زمستان ۹۱، سال بیست و دوم، شماره ۸۶، صفحه ۴۷ تا ۵۸

سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه‌زایی کانسار مس ورزگ- قاین

وحیده علی‌زاده [۱*]، مرتضی مؤمن‌زاده [۲] و محمدهاشم امامی [۳]

[۱] کارشناس ارشد، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
[۲] استادیار، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
[۳] دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۱۲

چکیده

کانی‌سازی مس ورزگ در سنگ‌های آتشفشانی صورت گرفته است که طبق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قائن به پالئوسن- ائوسن‌زیرین نسبت داده شده است. سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی محدوده مورد پژوهش به دو حالت گدازه و آذرآواری دیده می‌شوند. سنگ‌های آتشفشانی یادشده بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی قابل تفکیک به آندزیت، آندزیت- بازالت، بازالت و رخنمون‌های کوچکی از آذرآواری‌ها به‌صورت توف هستند. ماهیت این سنگ‌های آتشفشانی، قلیایی است که از نظر جایگاه زمین‌ساختی، در موقعیت بازالت‌های درون‌صفحه‌ای قرار می‌گیرند. کانی‌سازی از نظر بافتی، به‌صورت رگه- رگچه، افشان و پرکننده آمیگدال‌ها است. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری کانی‌های اصلی مس شامل: کالکوسیت، بتاکالکوسیت، بورنیت، کوولیت، دیژنیت و به‌ندرت مس طبیعی است. از بین این کانی‌ها، کالکوسیت بیشترین فراوانی را دارد. در بیشتر موارد همرشدی بین کانه‌های مس دیده می‌شود. این همرشدی به ویژه بین کانی‌های کالکوسیت و کالکوسیت‌بتا آشکارتر است. عنصر نقره، به‌عنوان فاز فرعی (پاراژنز عنصری مس) در این کانسار معرفی شده است. این در حالی است که نقره، فاز مستقلی تشکیل نداده و در شبکه کالکوسیت، جایگزین عنصر مس شده است. مطالعه میانبارهای سیال بر روی سیال‌های به دام افتاده در کانی کوارتز انجام شده است. دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال، به طور متوسط ۲۳۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است. درجه شوری محاسبه‌شده در این سیال‌ها، ۵ تا ۶ درصد وزنی نمک‌طعام است. بنابراین براساس ویژگی‌های شناسایی شده، کانسار مس ورزگ قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو و کانسارهای مس نوع Volcanic redbed است که به تازگی این دو نوع کانسار، مترادف خوانده می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: ورزگ، مس، کالکوسیت، نقره، میانبار سیال، کانسار مس نوع مانتو، کانسار مس در طبقات سرخ آتشفشانی

***نویسنده مسئول:** وحیده علی‌زاده
E-mail: alizadeh.vahideh@gmail.com

۱- مقدمه

محدوده مورد پژوهش از نظر تقسیمات کشوری در استان خراسان جنوبی قرار دارد. کانسار ورزگ، در ۱۵ کیلومتری خاور- جنوب‌خاور قاین واقع شده است. شهر قاین در بخش باختری مرکز چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ قاین و در یک دشت وسیع قرار گرفته است. برای دسترسی به محدوده مورد مطالعه، می‌توان از جاده آسفالته قاین به اسفدان استفاده کرد که پس از گذشتن از روستای اسفشاد می‌توان از یک راه فرعی به روستای وزرگ دسترسی پیدا کرد (شکل ۱). گستره مورد پژوهش، از دیدگاه پهنه‌های رسوبی- ساختاری اصلی ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳)، در بلوک لوت که خود جزیی از پهنه ایران میانی است، قرار دارد. جایگاه آن در ایران میانی، بلوک لوت و بخش‌های باختری کوه‌های خاور ایران است. سنگ میزبان کانی‌سازی مس در این پژوهش، گدازه‌های آندزیت، آندزیت- بازالت و مواد آذرآواری (توف) است. اکتشافات ژئوشیمیایی در این محدوده، متشکل از طراحی و برداشت ۱۵۶ نمونه رسوب آبراهه‌ای (#۸۰) با تراکم ۲ نمونه در هر کیلومترمربع توسط شرکت مهندسین مشاور زرناب اکتشاف است. پس از انجام مطالعات ژئوشیمی اکتشافی و مشاهده رخنمون‌های دارای کانی‌سازی، سه اندیس معدنی به نام‌های ورزگ‌شمالی، مس‌کولو و محدوده باختری شناسایی شد. موقعیت سه اندیس بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قائن در شکل ۲ دیده می‌شود. واحد آندزیت پورفیری سنگ میزبان کانی‌سازی است. پس از این مرحله، مطالعات بعدی بر روی بخش‌هایی که دارای کانی‌سازی مس هستند، متمرکز شد.

۲- سنگ‌نگاری

به منظور انجام مطالعات سنگ‌نگاری ۲۱ نمونه سنگی انتخاب و آماده‌سازی شد. بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، بخش‌های دارای کانی‌سازی مس، قابل تفکیک به آندزیت، آندزیت- بازالت، بازالت و رخنمون‌های کوچکی از آذرآواری‌ها به‌صورت توف هستند. بافت آمیگدالوییدال و پورفیری از ویژگی‌های آندزیت و آندزیت- بازالت در این محدوده است (شکل ۳) و دگرسانی گسترش چندانی ندارد. آمیگدال‌ها در بیشتر موارد با سیلیس، کانی‌های برون‌زاد مس و گاه کانی‌های کربناتی پر شده است. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری صورت گرفته، سنگ‌هایی که از نظر کانه‌زایی مس دارای اهمیت هستند، از نظر ترکیب به سه دسته آندزیت، آندزیت‌بازالت - بازالت و توف گروه‌بندی می‌شوند، نمایی از توف دارای لایه‌بندی در شکل ۴ دیده می‌شود. کانی‌های اصلی که تقریباً در تمامی مقاطع دیده می‌شوند، شامل پلاژیوکلاز، کانی‌های فرومنیزین (الیوین، کلینوپیروکسن) و رگه - رگچه‌های کوارتز هستند. در زیر توصیف میکروسکوپی چند نمونه، بافت‌های چیره و تصاویر آنها آمده است. در شکل‌های ۵- الف، ب، ج، کانی کلینوپیروکسن به‌صورت میانبار درون‌بلور پلاژیوکلاز قرار گرفته است. کانی‌های فرومنیزین از جمله الیوین به بولنژیت و اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند (شکل ۵-هـ). در مواردی کانی زئولیت آمیگدال‌ها را پر کرده است (شکل۵- د). زئولیت به رنگ سفید و در بیشتر مواقع با بافت شعاعی- اسفرولیتی دیده می‌شود. زئولیت افزون‌بر این‌که در سنگ‌های دگرگونی تشکیل می‌شود، در سنگ‌های آتشفشانی نیز در مراحل نهایی فعالیت‌های گرمابی در درون حفرات و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی تشکیل می‌شود. در شکل ۵- و، حفرات و رگچه پر شده با کربنات دیده می‌شود. در شکل ۶-الف زونینگ نوسانی پلاژیوکلاز در توف و در شکل ۶-ب تصویری از لیتیک توف مشاهده می‌شود. در تصاویر کلریت با علامت Cl، کوارتز با نماد Qz، زئولیت به‌صورت Zeo، کلینوپیروکسن با نماد Cpy، بولنژیت با علامت Bol، کانی‌های کدر یا تیره به‌صورت Op و پلاژیوکلاز با نماد Plg نمایش داده شده است.

۳- ژئوشیمی سنگ میزبان

سنگ میزبان کانی‌سازی مس در این پژوهش، گدازه‌های آندزیت، آندزیت- بازالت و مواد آذرآواری (توف) است. به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی گدازه‌های یاد شده، ۱۳ نمونه سنگی از محدوده ورزگ شمالی برداشت شد. نمونه‌های انتخاب‌شده، به روش XRF در سازمان زمین‌شناسی تجزیه شدند. به‌منظور نامگذاری شیمیایی سنگ‌های محدوده مورد مطالعه از نمودار Cox et al. (1979) استفاده شد. نمودار یاد شده بر اساس نمودار مجموع آلکالی (Na_2O+K_2O) در برابر سیلیس تدوین شده است. در این نمودار، بیشتر نمونه‌ها در محدوده آندزیت، آندزیت- بازالت و بازالت قرار گرفته‌اند(شکل ۷).

افزون‌بر اهمیت شناسایی سری ماگمایی در فهم سرگذشت ماگمای ایجادکننده سنگ‌هایی که هم‌اکنون با آنها سروکار داریم، گاه در مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی، تعیین سری ماگمایی سنگ میزبان کانی‌سازی کمک شایانی به مقایسه کانسار مورد بررسی با انواع دیگر و پیدا کردن نوع و در پایان منشأ کانی‌سازی می‌کند. در نمودار Irvin & Baragar (1971) (شکل ۸)، که براساس درصد عناصر اصلی (مجموع درصد عناصر قلیایی در برابر سیلیس) طراحی شده است، نمونه‌های سنگی منطقه در مرز سنگ‌های قلیایی- نیمه‌قلیایی واقع شده‌اند. برای این‌که بتوان تعیین کرد نمونه‌ها بیشتر به چه سمتی تمایل نشان می‌دهند از نموداری استفاده می‌شود که از عناصر قابل اعتمادتر و تقریباً کم‌تحرک‌تری تشکیل شده باشند. در نمودار Winchester & Floyed (1977)، بیشتر نمونه‌ها در مرز آلکالی‌بازالت- ساب‌آلکالی‌بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۹). با این تفاوت که این بار نمونه‌ها کشش بیشتری به جانب جایگاه آلکالی‌بازالت نشان می‌دهند. از نظر سنگ‌نگاری، در سنگ‌های‌قلیایی، الیوین می‌تواند هم به‌صورت درشت‌بلور و هم در زمینه سنگ، بدون توجه به درجه تفریق دیده شود. در واقع پایداری الیوین در زمینه این سنگ‌ها خود شاهد مهمی برای شناسایی سنگ‌های قلیایی از سنگ‌های نیمه‌قلیایی به شمار می‌آید (امامی، ۱۳۷۸). بنابراین، با توجه به این موضوع و نتایج سنگ‌نگاری نمونه‌ها و وجود شواهدی از جمله دایک‌های بازیک در منطقه که ویژه محیط‌های کششی است، احتمالاً ماهیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه قلیایی است که به احتمال زیاد در اثر دگرسانی (در مطالعات سنگ‌نگاری هم مشهود بود) و خارج شدن عناصر قلیایی از محیط، به سمت سری نیمه‌قلیایی تمایل پیدا کرده‌اند. پدیده تبلور بخشی (الیوین + پیروکسن + پلاژیوکلاز) نیز می‌تواند از جمله عوامل مهم در تحول ماگمایی منطقه باشد. گفتنی است که دگرسانی نیز در تغییرات عنصری (عناصر پرتحرک) نقش مهمی داشته است. برای تعیین محیط زمین‌ساختی از نمودار Pearce & Norry (1979) استفاده شده است. یک نمودار خوب متمایز کننده محیط زمین‌ساختی، باید با عناصری تشکیل شود که نسبت به فرایندهای ثانویه غیرحساس هستند و نیز اندازه‌گیری آنها، حتی در سطح غلظت پایین، به وسیله روش‌های تجزیه ساده و سریع، با دقت بالا امکان‌پذیر باشد (Rollinson, 1992). در نمودار یاد شده، تمامی نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). نظرات متفاوتی در مورد حوادث زمین‌ساختی خاور ایران و بلوک لوت وجود دارد. اما آنچه که در این پژوهش به دست آمد، جایگاه زمین‌ساختی کافت درون‌قاره‌ای را برای سنگ‌میزبان کانی‌سازی مشخص کرد. از طرفی بسیاری از صاحب‌نظران در این زمینه از جمله Tarkian et al. (1983) کانی‌سازی‌های مس را در این بلوک به وجود شرایط کششی در ترشیری نسبت داده‌اند.

۴- کانی‌شناسی

۴-۱. کانه‌نگاری

در مقیاس صحرایی افزون‌بر کانی‌های کربناتی مس که قابل شناسایی هستند، رگچه‌های سولفیدی سیاه‌رنگی نیز دیده می‌شوند. هنگامی که این رگچه‌ها در زیر میکروسکوپ مطالعه می‌شوند، مشخص می‌شود که کانی کالکوسیت بیشترین سهم را در این رگچه‌ها، به خود اختصاص داده است. ستبرای این رگچه‌ها در نمونه دستی گاه به بیش از ۱ سانتی‌متر نیز می‌رسد (شکل ۱۱). افزون‌بر کانی کالکوسیت که خود به دو صورت کالکوسیت آبی و بتاکالکوسیت است، کوولیت، بورنیت، دیژنیت و اکسیدهای مس از جمله کوپریت- تنوریت و کانه مس‌طبیعی، دیگر کانی‌های مس هستند (شکل ۱۲). رشد بتاکالکوسیت به فرم تیغه‌ای یا ورقه‌ورقه، همراه با کالکوسیت آبی دیده می‌شود. گفتنی است که در این مطالعه، ۲۱ نمونه مقطع صیقلی آماده‌سازی و مطالعه شده است.

کالکوسیت‌آبی، دارای دمای تشکیل بالایی است و عناصر دیگر به‌صورت فرعی در شبکه بلورین آن حضور دارند. در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، آهن و منگنز، دست‌کم در فرم‌های حرارت بالا جانشین شود. به جای گوگرد نیز، عناصر سلنیم و یا تلوریم می‌توانند در شبکه ساختمانی کالکوسیت وارد شوند (Ramdohr, 1980). در بیشتر موارد کانی کالکوسیت با دیگر کانی‌های سولفیدی، همرشدی نشان می‌دهد. بیشینه همرشدی و همراهی مربوط به کانی‌های کالکوسیت و بتاکالکوسیت است. به‌گونه‌ای که در موارد کمی می‌توان این دو کانی را به‌صورت جدا از یکدیگر و به‌شکل فازهای منفرد دید. به‌طور یقین می‌توان گفت کانی بورنیت به شکل فاز منفرد در مطالعات کانه‌نگاری دیده نشد و این کانی تقریباً درتمامی موارد به همراه کالکوسیت‌آبی و بتاکالکوسیت است.

گاهی در شرایط گرمایی بالا، کالکوسیت‌آبی به بتاکالکوسیت (رنگ روشن‌تر) و در یک فاز جدید، هردو، تحت‌تأثیر فرایندهای برون‌زاد به کوولیت (CuS) تبدیل شده‌اند. در این راستا ممکن است ریزشکاف‌هایی در درون کالکوسیت‌آبی و یا بتاکالکوسیت تشکیل شود. در این صورت کوولیت می‌تواند در این ریزشکاف‌ها به‌صورت میکروسکوپی رشد کند. در این حالت است که در نور XPL، انیزوتروپی کانی کوولیت مانند رنگ انعکاس‌داخلی درون کانی‌های کالکوسیت و بتاکالکوسیت جلوه می‌کند. گفتنی است که کوولیت دارای چندرنگی بسیارقوی (آبی) و انیزوتروپی بسیار زیاد است (ملک‌قاسمی، ۱۳۷۸). در چنین زمانی، نباید این حالت را به‌عنوان رنگ انعکاس داخلی نپذیرفت، چرا که اگر این اتفاق بیفتد، ذهن از بتاکالکوسیت به اشتباه به سمت کانی دیگری می‌رود و منجر به شناسایی نادرست کانی خواهد شد.

کالکوسیت در منطقه عباس‌آباد (شاهرود)، معمول‌ترین کانی و بدون شک منشأ آن اولیه است (Bazin & Hubner, 1969). در مورد کانسار ورزگ پیش از این مطالعه خاصی صورت نگرفته است. شاید بتوان اولیه بودن کالکوسیت را در منطقه عباس‌آباد، به این منطقه نیز تعمیم داد. Ramdohr (1980) به تجمعی از دانه‌های درشت کالکوسیت با کلیواژهای قابل تشخیص در سطح (۰۰۱) و مالاکیت رشد یافته در طول مرز دانه‌ها و کلیواژها اشاره می‌کند (شکل ۱۳). وی این‌نوع کالکوسیت را به‌طور یقین ژرفازاد می‌خواند. همان‌گونه که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، همین حالت را در نمونه‌های محدوده مورد پژوهش (ورزگ) می‌توان دید. بنابراین دلیلی دیگر بر اولیه و ژرفازاد بودن کالکوسیت‌های نشانه‌معدنی ورزگ، همین موضوع می‌تواند باشد. از سوی دیگر، دیده نشدن پدیده کدرشدگی در مرز بین دانه‌ها و امتداد کلیواژ کانی‌ها و درزه‌ها در نمونه‌های مطالعه‌شده می‌تواند دلیلی دیگر بر اولیه بودن سولفیدهای مس (به‌ویژه کالکوسیت) باشد.

دیژنیت با خاصیت ایزوتروپی گاه دارای میانبارهایی از کالکوسیت است. این امر باعث می‌شود دیژنیت، رنگ انعکاس داخلی از خود نشان دهد. در مواردی، میانبارهایی از بورنیت درون بتاکالکوسیت دیده می‌شود. این باقی‌مانده بورنیتی است که طی اکسلوشن بین کالکوسیت و بورنیت در دمای بالا شکل گرفته است. گاهی نیز بتاکالکوسیت به‌صورت میانبار درون بورنیت و کالکوسیت دیده می‌شود

(شکل‌های ۱۲- ز و هـ). در مطالعات میکروسکوپی فازهای اسفنج‌مانندی با برجستگی بالا درون کالکوسیت‌آبی و بتاکالکوسیت شناسایی شد. این فازها، کانی‌های اکسیدی مس به نام کوپریت و تنوریت بودند (شکل‌های ۱۲- هـ و و). در نور PPL، شناسایی این کانی‌ها کار آسانی نبود، چون درون کالکوسیت و تقریباً به همان رنگ کالکوسیت‌ها بودند. در حالی‌که در نور XPL، رنگ انعکاس‌داخلی قرمزرنگ مشخصی را نشان می‌دهند. کوپریت انیزوتروپی را به بهترین وجه در هوا نشان می‌دهد، در حالی‌که، این خاصیت در روغن، انعکاس نمی‌یابد. این یک خاصیت غیرعادی است و در حالتی پیش می‌آید که کانی شکل کوبیک داشته باشد (ملک‌قاسمی، ۱۳۷۸). همان‌گونه که در لابه‌لای توصیف‌های کانه‌نگاری اشاره شد، بافت‌هایی که در این مطالعه دیده شدند شامل بافت رگه- رگچه، بافت افشان، بافت پرکننده فضاهای باز (آمیگدال‌ها) و به‌صورت ادخال درون درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز هستند. تقریباً سه بافت اول در تصاویر ارائه شده در بخش کانه‌نگاری دیده می‌شود. بافت آخر یعنی بافت ادخال، در نمونه دستی کانی سولفیدی مس قابل شناسایی است (شکل ۱۵).

۴-۲. تجزیه کانی‌شناسی (XRD)

میزان عیار عنصر نقره در نتایج تجزیه ۴۴ عنصری ICP-MS بالا بود، بنابراین انتظار می‌رفت در مطالعات میکروسکوپی کانی مستقلی از نقره شناسایی شود که این چنین نبود و کانی نقره‌ای دیده نشد. با توجه به این موضوع که امکان تجزیه مایکروپروب نبود، تصمیم گرفته شد به‌منظور شناسایی کانی‌های احتمالی نقره، از نتایج آزمایشگاه کانی‌شناسی (XRD) استفاده شود. بنابراین به منظور شناسایی کانی‌های احتمالی نقره که در مطالعات میکروسکوپی از دیده دور مانده بودند، چند نمونه که صرفاً از ماده‌معدنی برداشت شده بودند و عیار بالایی از مس و نقره داشتند (جدول ۱)، در آزمایشگاه کانی‌شناسی (XRD) سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شد. در پایان هیچ‌گونه کانی نقره‌ای شناسایی نشد.

با توجه به این مطلب که عنصر نقره همبستگی خوبی با عنصر مس نشان می‌دهد (شکل ۱۶، محور افقی نمونه‌ها و محور قائم عیار عناصر نقره و مس را به‌صورت لگاریتمی برحسب ppm نشان می‌دهد) و همچنین با توجه به آگاهی از این مطلب که نقره به‌خوبی در شبکه کانی‌های مس از جمله کالکوسیت و کوولیت جایگزین می‌شود، انتظار می‌رود، نقره در شبکه کانی‌های مس قرار گرفته باشد. به دو دلیل می‌توان اظهار کرد که کانی کالکوسیت، همان کانی مس مورد نظر است. دلیل اول این است که کانی کالکوسیت در این مطالعه، فراوان‌ترین کانی مس است و برای دلیل دوم می‌توان به مطلبی که در بخش کانه‌نگاری بیان شد، اشاره کرد که در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، بویژه در انواع حرارت بالا جانشین شود (Ramdohr, 1980).

۵- مطالعات دما و فشارسنجی (ترمو باروسنجی) میانبارهای سیال

۵-۱. سنگ‌نگاری

همراه رگه- رگچه‌های کانی‌های سولفیدی مس، رگچه‌های کوارتزی دیده می‌شوند که به‌نظر می‌رسد از نظر منشأ و زمان تشکیل با کانی‌های سولفیدی مس دارای ارتباط تنگاتنگی باشند. بنابراین به منظور مطالعه میانبارهای سیال، سیال‌های به دام افتاده در کانی کوارتز مورد استفاده قرار گرفتند. رگه- رگچه‌های کوارتز در بخش‌هایی که رگچه‌های سولفیدی بیشتری دیده می‌شوند، بیشترند. در نمونه‌برداری تلاش شد، نقاطی انتخاب شود که کوارتز بیشترین نزدیکی و ارتباط را با کانی‌های سولفیدی و درون‌زاد مس داشته باشد. در واقع قطعات سنگی انتخاب شدند که در آنها، رگچه‌های سولفید مس (بیشتر کانی کالکوسیت) با کوارتز سرشته شده‌اند (شکل ۱۷). ویژگی نمونه‌های انتخاب شده در جدول ۲ آمده است.

از نظر منشأ، میانبارهای سیال مطالعه شده در مقـاطع بر اساس تقسیم‌بندی Wilson & Yermakov (1965) به سه نوع: اولیه، ثانویه و ثانویه دروغین تقسیم می‌شوند. سیال‌های مطالعه شده برای دما- فشارسنجی تنها از نوع میانبارهای سیال اولیه هستند(شکل ۱۸، سیال‌های اولیه با نماد P و سیال‌های ثانویه دروغین با نماد PS نمایش داده شده‌اند).

از نظر سنگ‌نگاری ۳ نوع میانبار سیال در نمونه‌های مطالعه‌شده شناسایی شد. دسته‌بندی میانبارهای سیال به شرح زیر است:

نوع A) سیال‌های دوفازی مایع- گاز Liquid rich (L+V).

نوع B) سیال‌های دوفازی گاز- مایع Gas rich (V+L).

نوع C) سیال‌های تک‌فازی مایع Liquid (L).

از بین این سه نوع سیال، سیال‌های نوع A فراوانی بیشتری دارند. بنابراین در مطالعات دماسنجی نیز بیشتر از سیال‌های این دسته استفاده شده است (شکل ۱۹). این نوع میانبار سیال، بیشترین فراوانی را در میان سیال‌های مطالعه شده دارد. در این نوع سیال‌ها، بیشترین حجم سیال را فاز مایع به خود اختصاص داده است و فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۵ درصد حجم سیال را اشغال کرده است. در این گونه سیال‌ها، همگن‌شدگی به فاز مایع اتفاق می‌افتد. در سیال‌هایی که درجه پرشدگی بیشتر از ۴۵ درصد باشد، همگن‌شدن به فاز مایع صورت می‌گیرد. در این میانبارهای سیال ، فاز جامد (نمک) حضور ندارد. میزان شوری در این نوع متغیر و ۲ تا ۶ درصد وزنی نمک‌طعام (NaCl) است.

۵-۲. مطالعات سرمایش – گرمایش

معمولاً مطالعات سرمایش پیش از گرمایش انجام می‌شود، به این علت که در هنگام عمل گرمایش، ممکن است سیال‌های پیرامون از بین بروند. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی نمونه‌ها، میزان Tm از ۵/۸- تا ۱/۳ متغیر است. بنابراین در نمونه‌های مطالعه شده، درجه شوری میانبارهای سیال از ۲/۶۳ تا ۹/۱۳ درصد وزنی نمک‌طعام تغییر می‌کند. به طور متوسط بیشترین میزان شوری در محدوده‌های ۴/۱۳ تا ۴/۳۶ و ۵/۱۳ تا ۵/۶۳ درصد وزنی نمک‌طعام است که به‌صورت نمودار ستونی در شکل ۲۰ آمده است.

به کمک روش دماسنجی می‌توان کمترین درجه حرارت تشکیل کانی‌ها را تعیین کرد به‌طوری‌که اگر سیال حرارت داده شود تمام فازهای آن اعم از فاز جامد، مایع و گاز همگن می‌شود که این امر گویای کمترین درجه حرارت تشکیل میانبار سیال و به عبارت دیگر کمترین دمای تشکیل کانی است. در نمونه‌های مطالعه شده همگن‌شدگی میانبارهای سیال دو فازی با تبدیل بخار به مایع صورت گرفته است و در نمونه دارای بخار بالا، با تبدیل مایع به بخار همگن‌شدگی ثبت شده است. دمای همگن‌شدگی گروه‌های دمایی از ۱۳۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی مربوط به محدوده دمایی ۲۳۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲۱). با توجه به دمای همگن‌شدگی، می‌توان فشار و ژرفای تشکیل سیال‌ها را مشخص کرد (شکل ۲۲). این شکل روند تشکیل سیال‌ها از ژرفای ۵۰۰ متری و فشاری در حدود ۱۲۰ بار، تا سطح زمین را نشان می‌دهد.

۶- تعیین نوع کانه‌زایی

تمامی ویژگی‌هایی که در مورد کانسار مس ورزگ در بخش‌های بالا بیان شد، موجب شد که به‌منظور مقایسه و تعیین نوع کانه‌زایی و مدل زایشی ذخیره مس ورزگ، به مطالعه و مقایسه کانسارهایی پرداخته شود که در سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. از مقایسه با ذخایر سولفید توده‌ای پرهیز می‌شود، چون نه از نظر پاراژنز کانیایی و نه از نظر بافت‌شناسی نقاط مشترک بین کانسار مس ورزگ و کانسارهای سولفید توده‌ای دیده نمی‌شود. بدین‌منظور، با توجه به شواهد بیان شده در مورد کانسار ورزگ، کانی‌سازی در این کانسار با سه نوع کانسار مقایسه می‌شود:

۱) کانسارهای مس نوع میشیگان

۲) کانسارهای مس در طبقات سرخ آتشفشانی (VOLCANIC REDBED Cu)

۳) کانسارهای مس نوع مانتو

۶-۱. کانسارهای مس تیپ میشیگان

Guilbert & Park (1986) از دو نوع کانسارهای مس آندزیتی- بازالتی و کانسارهای مس آندزیتی نام برده‌اند.

کانسارهای نوع کویناوی که به کانسارهای مس نوع میشیگان نیز معروفند و در شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) یافت می‌شوند، در گروه کانسارهای مس آندزیتی- بازالتی مس قرار می‌گیرند. در این کانسارها مس‌طبیعی کانه اصلی است و به طور فرعی، کانه‌های کالکوسیت و دیژنیت نیز حضور دارند که در هر دو نسبت فلز به گوگرد بالا است. مس‌طبیعی در این‌گونه کانسارها همراه با نقره است که این موضوع نیز نشانگر پایین بودن فشار بخشی گوگرد است. کانی‌سازی درون سنگ‌های بازالتی با ماهیت تولئیتی بادامکی و نیز در زمینه لایه‌های کنگلومرای بین‌لایه‌ای صورت گرفته است.

کانسارهای آندزیتی، رگه- رگچه‌ها و حباب‌گونه‌های حاصل از آکندگی حفره‌ها و افشاندگی‌هایی از مس و نقره آزاد، کالکوسیت، بورنیت و اندکی کالکوپیریت در سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی- قلیایی مزوزوییک میانه تا پلیوسن در کردیلرای آمریکا هستند. انباشت‌های اقتصادی این نوع کانسنگ تاکنون در شیلی و بولیوی (در کوروکورو) دیده شده‌اند. این کانسارهای مانتویی مس عموماً ده‌ها متر ستبرا و تا چند کیلومتر در امتداد راستای خود گسترش دارند.

پرطرفدارترین انگاره در مورد زایش کانه‌سازی نوع میشیگان، نظریه دیرزاد (اپی‌ژنتیک) بودن این‌گونه ذخایر است. طبق این نظریه در اثر دگرگونی درجه پایین (در حد رخساره پرهنیت- پومپله‌ایت)، عنصر مس موجود در درون شبکه سیلیکات‌ها، آزاد و سپس توسط محلول‌های گرمابی به بخش‌های بالایی حمل شده است. در همین زمان در محیط بدون گوگرد، مس به‌صورت طبیعی نهشته شده است.

۶-۲. کانسارهای نوع مس در طبقات سرخ آتشفشانی

این‌گونه کانی‌سازی مس به‌طور معمول از زمان پروتروزوییک تا ترشیری رخ داده است. سنگ‌میزبان کانی‌سازی شامل گدازه‌های مافیک تا فلسیک به‌ویژه گدازه‌های بازالتی بادامکی (Amygdaloidal)، توف، برش و سنگ‌های رسوبی وابسته از جمله کنگلومرا، ماسه‌سنگ و غیره است. سنگ‌های آتشفشانی از نظر ترکیب، طیفی از بازالت تا ریولیت را پوشش می‌دهند. برخی نهشته‌ها ساختار تخت دارند، برخی به‌صورت پهنه‌های چینه‌کران (Stratabound) هستند و بقیه توسط ساختارها و چینه‌شناسی متقاطع کنترل می‌شوند. محصول فرعی همراه مس در این نوع ذخایر، نقره است. کانی‌های اصلی مس شامل کالکوسیت، بورنیت و مس طبیعی است. کانی‌سازی به‌صورت پراکنده، رگه‌ای، پرکننده بادامک‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است. چنین نهشته‌هایی به‌طور معمول در جایگاه‌های زمین‌ساختی کافت‌های درون قاره‌ای همراه با توالی‌های بازالت سیلابی سطحی (در تماس با هوای آزاد) و نزدیک حاشیه صفحات به همراه جزایر و آتشفشان‌های کمان قاره‌ای یافت می‌شوند. جایگاه‌های آتشفشانی قاره‌ای تا دریایی کم‌ژرفا در عرض‌های پایین تا متوسط و محیط‌های خشک تا نیمه‌خشک مخصوص این‌گونه ذخایر است. کانی‌های باطله شامل هماتیت، مگنتیت، کلسیت، کوارتز، اپیدوت، کلریت و زئولیت هستند (Cabral & Beaudoin, 2007).

در مدل کنونی Volcanic red-bed copper، همان‌گونه که در بالا گفته شد فعالیت آتشفشانی باید سطحی باشد، یا دست کم بخش بیشتری از کومه آتشفشانی برای مدتی در تماس با هوای آزاد باشد تا بتواند اکسایش گدازه‌های آتشفشانی را توجیه کند. بررسی‌های Cabral & Beaudoin (2006) بر روی پهنه Mont Alexandrea, Quebec Apalachians, Canada نشان داد که در مورد مدل زایشی کانسارهای نوع Volcanic red-bed copper باید تجدید نظر شود. آنها در این نوشتار اشاره می‌کنند که نه تنها جایگاه‌های بازالتی سطحی برای این‌گونه نهشته‌ها مناسب‌اند، بلکه بازالت‌های زیردریایی اکسیده شده توسط آب‌های دریایی گرم نیز جایگاه مناسبی برای آنها هستند. آب ژرفایی می‌تواند نقش یکسانی مانند آب‌زیرزمینی در محیط‌های قاره‌ای، برای شستشو و حمل‌ونقل مس از بازالت‌ها در طول اسپیلیتی‌شدن ایفا کند. هر چند که چندین مطالعه روی تعیین سنگ منشأ سنگ‌های آتشفشانی همین منطقه متمرکز شده، اما هیچ‌گونه اشاره‌ای به اسپیلیتی‌شدن آنها نشده است. در این پژوهش که بر روی سینه‌کار معدن انجام گرفته، مشخص شده که سنگ‌ها اسپیلیتی شدند و نسبت به عنصر تالیم غنی‌شدگی نشان می‌دادند.

۶-۳. کانسارهای مس نوع مانتو

کانسارهای مس نوع مانتو از گونه کانسارهای چینه‌کران با میزبان گدازه‌های آتشفشانی غنی از سیال‌های فرار هستند. شناخته‌شده‌ترین کانسار نوع مانتو کانسار بوئنااسپرانزا در شمال شیلی است، که خود به سه زیرگونه بوئنااسپرانزا (Buena Esperanza)، مانتوبلانکو (Manto sub-type) و کارولینا (Carolina de Michilla sub-type) تقسیم شده است (Sergio Espinoza et al., 1994). این کانسارها نتیجه فرایند جایگزینی گرمابی در آندزیت‌ها و گاهی ریولیت‌ها هستند.

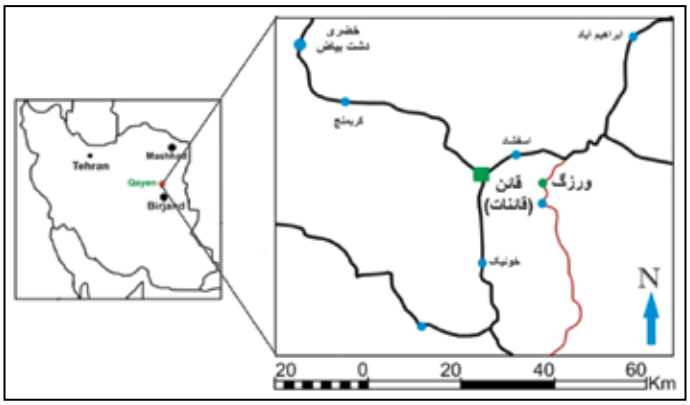
کانسارهای نوع مانتو به گروهی از کانسارها گفته می‌شود که معمولاً چینه‌کران و منطبق با لایه‌بندی و یا درون طبقات یا گدازه‌ها هستند. کانی‌های اصلی مس، کالکوسیت و بورنیت هستند. سنگ میزبان در این ذخایر، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی است. کانی‌سازی در این گروه، عموماً در لایه‌های آتشفشانی روی می‌دهد که با دایک، نفوذی تنوره‌ای و سیل دارای ترکیب گابرودیوریت همراه هستند و برخلاف دیگر انواع کانسارها، نبود یا کم بودن پدیده‌های گرمابی سنگ میزبان از وجوه آشکار آنهاست. معمولاً بسته به شرایط رخنمون، درجات متفاوتی از اکسایش در آنها رخ می‌دهد که کانی‌های حاصل از هوازدگی شامل آتاکامیت و به مقدار کمتر آنتلریت، مالاکیت و کریزوکولا، کوپریت و مس فلزی هستند.

۷- نتیجه‌گیری

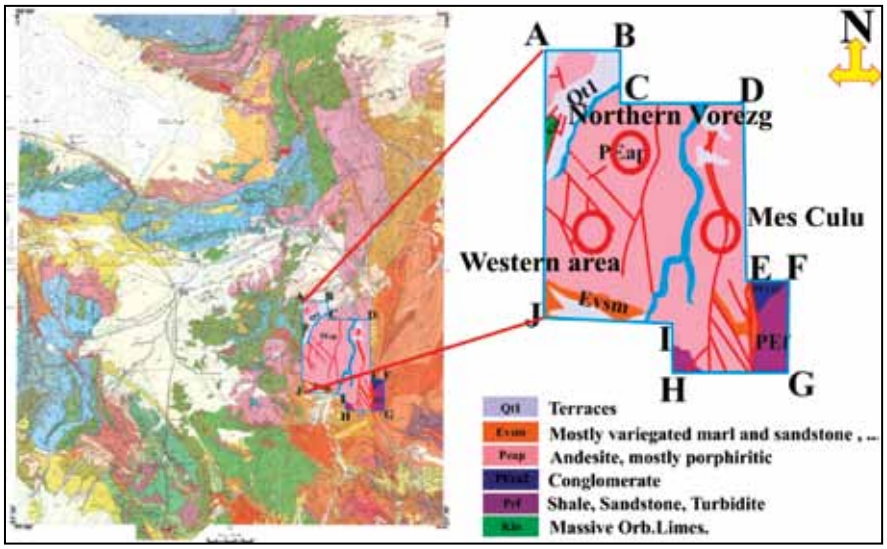
در مورد اندیس‌های موجود در محدوده این برگه و نیز کانسار ورزگ تا پیش از این مطالعه خاصی صورت نگرفته است. شاید بتوان اولیه بودن کالکوسیت را در منطقه عباس‌آباد، به این منطقه نیز تعمیم داد. نتایج مقایسه کانسار ورزگ با کانسارهای مشابه در ایران و دیگر نقاط جهان درجدول‌های ۴ و ۵ در بخش پایانی مقاله آمده است. هرگاه صحبت از کانی مس‌طبیعی در پاراژنز کانیایی کانساری می‌شود، بی‌درنگ کانسارهای مس نوع میشیگان شبه‌جزیره کویناوی امریکا به ذهن می‌آید. ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و سنگ‌میزبان کانیسازی در کانسار مس ورزگ که در سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت تا آندزیت- بازالت رخ داده است و مشخصه ژئوشیمی آن، یعنی بالا بودن مقادیر مس- نقره و در کل، مرور این ویژگی‌ها، بی‌درنگ ذخایر نوع میشیگان شبه‌جزیره کویناوی آمریکا را به خاطر می‌آورد. اما با مطالعه بیشتر تفاوت‌های بین آن دو آشکار می‌شود. کانه مس‌طبیعی در اثر فرایندهای برون‌زاد، در تمامی کانسارهای مس می‌تواند تشکیل شود. در این‌گونه موارد مقدار کانه مس طبیعی تشکیل شده کم است. چرا که فرایندهای برون‌زاد معمولاً تا حدی پیش نمی‌روند که بتوانند تمامی کانه‌های ژرفازاد (هیپوژن) را به کانی‌های ثانویه مانند مس‌عنصری تبدیل کند. در حالی‌که در کانسار میشیگان، کانه اصلی، مس طبیعی است و اندازه تکه‌های مس آزاد گاه به بیش از ۱۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد. بنابراین در پاراژنز کانیایی کانسار میشیگان، مس طبیعی بیشترین سهم را دارد، در حالی‌که در کانسار ورزگ، کانی‌های سولفیدی مس و بیشتر کالکوسیت حضور دارند. تفاوت آشکار دیگری که بین این دو کانسار وجود دارد، تفاوت در مورد سنگ میزبان کانسار میشیگان و ورزگ است. در کانسار میشیگان سنگ میزبان تا حد رخساره پرهنیت- پومپله‌ایت دچار دگرگونی شده است. در حالی‌که در کانسار ورزگ، آثاری از دگرگونی دیده

نمی‌شود. این تفاوت شاید در ظاهر و در نگاه اول چندان مهم به‌نظر نرسد، اما با نگاه ژرف‌تر به موضوع اختلاف در مدل زایشی این دو ذخیره نمایان می‌شود. در مورد کانسار میشیگان، اتفاق نظر نسبی وجود دارد که عامل به‌وجود آورنده کانی‌سازی، همان دگرگونی بوده است. در نتیجه کانی‌سازی مس به‌صورت اپی‌ژنتیک رخ داده است. اما در مورد کانسار ورزگ، دست‌کم این موضوع روشن است که سنگ میزبان دچار دگرگونی نشده است. بنابراین به همان آسانی که از اپی‌ژنتیک بودن کانی‌سازی در میشیگان صحبت می‌شود، در مورد کانسار ورزگ نمی‌توان بحث کرد.

نتایج حاصل از مقایسه کانسار ورزگ با کانسارهای مشابه بیان شده این است که کانه‌سازی مس ورزگ بیشترین شباهت را در ایران با کانسار مس عباس‌آباد شاهرود و در دنیا با گونه کانسارهای نوع مانتو و کانسارهای مس در طبقات سرخ آتشفشانی (Volcanic redbed copper) دارد. Lefebure & Church (1996) کانسارهای مس نوع بازالتی، کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی و کانسارهای مس نوع مانتو را مترادف (Synonym) می‌خوانند. به‌نظر می‌رسد که تمامی این کانسارها به یک نوع تعلق دارند و در مکان‌های مختلف اسامی گوناگونی به آنها داده شده است. بنابراین کانسار ورزگ نیز در این گروه نام‌گذاری می‌شود.



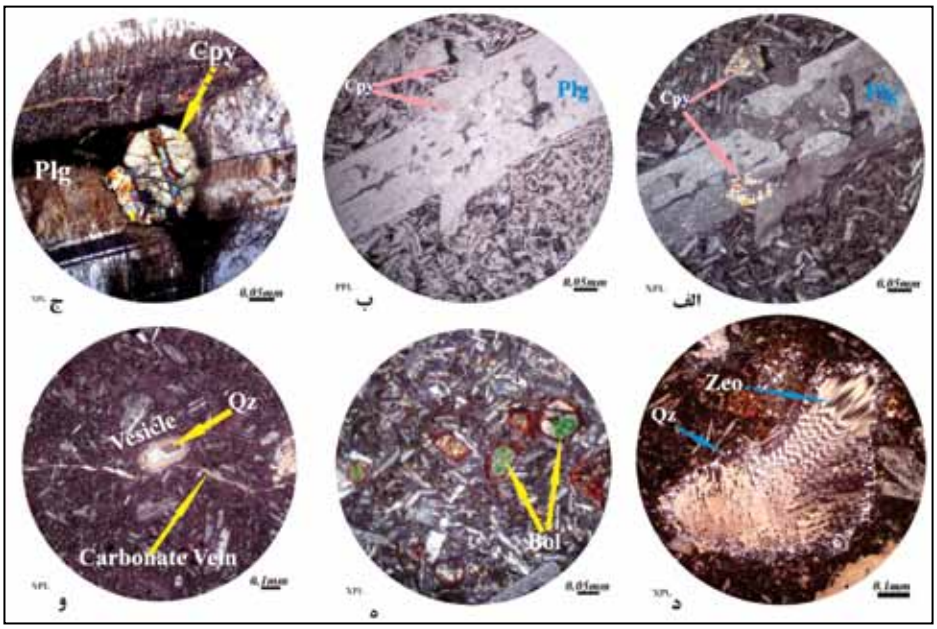
شکل ۱- موقعیت قائن در نقشه ایران و راه‌های دسترسی به محدوده مورد پژوهش (ورزگ)



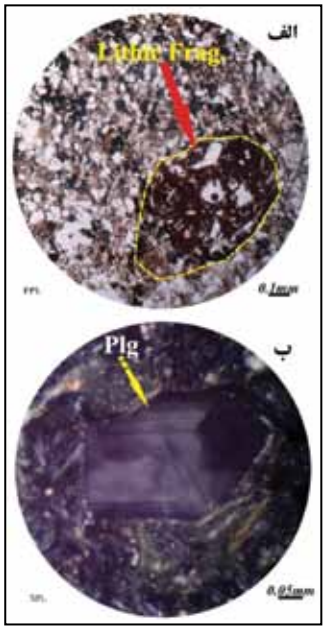
شکل ۲- موقعیت سه اندیس بیان شده بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قائن

شکل ۳- الف) بافت آمیگدالوییدال در رخنمون و ب) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه حاصل از گمانه

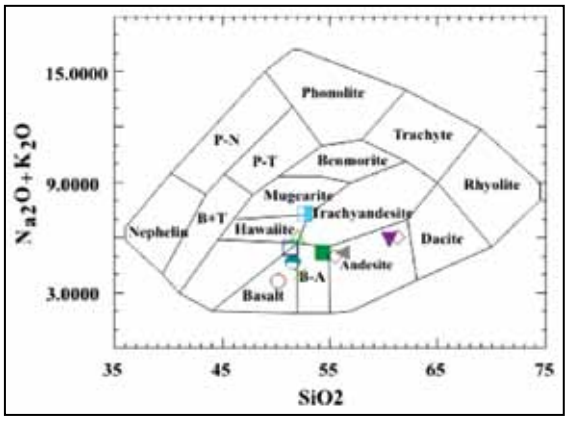
شکل ۴- نمایی از توف دارای لایه‌بندی



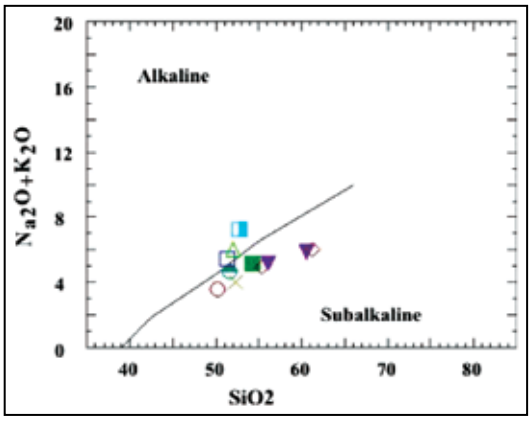
شکل ۵- کانی‌ها و بافت‌های دیده شده در شماری از نمونه‌های آندزیت، آندزیت- بازالت و بازالت



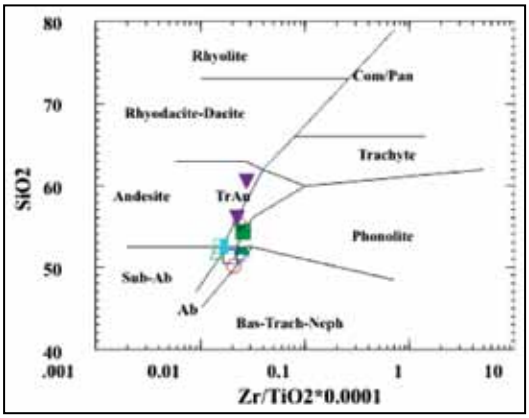
شکل ۶- کانی‌ها و بافت‌های دیده شده در شماری از نمونه‌های توف



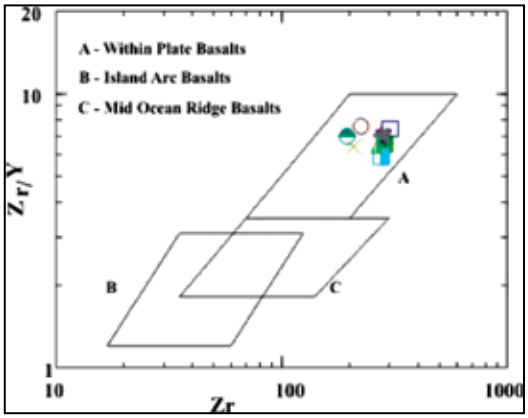
شکل ۷- موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر روی نمودار مجموع درصد وزنی قلیایی در برابر درصد وزنی سیلیس (Cox et al., 1979).



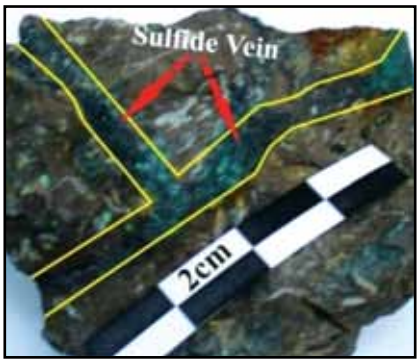
شکل ۸- موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر روی نمودار سیلیس در برابر مجموع قلیایی (Irvine & Baragar, 1971).



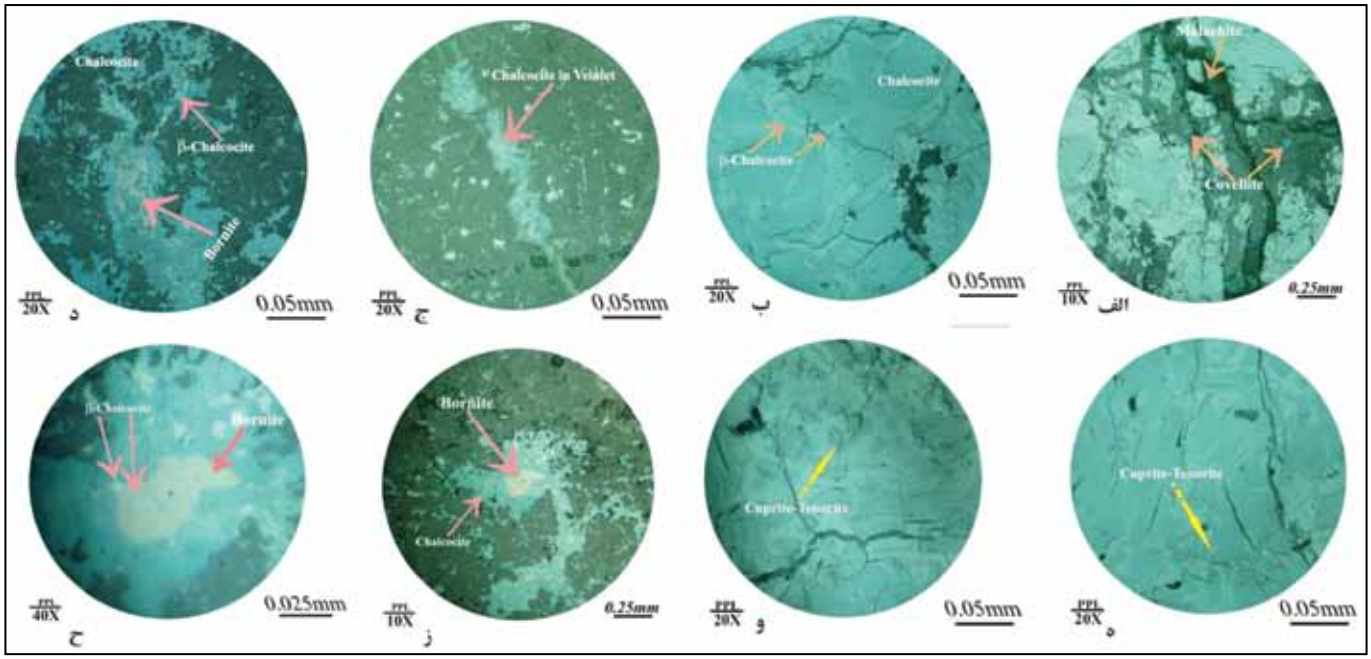
شکل ۹- موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر روی نمودار Winchester & Floyed (1977).



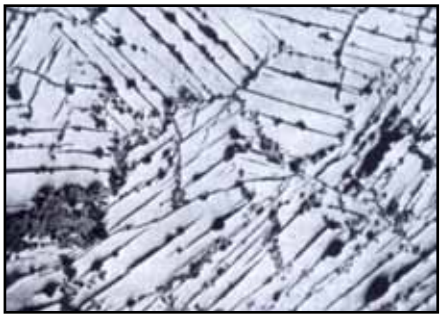
شکل ۱۰- نمودار تعیین موقعیت زمین‌ساختی (Pearce & Norry, 1979).



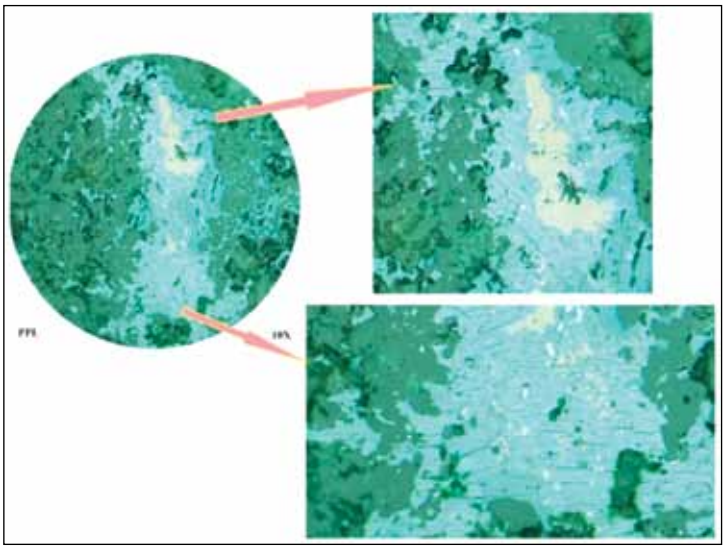
شکل ۱۱- تصویری از رگچه‌های سولفیدی در نمونه دستی، برداشت شده از رخنمون دارای کانی‌سازی



شکل ۱۲ – تصویری از کانه‌ها و بافت‌های شناسایی شده از نمونه‌های ورزگ

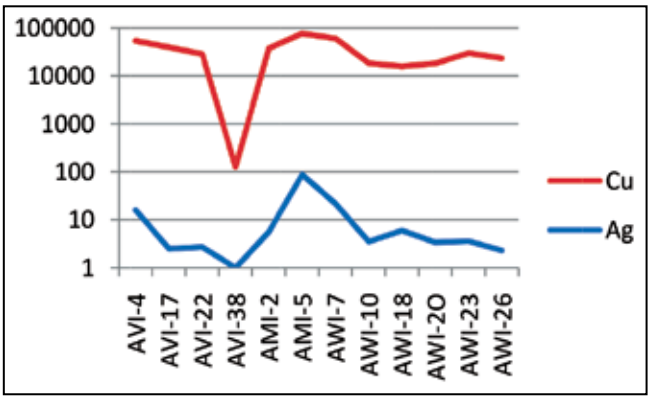


شکل ۱۳- تصویری از دانه‌های درشت کالکوسیت دارای رخ (کلیواژ) که مالاکیت درطول رخ‌ها رشد یافته است (Romdohr, 1980).

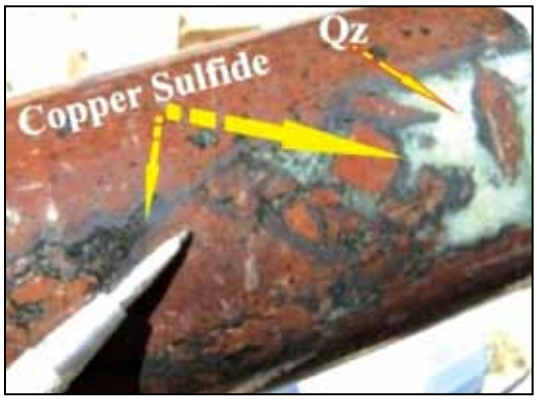


شکل ۱۴- تصویری از دانه‌های درشت کالکوسیت دارای رخ که مالاکیت در رخ‌ها رشد یافته است (کانسار ورزگ)

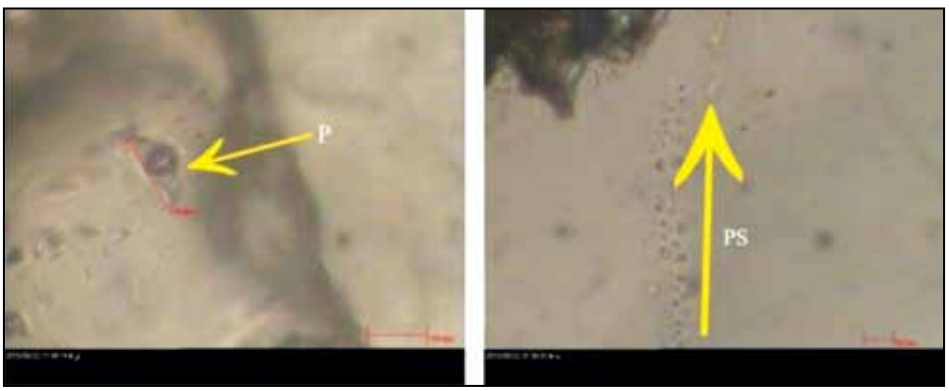
شکل ۱۵- تصویری از کانه سولفیدی مس درون درشت‌بلور پلاژیوکلاز به صورت بافت ادخال (عکس از مغزه)



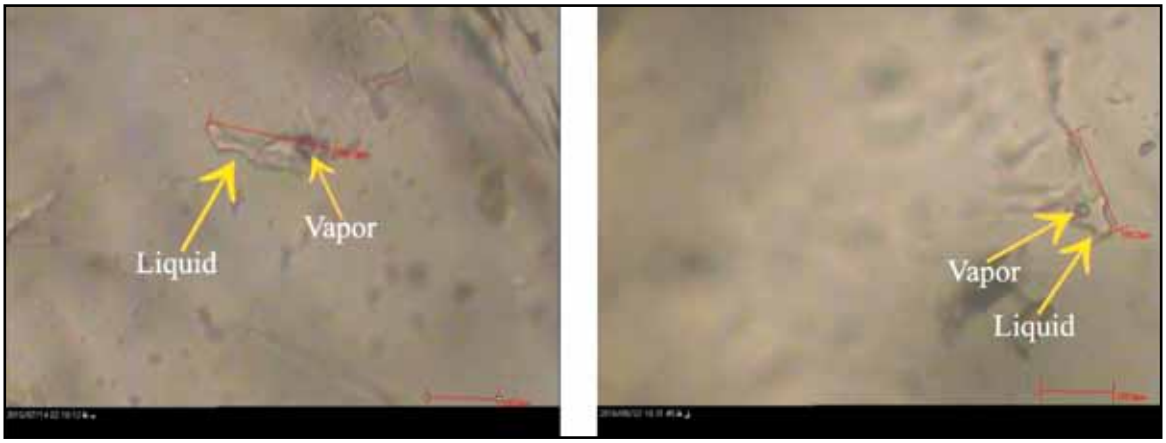
شکل ۱۶- نمودار همبستگی بین عناصر مس و نقره در چند نمونه سطحی کانی‌سازی شده



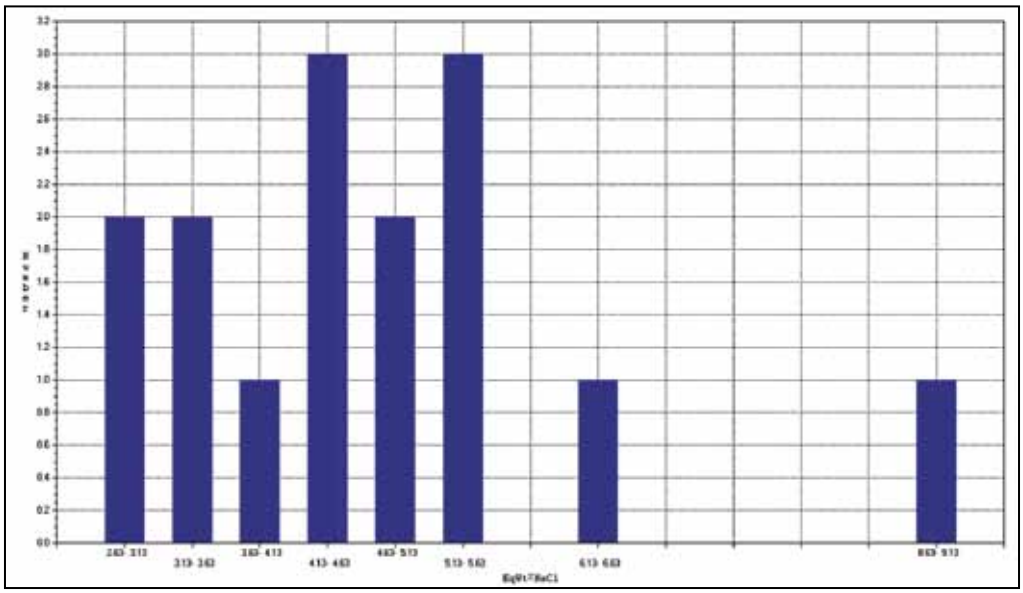
شکل ۱۷- تصویری از نمونه‌دستی انتخاب شده برای تهیه مقاطع دوبر صیقل (Double-Polished Thin Section).



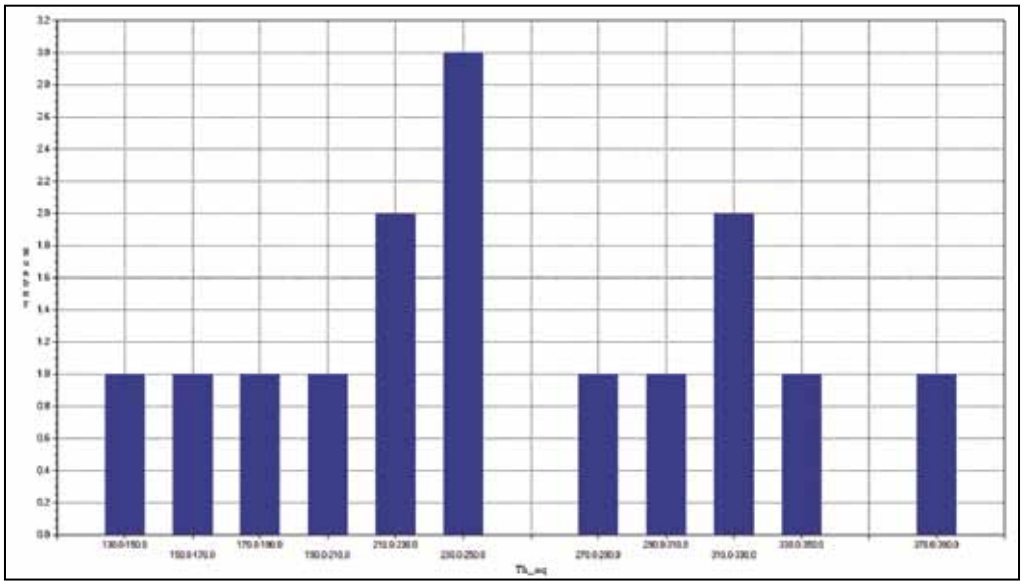
شکل ۱۸- تصویری از سیال‌های اولیه و ثانویه کاذب



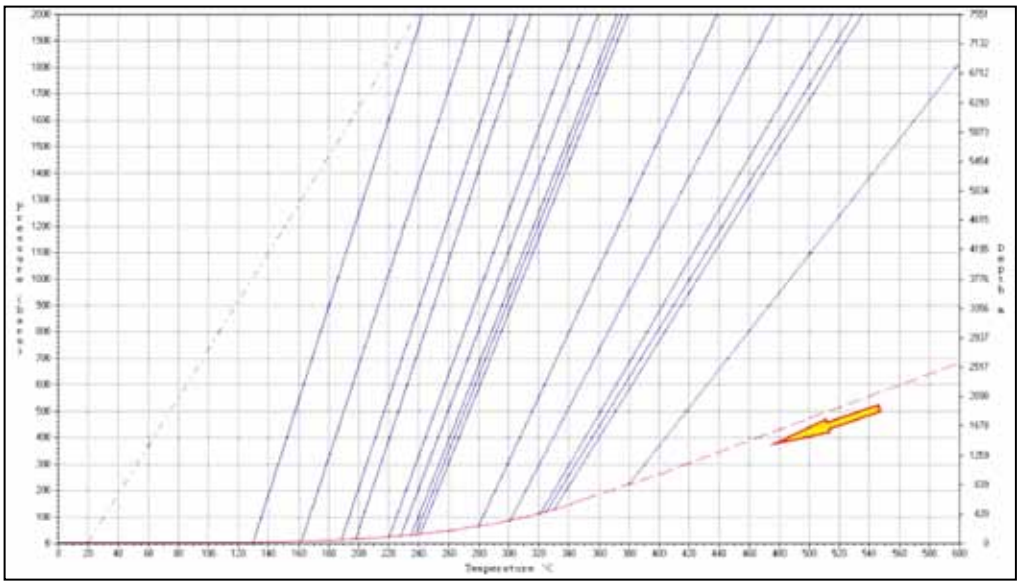
شکل ۱۹- تصویری از سیال‌های نوع A (دوفازی غنی از مایع)



شکل ۲۰- نمودار ستونی فراوانی درصد شوری نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۲۱- نمودار مربوط به دمای همگن‌شدگی نمونه‌های مطالعه شده



شکل ۲۲- نمودار فشار- دما- ژرفا که در آن روند حرکتی سیال از ژرفا به سطح را (جهت فلش) می توان دید (Shepherd et al.,1985).

جدول ۱- توالی پاراژنزی کانه‌های مس کانسار ورزگ

Minerals	Early → Late Mineralisation	
	Hypogene	Supergene
Chalcopyrite	—	
Bornite	—	
Blue chalcocite	—	
β-Chalcocite	—	
Covellite	—	
Cuprite-Tenorite		—
Native Copper		—
Malachite		—
Azurite		—

جدول ۲- نتایج تجزیه عنصری مس و نقره در چند نمونه سطحی کانی‌سازی شده

Sample. ID	Ag(ppm)	Cu(ppm)
AWI-26	2.3	23519.5
AVI-17	2.5	39913.5
AVI-22	2.7	28552.3
AWI-20	3.4	18333.7
AWI-10	3.5	18423.6
AWI-23	3.6	30007.3
AMI-2	5.6	37643.4
AWI-18	6	15816.6
AVI−4	16	54098.9
AWI−7	21.8	60822.6
AMI−5	87.8	76973
AVI-38	…	126.6

جدول ۳- نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعه میانبارهای سیال و ویژگی‌های آنها

CHARACTERISTIC / SAMPLE	BOREHOLE	BOX.NO	DEPTH(m)
1	**6**	**4**	**16**
2	**6**	**4**	**17.45**
3	**7**	**2**	**6.10**
4	**7**	**3**	**12**
5	**Surface Sample**	**...**	**...**

جدول۴- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ورزگ با انواع مشابه در دیگر نقاط جهان

کانسار / ویژگی‌ها	ورزگ	MANTO TYPE	VOLCANIC REDBED Cu	MICHIGAN TYPE
موقعیت	ایران (کانسار ورزگ)	شیلی (کانسار بوئنااسپرانزا)	کانادا (کانسار مانت الکساندرا)	جزیره کویناو، ایالات متحده (کانسارمیشیگان)
سنگ میزبان	آندزیت تا آندزیت- بازالت آمیگدالوییدال	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	بازالت آمیگدالوییدال با میان‌لایه‌های کنگلومرایی
سری ماگمایی	سری قلیایی	...	...	سری تولئیتی (نیمه‌قلیایی)
جایگاه زمین‌شناختی	دریایی کم‌ژرفا تا قاره‌ای	آتشفشانی نیمه‌قاره‌ای	آتشفشانی قاره‌ای تا زیردریایی کم‌ژرفا	...
جایگاه‌زمین‌ساختی	کافت درون قاره‌ای	...	کافت درون‌قاره‌ای و نزیک به حواشی صفحات	...
پاراژنز کانیایی	کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، بورنیت، مس‌طبیعی و کمی کالکوپیریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، مس‌طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا	کالکوسیت، بورنیت، مس‌طبیعی، دیژنیت و کوولیت	مس‌طبیعی، کوپریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، کالکوسیت و دیژنیت
محصول فرعی	نقره	نقره	نقره	نقره
بافت ماده معدنی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده بادامک‌ها، پراکنده	رگه‌ای و پرکننده فضاهای باز	پراکنده، پرکننده فضاهای باز، رگه-رگچه‌ای	افشان و پرکننده فضای خالی
محصولات دگرسانی	کربنات، کوارتز، کلریت، زئولیت	کلریت، آلبیت، کوارتز، اپیدوت	کلسیت، زئولیت، اپیدوت، کلریت، آلبیت	...
سن کانه‌زایی	ترشیری	ژوراسیک	پروتروزوییک تا ترشیری	پالئوزوییک
منابع	علی‌زاده(۱۳۸۹)	Sillitoe (1997)	Lefebure & Church (1996) Cabral & Beaudoin (2007)	Cornwall (1956)

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ورزگ با انواع مشابه در ایران

کانسار / ویژگی‌ها	ورزگ	عباس‌آباد	اندیس معدنی مس دارهند	اندیس معدنی مس قبله‌بولاغ
موقعیت	۱۵ کیلومتری خاور قاین	شاهرود	۴/۵ کیلومتری نطنز	۶۵ کیلومتری جنوب‌خاور زنجان
سنگ میزبان	آندزیت تا آندزیت-بازالت آمیگدالوییدال	آندزیت تا آندزیت- بازالت پورفیری	بازالت آمیگدالوییدال	بازالت آمیگدالوییدال
سری ماگمایی	قلیایی	قلیایی تا نیمه‌قلیایی	...	...
جایگاه زمین‌شناختی	دریایی کم‌ژرفا تا قاره‌ای	...	...	...
جایگاه زمین‌ساختی	کافت درون‌قاره‌ای	کافت درون‌قاره‌ای	...	...
پاراژنز کانیایی	کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی، کالکوپیریت	کالکوسیت، دژنیت، بورنیت، کوولیت، مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت	مس‌طبیعی، کوپریت، تنوریت، مالاکیت و اندکی پیریت	مس‌طبیعی، تنوریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، مگنتیت، هماتیت، پیریت
محصول فرعی	نقره	نقره	نقره	نقره
بافت ماده معدنی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده بادامک‌ها، دانه‌پراکنده	...	رگه‌ای	افشان و پرکننده فضای خالی
محصولات دگرسانی	کربنات، کوارتز، کلریت، زئولیت	...	...	اپیدوت، کلریت، کوارتز، کلسیت و ...
سن کانه‌زایی	پالئوسن- ائوسن	تراز پایانی آتشفشانی ائوسن	ائوسن میانی- بالایی	ائوسن
منابع	علی‌زاده (۱۳۸۹)	سامانی(۱۳۸۱)	نظافتی (۱۳۷۹)	بهزادی(۱۳۷۳)

کتابنگاری

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امامی، م.، ۱۳۷۸- جزوه‌های درسی سنگ‌شناسی آذرین ۱ و ۲ (پژوهشکده علوم زمین)

بهزادی، م.، ۱۳۷۳- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس قبله‌بولاغ واقع در منطقه طارم سفلی- استان زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهیدبهشتی

سامانی، ب.، ۱۳۸۱- متالوژنی کانسارهای مس نوع مانتو در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران

علی‌زاده، و.، ۱۳۸۹- ژئوشیمی، پترولوژی، کانی‌شناسی و ژنز مس منطقه جنوب‌شرق قائن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

ملک‌قاسمی، ف.، ۱۳۷۸- اصول مینرالوگرافی، انتشارات دانشگاه تبریز، ۳۴۰ص

نظافتی، ن.، ۱۳۷۹- زمین‌شناسی اقتصادی پتانسیل‌های فلزی منطقه نطنز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

References

Bazin, D. & Hubner, H., 1969 – Copper deposits in Iran , Report No. 13, GSI.

Cabral, A. R. & Beaudoin, G., 2007– Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandera, Quebec Appalachina.

Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. G., 1979- The interpretation of igneous rocks. George , Allen and Unwin, London.

Guilbert, J. M. & Park, Jr. C. F., 1997- The Geology of ore deposits. 884 page. Freeman and Company.

Irvin, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks.

Lefebure, D. V. & Church, B. N., 1996- Volcanic Redbed Cu, in selected British Colombia Mineral Deposit Profiles.

Pearce, J. A. & Norry, M. J., 1979- Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol. , 69, 33–47.

Ramdohr, P., 1980- The ore mineral and their intergroths. 1207 Page. Pergamon, Oxford, England.

Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation. Penguin Press. 209 page.

Sergio Espinoza, R., Hector Veliz, G., Justo Esqivel, L., Jaime Arias, F. & Aldo Mroago, B., 1994- The Cupriferous Province of the Costal Range , Northern Chile, Manuscript, 16P.

Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, D. H. M., 1985– A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, London.

Sillitoe, R. H., 1977- Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, pp.99–116 in volcanic processes in ore genesis.

Tarkian, M., Lotfi, M. & Baumann, A., 1983- Tectonic, Magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, est Iran, Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project in Iran, No. 51, pp.357–38.

Winchester, J. A. & Floyed, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol. , 20 , 325–343

Yermakov, N. P. & Wilson, A. J. C., 1965- Reserch on the nature of mineral-forming solutions, with special reference to data from fluid inclusions. New York Pergamon press. (in Russian).