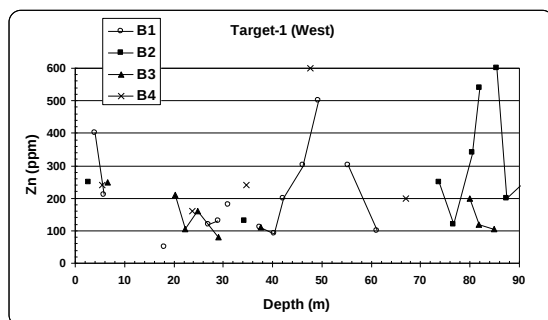
شکل ۱۴ تغییرات طلا در غرب منطقه اکتشافی (۱).



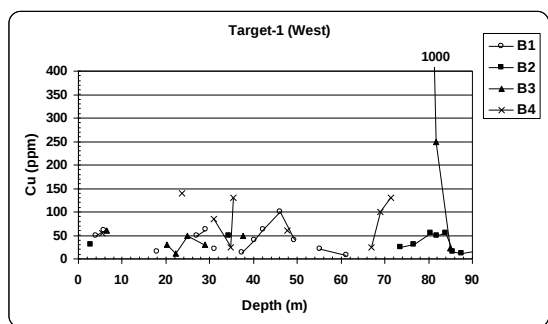
شکل ۱۵ تغییرات نقره در غرب منطقه اکتشافی (۱).



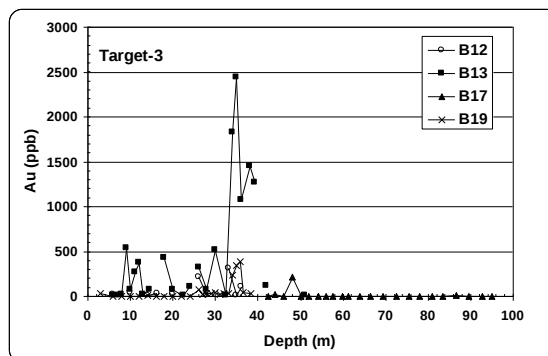
شکل ۱۶ تغییرات سرب در غرب منطقه اکتشافی (۱).



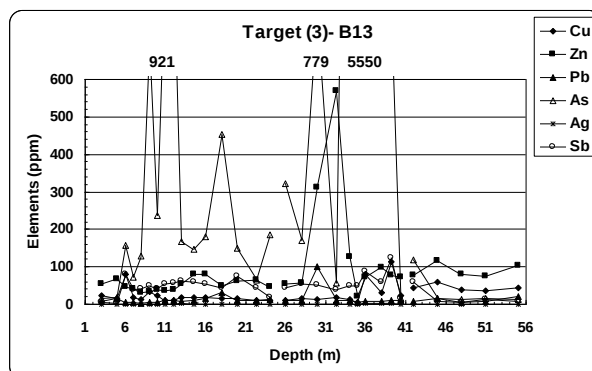
شکل ۱۷ تغییرات روی در غرب منطقه اکتشافی (۱).



شکل ۱۸ تغییرات مس در غرب منطقه اکتشافی (۱).



شکل ۱۹ تغییرات طلا در منطقه اکتشافی (۳).



شکل ۲۰ تغییرات نقره، مس، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان از گمانه B13 از منطقه اکتشافی (۳)

جدول ۱ مقادیر قلع و تنگستن در نمونه‌های گمانه از بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱).

W (ppm)	Sn(ppm)	عمق (متر)	شماره گمانه	
۱۲	۲۶۵	۱۳-۱۱٫۳	B6	82/H/B6/6
۲۱	۳۹۵	۳۰٫۸-۲۹٫۸	B6	82/H/B6/15
۶	۲۰۶	۵۶٫۳۵-۵۴	B6	82/H/B6/30
۸۰	۵۸۱	۷۱٫۹-۷۰	B6	82/H/B6/40
۲۱	۲۵۰	۱۰۰٫۵-۹۹	B6	82/H/B6/56
۲۵	۱۸۴	۸۸-۸۶٫۴	B7	82/H/B7/51
۱۲	۱۸۷	۹۵٫۲-۹۴٫۱	B7	82/H/B7/55
n.d	۱۸۴	۱۰۰-۹۸	B7	82/H/B7/58

جدول ۲ مقادیر قلع و تنگستن در نمونه‌های سطحی از بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱).

W (ppm)	Sn (ppm)	
n.d	۳۵۸	TG-1
n.d	۵۵۵	HCM-2
۲۵	n.d	HCM-3
۵	۱۶۵	HCM-4
۴۱	۱۴۶	HCM-5

بحث و برداشت

کانی‌سازی در شرق منطقه (۱) اکتشافی هیرد به صورت داربستی است و در این منطقه، گرانیتهای S رخنمون دارند. پاراژنز کانی‌شناسی شامل: پیروتیت، آرسنوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، تورمالین، کلسیت، کوارتز، و سرسیت است. کانی‌سازی در مناطق دیگر به صورت رگه‌ای است و در نقاطی که میان لایه‌های آهکی وجود داشته باشد، کانی‌سازی به صورت جانشینی دگرتهادی (اسکارن) انجام گرفته است. تفاوت در نوع کانی‌سازی موجب

تغییراتی در عیار طلا شده است. پاراژنز کانی‌شناسی وجود یک محلول کانی‌ساز احیایی را تایید می‌کند. ترتیب تشکیل رگچه‌ها به طور کلی به صورت زیر است:

(۱) نخست رگچه‌های سولفیدی تورمالین‌دار تشکیل شده‌اند؛ (۲) پس از آن رگچه‌ی ظریفی از کوارتز و کلسیت دیده می‌شود که رگچه‌های تورمالین‌دار را قطع کرده‌اند؛ (۳) سپس رگچه‌های کانیه‌ای سولفیدی بدون تورمالین تشکیل شده‌اند؛ (۴) بعد رگچه‌های کوارتز ظریف تشکیل شده‌اند که رگچه‌های قبلی را قطع می‌کنند؛ (۵) و در پایان تعدادی رگچه‌های کوارتز + سولفید نیز به وجود آمده است.

مقایسه ژئوشیمی سه ناحیه (شرق و غرب منطقه اکتشافی (۱) و (۳)) نشان می‌دهند که بیشترین مقدار طلا در گمانه B7 در شرق منطقه اکتشافی (۱) است (۵۱۸۰ ppb) و پس از آن منطقه اکتشافی (۳) و بعد غرب منطقه اکتشافی (۱) قرار دارد. نقره در شرق منطقه اکتشافی (۱) با بیش از ۱۲۰ ppm در گمانه B6، بالاترین مقدار را داراست و با غرب منطقه اکتشافی (۱) و (۳) که هر دو حداکثر ۳ ppm نقره دارند، بسیار تفاوت دارد. سرب نیز با مقدار ۲۰۵۳۲ ppm در B6 از شرق منطقه اکتشافی (۱) بالاترین مقدار است و پس از آن غرب منطقه اکتشافی (۱) با حداکثر ۷۰۰ ppm و سپس منطقه اکتشافی (۳) با حداکثر ۱۰۰ ppm است. بالاترین میزان روی در B6 در شرق منطقه اکتشافی (۱) بوده و در غرب منطقه و منطقه اکتشافی (۳) روی تقریباً برابر است. بیشترین مقدار مس در شرق منطقه اکتشافی (۱) با عیار در حدود ۳۵۰۰ ppm است. بالاترین مقادیر آرسنیک و آنتیموان نیز در شرق منطقه اکتشافی (۱) است. در مجموع در شرق منطقه اکتشافی (۱)، بالاترین مقادیر Au ، Ag ، Cu ، Pb ، Zn ، As و Sb در اعماق ۵۵ تا ۱۰۰ متری مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی داربستی که اصلی‌ترین کانی‌سازی این گستره است در این بخش قرار دارد که تاییدی است بر این که این منطقه نزدیکترین مکان به توده‌های خاستگاه کانی‌سازی است. نیز با توجه به مقدار بالای آرسنیک همراه با طلا و تاثیر آن بر روند استحصال، لازم است که این مسئله از هم اکنون مدنظر قرار گرفته و در هزینه‌های بهره‌برداری کانسار لحاظ شود. نتایج تجزیه قلع و تنگستن، مقدار قلع حایز اهمیتی را (تا ۵۸۰ ppm) در نمونه‌های سطحی و زیرزمینی بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر قلع در گمانه B6 و نمونه‌های سطحی نزدیک آن دیده می‌شود.

نکات مهمی که وجود کانی‌سازی قلع علاوه بر طلا را در منطقه تایید می‌کنند عبارتند از؛

- ۱- توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی نوع S؛
- ۲- کانی‌سازی داربستی در بخش شرقی منطقه اکتشافی (۱) به ویژه در سطح زمین و در چاههای حفاری شده (B6 و B7)؛

۳- دگرسانی تورمالینی؛ و

۴- بی‌هنجاری قلع تا ۵۸۱ گرم در تن در بخش شرقی منطقه.

بنابراین کانی‌سازی هیرد را می‌توان به عنوان یک کانی‌سازی طلا- قلع معرفی کرد که می‌بایست در آینده اکتشافی منطقه مورد توجه قرار گیرد.

به منظور بررسی مدل کانی‌سازی منطقه هیرد، این منطقه با انواع مختلف کانی‌سازیه‌های طلای دنیا مقایسه شد. این ذخیره شباهت‌های زیادی با سیستم‌های طلای وابسته به توده‌های نفوذی (Intrusion-related gold system) دارد. در این سیستم‌ها، سنگ میزبان کانی‌سازی طلا را توده‌های نفوذی تشکیل می‌دهد و این سیستم‌ها از نوع ماگمایی- گرمایی هستند. مثالهایی از این ذخایر در آلاسکا، اسپانیا، بولیوی، و استرالیا وجود دارند. بیشتر این ذخایر مربوط به فانروزویک هستند. هفت ویژگی برای این ذخایر معرفی شده‌اند [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴]:

۱) همراهی با نفوذیه‌های ساب آکالن متآلومینوس حدواسط تا اسیدی احيایی (بیشتر در حد گرانیات تا گرانودیوریت) که نزدیک مرز بین سری ایلمنیت و سری مگنتیت هستند؛ ۲) داشتن آبگونی‌های گرمایی کربونیک؛ ۳) مجموعه فلزی شامل طلا و عناصر بیسموت، قلع، تنگستن، آرسنیک، مولیبدن، تلوریوم، و یا آنتیموان و مقدار کم فلزات پایه (کمتر از ۵۰۰ گرم در تن)؛ ۴) مقدار کانی سولفیدی آنها کم و اغلب کمتر از ۵ درصد است (البته استثناهایی نیز وجود دارند). مجموعه کانی آن احيایی و شامل آرسنوپیریت، پیروتیت و پیریت بوده و مگنتیت و هماتیت وجود ندارد؛ ۵) دگرسانی گرمایی معمولاً ضعیف است و اغلب در اعماق کمتر مشاهده می‌شود؛ ۶) جایگاه زمین‌ساختی آنها معمولاً مرزهای همگراست که شامل نفوذیه‌های آکالی، متآلومینوس کالک آکالن و ترکیبات پرآلومینوس است؛ و ۷) موقعیت این کانی‌سازیه‌ها معمولاً در مناطقی است که کانی‌سازیه‌های قلع و تنگستن شکل گرفته‌اند.

ریخت‌شناسی این ذخایر در اعماق کم (کمتر از یک کیلومتر)، به صورت رگچه‌های صفحه‌ای، در اعماق متوسط (۳/۵ کیلومتری و کمتر)، در برشهای گرمایی و در اعماق جایگزینی (۳ تا ۶ کیلومتری) به صورت کانی‌سازی رگه‌های کوارتز صفحه‌ای، گرایزن یا افشان دیده می‌شوند. بافت‌های برشی، افشان و داربستی نیز در آنها وجود دارند [۷]. هارت و همکاران [۱۵] براساس فاصله کانی‌سازی از توده نفوذی سه نوع کانی‌سازی را معرفی کرده‌اند:

۱) کانی‌سازی داخل توده نفوذی (Intrusion-hosted) که شامل $Au \pm i \pm Sn \pm Te \pm As \pm Mo \pm W$ است. ۲) کانی‌سازی در مجاورت توده نفوذی (Proximal) شامل اسکارن $W \pm Cu \pm Au$ و $Cu-Bi \pm Au \pm W$ ؛ و ۳) کانی‌سازی دور از توده نفوذی (Distal) شامل رگه‌های کوارتز- سولفید میان گرمایی تا وراگرمایی طلادار ($Au-As-Sb \pm Hg$) در طول

گسلها. تنوع قائم در این بخش از ذخایر کمتر ولی درجه گسترش و تنوع جانبی زیاد است [۱۲ و ۱۳]. کانیه‌های سولفیدی در نوع دوم و سوم بیشتر است و تا بیش از ۲۰ درصد می‌رسد. دگرسانی به ترتیب شامل زونهای فلدپتاسیک، سرسیتی، کربناتی، سیلیسی، گرایزن، کالک سیلیکات، تورمالین، و آرژلیک پیشرفته است [۱۴]. کنترل‌های ساختاری نیز اغلب در این ذخایر دیده می‌شوند. عیار طلا در این سیستمها بیش از ۰/۸ گرم در تن است [۱۰] و ذخیره آن به بیش از ۳۰ تن می‌رسد [۱۴].

در مجموع بیشترین شباهتی که بین کانی‌سازی هیرد و سیستمهای طلای وابسته به توده‌های نفوذی وجود دارد، ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نفوذی (در حد گرانیته تا مونزودوریت)، ماهیت احیایی توده‌ها (گرانیتوئیدهای نوع S) و به پیروی از آن، ماهیت احیایی مجموعه فلزی و کانیه‌های آن و حضور بی‌هنجاری عنصر قلع است. نیز ویژگیهای کانی‌سازی درون سنگ میزبان، مجاور توده و دور از توده نفوذی در هیرد دیده می‌شود. البته تفاوت‌های چشمگیری مانند عدم وجود یا کم بودن برخی عناصر مثل بیسموت، تلوریم، تنگستن و مولیبدن و غیره، بالا بودن مقدار کانیه‌های سولفیدی و دگرسانی کوارتز-تورمالین $\pm$ سرسیت $\pm$ کلسیت به عنوان زون اصلی دگرسانی همراه با کانی‌سازی و نبود زون فلدسپاتیک در منطقه هیرد نیز مشاهده می‌شوند که این شرایط به صورت استثنا از برخی ذخایر طلای وابسته به نفوذیه‌ها نیز گزارش شده است.

تشکر و قدردانی

از کارشناسان محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (شعبه شرق) به خاطر همکاریهای لازم و در اختیار قرار دادن اطلاعات کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [1] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (7) (1968), pp. 1229-1258.
- [۲] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان"، گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران (۱۳۸۰).
- [۳] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان"، گزارش نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه امیدبخش معدنی طلای هیرد (شمال غرب نهبندان) (۱۳۸۲).
- [4] Sillitoe R. H., "Intrusion-related gold deposit", In: Foster RP (ed) Gold metallogeny and exploration. Blackie, Glasgow, (1991) pp 165-20.

- [5] Holister V. F., "On a proposed plutonic porphyry gold deposit model", *Nonrenewable Resour* (1992) 1:293-302.
- [6] Newberry R. J, Burns L. E, Solie D. N, Clautice K. H., "A revised geological model for the North Star gold belt", interior Alaska: progress report. Alaska Division of geological and Geophysical Public-Data File 88-23 (1988).
- [7] Newberry R. J, McCoy D. T, Brew D. A., "Plutonic- hosted gold ores in Alaska: igneous versus metamorphic origins", *Resour Geol Spec Issue* 18:57-100 (1995).
- [8] Lang J. R., Thomposon J. F. H., Mortensen J. K., Baker T., "Intrusion-related Au mineralization associated with Lithophile elements: an under-recognized metallogenic association", *Geol Soc Am Prog Abstr* 29:358 (1997).
- [9] McCoy D. T., Newberry R. J., Layer P. W., DiMarchi J. J., Bakke A., Masterman J. S., Minehane D. L., "Plutonic related gold deposits of interior Alaska", In: Goldfarb, R. J, Miller, L. D (eds) *Ore deposits of Alaska*. Soc Econ Geol Monogr 9:151-19 (1997).
- [10] Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K., "Intrusion- related gold deposits associated with tungsten-tin provinces", *Miner Deposita* 34:323-334 (1999).
- [11] Goldfarb R., Hart C., Miller M., Miller L., Farmer G. L., Groves D., "The Tintina gold belt- a global prespective. In: Tucker TL, Smith MT (eds) *The Tintina gold belt: Concepts, exploration and discoveries*", British Columbia and Yukon Chamber of Mines Special Volume 2, (2000) pp 5-34.
- [12] Lang J. R., Baker T., Hart C. J. R., Mortensen J. K., "An exploration model for intrusion- related gold systems", *Soc Econ Geol News* 40 (1):7-15 (2000).
- [13] Newberry R. J., "Mineral deposits and associated Mesozoic and Tertiary igneous rocks within the Interior Alaska and adjacent Yukon portions of the Tintina gold belt: Concepts, exploration and discoveries", British Columbia and Yukon Chamber of Mines Special Volume 2, (2000) pp 59-88.
- [14] Lang J. R., Baker T., "Intrusion-related gold systems: the present level of understanding", *Mineralum Deposita*, 36:477-489 (2001).
- [15] Hart C. J. R, Baker T., Burke M., "Newexploration concepts for country-rock-hosted, intrusion-related gold systems: Tintina gold belt in Yukon. In: Tucker TL, Smith MT (eds) *The Tintina gold belt: Concepts, exploration and discoveries*", British Columbia and Yukon Chamber of Mines Special Volume 2, (2000) pp 145-172.