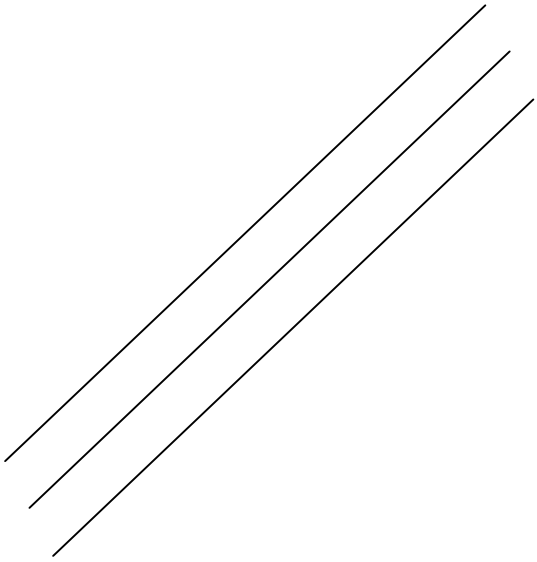
فصل چهارم



زمین شناسی اقتصادی

۴-۱- کانی سازی در محدوده مورد مطالعه

برپایه مطالعات پتروگرافی، بررسیهای صحرایی و تلفیق نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی با موقعیت توده‌های نفوذی مشخص می‌شود که حداقل دو مجموعه توده نفوذی نوع I (با خاصیت مغناطیسی بالا) و نوع S (با خاصیت مغناطیسی پایین) در محدوده معدنی هیرد وجود دارد که با توجه به نقشه زمین شناسی پیوست، توده نفوذی نوع **I** در محدوده تارگت شماره (۱) عمدتاً در حدگابرو، نوریت‌گابرو و دیوریت بوده و توده نفوذی نوع **S** بیشتر شامل گرانودیوریت ، گرانودیوریت پرفیری و میکروگرانیت می باشد. شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای تیپ S نقش اساسی در کانی سازی طلا در محدوده اکتشافی هیرد را بر عهده دارند. (کریمپور ، ....، عسکری ،۱۳۸۵)

کانی‌سازی در محدوده تارگت طلای شماره (۱) هیرد(Target-1) به حالتهای مختلفی از جمله استوک‌ورک، رگه ای، پراکنده، توده ای، جانشینی و برشی در درون توده نفوذی نیمه ژرف اسیدی تا حدواسط، سنگهای مجاور آن و در فواصل دورتر از توده نفوذی در امتداد زونهای گسله شکل گرفته است. علاوه بر بافت و ساخت متنوع و سنگ میزبان متفاوت، محتوای فلزی و نوع کانی ها نیز به تناسب فاصله از توده نفوذی احیایی فرق می کنند که بر این اساس کانی سازی در محدوده تارگت شماره (۱) را می توان در در سه بخش جداگانه تشریح نمود:

- کانه زایی دور از توده نفوذی :
- کانه زایی در حاشیه توده نفوذی
- کانه زایی با سنگ میزبان نفوذی :

۴-۱-۱- کانه زائی دور از توده نفوذی

این نوع کانی سازی از گسترش زیادی در محدوده معدنی هیرد برخوردار است و علاوه بر اینکه بخش اعظم کانی سازی در تارگت طلای شماره (۱) هیرد را تشکیل داده در سایر تارگتهای محدوده معدنی هیرد تاکنون تنها این تیپ از کانی سازی مشاهده شده است. کانه زایی دور از توده

نفوذی در زونهای گسله به شدت سیلیسی، کربناتی، آرژیلی و همچنین به صورت رگه های سیلیسی – کربناتی با ستبرای ۵-۱ متر و با عیارهای متغیری از طلا مشاهده می شود.

مهمترین کانی سازی دور از توده نفوذی در محدوده اکتشافی (Target-1) در دامنه شمالی کوه سیاه کمر و بخش جنوب شرقی آن در زون های گسله متعددی شکل گرفته است که طول آنها در مجموع بالغ بر ۳ کیلومتر می باشد. با توجه به نقشه زمین شناسی– معدنی منطقه، این کانی سازی عمدتا در راستای دو گسل بزرگ محدوده اکتشافی (گسل F1 , F2) رخ داده که مشخصات آنها در فصل دوم ، مبحث زمین شناسی ساختمانی آورده شده است. محتوی فلزی زون کانه دار از تنوع بسیار کمی برخوردار است و شامل طلا، آرسنیک و گاها عناصر نقره، سرب و روی می باشد.

بر اساس شدت آلتراسیون و مقادیر طلا، کانی سازی دور از توده نفوذی در محدوده تارگت شماره (۱) طلای هیرد خود به سه بخش تفکیک شده و بر روی نقشه زمین شناسی ـ معدنی مشخص گردیده است :

۱) بخش با آلتراسیون نسبتا شدید **(E^{mi})** که بیشینه عیار طلا را نیز دارد و معمولا به رنگ قهوه ای مایل به قرمز در سطح زمین نمایان است(عکس شماره ۴-۱). کانی سازی در زونهای سیلیسی، کربناتی و آرژیلی و عمدتا در راستای گسل F2 تشکیل شده و سنگ میزبان آن کنگلومرای ائوسن با میان لایه هایی از مادستون، ماسه سنگ، آهک و توف است. بطوریکه قبلا نیز ذکر شد روند عمومی گسل F2 دارای آزیموت ۰۸۰ ـ ۰۶۰ درجه است که با شیبی برابر ۳۵ ـ ۲۵ درجه به سوی جنوب شرق دارای ساز و کار معکوس می باشد. ضخامت پهنه گسلی متغیر و از ۱۶۰- ۵ متر تغییر می کند. لازم به ذکر است اغلب ترانشه ها و گمانه های اکتشافی بر روی این بخش حفر شده است.

کانی سازی در بخشهای سطحی شدیدا اکسیده شده و فقط پیریت های بسیار دانه ریز در حال تبدیل به اکسید و هیدروکسیدهای آهن مشاهده می شود ولی با افزایش عمق از مقدار کانیهای اکسیده کاسته شده و بر مقدار پیریت و آرسنوپیریت افزوده می شود. بیشترین مقدار طلا در دامنه شمالی کوه سیاه کمر(ترانشه ۳) **5.06ppm** اندازه گیری شده است.

عکس شماره ۴-۱ : نمونه کانسنگ برداشت شده از ترانشه اکتشافی(کانی سازی دور از توده نفوذی)

۲) بخش با شدت آلتراسیون خفیف تر(**E^{at}**) که عیار طلا در آن پایین است و معمولا به رنگ کرم مایل به زرد یا خاکستری در سطح زمین مشاهده می شود. این نوع کانی سازی عمدتا در کمرپایین پهنه گسلی گسل F2 و همچنین در راستای گسل F1 تشکیل شده است. بطوریکه در نقشه زمین شناسی – معدنی مشاهده می شود تعدادی از ترانشه های اکتشافی، این زون را نیز قطع نموده اند. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های برداشت شده از این بخش مقادیر طلا را عمدتا کمتر از 0.5ppm نشان می دهد اگرچه به ندرت در این زون نیز نمونه هایی با عیار بالاتر از 1ppm نیز مشاهده شده است.

۳) رگه های سیلیسی – کربناتی طلادار که به صورت پراکنده در محدوده اکتشافی رخنمون دارند. بر روی دو رگه سیلیسی اصلی محدوده اکتشافی، ترانشه های شماره ۲،۱۳،۱۴ حفر شده است که بیشینه عیار طلای گرفته شده از این ترانشه ها 3.02ppm می باشد. این رگه ها در راستای N340-350 و طول تقریبا ۵۰۰ متر و ضخامت متوسط ۲-۳ متر مشاهده می شوند و از حاشیه آلتره نسبتا گسترده ای (حدود ۱۰متر) نیز برخوردارند.

۴-۱-۲- کانه زایی در حاشیه توده نفوذی

در حاشیه توده نفوذی گرانیتوئیدی احیایی در جنوب و جنوب شرق محدوده اکتشافی ، کانی سازی هایی با گسترش نه چندان زیاد در سطح مشاهده می شود. در این خصوص دو نوع کانی سازی عمده قابل تفکیک است :

۱) کانی سازی اسکارن در کنتاکت بلافصل توده نفوذی با واحد کنگلومرای آهکی دگرگون شده:

با توجه به نقشه زمین شناسی – معدنی محدوده اکتشافی، در بخش جنوبی کوه سیاه کمر واحد کنگلومرای آهکی به صورت بین لایه ای درون واحد (E^t) و در بخشهایی در مجاورت توده نفوذی واقع شده است. مشاهدات صحرایی و مطالعه مقاطع نازک حکایت از دگرگونی مجاورتی(اسکارن) نسبتا گسترده ای در منطقه و مخصوصا بر روی این واحد آهکی دارد. کانیهای گارنت(گراسولار و آندرادیت)، پیروکسن، کوارتز، کلسیت، دولومیت، اپیدوت، کلریت و ولاستونیت از جمله کانیهای دگرسانی در این بخش هستند. ترانشه های شماره ۲۱ و۲۲ در کنتاکت توده نفوذی با کنگلومرای آهکی حفر شده اند و بر اساس مطالعات مینرالوگرافی(ترانشه ۲۱)، کانی سازی فلزی به صورت پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، و مالاکیت همراه با اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تشکیل شده است و بیشینه عیارطلا در ترانشه ۲۱ برابر 2.12ppm ، مقدار مس برابر ۰،۹۳ درصد و مقدار سرب برابر ۱،۸۶ درصد اندازه گیری شده است.

۲) کانی سازی در واحد شیل و توفیت(E^t) به فاصله حداکثر چندین متر از توده نفوذی

این نوع کانی سازی به صورت پراکنده، رگه – رگچه ای و توده ای در بخش جنوب شرق محدوده اکتشافی و در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی احیایی در سطح زمین (ترانشه های ۱۵،۱۷،۱۸)و گمانه شماره ۷ قابل مشاهده است. وجود پیروتیت فراوان در این زون فرآیندهای سوپرژن در سطح را شدت بخشیده و تا حدودی تفکیک آن از کانه زایی با سنگ میزبان نفوذی مشکل شده است(عکس شماره ۴-۲)، ولی در مغزه های گمانه شماره ۷ میتوان آن را بر اساس کانی شناسی ، دگرسانی و نوع سنگ میزبان از دیگر کانی زائی ها تفکیک نمود. کانی سازی فلزی شامل آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت و به مقدار کمتر اسفالریت و گالن می باشد.

دگرسانی هـای اصـلی در واحـد شـیل و توفیـت شـامل دگرسـانی پروپلیتیـک ، سریـسیتی، کربنـاتی، سیلیسی ، کلریتی و تورمالینی می باشد.

عکس شماره ۴-۲ : زون کانه دار و آلتره لیمونیتی،کربناتی،سیلیسی و آرژیلی (کانی سازی مجاور توده نفوذی)

۴-۱-۳- کانه زایی با میزبان توده نفوذی

این نوع کانی سازی نیز در دامنه خاوری و جنوب خاوری کوه سیاه کمر در محدوده اکتـشافی رخنمون دارد. سنگ میزبان توده نفوذی گرانودیوریت پورفیری تا گرانیت است که در نزدیـک سـطح و سقف خود دارای کانی زایـی متنـوع بـا بافـت اسـتوک ورکـی، پراکنـده، تـوده ای و برشـی مـی باشـد (عکس شماره ۴-۳). احتمالا منشا محلول کانه ساز خود توده گرانیتوئیـدی باشـد. دگرسـانی از نـوع کوارتز + تورمالین ±سرسیت ± کلسیت ± کلریت اسـت کـه هـم در سـطح و هـم در عمـق مـشاهده می‌شود. همراه با کانیهای آلتراسیون، رگچه های متعددی از جملـه رگچـه هـای کـوارتز تورمـالین ± سریـسیت، رگچـه هـای کـوارتز و کلـسیت همـراه یـا بـدون سـولفید و رگچـه‌هـای سـولفیدی شـامل آرسنوپیریت، پیریت، پیروتیت، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدریت، استانیت، اسـتیبنیت و بیسمونیت وجود دارد که در سطح اکثراً به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبـدیل شـده‌انـد. ضـخامت رگچه‌ها از چند میلیمتر تا ۳ سانتیمتر متغیر است و مقدار آنها در محلهای کانی‌سازی حداقل به ۲۰

عکس شماره ۴ - ۳ : بافت برشی، استوک ورکی، پراکنده و توده ای در مغزه های گمانه ۶

رگچه در واحد طول می‌رسد. این رگچه ها همـدیگر را قطـع کـرده‌انـد و نـشان دهنـده چنـدین مرحلـه کانی‌سازی با محلول متفاوت از نظر ترکیب شیمیایی است. مشاهده دقیق رگچه ها در مغزه های گمانـه شماره ٦ و٧ نشان می دهد که رگچه های کوارتز- تورمالین مقدم بر دیگر رگچه ها تشکیل شده انـد و رگچه‌های کوارتز – کلسیت بدون سولفید فاز آخر عملکرد سیالات در محدوده معدنی می باشند.

در این جا لازم به ذکر است در مطالعات میکروسکوپی مقاطع صیقلی ، طلا در هیچ کـدام از سـه بخش کانه زائی مشاهده نشده است ولی بر اساس مطالعات میکروپروب طلا بـصورت ذرات میکرونـی و آزاد در کانسنگ وجود دارد که در اثر هوازدگی از کانیهای پیریت و آرسـنوپیریت رهـا شـده اسـت. (گزارش مطالعات فرآوری کانسنگ طلای هیرد، سازمان زمین شناسی کشور، طرح اکتشاف طلا)

۴ - ۲ - دگرسانی در محدوده اکتشافی

مطالعه و بررسی دگرسانی ذخایر معدنی نه تنها اطلاعاتی از نحوه تشکیل یک کانسار به ما می دهد ، بلکه سبب تسریع و تسهیل فعالیتهای اکتشافی می شود. در ضمن از آنجا که محصولات دگرسانی مهمترین کانیهای کانسنگ همراه با ماده معدنی هستند، مطالعه ترکیب و نوع ارتباط آنها با ماده معدنی در امر فرآوری حائز اهمیت است. بنابراین با توجه به اهمیت شناخت دگرسانیهای همراه کانی زایی، در این مبحث به مطالعه دگرسانیهای محدوده معدنی هیرد پرداخته می شود. اطلاعات این مبحث مربوط به بازدیدهای صحرایی، مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک، نازک صیقلی و آنالیزهای XRD می باشد. بر این اساس دگرسانی های منطقه را در دو دسته غیر مرتبط با کانی سازی و مرتبط با کانی سازی مورد بررسی قرار می دهیم :

۴ - ۲ - ۱ - آلتراسیونهای غیر مرتبط با کانی سازی طلا

الف) دگرسانی اسکارن (مرحله نفوذ گابرو)

سنگهای آهکی ـ دولومیتی و سنگهای آتشفشانی منطقه مانند واحد کنگلومرای آهکی (E^{LC}) آندزیت، توف و یا دیگر کنگلومرا ها به علت داشتن ماتریس و بعضا قلوه های آهکی، تحت تاثیر توده های نفوذی منطقه به اسکارن تبدیل شده اند. کانیهای اسکارن عمدتاً شامل شامل گارنت و ولاستونیت است که گارنت ها در نمونه دستی سبز تا سبز قهوه ای و در مطالعات میکروسکوپی به صورت ایزوتروپ(گراسولار) و انیزوتروپ (آندرادیت) مشاهده می شود. ولاستونیت به شکل بلورهای منشوری بلند دیده می شود که از سطوح رخ و شکستگی ها به کانی ثانویه ای تبدیل شده که به احتمال قوی پرهنیت است. کانی دیگر وزویانیت می باشد که احتمالاً گارنت ها در بعضی قسمتها به وزویانیت تبدیل شده اند. کانیهای زوئیزیت و کلینوزوئیزیت همراه گارنتها در بعضی مقاطع دیده می شوند.

در نمونه های مطالعه شده کلسیت به دو صورت مشاهده شده است : حالت اول در متن سنگ و همراه با کانیهای خانواده اپیدوت و گارنت و حالت دوم به صورت رگه ای که سایر کانیها را قطع می کند. در بعضی رگه های کلسیتی کانیهای سولفیدی (کانی سازی) مشاهده می شود.

به طور کلی مهمترین کانیهای مشاهده شده دربخشهای اسکارنوئیدی منطقه شامل : زوئزیت، کلینوزوئیزیت، ولاستونیت، گارنت، اپیدوت، دیوپسید، کلسیت، کوارتز و کانیهای آبدار مانند پرهنیت، وزویانیت، میکا و کلریت می باشد.

با توجه به مشاهدات و مطالعات انجام شده مشخص شده که اسکارن مرتبط با توده های نفوذی مافیک(گابرو) هیچ ارتباطی با کانه زایی طلا ندارند زیرا مرحله پس رونده که در واقع مرحله تشکیل سولفید ها و کانی زایی در اسکارنها می باشد در این بخش مشاهده نشده است و فقط قسمتهایی از بخش اسکارنی که تحت تاثیر پهنه گسلی، رگه ـ رگچه های حاوی سولفید و دگرسانی سریسیتی و کربناتی و تورمالینی قرار گرفته اند با اندکی کانه زایی طلا همراه هستند. بدیهی است این کانه زایی بعد از فرآیند دگرسانی اتفاق افتاده و ارتباطی با اسکارنی شدن ندارد.

ب) دگرسانی پروپلیتیک ± آرژیلیک

این زون بخش وسیعی از محدوده اکتشافی مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است ولی با زونهای عیار دار همراه نمی باشد. کلریت کانی ثانویه اصلی است و از آلتره شدن کانیهای آهن و منیزیم دار مثل هورنبلند و بیوتیت بوجود آمده است. در تعدادی از نمونه ها از جمله 84/H/B15/43 و 84/H/B18/72 و 84/H/B18/2 (پیوست شماره ۱) پلاژیوکلاز به طور قابل ملاحظه ای به اپیدوت و کلینوزوئزیت تبدیل شده اند و همزمان با تشکیل اپیدوت آلبیت نیز ظاهر گشته است . در مجموع تشکیل کلریت، کلسیت، کوارتز، اسفن و کانیهای اوپاک (احتمالاً سولفورها) همزمان با تشکیل اپیدوت و کلینوزوئیزیت، کانیهای دگرسانی پروپلیتیک را تشکیل می دهند.

پلاژیوکلازها انواع مختلف دگرسانی را تجربه گرده اند که مهمترین و گسترده ترین آنها تشکیل مجموعه ای از کانیهای رسی مانند سریسیت و کائولینیت است . نمونه های شماره 84/H/B18/21T ، 84/H/B18/30T ، 84/H/B18/40T و 84/H/B18/58T را می توان در شمار نمونه های زون آرژیلی به حساب آورد. مطالعه روابط بین کانیهای دگرسانی و کانیهای اوپاک به خوبی روشن ساخته که تشکیل سولفورها همزمان با دگرسانی آرژیلی اتفاق افتاده است. (این مسئله در نمونه های شماره 84/H/B18/4T , 84/H/B15/34T نمایان است.)

۴-۲-۲- آلتراسیونهای مرتبط با کانی سازی طلا

این نوع آلتراسیون در مجاورت و سقف توده های نفوذی احیایی بارور و در پهنه های گسلی به صورت زونهای آلتره سیلیسی، کربناتی، اکسیدی، کوارتز – تورمالین، سرسیتی و اسکارن مشاهده می شود.

الف) دگرسانی سیلیسی:

دگرسانی سیلیسی در قالب رگه های سیلیسی و همچنین در سنگهایی که تحت تاثیر پهنه های گسلی قرار گرفته اند، دیده می شود. در این پهنه ها گاهاً به دلیل همزمانی تشکیل گسل ها با فعالیتهای هیدروترمالی ، برشهای گسلی ـ هیدروترمالی مشاهده می شوند. این برش ها ترکیبی از کوارتزهای ریز بلور بی شکل کلسیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می باشد.

دگرسانی سیلیسی مهمترین دگرسانی هیدروترمالی همراه طلا است و دامنه تغییرات وسیعی دارد به نحوی که با دگرسانی هیدروترمالی با درجه حرارتهای بالا و نیز دگرسانی سریسیتی و کربناتی که در درجه حرارت کمتری تشکیل می شود، دیده می شود. این دگرسانی به شکل رگه ـ رگچه هایی همراه با سولفیدهای طلا دار(عکس شماره ۴-۴) به صورت پراکنده نیز در منطقه قابل مشاهده می باشد.

عکس شماره ۴-۴ : رگه کوارتز همراه با آثار اکسیدهای آهن(لیمونیت) در شکستگیها

در ترانشه های حفر شده در زونهای گسلی منطقه، بیشترین شدت دگرسانی سیلیسی با حداکثر دگرشکلی شکنا در پهنه های برشی مطابقت دارد و به دلیل همراهی سولفیدها با دگرسانی سیلیسی و هوازدگی، غالباً رخنمون این بخش با رنگ زرد، قهوه ای و قرمز مشخص می شود.

ب) دگرسانی کربناتی:

دگرسانی کربناتی عمدتاً همزمان با سیلیسی شدن و اکسیدی شدن مشاهده می شود. کلسیت های بسیار ریزدانه به صورت پراکنده در متن سنگ همراه با کوارتز میکروکریستالین و هیدروکسیدهای آهن و یا در قالب رگچه های کلسیتی در متن سنگ خودنمایی می کنند.

کربناتی شدن همراه اصلی دگرسانی سریسیتی است و کلسیت کانی اصلی این دگرسانی محسوب می شود. پلاژیوکلاز و کانیهای مافیک مهمترین کانیهایی هستند که طی این دگرسانی به کلسیت تبدیل شده اند. علاوه بر کربناتی شدن که به صورت گسترده در متن سنگ مشاهده می شود انواع سولفیدها نیز با آن همراه شده اند. کلسیت موجود در رگه ها به همراه کوارتز مشاهده می شود.

ت) دگرسانی تورمالینی:

این دگرسانی بیشتر در دامنه شرقی کوه سیه کمر و در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی احیایی مشاهده می شود. شدت تورمالینی شدن به حدی است که در برخی قسمتها از توده نفوذی و سنگ اولیه اثری برجای نمانده و سنگ تماماً به تورمالین و کوارتز تبدیل شده است. در نمونه دستی تورمالینها کاملاً سیاه و در مقطع نازک به رنگهای سبز، آبی و قهوه ای مشاهده می شوند.

زون اصلی کوارتز – تورمالین تقریباً درمیانه واحد نفوذی گرانیتوئیدی سری ایلمنیتی با ظاهری کاملاً تیره رنگ از گرانیتها متمایز می شود. عکس شماره (۴-۵) نمایی از زون کوارتز – تورمالین سیاه رنگ را نشان می دهد که شکستگیها توسط اکسید های آهن و کربنات پر شده است.

عکس شماره (۳-۴) نمایی از زون کوارتز - تورمالین

نمونه های 84/H/8T , 84/H/5T از این سنگ ها جهت مطالعات پتروگرافی برداشت شد. در نگاه اول چنین به نظر می رسد که این سنگها نوعی آپلیت غنی از تورمالین می باشند، ولی عدم وجود فلدسپات آلکالن همراه کوارتز ، آپلیت بودن این سنگها را منتفی میکند. درون سنگهای فوق الذکر بقایایی از فلدسپاتهای به شدت سریسیتی شده(پلاژیوکلازهای آلتره) هنوز دیده می شود که این ایده را در ذهن متصور می کند که احتمالاً این سنگها در اثر فعالیتهای پنوماتولیتیک بر روی سنگهای آذرین یا پیروکلاستیک منطقه بوجود آمده اند. این سیالات باحتمال قوی سیالاتی هستند که در فازهای نهایی گرانیتوئیدها از ماگمای اسید(ماگمای گرانودیوریتی) نشأت گرفته اند.

در این سنگها دو نوع تورمالین دیده می شود :

۱) تورمالین های آبی رنگ با ساختار زونه که به احتمال قوی ازنوع Schorl می باشند.

۲) تورمالینهای زردرنگ که به احتمال قوی از نوع Elbaite هستند.

آرایش تورمالین ها در این سنگ به صورت شعاعی می باشد. با عنایت به شواهد موجود شاید بتوان گفت که این سنگها تماماً بر اثر نوعی Boronmetasomatism یا متاسوماتیزم بُر بوجود آمده اند(سبزه ای،۱۳۸۴).

در پیوست شماره (۱) نتایج مطالعات پتروگرافی به همراه تصاویر میکروسوکوپی مربوطه آورده شده است.

در مجموع سنگهای تورمالین دار را می توان به صورت یک طیف سنگ در کل محدوده مطالعاتی دانست که از سنگهای آذرین و پیروکلاستیک تورمالین شده شروع و به سنگهای تورمالینیت ختم می شود. لازم به ذکر است در محدوده مطالعاتی رگه های کوارتز تورمالین به صورت پراکنده رخنمون دارند که نمونه های 84/H/13T, 84/H/15T از این رگه ها به منظور مطالعات پتروگرافی برداشت شده و ترکیبی کمابیش مشابه به سنگهای زون کوارتز تورمالین دارند.

تورمالینی شدن به شکل پراکنده، رگه ـ رگچه ای در توده نفوذی نیز رخ داده است. تورمالین پراکنده به صورت زون دار مشاهده می شود که نشان دهنده تغییر ترکیب آن می باشد و در برشهای طولی به شکل شعاعی و خورشیدی خودنمایی میکند. هجوم سیالات غنی از کربنات و غنی از بُر به سنگ اولیه(آندزیت پورفیری) موجب تشکیل تورمالین شده است. این سیالات به احتمال قوی سیالاتی هستند که در فازهای نهایی گرانودیوریت از ماگمای اسیدی نشات گرفته است . بنابراین در محدوده مورد مطالعه، سنگهای آندزیت پورفیری اولیه، ابتدا تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک و پروپیلیتیک گسترده و سپس مورد هجوم سیالات غنی از کربنات و بور قرار گرفته اند . هجوم این سیالات در مواردی مانند نمونه های شماره 84/H/B18/27T ،84/H/B15/48T ، 84/H/B15/4T ،83/H/B11/77T آندزیت دگرسان شده را به کلی متلاشی کرده و تورمالین، کوارتز و کلسیت به جای پلاژیوکلاز دگرسان شده تشکیل گردیده است.

ث) دگرسانی سریسیتی :

سریسیتی شدن یکی از مهمترین دگرسانیهای همراه با سولفیدهای طلا دار است. در برخی نمونه ها دگرسانی سریسیتی همراه با دگرسانی آرژیلیک مشاهده می شود. این دگرسانی به مقدار قابل توجهی بصورت پراکنده در متن توده نفوذی حضور دارد و ندرتاً به شکل رگه ـ رگچه ای دیده می شود. سریسیتی شدن بعد از تورمالینی شدن رخ داده به گونه ای که در برخی قسمت ها سریسیت، تورمالین را در برگرفته و در بخشهایی که شدت سریستی شدن بیشتر است، از تورمالین شدن اثری وجود ندارد.

رخنمون غالب این دگرسانی در بخش ذخیره با میزبان توده نفوذی مربوط به توده گرانودیوریتی در دامنه شرقی کوه سیاه کمر می باشد. مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که پلاژیوکلازها مهمترین کانی هایی هستند که تحت تاثیر این دگرسانی قرار گرفته اند. این دگرسانی همراهی قابل توجهی با سولفیدی شدن دارد و در بخشهایی با بیشترین شدت سولفیدی شدن سریسیتی شدن نیز زیاد بوده بطوریکه سنگ اولیه قابل تشخیص نمی باشد.

ج) دگرسانی اسکارن (مرحله نفوذ گرانودیوریت):

این اسکارن در مرحله نفوذ گرانودیوریت ها رخ داده است بنابراین رخنمون اصلی این پدیده در دامنه شرقی کوه سیاه کمر دیده می شود. کانیهای اصلی تشکیل دهنده اسکارن شامل گارنت، پیروکسن، کوارتز، کلسیت، دولومیت، اپیدوت، کلریت و ولاستونیت می باشد. گارنت از نوع گراسولار ـ آندرادیت و پیروکسن از نوع دیوپسید می باشد. اپیدوت، زئوزیت و کلینوزئوزیت از دیگر اجزاء تشکیل دهنده اسکارن هستند. آمفیبول به میزان کم و ازجنس ترمولیت ـ اکتینولیت می باشد. کلسیت و دولومیت در اثر دگرگونی مجاورتی به مرمر تبدیل شده اند.

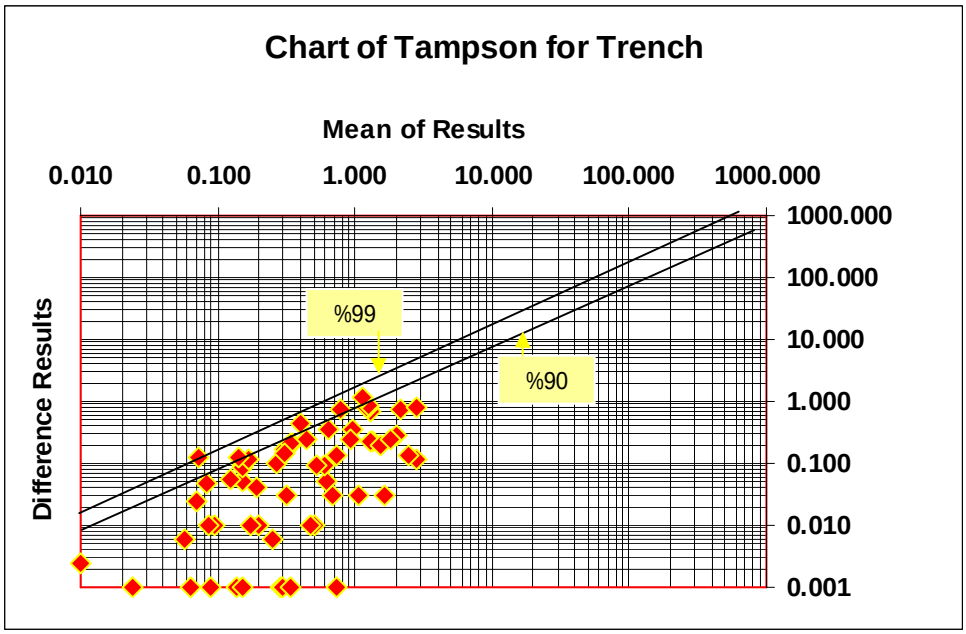
حضور کانیهای بدون آب مانند گارنت وپیروکسن نشان دهنده مرحله اسکارن پیش رونده است و با توجه به کانیهای آندرادیت، گراسولار، کلسیت و دیوپسید اسکارن از نوع کلسیتی می باشد. اسکارن پیش رونده (ولاستونیت ± کلسیت –کوارتز – گارنت) همزمان با مرحله کوارتز – تورمالین ایجاد شده است.

۴-۳- بررسی نتایج آنالیز نمونه های برداشت شده و تحلیل داده های ژئوشیمیایی

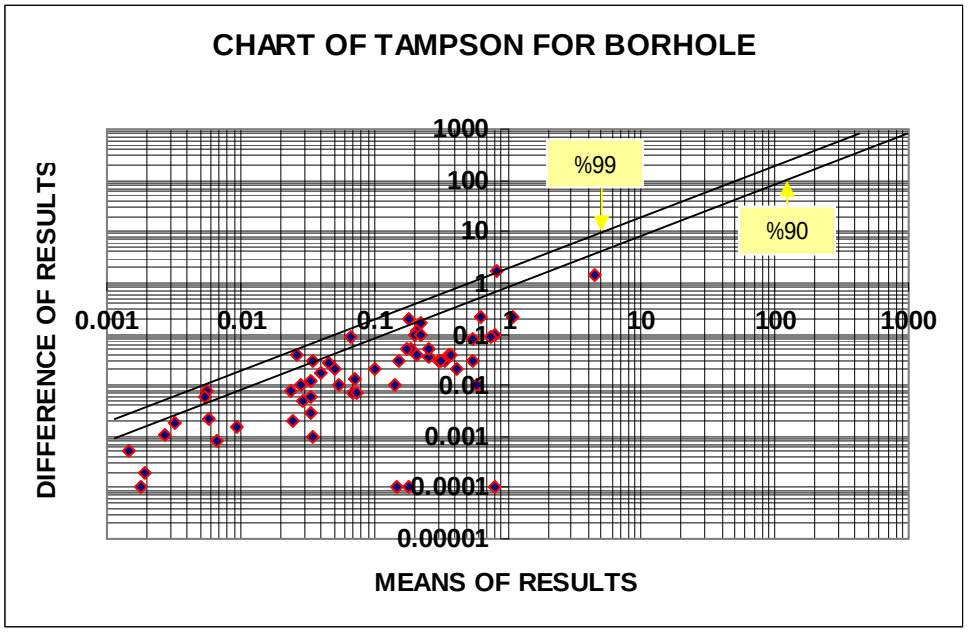
۴-۳-۱- محاسبه خطای آنالیز شیمیایی

در بررسی های اکتشافی، تعین دقت آزمایشگاه از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا میزان اعتماد به داده ها را مشخص می کند. به عبارت دیگر هدف مطلوب، قابلیت تکرار آزمایش با نتایج مشابه است و محاسبه خطای آنالیز شیمیایی، میزان فاصله از هدف مطلوب را نشان می‌دهد. در این پروژه برای تعین خطای اندازه گیری آنالیز شیمیایی طلا از نتایج آنالیز ۱۱۹ نمونه مربوط به ترانشه-ها و گمانه‌های اکتشافی که دو دفعه مورد آنالیز قرار گرفته اند، استفاده شد. نتایج آنالیز این نمونه ها در جداول شماره ۳-۵ و ۳-۶ آورده شده است.

جهت تعیین دقت آزمایشگاه، در یک دستگاه مختصات لگاریتمی، روی محور افقی میانگین دوبار اندازه گیری، و روی محور عمودی اختلاف دو مقدار اندازه گیری شده به صورت نقطه ای نمایش داده می شود . در این نمودار خطوط مایلی دیده می شود که می توانند سطح دقت دلخواه را (که در این پروژه معادل ۱۰% انتخاب گردیده است) نشان دهند. نحوه کار بدین صورت است که به وسیله دو کمیت تشریح شده قبلی، هر جفت نمونه تکراری به صورت نقطه ای نشان داده می شود حال اگر مجموعه جفتهای تکراری طوری در صفحه مختصات فوق الذکر توزیع شود که ۹۰ % آنها زیر خط پایینی (خط ۱۰ % خطا) و ۹۹ % آنها زیر خط بالایی (خط ۱ % خطا) قرار گیرند، در این صورت خطای کل این مجموعه نمونه تکراری برای آن عنصر خاص ۱۰% ارزیابی می شود که خطای قابل قبول و مجاز در امور اکتشافی است. اشکال شماره ۳-۴۵ و ۳-۴۶ بدین منظور رسم شده اند و معرف این هستند که خطای آنالیز نمونه ها به جهت عنصر طلا، خطای مجاز است. نمودارهای مذکور به نمودار تامسون معروف هستند.



شکل ۴ - ۱ : نمودار تامپسون برای عنصر طلا در نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌ها



شکل ۴ - ۲ : نمودار تامپسون برای عنصر طلا در نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌ها

۴-۳-۲- همبستگی ژنتیکی بین عناصر مختلف

در بررسیهای ژئوشیمیایی معمولا" غلظت تعدادی از عناصر در یک سری نمونه اندازه گیری می شوند چون هر گروه از عناصر نسبت به یک سری از شرایط محیطی کم و بیش به طور مشابه حساسیت نشان می دهند لذا شناخت ارتباط و همبستگی های ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می تواند در شناخت دقیق تر تغییرات موجود در محیط های ژئوشیمیایی به کار گرفته شود، ضمنا" تجمع ژنتیکی بعضی از عناصر هم ممکن است به عنوان راهنمای مستقیمی در تعیین نوع نهشته ای که احتمالا" در ناحیه وجود دارد به کار رود و هم ممکن است دلالت بر وجود ناهنجاریهای داشته باشد که بی اهمیت و گمراه کننده اند. روی هم رفته شناخت همبستگی های ژنتیکی که در بین عناصر وجود دارد اطلاعات لازم را در جهت تعبیر و تفسیر هر چه صحیح تر داده های ژئوشیمیایی در اختیار می گذارد. یکی از تکنیکهای آماری که باید در بررسیهای اکتشاف ژئوشیمیایی به کارگرفته شود تعیین همبستگی بین یک جفت از متغیر ها است.

جهت تعیین همبستگی بین دو متغیر از ضریب همبستگی استفاده می شود این ضریب از ۱- تا ۱+ متغیر است به طوریکه ۱+ نشان دهنده همبستگی کاملا" مثبت و مقدار ۱- نشان دهنده همبستگی کاملا" منفی بین دو متغیراست و مقدار صفر نیز بیانگر عدم همبستگی بین متغیرهاست .

گرچه در بسیاری از محاسبات و تخمین های آماری شرط نرمال بودن داده ها اساس کار را تشکیل می دهد، ولی در عمل ممکن است فرض نرمال بودن داده ها برقرار نباشد که در این صورت می توان با استفاده از روشهای تبدیل، توزیع داده ها را به صورت نرمال در آورد . تبدیل لگاریتمی یکی از روشهاست که با استفاده از آن توزیع داده های تبدیل یافته متقارن گشته و به توزیع نرمال نزدیک می شود.

با توجه به متفاوت بودن شرایط کانی سازی در محدوده اکتشافی تارگت طلای شماره (۱) هیرد(کانی سازی دور از توده و مجاور توده نفوذی) و همچنین متغیربودن عناصر آنالیز شده نمونه های برداشت شده از بخشهای مختلف منطقه اکتشافی ، جوامع آماری متعددی انتخاب گردید و بر روی نمونه های هر یک از آنها میزان همبستگی بین عناصر مختلف مورد سنجش قرار گرفت.

برای این منظور ابتدا لگاریتم نتایج آنالیز نمونه ها محاسبه و سپس به طوری که در شکلهای شماره ۴-۳ الی ۴-۸ نشان داده شده است، همبستگی عناصر طلا با دیگر عناصر توسط نرم افزار رایانه ای spss ترسیم شده است. همچنین با استفاده از جداول ماتریس ضرایب همبستگی بین عناصر، نتیجه کلی به صورت دیاگرامهای دندریتی (اشکال شماره ۴-۴،۹-۱۴) نشان داده شده است . این نمودارها مراتب ژنتیکی بین عناصر را در جوامع آماری انتخاب شده در محدوده تارگت طلای شماره (۱) هیرد نشان می دهند.

با توجه به اشکال و دیاگرامهای دندریتی همبستگی عناصر، ملاحظه می شود که در تارگت طلای شماره (۱) هیرد، بیشترین همبستگی طلا با عناصر آرسنیک، آنتیموان، نقره، سرب و روی است. همبستگی طلا با عناصر مس، آهن، قلع، بیسموت، منگنز، مولیبدن، نیکل ، کبالت، گوگرد و کلسیم در جوامع آماری مختلف متغیر و اغلب بدون هبستگی است و همبستگی عناصر تیتان، فسفر، باریم با طلا در اغلب جوامع منفی می باشد. بعلاوه سرب با عناصر کادمیوم، روی و نقره همبستگی بالایی را نشان می دهد.

۴ - ۴ - تخمین و ارزیابی ذخیره معدنی تارگت طلای شماره (۱) هیرد

برآورد ذخیره کانسار طلای هیرد (تارگت طلای شماره ۱) توسط کارشناسان گروه تلفیق و ارزیابی سازمان زمین شناسی کشور انجام شده و گزارش آن نیز منتشر شده است. در اینجا به اختصار نتایج این گزارش آورده شده است.

قبلا ذکر این نکته ضروری است که محدوده اکتشافی تارگت طلای شماره(۱) مساحتی بالغ بر ۳ کیلومتر مربع را شامل می شود و نقشه توپوگرافی – زمین شناسی معدنی تهیه شده (در مقیاس ۱:۱۰۰۰) تنها ۳۷۵ هکتار از محدوده را پوشش داده است. با توجه به مباحث عنوان شده در گزارش پیش‌رو، در این محدوده اکتشافی، کانی سازی های متنوعی در اشکال مختلف و با ژنز متفاوت شکل گرفته است که نظر به ماهیت عملیات اکتشاف عمومی ، اقتضا می نمود که بر روی هر یک از کانی سازی های مختلف پراکنده در این محدوده تعدادی ترانشه و گمانه اکتشافی طراحی و حفر گردد.

از آنجا که بر روی بخشی از زون کانی سازی دامنه شمالی کوه سیه کمر، عملیات اکتشافی از تراکم بیشتری برخوردار بود و اطلاعات زیادی از سطح و عمق کانی سازی در اختیار داشتیم لذا این زون جهت ارزیابی ذخیره معرفی گردید. بدیهی است با تکمیل عملیات اکتشافی در آینده، سایر زونها و رگه های کانه دار محدوده اکتشافی تارگت طلای شماره (۱) هیرد می توانند پشتوانه مطمئنی برای افزایش ذخیره طلای این تارگت محسوب شوند.

مجموعاً تعداد ۶۸۰ نمونه از این حفریات مورد آنالیز قرار گرفته است که تقریبا ده درصد از این تعداد دارای آنالیز ۱۰ عنصری می‌باشد به همین علت امکان تخمین برای ۱۰ عنصر فراهم نبود و فقط طلا مورد ارزیابی و تخمین قرار گرفته است.

با توجه به نقشه زمین شناسی – معدنی پیوست، زون کانه دار دامنه شمالی کوه سیه کمر با ۱۰۶۰ متر طول و ضخامت متغیر ۱۰۰- ۵ متر در راستای N60-80 با شیب 30SE- 25 رخنمون دارد. این زون توسط حفاریهای اکتشافی متعددی اعم از ترانشه و گمانه تحت پوشش قرار گرفته که برای مدلسازی هندسی و برآورد ذخیره از اطلاعات ۹ ترانشه و ۷ گمانه اکتشافی بهره گرفته شده است.

گمانه های اکتشافی شماره ۱۱،۱۸،۲۱ زون کانه دار مذکور را در عمق ۵۰ متری قطع نموده اند. در این فاصله کانسنگ از نوع سیلیکاته و اکسیده (میزان سولفید کمتر از ۲۰% کل سولفید اولیه) با وزن مخصوص ۲/۳۵ تن بر مترمکعب می باشد.

براساس اطلاعات فوق و مطالعات فنی گروه تلفیق و ارزیابی از جمله مدل سازی هندسی و بررسی های آماری در نهایت حجم رگه اصلی تارگت شماره یک کانسار طلای هیرد تقریباً ۱،۷۲۴،۳۰۰ مترمکعب و ذخیره برآورد شده در زون کانی‌سازی اصلی با عیار حد ۰/۱ گرم بر تن برابر با ۱/۶۵۱ تن طلا با عیار متوسط ۰/۳۸ گرم بر تن می‌باشد که با توجه به محاسبه خطای انجام شده، سطح اعتماد ارزیابی شده حدود ۸۵ درصد می‌باشد.

پیشنهادات :

۱ ـ نظر به بررسی‌های اکتشافی انجام شده، دامنه شمالی کوه سیه کمر، حدفاصل ترانشه های شماره ۱۰ الی ۶ را می توان به عنوان کاندید جهت استخراج و استحصال طلا به روش هیپ لیچینگ مطرح نمود. بدیهی است با تکمیل عملیات اکتشافی، سایر زونها و رگه‌های کانه‌دار محدوده اکتشافی هیرد، می توانند پشتوانه مطمئنی برای افزایش ذخیره طلای این تارگت محسوب شوند.

۲ ـ رگه‌های کوارتز دارای کانی سازی طلا که از توده نفوذی گرانیتوئیدی منشاء گرفته و به زون کانی سازی گسل F2 ختم می شود(نقشه زمین شناسی پیوست) بدلیل اینکه در ارتفاعات کوه سیه کمر واقع شده اند کمتر مورد توجه بوده اند که در عملیات اکتشافی آتی می باید مدنظر باشند.

۳ ـ در جنوب شرق محدوده اکتشافی تارگت طلای شماره(۱) هیرد، توده گرانیتوئیدی احیایی و باروری رخنمون دارد که در بخشی از توده و در مجاورت آن کانی سازی طلا همراه با آنومالیهایی از عناصر سرب و روی، تنگستن، قلع، مس و نقره مورد مطالعه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد بخش اعظم توده نفوذی در زیر آبرفتهای جنوب محدوده اکتشافی مدفون باشد. با توجه به وجود سولفید فراوان و از جمله پیروتیت، انجام عملیات اکتشافی ژئوفیزیکی به روش **IP-RS** و مغناطیس سنجی در مساحتی بالغ بر ۱۰۰ هکتار در اطراف توده نفوذی و به سمت جنوب غرب آن توجیه پذیر است.

۴ ـ گسترش وسیع کانی سازی طلا در محدوده معدنی هیرد(مساحتی بالغ بر ۴۰ کیلومتر مربع) و شناسایی تارگتهای متعدد طلا در محدوده اکتشافی، بعلاوه عیارهای بالای طلا که اخیرا در بخشهایی از جمله تارگت شماره(۳) گرفته شده است نشان از یک منشاء بزرگ طلا دارد که در این ارتباط پیجوئی و شناسایی تارگتهای بیشتری در محدوده اکتشافی و نواحی همجوار دور از انتظار نیست.

۵- وجود توده های گرانیتوئیدی احیایی و بارور و ناهنجاریهای قلع و تنگستن مرتبط با آنها، بعلاوه گسترش زیاد کانی سازی تورمالین در محدوه اکتشافی هیرد ما را ملزم می نماید که در اکتشافات آتی و در مطالعات علمی و دانشگاهی، احتمال تشکیل کانسارهای پورفیری قلع، تنگستن و طلا را در محدوده اکتشافی و نواحی مجاور مد نظر داشته باشیم.

منابع و ماخذ فارسی :

- اجاقی، ع.؛ جعفری زنگلانلو، م.؛ اولیاء زاده، م.، (۱۳۸۴)، بررسی قابلیت استحصال طلا دربخش کم عیارکانسنگ هیرد با روش فروشویی توده ای، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین.
- اشراقی، ح.، (۱۳۸۵)، کانی شناسی، ژئوشیمی و تیپ کانه زائی طلا در محدوده هیرد، (شمال غرب نهبندان) ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- اشراقی، ح.؛ راستاد، ا.؛ امامی،م.ه. ؛ و عسکری، ع.، (۱۳۸۴)، کانه زائی طلای هیرد نمونه ای از ذخائر طلای مرتبط با نفوذی های گرانیتوئیدی احیایی، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.
- بهروزی، ا. ؛ و خان ناظر، ن. ، (۱۳۷۱)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان، (۱۳۸۰)، گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی ورقه بصیران(۱:۱۰۰۰۰۰)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عسکری، ع.، و صفری، م.، (۱۳۸۲) ، گزارش نقشه زمین شناسی - معدنی ناحیه امید بخش معدنی طلای هیرد، طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علی محمدی،م.؛ خاکزاد،ح.؛ زرین کوب،م.ح.؛ عسکری،ع.؛ و قربانی،م.ع، (۱۳۸۵)، پترولوژی و پتروژنز توده های نفوذی ناحیه معدنی هیرد(جنوب بیرجند)، چهاردهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران.
- علی محمدی، معصومه، (۱۳۸۶)، کانی شناسی، ژئوشیمی، دورسنجی و ژنز کانسار طلای هیرد (جنوب بیرجند)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی.

- فضلی خانی، تقی، (۱۳۸۷)، گزارش مدلسازی هندسی و برآورد ذخیره کانسار طلای هیرد (تارگت شماره ۱)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی، م.ع.؛ پورکرمانی، م.ح.؛ محجل، خطیب، عسکری،ع.، (۱۳۸۶)، الگوی کششی پهنه برشی سیه کمر در ناحیه معدنی هیرد، اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران.
- قربانی، محمد علی، (۱۳۸۷)، تحلیل ساختاری ناحیه معدنی هیرد (جنوب بیرجند) و پتروفابریک پهنه های برشی طلادار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- کریم پور، م.ح.؛ حیدریان شهری، م.ر.؛ ملک زاده شفارودی،آ.؛ وعسکری، ع.، (۱۳۸۵)، طرح مطالعاتی پترولوژی توده های نفوذی، آلتراسیون، بررسی ژئوشیمی عناصر خاص، بررسی سیالات درگیر و مطالعات ژئوفیزیکی درمنطقه کانی سازی طلای هیرد، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کریم پور، م.ح.؛ حیدریان شهری، م.ر.؛ ملک زاده شفارودی،آ.؛ وعسکری، ع.، (۱۳۸۵)، زمین شناسی، کانی سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی طلای هیرد، استان خراسان جنوبی، چهاردهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران.

منابع و ماخذ خارجی :

- CRAIG J.R.HART.,2007,"Reduced intrusion – Related gold systems", Mineral deposits of Canada, special publication No.5, p.95-112