

Geology, mineralization and geochemistry of Tak I, Taknar polymetal massive sulfide (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit, Khorasan- Bardaskan

A. Malekzadeh, M.H. Karimpour, S.A. Mazaheri

*Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad, Iran
E-mail: mhkarimpour@yahoo.com*

(Received: 27/4/2004, received in revised form: 16/8/2004)

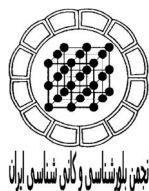
Abstract: Rock unites which are exposed in Tak-I mine area are: Taknar formation (Ordovician), Mid-late Paleozoic and younger intrusive rocks. Taknar formation consists of sericite schist, chlorite schist, chlorite-sericite schist and some meta-diabase- gabbro-diorite. Taknar Polymetal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) Massive sulfide deposit formed at certain horizon of Taknar formation. Three style of mineralization are: stockwork, layered and massive. Due to strong tectonic activity in the area, dimension and geometry of deposit are being changed. Paragenetic minerals within the massive and layered are: magnetite + pyrite + chalcopyrite ± sphalerite ± galena ± sulphosalt ± gold + chlorite ± carbonate ± sericite. Magnetite is the main mineral in the massive zone. Paragenesis within stockwork are: pyrite + chalcopyrite ± magnetite + chlorite + quartz + sericite ± carbonate. Based on mineral paragenesis, the ore bearing solution had the following condition: $T \geq 270^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 5 - 7$, $\text{Log } f\text{O}_2 = (-29) \text{ to } (-30)$. Also, The range of chemical composition of some elements within Tak-I massive sulfide is as follow:

Cu = %0.01 - %5.86, Zn = 269 – 15600 (ppm), Pb = 27 – 4400 (ppm),

Au = 0.86 - 7.53 (ppm), Ag = 2.4 - 95.1 (ppm), Bi = 34 – 2200 (ppm).

Based on the paragenesis, alteration, style of mineralization, petrography, geochemistry, and structure, Tak-I is part of massive sulfide deposit. Due to high content of Cu, Zn, Au, Ag and Pb, Taknar massive sulfide deposit is a polymetal deposit. Based on high magnetite within sulfides and lack of pyrrhotite, Taknar is a special massive sulfide deposit.

Keywords: *Taknar deposit, Massive sulfide, Polymetal mineralization.*



زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی تک I، کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار، خراسان - بردسکن

آزاده ملک‌زاده شفارودی، محمدحسن کریم‌پور، سید احمد مظاهری

گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
پست الکترونیکی: mhkarimpour@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۳/۲/۷، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۳/۵/۲۵)

چکیده: واحدهای سنگی که در محدوده معدن تک I رخنمون دارند شامل سنگهای دگرگونی سازند تکنار (اردوئین)، توده‌های نفوذی اواسط تا اواخر پالئوزوئیک و پس از پالئوزوئیک است. لیتولوژی سازند تکنار شامل سرسیت شیست، کلریت شیست، کلریت سرسیت شیست و مجموعه‌ای از توده‌های متادیاباز تا متاگابرو- دیوریتی است. کانی‌سازی ماسیوسولفید پلی‌متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار در افق خاصی از سازند تکنار تشکیل شده است. کانی‌سازی به صورت سه حالت لایه‌ای، توده‌ای و داربستی دیده می‌شود. ابعاد و شکل کانی‌سازی‌ها تحت تأثیر زمین‌ساخت شدید منطقه تغییر کرده است. توالی پاراژنز در بخش لایه‌ای و توده‌ای عبارتند از: مگنتیت + پیریت + کالکوپیریت ± اسفالریت ± گالن ± سولفوسالت ± طلا + کلریت ± کربنات ± سرسیت. بخش اعظم کانی‌سازی توده‌ای را مگنتیت تشکیل داده است. توالی پاراژنز بخش داربستی عبارتست از: پیریت + کالکوپیریت ± مگنتیت + کلریت + کوارتز + سرسیت ± کربنات. با توجه به پاراژنزه کانی تک I، شرایط فیزیکوشیمیایی محلول تک I به صورت زیر است: $T \geq 270^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 5-7$, $\text{Log } f_{\text{O}_2} = (-29) - (-30)$. بعلاوه، دامنه تغییرات عناصر در محدوده تک I به صورت زیر است:

Cu = 0.01% - 5.86%, Zn = 269 - 15600 (ppm), Pb = 27 - 4400 (ppm),
Au = 0.86 - 7.53 (ppm), Ag = 2.4 - 95.1 (ppm), Bi = 34 - 2200 (ppm).

تک I بخشی از یک کانسار ماسیوسولفید است. این ماسیوسولفید با توجه به مقدار قابل ملاحظه عناصر مس، روی، طلا، نقره و سرب یک کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال است و به علت دارا بودن مقدار زیادی مگنتیت همراه با کانیهای سولفیدی و نبود پیروتیت یک کانسار ماسیوسولفید منحصر به فرد است.

واژه‌های کلیدی: کانسار تکنار، ماسیو سولفید، کانی‌سازی پلی‌متال.

مقدمه

کانسار ماسیو سولفید پلی متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار در ۲۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهر مشهد و ۲۸ کیلومتری شمال غربی شهرستان بردسکن در محدوده‌ای با طول جغرافیایی $35^{\circ} 45' 42''$ تا $39^{\circ} 46' 57''$ شرقی، و عرض جغرافیای $35^{\circ} 21' 3''$ تا $35^{\circ} 22' 45''$ شمالی قرار دارد. این کانسار از نظر تقسیمات ساختمانی در زون تکنار قرار گرفته است. زون تکنار به صورت یک بالآمدگی گوه‌ای شکل بین بلوک لوت در جنوب و زون سبزوار در شمال واقع شده است که در مرز جنوبی آن گسل درونه و در مرز شمالی آن گسل ریوش (تکنار) قرار گرفته - است (شکل ۱).

سنگ‌های این زون شامل مجموعه‌ای از سازندهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک است [۱]. این سازندها عبارتند از: سلطانیه، باروت ولالون (کامبرین زیرین)، کالشانه و درنجال (کامبرین میانی - فوقانی)، شیرگشت (اردوئین)، تکنار (اردوئین)، سازند نیور (سیلورین)، سیب‌زار و بهرام (دونین)، شیش‌تو و سردر (کربونیفر)، سازند جمال (پرمین) و یکسری نهشته‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک [۱]. همچنین، مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی اسیدی در حد واسط مرکز این پنجره زمین‌ساختی رخمون دارد (شکل ۱). حداقل ۳ نوع دگرگونی در زمانهای مختلف زون تکنار را تحت تأثیر قرار داده است که عبارتند از [۱]:

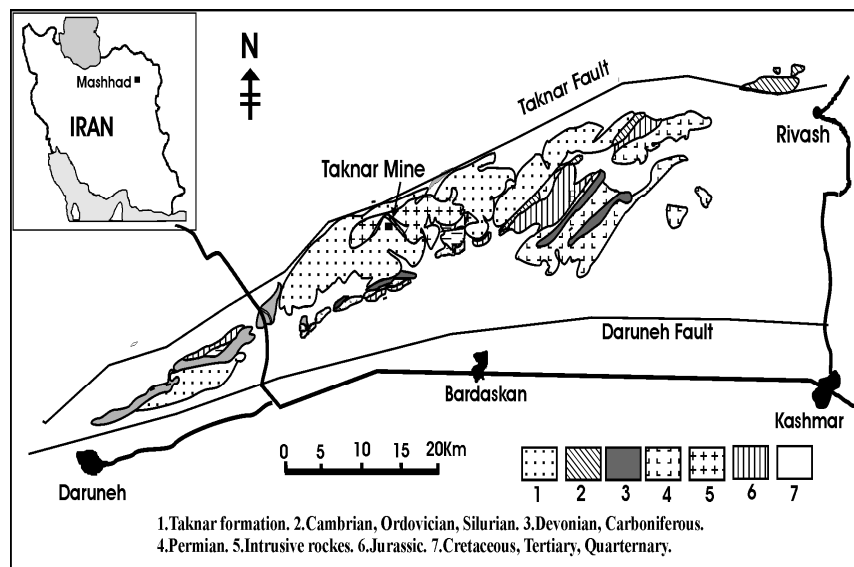
۱- دگرسانی حاصل از محلولهای ماگمایی - گرمایی که در چندین مرحله به وقوع پیوسته است.

۲- دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین که احتمالاً در اواخر پالئوزوئیک و در حد رخساره شیب‌های سبز اتفاق افتاده است.

۳- دگرگونی همبری ناشی از نفوذ توده‌ها.

بخش اعظمی از پنجره زمین‌ساختی تکنار را سازند تکنار به خود اختصاص داده است (شکل ۱). سن این سازند قبلاً به پرکامبرین نسبت داده می‌شده است [۱ تا ۴]. ولی اخیراً بر اساس مطالعات گرده‌شناسی سن اردوئین برای آن مشخص شده است [۵ تا ۷]. سازند تکنار به سه بخش زیرین، میانی و فوقانی تقسیم شده است [۱]. این سازند متشکل از مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی، نیمه‌عمیق و تهنشستی بوده که در زمانهای مختلف تحت تأثیر انواع دگرگونی‌ها قرار داشته است.

کانسار ماسیو سولفید تکنار در افق خاصی از سازند تکنار (اردوئین) تشکیل شده است. آثار کارهای شدادی، ترانشه‌ها، سرباره‌ها حکایت از آن دارند که این کانسار از قدیم مورد شناسایی و بهره‌برداری قرار داشته است. از سال‌های ۱۳۴۷ تا کنون نیز فعالیت‌های معدنکاری و اکتشافی زیادی در منطقه انجام شده است. اما مسائلی مانند نوع کانی‌سازی، سن کانی‌سازی، تأثیر زمین‌ساختی و دگرگونی بر کانی‌سازی قبل از مطالعه حاضر مشخص نشده بوده است.



شکل ۱ نمایش زون تکنار و واحدهای سازنده آن. (۱) سازند تکنار. (۲) کامبرین، اردوئیسین، سیلورین. (۳) دونین، کربونیفر. (۴) پرمین. (۵) توده‌های نفوذی. (۶) ژوراسیک. (۷) کرتاسه، ترشیاری، کوآترنی. (نقشه اولیه از افتخارنژاد و همکاران (۱۹۷۶)، که توسط مولر و والتز (۱۹۸۳) ساده و تأیید شده است، با تغییرات جزئی).

توده‌های نفوذی موجود در زون تکنار (شکل ۱) نیز به نام گرانیتوئید بورنورد نامگذاری شده بود [۲ و ۴]. اما نتایج مطالعات متعدد روی ترکیب (گرانیت، گرانودیوریت، تونالیت، گابرویدیوریت، دیوریت)، سن (پروکامبرین، ژوراسیک فوقانی، کرتاسه تحتانی، ترشیاری) و محیط زمین‌ساختی (ریفت درون قاره‌ای، محیط کششی بعد از کوهزایی، نوع I) این توده‌ها [۴، ۵، ۸، ۹ و ۱۰] نشان می‌دهد که مجموعه‌ای که به عنوان بورنورد خوانده می‌شود در واقع مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی مختلف است که در زمان‌های مختلف و در موقعیت‌های زمین‌ساختی متفاوت تشکیل و جایگزین شده‌اند. لذا واژه گرانیت بورنورد مناسب نیست و ضرورت دارد که هر یک از این توده‌ها با توجه به سن و خواص گاهشان به صورت جداگانه، مطالعه و بررسی شوند و اصطلاح بورنورد برای همه آنها بکار نرود [۱۱].

رخنمون‌های کوچکی از این مجموعه گرانیتوئیدی در منطقه مورد بحث در این مقاله، (تک I) خصوصاً بخش شمال‌شرقی این ناحیه دیده می‌شود، که از نظر ترکیب سنگ‌شناسی تفکیک شده و نیز از نظر سنی، با توجه به آثار دگرگونی ناحیه‌ای و سن این دگرگونی به دو دسته کلی تقسیم شده است که در بخش زمین‌شناسی توضیح داده شده است [۱۱].

لازم به یادآوری است که کلیه این توده ها پس از کانی سازی ماسیو سولفید در سازند تکنار نفوذ نموده اند و ارتباطی به این کانی سازی ندارند. ولی کانی سازی داربستی شامل رگچه های مالاکیت، کوارتز و اکسیدهای آهن ثانویه همراه با بعضی از توده های جوان مربوط به مزوزوئیک و ترشیاری، در این مجموعه توسط نویسندگان مقاله مشاهده شد، که جای بحث و بررسی بیشتر داشته و خارج از بحث این مقاله است [۱۱].

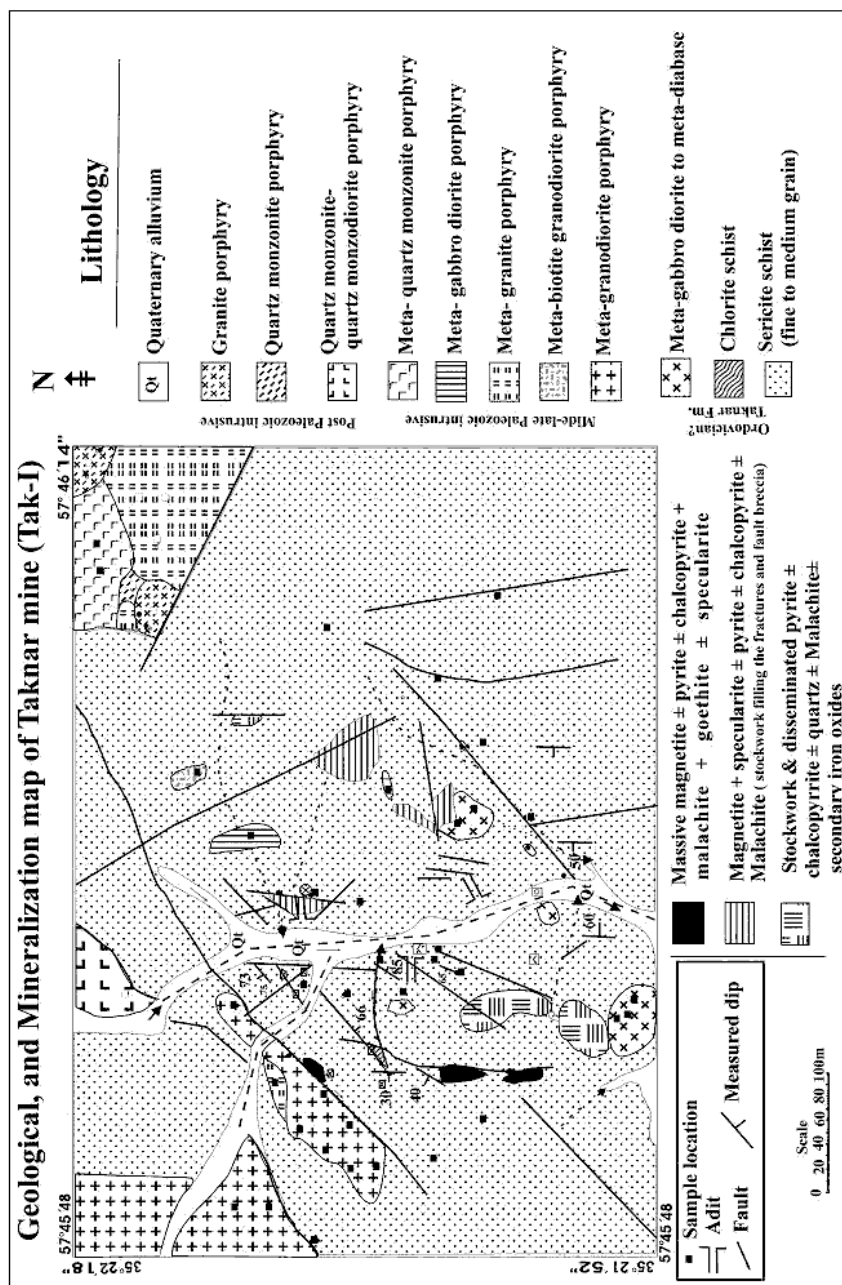
روش مطالعه

کانی سازی ماسیو سولفید تکنار در ۴ منطقه رخنمون دارد که به نامهای تک I تا IV نامگذاری شده است. این مقاله به مطالعه زمین شناسی، کانی سازی و ژئوشیمی تک I می پردازد. مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این ناحیه شامل مراحل زیر است: (الف) تهیه نقشه زمین شناسی- کانی سازی و دگرسانی- کانی سازی و ژئوشیمی سطحی در مقیاس ۱:۱۰۰۰. (ب) تهیه نقشه زمین شناسی- کانی سازی- دگرسانی- ژئوشیمی تونلی به طول ۱۹۴ متر و به مقیاس ۱:۱۰۰. (پ) برداشت ۶۳ نمونه سطحی و ۵۰ نمونه از تونل به منظور مطالعات سنگ شناسی، کانی شناسی و دگرسانی. (ت) مطالعه ۶۰ مقطع نازک و ۳۱ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی در اندازه های مختلف. (ث) برداشت ۱۴ نمونه خرده سنگی به منظور مطالعات ژئوشیمیایی از سطح و داخل تونل و آنالیز آنها به روش جذب اتمی بر اساس ۶ عنصر نقره، طلا، سرب، روی، مس و بیسموت در آزمایشگاه معدن مس سرچشمه کرمان. (ج) تفسیر نتایج. هدف از انجام این پروژه بررسی مدل کانی سازی از دیدگاه لیتولوژی، دگرسانی، ژئوشیمی و بافت و شکل و نیز تعیین نسبی، شرایط شیمی محلول و فرایند ته نشینی است.

زمین شناسی

بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در محدوده تک I، واحدهای سنگی زیر شناسایی شده اند: ۱- سازند تکنار ۲- توده های نفوذی اواسط تا اواخر پالئوزوئیک، ۳- توده های نفوذی بعد از پالئوزوئیک [۱۱] (شکل ۲).

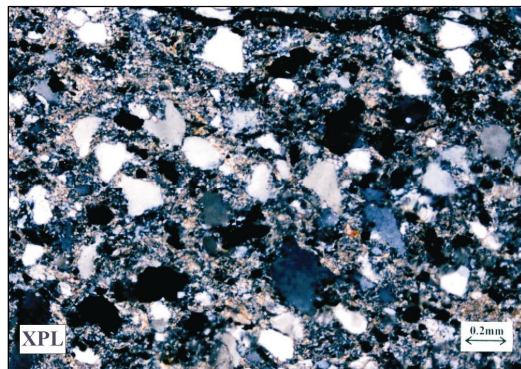
سازند تکنار در محدوده تک I شامل سرسیت شیست های ریزدانه تا میان دانه، کلریت سرسیت شیست، کلریت شیست و مجموعه ای از توده های نیمه عمیق دگرگون شده در حد متاگابرو- دیوریت تا متادیاباز است [۱۱] (شکل ۲). سرسیت شیست های ریزدانه تا میان دانه بخش اعظمی از شرق و غرب آبراهه اصلی ناحیه تک I را به خود اختصاص داده اند. این سنگ ها دارای بافت لیپیدوبلاستی بوده و اندازه دانه ها در حد میان ماسه تا سیلت ریز تغییر می کند (شکل ۳). کانی غالب این سنگ ها کوارتزهای زاویه دار حداکثر تا ۷۰٪ است. سرسیت کانی دیگر این سنگ بین ۱۰٪ تا ۴۰٪ متغیر است و در بعضی نمونه ها نیز فلدسپاتها حداکثر به ۱۵٪ می رسند. سنگ اولیه این سنگ ها، رسوبی پیلیتی غنی از کوارتز نابالغ و گاه ساب آرکوز بوده که تحت تأثیر دگرگونی ناحیه ای در حد رخساره شیست های سبز قرار گرفته اند. سرسیت ها حاصل تبدیل کانی های رسی سنگ اولیه طی دگرگونی ناحیه ای هستند [۱۱].



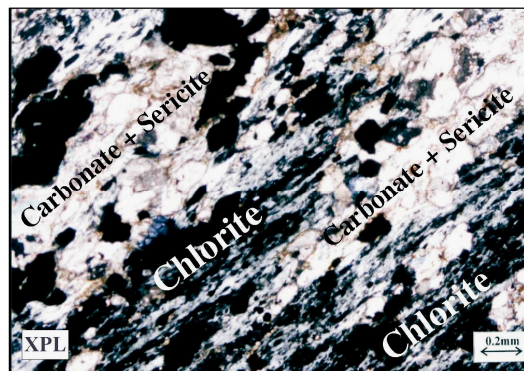
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی - کانی‌سازی تک I [۱۸].

کلریت سرسیت شیست در بعضی نقاط از سطح و نیز درون تونل مشاهده می شود. بافت این سنگ ها نیز لیپیدوبلاستی بوده و علاوه بر کانی های موجود در سرسیت شیست ها دارای حداکثر ۱۵٪ کلریت هستند. کلریت ها حالت شکلدار و پولکی داشته و حاصل دگرگونی ناحیه ای هستند. سنگ اولیه این سنگ ها نیز مانند سرسیت شیست ها بوده که احتمالاً در آنها کانی های رسی آهن و منیزیم داری مانند مونت موریلونیت وجود داشته که آهن و منیزیم لازم برای تشکیل کلریت در طی دگرگونی ناحیه ای را فراهم آورده است [۱۱].

رخنمون کوچکی از کلریت شیست در غرب تک I و در بالای تونل دیده می شود که دارای مرز گسلی است (شکل ۲). این سنگ در درون تونل همراه با کانی سازی اصلی منطقه یعنی کانی سازی لایه ای و توده ای مشاهده می شود که به علت فرسایش پذیری زیاد موجب ریزش بخش هایی از تونل شده است. بافت این سنگ ها لیپیدوبلاستی بوده و کلریت کانی غالب سنگ حداکثر تا ۷۰٪ می رسد. کانی های دیگر شامل سرسیت، کربنات، کوارتز و کانی های فلزی است (شکل ۴). همه کانی های موجود در این سنگ حاصل دگرسانی محلول کانی ساز منطقه هستند [۱۱].



شکل ۳ تصویر میکروسکوپی از سرسیت شیست های سازند تکنار.



شکل ۴ کلریت شیست سازند تکنار.

علاوه بر سنگ‌های رسوبی دگرگون شده، مجموعه‌ای از توده‌های نیمه‌عمیق در حد متاگابرو- دیوریت تا متادیاباز در تک I دیده می‌شوند، که چون کانی‌سازی داربستی در داخل آنها دیده می‌شود، این توده‌ها بخشی از سازند تکنار هستند. این توده‌ها در شرق و غرب آبراهه اصلی تک I در نقاط مختلف (شکل ۲) و همچنین در درون تونل مشاهده می‌شوند. متاگابرو- دیوریتها تا متادیابازها تحت تأثیر محلول کانی‌ساز منطقه دچار یک دگرسانی پروپلیتیکی شدید شده‌اند [۱۱]. توده‌های نفوذی تک I که پس از کانی‌سازی ماسیوسولفید (اردوسین) در سازند تکنار نفوذ کرده‌اند، بر اساس وجود آثار جهت‌یابی در کانی‌های خود (عمدتاً کانی‌های حاصل از آلتراسیون) و بر پایه سن دگرگونی ناحیه‌ای منطقه که در اواخر پالئوزوئیک در نظر گرفته می‌شود به دو دسته نفوذی‌های اواسط تا اواخر پالئوزوئیک و نفوذی‌های بعد از پالئوزوئیک تقسیم می‌شوند.

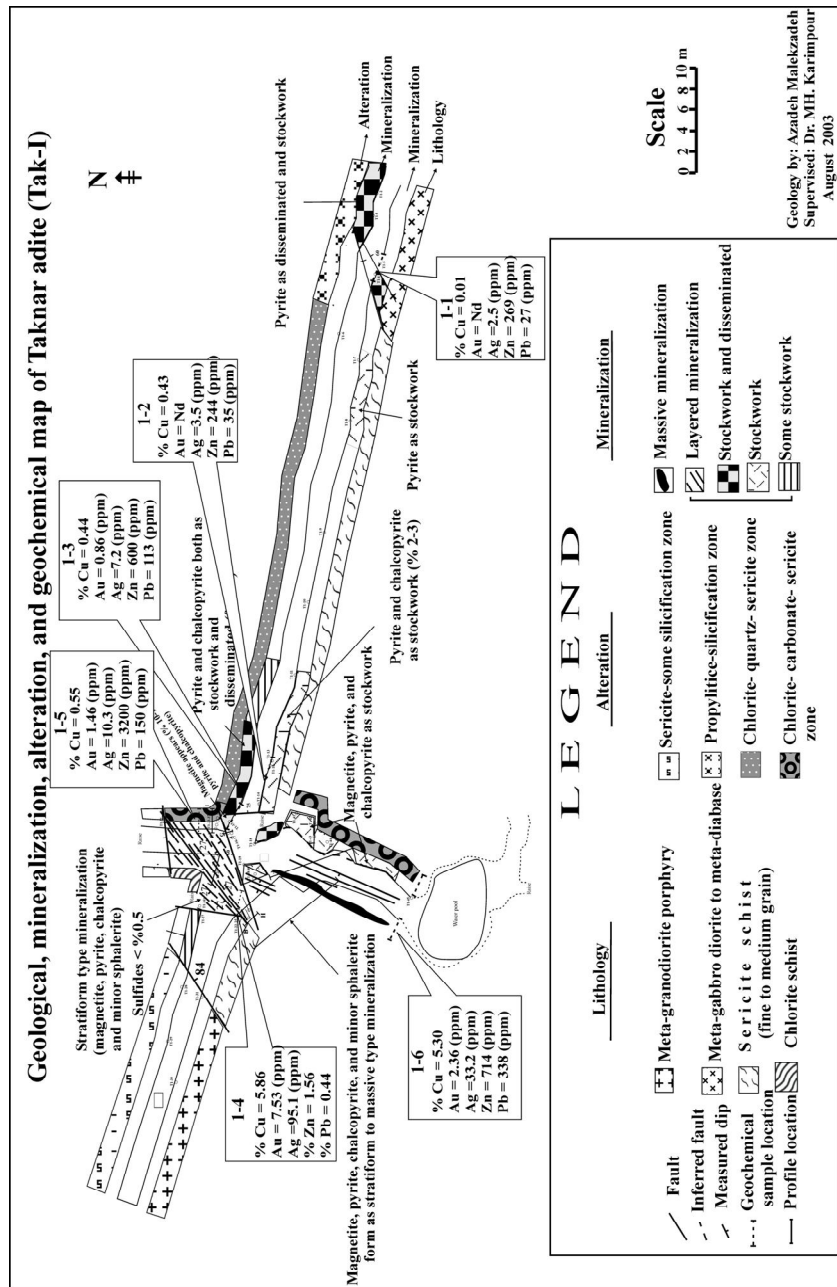
سنگ‌های نفوذی اواسط تا اواخر پالئوزوئیک شامل متاگرانودیوریت پورفیری، متابیوتیت گرانودیوریت پورفیری، متاگابرودیوریت پورفیری، متاگرانیت پورفیری و متاکواتزومونزویت پورفیری است (شکل ۲). توده‌های نفوذی بعد از پالئوزوئیک عبارتند از: کواتزومونزویت تا کواتزومونزودیوریت پورفیری، کواتزومونزویت پورفیری و گرانیت پورفیری [۱۱].

کانی‌سازی

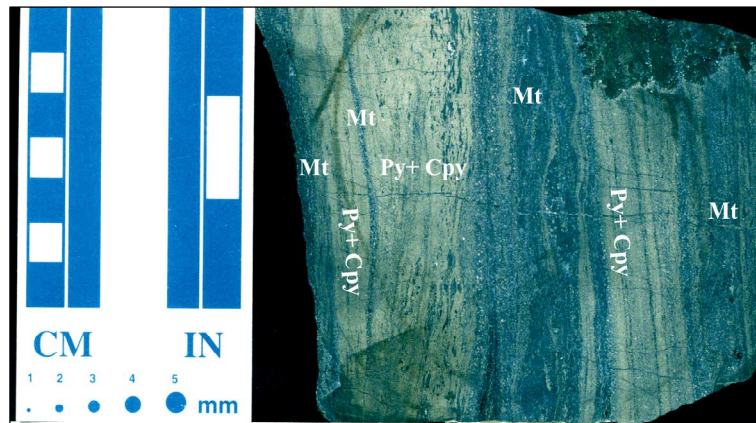
کانی‌سازی ماسیوسولفید تک I به سه حالت لایه‌ای، توده‌ای و به طور محدود داربستی دیده می‌شود. موقعیت سه حالت کانی‌سازی در نمودار ستون چینه‌ای در محدوده تک I نمایش داده شده است.

سه حالت کانی‌سازی در درون تونل غرب آبراهه اصلی تک I (تونل اصلی) به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵). در سطح زمین رخنمونهای محدودی از کانی‌سازی‌های لایه‌ای، توده‌ای و داربستی اکسید شده دیده می‌شود. با عنایت به قدمت کانی‌سازی (اردوسین) و فعالیت گسل‌های درونه و تکنار، ابعاد و موقعیت کانی‌سازی تحت تأثیر گسل‌های منطقه دستخوش تغییرات و جابجایی چشمگیری قرار گرفته است [۱۱]. کانی‌سازی داربستی در شرق و به سمت غرب کانی‌سازی لایه‌ای و توده‌ای قرار گرفته است (شکل ۵).

کانی‌سازی لایه‌ای با کانی‌سازی داربستی در شرق آن، مرز گسلی داشته و کانی‌سازی توده‌ای بر روی آن در غرب قرار گرفته است (شکل ۵). ابعاد کانی‌سازی لایه‌ای در تونل حدود ۹×۲۰ مترمربع است. امتداد لایه‌بندی شمال‌شرقی - جنوب‌غربی و شیب آن ۲۷ درجه به سمت غرب است. ضخامت لایه‌بندی از ۱ تا ۱۵ میلیمتر تغییر می‌کند. لایه‌بندی یا در اثر تغییرات در فراوانی کانی‌های فلزی (شکل ۶) و یا در اثر تغییر در فراوانی‌های کانی‌های فلزی و غیرفلزی (عمدتاً کلریت) ایجاد شده است [۱۱].



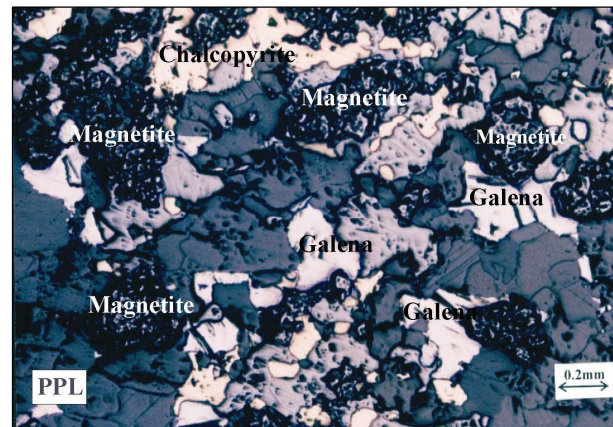
شکل ۵ نقشه زمین شناسی - کانی سازی - دگرسانی - ژئوشیمی تونل تک I [۱۱].



شکل ۶ کانی‌سازی لایه‌ای در نمونه دستی. لایه‌بندی در اثر تغییرات فراوانی کانیهای فلزی سولفیدی و اکسیدی ایجاد شده است.

کانی‌های فلزی این بخش شامل مگنتیت + پیریت + کالکوپیریت $\pm$ اسفالریت $\pm$ گالن $\pm$ سولفوسالت $\pm$ طلا است. مقدار مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت از لایه‌های پایینی به سمت لایه‌های بالایی افزایش می‌یابد. این افزایش در مورد مگنتیت محسوس‌تر است. افزایش کانی‌ها تدریجی نیست، بلکه به صورت کم و زیاد شدن مقدار کانی‌ها از لایه‌ای به لایه دیگر است. در لایه‌هایی که مقدار مگنتیت افزایش یافته، مقدار پیریت و کالکوپیریت کاهش، و در لایه‌هایی که مگنتیت کاهش یافته، پیریت و کالکوپیریت در لایه افزایش می‌یابد. مقدار مگنتیت در لایه‌های فوقانی تا ۶۰٪ می‌رسد. مگنتیت‌ها بیشتر بی‌شکل و به شدت خرد شده و گاهی شکلدارند و در حد ۶٪ الی ۷٪ به هماتیت اکسید شده‌اند (پدیده مارتیتیزاسیون).

مقدار پیریت از ۰/۱٪ تا ۷۵٪ تغییر می‌کند. پیریت‌ها شکلدار بوده و اندازه آنها از ۰/۱ تا ۱/۶ میلیمتر متغیر است. کالکوپیریت کمتر از ۰/۵٪ تا ۵۰٪ در لایه‌های فوقانی افزایش می‌یابد. اسفالریت در حد ۱۰٪ و گالن نیز در حد ۵٪ در لایه‌های فوقانی مشاهده شد. سولفوسالت‌ها ترکیبی از عناصر مس، نقره، بیسموت و سرب هستند. کمتر از ۰/۱٪ از این کانی‌ها در درون گالن دیده شد. با توجه به نتایج ژئوشیمیایی به دست آمده از تک I احتمال وجود مقادیر زیادی از این کانی و نیز طلای طبیعی در بخش لایه‌ای و توده‌ای تک I وجود دارد. کانی‌های غیر فلزی این بخش از کانی‌سازی عبارتند از: کلریت، سرسیت، کربنات و کوارتز (۵-۶٪). در لایه‌های تحتانی میزان کلریت ۱۰٪ تا ۶۰٪، کربنات ۵٪ تا ۳۰٪ و سرسیت ۱٪ تا ۱۵٪ متغیر است. در لایه‌های میانی، کلریت در حد ۳۰٪ و سرسیت در حد ۲۵٪ است. در لایه‌های فوقانی کلریت از ۱٪ تا ۵٪، کربنات ۱٪ تا ۵٪ و سرسیت کمتر از ۲٪ متغیر است [۱۱].



شکل ۷ مگنتیت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن در نمونه بخش توده‌ای.

کانی سازی لایه‌ای به طور تدریجی به کانی سازی توده‌ای تبدیل شده و به سمت غرب به وسیله گسل‌ها بریده می‌شود (شکل ۵). ضخامت ظاهری بخش توده‌ای بین ۱ تا ۳ متر و طول آن حداکثر ۱۲٫۵ متر است. کانی‌های فلزی بخش توده‌ای شامل مگنتیت + پیریت + کالکوپیریت + اسفالریت + گالن $\pm$ سولفوسالت $\pm$ طلا است. توده‌ای بودن این بخش از کانی سازی به علت افزایش مقدار مگنتیت است، و در محل‌هایی که اندکی مقدار کانی‌های سولفیدی افزایش یافته، اندکی لایه‌بندی دیده می‌شود. در واقع در بعضی نقاط حالت توده‌ای- لایه‌ای وجود دارد. مگنتیت‌های بی‌شکل تا ۷۰٪ می‌رسند که در امتداد رخ‌ها و درز و شکستگی‌ها تا ۷ درصد به هماتیت تبدیل شده‌اند. پیریت غالباً کمتر از ۷٪ بوده و در نقاط خاصی به ۲۰٪ می‌رسد. پیریت‌ها شکلدار هستند و اندازه آنها از ۰٫۱ تا ۱٫۶ میلیمتر تغییر می‌کنند. کالکوپیریت نیز غالباً کمتر از ۵٪ بوده و در محل‌هایی با پیریت بالا تا ۱۵٪ می‌رسد. مقدار اسفالریت و گالن از بخش لایه‌ای بیشتر است. کانی سازی غیر فلزی این بخش شامل مقادیری کوارتز، کلریت، سرسیت و کربنات است. مقدار این کانی‌های غیر فلزی به سبب افزایش کانی‌های فلزی به خصوص مگنتیت، بسیار اندک و کمتر از ۵٪ است [۱۱]. تصویر میکروسکوپی از بخش توده‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است.

کانی سازی داریستی به صورت رگچه‌های بسیار محدود (۲ رگچه تا ۱۰ رگچه در واحد متر مربع) و با عرض حداکثر ۱ سانتیمتر در بخش شرقی کانی سازی لایه‌ای مشاهده می‌شود و مرز

سنگ میزبان داربستی‌ها با کانی‌سازی لایه‌ای گسلی است (شکل ۵). سنگ میزبان رگچه‌ها سرسیت شیس‌ها، کلریت سرسیت شیس‌ها و متاگابرو- دیوریت‌ها تا متادیا بازهای سازند تکنار است. تعداد رگچه‌ها از سمت شرق به غرب تونل و به سمت کانی‌سازی لایه‌ای افزایش می‌یابد ولی این افزایش حالت تدریجی ندارد. در بخش‌های شرقی مقدار آنها در حدود ۲ رگچه بر مترمربع و در نزدیکی کانی‌سازی لایه‌ای تعداد رگچه‌ها به یکباره به ۱۰ رگچه بر مترمربع می‌رسد. کانی‌های آن بیشتر شامل پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت است. ماگنیتیت در رگچه‌های نزدیک به کانی‌سازی لایه‌ای نیز ظاهر می‌شود. در بخش داربستی علاوه بر کانی‌های فلزی، کانیهای غیر فلزی مثل کوارتز (تا ۶۰٪ رگچه)، کلریت (حداکثر ۴۰٪ رگچه)، سرسیت (حداکثر ۵۰٪) و اندکی کربنات نیز دیده می‌شود [۱۱].

به علت رخنمون کم کانی‌سازی‌های اولیه در سطح زمین، کانی‌سازی ثانویه زون اکسیدان (زون گوسان) به صورت بسیار محدود دیده می‌شود (شکل ۲). از کانی‌های این بخش مالاکیت، سولفات‌های مس آبدار و اکسیدهای آهن ثانویه شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت است [۱۱].

توالی پاراژنز تک I و ترتیب زمانی تشکیل کانی‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است. این توالی نشان می‌دهد که از قدیم به جدید به ترتیب بخش داربستی، لایه‌ای و توده‌ای و در نهایت در زمان‌های بعد زون اکسیدان تشکیل شده است. در بخش داربستی به ترتیب زمانی نخست پیریت، کالکوپیریت و بعد مگنتیت به وجود آمده و در بخش لایه‌ای و توده‌ای ترتیب تشکیل کانی‌ها به صورت مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و سولفوسالت است. در بخش توده‌ای جلوی سولفوسالت علامت سوالی گذاشته شده است که بیانگر آنست که با وجود دیده نشدن این کانی‌ها در نمونه‌های بخش توده‌ای، با توجه به نتایج ژئوشیمی این بخش از کانی‌سازی، احتمال حضور آنها نیز هست. از کانی‌های غیرفلزی بیشترین مقدار کلریت در لایه‌های زیرین و میانی بخش لایه‌ای و بیشترین مقدار کوارتز در بخش داربستی ملاحظه می‌شود. سرسیت بیشتر در رگچه‌های فوقانی و بخش‌های میانی کانی‌سازی لایه‌ای و کربنات‌ها نیز بر خلاف سرسیت در بخش‌های زیرین و بالایی کانی‌سازی لایه‌ای مشاهده می‌شوند. در مجموع مقدار کانی‌های غیرفلزی به سمت بخش توده‌ای در حال کاهش است [۱۱] (شکل ۸).

Minerals	Mineralization			
	Stockwork	Layered	Massive	Oxidized zone
Magnetite		---	-----	
Pyrite	-----	-----	-----	
Chalcopyrite	-----	---	-----	
Sphalerite			-----	
Galena				
Sulfosalt			...	?
Quartz	-----	-----	-----	
Chlorite		-----	-----	
Sericite	-----	-----	-----	
Carbonate	-----	-----	-----	
Hematite Goethite Limonite Malachite copper sulfates				----- ----- ----- -----
Time →				

شکل ۸ توالی پاراژنز تک I [۱۱].

ژئوشیمی

بیشتر نمونه های ژئوشیمیایی مربوط به کانی سازی ماسیوسولفید پلی متال به روش خرده سنگی از درون تونل جمع آوری شده اند. نمونه ها در بخش لایه ای عمود بر امتداد لایه بندی و در بخش داربستی و توده ای از یک سطح برداشت شده اند. محل نمونه برداری های درون تونل در شکل ۵ مشخص است. نمونه ها برای ۶ عنصر در آزمایشگاه تجزیه معدن مس سرچشمه کرمان به روش جذب اتمی آنالیز شدند. نتایج تجزیه تعدادی از نمونه های برداشت شده از بخش داربستی (درون تونل و سطح آن) در جدول ۱ و بخش های لایه ای و توده ای در جدول ۲ و نیز در نقشه شکل ۵ در محل نمونه برداری آمده است. شکل های ۱۰ تا ۱۵ تغییرات عناصر Au, Ag, Bi, Cu, Zn, Pb را از بخش داربستی به سمت بخش توده ای نشان می دهد. مقدار این عناصر از بخش داربستی به سمت بخش فوقانی کانی سازی لایه ای افزایش می یابد و بالاترین مقدار این عناصر در لایه های فوقانی بخش کانی سازی لایه ای مشاهده می شود (شکل های ۹ تا ۱۴). از این

میان، بیشترین افزایش مربوط به مس و طلاست که مس از ۰/۰۱ به ۵/۸۶ درصد و طلا از ۰/۸۶ به ۷/۵۳ ppm افزایش یافته است (جدول‌های ۱ و ۲). افزایش مس به سمت بخش‌های فوقانی کانی‌سازی لایه‌ای با افزایش مقدار کالکوپیریت رابطه دارد. طلا از رگچه‌های فوقانی بخش داربستی ظاهر می‌شود (شکل ۱۲).

جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه‌های بخش داربستی [۱۱].

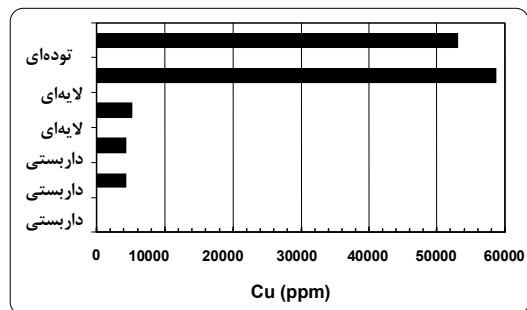
شماره نمونه	%Cu	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Au (ppb)	Ag (ppm)	Bi (ppm)
داخل تونل						
بخش شرقی	۰/۰۱	۲۷	۲۶۹	-	۲/۴	۳۳
بخش وسطی	۰/۴۳	۳۵	۲۴۴	-	۳/۴	۳۴
بخش غربی	۰/۴۴	۱۱۳	۶۰۰	۸۶۰	۷/۲	۶۰
نمونه‌های سطحی						
Tk ₁ -C ₃	۰/۰۲	۵۴	۱۴۳	-	۱/۴	۲۴
Tk ₁ -C ₈	۰/۶۶	۸۲	۴۳۰	-	۲/۵	۹۳

جدول ۲ نتایج آنالیز نمونه‌های بخش لایه‌ای و ماسیو [۱۱].

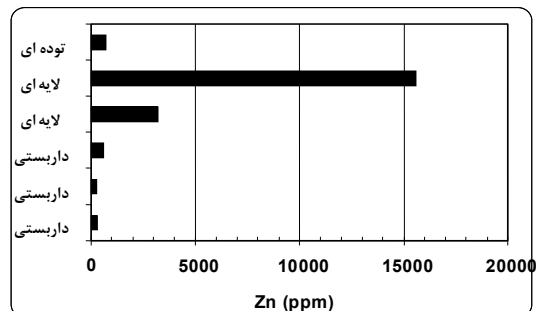
شماره نمونه	%Cu	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Bi (ppm)
بخش لایه‌ای						
قسمت زیرین	۰/۵۲	۱۵۰	۳۲۰۰	۱/۴۶	۱۰/۳	۱۸۲
قسمت فوقانی	۵/۸۶	۴۴۰۰	۱۵۶۰۰	۷/۵۳	۹۵/۱	۲۲۰۰
بخش ماسیو	۵/۳۰	۳۳۸	۷۱۴	۲/۳۶	۳۳/۲	۶۴۲

مقدار بیشتر عناصر روی و سرب با حضور اسفالریت و گالن در بخش‌های فوقانی لایه‌ای و توده‌ای ارتباط دارد. افزایش ۰/۲۲ درصد بیسموت در بخش فوقانی و بالا بودن مس، نقره و سرب شرایط را برای تشکیل کانی‌های سولفوسالت در این افق فراهم کرده است. در بخش توده‌ای، اندکی کاهش در عناصر نامبرده نسبت به بخش لایه‌ای دیده می‌شود (شکل‌های ۹ تا ۱۴). در مجموع دامنه تغییرات عناصر در محدوده تک I به صورت زیر است [۱۱]:

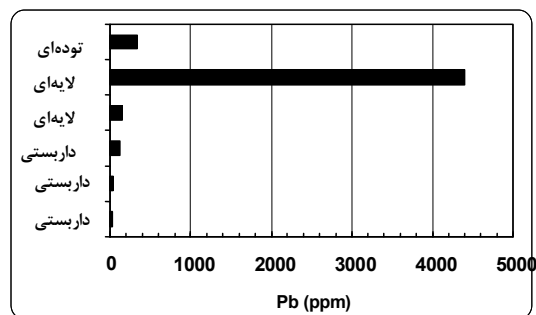
Cu = %0/01 – %5/86, Zn = 269 – 15600 (ppm), Pb = 27 – 4400 (ppm),
Au = 0/86 – 7/53 (ppm), Ag = 2/4 – 95/1 (ppm), Bi = 34 – 2200 (ppm).



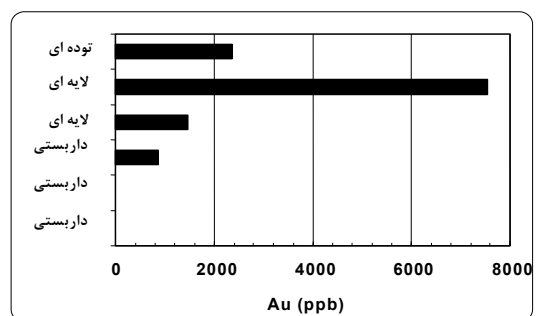
شکل ۹ تغییرات فراوانی مس در بخش‌های مختلف کانی سازی تک I.



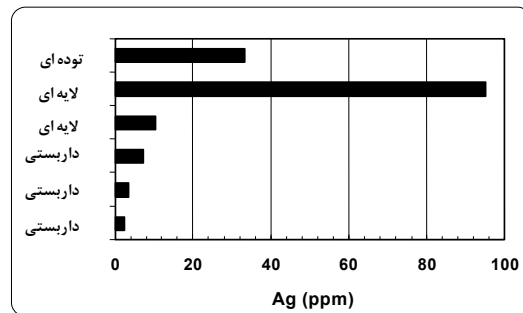
شکل ۱۰ تغییرات فراوانی روی در بخش‌های مختلف کانی سازی تک I.



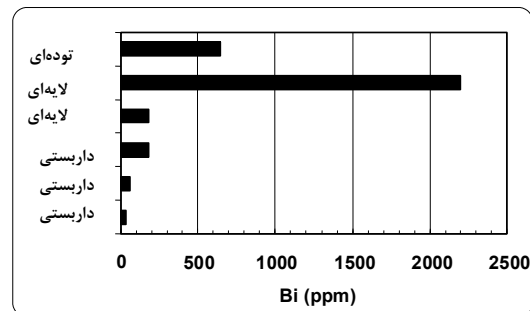
شکل ۱۱ تغییرات فراوانی سرب در بخش‌های مختلف کانی سازی تک I.



شکل ۱۲ تغییرات فراوانی طلا در بخش‌های مختلف کانی سازی تک I.



شکل ۱۳ تغییرات فراوانی نقره در بخش‌های مختلف کانی‌سازی تک I.



شکل ۱۴ تغییرات فراوانی بیسموت در بخش‌های مختلف کانی‌سازی تک I.

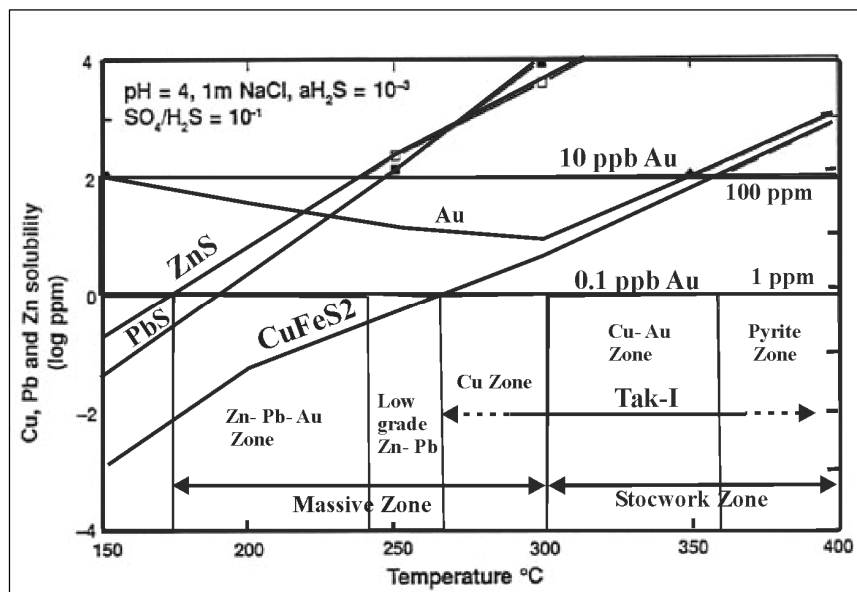
بحث و برداشت

بر اساس شواهد لیتولوژی، دگرسانی، کانی‌سازی، بافت و شکل، ژئوشیمی و ساختمانی، کانسار تکنار یک کانسار ماسیوسولفید است. در بخش داربستی تغییرات کانی‌شناسی با پیریت شروع و با نزدیک شدن به بخش لایه‌ای نخست کالکوپیریت و سپس پیریت-مگنتیت - کالکوپیریت بوده که این خود بیانگر کاهش فوگاسیته سولفور و افزایش فوگاسیته اکسیژن است. در بخش لایه‌ای و توده‌ای نیز با توجه به پاراژنز کانیها و با عنایت به افزایش مقدار مگنتیت به سمت بخش توده‌ای، فوگاسیته اکسیژن به سمت بخش‌های بالای کانی‌سازی در حال افزایش است. براساس تغییرات کلریت، کربنات و سرسیت می‌توان نتیجه گرفت که در بخش داربستی pH محلول اسیدی بوده است. پس از آن در بخش لایه‌های تحتانی، محلول غنی از آهن، منیزیم، کلسیم و کربنات بوده و pH در محدوده محیط خنثی به طرف قلیایی و در بخش میانی با کاهش کلریت و افزایش سرسیت میزان پتاسیم و آلومینیوم افزایش و میزان کلسیم و منیزیم کاهش یافته و pH اسیدی شده و در بخش فوقانی با حذف و یا کم شدن مقدار سرسیت در

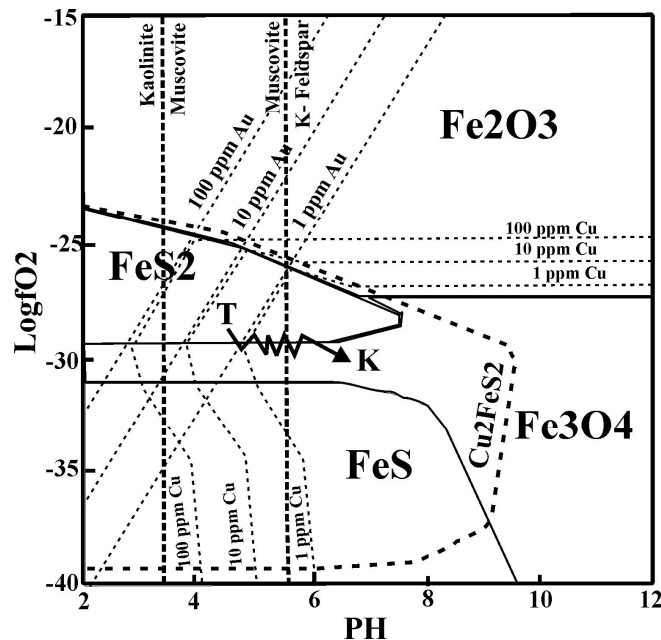
مجموع کانی های غیر فلزی کاهش و بخش اعظم آن را کانی های فلزی تشکیل داده است و شیمی محلول نزدیک به شرایط بخش تحتانی بوده است.

با توجه به پاراژنز کانیها تک I که بیشتر پیریت، کالکوپیریت بوده و مقدار اسفالریت و گالن در آن بسیار کم است و با عنایت به محدوده های دمایی در نظر گرفته شده برای بخش های مختلف کانسارهای ماسیوسولفید بر اساس پاراژنز کانیها [۱۲]، محلول کانی ساز تک I دارای دمایی بالاتر از ۲۷۰ درجه سانتیگراد بوده است (شکل ۱۵) [۱۱]. براساس مجموع کانی های پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، کلریت، سرسیت، کربنات و کوارتز (آنچنانکه فراوانی آنها در بخش های مختلف کانی سازی توضیح داده شد) و عدم حضور پیروتیت در تک I و با استفاده از نمودار $\text{Log } f\text{O}_2\text{-pH}$ (شکل ۱۶) [۱۳]، بهترین مسیر ممکن برای محلول کانی ساز مسیر TK بوده و شرایط فیزیکوشیمیایی محلول تک I به صورت زیر است [۱۱]:

$$\text{pH} = 5 - 7, \text{Log } f\text{O}_2 = (-29) - (-30)$$



شکل ۱۵ نمودار بررسی وضعیت پایداری و نحوه ناپایدار شدن کمپلکس Cu ، Au ، Pb و Zn در شرایط $\text{pH} = 4$ و سایر موارد مشخص شده در شکل ۱۱. محدوده دمایی بخش داربستی و توده ای در کانسار ماسیوسولفید تک I ارائه شده است [۱۱].



شکل ۱۶ نمودار $\text{pH} - \log f\text{O}_2$ در دمای $T = 350^\circ\text{C}$ و سایر شرایطی که در نمودار مشخص شده است. مسیر مناسب TK برای کانسار تک I با توجه به پاراژنزه کانیها مشخص شده است که مسیری نسبتاً اکسیدان است [۱۱].

این کانسار ماسیوسولفید با توجه به مقدار چشمگیر عناصر مس، روی، طلا، نقره و سرب یک کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال است. کانسارهای ماسیوسولفید به ندرت دارای مگنتیت بالا هستند و مقایسهٔ تکنار با تعدادی از ذخایر ماسیوسولفید مگنتیت بالا مانند بالکوما [۱۴ و ۱۵]، گوسان‌هیل [۱۶ تا ۱۸] و ذخایر ناحیه نوراندا در کانادا [۱۹]، نشان می‌دهد که به علت همراه بودن مگنتیت با کانی‌های سولفیدی و نبود پیروتیت، تکنار یک کانسار ماسیوسولفید منحصر به فرد است. از آنجاییکه این کانی‌سازی در یک پنجره زمین‌ساختی و بین دو گسل اصلی درونه و تکنار قرار گرفته است و با عنایت به قدمت کانی‌سازی (اردوئین)، این کانسار دچار تغییرات اساسی در ابعاد و موقعیت خود شده و تحت تاثیر گسل خوردگی فراوان قطعه قطعه شده است. تک I بخشی از این ذخیرهٔ ماسیوسولفید بزرگ است. همچنین دگرگونی ناحیه‌ای و همبری به وقوع پیوسته بعد از کانی‌سازی باعث تغییراتی خصوصاً در دگرسانی این کانی‌سازی شده است. دگرگونی ناحیه‌ای بیشتر باعث سم‌گیری کانی‌های فلزی و غیرفلزی شده و تغییرات ترکیبی در کانی‌ها به وجود نیآورده است و دگرگونی همبری در مواردی باعث تبدیل کلریت به بیوتیت ثانویه و سرسیت به موسکویت شده است.

مراجع

- [1] Muller R., Walter R., "Geology of the Precambrian-Paleozoic Taknar inlier northwest of Kashmar, Khorasan province", (NE-Iran), GSI. Rep. No. 51 (1983) 165-183.
- [2] Forster H., "Associations of volcanic rocks in the mountains South of Sabzevar (NE-Iran)", 23. IGK. 2. (1968) 197-212.
- [3] Lindenberg H.G., Jacobshagen V., "Post-Paleozoic geology of the Taknar zone and adjacent area, Khorasan, (NE-Iran)", GSI. Rep. No. 51, (1983) 145-163.
- [4] Eftekharneshad J., Aghanabati A., Baroyant V., Hamzehpour B., "Geological Quadrangle Map of Kashmar, 1:250,000", (1976) GSI, Tehran.
- [۵] سپاهی گرو علی اصغر، "پترولوژی گرانیتوئیدهای منطقه تکنار-سربرج (شمال غرب کاشمر)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۷۱) صفحه ۲۰۱.
- [۶] همام سید مسعود، "زمین شناسی و پترولوژی سازند تکنار-شمال غرب کاشمر استان خراسان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۷۱) صفحه ۱۲۶.
- [۷] قویدل سیوکی محمد، گفتگوی شفاهی (۱۳۸۲).
- [8] Razzaghamanesh B., "Die Kupfer- Blei- Zink- erzlagestatten von Taknar und ihr geologischer rahmen (NE- Iran)", Diss. Aachen (1968).
- [9] Soltani A., "Geochemistry and geochronology of I-type granitoid rocks in the northeastern Central Iran plate", Ph.D thesis, university of Wollongong (2000).
- [۱۰] اسماعیلی د.، کنعانیان ع.، ولی زاده و.م.، "جایگاه زمین ساختی گرانیت برنورد (تکنار) شمال غرب کاشمر"، چکیده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، مشهد (۱۳۷۷).
- [۱۱] ملک زاده شفاوردی آزاده، "پتروگرافی، مینرالوگرافی و ژئوشیمی کانسار پلی متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار (تک I و II) و ارائه مدل کانی سازی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۲) صفحه ۲۸۷.
- [12] Large R., "Australian Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits: Features, Styles, and Genetic Models", ECONOMIC GEOLOGY 87 (1992) 471- 510.
- [13] Large R., "Chemical Evolution and Zonation of Massive Sulfide Deposits in Volcanic Terrains, ECONOMIC GEOLOGY, v. 72, (1977) p. 549- 572.
- [14] Huston D.L., Taylor T., Fabray J., and Patterson D.J., "A comparison of the Geology and Mineralization of the Balcooma and Dry River South Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Northern Queensland", ECONOMIC GEOLOGY 87 (1992) 785-811.
- [15] Huston D.L., "Aspects of the geology of massive sulfide deposits from the Balcooma district, northern Queensland and Rosebery, Tasmania: Implications for ore genesis", Ph.D. thesis, Univ. of Tasmania (1988).

- [16] Sharpe R., Gemmell J.B., *"The Archean Cu-Zn Magnetite-Rich Gossan Hill Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, western Australia; Genesis of a Multistage Hydrothermal system"*, ECONOMIC GEOLOGY 97 (2002) 517-539.
- [17] Sharpe R., *"Alteration characteristics of the Archean Golden Grove Formation at the Gossan Hill deposit: Induration as a focusing mechanism for mineralizing hydrothermal fluids"*, ECONOMIC GEOLOGY 96 (2001) 1239- 1262.
- [18] Sharpe R., *"The Archean Cu-Zn magnetite-rich Gossan Hill VHMS deposit, Western Australia: Evidence of a structurally- focused, exhalative, and subsea-floor replasment mineralizing system"*, Ph.D. thesis, University of Tasmania, Hobart, Tasmania (1999).
- [19] Morton R.L., Franklin J.M., *"Two-fold classification of Archean Volcanic- Associated Massive Sulfide Deposits"*, ECONOMIC GEOLOGY 82 (1987) 1057-1063.