

بررسی موقعیت تکتونیکی و ارائه مدل احتمالی تکامل سیستم ماگمایی در کانسار مس درآلو (استان کرمان)

فرانک فیضی*^۱، احسان حقیقی بردینه^۲

۱- استادیار گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

(*عهده دار مکاتبات - feizi.faranak@yahoo.com)

چکیده

کانسار مس درآلو در استان کرمان و در کمربند آتشفشانی - نفوذی ارومیه دختر و زیر منطقه دهج - ساردوئیه قرار دارد. سنگ‌های ولکانیکی محدوده از تشکیلات رازک و سنگ‌های نفوذی آن با سن الیگوسن است. این سنگ‌ها شدیداً مورد هجوم محلول‌های گرمابی و در نتیجه مورد کانه‌زایی و دگرسانی قرار گرفته‌اند. با بررسی‌های صحرایی، آزمایشگاهی و کامپیوتری مشخص شد که سنگ‌های نیمه‌عمیق و نفوذی درآلو از نوع کالک‌آلکانل از نوع آندین بوده و طی فوران ماگمای نوع I در زمان الیگومیوسن جایگزین شده‌اند. این مجموعه در کمان‌های آتشفشانی حاشیه قاره‌ای فعال قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: سری ماگمایی، موقعیت تکتونیکی، مدل احتمالی، کانسار مس درآلو.

۱- مقدمه

کانسار مس درآلو در استان کرمان، که یکی از قطب‌های زمین‌شناسی کشور است، قرار دارد. سابقه شناسایی و مطالعه این کانسار به همراه ۸ محدوده معدنی دیگر در فاصله کوه لاله‌زار تا کوه هنزا، به گزارش‌های اکتشافات نواحی کرمان بر می‌گردد که در آن محدوده درآلو، بهترین محل قابل بررسی معرفی شده است. در این مقاله سری ماگمایی و موقعیت تکتونیکی این کانسار بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی انجام شده، تعیین و با دو توده نفوذی نطنز و بزمان مقایسه شده است.

۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

گستره مورد مطالعه در استان کرمان، شهرستان بافت، بخش رابر و دهستان سرمشک قرار دارد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی "۴۰' و ۵' و ۵۷° تا "۴۸' و ۶' و ۵۷° و عرض‌های جغرافیایی "۲۷' و ۲۴' و ۲۹° تا "۲۵' و ۲۵' و ۲۹° واقع شده است. دسترسی به منطقه از دو مسیر امکان‌پذیر است. مسیر اول از طریق جاده کرمان - قریه العرب - چهارطاق - درآلو با مسافتی حدود ۱۴۵ کیلومتر و مسیر دوم از طریق جاده کرمان - رابر - سیدمرتضی - درآلو با مسافتی حدود ۱۱۰ کیلومتر امکان‌پذیر است (شکل ۱ راست).

۳- زمین‌شناسی و چینه‌شناسی عمومی

منطقه درآلو در تقسیم‌بندی ساختمانی - رسوبی ایران (Stocklin, 1968) در کمربند آتشفشانی - نفوذی ارومیه - دختر واقع شده است. فعالیت‌های آتشفشانی در این کمربند از پالئوسن آغاز شده و در ائوسن به اوج خود

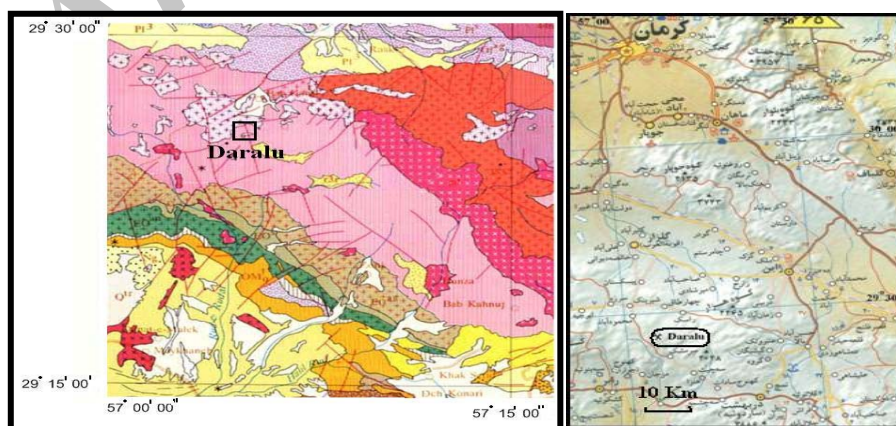
رسیده است (Zarasvandi and et al., 2005). فعالیت‌های آتشفشانی بعد از ائوسن با فوران‌های الیگومیوسن آغازی، میوسن میانی، پلیوسن و کواترنر ادامه یافته است و آتشفشان‌های فعال و نیمه فعال کنونی ادامه آن فعالیت‌ها می‌باشد (Berberian, 1981). این مجموعه به عنوان قوس ماگمایی آند شناخته شده و از لحاظ سنگ‌شناسی شامل جریان‌های بازالتی، آندزیت بازالتی، آندزیت پورفیری، تراکی آندزیت، تراکیت، ریولیت، ریوداسیت، ایگنمبریت، توف و برش توفی است که با رسوبات ماسه‌سنگی، کنگلومرا و آهک‌های تخریبی نومولیت‌دار به‌طور بین لایه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱ چپ). توده‌های نفوذی کالک‌آلکالن از نوع آندی است و دگرسانی ناشی از فعالیت محلول‌های گرمابی و گاهی همراه با کانه‌زایی است (Gustafson, 1979).

منطقه درآلو در زیر منطقه آتشفشانی - نفوذی دهج - ساردوئیه قرار دارد. واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در دو گروه قرار می‌گیرند. این دو گروه شامل سنگ‌های ولکانیکی ائوسن به نام تشکیلات رازک و توده‌های نفوذی الیگوسن است. سنگ‌های ولکانیکی در محدوده کانسار، بخش زیرین و بالای رازک می‌باشند که شامل بازالت‌های آندزیتی، تراکی آندزیت‌ها، گدازه‌های بازالتی، توف، آگلومرای بازالتی - آندزیتی، ریولیت و توف‌های ریولیتی است که بر روی آن فوران‌های آتشفشانی - رسوبی مجموعه هزار قرار دارد. در داخل سنگ‌های آتشفشانی رازک توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق نفوذ کرده‌اند و محلول‌های گرمابی باعث کانی‌سازی و دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی و توده نفوذی از جمله کانی‌سازی مس شده‌اند (Shafiei and et al., 2009). (شکل ۲) نشان‌دهنده تصویر ماهواره‌ای منطقه دریافت شده از لندست ETM می‌باشد.

۴- ژئوشیمی

۴-۱- روش تحقیق

مطالعات پتروژنز و ژئوشیمی در محدوده کانسار درآلو، بر روی دو گروه سنگ‌های نفوذی و ساب ولکانیک متمرکز شده است. با توجه به تنوع سنگ‌شناسی منطقه و پس از بررسی‌های میکروسکوپی، تعداد ۱۴ نمونه با شدت هوازدگی و دگرسانی کمتر انتخاب و جهت تجزیه اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و کمیاب با دستگاه XRF به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی ارسال شد. از این تعداد یک نمونه تکراری و برای کنترل نتایج و یک نمونه نیز از محل رگچه‌های حاوی کانی‌سازی بوده که در مطالعات مربوط به سنگ‌شناسی داخل نمی‌شود. نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزارهای New pet و QPRO رسم شده است و مقدار آهن فرو به فریک (Irvine and Baragar, 1971) تعدیل و تصحیح شده است که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱: راست: نقشه راه‌های دسترسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و چپ: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه



شکل ۲: موقعیت معدن درآلو در کمان ماگمایی ارومیه دختر با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ETM

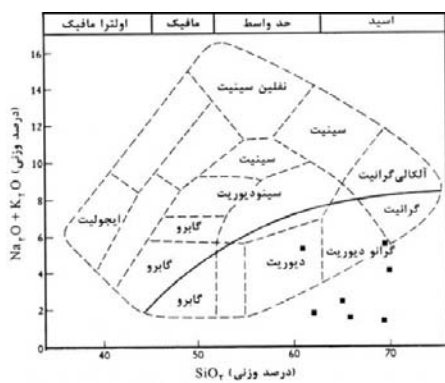
جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی سنگ میزبان کانسار مس درآلو

| | F2 | 19-7 | 20-5 | 24-6 | 24-12 | 9-9 | 19-4 | C3 | S8 | F2-3 | 22-3 | 26-2 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | ۶۸/۷ | ۶۱ | ۶۵/۰۴ | ۸۰/۶۶ | ۶۷/۳۷ | ۷۰/۲۴ | ۶۷/۸۹ | ۶۹/۱۴ | ۶۵/۴۹ | ۶۶/۲۱ | ۶۷/۸۹ | ۶۷/۴۹ |
| Al ₂ O ₃ | ۱۴/۵۵ | ۲۲/۰۵ | ۱۵/۸۹ | ۱۲/۸۷ | ۱۴/۷۹ | ۱۵/۴۶ | ۱۵/۷۷ | ۱۴/۰۳ | ۱۳/۳۱ | ۱۴/۴۵ | ۱۴/۸۷ | ۱۳/۶۱ |
| Fe ₂ O ₃ | ۱۰/۲۷ | ۸/۴۸ | ۴/۹۵ | ۰/۹۷ | ۴/۱۲ | ۶/۹ | ۸/۰۷ | ۲/۸۸ | ۹/۰۱ | ۱۰/۱۶ | ۱۶/۰۱ | ۴/۵۵ |
| K ₂ O | ۰/۷۴ | ۵/۰۱ | ۰/۲۵ | ۳/۲۶ | ۰/۹۹ | ۳/۹۴ | ۹/۱۷ | ۲/۸۱ | ۰/۵۵ | ۰/۶۳ | ۲/۶۳ | ۰/۷۲ |
| Na ₂ O | ۰/۷۹ | ۰/۲ | ۱/۹۳ | ۰/۲۳ | ۴/۱۳ | ۰/۲۶ | ۰/۱۵ | ۲/۷۳ | ۱/۹۷ | ۱/۰۳ | ۰/۱۸ | ۱/۹۴ |
| CaO | ۰/۵۲ | ۰/۳۶ | ۵/۵۸ | ۰/۰۸ | ۲/۸۵ | ۰/۱۴ | ۲/۲۱ | ۲/۳۷ | ۳/۹ | ۱/۰۵ | ۰/۵۵ | ۲/۷۸ |
| MgO | ۲/۶۲ | ۱/۲۴ | ۲/۸ | ۰/۳۹ | ۲/۱ | ۰/۵۲ | ۱/۳۳ | ۰/۵ | ۳/۸۴ | ۳/۳۴ | ۳/۹۵ | ۲/۳۱ |
| MnO | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۱۳ | ۰/۰۳ | ۰/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ |
| TiO ₂ | ۰/۸۷ | ۰/۶۶ | ۰/۷۱ | ۰/۱۷ | ۰/۴۹ | ۰/۲۹ | ۰/۶ | ۰/۲۴ | ۰/۷۶ | ۰/۷۶ | ۰/۷۹ | ۰/۴۳ |
| P ₂ O ₅ | ۰/۲۳ | ۰/۱۲۵ | ۰/۱۵ | ۰/۲۵ | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۰/۰۶۷ | ۱۱/۰ | ۰/۱۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰۴ |
| Zr | ۱۰۴ | ۷۵ | ۱۳۸ | ۱۱۳ | ۲۷۲ | ۹۸ | ۱۴۹ | ۱۲۷ | ۱۲۴ | ۷۷ | ۵۴ | ۲۰۸ |
| Sr | ۷۲ | ۳۱ | ۲۹۰ | ۱۷ | ۳۱۱ | ۱۲ | ۴۲ | ۱۵۲ | ۳۳۱ | ۸۱ | ۳۳ | ۲۹۲ |
| Rb | ۲۸ | ۱۲۱ | ۱۰ | ۸۸ | ۲۷ | ۹۳ | ۷۳ | ۴۴ | ۲۳ | ۲۲ | ۶۶ | ۲۴ |
| Pb | ۱۶ | ۱ | ۱۳ | ۲ | ۱۲ | ۶ | ۱۵ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۲ | ۷ | ۳۳ |
| Zn | ۵۳ | ۴۷ | ۱۱۴ | ۲۱ | ۸۲ | ۲۲ | ۱۷۸ | ۴۷۹ | ۴۷۶ | ۶۱ | ۱۶۶ | ۱۶۶ |
| Cu | ۱۰۸۲۹ | ۲۴۶۲ | ۱۵۸ | ۱۱ | ۲۱۹۰ | ۲۲۲۱ | ۱۰۴۳ | ۸۲ | ۷۲۲۰ | ۲۲۵۰۲ | ۱۲۸ | ۵۱۴ |
| Ni | ۸ | ۳ | ۶ | ND | ۷ | ND | ۷ | ۱ | ۷ | ۶ | ۸ | ND |
| Co | ۲۰ | ۴۲ | ۱۲ | ND | ۹ | ۱۷ | ۳۰ | ۳ | ۳۶ | ۳۲ | ۴۳ | ۱۳ |
| Y | ۴ | ۳۰ | ۳ | ۱۱ | ۱۴ | ۱۵ | ۲۸ | ۱ | ۱۵ | ۶ | ۱۲ | ۵ |
| CR | ۱۸ | ۹ | ۶۰ | ND | ۶ | ۱ | ۲۵ | ۲۲ | ۱۷ | ۸۱ | ۲۷ | ۱ |
| V | ۱۵۶ | ۱۶۹ | ۱۵۳ | ۳۰ | ۶۰ | ۵۵ | ۹۴ | ۳۴ | ۱۳۶ | ۱۴۲ | ۲۸۹ | ۵۴ |
| S | ۱۴۴ | ۹۸۲۶ | ۱۸۵ | ۱۳۲ | ۳۰۹ | ۱۹۰ | ۲۷۶۴ | ۳۹۱۰ | ۱۴۹ | ۱۵۵ | ۲۱۰ | ۲۳۹ |
| Cl | ۲۱۸ | ۶۸ | ۱۲۱ | ۵۶ | ۱۱۸ | ۱۴۷ | ۵۶ | ۱۲۷ | ۶۵ | ۱۶۲ | ۱۳۱ | ۷۰ |
| F | ۵۹۰ | ۳۶۵ | ۶۷۶ | ۱۷۴ | ۵۹۰ | ۸۸۴ | ۵۹۰ | ۸۸ | ۳۸۲ | ۸۴۹ | ۳۳۰ | ۱۳۳ |

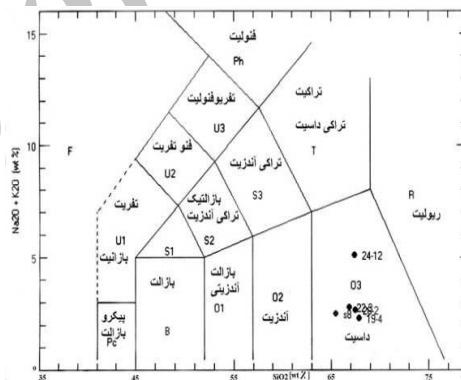
۴-۲- نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های کانسار درآلو

سنگ‌های این کانسار تحت دگرسانی شدید محلول‌های گرمابی و کانه‌زا و همچنین عمل هوازدگی قرار گرفته‌اند که این خود باعث تغییراتی در مقدار عناصر اصلی می‌شود مثلاً نسبت Fe₂O₃/FeO افزایش می‌یابد که این امر در ترکیب کانی‌شناسی نرماتیو اثر می‌گذارد با مطالعه نمودارهای ترسیم شده نتایج ذیل به‌دست آمد:

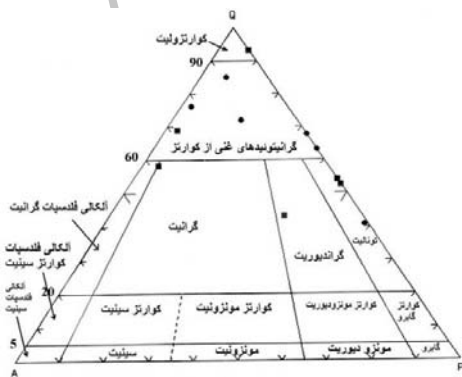
- a. موقعیت سنگ‌های آفانیستیک پورفیری در کانسار درآلو با استفاده از نمودار درصد وزنی (Na₂O+K₂O) در برابر SiO₂ (Le Maitre and et al., 1989) در محدوده داسیت قرار گرفته است که در ارتباط با خروج سدیم و پتاسیم از سنگ‌ها ضمن هوازدگی است (شکل ۳).
- b. سنگ‌های فانریستیک پورفیری در کانسار درآلو در محدوده گرانودیوریت قرار می‌گیرد به‌جز یک نمونه که نزدیک به گرانودیوریت است (Cox and et al., 1979). خروج نمونه‌ها از محدوده بسته نمودار به دلیل هوازدگی کلی حاکم بر کانسار است (شکل ۴).
- c. سنگ‌های آفانیستیک پورفیری در نمودار Le Maitre و همکاران (۱۹۸۹) در محدوده ریوداسیت‌های پتاسیم پایین تا متوسط قرار می‌گیرند که ناشی از نوع منشاء و عدم آغستگی ماگمای اولیه با پوسته قاره‌ای است (شکل ۵).
- d. پس از محاسبه ترکیب نرم، موقعیت سنگ‌های منطقه بر روی نمودار QAP (Streckeisen, 1974) نشان می‌دهد که نمونه‌های فانریستیک در محدوده گرانیتوئیدهای غنی از کوارتز، گرانودیوریت و تونالیت قرار گرفته‌اند و نمونه‌های آفانیستیک در محدوده ریولیت‌های غنی از کوارتز و ریوداسیت جای گرفته‌اند (شکل ۶).
- e. در نمودار آنورتیت - آلپیت - ارتوکلاز، سنگ‌های آفانیستیک پورفیری در محدوده داسیت تا ریوداسیت و یک نمونه در محدوده ریولیت واقع شده است و نمونه‌های فانریستیک پورفیری در محدوده تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت واقع شده‌اند. به دلیل پایین بودن مقدار پتاسیم در سنگ‌ها، نمونه‌ها به خط آلپیت - آنورتیت نزدیک‌تر هستند و حاکی از فقیر بودن ماگمای اولیه از پتاسیم است (شکل ۷).



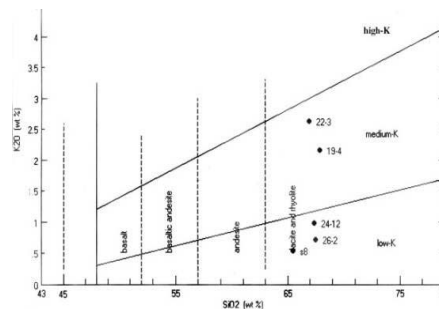
شکل ۴: نمونه‌های فانریستیک پورفیری در محدوده گرانودیوریت و دیوریت قرار گرفته است



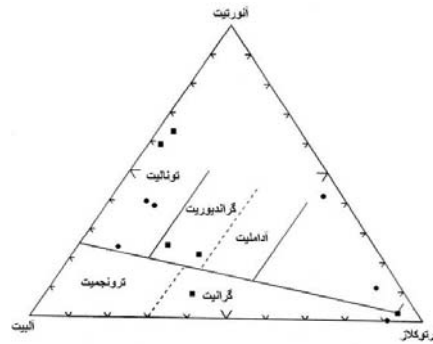
شکل ۳: نمونه‌های آفانیستیک پورفیری در محدوده داسیت قرار گرفته است



شکل ۶: نمودار QAP برای ترکیب نرم سنگ‌های کانسار درآلو



شکل ۵: سنگ‌های آفانیستیک پورفیری در محدوده پتاسیم پایین تا متوسط می‌باشند



شکل ۷: موقعیت سنگ‌های درآلو بر روی نمودار آلبیت - آنورتیت - ارتوکلاز

۳-۴- تغییرات عناصر اصلی

- از مقایسه درصد اکسیدهای اصلی نسبت به SiO_2 نتایج ذیل حاصل می‌شوند (شکل‌های ۸ و ۹).
- در سنگ‌های کانسار درآلو دامنه تغییرات عناصر متحرک مانند کلسیم و سدیم بیشتر از آهن و آلومینیوم است.
 - متوسط میزان کلسیم، از سدیم و پتاسیم بیشتر است.
 - متوسط میزان پتاسیم از متوسط مقدار سدیم کمتر است.
 - مقدار Fe_2O_3 و Al_2O_3 در نمونه‌ها بالا بوده و تغییرات زیادی ندارند.
 - مقدار MgO در نمونه‌ها بالا بوده و دامنه تغییرات آن در ارتباط با میزان کلریت در نمونه‌ها است.

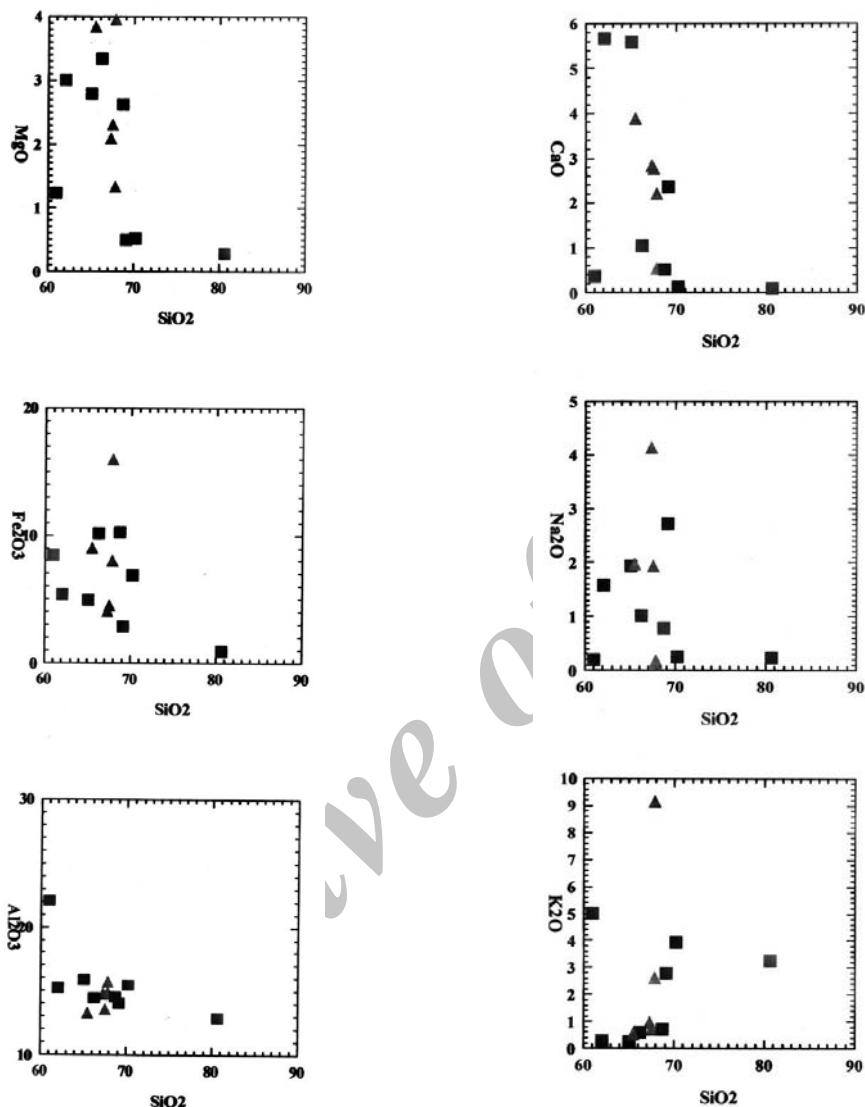
۴-۴- تغییرات عناصر فرعی و کمیاب

- با مطالعه نمودارهای به دست آمده (شکل ۱۰)، چگونگی تغییرات عناصر فرعی و کمیاب به شرح ذیل است:
- افزایش Rb نسبت به SiO_2 همانطور که در بیشتر سری‌های ماگمایی کالک آلکان معمول است در این کانسار نیز دیده می‌شود.
 - استرانسیوم با افزایش SiO_2 کاهش نشان می‌دهد. در مجموعه‌های کالک آلکان شاخص، مقدار Sr از سنگ‌های بازیک به طرف حدواسط افزایش و به طرف سنگ‌های اسیدی کاهش می‌یابد که مرتبط با فراوانی پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار است چون Sr تمایل به جایگزینی در ساختمان پلاژیوکلازها دارد.
 - تغییرات ایتیریم تا حدودی مشابه با تغییرات Sr است و با افزایش SiO_2 مقدار آن کاهش می‌یابد. با اینکه ایتیریم در کانی‌ها جانشین کلسیم می‌شود ولی رفتارشان تابع هم نیست و از آنجا که در ساختمان کانی‌های فرومنیزیم‌دار غنی از کلسیم وارد می‌شود، کم بودن مقدار ایتیریم در ارتباط با عدم حضور چنین کانی‌هایی است.
 - رفتار Zr نسبت به SiO_2 مانند Y و منطبق با بیشتر مجموعه‌های کالک‌الکان دنیا است.

۵-۴- پتروژنز

- در این بخش با بررسی نمودارهای به دست آمده نتایج ذیل در مورد موقعیت تکنونیک و سری ماگمایی توده نفوذی نیمه عمیق درآلو مشخص می‌شود. در تمام نمودارها ▲ آفانیتیک و ■ فانریتیک پورفیری می‌باشند.
- بر اساس درصد آلکالی در مقابل SiO_2 ، سنگ‌های کانسار درآلو در محدوده ساب‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۱۱).

- در نمودار نسبت $FeO(t)/MgO$ در برابر SiO_2 نمونه‌های این کانسار در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۱۲).



شکل ۹: نسبت MgO ، Fe_2O_3 و Al_2O_3 در کانسار

درآلو، ▲ آفانیتیک و ■ فانیستیک پورفیری

شکل ۸: نسبت CaO ، Na_2O و K_2O به SiO_2 در کانسار

درآلو، ▲ آفانیتیک و ■ فانیستیک پورفیری

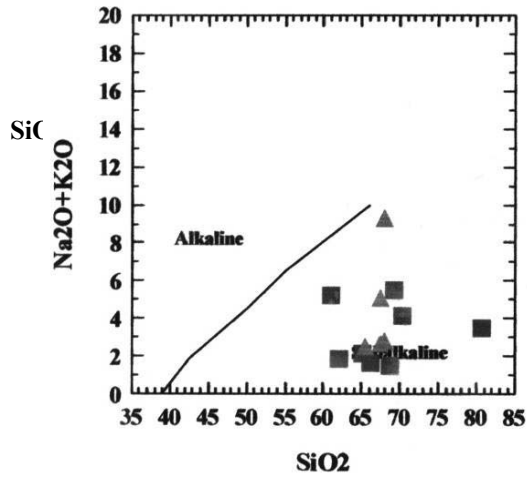
- موقعیت سنگ‌های درآلو در نمودار TiO_2 در مقابل Al_2O_3 [10] در منطقه Arc - related قرار می‌گیرد (شکل ۱۳).

- موقعیت سنگ‌های درآلو در نمودار Y در مقابل Zr (Müller and et al., 1992) نیز مطلب فوق را تایید می‌کند (شکل ۱۴).

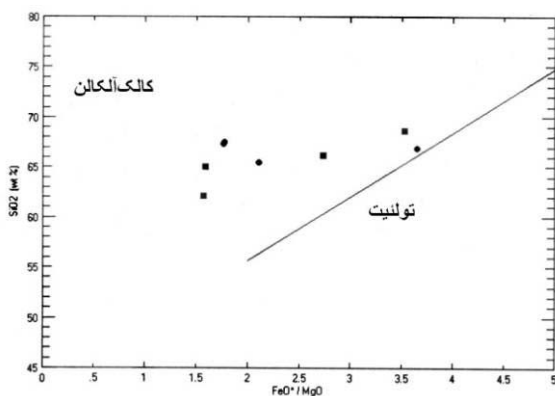
- تغییرات Ti در برابر Zr در سنگ‌های کانسار درآلو و مقایسه آن با مجموعه نفوذی نطنز (Pourhosseini, 1983) نشان می‌دهد که هردو با روندی مشابه در محدوده حاشیه قاره ای قرار می‌گیرند.

- در نمودار Y در برابر Zr تغییرات Y با روند Alution Island Arc همخوانی ندارد.

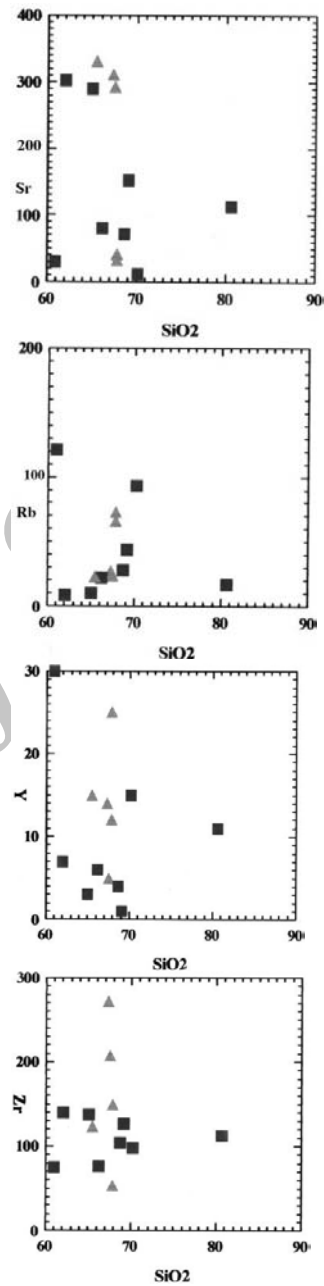
- مقدار Sr در سنگ‌های درآلو در ارتباط با دگرسانی، هوازدگی و خروج کلسیم از کانی‌های پلاژیوکلاز در این کانسار می‌باشد (شکل ۱۵).



شکل ۱۱: نمودار درصد آلكالی در مقابل SiO2



شکل ۱۲: سنگ‌های درآلو در موقعیت کالک‌آلكالن قرار می‌گیرند

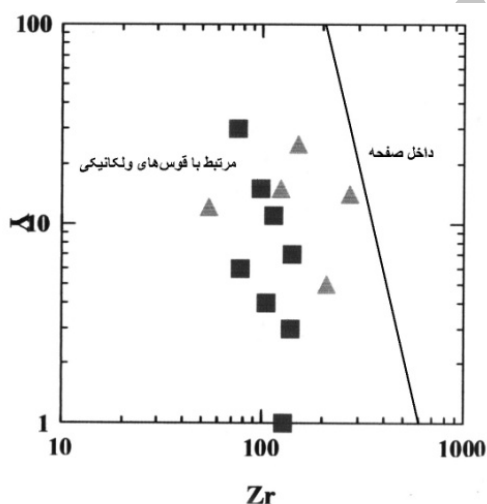


شکل ۱۰: تغییرات عناصر Sr, Rb, Y, Zr در کانسار درآلو، ▲ آفانیتیک و ■ فانریتیک پورفیری

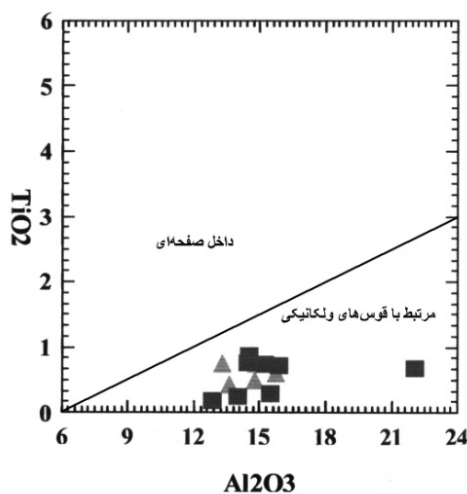
۴-۶- مدل احتمالی تکامل سیستم ماگمایی کانسار درآلو

همانطور که در شکل ۱۶- الف دیده می‌شود توده نفوذی گرانودیوریتی در عمق کم جاگزین شده است و بخش خارجی توده (بالای S1) در حرارتی پایین‌تر از سالیدوس سرد می‌شود. این یک سیستم بسته است و فقط از طریق انتقال حرارتی مقداری از گرمای خود را به دیواره‌ها می‌دهد ولی قبل از آن نفوذ ماگما و فوران آن انجام می‌شود. اگر

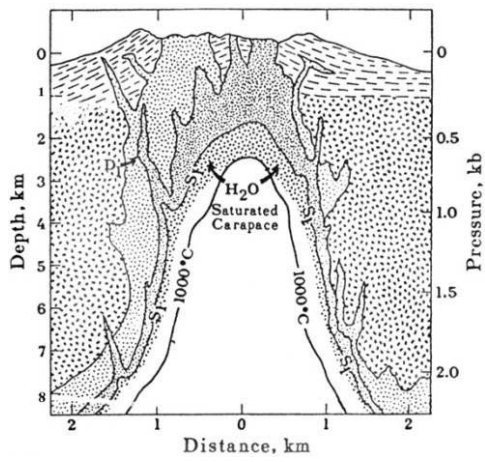
فرض کنیم که حرارت بخش خارجی سیستم ۱۰۲۵ و خط هم‌دمای ۱۰۰۰ درجه تا عمق ۲/۵ کیلومتری ادامه دارد، به طرف بالا درصد بلورها و محتوای H₂O مربوط به مذاب باقیمانده افزایش می‌یابد تا جاییکه اشباع شود. در فاصله ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه هورنبلند و در ۷۸۰ تا ۸۵۰ درجه بیوتیت تشکیل می‌شود. در اینجا $\frac{1}{5}$ آب توده نفوذی مصرف شده و بقیه درون مذاب باقی می‌ماند در نتیجه یک بخش مذاب داخلی غیر اشباع وجود دارد که توسط یک غشای متبلور گرانودیوریتی احاطه شده و بین آن دو یک مذاب غنی از آب به نام کلاک اشباع از آب قرار دارد که نقش مهمی را در دگرسانی کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری ایفا می‌کند (Redmond and et al., 2004) و در بخش فوقانی در نتیجه جوشش ثانویه فاز سیال آب‌داری را حاصل می‌کند که باعث تکامل سیستم می‌شود (شکل ۱۶-ب). فشار سیالات، تنش کششی و شکستگی‌های کوچکی در سقف ایجاد می‌کند که خود باعث تبلور در مذاب اشباع از آب شده و در نتیجه مقادیر بیشتری فاز سیال آب‌دار تولید می‌شود. این سیال وارد شکستگی‌ها شده و باعث تبلور در اثر کاهش فشار می‌شود و کلاک غنی از آب تدریجاً به اعماق بیشتر استوک انتقال می‌یابد. در صورت وجود شکستگی‌های بزرگ، در بخش‌های بالایی کلاک، دایک‌های برشی تشکیل می‌شود. در شکل کلاک اشباع از آب در عمق بیشتری واقع شده و شکستگی‌های بخش خارجی سالدوس که در آن فوگاسیته آب کمتر از مذاب بین روزنه‌های اشباع از آب می‌باشد، باعث افزایش سرعت تراوش و انتقال آب و گرما به شکستگی‌ها می‌شود تا آن‌که شکستگی‌ها عمدتاً از کوارتز پر شوند. ادامه تبلور ماگما در اعماق پایین‌تر باعث تکرار مراحل فوق شده و نهایتاً یک سیستم دودکشی حاوی شکستگی ایجاد می‌شود که ماده معدنی و گرما را از اعماق استوک به بخش‌های بالایی انتقال می‌دهد (شکل ۱۶-ج). ضمناً علاوه بر آب عناصر فرآری همچون کلر، فلوتور و گوگرد نیز حضور دارند که کلر در دگرسانی دیواره و انتقال فلزات و گوگرد در ته‌نشینی کانی‌های سولفوری اهمیت دارد (حقیقی، ۱۳۸۷).



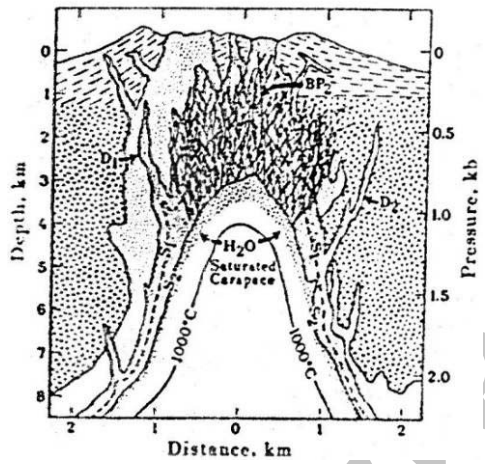
شکل ۱۴: نمودار Y در مقابل Zr



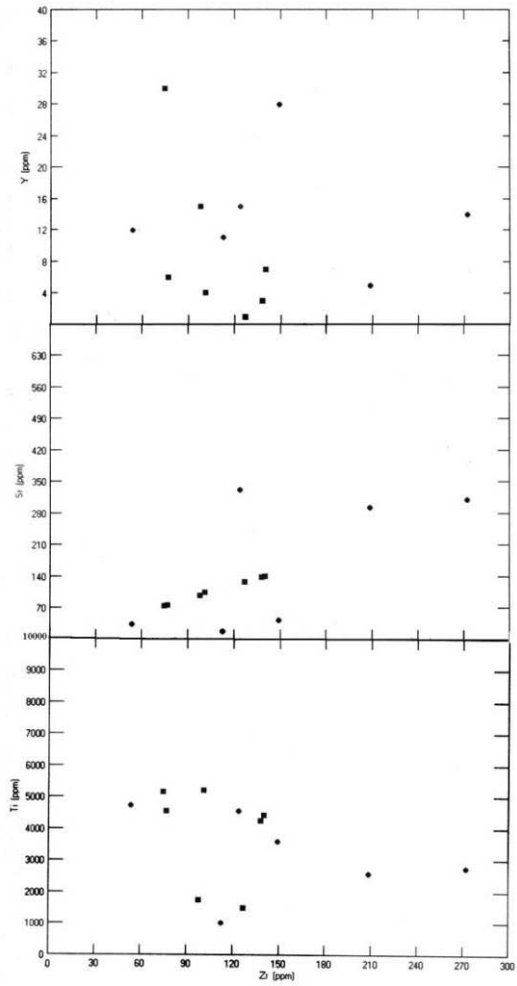
شکل ۱۳: نمودار TiO₂ در مقابل Al₂O₃



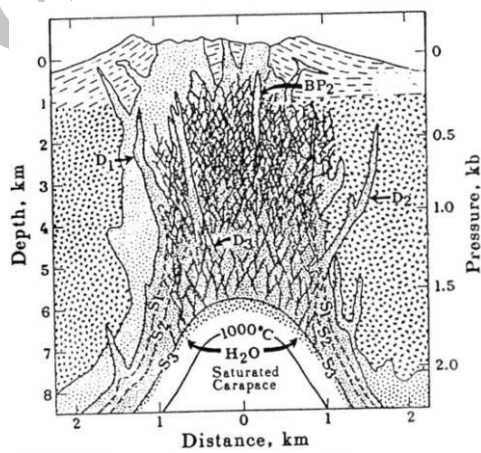
شکل ۱۶ الف: مراحل اولیه نفوذ توده گرانودیوریتی



شکل ۱۶ ب: گسترش دودکش‌های برشی و دایک‌ها به‌عنوان معابر محلول‌های کانه‌ساز



شکل ۱۵: تغییرات Ti, Sr و Y در برابر Zr



شکل ۱۶ ج: مراحل پایانی کاهش فعالیت‌های ماگمایی

۵- نتیجه گیری

کانسار مس درآلو در استان کرمان در کمربند آتشفشانی - نفوذی ارومیه - دختر واقع شده است. فعالیت کمان آذرین نوع آندین در امتداد حاشیه قاره‌ای فعال ایران مرکزی در تریاس آغاز و در طول دوره مزوزوئیک ادامه دارد و آخرین فعالیت آن در زمان الیگومیوسن است. پس از آن در اواخر میوسن و پلیوسن شرایط آلمپین بر نوع آندین غالب می‌شود. در این مقاله مطالعات انجام شده توسط Pourhosseini (۱۹۸۳) که بر روی دو توده نفوذی نطنز و بزمان انجام شده بود با وضعیت کانسار درآلو مقایسه شد. کمربند نفوذی کرکس - جبال بارز در امتداد جنوب غربی حاشیه قاره‌ای فعال ایران مرکزی و زمین درز زاگرس قرار گرفته است. در همین ارتباط گسترش بیشتر کانسارهای مس پورفیری از جمله سرچشمه در قسمت جنوبی کمربند کرکس - جبال بارز، دال بر منشاء آندین این توده‌ها است چراکه این تیپ کانسارها عموماً وابسته به گرانیتهای نوع I و وابسته به مناطق فرورانش می‌باشد. بر اساس مطالعات Pourhosseini (۱۹۸۳) سن توده نفوذی نطنز الیگوسن است و هرچند که فرورانش پوسته عربستان به زیر حاشیه فعال قاره‌ای ایران مرکزی از کرتاسه فعال بوده است، فوران ماگمای نوع I در میوسن در نطنز (کمربند کرکس - بارز) می‌تواند دلیلی بر استقرار فرورانش پوسته اقیانوسی در الیگومیوسن باشد. بنابراین، سنگ‌های نیمه‌عمیق و نفوذی کانسار درآلو از نوع کالک‌آلکالن با منشاء آندین بوده و طی فوران ماگمای نوع I در زمان الیگومیوسن جایگزین شده است.

۶- منابع

۱. حقیقی، ا.، ۱۳۸۷، بررسی‌های زمین‌شناسی معدنی ۱:۱۰۰۰ کانسار مس پورفیری درآلو.
2. Stocklin, J., 1968, A review of structural history and tectonics of Iran . A.A.P.G., V.52. , pp:1229-1258.
3. Zarasvandi, A.; Liaghat, S. and Zentilli, K., 2005, Porphyry copper deposits of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran, in Porter, T.M., ed., Super porphyry copper and gold deposits: A global perspective, v. 2: Linden Park, South Australia, PGC Publishing, p. 441-452.
4. Berberian, F., 1981, Petrogenesis of Iranian Plutons: A study of the Natanz and Bazman intrusive complexes. Ph.D. Thesis, Cambridge university.
5. Gustafson, L.B., 1979, Porphyry copper deposits and calc alkaline volcanism. In: M.W. Mc Elhinny (ed), the Earth: Its origin, structure and evolution, Academic Press, 427-468.
6. Shafiei, B.; Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009, Mineralium Deposita , Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran .
7. Irvine, T.N. and Baragar, W.R.B. 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks , can. J. Earth Sci., 8, p. 523-548.
8. Le Maitre, R.W.; Bateman, P.; Dudek, A.; Keller, J.; Lameyre LeBas, M.J.; Sabine P.A.; Schmid R.; Sorensent, Streekeisen, A.; Wooley, A.R. and Zanettin, B., 1989, A classification of Igneous Rocks and Glossary Terms, Blackwell, Oxford.
9. Cox, K.G.; Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979 , The Interperations of Igneous Rocks, George Allen and Unwin , London.
10. Streekeisen, A.L., 1974, Classification and nomenclature of plutonic rocks. Geol. Rundsch. , 63(2) , 773 - 86.
11. Müller, D.; Rock, N.M.S. and Groves, D.I., 1992, Geochemical Discrimination Between Shoshonitic and Potassic Volcanic Rocks in Different Tectonic Settings: a Pilot Study. Mineralogy and Petrology, 46, 259-289.
12. Pourhosseini, F., 1983, Petrogenesis of Iranian Plutons: a study of the Natanz and Bazman intrusive complex. G.S.I., Report No. 53, 315 P.
13. Redmond, P.B.; Einaudi, M.T.; Inan, E.E.; Land twing, M.R. and Heinrich, C.A., 2004, Copper deposition by fluid cooling in intrusion-centered systems: New insights from the Bingham porphyry ore deposit, Utah: Geology, v. 32, no, 3, p.217-220.