

## ژنز دگرسانی اسید سولفات در منطقه سرخ شاد، شمال غرب انارک (ایران مرکزی)

زینب مطهری، ایرج نوربهشت و موسی نقره‌نیا

گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

سرخ شاد، در شمال غرب انارک، واقع در زون ایران مرکزی است. مطالعه سنگ های این ناحیه نشان می دهد که دگرسانی در سرخ شاد متنوع می باشد و زون های دگرسان شده متفاوتی در محل وجود آورده اند. سنگ مادر دگرسان شده اغلب، از نوع آندزیت می باشد. در بررسی های صحرایی و بررسی نتایج، از آنالیزهای NAA و میکروپروب جهت تشخیص انواع دگرسانی استفاده شد. طبق این نتایج و بر اساس جایگاه زمین شناسی دگرسانی ها در این محل در دو گروه اصلی قرار می گیرند: گروه یک: دگرسانی گرمابی منطقه ای شامل: پروپلیتیک، سریستیک و سیلیسی. گروه دو: دگرسانی آرژیلیک که خود شامل آرژیلیک حد واسط و آرژیلیک پیشرفته می باشد، دگرسانی های آلونیتییک و دگرسانی اسیدسولفات زیر گروه آرژیلیک می باشند. این دگرسانی ها در منطقه به وفور یافت می گردد. از کانی های عمده دگرسانی اسیدسولفات در منطقه، ناتروژاروسیت، ناتروآلونیت، هماتیت، هالیت، کائولینیت، ژپس و کوآرتز را می توان نام برد. تمرکز زیاد فلزات سنگین و شسته شدن عناصر کمیاب در این خاک ها، باعث سمی شدن این خاک ها شده است. به همین سبب اسیدسولفات ها از خطرناک ترین خاک ها در طبیعت محسوب می گردند.

واژه های کلیدی: دگرسانی، اسید سولفات، سرخ شاد، غرب انارک

## Geneses of Acid Sulfate Alteration in Sorkhshad Area Northwest of Anarak (Central Iran)

Z. Motahari, I. Norbehesht and M. Noghreiyani  
Geology Department, The University of Isfahan

### Abstract

The Sorkhshad area is located in the northwest of Anarak (Central Iran). In this area

the hydrothermal alteration is affected as a progressive model. Many types of alteration can be observed in the area. Protilites often have andesitic extrusive body. Field study and electron microprobe, NAA, analysis characterized type of alteration and member of minerals. Alteration of the area according to tectonic consists of two major types. 1- Propylitic, Sericitic, Silicification, 2- Argillic zone consists of intermediate and advanced argillic alteration. Alunitic and acid sulfate are subset of advanced argillic alteration. The major types of mineral in these alterations are hematite, limonite, epidote, quartz. Acid sulphate soils are the nastiest soils in the world. High concentrations of heavy metals are toxic. Different hazards are posed by different kinds of acid sulphate soil.

**Keywords:** alteration, Acid sulfate, Sorkhshad, northwest of Anarak

## مقدمه

اواخر کرتاسه بر منطقه حاکم گردیده است. پتروگرافی سنگهای منطقه نشان می دهد که در ناحیه سرخ شاد ترکیب اصلی سنگ ها از نوع آندزیت، دیوریت، گابرو، آندزیت - بازالت، آندزیت - توف، توفیت، ماسه سنگ با قطعات ولکانیکی وایگنیمبریت است (نقره ئیان و همکاران، ۱۳۸۰).

از نظر مطالعات زمین ساختی در منطقه، گسل هایی با روند شمال غرب - جنوب شرق و شرقی - غربی یافت می شوند (در کل گسل ها از روند مشخصی تبعیت نمی کنند) و به دلیل عواملی چون دگرسانی به وضوح محل این گسل ها را نمی توان بر روی زمین تشخیص داد. باین وجود دگرسانی در امتداد این گسل ها بسیار شدید است.

در این پژوهش بررسی ها بر روی آندزیت ها متمرکز شده است. در اثر دگرسانی گرمایی سنگهای آندزیتی با سن ائوسن در شرق سرخ شادکانی های ژاروسیت، آلونیت، کائولینیت، همتایت، لیمونیت اپیدوت، اسفن و کلریت بوجود آمده است.

دگرسانی آلونیتی و آرژیلیتی در منطقه اکثرا تحت کنترل ساختاری می باشد. سیالات گرمایی در محل بیشتر

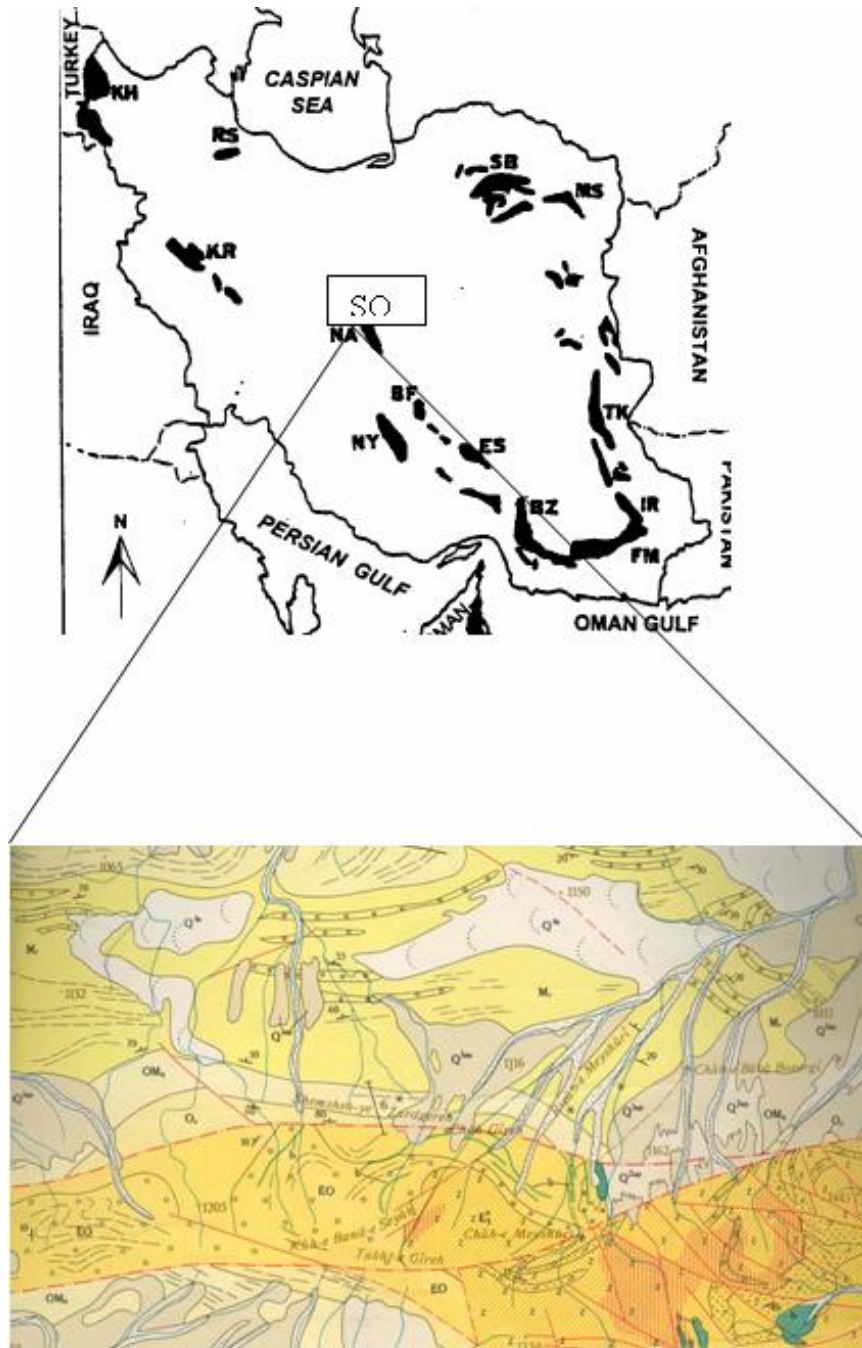
ناحیه مورد مطالعه از توابع انارک و در ۲۵۸ کیلومتری شمال شرق اصفهان قرار دارد. این منطقه در ۴۵ کیلومتری شمال غرب انارک، در ده کیلومتری روستای خالی از سکنه عشین واقع است. از دیدگاه تقسیمات زمین شناسی و ساختاری ایران، در زون ایران مرکزی (درویش زاده، ۱۳۷۰) واقع شده است (شکل ۱).

این منطقه به دلیل وجود نوار افیولیتی عشین - ناین (ناین - زوار) و به خاطر برخورد و اتصال مجموعه افیولیتی غرب ایران مرکزی (سورک، دهشیر، بافت، ناین) با افیولیت های شمال، شمال شرق یعنی امتداد گسل بزرگ کاشمر - درونه و همچنین به دلیل اینکه در محل اتصال دو گسل بزرگ کویر (درونه) و گسل شمال ناین - عشین واقع شده دارای اهمیت خاصی است. مجموعه سنگ های محیط شامل تناوبی از آندزیت، دیوریت و گابرو است.

در این منطقه فعالیت های ماگمایی سنوزوئیک با فوران سنگ های آتشفشانی صورت گرفته است. در واقع علت اصلی خروج ولکانیک ها در این منطقه فاز کمپرسیونی است که پس از فاز کوهزاهی لارامید در

این مدعاست که دگرسانی در ناحیه ثانویه بوده و منشاء سوپرژن دارد.

منشاء سطحی و به میزان کمتری منشاء ماگمایی دارند. ناتروژاروسیت که از کانی‌های خانواده آلونیت هاست، در محل بوفور یافت می‌شود. وجود ناترو ژاروسیت شاهد



شکل 1 موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

منطقه مورد نظر (SO=سرخ شاد)

## روش مطالعه

پس از مطالعات مقدماتی و مشاهدات صحرایی، بر اساس وضعیت ظاهری رخنمون‌ها، از واحدهای مختلف دگرسانی نمونه برداری شد. برخی نمونه‌ها جهت بررسی‌های میکروسکوپی انتخاب و از آنها مقاطع نازک تهیه گردید. با مطالعه میکروسکوپی مقاطع، نوع کانی، نوع دگرسانی و روابط بین کانی‌ها مشخص شد. سنگهای مرکز توده که به شدت دگرسان و رسی شده‌اند و جهت تهیه مقطع نازک مناسب نبودند، جهت آنالیزهای شیمیایی انتخاب شدند. این آنالیزها شامل NAA و میکروپروب<sup>۱</sup> می‌باشد. طبق این اطلاعات، روابط پاراژنتیکی بین کانی‌ها و در نتیجه، زون‌های دگرسانی تعیین و تفکیک گردید.

## بحث

### دگرسانی منطقه

وسعت دگرسانی گرمابی در منطقه نشان‌دهنده شدت تاثیر سیالات گرمابی است. ولکانیک‌ها در محل بیشتر تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. به همین دلیل عمده کار صورت گرفته در این ناحیه بر مطالعه آندزیت‌ها متمرکز گردیده است. این سنگ‌ها تحت تاثیر سیالات گرمابی قرار گرفته و بیشترین دگرسانی را متحمل شده‌اند. کانی‌های موجود در این سنگ‌ها شامل: پلاژیوکلاز، کلینو- پیروکسن، ایلمنیت، تیتانومگنتیت، اسفن، کوارتز، پرهنیت، کلریت، ژاروسیت، مگنتیت، هماتیت لیمونیت و ژیپس می‌باشند.

گسل‌های بعد از ائوسن و افزایش حجم ناشی از کاهش فشار سیالات، ارتباط سطح را با توده‌های نفوذی عمیق تر برقرار کرده است. در نتیجه فضاها مناسبی را بوجود آورده، بنحوی که یک چرخه شورابی عناصر را از ژرفا تا سنگ میزبان آبشویی نموده و در نزدیکی سطح در این فضا ته نشین کرده است. آندزیت‌ها در اثر هجوم محلول‌های گرمابی و آب‌های جوی به شدت دگرسان شده و زون‌های دگرسان شده متفاوتی در محل بوجود آورده‌اند.

طبق بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی و مجموعه کانی‌های شناسایی شده، هفت زون دگرسانی مختلف در ناحیه تشخیص داده شد. این هفت زون شامل: زون‌های دگرسانی پروپلیتی، سریسیتی، آرژیلیتی، سیلیسی، آلونیتی و اسید سولفات می‌باشد که همراه هم در سرخ شاد یافت می‌گردند. دگرسانی پروپیلی تیک اولین دگرسانی است که در آندزیت‌ها بوضوح نمایان است. کانی‌های شاخص زون پروپیلی تیک عبارتند از: کلریت، اپیدوت، زئولیت، کلسیت و اکسیدهای آهن (شکل ۲). کلریتی شدن، زئولیتی شدن و اپیدوتی شدن که از زیرگروه‌های دگرسانی پروپیلی تیک می‌باشند، در ناحیه قابل مشاهده‌اند (شکل ۳).

دگرسانی آرژیلیک حد واسط در اثر جایگیری یا دگرسانی فلدسپات‌ها بوجود می‌آید و کانی‌های رسی (گروه کائولن) را شامل می‌شود. در آرژیلیک پیشرفته مجموعه کانی‌های موجود توسط دگرسانی محلول‌های گرمابی در دمای پائین و متغیرو شرایط شدید اسیدی بوجود می

<sup>1</sup> - Electron Microprobe

آیند. کانی های گروه کائولن از جمله کائولینیت، شاخص این زون است.

همیافتی ناتروآلونیت - ناتروژاروسیت، کائولینیت، کوارتز وژیپس در ناحیه بیانگر این است که سنگ های آتشفشانی اسیدی در یک محیط با فعالیت بالای یون های هیدروژن و سولفات دگرسان شده اند. علت فقدان پیریت در محیط بدین دلیل است که پیریت تحت تاثیر آب های اسیدی  $pH < 3.5$  تجزیه می گردد.

در این منطقه آندزیت های دگرسان و سنگ های آذرآواری تحت تاثیر محلول های گرمابی حاوی  $P_2O_5$ ,  $CO_2$ ,  $CaO$ ,  $B$  و عناصر آلكالی قرار گرفته اند. در اثر این محلول های گرمابی کانی های اپیدوت، آپاتیت، کلسیت و کلریت شکل شده و آمفیبول های سوزنی به صورت رگه ای و رگچه ای شکل گرفته اند (شکل ۴). محلول های گرمابی در نهایت منجر به سوسوریتی، سریسیتی، کائولینیتی و کربناتی شدن پلاژیوکلازها شده اند. دگرسانی فیلیک (مجموعه کوارتز و سریسیت را فیلیک گویند) و پروپیلی تیک که از شمال غرب ناحیه شروع شده به سمت شمال شرق و جنوب شرقی، با تحمل دگرسانی شدیدتر به آرژیلیک پیشرفته تا اسیدسولفات تبدیل می گردد.

احتمالا این فعل و انفعالات در محیطی بسته و با حضور توده ای پلوتونیک آغاز شده و مرتبط با کانسارهای اپی ترمال بوده است. پس از آن بر اثر نفوذ

آب های جوی و فراوانی گوگرد در محیط و شرایط اکسیدی و افزایش اسیدیت، دگرسانی فیلیک و آرژیلیک پیشرفته و در نهایت خاکهای اسیدسولفات بوجود آمده است. خاکهای اسیدسولفات مبین دگرسانی ثانویه گرمابی می باشند. در این نوع دگرسانی آب های سطحی نقش موثری دارند.

وجود کانی های گرمابی رسی و سیلیسی، ارتباط کانه ها با فضاهای خالی ناشی از گسلها، و وجود روند مشخص در کانی سازی از دلایل وجود دگرسانی پیشرفته در منطقه است. رابطه بین مجموعه کانی های سنگ و شدت دگرسانی در زون های دگرسان در جدول ۱ نشان داده شده است.

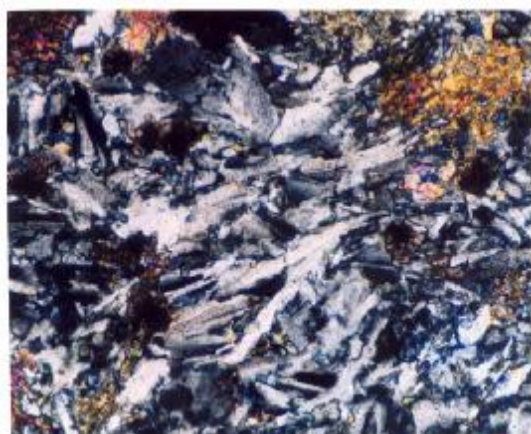
### دگرسانی سریسیتی

سریسیت نوعی هیدروموسکویت است که از تجزیه فلدسپات ها بوجود می آید. سریسیت ها در محل جانشین تمامی سیلیکات های اولیه گردیده است.

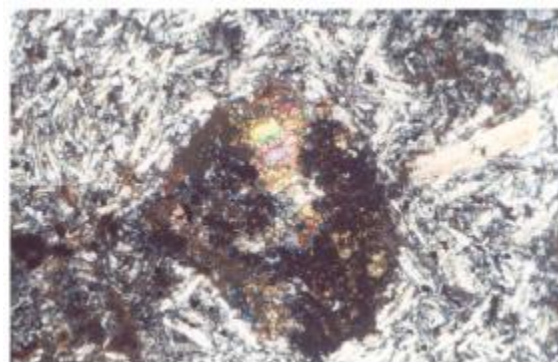
### سیلیسی شدن

سیلیسی شدن نوعی دگرسانی عمومی است که در اغلب دگرسانی ها یافت می شود. به نظر می رسد که اسیدسولفوریک به سرعت با سیلیکات ها وارد واکنش شده و با انحلال عناصری از قبیل  $(Na, K, Ca, Mg, \dots)$  در سنگ باعث بالا رفتن مقدار سیلیس در ناحیه گردیده است (شکل ۵).

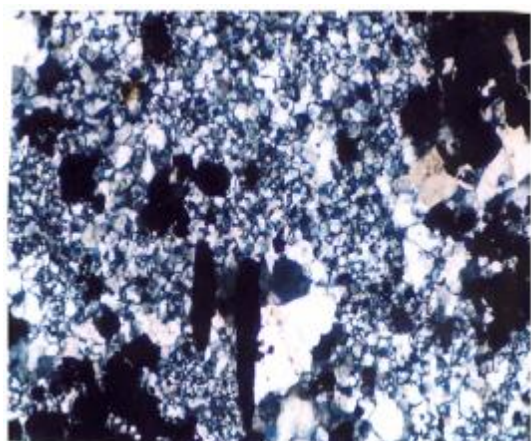




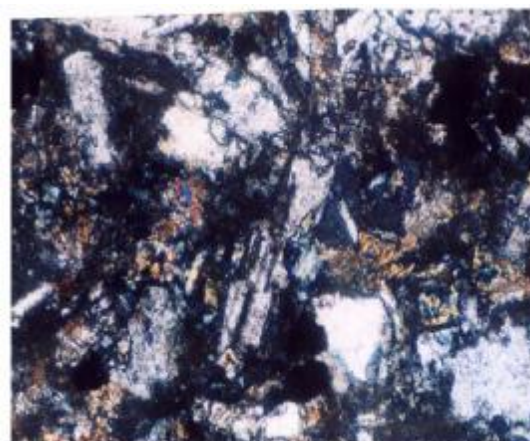
شکل ۳- اپیدوتی شدن پلاژیوکلازها در آندزیت XPL



شکل ۲- پروپیلی زاسیون در آندزیت ها رگه های کلریتی همراه اپیدوت قابل مشاهده است. پلاژیو کلاز در این سنگها فراوان و بیشترین فلدسپات سنگ است. XPL



شکل ۵- کانی سازی در زون سیلیسی. نور XPL



شکل ۴- پلاژیوکلازهای سرسیتی، رسی، کلریتی واپیدوتی شده در آندزیت ها در نور XPL

### آلونیتی شدن

اسیدسولفات نام عمومی است که به خاکهای شامل سولفیدهای آهن (پیریت) داده شده است. اسیدسولفات زیر گروه دگرسانی آرژیلیک پیشرفته است و توسط چندین مکانیسم مختلف در محیط های متفاوت زمین شناسی گسترش می یابد. این دگرسانی از آرژیلیک پیشرفته توسط وجود آلونیت در اجتماع آلونیت + کائولینیت + کوارتز + پیریت متمایز می شود (Hemley & Jones, 1964).

این دگرسانی در نتیجه شستشوی گرمابی سنگ دیواره در حضور سولفاتها بوجود می آید. زون آلونیت در نزدیکی سطح زمین در شرایط اکسیداسیون بالا، غنی بودن محلول سولفور و بالا بودن مقدار Al, K در سنگهای منطقه تشکیل شده است. کانی های ژاروسیت، هماتیت، کائولینیت، سرسیت، آلونیت همراه هم در این زون وجود دارند.

### دگرسانی اسیدسولفات

REE ها در شرایط اسیدی به شدت متحرکند. وقتی آبهای نمکی از میان خاک های اسیدسولفاته عبور می کنند نه تنها اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم را حرکت می دهند بلکه می توانند بعضی از کمپلکس های آلومینیوم دار را نیز تغییر دهند (M. E. F. Van mensvoort, 2002) در نتیجه در خاکهای اسیدسولفاته تهی شدگی داریم. در این خاکها فلزات سنگین به خارج راه می یابند، این فلزات می توانند آهن، آلومینیوم، منگنز و حتی کادمیم و آرسنیک باشند. این موضوع باعث می شود که محیط شدیداً اسیدی و غیر قابل استفاده گردد. این خاک ها باعث اثرات سوء بر روی گیاهان و جانوران منطقه شده، مشکلات عمده و اساسی برای کشاورزان ایجاد می کنند (D.L.Dent., L.J.Pons, 1995).

با توجه به افزایش چشمگیر معادنی که پس از مدتی متروک و رها می گردند. اهمیت بررسی خاکهای اسیدسولفاته نه تنها در مناطق به شدت دگرسان، بلکه در معادنی با زه کشی نامناسب نیز ضروری است. نفوذ آب های جوی به همراه اسید های معدنی محیط مناسبی را جهت تشکیل این قبیل خاک های سمی و تهی شده بوجود می آورد، که نه تنها هیچ گیاهی در آن قابل رشد نیست، بلکه باعث می گردد که مواد سمی مانند کبالت و آرسنیک و فلزات سنگین در آب های زیرزمینی و سطحی وارد شده و اثرات سویی بر روی دیگر موجودات و محیط زیست نیز بوجود آید. به دلیل اهمیت زیست محیطی و همچنین از لحاظ اقتصادی و زمین شناسی پزشکی، مطالعه خاک های اسیدسولفاته ضروری به نظر می رسد. در این بخش و باتوجه به مطالب بالا، به طرز تشکیل احتمالی خاک های اسیدسولفاته در محیط می پردازیم.

بطور کلی دگر سانی اسیدسولفات شامل مراحل زیر است:

۱- شستشوی آلومینیوم و آهن توسط آبهای اسیدی و گازهای متراکم؛

۲- ترکیب آلومینیوم و آهن باقی مانده در سولفات؛

۳- تبلور پیریت از اکسیداسیون H<sub>2</sub>S و آهن؛

۴- ته نشینی سیلیکات باقی مانده بصورت سیلیس پلی مورف (Boudon. G., B. Villemant, ..., 1996).

دگرسانی اسید سولفات بر اثر آبشویی مایعاتی که تقریباً فقط از H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> تشکیل شده در دمای ۴۰۰ درجه بوجود می آید. این شرایط بیانگر pH بسیار پایین و شرایط اکسایش است که یونهای سولفات یا گاز SO<sub>2</sub> اکسیدکننده های اصلی آن است. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> مورد نیاز برای تشکیل اسیدسولفات ممکن است توسط مکانیسم های متفاوت در ۳ محیط کانه زایی بوجود آمده باشد:

۱- محیط سوپرژن<sup>۱</sup>، ۲- جریانات داغ<sup>۲</sup> و ۳- ماگماتیسیم هیدروترمال<sup>۳</sup> بعلاوه رگه های درشت آلونیت ممکن است مستقیماً از فاز بخارناشی از محیط جریانهای ماگمایی<sup>۴</sup>، ته نشین گردد (Robert. O. Rey, 1992). در این ناحیه با توجه به ترکیب کانی ها و نوع دگرسانی اثر جریانات داغ و در نهایت اثر آب های جوی در تشکیل این نوع خاک ها بخوبی مشهود است.

علت فقدان پیریت در چنین محیطی این است که پیریت تحت تاثیر آبهای اسیدی pH < 3.5 تجزیه می گردد. در نتیجه واکنش پیریت با اکسیژن و آب اسیدی، آهن فرو و سولفات ویون هیدروژن ایجاد می شود:

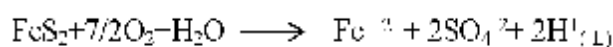
1- Supergene

2- Steamheated

3- Magmatic hydrothermal

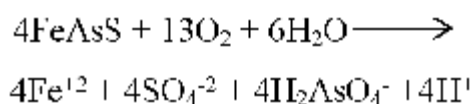
4- Magmatic Steam environment

(۱)



و آرسنوپیریت ممکن است توسط واکنش زیر اکسید شده باشد.

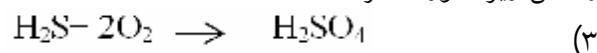
(۲)



اگر اکسیژن موجود باشد، نسبت اکسیداسیون آرسنوپیریت تا اندازه‌ای کمتر از پیریت است (Mok & Wai, 1994).

در نتیجه اکسیداسیون پیریت و آرسنوپیریت، آرسنیک وارد آب‌های زیر زمینی می‌گردد. به همین دلیل آرسنیک در محیط فراوان یافت می‌گردد (یکی دیگر از دلایل خطرناک بودن این خاک‌ها). طبق این واکنش‌ها، در دگرسانی اسیدسولفات اکسیژنی که توسط آب‌های سطحی به زیر سطح آورده شده‌اند اسیدی به وجود می‌آورد که بلافاصله به سنگ‌های اطراف حمله‌ور می‌شود (Browne, 1991). در این سیستم، از واکنش بین  $\text{SO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  در دمای پایین بوجود آمده است (Rey et al, 1991).

کائولن، ژیپس، سریسیت، هماتیت و ژاروسیت به وفور در این خاک یافت می‌گردد.  $\text{H}_2\text{S}$  که از ماگما یا مایعات عمیق تر دگرسانی متصاعد می‌شود ممکن است اسیدسولفوریک را بوجود آورده باشند. به این صورت که با اکسید شدن اکسیژن اتمسفری در محیط جریان‌ها داغ واکنش زیر صورت گرفته است:

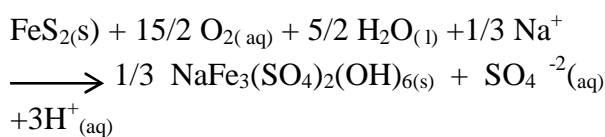


این محیط بطور عمده در میدان‌های ژئوترمالی رخنمون دارد (Rey et al, 1991). همیافتی آلونیت، ژاروسیت، سریسیت، کائولینیت، آلکالی فلدسپارو کوارتز بیانگر این مطلب است که آندزیت‌ها در یک محیط با فعالیت بالای  $\text{H}^+$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  و در PH پایین دگرسان شده‌اند.

هرچه از pH محیط کاسته شود، رقابت بین فلز و یونهای هیدروژن برای اشغال موقعیت‌های موجود در ذرات افزایش می‌یابد. کاهش pH همچنین ممکن است کمپلکس‌های فلز-کربنات را حل نماید و باعث رها سازی یون‌های فلزی آزاد به درون ستون آبی شود. تنوع کمپلکس‌ها نیز به PH وابسته است. با کاهش pH از مقدار Si کاسته شده و بر میزان کانی ژاروسیت که معرف دگرسانی پیشرفته (زون آرژیلیک) است افزوده می‌شود. آلونیت معمولاً در pH کمتر از ۳ تا ۴ بوجود می‌آید.

کائولینیت نیز در شرایط PH پایین تشکیل می‌گردد. هیدرولیز یا متاسوماتیسم یون هیدروژن که در دگرسانی گرمابی مشاهده می‌شوند فرآیند مهمی می‌باشند که مستلزم تجزیه یونیک -OH،  $\text{H}^+$  می‌باشد. در دگرسانی گرمابی،  $\text{H}^+$  یا -OH در طی واکنش با کانی‌های سیلیکاته مصرف می‌شوند، بطوری‌که نسبت آنها تغییر می‌کند. تبدیل سیلیکات‌های بی‌آب به آبدار واکنشی است که باعث مصرف  $\text{H}^+$  و آزاد سازی یونهای فلزی به داخل محلول می‌شود که این به نوبه خود بر روی pH محلول و قدرت نگهداری یا نامحلولی کاتیون‌ها در محلول اثر می‌گذارد. حدود pH احتمالاً توسط واکنش‌های زیر کنترل می‌شود. در pH کمتر از ۳/۷:

(۴)

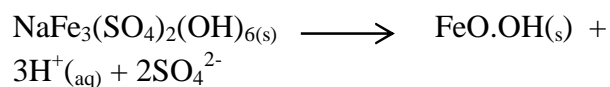




مورد آنالیز انجام گرفته اند که شامل: زون سیلیسی (AS)،  
زون آرژیلیتی (CjY)، اسید سولفات (CJ) و زون اکسیدی  
که بصورت میانگین نشان داده شده (BFT)، زون  
کائولینی (AK) و سرباره کوره ذوب (Re) می باشد.

و در pH بالاتر ناترو ژاروسیت در نهایت به گوئیت  
هیدرولیز می گردد.

(۵)



pH محیط، حلالیت، انتقال و ته نشست طلا

و آرسنیک رانیز در محیط کنترل می کند.

کانی ژاروسیت فقط در شرایط اسیدی پایدار است،  
بنابر این به شرایط احیا نیاز دارد تا آرسنیک را آزاد نماید.

با توجه به فراوانی سدیم در ژاروسیت ها (جدول ۱)

همچنین فراوانی آهن در منطقه، ژاروسیت ها از نوع  
سدیم دار (ناتروژاروسیت) تشخیص داده شدند.

در این مقاله داده ها بر اساس نتایج آنالیز NAA،

(جدول ۲) تفسیر گردیده اند. در این جدول شش نمونه

Sample	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na O	K O	CaO	SrO	BaO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl	O=Cl
FeSulf-1	0.45	47.24	0.01	0	6.79	0.11	0.01	0.45	0	32.74	0.64	0	0
FeSulf-2	0.46	47.7	0	0	6.81	0.11	0.01	0.4	0	33.09	0.69	0	0
FeSulf-3	0.41	48.24	0	0	6.96	0.11	0.02	0.31	0.02	33.02	0.56	0.01	0
FeSulf-4	0.54	47.75	0.01	0	6.77	0.09	0.01	0.37	0	32.82	0.72	0.01	0
FeSulf-5	0.44	48	0	0	6.8	0.1	0	0.42	0	0.65	32.99	0	0
FeSulf-6	0.54	47.64	0	0	6.77	0.01	0.01	0.37	0	0.72	32.82	0.01	0
FeSulf-7	0.43	48.05	0	0	7.06	0.1	0.02	0.32	0	0.64	33.07	0	0
FeSulf-8	0.35	45.69	0	0	6.5	0.11	0.02	0.51	0.01	0.72	31.32	0	0
FeSulf-9	0.33	48.22	0.02	0	6.94	0.12	0.02	0.38	0.04	0.54	33.04	0.1	0
FeSulf-10	0.37	47.81	0	0	6.88	0.11	0.03	0.35	0	0.6	32.74	0.01	0

جدول ۱: نتایج آنالیزهای میکروپروب (که در مرکز پژوهش های علمی کشور فرانسه (CNRS) در شهر نانسی بر روی

ناتروژاروسیت سرخ شاد صورت گرفته است.

جدول ۲ نتایج حاصل از آنالیزهای NAA (که در مرکز انرژی اتمی ایران) بر روی ۶ نمونه در سرخ شاد صورت گرفته است.

	CJY	CJ	BFT	AK	AS	Re
SiO <sub>2</sub>	7.33%	4.25%	2.02%	12.29%	71.11	?
TiO <sub>2</sub>	0.04%	0.05%	0.34%	0.34%	1.80%	0.53%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06%	0.40%	3.87%	29.45%	11.09%	8.51%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	69.31%	57.33%	86.88%	5.12%	3.33%	33.61%
MnO	13	100	139.6667	90	21	538
MgO	0.08%	0.12%	0.27%	2.27%	1.22%	1.99%
CaO	7.45%	0.46%	0.72%	0.14%	0.49%	7.10%
Na <sub>2</sub> O	2.47%	6.06%	1.27%	7.49%	1.01%	1.84%
K <sub>2</sub> O	0.09%	0.16%	0.06%	0.22%	0.06%	0.45%
LO I	10.90%	35.9%	6.52%	43.07%	?	9.59%
Cr	19	187	2000.00%	40	20	85
Co	1	1	4866.67%	1	3	18
Sc	0.57	0.07	990.67%	10.44	9.48	24.16
V	2	17	268%/3	443	154	157
Cu	100	247	41733.33	0.13%	350	0.35%
Zn	25	60	133	34	50	0.20%
In	0.20	0.29	30.7	2.11	0.27	0.20
Mo	3	3	26	3	2	37
As	4	488	47.66667	3	3	0.11%
Se	1.09	0.10	0.88	0.14	0.19	0.80
Sb	0.77	0.25	1.13	0.23	0.45	193
Ag	1	3	2	2	1	1
Au	70*	10*	23S	10*	10*	50*
Hg	6.53	1.10	4.58	0.60	0.50	1.50
Rb	25	19	29	8	10	20
Ba	130	100	143.3333	70	180	11.78%
Sr	135	0.74%	221	649	297	0.37%
Ga	8	299	14.66667	17	6	9
Ta	0.40	0.70	0.48	0.33	0.25	0.50
Hf	0.50	0.60	0.616667	0.40	2.87	1.43
Th	0.35	0.35	0.54	0.46	0.30	1.03
U	0.90	0.65	0.716667	0.70	1.11	2.00
La	0.35	36.92	3	5.52	5.62	58.48
Ce	3.10	29.94	22.83	16.75	17.00	16.67
Nd	3.60	3.50	3	12.02	14.94	495.41
Sm	1.50	0.30	1.126667	1.63	1.04	9.04
Eu	0.10	0.15	0.26	0.09	0.56	2.24
Gd	0.80	1.10	1.063333	0.75	4.69	1.60
Tb	0.24	0.22	0.213333	0.13	0.30	3.13
Dy	0.24	0.33	0.446667	0.29	0.20	16.40
Ho	0.80	1.30	0.61	1.33	0.50	4.22
Tm	0.45	0.72	0.626667	0.33	0.33	2.76
Yb	0.40	0.32	0.383333	0.27	0.96	10.19
Lu	0.04	0.05	0.093333	0.04	0.15	1.53
Cl	2.36%	0.27%		0.10%	0.28%	632

\* =Ppb

عناصر کمیاب بر حسب ppm

۱- به دلیل چرخه مواد هیدروترمالی انواع آتراسیون از پروپلیتیک تا آرژیلیک پیشرفته و در نهایت اسید سولفات (افزایش شدت دگرسانی از پروپلیتیک تا اسیدسولفات) در ناحیه یافت می شود.

۲- با بررسی نمونه ها در جدول ۲ مشاهده می شود که Sr در تمام نمونه ها از Ba بیشتر است در نتیجه می توان گفت که در ترکیب سنگ مادر اصلی پلاژیوکلاز فراوان تر از فلدسپات های پتاسیم است.

۳- کانی های موجود در سنگ های آتره سرخ شاد، شامل ژاروسیت، ناترو ژاروسیت، آلونیت، ناترو آلونیت، کلریت، اسفن، اپیدوت، تیتانو مگنتیت، ایلمنیت، کوارتز، هالیت، کائولینیت و هماتیت می باشد.

۴- حضور کانی های گروه آلونیت به فعالیت یون سولفات و pH محیط وابسته می باشد.

۵- pH محیط بین ۳-۴ و در خاک های اسیدسولفاته کمتر از ۳ می باشد. خاک های اسیدسولفاته تحت شرایط اسیدی تشکیل گردیده اند. بطور کلی: PH در سیالات گرمابی کاهش یافته و Eh سیستم افزایش یافته است.

۶- به دلیل وفور اکسیدهای آهن در محیط آلونیت کمتر تشکیل شده و بجای آن ژاروسیت بوجود آمده است. ژاروسیت ها در سرخ شاد به دلیل وفور سدیم بر اساس داده های مایکروپروپ، از نوع ناترو ژاروسیت به

فرمول عمومی:  
(Na 0.84, K0.02, Ca0.0011, Ba0.0002, Sr0.0348)(Fe2.88, Al0.071)2.95{(OH)6 / (PO4) 0.0443, (SO4)1..980}

می باشد. همچنین با توجه به این آنالیزها در می یابیم که ژاروسیت از Sr, Cl, P غنی است، استرانسیم (Sr) عنصری است که به وفور در فلدسپات های محیط یافت می گردد. استرانسیم (Sr) در ساختمان پلاژیوکلازها بجای کلسیم پذیرفته شده است در طی این فرآیند Sr از ماگما خارج می شود و در فلدسپاتها تجمع می یابد.

با بررسی نمونه ها در جدول ۲ مشاهده می شود که: Sr در تمام نمونه ها از Ba بیشتر است در نتیجه می توان گفت که در ترکیب سنگ مادر اصلی پلاژیوکلاز فراوان تر از فلدسپات های پتاسیم است. استرانسیم (Sr) عنصری است که به وفور در فلدسپات های محیط یافت می گردد. استرانسیم (Sr) در ساختمان پلاژیوکلازها بجای کلسیم پذیرفته شده است در طی این فرآیند Sr از ماگما خارج می شود و در فلدسپاتها تجمع می یابد.

به دلیل وفور اکسیدهای آهن در محیط آلونیت کمتر تشکیل شده و بجای آن ژاروسیت بوجود آمده است. همچنین با توجه به داده های مایکروپروپ (جدول ۱) در می یابیم که ژاروسیت از Sr, Cl, P غنی است. بر اساس داده های جدول ۱، ژاروسیت ها در سرخ شاد به دلیل

وفور سدیم از نوع ناترو ژاروسیت به فرمول عمومی:  
(Na 0.84, K0.02, Ca0.0011, Ba0.0002, Sr0.0348)(Fe2.88, Al0.071)2.95{(OH)6 / (PO4) 0.0443, (SO4)1..980}

می باشد.

کلردرسیالات محیط بیش از فلور بوده است. کمپلکس های کلریدی و سولفیدی نقش مهمی در حمل و ته نشست طلا ایفا می کنند. از آنجا که کمپلکس های سولفیدی کمتر به دما وابسته اند برای انتقال طلا مناسب ترند. عامل مهم و موثر در ته نشست طلا از دست رفتن سولفید هاست (Reed and Spycher, 1985) زیرا وجود بیش از حد گوگرد در محیط مانع از ته نشست طلا در محیط گشته است. عناصر نادر خاکی به دلیل شرایط اسیدی حاکم بر محیط شسته شده و از محیط زدوده شده است.

**نتیجه گیری**

قدردانی را دارم. از آقای دکتر قدرت ترابی بخاطر در اختیار نهادن نتایج آنالیز NAA و راهنمایی های ارزنده متشکرم. از جناب آقای مهندس محمدعلی مکی‌زاده تقدیر و تشکر فراوان دارم.

### منابع

۱- نقره‌ئیان، م، مکی‌زاده، م، ع، شرافت، ش، پتروگرافی و ژئوشیمی لیسونیت‌ها در مجموعه‌های افیولیتی ایران، گزارش پایانی طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۶۶ صفحه (منتشر نشده)، ۱۳۷۷.

۲- درویش‌زاده، ع، زمین‌شناسی ایران- چاپ مؤسسه انتشارات امیر کبیر، ۹۰۱ صفحه، ۱۳۷۰.

3- G. B., Boudon. J. C., Villemant., Komorowski., The hydrothermal system of Soufrier Hills volcano, Montserrat (West India): chemical, mineralogical. And microtextural signature in fluids, altered rocks, and 1995-96 tephra, Open Scientific Meeting, p. 1-4; (1996).

4- P. R. L., Brown. J. V. Lawless., Characteristics of hydrothermal eruptions, with examples from New Zealand and elsewhere, Earth Science review, p. 199-331; (2001).

5- D. L., Dent, L. J. Pons., A World perspective on acid sulphate soils, Geoderma, P. 263-276; (1995).

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

7- W. M., Mok. and C. M., Wia. Mobilization of arsenic in contaminated river waters. In, Nriagu, J. O. (Ed.): Arsenic in the environment. Part I Cycling and characterization. John Wiley Interscience, New York, p. 99-108; (1994).

8- O., Rye Robert., O., Philip, The Stable Isotope Geochemistry of Acid Sulfate Alteration, Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, v. 87. no. 2, p. 225-261; (1992).

9- M. E. F., Van Mensvoort, J., Duong van Niand., van der Schans., Improvement of Acid Sulphate Soils by leaching with Salt or Brackish Water; (2002).

۷- حرارت در منطقه بین ۵۰-۲۰۰ درجه بوده است زیرا که در محیط بر اساس آنالیزهای موجود:

الف- آنالسیم وجود دارد که دمای تشکیل آن بین ۵۰-۲۰۰ درجه است.

ب- ناتروژاروسیت با دمای ۵۰-۲۰۰ موجود می‌باشد.

ج- اپیدوت فراوان، عمده‌ترین متازوماتیسم کلسیم در حرارت پایین است.

د- در نهایت آلونیتها در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد بوجود می‌آیند (کائولینیت در دمای کمتر از ۱۴۰ درجه به آلونیت تبدیل می‌شود).

دمای ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه قابل مقایسه با دمای تشکیل دگرسانی آرژیلیتی شدن اپی ترمال از نوع سولفیداسیون بالا در مناطق فرورانش قوس‌های قاره‌ای است.

۸- با توجه به این که عامل مهم و موثر در ته نشست طلا از دست رفتن سولفیدهاست، وجود بیش از حد گوگرد در محیط مانع از ته نشست طلا در محیط گشته است، به همین سبب طلا در نمونه های تجزیه شده کم است.

۹- عناصر نادر خاکی به دلیل شرایط اسیدی حاکم بر محیط شسته شده و از محیط زدوده شده است.

۱۰- اپیدوت و کلریت تحت تاثیر سیالات گرمابی جانشین پلاژیوکلازها و پیروکسن های موجود در منطقه شده اند.

### تقدیر و تشکر

تقدیر و تشکر از کلیه عزیزانی که مرا در طی این مقاله یاری کردند را بر خود واجب می‌دانم. از آقای دکتر ایرج نوربهبشت و آقای دکتر موسی نقره‌ئیان به خاطر راهنمایی‌ها و رهنمودهای ارزشمندشان کمال تشکر و