

## زمین شیمی و پیدایش کانیه‌های گروه آلومینیم، فسفات-سولفات (APS) در زون دگرسانی آرژلیک پیشرفته، شمال غرب شیرکوه، یزد

بتول تقی‌پور<sup>۱</sup>، فرید مر

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۱۳، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۴/۲۷

### چکیده

توده‌های لوکوکرات با ترکیب گرانیته تا گرانودیوریتی در شمال غرب باتولیت شیرکوه، واحدهای رسوبی منطقه شامل کنگلومرا (کرتاسه پایینی)، ماسه‌سنگ و شیل-ماسه‌سنگهای تریاس-ژوراسیک را تحت تأثیر قرار داده‌اند. توده‌های لوکوکرات در پی ایجاد دگرگونی مجاورتی در منطقه، دگرسانی گرمابی وسیعی را در این سنگهای میزبان به وجود آورده‌اند. فازهای دگرسانی تأخیری بیشتر ماسه‌سنگهای آرکوزی سازند سنگستان را تحت تأثیر قرار داده و سبب شکل‌گیری زونهای دگرسانی پروپلیتیک، کوارتز-سریسیت، آرژلیک پیشرفته و سیلیسی در منطقه شده است. زون کوارتز-سریسیت گسترده‌ترین زون دگرسانی در این منطقه است. زون دگرسانی آرژلیک پیشرفته با مجموعه کانیه‌های زیر مشخص شده است: ژاروسیت، آلونیت و فیروزه، که این کانیه‌ها جزئی از کانیه‌های آلومینیم، فسفات-سولفات دار (APS) می‌باشند. با در نظر گرفتن مجموعه کانیه‌های ژاروسیت، آلونیت و فیروزه و واکنشهای رخ داده بین این کانیه‌ها، دگرسانیهای این منطقه در یک سامانه با فوگاسیته بالای اکسیژن و اسیدیته بالا شکل گرفته است.

واژه‌های کلیدی: شیرکوه، توده‌های لوکوکرات، دگرسانی، ژاروسیت، فیروزه.

### مقدمه

نفوذی علی آباد - دره زرشک را با روش K-Ar و  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  انجام داده‌اند. اسلامی‌زاده [۴] سنگهای آذرین علی آباد- دره زرشک را از دیدگاه پترولوژی و زونهای دگرسانی مس پورفیری بررسی کرده است.

مکی‌زاده [۵] در رساله دکتری خود اسکارنهای استان یزد شامل این منطقه را مطالعه نموده است. تقی‌پور [۶] نیز کانی-شناسی و زمین‌شیمی دگرسانیهای گرمابی زون ماگماتیسیم سنوزوئیک ایران مرکزی را بررسی کرده است. در این مقاله هدف کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و تعیین ویژگیهای فیزیکوشیمیایی سیالات دگرسان کننده وابسته به لوکوگرانیته‌های منطقه دامک است.

منطقه دامک (علی آباد) در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب یزد بین طولهای جغرافیایی شرقی ۴۸°، ۵۳° تا ۵۴°، ۵۳° و عرضهای جغرافیایی شمالی ۲۸°، ۳۱° تا ۴۱°، ۳۱° واقع شده است. دسترسی به محدوده مورد مطالعه از مسیر یزد-تفت-علی آباد (جاده اصلی) امکان‌پذیر است.

از میان مطالعاتی که تا کنون در ارتباط با توده‌های نفوذی و دگرسانیهای وابسته در منطقه دامک صورت گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: خلیلی و همکاران [۱] اولین بار وجود گارنت و آلونیت را ناشی از فعالیتهای گرمابی در دامک گزارش کرده‌اند. رضائیان و همکاران [۲] پیدایش فیروزه را از دیدگاه واکنشهای شیمیایی محتمل و کانی‌شناسی مورد بررسی قرار داده‌اند. زراسوندی و همکاران [۳] تعیین سن توده‌های

## روش مطالعه

پس از انجام مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری، مطالعات پتروگرافی با استفاده از میکروسکپ نوری مدل BH2 انجام گرفت. برای شناخت فازهای کانیاپی از پراش سنجی پرتو X (XRD) و برای تعیین ترکیب زمین شیمیایی کانیهایی حاصل از دگرسانی با استفاده از فلورسانس پرتو X (XRF) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان (دستگاههای S-4 بروکر) استفاده شده‌اند. برخی از تجزیه‌های XRF نیز توسط شرکت کیان طیف زاگرس انجام شده است. آنالیزهای نقطه ای توسط دستگاه الکترون میکروپروب مدل کامکا SX-50 در دانشگاههای کالسروهه (آلمان و استراسبورگ (فرانسه) انجام گرفت.

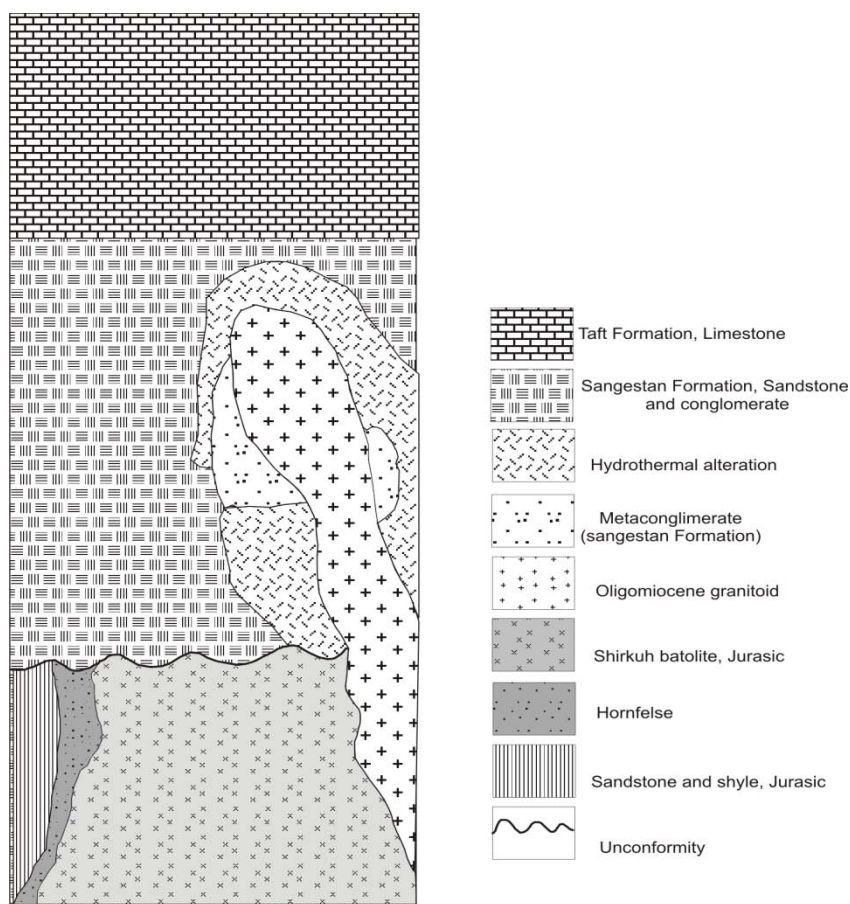
## زمین‌شناسی عمومی منطقه

این منطقه بخشی از نوار ماگماتیسم سنوزوئیک ایران مرکزی در شمال غرب شیرکوه را تشکیل می‌دهد. پی‌سنگ منطقه را سازند نای‌بند تشکیل می‌دهد. نبوی [۷] سن این گرانیات را ژوراسیک در نظر گرفته است. فورستر [۸] با استفاده از روش Rb-Sr سن گرانیات شیرکوه را  $175 \pm 10$  میلیون سال تعیین نموده است. با توجه به داده‌های ایزوتوپی و سن نسبی می‌توان این باتولیت را به کوه‌زایی کیمیرین پسین نسبت داد. فرسایش باتولیت شیرکوه و پی‌سنگ میزبان پس از فاز کوه‌زایی کیمیرین پسین سبب انباشت ضخامت زیادی از ماسه سنگ - کنگلومرای (سازند سنگستان) در گودالهای گسلی غرب باتولیت شده است [۵].

سازندهای سنگستان و تفت (آهکهای اربیتولین‌دار) با ناپیوستگی آذرین‌پی، بر روی باتولیت شیرکوه (پس از کرتاسه) قرار دارند. در این میان فازهای تأخیری جوانتر از گرانیات شیرکوه [۹] توده‌های نفوذی بزرگ لوکوکرات و توده‌های کوچک ساب ولکانیک گرانیاتوئیدی را در منطقه علی‌آباد تشکیل داده و تمام واحدهای پیشین را قطع کرده‌اند (شکل ۱). زراسوندی [۱۰] با استفاده از روش K-Ar سن مطلق ۳۰ میلیون سال را برای گرانیتهای و سن بخشهای جوانتر کوارتز مونزونیت - گرانودیوریت را  $14 \pm 4/6$  میلیون سال تعیین کرده است.

## پی‌جوییهای صحرایی منطقه علی‌آباد

توده‌های نفوذی منطقه مورد بررسی در غرب باتولیت گرانیتهی شیرکوه قرار دارند. در جنوب منطقه دو توده جداگانه رخمون دارند. این توده‌ها دو سازند عمده منطقه یعنی ماسه سنگها و شیل‌های تریاس - ژوراسیک و کنگلومراها - ماسه سنگهای (سازند سنگستان) را قطع کرده‌اند، و باعث رخداد دگرسانیهای گرمایی در این واحدها (به‌ویژه سازند سنگستان) شده‌اند. توده‌های نفوذی منطقه دامک کاملاً لوکوکرات هستند، دگرسانی و شکستگیهای زیادی فراوان در این توده‌ها دیده می‌شود. ترکیب این توده‌ها از گرانیات تا گرانودیوریت و تونالیت تغییر می‌کند. بافت گرانوفیری، مرتار، پورفیروئید، میکروگرافیک و گرانولر متوسط در این سنگها دیده می‌شود. توده‌های نفوذی گرانودیوریتی - تونالیتی در این منطقه، سازند سنگستان را تحت تأثیر قرار داده‌اند. تأثیر توده نفوذی سبب دگرسانی گسترده در منطقه دامک شده است. زونهای دگرسانی مشاهده شده در این منطقه شامل پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی می‌شود. زون کوارتز - سریسیت بیشترین بخش دگرسانی را در منطقه تشکیل می‌دهد. سریسیتی شدن فلدسپاتهای سازنده کنگلومرا و به‌ویژه ماسه سنگهای آرکوزی به‌طور گسترده دیده می‌شود. زون آرژیلیک در این منطقه توسعه کمتری دارد و زون آرژیلیک پیشرفته با تشکیل کانیهایی آلونیت - ژاروسیت و فیروزه درون زون فیلیک پراکنده است. آلونیت به رنگ سفید تا سبز خیلی کم‌رنگ با جلای خاکی، شکست صدفی به گونه رگه‌چهای تا قلوهای دیده می‌شود. پیدایش ژاروسیت فراگیر است. این کانی به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد و حنایی با رخداد رگه‌چهای دیده می‌شود. فیروزه به صورت قلوهای تا رگه‌چهای همراه با آلونیت، ژاروسیت و کوارتز مشاهده می‌شود. در مشاهدات صحرایی رخداد مس تنها به‌صورت آغشتگی سنگها با مالاکیت، آزوریت نمایان است. اکسیدهای آهن (به‌خصوص پیریت‌های تمام شکل‌دار (مکعبی) که همه به گوتیت تجزیه شده‌اند) همراه با کوارتز تداعی‌کننده بخش کلاهد آهنی است [۵]. این بخش در همراهی با کانیهایی اسکارن (گارنت) است. برداشتهای صحرایی و مشاهدات کانی‌شناختی نشان می‌دهد که دگرسانیهای گرمایی بعد از پدیده دگرگونی مجاورتی (اعمال شوک گرمایی و شکل‌گیری اسکارنها) در یک گستره فراگیر (شامل توده نفوذی، سنگهای اسکارنی شده و همچنین



شکل ۱. واحدهای زمین‌شناسی مختلف در منطقه دامک، موقعیت لوکوگرانیته‌ها نسبت به باتولیت شیرکوه، بدون مقیاس [۵].

دامک میکروگرافیک، پورفیروئید، گرانوفیریک و مرتار (ساروجی) است. در این ارتباط هم رشدی نیمه شعاعی کوارتز درون آلکالی فلدسپات به‌دور یک هسته آلکالی فلدسپات (شکل ۲. الف) و یا هم رشدی کوارتز با آلکالی فلدسپات‌ها رایج‌ترین بافت در توده دامک است. رشد شعاعی کوارتز در آلکالی فلدسپات پیرامون فنوکریستهای کوارتز با حواشی گردشده دیده شده است. در این سنگها آلبیت با ماکل صفحه شطرنجی نیز دیده می‌شود (شکل ۲. ب). جابه‌جایی در سطوح ماکل و خم‌شدگی ماکل در فلدسپات‌ها، وجود درشت بلورهای کوارتز با خاموشی موجی و شکستگیهای فراوان از پدیده‌هایی است که در سنگهای نفوذی با بافت مرتار دیده می‌شود. توالی تخریبی سازند سنگستان (کنگومرا، میکروکنگومرا و ماسه سنگهای قرمز) در محدوده مورد مطالعه از دیدگاه

سنگهای دگرسان‌شده دور از اسکارنها) عمل کرده‌اند. بنابراین در پی شکل‌گیری اسکارن سیالات گرمایی تأثیر داشته‌اند و گروه کانیهای ویژه را پدید آورده‌اند.

#### پتروگرافی توده‌های نفوذی و دگرسانیهای گرمایی

##### توده‌های نفوذی

بیشتر توده‌های نفوذی منطقه دامک لوکوکرات بوده و ترکیب شیمیایی آنها از گرانیته تا گرانودیوریت در نوسان است [۹]. بر مبنای شواهد پتروگرافی کانیهای اصلی این سنگها عبارتند از: کوارتز، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکویت، آمفیبول به مقدار کم (هورنبلند سبز) و در بخشهای مافیک‌تر کلینوپیروکسن نیز دیده می‌شود. کانیهای فرعی این سنگها آپاتیت، زیرکن، کانیهای اپک و اسفن است. بافت توده نفوذی

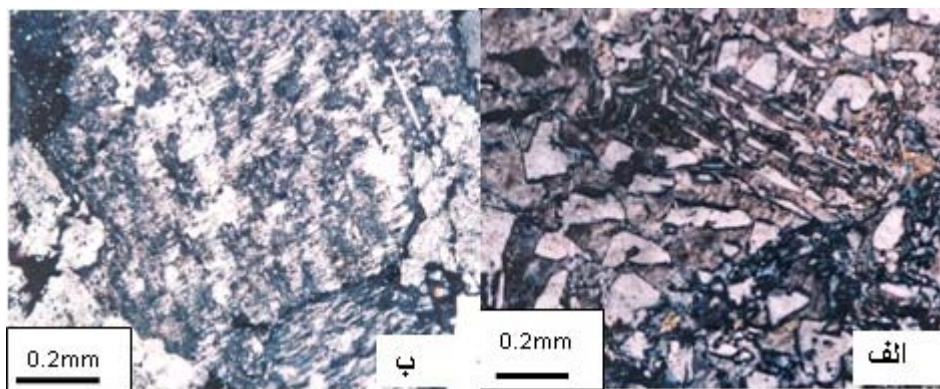
می‌شوند (شکل ۳.الف). در برخی موارد بلورهای مسکویت به طور بخشی به شکل جانیشینی در ارتوکلاز مشاهده شده‌اند. در آرکوزها دگرسانی کامل فلدسپاتها به سریسیت و همچنین تجمع مسکویت همراه کوارتز در برخی نواحی توسعه دارد (شکل ۳.ب)، در دایکهای آذرین و زبانه‌ها نیز سریسیتی شدن شدید فنوکریستها دیده می‌شود.

از دیگر پدیده‌های مرتبط با سریسیتی شدن جانیشینی کامل بیوتیت توسط مسکویت و کانی کدر است (شکل ۳.پ) که در توده نفوذی دیده می‌شود. پیدایش کروندوم همراه با سریسیت یکی از موارد نادر در میکروکنگلومرهای دگرسان این منطقه است (شکل ۳.ت). شکل ویژه بلورهای کروندوم یعنی بافت عدم تعادل آنها با سریسیت‌های زمینه نشان می‌دهد که آنها به خرج سریسیت در مرحله پیشرفته‌تر دگرسانی و در دمای بالاتر شکل گرفته‌اند. رنگ آبی کروندوم نشان می‌دهند که از نوع سافیر هستند.

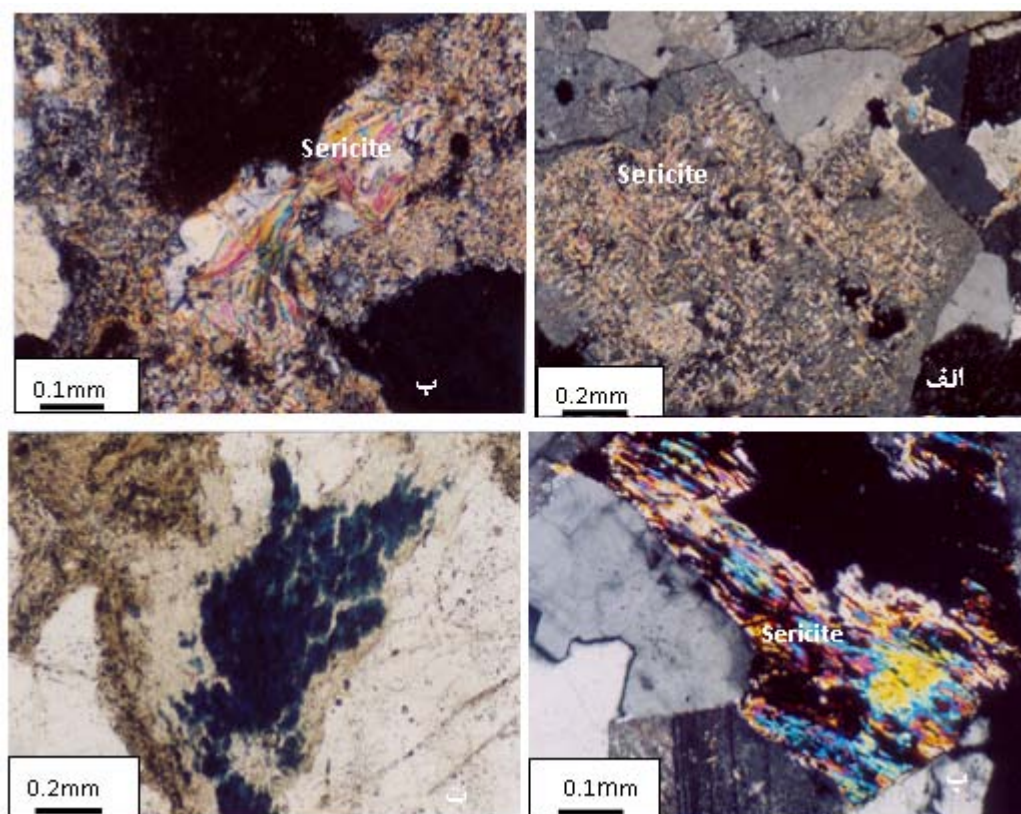
سنگ‌شناسی تخریبی شامل کوارتزیت، سیلتستون و کمتر شیل و سنگ آهک از سازندهای رسوبی ژوراسیک می‌شود. از نمودهای عمده دگرسانی منطقه دامک (توده نفوذی و سنگهای کنگلومرایی تا ماسه سنگی‌های آرکوزی) می‌توان به سریسیتی شدن، سیلیسی شدن (به صورت توأم یا جداگانه) و دگرسانی اسید-سولفات (شکل‌گیری ژاروسیت-آلونیت و به دنبال آن فیروزه) اشاره کرد، همچنین دگرگونی از نوع اسکارن نیز (تنها در قلوه‌های آهکی کنگلومرها) در این منطقه دیده شده است. ماسه‌سنگهای سنگستان ترکیب سنگ‌شناختی آرکوز دارند و دگرسانی شدیدی را متحمل شده‌اند.

### سریسیتی شدن

سریسیتی شدن فراگیرترین نمود دگرسانی در منطقه مورد مطالعه است. فلدسپاتهای قلیایی با الگوهای متفاوتی سریسیتی شده‌اند [۱۱]. توسعه سریسیت ترجیحاً در امتداد رخیهای آلبیت و ارتوکلاز و بخش یکنواخت آن در تمام بلورها دیده



شکل ۲. الف، بافت میکروگرافیک در توده نفوذی دامک (Xpl). ب. ماکل صفحه شطرنجی در توده نفوذی دامک (Xpl).



شکل ۳. الف. سریسیتی شدن تدریجی یک پلاژیوکلاز، جهت‌گیری ترجیحی بلورهای مسکویت دانه‌ریز در امتداد رخ مشهود است (xpl). ب. گرد هم‌آرایی کوارتز و مسکویت‌های درشت‌دانه در بخشی از ماسه‌سنگ‌های آرکوزی با دگرسانی کوارتز-سریسیت (xpl). پ. جان‌شینی کامل بیوتیت در لوکوگرانیت توسط مسکویت و کانیهای اپاک (xpl). ت. بلورهای کروندم بی‌شکل با حواشی گردشده، به نظر می‌رسد در امتداد ترجیحی بلورهای ریز سریسیت و به خرج آنها در حال رشد هستند (ppl).

#### آرژبلیک پیشرفته

تبدیل شده‌اند (شکل ۴ پ). قطع‌شدگی بلورهای کوارتز (توسط ژاروسیت‌های رگه‌چهای) با خاموشی موجی (در بخشهای سریسیتی‌شده و همچنین حاوی بافت مرتار در توده نفوذی) نشان می‌دهد که ژاروسیت‌سازی در دامک تا بعد از یک فاز فشاری درون توده نفوذی ادامه داشته است. که این امر مستلزم شناخت سازوکار سامانه گرمایی توده نفوذی (رخداد پدیده هیدروفراکچنینگ) دامک است.

تشکیل فیروزه نیز ارتباط تنگاتنگ با سنگهای سریسیتی‌شده نشان می‌دهد. این کانی ریز بلورین بوده و در مقاطع نازک میکروسکوپی در ppl با برجستگی ضعیف قهوه‌ای-زرد کم رنگ و در xpl با بی‌رفرنژانس بسیار ضعیف (خاکستری تا خاکستری تیره سری اول) دیده می‌شود (شکل ۴.ت).

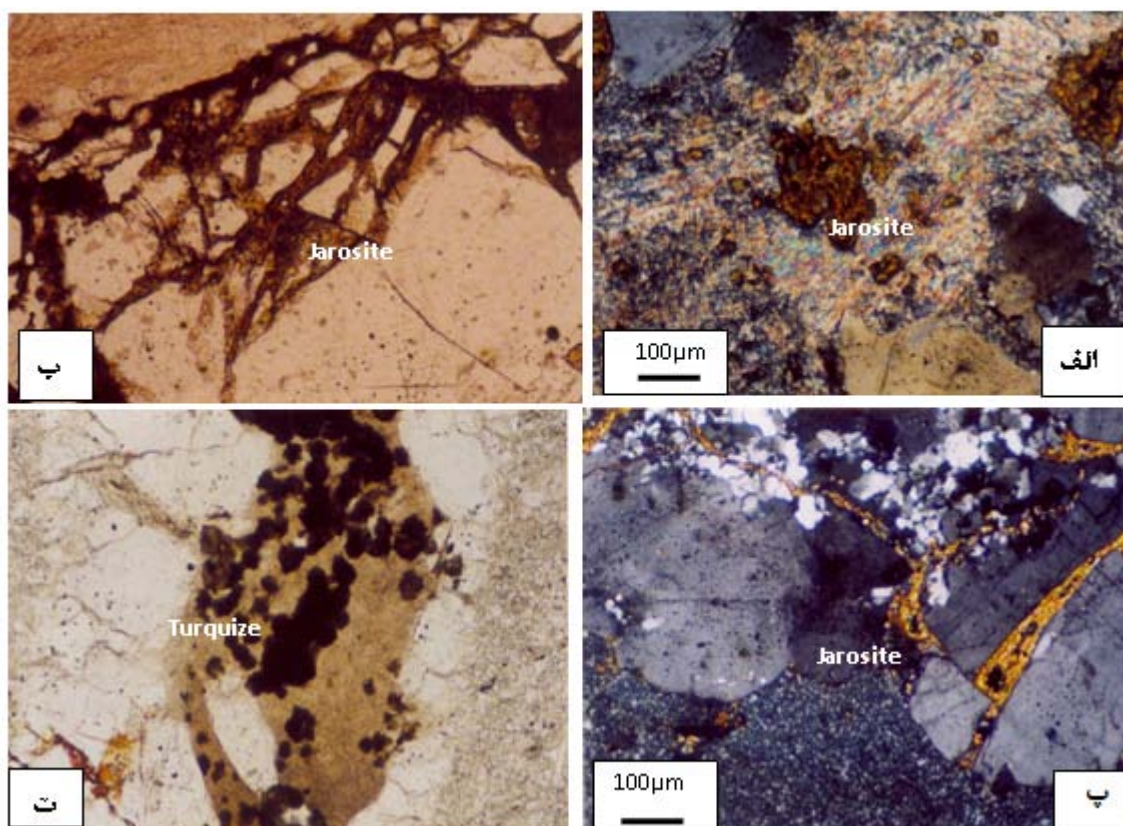
در زون دگرسانی سریسیتی، هم‌یافتی ژاروسیت دیده شده است. ژاروسیت با رنگ زرد عسلی خاص (ppl)، برجستگی بالا و رنگهای تداخلی سری بالا دیده می‌شود. ارتباط تنگاتنگ این کانی به شکل بلورهای پراکنده درون بخشهای سریسیتی شده دانه‌ریز، یا پرکننده فضای خالی بلورهای مسکویت واضح است، ژاروسیت به شکل منفرد درون فلدسپاتهای سریسیتی شده (سودومورف) هم دیده می‌شود (شکل ۴ الف). درون ماسه‌سنگ‌های آرکوزی سریسیتی شده رخداد این کانی کمتر است و بیشتر به شکل دانه‌های مستقل دیده می‌شود. ژاروسیت به شکل رگچه‌های منفرد و یا انبوه (با بافت استوک‌ورک) نیز دیده شده است (شکل ۴ ب). بلورهای ژاروسیت در تمام موارد از حاشیه یا به شکل نامنظم به اکسیدهای آهن (گوتیت؟)

بسیار نادر است.

برپایه تجزیه‌های پراش سنجی پرتو X کانیه‌های زیر که نشان‌دهنده زون آرژلیک پیشرفته می‌باشند، در منطقه دامک مشخص شده‌اند (جدول ۱).

آلونت‌ها بسیار دانه‌ریز هستند. به طوری که تشخیص میکروسکوپی آنها بسیار دشوار است. برای تأیید وجود آنها از آنالیزهای XRF و XRD استفاده شده است (جدول ۲ و شکل ۶) رگه‌های فیروزه در هم‌بافتی با کوارتز و ژاروسیت در مشاهدات میکروسکوپی دیده می‌شود.

این کانی با کوارتز (سیلیسی شدن) در مجاورت رگه‌ها دیده می‌شود، رخداد ژاروسیت تقریباً در همه موارد همراه با فیروزه است. آنچه مسلم است ژاروسیت به شکل تأخیری نسبت به فیروزه دیده می‌شود. در برخی موارد ژاروسیت‌های دانه‌ای درون رگه‌های فیروزه به شکل میانبار مانند دیده می‌شوند. که این پدیده بیانگر تبلور ژاروسیت‌ها در آخرین مرحله پرشدگی رگه‌ها بعد از فیروزه است. رگه‌های فیروزه درون ماسه‌سنگ‌های آرکوزی نیز به وضوح دیده می‌شوند. این کانی حتی به شکل جانیشینی در خرده‌سنگ‌های شیلی ماسه سنگها و میکروکنگلومراهای دگرسان نیز دیده شده است که این رخداد



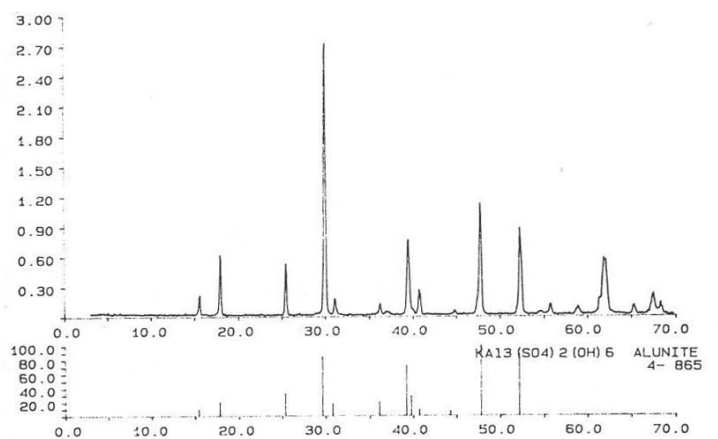
شکل ۴. الف. جانیشینی ژاروسیت‌ها درون بلورهای فلدسپات قلیایی که با حفظ شکل سریسیتی شده است (xpl). ب. رگه‌های ژاروسیت درون بلورهای کوارتز با بافت شبکه‌ای توسعه یافته‌اند (ppl). پ. هم‌بافتی فیروزه، کوارتزهای دانه درشت متعلق به سنگ گرانودیوریت و کوارتزهای دانه‌ریز مربوط به سیلیسی شدن و قطع شدن نهایی همه آنها توسط رگه‌های ژاروسیت (xpl). ت. هم‌بافتی ژاروسیت‌های دانه‌ای و اکسیدشده (گوتیت؟) درون یک رگه‌چه فیروزه، سیلیسی شدن حاشیه رگه‌چه توسط نمود واضح بلورهای کوارتز به خوبی دیده می‌شود (ppl).

جدول ۱. مجموعه‌های کانی که از تجزیه XRD حاصل شده است (دانشگاه هامبورگ).

نمونه	کانی‌شناسی
D-1	Muscovite, quartz
D-2	Alunite
D-3	Turquoise, quartz
D-4	Goethite, quartz

جدول ۲. آنالیز XRF دو نمونه رگه‌چه آلونیت

نمونه	D-3	D-4
SiO <sub>2</sub>	۰/۵۴	۰/۶۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۸/۷	۲۸
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۲	۰/۰۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۹۹	۲/۳۲
CaO	۰/۰۶	۱/۶۳
MgO	۰/۲۳	۰/۲
K <sub>2</sub> O	۱۳/۷	۱۳/۹
Na <sub>2</sub> O	۰/۵۷	۰/۳۳
SO <sub>3</sub>	۴۵/۱	۴۴/۲
L.O.I	۶/۱۰	۴/۲۲
Total	۹۷/۰۱	۹۵/۴۸



شکل ۵. الگوی پراش سنجی نمونه آلونیت.

## سیلیسی شدن

سیلیسی شدن به سهولت در نمونه‌های دستی و رخنمونهای صحرایی دیده می‌شود. در مقاطع میکروسکوپی رخدادهای سیلیسی به شکل‌های زیر است:

الف: نامنظم و پراکنده در متن سنگ. این مورد به صورت روکش بر روی کوارتزهای قدیمی و یا در همراهی با سریسیت دیده شده است.

ب: رگه‌چه‌ای

پ: تشکیل در حاشیه رگه‌چه‌های فیروزه.

رگه‌چه‌های کوارتز به طور مستقل رایجترین نوع سیلیسی شدن هستند (شکل‌های ۶، الف و ۶ ب). مطالعه مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که در دگرسانی‌های دامک رخدادهای فلدسپاتهای قلیایی تأخیری نیز دیده می‌شود، این نوع دگرسانی که بسیار کم در توده نفوذی دیده می‌شود به شکل رگه‌چه‌های باریکی از ارتوکلاز (۴) درون پلاژیوکلازهای قدیمی است.

## سایر دگرسانیها

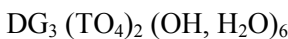
در آرکوزها و کنگلومراهای دگرسان شده مجاور توده نفوذی، رخدادهای اپیدوت به خرج فلدسپاتهای آرکوز دیده می‌شود. این نوع دگرسانی در همراهی با دگرگونی از نوع اسکارنی شدن قلوهای کربناته کنگلومراها [۵] در ارتباط با توده نفوذی است.

## بحث و بررسی

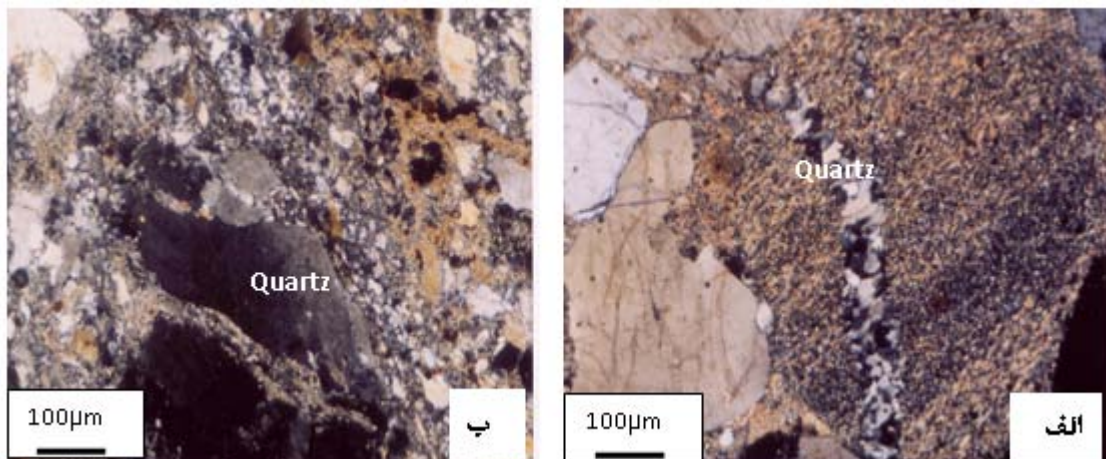
توسعه دگرسانی در شمال غرب شیرکوه وابسته به توده‌های لوکوگرانیته به سن الیگوسن است. مجموعه زونهای دگرسانی پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی در این منطقه شکل گرفته است.

زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته که اهمیت زیادی در مطالعات اقتصادی دارد، در منطقه دامک با نمود کانیهای گروه APS (Aluminum-phosphate-sulfate) مشخص شده است. این کانیها به ترتیب فراوانی ژاروسیت، فیروزه و آلونیت می‌باشند.

کانیهای خانواده ژاروسیت معمولاً فازهای ثانویه‌ای هستند که حاصل اکسایش ذخایر سولفیدی همراه با سنگهای اسیدی می‌باشند [۱۲ و ۱۳]. کانیهای گروه ژاروسیت زیرمجموعه‌ای از خانواده آلونیت با فرمول عمومی زیر می‌باشند:



D توسط Na, K, Sr, Ba و OH جایگزین می‌شود. در این فرمول G نشان‌دهنده  $Fe^{3+} > Al^{3+}$  و  $SO_4$  نیز ۷۵٪ و یا کل  $TO_4$  را به خود اختصاص می‌دهد [۱۲]. تمام نمونه‌های



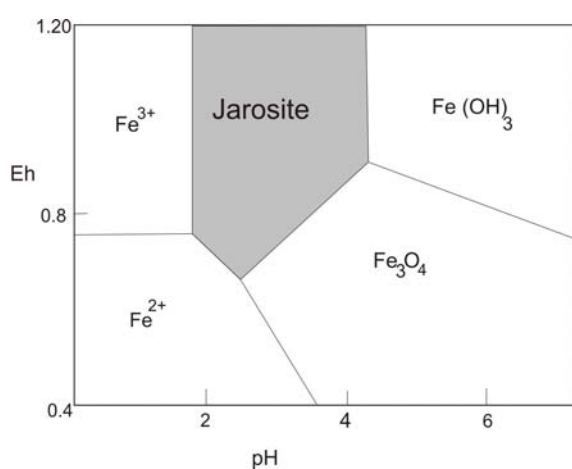
شکل ۶. الف. تجمع کوارتزهای دانه‌ریز در یک رگه‌چه که خرده سنگی از جنس سیلتستون را در آرکوز قطع کرده است. لایه بندی رسوبی تا حدودی در این خرده سنگ دیده می‌شود (xpl). ب. کوارتز رگه‌چه‌ای حاصل کوارتزهای دانه ریز که بعد از رخدادهای برش در گرانودیوریت شکل گرفته است. زمینه سنگ از کوارتزهای دانه ریز و سریسیت تشکیل شده است (xpl).



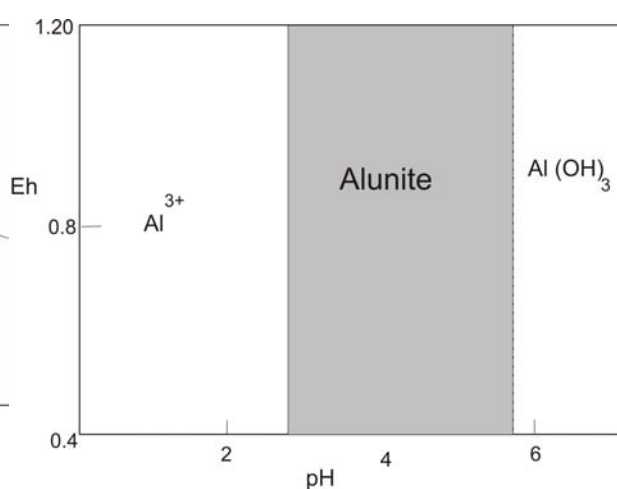
کانیهای گروه آلونیت- ژاروسیت تابع دو عامل pH و Eh می‌باشد (شکل ۷ و ۸). این کانیها در محیط اکسند و اسیدی پایدار هستند.

برای نام‌گذاری کانیهای خانواده آلونیت از نمودار سه‌تایی Ca، Na و K (شکل ۹) و برای گروه ژاروسیت از نمودار ناتروژاروسیت، ژاروسیت و هیدرونیوم ژاروسیت (شکل ۱۰) استفاده شده است. با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ نمونه‌های دامک آلونیت خالص و ژاروسیت متمایل به قطب ناترو می‌باشند.

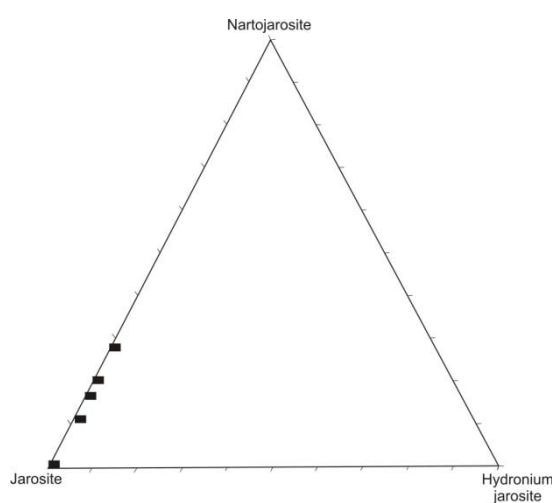
ژاروسیت طبیعی محلول جامدی از ژاروسیت یا فرمول  $KFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$  ناتروژاروسیت با فرمول  $NaFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$  و هیدرونیوم ژاروسیت  $(H_3O)Fe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$  می‌باشد. هیدرونیوم ژاروسیت در شرایط اکسایش شدید سولفیدها تشکیل می‌شود و یا جایی که دسترسی به Na و K محدود باشد [۱۴]. ژاروسیت کانی رایج همراه با آبهای معدنی اسیدی است [۱۵]. محدوده پایداری ژاروسیت بین pH ۰/۵ تا ۵ است. پایداری



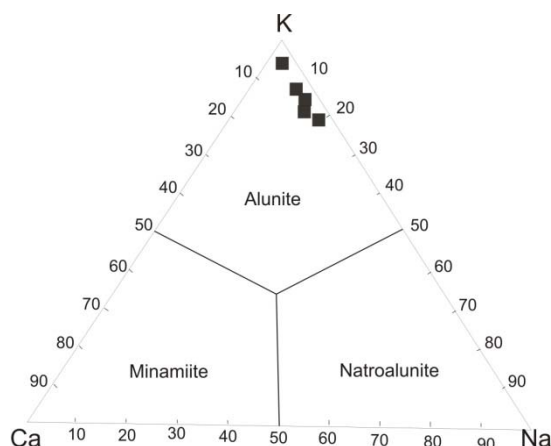
شکل ۸. شرایط پایداری ژاروسیت که تابع دو عامل Eh و pH است [۱۶].



شکل ۷. شرایط پایداری آلونیت که تابع دو عامل Eh و pH می‌باشد [۱۶].



شکل ۹. نام‌گذاری کانیهای گروه ژاروسیت دامک در نمودار (ژاروسیت، ناتروژاروسیت و هیدرونیوم ژاروسیت) [۱۷].



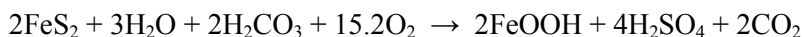
شکل ۱۰. نام‌گذاری کانیهای گروه آلونیت دامک در نمودار (آلونیت، ناتروآلونیت و می‌نامیت) [۱۸].

فلدسپارهای سازنده توده نفوذی کنگلومراها و به‌ویژه ماسه سنگهای آرکوزی به‌طور گسترده دیده می‌شود. کائولینیتی شدن این سنگها نیز به مقدار کم دیده می‌شود. برای مجموعه کانیهای تشکیل شده در منطقه دامک می‌توان جدول روابط پاراژنزی را پیشنهاد نمود (جدول ۳). ابتدا در یک محیط با فوگاسیته اکسیژن بالا پیریت به گوئیتیت پسودومرف شده‌اند،

برداشتهای صحرایی و مشاهدات کانی‌شناختی نشان می‌دهند که دگرسانیهای گرمایی بعد از پدیده دگرگونی مجاورتی (اعمال شوک گرمایی و شکل‌گیری اسکارنها) در یک گستره فراگیر عمل کرده‌اند. بنابراین در پی شکل‌گیری اسکارن سیالات گرمایی تأثیر داشته‌اند و گروه کانیهای ویژه‌ای را پدید آورده‌اند. سرسیتی‌شدن برای تشکیل مجموعه کانیهای زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته می‌توان واکنشهای زیر را پیشنهاد نمود.

جدول ۳. روابط پاراژنزی کانیها (گامه‌های کانی سازی)، همان‌گونه که مشاهده می‌شود به دنبال فرآیند اکسایش و آزاد شدن سیالات اسیدی در محیط، کانیهای دگرسانی فیلیک و آرژیلیک پیشرفته شکل گرفته‌اند

کانیها	اکسیداسیون (جوی؟)	دگرسانی فیلیک	دگرسانی آرژیلیک پیشرفته
کوارتز	—	—	—
کانه اولیه مس؟			
کلریت			
اکسیدهای آهن	—		
مالاکیت - آزوریت	—		
سرسیت		—	
کائولینیت		—	
آلونیت			—
زاروسیت			—
فیروزه			—



پیریت

گوتیت

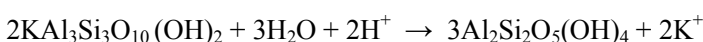
سریسیت، کائولینیت و در نهایت آلونیت و ژاروسیت (شکل ۸) تشکیل می‌شود:

واکنش فوق شکل‌گیری اسید سولفوریک و در نتیجه یک محیط با غلظت بالای  $\text{H}^+$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  را به دنبال دارد و شرایط دگرسانی فلدسپارهای ماسه سنگهای آرکوزی و کنگلومراها برای پیدایش



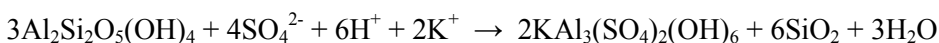
پتاسیم فلدسپار

مسکویت



مسکویت

کائولینیت

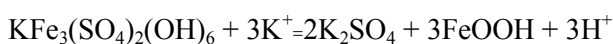


کائولینیت

آلونیت

این از واکنشهای فوق بنیان سولفات و آهن مورد نیاز برای شکل‌گیری ژاروسیت در دسترس قرار می‌گیرد:

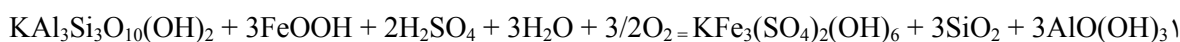
سیلیس آزاد شده از واکنشهای بالا می‌تواند دگرسانی از نوع سیلیسی‌شدن را در سنگهای دگرسانی باعث شود. علاوه بر



ژاروسیت

گوتیت

آن‌گونه که در مطالعات پتروگرافی دیده شد تبدیل مستقیم سریسیت به ژاروسیت نیز ممکن است لذا واکنش احتمالی این تبدیل را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:



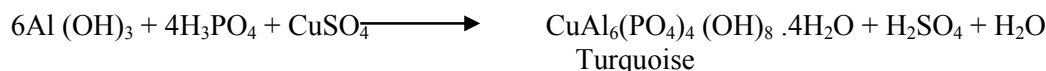
مسکویت

گوتیت

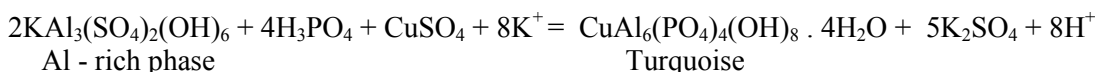
ژاروسیت

شکل‌گیری فیروزه فراهم نماید. همچنین در بخشهای اکسیدان، کانه‌های اولیه مس نظیر کالکوپیریت به سولفات مس تبدیل شوند. فیروزه ممکن است به خرج فسفر آزاد شده در محیط و بدون دخالت آلونیت در رگچه‌ها مطابق واکنشهای زیر شکل گیرد:

برای توجیه پیدایش فیروزه در مجموعه کانیایی می‌توان چنین در نظر گرفت که در مرحله اول آبشویی (leaching) حجم بزرگی از ماسه‌سنگهای آرکوزی و همچنین کنگلومراهای پلی‌ژنتیک سازند سنگستان می‌تواند فسفات موردنیاز را فراهم نماید. اندیس مس دامک که بدون تردید در ارتباط با ماگماتیسیم همین منطقه است، می‌تواند مس را برای



Turquoise



Al - rich phase

Turquoise

## نتیجه گیری

ماگماتیسیم تأخیری در حاشیه غربی باتولیت شیرکوه با سن الیگوسن سبب همپوشانی شکل‌گیری اسکارن و دگرسانیهایی گرمایی شده است که در این میان پیدایش مجموعه کانیایی متنوع و پیچیده امکان‌پذیر شده است. وجود شکستگیهای فراوان در توده نفوذی و ایجاد بافتهایی که حاکی از انفجار هیدروترمالی منسوب به یک توده نفوذی و نیمه عمیق و سامانه هیدروترمالی (همراه مس پورفیری) است می‌تواند کاهش ناگهانی فشار را به شکل دوره‌ای بر محلولهای اسکارن‌ساز و جوشش هیدروترمالی تداعی کند. در مجموع می‌توان ریشه تغییرات فیزیکی - شیمیایی در سامانه گرمایی را در تغییرات فیزیکی - شیمیایی توده نفوذی جست و جو کرد.

نقش احتمالی آبهای جوی یا آبهای محبوس موجود در واحد کنگلومرای (با نفوذپذیری بالا) در رقیق‌شدن مجموعه کانیایی دگرسانی هیدروترمال مشاهده شده در منطقه می‌تواند معرف دگرسانی از نوع اسید - سولفات یا آلونیت - کائولینیت [۱۹] باشد. این نوع دگرسانی هیدروترمال یکی از ویژگیهای نهشته‌های مس پورفیری و اپی‌ترمال طلاست.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های دانشگاه شیراز و اصفهان در به انجام رساندن این پروژه قدردانی می‌کنند. همچنین از راهنمایی‌های بی دریغ جناب آقای دکتر محمد علی مکی زاده (دانشگاه اصفهان) بسیار تشکر می‌شود.

## مراجع

[۱] خلیلی م.، گزارش ماگماتیسیم باقی‌آباد - ده بالا، شرق باتولیت شیرکوه، دانشگاه اصفهان، منتشر نشده (۱۳۷۴) ۱۵۷ ص.

[۲] رضائیان ک.، نقره نیان، م.، مکی‌زاده، م. ع. و شرافت، ش.، زمین‌شناسی و ژئزاندیس کانی فیروزه، علی‌آباد (تفت یزد)، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه) جلد هیجدهم، شماره ۲ (۱۳۸۲) ۱۴۵-۱۵۸ ص.

[۳] زراسوندی ع.، زنتیلی، م.، لیاقت، س.، مر، ف.، امامی، م. ح.، یعقوب‌پور، ع.، تعیین سن توده‌های نفوذی و کانه‌زایی مس پورفیری در منطقه علی‌آباد و دره زرشک یزد به روش  $K-Ar$  و  $^{40}Ar/^{39}Ar$ ، چکیده مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم

زمین (۱۳۸۳) ۲۹ ص.

[۴] اسلامی‌زاده ع.، پترولوژی سنگهای آذرین علی‌آباد و دره زرشک ناحیه یزد (زون ایران مرکزی) و کانه‌زایی مس وابسته به آن، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی ایران، واحد علوم و تحقیقات (۱۳۸۲) ۲۳۱ صفحه.

[۷] نبوی، م. ح.، نقشه چهارگوش یزد، مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۷۲).

[۶] تقی‌پور، ب.، ۱۳۸۶، کانی‌شناسی و ژئوشیمی دگرسانیهایی گرمایی در کمان ماگماتیسیم سنموزوئیک ایران مرکزی (استان اصفهان) و البرز غربی، زون طارم سفلی (استان قزوین)، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۶) ۲۱۱ ص.

[۵] مکی‌زاده، م. ع.، بررسی کانی‌شناسی و پترولوژیکی اسکارن‌های ایران مرکزی (استان یزد)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۶) ۱۸۸ صفحه.

[8] Forster, H., *Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran*, Journal of the Geological society of London, V. 135, (1978) 443-445.

[۹] سبزه‌ئی، م.، روشن روان ج.، ناظم‌زاده شعاعی م و علائی مهابادی س.، گزارش اکتشافات فلدسپات و کائولن در منطقه یزد، مدیریت زمین‌شناسی منطقه جنوب خاوری مرکز کرمان، ۶۲ ص (۱۳۶۵).

[10] Zarasvand A. Liaghat, s and Zentill, M., *Geology of the Darreh-Zereshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, Central Iran*, International Geology Review, V. 47(2005) 620-646.

[11] Taghipour B., Noorbehesht I., *The occurrences of turquoise in advanced argillic alteration of Darreh-Zereshk and Ali Abad porphyry copper deposit, Taft-Yazd province, Central Iran*, Abstracts of the 17th Annual V. M. Goldschmidt Conference Cologne, Germany, Geochemica et Cosmochemica Acta, (2007) A 992.

[12] Jambor J. L., *Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products*. In Environmental Geochemistry of sulfide mine-wastes (J. L. Jambor & D. W. Blowes, eds mineral Assoc. Can. Short course 22 (1994) 59-102.

[13] Stoffregen R. E., Alpers C. N., and Jambor J.L., *Alunite-jarosite crystallography, thermodynamic and geochronology*. In sulfate minerals, crystallography geochemistry and environmental significance (C. N. Alpers, J. L. Jambor & D. K. Nordstro, eds) Rev. Mineral.

Jambor & D. K. Nordstrom. eds. Rev. Mineral. Geochem. 40 (2000) 405-443.

[15] Keith W J., Calk L., and Ashley R. P.,

*and water from the richmond mine, Iron mountain, California, the canadian mineralogist*, 43(2005) 1225-1242.

[18] Celik M., *Minamilte and alunite occurrences formed from volcanic Emanations, west. Southwest of konya, Turkey*, 2(1999) 89-97.[19] Foster, R. D., *Gold metallogeny and exploration*, Chapman & Hall (1996) 432 p.

Geochem. 40 (2000) 454-475.

[14] Dutrizac J. E. and Jambor J. L., *Jarosite and their application in hydrometallurgy*, In *sulfate minerals: crystallography, Geochemistry and environment*, (Significance C. N. Alpers, J. L. Crystals of coexisting alunite and jarosite, gold field, Nevada. United States Geology Survey professional paper, 1124-C, (1979) C-C5.

[16] Darke K. E., Boyce A. J., Clapperton C.M., Fallick A. E., Redwood S.D., and Rice C. M., *Supergene mineralization at the Kori Kollo gold mine, Bolivia*, *Expoloration mining Geology*, 6 (1997) 209-221.

[17] Jamieson H. E, Robinson C., Alpers C., Nordstrom D., poustovetov A., and Lowers H., *The composition of coexisting jarosite-group minerals*