

## مطالعه آلتراسیون های هیدروترمال در منطقه مارسار (شمال شرق اصفهان) و نقش آنها در

### کانه زائی غیر فلزی

\* مختاری، افشین<sup>1</sup> - نقره تیان، موسی<sup>2</sup> - مکی زاده، محمد علی<sup>3</sup>

(1) دانشجوی کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه آزاد خوراسگان

(2) دکتری پترولوژی، دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

(3) دکتری پترولوژی، استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در 88 کیلومتری شهرستان اصفهان واقع شده است. با بررسی آلتراسیون هیدروترمال وجود انواع آلتراسیونهای آرژیلیک پیشرفته، متوسط و ضعیف، آلتراسیون پروپلیتیک، سیلیسی شدن، سرسیتی شدن، سوسوریتی شدن و کائولینیتی شدن محرز شده است. منشاء اصلی سیالات عامل دگرسانی ها، ماگمایی می باشد که به واسطه گسلها و از طریق دایکها به سطح بالا راه یافته و باعث دگرسانی ولکانیکها و پیرو کلاستها در منطقه مارسار شده است. بر اساس آزمایشات XRD صورت گرفته وجود کانیه های ژاروسیت، ناتروژاروسیت، ایلیت و پیروفیلیت در منطقه تأیید می شود.

**واژه های کلیدی:** آلتراسیون هیدروترمال، ژاروسیت، مارسار، آرژیلیک، پروپلیتیک

### مقدمه

منطقه مورد نظر در فاصله 88 کیلومتری شمال شرق اصفهان با طول جغرافیایی " 17 ' 01 ° 53 و عرض جغرافیایی " 38 ' 18 ° 33 و در حوالی روستای مارسار قرار دارد. در خصوص زمین شناسی عمومی منطقه مارسار باید اشاره کرد که این منطقه بخشی از زون ماگمایی ارومیه دختر می باشد {4} و به موازات بخش دگرگونی کمر بند سنج - سیرجان قرار دارد {2}.

دسترسی به منطقه از طریق جاده اصفهان - اردستان می باشد که پس از طی 57 کیلومتر جاده آسفالت به سمت اردستان و رسیدن به روستای فسخود حدود 24 کیلومتر راه شنی را طی و از روستاهای عباس آباد، گلمل، شورقستان و رنگان در امتداد خط آهن عبور نموده تا به روستای مارسار برسیم و منطقه مورد نظر در 2 کیلومتری شمال روستای مارسار می باشد. در این منطقه پدیده آلتراسیون هیدروترمال به طور وسیع صورت گرفته است و مناطق دگرسان شده بیشتر در امتداد و در اطراف دایکهای موجود در منطقه می باشند که در اثر عملکرد این دایکها ترادفی از آندزیت، آندزیت - بازالت و توفها دگرسان شده است.

### روش تحقیق

در این مقاله سنگهای آتشفشانی و آذرآواری سالم و دگرسان منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور پس از بازدید صحرایی تعداد 150 نمونه از سنگهای سالم و دگرسان شده از منطقه برداشت شد و تعداد 42 مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شد و مطالعات پتروگرافی توسط میکروسکوپ دو چشمی پلاریزان (Olympus) در دانشگاه اصفهان انجام گرفت. همچنین جهت تعیین درصد عناصر اصلی و فرعی تعداد 18 نمونه از سنگها در آزمایشگاه شرکت ذوب آهن اصفهان به روش شیمی تر مورد آزمایش قرار گرفت. برای مطالعه دگرسانیهای منطقه، بر اساس مشاهدات صحرایی و داده‌های 4 نمونه XRD مطالعات صورت گرفته است. تعداد 6 نمونه نیز جهت آنالیز به روش ICP-MS در آزمایشگاه تجزیه شرکت ACMI کانادا مورد آنالیز قرار گرفت.

## بحث

وسعت دگرسانی در منطقه نشان‌دهنده شدت تاثیر سیالات گرمابی است. ولکانیکها در محل بیشتر تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند به همین دلیل بیشتر مطالعه بر روی آندزیتها و توف‌های منطقه صورت گرفته است. این سنگها در اثر هجوم محلولهای هیدروترمال به شدت دچار دگرسانی شده و زونهای دگرسان شده را به وجود آورده‌اند.

از لحاظ سنگ‌شناسی بر اساس نقشه 1:100000 اردستان، منطقه شامل آندزیت-بازالت، آندزیت، داسیت، ریولیت و سنگهای پیروکلاستیک و یک منطقه به طور کامل دگرسان شده، می‌باشد {1}. آندزیتها در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره می‌باشد و بافتهای میکروولیتیک پرفیری و هیالوپورفیری نشان می‌دهند که فنوکریستهای از پلاژیوکلاز و هورنبلند در زمینه فلدسپار و کوارتز دیده می‌شوند. کانیهای ثانویه کلسیت، سریسیت، کلریت، اپیدوت، زئولیت، کانیهای رسی، زیرکن و کانیهای اوپاک دیده می‌شود. همچنین با توجه به حضور پیروکسن می‌توان پیروکسن آندزیت را نیز تشخیص داد. شواهد پترولوژیکی و صحرایی نشان می‌دهند که شروع ولکانیسم منطقه به صورت فوران انفجاری بوده که سبب تشکیل سنگهای آذرآواری شده است و در مراحل آخر محلولهای گرمابی از طریق درز و شکافهای فراوانی که به واسطه حاکمیت تکتونیک شدید در ولکانیکهای منطقه حادث شده است، بالا آمده و سبب دگرسانی آنها گردیده است. در این منطقه عملکرد نیروهای تکتونیک قابل توجه بوده و چندین گسل نسبتاً بزرگ و کوچک با یک جهت و روند مشابه (شمال غرب- جنوب شرق) در منطقه عمل نموده است که از آن جمله می‌توان به گسل قم- زفره که از نزدیک منطقه مورد نظر عبور می‌کند اشاره کرد همچنین از دیگر گسلهای این منطقه می‌توان به گسل معکوس کچومثقال یا بنگان، گسل معکوس کوه دوشاخ، گسل ماربین- رنگان، گسل میلاجرد- زفره و گسل عباس‌آباد اشاره نمود {2}.

بر اساس مطالعات پتروگرافی صورت گرفته بر روی سنگهای سالم و دگرسان شده، انواع کانی‌های اصلی از نوع پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول، فلدسپات پتاسیم‌دار، کوارتز و کانی‌های فرعی اپیدوت، کلریت،

ژاروسیت، زئولیت، سریسیت، سوسوریت، آپاتیت، زیرکن و کانیهای اوپاک در سنگهای منطقه تشخیص داده شد. همچنین انواع بافت‌های میکرولیتیک پرفیرییک، هیالوپرفیرییک، پیروکلاستیک، شارد گلاس، حفره‌ای، وزیکولار و برشی را در مقاطع میکروسکوپی می‌توان مشاهده کرد.

**آلتراسیون‌های هیدروترمال:** از عوامل مهم آلتراسیون در منطقه می‌توان به وجود گسل‌های فوق‌الذکر که باعث هدایت محلول‌های داغ هیدروترمال از طریق دایک‌های اسیدی موجود در منطقه به سطح زمین شده‌اند، اشاره کرد. سنگ‌های میزبان منطقه بیشتر از نوع آذرآواری بوده که حالت توفی دارند و لایه‌بندی نیز در آنها هنوز مشخص می‌باشد و این لایه‌بندی به طور کامل از بین نرفته است و بعد از تاثیر محلول‌های هیدروترمال و ایجاد آلتراسیون نیز این لایه‌بندی در سنگ‌ها حفظ گردیده است.

بر اساس آزمایشات XRD صورت گرفته بر روی سنگ‌های منطقه و نتایج بدست آمده از سازمان صنایع و معادن اصفهان کانی‌های جدول شماره 1 تشخیص داده شده است {2}.

همچنین بر اساس مشاهدات صحرایی صورت گرفته، ژیپس و انواع اکسیدهای آهن از نوع هماتیت، لیمونیت و گوئیت در منطقه به حد وفور وجود دارد و در نقاط مختلف مشاهده می‌شود. در این منطقه آندزیت‌ها و سنگ‌های آذرآواری تحت تاثیر محلول‌های هیدروترمال قرار گرفته و کانی‌های اپیدوت، کلریت، کلسیت همچنین آمفیبول‌های سوزنی (اکتینوت) در داخل کوارتز مشاهده می‌شود در مرحله آخر، محلول‌های هیدروترمال باعث سوسوریتی شدن، سریسیتی شدن و کائولینیتی شدن پلاژیو کلازها شده است.

آلتراسیون سوسوریتی شدن: از دیگر پدیده‌های آلتراسیون که در سنگ‌های حاوی فلدسپات و بخصوص در آندزیت‌هایی که تحت تاثیر محلول‌های آلتراسیون قرار گرفته‌اند سوسوریتی شدن می‌باشد. کانی ثانویه سوسوریت که به دلیل غنی بودن پلاژیو کلازها از آنورتیت می‌باشد، ایجاد می‌گردد. یک بلور پلاژیو کلاز در آندزیت را نشان می‌دهد. در اثر این تبدیل، پلاژیو کلازها به علت از دست دادن کلسیم دارای ترکیب سدیک‌تر می‌شوند و در نتیجه از پلاژیو کلاز بازیک به طرف پلاژیو کلاز اسیدی تمایل پیدا می‌نمایند در اثر پدیده سوسوریتیزاسیون مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه شامل آلبیت، کلسیت، اپیدوت، کانی‌های اوپاک و کوارتز ثانویه را خواهیم داشت.

آلتراسیون کائولینیتی شدن: این فرایند بیشتر بر فلدسپار پتاسیم اثر می‌گذارد و معمولاً محصولات حاصله، آنقدر ریزدانه‌اند که ماده کاملاً دگرسان شده، در مقطع نازک، ظاهری بی شکل، خاکستری و غالباً تیره دارد. این دگرسانی‌های در هنگام سرد شدن یا حوادث دگرسانی گرمابی رخ می‌دهند. با ورود آب و پراکندگی مجدد و یا خروج پتاسیم، سدیم و کلسیم و دیگر تغییرات همراه هستند.

به طور کلی آلتراسیون‌های هیدروترمال در منطقه مورد مطالعه بر اساس جایگاه زمین‌شناسی در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند: 1) آلتراسیون‌های هیدروترمال منطقه‌ای که خود شامل سریسیتی شدن و پروپلیتی شدن می‌باشد که انواع دگرسانی‌های اپیدوتی شدن، کلریتی شدن، کائولینیتی شدن، سیلیسی شدن و سوسوریتی شدن

خود زیر مجموعه آلتراسیون پروپلیتیک می باشند. 2) آلتراسیون هیدروترمال تحت کنترل ساختاری که خود شامل سه نوع آلتراسیون آرژیلیک می باشد {10}. در منطقه مورد نظر به علت فعالیت تکتونیک بالایی که به خاطر عملکرد گسلهای منطقه وجود دارد، این نوع آلتراسیون به میزان زیاد اثر نموده است. آلتراسیون پروپلیتیک با تحمل آلتراسیونهای شدیدتر به آلتراسیون آرژیلیک پیشرفته یا اسید سولفات تبدیل می گردد {3}.

آلتراسیون پروپلیتیک: شاخص این نوع آلتراسیون دو کانی ثانویه اپیدوت و کلریت می باشد که اپیدوتها ناشی از آلتراسیون پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول می باشند و آنها را به دو صورت رگچه ای و جانیشینی و هم در مشاهدات صحرایی در منطقه دیده می شوند.

همچنین کلریتها نیز از آلتراسیون پلاژیوکلاز و آمفیبول به وجود آمده اند و آنها را به همراه زئولیت، کلسیت و اکسیدهای آهن در مقاطع میکروسکپی دیده می شوند. پروپلیتی شدن بر اثر تغییر در سنگهای آندزیتی و داسیتی به وجود می آید و از طرف بسیاری از محققین به عنوان تغییرات حاصل از فرایندهای گرمایی در درجه حرارت پایین و متوسط ارزیابی می گردد.

دگرسانی پروپلیتیک به واسطه رنگ سبز خود در که توسط سنجش از دور انجام می شود به راحتی شناسایی می گردد. این دگرسانی معمولاً فاقد ارزش اقتصادی و کانه زایی می باشد و شناسایی آن برای دستیابی به کانسارها دارای اهمیت می باشد چون خارجی ترین بخش اکثر ذخائر مس را زون دگرسان پروپلیتیک تشکیل می دهد.

آلتراسیون سریستیک: سریستیک یک نوع مسکویت آبدار می باشد که از تجزیه فلدسپاتها به وجود می آید و در محل مورد نظر جانیشین پلاژیوکلازهای اسید و فلدسپاتهای K دار شده است .

همچنین این آلتراسیون به وسیله اجتماع مسکویت، کوارتز و مقادیری از پیریت، کلریت، ژپس و هماتیت مشخص می شود {6} که همگی موارد به استثنای پیریت در منطقه دیده شده است و فقدان پیریت در منطقه را می توان به تجزیه آن در اثر آبهای اسیدی با Ph کمتر از 3.5 نسبت داد {3}. آلتراسیون سیلیستیک: زون دگرسان رخساره سیلیستیک در منطقه مارسار رخنمون دارد.

سیلیستی شدن در واقع یک نوع دگرسانی عمومی است که در اغلب دگرسانها یافت می گردد. اسید سولفوریک تولید شده طی واکنشهایی که در مبحث دگرسانی اسید سولفات ارائه گردید با Ph کمتر از 2 با سیلیکاتهای سنگهای آتشفشانی و آذرآواری واکنش داده و با انحلال عناصری مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و در سنگ باعث بالا رفتن مقدار سیلیس در منطقه می گردد به طوری که تنها کانی تشکیل دهنده این سنگها، سیلیس می باشد و حدود 90 درصد از خلل و فرجها را پر می کنند. رخنمونهای زون سیلیستی در منطقه مارسار بسیار فراوان می باشد. ظاهر صخره مانند و پراکنده این زون در منطقه بسیار شاخص می باشد سیلیستی شدن

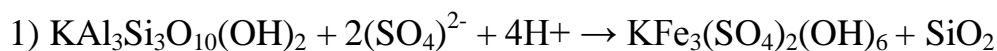
یک نوع آلتراسیون عمومی می‌باشد که در اثر انحلال عناصر اصلی سیلیکاته در سنگهای منطقه، باعث بالا رفتن مقدار کوارتز می‌شود که این نوع آلتراسیون منطقه‌ای به میزان زیاد در منطقه مشاهده می‌گردد (شکل 6، د).

آلتراسیون آرژیلیک پیشرفته: این آلتراسیون با اجتماعات کانه‌هایی شامل آلونیت، پیروفیلیت و کائولینیت مشخص می‌شود {11} به طوری که بافت اصلی سنگ به طور کامل از بین رفته باشد {10}.

یکی از دلایل گسترش آلتراسیون آرژیلیک در منطقه می‌تواند وجود معدن خاک صنعتی مارسار (پیروفیلیت-کائولینیت) در نزدیکی منطقه مورد نظر باشد. ولی هملی و همکاران آلتراسیون اسید سولفات از آرژیلیک پیشرفته را توسط وجود آلونیت در اجتماع آلونیت+کائولینیت+کوارتز+پیریت متمایز می‌دانند {7}. در منطقه مورد مطالعه شاخص این نوع آلتراسیون کانی ژاروسیت می‌باشد که یکی از اعضای گروه آلونیت می‌باشد {9}. مطالعات پتروگرافی، فراوانی ژاروسیت در منطقه را به دو صورت رگه‌ای و توده‌ای اثبات نموده است این کانی در نور عادی به رنگ زرد عسلی و در نور پلاریزه رنگهای اینترفرانس درجه بالا از خود نشان می‌دهد و رلیف این کانی خیلی زیاد می‌باشد.

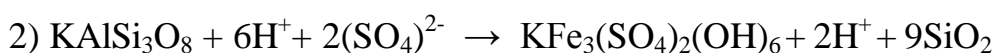
با توجه به فراوانی Na و اکسیدهای آهن در منطقه، ژاروسیت‌ها می‌توانند از نوع ناتروژاروسیت باشند آنها یک نوع ژاروسیت سدیم‌دار باشند {3}. به طور کلی می‌توان زون آرژیلیک پیشرفته را فراگیرترین زون دگرسانی در سنگهای آتشفشانی منطقه دانست.

شواهد میکروسکپی نشان می‌دهد که سریسیت و فلدسپات ارتوکلاز هم مستقیماً می‌توانند به ژاروسیت تبدیل گردند {5}:



سریسیت

ژاروسیت



ارتوکلاز

ژاروسیت

آلتراسیون آرژیلیک حد واسط: این آلتراسیون به واسطه کانی‌های رسی به ویژه کائولن، سریسیت، کوارتز، کلسیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد که با توجه به مشاهدات پتروگرافی و همچنین وجود ایلیت بر اساس نتایج آزمایشات XRD این نوع آلتراسیون نیز در منطقه مجرز می‌باشد. همچنین گنجی پاراژنز کانی‌هایی شامل سریسیت، کوارتز، فلدسپات K دارو کانی‌های رسی شامل کائولینیت و ایلیت را نشان دهنده این نوع آلتراسیون می‌داند {10}.

آلتراسیون آرژیلیک ضعیف: در این آلتراسیون مقادیر کمی کانی‌های مربوط به آلتراسیون حدواسط کاهش یافته و فلدسپات‌ها و پلاژیوکلازها به صورت بخشی دگرسان شده‌اند که با توجه به مطالعات پتروگرافی صورت گرفته این نوع آلتراسیون نیز در منطقه مشهود می‌باشد {10}. این آلتراسیون را با اجتماعی از کانی‌های کوارتز، فلدسپات K دار، آلپیت، سریسیت، کلریت، پیریت و کائولینیت که بافت سنگ تا حدود زیادی حفظ شده باشد، معرفی می‌کنند {10}.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان انجام گرفته که بدینوسیله از زحمات آقایان مهندس آرش شفیع مدیر آموزش و پژوهش، مهندس محمدیاسر طیب‌نیا مدیر خرید مواد اولیه و انرژی و مهندس بهروز ترابی مدیر آزمایشگاه مرکزی شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان تشکر می‌گردد.

## نتیجه‌گیری

وجود سنگ مادر مناسب (اسیدی-حدواسط) همچنین وجود درز و شکاف فراوان در آنها باعث تشکیل معدن خاک صنعتی مارسار از منشاء گرمابی در منطقه شده است. بر اساس مطالعات پتروگرافی، مشاهدات صحرائی و همچنین نتایج آزمایشات XRD، آلتراسیون آرژلیک پیشرفته به واسطه وجود کانی ژاروسیت، کانی‌های رسی (کائولینیت، پیروفیلیت، ایلیت و کلریت)، کوارتز و ژپس، در مقیاس وسیعی عمل نموده است که معدن خاک صنعتی مارسار گواه این موضوع می‌باشد. از انواع دیگر آلتراسیون‌ها مشاهده شده در منطقه می‌توان به آلتراسیون‌های سریستیک و پروپلیتیک (این آلتراسیون خود دارای زیرمجموعه‌هایی شامل سوسوریتی شدن، کائولینیتی شدن، سیلیسی شدن، اپیدوتی شدن، کلریتی شدن) اشاره نمود. آلتراسیون و کانه‌زایی غیرفلزی در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر فرایندهای ساختاری و نفوذ محلولهای هیدروترمال از طریق دایکها در سنگهای منطقه که عمدتاً آندزیت، آندزیت-بازالت و توف‌های پیروکلاستیک می‌باشند، صورت گرفته و در نهایت منجر به تشکیل معدن خاک صنعتی مارسار گردیده است. به طور کلی در منطقه مورد نظر می‌توان مجموعه‌ای از انواع آلتراسیون‌ها را مشاهده نمود.

## منابع

- رادفر، ج.، نقشه زمین‌شناسی 1:100000 ناحیه اردستان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- صنایع و معادن استان اصفهان، 1379، گزارش پایان طرح عملیات اکتشاف (رس صنعتی مارسار) شرکت معدن‌گوه‌ران.
- مطهری، ز.، نوربہشت، الف.، نقره‌ئیان. و م.، 1387، ژنز آلتراسیون اسید سولفات در منطقه سرخ شاد، شمال غرب انارک (ایران مرکزی)، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد 30، ص 17-28.
- محمدی، س. س. و ثوقی عابدینی، م.، هاشم امامی. و م.، (1376) پتروگرافی و ژئوشیمی سنگهای آتشفشانی منطقه اردستان ایران مرکزی، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

نقره‌تیان، م.، مکی‌زاده، م.ع.، شرافت، ش.، خدایمی. و م.، 1378، اولین گزارش از رخداد آلونیت و ژاروسیت در اندیس معدنی شهرزاد، مقاله در سمینار داخلی دانشگاه اصفهان.

Deyell, C. I., Thompson, J. F. H., Groat, L. A., Mortensen, J. K., Friedman, R.M., 1998, The style and origin of alteration on the limonite creek property, central british Columbia(93I/12), geological fieldwork, p. 31-1-31-8.

J. J., Hemely, W. R., Jones, chemical aspects of arsenic alteration with emphasis on hydrogen metasomatism: ECON. GEOL., v. 59, p.538-569;(1964).

KARIMZADEH SOMARIN A., LENTZ D.R., 2008, Mineralogy, geochemistry and fluid evolution of fossil hydrothermal system in the paleogene Mendegin volcanic sequence, East Azarbaijan, Iran, Miner petrol 94: 123-143.

Keiko, S., Hidetaka, K., 2000, morphology of jarosite, v. 38, p. 45-56.

Ganji, A. R., 2005, Mineralogical investigation of hydrothermal alteration in the middle part of Taron mountains–northwest of Iran, Iranian society of crystallography and mineralogy, vol. 13, P. 121-133.

Rockwell, Barnaby W., Hofstra, Albert H., 2009, mapping argillic and advanced argillic alteration in volcanic rocks, quartzites, and quartz arenites in the western Richfield 1° x 2° quadrangle, southwestern Utah, using aster satellite data, Rocky Mountain section, vol. 41, p. 39.