

کانه‌زایی طلاي هيرد: نمونه‌اي از ذخاير طلاي مرتبط با نفوذی‌های گرانیتویدی کاهیده در ایران (جنوب بیرجند)

نوشته: حسن اشراقی*، ابراهیم راستاد*، محمدهاشم امامی** و علی عسگری***

*گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
**پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
***سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (واحد شرق و شمال شرق)، مشهد، ایران

The Hired Gold Mineralization: an Example of Gold Deposits Related to Reduced Granitoid Intrusions in Iran (South of Birjand)

By: H. Eshraghi*, E. Rastad*, M. H. Emami**, A. Asgari***

*Geological Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

**Research Institute for Earth Science, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran

***Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (East and North East Unit), Mashad, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۲/۳۰

چکیده

کانه‌زایی طلاي هيرد در استان خراسان جنوبي در فاصله ۱۴۰ كيلومتري جنوب بيرجند، در شمال بلوك لوت قرار دارد. در محدوده کانه‌زایی طلاي هيرد، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی مربوط به ژوراسیک و کرتاسه است که توسط توالی‌های آتشفشانی - رسوبی ترشیری پوشیده شده‌اند. توده‌های نفوذی گرانیت، گرانودیوریت - کوارتز دیوریت و گابرو نوریت در توالی‌های ترشیری نفوذ کرده‌اند. ولی آثار کانه‌زایی تنها در درون و حاشیه استوک نیمه‌ژرف گرانودیوریت - کوارتز دیوریت با بافت پورفیری مشاهده می‌شود. با توجه به این که توده نیمه‌ژرف گرانودیوریت - کوارتز دیوریت مولد کانه‌زایی حاوی ایلمنیت و فاقد مگنتیت بوده و نیز دارای خاصیت مغناطیسی پذیری (1.5×10^{-4} SI Units) کم و نسبت پایین ($Fe_2O_3/FeO < 0.5$) است، لذا می‌توان آن را در رده گرانیتویدهای ایلمنیتی یا کاهیده ($Low fO_2$) قرار داد. کانه‌زایی در محدوده معدنی هیرد براساس فاصله از توده نفوذی به سه بخش اصلی کانه‌زایی با میزان توده نفوذی، کانه‌زایی در حاشیه توده نفوذی و کانه‌زایی دور از توده نفوذی قابل تفکیک است. این سه بخش از نظر سنگ میزبان، دگرسانی، کانی‌شناسی، ساخت، بافت و محتوای فلزی با هم متفاوت است. در کانه‌زایی با میزان توده نفوذی سنگ میزبان کانه‌زایی، توده نفوذی مولد کانه‌زایی، یعنی استوک نیمه‌ژرف گرانودیوریت - کوارتز دیوریت است. سه نوع رگه - رگچه اصلی در کانه‌زایی با میزان توده نفوذی دیده می‌شوند که شامل رگه - رگچه‌های تورمالین - کوارتز - سریست و سولفید (TQSS)، کوارتز - کلسیت و سولفید (QCS) و کوارتز - کلسیت (QC) با سولفید کمیاب است. این رگه - رگچه‌ها دارای آرایش صفحه‌ای و استوک ورکی است. کانه‌زایی حاشیه توده نفوذی در توالی‌های آتشفشانی - رسوبی که تحت نفوذ توده مولد کانه‌زایی قرار گرفته‌اند، مشاهده می‌شود. سولفیدها به صورت پراکنده، رگه - رگچه‌ای و حتی توده‌ای دیده می‌شوند. رگه - رگچه‌های استوک ورکی و به ندرت صفحه‌ای موجود در این کانه‌زایی دارای کوارتز، کلسیت و سولفید هستند. دگرسانی سریستی، سیلیسی و کربناتی مهم‌ترین دگرسانی‌های همراه با زون‌های عیاردار است. کانه‌زایی دور از توده نفوذی در پهنه‌های گسلی به صورت زون‌های سیلیسی و کربناتی به همراه اکسید و هیدرواکسیدهای آهن در سطح قابل شناسایی هستند. مقایسه مهم‌ترین ویژگی‌های کانه‌زایی طلاي هيرد (از جمله جایگاه زمین‌شناسی، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، پاراژنز کانی‌ها، محتوای فلزی، ساخت، بافت و دگرسانی) با ویژگی‌های تیب‌های مختلف کانه‌زایی طلا در دنیا، نشان می‌دهد که کانه‌زایی طلاي هيرد بیشترین شباهت را با ذخایر طلاي مرتبط با توده‌های نفوذی گرانیتویدی کاهیده دارد.

کلید واژه‌ها: کانه‌زایی طلا، گرانیتویدهای کاهیده، کانه‌زایی با میزان توده نفوذی، حاشیه توده نفوذی، دور از توده نفوذی، هیرد، لوت.

Abstract

The Hired gold mineralization is located 140 km South of Birjand, Southern Khorasan, and north of Lut Block. In the area, the Jurassic and Cretaceous units are covered by Tertiary volcano-sedimentary sequences. Granite, granodiorite-quartzdiorite and gabbro-norite bodies have intruded Tertiary sequences, and mineralization occurs within or at periphery of a subvolcanic granodiorite-quartzdiorite stock with porphyry texture. The existence of ilmenite within subvolcanic granodiorite-quartzdiorite bodies which the lack of magnetite and low magnetic susceptibility (1.5×10^{-4} SI Units) as well as low ratio of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (<0.5), they are classified as ilmenite or reduced (low $f\text{O}_2$) granitoid rocks.

Mineralization in Hired area is divided into three main zones based on the distance from the stock. The mineralized zones are as follow: intrusion-hosted mineralization, proximal mineralization and distal mineralization. These three zones are different in host rock, mineralogy, alteration, structure, texture and metal assemblage.

In the intrusion-hosted mineralization, the ore-bearing unit is subvolcanic granodiorite-quartzdiorite stock. Three types of major vein-veinlets observed within the stock, including vein-veinlets of tourmaline-quartz-sericite and sulfide (TQSS), quartz-calcite and sulfides (QCS) and quartz-calcite with rare sulfide (QC). The vein-veinlets include sheeted and stockwork arrays. The proximal mineralization occurs in volcano-sedimentary sequences. These sequences include tuff, andesite and conglomerate components. The sulfides occur as disseminated, vein-veinlet and massive textures. Stockwork and rarely sheeted vein-veinlets in this type of mineralization contain quartz, calcite and sulfides. Sericitization, silicification and carbonatization are the principal alterations associated with mineralization zone. The distal mineralization occurs in faults with low angle dips, trending NE-SW and NW-SE. These faults are filled with silica and carbonates, with iron oxides and hydroxides at the surface.

The comparison of the most important characteristics of Hired mineralization (including tectonic setting, host rock, mineralogy, mineral paragenesis, ore content, structure, texture and alteration) with the characteristics of different types of gold mineralization suggests that the Hired gold mineralization shows most similarity with the gold mineralization related to reduced granitoid intrusion. This type of mineralization is reported for the first time from Iran.

Keywords: Gold mineralization, Reduced granitoids, Intrusion-hosted, Proximal and distal mineralization, Hired, Lut.

۱- مقدمه

اکتشاف‌های زمین‌شیمیایی و بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی، همراه با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی و دورسنجی در محدوده ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ استان خراسان جنوبی، منجر به معرفی تعداد زیادی مناطق امیدبخش معدنی شده است. کان‌زایی طلائی هیرد یکی از این مناطق امیدبخش است. این کان‌زایی در فاصله ۱۴۰ کیلومتری جنوب بیرجند و در ۴ کیلومتری خاور روستای بصیران واقع شده است (شکل ۱).

اکتشاف‌های گسترده طلا در بلوک لوت، در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است و بعضی از نتایج آن، شناسایی کان‌زایی طلائی هیرد (مرتبط با توده نفوذی کاهیده)، ماهرآباد (مس پورفیری غنی از طلا)، شوراب (ابی‌ترمال حدواسط) و خونیک (تنوره پایپ) برشی مرتبط با توده نفوذی، (مشکانی،

۱۳۸۵) بوده است. حضور این نوع کان‌زایی‌ها در شمال بلوک لوت، بیان‌کننده این واقعیت است که مجموعه واحدهای آتشفشانی-پلوتونیک ترشیری در این ناحیه، پتانسیل کان‌زایی طلا و مس را دارد.

۲- زمین‌شناسی

کان‌زایی طلائی هیرد در خاور ایران و در بلوک لوت قرار دارد (شکل ۱). خاور ایران به نظر (Tirrul et al. 1983)، زون جوش‌خورده‌ای است که دو بلوک لوت و افغان را به هم پیوند داده و در دوره کوتاه تکون خود، حوادث متعددی را از قبیل کافت‌زایی، فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان، ماگماتیسیم، برخورد بلوک لوت با زون فلیش و جایگیری افیولیت‌ها در کنار

توده نفوذی نیمه‌ژرف حدواسط در دامنه خاوری و جنوبی کوه سیاه‌کمر رخنمون دارد و برخلاف توده‌های آمفیبول‌گرانیت، ریخت‌شناسی پستی را به نمایش می‌گذارد، زیرا به شدت دگرسان شده است. این توده از نظر کانی‌شناسی دارای آمفیبول، بیوتیت و درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز است (شکل ۴- الف).

با توجه به درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت و زمینه تقریباً ریز بلور، ولی دانه‌ای متشکل از کوارتز و فلدسپار قلیایی، سنگ دارای بافت تمام‌بلورین نیمه‌خودریخت پورفیری است. با توجه به کانی‌شناسی میکروسکوپی، نام سنگ گرانودیوریت تا کوارتزدیوریت تعیین شده است، که با حضور آمفیبول و بیوتیت اسم کامل آن آمفیبول-بیوتیت گرانودیوریت تا کوارتزدیوریت است. این توده در نقشه زمین‌شناسی- معدنی ۱/۲۰۰۰۰ هیرد (شکل ۲)، گرانیت نام‌گذاری شده است. برخلاف آمفیبول-گرانیت، توده نفوذی نیمه‌ژرف حدواسط (گرانودیوریت-کوارتزدیوریت) فاقد مگنتیت اولیه بوده و در عوض دارای ایلمنیت است. ایلمنیت به صورت تیغه‌ای با ناهمسانگردی مشخص قابل شناسایی است (شکل ۴- ب). بنا بر ویژگی‌های کانی‌شناختی ذکر شده و خاصیت مغناطیسی پایین، این توده نفوذی در رده گرانیتوئیدهای ایلمنیتی یا کاهیده ($Low fO_2$) قرار می‌گیرد. براساس مطالعه‌های زمین‌شیمیایی انجام شده توده نفوذی نیمه‌ژرف حدواسط از گروه گرانیتوئیدهای تیپ I، سری کاهیده یا ایلمنیتی، نیمه‌قلیایی، کلسیمی- قلیایی و متآلومین است (اشراقی، ۱۳۸۵).

عسکری و صفری (۱۳۸۲) در بررسی‌هایی که بر روی مجموعه خطواره‌های منطقه اکتشافی هیرد انجام داده‌اند، بر این باورند که بیشتر گسل‌ها و شکستگی‌ها دارای روند شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری هستند و نیز معتقدند که روند تشکیل رگه‌های سیلیس و زون‌های دگرسان کانه‌دار در منطقه از روندهای فوق پیروی می‌کنند. مهم‌ترین گسل خوردگی در محدوده معدنی هیرد وجود یک سامانه راندگی در دامنه کوه سیاه‌کمر است (شکل ۲). روند این راندگی، شمال باختری- جنوب خاوری تا شمال خاوری- جنوب باختری است.

۲- کانه‌زایی

با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی- معدنی انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و نتایج حاصل از آن در نهایت ۴ محدوده امیدبخش معدنی در منطقه هیرد برای ادامه عملیات اکتشافی پیشنهاد شده است. موقعیت این محدوده‌های امیدبخش معدنی بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ هیرد (شکل ۲، Target Au 1-4) مشخص شده است.

گسل‌ها و روراندهای آنها را پشت سر گذاشته است. (Camp & Griffis, 1982) بخش اعظم بلوک لوت را سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی- قلیایی ترشیری تشکیل می‌دهند. توده‌های گرانیتوبید به سن پس از ائوسن نیز در برخی نقاط، این واحدها را تحت تأثیر قرار داده‌اند. بلوک لوت در بین دو گسل بزرگ شمالی- جنوبی با نام‌های نای‌بند و نه‌بندان جای گرفته است. نیروهای فشاری وارد بر این ناحیه، سبب شده‌اند تا در امتداد این گسل‌ها، جابه‌جایی‌ها، از نوع امتداد لغز و برشی باشند. در چنین رژیم، سازوکار دگرشکلی با کمترین شدت، ولی بازشدگی شکستگی‌ها بالاترین میزان است. به همین دلیل پدیده آتشفشانی، شدید و پیوسته بوده و گدازه‌های جوان‌تر، به طور پی در پی سنگ‌های قدیمی‌تر را پوشانده و سنگ‌های آتشفشانی گسترده بلوک را پدید آورده‌اند (Nogole Sadate, 1978).

در محدوده معدنی هیرد، واحد شیل- ماسه‌سنگ ژوراسیک، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل داده است، که بر روی آن توالی رسوبی کرتاسه بالایی با یک دگرشیبی زاویه‌دار قرار می‌گیرد. توالی کرتاسه بالایی شامل شیل، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ آهک- مارن، توف آهکی و سنگ آهک ماسه‌ای است. شروع توالی ترشیری، با کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن است که بر روی آن واحدهای آتشفشانی- رسوبی، شامل آندزیت، آندزیت بازلت، توف بلوری- سنگی، توف شیشه‌ای- بلوری، توفیت آهکی و کنگلومرا قرار می‌گیرد (شکل ۲).

توده‌های نفوذی موجود در محدوده امیدبخش معدنی هیرد براساس ترکیب شیمیایی به سه دسته مافیک، حدواسط و اسیدی تقسیم می‌شوند. توده نفوذی مافیک، با ریخت‌شناسی پست‌تر در واحدهای آتشفشانی- رسوبی نفوذ کرده و سبب هورنفلسی شدن آنها شده است. این توده‌های نفوذی از کانی‌های پلاژیوکلاز، اورتوپروکسن، کلینوپروکسن، کمی فلدسپار قلیایی، کوارتز و آمفیبول تشکیل شده است. بافت سنگ به صورت نیمه‌خودریخت دانه‌ای تا کمی پورفیری بوده و با توجه به کانی‌شناسی، نام سنگ گابرونوریت است. این توده در نقشه زمین‌شناسی- معدنی ۱/۲۰۰۰۰ هیرد (شکل ۲) (عسکری و صفری، ۱۳۸۲) مونزودیوریت نام‌گذاری شده است.

توده اسیدی در باختر کوه سیاه‌کمر در توالی‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن نفوذ کرده و از نظر ریخت‌شناسی بخش‌های مرتفع را تشکیل داده‌اند. این توده نفوذی دارای ترکیب گرانیت با بافت تمام‌بلورین دانه‌ای است و با توجه به وجود آمفیبول در آن، می‌توان از اصطلاح آمفیبول- گرانیت برای آن استفاده کرد (شکل ۳- الف). با توجه به حضور مگنتیت اولیه (شکل ۳- ب) و خاصیت مغناطیس پذیری بالا، این توده نفوذی براساس تقسیم‌بندی (Ishihara 1981) در رده گرانیتوئیدهای اکسیدی ($High fO_2$) یا سری مگنتیت در نظر گرفته شده است.

بالای طلا و نیز با توجه به وجود بیشترین داده‌ها، مطالعات این مقاله بیشتر بر روی دو محدوده معدنی امیدبخش Au-1 و Au-3 متمرکز شده است. با توجه به این که در بیشتر محدوده‌های معدنی امیدبخش هیرد، کان‌زایی سولفیدی اولیه تحت تأثیر پدیده‌های سوپرژن به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل است، لذا بیش از نیمی از اطلاعات مورد بررسی، مربوط به مغزه‌های حفاری و ترانسه‌ها است.

کانه‌زایی در محدوده معدنی امید بخش هیرد (محدوده معدنی امیدبخش Au-1 و Au-3) در درون توده نفوذی نیمه‌ژرف حدواسط و در سنگ‌های مجاور آن رخ داده است. به طور کلی کان‌زایی را براساس فاصله از توده نفوذی نیمه‌ژرف پورفیری مولد کان‌زایی، می‌توان به سه بخش تفکیک کرد (شکل ۵). این سه بخش از نظر سنگ میزبان، دگرسانی، کانی‌شناسی، ساخت، بافت و محتوای فلزی با یکدیگر متفاوتند. این کان‌زایی‌ها به ترتیب از درون توده نفوذی به سمت خارج آن شامل بخش‌های زیر است:

- ۱- کان‌زایی بامیزبان توده نفوذی (Intrusion-hosted mineralization=I.H.M)
 - ۲- کان‌زایی در حاشیه توده نفوذی (Proximal mineralization=P.M)
 - ۳- کان‌زایی دور از توده نفوذی (Distal mineralization=D.M)
- ذکر این نکته نیز ضروری است که هر سه بخش کان‌زایی فقط در محدوده معدنی امیدبخش Au-1 با هم دیده می‌شود (شکل ۲) و در محدوده‌های معدنی امیدبخش Au-2، Au-3 و Au-4 فقط بخش دور از توده نفوذی دیده می‌شود (شکل ۲).
- ویژگی‌های هر یک از سه دسته کان‌زایی از نظر سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی و زمین‌شیمی به ترتیب در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۳-۱- سنگ میزبان

کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی در دامنه خاوری و جنوب خاوری کوه سیاه‌کمر در محدوده معدنی Au-1 رخنمون دارد. سنگ میزبان این کان‌زایی توده نفوذی نیمه‌ژرف آمفیبول- بیوتیت گرانودیوریت- کوارتزدیوریت با بافت پورفیری (شکل ۴- الف) است که در نزدیک سطح و سقف خود دارای دگرسانی تورمالینی، سیلیسی و سریستی است. توده نفوذی حدواسط در واحدهای آتشفشانی- رسوبی از قبیل توف شیشه‌ای، توف سنگی- بلوری، توفیت آهنکی و کنگلومرا نفوذ کرده و سبب هورنفلسی و اسکارنی شدن و کان‌زایی شده است. وسعت این کان‌زایی محدود به رخنمون توده گرانودیوریتی- کوارتزدیوریتی در سطح است. رخنمون سطحی این توده حدود ۰/۵ کیلومتر مربع است. در مشاهده‌های صحرایی کان‌زایی و سنگ میزبان آن با حضور دگرسانی تورمالینی، سیلیسی و سریستی در توده نفوذی

محدوده معدنی امیدبخش Au-1: مهم‌ترین و وسیع‌ترین محدوده معدنی در این منطقه و مساحت آن افزون بر ۳ کیلومتر مربع است. در این محدوده توده نفوذی نیمه‌ژرف گرانودیوریت- کوارتزدیوریت (در نقشه ۱/۲۰۰۰۰ به عنوان گرانیته نامیده شده است) که در سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن نفوذ کرده، رخنمون دارد (شکل ۲). در این محدوده تا کنون ۳۱ ترانسه اکتشافی و ۱۶ گمانه حفر شده است. برای مثال عیار میانگین طلا در ترانسه‌های ۳، ۱۸ و ۱۴ به ترتیب ۰/۷، ۰/۶۵ و ۲ گرم در تن است.

محدوده معدنی امیدبخش Au-2: این محدوده در بخش شمال خاوری محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ هیرد، حد فاصل روستای هیرد و محدوده معدنی Au-1 واقع شده و وسعت چندانی ندارد (شکل ۲). سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت) و نفوذی مافییک در این محدوده رخنمون دارند. توده نفوذی با ترکیب گابرونوریت سبب هورنفلسی شدن سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت) شده است. بیشترین عیار طلا در ترانسه‌های حفر شده در این محدوده (ترانسه شماره ۲)، ۵/۲ گرم در تن و میانگین عیار طلا ۱/۱۴ گرم در تن است.

محدوده معدنی امیدبخش Au-3: در فاصله ۴ کیلومتری جنوب باختر روستای هیرد واقع شده است (شکل ۲). این محدوده حدود ۱/۵ کیلومتر مربع مساحت دارد و از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی به شدت دگرسان شده، پوشیده می‌شود. در این محدوده توده‌های نفوذی گرانیته با ریخت‌شناسی خشن که به نسبت سالم و بدون دگرسانی، رخنمون دارند که در واحدهای آذرآواری و آتشفشانی نفوذ کرده و سبب هورنفلسی و اسکارنی شدن واحدهای در برگیرنده شده‌اند. آثار کان‌زایی در این محدوده به صورت زون‌های سیلیسی، کربناتی و اکسیده در پهنه‌های گسلی دیده می‌شود. با توجه به اهمیت این محدوده، تعداد ۱۷ ترانسه اکتشافی و ۷ گمانه در آن حفر شده است. برای مثال عیار میانگین طلا در ترانسه‌های ۵۵، ۵۶ و ۵۷ به ترتیب ۶/۶، ۲ و ۳/۵ گرم در تن است.

محدوده معدنی امیدبخش Au-4: در جنوب محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ هیرد، در امتداد گسلی با راستای خاوری- باختری قرار دارد (شکل ۲). وسعت این محدوده بسیار کم و بخش اعظم آن توسط واریزه‌ها و آبرفت پوشیده شده است. در این محدوده فقط یک ترانسه اکتشافی حفر شده است (ترانسه ۲۷) که عیار میانگین طلا در آن ۰/۲ گرم در تن است.

از بین ۴ محدوده معدنی امیدبخش مذکور، محدوده معدنی امیدبخش Au-1 با توجه به وسعت کان‌زایی و محدوده معدنی امیدبخش Au-3 با توجه به عیار

قابل مشاهده و شناسایی است.

سنگ میزبان کانه‌زایی در حاشیه توده نفوذی که در محدوده معدنی Au-1 و Au-2 دیده می‌شود، توالی‌های آتشفشانی- رسوبی است. با توجه به این که این نوع کانه‌زایی در سطح، تحت اثر فرایندهای سوپرژن قرار گرفته است، تفکیک آن از کانه‌زایی دور از توده نفوذی مشکل است. ولی در گمانه‌های حفر شده می‌توان آن را براساس کانی‌شناسی، دگرسانی و نوع سنگ میزبان از دیگر بخش‌های کانه‌زایی تفکیک کرد.

سنگ میزبان کانه‌زایی دور از توده نفوذی در محدوده معدنی هیبرد نیز توالی‌های آتشفشان- رسوبی هستند که در سطح و در ژرفا به صورت زون‌های سیلیسی، کربناتی و آرژیلی به شدت اکسیدی شده دیده می‌شود. این زون در پهنه‌های گسلی با شیب کم و با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری رخ داده‌اند و کنترل‌کننده اصلی در این زون، پهنه‌های گسلی هستند.

در پهنه گسلی که کربناتی، سیلیسی و اکسیدی شده است، ترانسه‌های متعددی حفر شده که میزان عیار میانگین در هر کدام متغیر است. بیشینه عیار طلا در یکی از این ترانسه‌ها (5/06 ppm) و میانگین عیار طلا (0/67 ppm) است.

۳-۲- کانی‌شناسی

کانی‌های سولفیدی در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی، متنوع بوده و شامل آرسنوپیریت، پیریت، پروتیت، گالن، اسفالریت، کلکوپیریت، بورنیت، تتراهدريت، استانتیت، بیسموتینیت و استینین است (شکل ۶- الف و ب). کانی‌شناسی کانه‌زایی در حاشیه توده نفوذی، ساده و تنوع کمتری نسبت به کانی‌شناسی کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی دارد و شامل آرسنوپیریت، پیریت (شکل ۶- پ و ت)، پروتیت، کلکوپیریت و به مقدار بسیار کمتر اسفالریت و گالن است. نظر به این که بخش کانه‌زایی دور از توده نفوذی تحت اثر فعالیت گسل‌ها و پدیده سوپرژن قرار گرفته است، لذا اثری از سولفیدهای اولیه در آن باقی نمانده و فقط پیریت بسیار ریز در حال تبدیل به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن، در آن دیده می‌شود (شکل ۶- ث).

در مطالعات میکروسکوپی، طلای آزاد در هیچ‌کدام از سه بخش کانه‌زایی دیده نشد. ولی براساس مطالعات میکروپروب الکترونی، طلا به صورت غیر قابل مشاهده در سولفیدهایی مانند پروتیت، پیریت، آرسنوپیریت و گالن جای گرفته است (اشراقی، ۱۳۸۵).

۳-۳- ساخت و بافت

مهم‌ترین و بارزترین ساخت و بافت‌های موجود در این سه نوع کانه‌زایی شامل بافت رگه- رگچه‌ای، پراکنده، توده‌ای و برشی است که در زیر مورد

بررسی قرار می‌گیرند:

الف- ساخت و بافت‌های رگه- رگچه‌ای

ساخت و بافت‌های رگه- رگچه‌ای در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی به صورت صفحه‌ای و استوک‌ورک قابل مشاهده هستند و به سه نوع تقسیم می‌شوند، که از نظر ترکیب کانی‌شناسی، دما، زمان تشکیل و آرایش با یکدیگر متفاوت هستند. این سه نوع رگه- رگچه در گمانه شماره ۶ که در درون توده گرانودیوریت- کوارتزدیوریت حفر شده است، به خوبی قابل مشاهده هستند. ویژگی‌های سه نوع رگه- رگچه عبارتند از:

۱) رگه- رگچه‌های صفحه‌ای (به ندرت استوک‌ورک) که از نظر کانی‌شناسی از تورمالین، کوارتز و به ندرت سریسیت به همراه سولفیدها (TQSS) تشکیل شده‌اند. این رگه- رگچه‌ها ظاهری انحنادار و سینوسی دارند. حواشی این رگه- رگچه‌ها به‌طور کامل واضح و مشخص نیست و این نشان از شکل پذیر بودن سنگ میزبان در زمان شکل‌گیری آنها داشته و گویای ژرفای زیاد برای تشکیل رگه- رگچه‌ها است (شکل ۷- الف).

۲) رگه- رگچه‌هایی که کانی‌های اصلی در آنها کوارتز و کلسیت و دارای سولفیدهای متعددی است (QCS). تنوع سولفیدی در این تیپ رگه- رگچه‌ها زیاد است و شامل آرسنوپیریت، پیریت، پروتیت، گالن، اسفالریت، کلکوپیریت و به ندرت بورنیت است. این رگه- رگچه‌ها از نظر ریخت‌شناسی به نسبت مستقیم با حاشیه‌ای مشخص دیده می‌شوند و این گویای تشکیل آنها در زمانی است که سنگ میزبان، حالتی شکننده داشته است (شکل ۷- ب).

۳) رگه- رگچه‌هایی که کانی‌های اصلی آنها کوارتز و کلسیت است و سولفید در آنها دیده نمی‌شود (QC)، (مگر در موارد بسیار کمیاب که اسفالریت و گالن است). آرایش اصلی این رگه- رگچه‌ها به صورت استوک‌ورک است و در جهت‌های مختلف یکدیگر را قطع کرده‌اند. حاشیه این رگه- رگچه‌ها به‌طور کامل مشخص است و قطع‌کننده دو دسته دیگر رگه- رگچه‌ها هستند. این دسته از رگه- رگچه‌ها از تأخیری‌ترین رگه- رگچه‌ها هستند و در زمانی که سنگ حالت شکننده داشته است، تشکیل شده‌اند (شکل ۷- پ).

تنوع رگه- رگچه‌ها در کانه‌زایی حاشیه توده نفوذی به نسبت کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی کمتر است. با این حال، مهم‌ترین ساخت و بافت در این بخش نیز ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای است. این رگه- رگچه‌ها در نمونه‌های دستی دارای آرایش صفحه‌ای و استوک‌ورک هستند (شکل ۷- ت) و کوارتز، کلسیت و سولفید تشکیل شده‌اند. سولفیدهای موجود در آنها شامل آرسنوپیریت و به مقدار بسیار کمتر پروتیت، کلکوپیریت و گالن است. رگه‌های کانه‌دار در بخش کانه‌زایی دور از توده نفوذی در زون‌های به شدت سیلیسی، کربناتی، آرژیلی و اکسید شده دیده می‌شوند. مهم‌ترین رگه سیلیسی، دارای امتداد N70E و شیب 45-50NW و از کوارتز و کلسیت

و بازدیدهای صحرایی رخنمونی از این نوع برش در سطح دیده نشد. بهترین حالت حضور این نوع برش در گمانه شماره ۱۳ در ژرفای ۱۵ و ۳۵ متری با ستبرای میانگین ۶ متر است (شکل ۱۲-پ). عیار طلا در این نوع برش‌ها بالا و قابل توجه است و در واقع می‌توان گفت که یکی از کنترل‌کننده‌های عیار بالای طلا حضور این گونه برش‌ها است. سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی مانند توف و آندزیت تحت اثر رگه-رگچه‌های استوک‌ورک کوارتز و کلسیت قرار گرفته و تبدیل به برش‌های گرمایی شده‌اند (شکل ۹-الف). قطعه‌های موجود در این برش، به شدت سرسیتی، سیلیسی و کربناتی شده‌اند. مهم‌ترین سولفیدهایی که در این برش‌ها حضور دارند، پیریت و آرسنوپیریت هستند. با توجه به این که قطعه‌های زاویه‌دار تا گرد شده توسط زمینه‌ای سیلیسی و بسیار کم کلسیتی در برگرفته شده‌اند، این برش از نوع خمیره غالب است.

در کانه‌زایی دور از توده نفوذی شاهد حضور برش‌های گسلی-گرمایی هستیم. گسل‌های موجود در محدوده کانه‌زایی طلای هیرد به عنوان کانال‌های عبور سیال‌های گرمایی عمل کرده‌اند و در واقع گسل‌خوردگی همزمان و همراه با فعالیت گرمایی و کانه‌زایی در منطقه بوده است. این برش‌ها دارای قطعات زاویه‌دار هستند و اندازه آنها از میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر است (شکل ۹-ب). خمیره این برش‌ها به شدت اکسیدی است و از کانی‌های کوارتز، کلسیت، سرسیت و کانی‌های رسی به همراه اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن تشکیل شده است. بهترین حالت حضور این برش‌ها در گمانه شماره ۱۱ و ۱۴ قابل مشاهده است (شکل ۱۲ ب) و حضور آنها منطبق بر زون‌های عیاردار است.

۳-۴- دگرسانی

با توجه به تغییرات در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال‌های گرمایی و تغییر نوع سنگ میزبان، دگرسانی‌های موجود در سه نوع کانه‌زایی ذکر شده متفاوت است. در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی، دگرسانی بیوتیتی، تورمالینی، سیلیسی، سرسیتی، کربناتی و کلریتی دیده می‌شود. در بین این دگرسانی‌ها، دگرسانی بیوتیتی با بخش‌های عیاردار همراهی چندانی ندارد و به طور عمده در قسمت‌هایی که سولفیدها خیلی اندک بوده و یا اصلاً وجود ندارد، دیده می‌شود. این دگرسانی حاصل تبدیل آمفیبول‌های سبز-قهوه‌ای به بیوتیت قهوه‌ای کم رنگ است. تورمالینی شدن همراه با سیلیسی شدن ارتباط و قرابت ویژه‌ای با کانه‌زایی و بخش‌های عیاردار دارد و به طور معمول به صورت پراکنده در رگه-رگچه‌های صفحه‌ای و استوک‌ورک، همراه با یا بدون سولفیدها دیده می‌شوند (شکل ۱۰-الف). دگرسانی سرسیتی، کربناتی و حتی سیلیسی به صورت تأخیری پس از تورمالینی شدن رخ داده‌اند و مهم‌ترین همراه اصلی بخش‌های سولفیدی و عیاردار است. کلریتی شدن

تشکیل شده است. این رگه در پهنه گسلی سیلیسی، کربناتی و اکسید شده به ستبرای تقریبی سه متر دیده می‌شود. در نمونه‌های به دست آمده از ترانشه‌های عیار طلا با توجه به تأثیر پدیده سوپرژن در این رگه و زون‌ها تا حدود ۳۰ گرم در تن بالا رفته است.

ب- ساخت و بافت دانه پراکنده یکی دیگر از ساخت و بافت‌هایی که در سه بخش کانه‌زایی دیده می‌شود، ساخت و بافت دانه پراکنده است. در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی سولفیدهای دانه پراکنده در متن سنگ میزبان دیده می‌شوند. این سولفیدها در زمینه‌ای از گرانودیوریت-کوارتزیدیوریت و به شدت تورمالینی، سیلیسی، سرسیتی و کربناتی شده، پراکنده است.

در کانه‌زایی حاشیه توده نفوذی سولفیدها به طور معمول پیریت و آرسنوپیریت و به مقدار خیلی کمتر پیرویت و کلکوپیریت است و به صورت دانه پراکنده در زمینه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی میزبان کانه‌زایی که هورنفلسی، اسکارنی، سرسیتی و کربناتی شده‌اند، دیده می‌شوند.

پ- ساخت و بافت توده‌ای در برخی نمونه‌های به دست آمده از مغزه‌های حفاری، سولفیدها بافت توده‌ای دارند به طوری که می‌توان از اصطلاح سولفیدتوده‌ای برای آنها استفاده کرد. این حالت اغلب زمانی دیده می‌شود که میزان سولفید عناصر پایه مانند گالن، اسفالریت و کلکوپیریت، چشمگیر باشد. این نوع ساخت و بافت فقط در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی دیده می‌شود (شکل ۸-الف).

ت- ساخت و بافت برشی این ساخت و بافت به صورت‌های مختلف در سه بخش کانه‌زایی دیده می‌شود. در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی شاهد حضور برش‌های هیدروماگمایی هستیم. این نوع برش‌ها در سطح زمین گسترش ندارند و بهترین حالت از این نوع برش در مغزه‌های حفاری گمانه شماره ۶ در ژرفای ۳۰، ۶۰ و ۷۰ متری با ستبرایی در حدود یک متر قابل مشاهده است (شکل ۱۲-الف). با توجه به این که این برش در درون توده نفوذی تشکیل شده به طبع قطعه‌های آن از همین توده گرانودیوریت-کوارتزیدیوریت است که به شدت سیلیسی، کربناتی و سرسیتی شده‌اند. این قطعات در اندازه‌های میلی‌متر تا حدود ۵ سانتی‌متر به صورت نیمه گرد تا گرد به چشم می‌خورند (شکل ۸-ب). با توجه به این که قطعه‌های نیمه گرد تا گرد هستند و زمینه اطراف آنها را احاطه کرده است، این برش‌ها از نوع خمیره غالب (قطعه‌های توسط مواد تشکیل دهنده زمینه برش در برگرفته شده‌اند) می‌باشند. در بخش‌هایی که این برش‌ها حضور دارند، عیار طلا نسبت به دیگر بخش‌ها قابل توجه نیست (حد اکثر ۰/۳۲ ppm).

در کانه‌زایی حاشیه توده نفوذی برش‌های گرمایی دیده می‌شود. در مطالعات

و قلع همبستگی بسیار کم و منفی دارد (جدول ۱). در کان‌زایی حاشیه توده نفوذی بی‌هنجاری عنصری نسبت به کان‌زایی با میزبان توده نفوذی تنوع کمتری دارد و شامل طلا، نقره، آرسنیک، آنتیموان، مس، سرب، روی و به مقدار بسیار کم بیسموت، مولیبدن، قلع و تنگستن است (شکل ۱۱). در این کان‌زایی، طلا بالاترین همبستگی را با آرسنیک و بعد با تنگستن و نقره دارد. با دیگر عناصر بخصوص فلزهای پایه، مولیبدن و قلع همبستگی بسیار کم و منفی دارد (جدول ۲). محتوای فلزی در کان‌زایی دور از توده نفوذی به نسبت دو کان‌زایی دیگر تنوع بسیار کمی دارد و شامل طلا، آرسنیک، آنتیموان، مس، روی، سرب، نقره است (شکل ۱۱). در این کان‌زایی، طلا بالاترین همبستگی را با آنتیموان و بعد با آرسنیک نشان می‌دهد. همبستگی طلا با فلزهای پایه در این بخش، مثبت و بالا است (جدول ۳).

۴- مقایسه ویژگی‌ها و تغییرات عیار طلا در سه نوع کان‌زایی با میزبان توده نفوذی، حاشیه و دور از توده نفوذی

در مجموع، تغییر در شرایط فیزیکی‌وشیمیایی سیال‌های گرمایی (دما، ترکیب، فشار، Eh، pH) و نیز تغییر شرایط زمین‌شناسی (نفوذپذیری سنگ میزبان، ژرفا و فاصله از منبع سیال‌های گرمایی) سبب ایجاد سه نوع کان‌زایی با میزبان توده نفوذی، در حاشیه و دور از توده نفوذی شده است. در جدول ۴ با توجه به داده‌های ارائه شده در مقاله، ویژگی‌های اصلی سه نوع کان‌زایی با یکدیگر مقایسه شده است. در جدول ۵ نیز توالی پاراژنتیک کان‌زایی طلای هیبرد در مراحل مختلف ماگماتیک، گرمایی و سوپرژن به صورت نمودار نشان داده شده است.

میان‌بارهای سیال سه رگه- رگچه QCS، TQSS، QC در کان‌زایی با میزبان توده نفوذی در محدوده معدنی هیبرد توسط اشراقی و همکاران (۱۳۸۵) مطالعه شده است. ویژگی‌های میان‌بارهای سیال در جدول ۶ به صورت خلاصه آورده شده است.

عیار طلا در کان‌زایی با میزبان توده نفوذی به ترتیب، وابستگی مستقیمی با تراکم رگه- رگچه‌های صفحه‌ای و استوک‌ورکی کوارتز، کربنات، سولفید (حداکثر ۳/۵۳ ppm در گمانه ۶) و حضور قابل توجه سولفید به حالت توده‌ای (۱/۳۵ ppm در گمانه ۶) دارد (شکل ۱۲- الف).

در کان‌زایی حاشیه توده نفوذی، عیار بالای طلا ارتباط مستقیمی با حضور برش‌های گرمایی (۲/۴ ppm، گمانه شماره ۱۳)، بخش‌هایی که به شدت سولفیدی شده‌اند (۵/۱۸ ppm، گمانه شماره ۷) و تراکم بالای رگه- رگچه‌های کوارتز، کلیست، پیریت، آرسنوپیریت و پیروتیت (۰/۵۴ ppm، گمانه شماره ۱۳) دارد (شکل ۱۲- پ).

عیار طلا در کان‌زایی دور از توده نفوذی وابستگی مستقیمی به فعالیت گسل‌ها

به صورت اندک، به همراه سریستی و کربناتی شدن دیده می‌شود. با توجه به کاهش دما و تکامل این سامانه در مراحل بعدی کان‌زایی، دگرسانی‌ها، بر روی یکدیگر تأثیر گذاشته‌اند. بنابراین تفکیک و زون‌بندی در آنها دشوار است.

دگرسانی‌هایی که در کان‌زایی حاشیه توده نفوذی وجود دارند، شامل اسکارنی، پروپیلیتی، سریستی، کربناتی، سیلیسی، کلریتی و به مقدار خیلی اندک تورمالینی شدن است. نفوذ توده گرانودیوریت- کوارتزدیوریت در واحدهای سنگی، از جمله توفیت و کنگلومرا با سیمان آهکی، سبب ایجاد دگرسانی اسکارنی شده است. بهترین رخنمون اسکارن در حاشیه توده نفوذی مورد نظر (دامنه خاوری کوه سیاه کمر)، در مکانی که واحدهای توفیت و کنگلومرا (سیمان آهکی) در مجاورت توده نفوذی مورد نظر قرار گرفته‌اند، رخنمون دارد. قسمت‌هایی از بخش اسکارنی که تحت اثر پهنه‌های گسلی، رگه- رگچه‌های حاوی سولفید (به صورت جان‌شینی در اسکارن و اسکارن‌نوید) و دگرسانی سریستی، کربناتی و تورمالینی قرار گرفته‌اند، با کان‌زایی طلا همراه هستند. دگرسانی پروپیلیتی از دیگر دگرسانی‌ها در این بخش از کان‌زایی است که از مجموعه کانی‌های خانواده اپیدوت، کلریت، آلکیت و کربنات تشکیل شده است. یکی از مهم‌ترین دگرسانی‌ها، در این بخش از کان‌زایی که با سولفیدهای طلا دار همراه است، دگرسانی سریستی است. پلاژیو کلاز به صورت درشت‌بلور و نیز در زمینه، تحت اثر سیال‌های در حاشیه و در سطوح رخ، تبدیل به کانی سریست شده است (شکل ۱۰- ب). مانند کان‌زایی با میزبان توده نفوذی در این بخش نیز، کربناتی شدن همراه اصلی دگرسانی سریستی است با این تفاوت که مقدار کربنات (کلیست) به مراتب در این کان‌زایی فراوان‌تر و چشم‌گیر است.

دگرسانی‌های اصلی در کان‌زایی دور از توده نفوذی شامل دگرسانی سیلیسی و کربناتی هستند. دگرسانی سیلیسی در این بخش، در قالب رگه‌های سیلیس موجود در سنگ‌هایی که تحت اثر پهنه‌های گسلی قرار گرفته‌اند، دیده می‌شود. دگرسانی کربناتی در پهنه‌های گسلی، هم‌زمان با سیلیسی و اکسیدی شدن در قالب کانی‌های مانند کلیست و به مقدار کمتر آنکریت نمایان است (شکل ۱۰- پ).

۳-۵- زمین‌شیمی و زون‌بندی فلزی

محتوای فلزی، همبستگی طلا با فلزهای همراه و نیز عیار آن در سه بخش از کان‌زایی طلای هیبرد متفاوت است. در کان‌زایی با میزبان توده نفوذی محتوای فلزی شامل نقره، آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، قلع، تنگستن، مولیبدن، مس، سرب و روی است (شکل ۱۱). در این کان‌زایی، طلا با نقره و آرسنیک، بالاترین همبستگی و با دیگر عناصر بخصوص فلزهای پایه، تنگستن، مولیبدن

برای کان‌زایی طلائی هیرد براساس مطالعات سنگ‌نگاری، زمین‌شیمیایی و میان‌بانه‌های سیال می‌توان مدل تشکیلی مشابه با ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی کاهیده در نظر گرفت (McCoy et al., 1997) (شکل ۱۳). بدین نحو که ماگما بعد از شکل‌گیری، به سطوح بالاتر صعود کرده و در حین صعود مواد پوسته‌ای بخصوص رسوبات مزوزویک (ژوراسیک و کرتاسه) را در خود هضم کرده است. از آنجا که این توالی‌های رسوبی دارای مواد آلی هستند، لذا سبب کاهیده شدن ماگما شده‌اند (البته اثبات این موضوع نیاز به مطالعات سنگ‌شناسی و ایزوتوپ پایدار دارد). در نهایت ماگمای مورد نظر در توالی آتشفشان-رسوبی ائوسن جایگزین شده است. در مراحل اولیه که شرایط کاملاً ماگمایی بوده، سبب هورنفلسی و اسکارنی شدن (هورنفلس سیلیکات کلسیم) سنگ‌های در برگیرنده شده است. در این مرحله هیچ‌گونه کان‌زایی رخ نداده، ولی در مرحله انتقال از شرایط ماگمایی به گرمایی، سیال‌های گرمایی از مذاب جدا شده و در قسمت بالایی توده نفوذی تمرکز یافته و سبب دگرسانی و تشکیل رگه-رگچه‌ها، سولفیدها و در پی آن، نهشت طلا در توده نفوذی و سنگ‌های در برگیرنده شده است. به احتمال در کان‌زایی با میزبان توده نفوذی سیال‌ها به‌طور کامل منشأ ماگمایی داشته‌اند، زیرا دما، بسیار بالا و شرایط کاملاً کاهیده بوده است. ولی در بخش‌های دور از توده نفوذی، سیال‌های جوی با شرایط اکسیدی در کان‌زایی نقش داشته‌اند (Zacharias et al., 2001) (شکل ۱۳).

با توجه به وجود معدن مس-طلائی قلعه‌زری در منطقه و نیز شناسایی کان‌زایی‌های دیگر طلا از جمله خونیک، ماهرآباد (مس پورفیری-طلا)، چاه شلغمی (مشکانی، ۱۳۸۴) و هیرد، به نظر می‌رسد که مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-پلوتونیک ترشیری در شمال بلوک لوت، از نظر کان‌زایی طلا (تیپ‌های مختلف ذخایر طلا) و مس-طلا پتانسیل بالقوه بالایی دارد. لذا برنامه‌ریزی دقیق و مدون برای اکتشاف‌های طلا و مس-طلا در این بلوک پیشنهاد می‌شود.

در پایان، نظر به این‌که تاکنون تیپ کان‌زایی طلائی مرتبط با توده‌های گرانیتوئیدی کاهیده در ایران گزارش نشده است، امید است که اطلاعات ارائه شده در این مقاله شروعی مناسب برای شناخت این تیپ از کان‌زایی طلا در کشور باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله بر خود واجب می‌دانیم تا از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس و همچنین مسئولین و کارکنان محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور که ما را در انجام این تحقیق یاری رساندند، تشکر و قدردانی نمایم.

و سیال‌های گرمایی و شدت دگرسانی سیلیسی و کربناتی دارد (ppm ۱/۴ گمانه شماره ۱۱، ppm ۱۱/۹ گمانه شماره ۲۲) (شکل ۱۲-ب).

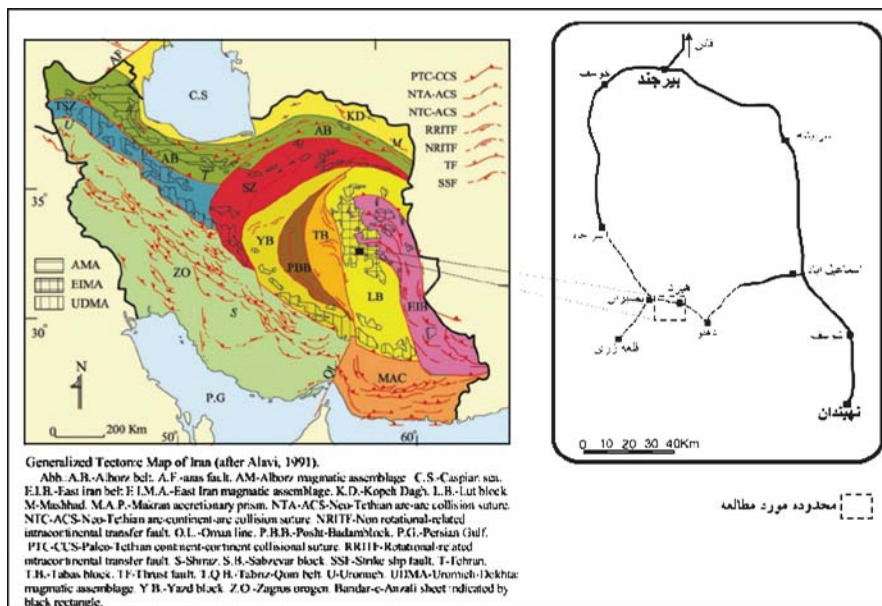
۵- نتیجه‌گیری

ذخایر طلا توسط Kerrich et al. (2000) در ۶ تیپ معرفی شده‌اند که شامل کانسارهای مس-طلائی پورفیری، کانسارهای طلا-نقره اپی ترمال، کانسارهای طلائی تیپ کارلین و شبه کارلین، کانسارهای طلائی تیپ کوهزایی، کانسارهای از نوع اکسید آهن-مس طلادار، کانسارهای سولفید توده‌ای با میزبان آتشفشانی غنی از طلا تا کانسارهای بروندمی-رسوبی است.

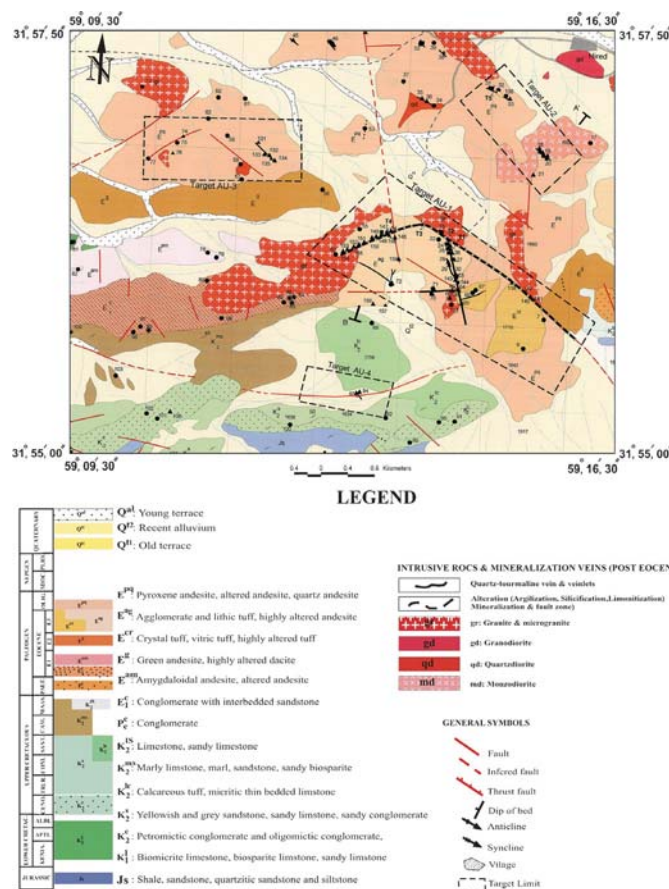
با توجه به بررسی‌ها و مطالعات دقیق انجام شده در رابطه با کان‌زایی طلائی هیرد و مشخص کردن ویژگی‌های اصلی و اساسی آن از قبیل جایگاه زمین‌شناسی، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، دگرسانی، زمین‌شیمی و ساخت و بافت، این ویژگی‌ها با ویژگی‌های ۶ تیپ مذکور مقایسه شده است. بدین ترتیب که کان‌زایی طلائی هیرد به علت تفاوت در کانی‌شناسی، ویژگی‌های توده نفوذی مولد کان‌زایی، دگرسانی، محتوای فلزی و ویژگی‌های میان‌بانه‌های سیال در رده ذخایر مس-طلائی پورفیری، طلا-نقره اپی ترمال و ذخایر اکسید آهن-مس طلا قرار نمی‌گیرد. همچنین کان‌زایی طلائی هیرد براساس نوع سنگ میزبان، کانی‌شناسی، پاراژنز، ساخت و بافت، دگرسانی و مدل تشکیل، از ذخایر کارلین، شبه کارلین و طلائی تیپ کوهزایی به‌طور کامل متمایز می‌شود و بالاخره از نظر محیط تشکیل، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، پاراژنز، ساخت و بافت، دگرسانی و مدل تشکیل، به‌طور کامل متفاوت با ذخایر سولفید توده‌ای و بروندمی-رسوبی غنی از طلا است.

به منظور یافتن کان‌زایی‌های مشابه با کان‌زایی طلائی هیرد، منابع زمین‌شناسی اقتصادی مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت ملاحظه شد که این کان‌زایی بیشترین شباهت را با تیپ جدیدی از ذخایر طلا، که توده نفوذی مولد آنها از نظر شرایط اکسایش، کاهیده (Low fO_2) بوده و از رده گرانیتوئیدی‌های سری ایلیمیتی است، بیشترین شباهت را دارد. این تیپ جدید با عنوان ذخایر طلائی مرتبط با نفوذی‌های گرانیتوئیدی کاهیده (Gold deposits related to reduced granitoid intrusion) معرفی شده است (Thompson & Newberry, 2000).

با استفاده از ویژگی‌های اصلی تیپ کانسارها (تقسیم‌بندی British Columbia و Cox & Singer, 1986-1992)، مقایسه‌ای بین کان‌زایی طلائی هیرد و ذخایر تیپیک طلائی مرتبط با توده‌های گرانیتوئیدی کاهیده در دنیا (کانسارهای Shotgun در آلاسکا و Dublin Gulch در کانادا) صورت گرفته است. به طوری که در جدول ۷ ملاحظه می‌شود، کان‌زایی طلائی هیرد بیشترین شباهت را با کانسار Dublin Gulch نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت زمین‌شناسی کانه‌زایی طلای هیرد در بلوک لوت (L.B) و راه‌های دسترسی آن.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱/۲۰۰۰۰ هیرد که موقعیت چهار محدوده امیدبخش معدنی (Target Au 1-4) بر روی آن مشخص است (عسکری و صفری، ۱۳۸۲).

جدول ۱- ماتريس همبستگي عناصر کانساري موجود در کانه‌زايي با ميزبان توده نفوذی (گمانه شماره ۶)

	Au	As	Bi	Cu	Mo	Pb	Sb	Sn	W	Zn	Te	Ag
Au	1	0.46	0.13	-0.03	-0.25	0.1	0.13	0.04	-0.22	-0.07	0.07	0.52
As		1	-0.32	0.04	-0.28	-0.09	0.83	0.02	-0.17	-0.05	-0.09	-0.1
Bi			1	-0.14	0.74	-0.41	-0.21	-0.4	0.17	-0.27	0.38	0.18
Cu				1	-0.16	0.08	0	0.24	0.2	0.5	0.62	0.31
F					-0.38	0.2	-0.07	0.08	-0.26	0.43	-0.33	0.43
Mo					1	-0.4	0.51	-0.4	0.26	-0.06	0.03	-0.2
Pb						1	-0.12	0.28	-0.03	0.48	-0.09	0.63
Sb							1	0.1	0.24	-0.12	-0.13	-0.3
Sn								1	-0.03	-0.02	0.45	0.17
W									1	0.28	0.21	0.11
Zn										1	-0.11	0.58
Te											1	0.23
Ag												1

جدول ۳- ماتريس همبستگي عناصر کانساري موجود در کانه‌زايي دور از توده نفوذی (گمانه شماره ۱۱)

	Au	As	Ag	Zn	Sb	Pb	Cu
Au	1	0.59	0.55	0.57	0.72	0.54	0.46
As		1	0.35	0.39	0.58	0.38	0.38
Ag			1	0.44	0.54	0.31	0.23
Zn				1	0.68	0.71	0.14
W					-0.1	-0	-0.1
Sb					1	0.51	0.58
Pb						1	0.25
Cu							1

جدول ۲- ماتريس همبستگي عناصر کانساري موجود در کانه‌زايي حاشيه توده نفوذی (گمانه شماره ۱۳)

	Au	Ag	As	Bi	Cu	Mo	Pb	Sb	Sn	W	Zn
Au	1	0.46	0.89	0.09	0.16	-0.22	0.01	0.29	-0.49	0.51	-0.05
Ag		1	0.18	0.08	0.66	-0.1	-0.1	0.71	-0.24	0.16	-0.05
As			1	-0.06	-0.1	-0.06	-0	0.08	-0.51	0.4	-0.09
Bi				1	-0.1	0.066	0.19	0.01	0.26	0.24	-0
Cu					1	-0.28	-0.1	0.75	0.01	-0	-0.06
Mo						1	-0.1	-0.07	0.2	-0.3	-0.12
Pb							1	-0.04	0.14	-0.1	0.402
Sb								1	-0.08	0.03	-0.08
Sn									1	-0.1	0.024
W										1	-0.05
Zn											1

جدول ۴- مقايسه ويژگي‌هاي سه نوع کانه‌زايي با ميزبان توده نفوذی، حاشيه و دور از توده نفوذی در محدوده طلاي هيرد

Deposit style	Intrusion-Hosted	Proximal	Distal
Host rock	Granodiorite-Quartzdiorite	Volcano-sedimentary rocks	Volcano-sedimentary rocks
Alteration	Sericitic, carbonate Tourmaline, Silicic Biotite	Silicic, carbonate Sericitic, Tourmaline	Silicic, carbonate Sericitic, Chlorite Fe-oxides
Mineralogy	Arsenopyrite, Pyrite, Sphalerite, Galena, Chalcopyrite, Pyrrhotite Stanite, Bornite, Tetrahedrite	Pyrite, Pyrrhotite, Sphalerite, Galena, Chalcopyrite, Arsenopyrite	Hematite, limonite, Goethite, Mn-Oxides
Texture & structure	Sheeted & stockwork vien-veinlet, Breccia, Disseminate, Massive	Sheeted & stockwork vien-veinlet, Breccia, Disseminate	Vein, Breccia
Au content	0.1 to 3.53 (ppm) Borehole 6	0.1 to 5.18 (ppm) Borehole 7	0.01 to 1.4 (ppm) Borehole 11
Metal Assemblage	Au, As, Zn, Pb, Cu, Ag, Sb, Bi, W, Sn, Mo	Au, As, Zn, Pb, Cu, Ag, Sb, (W, Sn, Mo, Bi)	Au, As, Ag, Sb, Zn, Pb, Cu

جدول ۵- نمودار توالی پاراژنتیک کان‌زایی طلای هیرد

Mineralogy	Magmatic	Hydrothermal		Supergene
		Early	Late	
Ilmenite				
Biotite				
Tourmaline				
Quartz				
Calcite				
Sericite				
Chlorite				
Epidote group				
Arsenopyrite				
Pyrite I				
Pyrite II				
Pyrrhotite				
Sphalerite				
Galena				
Chalcopyrite				
Stannite				
Bornite				
Stibnite				
Bismuthinite				
Gold				
Goethite				
Lepidocrocite				
Hematite				
Limonite				
Structure & texture				
Disseminate				
Massive				
HMB				
TQSS				
QCS				
QC				

Abbreviations: FHB= fault-hydrothermal breccia, HMB= hydromagmatic breccia, HB= hydrothermal breccia, QC= quartz, calcite vien-veinlet, QCS= quartz, calcite, sulfide vien-veinlet, TQSS= tourmaline, quartz, calcite vien-veinlet.

جدول ۶- مقایسه ویژگی‌های میان‌بارهای در گیر در سه نوع رگچه، TQSS،

QCS, QC

Vein & Veinlets	Mineralogy	Tm1-Ice (oc)	Tm2-Ice (oc)	Th-total (oc)	Salinity (wt% NaCl equiv)
TSSQ	Tourmaline, Quartz Sericite, Arsenopyrite Pyrite, Pyrrhotite	-30 to -57	-5 to -9	400- 450 (400-600)	7.9-12.9
QCS	Quartz, Calcite Arsenopyrite, Pyrite Sphalerite Galena Chalcopyrite, Pyrrhotite	-30 to -57	-0.3 to -6	450-500 (200-470)	0.5-9.2
QC	Quartz, Calcite (Galena, Sphalerite)	-25 to -56	-1.5 to -9	200-250 (200-300)	0.5-12.5

Tm1=دمای ذوب اولیه، Tm2=دمای ذوب آخرین قطعه یخ،

Th=دمای همگن شدن

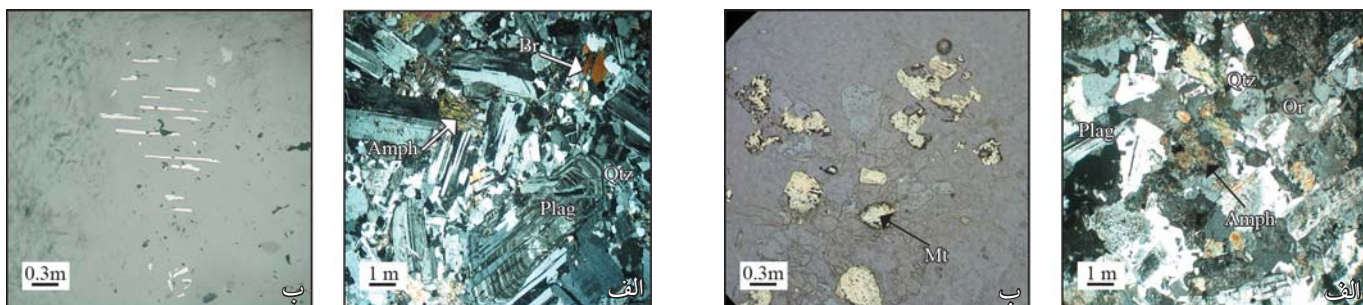
جدول ۷- مقایسه کان‌زایی طلای هیرد با ذخایر تیپیک مرتبط با توده‌های نفوذی کاهیده (Shotgun و Dublin Gulch)

کانه‌زایی طلای هیرد	کانسار Shotgun (Rombach & Newberry, 2001)	کانسار Dublin Gulch (Maloof et al., 2001)	منابع	کانسارهای طلای مرتبط با توده‌های نفوذی کاهیده	ویژگی‌ها
بلوک لوت	کمبرند پلوتونیک جنوب آلاسکا	کمبرند پلوتونیک Yukon کانادا	۱۶، ۱۷	کمبرندهای دارای این تیپ کانسارها، از توالی‌های رسوبات قاره‌ای پوشیده شده‌اند و برای کان‌زایی‌های قلع، تنگستن، مولیبدن و اورانیوم شناخته شده هستند.	جایگاه زمین‌شناسی
بلوک لوت (فرورانش و زون برخوردی)	کمان آتشفشانی مرتبط با فرورانش	فرورانش کرتاسه و برخورد	۸، ۴، ۱۲	مرزهای همگرا در مکان‌هایی که فرورانش و سپس برخورد رخ داده است	جایگاه زمین‌ساختی
پس از ائوسن	کرتاسه زیرین	کرتاسه زیرین	۱۴، ۷	به‌طور عمده فانروزویک، آرکنن هم گزارش شده است	سن
توالی‌های آتشفشان-رسوبی (آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی‌های ائوسن) و توده نفوذی گرانودیوریت-کوارتزدیوریت	توده نفوذی مولد کان‌زایی و سنگ‌های رسوبی	سنگ‌های رسوبی حوضه Selwyn و توده نفوذی Dublin Gulch	۱۶، ۱۷	متفاوت (رسوبی، آتشفشانی، آذرآواری و نفوذی)	سنگ میزبان
بیوتیت-هورنبلند گرانودیوریت-کوارتزدیوریت، کلسیمی-قلیایی، I-Type، کلسیمی-قلیایی، I-Type، ایلمنیتی، کاهیده (Low fO ₂)	استوک گرانیت پورفیری، کلسیمی-قلیایی، I-Type، ایلمنیتی، کاهیده (Low fO ₂)	بیوتیت-هورنبلند گرانودیوریت با فازهای فرعی گرانیت و دیوریت نیمه قلیایی، کلسیمی-قلیایی، I-Type، ایلمنیتی، کاهیده (Low fO ₂)	۵، ۳، ۹، ۱۰، ۱۶، ۱۷	گرانودیوریت، گرانیت، دیوریت و مونزونیت، کلسیمی-قلیایی و به ندرت قلیایی، متاآلومینوس، I-Type و (Low fO ₂)	مشخصه‌های توده نفوذی

ادامه جدول ۷

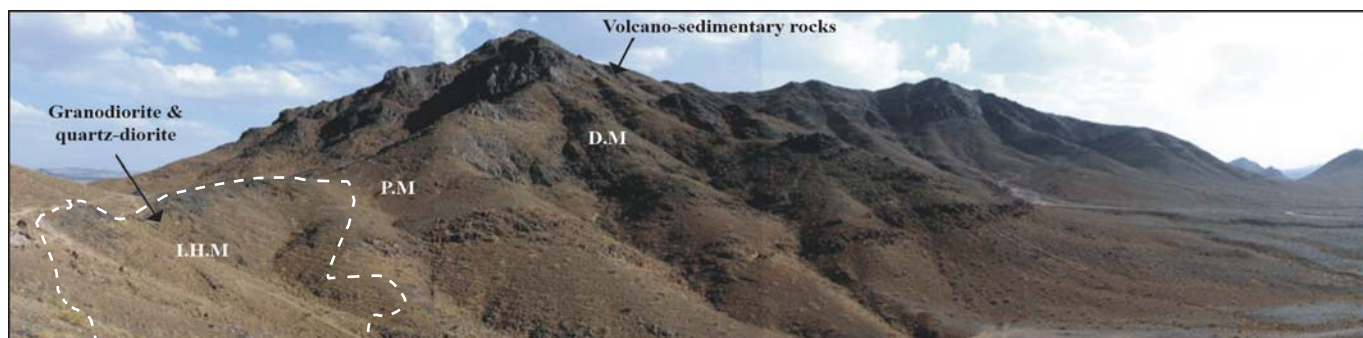
کانی‌شناسی	آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، اسفالریت، گالن، کلکوپیریت، بورنیت، تتراهدريت، استینیت، بیسموتینیت	طلای آزاد، سولفیدهای Bi-Te، کوبانیت، شیلیت، آرسنوپیریت، اسفالریت، پیریت، کلکوپیریت، پیروتیت و کانی‌های حاصل سوپرژن	آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، اسفالریت، گالن، کلکوپیریت، مولیدنیت، شیلیت، سولفوسالت، استینیت و بیسموتینیت	۷، ۶، ۱۱، ۱۶	آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، اسفالریت، گالن، کلکوپیریت، بورنیت، مولیدنیت، شیلیت، تتراهدريت، جامسونیت، بولانژریت، استینیت، لولنگیت، مالودونیت، بیسموت و کانی‌های Bi-Te
دگرسانی	فلدسپاری (فلدسپار کلیایی یا آلپیت)، سریسیتی، کربناتی، سیلیکاتی کلسیتی، تورمالینی	فلدسپاری (اغلب آلپیت)، سریسیتی، کربناتی، تورمالینی	فلدسپاری، سریسیتی، کربناتی، سیلیسی، تورمالینی	۷، ۱۶، ۱۷	فلدسپاری (فلدسپار کلیایی یا آلپیت)، سریسیتی، کربناتی، سیلیسی، گرایزنی، سیلیکاتی کلسیتی، تورمالینی
ساخت و بافت	رگه‌های صفحه‌ای و استوک ورکی، رگچه‌ای، پراکنده، برشی، توده‌ای	رگه‌های صفحه‌ای پراکنده	رگه-رگچه‌های استوک‌ورک، پراکنده، برشی	۶، ۱، ۱۶	رگه‌های صفحه‌ای و به ندرت استوک‌ورک، رگچه‌ای، پراکنده، برشی
بی‌هنجاری عناصر	As, Sb, Ag, Zn, Pb, Cu, Sn, W, Bi	As, Sb, Bi, Te, Ag, Mo, W	As, Sb, Bi, Te, Ag, Mo, W, Sn, Zn, Pb, Cu	۱، ۱۶، ۱۷	As, Sb, Bi, Te, Mo, Sn, W, Zn, Pb, Cu, Ag
همبستگی طلا با عناصر همراه	در توده نفوذی طلا با نقره و آرسنیک بالاترین همبستگی و با دیگر عناصر بخصوص فلزهای پایه، تنگستن، مولیدن و قلع کمترین همبستگی به سمت خارج توده نفوذی همبستگی طلا با آرسنیک، نقره و فلزهای پایه بیشتر و با قلع و تنگستن کمتر می‌شود.	همبستگی متوسط با نقره؛ بیسموت، مولیدن و تلوریوم و همبستگی ضعیف با آرسنیک و مس	همبستگی بالا با بیسموت، همبستگی متوسط تا بالا با آرسنیک، نقره، آنتیموان و فلزهای پایه و همبستگی پایین با تنگستن و مولیدن	۲، ۱۵، ۱۶، ۱۷	همبستگی بالا با Bi و Te، همبستگی متوسط با As و Sb و Ag، همبستگی ضعیف و منفی با W و Mo
سیال‌ها	سیال‌های غنی از CO ₂ و شوری پایین (<12.9 wt% NaCl equiv) سیال‌های کاهیده (اشراقی و همکاران، ۱۳۸۵)	۱- سیال‌های غنی از V و شوری پایین ۲- سیال‌های با شوری بالا دارای حالت سیال‌های کاهیده (40 to 60 Wt% NaCl equiv.)	۱- سیال‌های غنی از CO ₂ و شوری پایین ۲- سیال‌های با شوری بالا دارای حالت سیال‌های کاهیده	۷، ۳، ۱۲، ۱۷	سیال‌های غنی از CO ₂ و شوری پایین (<10wt% NaCl equiv) سیال‌های با شوری بالا (>30wt% NaCl equiv)
کانه‌زایی	ذخایر با میزان نفوذی ذخایر نزدیک منشأ ذخایر دور از منشأ	تفکیک نشده است	ذخایر با میزان نفوذی ذخایر نزدیک منشأ ذخایر دور از منشأ	۵	ذخایر با میزان نفوذی ذخایر نزدیک منشأ ذخایر دور از منشأ
زایش (ژنز)	نفوذ توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف گرانودیوریتی - کوارتزدیوریتی در واحدهای آتشفشان - رسوبی ائوسن و فعالیت سیال‌های هیدروماگمایی	نفوذ گرانیت پورفیری Shotgun در توالی‌های رسوبی و فعالیت سیال‌های هیدروماگمایی	نفوذ توده گرانودیوریتی در Dublin Gulch در توالی‌های رسوبی حوضه Selwyn و فعالیت سیال‌های هیدروماگمایی	۷، ۱۲، ۱۶، ۱۳	نفوذ توده‌های گرانیتیویدی در سنگ‌های در برگرنده و فعالیت هیدروماگمایی

1-Baker (2002), 2-Bakke (1995), 3-Goldfarb et al. (2000), 4-Groves et al. (2005), 5-Hart et al. (2000), 6-Hart (2005), 7-Lang & Baker (2001), 8-Lang et al. (2000), 9-Leveill et al. (1988), 10-Logan (2002), 11-Maloof et al. (2001), 12-McCoy et al. (1997), 13-Newberry et al. (1995), 14-Robert (2001), 15-Rombach & Newberry (2001), 16-Thompson & Newberry (2000), 17-Thompson et al. (1999).

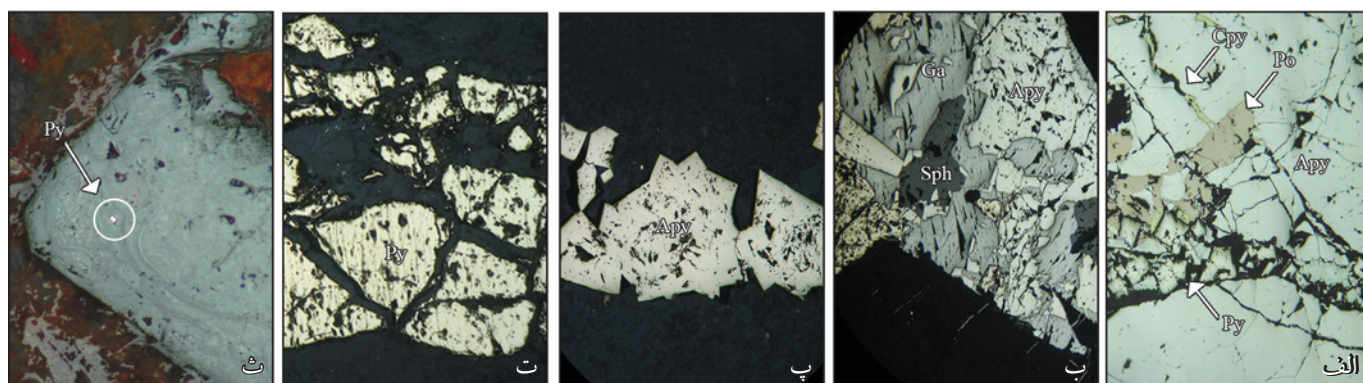


شکل ۴-الف) توده نفوذی نیمه‌زرف آمفیبول- بیوتیت گرانودیوریت- کوارتز دیوریت با بافت پورفیری و کانی‌های آن که شامل پلاژیوکلاز (Plag)، بیوتیت (Bt)، آمفیبول (Amph) و کوارتز (Qtz) هستند (نور عبوری xpl). ب) تصویر میکروسکوپی از سوزن‌های ایلمنیت موجود در توده نفوذی گرانودیوریت- کوارتز دیوریت (نور بازتابی، بزرگنمایی 200x, oil).

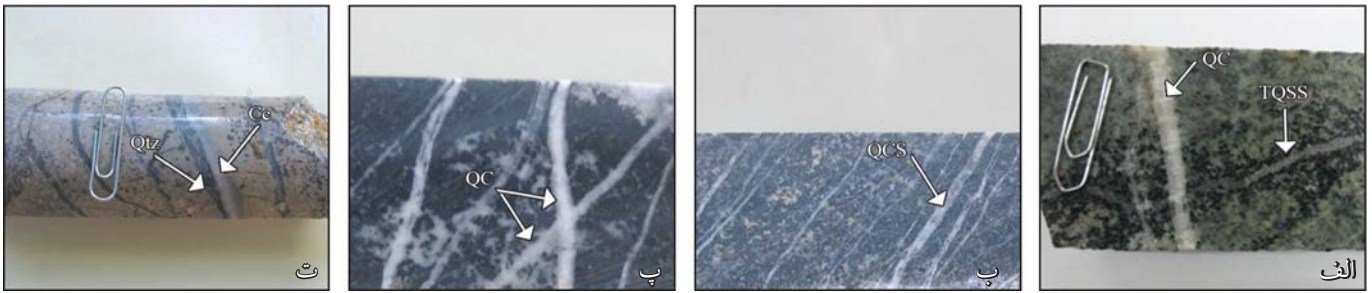
شکل ۳-الف) آمفیبول گرانیت و کانی‌های آن که شامل ارتوکلاز (Or)، پلاژیوکلاز (Plag)، کوارتز (Qtz)، آمفیبول (Amph) است (نور عبوری xpl). ب) بلورهای مگنتیت (Mt) اولیه به صورت پراکنده که مارتیتی شده‌اند (نور بازتابی xpl).



شکل ۵- منظره‌ای از رخنمون سه نوع کان‌زایی با میزبان توده نفوذی (I.H.M)، کان‌زایی در حاشیه توده نفوذی (P.M) و کان‌زایی دور از توده نفوذی (D.M) در محدوده امیدبخش معدنی Au-1 در دامنه خاوری و شمالی کوه سیاه کمر (دید به سمت شمال باختر).



شکل ۶- کانی‌شناسی در سه نوع کان‌زایی: الف و ب) کان‌زایی با میزبان توده نفوذی. الف) رگچه‌های پیریت (Py)، پیروتیت (Po) و کلکوپیریت (Cpy) در آرسنوپیریت (Apy) که سبب برشی شدن آن شده‌اند (نور بازتابی، 200x, oil). ب) آرسنوپیریت (Apy)، گالن (Ga)، اسفالریت (Sph) و پیریت (Py) (نور بازتابی، 200x, oil). پ و ت) کان‌زایی در حاشیه توده نفوذی. پ) آرسنوپیریت (Apy) شکل‌دار پراکنده (نور بازتابی، 200x, oil). ت) پیریت (Py) با بافت کاتاکلاستی در رگه کوارتز، کربنات (نور بازتابی، 50x). ث) کانی‌شناسی در کان‌زایی دور از توده نفوذی، بافت باقی مانده پیریت در حال تبدیل به گوتیت، لپیدوکروسیت، هماتیت و لیمونیت (نور بازتابی، 200x, oil).

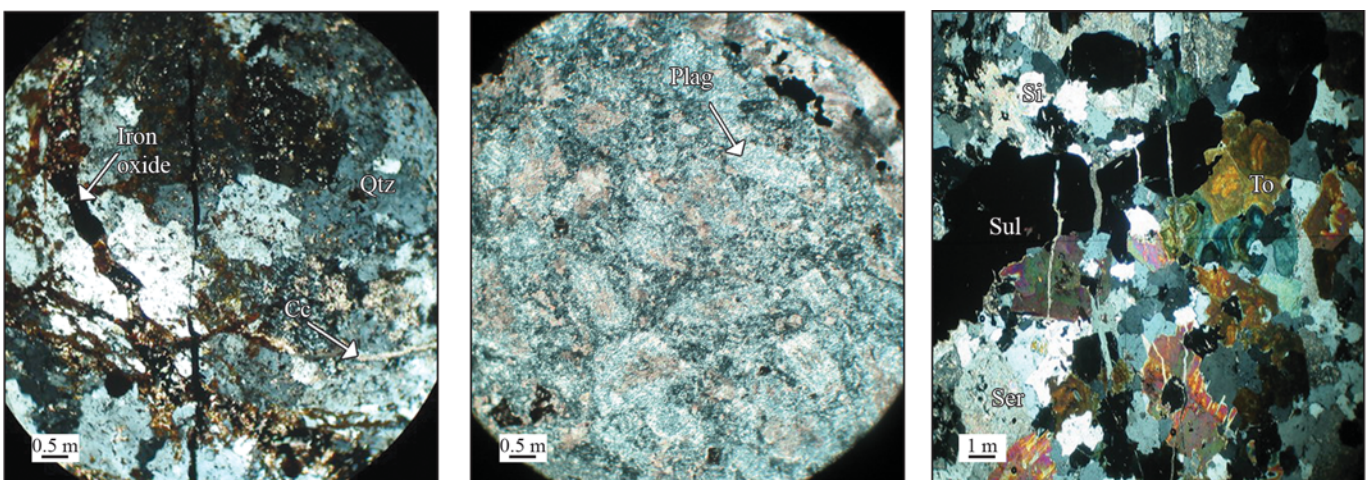


شکل ۷) ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی (الف، ب و پ) و حاشیه توده نفوذی (ت). الف) رگه- رگچه‌های تورمالین (To)، کوارتز (Qtz)، سریسیت (Ser)، سولفید (TQSS)، (Su)، با حاشیه‌ای انحنادار، این رگه- رگچه‌ها توسط رگچه‌های جدیدتر (QC) قطع شده است. ب) رگه- رگچه‌های صفحه‌ای QCS با حاشیه‌ای به نسبت مستقیم و واضح. پ) تصویری از رگه- رگچه‌های کوارتز، کلسیت (QC) با آرایش استوک‌ورک. ت) رگه- رگچه‌های کوارتز (Qtz)، کلسیت (Cc) و سولفید با آرایش صفحه‌ای و استوک‌ورک.

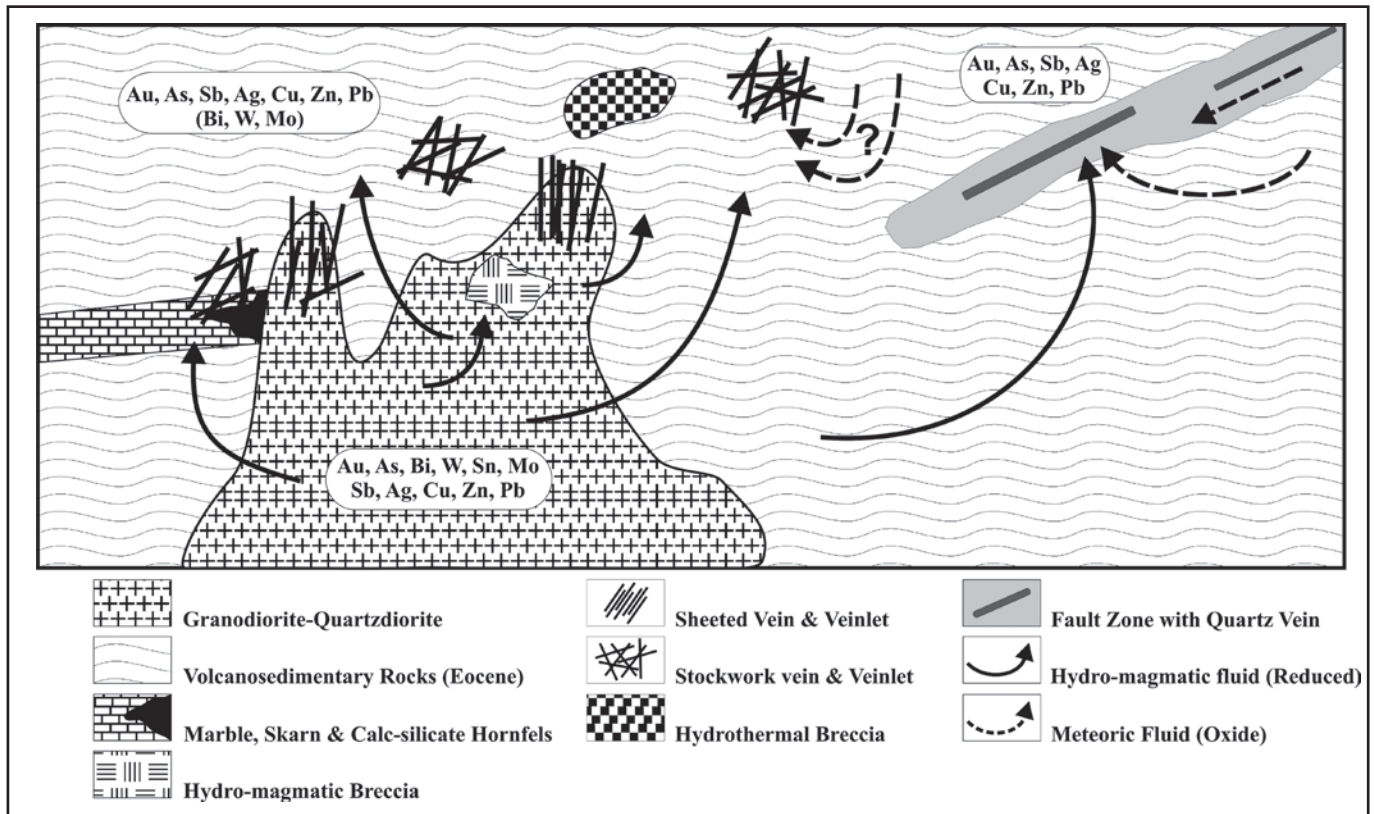


شکل ۸- الف) ساخت و بافت توده‌ای (سولفید توده‌ای) در بخش ۲ تصویر و دانه پراکنده در بخش ۱ تصویر در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی. ب) برش‌های هیدروماگمایی با قطعات نیمه گرد شده تا گرد شده به صورت خمیره غالب (Matrix supported) در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی.

شکل ۹- الف) برش‌های گرمایی با قطعات زاویه‌دار تا گرد شده و زمینه سیلیسی و کربناتی در کانه‌زایی حاشیه توده نفوذی. ب) برش‌های گسلی- گرمایی با قطعات زاویه‌دار در زمینه‌ای سیلیسی، کربناتی و اکسید شده در کانه‌زایی دور از توده نفوذی.



شکل ۱۰- تصویری از دگرسانی‌ها در بخش‌های مختلف کانه‌زایی الف) دگرسانی تورمالینی (To) (زون‌دار و درشت)، سیلیسی (Si)، سریسیتی (Ser) و سولفیدی (Sul) در کانه‌زایی با میزبان توده نفوذی (نور عبوری، xpl). ب) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز (Plag) سریسیتی شده در متنی سریسیتی و کربناتی در کانه‌زایی حاشیه توده نفوذی (نور عبوری، xpl). پ) دگرسانی سیلیسی (Qtz)، کربناتی (Cc) و اکسیدی شدن (Iron oxide) در کانه‌زایی دور از توده نفوذی (نور عبوری، xpl).



شکل ۱۳- مدل شماتیک تشکیل کانه‌زایی طلای هیرد با استفاده از (Lang & Baker (2001).

کتابنگاری

- اشراقی، ح.، راستاد، ا.، ۱۳۸۵- مطالعه سیالات درگیر در رخداد طلای هیرد: نمونه‌ای از ذخایر طلای مرتبط با نفوذی‌های گرانیتویدی احیائی، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- اشراقی، ح.، ۱۳۸۵- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تیپ کانه‌زایی طلا در محدوده هیرد (شمال غرب نهندان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- عسکری، ع.، صفری، م.، ۱۳۸۲- گزارش نقشه زمین‌شناسی- معدنی ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه امید بخش معدنی طلای هیرد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مشکانی، ا.، ۱۳۸۴- گزارش بازدید علمی از مناطق امید بخش جنوب خراسان و تفسیری بر مناطق امید بخش چاه شلغمی، هیرد، ماهرآباد، خونیک و شوراب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Baker, T., 2002- Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusion intrusion-related gold deposits, *Econ. Geol.* 97:1111-1117.
- Baker, T., Lang J.R., 2001- fluid inclusion characteristics of intrusion-related gold mineralization, Tombstone- Tungsten magmatic belt, Yukon Territory, Canada, *Miner. deposita*, 36: 563-582.

- Bakke, A.A., 1995- The Fort Knox "porphyry" gold deposit – Structurally controlled stockwork and shear quartz vein, supplied-poor mineralization hosted by Late Cretaceous pluton, east-central Alaska, In: Schroeter, T.A., Eds., *Porphyry Deposits of Northwestern Cordillera of North America*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy
- Camp, Y.E., Griffis, R.J., 1982- Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan Suture Zone, Eastern Iran, *Lithos* 15: 221 -239
- Cox, D. P., Singer, D. A. (ed.), 1992- Mineral deposit models. U. S. Geol. Surv. Bull. 1693: 379 pp.
- Cox, D.P. & Singer, D.A. (eds.), 1986- Mineral deposit models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379 p.
- Goldfarb, R.J., Hart, C.J.R., Miller, M., Miller, L., Farmer, G.L. & Groves, D.I., 2000- The Tintina Gold Belt: A global perspective. *British Columbia and Yukon Chamber of Mines, Special Volume, 2*: 5-34.
- Groves, D.I., Vielreicher, R.M., Goldfarb, R.J., Condie, K.C., 2005- Controls on heterogeneous distribution of mineral deposits through time. In: McDonald, I., Boyce, A.J., Butler, I.B., Herrington, R.J., Polya, D.A., Eds., 2005, *Mineral deposits and earth evolution*. Geological Society, London, Special Publications, 248: 71-101.
- Hart, C., 2005- Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems. *The Gangee*, Issue 85.
- Hart, C.J.R., Baker, T., Burke, M., 2000- New exploration concepts for country-rock-hosted, intrusion-related gold system: Tintina gold belt in Yukon. In: Tucker, T.L., Smith, M.T., Eds., *The Tintina gold belt: concepts, exploration and discoveries*. British Columbia and Yukon Chamber of Mines, Special Volume 2: 145-172.
- Ishihara, S., 1981- The granitoid series and mineralization: *Economic Geology*, 75th Anniv. 458-484 pp.
- Kerrick, R., Goldfarb, R.J., Groves, D.I., Garwin, 2000- The geodynamic of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution and origins. In: Hagemann, S. G., Brown, P.E., Eds., *Gold in 2000*, Rev. in *Econ. Geol.* 13: 501-551
- Lang J.R., Baker T., 2001- Intrusion-related gold system: The present level of understanding, *Miner. Deposita*, 36: 477- 489.
- Lang, J.R., Baker, T., Hart, C.J.R. & Mortensen, J.K., 2000- An exploration model for intrusion-related gold systems. *Society of Economic Geologists Newsletter* 40:1-15.
- Leveille, R.A., Newberry, R.J., Bull, K.F., 1988- An oxidation state-alkalinity diagram for discriminating some gold-favorable plutons: an empirical and phenomenological approach. *Geol. Soc. Amer., Abstr. With program*, 20, A142.
- Logan, J.m., 2002- Intrusion-related gold mineral occurrences of the Bayonne Magmatic Belt. *British Columbia Geological survey, geological Fieldwork*.
- Maloof, T.L., Baker T., Thompson, J.F.H., 2001- The Dublin Gulch intrusion-hosted gold deposit, Tombstone plutonic suite, Yukon Territory, Canada, *Miner deposits*, 36: 583- 593.
- McCoy, D., Newberry, R.J., Layer, P., DiMarchi, J.J., Bakke, A., Masterman, J.S. & Minehane, D.L., 1997. Plutonic-related gold deposits of interior Alaska. *Economic Geology Monograph* 9, 191-241 p.
- Newberry, R.J., McCoy, D.T., Brew, D.A., 1995- Plutonic-hosted gold ore in Alaska: Igneous vs. Metamorphic Origins. *Resource Geology Special Issue*. No. 18.
- Nogole Sadate, M.A.A., 1978- Les zones de décrochement et les virgations structurales en Iran. Consequences des resultants de analyse structurale de la region de Qom. *These Univ. Scientifique et Medicate de Grenoble*, 201 pp.
- Robert, F., 2001- Syenite-associated disseminated gold deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada. *Miner. Deposita*, 36: 503-516.



- Rombach, C.S., Newberry, R.J., 2001- Genesis and mineralization of the Shotgun deposit, southwestern Alaska. *Miner. Deposita*, 36: 607-621.
- Thompson, J.F.H., Newberry, R.J., 2000- Gold deposits Related to Reduced granitic intrusion, *SEG Reviews*, 13: 377-400.
- Thompson, J.F.H., Sillitoe, R.H, Baker, T., Lang, J.R., Mortensen, J.K., 1999- Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces, *Miner. Deposita*, 34: 323-334.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. & Camp, V.E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 194: 134-150
- Zachariah, J., Pertold, Z., Pudilova, M., Zak, K., Pertoldova, J., Stein, H., Markey, R., 2001- Geology and genesis of Variscan porphyry style gold mineralization, Petrackova hora deposit, Bohemian Massif, Czech Republic. *Miner. Deposita* (in press).