

# کانی‌سازی مس رگه‌ای در منطقه زرنديه با تکیه بر مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال، ساوه، استان مرکزی

سیران یوسفی<sup>۱</sup> و مسعود علیپور اصل<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۲</sup>استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶

## چکیده

منطقه زرنديه در ۴۲ کیلومتری شمال خاور ساوه (استان مرکزی) و در بخش تقریباً شمالی کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی در این منطقه، سنگ‌های آندزیتی ائوسن و سنگ‌های دیوریتی و گابرویی الیگو- میوسن هستند. مطالعات زمین‌شیمی نشان می‌دهد که ماگمای سازنده سنگ‌های آذرین منطقه از نوع کالک‌آلکان، متآلومین و مرتبط با کمان آتشفشانی حاشیه قاره‌ای است. کانی‌سازی اغلب به شکل رگه، رگچه‌ای و برشی شدن در سنگ‌های دیوریتی و گابرویی مشاهده می‌شود. کالکوپیریت، کانه اصلی کانسار است و به وسیله پیریت، بورنیت، اولیژیت، کالکوسیت، کوولیت، نتوسیت، مس خالص، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، گوتیت و لیمونیت همراهی می‌شود. عیار مس در نمونه‌های کانسنگ از ۰/۰۴ تا ۱/۷ درصد (متوسط ۰/۴۰ درصد) تغییر می‌کند. تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های مینرالیزه به روش پیرسن نشان می‌دهد که Cu بیشترین همبستگی را به ترتیب با عناصر Pb و Ag، As، Zn، Cd دارد. مطالعات میکروترموتری میانبارهای سیال متوسط دمای همگن‌شدگی را ۱۹۵°C و متوسط شوری را ۲۳ درصد وزنی معادل نمک طعام نشان می‌دهد. کانی‌زایی مس زرنديه قرابت نزدیکی با کانسارهای مس رگه‌ای گرمابی دارد.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی، میانبارهای سیال، مس رگه‌ای، زرنديه، ساوه

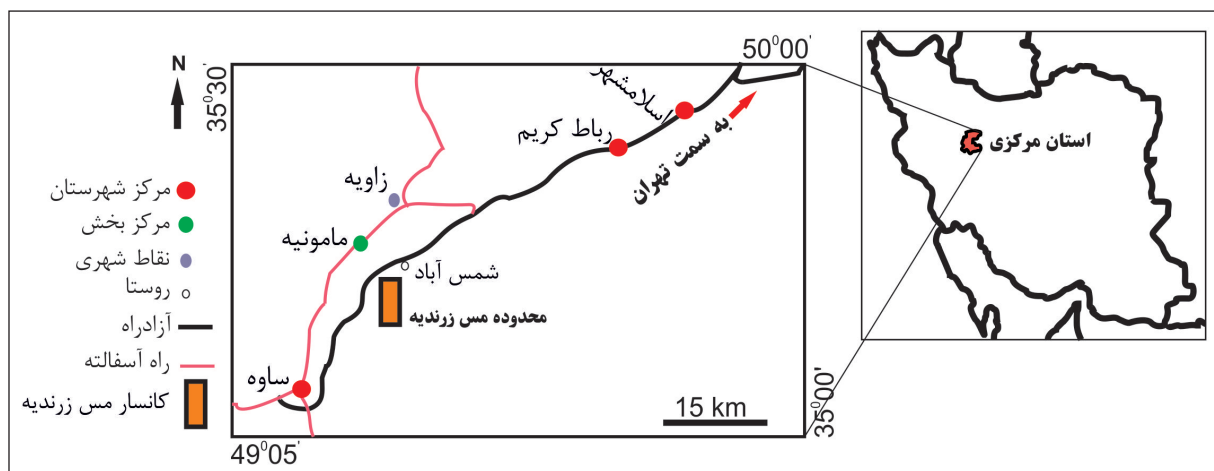
**\*نویسنده مسئول:** مسعود علیپور اصل

E-mail: masoodalipour@shahroodut.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

فاصل زون‌های سندنج- سیرجان و ایران مرکزی تشکیل شده و یک کمان ماگمایی از نوع آندی است. سنگ‌های این منطقه عمدتاً از سنگ‌های نفوذی و خروجی با ترکیب تولیتی، کالک‌آلکان و آلکان غنی از پتاسیم است (Shahabpour, 2007; Alavi, 1994). بسیاری از پژوهشگران، سنگ‌های آذرین نوار ارومیه- دختر را در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی می‌دانند (Mohajjel et al., 2003; Hassanzadeh, 1993; Berberian et al., 1982). در بازدیدهای صحرایی اولیه، آثاری از معدنکاری‌های قدیمی به صورت سرباره‌های معدنی و تونل‌های شدادی در منطقه مشاهده شد که به احتمال خیلی زیاد در ارتباط با استخراج مس بوده است.

منطقه مورد مطالعه در ۴۲ کیلومتری شمال خاور شهرستان ساوه در استان مرکزی قرار دارد (شکل ۱). مختصات جغرافیایی این منطقه به طول‌های ۳۰' ۵۰° تا ۳۷' ۵۰° خاوری و عرض‌های ۰۸' ۳۵° تا ۱۵' ۳۵° شمالی محدود است، و بخش کوچکی از ورقه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه (نوگل سادات و همکاران، ۱۳۶۳) و ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۸) را شامل می‌شود. این منطقه تقریباً در بخش شمالی نوار ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده است. نوار ماگمایی ارومیه- دختر دارای حجم عظیمی از ماگماتیسیم ترشیری بوده و قسمت عظیمی از این ماگماتیسیم مربوط به زمان ائوسن است (Emami, 1981; مسعودی، ۱۳۶۹; درویش‌زاده، ۱۳۷۰). این کمان در امتداد حاشیه فعال خرده‌قاره ایران مرکزی و در حد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مس زرنديه و راه‌های دسترسی به آن.

برای مطالعه میانبارهای سیال، ۴ نمونه از نمونه‌های کوارتز همزاد با کانه کالکوپیریت تهیه شد و به شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا ارسال شد.

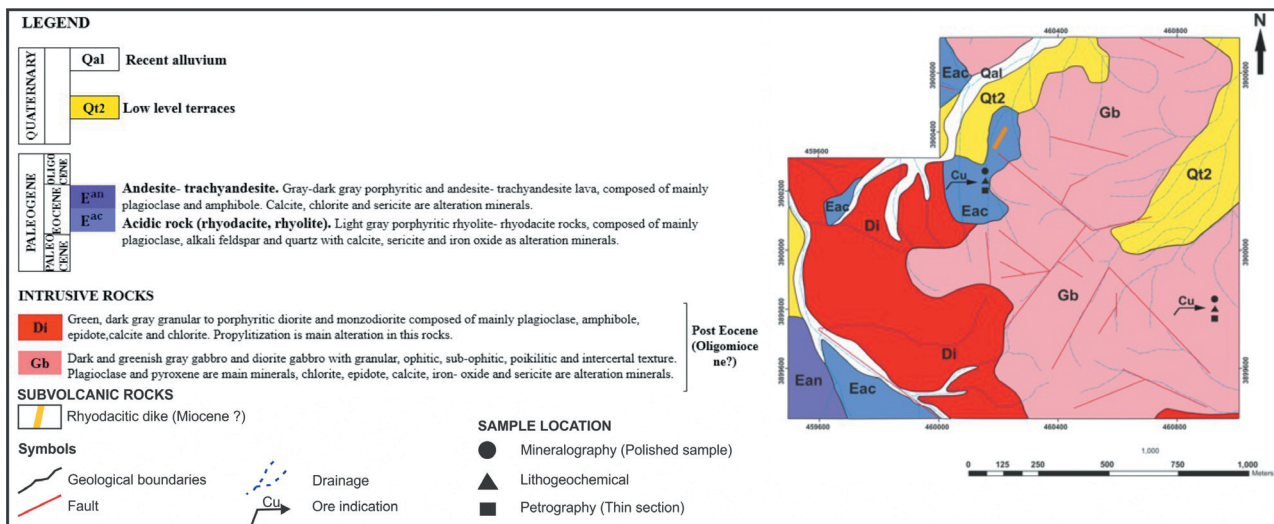
### ۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

قدیمی‌ترین سنگ‌های محدوده مورد مطالعه تناوبی از گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت بازال، توف‌های ریولیتی تا ریوداسیتی و برش‌های آتشفشانی به سن ائوسن هستند. توده‌های عمیق و نیمه‌عمیق گرانودیوریت، دیوریت و گابرو در الیگومیوسن به درون سنگ‌های ائوسن تزریق شده است، که این توده‌ها به وسیله دایک‌های ریوداسیتی و با سن احتمالی میوسن (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه) قطع شده‌اند. منطقه مورد نظر دارای زمین‌ساختی بسیار پویاست و ساختارهای گسلی و دایک به وفور در منطقه مشاهده می‌شود. روند عمومی گسل‌ها در این محدوده، شمال باختر- جنوب خاور است و دایک‌ها هم‌روند با گسل‌های منطقه هستند. علاوه بر گسل‌های فوق، تعدادی ساختار حلقوی نیز در منطقه مشاهده می‌شود که احتمالاً ناشی از بالا آمدن استوک‌های دیوریتی تا گابرویی هستند. بر اساس اطلاعات نقشه ۱:۲۰۰۰۰ زمین‌شناسی که از منطقه تهیه شده است، واحدهای سنگ‌شناسی به شرح زیر هستند (شکل ۲).

از مطالعات اکتشافی پیشین در این منطقه، می‌توان به اکتشافات سیستماتیک ژئوشیمیایی در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه (سعیدی و غلامی، ۱۳۹۰) و گزارش عملیات اکتشافی در محدوده مس زرنديه اشاره کرد (شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق، ۱۳۹۲). در پژوهش حاضر، کانی‌سازی مس زرنديه از نظر زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال بررسی شده است.

### ۲- روش مطالعه

در طول عملیات صحرایی در منطقه زرنديه و به موازات تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰، از رخنمون سنگ‌ها، کانسنگ‌ها، ترانسه‌های اکتشافی و مغزه‌های حفاری نمونه‌برداری انجام شد. ۲۸ مقطع نازک، ۲۷ مقطع صیقلی و ۷ مقطع نازک- صیقلی تهیه شد و مورد مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری قرار گرفت. به منظور مطالعه زون‌های دگرسانی، ۴ نمونه جهت کانی‌شناسی به روش XRD به آزمایشگاه کانسانران بینالود ارسال شد. برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی بر روی سنگ‌های آذرین ۸ نمونه سنگ غیر آلتزه برای ۱۰ اکسید اصلی و L.O.I. از طریق ذوب نمونه و عناصر فرعی و کمیاب از طریق تهیه قرص پرس به روش XRF در آزمایشگاه کانسانران بینالود تجزیه شد. ۲۸ نمونه کانسنگ نیز برای تجزیه چندعنصری و طلا به ترتیب به روش‌های



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه زرنديه که سنگ‌های آندزیت، دیوریت و گابرو بخش عمده‌ای از منطقه را دربر گرفته‌اند (شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق، ۱۳۹۲).

گرفته‌اند. کلسیت و اکسیدهای آهن ثانویه به ترتیب به صورت رگچه‌ای و نیز در متن سنگ مشاهده می‌شوند (شکل ۳-ت).

### ۳-۳ دیوریت و مونزودیوریت

این سنگ‌ها در بخش‌های باختری منطقه رخنمون دارند و دارای سن الیگومیوسن هستند. در مطالعات میکروسکوپی، این سنگ‌ها دارای دگرسانی پروپیلیتیک و از نظر کانی‌شناسی حاوی اپیدوت، اکتینولیت، هورنبلند و پلاژیوکلاز با بافت گرانولار دانه متوسط (شکل‌های ۳-ث و ج) و در برخی نقاط میزبان رگه‌های سیلیسی حاوی کالکوپیریت هستند.

### ۳-۴ گابرو و گابرو دیوریت

سنگ‌های گابرویی حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن (اوژیت) و دارای بافت‌های افیتیک، پویی‌کلینیک، گرانولار و اینترستال هستند (شکل‌های ۳-ج، ح و خ). حضور رگچه‌های سیلیسی مس‌دار پراکنده و با تراکم کم از مشخصات این واحد سنگی است.

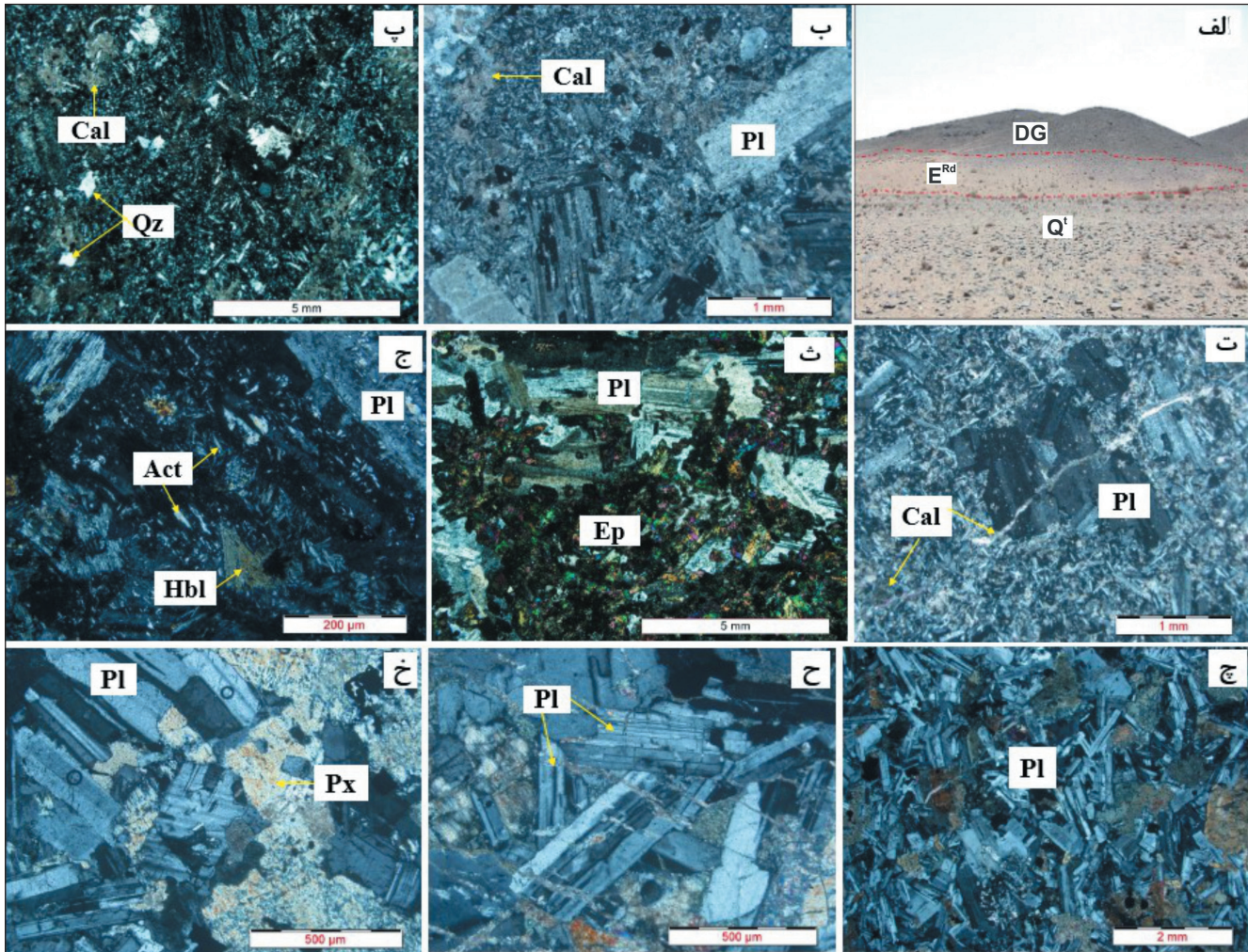
### ۳-۱ ریوداسیت و ریولیت

این سنگ‌ها در مطالعات میکروسکوپی شامل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از کانی‌های ریز کوارتز و فلدسپار با بافت پورفیری هستند. حفرات سنگ با کلسیت، کوارتزهای ریزدانه و اکسیدهای آهن پر شده است (شکل‌های ۳-ب و پ) در بخش‌هایی از این واحد سنگی شواهدی از کانی‌سازی به صورت رگه- رگچه‌های سیلیسی دارای کالکوپیریت، کالکوسیت، نئوتوسیت، مالاکیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن در سطوح شکستگی‌ها و درزه‌ها مشاهده می‌شود.

### ۳-۲ آندزیت- تراکی آندزیت

این سنگ‌ها در نمونه‌های دستی به رنگ خاکستری و خاکستری متمایل به سبز با بافت پورفیری دیده می‌شوند. پلاژیوکلاز و آمفیبول کانی‌های درشت‌بلور این سنگ‌ها هستند که در زمینه‌ای از ریزبلورهای پلاژیوکلاز با بافت جریان‌ی قرار





شکل ۳- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از سنگ‌های آذرین منطقه زرننده. الف) نمای از همبری سنگ‌های دیوریت- گابرو (DG)، ریوداسیت ( $E^{Rd}$ ) و آبرفت‌های کواترنری ( $Q'$ ) با دید به سمت جنوب منطقه؛ ب) تصویر میکروسکوپی داسیت با بافت پورفیری با زمینه میکرو کریستالین؛ پ) تصویر میکروسکوپی از ریوداسیت با بافت پورفیری؛ ت) تصویر میکروسکوپی نمونه‌ای از واحد آندزیتی؛ ث) تصویر میکروسکوپی دیوریت که اپیدوتی شده؛ ج) تصویر میکروسکوپی دیوریت حاوی اکتینولیت‌های ریز سوزنی و هورنبلند؛ چ) تصویر میکروسکوپی از گابردیوریت؛ ح) بافت اینترسرتال در گابرو دیوریت؛ خ) بافت افیتیک در گابرو دیوریت (Pl: پلاژیو کلاز، Cal: کلسیت، Qz: کوارتز، Ep: اپیدوت، Act: اکتینولیت، Hbl: هورنبلند، Px: پیروکسن).

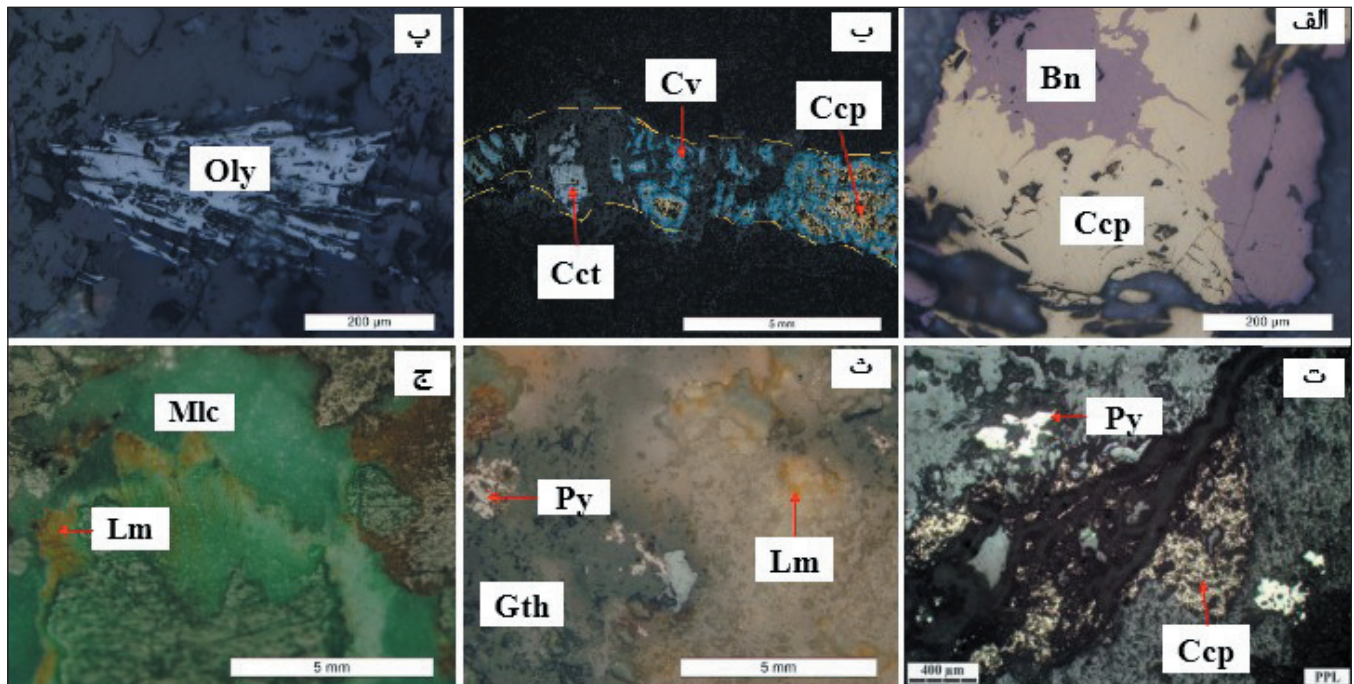
#### ۴- کانه‌زایی

کانه‌زایی مس به شکل‌های پراکنده، رگه- رگچه‌ای و برشی در سنگ‌های آذرین مشاهده می‌شود، که نوع رگه و رگچه‌ای سیلیسی مس دار، غالب است. کانه‌های اولیه کانی سازی شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اولژیست و انواع ثانویه شامل مس خالص، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نئوتوسیت، گوتیت و لیمونیت هستند. کالکوپیریت اصلی ترین و فراوان ترین کانه موجود در منطقه است. این کانی به صورت هم‌رشدی با کانی بورنیت دیده شده (شکل ۴- الف) و همچنین این کانی در بیشتر موارد از حاشیه در حال تبدیل به کوولیت و کالکوسیت است (شکل ۴- ب). اولژیست معمولاً به صورت بلورهای تیغه‌ای درشت شکل دار تا نیمه شکل دار دیده می‌شود (شکل ۴- پ). پیریت اغلب در همراهی با کالکوپیریت حضور دارد ولی نسبت به آن از فراوانی کمتری برخوردار است (شکل ۴- ت). پیریت تحت تأثیر هوازدگی معمولاً به گوتیت و دیگر کانی‌های آهن دار دگرسان شده است (شکل ۴- ث). تأثیر فرایندهای هوازدگی و سوپرژن، بر روی کانی‌های سولفیدی (بیشتر پیریت)،

موجب تشکیل کانه‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن (گوتیت و لیمونیت) می‌شود. این کانی‌ها، از حواشی و مرز شکستگی‌ها به طور بخشی و گاه کامل جانشین کانی‌های سولفیدی شده‌اند (شکل ۴- ث). مالاکیت و آزوریت محصول دگرسانی کالکوپیریت هستند و حفرات و فضاهای خالی را پر کرده‌اند (شکل ۴- ج). در کانسار مس زرننده بافت‌های رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و شکستگی‌ها، پراکنده، برشی و جانیشینی وجود دارد، که انواع پرکننده فضاهای خالی و جانیشینی از نوع غالب هستند.

#### ۵- زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین

مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب برای ۸ نمونه سنگ‌های آذرین نفوذی و خروجی منطقه زرننده در جدول ۱ آورده شده است. برای استفاده از این داده‌ها، مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی بدون در نظر گرفتن مقدار L.O.I. به ۱۰۰ رسانده شده و پس از آن در محیط نرم‌افزار GCDKIT پردازش شده‌اند.



شکل ۴- تصاویری از کانی‌سازی‌های منطقه‌ی زرننده. الف) هم‌رشدی کالکوپیریت و بورنیت در رگه‌های سیلیسی داخل دیوریت‌ها؛ ب) شکل رگچه‌ای کانی‌سازی مس در سنگ ریولیتی. کالکوپیریت از حاشیه در حال جانشینی توسط کالکوسیت و کولیت است؛ پ) بلورهای تیغه‌ای الژبست در رگه‌های سیلیسی - اکسید آهنی داخل گابرو؛ ت) پیریت، کالکوپیریت و اکسیدهای آهن در سنگ گابرو. پیریت به صورت پراکنده ریزشکستگی‌ها و نیز پراکنده دیده می‌شود. بلورهای کالکوپیریت نیز در ریزشکستگی‌ها مشاهده می‌شوند؛ ث) کانی‌های لیمونیت و گوتیت در گابرو و گابرو دیوریت. پیریت نیز در حال تجزیه شدن به گوتیت است؛ ج) کانی مالاکیت به صورت آغشتگی (Ccp): کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Cct: کالکوسیت، Cv: کولیت، Oly: الژبست، Py: پیریت، Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت، Mlc: مالاکیت.

جدول ۱- مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (%) و کمیاب (ppm) سنگ‌های آذرین زرننده به روش XRF.

نمونه‌ها	BH7-59	BH10-20.5	ZR2-1G	ZR2-2G	ZR1-3G	ZR1-4G	ZR1-5G	ZR1-6G
نوع سنگ	دیوریت	ریوداسیت	گابرو	گابرو	داسیت	ریوداسیت	گابرو	ریوداسیت
SiO <sub>2</sub>	۴۸/۳۶	۶۲/۵۲	۴۹/۶۸	۵۱/۳۲	۶۸/۴۴	۶۸/۵۵	۵۳/۲۶	۷۳/۲۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۶/۵۶	۱۱/۷۸	۱۸/۳۲	۱۸/۰۶	۱۵/۹۹	۱۵/۹۶	۱۷/۳۲	۱۶/۲۶
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷/۷۲	۴/۱۸	۱۰/۴۶	۹/۵۱	۱/۴۱	۱/۳۲	۸/۶۸	۱/۳۸
CaO	۱۳/۰۵	۵/۳۹	۸/۶۲	۹/۲۲	۲/۱۹	۱/۹۸	۸/۳۹	۰/۸۹
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵/۰۹	۴/۲۲	۲/۶۸	۳/۴۲	۷/۹۹	۸/۱۴	۳/۳۴	۰/۷۲
K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۹۱	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۰۳
MgO	۱/۴۰	۲/۴۳	۴/۸۱	۵/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۶	۴/۹۰	۳/۵۷
TiO <sub>2</sub>	۰/۶۷۵	۰/۵۸۱	۰/۷۱۶	۰/۷۳۵	۰/۳۲۵	۰/۳۳۰	۰/۸۰۰	۰/۷۸۳
MnO	۰/۱۰۳	۰/۰۷۵	۰/۱۴۸	۰/۲۱۴	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸	۰/۱۵۱	۰/۰۱۲
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۱۴۶	۰/۱۶۹	۰/۱۹۰	۰/۱۶۱	۰/۱۰۱	۰/۰۹۸	۰/۲۰۶	۰/۱۲۶
S	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳
L.O.I	۶/۳۷	۸/۳۶	۳/۷۳	۱/۰۸	۲/۷۳	۲/۷۳	۲/۳۰	۲/۶۲
Cl	۱۲۹	۱۳۴	۸۴	۱۴۵	۱۰۴	۱۱۲	۱۶۹	۱۷۵
Ba	۱۰۰	۲۴۲	۲۰۰	۳۸۲	۱۷۲	۳۳۲	۱۸۸	۱۲۵
Sr	۴۳۸	۱۹۸	۴۷۴	۱۱۲۰	۲۸۹	۱۲۲۰	۶۰۱	۲۷۲
Cu	۲۷	۱۴	۳۸۷	۱۰۰	۳۱۰	۲۰	۱۴۰	۵۰۸
Zn	۲۳	۱۲	۴۸	۶۲	۱۳	۹	۴۷	۳۶
Pb	۱۰	۷	۱۱	۱۳	۸	۱۶	۱۴	۳۷



نمونه‌ها	BH7-59	BH10-20.5	ZR2-1G	ZR2-2G	ZR1-3G	ZR1-4G	ZR1-5G	ZR1-6G
Ni	۲۱	۱۵	۲۲	۲۳	۱۴	۲۳	۲۱	۳۱
Cr	۱۰۵	۵	۱۴	۳۲	۷	۵	۲۲	۲۳
V	۱۸۲	۸۲	۱۴۸	۱۷۶	۲۵	۲۷	۱۶۷	۱۸۸
Ce	۱۵	۴۰	۲۷	۴۳	۷۲	۸۵	۸	۲۷
La	۱۰	۱۸	۱۵	۲۴	۳۳	۵۶	۵	۱۵
W	۴	۲	۱	۲	۳	۱۴	۹	۲
Zr	۱۰۷	۲۰۷	۱۱۲	۲۱۴	۲۴۹	۳۸۱	۱۵۶	۱۴۶
Y	۱۳	۴۲	۱۰	۱۴	۳۲	۴۲	۱۷	۱۷
Rb	۲۱	۱۵	۱۹	۲۳	۲۳	۲۱	۱۷	۱۶
Co	۲۳	۵	۳۶	۳۷	۴	۵	۲۹	۲
As	۳۵	۱۸	۹	۴۱	۳۹	۸	۱۵	۵۲۴
U	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۳
Th	۳	۴	۳	۳	۲	۲	۴	۵
Mo	۴	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۲
Ga	۱۵	۱۴	۱۴	۱۴	۲۱	۲۱	۱۵	۲۰
Nb	۴	۲	۲	۴	۲	۳	۲	۲

بر اساس نمودار TAS (Middlemost, 1994) سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده ریولیت و داسیت (شکل ۵-الف) و بر اساس نمودار (Middlemost 1994) سنگ‌های نفوذی منطقه در محدوده مونزودوریت، گابرو و گابرویدوریت (شکل ۵-ب) واقع می‌شوند. بر پایه نمودار Hastie et al. (2007) نمونه‌های زرنده در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۵-پ). نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه بر اساس شاخص آلومینیم (Shand, 1943) نشان می‌دهد که کلیه نمونه‌های منطقه در محدوده متاآلومین هستند (شکل ۵-ت). از رفتار ژئوشیمیایی Y و Nb به عنوان نشانگرهای بسیار مؤثری در تشخیص انواع گرانیت‌های پشته‌های قوسی (ORG)، گرانیت‌های درون‌صفحه‌ای (WRG)، گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG) و گرانیت‌های همزمان با کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی (syn-COLG) استفاده می‌شود (Pearce et al., 1984). بر اساس این نمودار، نمونه‌های با ترکیب نفوذی منطقه، نشان‌دهنده موقعیت کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی هستند (شکل ۵-ث).

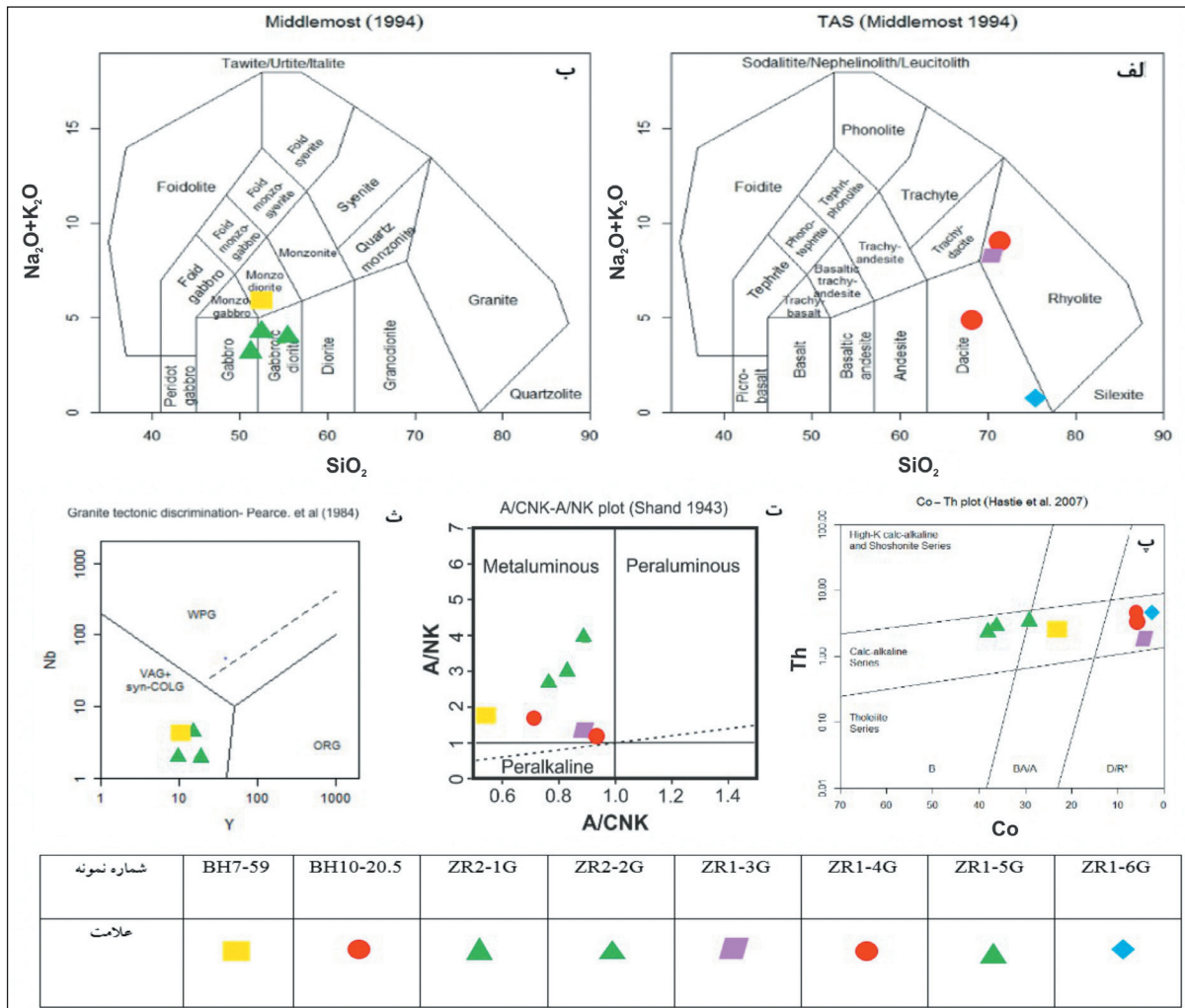
بر اساس نمودار TAS (Middlemost, 1994) سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده ریولیت و داسیت (شکل ۵-الف) و بر اساس نمودار (Middlemost 1994) سنگ‌های نفوذی منطقه در محدوده مونزودوریت، گابرو و گابرویدوریت (شکل ۵-ب) واقع می‌شوند. بر پایه نمودار Hastie et al. (2007) نمونه‌های زرنده در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۵-پ). نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه بر اساس شاخص آلومینیم (Shand, 1943) نشان می‌دهد که کلیه نمونه‌های منطقه در محدوده متاآلومین هستند (شکل ۵-ت). از رفتار ژئوشیمیایی Y و Nb به عنوان نشانگرهای بسیار مؤثری در تشخیص انواع گرانیت‌های پشته‌های قوسی (ORG)، گرانیت‌های درون‌صفحه‌ای (WRG)، گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG) و گرانیت‌های همزمان با کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی (syn-COLG) استفاده می‌شود (Pearce et al., 1984). بر اساس این نمودار، نمونه‌های با ترکیب نفوذی منطقه، نشان‌دهنده موقعیت کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی هستند (شکل ۵-ث).

#### ۶- زمین‌شیمی کانسنگ

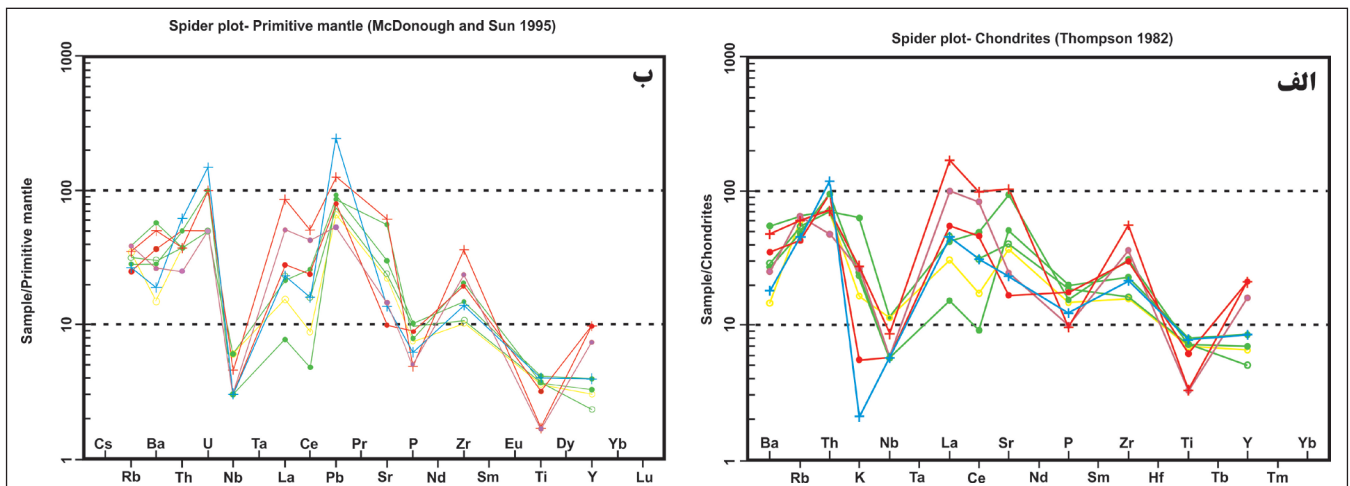
برای بررسی زمین‌شیمی کانسار، ۲۸ نمونه مینرالیزه به صورت معرف از ترانسه‌ها و گمانه‌های اکتشافی انتخاب شده که پارامترهای آماری داده‌های زمین‌شیمی کانسنگ برای پاره‌ای از عناصر در جدول ۲ آورده شده است. ارزیابی داده‌ها نشان می‌دهد که در منطقه زرنده، مس تنها عنصر کانسارساز است و مقادیر عیار آن در نمونه‌ها از حدود ۰/۰۴ تا ۱/۷ درصد (با متوسط آن ۰/۴۰ درصد) تغییر می‌کند.

برای ارزیابی همبستگی‌های ژئوشیمیایی میان عناصر در سامانه کانی‌سازی از تابع ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده که نتایج محاسبات به صورت ماتریس ضرایب همبستگی در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که Cu بیشترین همبستگی را به ترتیب با عناصر Ag، As، Zn، Cd، Pb و تا حدودی Mn و Fe دارد. میزان همبستگی Cu با Mo و Au بسیار ناچیز است، در حالی که Au بیشترین همبستگی را با Mo نشان می‌دهد. مقایسه همبستگی‌ها نشان می‌دهد که مس با نقره، آرسنیک، کلسیم، کادمیم، آهن، منگنز، سرب و روی دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری است. این همیافت عنصری، نمادی از کانی‌سازی رگه‌ای گرمابی دما پایین در سامانه زرنده است. همبستگی مس و آهن با حضور کالکوپریت و بورنیت در مطالعات کانی‌شناسی مطابقت دارد. همبستگی مس با نقره و آرسنیک نسبت به سایر عناصر کانسارساز بیشتر است. از آنجا که کانی‌های نقره و آرسنیک در مقاطع صیقلی رؤیت نشده‌اند، بنابراین این احتمال وجود دارد که این عناصر در ساختمان کانی‌های مس‌دار از جمله پیریت، کالکوپریت و کالکوسیت جای گرفته باشند.

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت، عناصر K، Nb و Ti دارای آنومالی منفی هستند (شکل ۶-الف). آنومالی‌های منفی این عناصر می‌تواند حاکی از ویژگی سنگ‌های موجود در کمان‌های ماگمایی مناطق فرورانشی باشد (Gill, 1981; Wilson, 1989). شرکت پوسته قاره‌ای در فرایندهای ماگمایی در موقعیت فرورانشی (Rollinson, 1993; Nagudie et al., 2003; Shang et al., 2004) و پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب بخشی و یا جدایش آنها در طی فرآیند تفریق (Wu et al., 2003) عامل اصلی آنومالی منفی عناصر K، Nb و Ti در سنگ‌های کمان ماگمایی است. در نمودار عنکبوتی که نسبت به ترکیب گواشته اولیه بهنجار شده است، آنومالی منفی Nb به شکل بارزی در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۶-ب) که نشان‌دهنده ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای است و می‌تواند در اثر آلودگی پوسته و سیالات آزادشده از لیتوسفر فرورونده به وجود آمده باشد (Aldanmaz et al. 2000). تهنی شدگی عناصر



شکل ۵- نمودارهای ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین زرنديه. الف) نمودار نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه بر روی نمودار TAS (Middlemost, 1994) که ترکیب داسیت و ریولیت دارند؛ ب) نمودار نام‌گذاری سنگ‌های آذرین درونی منطقه بر روی نمودار Middlemost (1994) که دارای ترکیب گابرو، گابرودیوریت و مونزودیوریت هستند؛ پ) در نمودار Hastie et al. (2007) نمونه‌ها در محدوده کالک آلکان قرار دارند؛ ت) در نمودار Shand (1943) نمونه‌ها در محدوده مت‌آلومین قرار می‌گیرند؛ ث) در نمودار Pearce et al. (1984) نمونه‌ها در موقعیت کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فورانش و مناطق برخوردی واقع شده‌اند.



شکل ۶- نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده سنگ‌های آذرین زرنديه نسبت به: الف) کندریت (Thompson, 1982)؛ ب) گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995).

جدول ۲- پارامترهای آماری عناصر بر اساس نتایج آنالیز ۲۸ نمونه مینرالیزه به روش ICP-OES در منطقه زرنديه (طلا بر حسب ppb و عناصر ديگر بر حسب ppm).

کشيديگي	چولگي	واريانس	انحراف معيار	نما	ميانه	ميانگين	بيشينه	کمينه	پارامترهاي آماري
Au	۳/۶۱	۱/۸۴	۹۳۲/۷۱	۳۰/۵۴	۳/۷۵	۱۱/۵۰	۲۶/۰۰	۱۱۰/۰۰	۳/۷۵
Ag	۰/۶۴	۱/۴۲	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۸۶	۰/۱۸
Al	-۱/۱۹	۰/۳۲	۹۲۱۴۷۸۶۷۸	۳۰۳۵۵/۸۷	۵۳۰۹/۰۰	۳۹۸۰۳/۰۰	۴۲۳۲۲/۷۱	۹۳۴۳۸/۰۰	۵۳۰۹/۰۰
As	۱۰/۰۶	۳/۰۵	۴۸۳۳۵/۵۶	۲۱۹/۸۵	۲/۱۰	۴۶/۸۰	۱۲۷/۶۴	۸۴۴/۴۰	۲/۱۰
Ca	-۱/۴۱	۲۱/۰	۱۸۳۱۸۴۰۷۴۸	۴۲۸۰۰/۰۱	۱۳۳۳۳۳/۰۰	۷۲۷۲۲/۰۰	۷۷۳۴۶/۹۳	۱۳۳۳۳۳/۰۰	۱۷۰۰۰/۰۰
Cd	۲/۹۷	۱/۹۵	۸/۰۲	۲/۸۳	۰/۲۵	۰/۳۰	۱/۷۰	۹/۲۰	۰/۲۰
Ce	-۱/۰۵	-۰/۱۲	۸۷/۶۵	۹/۳۶	۹/۰۰	۲۰/۵۰	۱۸/۴۳	۳۴/۰۰	۴/۰۰
Co	۴/۶۹	۱/۸۵	۶۸۵۷/۶۰	۸۲/۸۱	۲/۰۰	۶۸/۰۰	۸۲/۷۱	۳۱۹/۰۰	۲/۰۰
Cr	۰/۷۷	۱/۱۴	۷۵۲/۲۳	۲۷/۴۳	۲/۰۰	۲۲/۵۰	۲۸/۰۷	۹۲/۰۰	۱/۰۰
Cu	۱/۹۳	۱/۶۸	۲۷۱۷۹۵۶۸	۵۲۱۳/۴۰	۴۰/۸۰۰	۱۲۸۲/۰۰	۴۰۱۵۰/۷	۱۷۰۱۰/۰۰	۴۰/۸۰۰
Fe	-۰/۸۸	-۰/۵۸	۵۲۶۷۳۷۱۶۳	۲۲۹۵۰/۷۶	۶۷۸۴/۰۰	۶۰۰۳۴/۵۰	۵۱۰۱۷/۳۶	۷۹۸۶۳/۰۰	۶۷۸۴/۰۰
La	-۱/۵۵	-۰/۳۰	۷۵/۸۵	۸/۷۱	۴/۰۰	۱۸/۰۰	۱۶/۰۰	۲۸/۰۰	۴/۰۰
Li	۰/۸۸	۱/۲۴	۱۵۱/۶۹	۱۲/۳۲	۲/۰۰	۹/۵۰	۱۳/۰۰	۴۱/۰۰	۱/۰۰
Mg	-۱/۶۵	-۰/۴۸	۱۰۶۳۶۱۹۱۴	۱۰۳۱۳/۱۹	۲۶۶۶۰/۰۰	۲۲۶۱۷/۵۰	۱۷۶۳۰/۵۷	۲۶۶۶۰/۰۰	۷۹۶/۰۰
Mn	۴/۸۰	۲/۰۶	۱۳۶۶۰۶۷	۱۱۶۸/۷۹	۲۸۷/۰۰	۱۰۱۰/۰۰	۱۴۴۸/۰۷	۴۷۹۸/۰۰	۲۸۷/۰۰
Mo	۸/۸۱	۲/۹۳	۳۳۰/۷۰	۱۸/۱۹	۰/۷۳	۱/۸۷	۸/۹۷	۶۶/۷۰	۰/۷۳
Ni	۴/۲۱	۱/۸۴	۲۱۹/۹۶	۱۴/۸۳	۲/۰۰	۱۳/۵۰	۱۶/۴۳	۵۸/۰۰	۲/۰۰
P	۳/۸۶	-۱/۶۱	۲۳۳۴۹	۱۵۲/۸۰	۲۶۰/۰۰	۶۹۰/۵۰	۶۸۲/۰۰	۸۷۶/۰۰	۲۶۰/۰۰
Pb	۵/۴۲	۲/۴۳	۲۱۷۷۷	۱۴۷/۵۷	۱۴/۰۰	۱۴/۵۰	۷۹/۵۷	۵۰۴/۰۰	۵/۰۰
S	-۱/۶۴	۰/۰۵	۲۶۳۲۲۳۵۵۰	۱۶۲۲۴/۱۷	۳۹۹۹۰/۰۰	۱۹۹۸۶/۵۰	۲۱۱۴۱/۰۷	۳۹۹۹۰/۰۰	۵۰/۰۰
Sb	۱۳/۹۹	۳/۷۴	۳۳۶	۱۸/۳۳	۱/۰۳	۱/۴۳	۶/۳۴	۷۰/۰۰	۱/۰۳
Sc	-۱/۲۰	-۰/۵۰	۱۱۵/۴۲	۱۰/۷۴	۲/۱۰	۲۲/۰۰	۱۹/۰۰	۳۲/۵۰	۲/۱۰
Th	۱/۸۴	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۷۷	۵/۳۰	۵/۷۰	۵/۷۵	۷/۶۰	۴/۴۰
V	-۱/۱۸	-۰/۰۶	۶۵۷۱	۸۱/۰۶	۱۲/۰۰	۱۳۵/۰۰	۱۲۷/۵۰	۲۴۸/۰۰	۱۲/۰۰
Y	-۱/۳۸	۰/۱۲	۷۹/۴۹	۸/۹۲	۱۰/۰۰	۲۰/۵۰	۱۸/۵۷	۳۴/۰۰	۷/۰۰
Yb	-۰/۱۹	-۰/۵۲	۰/۱۹	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۱۵	۱/۰۶	۱/۸۰	۰/۳۰
Zn	۷/۴۰	۲/۵۷	۱۱۷۹۷	۱۰۸/۶۱	۱۶/۰۰	۵۴/۰۰	۹۱/۹۳	۴۲۷/۰۰	۱۶/۰۰

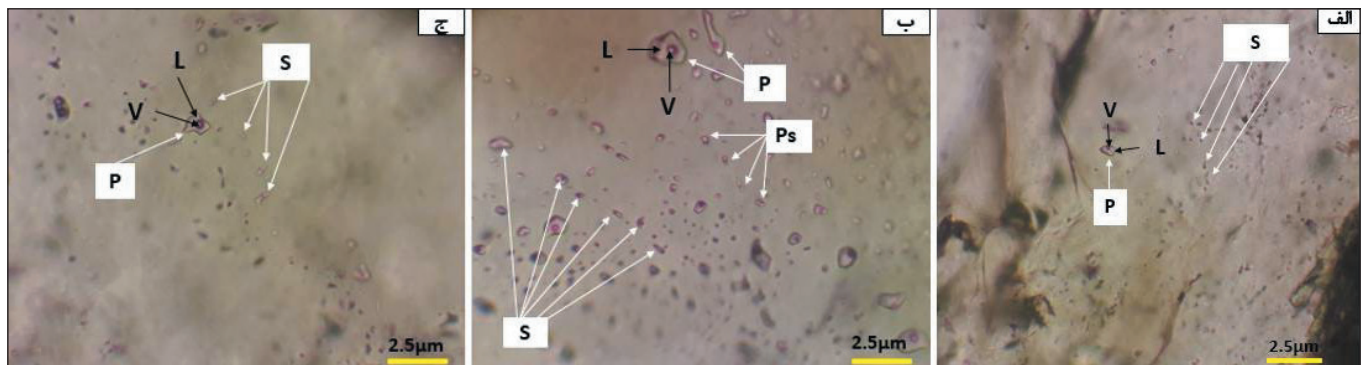
جدول ۳- نتایج ماتریس ضرایب همبستگی عناصر به روش پیرسون در ۲۸ نمونه‌ی آنالیز شده در کانسار زرنديه بر پایه لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی.

Ag	۱											
As	۰/۸۱	۱										
Cd	۰/۸۴	۰/۷۵	۱									
Cu	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۳	۱								
Fe	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۲۴	۰/۵۵	۱							
Mn	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۶۷	۱						
Mo	۰/۳۹	۰/۶۴	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۵۶	۰/۷۰	۱					
Pb	۰/۸۴	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۱۹	۱				
S	۰/۳۴	۰/۴۱	-۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۷۶	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۰	۱			
Sb	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۴۳	-۰/۰۸	۱		
Zn	۰/۸۴	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۴۷	۱	
Au	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۷۲	۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۰۸	۱
Element	Ag	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	S	Sb	Zn	Au

## ۷- مطالعه میانبارهای سیال

مطالعه میانبارهای سیال نوع اولیه بیشتر است و به صورت‌های بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار، شکل‌دار، کشیده و کروی هستند (شکل ۷). بر اساس تعداد فازهای موجود در دمای اتاق (Shepherd et al., 1985) میانبارهای موجود در این نمونه‌ها در دو گروه متفاوت جای می‌گیرند: ۱) میانبارهای تک‌فازی غنی از مایع (۱۰ درصد)؛ ۲) میانبارهای دوفازی (مایع-بخار) غنی از مایع (۹۰ درصد)، که مطالعات میکروترموتری بر روی این تیپ از میانبارها صورت گرفته است. در مطالعات سنگ‌نگاری انجام شده از میانبارهای سیال، اثری از فازهای جامد مثل هالیت و انیدریت مشاهده نشده است. خلاصه‌ای از نتایج آنالیز میانبارهای سیال در جدول ۴ آورده شده است.

مطالعه میانبارهای سیال می‌تواند نقش مهمی در درک زایش کانسارها داشته باشد. در این پژوهش، مطالعه سنگ‌نگاری و حرارت‌سنجی میانبارهای سیال در ۴ نمونه مینرالیزه و بر روی کوارتزهای همزاد با کانه اصلی (کالکوپیریت) صورت گرفته است. پس از تهیه مقاطع دوبرصیقل، مطالعه میکروترموتری میانبارهای سیال در شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا به کمک Stage:THMSG60 گرم‌کننده و منجمدکننده مدل Linkam و دامنه حرارتی  $196^{\circ}\text{C}$  تا  $600^{\circ}\text{C}$  صورت گرفته است. در حالت کلی اندازه میانبارهای سیال بین ۳ تا ۲۴ میکرون متغیر است و بر مبنای زایش یا زمان به تله افتادن به صورت اولیه، ثانویه و شبه ثانویه دیده می‌شوند (Shepherd et al., 1985). در نمونه‌های زرننده، خوشبختانه مقدار



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی میانبارهای سیال منطقه زرننده که فاز مایع (L)، فاز بخار (V) و انواع اولیه (P) و ثانویه (S) و ثانویه کاذب (Ps) بر روی آنها مشخص شده است.

جدول ۴- اطلاعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال نمونه‌های برداشت شده از منطقه زرننده.

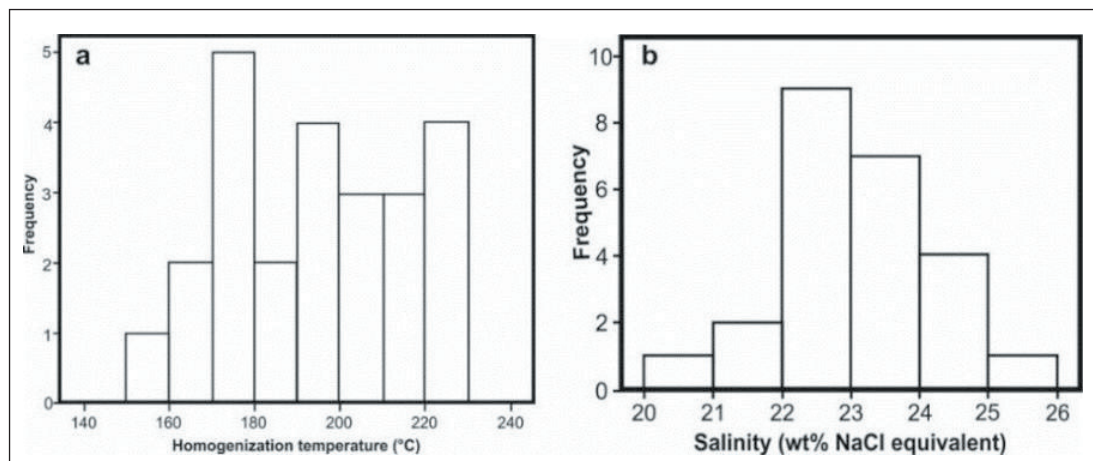
ردیف	شماره نمونه‌ها	نوع	اندازه ( $\mu\text{m}$ )	شکل	فازها ( $30^{\circ}\text{C}$ )	مایع (%)	بخار (%)	شوری (%wt) NaCl equiv.	دما ( $V \geq L$ )
۱	BH1-22.5-1	P	۶	کشیده	L+V	۸۰	۲۰	۲۲/۵۸	۱۸۷/۸
۲	BH1-22.5-2	P	۱۰	کشیده	L+V	۸۵	۱۵	۲۲/۹۱	۲۱۶/۷
۳	BH1-22.5-3	P	۹	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۸۵	۱۵	۲۳/۰۵	۱۶۱/۳
۴	BH1-22.5-4	P	۱۳	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۹۰	۱۰	۲۰/۸۹	۱۷۹/۰
۵	BH1-22.5-5	P	۱۰	کشیده	L+V	۹۰	۱۰	۲۵/۶۴	۱۹۸/۷
۶	BH1-22.5-6	P	۹	مثلثی	L+V	۹۰	۱۰	۲۵/۶۴	۲۰۸/۷
۷	BH1-22.5-7	P	۸	بی‌شکل	L+V	۹۰	۱۰	۲۳/۷۰	۱۷۵/۱
۸	BH7-75.3-1	P	۶	بی‌شکل	L+V	۸۵	۱۵	۲۴/۲۱	۲۱۵/۸
۹	BH7-75.3-2	P	۷	شکل‌دار	L+V	۶۵	۳۵	۲۱/۷۵	۱۸۹/۹
۱۰	BH7-75.3-3	P	۷	شکل‌دار	L+V	۸۰	۲۰	۲۲/۸۵	۲۰۱/۲
۱۱	BH7-75.3-4	P	۷	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۷۰	۳۰	۲۲/۸۵	۲۲۵/۳
۱۲	BH7-75.3-5	P	۱۰	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۸۰	۲۰	۲۳/۷۶	۱۹۴/۴
۱۳	BH7-75.3-6	P	۱۰	کشیده	L+V	۸۰	۲۰	۲۴/۱۵	۲۲۶/۵
۱۴	BH7-75.3-7	P	۱۴	کشیده	L+V	۸۵	۱۵	۲۴/۵۹	۲۱۳/۱
۱۵	BH10-22-1	P	۱۳	بی‌شکل	L+V	۹۰	۱۰	۲۳/۹۵	۱۷۸/۳
۱۶	BH10-22-2	P	۱۱	بی‌شکل	L+V	۸۵	۱۵	۲۲/۳۸	۲۲۶/۰
۱۷	BH10-22-3	P	۱۵	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۹۰	۱۰	۲۲/۳۸	۸/۱۹۷
۱۸	BH10-22-4	P	۸	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۹۰	۱۰	۲۱/۶۱	۲/۱۷۸
۱۹	BH10-22-5	P	۹	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۹۵	۵	۲۲/۴۴	۷/۱۵۲



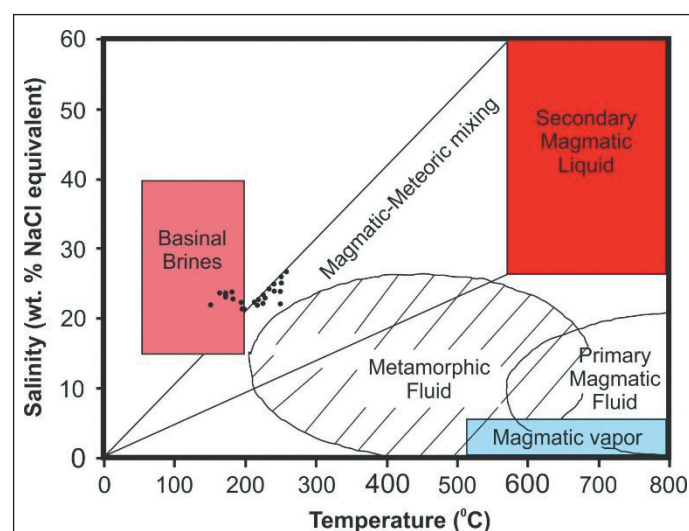
ردیف	شماره نمونه‌ها	نوع	اندازه ( $\mu\text{m}$ )	شکل	فازها (30°C)	مایع (%)	بخار (%)	شوری (%wt) NaCl equiv.	دما ( $V \geq L$ )
۲۰	BH10-22-6	P	۱۲	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۷۰	۳۰	۲۲/۵۱	۲۲۵/۴
۲۱	BH10-22-7	P	۱۴	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۸۵	۱۵	۲۳/۲۴	۱۶۷/۷
۲۲	BH10-22-8	P	۸	بی‌شکل	L+V	۹۰	۱۰	۲۳/۲۴	۱۹۰/۸
۲۳	BH10-22-9	P	۹	بی‌شکل	L+V	۹۰	۱۰	۲۳/۷۶	۱۸۸/۱
۲۴	BH10-22-10	P	۱۰	نیمه‌شکل‌دار	L+V	۷۰	۳۰	۲۲/۳۸	۲۰۱/۲

حدود  $195^\circ\text{C}$  است. متوسط شوری سیال کانه‌ساز نیز در حدود ۲۳ درصد وزنی معادل نمک طعام برآورد می‌شود که حکایت از شوری متوسط تا پایین دارد. عدم وجود فاز نمک در این سیالات نیز تأکیدی بر شوری متوسط تا پایین است (Roedder, 1984) و می‌تواند ناشی از اختلاط سیالات ماگمایی با آب‌های جوی باشد (Barnes, 1979) که بر اساس شکل ۹، نمونه‌های کانی‌سازی مس زرننده در محدوده اختلاط آب‌های ماگمایی - جوی قرار گرفته‌اند که نشان از شرکت آب‌های ماگمایی و جوی در تشکیل کانه‌زایی دارد.

دماسنجی به منظور شناخت درجه حرارت همگن‌شدگی میانبارها و تعیین ترکیب شیمیایی به‌ویژه شوری سیالات صورت می‌گیرد. بر اساس این مطالعات مقادیر درجه حرارت همگن‌شدگی از  $153^\circ\text{C}$  تا  $226^\circ\text{C}$  و میزان شوری از ۲۱ تا ۲۶ درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند. مقادیر شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال اندازه‌گیری شده نسبت به فراوانی آنها در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس این شکل درجه حرارت‌های بین  $170^\circ\text{C}$  تا  $230^\circ\text{C}$  دارای بیشترین فراوانی هستند و متوسط دمای تشکیل کانی‌سازی در



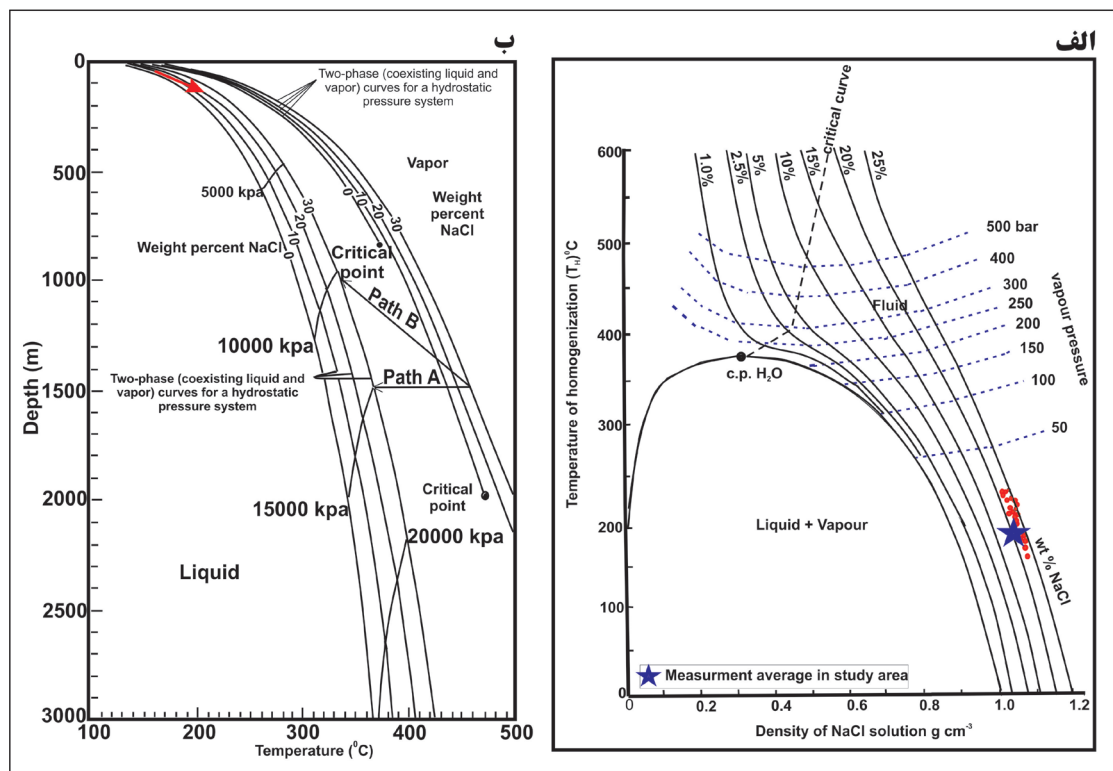
شکل ۸- نمودار ستونی درجه حرارت همگن‌شدگی (a) و شوری (b) میانبارهای سیال منطقه زرننده نسبت به فراوانی آنها.



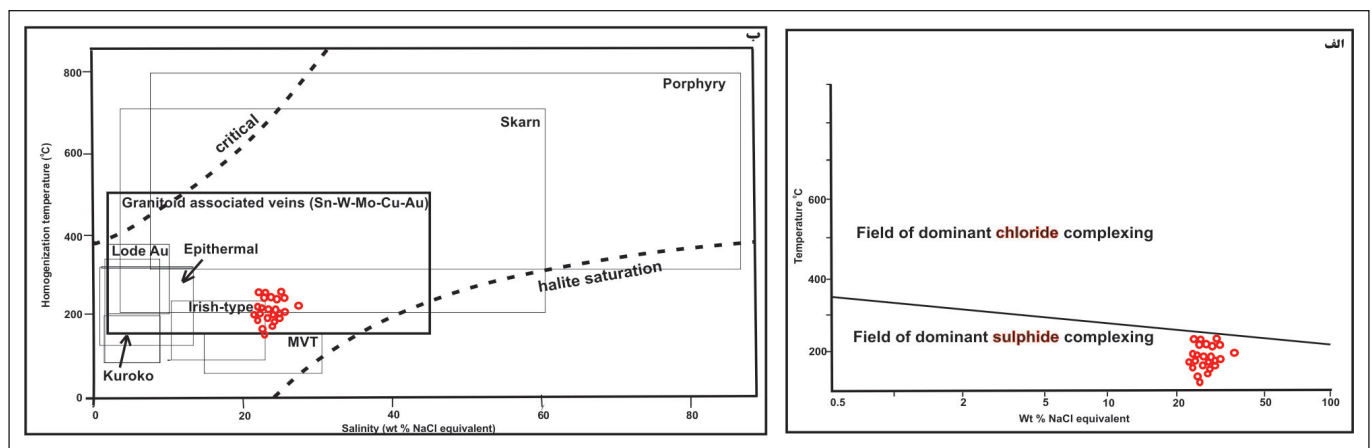
شکل ۹- نمودار درجه حرارت- شوری برای سیالات با منشأهای متفاوت (Beane, 1983). که نمونه‌های زرننده در محدوده اختلاط آب‌های ماگمایی - جوی قرار گرفته‌اند.

میانبارهای سیال مس زرنده، در محدوده مربوط به کمپلکس‌های سولفیدی قرار می‌گیرد و می‌توان نتیجه گرفت که  $SO_4^{2-}$  و یا  $HS^-$  مهم‌ترین آنیون‌های حمل‌کننده کاتیون‌های مس و عناصر همراه بوده‌اند. مشاهده کانی‌های پیریت و کالکوپیریت در کانسار زرنده، این مطلب را تأیید می‌کند. بر اساس نمودار ارائه شده بر پایه شوری و دمای همگن‌شدگی که انواع سیستم‌های کانه‌زایی را از هم تفکیک کرده است (Wilkinson, 2001)، نمونه‌های بررسی شده از لحاظ دمایی و شوری در محدوده کانی‌سازی رگه‌ای مرتبط با سنگ‌های گرانیتوئیدی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱-ب).

به منظور تعیین چگالی و فشار سیال از نمودار (Shepherd et al, 1985) استفاده شده است. طبق این نمودار چگالی تقریبی میانبارهای سیال نمونه‌های مورد مطالعه  $1.75/1 \text{ g/cm}^3$  و فشار سیال کمتر از ۵۰ بار است (شکل ۱۰-الف). همچنین بر اساس نمودار دما-فشار-عمق (Haas, 1976; Sourirajan and Kennedy, 1962) عمق (شکل ۱۰-ب)، با در نظر گرفتن میانگین دما ( $195^\circ\text{C}$ ) و شوری (۲۳ درصد)، حداقل عمق تشکیل کانی‌سازی کمتر از ۵۰۰ متر است. با استفاده از نمودار Pirajno (2009) (شکل ۱۱-الف) می‌توان به نوع لیگاند مؤثر در حمل فلزات کانسار پی برد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود میانگین اندازه‌گیری



شکل ۱۰-الف) نمودار دمای همگن‌شدگی-چگالی به منظور تعیین فشار با توجه به شوری میانبارهای سیال (Shepherd et al., 1985) که نمونه‌های زرنده در موقعیت فشار کمتر از ۵۰ بار قرار گرفته‌اند؛ ب) نمودار دما-فشار-عمق جهت تعیین عمق (Haas, 1976; Sourirajan and Kennedy, 1962) که بر اساس میانگین اندازه‌گیری‌ها، مس زرنده در عمق کمتر از ۵۰۰ متری قرار می‌گیرد.



شکل ۱۱-الف) نمودار دمای همگن‌شدگی-شوری سیالات به منظور تعیین کمپلکس (آنیون) مؤثر در حمل عناصر کانسار ساز (Pirajno, 2009) که نقش  $SO_4^{2-}$  و یا  $HS^-$  را در مس زرنده برجسته می‌سازد؛ ب) نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن‌شدگی (Wilkinson, 2001) که مس زرنده در موقعیت کانی‌سازی‌های رگه‌ای مرتبط با گرانیتوئیدها قرار می‌گیرد.

## ۸- نتیجه گیری

عنصری، حکایت از کانی سازی رگه‌های گرمایی دما پایین در منطقه‌ی زرنندیه دارد. بر اساس مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری به دست آمده در این تحقیق، مخلوط آب‌های ماگمایی و جوی در تشکیل کانسار نقش داشته‌اند و کانی سازی در عمق کمتر از ۵۰۰ متر رخ داده است. با توجه شواهد به دست آمده از مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و حرارت‌سنجی، میان‌بارهای سیال کانی سازی در مس زرنندیه از نوع رگه‌ای گرمایی مرتبط با سنگ‌های گرانیتوئیدی معرفی می‌شوند.

سنگ میزبان کانی سازی مس زرنندیه، دیوریت و گابرویی به سن الیگومیوسن وماگمای سازنده سنگ‌های آذرین منطقه از نوع کالک‌آلکالن و متاآلومین هستند. بی‌هنجاری‌های منفی عناصر K و Ti, Nb در سنگ‌های آذرین از ویژگی‌های ماگماهای کمانی مربوط به مناطق فرورانش است. شکل غالب کانی سازی رگه و رگچه‌ای بوده و کالکوپیریت کانه اصلی کانسار است. مس عنصر اصلی و اقتصادی کانسار است که بیشترین همبستگی را به ترتیب با عناصر Pb و Ag, As, Zn, Cd دارد و این همیافتی

## کتابنگاری

- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر امروز، ۹۰۱ ص.  
 سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۸- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش زاویه، سری ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۱۶۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.  
 سعیدی، ع. س. و غلامی، ن.، ۱۳۹۰- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی- کانی سنگین در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷۹ ص.  
 شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق، ۱۳۹۲- اکتشافات معدنی در مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ در محدوده اکتشافی مس زرنندیه.  
 مسعودی، ف.، ۱۳۶۹- چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و سنگ‌شناسی سنگ‌های آتشفشانی جنوب بوئین زهرا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.  
 نوگل سادات، ا.ا. و هوشمندزاده، ع.، ۱۳۶۳- نقشه و گزارش زمین‌شناسی ساهه، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، شماره E5.

## References

- Alavi, M., 1994- Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211- 238.  
 Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G., 2000- Petrogenetic evolution late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67- 95.  
 Barnes, H. L., 1979- *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, John Wiley and Sons.  
 Beane, R. E., 1983- The magmatic-meteoritic transition. *Geothermal Resources Council, Special Report 13*, 245- 253.  
 Berberian, F., Muir, I. D., Pankhurst, R. J. and Berberian, M., 1982- Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of Geology Society London* 139, 605- 614.  
 Chappell, B. W. and White, A. J. R., 1992- I- and S-type granites in the Lachlan fold belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 83, 1-26.  
 Emami, M. H., 1981- *Geologie de la region de Qom-Aran (Iran), contribution a petude dynamique et geochimique du volcanisme tertiaire de l'Iran central*. Theses. Sciences naturelles Univ. Sc. Et Medicale de Grenoble, p. 489.  
 Gill, J. B., 1981- *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer -Verlag, Berlin.  
 Haas, J. L., 1976- Thermodynamic properties of the coexisting phases and thermodynamic properties of the NaCl component in boiling NaCl solutions, *U.S. Geol. Survey Bull.* 1421-B, p. 71.  
 Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahre Babak area, Kerman province). PhD thesis, University of California, USA.  
 Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F., 2007- Classification of altered island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*. 48, 2341- 2357.  
 Hofmann, A. W., 1988- Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 90, 297- 314.  
 McDonough, W. F. and Sun, S. S., 1995- Composition of the earth. *Chemical Geology*, 120L, 223- 253.  
 Middlemost, E. A. K., 1994- Naming materials in the magma/igneous rock system. *Longman Group U.K.*, 73-86.  
 Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous- Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj- Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397- 412.  
 Nagudi, N., Koberl, Ch. and Kurat, G., 2003- Petrography and geochemistry of the Singo granite, Uganda and implications for its origin. *Journal of African Earth Sciences*, 36, 1- 14.  
 Pearce J. A., Harris N. B. W. and Tindle A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956- 983.  
 Pirajno, F., 2009- *Hydrothermal processes and mineral systems*, Springer, New York, p. 1273.  
 Roedder, E., 1984- Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy, Mineral Society of America*, 12, p. 644.  
 Rollinson, H. R., 1993- *Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical, p. 352.  
 Shahabpour, J., 2007- Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 652-665.



- Shand, S. J., 1943- Eruptive rocks. John Wiley, New York, Stoiber.
- Shang, C. K., Satir, M., Sieble, W., Nsifa, E. N., Taubald, H., Liegeoise, J. P. and Tchoua, F. M., 2004- Geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematic: Case of the Sangmelima region, Ntem Complex, southern Cameroon. African Earth Sci, 40 (1-2): 61- 79.
- Shepherd, T., Rankin, A. H. and Alderton, D. H. M., 1985- A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blackie, USA Chapman and Hall New York, p. 239.
- Sourirajan, S. and Kennedy, G. C., 1962- The system H<sub>2</sub>O NaCl at elevated temperatures and pressures, Am. Sci, 260, 115-141.
- Thompson, R. N., 1982- Magmatism of the British Tertiary volcanic province. Scottish Journal of Geology. 18(1), 49-107.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos, 55, 229-272.
- Wilson, M., 1989- Igneous Petrology: A global tectonic approach. Unwin Hyman Ltd, p. 466.
- Wu, F., Jahn, B., Wildec, S. A., Lod, C. H., Yuie, T. F., Lina, Q., Gea, W. and Suna, D., 2003- (Highly fractionated I-type granites in NE China) II: (isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic. Lithos, 67, 191- 204.

# Vein-type copper mineralization in the Zarandieh area based on mineralogy, geochemistry and fluid inclusions studies, Saveh, Markazi province

S. Yousefi<sup>1</sup> and M. Alipour-Asl<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2017 April 15

Accepted: 2018 March 17

## Abstract

The Zarandieh district is situated approximately 42 km northeast Saveh (Markazi province) and in the northwestern part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt. In this area, mineralization is hosted by Eocene andesitic lava and Oligo-Miocene diorite and gabbroic rocks. According to the geochemical evidence, parental magma of igneous rocks is calc-alkaline, metaluminous and related to continental margin volcanic arcs. Mineralization has been observed as veins, veinlets and brecciated forms in diorite and gabbroic rocks. The main ore mineral is chalcopyrite and associated with pyrite, bornite, oligist, chalcocite, covellite, neotosit, native copper, malachite, azurite, chrysocolla, goethite and limonite. Cu grade in the ore samples are varied from 0.04 to 1.7 % (0.40 % in average). Statistical analyses of geochemical data from mineralized samples by Pearson method displayed that Cu has maximum correlation with Ag, As, Zn, Cd and Pb, respectively. Microthermometry studies of fluid inclusions show that the average homogenization temperature is 195° C and the average salinity of 23 wt% NaCl. The Zarandieh Copper mineralization is closely related to hydrothermal vein copper deposit types.

**Keywords:** Geochemistry, Fluid inclusions, Vein-type copper, Zarandieh, Saveh

For Persian Version see pages 203 to 214

\*Corresponding author: M. Alipour-Asl; E-mail: masoodalipour@shahroodut.ac.ir