

ویژگیهای ژئوشیمیایی، سرشت و خاستگاه طلا و نقره ژرف زاد در کانسار مس پورفیری سرچشمه کرمان

نوشته: بهنام شفیعی*، دکتر جمشید شهاب پور* و محمود سعدلو**

Geochemical characteristics, nature, and genesis of hypogene gold and silver in the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Kerman

By: B.Shafiei*, Dr.J.Shahabpour* and M.Sadloo**

چکیده

کانسار مس پورفیری سرچشمه در بخش جنوب خاوری کمربند تکتونو-ماگماتی ایران مرکزی و در استان کرمان جای گرفته است. این کانسار از ذخیره ۱۲۰۰ میلیون تن کانسنگ سولفوری با عیار میانگین ۰/۷٪ مس و ۰/۰۳٪ مولیبدن برخوردار است. بر پایه این پژوهش، عیار میانگین واقعی طلا و نقره کانسار به ترتیب ۰/۰۶ و ۱/۱۴ گرم در تن است. در بخش ژرفزاد کانسار، عیار میانگین طلا ۰/۰۴ گرم در تن و نقره ۰/۹۷ گرم در تن است. بیشترین عیار این عناصر در بخش‌های نگرسانی فیلیک شدید \pm آرژیلیک در استوک سرچشمه و بیوتیتی شدید در آندزیت‌ها رخ داده که بر مکان مس پرمهار منطبق است. همبستگی مثبت و قوی بین طلا با مس ($r=0.7$)، طلا با نقره ($r=0.6$) و نقره با مس ($r=0.5$) نشان‌دهنده شرایط همسان پدایش و تنشینی همزمان طلا و نقره با مس بصورت غیرقابل رویت و محلول جامد در ساختار کلکوپیریت و همچنین حضور احتمالی ترکیبی از طلا و نقره قابل رویت به شکل الکتروم یا طلای خالص فقیر از نقره است. برپایه الگوی خاستگاهی ارائه شده پیشنهاد می‌شود که کانی‌سازی ژرفزاد طلا و نقره به مانند مس وابسته به یک فرایند گرمایی - نگرسانی خاص نبوده است؛ بلکه در طی روند تکامل سیستم پورفیری، زایش این عناصر فزونی یافته است؛ آن چنان که در گام‌های پایانی تکوین سیستم، کانی‌سازی پرمهار طلا و نقره را در چهره رگ‌های اپی‌ترمال ایجاد کرده است. این پژوهش نشان داد که کانسار سرچشمه یک کانسار مس پورفیری فقیر از طلا است و ویژگی‌های بارز نیکری چون ذخیره عظیم، ریخت‌شناسی کلاسیک، مقادیر بسیار جزئی منیتیت در بخش نگرسانی پتاسیک (۰/۴٪) و عیار بسیار بالای مولیبدن، این کانسار را گونه‌کاملی از کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری معرفی می‌کنند که برخاسته از ماگماتیسم کالک آکالین در جاهگاه حاشیه‌قاره‌ای است.

واژه‌های کلیدی: مس پورفیری، ویژگی‌های ژئوشیمیایی، سرچشمه، کرمان

Abstract

The Sar Cheshmeh porphyry copper deposit is located in the southeastern part of the central Iranian tectono - magmatic belt, in Kerman province. This deposit has a sulfide ore reserve of 1200 million tonnes, and contains an average grade of 0.7% copper and 0.03% molybdenum.

Based on this study, the actual average gold and silver grades are respectively 0.04 g/t and 0.97 g/t. The highest gold and silver grades occur in the intense phillite ± argillic Sar Cheshmeh stock and also in the intense biotitic andesite, and have the same distribution as the high hypogene copper grade.

The strong positive correlation between Au and Cu ($r = 0.7$), Au and Ag ($r = 0.6$) and Ag and Cu ($r = 0.5$), indicates similar condition of formation, and co-precipitation of gold and silver with copper in the form of invisible grains, solid solution in the chalcopyrite and probable presence of a visible gold and silver in the form of electrum or Ag poor native gold.

According to the genetic model proposed here, unlike copper, the hypogene gold and silver mineralization is not limited to a particular hydrothermal - alteration process. Perhaps during evolution of the porphyry system, deposition of Au and Ag gradually increased, and in the final stages, Au and Ag appeared in the form of epithermal veins. This study indicates that the Sar Cheshmeh deposit is a gold- poor porphyry copper deposit, and some clear particulars like: huge tonnage, classic morphology, the scarcity of magnetite in the potassic alteration zone (0.4%), and the high grade of molybdenum, introduce this deposit as a perfect type - example of a PCD-Mo, which is related to the calc- alkaline magmatism in continental margin setting.

Key Words: Porphyry copper, Geochemical characteristics, Sar Cheshmeh, Kerman

پیش تر آمد

نزدیک به ۱۱۰۰ میلیون تن کانسنگ سولفوری با عیار ۰/۶۱ درصد مس است و کانی‌های سولفوری اصلی این بخش کلسوپیریت، مولیبدنیت و پیریت با مقادیر جزئی بورنیت است. بخش عمده کانی‌سازی ژرف‌زاد مس و مولیبدن در فصل مشترک آنزیت‌های با دگرسانی بیوتیتی شدید و فیلیک شدید ± آرژیلیک در استوک سرچشمه رخ داده است (شکل ۲-ج)

(Shahabpour 1982, Etminan 1977, Waterman and Hamilton 1975) کانی‌سازی در بخش برین‌زاد، نو بخش فروشست - اکسید و سولفوری پرمایه شده ثانویه را شامل می‌شود. بخش فروشست - اکسید با ستبرای میانگین ۲۶ متر، از ۲۷ میلیون تن کانسنگ مس با عیار ۰/۶۲٪ برخوردار است. بخش سولفوری پرمایه شده ثانویه با ستبرای میانگین ۲۷ متر، شامل ۱۱۱ میلیون تن کانسنگ سولفوری پرمایه شده مس با عیار میانگین ۱/۵٪ است. کلسوسیت کانی سولفوری اصلی این بخش از کانسار است (Waterman and Hamilton 1975). برپایه بررسی‌های ایزوتوپ سرب، کانسار سرچشمه در موقعیت زمین ساختی حد واسط بین جزایر قوسی بالغ و اولیه قرار گرفته است. (Shahabpour and Kramers 1987).

این نوشتار که به عنوان بخشی از پژوهش بنهادی - کاربردی مطالعه رخداد، پراکنگی ژئوشیمیایی و مدل فلززایی طلا و نقره در کانسار مس

کانسار مس پورفیبری سرچشمه در بخش جنوب خاوری کمربند تکنو- ماگماتی ایران مرکزی و در مجموعه آتشفشانی - رسوبی پاریز از کمربند نهج - سارنوئیه استان کرمان جای گرفته است (شکل ۱). این کانسار به سان یک بیضی و با ابعاد ۲۰۰۰ متر برآزا و ۹۰۰ متر پهنا و ذخیره‌ای نزدیک به ۱۲۰۰ میلیون تن کانسنگ مس با عیار ۰/۷٪ مس و ۰/۰۲٪ مولیبدن، بزرگترین کانسار مس ایران و قابل مقایسه با کانسارهای بزرگ چون چوکی کاماتاشیلی و بینگهام آمریکا است. کانی‌سازی در کانسار سرچشمه در وابستگی با نفوذ استوک گرانودیوریتی سرچشمه، به سن مهوسن با سرشت سنگ‌شناختی کالک آکالین، به ترون آنزیت‌های دانه ریز پورفیبری ائوسن است (شکل ۲-الف). الگوی دگرسانی ژرف‌زاد (Hypogene) در کانسار سرچشمه همسان با کانسارهای گونه لوول - کپلبرت است، آنچنان که هاله‌های دگرسانی از مرکز سیستم پورفیبری به طرف بیرون، به گونه پتاسیک (پتاسیک + بیوتیتی)، فیلیک و پروپیلیتیک است (شکل ۲-ب). دگرسانی آرژیلیک در این کانسار بسیار ضعیف رخ داده است

(Shahabpour and Kramers 1978, Shahabpour 1986, Etminan 1977, Waterman and Hamilton 1975)

کانی‌سازی در کانسار سرچشمه در نو گونه ژرف‌زاد و برین‌زاد (Supergene) رخ داده است. کانی‌سازی در بخش ژرف‌زاد در بردارنده

پورفیری سرچشمه به رشته تحریر درآمده است، به مطالعه رفتار، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و خاستگاه طلا و نقره در بخش ژرف‌زاد کانسار سرچشمه پرداخته است، زیرا با توجه به اینکه بخش اعظم ذخیره کانسار سرچشمه، مربوط به بخش ژرف زاد است این مقاله می‌تواند با مشخص کردن جایگاه راستین زمین‌شناسی اقتصادی و صنعتی طلا و نقره، به زمین‌شناسان صنعتی و مهندسی معین جهت بازیابی این عناصر ارزشمندی یاری رساند.

روش مطالعه

تعداد ۴۱ نمونه کانسنگ ژرف‌زاد از سنگهای میزبان کانسار یعنی استوک سرچشمه و سنگ بیواره آندزیتی از ۱۰ عند حفاری الماسی و همچنین جبهه‌های استخراج معین با توجه به نوع دگرسانی و میزان کانی‌سازی آنها برداشت گردید و پس از آماده‌سازی برای ۱۲ عنصر طلا، نقره، مس، مولیبدن، آرسنیک، آنتیموان، سرب، روی، آهن، گوگرد، پتاسیم و سیلیسیم مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. همچنین به منظور مشخص شدن نحوه چگونگی پیدایش طلا و نقره، مطالعات میکروآنالیز الکترون پروب (EPMA) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نیز انجام گردید.

ویژگی‌های ژئوشیمیایی طلا و نقره

بحث:

بر پایه محاسبات، پردازش آماری و تجزیه و تحلیل‌های ژئوشیمیایی داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی تعداد ۴۱ نمونه کانسنگ از بخش ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون، عمده نمونه‌ها از لحاظ طلا و نقره غنی شدگی نشان می‌دهند و توزیع آماری آنها از نوع غیرعادی با تمایل مثبت است که نشان‌دهنده کانی‌سازیهایی مرتبط با فرآیندهای گرمایی-دگرسانی است؛ لیکن با توجه به اقتصادی بودن کانسار، این مفاهیم آماری دور از انتظار نیست، دامنه داده‌ها برای طلا از ۵/۲ تا ۱۲۰ میلی‌گرم در تن (ppb) و نقره از ۱۴۰ تا ۵۵۰۰ میلی‌گرم در تن (ppb) متغیر است و بالاترین عیار طلا و نقره مربوط به یک نمونه از رگه اپی ترمال است که میزان طلای آن ۵۰۰ گرم در تن (ppm) و میزان نقره آن ۲۰۰ گرم در تن (ppm) است. برپایه محاسبات مربوط به عیار میانگین (بلون احتساب رگه اپی ترمال)، بخش ژرف زاد کانسار سرچشمه بطور میانگین از ۴۰ میلی‌گرم در تن (ppb) طلا و ۹۷۲ میلی‌گرم در تن (ppb) نقره برخوردار است و با توجه به عیار میانگین محاسبه شده برای کل کانسار (جدول ۱) کانسار سرچشمه با عیار میانگین ۰/۰۶ گرم در تن طلا و ۱/۱۴ گرم در تن نقره، در شمار

کانسارهای مس پورفیری فقیر از طلا و نقره قرار می‌گیرد. در جدول ۲ عیار میانگین طلا، نقره، مس، مولیبدن و پتاسیم به تفکیک در کانسنگهای ژرف زاد استوک سرچشمه و آندزیت با دگرسانی‌های گوناگون محاسبه و به صورت نمودارهایی در شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانگونه که از داده‌های این جدول و این شکلها مشخص است کانسنگ استوک سرچشمه با دگرسانی فیلیک شدید \pm آرزپلیک و کانسنگ آندزیتی با دگرسانی بیوتیتی شدید بطور میانگین از بالاترین میزان طلا و نقره در بخش ژرف زاد کانسار برخوردارند. پرمایه بودن این کانسنگها از طلا و نقره در ارتباط با بالا بودن عیار مس و مولیبدن در این مجموعه دگرسانی‌های ژرف زاد کانسار می‌باشد. کانسنگ آندزیتی با دگرسانی پروپیلتیک و کانسنگ استوک سرچشمه با دگرسانی پتاسیک، از این عناصر کم مایه می‌باشند.

وابستگی افزایش عیار طلا و نقره به افزایش شدت متاسوماتیسم پتاسیم و عیار مس در شکل ۶ ارائه شده است. همانگونه که در این نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش میزان پتاسیم و مس از دگرسانی پتاسیک بطرف دگرسانی فیلیک ضعیف - متوسط تا شدید در استوک سرچشمه و همچنین از دگرسانی بیوتیتی ضعیف بطرف دگرسانی بیوتیتی شدید در آندزیتها، بر میزان طلا و نقره افزوده می‌شود؛ آن چنان که بیشینه عیار این دو عنصر در بخش ژرف زاد، در فصل مشترک آندزیت‌های بیوتیتی شدید (Ag: ۲۴۰ ppb ; Au: ۹۴ ppb) و استوک سرچشمه با دگرسانی فیلیک قهقرائی شدید (Ag: ۵۵۰۰ ppb ; Au: ۱۲۰) است که بر مبنای پرمایه مس ژرف زاد منطبق است. در شکل ۷ ارتباط طلا و نقره با مولیبدن نشان داده شده است. در این نمودار روند مثبت و خوبی بین افزایش طلا و نقره با افزایش مولیبدن از دگرسانی پتاسیک و بیوتیتی ضعیف بطرف دگرسانی بیوتیتی شدید و فیلیک وجود دارد. این مطلب به همراه همبستگی مثبت بین طلا و مولیبدن ($r=0.4$)، از مهمترین ویژگی‌های ژئوشیمیایی طلا در این کانسار است و از این نظر کانسار سرچشمه یک استثناء محسوب می‌شود؛ زیرا برخلاف دیدگاه (Cox and Singer, 1988) که بین طلا و مولیبدن در کانسارهای مس پورفیری همبستگی منفی قائل شده‌اند، در این کانسار خلاف این موضوع مشاهده می‌شود. همبستگی مثبت بین طلا و نقره با مولیبدن و سیلیسیم در کانسار سرچشمه نشانگر این است که کانسنگهای سرشار از مولیبدن به ویژه در دگرسانی سیلیسی از لحاظ طلا و نقره نیز پرمایه‌اند و این مهم می‌تواند نقش فرآیند سیلیسی شدن را در تمرکز طلا و مولیبدن به ویژه در رگه‌های سیلیسی نشان دهد. در شکل ۸ ارتباط طلا و نقره با یکدیگر نشان داده شده است که روندی صعودی و مثبت بین این دو عنصر را نشان

باطله از نوع قابل رویت است که تأیید کننده ضریب همبستگی یاد شده و پیدایش این شکل از کانی‌سازی طلا و نقره در کانسار سرچشمه است. همبستگی مثبت و قوی نقره با عناصر طلا، مس، آرسنیک و آنتیموان در بخش ژرف زاد می‌تواند نشان دهنده حضور بخشی از نقره کانسار در ساختار کانی قابل رویت طلا با در ساختار محلول جامد تترامپریت - تنانتیت یا رخدانهایی از رگه‌های اپی‌ترمال پرمایه از طلا و نقره در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی در سیستم مس پور فیری سرچشمه باشد. براساس مطالعه میکروآنالیز الکترون پروب نمونه‌ای از رگه اپی‌ترمال، حضور ترکیبی از طلا و نقره به نام الکتروم و همچنین حضور نقره در ساختار تنانتیت در این رگه مشخص گردید که تأیید کننده ضرایب همبستگی یاد شده است (شکل ۱۱ و ۱۲). حضور مقابله‌ی زیاد از آرسنیک و آنتیموان همراه با طلا و نقره در لجن الکترولیز پالایشگاه نشان دهنده حضور این کانیها در مسیر تولید مس و سرانجام حمل بخشی از نقره کانسار بوسیله این کانیها است. همچنین تجزیه شیمیایی سه نمونه کنسانتره پیریتی با خلوص ۷۵٪ سولفور از کانسنگهای ژرف زاد، میزان طلای آنرا ۲ تا ۹ میلی‌گرم بر تن (ppb) مشخص کرد. تحقیقات با فن‌آوری SIMS بوسیله Salari Rad et al. (1999) حضور طلا در پیریت را مشخص کرده است، اما برخلاف آنچه که در کانسار سرچشمه متصور بوده، پیریت از لحاظ طلا فقیر و ارزشمندی حضور طلا در آن قابل مقایسه با کلکوپیریت نیست.

خاستگاه

پس از تزریق و جایگزینی استوک گرانوپوریتی سرچشمه با حرارت 700°C و فشار سیالات ۱۵۰۰ بار در ژرفای نزدیک به ۴ کیلومتری (Etminan 1977)، تبلور آغاز می‌شود. ادامه تبلور در بخش نرونی توده و پیدایش کانی‌های بدون آب و دمای بالا، باعث پرمایه شدن ماگمای باقیمانده از آب، مواد فرار، پتاسیم، مس، طلا، نقره و مولیبدن می‌شود. از آنجا که تبلور فرآیندی گرم‌زا است، مقداری زیاد انرژی گرمایی تولید، و این انرژی گرمایی صرف انبساط سیالات و افزایش فشار می‌شود و در نتیجه بواسطه چیره شدن این فشار بر فشار لیتواستاتیک، خردشدگی شدید در نوک استوک و سنگهای آندزیتی میزبان پدیدار می‌شود. در این زمان به سبب پایین آمدن فشار سیالات، پدیده‌ای بنام جوشش قهقرایی (Retrograde Boiling) رخ می‌دهد و بواسطه این فرآیند، عمل جدایش در سیالات انجام می‌گیرد و دو فاز شوراب و بخار از یکدیگر جدا می‌شوند (Gammons and Williams Jones 1997). گواه بر رخداد فرآیند جوشش قهقرایی در کانسار سرچشمه، بودن نوع سیال لرگه‌ها در رگه‌های

می‌دهد؛ آن چنان که با افزایش میزان طلا از نگرسانی پتاسیک و بیوتیتی ضعیف بطرف نگرسانی فیلیک شدید و بیوتیتی شدید بر میزان نقره نیز افزوده می‌شود. به سخن دیگر کانسنگهای سرشار از طلا، از نقره نیز پرمایه‌اند که این مطلب نشان‌دهنده شرایط مشابه تشکلی و غنی‌شدگی این عناصر می‌باشد.

الگوی پراکندگی ژئوشیمیایی و روند تغییرات ژرفی عیار این عناصر در کانسنگهای استوک سرچشمه و آندزیت مربوط به بخش ژرف زاد کانسار (شکل ۹) از مس پیروی می‌کند و در مکانهای پرمایه مس، عیار طلا و نقره کانسار نیز بالا است آن چنان که بخش حد واسط بین استوک سرچشمه با نگرسانی فیلیک شدید و آندزیتها با نگرسانی بیوتیتی شدید، مکان به‌شینه عیار طلا، نقره، مس و مولیبدن است؛ و مناطق سطحی (آندزیت‌های بیوتیتی ضعیف) و ژرف (استوک سرچشمه پتاسیک) بخش ژرف زاد کانسار از این عناصر فقیرند.

بر پایه محاسبات همبستگی خطی (جدول ۲)، همبستگی طلا با مس ($r=0.17$)، طلا با نقره ($r=0.16$) و نقره با مس ($r=0.15$) در بخش ژرف زاد مثبت و قوی است. این وابستگی قوی ژئوشیمیایی مطابق Eliopoulos and Eliopoulos (1991) و Cygan and Candela (1995) نشان دهنده پیدایش همزمان طلا و نقره با مس است و می‌تواند نشان‌دهنده کانی‌سازی طلا و نقره غیرقابل رویت (Invisible) بصورت محلول جامد در ساختار کلکوپیریت یا کانی‌سازی ترکیبی از طلا و نقره قابل رویت (Visible) به نام الکتروم یا طلای خالص فقیر از نقره بصورت انخال در نرون کلکوپیریت یا بصورت دانه‌های مستقل باشد. پژوهش‌های انجام شده توسط Salari Rad et al. (۱۹۹۹) با فن‌آوری Secondary Ion Mass Spectrometer (SIMS)، حضور طلا به صورت پراکنده در ساختار کلکوپیریت نشان داده است (شکل ۱۰). درگیری طلا در ساختار کریستالی کلکوپیریت به حدی فشرده است که احتیاج به درجه آزادی بسیار پائینی دارد و این عامل باعث انتقال طلا به صورت محصول فرعی در کنسانتره مس تا مرحله نهایی پالایش و سرانجام جدایش و تعدیسی آن در لجن الکترولیز پالایشگاه می‌شود. ترکیب طلا و نقره قابل رویت به نام الکتروم یا طلای خالص فقیر از نقره در صورتی که به شکل انکلوزیون حضور داشته باشد، ضمن خردایش کلکوپیریت (تا حد ۲۰۰ مش) در کارخانه تغلیظ از این کانی جدا و به همراه دانه‌های مستقل این ترکیب (الکتروم یا طلای خالص) به دلیل رفتار مشابه با پیریت در مقابل فرآیندهای شناورسازی (Gaudin 1975) به همراه پیریت در کف سلولهای شناورسازی بازداشت (Depress) و سرانجام به باطله منتقل می‌شود. پژوهش‌های Salari Rad et al. (1999) نشان داده است که بخش عمده طلای

و طلای خالص توسط Salari Rad et al. (1999) در کانسار سرچشمه گزارش شده است. همبستگی مثبت و قوی طلا با نقره ($r=0.6$) در بخش ژرفزاد می‌تواند نشاندهنده حضور ترکیبی از طلا و نقره بصورت خالص یا الکتروم بشکل آزاد یا ادخال‌هایی در کلکوپیریت باشد. این همبستگی قوی همچنین ممکن است مطابق نظر Barton (1980) نشاندهنده ساختار محلول جامد نقره - طلا $[Au(I)-Ag(I)]$ بصورت ترکیب آرژانتیت (Ag_2S) در بخش ژرفزاد کانسار سرچشمه باشد. در ادامه تکوین سیستم، فاز بخار که در نتیجه فرایند جوشش از فاز شوراب جدا و از مواد فرار اسیدی و فازهای گازی احیاء کننده (H_2S - CO_2 - CO_2 - HCl) اشباع شده است، بصورت ستون‌هایی از بخارات پرمایه از H_2S با دانسیته، شوری، و حرارت کمتر بطرف مناطق کم ژرفا و بالای سیستم صعود می‌کند، شوری و دمای کم سیالات این فاز توسط Etminan (1977) اثبات شده است. صعود این بخارات و آمیختگی آن با سیستم همرفتی آبهای جوی در سنگهای همبر که بواسطه حرارت استوک ایجاد شده‌اند باعث غلیظ شدن این سیال شمال جوی از H_2S می‌شود. غلیظ شدن و افزایش دانسیته این سیال ضمن حرکت همرفت، باعث تبخیر کانیهای آهن‌دار اکسیدی و سیلیکاتی به پیریت و تبدیل پلاژیوکلاز و بیوتیت‌های بخشهای خارج‌تری نگرسانی پتاسیک به سریسیت می‌شود (Evans, 1993; Gammons and Williams Jones 1997) و نگرسانی فیلیک قهقرائی را ایجاد می‌کند. ریزش این سیستم هیدروترمال جوی - فیسیلی پرمایه از H_2S بر روی سیستم ماگمایی رو به زوال (فاز شوراب) و مخلوط شدن با آن، ضمن کاهش بزرگ حرارت (کمتر از $350^\circ C$) و فعال بودن کمپلکس‌های بی‌سولفوری، در این حرارت باعث شسته شدن، تحرک نوباره و افزایش حلالیت مس - طلای ژرف زاد نهشته شده در نگرسانی پتاسیک و افزایش عیار در نگرسانی فیلیک قهقرائی می‌شود. وجود رگچه‌های هیبریدی یعنی رگچه‌های پتاسیک با هاله سریسیتی و افزایش عیار مس (Shahabpour 1982) و همجواری نو نوع سیال برگبر یکی فاز مایع با شوری بارز و نیگری فاز گاز با شوری کم در رگچه‌های موجود در نگرسانی پتاسیک کانسار سرچشمه (Etminan 1977) تقویت کننده این مرحله از تکامل فلززایی طلا و مس در سیستم پورفیری سرچشمه است. مکانیسم‌های مؤثر ته‌نشینی و افزایش عیار در این بخش ناشی از تماس بین این نو سیستم گرمایی است که عبارتند از: سرد شدن، کاهش pH، رقیق شدن، کاهش بون بی‌سولفور و ایجاد شرایط اکسیدان (Evans, 1993; Gammons and Williams Jones 1997). همچنین ممکن است در همین زمان سیال بی‌سولفوری (فاز بخار) بواسطه غلظت، شوری و دمای پایین به اطراف سیستم مهاجرت کند. این مهاجرت و آمیختگی با

پتاسیک (Etminan 1977) است. وجود نو نوع سیال برگبر یکی فاز مایع با شوری بارز ($55\% NaCl$) و نیگری فاز گاز با شوری کم در کنار یکدیگر در رگچه‌های پتاسیک، نشاندهنده حبس شدن سیالات در نقطه جوش و حضور نو فاز شوراب و بخار در پیدایش و تکوین کانسار مس پورفیبری سرچشمه است. بر این پایه، می‌توان مدل متالورژی طلا در کانسار سرچشمه را با مدل جوشش (Boiling Model) (Gammons and William Jones 1977) مقایسه و بررسی کرد. ضمن فرایند جوشش قهقرائی، اجزاء فرار اسیدی (H_2S - HCl - SO_2 - CO_2) به فاز بخار و اجزاء قلیایی ($NaCl$ - KCl)؛ (Drummond and Ohmoto 1985) به فاز شوراب وارد می‌شوند. در نتیجه فاز شوراب از پتاسیم، کلر، گوگرد، مس، طلا، نقره، مولیبدن، آب و... پر بار می‌شود. یون کلرید باعث غلظت بسیار زیاد در فاز شوراب ($55\% NaCl$)، با توجه به دمای بسیار بالای پیدایش و ته‌نشینی مس در کانسار سرچشمه ($650^\circ C$ تا $250^\circ C$) (Etminan 1977) از دیدگاه (Barnes 1979), (Jones 1992), (Gammons and Williams Joaes 1997) نقش انتقال عناصر مس، طلا، نقره و پتاسیم را در فاز شوراب بر عهده دارد. این نظر با ضریب همبستگی مثبت و قوی طلا با مس ($r=0.7$) نقره با مس ($r=0.5$)، طلا با نقره ($r=0.6$) و همبستگی مثبت و قوی طلا با پتاسیم ($r=0.6$)، مس با پتاسیم ($r=0.7$) و نقره با پتاسیم ($r=0.4$) در بخش ژرف زاد کانسار سرچشمه منطبق است. فاز شوراب بدلیل غلظت و چگالی بالا در مرکز سیستم پورفیبری و نزدیک ماگمای مانر و سنگهای میزبان (بخش جوشش) با کاهش دما ($650^\circ C$ تا $250^\circ C$)، افزایش pH و احیاء شدگی سیال در ژرفا، ضمن ایجاد نگرسانی پتاسیک و بیوتیتی، باعث ته‌نشینی مس، طلا و نقره در این دامنه حرارتی می‌شود. یون بی‌سولفور موجود در شوراب، گوگرد مورد نیاز برای ته‌نشینی مس کلکوپیریت‌های طلا‌دار را فراهم می‌کند. طلا بدلیل ضریب همبستگی مثبت و قوی با مس ($r=0.7$)، در ساختار کریستالی کلکوپیریت حضور دارد، براین پایه و مطابق نظر (Candela 1996; Gammons and William Jones 1997; Cygan and Candela 1995) این گفته نشاندهنده ته‌نشینی و پیدایش همزمان طلا با مس در دماهای بالا ($650^\circ C$ - $250^\circ C$) است و این کانی‌سازی طلا در کانسار مس سرچشمه از گونه پورفیبری بشمار می‌آید. از دیدگاه (Candela 1996) در (Gammons and Williams Jones, 1997) ممکن است بخشی از طلا از ساختار محلول جامد طلا - کلکوپیریت $[Cu(I)-Au(I)]$ با کاهش حرارت (از $650^\circ C$ - $250^\circ C$) جدا و منجر به پیدایش طلای خالص (Native Gold) شود. حضور کلکوپیریت‌های طلا‌دار

(Alavi 1994; Ahmad and Posht Kouhi 1993; Berberian and Berberian 1981; Takin 1972)

جای گرفته است. مطالعات ایزوتوپی سرب (Shahabpour and Kramers (1987) موقعیت زمین‌ساختی کانسار سرچشمه را حد واسط میان جزایر قوسی بالغ و اولیه (حاشیه قاره‌ای نابالغ) تعیین کرده است. وجود عیار بسیار بالای مولیبدن (۰.۲٪) و کم مایه بون کانسار از لحاظ طلا (0.06 g/t)، معلول بحالت پوسته قاره‌ای در فراگرد پیدایش و تکوین کانسار سرچشمه است. وجود بنیان قاره‌ای می‌تواند یکی از دلایل کم‌مایه بون کانسار سرچشمه از لحاظ طلا باشد.

سرشت سنگ شناختی توده نفوذی خاستگاه کانسار

برپایه مطالعه (Waterman and Hamilton (1975), Etminan (1977), Ghorashi-zadeh (1978) و ابن پژوهش، توده نفوذی کانسار سرچشمه از بینگاه ترکیب، گرانوئوریت و سرشت کالک آلکالین دارد. Muller et al. (1994), Barrie (1993), Lowell (1989), Hollister (1975) براین باورند که کانسارهای مس پورفیبری پرمایه از طلا بوسیله توده‌های نفوذی کالک آلکالین پرتاسیم و آلکالین همراهی می‌شوند، اما Sillitoe (1979), Cox and Singer (1988) عامل ترکیب شیمیایی و سرشت ماگمایی توده نفوذی خاستگاه کانسار را عاملی تعیین کننده بر کنترل کانی‌زایی طلای این نخبه نمی‌دانند. (William Jones and Gammons (1997) نشان داده‌اند که حلالیت کمپلکس‌های کلروری طلا در سیالات پرمایه از پتاسیم بدلیل بالا بودن نسبت K/Na و در نتیجه افزایش میزان شوری سیال، بسیار زیاد انجام می‌گیرد (حدود ۱۰ ppm). تعنشتی طلا از چنین سیال سرشار از پتاسیم که از ماگمای پتاسیک منشاء گرفته است باعث کانی‌سازی پرمایه از طلا در مرکز سیستم‌های مس پورفیبری می‌شود و کانسارهای مس - طلای پورفیبری را ایجاد می‌کند. براین پایه، گمان می‌رود که محتوای کم طلای کانسار سرچشمه در ارتباط با منبع ماگمایی کم‌مایه از طلای (استوک کالک آلکالین سرچشمه) پدید آورنده این کانسار باشد.

میزان منیتیت

برپایه پژوهش (Sillitoe (1979), Cox and Singer (1988) محتوای منیتیت بخش نگرسانی پتاسیک کانسارهای مس پورفیبری یکی از شاخص‌های ریشه‌ای جدایش کانسارهای مس پورفیبری پرمایه از طلا از نوع فقیر از طلا است و ارتباط مستقیمی بین میزان منیتیت و میزان طلای کانسارهای مس پورفیبری وجود دارد، البته این به معنای حمل طلا توسط

آبهای جوی سرد در ترازهای کم‌ژرفا و سطحی کانسار، ضمن افزایش حلالیت طلا (Gammons and Williams Jones 1997) در شرایط مناسب از جمله کاهش غلظت یون سولفور و پیدایش شرایط اکسیدان سطحی، ناهنجاریهایی محسوس از نوع رگه‌های اپی‌ترمال پرمایه از طلا و نقره را در کانسار سرچشمه ایجاد می‌کند، این نوع کانی‌سازی جزئی از کانی‌سازی طلا و نقره در سیستم مس پورفیبری و از گونه غیرهمجوار (Distal) به شمار می‌آید.

(Sillitoe 1991, Jones 1992, Gammons and Williams Jones 1997) شناسایی یک نمونه رگه اپی‌ترمال پرمایه از طلا و نقره ($Ag: 200 \text{ ppm}$; $Au: 500 \text{ ppm}$) در مطالعه حاضر، گواه این مدعا است. شکل ۱۲، الف - ب به ترتیب الگوی خاستگاهی (Genetic Model) و تشریحی (Descriptive Model) کانی‌سازی در کانسار سرچشمه را نشان می‌دهند.

مقایسه با دیگر کانسارهای مس پورفیبری

ترسیم نتایج تجزیه شیمیایی عناصر طلا، مس و مولیبدن نمونه‌های کانسار بخش ژرف زاد کانسار سرچشمه در نمودار (Cox and Singer (1988) نشان می‌دهد که عمده نمونه‌ها بر محبوسه کانسارهای مس مولیبدن پورفیبری (PCD-Mo) قرار گرفته‌اند (شکل ۱۴). همچنین ترسیم عیار میانگین این عناصر برای بخش‌های ژرف زاد، برین‌زاد و کل کانسار در این نمودار (شکل ۱۵)، نشانگر فقیر بودن کانسار سرچشمه از نظر طلا و قرار گرفتن آن در شمار کانسارهای مس - مولیبدن پورفیبری است.

به منظور مقایسه همه جانبه این کانسار با انواع کانسارهای مس پورفیبری (PCD-Au, PCD-Au - Mo, PCD-Mo) برخی شاخص‌های ریشه‌ای جدایش این کانسارها، بویژه در وابستگی با کانسارهای مس پورفیبری پرمایه از طلا، از جمله میزان نخیره، ریخت‌شناسی، ژرفای جایگزینی، موقعیت پوسته‌ای و زمین‌ساختی، ترکیب و سرشت سنگ‌شناختی توده نفوذی خاستگاه کانسار، میزان منیتیت بخش نگرسانی پتاسیک و... الگوی نگرسانی و کانی‌سازی بکار گرفته و نتایج این مقایسه بطور خلاصه در جدول ۴ ارائه شده است. در زیر به بررسی چند خصوصیت مهم مرتبط با کانی‌سازی طلا در کانسار مس سرچشمه و مقایسه آن با کانسارهای مس پورفیبری سرشار از طلا پرداخته‌ایم.

وضعیت پوسته‌ای و جایگاه زمین‌ساختی

کانسار مس پورفیبری سرچشمه در بخش جنوب خاوری کمربند تکتونو - ولکانیک حاشیه قاره ایران مرکزی

آندزیتها، مکان بیشترین عیار این عناصر است که برمکان بیشینه عیار مس ژرف زاد منطبق است. بیرون از این نواحی نگرسانی یعنی به سوی نگرسانی پتاسیک در استوک سرچشمه و نگرسانی بیوتیتی ضعیف در آندزیتها، عیار این عناصر بشدت افت می‌کند.

۳- مدل خاستگاهی ارائه شده پیشنهاد می‌کند که کانی‌سازی طلا بطور عمده از گونه پورفیبری و همزاد با کلکوپیریت رخ داده است. این کانی‌سازی در گامه‌های نخستین تکامل سیستم پورفیبری محدود بوده است لکن با ادامه پویایی سیستم، زایش این عناصر قزوئی یافته است بگونه‌ای که در گامه‌های پایانی تکوین، باعث افزایش عیار طلای نهشته شده پیشین گردیده و همچنین رخدادهایی محدود از کانی‌سازی پرعیار طلا و نقره را در چهره رگه‌های اپی‌ترمال پدید آورده است.

۴- کانسار سرچشمه با ویژگی‌هایی چون: کم‌مایه بودن از طلا (۰/۰۶ g/t)، میزان ذخیره زیاد، جایگزینی با پلوتونیسیم عمیق (۲ تا ۴ کیلومتر)، ریخت‌شناسی کلاسیک، میزان بسیار جزئی منیتیت (۰/۱۴٪) در بخش نگرسانی پتاسیک و عیار بسیار بالای مولیبدن (۰/۰۲٪) مدل متالورژی کاملی از کانسارهای مس - مولیبدن پورفیبری (PCD- Mo) به شمار می‌آید که زائده وجود خاستگاهی از ماگماتیسیم کالک آلکالین نوع حاشیه قاره‌ای است.

منیتیت نمی‌باشد، بلکه وجود منیتیت می‌تواند نشانگر شدت شرایط اکسیدان (فوکاسیته اکسیژن) حاکم بر محیط تشکیل کانسار باشد. برپایه پژوهش حاضر، میزان منیتیت بخش نگرسانی پتاسیک کانسار سرچشمه بطور میانگین ۰/۴٪ است که از این نظر جزء کانسارهای مس پورفیبری با منیتیت کمیاب به شمار می‌رود. از دیدگاه (Cox and Singer 1988) این میزان منیتیت ویژه کانسارهای مس - مولیبدن پورفیبری است. میزان کم منیتیت کانسار سرچشمه می‌تواند نشان‌دهنده شرایط بیش از اندازه ضعیف اکسیدان محیط تشکیل کانسار باشد. بر چنین شرایطی حلالیت طلا در سیال کانه‌دار در مقابله قابل توجهی صورت نگرفته است؛ در نتیجه باعث کانی‌سازی ضعیفی از طلا (کمتر از ۰/۱ گرم در تن) در کانسار سرچشمه گردیده است.

نتیجه‌گیری

- عیار میانگین واقعی طلا و نقره کانسار مس سرچشمه بترتیب ۰/۰۶ و ۱/۱۴ گرم در تن می‌باشد که اختلاف زیادی با عبارهای گزارش شده قبلی (۰/۲۷ g/t طلا و ۲/۹ g/t نقره) دارد.
- بخش ژرف زاد کانسار سرچشمه بطور میانگین از ۰/۰۴ گرم در تن طلا و ۰/۹۷ گرم در تن نقره برخوردار است و بخش‌های نگرسانی فیلیک شدید \pm آرزلیک در استوک سرچشمه و بیوتیتی شدید در

| منطقه کانی‌سازی | تعداد نمونه | طلا | نقره |
|----------------------------|-------------|-----|------|
| ژرف‌زاد | ۴۰ | ۴۰ | ۹۷۳ |
| سولفوروی پرمایه شده ثانویه | ۲۲ | ۱۰۸ | ۱۲۵۱ |
| فروشیست-اکسید | ۶ | ۲۸ | ۱۴۰۸ |
| میانگین کانسار | ۶۸ | ۶۱ | ۱۱۴۰ |

جدول ۱- عیار میانگین محاسبه شده برای طلا و نقره (ppb) در بخش‌های گوناگون کانسار سرچشمه

| انواع کانسنگ | استوک سرچشمه | | | | آندزیت | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------------------|--|
| | پتاسیک | فیلیک ضعیف | فیلیک شدید | بیوتیتی | بیوتیتی پروپیلی تنگ | |
| گونه و شدت نگرسانی | (۵) | \pm آرزلیک | \pm آرزلیک | ضعیف | شدید | |
| طلا | ۱۵/۸ | ۴۱/۶ | ۵۰ | ۱۰/۴۲ | ۵۲/۳ | |
| نقره | ۷۳۱ | ۸۵۲/۵ | ۱۳۳۴/۴ | ۴۷۷/۵ | ۱۱۸۶/۶ | |
| مس | -/۲۶ | -/۵۸ | -/۷۲ | -/۱۹۶۵ | -/۸۳ | |
| مولیبدن | -/۰۰۳ | -/۰۰۶ | -/۱۴۱ | -/۰۰۶ | -/۰۰۲۶ | |
| پتاسیم | ۳/۴۷ | ۳/۸۲ | ۴/۱۷ | ۳/۱۴ | ۲/۹۹ | |

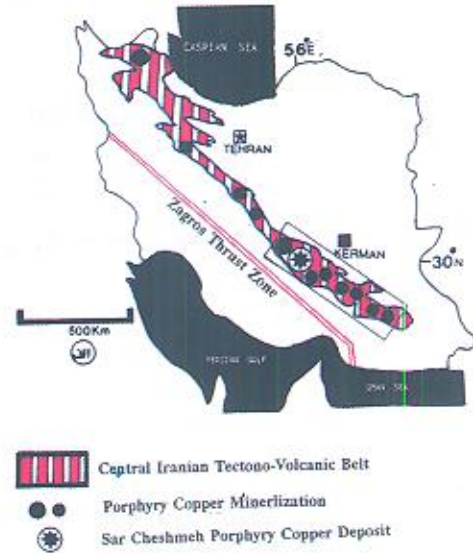
جدول ۲- عیار میانگین محاسبه شده برای عناصر طلا، نقره (ppb) مس، مولیبدن و پتاسیم (٪) در انواع گوناگون کانسنگ‌های بخش ژرف‌زاد کانسار سرچشمه: اعداد داخل پرانتز معرف تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

| | Cu | Mo | As | Sb | Pb | Zn | K ₂ O | SiO ₂ | Fe | S | Au | Ag |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|
| Au | ۰/۷ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۱ | ۰/۶ |
| Ag | ۰/۵ | ۰/۱ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۶ | ۱ |

جدول ۳- ضریب همبستگی عناصر طلا و نقره با یکدیگر و با دیگر عناصر در بخش ژرفزاد

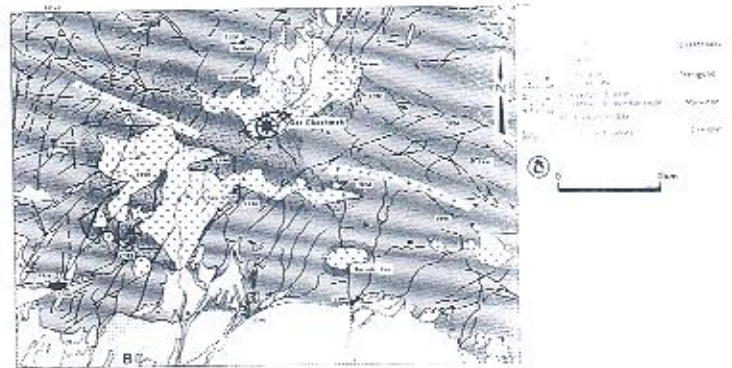
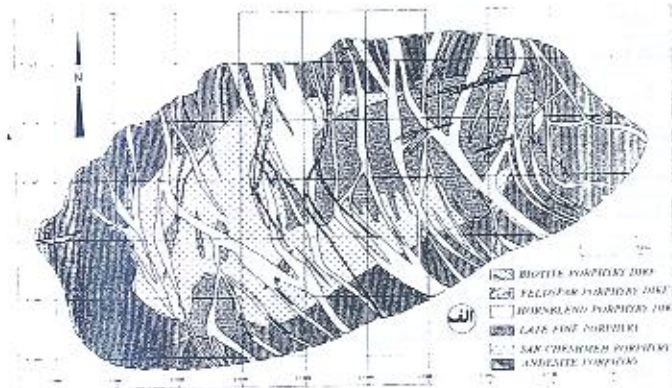
| مواد مقایسه‌ای | کانسارهای مس- طلا- مولیبدن پورفیری (PCD-Au-Mo) | کانسارهای مس- مولیبدن پورفیری (PCD-Mo) | کانسار سرچشمه | کانسارهای مس- طلا- مولیبدن پورفیری (PCD-Au) |
|------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| توده نفوذی خاستگاه | گرانودیوریت، تونالیت، مونزوگرانیت | گرانودیوریت، تونالیت، مونزوگرانیت | گرانودیوریت | نیوریت، کوارتز، نیوریت، مونزونیت، سینیت، تونالیت |
| سرشت ماگمایی | کالک آلکالین یا آلکالین | عمدتاً کالک آلکالین | کالک آلکالین | عمدتاً آلکالین |
| اندازه و میانگین ذخیره کانسار | متوسط: ۲۹۰ میلیون تن | بزرگ: > ۵۰۰ میلیون تن | بزرگ: ۱۲۰۰ میلیون تن | کوچک: ۱۶۰ میلیون تن |
| میانگین ژرفای جایگزینی | ۰/۹ کیلومتر | ۲/۶ کیلومتر | ۳-۴ کیلومتر | ۱ کیلومتر |
| ریخت‌شناسی | ولکانیک یا کلاسیک | کلاسیک یا پلوتونیک | کلاسیک | عمدتاً ولکانیک |
| وضعیت پوسته‌ای | قاره‌ای یا اقیانوسی | عمدتاً قاره‌ای | قاره‌ای | عمدتاً اقیانوسی |
| موقعیت زمین‌ساختی | حاشیه قاره‌ای یا جزیره قوسی | عمدتاً حاشیه‌های قاره‌ای | حاشیه قاره‌ای نابالغ | عمدتاً جزیره قوسی |
| الگوی نگرسانی ژرفزاد | پتاسیک، فیلیک، پروپیلیک | پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک، پروپیلیک | پتاسیک، فیلیک، پروپیلیک ± آرژیلیک | پتاسیک، پروپیلیک |
| اجزاء فلزی ژرفزاد | Cu-Mo-Au | Cu, Cu-Mo, Cu-Mo ± Au | Cu-Mo ± Au | Au-Cu, Cu-Au, Cu-Au-Mo |
| کانی‌های ژرفزاد | کلکوپیریت، پیریت، مولیبدنیت ± طلا | کلکوپیریت، پیریت، مولیبدنیت | کلکوپیریت، پیریت، مولیبدنیت | مگنتیت، بوریت، کلکوپیریت، طلا |
| رخداد بخش سولفور پرمایه شده ثانویه | معمول یا نایاب | گسترش خوب و معمول | گسترش خوب و معمول | نایاب یا کمیاب |
| رخداد پوشش فروشست-اکسید | معمول یا نایاب | گسترش خوب و معمول | گسترش خوب و معمول | نایاب یا کمیاب |
| عیار میانگین مس (%) | ۰/۴۸ | ۰/۴۱ | ۰/۶۹ | ۰/۵۵ |
| عیار میانگین مولیبدن (%) | ۰/۱۵ | ۰/۱۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰۳ |
| عیار میانگین طلا (g/t) | ۰/۱۵ | ۰/۱۲ | ۰/۰۶ | ۰/۲۸ |
| عیار میانگین نقره (g/t) | ۱/۶۳ | ۱/۲۲ | ۱/۱۴ | ۱/۶۹ |
| میزان میانگین منیتیت (%) | معمول: ۱ | جزئی: ۰/۰۵ | جزئی: ۰/۴ | فراوان: ۲/۶ |
| نسبت Au(ppm)/Mo(%) | ۲ < Au/Mo < ۲۰ | Au/Mo < ۲ | ۲ | Au/Mo > ۲۰ فراوان: ۲/۶ |

جدول ۴- خلاصه‌ای از مقایسه خصوصیات ریشه‌های کانسار مس بر سرچشمه با انواع کانسارهای مس پورفیری (شفیعی، ۱۳۷۹).



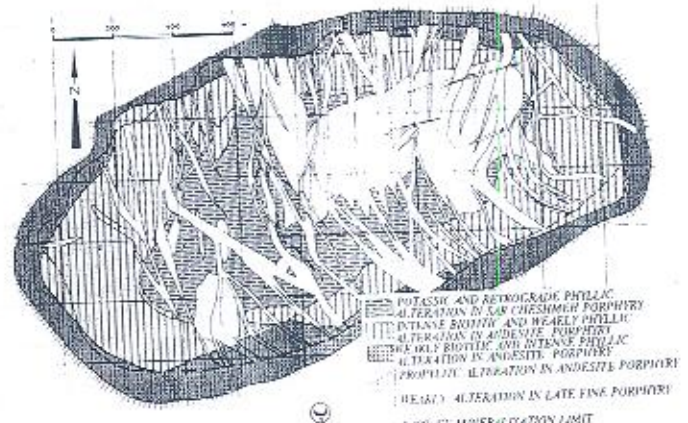
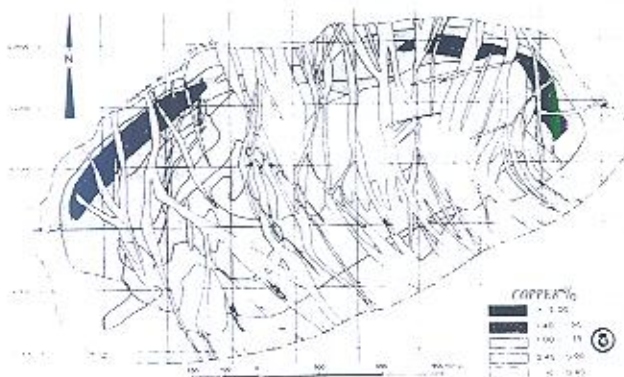
شکل ۱- ب- تقسیمات زمین‌شناسی استان کرمان و موقعیت کانسار سرچشمه در کمربند دهج - ساردوئیه (با تغییرات از Dimitrijevic 1973 ; Shahbapour 1966)

شکل ۱- الف - موقعیت کانسار سرچشمه بر روی کمربند تکتونو- ماگمایی ایران مرکزی (شقیعی، ۱۳۷۹).



شکل ۲- الف - نقشه سنگ‌شناسی کانسار سرچشمه (Waterman and Hamilton 1975)

شکل ۲- ج - نقشه زمین‌شناسی ناحیه پاریز و موقعیت کانسار سرچشمه (با تغییرات از Etminan 1977)

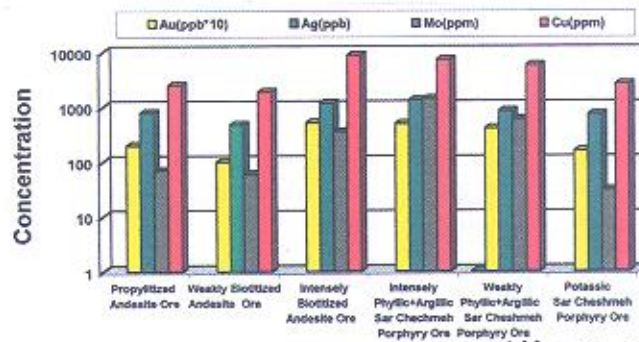


شکل ۲- ج - نقشه پراکندگی مس ژرف زاد کانسار سرچشمه (Waterman and Hamilton 1975)

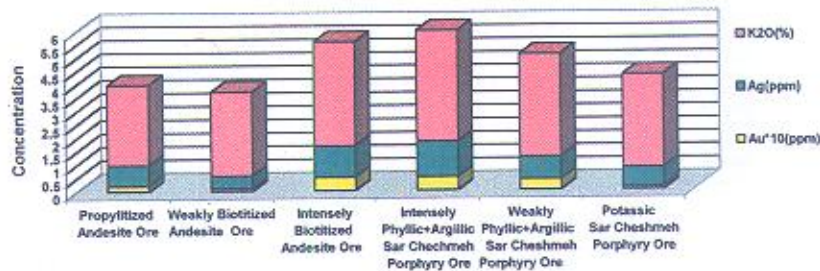
شکل ۲- ب - نقشه پراکندگی هاله‌های دگرسانی کانسار سرچشمه (Waterman and Hamilton 1975)



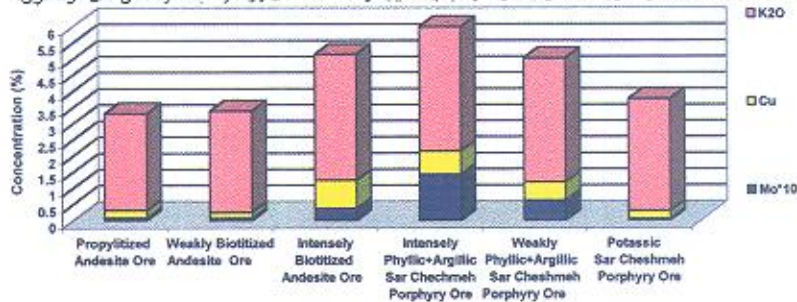
شکل ۲-د - نقشه پراکنندگی مولیبدن ژرف زاد کانسار سرچشمه (Waterman and Hamilton 1975)



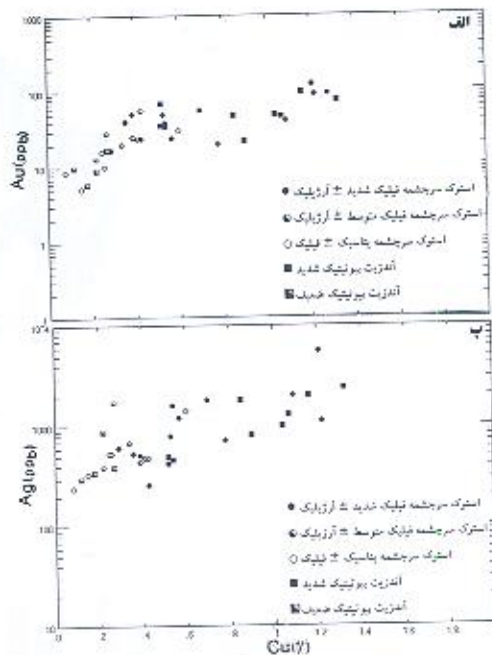
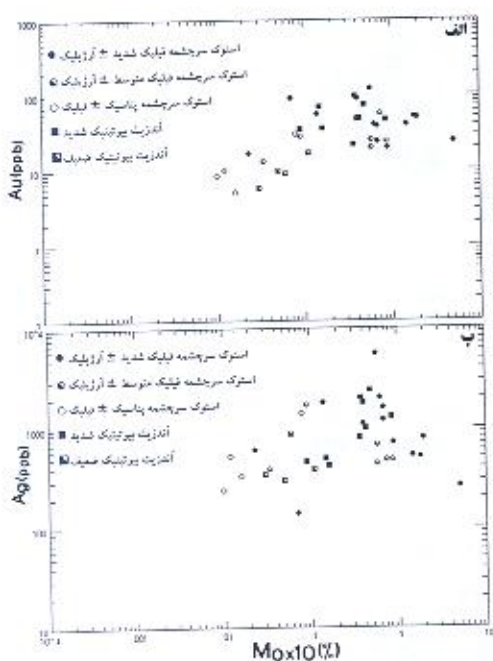
شکل ۳ - مقایسه غلظت میانگین عناصر طلا، نقره با مس و مولیبدن در کانسنگهای ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون.



شکل ۴ - مقایسه غلظت میانگین عناصر طلا و نقره با پتاسیم در کانسنگهای ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون.

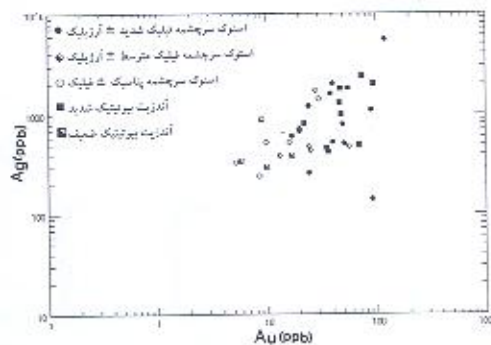
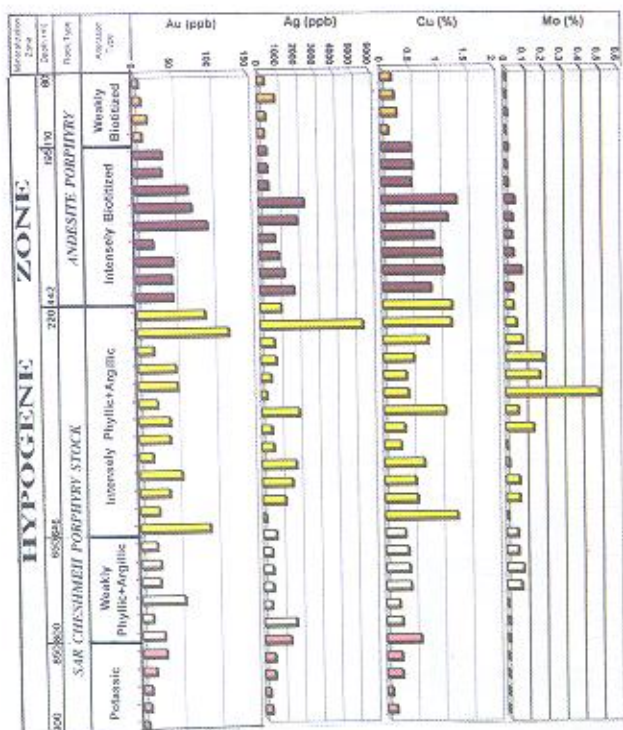


شکل ۵ - مقایسه غلظت میانگین عناصر مس و مولیبدن با پتاسیم در کانسنگهای ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون.



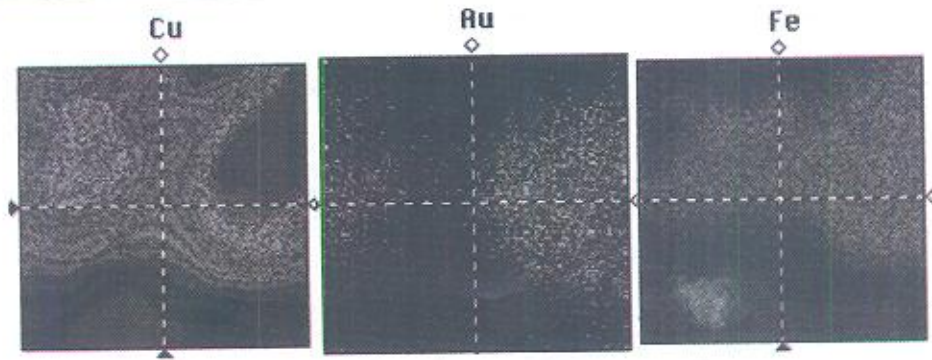
شکل ۷- ارتباط عیار طلا (الف) و نقره (ب) در برابر مولیبدن در کانسنگ‌های ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون

شکل ۸- ارتباط عیار طلا (الف) و نقره (ب) در برابر مس در کانسنگ‌های ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون

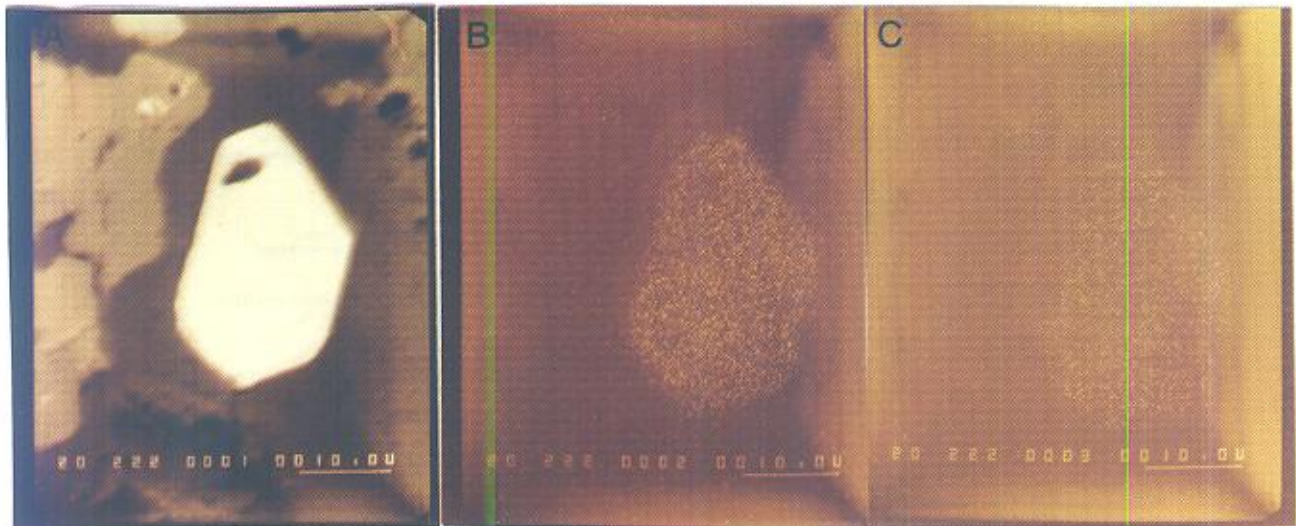


شکل ۹- الگوی پراکندگی ژئوشیمیایی و روند تغییرات عمقی عیار طلا، نقره، مس و مولیبدن نسبت به مجموعه‌های دگرسانی ژرف زاد در آندزیت و استورک سرچشمه.

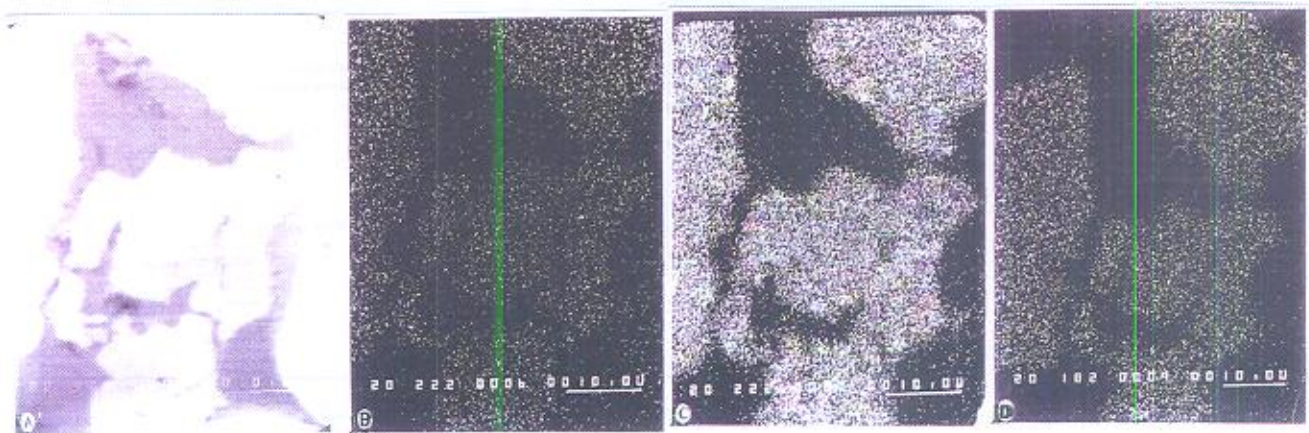
شکل ۱۰- ارتباط بین طلا و نقره در کانسنگ‌های ژرف زاد با دگرسانی‌های گوناگون



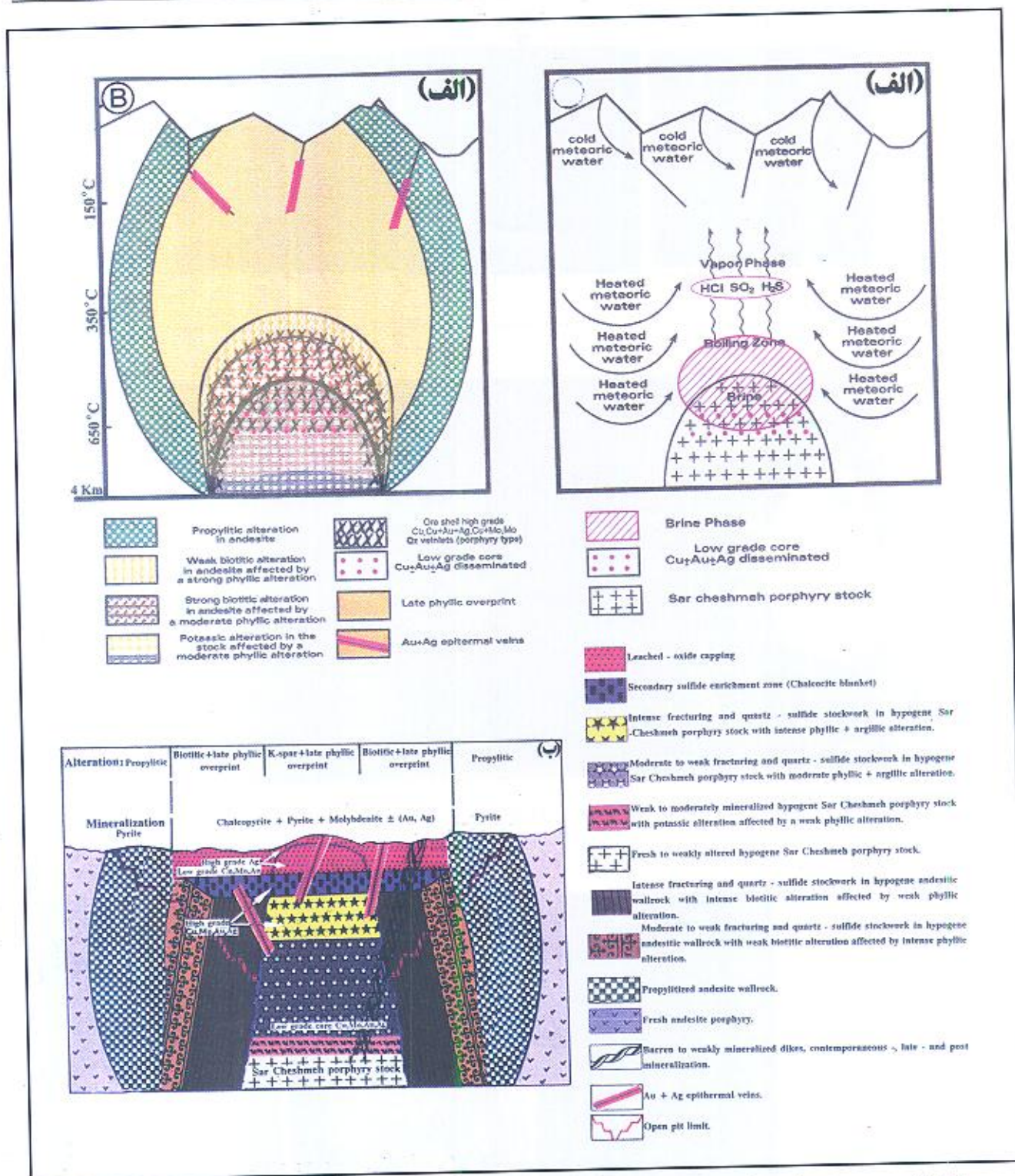
شکل ۱۰- تصاویر یونی از پراکندگی مس، طلا و آهن در کانی کلکوپیریت سرچشمه به عنوان کانی سازی طلای غیر قابل رؤیت بوسیله فن آوری SIMS (Rad et al. 1999) (Salari).



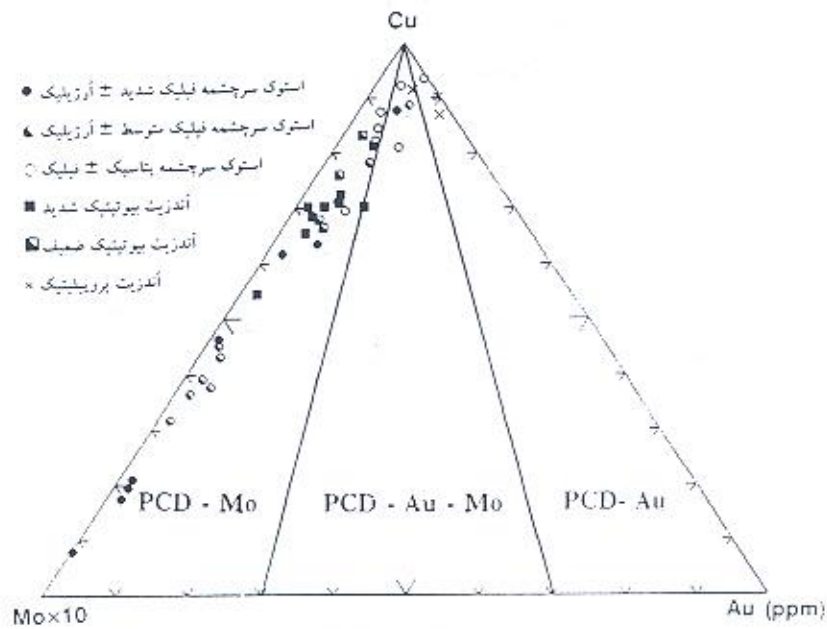
شکل ۱۱- تصاویر الکترون پروب از کانی طلای فقیر از نقره (طلای خالص یا الکتروم) در یک نمونه رگه ای شمال کانسار سرچشمه، A- تصویر الکترونی از طلای قابل رؤیت، B- الگوی پراکندگی طلا، C- الگوی پراکندگی نقره



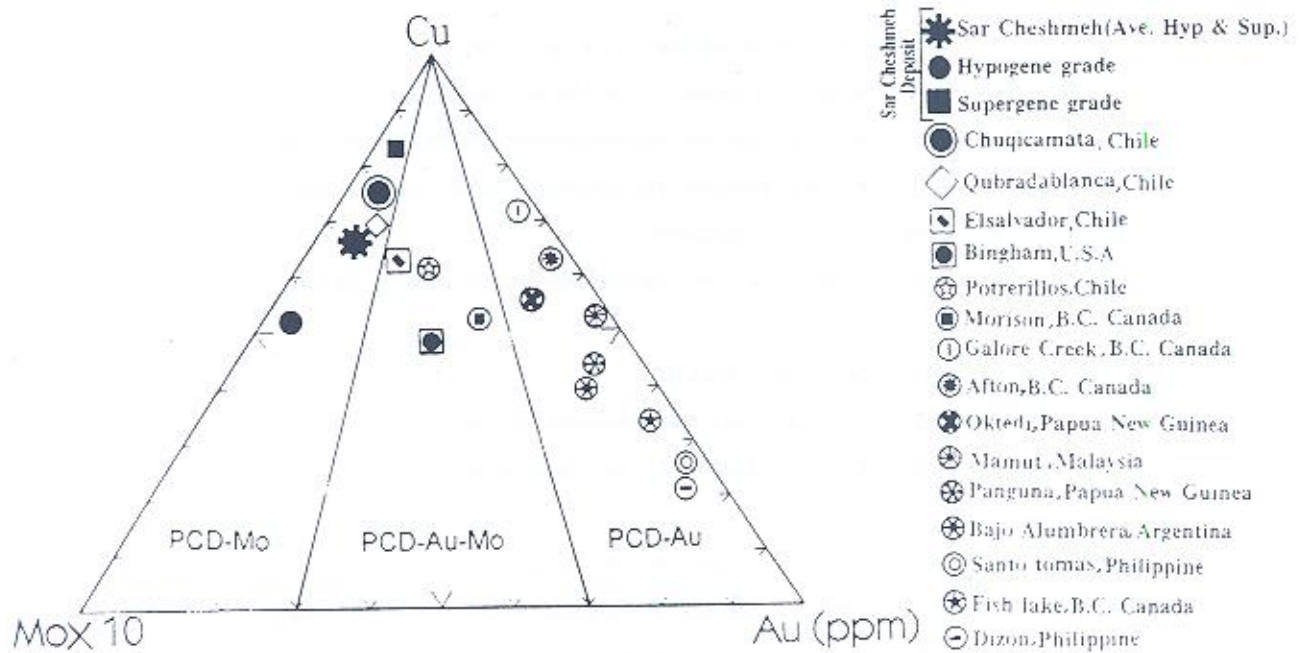
شکل ۱۲- تصویر الکترون پروب از کانی تانتیت در یک نمونه رگه ای شمال کانسار سرچشمه: A- تصویر الکترونی از تانتیت، B- الگوی پراکندگی نقره، C- الگوی پراکندگی مس، D- الگوی پراکندگی آرسنیک



شکل ۱۳- تصاویری طرح گونه از الگوی زایشی (الف) و الگوی نشریحی (ب) برای کانسار مس پورفیری سرچشمه (شعبی، ۱۳۷۹)



شکل ۱۴- وضعیت کانسنگ‌های ژرف زاد کانسار سرچشمه با دگرسانی‌های گوناگون در نمودار (Cox and Singer 1988)



شکل ۱۵- موقعیت کانسار سرچشمه در نمودار (Cox and Singer 1988) و مقایسه آن با مهم‌ترین کانسارهای مس پورفیری دنیا؛ به استثناء داده‌های کانسار سرچشمه، داده‌های مربوط به دیگر کانسارها از Vila and Sillitoe (1991) می‌باشند.

خوشی به جهت داوری علمی، پیشنهادهای ارزنده و ویرایش زیبای این مقاله صمیمانه قدرانی می‌شود. همچنین از جناب آقای دکتر سالاری استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر به جهت نراختیار گذاشتن تصویر یونی از پراکنندگی طلا در کالکوپیریت‌های کانسار سرچشمه و همچنین از جناب آقای مهندس حاجی نوروزی بر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به جهت انجام میکروآنالیز الکترون پروب تعدادی از نمونه‌ها قدرانی می‌شود. سرانجام از مسئولین ارجمند فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین به سبب انتشار این مقاله صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

سپاسگزاری:

از شرکت ملی صنایع مس ایران بویژه امور تحقیقات و مطالعات مجتمع مس سرچشمه به خاطر تصویب، حمایت و تأمین هزینه‌های ریالی این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. از جناب آقای دکتر داصر

کتابنگاری

شفیعی، بهنام، ۱۳۷۹ - مطالعه رخداد، پراکنندگی ژئوشیمیایی، و مدل فلززایی طلا و نقره در کانسار مس پورفیبری سرچشمه. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۸۵ صفحه.

References

- Ahmad, T., and Posht Kouhi, M., 1993- Geochemistry and petrogenesis of the Urmia-Dokhtar volcanics around Nain and Rafsanjan area: A preliminary study: Treatise on the geology on the geology of Iran, Iran Geol. Survey.
- Alavi, M., 1994- Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretation: Tectonophysics, v.229, p.211-238
- Barrie, C.T., 1993- Petrochemistry of shoshonitic rocks associated with porphyry copper - gold deposits of central Quesnellia, British Columbia, Canada: Jour. Geochem. Explor., v.48, p.225-258.
- Barnes, H.L., 1979- Solubilities of ore minerals, In: Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits; New York, Wiley Intersci, p.404-460.
- Barton, M.D., 1980- The Ag- Au- S system: Econ. Geol., v.75, p.303-316
- Berberian, F., and Berberian, M., 1981- Tectonic-plutonic episodes in Iran: Geodynamics series, 3 WG-6, American Geophysical Union, p.5-32.
- Burnham, C.W., 1979- Magmas and hydrothermal fluids, In: Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York, Wiley, p.71-136
- Cox, D.P., Singer, D.A., 1988- Distribution of gold in porphyry copper deposits: U.S.Geol. Survey Bull., 1877-C, p. C1-C14
- Cygan, G.L., and Candela, P.A., 1995- Preliminary study of gold partitioning among pyrrhotite, pyrite, magnetite, and chalcopyrite in gold saturated chloride solutions at 600 to 700 ° c, 140 MPa (1400bars): Mineralogical Association of Canada Short Course, v.23, p.129-137.
- Dimitrijevic, M.D., 1973- Geology of Kerman region: Institute for geological and mining exploration and institution of nuclear and other mineral raw materials, Beograd- Yugoslavia, Iran Geol. Survey Rept Yu/52.



- Drummond, S.E., and Ohmoto, H., 1985- Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *J. Geol.*, v.80, [126-147].
- Eliopoulos, D.G., and Eliopoulos, M.E., 1991- Platinum-group elements and gold contents in the Skouries porphyry copper deposits, Chalkidiki Peninsula, northern Greece: *Econ. Geol.*, v.86, p.740-749.
- Etminan, H., 1977- Le Porphyre cuprifere de Sar Cheshmeh 'Role des phases fluides dans les mecanismes d'alteration et de mineralization'. *Iran Geol. Survey*, 242p, (in France).
- Evans, A.M., 1993- *Ore geology and industrial minerals*, Blackwell, Oxford.
- Gammons, C.H., and Williams Jones, A.E., 1997- Chemical mobility of gold in the porphyry -epithermal environment: *Econ. Geol.*, v.92, p.45-59.
- Gaudin, A.M., 1957- *Flotation*. McGraw-Hill, New york, USA, 573P.
- Ghorashi-Zadeh, M., 1978 - Development of hypogene and supergene alteration and copper mineralization patterns Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Iran: Unpub. M.Sc thesis, Broke University, Ontario, Canada, 221p.
- Hollister, V.F., 1975- An appraisal of the nature and source of porphyry copper deposits: *Minerals. Sci.Eng.*, v.7, p.225-233
- Jones, B.K., 1992- Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems: *Jour.Geochem Explor.*, v.43, p.127-155
- Lowell, J.D., 1989- Gold mineralization in porphyry copper deposits: *Soc. Min.Eng.Reprint*, v.88-117, 17pp.
- Muller, D., Heithersay, P.S., and Groves, D.I., 1994- The shoshonite porphyry Cu-Au association in the Goonumbra district, N.S.W, Australia: *Mineralogy & Petrology*, v.51, p.299-321
- Salari Rad, M.M., Tsunekawa, M., Hirajima, T., and Yoneda, T., 1999- Gold occurrence in the Sar Cheshmeh Porphyry Copper ore and its behaviour during beneficiation. In: *Proceeding of copper 99-Cobre99*, International Environment conference, v.II- Mineral Processing/ Environment, p.129-143.
- Shahabpour, J., 1982- Aspects of alteration and mineralization at the Sar Cheshmeh copper-molybdenum deposit, Kerman, Iran: Unpub Ph.D. thesis, Leeds University, 342p.
- Shahabpour, J., and Kramers, J.D., 1987- Lead isotope data from the Sar Cheshmeh Porphyry copper deposit, Iran: *Mineralium Deposita*, v.22, p.278-281.
- Shahabpour, J., 1996- Use of drainage trends as a prospecting tool in the central Iranian porphyry copper belt: *CIM Bull.*, v. 89, p.70-75.
- Sillitoe, R.H., 1979- Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits: *Mineralium Deposita*, v.14, p.161-174.
- Sillitoe, R.H., 1991- Intrusion-related gold deposits. In: Forster, R.P: *Gold Metallogeny and Exploration*.
- Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the Middle East: *Nature*, v. 235, p.147-150.
- Vila, T., and Sillitoe, R.H., 1991- Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile: *Econ. Geol.*, v. 86, p.1238-1260.
- Waterman, G.C., and Hamilton, R.L., 1975- The Sar Cheshmeh Porphyry copper deposit. *Econ. Geol.*, v.70, p.568-576.

✻ دانشگاه شهید باهنر کرمان - دانشگاه علوم پایه - بخش زمین شناسی
✻✻ مجتمع مس سرچشمه - امور معدن - اداره زمین شناسی

* Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

** Geology office, Mine Affairs, Sar Cheshmeh Copper Complex, Kerman, Iran