

بررسی کانی سازی اسکارن مزرعه، شمال اهر، با تاکید بر مطالعه میانبارهای شاری

مهدي غارسی*، ایرج رسا، محمد یزدی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت مقاله: ۹۶/۱/۲۷، نسخه نهایی: ۹۶/۵/۱۸)

چکیده: کانسار اسکارن مزرعه در کمربند فلززایی قفقاز کوچک - البرز غربی بر اثر تزریق توده گرانیوتیویدی شیورداغ به سن اولیگومیوسن به درون مجموعه کربناته، آتشفشانی قدیمی تر و به شکل برون اسکارن گارنت - اپیدوت دار ایجاد شده است. ترکیب کانی شناسی فلزی شامل مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کولیت، همتیت، گوتیت و ملاکیت است و بیشتر کانه‌زایی در مرحله اسکارن پسروده ایجاد شده است. نتایج تجزیه عناصر فرعی نشانگر تاثیر شاره‌های با خاستگاه پوسته بر توده نفوذی طی فرآیندهای اسکارن‌زایی است. در کانی‌های کوارتز و کلسیت نمونه‌های اسکارن دو دسته شاره درگیر نوع (L+V) با شوری کم تا متوسط (۱،۵۷ تا ۱۷،۹۴ درصد وزنی نمک) و گستره دمای همگن‌شدگی ۱۲۰ تا ۳۵۶ درجه و نوع (L+V+S) با شوری زیاد (۳۲،۰۶ تا ۴۱،۷۷ درصد وزنی نمک) و گستره دمای همگن‌شدگی ۲۲۷ تا ۳۷۵ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شوند که هر دو در مرحله اسکارن پسروده ایجاد شده‌اند. خاستگاه میانبارهای شاره‌ای نوع (L+V) و نوع (L+V+S) به ترتیب شاره‌های دگرگونی و ترکیب ماگمایی - شورابه‌های سطحی هستند. دو فرآیند آمیختگی هم‌دمای شاره‌های با شوری مختلف و رقیق‌شدگی سطحی شاره‌ها بر اثر مخلوط شدن آب‌های جوی با شاره‌های ماگمایی - دگرگونی عوامل اصلی تکوین شاره‌های کانه‌ساز هستند. فشار شاره در زمان تشکیل کانسنگ در حدود ۱۰۰ بار و دمای تقریبی بین ۲۵۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و بر این اساس می‌توان کانسار اسکارن مزرعه را با ژرفای تشکیل ۳۵۰ تا ۴۰۰ متر نسبت به سطح ایستابی قدیمی، به عنوان یک کانسار اسکارن کم ژرفا معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: کمربند فلززایی قفقاز کوچک - البرز غربی؛ کانسار مزرعه؛ اسکارن؛ میانبارهای شاری؛ ریزدماسنجی.

مقدمه

اطلاعات با ارزشی که پیرامون دما، فشار و عمق تشکیل کانسار و خاستگاه و تحولات روی داده در شاره‌های کانه‌ساز می‌دهد، بسیار مهم و در خور توجه است. بررسی میانبارهای شاری در بسیاری از اسکارن‌های دنیا دمای همگن‌شدگی شاره‌ها را بین ۴۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری را معادل ۱۰ تا ۴۵ درصد وزنی کلرید سدیم نشان می‌دهد [۵]. همچنین جوش شاره‌ها در بخش بالایی سیستم کانه‌زایی از ویژگی‌های مهم شاره‌ها در کانسارهای اسکارن است [۶،۵]. در این پژوهش سعی شده است تا بر اساس بررسی میانبارهای شاری، ویژگی‌های شاره‌های عامل تشکیل اسکارن و نیز شرایط دما-فشار در زمان تشکیل کانسار مزرعه تعیین گردد.

کانسار اسکارن مزرعه از جمله کانسارهای موجود در کمربند فلززایی قفقاز کوچک - البرز غربی است. این کمربند از کوه‌های قفقاز تا غرب رشته کوه البرز در ایران در ناحیه آذربایجان امتداد دارد [۲،۱] و دربردارنده کانسارهای اسکارن، پورفیری و فراگرمایی مس و مس-طلا می‌باشد. به سن ترشیاری در ایران، ترکیب و ارمستان است [۴،۳]. در چند سال اخیر با انجام حفاری‌های اکتشافی و مغزه‌گیری گسترده توسط شرکت ملی مس ایران، امکان دسترسی به نمونه‌های زیرسطحی در این کانسار تا عمق ۳۰۰ متر و بررسی عمیق و گسترده‌تر کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی این منطقه فراهم شده است. در این میان بررسی میانبارهای شاری در کانسارهای اسکارن از نظر

روش بررسی

پس از بررسی دقیق ۶۸۰۰ متر مغزه‌های حفاری از ۶۱ گمانه اکتشافی حفر شده در معدن مزرعه که در انبار مغزه شرکت ملی مس ایران در ورزقان نگهداری می‌شوند، در مجموع ۶۰ نمونه از ۲۱ گمانه انتخابی مساحت‌های مختلف شامل ۳۶ نمونه از توده نفوذی و ۲۴ نمونه اسکارن انتخاب شد و از میان آن‌ها ۴ نمونه از توده گرانیتی و ۱۸ نمونه اسکارن مورد تجزیه به روش ICP-OES و XRF قرار گرفت و تعداد ۲۹ مقطع نازک (۲۱ عدد از توده نفوذی و ۸ عدد از نمونه‌های اسکارن) و ۲۳ مقطع صیقلی از نمونه‌های اسکارن جهت بررسی‌های کانی-شناسی و کانه‌نگاری تهیه شد. همچنین برای بررسی شاره‌های درگیر، تعداد ۷ مقطع دوبر صیقل از نمونه‌های سنگ اسکارن تهیه گردید و بررسی‌های ریزدماسنجی بر ۱۰۹ شاره درگیر موجود در کانی‌های کلسیت و کوارتز که با کانی‌های سولفیدی و مگنتیت رشد همزمان داشته و طی فرآیند اسکارن‌زایی تشکیل شده‌اند، در مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران انجام شد.

بحث و بررسی**زمین شناسی عمومی**

کانسار مزرعه در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان اهر و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کلبر واقع است (شکل ۱). این کانسار بخشی از حوضه فرسایش یافته فلات مانند کلبر- اهر است که مکان رخنمون توالی ضخیمی از سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی کرتاسه پسین، سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری پالئوسن - ائوسن و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی الیگوسن - میوسن است [۷]. از نظر زمین‌شناسی ساختاری، این منطقه بخشی از نوار آذرین درونی مزوزوئیک - ترشیری پهنه سندج - سیرجان [۸، ۹]، بخشی از پهنه البرز غربی-آذربایجان [۱۰] و در تقسیم‌بندی مرجع [۱۱] جزو پهنه مرکزی است. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلبر، قدیمی‌ترین واحد سنگی دارای رخنمون در گستره مربوط به کرتاسه و شامل سنگ آهک مارنی نازک لایه کرم متمایل به زرد است. از دیگر رخنمون‌های سنگی عمده توده گرانیتوئیدی شیورداغ است که سنگ‌هایی با ترکیب گرانیت، گرانو دیوریت و سینو دیوریت را شامل می‌شود [۱۲]. لسکوور و همکارش [۱۳] فعالیت‌های ماگمایی اهر را مربوط به اوایل اولیگوسن می‌دانند، در حالی که هزارخانه سن ۲۰ میلیون سال (اوایل میوسن) را برای آنها در نظر گرفته است [۱۴]. تزریق این توده

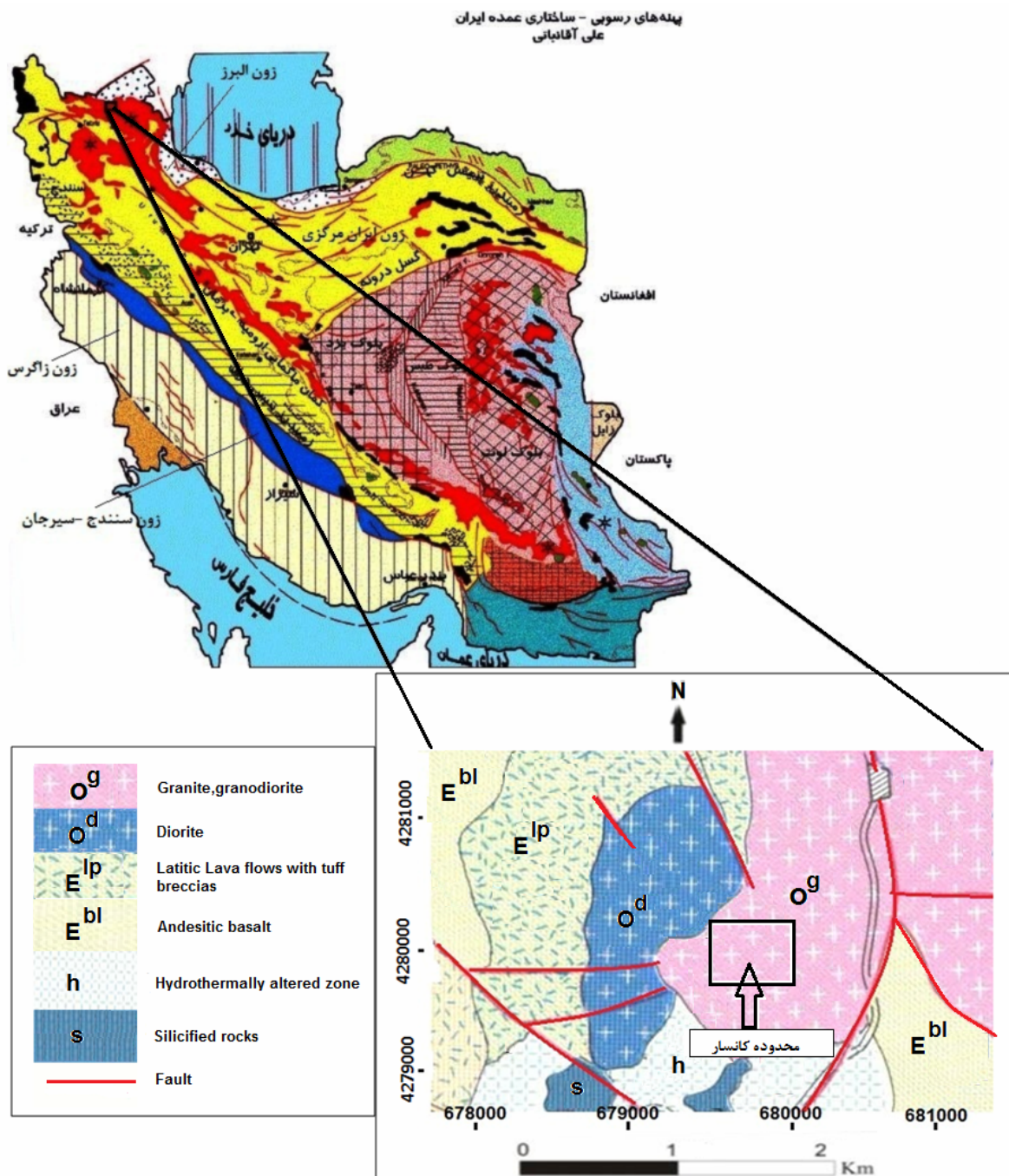
گرانیتوئیدی به درون مجموعه آواری، کربناته، آتشفشانی میزبان آنها را به مجموعه دگرگونی شیست (بیوتیت - کلریت شیست)، هورنفلس و گارنت - اپیدوت اسکارن و نیز مرمر تبدیل کرده است [۷]. تشکیل هورنفلس در نزدیکی پهنه اسکارن می‌تواند ناشی از دگرگونی مجاورتی سنگ‌های آواری بر اثر تزریق توده گرانیتوئیدی به درون آن‌ها باشد [۱۵]. در کرانه توده بزرگ شیورداغ، رخنمون‌های کوچکی از توده‌های کوارتز دیوریت تا مونزودیوریت و رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود. دایک‌های دیوریتی، گرانیتی و کوارتز مونزودیوریتی نیز سنگ‌های قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند [۱۶]. نهشته‌های میوسن و پلیوسن، در گستره مورد بررسی رخنمون ندارند ولی کواترن با فعالیت چشمگیر آتشفشانی آغاز می‌شود. به طوری که امروزه آثار این فعالیت‌های آتشفشانی به شکل سنگ‌های بازالتی در اطراف معدن مزرعه دیده می‌شود.

سنگ نگاری و سنگ شناسی توده نفوذی

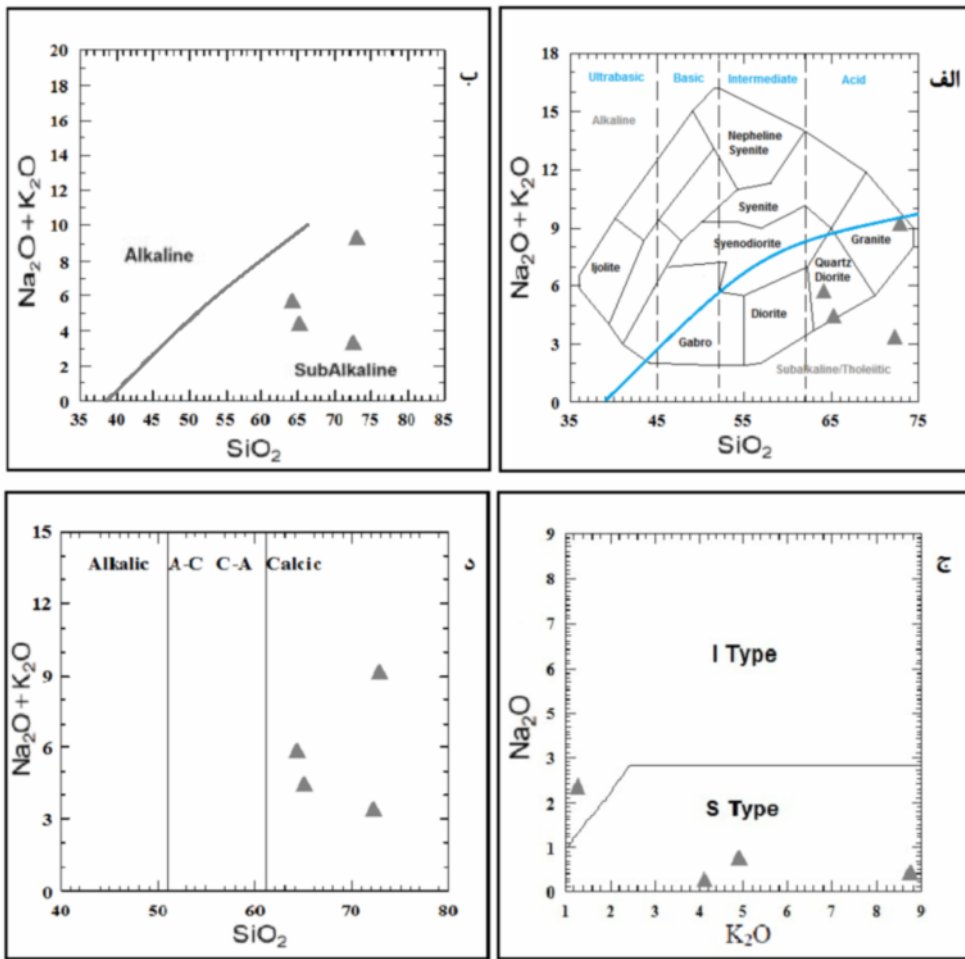
قسمت عمده سنگ‌های نفوذی گستره مورد بررسی را توده بزرگ گرانیتوئیدی شیورداغ تشکیل می‌دهد که در یک روند شرقی - غربی به درون مجموعه کربناته - آواری - آتشفشانی نفوذ نموده و در تماس با بخش‌های کربناته باعث اسکارنی شدن و با بخش‌های آواری و آتشفشانی، باعث هورنفلسی شدن سنگ‌ها شده است. رگه‌های سیلیسی نیز در این توده دیده می‌شود که به نظر نتیجه فعالیت‌های پایانی محلول‌های گرمایی است. نمونه‌های گرانیتی این توده بیشتر رنگ خاکستری روشن تا قرمز روشن دارند و بلورهای شکل‌دار ارتوز در زمینه‌ای از کانی‌های فلدسپار و بیوتیت مشخص هستند. در بررسی‌های میکروسکوپی بافت دانه‌ای تا پورفیری دارند و درشت‌بلورهای ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز بیشترین حجم سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت نیز با مقادیر کمتر در نمونه‌ها دیده می‌شوند. در برخی از مناطق، دگرسانی آرزیلی در توده گرانیتی دیده می‌شود و به نظر می‌رسد که این دگرسانی بر اثر عملکرد محلول‌های گرمایی ایجاد شده است. در مناطق نزدیک‌تر به پهنه کانه‌زایی نیز دگرسانی کلریتی فراگیر است. نمونه‌های گرانودیوریتی از نظر ماکروسکوپیکی به رنگ خاکستری روشن تا متوسط دیده می‌شوند. با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها بافت پورفیری تا دانه‌ای دارند. پلاژیوکلاز، کوارتز، آمفیبول و بیوتیت کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ هستند. با توجه به بررسی-

پ)، ۳ نمونه در گستره گرانیت‌های نوع S و یک نمونه در گستره نوع I قرار می‌گیرند [۱۷-۲۰]. با استفاده از نسبت مقادیر عناصر کمیاب Y, Nb, Rb می‌توان موقعیت زمین-ساختی توده نفوذی مولد انواع اسکارن را در نمودار Rb/Y+Nb به دست آورد [۲۱] و بر این اساس توده نفوذی مزرعه در گستره کمان آتشفشانی واقع است (شکل ۳).

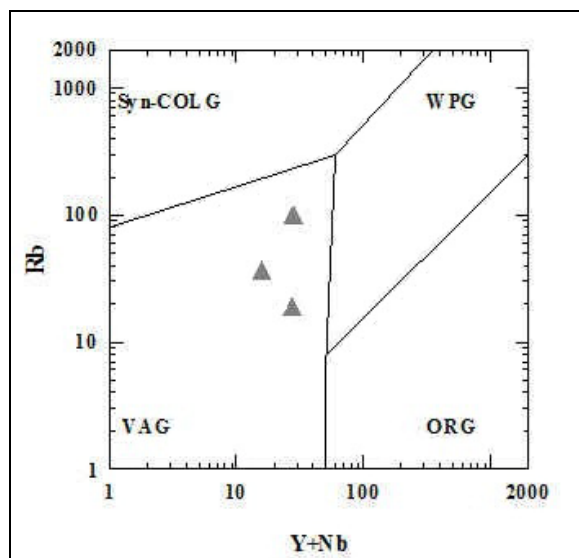
های زمین‌شیمیایی انجام شده بر نمونه‌های این توده گرانیتوئیدی، مقدار SiO_2 نمونه‌ها بین ۶۴/۰۵ و ۷۲/۷۹ درصد متغیر است. سنگ‌های گرانیتوئیدی بر اساس نمودار شکل ۲ الف در گستره گرانیت و کوارتز دیوریت قرار می‌گیرند. همچنین بر نمودار شکل ۲ ب نمونه‌ها در گستره نیمه قلیایی و در نمودار (شکل ۲ ت) کل نمونه‌ها در گستره سنگ‌های کلسیمی قرار گرفته‌اند. بر اساس نمودار تفکیک زایشی گرانیتوئیدها (شکل ۲



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی در پهنه بندی ساختاری ایران [۱۱] و نقشه زمین شناسی آن برگرفته از مرجع [۷].



شکل ۲ (الف) موقعیت نمونه‌ها در نمودار رده‌بندی سنگ‌های نفوذی [۱۷]. (ب) نمودار Na₂O و K₂O نسبت به SiO₂ [۱۸] که در آن نمونه‌ها در گستره نیمه قلیایی قرار می‌گیرند. (پ) نمودار K₂O نسبت به Na₂O [۲۰] جهت تفکیک زایشی گرانیته‌ها که نمونه‌ها بیشتر در بخش گرانیته‌های نوع S قرار می‌گیرند. (ت) نمودار Na₂O و K₂O نسبت به SiO₂ [۱۹] که براساس آن نمونه‌ها جزو نمونه‌های کلسیمی محسوب می‌شوند.



شکل ۳ موقعیت ژئوتکتونیکی نمونه‌های توده نفوذی مزرعه در نمودار Rb/Y+Nb [۲۱].

سنگ‌نگاری اسکارن

در مرز بین توده گرانیتی با سنگ‌های کربناته یک افق اسکارن گارنت - اپیدوت‌دار به رنگ قهوه‌ای به صورت نوار باریک و بلندی به ضخامت ۲۰ تا ۳۰ متر در سراسر لبه شمالی گرانیت گسترش دارد که مرز آن با توده گرانیتی یک گسل معکوس است. در نمونه‌های دستی رنگ سبز روشن تا قهوه‌ای دارد و گارنت، اپیدوت، کلریت در متن سنگ با چشم غیرمسلح دیده می‌شود. از نظر میکروسکوپی این سنگ‌ها بافت ریزدانه‌ای تا نهان بلوری دارند. بلورها نیمه‌شکل‌دار ولی با اندازه‌های تقریباً یکسان هستند و کانی‌های اصلی شامل گارنت، اپیدوت، آکتینولیت، کلریت، فلدسپات و سریسیت هستند.

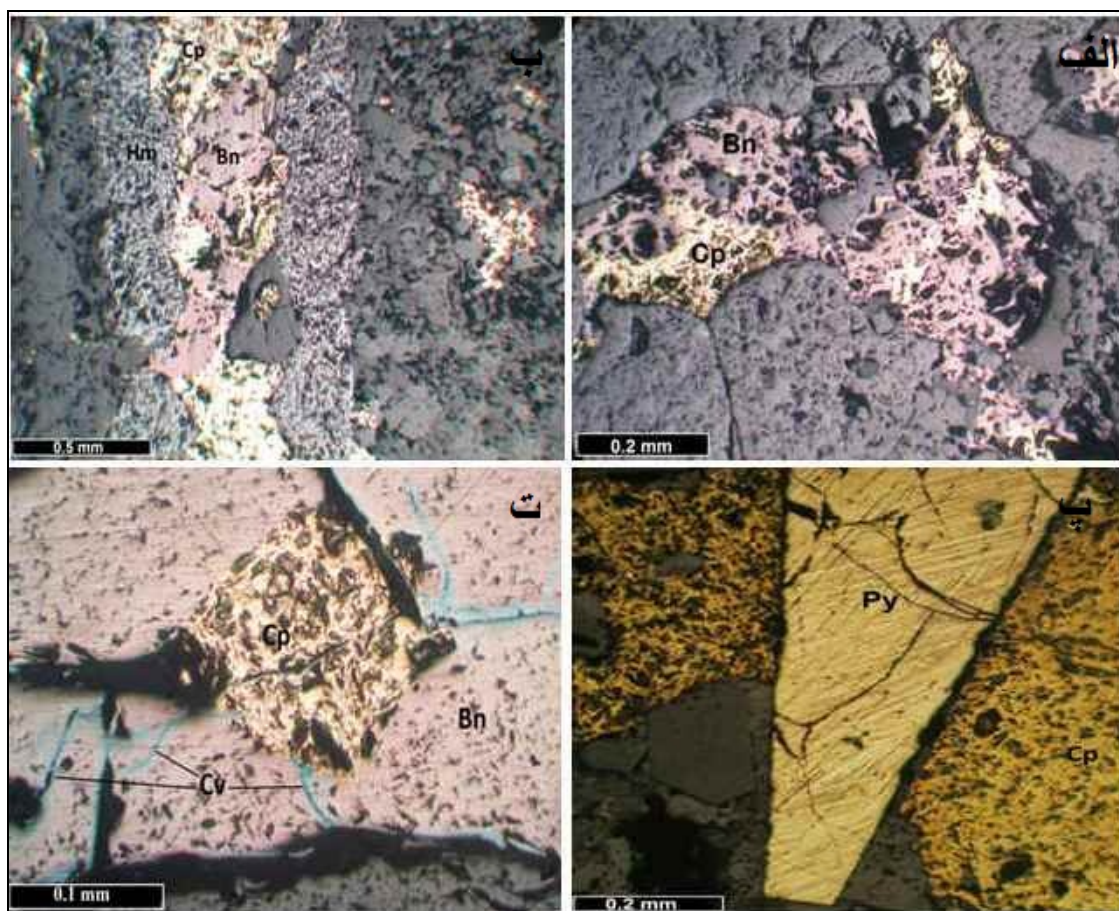
کانی‌سازی در کانسار مزرعه

در کانسار مزرعه بیشتر کانه‌زایی فلزی به شکل برون اسکارن و به طور کلی همراه با دگرسانی‌های سیلیسی، پروپیلیتیک و کلریتی به شکل عدسی‌ها و رگه - رگچه‌ها در واحد گارنت - اپیدوت اسکارن صورت گرفته است (شکل ۴). ترکیب کانی‌شناسی فلزی شامل مگنتیت، پیریت و سولفیدهای مس کالکو پیریت، بورنیت و کولیت و نیز کانی‌های فاز برونزاد هماتیت (اسپیکولاریت) و گوتیت و نیز در سطح کربنات مس (مالاکیت) است (شکل ۵). مگنتیت بیشتر به صورت عدسی و کمتر به شکل رگچه است ولی سولفیدهای مس و هیدروکسید آهن (گوتیت) به شکل پراکنده و رگه و رگچه دیده می‌شوند. تشکیل هماتیت در اثر تجزیه سولفیدهای مس و مگنتیت نیازمند افزایش میزان گریزندگی اکسیژن است و این اکسیژن توسط چرخش آب‌های جوی و یا ماگمایی در پهنه‌های شکسته و خرد شده در فاز دگرنهادی پسروده تامین می‌شود [۲۲، ۲۳]. دلیل ایجاد شکستگی و خردشدگی در سنگ‌ها نیز به احتمال زیاد فشار ناشی از صعود ماگماست. قسمت عمده کانه‌زایی

شامل مگنتیت، هماتیت، پیریت، بخش عمده کالکوپیریت و بورنیت در مرحله دگرنهادی پسروده تشکیل شده‌اند (شکل ۶). بررسی‌های گسترده کانی‌شناسی در کانسارهای اسکارن مشابه در نقاط مختلف دنیا بیانگر تشکیل حجم اصلی ماده معدنی در این مرحله و در ارتباط با افزایش گریزندگی اکسیژن در اثر آمیختگی با شاره‌های جوی است [۲۴-۲۶]. در اواخر این مرحله با چرخش مجدد شاره‌های گرمایی و تجزیه سولفیدهای اولیه، روند جانشینی توسط کولیت نیز آغاز شده است. در فاز برونزاد نیز علاوه بر ادامه تشکیل کولیت بر سولفیدهای اولیه، کربنات مس (مالاکیت) و هیدروکسید آهن (گوتیت) تشکیل شده‌اند. جهت بررسی نقش فرایند اسکارنی شدن در افزایش یا کاهش عناصر فرعی مهم، نمودار عنکبوتی ترکیب عناصر فرعی بهنجار شده توسط پوسته قاره‌ای گرفته از مرجع [۲۷] برای میانگین مقادیر این عناصر در توده نفوذی و پهنه اسکارن ترسیم شد (شکل ۷) که بر این اساس غنی‌شدگی عناصر سنگ‌دوست بزرگ یون (LILE) مانند Rb, U, Th و نیز تهی‌شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Nb, Ta, Hf, Zr, Cr, Ta در توده گرانیتوئیدی قابل توجه است این مقادیر بالای نسبت LILE/HFSE از مشخصه‌های فعالیت‌های آتشفشانی مربوط به پهنه‌های فروانش است [۲۸-۳۰] و می‌تواند نتیجه عوامل بسیاری از جمله آلاینش پوسته‌ای یا ورود شاره‌های سطحی به درون گوشته و روبش عناصر از آن باشد [۳۱]. غنی‌شدگی عنصر U در نمودارهای عنکبوتی می‌تواند نشانه افزوده شدن رسوبات لجه‌ای و یا پوسته اقیانوسی دگرسان شده به منبع ذوب‌شدگی باشد [۳۲]. مقادیر Cs, Sr, Li, Ta و Hf نیز در اسکارن نسبت به توده نفوذی افزایش یافته‌اند که این امر نشانگر تاثیر شاره‌های با خاستگاه پوسته بر توده نفوذی طی فرایندهای اسکارن‌زایی و کانه‌زایی مرتبط با آن است.



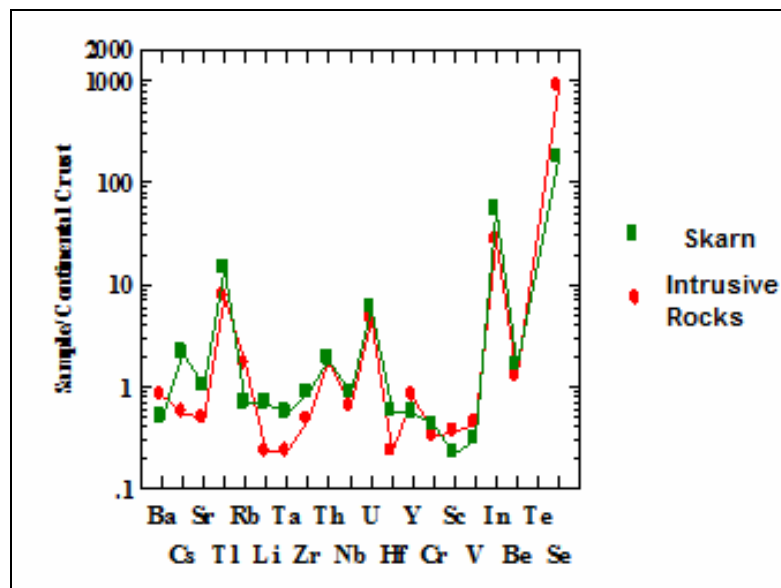
شکل ۴ نمای از پهنه اسکارن در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی در کانسار مزرعه. کانه‌زایی اکسید مس (مالاکیت) در سطح مشخص است.



شکل ۵ (الف) نمایی از هم‌رشدی کالکو پیریت و بورنیت در یک نمونه اسکارن گارنت دار. (ب) نمایی از هم‌رشدی کانه ها در یک اسکارن گارنت دار شامل هماتیت، کالکوپیریت و بورنیت. (پ) نمایی از بلور شکل دار پیریت در مجاورت بلور کالکوپیریت. (ت) نمایی از جان‌شینی بورنیت توسط کولیت. کالکوپیریت نیز در نمونه دیده می‌شود. (Cp): کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Cv: کولیت، Hm: هماتیت، Py: پیریت.

Stages Mineral	Prograde Skarn	Retrograde Skarn	Supergene
Garnet	██████████		
Hornblende		██████████	
Sericite		██████████	
Chlorite		██████████	
Epidote	██████████	██████████	
Kaolinite		██████████	██████████
Magnetite	██████████	██████████	
Hematite		██████████	
Goethite			██████████
Pyrite	██████████	██████████	
Chalcopyrite	██████████	██████████	
Bornite	██████████	██████████	
Covellite			██████████
Malachite			██████████

شکل ۶ دنباله کانه‌زایی کانه ها و کانی های کنسار مزرعه.



شکل ۷ نمودار مقادیر میانگین عناصر کمیاب بهنجار شده با مقادیر پوسته قاره ای [۲۷] برای نمونه های گرانیتوئیدی و اسکارن.

بررسی میانبارهای شاری

بررسی دمایی تشکیل کانسارها، شوری و ترکیب شیمیایی شاره‌های کانه‌ساز و فشار حاکم بر محیط کانه‌سازی در شناخت نوع کانه‌سازی منطقه و ارائه الگوی پیجویی بسیار مهم و کارساز است [۳۳]. شاره‌های کانه‌سازی که در میانبارهای شاری به دام افتاده‌اند می‌توانند دارای خاستگاه‌های ماگمایی، جوی، دگرگونی و آب‌های فسیلی باشند، ولی نقش آب‌های ماگمایی و جوی مهم‌تر است [۳۴]. از بررسی شاره‌های درگیر می‌توان اطلاعاتی از دما، درجه شوری و فشار آن‌ها در زمان به دام افتادن به دست آورد [۳۵]. میانبارهای شاری در منطقه برای کانی‌های شفاف کوارتز و کلسیت پهنه گارنت-اپیدوت اسکارن بررسی شده است. به منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای شاری تعداد ۷ مقطع دوبر صیقل با ضخامت تقریبی ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون (متوسط ۱۵۰ میکرون) از رگه -رگچه‌های کوارتز و کلسیت هم‌رشد با کانه‌زایی تهیه شد و تعداد ۱۰۹ میانبار که همه آن‌ها میانبارهای اولیه بوده‌اند، مورد آزمایش ریزدماسنجی قرار گرفت که اندازه آنها بین ۵ تا ۲۶ میکرون بود. بیشتر شاره‌های درگیر مورد بررسی، دارای اندازه متوسط تا درشت (۱۰ تا ۲۰ میکرون) هستند. بزرگترین میانبار در کانی کلسیت مورد بررسی قرار گرفت. شکل میانبارهای شاری در برخی موارد توسط خواص بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود [۳۶]. معمولترین شکل‌های شاره-های درگیر در نمونه‌ها چند وجهی‌های نامنظم و کشیده و در

مواردی شکل‌های بلورین منفی هستند (شکل ۸). برای رده بندی میانبارهای شاری برپایه نسبت‌های فاز جامد، مایع و گاز از روش ارائه شده در مرجع [۳۷] که روش رایجی است استفاده شد. بر اساس سنگ‌نگاری صورت گرفته بر هفت نمونه، ۲ نوع میانبار شاری تشخیص داده شد که عبارتند از:

الف: نوع دو فازی شامل مایع، گاز و غنی از مایع (L+V). بیشترین میانبارهای شاری مشاهده شده از این نوع است. در این نوع، بیشترین حجم میانبارهای شاری را فاز آبگون تشکیل داده است و حجم حباب‌های گازی نسبت به فاز مایع ناچیز است. از ۱۰۹ میانبار بررسی شده، ۹۸ نمونه (حدود ۹۱ درصد) از این نوع هستند.

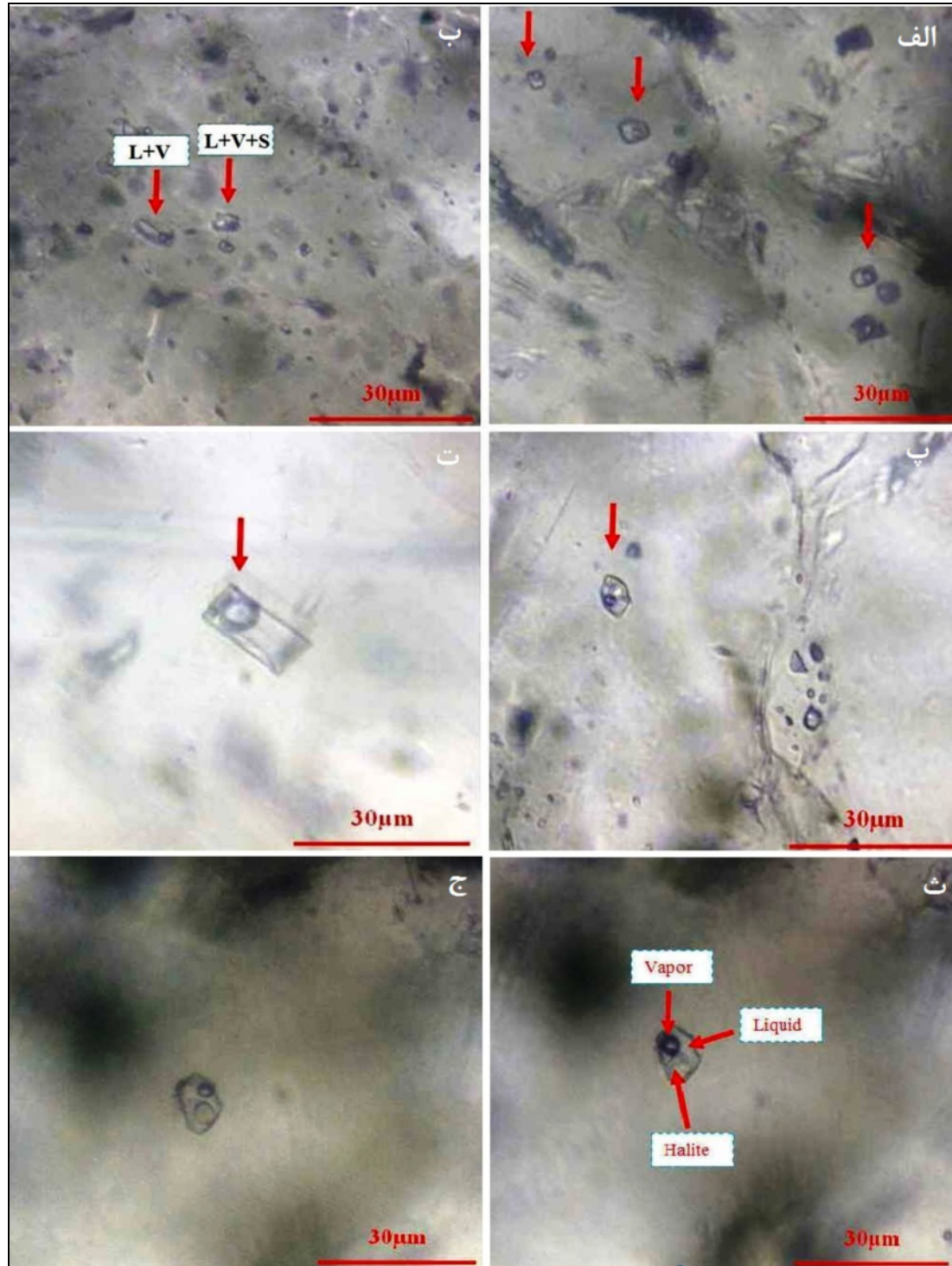
ب: نوع سه‌فازی شامل گاز، مایع و جامد (L+V+S) که فاز جامد را هالیت و نمک‌های دیگر تشکیل داده‌اند. تعداد ۱۱ نمونه از این میانبارها (۹ درصد) در میان میانبارهای بررسی شده وجود دارد.

بررسی‌های ریزدماسنجی

اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در دو مرحله سرمایش و گرمایش در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران با استفاده از Stage:THMS600 گرم‌کننده و منجمد-کننده مدل Linkham که بر میکروسکوپ ZEISS نصب است صورت گرفت. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. برای واسنجی دستگاه برای گرمایش با دقت

ذوب 94.3°C - استفاده شد. آهنگ عملیات سرمایش و گرمایش نیز بین 2°C تا 8°C در دقیقه متغیر بوده است.

$0.6^{\circ}\text{C} \pm$: از استاندارد نیترات سزیوم با نقطه ذوب 414°C و برای سرمایش با دقت $0.2^{\circ}\text{C} \pm$ از استاندارد هگزان n با نقطه



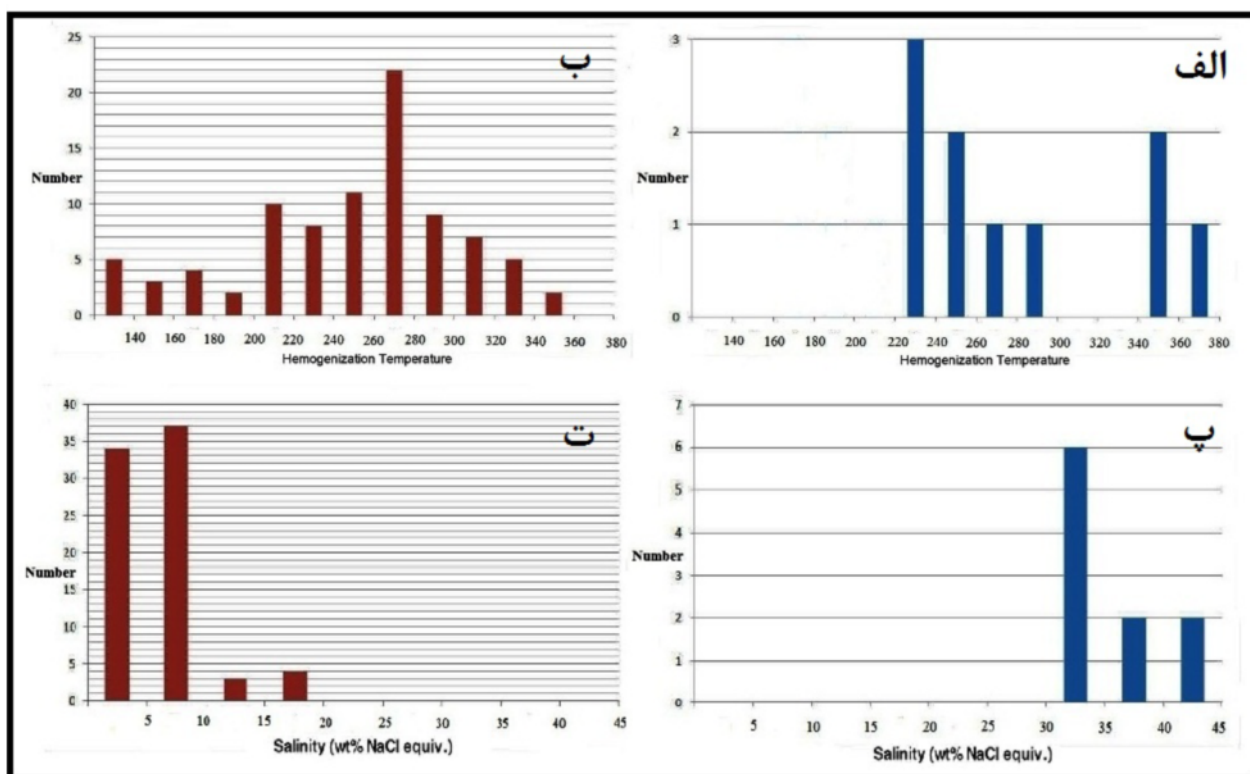
شکل ۸ (الف) نمایی از میانبرهای شاری دو فازگی غنی از مایع (L+V). (ب) دو نوع میانبار بررسی شده (L+V) و (L+V+S). (پ) میانبار سه فازگی (L+V+S) به شکل بلورین منفی. (ت) میانبار دو فازگی (L+V) به شکل بلورین منفی. (ث) میانبار سه فازگی (L+V+S) متشکل از فاز گاز (V)، مایع آبگین (L) و هالیت. (ج) همان میانبار در دمای 160°C درجه سانتی گراد. حاشیه‌های بلور هالیت گرد شده است.

آزمون سرمایش

با اندازه گیری تغییرات درجه انجماد می توان میزان شوری شاره های کانه ساز را به دست آورد. دمای ذوب نخستین بلور یخ (دمای همگدازی) در سیستم $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ تقریباً برابر با $-20/8$ است، در حالیکه در نمونه های بررسی شده این دما کمتر از این مقدار به دست آمد. این نشان می دهد که به غیر از کلرید سدیم نمک های دیگری مانند CaCl_2 نیز در شاره های کانه ساز به مانند وجود دارند [۳۹،۳۸]. دمای همگدازی (Te) بین -30 تا -60 درجه سانتی گراد است. می توان مقدار شوری میانبرهای شاره ای را با استفاده از مقادیر دمای همگدازی در شاره ها و نمودارها و رابطه های مختلف به دست آورد [۴۱،۴۰،۵]. بر اساس بررسی های صورت گرفته گستره شوری $1/57$ تا $17/94$ و میانگین $6/42$ درصد برای میانبرهای شاره ای نوع (L+V) و شوری $32/06$ تا $41/77$ و میانگین $35/76$ درصد برای میانبرهای شاره ای نوع (L+V+S) به دست آمد (شکل ۹ و جدول ۱).

آزمون گرمایش

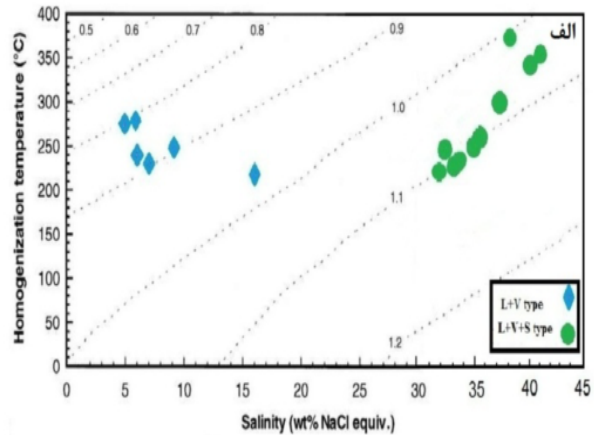
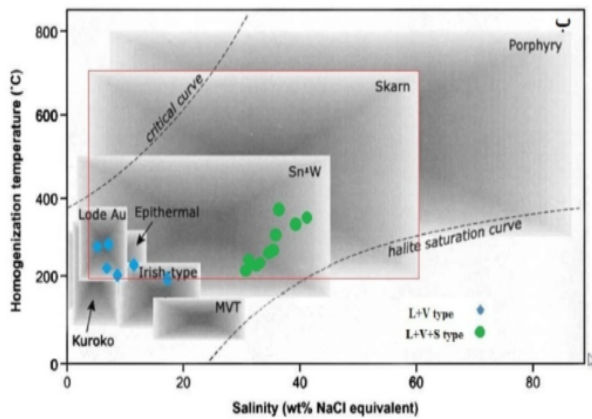
با همگن کردن فازهای درون میانبرهای شاری به فاز مایع و به دست آوردن دمای همگن شدگی، کمینه دمای تشکیل کانسار تعیین شد که بر این اساس میانبرهای شاری نوع (L+V) در گستره دمایی 120 تا 356 درجه سانتیگراد و میانبرهای شاری نوع (L+V+S) در گستره دمایی 227 تا 375 درجه سانتی-گراد همگن شده اند (شکل ۹ و جدول ۱). میانگین دمای همگن شدگی میانبرهای شاری نوع (L+V) $251/69$ درجه و برای شاره های نوع (L+V+S) $219/4$ درجه است (شکل ۹ و جدول ۱). بر اساس نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدگی [۴۲]، (شکل ۱۰ الف). چگالی میانبرهای شاری برای میانبرهای نوع (L+V) $0/8$ تا 1g/cm^3 و برای میانبرهای نوع (L+V+S) 1 تا $1/1\text{g/cm}^3$ به دست آمد (شکل ۱۰ الف). باتوجه به نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدگی میانبرهای شاری [۴۳] (شکل ۱۰ ب) همه میانبرهای شاری در گستره کانه زایی اسکارن قرار می گیرند (شکل ۱۰ ب).



شکل ۹ (الف) نمودار ستونی مقادیر دمای همگن شدگی میانبرهای شاری نوع (L+V). (ب) نمودار ستونی مقادیر دمای همگن شدگی میانبرهای شاری نوع (L+V+S). (پ) نمودار ستونی مقادیر شوری میانبرهای شاری نوع (L+V). (ت) نمودار ستونی مقادیر شوری میانبرهای شاری نوع (L+V+S).

جدول ۱ نتایج ریزدماسنجی میانبارهای شاری.

کانی میزبان	فاز	تعداد میانبار	اندازه (µm)	شوری %	دمای همگن شدگی Th (total) (°C)
کوارتز و کلسیت	L+V	۹۸	۵-۲۶	۱,۵۷-۱۷,۹۴	۱۲۰-۳۵۶
کوارتز	L+V+S	۱۱	۸-۱۵	۳۱,۰۶-۴۱,۷۷	۲۲۷-۳۷۵



شکل ۱۰ الف) نمودار تعیین چگالی میانبارها [۴۲]. ب) نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری میانبارها در کانسارهای مختلف [۴۳].

دلیل آن می‌تواند آمیختگی آب‌های با شوری بالا و کم و یا جوشش گرماب‌هایی با شوری زیر ۱۰ درصد باشد [۴۵،۴۳]. چنانکه در شکل ۱۲ دیده می‌شود، پراکنش شوری‌های اندازه-گیری شده نسبت به دمای همگن شدگی در میانبارهای شاری دارای دو روند متفاوت آمیختگی هم‌دم و رقیق شدگی سطحی شاره‌هاست. البته هر دوی این فرآیندها مربوط به فاز دگرنهادی پس رونده هستند. فرایندهای آمیختگی هم‌دم و رقیق شدگی سطحی شاره‌ها از عوامل مهم در ناپایداری همبافت‌های کلریدی و همزمانی نهشت آهن و مس در پهنه‌های اسکارنی و به دنبال آن تشکیل فازهای سولفیدی در مراحل پایانی کانی‌سازی است که در نتیجه‌ی کاهش ناگهانی فشار در شکستگی‌ها و گسل‌های فرعی منطقه ایجاد شده‌اند [۴۶]. مشاهده دو دامنه شوری متفاوت در میانبارهای شاری، عدم مشاهده بافت‌های مشخصه پدیده جوشش همچون بافت داربستی، نواری و کوکاد در کوارتزهای منطقه نیز این نتایج را تایید می‌کند. به باور دراموند و همکارش [۴۷] پدیده آمیختگی موجب کاهش دمای سیستم، کاهش دمای انحلال شاره و کاهش انحلال‌پذیری عناصر کانه-ساز و نهشت ماده معدنی می‌شود. بر این اساس پدیده آمیختگی هم‌دم که در میانبارهای شاری نوع (L+V) دیده می‌شود، نشان‌دهنده رخداد فرایند آمیختگی شاره‌های با شوری

خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز

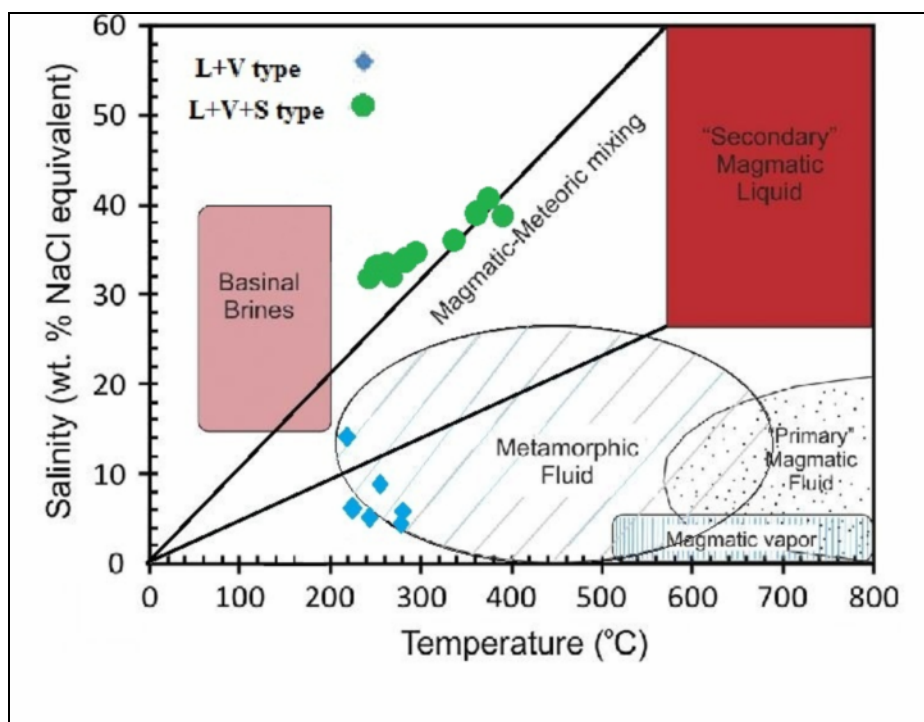
برای تعیین خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز موجود در میانبارهای شاری از نمودار مرجع [۳۳] استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده میانبارهای نوع (L+V) از خاستگاه شاره‌های دگرگونی و میانبارهای نوع (L+V+S) از خاستگاه شاره‌های ترکیبی ماگمایی - جوی تا شورابه‌های سطحی هستند (شکل ۱۱).

تکوین شاره سازنده کانسار مزرعه

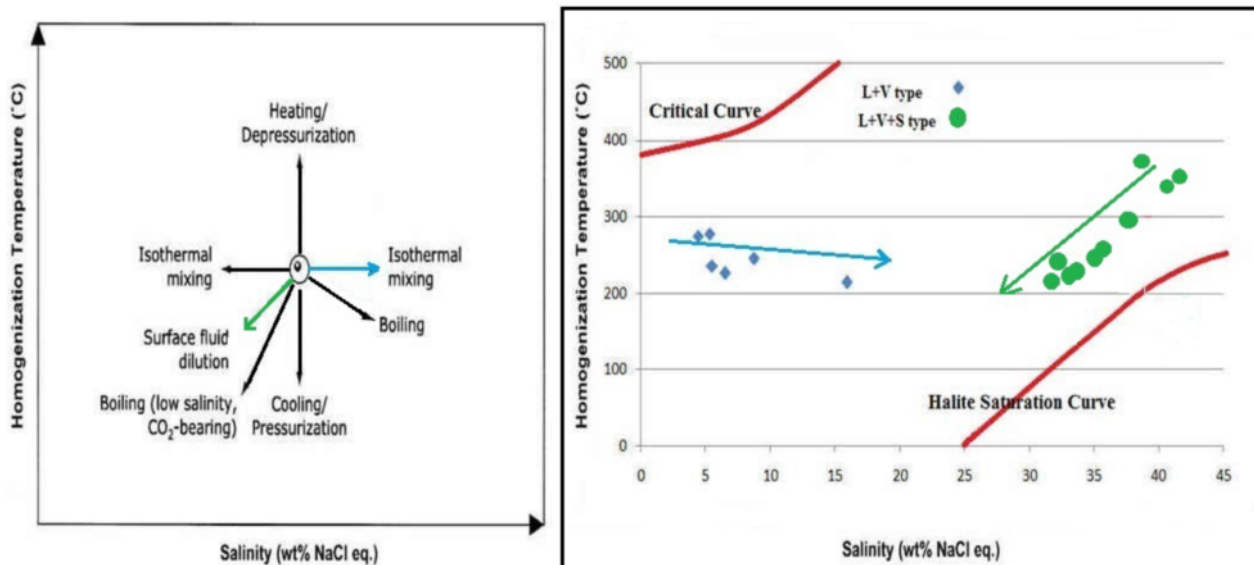
در اصل چهار عامل تغییر دما (سرشدن شاره‌های کانه‌ساز)، تغییر فشار، تغییرات شیمیایی ناشی از واکنش شاره کانه‌ساز با سنگ میزبان و تغییرات شیمیایی ناشی از پدیده آمیختگی و جوشش در شکل‌گیری ذخایر معدنی و نهشت کانه‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند [۴۴]. جوشش و آمیختگی شاره‌ها دو عامل مهمی هستند که معمولاً باعث ابراشباع شدن سریع شاره‌های ماگمایی و ایجاد شرایط لازم جهت ته‌نشست کانه‌ها در گستره سنگ‌های میزبان می‌شوند [۴۵،۴۳]. جهت بررسی فرایندهای تکوین شاره‌های کانه‌ساز براساس شوری‌های اندازه‌گیری شده نسبت به دمای همگن شدگی از نمودار ارائه شده در مرجع [۴۳] استفاده شد (شکل ۱۲). همه نمونه‌های مورد بررسی بین دو منحنی اشباع هالیت و منحنی بحرانی قرار می‌گیرند که

ناپایداری همبافت‌های کلریدی و تهنشینی کانی‌های سولفیدی می‌شود. نمودار شکل ۱۱ در مورد خاستگاه میانبارهای شاره‌ای نیز خاستگاه ترکیبی شاره‌های ماگمایی- جوی را برای این دسته میانبارها تایید می‌کند.

بالا و شوری متوسط تا پایین ولی با دمای تقریباً یکنواخت و به دنبال آن کانی‌سازی آهن به همراه عناصر سولفیدی است. همچنین در مرحله بعدی باتوجه به روندی که در میانبارهای نوع (L+V+S) دیده می‌شود، مخلوط شدن آب‌های جوی با شاره‌های ماگمایی در مرحله دگرنهادی پس رونده، منجر به



شکل ۱۱ نمودار تعیین خاستگاه شاره های گرمایی بر اساس داده های شوری و دمای همگن شدگی میانبارهای شاری.



شکل ۱۲ نمایش دگرگونی‌های اعمال شده بر محلول‌های گرمایی با استفاده از نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری [۴۳]. با توجه به الگوی توزیع پذیری داده‌های منطقه، دو روند آمیختگی هم دما و رقیق شدگی سطحی شاره‌های ماگمایی-دگرگونی قابل مشاهده است.

ژرفای تشکیل کانسنگ

به منظور برآورد ژرفای کانی‌سازی نسبت به سطح ایستابی قدیمی، از منحنی ارائه شده در مرجع [۴۸] استفاده شده است (شکل ۱۳ ب). صفر ایستابی مربوط به آب خالص بوده و منحنی‌های بعدی شرایط فشار ایستابی را با توجه به میزان شوری شاره نشان می‌دهد. با توجه به مقدار میانگین شوری میانبارهای نوع (L+V) و (L+V+S) که به ترتیب برابر با ۶/۴۲ و ۳۵/۷۶ است و مقادیر میانگین دمای همگن‌شدگی دو نوع میانبار، ژرفای ایجاد کانی‌سازی بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ متر نسبت به سطح ایستابی قدیمی تعیین شد که با شواهد به دست آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری از جمله بافت کانی‌ها و همچنین با فشار شاره به دست آمده از نمودار مرجع [۴۹] همخوانی دارد (شکل ۱۳ الف).

فشار شاره‌ها در زمان شکل‌گیری اسکارن

برای تعیین فشار وارد بر شاره در زمان شکل‌گیری اسکارن از نمودار ارائه شده در مرجع [۴۹] استفاده شد (شکل ۱۳ الف). براین اساس، فشار شاره در مرحله دگرنهادی پسرونده با استفاده از هر دو نوع میانبارهای شاری از کمتر از ۵۰ تا اندکی بیش از ۱۵۰ بار بوده است و تمام میانبارها زیر و یا روی منحنی اشباع کلرید سدیم قرار گرفته‌اند ($Ts NaCl < Th$). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که فشار وارد بر شاره کانی‌ساز به طور میانگین در حدود ۱۰۰ بار بوده است که با ژرفای تشکیل کانسنگ که بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ متر به دست آمده است همخوانی دارد (شکل ۱۳ ب).

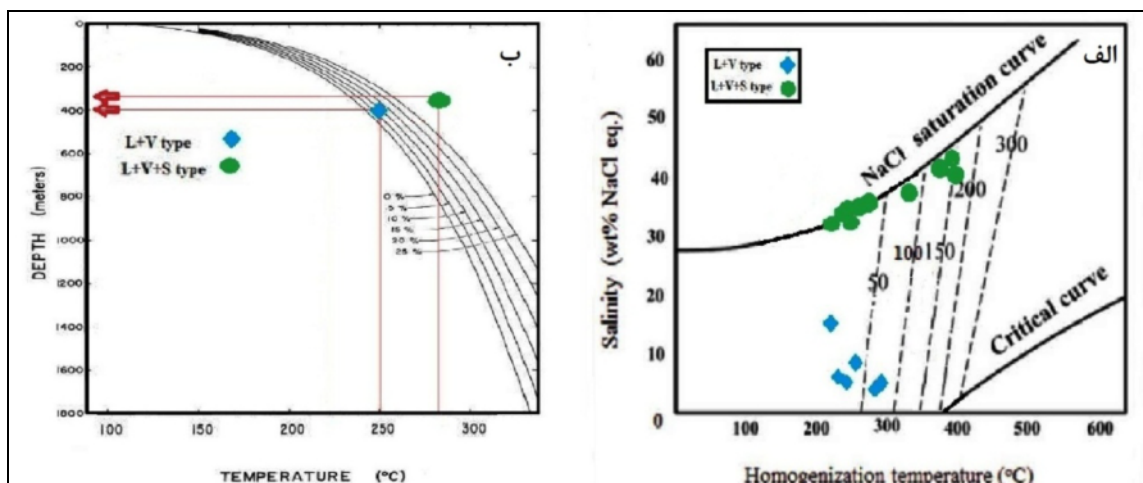
دمای تشکیل کانسار

براساس مقادیر دمای همگن‌شدگی همه میانبارهای شاری و فشار شاره کانه‌ساز با استفاده از نمودار ارائه شده در مرجع [۵۰] و با توجه به شکل ۱۳ الف شاره‌ها بیشتر در فشار کمتر از ۵۰ تا اندکی بیش از ۱۵۰ بار تشکیل شده‌اند و همچنین دمای یکنواخت‌شدن کانسار که با توجه به مقادیر دمای همگن‌شدگی همه شاره‌ها در حدود ۳۶۰ درجه است، دمای نهایی تشکیل کانسار را می‌توان بین ۲۵۰ تا ۳۴۰ درجه سانتیگراد در نظر

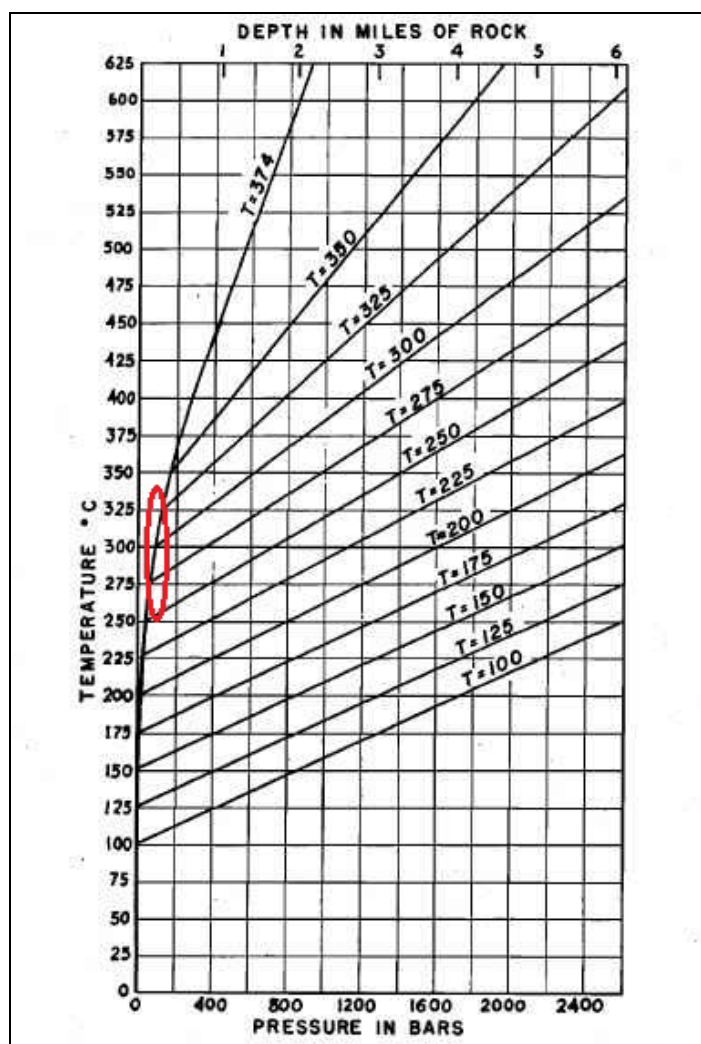
گرفت (شکل ۱۴).

برداشت

کانه‌زایی در کانسار مزرعه از طریق تزریق توده گرانیوتوئیدی شیورداغ به سن اولیگومیوسن با مشخصه گرانیوتوئیدهای نیمه-قلیایی کلسیمی، به درون مجموعه آواری، کربناته، آتشفشانی قدیمی‌تر و تبدیل آن‌ها به اسکارن گارنت - اپیدوت‌دار و به شکل برون اسکارن صورت گرفته است. شاهدی بر پدیده جوشش در مرحله اسکارن پس رونده در بررسی میانبارهای شاری و سنگ‌نگاری دیده نشد و بنا بر این با توجه به مشاهده دو دسته میانبار شاری با شوری کم تا متوسط و زیاد در نمونه‌ها و بررسی‌های انجام شده خاستگاه آن‌ها ترکیبی از شاره‌های ماگمایی - دگرگونی و جوی-شورابه‌های سطحی است (شکل ۱۱) همچنین با توجه به روند تکوین این میانبارها، می‌توان گفت که عامل اصلی نهشت کانه‌ها در پهنه اسکارن و در مرحله دگرنهادی پسرونده آمیختگی هم‌دم و رقیق‌شدگی سطحی شاره‌های ماگمایی-دگرگونی در اثر هم‌آمیزی شدن با آب‌های سطحی است (شکل ۱۲). مقادیر زیاد همانیت تشکیل شده در مرحله دگرنهادی پسرونده در ترکیب کانی‌شناسی اسکارن در نتیجه تجزیه سولفیدها و مگنتیت‌های اولیه به دلیل افزایش گریزندگی اکسیژن در محیط و نیز ایجاد دگرسانی شاخص پروپیلیتیک همراه با کانه‌زایی در پهنه اسکارن بر اثر آبپوشی و دگرنهادی یون H^+ ، نشانگر تاثیر چرخش آب‌های سطحی در پهنه‌های شکسته و خرد شده ناشی از صعود ماگما و آمیختگی این شاره‌ها با شاره‌های با خاستگاه ماگمایی-دگرگونی در مرحله دگرنهادی پس رونده اسکارن و تایید کننده نتایج بررسی میانبارهای شاری در این مورد است. همچنین شواهد ناشی از بررسی میانبارهای شاری از قبیل فشار و دمای تشکیل کانسار که به ترتیب کمتر از ۱۵۰ بار و بین ۲۵۰ تا ۳۴۰ درجه سانتیگراد به دست آمد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴)، کانسار اسکارن مزرعه را به عنوان یک اسکارن نسبتاً کم ژرفا با ژرفای تشکیل بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ متر از سطح ایستابی زمان تشکیل کانسار معرفی می‌کند.



شکل ۱۳ الف) نمودار تعیین فشار شاره‌های کانه ساز بر اساس مقادیر شوری و دمای همگن شدگی میانبارها [۴۹]. ب) نمودار تعیین ژرفای به دام افتادن میانبارها بر اساس دمای همگن شدگی میانبارها و شوری شاره‌ها در زمان به دام افتادن میانبار [۴۸].



شکل ۱۴ نمودار تعیین دمای تشکیل کانسار بر اساس دمای همگن شدگی نهایی میانبارها و فشار-عمق معین شاره‌ها در زمان تشکیل کانسار [۵۰].

قدردانی

بدین‌وسیله از مدیریت و کارکنان محترم امور تحقیق و توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران (سرچشمه) جهت تامین مالی این پژوهش و از کارکنان شرکت ملی مس مستقر در شهرستان‌های اهر و ورزقان جهت همکاری در نمونه‌برداری و نیز از خانم مهندس آقاجانی کارشناس مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران به جهت همکاری در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

- scientific quarterly journal of geosciences, 31-32 (1999) 28-49.
- [9] Berberian F., Berberian M., "Tectonoplutonic episodes in Iran. In: Gupta H.K., Delany F.M. (Eds.), Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution", American Geophysical Union, Washington, DC, (1981) 5–32.
- [10] Nabavi M.H., "A Preface to Iran's Geology", Geological survey & mineral exploration of Iran publications, (1976) 109p.
- [11] Aghanabati A., "Geology of Iran", Geological survey & mineral exploration of Iran publications, (2004) 586p.
- [12] Alavi Gh., Moayyed M., Hoseinzadeh M.R., "Petrography, Geochemistry and Petrology of Sheyvardagh Batholith (North of Ahar, East Azerbaijan)", Iranian Journal of Geology, 33(2015) 105-122.
- [13] Lescuyer J.I., Riou, R., "Géologie de la region de Mianeh (Azarbayjan). Contribution de la volcanisme tertiare de l' Iran", Thèse 3 cycle, Grenoble, (1974) 234 p.
- [14] Hezarkhani A., "Geochemistry of the Anjerd Skarn and its association with copper mineralization, northwestern Iran", International Geology Review, 48 (2006) 892–909.
- [15] Biabangard H., Ghanjalipour R., Ahmadi A., "Mineralogy, paragenesis and conditions of Siah Kamar skarn formation, west Dehsalm, East Lut Block", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 1(2015) 31-42.
- [16] Babakhani A., Exploration report of Mazraeh deposit, Pars olang Consulting Company, (2009) 114p.
- [17] Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., "The interpretation of igneous rocks", Boston, George Allen and Unwin, London, (1979).
- [18] Irvine T. N., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, 8(1971) 528-548.
- [19] Peacock M. A., "Classification of igneous rock series", Journal of Geology, 39 (1931) 54–67.
- [1] Bazin D., Hubner H., "Copper deposits in Iran", Report No.13, Geological Survey of Iran (1969) 190p.
- [2] Superceanu C.I., "The Eastern Mediterranean–Iranian Alpine copper–molybdenum belt", Society of Mining Geology of Japan, Special Issue, 3 (1971) 393–398.
- [3] Karimzadeh Somarin A., Moayyed M., "Granite and gabbrodiorite associated skarn deposits of NW Iran", Ore Geol Rev, 20 (2002) 127–138.
- [4] Karimzadeh Somarin A., "Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran", Geochem Explor, 81 (2004) 47–57.
- [5] Roedder E., "Fluid inclusions", Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, Virginia, 12 (1984) 640p.
- [6] Hajalilou B., Vusuq B., Rezvanzadeh N., Moayyed M., "Investigation of Skarn Mineralization in Kelardasht area (Northern Iran) with special view on fluid inclusion studies", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20 (2013) 623-636.
- [7] Mehrparto M., Nazer Kh., "Geological report of Kaleybar 1:100000 scale map", Geological survey & mineral exploration of Iran publications, (1380).
- [8] Mohajjel M., Sahandi M.K., "Tectonic evolution of northwestern part of Sanandaj-Sirjan zone and introducing new sub-zones in it",

- metasomatism*", Contributions to Mineralogy and Petrology, 134(1999) 107-122.
- [31] Rollinson H. R., "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", Longman scientific and technical, (1993) 252 p.
- [32] Fan W.M., Gue F., Wang Y.J., Lin G., "Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 121(2003) 115-135.
- [33] Beane, R.E., "The Magmatic-Meteoric Transition", Geothermal Resources Council, Special Report 13, (1983) 245-253.
- [34] Halalilou B., Khakzad A., "Investigating the mineralization of Boulaghi and Rasht Abad copper mines based on fluid inclusion studies", Scientific quarterly journal of geosciences, 33-34 (1999) 62-77.
- [35] Goldstein R.H., "Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems", Lithos 55(2001) 159-192.
- [36] Van den Kerkhof A.M., Hein U.F., "Fluid inclusion petrography", Lithos, 55(2001) 27-47.
- [37] Nash J.T., "Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration", US Geol. Surv. Prof. Paper 907 D (1976) 16 p.
- [38] Viti C., Frezzotti M.L., "Transmission electron microscopy applied to fluid inclusion investigations", Lithos 55(2001)125-138.
- [39] Zangeneh M., Boumeri M., Biabangard H., "Investigation of skarn formation using petrographic, mineral chemistry and fluid inclusion data, south west of Khaf, (southeast of Razavi Khorasan Province)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 1(2017) 35-48.
- [40] Potter R.W., Clynne M.A., Brown D.L., "Freezing Point Depression of Aqueous Sodium Chloride Solution", Economic Geology, 73 (1978) 284-285.
- [41] Shepherd T., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie, London (1985) 239p.
- [20] Chappell B.W., White A.J.R., "Two contrasting granite types", Pacific Geology, 8(1974) 173-174.
- [21] Meinert L.D., "Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits, Chemical evidence for genetic connection between petrogenesis and mineralization", in Thompson, J.F.H., ed, Magmas, fluids, and ore deposits, Min. Assoc. Can. Short Course Series, 23(1995) 401-418.
- [22] Haynes D.W., Cross K.C., Bills R.T., Reed M.H., "Olympic Dam ore genesis: a fluid mixing model", Econ. Geol, 90(1995) 281-307.
- [23] Moore M., Deymar S., Taghipour B., "Geochemistry of Rare Earth Elements and mineral chemistry of garnet in Darreh Zerreshk skarns (southwest of Yazd)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 3(2013) 431-444.
- [24] Duan S., Zhang Z., Jiang Z., Zhao J., Zhang Y., Li F., Tian J., "Geology, geochemistry, and geochronology of the Dundee iron-zinc ore deposit in western Tianshan, China", Ore Geology Reviews, 57(2014) 441-461.
- [25] Pons J.M., Franchini M., "Iron skarns of the Vegas Peladas district, Mendoza, Argentina", Economic Geology, 104(2009) 157-184.
- [26] Lingang X., Jingwen M., Fuquan Y., Hennig D., Jianmin Z., "Geology, geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW China", Journal of Asian Earth Sciences, 39(2010) 423-440.
- [27] Pearce J.A., Can J.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis", Earth Planetary Science, (1973) 290 - 300.
- [28] Floyd P.A., Winchester J.A., "Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements", Earth Plan. Sci. Let, 27(1975) 211-218.
- [29] Wilson M., "Igneous petrogenesis", Unwin Hyman, London, (1989).
- [30] Zanetti A., Mazzucchelli M., Rivalenti G., Vannucci R., "The Finero phlogopite-peridotite massif: an example of subduction-related

Conditions of Dardvey Iron Skarn Based on Mineralogy and Fluid Inclusion Evidences, Sangan Area (Khorasan Razavi)", Scientific quarterly journal of geosciences, 82 (2011) 139-150.

[47] Drummond S.E., Ohmoto H., "Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems", Economic Geology, 80 (1985) 126-147.

[48] Haas J.L., "The Effect of Salinity on the Maximum Thermal Gradient of a Hydrothermal System at Hydrostatic Pressure", Economic Geology, 66(1971) 940-946.

[49] Ahmad S.N., Rose A.W., "Fluid Inclusions in Porphyry and Skarn Ore at Santa Rita, New Mexico", Economic Geology, 75(1980) 229-250.

[50] Kendy G.C., "Pneumatolysis and the liquid inclusion method of geologic thermometry", Economic Geology 45 (1950) 533-547.

[42] Zhang Y.G., Frantz j. D., "Determination of homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions", Chemical Geology, 64(1987) 335-350.

[43] Wilkinson J.J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", Lithos 55 (2001) 229-272.

[44] Barnes H.L., "Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits", John Wiley, New York (1979).

[45] Zareie R., Zamanian H., Pazouki A., Barani N., Zaal F., "Mineral chemistry and temperature condition investigations of the Sarvian Iron ore deposit (Markazi province, Delijan city)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 3(2016) 435-448.

[46] Tale fazel E., Mehrabi B., Khakzad A., Kianpour R., "Stages and Mineralization