



## زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی در رخداد کانه‌زایی مس $\pm$ طلای چشمۀ زاغ، استان خراسان رضوی: شواهدی از کانی‌سازی احتمالی نوع سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد

آزاده ملکزاده شفارودی<sup>۱\*</sup>، عباس اعتمادی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۶/۲۰، نسخه نهایی: ۹۸/۹/۲)

چکیده: منطقه چشمۀ زاغ در استان خراسان رضوی و در بخش جنوی پهنه‌سیزار که از پهنه‌های فلزی‌زایی مهم ایران است، قرار دارد. سنگ‌شناسی منطقه شامل تنوعی از سنگ‌های آتشفسانی (داسیت تا بازالت)، توده‌های نفوذی (گابرو تا سینوگرانیت) وابسته به کرتاسه پسین و انواع سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن و کوارترنری است. دگرسانی‌های گسترده‌ای از پروپلیتی، کلریتی و اپیدوتی منطقه را فراگرفته است، اما کانه‌زایی اصلی در قالب دو پهنه عدسی‌شکل دیده می‌شود که بوسیله دگرسانی‌های آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی احاطه شده‌اند. کانه‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت و کانی‌های ثانویه شامل ملاکیت، کوولیت و اکسیدهای آهن است. بیشینه مقدار عناصر در پهنه‌های اصلی کانی‌سازی شامل ۱/۵ درصد مس، ۴۰ ppm طلا، ۳۶۳ ppm سرب و ۷۳۸ ppm روی است. محیط زمین‌ساختی در ارتباط با تشکیل پهنه سیزار، حضور تعداد زیادی از نهشت‌های و کانسارهای مس و منگنز در ارتباط با فعالیت آتشفسان‌های زیردریایی در منطقه و همراهی کانی‌سازی منطقه چشمۀ زاغ با واحدهای آتشفسانی داسیتی با دگرسانی‌های شاخص، همه می‌تواند نشانگر خاستگاه احتمالی سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد نوع دوگانه فلزی (کروکو) برای این کانسار باشد. پهنه ساختاری سیزاری سیزار پتانسیل پسین برای اکتشاف این نوع ذخایر دارد که باید مورد توجه قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌سازی؛ زمین‌شیمی؛ کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد؛ چشمۀ زاغ؛ پهنه سیزار.

کرتاسه پسین در یک محیط کششی پشت کمانی [۴]، محیط مناسبی برای تشکیل کانسارهای منگنز بروندی و مس (سرب + روی + طلا) نوع سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد است که بیشتر در جنوب غرب سیزار و در ارتباط با توالی‌های آتشفسانی-رسوبی کرتاسه هستند. از آن جمله می‌توان به مناطق مس نوده [۵]، کانسار منگنز نخلک [۶]، نهشت‌های مس-منگنز کوه قطبونه، کانسار مس-نقره گرماب پایین [۷]، نهشت‌های مس سلم-رود، کانسار کائولن اسبکشان، کانسار منگنز شمال شرق اسبکشان [۸]، نهشت‌های مس ایزدپناه و کانسار منگنز کرمی اشاره کرد. گسترش سرباره‌های قدیمی در منطقه نشان‌دهنده سابقه و رونق معدنکاری در گذشته است.

### مقدمه

کانسارهای نوع سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد به صورت عدسی-های سولفیدی چندفلزی در محیط‌های آتشفسانی زیردریایی و از سیال‌های گرمابی غنی از فلز در اثر جریان هم‌رفتی روی مناطق تغذیه‌کننده یا پهنه رگه-رگچه‌ای تشکیل می‌شوند. سنگ میزان آنها هم می‌تواند از نوع آتشفسانی و هم رسوبی باشد [۱]. به تازگی این کانسارها بر اساس نوع محیط زمین ساختی، ترکیب سنگ میزان و نوع ماده معدنی [۲، ۳] به ۵ گروه (۱) دوگانه مافیک، (۲) مافیک، (۳) مافیک پلیتی، (۴) دوگانه فلزی و (۵) سیلیسی-آواری فلزی تقسیم می‌شوند. زیرپهنه سیزار به دلیل رخداد کمربند افیولیتی در زمان

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، نامبر: ۰۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir

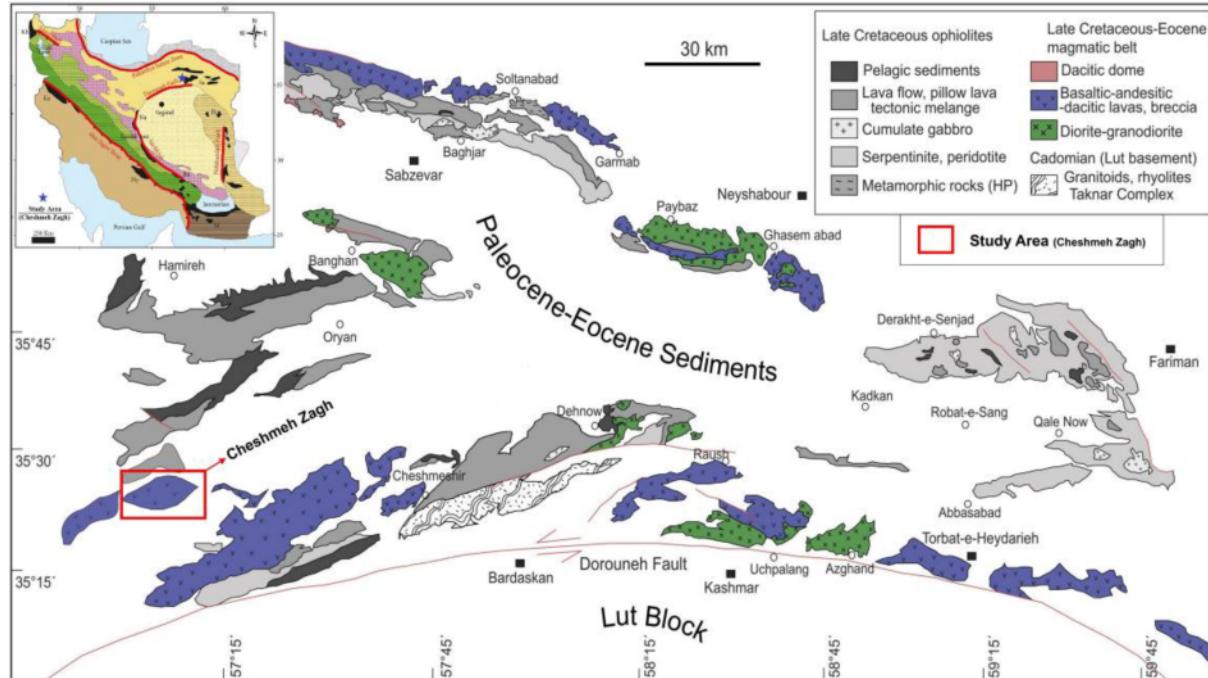
میامی) است [۱۱] که حوضه رسوی کپه داغ در شمال را از فلات ایران مرکزی در جنوب جدا می‌کند. زیرپهنه سبزوار از پهنه‌های چندگانه خردقاره ایران مرکزی است که به دلیل رخداد کمربند افیولیتی (مربوط به کرتاسه پسین در یک محیط کششی پشت کمانی) مورد توجه است. این حوضه اقیانوسی در زمان کرتاسه پسین و در یک محیط کششی پشت کمانی تشکیل شده [۴] و شامل حجم زیادی از سنگ‌های فرامافیک، توده‌های کوچک گابرویی و ترادفی ضخیم از گدازه‌های بازالتی زیردریایی همراه با آهک‌های لجه‌ای کرتاسه پسین و رادیولاریت است که بطور دگرگشیب و با یک قاعده کنگلومراژی توسط سنگ‌های آتشفسانی و رسوی پوشیده شده‌اند [۱۲].

منطقه چشمۀ زاغ در بخش غربی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر [۱۳] و شمال غرب نقشه ۱:۱۰۰۰۰ درونه [۱۴] قرار دارد. بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی این نقشه‌ها، سنگ‌شناسی عمده منطقه شامل آندزیت سبز-توف-رادیولاریت کرتاسه پسین، مارن‌های سبز نوع فیلیش-ماسه سنگ-کنگلومرا-توف پالتوژن و رخنمون‌های کمتری از سنگ آهک گلوبوترونکاندار کرتاسه پسین است. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی در منطقه چشمۀ زاغ را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود (شکل ۲) که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

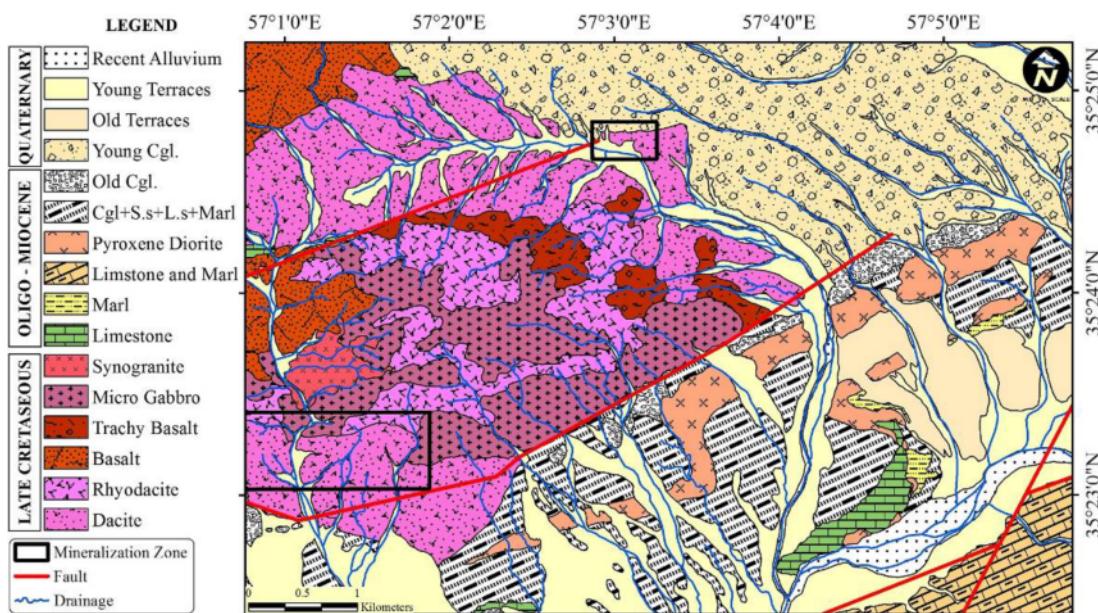
منطقه اکتشافی چشمۀ زاغ با مساحت ۴۰ کیلومتر مربع، در فاصله حدود ۸۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سبزوار، در گستره طول‌های جغرافیایی  $45^{\circ} 47' - 45^{\circ} 57'$  و عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 22' - 35^{\circ} 25'$  واقع است [۱۰, ۹] (شکل ۱). وجود آثار در ارتباط با معدنکاری قدیمی (شدادی) و حفر چاهک‌ها در پهنه‌های سولفیدی، نشان می‌دهد که عملیات استخراج در بخش‌هایی که به احتمال بسیار کانی-سازی عمقی پرعيارتری داشته‌اند، صورت گرفته است. با وجود این، تاکنون هیچ بررسی علمی دقیقی بر سنگ‌نگاری، دگرسانی، کانی‌سازی و زمین‌شیمی منطقه انجام نشده است. در این پژوهش، زمین‌شناسی منطقه و واحدهای سنگی، کانی‌سازی، دگرسانی واحدهای مختلف به ویژه سنگ میزان کانه‌زایی و زمین‌شیمیایی خرده‌سنگی در منطقه چشمۀ زاغ بررسی شده است. با توجه به گسترش کانی‌سازی‌های مس و منگنز در توالی‌های آتشفسانی-رسوی حوضه جنوب غرب سبزوار، پژوهش پیرامون منطقه اکتشافی چشمۀ زاغ می‌تواند نقش مهمی در اکتشاف ذخایر مشابه در منطقه داشته باشد.

#### زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی بخشی از کمربند افیولیتی سبزوار واقع در شمال ایران مرکزی (شمال گسل کویر بزرگ و جنوب گسل



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه سبزوار-فریمان در شمال گسل درونه با تأکید بر پراکندگی رخنمون‌های افیولیتی و وابسته به کمان‌های کرتاسه پسین-آئوسن و کادومین (برگرفته از مرجع [۹] با تغییرات). منطقه مورد بررسی در جنوب غرب زیرپهنه سبزوار از پهنه ایران مرکزی قرار دارد (نقشه داخلی برگرفته از مرجع [۱۰] است).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه اکتشافی چشممه زاغ. کنگلومرا: Cgl، ماسه‌سنگ: S.s و سنگ آهک: L.s

حاضر و جوان پوشیده شده‌اند. واحدهای رسوبی به رنگ روشن و با لایه‌بندی نمایان از میان لایه واحد آذرین با بافت دانه‌ریز و تیره متمایز هستند. این دو مجموعه (گروه ۱ و ۲)، گسترش به نسبت زیادی دارند و حدود ۸۰ درصد منطقه را پوشش می‌دهند.

۳) جدیدترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه شامل واحد کنگلومرا جوان (رخنمون بسیار در شمال شرق منطقه) به همراه تراستها و رسوب‌های عهد حاضر (در برگیرنده فضاهای بین واحدهای رسوبی الیگومیوسن) است. از این میان، کنگلومراهای جوان با روند شمال غرب - جنوب شرق و پستی و بلندی تپه‌ای شکل، واحدهای قدیمی‌تر داسیتی و واحدهای رسوبی را پوشانده‌اند.

#### روش بررسی

این پژوهش، بر پایه پیمایش صحرایی، تهیه و بررسی مقاطع نازک، نازک صیقل و قطعه‌های صیقلی، بررسی های زمین‌شیمیایی و تفسیر داده‌ها در منطقه‌ای به مساحت ۴۰ کیلومتر مربع انجام شد. بر این اساس، به منظور تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و دگرسانی، از میان همه نمونه‌های برداشت شده از واحدهای سنگی مختلف، تعداد ۴۵ نمونه انتخاب و از آنها مقطع نازک تهیه و بررسی شد. بررسی‌های کانه شناسی نیز در دانشگاه فردوسی مشهد و به وسیله میکروسکوپ دو منظوره Olympus، بر ۱۵ قطعه صیقلی و نازک صیقلی تهیه شده از

۱) قدیمی‌ترین واحدهای رسوبی به زمان کرتاسه پسین و شامل گسترهای از واحدهای آتشفشنای اسیدی (داسیت و ریوداسیت) و مافیک (بازالت و تراکی‌بازالت) و توده‌های نفوذی مافیک و اسیدی (میکروگابرو و سینوگرانیت) هستند که ارتفاعات نیمه غربی منطقه را دربرمی‌گیرند. واحدهای میکروگابرو با بافت به نسبت دانه‌ریز و تیره رنگ متمایز از واحدهای آتشفشنای داسیتی و ریوداسیتی و واحد نفوذی سینوگرانیت با رنگ روشن و بافت دانه‌درشت دیده می‌شوند. افزون بر میکروگابروها، واحدهای آتشفشنای مافیک مانند بازالت و تراکی بازالت در ارتفاعات رخنمون دارند (بافت ریزبلور و تیره) که به دلیل دگرسانی‌های اپیدوتی و کلریتی، در نمونه دستی رنگی مایل به سبز از خود نشان می‌دهند. کانی‌سازی منطقه بیشتر همراه با واحد داسیتی است که در اثر دگرسانی‌های کلریتی و اپیدوتی در مقیاس ناحیه‌ای و آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی در مقیاس محلی قرار گرفته‌اند.

۲) واحدهای رسوبی وابسته به زمان الیگومیوسن شامل کنگلومرای قدیمی، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و مارن همراه با میان لایه‌ای از سنگ‌های آذرین نفوذی با ترکیب پیروکسن دیوریت بوده که در راستای شمال شرق-جنوب غرب هستند و با یک مرز از نوع گسل راندگی از ارتفاعات بخش غربی منطقه جدا می‌شوند. این مجموعه، رخنمون‌های پست جنوب شرق منطقه را دربر می‌گیرند که به طور محلی با رسوب‌های رسوبی

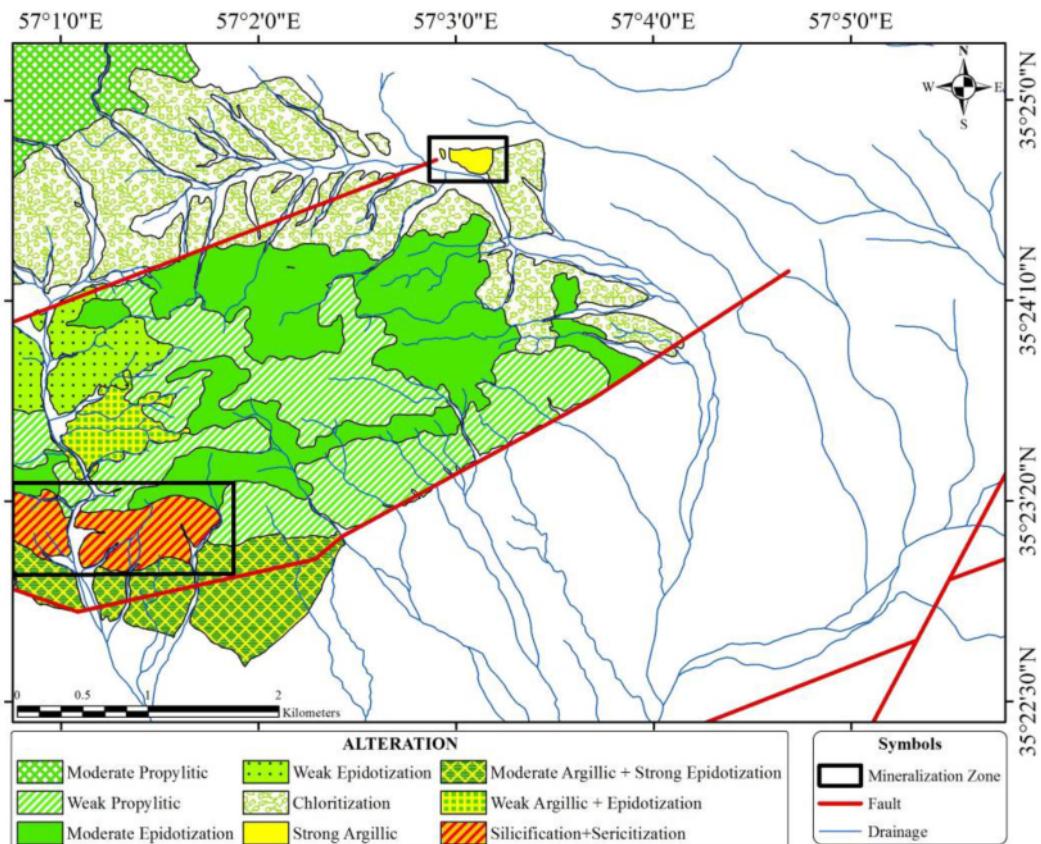
با شدت‌های ضعیف و متوسط در واحدهای بازالتی و میکروگابرویی منطقه دیده می‌شود (شکل ۳). در واحد بازالتی، حفره‌ها با اپیدوت و کلسیت پر شده‌اند (شکل‌های ۴ الف و ب) و کلریت در زمینه به صورت انباشتی دیده می‌شود. در واحد میکروگابرویی نیز، کانی پیروکسن در نمونه‌های مختلف بین ۱۰ تا ۳۰ درصد به کلریت و ۵ درصد به اکسید آهن تبدیل شده است.

دگرسانی اپیدوتی بیشتر در بخش‌های شمالی ارتفاعات غرب منطقه گسترش دارد (شکل ۳) و به دو زیرده با شدت متوسط و ضعیف تقسیم می‌شود. دگرسانی اپیدوتی با شدت متوسط مربوط به واحدهای ریوداسیت و تراکی بازالت دامنه شمالی ارتفاعات و انواع با شدت ضعیفتر همراه با رخنمون واحد بازالتی واقع در غرب منطقه است. از آنجا که غالب سنگ میزبان این نوع دگرسانی را سنگ‌های ریوداسیت با رنگ به نسبت روشن (لوکوکرات) در بر می‌گیرند، رنگ سبز ناشی از دگرسانی اپیدوتی متوسط به خوبی در رخنمون‌های صحرابی و نمونه‌های دستی آنها، قابل مشاهده است (شکل ۴ پ).

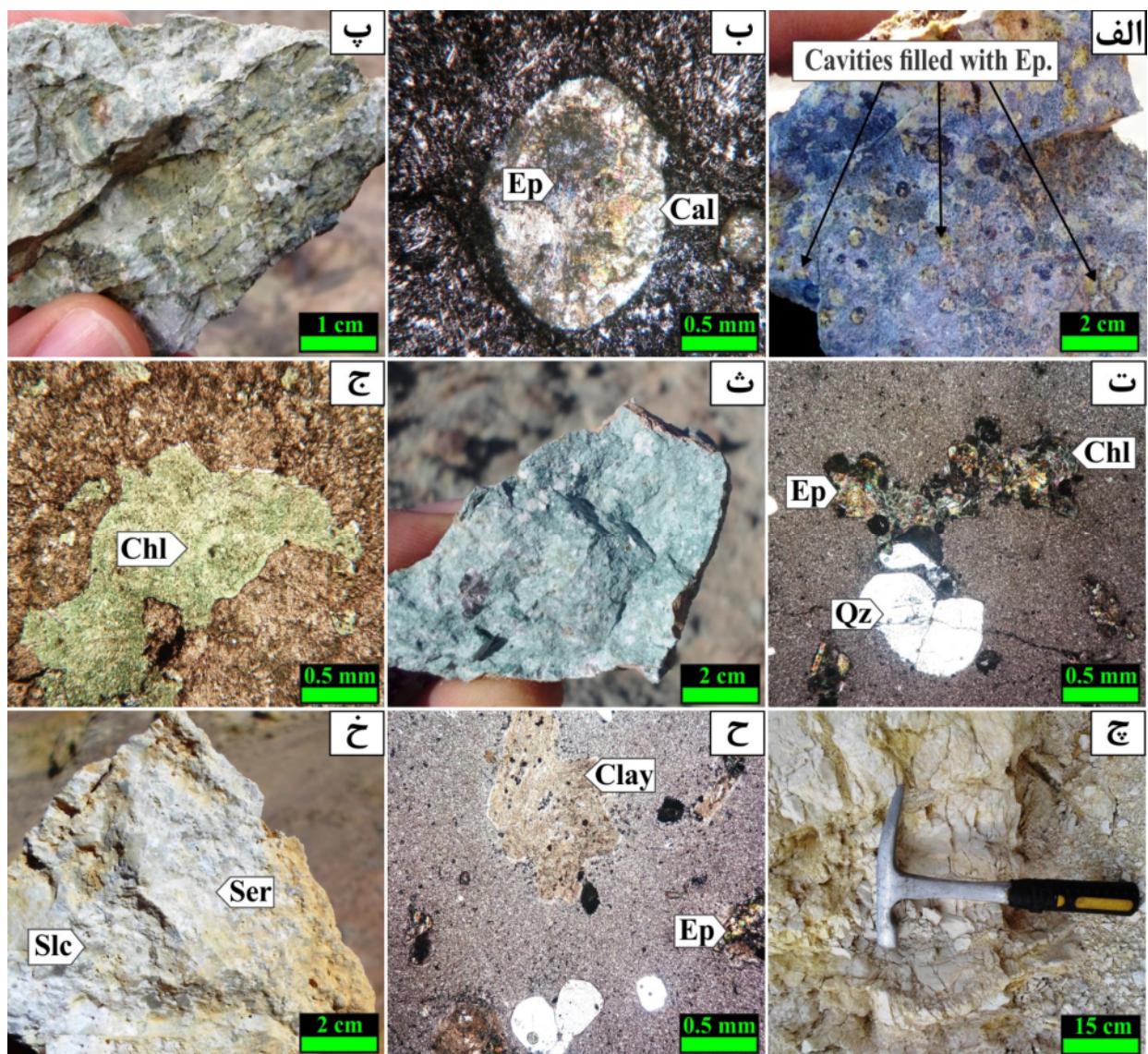
نمونه‌های دارای کانی‌سازی انجام شد. برای بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر در پهنه‌های کانی‌سازی و همچنین تهیه نقشه‌های زمین‌شیمیایی عناصر مس، طلا، سرب و روی، تعداد ۴۳ نمونه خرد سنگی از پهنه‌های اصلی کانی‌سازی منطقه به صورت هدفمند برداشت و تجزیه شد و تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر ردیاب، فلزی و همچنین طلا (۳۲ نمونه) به روش آکوارجیا (ME-01) و عیارسنجی گرمایی در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی زرآزما بررسی گردید. پردازش داده‌های زمین‌شیمیایی در محیط نرم افزار SPSS انجام شد و در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمیایی از نرم افزار Arc Gis نسخه 10.4 استفاده گردید.

### دگرسانی

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و کانی‌شناسی انجام شده بر نمونه‌های سنگی برداشت شده، انواع دگرسانی‌های پروپیلیتی، اپیدوتی، کلریتی، آرژیلی و سیلیسی-سریستی در منطقه اکتشافی چشمۀ زاغ رخنمون دارند (شکل ۳). دگرسانی پروپیلیتی، از گسترده‌ترین انواع دگرسانی‌های موجود است که



شکل ۳ نقشه دگرسانی منطقه اکتشافی چشمۀ زاغ.



شکل ۴ انواع دگرسانی در منطقه چشمۀ زاغ: (الف) حفره‌های پر شده با کانی اپیدوت (Ep) در واحد بازالت، (ب) تصویر میکروسکوپی از بافت بادامکی که با کلسیت (Cal) و اپیدوت پر شده است، (پ) نمونه دستی از دگرسانی اپیدوتی واحد ریوداسیت، (ت) تصویر میکروسکوپی از کانی اپیدوت در قالب دگرسانی اپیدوتی واحد ریوداسیت (نور قطبیده متقاطع، XPL)، (ث) نمونه دستی از واحد داسیتی با دگرسانی کلریتی، (ج) تصویر میکروسکوپی از کانی ثانویه کلریت (Chl) که به صورت فراگیر در متن سنگ حضور دارد، (ه) رخمنون‌های سطحی پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه با دگرسانی از نوع آرژیلی شدید، (د) دگرسانی آرژیلی ضعیف + اپیدوتی ضعیف در قالب تجزیه پلازیوکلاز به کانی‌های رسی (Clay) و حضور اپیدوت پراکنده در متن سنگ، (خ) نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی (Ser)-سرسیتی (Slc) وابسته به پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه. (نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۵]).

درصد به سرسیت تجزیه شده‌اند؛ در صورتی که مقدار تجزیه کانی پلازیوکلاز به اپیدوت در واحد بازالتی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد است.

دگرسانی کلریتی مانند پروپیلیتی از گسترده‌ترین دگرسانی‌های موجود در منطقه چشمۀ زاغ و مربوط به رخمنون واحد داسیتی واقع در شمال تا شمال غرب منطقه است (شکل

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، اپیدوتی‌شدن بیشتر در قالب حضور رگچه‌های اپیدوت و کمتر به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۴ ت)، در حالیکه اپیدوت در واحد بازالتی بیشتر به صورت پراکنده و به شکل بادبزنی درون حفره‌های سنگ دیده می‌شود. در واحد ریوداسیت، کانی پلازیوکلاز به مقدار ۲۰ تا ۳۰ درصد به اپیدوت و ۱۰ تا ۲۰

واحد داسیتی که سنگ میزبان پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه است، دستخوش دگرسانی سیلیسی-سرسیتی شده است (شکل ۳). با توجه به حضور اکسید آهن، بخش‌های سطحی آن کمی قرمز رنگ دیده می‌شود. سیلیسی‌شدن در متن سنگ و سرسیتی‌شدن بیشتر به صورت پراکنده و در ارتباط با تجزیه درشت‌بلورهای تشکیل‌دهنده واحد داسیتی است (شکل ۴ خ). مقدار کوارتز ثانویه تا به ۳۰ درصد و مقدار سرسیت به ۱۰ درصد می‌رسد.

### کانی‌سازی

از نظر زمانی، رخداد کانسارهای نوع سولفید توده‌ای همراه با سنگ‌های آتشفسانی در ایران از پروتروزوئیک پسین (کانسار تکنار)، تا ائوسن-الیگوسن (کانسار باریت (سرپ-روی) دره کاشان) ادامه داشته است. بنابراین با توجه به این توزیع زمانی، دوران مژوزوئیک (ژوراسیک و کرتاسه) مهمترین زمان برای تشکیل این نوع کانسارها (به جز نوع مافیک) در ایران است [۱۶، ۱۷].

حوضه پشت کمانی سبزوار با داشتن رخسارهای رسوبی دریایی زرف، نفوذ توده‌های فرامافیک-مافیک، خروج گدازهای توالی آتشفسانی-رسوبی، خاستگاه مناسبی برای کانی‌زایی‌های نوع بستر اقیانوسی است. از آنجا که در جنوب غرب سبزوار و منطقه روداب، اغلب واحدهای سنگی منطقه از نوع سنگ‌های آتشفسانی-رسوبی در ارتباط با حوضه گسترش اقیانوس سبزوار هستند، حضور کانی‌زایی‌هایی چون منگنز و مس ممکن است. بسیار از رخدادهای کانی‌سازی مس و منگنز آتشفسان زاد در یک راستای شمال غربی-جنوب شرقی در زیرپهنه سبزوار دیده می‌شوند که برخی در حال بهره‌برداری و بعضی هنوز مناطق اکتشافی هستند و به طور قطع بسیاری از آنها نیز کشف نشده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که منطقه جنوب غرب سبزوار یک پهنه فلزی‌ای مهم برای اکتشاف ذخایر سولفید توده‌ای آتشفسان زاد و منگزهای وابسته به فعالیت‌های آتشفسانی زیردریایی است (شکل ۵).

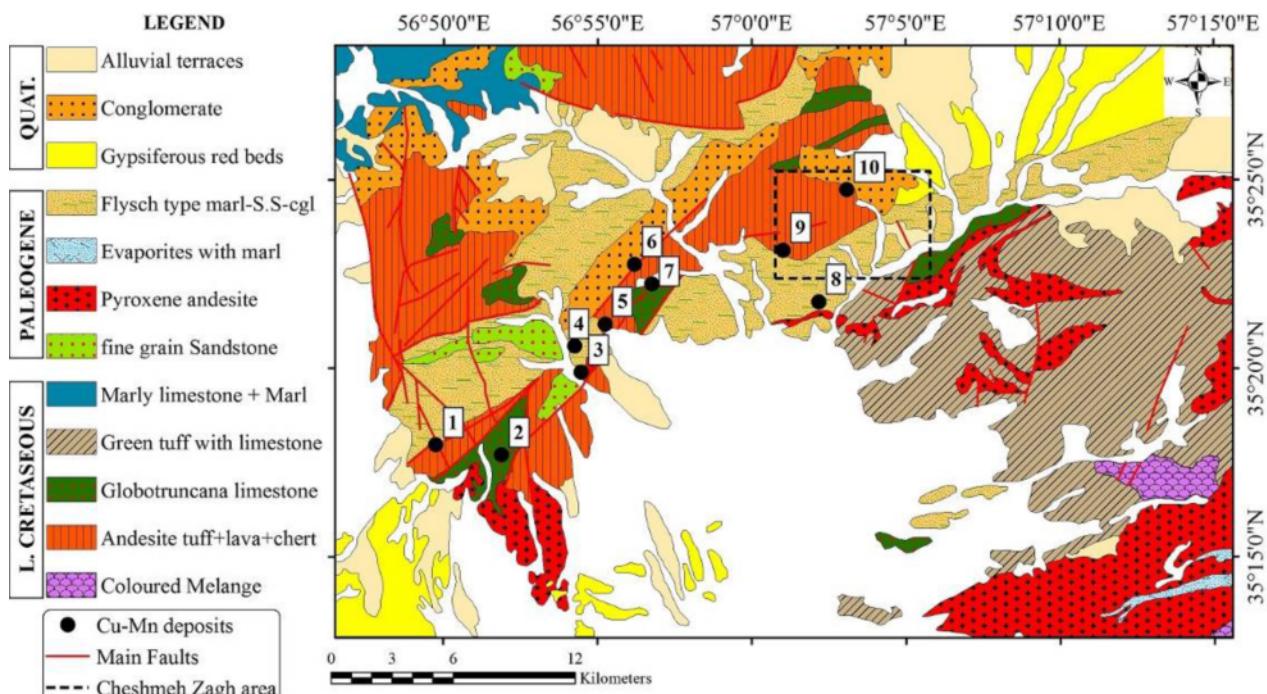
کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی در قالب دو پهنه اصلی عدسی شکل همراه با دگرسانی شدید آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی در شمال شرق و جنوب غرب منطقه و آثار پراکنده‌ای از کانی‌سازی مس (بیشتر در ارتباط با شکستگی‌ها و گسل‌ها) در بخش‌های بین این دو پهنه دیده می‌شود. مهمترین بخش

۳). در یک نگاه کلی، این دگرسانی خود دربرگیرنده پهنه کانی‌سازی شمال منطقه با دگرسانی آرژیلی شدید است. در بررسی‌های صحرایی، رنگ این واحد به دلیل شدت کلریتی-شدن، خاکستری مایل به سبز دیده می‌شود و در نمونه‌های دستی نیز حضور گستردۀ کلریت در متن سنگ و همچنین درزه‌ها و شکستگی‌های آن به خوبی قابل تشخیص است (شکل ۴ ث). در بررسی‌های کانی‌شناسی، کانی کلریت به صورت فراگیر در متن سنگ تشکیل شده است و تقریباً ۲۰ تا ۳۰ درصد زمینه را فرا می‌گیرد (شکل ۴ ج). در واحد داسیتی، کانی هورنبلند نیز به ندرت با اندازه‌های کمتر از ۱ میلیمتر دیده می‌شود. این کانی اغلب، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد به کلریت و ۱۰ درصد به اکسید آهن تجزیه شده و تنها قالبی از آن باقی-مانده است.

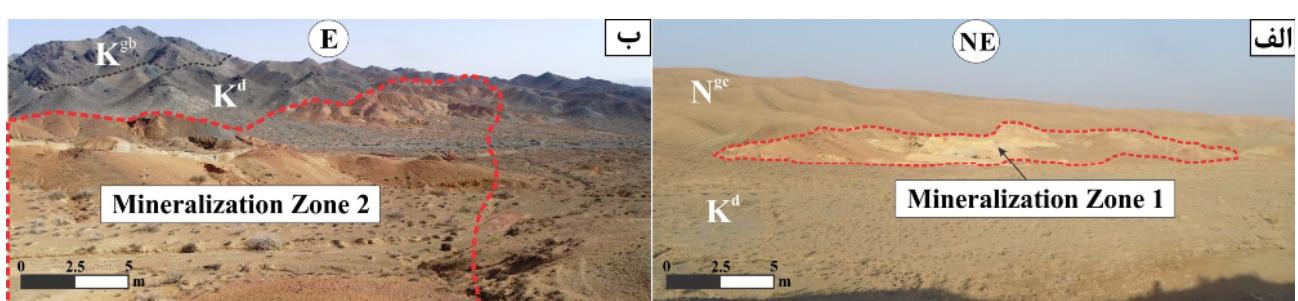
دگرسانی آرژیلی در منطقه چشمۀ زاغ، با شدت‌های مختلف، در بخش‌های شمالی، غربی و جنوب‌غربی و با گسترش‌های کم تا زیاد دیده می‌شود. این دگرسانی با توجه به شدت و همراهی آن با سایر دگرسانی‌ها، به سه زیر‌پهنه آرژیلی شدید، آرژیلی متوسط + اپیدوتی شدید و آرژیلی ضعیف + اپیدوتی قابل تفکیک است. دگرسانی آرژیلی شدید رخمنون بسیار کوچکی با گسترش کمتر از ۴۰۰ متر مربع در شمال منطقه دارد و بر بخشی از واحد داسیتی میزبان پهنه کانی-سازی شمال شرق منطقه اثر داشته است (شکل ۳). شدت دگرسانی به قدری است که از سنگ اولیه آثاری باقی نمانده و تنها رخمنونی از کانی‌های رسی به رنگ سفید مایل به زرد شکل گرفته است (شکل ۴ ج). دگرسانی آرژیلی متوسط + اپیدوتی شدید بخش جنوبی پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه را دربر می‌گیرد. سنگ میزبان این دگرسانی از نوع داسیت است. در این نوع دگرسانی، پلازیوکلازها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند و در فضای بین کانی‌ها، اپیدوت همراه با کمی کلریت دیده می‌شود (شکل ۴ ح). دگرسانی آرژیلی ضعیف + اپیدوتی ضعیف مربوط به واحد سینوگرانیت واقع در غرب منطقه است. در این واحد، ارتوکلازها به مقدار ۵ تا ۱۰ درصد و پلازیوکلازها کمتر از ۵ درصد به کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. کانی اپیدوت هم ناشی از تجزیه کانی پلازیوکلاز و هم در زمینه دیده می‌شود. مقدار تجزیه پلازیوکلاز به اپیدوت بین ۵ تا ۱۰ درصد تغییر می‌کند.

متمايز می‌کند (شکل ۶ الف). در ترانشه‌های حفر شده در این پهنه، آثاری از حضور کانی‌سازی مس به شکل کانی مالاکیت (در شکستگی‌ها) با فراوانی ۱ تا ۵ درصد همراه با مقادیر بالای پیریت با فراوانی ۵ تا ۳۰ درصد به شکل پراکنده، رگچه‌ای و توده‌ای دیده می‌شود.

کانی‌سازی شامل دو پهنه عدسی‌شکل همراه با دگرسانی شدید است (شکل‌های ۲ و ۳). پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه همراه با واحد داسیتی و با ابعاد به نسبت کم (۴۰۰ در ۱۰۰ متر مریع) رخنمون دارد که به احتمال بسیار بخش زیادی از آن با کنگلومرای عهد حاضر پوشانده شده است. رنگ زرد و دگرسانی شدید آرژیلی این پهنه را از سنگ‌های پیرامون



شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ کاشمر [۱۳] و خارتوران [۱۸]. که موقعیت کانسارها و نهشته‌های معدنی منطقه بر آن نشان داده شده است: ۱) کانسار منگنز نخلک، ۲) نهشته منگنز کوه قطربونه، ۳) کانسار مس-نقره گرماب پایین، ۴) نهشته مس سلمرود، ۵) کانسار کائولن اسبکشان، ۶) کانسار منگنز شمال شرق اسبکشان، نهشته مس ایزدپناه، ۸) کانسار منگنز کرمی (برگرفته از مرجع [۷] با تغییرات)، ۹) پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه چشم‌های زاغ و ۱۰) پهنه کانی‌سازی شمال منطقه چشم‌های زاغ.



شکل ۶ الف) پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه که با واحد کنگلومرایی پوشیده شده است، ب) پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه با گسترش بیشتر و عدسی‌شکل در دامنه جنوبی ارتفاعات منطقه. Kd: داسیت، Ngc: کنگلومرای نوزا و Kgb: گابرو.

بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلیمتر است و گاهی به ۱ میلیمتر نیز می‌رسد. اغلب آنها بین ۵ تا ۱۰۰ درصد به گوتیت تبدیل شده‌اند (شکل‌های ۷ ب و پ).

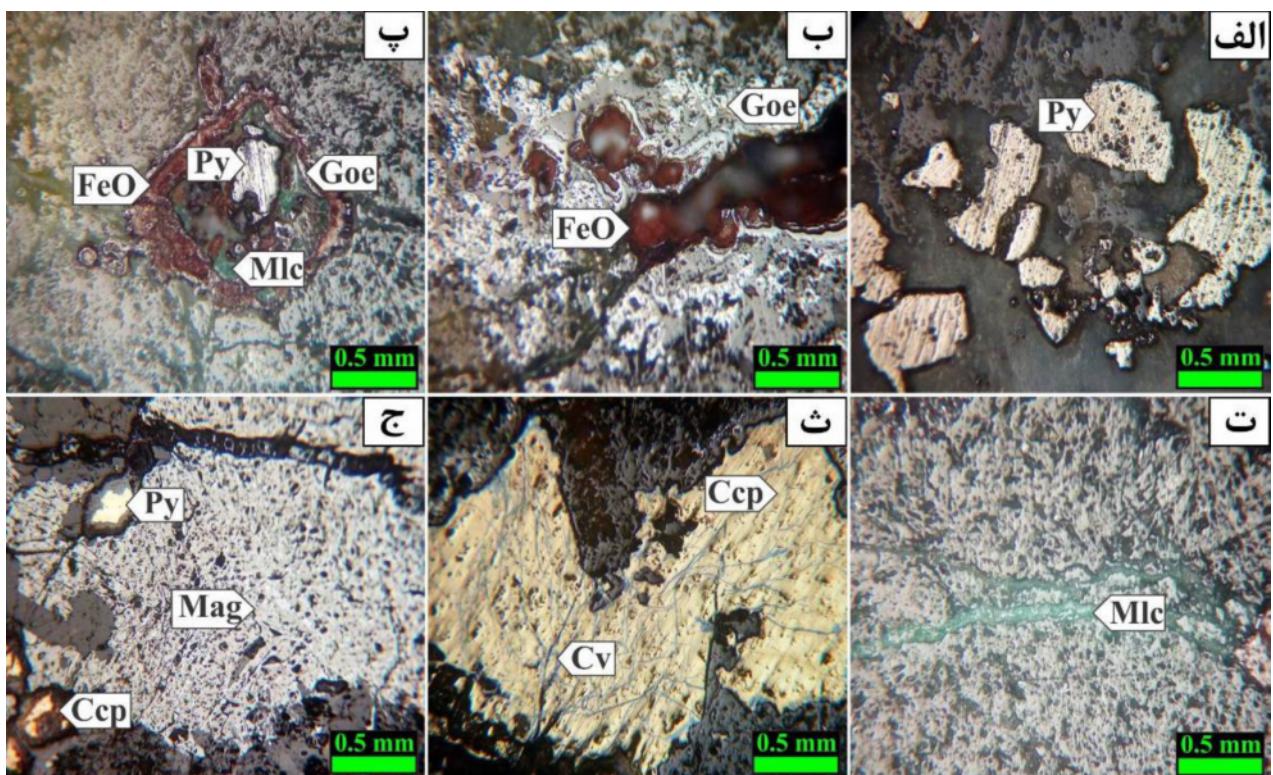
کالکوپیریت به صورت رگچه‌ای و پراکنده دومین کانی سولفیدی فراوان در منطقه است که با فراوانی بین ۰/۵ تا ۲ درصد در سنگ‌های آتشفسانی دیده می‌شود. اندازه آن از ۰/۱ میلیمتر تا ۳ سانتیمتر متغیر است. این کانی بیشتر به ملاکیت، کوولیت و هماتیت (بین ۲ تا ۱۰۰ درصد) تبدیل شده است (شکل‌های ۷ ت و ث). کانی مگنتیت در برخی رگچه‌ها همراه با پیریت و کالکوپیریت دیده می‌شود و مقدار آن گاهی به ۵ درصد می‌رسد. اندازه دانه‌های مگنتیت نیز تا ۳ سانتیمتر رسیده است و آثار مارتیتی شدن (تا ۱۰ درصد) در آنها دیده می‌شود (شکل ۷ ج).

اکسیدهای آهن ثانویه (گوتیت و هماتیت)، فراوانترین کانی‌های ثانویه منطقه هستند که از تبدیل کانه‌های سولفیدی و اکسیدی اولیه به ویژه پیریت شکل گرفته‌اند. این کانه‌ها به صورت پراکنده، رگچه‌ای و گاهی پرکنده حفره‌های سنگ‌های آتشفسانی دیده می‌شوند. کانی‌های ثانویه مس (ملاکیت و کوولیت) به طور محدود (کمتر از ۵ درصد) و به صورت پراکنده و رگچه‌ای دیده می‌شوند. روابط همبrijی کانی‌های فلزی و غیرفلزی اولیه و بررسی پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی نشان می‌دهد که کلریت و اپیدوت مهمترین کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی در منطقه هستند که بطور فراگیر از آغاز تا پایان مراحل کانی‌سازی حضور داشته‌اند. تشکیل کوارتز، سرسیت و کانی‌های رسی از محلول کانهدار در فازهای بعدی رخ داده است و بخش اصلی کانی‌سازی سولفیدی نیز همراه با آنها دیده می‌شود. کانی‌های ثانویه در اثر فرایند هوازدگی سطحی و شستشوی کانی‌های اولیه به شکل چشمگیری تشکیل شده‌اند (شکل ۸). حضور مقادیر بالای آنها به ویژه اکسیدهای آهن نشان می‌دهد که کانی‌سازی سولفیدی قابل توجهی در منطقه وجود داشته که ارزیابی دقیق‌تر آن نیازمند بررسی‌های عمقی است.

دومین پهنه کانی‌سازی عدسی‌شکل با راستای شرقی-غربی، گسترش بسیار (۲ کیلومتر در ۴۰۰ متر) و همراه با واحد داسیتی در دامنه ارتفاعات جنوب غرب منطقه رخنمون دارد (شکل ۶ ب) این پهنه نسبت به پهنه شمال شرق منطقه دارای دگرسانی متفاوت و کانی‌سازی ضعیفتری است و تنها رخنمون‌های محدودی از کانی‌سازی مس در قالب کانی ملاکیت پیرامون آن و با فاصله کم وجود دارد. در بخش‌های سطحی این پهنه، آثاری از دگرسانی سیلیسی-سرسیتی و آرژیلی ضعیف دیده می‌شود. مقدار اکسید آهن در بخش‌های سطحی این پهنه بیشتر بوده و شامل انواع هماتیت و گوتیت است. کانی‌سازی تنها در قالب کانه‌های پیریت موجود در متن سنگ (فراوانی بین ۱ تا ۳۰ درصد) و اکسیدهای آهن ناشی از اکسید شدن آنها (گوتیت و هماتیت) حضور دارد و شواهدی از کانی‌سازی اولیه و ثانویه مس حتی در ترانشه‌های حفر شده دیده نمی‌شود. افزون بر این دو پهنه اصلی، کانه‌های ثانویه مس چون ملاکیت و کوولیت و همچنین کانه‌های سولفیدی اولیه پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده و محدود به شکل رگه-رگچه همراه با برخی ساختارهای گسلی و شکستگی‌ها در بخش‌های مختلف منطقه و به ویژه در ارتفاعات و همراه با واحدهای آتشفسانی از نوع ریوداسیت دیده می‌شود. همراه با این بخش‌ها، مقادیر کمتری از کانی‌سازی‌های مگنتیت و اکسیدهای آهن نیز مشاهده می‌شود.

### کانی‌سازی و توالی همبrijی

کانی‌سازی در منطقه چشممه زاغ شامل انواع کانه‌های اولیه و ثانویه است. کانی‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت است و کانه‌های ثانویه ملاکیت، کوولیت و اکسیدهای آهن (گوتیت و هماتیت) همراه با کانی‌های باطله کلریت، اپیدوت، کوارتز، سرسیت و کانی‌های رسی دیده می‌شوند. پیریت فراوانترین کانی سولفیدی منطقه است که در مناطق دارای کانه‌زایی بسیار دیده می‌شود (شکل ۷ الف) و حتی در نمونه دستی قابل تشخیص است. این کانی در قالب بافت‌های رگچه‌ای، توده‌ای و پراکنده دیده می‌شود و مقدار آن در برخی رگچه‌ای، توده‌ای و پراکنده دیده می‌شود. اندازه کانی پیریت اغلب نمونه‌ها به بیش از ۳۰ درصد می‌رسد. اندازه کانی پیریت اغلب



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از کانه‌زایی در منطقه اکتشافی چشم‌های زاغ. (الف) پیریت (Py) در نمونه‌های برداشت شده از مناطق سطحی پهنه‌های سولفیدی، (ب) حضور کانی‌های ثانویه اکسید آهن (FeO) و گوتیت (Goe) در نتیجه تجزیه کانی پیریت اولیه، (پ) بلور پیریت که از لبه به اکسید آهن و گوتیت تجزیه شده است به همراه کانه‌سازی مالاکیت (Mlc) که بصورت ثانویه در حفره‌ها جانشین شده است، (ت) کانه رگه‌ای اکسید آهن و گوتیت تجزیه شده است به همراه کانه کالکوپیریت (Ccp) در حال تبدیل به کوولیت (Cv)، (ج) حضور گستردگی مگنتیت (Mag) که بیشتر درون شکستگی‌ها جانشین شده است، به همراه مقادیر کمتری از کانی‌های پیریت و کالکوپیریت. (نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۵]).

کانی‌ها	کانی‌های اولیه	زون اکسیدان
پیریت	---	---
کالکوپیریت	---	---
مگنتیت	---	---
اپیدوت	---	---
کلریت	---	---
کواونز	---	---
سرسیت	---	---
کانی‌های رسی	---	---
کوولیت	---	---
مالاکیت	---	---
هماتیت	---	---
گوتیت	---	---

شکل ۸ توالی همبری کانی‌های فلزی و غیرفلزی اولیه و ثانویه منطقه اکتشافی چشم‌های زاغ.

شد. از تعداد ۴۳ نمونه تجزیه شده، ۲۰ نمونه مربوط به پهنه شمال شرق (جدول ۱) و ۲۳ نمونه در ارتباط با پهنه جنوب غربی است (جدول ۲).

**زمین‌شیمی پهنه‌های کانی‌سازی**  
اکتشافات زمین‌شیمیایی در منطقه چشمه زاغ در قالب بررسی تغییرات پراکندگی عناصر در نمونه‌های خرد سنجی برداشت شده از دو پهنه کانی‌سازی شمال شرق و جنوب غرب انجام

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خرد سنجی برداشت شده از پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه چشمه زاغ.

شماره	X (UTM)	Y (UTM)	As (ppm)	Au (ppb)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
2	۵۰۴۵۴۷	۳۹۱۸۷۷۶	۶	-	۱۴۳	۳۸	۱,۱۲	۵	۱۴
3	۵۰۴۵۸۶	۳۹۱۸۸۵۴	۱۰۰	-	۱۳۸۳	۲۸۷	۱,۶۴	۶	۱۶۲
4	۵۰۴۶۶۶	۳۹۱۸۸۶۵	۵۰,۳	۲۲۳۰	۱۴۵	۳۶	۱۶,۵	۲۶۵	۲۲
82	۵۰۴۶۹۴	۳۹۱۸۸۳۱	۴۱,۹	۱۴	۸۷۸	۱۸۸	۰,۵۷	۱۲	۸۹
83	۵۰۴۶۷۳	۳۹۱۸۸۴۹	۸,۸	۷	۱۷۰۹	۱۵۱	۰,۰۲	۱۲	۱۲۴
84	۵۰۴۶۵۶	۳۹۱۸۸۲۴	۲۱,۷	-	۶۲۹	۴۸	۱,۴۶	۱۶	۷۱
85	۵۰۴۶۵۰	۳۹۱۸۸۴۲	۸۸,۹	۹۷	۱۵۹	۸۹	۳۲,۹	۳۶۲	۴۲
86	۵۰۴۷۳۴	۳۹۱۸۸۴۸	۱۷,۹	-	۸۳۹	۱۰۷	۳,۹۶	۱۱	۴۱
87	۵۰۴۷۴۱	۳۹۱۸۸۱۶	۴,۱	۵	۱۳۰	۵۳	۲,۷	۱۲	۴۶
88	۵۰۴۷۷۵	۳۹۱۸۸۳۸	۲,۵	-	۱۵۴	۴۲	۲,۱۶	۲۶	۱۰۲
89	۵۰۴۷۵۸	۳۹۱۸۷۹۳	۷,۳	۸	۹۰	۱۰۰	۱,۳۴	۹	۳۴
90	۵۰۴۷۳۵	۳۹۱۸۷۳۵	۱۷,۵	۱۹	۱۸۸	۱۲۵	۹,۱	۱۳	۶۱
91	۵۰۴۶۳۸	۳۹۱۸۷۸۴	۱۲,۶	-	۱۷	۴۲۱	۱,۷۹	۸	۱۲۰
92	۵۰۴۶۲۷	۳۹۱۸۸۶۸	۱۳۶,۹	۸	۷۶۲	۱۹۵۷	۹,۵	۴۰	۵۵۵
93	۵۰۴۶۱۶	۳۹۱۸۸۴۷	۳۲۲	۳۴۹	۴۰,۷	۷۸۴	۳۹,۹	۱۷۶	۲۸۲
94	۵۰۴۵۹۳	۳۹۱۸۸۲۷	۴۹,۳	۱۳	۱۰۷	۴۱	۲,۶۶	۲۶	۲۵
95	۵۰۴۵۶۶	۳۹۱۸۸۱۱	۶,۷	۵	۱۱۹	۱۸	۱,۴۹	۲۴	۲۸
96	۵۰۴۶۲۸	۳۹۱۸۸۲۹	۲۴	۱۲	۴۴۰	۴۷۵	۱,۷۸	۲۶	۱۳۵
97	۵۰۴۶۱۳	۳۹۱۸۸۱۲	۱۴,۹	۷	۴۸۳۹	۳۵۴	۳,۹	۱۱	۳۳۳
98	۵۰۴۵۹۱	۳۹۱۸۸۰۲	۱۸,۴	-	۱۳۵۴	۵۸۴	۱,۳	۱۱	۷۳۸
کمترین مقدار		۲,۵	۵	۱۷	۱۸	۰,۵	۵	۱۴	
بیشترین مقدار		۳۳۲	۲۲۳۰	۴۸۳۹	۱۹۵۷	۳۹,۹	۳۶۲	۷۳۸	
میانگین		۴۰	۲۱۳	۷۲۴	۲۹۵	۶,۸	۵۳	۱۵۱	

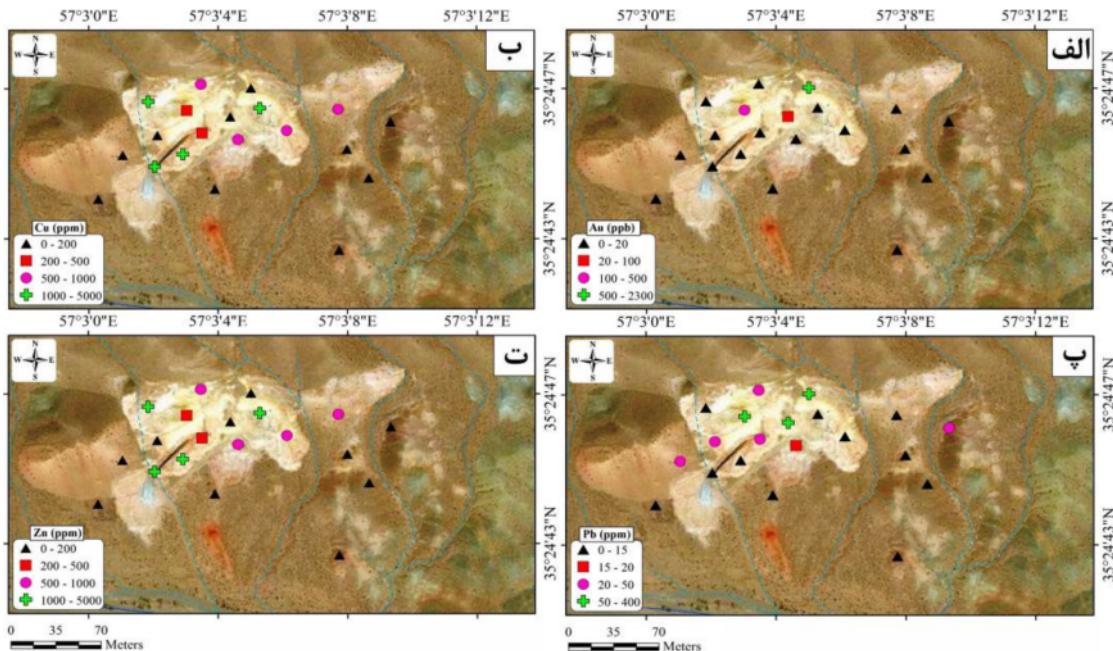
جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خرد سنجی برداشت شده از پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه چشمه زاغ.

شماره	X (UTM)	Y (UTM)	As (ppm)	Au (ppb)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
11	۵۰۱۹۴۴	۳۹۱۵۷۱۸	۲,۷	-	۱۱	۱۳۰	۱,۷	۶	۱۱
13	۵۰۲۰۵۷	۳۹۱۵۷۸۰	۳,۱	-	۱۵	۳۰	۱,۱۶	۶	۶
16	۵۰۱۲۴۷	۳۹۱۵۸۱۷	۸	۹	۱۹	۵۳	۱,۳۳	۶	۱۸
17A	۵۰۱۴۵۱	۳۹۱۵۸۴۵	۲,۳	۱۴	۱۰,۸	۳۰	۰,۷۹	۶	۶
17B	۵۰۱۴۹۳	۳۹۱۵۷۸۱	۲۰,۷	-	۵۹۰۱	۳۰	۶,۴	۱۶	۷۸
18	۵۰۱۹۸۴	۳۹۱۵۶۲۲	۲,۷	-	۱۵۵,۰	۴۰,۴	۱,۲۹	۱۲	۳۲
105	۵۰۱۷۳۷	۳۹۱۵۸۶۶	۲,۹	۵	۳۶	۹۲	۰,۸۱	۴۱	۳۱۷
106	۵۰۱۷۹۱	۳۹۱۸۸۳۳	۲,۲	۵	۱۴	۱۲۳	۰,۸۹	۱۵	۴-
107	۵۰۱۷۰۳	۳۹۱۵۸۰۰	۲,۵	۵	۸	۳۰	۱,۲	۱۳	۲۲
108	۵۰۱۸۱۳	۳۹۱۵۷۷۶	۱,۹	۵	۱۹	۲۵	۰,۹۷	۲۱	۲۵
109	۵۰۱۷۷۹	۳۹۱۵۷۲۲	۲,۸	۵	۴	۷۶	۱,۲۱	۱۳	۲۲
110	۵۰۱۹۰۱	۳۹۱۵۷۷۷	۲	۵	۳	۵۲	۰,۸	۱۰	۱۸
112	۵۰۱۹۷۳	۳۹۱۵۸۱۲	۲,۵	۵	۴	۱۱۰	۰,۹۵	۱۳	۲۹
115	۵۰۲۰۸۰	۳۹۱۵۸۳۹	۲,۴	۵	۷۶	۵۹	۲,۶۴	۲۱	۴۲
117	۵۰۱۵۱۸	۳۹۱۵۸۲۰	۲,۶	۵	۱۹	۱۲۹	۱,۸۵	۳۰	۳۴
118	۵۰۱۴۷۰	۳۹۱۵۹۲۸	۲۶,۱	۵	۱۱۱	۲۹۸	۲۹,۲	۲۱	۳۲
120	۵۰۱۳۲۳	۳۹۱۶۰۷۱	۲,۴	۵	۹	۱۵۴	۱,۰۴	۱۲	۲-
121	۵۰۱۳۰۸	۳۹۱۵۹۷۵	۲	۵	۲۳	۴۰	۰,۸۴	۱۲	۴۴
122	۵۰۱۲۲۵	۳۹۱۵۹۶۴	۱,۸	۵	۱۵	۱۷۳	۱,۸	۱۴	۶۲
123	۵۰۱۲۵۵	۳۹۱۵۸۷۹	۲,۲	۵	۶	۱۴۰	۰,۹۶	۱۱	۳۵
124	۵۰۱۱۷۰	۳۹۱۵۸۹۱	۲۴,۷	۵	۲۰	۳۰	۲۰,۹	۱۴	۳۵
125	۵۰۱۳۷۷	۳۹۱۵۸۰۵	۲,۵	۵	۲۹	۱۵۵	۱,۶۵	۱۵	۴-
126	۵۰۱۴۱۰	۳۹۱۵۷۸۰	۲,۸	۵	۷۳	۹۱۱	۱,۰۵	۱۷	۱۰۲
کمترین مقدار		۱,۸	۵	۳	۲۵	۰,۸۹	۶		
بیشترین مقدار		۲۶,۱	۱۴	۱۵۵,۰	۹۱۱	۲۹,۲	۴۱	۳۱۷	
میانگین		۵۴	۵۷	۹۶	۱۵۴	۲,۷	۱۵	۴۶	

نمونه‌هاست (شکل ۹ ت). کانی روی‌دار در بررسی‌های دیده نشد.

#### پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه

از پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه مورد بررسی، تعداد ۲۳ نمونه خرد سنجی برداشت و تجزیه شدند. متوسط مقدار عنصر مس در نمونه‌ها برابر با ۹۵۹ گرم در تن است. این مقدار بالا در ارتباط با مقدار بالای عنصر مس در نمونه شماره ۱۸ است (مقدار ۱۵۵۰.۵ گرم در تن، معادل ۱/۵ درصد) که از رخمنون بسیار محدود کانی‌سازی واقع در کرانه جنوب شرقی پهنه کانی‌سازی برداشت شده است. یک نمونه دیگر نیز دارای مقادیر به نسبت بالای مس معادل ۵۹۵۱ گرم در تن است که از بخش‌های مرکزی پهنه کانی‌سازی برداشت گردیده است. بر اساس بررسی‌های صحرایی، مقادیر پسین از پیریت به همراه دگرسانی سیلیسی در این نمونه دیده شده است. وجود ناهنجاری از عنصر به علت حضور کانی‌های اولیه و ثانویه مس-دار است. مقدار عنصر مس در ۲۱ نمونه دیگر کمتر از ۱۱۱ گرم در تن است (شکل ۱۰ الف). بررسی تغییرات مقدار طلا نیز در این پهنه، برای ۱۹ نمونه از ۲۳ نمونه برداشت شده انجام شد که بر اساس نتایج به دست آمده، این عنصر هیچ ناهنجاری ندارد و مقادیر آن در گستره محدود ۵ تا ۱۴ میلی‌گرم در تن تغییر می‌کند (شکل ۱۰ ب).

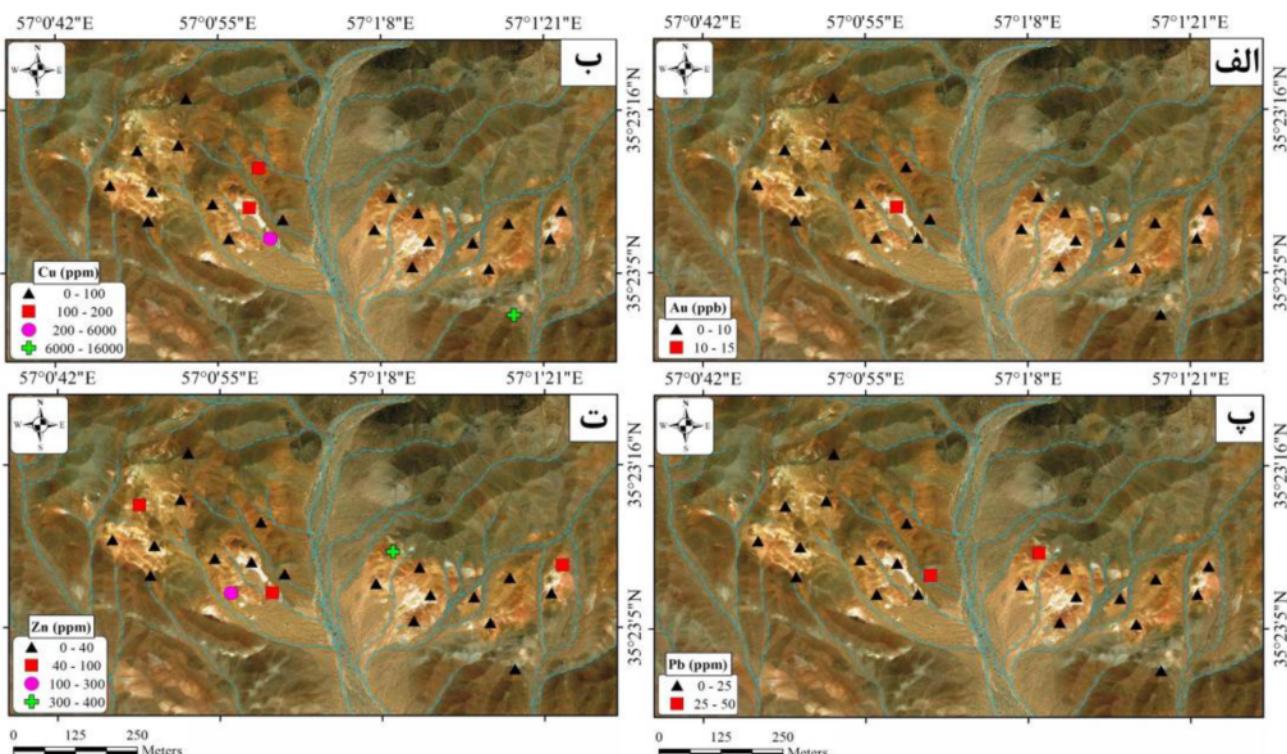


شکل ۹ بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر فلزی اصلی (مس، طلا، سرب و روی) در پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه اکتشافی چشممه زاغ. الف) تغییرات عنصر مس؛ چهار نمونه با مقادیر بالاتر از ۰/۱ درصد، ب) تغییرات عنصر طلا؛ دو نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۳۵۰ میلی‌گرم در تن، پ) تغییرات عنصر سرب؛ سه نمونه دارای مقادیر مقادیر بالاتر از ۱۰۰ گرم در تن، ت) تغییرات عنصر روی؛ چهار نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۲۸۰ گرم در تن.

#### پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه

عنصر مس در ۲۰ نمونه تجزیه شده از این پهنه دارای مقدار متوسط ۷۲۴ گرم در تن بوده و مقادیر آن بین ۱۷ تا ۴۸۳۹ گرم در تن تغییر می‌کند. از این میان، تعداد ۶ نمونه دارای مقادیر بیش از ۱۰۰۰ گرم در تن و ۴ نمونه نیز دارای مقادیر بیش از ۱۰۰۰ گرم در تن (۱۳۵۴ تا ۴۸۳۹ گرم در تن) هستند که این نشان‌دهنده پتانسیل بالا و مناسب این پهنه کانی‌سازی برای عنصر مس است (شکل ۹ الف). تغییرات عنصر طلا در ۱۸ نمونه از ۲۰ نمونه برداشت شده از این پهنه بررسی که از این میان، مقادیر در ۵ نمونه کمتر از حد تشخیص دستگاه بود. از بین سایر نمونه‌ها نیز، دو نمونه دارای مقادیر ۲۲۳۰ و ۳۴۹ میلی‌گرم در تن هستند و سایر آنها مقادیر کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در تن را دارند (شکل ۹ ب).

تغییرات عنصر سرب به نسبت پایین بوده (با مقدار متوسط ۵۳ گرم در تن) و در بیشتر نمونه‌ها، مقادیر کمتر از ۴۰ گرم در تن است. تنها در ۳ نمونه، این مقدار به بیش از ۱۰۰ گرم در تن می‌رسد و بیشترین مقدار آن برابر با ۳۶۳ گرم در تن است (شکل ۹ ب). عنصر روی نیز مانند سرب است و در اغلب نمونه‌ها، مقادیر کمتر از ۱۶۰ گرم در تن دارد. مقادیر عنصر روی تنها در ۴ نمونه بین ۷۳۸ تا ۲۸۲ گرم در تن تغییر می‌کند. نکته جالب توجه بالا بودن مقادیر عنصر مس در این



شکل ۱۰ بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر فلزی اصلی (مس، طلا، سرب و روی) در پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه اکتشافی چشمه زاغ: (الف) تغییرات عنصر مس؛ چهار نمونه با مقدار بالاتر از ۱۰ درصد، (ب) تغییرات عنصر طلا؛ دو نمونه دارای مقدار بالاتر از ۳۵۰ میلی‌گرم در تن، (پ) تغییرات عنصر سرب؛ سه نمونه دارای مقدار بالاتر از ۱۰۰ گرم در تن، (ت) تغییرات عنصر روی؛ چهار نمونه دارای مقدار بالاتر از ۲۸۰ گرم در تن.

آهن، بیشتر به صورت پیریت هستند، هر چند پیروتیت نیز در برخی ذخایر تشکیل می‌شود. ذخایر سولفید توده‌ای می‌توانند منابع مهمی از عناصر مس، سرب، روی، طلا و نقره باشند. این کانسارها پهنه‌بندی ویژه‌ای در کانی‌سازی و دگرسانی نشان می‌دهند که در ارتباط با تغییرات دمایی سیال کانه‌دار است. اغلب، هسته غنی از کالکوپیریت بوده و پهنه‌های لبه‌ای بیشتر شامل اسفالریت  $\pm$  گالن است. طلا و نقره نیز اغلب به صورت فراورده‌های جانبی با این نوع کانسار همراه است [۱۹].

ویژگی‌های منطقه چشمه زاغ با جدیدترین تقسیم‌بندی ذخایر سولفید توده‌ای آتشفسان زاد براساس نوع سنگ میزان [۲، ۳]، در جدول ۳ مقایسه شده است. این ویژگی‌ها شامل محیط زمین‌ساختی، سنگ‌های میزان و همراه، کانه‌های معدنی، کانه‌های باطله، عده عناصر فلزی و دگرسانی است. از آنجا که سنگ همراه و میزان در منطقه مورد بررسی به ترتیب از نوع داسیتی- ریوداسیتی و بازالتی- تراکی بازالتی است و سنگ‌های رسوی همزمان دیده نمی‌شود، می‌توان ادعا کرد که کانی‌سازی چشمه زاغ به احتمال بسیار از نوع دوگانه فلزی

تغییرات عناصر سرب و روی در نمونه‌های برداشت شده از این پهنه کانی‌سازی به نسبت پایین است، به طوری که متوسط مقدار سرب در نمونه‌های برداشت شده برابر با ۱۵ گرم در تن است. کمترین و بیشترین مقدار این عنصر برابر با ۶ و ۴۱ گرم در تن است که پتانسیل بسیار پایین این عنصر را نشان می‌دهد (شکل ۱۰ پ). متوسط مقدار عنصر روی نیز برابر با ۴۵ گرم در تن است. تنها در دو نمونه، مقدار این عنصر به ۳۱۷ و ۱۰۲ گرم در تن می‌رسد و سایر نمونه‌ها دارای مقدار روی کمتر از ۷۸ گرم در تن هستند. نمونه با بیشترین مقدار روی بیشترین مقدار سرب (۴۱ گرم در تن) را نیز دارد (شکل ۱۰ ت).

### بحث

ذخایر سولفید توده‌ای همراه با سنگ‌های آتشفسانی اغلب توده‌های چینه‌سان، عدسی‌شکل یا ورقه مانند هستند که در همبری بین واحدهای آتشفسانی یا واحدهای آتشفسانی - رسوبی تشکیل می‌شوند. کانی‌شناسی این ذخایر بسیار ساده است و می‌تواند شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت،  $\pm$  گالن  $\pm$  پیروتیت باشد. این ذخایر اغلب دارای بیش از ۹۰ درصد سولفید

سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد رابطه مستقیمی وجود دارد، به طوری که نوع دوگانه فلزی سولفید بالا به این تقسیم بندی اضافه شده است. در این نوع ذخیره سولفید توده‌ای، دگرسانی آرژیلی پیشرفت‌هه افزودن بر دیگر دگرسانی‌ها حضور دارد و غنی از طلاست [۲۲]. در ایران نیز کانسار باریکا در شرق سرداشت از نوع ذخایر سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد غنی از طلا معرفی شده است. این کانسار نیز از نوع دوگانه فلزی است و دگرسانی آرژیلی دارد [۲۳]. از این رو، با توجه به همه توضیحات، منطقه چشمی زاغ نیز می‌تواند شباهت به باریکا داشته و از نوع دوگانه فلزی غنی از طلا باشد که اثبات آن به طور قطع نیازمند حفاری، بررسی‌های عمقی و زمین‌شیمیایی زیرسطحی است.

(محیط کمان تا پشت کمان؛ [۲۰، ۲۱]) است. محیط زمینه ساختی (باشدگی پشت کمان) و دگرسانی‌های موجود (سریستی، سیلیسی، بیریتی و کلریتی) نیز می‌توانند این ادعا را تأیید کنند. اگرچه تفاوت‌هایی با این نوع ذخایر سولفید توده‌ای وجود دارد که مهمترین آن‌ها پایین بودن مقدار سرب و نبود باریت، اسفالریت و گالن است. اما گفتنی است که ویژگی‌های کانسار چشمی زاغ فقط براساس شواهد سطحی با دیگر ذخایر مقایسه شده است و به طور قطع اثبات دقیق این موضوع و بررسی بیشتر شکل و حالت کانی‌سازی و ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی نیازمند بررسی‌های زیرسطحی است. ناهنجاری طلا در منطقه چشمی زاغ قبل ملاحظه است. اغلب بین ناهنجاری طلا و حضور و گسترش دگرسانی آرژیلی در ذخایر

جدول ۳ مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار چشمی زاغ با انواع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفسان‌زاد [۲، ۳].

ویژگی‌های شاخص	کانسار چشمی زاغ	سیلیسی آواری فلزی (Bathurst)	دوگانه فلزی (Kuroko)	دوگانه مافیک (Noranda)	پلیتیک مافیک (Besshi)	مافیک-فرامافیک (Cyprus)
محیط زمین ساختی	پشت کمان	کمان و پشت کمان	کمان و بازشدگی پشت کمان	کمانهای نو ظهور اقیانوسی	پشت کمان، کافت‌های قاره‌ای	پشته‌های میان اقیانوسی، پشت کمان
سنگ‌های میزان و همراه	داسیت، ریولیت و شیل سیاه بازالت	داسیت، ریولیت و شیل سیاه	ریولیت، داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلزی	بازالت، آندزیت و آذرآواری	گذاره‌های بازالتی، آنزی-بازالتی، شیل سیاه، لای سنگ	بازالت‌های بالشی و سنگ‌های فرامافیک
کانه‌های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، پیروتیت	اسفالریت، گالن، پیریت، آرسنوبیریت، پیریت، تتراهریت	اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، کربنات	کلریت، کوارتز، سرسیت، اپیدوت	پیریت، کالکوپیریت، کوارتز، سرسیت، اپیدوت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلریت، سرسیت، اپیدوت	کربنات، کوارتز، سرسیت، باریت	باریت فراوان، کوارتز	کلریت، کوارتز، کربنات	کلریت، کوارتز، سرسیت، اپیدوت	کلریت، ڈاسپر، کلریت
عمده عناصر فلزی	Zn ± Au - Cu	Pb-Cu (Au) - Zn	Cu-Pb-Zn (Au-Ag)	Cu-(Zn)	Zn - Cu	Cu-Au
دگرسانی	-	سرسیتی، سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی، آرژیلی	سرسیتی، بیریتی، سیلیسی، کلریتی، کلریتی، سرسیتی، اپیدوتی، آرژیلی	کلریتی، سرسیتی، اپیدوتی	کلریتی، سرسیتی، اپیدوتی	کلریتی، سرسیتی، اپیدوتی
مثال از انواع مشابه در ایران	-	چاه گز [۲۴]	[۲۵]	[۲۶]	[۲۷، ۵]	شیخ عالی [۲۹] قرل داش [۳۰]

### قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۱۳۹۸/۲۱۷ ۲۴۹۵۴۸ مورخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۷ انجام شده است. نگارندگان مراتب سپاس خود را از حوزه معاونت محترم پژوهشی و فناوری این دانشگاه ابراز می‌دارند.

### مراجع

- [1] Piercey S.J., "A semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits", *Economic Geology* 110 (7) (2015) 1655-1660.
- [2] Franklin J.M., Gibson H.L., Jonasson I.R., Galley A.G., "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits", *Economic Geology* 100th anniversary (2005) 523-560.
- [3] Huston D.L., Pehrsson S., Eglington B.M., Zaw K., "The geology and metallogeny of volcanic-hosted massive sulfide deposits: Variations through geologic time and with tectonic setting", *Economic Geology* 105 (3) (2010) 571-591.
- [4] Rossetti F., Nasrabad M., Vignaroli G., Theye T., Gerdes A., Razavi M., MoinVaziri H., "Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran", *Journal of Terra Nova* 22 (1) (2010) 26-34.
- [5] Maghfouri S., Rastad E., Mousivand F., Lin Y., Zaw K., "Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudreh Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southwest Sabzevar basin, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 125 (2016) 1-21.
- [6] Mousivand F., Tashi M., Ghasemi H., "Occurrence of Nakhlak Manganese mineralization (Salam-roud) in the Late Cretaceous volcanic-sedimentary sequence, southeast of Shahroud, Sabzevar subzone (in Persian)", *Journal of Advanced Applied Geology* 26 (2017) 51-65.
- [7] Tashi M., Mousivand F., Ghasemi, H.A., "Besshi type copper-silver mineralization of volcanic massive sulphide in the Late Cretaceous volcanic-sedimentary sequence: A case example of

### برداشت

رخداد کانی‌سازی چشمی زاغ در قالب دو پهنه عدسی شکل با اندازه‌های متفاوت و آثار رگه- رگچه‌های پراکنده در بین آنها در مجموعه سنگ‌های آتشفسانی دوگانه (فلسی و بازی) کرتاسه پایانی در زیرپهنه سبزوار تشکیل شده است. سنگ همراه اصلی کانه‌زایی، واحدهای فلسی با ترکیب داسیتی هستند که دستخوش دگرسانی آرژیلی یا سیلیسی- سرسیتی شده‌اند. این دگرسانی‌ها توسط دگرسانی‌های گسترده‌ای از نوع کلریتی، اپیدوتی و پروپلیتی احاطه شده‌اند. ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی از مس، روی و طلا در نمونه‌های سطحی برداشت شده قابل توجه است. بررسی‌های زمین‌شناسی در مقیاس ناحیه‌ای و محلی، شکل هندسی ماده معدنی، نوع کانه‌های فلزی و باطله، انواع دگرسانی، سنگ همراه و بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که این کانی‌سازی در یک محیط کششی پشت کمانی ناشی از فرونش سنگ کره اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی تشکیل شده است. در این محیط آتشفسانی- رسوبی زیردریایی عمیق، به طور قطع عملکرد گسل‌های همزمان با فعالیت‌های آتشفسانی و رسوبگذاری وجود منبع گرمایی ناشی از توده‌های نفوذی در تشکیل کانه‌زایی موثر بوده است.

مقایسه منطقه چشمی زاغ با انواع کانسارهای سولفید توده- ای آتشفسان زاد نشان می‌دهد که این منطقه بیشترین شباهت را با نوع دوگانه فلسی معادل نوع کروکو دارد. البته اثبات قطعی این موضوع نیاز به بررسی‌های زیرسطحی تفصیلی دارد. با شواهد سطحی کنونی به نظر می‌رسد که هم اکنون در افق‌های بالای کانی‌سازی قرار داریم و برای مشاهده کانی‌سازی اولیه و بررسی‌های ساختی و بافتی و بررسی‌های پهنه‌بندی زمین-شیمیایی باید حفاری در منطقه انجام شود. با توجه به گسترش کانه‌زایی مس و منگنز در افق‌های چینه‌شناسی ویژه توالی آتشفسانی- رسوبی کرتاسه پایانی در جنوب غربی سبزوار، اکتشاف هرچه بیشتر این نوع کانی‌سازی در این بخش از شمال شرق ایران توصیه می‌شود.

- [19] Gibson H.L., Allen R.L., Riverin G., Lane T.E., "The VMS model: Advances and application exploration targeting". In: Ore Deposits and Exploration Technologies, Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration (2007) 713-730.
- [20] Kazemi Z., Ghasemi H., Mousivand F., "Late Cretaceous subduction-related magmatism on the northern edge of Lut block, NE Iran", Journal of the Geological Society 176 (3) (2019) 530-552
- [21] Ghasemi H., Kazemi Z., Mousivand F., Griffin W., (2018) "Whole-rock geochemistry and mineral chemistry of the Late Cretaceous dacites in SW Sabzevar: constrain on their origin and tectonic setting", Petrology 9 (35) (2018) 79-100.
- [22] Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R., "Volcanogenic massive sulphide deposits", Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5 (2007) 141-161.
- [23] Tajadin H., Rastad E., yaghoubpour A.A., Mohajjal M., "Stages of Formation and Development of Barika Gold-rich Massive Sulfide Deposit, East of Sardasht, Northwest of Sanandaj-Sirjan Metamorphic Zone: Based on Study of Structure, Texture and Micrometry of Fluids inclusion (in Persian)", Journal of Economic Geology 2 (1) (2010).
- [24] Mousivand F., Rastad E., Peter J.M., Solomon M., "Bathurst type zinc-lead-copper Volcanic Massive Sulfide mineralization in the Chah Gaz area, south of Shahr-e-Babak, The South Sanandaj-Sirjan Zone (in Persian)" Journal of Earth Sciences 82 (2011) 151-164.
- [25] Nazari M., Yaghoubpour A., Madani H., "Darin Barite deposit in Kashan (in Persian)", Fourth Iranian Mining Symposium, Tarbiat Moallem University, Tehran, (1991) 125-106.
- [26] Badrzadeh Z., "Petrology and geochemistry of Pillow-basaltic lava in the northwestern of Jiroft, with an approach to their copper-zinc mineralization (VMS) (in Persian)", Ph.D. thesis, University of Tarbiat Modares, Tehran (2009).
- Lower Gharmab deposit, southeast of Shahroud (in Persian)", Journal of Economic Geology 9 (1) (2017).*
- [8] Tashi M., "Mineralogy, Geochemistry and Occurrence Pattern of Lower Gharmab Copper-Silver and Asbkeshan Deposits, Khartouran Region, Southeast of Shahroud (in Persian)", M.S thesis, University of Shahroud, Iran, (2015).
- [9] Shafaii Moghadam H., Li X.H., Santos J.F., Stern R.J., Griffin W.L., Ghorbani G., Sarebani N., "Neoproterozoic magmatic flare-up along the N. margin of Gondwana: The Taknar complex, NE Iran", Earth and Planetary Science Letters 474 (2017) 83-96.
- [10] Ghazi J. M., Moazzen M., "Geodynamic evolution of the Sanandaj-Sirjan zone, Zagros orogen, Iran", Turkish Journal of Earth Sciences 24 (5) (2015) 513-528.
- [11] Aghanabati S.A., "Geology of Iran (in Persian)", Geological survey of Iran Press (2004) 586 p.
- [12] Mirzeinalipour Yazdi S.H., Pourkermani M., Arian M., Almasian M., "Geometric analysis of fractures in Sabzevar ophiolitic zone (in Persian)" Journal of Advanced Applied Geology 4 (2011) 359-371.
- [13] Eftekharnejad j., Aghanabati A., Hamzehpour A., "Geological map of 1: 250000 Kashmar (in Persian)", Geological Survey of Iran (1976).
- [14] Ghaemi F., Mousavi Harami R., "Geological map of 1: 100000 Darouneh (in Persian)", Geological Survey of Iran (2006).
- [15] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American mineralogist 95 (1) (2010) 185-187.
- [16] Mousivand F., Rastad E., Peter J.M., "Time and Spatial Range of VMS Volcanic Masses of Iran and Their Geodynamic Location (in Persian)" 31st Conference of Earth Sciences, Tehran, Geological Survey of Iran (2012).
- [17] Mousivand F., Rastad E., Peter J.M., Maghfouri S., "Metallogeny of volcanogenic massive sulfide deposits of Iran", Ore Geology Reviews 95 (2018) 974-1007.
- [18] Manouchehri M., Navaii A., Etemadi N., Afshar A., Hoseyni Z., Ghomashi A., Moghtader M., "Geological map of 1: 100000 Khartouran (in Persian)", Geological Survey of Iran (1986).

*mineralogy and genesis of the Sheikh Ali Copper Massif sulfide ore deposit (southeast of Dolatabad) (in Persian)", M.S thesis, University of Tarbiat Modares, Tehran (1998).*

[30] Emamalipour A., Masoudi j., "First case of Cyprus type massive sulfide mineralization in Ghezelbash - Khoy area (in Persian)", The first conference of the Iranian Geological Society, Tehran (1997).

[27] Mousivand F., Rastad E., Hoshino K., Watanabe M., "The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: First recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran" Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry 183 (2007) 297-315.

[28] Maghfouri S., Rastad E., Mousivand F., "Nodeh volcanic mass sulfide deposit (VMS), an example of Besshi-type deposits, southwest of Sabzevar (in Persian)", Journal of Earth Sciences 94 (2014) 73-86.

[29] Monazami Miralipour A., "Geology,