

تعیین شرایط تشکیل اندیس مس علیشار (استان مرکزی) با استفاده از داده‌های کانه‌نگاری و سیالات درگیر

مرضیه قائد امینی هارونی^۱، هاشم باقری^۱، هوشنگ اسدی هارونی^۲، احمدرضا مختاری^۲ و فریماه آیتی^{۳*}
^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
^۲ دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
^۳ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران ۳۶۹۷ - ۱۹۳۹۵، ایران

چکیده

اندیس مس علیشار در استان مرکزی و روی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است. واحدهای سنگ‌شناسی منطقه به طور عمده شامل: گدازه آندزیتی، گدازه تراکی آندزیتی-آندزیتی بازالتی، توف آندزیتی-آندزیتی بازالتی و توف ریولیتی-داسیتی به سن ائوسن-الیگوسن و همچنین، توده‌های نفوذی گرانودیوریت و مونزودیوریت (الیگومیوسن) است. تحت تأثیر سیالات گرمایی، انواع دگرسانی‌های فیلیک، پروپیلیتیک، رسی و سیلیسی شدن به همراه کانه‌زایی مس و طلا در این مجموعه تشکیل شده است. دگرسانی سیلیسی به میزان فراوان و به صورت رگه و رگچه محیط مناسبی برای کانی‌سازی طلا است. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد نمونه‌ها عیار متوسط مس بالای ۰/۵ درصد دارد و حاوی حدود ۰/۳ گرم در تن طلا و ۰/۵ گرم در تن بیسموت است. پهنه‌های تشخیص داده شده در این اندیس شامل: پهنه اکسیدی، برون‌زاد و درون‌زاد و کانی‌های موجود شامل: کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت، مگنتیت، هماتیت، گوئتیت و مالاکیت است. مطالعات سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز مرتبط به همه مراحل کانه‌زایی انجام شد. دمای متوسط اندازه‌گیری شده بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد و شوری ۲۱/۶ درصد بر حسب نمک طعام است. مکانیسم نهشت مواد معدنی در رگه‌ها در این اندیس، بر اساس مطالعات سیالات درگیر، سرد شدن ساده و اختلاط سیالات گرمایی با آب‌های جوی تعیین شده است. بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی، کانه‌نگاری و مطالعه سیالات درگیر، تیپ اندیس علیشار با کانسارهای نوع اکسید آهن-مس-طلا منطبق است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، کانسار اکسید آهن-مس-طلا، سیالات درگیر، استان مرکزی، کمربند ماگمایی ارومیه-دختر

مقدمه

کیلومتر مربع در ۲۰ کیلومتری شمال شهر ساوه در استان مرکزی و از لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی

اندیس مس-طلای علیشار با وسعت ۱/۵

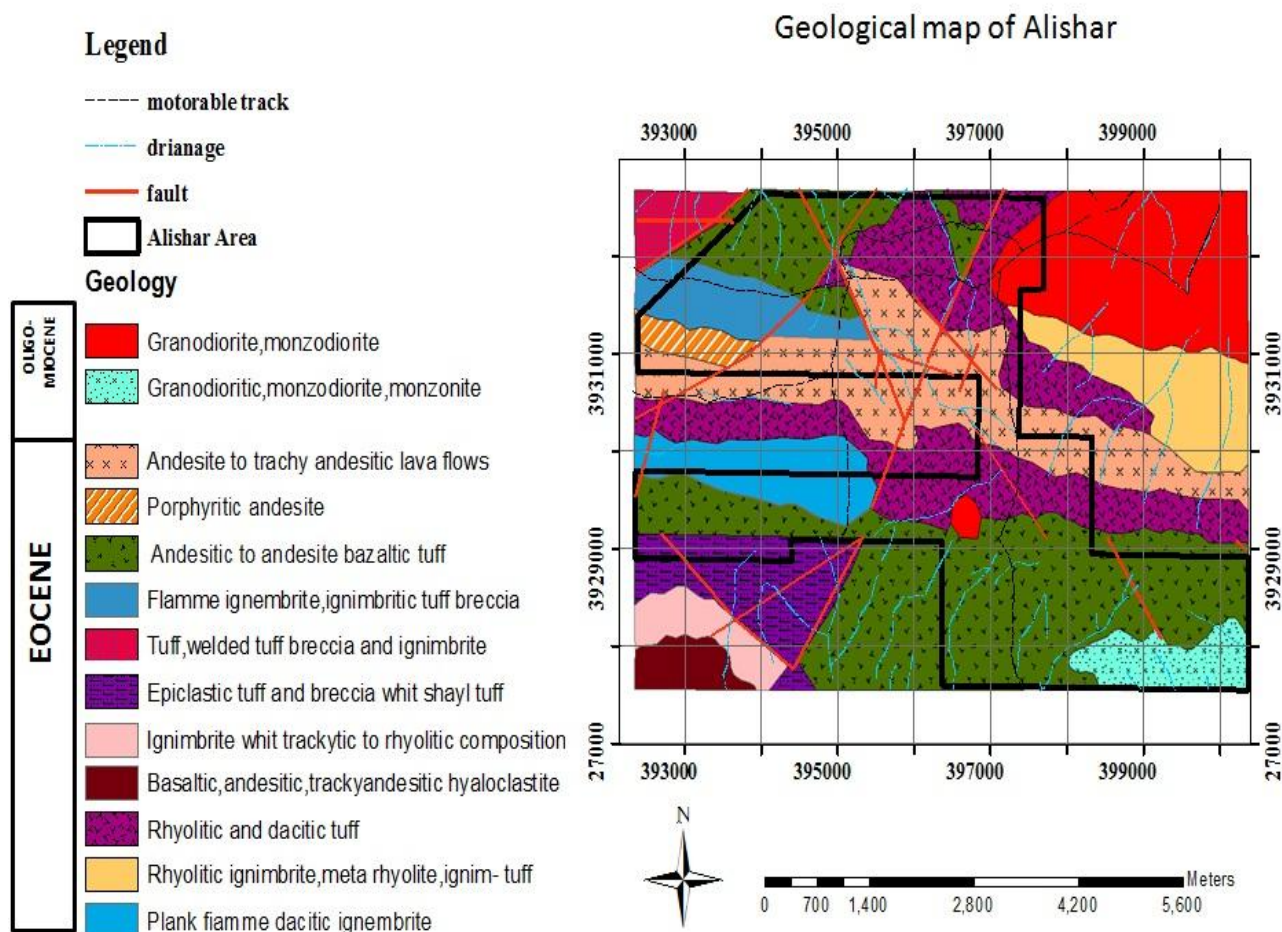
ایران در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر قرار گرفته است. کمربند ماگمایی ارومیه-دختر به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۵۰ کیلومتر در ارتباط با فروانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس و به دنبال آن برخورد صفحه عربی به صفحه ایران که در زمان میوسن میانی رخ داده، تشکیل شده است (Berberian and Niazzi and Asoudeh, 1978; Stampfli and Borel, 1981; Alavi, 1994; King, 1981; Omrani et al., 2002, 2008). کمربند ماگمایی ارومیه-دختر بخش مهمی از کمربند مس ایران را شامل می‌شود. منطقه کانی‌سازی علیشار دارای پتانسیل بالای مس و کم‌وبیش طلا است. تحت تأثیر محلول‌های گرمابی، انواع دگرسانی (فیلیک، پروپیلیتیک، رسی و سیلیسی شدن) و به همراه آن کانه‌زایی مس و طلا در این مجموعه تشکیل شده است. نتایج تجزیه شیمیایی در بیشتر نمونه‌های مورد تجزیه ICP، تمرکز بالایی تا حد بیش از ۰/۵ درصد مس و حدود ۰/۳ گرم در تن طلا را نشان می‌دهد (Gaedamini, 2013). ویژگی‌های اندیس علیشار که در این پژوهش بررسی و مطرح می‌گردد با ویژگی‌های کانسارهای نوع اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) در سایر نقاط جهان (Benavides, 2008; Corriveau and Corriveau et al., 2010; Acosta Góngora et al., 2011; Mumin, 2010; Corriveau et al., 2011) شباهت نشان می‌دهد (Gaedamini, 2013). این نوع کانسارها به عنوان دسته مهمی از کانه‌زایی گرمابی در محیط‌های پوسته قاره‌ای معرفی شده‌اند (Hitzman et al., 1992; Pollard, 2000; Sillitoe, 2003). اکتشافات جدید و پژوهش‌ها، به طبقه‌بندی‌های جدید و مختلفی برای کانسارهای IOCG منجر شده است (Groves et al., 2010). پهنه‌های دگرسانی سدیک، پتاسیک، سرسیتیک و سیلیسی در اعماق مختلف گسترش خوبی در این کانسارها دارد

زمین‌شناسی منطقه

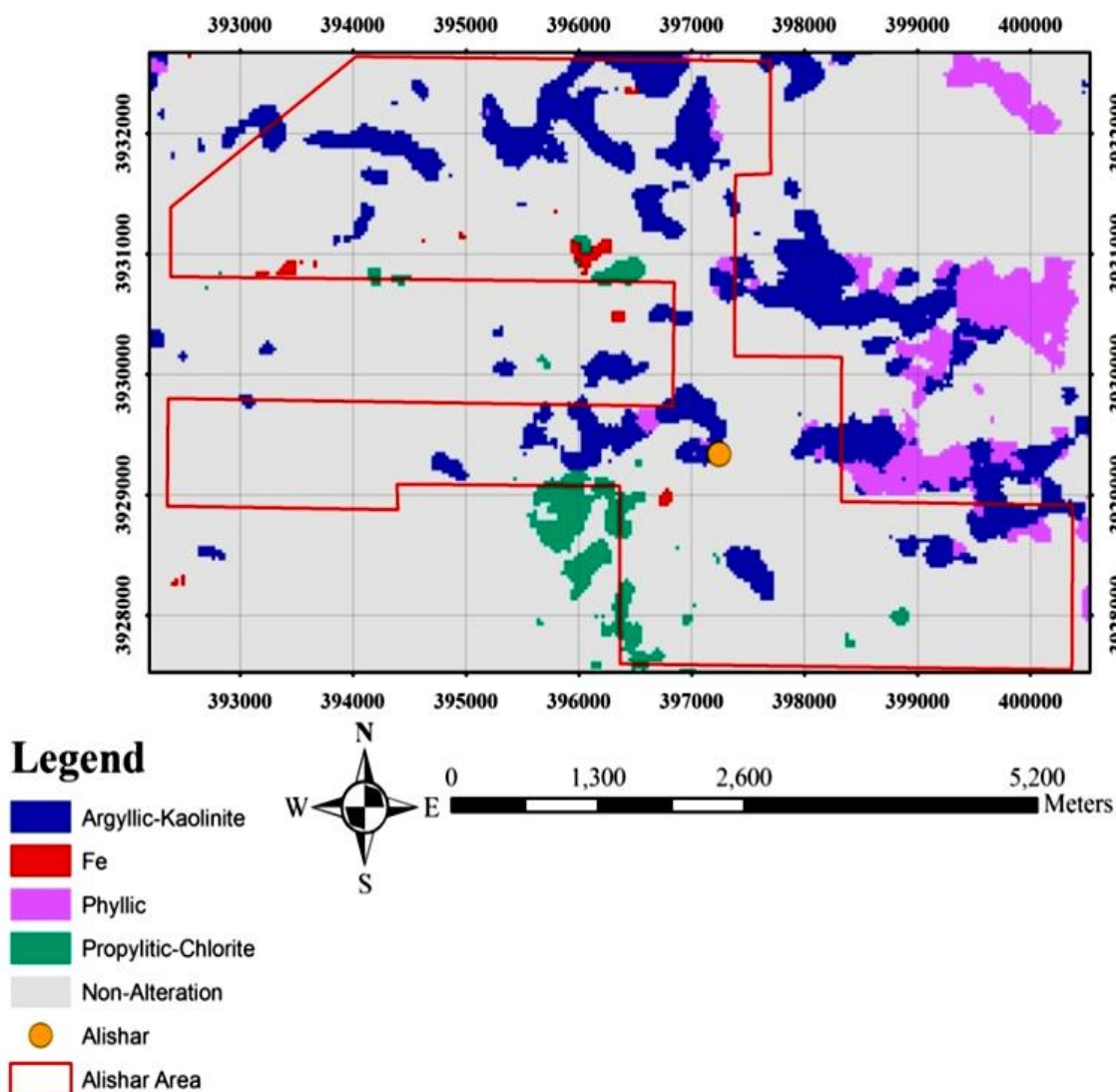
منطقه علیشار بر روی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر و در مرز میان دو نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خیمه‌سارچ (Eghlimi, 2001) و ۱:۱۰۰۰۰۰ نوبران (Khalatbari Jafari and Allai Mahabadi, 2000) قرار دارد. در شکل ۱ نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ناحیه مورد بررسی مشاهده می‌شود (Khalatbari Jafari and Allai Mahabadi, 2000; Eghlimi, 2001). واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه به طور عمده شامل: گدازه آندزیتی، گدازه تراکی آندزیتی-آندزیتی بازالتی، توف آندزیتی-آندزیتی بازالتی و توف ریولیتی-داسیتی است. از واحدهای سنگ‌شناسی دیگر می‌توان به حضور ایگنمبریت و همچنین، توده‌های نفوذی گرانودیوریت و مونزودیوریت (الیگومیوسن) اشاره نمود (Khalatbari Jafari and Allai Mahabadi, 2000). تحت تأثیر محلول‌های گرمابی، انواع دگرسانی‌ها مانند: فیلیک، پروپیلیتیک، رسی و سیلیسی شدن و کانه‌زایی مس در این مجموعه به چشم می‌خورد. در این

ارومیه-دختر کم‌وبیش با موقعیت شکل‌گیری کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا همخوانی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اندیس علیشار از لحاظ کانی‌سازی مس و طلا و اکسید آهن و عناصر همراه امید بخش است (Gaedamini, 2013). کانی‌های وابسته به فرآیند دگرسانی معمولاً ویژگی‌های طیفی خاصی نشان می‌دهد و شناسایی آنها با روش‌های سنجش از دور امکان‌پذیر است. شکل ۲ نقشه نهایی پهنه‌های دگرسانی با روش نقشه‌بردار زاویه طیفی را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد (Gaedamini, 2013).

منطقه گسل‌های متعدد در مقیاس ناحیه‌ای با روندهای مختلف حضور دارد که مسیر مناسب را برای عبور سیال و کانه‌زایی رگه‌ای فراهم می‌کند. از آنجا که کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا در سنگ‌های آتشفشانی یا نفوذی فلسیک کمابیش دگرگون شده قرار دارد و این سنگ‌ها نیز در موقعیت کمان آتشفشانی قاره‌ای می‌تواند حضور داشته باشد (مانند جایگاه تکتونیکی آند) (Guilbert and Charles, 1997)، بنابراین، می‌توان ذکر نمود که موقعیت تکتونیکی منطقه با توجه به قرارگیری بر روی کمر بند ماگمایی



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه علیشار (Eghlimi, 2001; Retrieved from Khalatbari Jafari and Allai Mahabadi, 2000)



شکل ۲- نقشه نهایی برای مشخص نمودن پهنه‌های دگرسانی با روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (Gaadamini, 2013)

روش انجام پژوهش

نخست، دگرسانی‌های منطقه با مطالعات سنجش از دور بررسی و مشخص شد. برای تهیه نقشه زمین‌شناسی، از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نوبران و ۱:۱۰۰۰۰۰ خیارچ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. برای بررسی انواع کانه‌ها در پهنه‌های دگرسانی حدود ۱۵ مقطع صیقلی آماده و در دانشگاه

صنعتی اصفهان مورد مطالعات کانه‌نگاری قرار گرفت. به منظور شناسایی کانه‌های فلزی از میکروسکوپ پلاریزان Olympus مدل BX60 با نور انعکاسی استفاده شد. برای مطالعه سیالات درگیر (ریز دماسنجی و روش انجماد) در مجموع ۱۰ مقطع دو بر صیقل از نمونه‌های کوارتز مربوط به رگه‌های حاوی کانه‌زایی (همچون: کالکوپیریت، کالکوسیت و ...) تهیه گردید. نمونه‌های کوارتز بیان شده مرتبط با کانه‌زایی بوده و سعی شد که

آندزیت به رنگ خاکستری با بافت پورفیری و حاوی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز حدواسط با ماکل پلی‌سنتتیک که گاهی به سریسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. همچنین، بقایایی از قالب کانی، شاید به لحاظ این که به اپیدوت تبدیل شده است بایستی دارای ترکیب فرومنیزین باشد. کلسیت و کلریت در متن سنگ تحت تأثیر محلول‌های غنی از Mg^{2+} و Ca^{2+} تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۱).

ریوداسیت به رنگ زرد با بافت اصلی پورفیری حاوی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز با ترکیب اسیدی تا حدواسط که بیشتر کائولینیتی شده است و فنوکریست‌هایی از فلدسپار که به ظاهر از نوع اورتوکلاز است، مشخص می‌شود. کانی‌های موجود در زمینه این سنگ شامل: بلورهای ریزدانه کوارتز و فلدسپار (بیشتر اورتوکلاز) است. همان طور که اشاره شد، بافت کلی سنگ پورفیری و البته بافت کوارتزفلدسپاتیک نیز وجود دارد. آثار اکسید آهن نیز در متن سنگ به چشم می‌خورد (شکل ۳-۲).

کوارتزمونزونیت دگرسان شده به طور غالب به رنگ سبز روشن است. بافت عمده مشاهده شده از نوع گرانولار، مونزونیتی (رشد اورتوکلاز به دور پلاژیوکلاز) و غربالی است. فلدسپارپتاسیک، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن (اوژیت) و به میزان اندک کوارتز به صورت کانی فرعی، کانی‌های این سنگ را تشکیل می‌دهد. بلورهای اورتوکلاز بیشتر به سریسیت و پلاژیوکلاز به سریسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند اما هنوز آثار ماکل پلی‌سنتتیک در آنها به چشم می‌خورد (شکل ۴-۱). در اثر پدیده اورالیتی‌شدن کلینوپیروکسن‌ها، کلریت، اپیدوت و تا حدی ترمولیت-اکتینولیت ایجاد شده است (شکل ۴-۲). در بین بلورهای بیان شده، کانی کوارتز نیز وجود دارد. پدیده کلریت‌زایی و

سیالات درگیر مطالعه شده از نوع اولیه باشد. مراحل تهیه مقاطع دو بر صیقل به طور خلاصه شامل: پرکردن خلل و فرج مقطع بریده شده توسط چسب، بریدن مقطع، صیقل دادن آن از دو طرف و آزاد کردن مقطع از روی لام به وسیله استن است. در تمامی این مراحل نباید به مقطع حرارت و همچنین، فشار بالایی وارد شود. بررسی‌های پتروگرافی نخست توسط میکروسکوپ معمولی و سپس با شکستن نمونه به ابعاد ۴ تا ۵ میلی‌متر به وسیله دستگاه مطالعه سیالات درگیر از نوع Linkam مدل THM-600 با کنترل حرارتی TMS92 و سرد کننده LNP نصب شده بر روی میکروسکوپ ZIESS و در گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان انجام گرفت. به منظور تعیین شوری در سیالات درگیر با استفاده از منجمد کردن سیال درگیر توسط نیتروژن مایع و سپس اندازه‌گیری دمای ذوب آخرین بلور یخ، میزان شوری محاسبه می‌شود. شروع سرد کردن با حد نهایی ۱۵۰ درجه سانتیگراد و با نرخ سرمایش ۲۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه انجام شد. سپس سیالات درگیر تا ۱۰۰- درجه سانتیگراد سرد شد اما در عمل، سیالات درگیر در حدود ۸۰- تا ۱۰۰- درجه سانتیگراد یخ زد. سپس حدود دو دقیقه صبر نموده تا دستگاه درحالت ثابت قرار گیرد. بعد از این مرحله، سیالات درگیر یخ زده با نرخ ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه مورد آزمایش گرمایش قرار گرفت که البته در زمان تغییر فاز تا دو درجه بر دقیقه هم کاهش پیدا می‌کند.

پتروگرافی

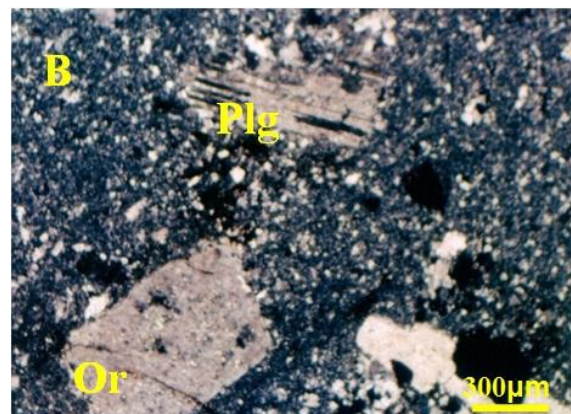
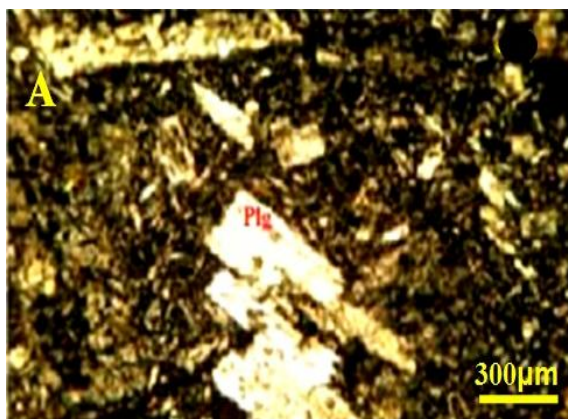
از جمله واحدهای سنگی که مورد مطالعات پتروگرافی قرار گرفتند به طور خلاصه شامل:

بافت میرمکیت را نشان می‌دهد.

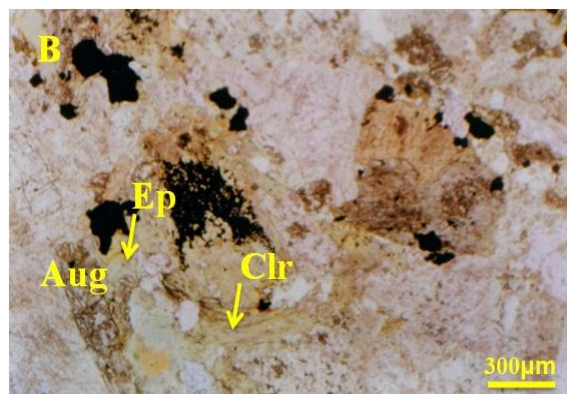
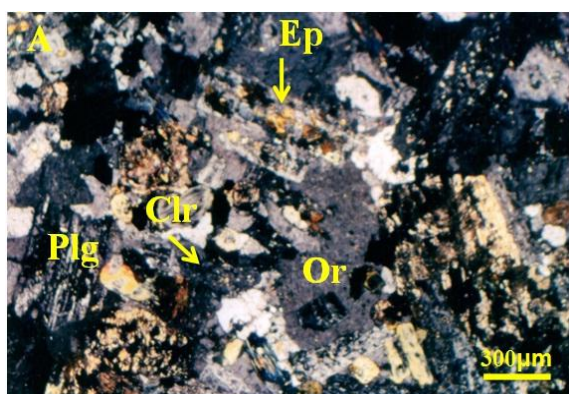
از دیگر واحدهای مشاهده شده در منطقه به انواع توف و برش ریولیتی-داسیتی و توف و گدازه آندزیتی-آندزیت بازالتی می‌توان اشاره نمود. توف‌های اسیدی با رنگ صورتی مشاهده می‌شود و بخش‌های میانی آنها به دلیل هیدراته شدن کانی‌های فرومنیزین و تبدیل شدن آن به کانی‌های دگرسانی به رنگ سبز درآمده است (Khalatbari Jafari and Allai Mahabadi, 2000). ترکیب کانی‌شناسی توف‌های آندزیتی را قطعه‌های سنگ‌های آتشفشانی، ذرات شیشه، بلورهای کوارتز و فلدسپار تشکیل می‌دهد. بافت آنها ریز و کلاستیک است. گدازه‌ها دارای بافت پورفیری و دارای ترکیب کانی‌شناسی همسان با توف‌ها هستند. کانی‌های ثانویه را کلسیت، سریسیت و کوارتز و کانی‌های اپاک پدید می‌آورد. در بررسی‌های میکروسکوپی توف‌های آندزیت بازالتی، بافت اینترسرتال-اینترگرانولار مشاهده می‌شود. اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز کانی‌های اولیه و کلسیت مهم‌ترین کانی ثانویه است که زمینه سنگ را به شدت تحت تأثیر قرار داده است.

اپیدوت‌زایی به میزان زیاد مشاهده می‌شود که به رخداد دگرسانی پروپیلیتیک اشاره دارد.

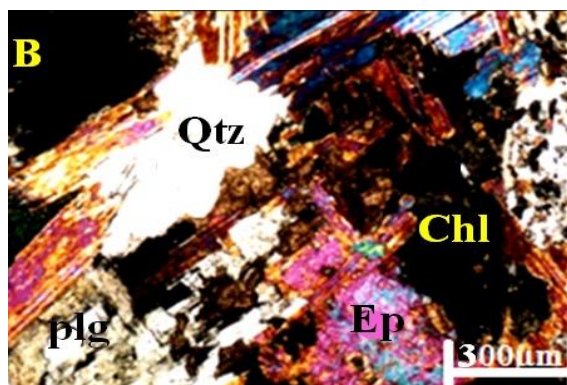
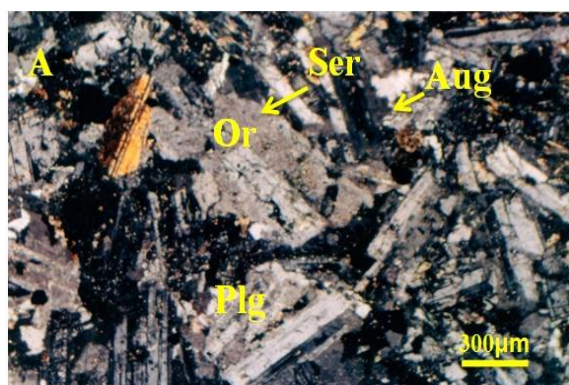
کوارتزومونوزودیوریت-گرانودیوریت به رنگ خاکستری و دارای ساخت ریزدانه با بلورهای بسیار ریز (آفانتیک) است. بافت‌های موجود شامل: گرانولار، غربالی و میرمیکیتی هستند. عمده کانی‌های مشاهده شده در گرانودیوریت‌ها شامل: پلاژیوکلاز، اورتوکلاز، کوارتز و گاهی پیروکسن و در کوارتزومونوزودیوریت‌ها شامل: پلاژیوکلاز، اورتوکلاز، بیوتیت، پیروکسن و کانی کوارتز است. فلدسپارپتاسیک به میزان کمتر از پلاژیوکلازها و بیشتر به صورت بی‌شکل با تجزیه‌شدگی به سریسیت مشاهده می‌شود. پلاژیوکلاز بیشتر از نوع اسیدی تا حد واسط با تجزیه‌شدگی سریسیت و اپیدوت است. پیروکسن از نوع اوژیت بوده و در برخی از آنها پدیده اورالیتی شدن با تشکیل کانی‌های ترمولیت-اکتینولیت، اپیدوت و کلریت مشخص است (شکل ۵-A و B). کانی کوارتز گاه در فضای بین اورتوکلاز و پلاژیوکلاز به چشم می‌خورد. در حواشی و مرز اورتوکلازها و پلاژیوکلازها، کانی کوارتز آزاد شده و نمایی از



شکل ۳- A) آندزیت دگرسان شده (تجزیه پلاژیوکلاز به اپیدوت و سریسیت) (XPL)؛ B) ریوداسیت با فنوکریست‌هایی از اورتوکلاز و پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از کوارتز و فلدسپار (XPL)



شکل ۴- A) تجزیه‌شدگی پلاژیوکلاز به کلریت و اپیدوت و تبلور زودتر پلاژیوکلاز نسبت به اورتوکلاز که نشانگر بافت مونزونیتی است (XPL)؛ B) تشکیل کلریت و اپیدوت از کانی اوژیت که منجر به تشکیل و آزاد شدن اکسید آهن و حضور کانی‌های فلزی در حواشی و در ارتباط با کانی‌های بیان شده است (PPL)



شکل ۵- A و B) کوارتز مونزودبوریت حاوی پلاژیوکلاز، اورتوکلاز، اوژیت و مقدار ناچیزی از کوارتز، با کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت و سریسیت (XPL)

دگرسانی

رگچه در داسیت‌ها و مونزونیت‌های محدوده و در اطراف رگه‌های کانه‌دار وجود دارد و محیط مناسبی برای کانی‌سازی طلا است. این دگرسانی بیشتر با امتداد شکستگی‌های کششی کانه‌زایی شده منطبق است. مقادیر زیاد سیلیس در محدوده نشانگر اشباع بودن محلول‌های گرمایی از سیلیس است که منجر به تشکیل یک پوشش سیلیسی در منطقه شده است. کائولینیتی شدن بیشتر در فلدسپارهای آلکان و با شدت کمتری در پلاژیوکلازها به چشم می‌خورد. دگرسانی پروپیلیتیک که نسبت به دگرسانی‌هایی همچون: فلیک در دماهای پایین‌تری رخ می‌دهد تحت تأثیر محلول‌های غنی از Al، Ca، Fe و Mg و با

بررسی‌های پتروگرافی و مطالعه دگرسانی‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نتیجه صعود سیالات گرمایی دستخوش دگرسانی‌های با درجات ضعیف تا متوسط شده‌اند. دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه به ترتیب فراوانی شامل: دگرسانی‌های سیلیسی شدن، رسی شدن (کائولینیتی شدن)، پروپیلیتیک، رخداد اکسیدها و هیدرو اکسیدهای آهن (هماتیتی شدن، گوئیتی شدن) و دگرسانی فلیک (سریسیت، کوارتز، پیریت) است که به ظاهر توسط محلول‌های دما متوسط به وقوع پیوسته‌اند. سیلیسی شدن به میزان فراوان و به صورت رگه و

اسیدیده قلیایی-خنثی و نسبت سیال به سنگ پایین رخ می‌دهد. بیشتر پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها تبدیل به کلریت، اپیدوت و کلسیت شده‌اند که از کانی‌های برجسته دگرسانی پروپیلیتیک هستند. واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ترکیبات آهن و ترکیبات گوگردی را تحت تأثیر قرار داده و منجر به رخداد دگرسانی هماتیته و گوئیتیته در محدوده شده است. این دگرسانی در بخش شمالی محدوده به فراوانی مشاهده می‌شود. دگرسانی فیلیک نیز به میزان زیاد در منطقه به چشم می‌خورد. این دگرسانی که در نتیجه کاهش aK^+/aH^+ یا کاهش درجه حرارت مربوط به سیال گرمایی حادث می‌شود، در نتیجه فروشست کلسیم، سدیم و منیزیموم از کانی‌های آلومینوسیلیکاته و توسط جایگزینی بیشتر سیلیکات‌های سنگ‌ساز از قبیل: پلاژیوکلاز توسط سریسیت و کوارتز همراه با میزان‌های متغیری از پیریت مشخص می‌شود (Shinohara and Hedenquist, 1997).

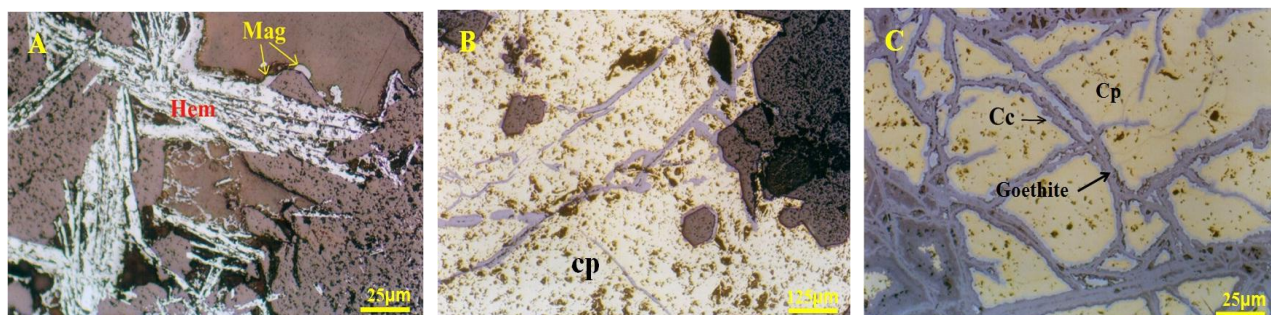
کانه‌نگاری: بررسی مقاطع صیقلی نشان

می‌دهد که پهنه‌های دگرسانی در اندیس معدنی علیشار شامل: پهنه اکسیدی (مرحله هوازدگی)، سوپرژن (غنی‌شدگی ثانویه) و هیپوژن (کانی‌سازی اولیه) و کانی‌های موجود شامل: مالاکیت، گوئیتیت، کالکوسیت، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، هماتیت، و مگنتیت است. در کانی‌سازی اولیه هم‌زمان با تشکیل رگه‌های سیلیسی در سنگ میزبان دو فاز سولفیدی اولیه یعنی کالکوپیریت و پیریت و دو فاز اکسیدی اولیه یعنی مگنتیت و هماتیت نهشته شده‌اند. از آنجا که مگنتیت در شرایط احياتری نسبت به هماتیت تشکیل می‌شود (Maynard, 1983). بنابراین، همیافتی هماتیت و مگنتیت با هم در این اندیس، حضور شرایط احياتری را

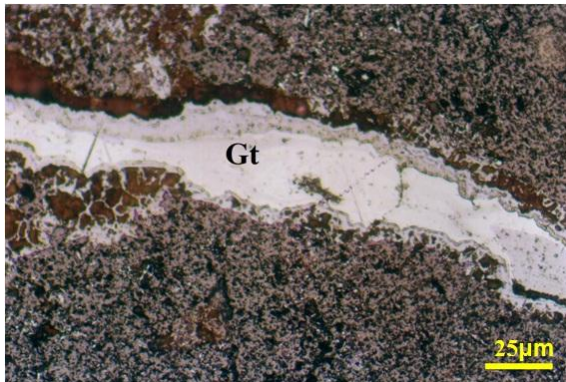
نسبت به شرایط تشکیل هماتیت به تنهایی نشان می‌دهد. در این مرحله از کانی‌سازی در اندیس، مقادیر بسیار اندکی از کانی مگنتیت تشکیل شده است و بخش اعظم کانی‌سازی اکسیدهای آهن مربوط به مرحله هوازدگی است که در شرایط فوگاسیته بالا اکسیژن و فوگاسیته پایین گوگرد انجام شده است. مگنتیت به صورت بسیار ریزدانه و کمیاب در مرحله اولیه کانی‌سازی مشاهده شد. به دلیل پایین بودن میزان گوگرد و وجود حالت فرا اکسایش آبگون، در بیشتر مناطق، کانه اسپیکولاریت (فرم تیغه‌ای هماتیت) تشکیل شده است. وجود اسپیکولاریت نشان‌دهنده محیطی کاملاً اکسیدان است. حضور اسپیکولاریت به صورت خودشکل، تشکیل این کانه در فاز تأخیری از مرحله اولیه فعالیت‌های گرمایی را نشان می‌دهد (شکل ۶-۱). در کانی‌سازی هیپوژن، کالکوپیریت به صورت اولیه و بر جای مانده در رگه‌های کوارتز و همراه با پیریت مشاهده می‌شود (شکل ۶-۲) و به میزان زیاد توسط اکسیدهای آهن و به میزان کمتر توسط کالکوسیت جانشین شده است که کانه‌های اخیر به صورت هاله‌هایی در اطراف کالکوپیریت دیده می‌شود. طی فرآیند اکسایش، مقداری از آهن موجود در کالکوپیریت آزاد و به صورت گوئیتیت ته‌نشین شده است. رخداد این کانی تا اواسط مرحله غنی‌شدگی ثانویه ادامه داشته است. پیریت بیشترین گسترش را در بین کانی‌های فلزی در مرحله اولیه کانی‌سازی دارد و نخستین کانی سولفیدی تشکیل شده در این مرحله است. آهن حاصل از دگرسانی کانی‌های مافیک با آهن و گوگرد موجود در سیالات گرمایی تولید پیریت می‌نماید. پس از آن اکسیداسیون پیریت در مناطق سطحی سبب تشکیل اکسیدهای آهن می‌شود. این کانی به صورت ریزدانه و در مرحله هیپوژن تشکیل شده و در مرحله

اکسیداسیون کالکوپیریت بستگی به شرایط محیط دارد. در بعضی موارد، هوازگی به طور مستقیم توسط ایجاد لیمونیت مشخص می‌شود. با این وجود معمولاً یک لایه بسیار نازک از کالکوسیت یا کوولیت در ابتدا تشکیل می‌گردد. در طول این فرآیند، قسمت اصلی مس از کالکوپیریت خارج شده و در سطح یا زیر سطح ایستابی دوباره رسوب می‌کند. بخشی از مس هم در قسمتی از کانسار که حاوی کربنات باشد به صورت مالاکیت و یا سایر کانی‌های مس دار، باقی می‌ماند. در کانی‌سازی مرحله هوازگی، فاز اکسیدی گوئیت و هماتیت و نیز مالاکیت مشاهده می‌گردد. گوئیت با بافت کلوform در نتیجه دگرسانی پیریت تشکیل شده است. مالاکیت در مرحله هوازگی و در حضور کانی‌های کربناته مثل کلسیت و از ترکیب CO_2 آنها با آب جوی یا آب زیرزمینی و مس تشکیل شده است (شکل‌های ۷ و ۸). حضور اندک کلسیت در منطقه که خود محصول دگرسانی پروپیلیتیک است، باعث تشکیل مالاکیت به صورت رگه‌ای و پراکنده در محدوده اکتشافی علیشار شده است (شکل ۸). حضور مالاکیت نشان‌دهنده محیط اکسیدان و قلیایی است. توالی پاراژنزی کانی‌ها را می‌توان در جدول ۱ مشاهده نمود.

غنی‌شدگی سوپرژن نیز به میزان کمتر تشکیل و تا اواسط مرحله هوازگی در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این کانی می‌تواند در محدوده وسیعی از تغییرات fO_2 و fS_2 حضور داشته باشد (Karimpour and Saadat, 2005). بنابراین، نمی‌توان از این کانی برای تعیین محدوده خاصی از فوگاسیته گوگرد و اکسیژن استفاده نمود. در مرحله غنی‌شدگی ثانویه، کانی‌سازی شامل: بقایایی از کانه‌های پیریت و کالکوپیریت مربوط به مرحله درون‌زاد به همراه کانی‌سازی کالکوسیت و بورنیت است. کالکوسیت با بافت جانیشینی و در مرحله غنی‌شدگی ثانویه به صورت حلقه‌های واکنشی در اطراف کالکوپیریت تشکیل شده است. در اثر هوازگی کالکوپیریت، آهن قبل از مس خارج می‌شود. بنابراین، حواشی بیرونی کالکوپیریت به کالکوسیت تبدیل شده و آهن نیز یا وارد محلول می‌شود یا به صورت گوئیت ته‌نشین می‌شود. طی هوازگی سوپرژن، افزایش غلظت مس از سطح به سمت پایین در اثر فرآیند شست‌وشو و کاهش فوگاسیته سولفور باعث دگرسانی و تبدیل کالکوپیریت به کالکوسیت شده است که با رنگ خاکستری آبی، باقی‌مانده‌های کالکوپیریت را احاطه می‌کند (شکل ۶-C).



شکل ۶- A) تیغه‌های اسپیکولاریت در ابعاد بزرگ دارای بافت شعاعی و موازی و بلور مگنتیت در بالای تصویر (PPL)؛ B) کالکوپیریت تشکیل شده در مرحله اولیه کانی‌سازی (PPL)؛ C) دگرسانی کالکوپیریت (زرد طلایی) به کانی‌های گوئیت (خاکستری) و کالکوسیت (به رنگ آبی کم‌رنگ) (PPL)



شکل ۸- رگه گوئتیت با بافت کلوفرم (PPL)



شکل ۷- بلورهای سوزنی سفید رنگ اسپیکولاریت و بلورهای سبز رنگ مالاکیت/گوئتیت به صورت رگه‌ای با بافت کلوفرم به رنگ قهوه‌ای در متن سنگ (PPL)

جدول ۱- نمایش توالی پاراژنزی کانی‌ها در اندیس مس علیشار

Formation stage Minerals	Hypogene	Supergene (enriched zone)	Oxidation Zone
Chalcopyrite	—————		
Pyrite	—————		
Bornite		—————	
Magnetite	—————		
Chalcocite		—————	
Hematite	—————		
Goethite			—————
Malachite			—————

درگیر کوارتزهای رگه‌ای مورد بررسی از لحاظ پاراژنتیکی اغلب از نوع اولیه بوده که در مراحل اولیه رشد کانی میزبان تشکیل شده‌اند و البته گاه ثانویه نیز در مقاطع به چشم می‌خورد. سیالات درگیر ثانویه اغلب ریز و به صورت ردیفی در یک امتداد (راستای صفحات شکستگی کوارتز) قرار دارد. سیالات درگیر اولیه رگه‌های کوارتز در مشاهدات میکروسکوپی، کامل‌تر، شکل‌تر و نیز درشت‌تر از انواع ثانویه به نظر می‌آید. مطالعه سیالات درگیر اولیه ثابت کرده است که بهترین وسیله تعیین دمای نهشته

مطالعه سیالات درگیر: به منظور شناخت سازوکار تشکیل ماده معدنی و شرایط و نحوه کانی‌زایی در اندیس علیشار، مطالعه سیالات درگیر بر روی کانی کواتز انجام شد. از مزایای مطالعات سیالات درگیر در کانی کوارتز، عدم حضور کلیواژ و توانایی تبلور دوباره آسان است که آن را یک محیط مناسب برای محافظت سیالات درگیر می‌سازد (Wilkinson, 2001). بنابراین، بررسی‌های ریز دماسنجی بر روی سیالات درگیر موجود در ۱۰ مقطع دو بر صیقل کوارتز مربوط به رگه‌های مرتبط با کانه‌زایی انجام شد. سیالات

پیچیده‌تر است. در نتیجه، در نمونه‌های مطالعه شده دو نوع میان‌بار مشاهده شد که بر اساس چگالی سیال درگیر و حجم مایع همگن شدن به مایع در آنها قابل مشاهده بود:

الف) مایع، بخش اعظم سیال را تشکیل می‌دهد (بیش از ۵۰ درصد سیال) و حباب‌گاز قابل توجه نبوده که طی فرآیند همگن شدن، به مایع همگن شد. دمای این گروه ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد بوده و بیش از ۷۰ درصد نمونه‌ها در این گروه جای گرفته‌اند (شکل ۹-۱-۱).

ب) حباب‌گاز بزرگتر بوده و مایع حجم کمی از سیال را تشکیل داده است (کمتر از ۲۵ درصد حجم سیال). نمونه‌های این گروه کوچک و قابل مطالعه نبود (شکل ۹-۱-۲).

با توجه به نمودار فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر (شکل ۱۰) به نظر می‌رسد تشکیل کانی‌های موجود در رگه‌های گرمابی طی یک یا چند مرحله فاز کانه‌زایی اما با دمای متوسط انجام شده است.

روش انجماد: برای تعیین شوری سیالات درگیر آبگین از مطالعات انجماد استفاده می‌شود. در این حالت، اندازه‌گیری دمای ذوب نهایی یخ در هنگام حرارت دادن مجدد سیالات درگیر که قبلاً منجمد شده‌اند مفید خواهد بود (Shepherd *et al.*, 1985). به دلیل دشواری تعیین نوع نمک در سیال درگیر، معمولاً دمای ذوب یخ را به صورت درصد وزنی نمک طعام گزارش می‌کنند. در اندیس مورد بررسی، دمای ذوب یخ هفت سیال درگیر تعیین شد؛ سپس به منظور تعیین شوری سیالات درگیر از نمودار Shepherd و همکاران (۱۹۸۵) کمک گرفته شد. T_{fm} برای برخی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که در محدوده ۲۷- تا ۳۰- قرار دارد و بنابراین، سیستم سیالات درگیر از نوع $H_2O-NaCl$ است. در خور ذکر است

هستند. اشکال آنها به صورت عدسی و بیشتر نامنظم است. نبود شکل خاص در سیالات درگیر نشان از این دارد که فضا‌های بین سطوح بلوری که باعث به تله افتادن میان‌بارها شده‌اند، دارای شکل خاصی نبوده‌اند. عملکرد فعالیت‌های تکتونیک به تشکیل میان‌بارهای ثانویه منجر می‌شود. اندازه حفرات از ۳ تا ۲۵ میکرون بوده و بیشترین فراوانی مربوط به میان‌بارهای ۱۰ تا ۱۵ میکرونی است. سیالات درگیر حاوی فاز سیال (دو فازی غنی از مایع) بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین فراوانی درجه پرشدگی ۸۰ درصد بوده است. هیچگونه سیال درگیر حاوی CO_2 یا فاز جامدی مشاهده نشد. تمامی مراحل مطالعات به صورت ایتیکی انجام شده که پس از ثبت ویژگی‌ها، مطالعه مراحل سرمایه‌ش-گرمایش روی سیالات درگیر انجام گرفت.

مطالعات ریز دماسنجی: هدف از بررسی‌های دماسنجی میان‌بارهای سیال در مرحله گرمایش، به دست آوردن دمای همگن شدن فازهای مختلف درون سیالات درگیر است که نتیجه دمای به تله افتادن سیالات با درجه حرارت تشکیل کانی‌سازی است (Moore *et al.*, 1999). نتایج بررسی‌های میکروترمومتری انجام شده بر روی سیالات اندیس مس علیشار در جدول ۲ آمده است.

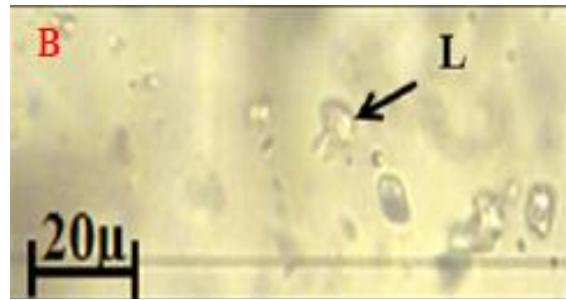
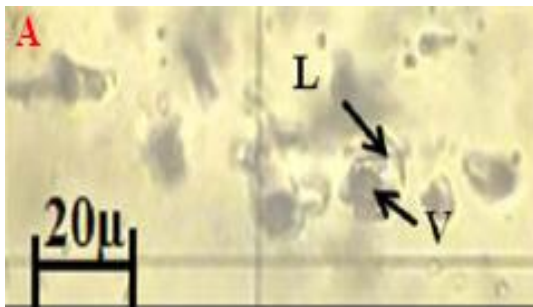
تعیین دمای همگن شدن: بررسی‌های انجام شده بیانگر حضور دو فاز اصلی میان‌بار یعنی یک محلول آبگین و یک حباب بخار متحرک است. طی دماسنجی، بسته به فراوانی هر یک از فازها، همگن شدن می‌تواند نسبت به فاز غالب انجام شود. برای سیال درگیری که حاوی آب خالص است، شکل واقعی همگن شدن به وسیله چگالی کل یا درجه پرشدگی تعیین می‌شود. اگر چه برای سیالات درگیر با فازهای متنوع‌تر این تغییرات

کشیدگی میان بارها نشان از عدم تعادل است و بنابراین، قابل اعتماد نیست، از این رو داده‌های حاصل از دماهای همگن شدن آنها از جدول داده‌ها حذف شد. با نمودار درجه حرارت همگن شدن و منحنی‌های فشار می‌توان عمق به دام افتادن سیالات را محاسبه نمود (Cunningham, 1978) که در اندیس مطالعه شده ۴۰۰ تا ۹۰۰ متر برآورد شد (شکل ۱۱-A). از طرفی، چگالی سیال کانه‌زا بر اساس نمودار Shepherd و همکاران (۱۹۸۵)، 0.9 gr/cm^3 تا ۱ (شکل ۱۱-B) و میزان فشار بخار سیالات درگیر منطقه طبق نمودار Cunningham (۱۹۷۸) ۵۰ تا ۱۰۰ اتمسفر است (شکل ۱۱-C).

اندازه‌گیری‌های بیشتر با تهیه نمونه‌های جدید در آینده انجام خواهد شد. بررسی‌ها همچنین، نشان داد که دماهای ذوب آخرین بلور یخ (T_{lm}) در میان بارها از ۱۴- تا ۲۰/۵- تغییر می‌کند. این مقادیر نشان‌دهنده دامنه شوری ۱۸/۷ تا ۲۳ درصد وزنی معادل کلرید سدیم و میانگین شوری ۲۱/۶ درصد (شوری متوسط) است. نبود فاز دختر در این سیالات شاید می‌تواند نشان از شوری متوسط (Roedder, 1984) و ناشی از اختلاط با آب‌های جوی باشد (Barnes, 1979). گردن کشیدگی سیالات درگیر و دماهای متفاوت همگن شدن نیز از دلایل نبود فاز نوزاد است (Takenouchi, 1980). البته از آنجا که گردن

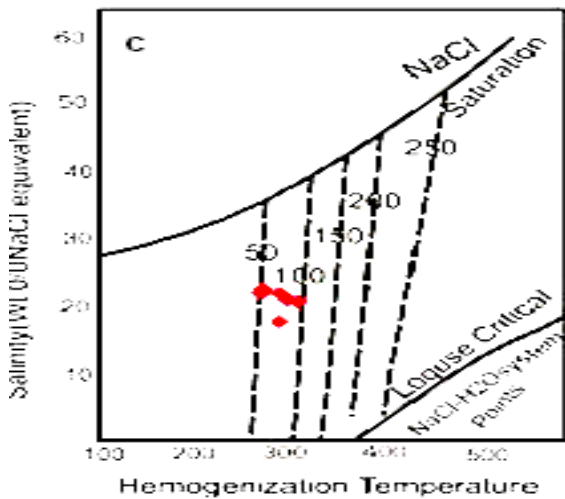
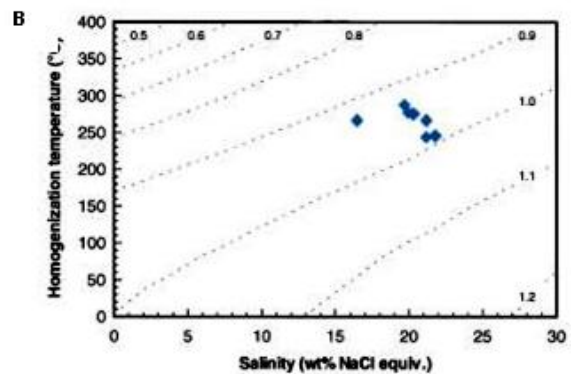
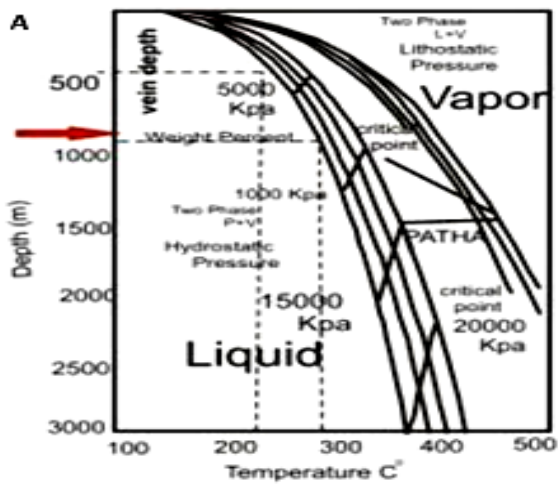
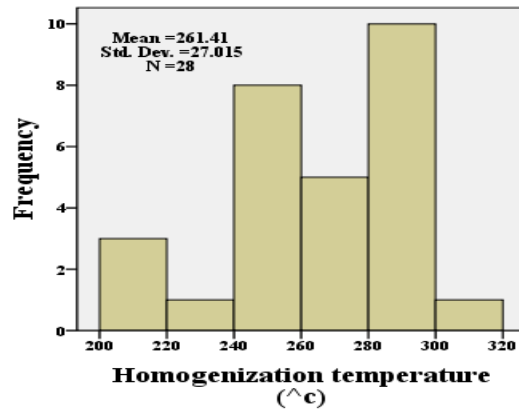
جدول ۲- نتایج مطالعات میکروترمومتری انجام شده بر روی سیالات درگیر اندیس مس علیشار؛ (در کلیه نمونه‌ها، فاز بخار و مایع به فاز مایع همگن شده‌اند)

Sample	Number	T _{lm}	Th	% wt NaCl	Size
A2	1	-	267	-	10μ
A2	2	-	280	-	13μ
A4	1	-	204	-	13μ
A4	2	-	289	-	14μ
A4	2	-	285	-	10μ
A4	1	-	217	-	12μ
A4	1	-	250	-	7μ
A4	1	-	251	-	7μ
A4	1	-	248	-	7μ
A6	2	-	246	-	12μ
A6	1	-	248	-	10μ
A6	1	-	242	-	10μ
A8	3	-20	280	22.5	10μ
A8	2	-	201	-	12μ
A8	1	-	249	-	10μ
A8	3	-20	261	22.5	15μ
A8	2	-20.5	261.5	23	12μ
A8	2	-	230	-	11μ
A8	1	-	262	-	11μ
A8	1	-	250	-	12μ
A8	2	-	298	-	12μ
A8	2	-	265	-	10μ
A8	3	-	282	-	12μ
A8	3	-	295	-	10μ
A9	3	-19	290	21.5	20μ
A9	1	-19.5	288	21.8	15μ
A9	4	-18.8	300	21.3	15μ
A9	2	-14	280	18.7	15μ



شکل ۹- (A) سیال غنی از مایع و (B) سیال غنی از بخار

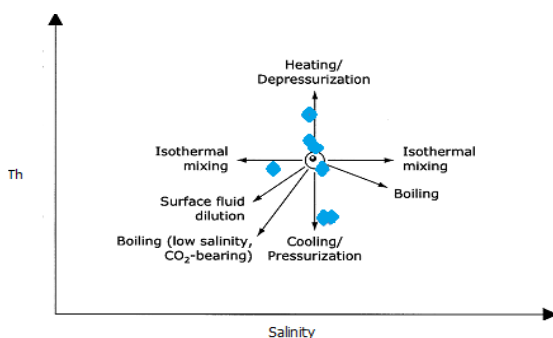
شکل ۱۰- نمودار فراوانی دمایی همگن شدن سیالات درگیر اندیس علیشار



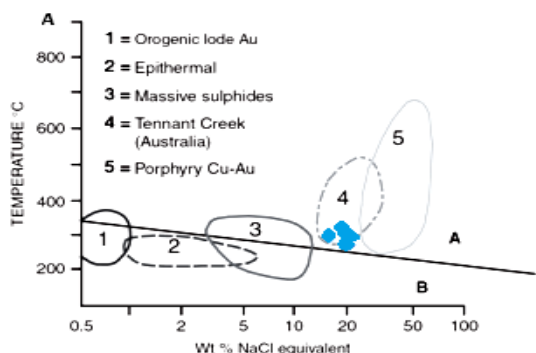
شکل ۱۱- (A) نمودار تعیین عمق بر اساس دمایی همگن شدن (Cunningham, 1978)؛ (B) نمودار شوری-درجه یکنواختی سیال درگیر برای تعیین چگالی (Shepherd, et al., 1985)؛ (C) تعیین فشار بخار بر اساس دمایی همگن شدن و میزان شوری (Cunningham, 1978)

رگه‌ها، سرد شدن ساده و اختلاط سیالات گرمایی با آب‌های جوی است (شکل ۱۲). در خور ذکر است با وجود کمی داده‌ها، اندازه‌گیری‌ها با دقت بالا و با تکرار اندازه‌گیری‌ها به دست آمده‌اند و از داده‌های مربوط به سیالات درگیر ثانویه یا پدیده‌های نشت و دم‌بردگی استفاده نشده است.

اندیس‌های شور بر اساس نمودار شوری-درجه حرارت یکنواختی (Pirajno, 2009) (شکل ۱۳-A)، در محدوده پایین کانسارهای تیپ Tennant Creek (از نوع کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا-بیس‌موت) قرار می‌گیرد. همچنین، مشخص شد که کمپلکس‌های کلریدی حمل‌کننده عناصر تا حدودی بر کمپلکس‌های سولفیدی غلبه دارد. برای تعیین نوع اندیس از نمودار Davidson و Large (۱۹۹۴) استفاده شد. با توجه به دمای همگن شدن و میزان شوری به دست آمده، این اندیس در نیمه پایینی محدوده کانسارهای مگنتیت-مس-طلا قرار می‌گیرد (شکل ۱۳-B).

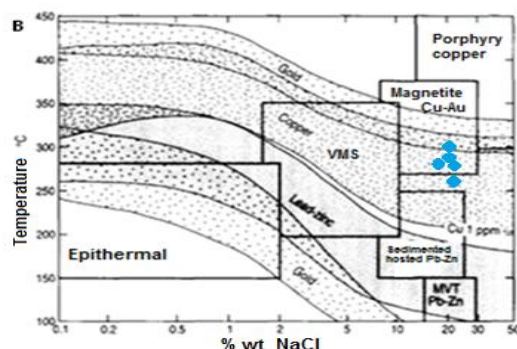


شکل ۱۲- نمودار شوری-درجه حرارت یکنواختی برای تعیین مکانیسم نشت (Shepherd *et al.*, 1985)



شکل ۱۳-A) نمودار شوری-درجه یکنواختی سیال درگیر برای تعیین نوع کانسار (Pirajno, 2009)؛ (A) کمپلکس‌های کلریدی و (B) کمپلکس‌های سولفیدی غالب است؛ (B) تعیین نوع کانسار بر اساس دمای همگن شدن و شوری (Davidson and Large, 1994)

تعیین سازوکار نهشت و نوع کانه‌زایی در اندیس‌های شور: سازوکار نهشت کانه‌ها در این اندیس با استفاده از داده‌های به دست آمده، یک مکانیسم سرد شدن ساده را نشان می‌دهد. به نحوی که کاهش درجه حرارت سیالات در نتیجه صعود سیالات عمقی داغ از محل شکستگی‌ها به سطح زمین یا اختلاط با آب‌های جوی بوده است. با توجه به حضور فازهای کوچک غنی از گاز و شوری متوسط در نمونه‌های سیال بررسی شده، می‌توان به رخداد اختلاط سیالات این منطقه اشاره کرد. اما با توجه به عدم مشاهده CO₂ در نمونه‌ها و عدم مشاهده هم‌زیستی سیالات غنی از بخار و غنی از مایع، نمی‌توان رخداد پدیده جوشش را قطعی دانست (Davidson *et al.*, 2007) و بنابراین، نمی‌توان عامل اصلی نهشت کانه‌ها را به وقوع این پدیده نسبت داد. در نتیجه، با توجه به روند نمونه‌های سیالات درگیر در نمودار Shepherd و همکاران (۱۹۸۵)، مکانیسم نهشت مواد معدنی در



نتیجه‌گیری

اندیس معدنی علیشار واقع در استان مرکزی بر روی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات پتروگرافی حضور دگرسانی‌های اکسیدی و هیدرواکسیدی آهن، آرژیلیک، سریسیتی، پروپیلیتیک و دگرسانی سیلیسی را نشان می‌دهد. حضور گسل‌های متعدد با روندهای مختلف شرایط را برای عبور سیال و کانه‌زایی رگه‌ای (کنترل کننده‌های ساختاری در کانه‌سازی) فراهم می‌کند. موقعیت تکتونیکی منطقه کم‌وبیش با موقعیت شکل‌گیری کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا همخوانی دارد. این منطقه به طور عمده از سنگ‌های ولکانیکی آندزیت تا تراکی آندزیت، توفهای ریوداسیتی و سنگ‌های سیلیسی برشی شده و توده‌های نفوذی تشکیل شده که با ماهیت سنگ‌شناسی کانسارهای IOCG مطابقت دارد. دگرسانی‌های موجود در مناطق سطحی ذخایر IOCG نیز حضور دارد. کانه‌های فلزی طی سه مرحله شامل: کانی‌سازی اولیه (هیپوزن)، کانی‌سازی در مرحله غنی‌شدگی ثانویه و کانی‌سازی در مرحله هوازگی تشکیل شده‌اند و پارائز کانه‌ها شامل: کالکوپیریت، پیریت، مگنتیت، کالکوسیت، هماتیت، گوئتیت و مالاکیت است. مشاهده همیافتی کانیایی کالکوپیریت و هماتیت اسپیکولار به میزان زیاد و پیریت و مگنتیت به میزان کمتر در اندیس نشان از شباهت کانیایی این اندیس با کانسارهای IOCG دارد. بر اساس مطالعه سیالات درگیر مشخص شد که بیشتر سیالات دو فازی (مایع و گاز) بوده و در نهایت به مایع همگن

منابع

Acosta Góngora, P., Gleeson, S., Ootes, L., Jackson, V.A., Lee, M., and Samson, I. (2011) Preliminary observations on the IOCG mineralization at the DAMP, Fab, and Nori showings and Terra-Norex Mines, Great Bear Magmatic Zone. Northwest Territories Geosciences Office, NWT Open Report.

شده‌اند. داده‌های ریز دماسنجی وجود حداقل دو مرحله مختلف کانه‌زایی را نشان داده است. تشکیل کانی‌های موجود در رگه‌های گرمایی طی یک یا دو مرحله فاز کانه‌زایی و با دمای متوسط (۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد) انجام شده است. میانگین شوری به دست آمده در حدود ۲۱/۶ درصد معادل وزنی NaCl، چگالی سیال کانه‌زا بین ۰/۹ gr/cm³ تا ۱ و میزان فشار بخار سیالات درگیر منطقه بین ۵۰ تا ۱۰۰ اتمسفر است. پایین بودن فشار بخار سیالات گوپای عدم رخداد جوشش در منطقه است. همچنین، عمق تشکیل سیالات را می‌توان ۴۰۰ تا ۹۰۰ متر زیر سطح زمین (نواحی کم‌عمق) در نظر گرفت. سازوکار نهشت کانه‌ها در این اندیس با استفاده از داده‌های به دست آمده، یک مکانیسم سرد شدن ساده است و در این رخداد، کاهش درجه حرارت سیالات در نتیجه صعود سیالات عمقی داغ از محل شکستگی‌ها به سطح زمین یا اختلاط با آب‌های جوی بوده است. اندیس علیشار در محدوده کانسارهای تیپ Tennant Creek استرالیا قرار می‌گیرد. کلیه موارد بیان شده نشان از انطباق اندیس یاد شده با کانسارهای نوع اکسید آهن-مس-طلا دارد.

سپاسگزاری

نگارندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانند از راهنمایی‌های ارزنده خانم دکتر مهین منصوری عضو هیأت علمی دانشکده معدن-دانشگاه صنعتی اصفهان، در بخش مطالعات کانه‌نگاری تشکر و قدردانی نمایند.

- Alavi, M. (1994) Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229: 211-238.
- Barnes, H. L. (1979) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley and Sones, New York.
- Benavides, J. (2008) Exploration guidelines for copper-rich iron oxide-copper-gold deposits in the Mantoverde area, northern Chile: the integration of host-rock molar element ratios and oxygen isotope compositions. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analyses* 8: 343-367.
- Berberian, M. and King, G. C. (1981) Towards a paleo-geography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 210-265.
- Corriveau, L. and Mumin, A. H. (2010) Exploring for iron oxide-copper-gold (Ag-Bi-Co-U) deposits: case examples. classification and exploration vectors, in exploring for iron oxide-copper-gold (Ag-Bi-Co-U) deposits. In: *Canada and global analogues* (Eds. Corriveau, L. and Mumin, A. H.) 20:1-13. *Geology Association, Canada*.
- Corriveau, L., Mumin, A. H. and Setterfield, T. (2010) IOCG environments in Canada: characteristics and geological vectors to ore, hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits. In: *A global perspective: advances in the understanding of IOCG deposits* (Ed. Porter, T. M.) 311-34. *PGC Publishing, Adelaide*.
- Corriveau, L., Hayward, N., Craven, J., Montreuil, J -F., Enkin, R., Potter, E., Jackson, V., Ootes, L., Lauzière, K., Roberts, B. and Mumin, A. H. (2011) Iron oxide copper-gold systems in the Great Bear magmatic zone: setting the stage for the next cycle of exploration. 39th Annual Yellowknife Geoscience Forum, Canada.
- Cunningham, C. (1978) Pressure gradients and boiling as mechanisms for localizing ore in porphyry system. *Journal Research of USA Survey* 6: 745-754.
- Davidson, G. J. and Large, R. R. (1994) Gold metallogeny and the copper-gold association of the Australian Proterozoic. *Mineralium Deposita* 29: 208-223.
- Davidson, G. J., Paterson, H., Meffre, S. and Berry, R. F. (2007) Characteristics and origin of the Oak dam east breccia-hosted, iron oxide Cu-U-(Au) deposit: Olympic dam region, gawler craton, south Australia. *Economic Geology* 102: 1471-1498.
- Eghlimi, M. (2001) *Geological Quadrangle Map of Khiarj 1:100000, Sheet 5961, Geological Survey of Iran, Tehran*.
- Gaedamini, M. (2013) *Geochemistry and genesis of Alishar copper prospect in Markazi province. MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian)*.
- Groves, D. I., Bierlein, F. P., Meinert, L. D. and Hitzman, N. W. (2010) Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through earth history: implications for origin, lithospheric setting and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. *Economic Geology* 105: 641-656.
- Guilbert, J. M. and Charles F. P. (1997) *The Geology of Ore Deposits*. Freeman, New York.
- Hitzman, W. M., Oreskes, N. and Einaudi, M. T. (1992) Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron-oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research* 58: 241-287.
- Karimpour M. H. and Saadat, S. (2005) *Appleid economic geology*. Nashre-Mashhad publication, Mashhad.
- Karimpour, M. H. and Mazlumi, B. A. R. (1999) *Gold prospecting at Kuh-E-Zar. Zarmehr company reports (in Persian)*.
- Karimpour, M. H., Malekzadeh shafaroudi, A., Esfandiarpour, A. and Mohammadnejad, H. (2012) Neyshabour turquoise deposit: the first IOCG mineralization of Au-Cu-U-LREE in Iran. *Journal of Economic Geology* 3: 193-216 (in Persian)

- Khalatbari Jafari, B. M. and Allai Mahabadi, S. (2000) Geological Quadrangle Map of Nobaran 1:100000, Sheet 5960, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Maynard, J. B. (1983) Geochemistry of sedimentary ore deposits. Springer, Verlag, Berlin.
- Moore, F., Shakeri, A. and Babakhani, A. R. (1999) Fluid inclusions investigations and their role in Baghoo gold deposit formation. 6th Symposium of Geological Society of Iran, Kerman, Iran (in Persian).
- Niazi, M. and Asoudeh, I. (1978) The depth of seismicity in the Kermanshah region of the Zagros mountains. *Earth and Planetary Science Letters* 40: 270-274.
- Omran, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L. (2008) Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros mountain. Iran, a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos* 106: 380-398.
- Pirajno, F. (2009) Hydrothermal processes and mineral systems. Geological Survey of western Australia, Springer, Verlag, Berlin.
- Pollard, P. J. (2000) Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization. In: Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits, a global perspective (Ed. Porter, T. M.) 1: 27-41. Australian Mineral Foundation, Adelaide.
- Rajabzadeh, M. A., Parvin, Sh., Moosavi Nasab, Z. and Shamsipour, R. (2012) Investigation of the origin of Heneshk hematitic iron deposit, Fars province using petrological, mineralogical and geochemical data. *Petrology* 11: 19-38 (in Persian).
- Roedder, E. (1984) Fluid inclusion review in mineralogy. Mineralogical Society of America, Book crafters, Inc. Cheslea, Michigan.
- Shepherd, T. J., Ranbin, A. H. and Alderton, D. H. M. (1985) A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow.
- Shinohara, H. and Hedenquist, J. W. (1997) Constraints on magma degassing beneath the Far southeast porphyry Cu-Au deposits, Philippines. *Journal of Petrology* 38: 1741-1752.
- Sillitoe, R. H. (2003) Iron oxide-copper-gold deposits, an Andean view. *Mineralium Deposita* 38: 787-812.
- Stampfli, G. M. and Borel, G. D. (2002) A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Science Letters* 196: 17-33.
- Takenouchi, S. (1980) Preliminary studies of fluid inclusion of the Santo Tomas II and Tapian (Marcopper) porphyry copper deposits in the Philippines. *Mineralogy Special Issue* 8: 140-151.
- Wilkinson, J. J. (2001) Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55: 229-272.

Determination of Alishar Cu index (Markazi province) formation conditions using mineralography and fluid inclusions data

Marzieh Gaedamini Harouni ¹, Hashem Bagheri ¹, Hooshang Asadi Harooni ²,
Ahmad Reza Mokhtari ² and Farimah Ayati ^{3*}

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

² Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

³ Department of Geology, Payame Noor University, 19395-3697 Tehran, I. R. of Iran

Abstract

The Alishar Cu-Au index is located in the Markazi province within the Uromieh-Dokhtar magmatic belt. The mineralized zone is hosted by andesitic to andesite basalt lava units, andesitic-andesite basalt tuff and rhyolitic to dacitic tuff (Eocene-Oligocene). The area is affected later by young granodiorite and monzodiorite plutonic units (Oligo-Momiocene). As a result of hydrothermal alterations, phyllic and propylitic alterations as well as kaolinitization and silicification developed in the area. In addition, Cu -Au mineralization has been introduced into the area, mainly associated with silicic veins. Based on geochemical data the Cu and Au contents of the samples are about 0.5% and 0.3 ppm respectively. Also, the Bi content of the studied samples is about 0.5 ppm. The index comprises oxidation, hypogene and supergene zones and contains chalcopyrite, pyrite, chalcocite, magnetite, hematite, goethite and malachite. Fluid inclusion studies of the samples taken from silicic veins show that the homogenization temperature and salinity vary between 200 to 300 °C and 21.6% wt NaCl respectively. On the base of obtained data, it can be concluded that the dominant mechanism for mineralization is the mixing of hydrothermal solutions with meteoritic waters. Geological, mineralogical and fluid inclusion investigations have demonstrated that mineralization in this area is correlated with other IOCG deposits in the world.

Key words: Alteration, IOCG type deposit, Fluid inclusions, Markazi province, Uromieh-Dokhtar magmatic belt

* f.ayati@pnu.ac.ir