

مطالعه کانه‌زایی مس جیان در استان فارس با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و میانبارهای سیال

محمدعلی رجب زاده^{۱*} و سهیلا اسماعیلی^۲

^۱دانشیار، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
^۲دانشجوی دکتری، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۱۴

چکیده

کانسار مس جیان در فاصله ۱۹۵ کیلومتری شمال خاوری شیراز و در لبه خاوری پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان درون مجموعه آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده کمپلکس سوریان با سن پرموتریاس قرار دارد. سنگ‌شناسی منطقه بیشتر شامل متابازالت، کلریت-کوارتز شلیست، کلریت-مسکوویت شلیست، میکاشیست و گرافیت شلیست است. پیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی و کالکوپیریت کانی اصلی مس در این کانسار است که در ساختارهای توده‌ای عدسی شکل تا به نسبت تخت و همچنین به صورت افشان، رگچه‌ای و رگه‌ای در سنگ کلریت-کوارتز شلیست کانه‌زایی شده‌اند. داده‌های ژئوشیمیایی عناصر متحرک (Ba, Rb, K, Na) و عناصر خاکی کمیاب (REE) بیانگر برهم کنش سیال گرمایی کانه‌ساز با سنگ‌های میزبان است. نسبت میزان $Co/Ni = 1/0.2$ و $Se/S * 10^6 < 500$ و $Y/Ho = 29/0.9 - 32/5$ در ماده معدنی کانسار جیان نشانگر تشکیل این کانسار در دماهای پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با حضور گسترده آب دریا در سیال گرمایی کانه‌زاست. همچنین داده‌های دماسنجی مربوط به میانبارهای سیال کانی کوارتز در کانسنگ مس نشانگر دمای یکنواختی میان ۱۲۴ تا ۳۰۷ درجه سانتی‌گراد و شوری در محدوده ۲/۷ تا ۱۴ درصد وزنی معادل NaCl است. پدیده‌های سردشدگی و جوشش به عنوان مهم‌ترین فرایندهای تحول سیال و سازوکاری مؤثر در کانه‌زایی مس در کانسار جیان به عنوان یک کانسار سولفید توده‌ای با سنگ میزبان آتشفشانی-رسوبی هستند.

کلیدواژه‌ها: ژئوشیمی، میانبار سیال، کانسار مس، جیان، فارس.

***نویسنده مسئول:** محمدعلی رجب‌زاده

E-mail: Rajabzad@susc.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

سنگ میزبان و ۳ نمونه ماده معدنی) در آزمایشگاه شرکت ACME در ونکوور کانادا با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ درصد برای عناصر اصلی و ۰/۱ ppm برای عناصر خاکی کمیاب و ۱ ppm برای عناصر Cu, Zn, Pb میان ۱ تا ۰/۱ ppm برای دیگر عناصر مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین برای اندازه‌گیری میزان نیکل و کبالت موجود در پیریت‌های موجود در گرافیت شلیست‌های پوشاننده ذخیره معدنی، ۱۰ نمونه پیریت به روش دستی و با استفاده از میکروسکوپ نوری جداسازی و خالص‌سازی شدند و پس از انحلال کامل با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) مورد تجزیه قرار گرفتند (جدول ۲). به منظور انجام مطالعه دماسنجی روی میانبارهای سیال، ۴ نمونه دوبر صیقلی از کوارتز به عنوان کانی باطله اصلی کانسار و همزاد با کالکوپیریت تهیه و پارامترهای دمایی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به کمک استیج THMS600 گرم‌کننده و منجمدکننده مدل Linkam نصب شده روی میکروسکوپ Zeiss اندازه‌گیری شدند. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. این دستگاه مجهز به دو کنترل گر گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (برای انجماد) و مخزن آب (برای خنک کردن دستگاه) است. مطالعات سنگ‌نگاری مرتبط با بزرگنمایی‌های ۵۰۰ تا ۱۲۵۰ و کالیبراسیون دستگاه در مرحله گرمایش با استفاده از نیتراک سدیم با نقطه ذوب ۴۱۴ و دقت ± 0.6 درجه سانتی‌گراد و در مرحله سرمایش از هگزان با نقطه ذوب ۹۴/۳ و دقت ± 0.2 درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است.

با توجه به گوناگونی کانسارهای مس، مطالعه نحوه تشکیل و محیط‌زایی آنها در پی‌جویی نهشته‌های معدنی مس و بهره‌برداری مناسب از این ذخایر دارای اهمیت فراوانی است. مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کمپلکس سوریان در پهنه سنندج-سیرجان به صورت نوار باریکی با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری به موازات دره بوانات در شمال خاور استان فارس رخنمون دارد. وجود سرباره‌های ذوب و آثار گسترده شادادی به همراه آثار کانه‌زایی مس، روی و نقره در جنوب باختری و جنوب خاوری شهر سوریان نشانگر سابقه و رونق معدنکاری در زمان‌های قدیم در این منطقه است. از مطالعات متعددی که با اهداف پی‌جویی و تعیین ژنز مس، سرب، روی و باریت در منطقه بوانات صورت گرفته است می‌توان به کارهای تقی‌پور (۱۳۷۹) و موسیوند (۱۳۸۲) در چارچوب پایان‌نامه‌های کارشناسی‌ارشد اشاره کرد. بر پایه این مطالعات منشأ متفاوتی برای کانه‌زایی فلزات در منطقه بوانات و بیشتر با تأکید بر سنگ‌نگاری ارائه شده است. با توجه به اینکه مطالعات ژئوشیمیایی در کنار داده‌های دماسنجی میانبارهای سیال می‌تواند عوامل فیزیکی-شیمیایی حاکم بر محیط تشکیل کانسار را بارزسازی نماید و به شناخت ویژگی‌ها، منشأ و تکوین سیال گرمایی کانه‌زا و در نهایت ژنز کانسنگ‌ها کمک کند در این پژوهش با هدف ارائه الگویی از چگونگی تشکیل کانسار مس جیان به معرفی داده‌های ژئوشیمیایی و نتایج مطالعه میانبارهای سیال پرداخته شده است.

۲- روش مطالعه

۷۸ نمونه در امتداد ۸ پیمایش هدفمند عمود بر جهت طولی محدوده کانه‌زایی شده از سنگ‌های مختلف برداشت شدند. ۳۲ مقطع نازک و ۱۵ مقطع صیقلی از نمونه‌های شاخص با استفاده از روش‌های میکروسکوپی نوری بازتابی و انعکاسی مورد مطالعه قرار گرفتند. برای تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی به دو روش ICP-AES برای اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی و ICP-MS برای تعیین عناصر خاکی کمیاب و عناصر پایه و برخی عناصر فرعی، تعداد ۹ نمونه (۶ نمونه

۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

کانسار مس جیان در فاصله ۱۹۵ کیلومتری شمال خاوری شیراز و در ۵ کیلومتری باختر شهر سوریان قرار گرفته است. کانه‌زایی مس به صورت کالکوپیریت در مجموعه آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده سوریان با سن پرموتریاس شامل متابازالت، میکاشیست، گرافیت شلیست، کلریت-کوارتز شلیست و کلریت-مسکوویت شلیست در پهنه سنندج-سیرجان رخ داده است. از نظر چینه‌شناسی این مجموعه به صورت

کالکوپیریت) در مقاطع میکروسکوپی این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند. بافت‌های چیره متبازالت از نوع افیتیک، ساب‌افیتیک و پورفیری هستند. بافت‌های پورفیری بیشتر به صورت میکروولیتی پورفیری با زمینه ریزدانه متشکل از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و فنوکریست‌هایی از نوع کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز هستند (شکل ۲-ت).

سنگ میکاشیست در ناحیه معدنی در افق‌هایی به سترای ۰/۵ تا ۴ متر ایجاد شده است. این سنگ‌ها دارای کوارتز و میکای سفید فراوان هستند. در برخی از نمونه‌ها مقادیری از کانی گرافیت حضور دارد که عامل ایجاد رنگ خاکستری تیره در سنگ است. میزان گرافیت در برخی از نمونه‌ها به حدی است که می‌توان نام گرافیت‌شیت را برای سنگ انتخاب کرد. در این سنگ، پیریت به فراوانی دیده می‌شود که بیشتر در سوی بر گوارگی سنگ میزبان قرار گرفته است. وجود شیت‌های سیاه و میکاشیست‌های ریز دانه به همراه سنگ‌های آتشفشانی نشان می‌دهد که پهنه سنندج-سیرجان در این زمان به صورت کافتی ژرف، در میانه بلوک بوده است. سنگ‌های کلریت-کوارتز شیت و کلریت-مسکوویت شیت کمپلکس سوربان در محدوده معدنی مس جیان دارای گسترش فراوانی بوده و سنگ میزبان اصلی ماده معدنی به شمار می‌آیند. کانی‌های کدر بیشتر در سوی شیت‌توزیته در متن سنگ مشاهده می‌شوند (شکل ۲-ج). در نمونه‌های کانسنگ مس جیان، کانی‌های اولیه (هیپوزن) شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و بورنیت (شکل ۲-ج) و کانی‌های ثانویه (سوپرژن) حاصل از عملکرد هوازدگی شامل کالکوسیت، کولیت، کوپریت، مس آزاد، مالاکیت، آزوریت، همتیت و لیمونیت هستند (شکل ۳). پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی است و در همه سنگ‌های مختلف میزبان به صورت بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار و شکل‌دار وجود دارد. از بافت‌های موجود در پیریت می‌توان به بافت اتصال سه‌گانه، طولیل شدگی، سایه فشاری و کاتاکلاستیک اشاره کرد که از ویژگی‌های بارز کانسارهای سولفیدی دگرگون شده هستند (Cox et al., 1981). کالکوپیریت مهم‌ترین کانی مس‌دار در کانسار جیان است که به صورت سولفید شکافه‌پرکن در کانی پیریت نیز دیده می‌شود (شکل ۲-ح). این پدیده در کانسارهای سولفیدی دگرگون شده به دلیل رفتار شکل‌پذیر کالکوپیریت هنگام دگرگونی رواج دارد که بیانگر تحرک دوباره کالکوپیریت است (McClay & Ellis, 1984).

۴- ژئوشیمی

فلزات پایه در کانسار مس جیان به ترتیب فراوانی عیار شامل مس، روی و سرب است. عیار مس به طور میانگین ۳ درصد و تا ۱۴/۴ درصد در بافت توده‌ای، عیار روی از ۰/۱۱ درصد تا ۱/۱۱ درصد در بافت افشان تا توده‌ای تغییر می‌کند و میزان سرب ناچیز است. به دلیل فراوانی چند برابری مس نسبت به دیگر فلزات، این کانسار به‌عنوان یک کانسار مس شناخته شده است. در میان فلزات قیمتی نقره با عیار میان ۲ تا ۹۱ گرم در تن فراوانی نسبتاً بالایی دارد (موسوند، ۱۳۸۲). مهم‌ترین کمپلکس‌های یونی حمل‌کننده نقره از نوع بی‌سولفیدی $Ag(HS)$ و $Ag_2(HS)$ هستند ولی در محدوده گسترده‌ای از شرایط سیال گرمایی به صورت کمپلکس‌های کلریدی $(AgCl)$ ، $(AgCl)_2$ و $(AgCl)_3$ نیز حمل می‌شود (Robb, 2005). این عنصر در کانی‌های مس‌دار، به راحتی جانشین Cu می‌شود (Klein, 2005). بالاترین میزان ثبت شده این عنصر در کانسنگ توده‌ای کالکوپیریتی مس جیان ۲۰۰ ppm است که می‌تواند بیان‌کننده حضور نقره در ساختمان کالکوپیریت باشد ولی میزان طلا در این کانسار در حد ppb است.

بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی، میزان Se در ماده معدنی کانسار مس جیان حدود ۱۰۰ ppm است. حضور Se در ماده معدنی نشان‌دهنده حضور کمپلکس‌های بی‌سولفیدی در سیال حمل‌کننده این عنصر است (شرایط احیا) (Rouxel et al., 2004). بر پایه نظر Rouxel et al. (2004) میزان بالاتر از ۵۰۰ ppm این عنصر نشانگر تشکیل کانسار در نواحی زیر سطحی است. بنابراین

دگرشیب روی سنگ مرمر اسپاریتی-میکاشیستی مربوط به کمپلکس توتک با سن دونین بالایی-کربونفر زیرین قرار می‌گیرد. بر پایه پیشینه زمین‌دینامیکی پهنه سنندج-سیرجان، منطقه مورد مطالعه در زمان نئوپروتروزویک تا دونین یک حوضه سکویی حاشیه قاره‌ای و کششی است که با رخداد نازک شدگی پوسته‌ای در پالئوزویک پایینی همراه بوده است. اواخر پالئوزویک بالایی تا تریاس میانی در پهنه سنندج-سیرجان با پدیده کافتش و نهشت کربنات‌ها، گدازه‌های بالشی و برش‌های همزمان با رسوب‌گذاری مشخص می‌شود که نشانگر رژیم زمین‌ساختی کششی و جدایش بلوک ایران مرکزی از گندوانا و گسترش بستر اقیانوس نئوتیس است (Shekholeslami, 2002; Alavi, 2007). مجموعه گسل‌ها در محدوده معدنی در دو مقیاس و با روندهای متفاوت عمل کرده‌اند. گسل‌های بزرگ مقیاس دارای امتداد NW-SE به موازات امتداد عمومی زاگرس هستند در حالیکه گسل‌های کوچک مقیاس دارای امتدادهای مختلف بوده و از روند کلی منطقه پیروی نمی‌کنند. گسل بزرگ تراسی سوربان در بخش شمالی محدوده معدنی مرز میان پهنه سنندج-سیرجان و ایران مرکزی و گسل بزرگ جیان لبه کم شیب یک گسل قاشقی با سازوکار انقباضی است که مرز میان پهنه سنندج-سیرجان با زاگرس خرد شده را مشخص می‌کنند (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۶۹؛ اویسی، ۱۳۸۰) (شکل ۱). سنگ‌های متبازالتی بیشتر به شکل سیل، دایک و گدازه در بخش‌های میانی و بالایی کمپلکس سوربان همراه با میان‌لایه‌هایی از میکاشیست و کوارتز-کلریت‌شیت قرار می‌گیرند. کانه‌زایی مس بیشتر در بخش‌های بالایی واحدهای سنگی میانی و بالایی کمپلکس سوربان رخ داده است. نهشته‌های دیگر مس در مناطق مجاور نظیر کانسارهای دیده بانکی، مزایجان، بنو و چیر نیز نشان می‌دهند که کانه‌زایی مس در کمپلکس سوربان محدود به افق‌های خاصی می‌شود. این وضعیت نشانگر کانه‌زایی مس همراه با فعالیت‌های گرمایی به دنبال افزایش شدت فعالیت‌های آتشفشانی است. افزایش فعالیت‌های آتشفشانی در واحدهای سنگی بخش‌های میانی و بالایی کمپلکس سوربان با افزایش میزان متبازالت نشان داده می‌شود که بیانگر رابطه مستقیم میان فعالیت آتشفشانی و کانه‌زایی است. بخش بالایی واحد متبازالتی در منطقه کانه‌زایی مس جیان با افزایش میزان سنگ‌های کوارتز-کلریت‌شیت و کلریت-مسکوویت شیت همراه است و در انتها توسط گرافیت‌شیت پوشیده می‌شوند.

ماده معدنی در کانسار مس جیان در ساختارهای توده‌ای عدسی شکل تا به نسبت تخت و همچنین به صورت افشان، رگچه‌ای و رگه‌ای در درون سنگ‌های میزبان کلریت-کوارتز شیت، کلریت-مسکوویت شیت و به میزان کمتری در میکاشیست و متبازالت رخ داده است. ابعاد کانه‌زایی در نهشته‌های عدسی شکل حداکثر $1/5 \times 2$ ، در رگچه‌ها و رگه‌ها نیز از ۲ میلی‌متر تا ۰/۵ متر مشاهده می‌شود (شکل‌های ۲-الف، ب، پ و ت). این افق‌های سنگی دچار دگرشکلی شده و امتداد آنها توسط گسل‌های متعدد جابه‌جا شده‌اند.

مطالعه میکروسکوپی نمونه‌های شاخص کمتر دگرسان شده متبازالت نشان می‌دهد که فلدسپار، کلینوپروکسن و به میزان کمتر الیون کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ هستند. پلاژیوکلاز با فراوانی ۵۰ تا ۸۰ درصد کانی اصلی این سنگ بوده که در اندازه‌های ۱ تا ۶ میلی‌متر به صورت خودشکل و نیمه‌خودشکل با ماکل تیغه‌ای مشاهده می‌شود. بلورهای پلاژیوکلاز در اثر دگرسانی به سریسیت، کلسیت، اپیدوت، کلریت و اکتینولیت تجزیه شده‌اند. در برخی از نمونه‌های به شدت دگرسان شده تنها آثار جزئی از آنها باقی مانده است. کلینوپروکسن با فراوانی ۲۰ تا ۴۰ درصد پس از پلاژیوکلاز، عمده‌ترین کانی تشکیل‌دهنده این سنگ است و بیشتر به صورت نیمه‌خود شکل دیده می‌شود. بلورهای کلینوپروکسن در اثر دگرسانی، اورالیتی شده و به کلریت و اکتینولیت تبدیل شده‌اند. افزون بر کانی‌های ثانویه، کانی‌های فرعی دیگری نیز شامل آپاتیت، کوارتز و کانی‌های کدر (معمولاً پیریت و

متحرک (Ba, Rb, K, Na) در سنگ میزبان نشانگر بر همکنش سیال گرمایی کانه‌ساز با سنگ‌های میزبان و خروج عناصر متحرک از محیط است.

۵- دماسنجی میانبارهای سیال

به منظور روشن ساختن منشأ کانسار مس جیان، میانبارهای سیال کانی کوارتز به عنوان کانی همراه با کالکوپیریت در توده‌های معدنی مورد مطالعه دماسنجی قرار گرفتند. به‌رغم این که کانسار جیان تحت تأثیر دگرگونی‌های درجه پایین قرار گرفته است، برخی از رگ‌ها و توده‌های معدنی از تأثیرات دگرگونی محفوظ مانده‌اند. بنابراین مطالعه دماسنجی روی مجموعه میانبارهای سیال این کوارتزها صورت گرفته است. همچنین درهم رشدی متناوب کوارتز و کالکوپیریت در مطالعات میکروسکوپی نشانگر تشکیل همزمان این دو کانی است. ثابت بودن نسبت گاز به مایع میانبارهای سیال هنگام مطالعات دماسنجی نیز نشان می‌دهد که در این میانبارها نشر صورت نگرفته است.

میانبارهای سیال اولیه و شبه ثانویه حجم‌های کوچکی از سیال کانه‌زا هستند که همزمان با تبلور کانی‌ها در ریز شکستگی‌ها و نقایص بلوری کانی میزبان به دام افتاده‌اند و از مطالعه آنها در شناخت ویژگی‌ها و تحول سیال کانه‌زا و در نهایت چگونگی تشکیل ذخایر معدنی استفاده می‌شود (Hall et al., 1988). در کوارتزهای مورد مطالعه میانبارهای سیال اولیه به‌صورت مجزا و پراکنده دیده می‌شوند در حالیکه میانبارهای سیال شبه ثانویه به صورت خطی بسیار ریز ولی به دور از محل شکستگی‌های کانی میزبان قرار گرفته‌اند. مجموعه میانبارهای سیال در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان در ۳ گروه فازی به شرح زیر تقسیم کرد:

- ۱) میانبارهای سیال دوفازی مایع-گاز (L+V)
- ۲) میانبارهای سیال تک‌فازی مایع (L)
- ۳) میانبارهای سیال تک‌فازی گازی (V)

در میانبارهای سیال دو فازی مایع-گاز، بیشترین حجم میانبار را فاز مایع در بر می‌گیرد و فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۰ درصد حجم میانبار را تشکیل می‌دهد (جدول ۳). میزان شوری در این نوع میان ۲/۷ تا ۱۴/۶ در صد وزنی معادل NaCl در تغییر است (شکل ۵-الف). میانبارهای سیال تک‌فازی مایع (L) با اندازه کمتر از $4 \mu\text{m}$ از نظر فراوانی پس از میانبارهای سیال دو فازی مایع-گاز قرار می‌گیرند. به علت تک‌فاز بودن این میانبارها، در مطالعات دماسنجی از آنها استفاده نشد. میانبارهای سیال تک‌فازی گازی (V) حباب‌گاز بیش از ۹۵ درصد از حجم میانبار را اشغال می‌کند و امکان مشاهده فاز مایع وجود ندارد بنابراین از این نوع میانبار نیز نمی‌توان برای مطالعات دماسنجی استفاده کرد. با این حال فراوانی بالای این نوع میانبارها بیانگر شرایط جوش سیال کانه‌زاست (شکل ۵-ب).

نتایج مشاهدات سنگ‌نگاری و داده‌های دماسنجی میانبارهای سیال اولیه و شبه ثانویه در جدول ۳ آورده شده‌اند. در مطالعات دماسنجی کمترین دمای اوتکتیک (Te) به‌دست آمده ۳۹/۶- درجه و بیشترین آن ۱۸/۷- درجه سانتی‌گراد است (شکل ۶-الف). دماهای ذوب ابتدایی نشان می‌دهند که ترکیب سیال کانه‌زا از نوع $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ است و با توجه به آنکه نقطه اوتکتیک در بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از $20/8^\circ\text{C}$ است. حضور نمک‌های دیگر افزون بر NaCl نظیر سامانه‌های چند هم‌نمای $\text{NaCl-H}_2\text{O-CaCl}_2\text{-MgCl}_2$ در سیال کانه‌ساز مشخص است (Fan et al., 2000; Hall et al., 1988).

دامنه تغییرات دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm) از ۱۲/۶- تا ۱/۲- درجه سانتی‌گراد متغیر است (شکل ۶-ب). در انجام مرحله سرمایش روی میانبارها، مثبت نشدن دمای ذوب نهایی نشانگر عدم حضور فاز کلایتریت (Clathrate) است. بنابراین در چنین شرایطی میزان CO_2 کمتر از ۲/۷ درصد وزنی در میانبارهای (L+V) است (Fan et al., 2000). درجه شوری میانبارهای سیال از ۲/۷ تا ۱۴/۶ درصد معادل NaCl

میزان Se در کانسار مس جیان نشان‌دهنده تشکیل کانسار در نواحی نزدیک به سطح است. همچنین میزان نسبت Se/S^*10^6 بالاتر از ۵۰۰ حضور سیال گرمایی با دمای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت‌های پایین‌تر دمای کمتر را نشان می‌دهند (Auclair et al., 1987; Rouxel et al., 2004). میانگین میزان این نسبت در کانسار جیان در حدود ۳۵۰ است که نشانگر تشکیل آن در دمای پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است. میزان Bi, Sb, As در کانسار جیان پایین (As<12 ppm, Bi<8 ppm و Sb<9 ppm) است. پایین بودن میزان این عناصر بیانگر عدم وابستگی آنها به سیال گرمایی با منشأ سنگ‌های آذرین اسیدی است (Mathews et al., 2008). دو عنصر Y و Ho به عنوان دوقلوهای ژئوشیمیایی در فرایندهای ماگمایی با دمای بالا و دگرگونی از هم تفریق نمی‌یابند. میزان میانگین نسبت Y/Ho در بازالت‌های میان اقیانوسی (MORB) و بازالت‌های جزایر اقیانوسی (IAB) ۲۵/۴، در شیل‌ها ۲۶/۵ و در آب دریا میان ۴۰ تا ۷۰ در تغییر است. این میزان در ماده معدنی کانسار مس جیان ۲۹/۰۹ تا ۳۲/۵- است که نشانگر حضور گسترده آب دریا در سیال گرمایی و سامانه کانه‌زایی است (Lixing et al., 2009). حضور ناهنجاری منفی Eu در برخی از نمونه‌های کانسنگ نشان‌دهنده حاکم بودن شرایط اکسیدان در زمان ته نشست مواد معدنی است (Sverjensky, 1984). نبود ناهنجاری منفی Ce در کانسنگ مس جیان نیز می‌تواند نشانه عملکرد دگرسانی یک سیال با شرایط کاهشی روی این سنگ‌هاست (Spry et al., 2000). بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی، میزان Co در ماده معدنی به طور میانگین ۵۲۰ ppm است ولی میزان Ni ناچیز و به‌طور میانگین در حدود ۳۲ ppm است. با وجود مقدار زیاد کبالت، هیچ‌گونه کانی مستقلی از کبالت در مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های معدنی تشخیص داده نشده است و نشانگر حضور Co در ساختمان پیریت و کالکوپیریت است (Krauskopf, 1979). بر پایه نظر (Bralia et al., 1979) میزان و نسبت دو عنصر Ni و Co در پیریت می‌تواند برای تعیین منشأ فلزات به کار رود:

- ۱) پیریت با منشأ رسوبی با مقادیر کم کبالت و نیکل و از راه مقادیر کم نسبت $\text{Co/Ni}=0/63$ مشخص می‌شود.
- ۲) پیریت‌های گرمایی دارای مقادیر متفاوتی از کبالت و نیکل هستند و با مقدار متوسط نسبت $\text{Co/Ni}=1/17$ مشخص می‌شوند.
- ۳) پیریت با منشأ آتشفشانی - بروندمی (Volcanic-exhalitive) در نهشته‌های سولفید توده‌ای از راه نسبت بالای Co/Ni میان ۵ تا ۵۰ (میانگین ۸/۷) مشخص می‌شوند. مقدار Co در پیریت‌های موجود در گرافیت‌شیت پوشاننده زون معدنی به طور متوسط برابر 345 ppm و مقدار نیکل در آنها برابر 55 ppm با میانگین Co/Ni برابر $8/02$ است (جدول ۲) و بنابراین می‌تواند نشانگر منشأ آتشفشانی - بروندمی هستند.

رفتار ژئوشیمیایی عناصر و میزان تحرک آنها در سنگ‌های میزبان کانه‌زایی نقش مهمی در تعیین روند تحول سیال گرمایی دارند. عنصر Ti به عنوان یکی از نامتحرک‌ترین عناصر در محیط‌های دگرگونی و دگرسانی معرفی شده است به‌گونه‌ای که تا درجات بالای دگرگونی (رخساره گرانولیت) و دگرسانی نامتحرک باقی می‌ماند (Nielsen et al., 1994). وجود همبستگی خطی مثبت میان فراوانی TiO_2 و عناصر خاکی کمیاب (REE) شاخصی از عدم تحرک این عناصر در سنگ میزبان مرتبط با کانه‌زایی گرمایی است. اگر چه مقایسه شیب خط رگرسیون میان TiO_2 با عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) و عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) نشان می‌دهد که LREE نسبت به HREE کمی از مبدأ منحرف شده‌اند. این ویژگی نشانگر آن است که در میان عناصر نامتحرک، گروه LREE تحرک بیشتری دارند بنابراین با توجه به اینکه تحرک عناصر REE تا حد رخساره گرانولیت امکان پذیر نیست. بنابراین این جابه‌جایی می‌تواند به تأثیر بالای یک سیال گرمایی بر سنگ‌های میزبان نهشته‌های معدنی نسبت داده شود (شکل ۴). همچنین میزان بسیار پایین عناصر

مربوط به کانسار مس جیان در محدوده کانسارهای VMS قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۹-الف و ب).

۷- نتیجه‌گیری

کانه‌زایی مس جیان در شمال خاور استان فارس به صورت کالکوپیریت در قالب پیکره‌های عدسی و ورقه‌ای شکل به صورت افشان، رگچه‌ای و رگه‌ای درون سنگ‌های کلریت-کوارتز شلیست، کلریت-مسکویت شلیست و به میزان کمتر در میکاشیست و متابازالت صورت گرفته است. تحرک عناصر نامتحرک گروه LREE نشانگر تأثیر بالای یک سیال گرمابی بر سنگ‌های میزبان نهشته‌های معدنی است. همچنین میزان بسیار پایین عناصر متحرک (Ba, Rb, K, Na) در سنگ میزبان نشانگر بر همکنش سیال گرمابی کانه‌ساز با سنگ‌های میزبان و خروج عناصر متحرک از محیط است. مقدار Ni و Co در پیریت‌های موجود در گرافیت شلیست پوشاننده زون معدنی برابر با میانگین $Co/Ni = 8/02$ است که بیانگر منشأ آتشفشانی-بروندمی آنها هستند. در ماده معدنی کانسار مس جیان میزان نسبت $Y/Ho = 29/09 - 32/5$ بیانگر شرکت آب دریا در سامانه کانه‌زایی و میزان $Se/S * 10^6 < 50$ نشانگر تشکیل کانسار در بخش‌های سطحی با حضور سیال کاهشی در دماهای پایین تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است که این نتایج با داده‌های حاصل از مطالعه میانبارهای سیال با تغییرات دمای یکنواختی از ۱۲۴ تا ۳۰۷ با بیشترین فراوانی دمای یکنواختی در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و درجه شوری از ۲/۷ تا ۱۴/۶ NaCl Wt% با بیشترین میزان شوری در محدوده ۵ تا ۱۰ Wt.% NaCl همخوانی دارد. منشأ سیال گرمابی و نوع کانسار بر پایه شوری میانبارهای سیال در برابر دمای یکنواخت شدگی نشانگر سیالی با منشأ دریایی از نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد است. تحول سیال کانه‌زا بر اثر پدیده‌های سردشدگی و جوشش شرایط مناسبی را برای ته‌نشست ماده معدنی سولفیدی با سنگ میزبان آتشفشانی-رسوبی فراهم آورده است.

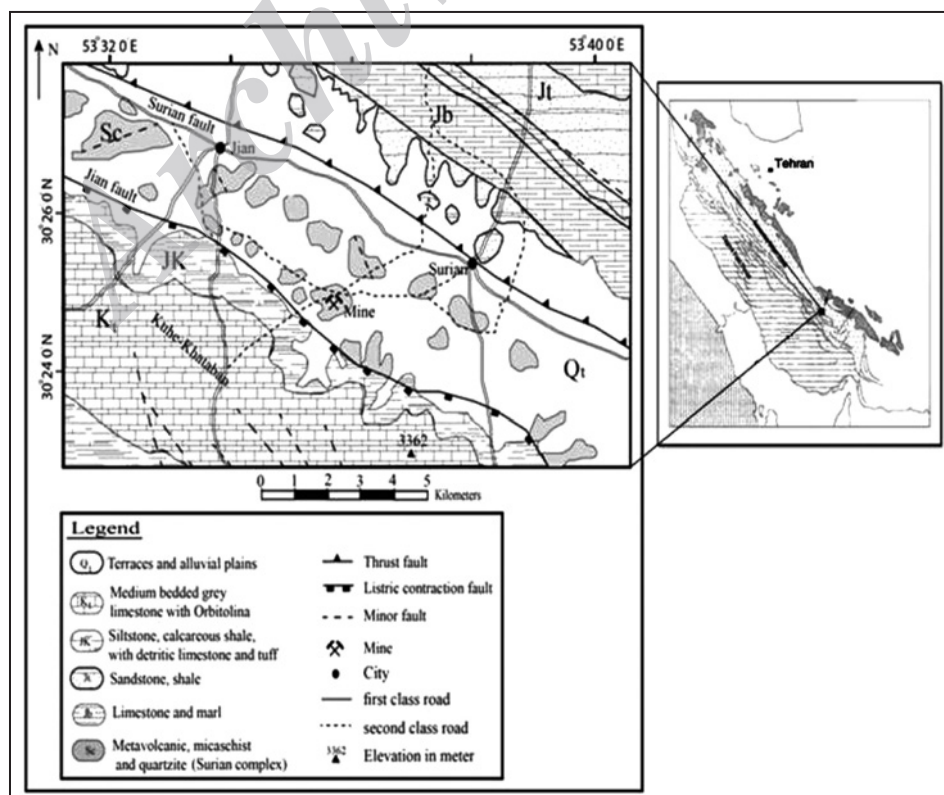
متغیر است. به‌طور میانگین بیشترین میزان شوری در محدوده ۵ تا ۱۰ درصد است (شکل ۶-ج). نمودار دمای یکنواختی، دمای متغیری از ۱۲۴ تا ۳۰۷ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی دمای یکنواختی مربوط به محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است. این نتایج با داده‌های نسبت $Se/S * 106$ ماده معدنی که نشانگر دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است همخوانی دارد (شکل ۶-د). تغییرات چگالی در تحول سیال کانه‌زا روی نمودار (Zhang & Frantz, 1987) نشان می‌دهند که دو فرایند در روند تحول سیال گرمابی مؤثر بوده‌اند (شکل ۷):

۱) فرایند سرد شدگی: همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود کاهش دمای یکنواختی سبب افزایش چگالی و کاهش سرعت سیال کانه‌دار و در نهایت سبب ته‌نشینی و تمرکز مواد معدنی می‌شود.

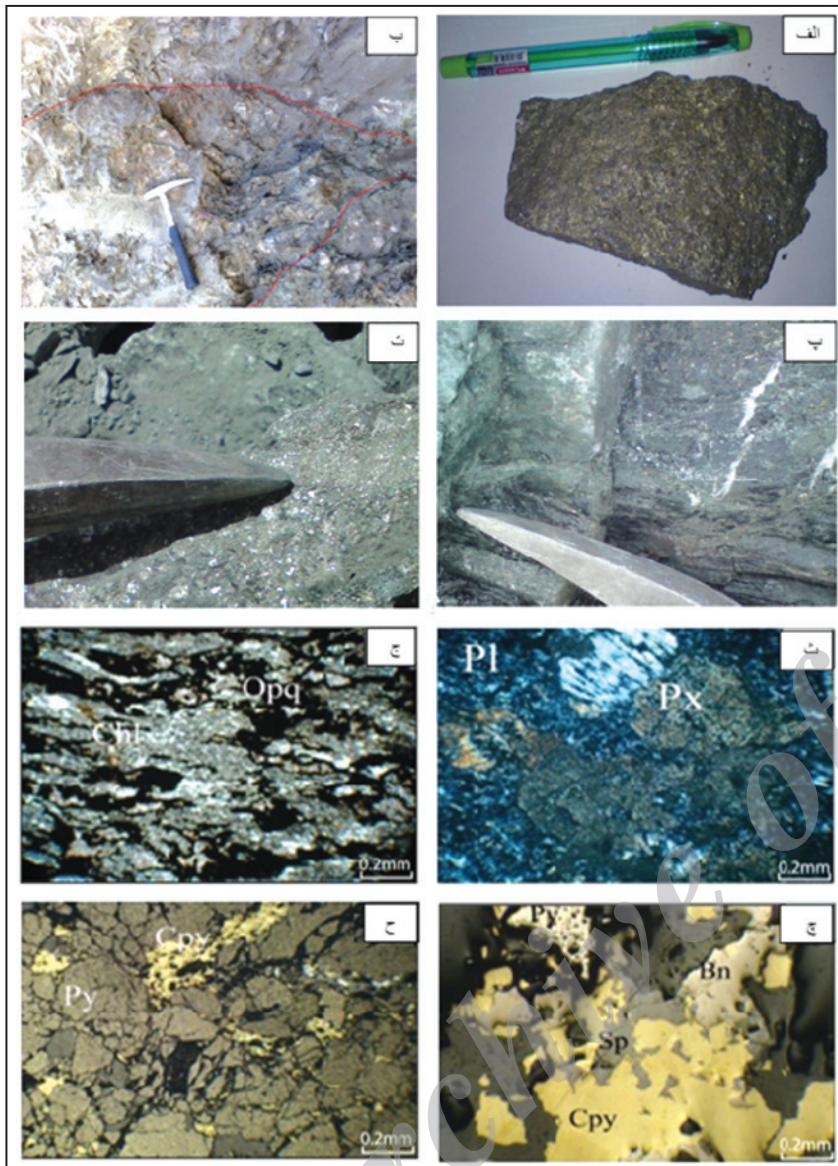
۲) جوشش و تشکیل سیالی با شوری بیشتر: پدیده افزایش شوری میانبارهای سیال در محدوده دمایی ۱۲۴ تا ۳۰۷ درجه سانتی‌گراد نیز با افزایش چگالی سیال همراه است در چنین حالتی میانبارهای تشکیل شده از پدیده جوشش در نتیجه کاهش دما یا کاهش فشار به سوی تشکیل یک سیال چگال‌تر با شوری بیشتر نسبت به میانبارهای اولیه پیش می‌روند. در چنین حالتی میانبارهای تشکیل شده از پدیده جوشش شوری بیشتری نسبت به میانبارهای اولیه دارند.

پیش‌بینی منشأ سیال گرمابی با استفاده از نمودار (Kesler (2005) نشان می‌دهد که میانبارهای سیال بیشترین تمرکز را در محدوده آب‌هایی با منشأ دگرگونی و دریایی را نشان می‌دهند (شکل ۸). با توجه به اینکه سیال‌های دگرگونی معمولاً دارای تمرکز پایینی از گوگرد کاهشی است و در ترکیب خود سرشار از CO_2 به صورت فاز کلاتریت در میانبارهای سیال هستند. بنابراین عدم حضور فاز کلاتریت میانبارهای کانسار مس جیان نشان‌دهنده بیشترین شباهت سیال کانه‌زا با آب دریاست.

برای تعیین نوع کانسار مس جیان بر پایه محدوده دمایی از میزان شوری میانبارهای سیال در برابر دمای یکنواخت شدگی آنها استفاده می‌شود (Strauss, 2003; Lattanzi, 1994). همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود اکثر داده‌های



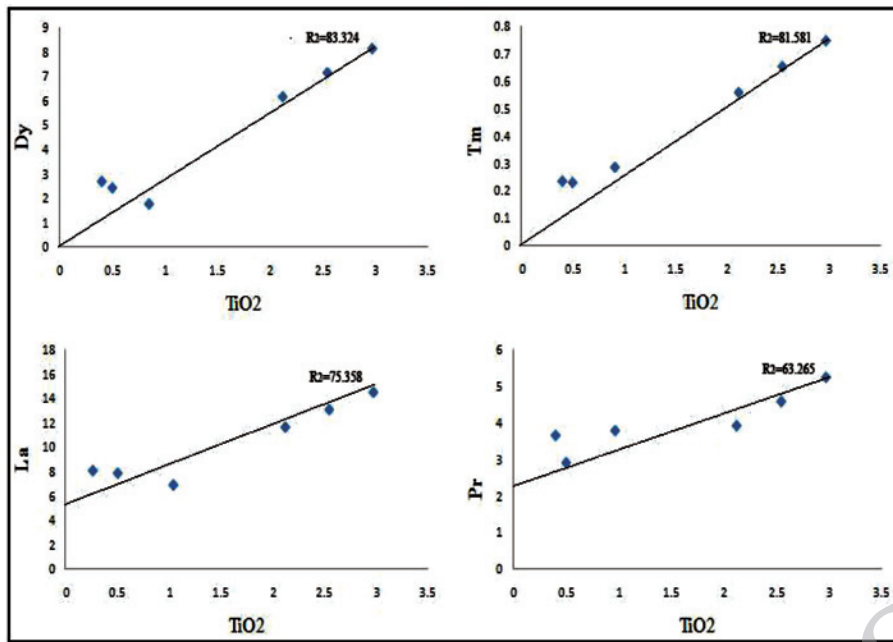
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۶۹).



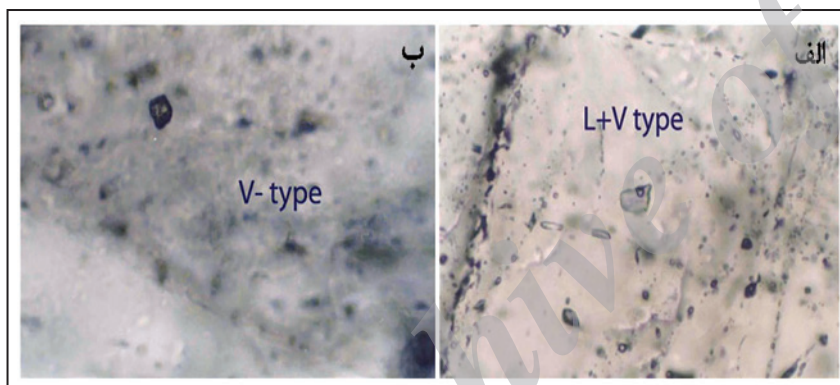
شکل ۲- الف) نمونه دستی کانسنگ توده‌ای؛ ب) کانسنگ توده‌ای با ساختار عدسی شکل که همراه با سنگ میزبان دچار خردشدگی شده است؛ پ) ساختار رگچه‌ای ماده معدنی در سنگ میزبان که توسط رگچه‌های ثانویه کوارتز قطع شده است؛ ت) ماده معدنی با ساختار افشان؛ ث) بافت میکروولیتی پورفیری با درشت‌بلور پیروکسن در زمینه ریزبلور پلاژیوکلاز در سنگ متابازالت محدوده معدن؛ ج) سنگ کلریت- کوارتز شست دارای کانی‌های کِدر فراوان؛ چ) پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و بورنیت با بافت رگه‌ای؛ ح) پرشدگی شکستگی‌های پیریت توسط کالکوپیریت در کانسنگ مس جیان. (پیروکسن: Px، پلاژیوکلاز: Pl، کوارتز: Qtz، پیریت: Py، کالکوپیریت: Cpy، اسفالریت: Sp، بورنیت: Bn، کلریت: Chl، کِدر: Opq) (عکس‌های چ و ح در نور بازتابی تهیه شده‌اند).

کانی ها	آتشفشانی دریایی	دگرسانی	دیاژنز	دگرگونی	سوپرژن	اکسیداسیون
کوارتز						
کلریت						
اکتیولیت						
پیریت						
بورنیت						
کالکوپیریت						
اسفالریت						
گالن						
کولیت						
کالکوسیت						
کوپریت						
مس آزاد						
مالاکیت						
آزوریت						
هماتیت						
لیمونیت						

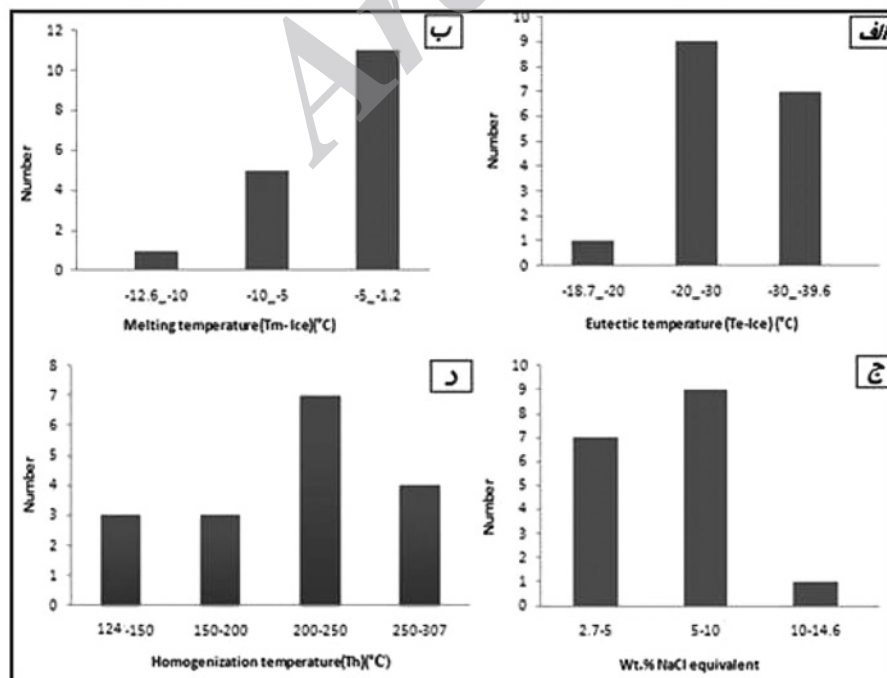
شکل ۳- توالی کانی‌ها در فرایند کانه‌زایی معدن مس جیان.



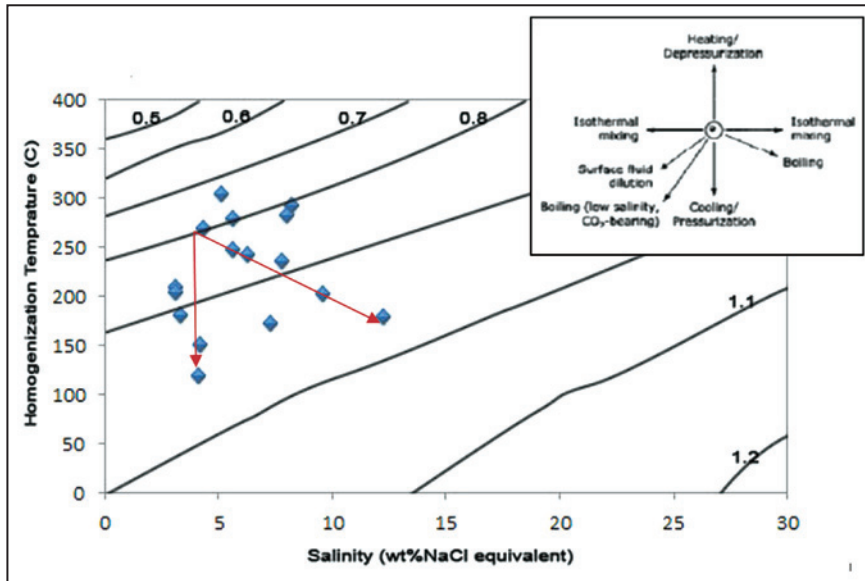
شکل ۴- همبستگی خطی منفی میان اکسید TiO₂ و عناصر متحرک در انواع سنگ‌های شیستی محدوده کانسار جیان.



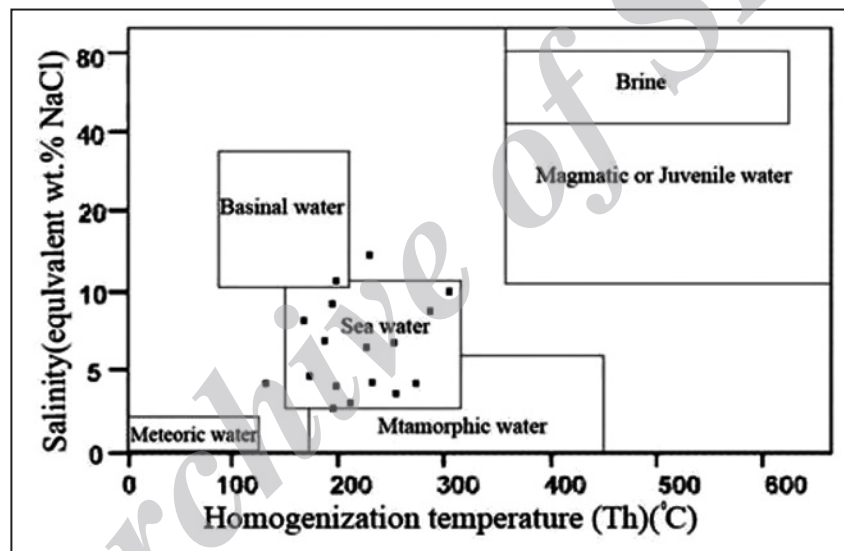
شکل ۵- الف) میانبرهای سیال دوفازی مایع-گاز؛ ب) میانبرهای سیال تک‌فازی گازی.



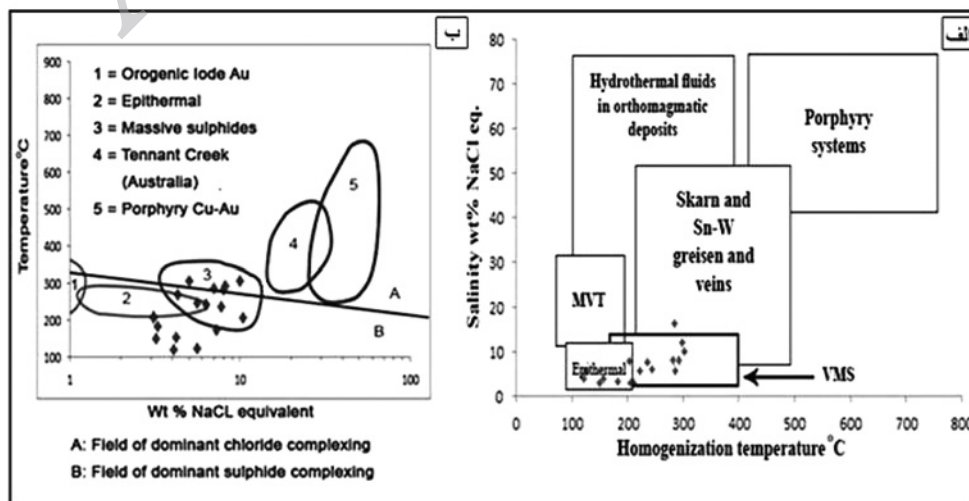
شکل ۶- الف) دمای ذوب اولین بلور یخ یا دمای اوتکتیک (Te)؛ ب) دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm)؛ ج) شوری میانبرهای سیال بر حسب درصد وزنی معادل NaCl؛ د) دمای یکنواختی (Th).



شکل ۷- روند تغییرات چگالی، شوری و دمای سیال گرمابی کانه‌زا با فرایندهای مرتبط با نهشت کانسنسنگ مس جیان (Zhang & Frantz, 1987).



شکل ۸- تعیین منشأ سیال کانه‌زا در مس جیان با استفاده از نمودار (Kesler (2005).



شکل ۹- الف) منشأ سیال کانه‌ساز با استفاده از نمودار (Strauss (2003)؛ ب) منشأ سیال کانه‌ساز با استفاده از نمودار (Lattanzi (1994).

جدول ۱- کلریت- کوارتز شلیست: 4B-7B، متابازالت: 8B-9B، (عناصر اصلی، عناصر فرار، گوگرد و کربن بر حسب درصد، طلا بر حسب ppm و عناصر جزئی دیگر بر حسب ppm هستند).

Samples	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI
Ore	۳۱/۵۸	۰/۲۵	۳۵/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۳/۶
Ore	۱۶/۰۹	۱/۳۶	۴۹/۸۶	۰/۳	۳/۷۱	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۲	۲۴/۵
Ore	۵/۳	۰/۸۹	۴۹/۷۵	۰/۳۲	۰/۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۸	۲۳
4B	۵۴/۶۸	۱۲	۲۲/۹۲	۳/۸۵	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۵	۰/۱۲	۰/۳۷	۵/۱
5B	۴۴/۰۸	۱۲/۰۶	۲۷/۶۴	۴/۲۷	۱/۴۹	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۵	۰/۱۲	۰/۳۱	۷/۹
6B	۴۵/۰۸	۱۳/۴۷	۱۴/۱۱	۴/۹۴	۷/۰۴	۱/۰۴	۰/۱	۲/۹۷	۰/۳۹	۰/۲۸	۷/۳
7B	۴۴/۳۱	۹/۲۹	۲۷/۸۹	۳/۲۸	۱/۴۵	۱/۱۵	۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۰۹	۰/۲۲	۱۱/۲۵
8B	۴۶/۳۰	۱۵/۷۰	۱۱/۶۸	۶/۱۴	۸/۰۸	۳/۶۸	۰/۰۶	۲/۱۲	۰/۲۸	۰/۲۱	۵/۶۵
9B	۴۵/۶۹	۱۴/۵۸	۱۲/۸۹	۵/۵۴	۷/۵۶	۳/۷۶	۰/۰۸	۲/۵۴	۰/۳۳	۰/۲۴	۶/۴۷
Samples	Sum	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
Ore	۸۰/۶۱	۰/۸۰	۰/۴۰	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴
Ore	۹۶/۲۴	۱/۰۰	۱/۴۰	۰/۱۶	۰/۷۰	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۰۴
Ore	۸۰/۱۷	۵/۲۰	۷/۸۰	۰/۸۵	۳/۳۰	۰/۵۱	۰/۱۷	۰/۵۸	۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۱۱
4B	۹۹/۷۹	۱۵/۰۵	۳۶/۲۰	۴/۵۸	۱۷/۲۰	۳/۶۹	۰/۷۸	۳/۳۵	۰/۵۷	۳/۱۲	۰/۶۷
5B	۹۹/۱۲	۷/۹۰	۱۹/۹۰	۲/۹۲	۱۲/۴۰	۲/۹۴	۰/۴۸	۲/۶۶	۰/۴۶	۲/۴۴	۰/۴۸
6B	۹۹/۷۲	۱۴/۵۰	۳۵/۴۰	۵/۲۵	۲۴/۴۰	۵/۶۵	۲/۲۴	۷/۹۱	۱/۳۶	۸/۱۳	۱/۷۷
7B	۹۹/۳۶	۱۳/۳۵	۲۸/۱۱	۳/۶۶	۱۴/۱۱	۳/۱۴	۰/۶۹	۲/۸۱	۰/۴۸	۲/۷۰	۰/۵۴
8B	۹۹/۷۱	۱۱/۶۵	۲۷/۱۵	۳/۹۳	۱۷/۹۵	۴/۹۵	۱/۷۲	۵/۹۱	۱/۰۲	۶/۱۶	۱/۳۵
9B	۹۹/۷۱	۱۳/۰۷	۳۱/۲۷	۴/۵۹	۲۱/۱۷	۵/۸۰	۱/۹۸	۶/۹۱	۱/۱۹	۷/۱۴	۱/۵۶
Samples	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Ce/Ce*	Eu/Eu*	(La/Sm)N	(La/Lu)N	Y/Ho	Zr
Ore	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۱/۲	۱/۲۱	۱/۳	۱۰/۰۷	۸/۳۰	۳/۱۵۰	۰/۳۰
Ore	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۱۳/۰۰	۱/۰۹	۰/۹۳	۴/۴۹	۱۰/۳۸	۳/۱۵۰	۱/۱۰
Ore	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۰۲	۳/۲۰	۰/۹۲	۱/۰۲	۶/۴۱	۲۶/۹۹	۲۹/۰۹	۳/۸۰
4B	۱/۹۲	۰/۳۱	۱/۸۶	۰/۳۱	۱۸/۰۰	۱/۱۱	۰/۷۲	۲/۶۴	۵/۱۹	۲۶/۸۶	۱۰/۵۰
5B	۱/۳۸	۰/۲۳	۱/۴۳	۰/۲۵	۱۳/۳۰	۰/۹۸	۰/۵۶	۱/۶۹	۳/۲۸	۲۷/۷۰	۱۰/۲۵۰
6B	۴/۹۵	۰/۷۵	۴/۶۹	۰/۷۲	۴۶/۴۰	۱/۰۳	۱/۰۱	۱/۳۷	۲/۰۹	۲۶/۲۱	۱۹۶/۱۰
7B	۱/۵۲	۰/۲۳	۱/۴۱	۰/۲۳	۱۴/۶۰	۱/۰۵	۰/۷۵	۲/۶۷	۶/۰۲	۲۷/۱۰	۹۲/۵۰
8B	۳/۷۴	۰/۵۶	۳/۵۴	۰/۵۴	۳۴/۸۵	۰/۹۴	۱/۰۶	۱/۴۷	۲/۲۳	۲۵/۵۰	۱۴۲/۴۰
9B	۴/۳۴	۰/۶۵	۴/۱۱	۰/۶۳	۴۰/۶۲	۱/۱۵	۱/۰۳	۱/۴۱	۲/۱۵	۲۸/۸۵	۱۶۹/۵۰
Samples	TOT/C	TOT/S	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi
Ore	۰/۲۱	۲۷/۱۱	۰/۴۰	۱۰۰۰۰>	۱۵۳/۳۰	۹۴/۱۹	۱۹/۵۰	۱۱/۰۰	۳۴/۴۰	۸/۳۰	۵/۶۰
Ore	۰/۷۳	۴۱/۷۵	۰/۶۰	۱۰۰۰۰>	۵۴/۶۸	۱۰۰۰۰	۲۳۵/۲۰	۱۲/۲۰	۴/۹۰	۶/۱۰	۸/۳۰
Ore	۱/۶۵	۳۳/۴۱	۰/۶۰	۱۰۰۰۰>	۱۸۷۲	۸۳۴۲	۵۳/۶۰	۸/۰۰	۳/۱۰	۹/۶۰	۶/۰۰
4B	۰/۰۷	۳/۰۷	۰/۶۰	۹۶/۹۰	۱۶/۶۰	۳۱۶/۰۰	۳۵/۲۰	۱/۰۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
5B	۰/۲۷	۶/۴۹	۱/۰۰	۱۱۲۹	۱۱۷۵	۳۳۴۵	۳۴/۶۰	۰/۷۰	۱۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰
6B	۱/۳۶	۱/۴۱	۰/۸۰	۴۹/۰۰	۲۳/۱۰	۱۱۸۰۰	۲۲/۸۰	۱/۷۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
7B	۰/۲۵	۱۳/۱۶	۱/۲۰	۱۱۱۵	۶۱۴/۰۰	۱۷۹۳	۳۷/۸۰	۱/۶۰	۲/۷۰	۰/۲۰	۲/۱۰
8B	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۵۰	۵۵/۳۰	۱۲/۷۰	۸۹/۵۰	۴۵/۳۰	۱/۳۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۰
9B	۱/۰۳	۱/۰۶	۰/۶۰	۵۲/۱۰	۱۷/۹۰	۱۰۳/۷۰	۳۴/۰۰	۱/۵۰	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۰
Samples	Ag	Au	Se	Cr	Ni	Ba	Co	Rb	Sn	Sr	Se/S*10 ⁶
Ore	۷۵/۱۰	۷۶/۰۰	۱۰۰/۰۰	۲۷/۳۰	۲۰/۰۰	۴/۰۰	۶۰۷/۴۰	۰/۱۰	۵۰/۰۰	۰/۵۰	۳۶۸/۰۲
Ore	۳۰/۵۰	۲۸/۹۰	۸۷/۱۰	۲۷/۳۰	۲۴/۰۰	۳/۰۰	۸۴۶/۷۰	۰/۱۰	۳/۰۰	۷/۷۰	۲۰۸/۰۳
Ore	۲۰۰/۰۰	۸۳/۴۰	۱۰۰/۰۰	۲۷/۳۰	۵۱/۰۰	۴/۰۰	۱۸۰/۹۰	۰/۱۰	۳۳/۰۰	۱/۰۰	۲۹۹/۳۱
4B	۰/۱۰	۰/۵۰	۱۰/۰۰	۱۰۹/۴۰	۳۳/۰۰	۸/۰۰	۱۶۷/۶۰	۰/۴۰	۱/۰۰	۲/۵۰	۳۲۵/۷۳
5B	۷/۵۰	۲/۸۰	۸/۶۰	۱۲۳/۱۰	۳۷/۰۰	۴/۰۰	۱۷۰/۵۰	۰/۱۰	۲/۰۰	۱۳/۵۰	۱۳۲/۵۱
6B	۰/۱۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۶۸/۴۰	۲۷/۰۰	۴/۰۰	۷۳/۱۰	۲/۱۰	۲/۰۰	۱۹۷/۱۰	۴۹/۶۴
7B	۴/۶۵	۴/۰۵	۱۷/۲۰	۸۸/۹۰	۳۹/۵۰	۲/۰۰	۹۸/۰۰	۱/۰۰	۳/۰۰	۱۸/۰۵	۱۲۶/۴۸
8B	۰/۱۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۲۸۰/۵۰	۵۶/۵۰	۵/۰۰	۱۷۴/۴۰	۱/۱۰	۱/۵۰	۱۲۴/۰۰	۸۴/۵۰
9B	۰/۱۰	۰/۶۵	۰/۶۵	۱۷۴/۴۰	۴۱/۷۵	۱/۰۰	۱۷۳/۷۰	۱/۶۰	۱/۷۰	۱۲۱/۰۰	۶۱/۳۲

جدول ۲- میزان عناصر نیکل و کبالت در کانی پیریت (عناصر جزئی بر حسب ppm هستند).

Samples	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A
Co	۳۰۲	۵۸۴	۲۶۹	۲۴۴	۱۶۵	۱۶۹	۵۷۳	۳۴۴	۳۷۵	۴۵۳
Ni	۱۰۶	۷۴	۵۳	۴۷	۳۲	۲۳	۲۳	۲۷	۸۶	۶۵
Co/Ni	۲/۸۵	۷/۸۹	۵/۸۰	۵/۱۹	۵/۱۵	۷/۳۵	۲۴/۹۱	۱۲/۷۴	۴/۳۶	۶/۹۷

جدول ۳- نتایج مشاهدات سنگ‌نگاری و داده‌های دماسنجی میانبارهای سیال اولیه و ثانویه کاذب مربوط به میانبارهای سیال نوع (L+V). دمای اوتکتیک (Te)، دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm) و دمای یکنواختی (Th).

Phases	Origin	Shape	Liquid(%)	Te(°c)	Tm(°c)	Salinity	Th(°c)
L+V	Primary	Shapeless	۸۵	-۲۶/۲	-۲/۹	۴/۱	۱۲۹
L+V	Primary	Ovoid	۸۰	-۲۸/۴	-۳/۳	۵/۶	۱۲۴
L+V	Primary	Shapeless	۹۵	-۲۲/۱	-۱/۶	۳/۲	۱۴۹
L+V	Primary	Negative Crystal	۸۵	-۳۹/۶	-۱۲/۶	۱۴/۶	۲۲۴
L+V	Primary	Shapeless	۷۰	-۲۰/۳	-۱/۹	۳/۳	۱۸۲
L+V	Primary	Shapeless	۹۵	-۳۱/۴	-۵/۱	۷/۳	۱۷۳
L+V	Primary	Ovoid	۷۵	-۲۵/۷	-۳/۹	۵/۲	۳۰۷
L+V	Primary	Shapeless	۸۵	-۲۳/۵	-۱/۲	۲/۷	۲۱۰
L+V	Primary	Ovoid	۹۰	-۳۷/۷	-۷/۶	۹/۶	۲۰۳
L+V	Primary	Shapeless	۸۵	-۳۰/۳	-۴/۱	۶/۳	۲۴۳
L+V	Primary	Ovoid	۸۰	-۱۸/۷	-۴/۱	۳/۱	۲۰۵
L+V	Primary	Shapeless	۸۵	۲۸-۳	-۳/۲	۵/۶	۲۴۸
L+V	Primary	Negative Crystal	۷۵	-۲۶/۳	-۳/۱	۴/۳	۲۷۰
L+V	Primary	Shapeless	۸۵	-۳۶/۲	-۶/۷	۸/۲	۲۹۳
L+V	Primary	Shapeless	۷۰	-۳۴/۲	-۶/۳	۸	۲۸۳

کتابنگاری

- اویسی، ب.، ۱۳۸۰- نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سوربان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تقی‌پور، ن.، ۱۳۷۹- زمین‌شناسی و ژئز رخداد مس جیان- استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه شیراز، ۱۶۱ ص.
- موسیوند، ف.، ۱۳۸۲- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانه‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی- رسوبی سوربان در منطقه بوانات فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۲۴۷ ص.
- هوشمندزاده، ع.، سهیلی، م. و حمدی، ب.، ۱۳۶۹- نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ اقلید، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Alavi, M., 2007- Structures of the Zagros Fold-Thrust belt in Iran. *American Journal of Science* 13: 1064–1095.
- Auclair, G., Fouquet, Y. & Bohn, M., 1987- Distribution of selenium in high temperature hydrothermal sulfide deposits at 13 N.East Pacific Rise. *Economic Geology* 25: 577-587.
- Bralia, A., Sabatoini, G. & Troja, F., 1979- A revaluation of the Co/Ni ratio in Pyrite as geochemical tool in ore genesis problems. *Mineralium Deposita* 14: 352-374.
- Cox, S. F., Ethridge, M. A. & Hobbs, B. E., 1981- The experimental ductile deformation of polycrystalline and single crystal pyrite. *Economic Geology* 76: 2105-2117.
- Fan, H. R., Groves, D. I., Mikucki, E. J. & Mc Naughton, N. J., 2000- Contrasting fluid types at the Nevoria gold deposit in the Southern Cross greenstone belt, Western Australia, Implications of auriferous fluids depositing ores within and Archean banded iron formation. *Economic Geology* 95: 1527-1536.

- Hall, D. L., Sterner, S. M. & Bodnar, R. J., 1988- Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Economic Geology* 93: 97-202.
- Kesler, E. S., 2005- Ore-Forming Fluids. *Elements* 1: 13-18.
- Klein, C., 2005- Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist* 90: 1473-1499.
- Krauskopf, K. B., 1979- Introduction to Geochemistry. McGraw Hill Book Company, New York.
- Lattanzi, P., 1994- Fluids in ore deposits: evidence from and applications of fluid inclusions. In: DE Vivo. B. and Frezzotti. M.L. (eds), Fluid inclusions in minerals: methods and applications Short course of the working group (IMA), Inclusions in minerals. 297-307.
- Lixing, L., Houmin, L., Denghong, W. & Changqing, Z., 2009- Trace Elements and Rare Earth Elements Geochemistry and its Metallogenic Significance for Cu-Zn Ore Deposits in Tongbai Area, Henan Province, China. *Earth Science Frontiers* 16: 325-336.
- Matthews, D. L., Peter, J. M., Steven, D., Scott, S. D. & Leybourne, M. I., 2008- Distribution, Mineralogy, and Geochemistry of Selenium in Felsic Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits of the Finlayson Lake District, Yukon Territory. *Economic Geology* 103: 61-88.
- McClay, K. R. & Ellis, P. G., 1984- Deformation of pyrite. *Economic Geology* 79: 400-403.
- Nielsen, R. L., Forsythe, L. M., Gallhan, W. E. & Fisk, M. R., 1994- The major element controls on the partitioning of HFSE between magnetite and mafic to intermediate composition natural silicate liquids at atmosphere. *Chemical Geology* 117: 167-193.
- Robb, L., 2005- Introduction to ore forming processes. Blackwell publishing British Library 370 p.
- Rouxel, O., Fouquet, Y. & Ludden, J., 2004-. Copper Isotope Systematics of the Lucky Strike, Rainbow and Logatchev Seafloor Hydrothermal Fields on the Mid Atlantic Ridge. *Economic Geology* 99: 585-600.
- Sheikholeslami, M. R., 2002- Evolution structural et metamorphique de la marge sud de la microplaque de l'Iran central: les complexes metamorphiques de la region de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan), These, Universite de Brest, Ph.D thesis, 194 p.
- Spry, P. G., Peter, J. M. & Slack, J. F., 2000- Meta-exhalites as exploration guides to ore. In: Spry P.G, Marshall. B., Vokes. F.M., (eds) Metamorphosed and metamorphogenic ore deposits. *Reviews in Economic Geology* 11: 163-202.
- Strauss, T. A., 2003- The geology of the Proterozoic Haveri Au-Cu deposit, southern Finland. These, Universite de Brest, Ph.D thesis 372 p.
- Sverjensky, D. A., 1984- Europium redox equilibria in aqueous solution. *Earth and Planetary Science Letters* 67: 70-78.
- Zhang, Y. G. & Frantz, J. D., 1987- Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology* 64: 335-350.

Archive SID