

Textures and REE geochemistry in Gian copper occurrence

Taghipour, N. and Moore, F.
Department of Geology, Shiraz University,
n.taghipoor@graduate.uk.ac.ir

Key Words: *copper, metamorphism, REE*

Abstract: The Upper Devonian - Lower Carboniferous Sourian complex, is composed of clastic - carbonates, volcanic, metamorphic rocks and quartz lenses hosts copper mineralization in Gian area of Fars province.

This complex is metamorphosed to green schist facies. This metamorphism resulted in massive to disseminated sulfide mineralization in the direction of schistosity and within quartz lenses.

Low-grade green schist facies metamorphism is recognized with cataclastic flow and fracturing of pyrite crystals, infilling of fractures of pyrite with chalcopyrite, pressure shadow of chalcopyrite around pyrite, recrystallization and presence of triple junctions in pyrite.

Distribution pattern of REE in schists of Gian copper shows a decreasing trend from La to Lu. The ratio of $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ is more than one and the ratio of $\text{La}_N / \text{Yb}_N$ is less than 15. This indicates that schists are formed by the metamorphism of shales and the ratio of $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{cn}} > 1$ indicates that the transfer of REE has been affected by surface adsorption. It may be concluded that this copper occurrence is the result of ore-bearing shale metamorphism.

پژوهشی

مطالعات بافتی و عناصر نادر خاکی (REE) در رخداد مس جیان

نادر تقی پور و فرید مَر

بخش زمین شناسی، دانشگاه شیراز

(دریافت مقاله ۱۳۸۰/۵/۸ دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۱/۲/۲۵)

چکیده: همبافت سوریان به سن دونین فوقانی - کربونفر زیرین، شامل سنگهای آواری - آهکی، آتشفشانی، دگرگونی و عدسی های کوارتز، سنگ میزبان کانه زایی مس در منطقه جیان استان فارس است. این همبافت در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده است. این دگرگونی باعث قرار گرفتن کانه های توده ای و افشان سولفیدی در جهت برگوارگی شیست ها و درون عدسی های کوارتز شده است. پیریت و کالکوپیریت کانیهای اصلی هستند. دگرگونی ناحیه ای درجه پایین شیست سبز، با جریان تنش آواری و خرده بلورهای پیریت، پر شدن شکستگیهای پیریت با کالکوپیریت، سایه فشار کالکوپیریت در اطراف پیریت، تبلور دوباره و پیوندگاه سه گانه در پیریت مشخص می شود.

نمودار پراکندگی عناصر نادر خاکی شیست های ذخیره مس جیان از La به Lu یک سیر نزولی را نشان می دهد و نسبت $\sum LREE/\sum HREE$ بیش از یک و نسبت La_N/Yb_N کمتر از ۱۵ است و گویای تشکیل شیست ها از دگرگونی شیل هاست. همچنین نسبت $(La/Lu)_{cn} > 1$ نشان می دهد که فرایند جذب سطحی در انتقال عناصر نادر خاکی دخالت داشته است. به طور کلی می توان گفت که ذخیره مس جیان حاصل دگرگونی یک شیل کانه دار است.

واژه های کلیدی: مس، دگرگونی، عناصر نادر خاکی

مقدمه

تعداد زیادی ذخیره سولفید توده‌ای و افشان از مناطق دگرگون شده جهان گزارش شده‌اند [۱] و ذخیره مس جیان نیز در زمره این گروه از ذخایر محسوب می‌شود که دگرگونی ناحیه‌ای آن در حد رخساره شیبست سبز درجه پایین است و با حضور کانیهای کلریتی و سریستی مشخص می‌شود.

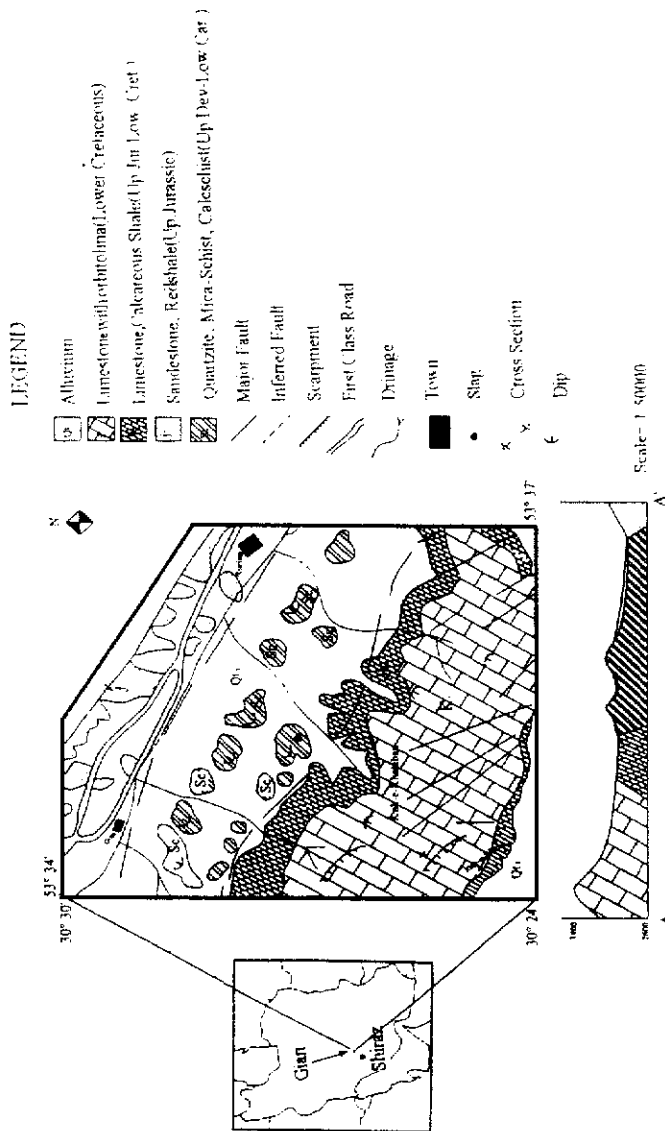
پژوهشگران زیادی از مطالعه ریز ساختارهای سولفیدی و فابریک‌ها برای تعیین وسعت دگرشکلی و دگرگونی کانیهای سولفیدی استفاده کرده‌اند [۲، ۳، ۴]. مارشال و همکاران [۳] به بررسی جنبه‌های تحرک دوباره ذخایر پرداخته و نشان دادند که ساز و کارهای دگرشکلی شامل تحرک دوباره درونی و بیرونی کانسنگ سولفیدی را می‌توان از روی بافتها و ساختها، در محل جایگیری کانسار مشخص کرد.

جایگاه زمین‌شناختی رخداد مس جیان

ذخیره مس جیان در ۱۸۰ کیلومتری شمال شرق شیراز در منطقه بوانات در زون سندج - سیرجان واقع شده است. این ذخیره در همبافت سوریان که شامل مجموعه‌ای از سنگهای آواری - آهکی، آتشفشانی، دگرگونی، و عدسی‌های کوارتزی به سن دونین فوقانی - کربونیفر زیرین است، قرار دارد [۵] (شکل ۱).

سنگهای دگرگونی غالب در این همبافت را کلریت شیبست و کالک شیبست تشکیل می‌دهند. عدسی‌های کوارتزی دارای اندازه‌های متفاوتی هستند (با ضخامت بیشینه ۲ متر). این عدسی‌ها درون شیبست‌ها قرار دارند و از روند کلی شیبست‌سائی حاکم بر این سنگها که شمال غربی - جنوب شرقی است، تبعیت می‌کنند. دایکهای دیابازی سنگهای آذرین این همبافت را تشکیل می‌دهند که شیبست‌سائی سنگهای دگرگون را قطع کرده‌اند. علاوه بر همبافت سوریان، آهکهای توده‌ای و خاکستری به سن ژوراسیک - کرتاسه و آهکهای کرتاسه در جنوب معدن و شیل‌های قرمز رنگ ژوراسیک در شمال معدن وجود دارند [۶].

دو گسل با روند شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه دیده شده‌اند که گسل شمالی بین همبافت سوریان و شیل‌های قرمز رنگ ژوراسیک، و گسل جنوبی بین همبافت سوریان و آهکهای ژوراسیک - کرتاسه واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده ذخیره مس جیان.

ویژگیهای توده معدنی

سنگ میزبان کانه‌زایی در معدن مس جیان شیست‌ها و عدسی‌های کوارتز هستند. کانسنگ شیست سولفیدی از نازک لایه‌های غنی و فقیر سولفیدی تشکیل می‌شود. ضخامت این نازک لایه‌ها از ۲mm تا ۹mm تغییر می‌کند. پیریت کانی اصلی سولفیدی است که به صورت خوش وجه در این سنگ میزبان دیده می‌شود.

اندازه این بلورها متفاوت بوده و از دانه‌های بسیار ریز تا بلورهایی با ابعاد ۳mm متغیر است. نازک لایه‌های فقیر سولفیدی با دانه‌های پراکنده پیریت که به موازات شیب سائی قرار گرفته‌اند، مشخص می‌شوند.

عدسی‌های کوارتزی در همبافت سوریان در درون سنگهای دگرگونی قرار گرفته‌اند و از شیب سائی حاکم بر این سنگها تبعیت می‌کنند. عدسی‌های کوارتز سولفیدی نیز در درون شیب‌های سولفیدی قرار دارند. اندازه این عدسی‌های کوارتز سولفیدی متغیر بوده و ضخامت بیشینه آنها ۱m است. پیریت و کالکوپیریت کانیهای اصلی سولفیدی، در عدسی‌های کوارتز جای دارند. این کانیها بیشتر به صورت افشان در درون عدسی‌های کوارتزی قرار گرفته‌اند.

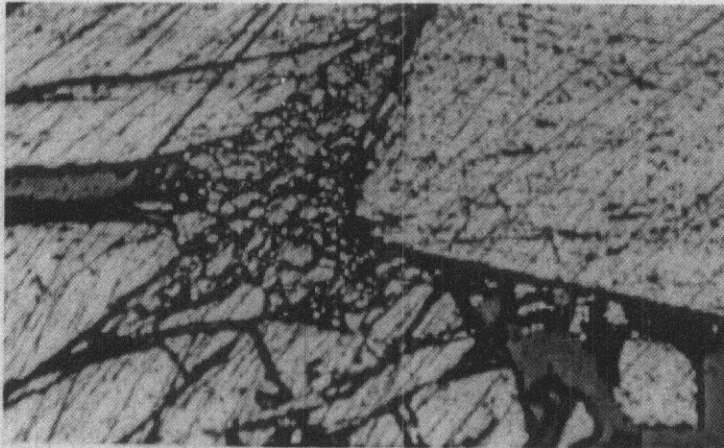
کانه چیره سولفیدی در نازک لایه‌های غنی سولفیدی شیب‌ها، پیریت است. مشخصه بارز این نازک لایه‌های پیریتی، بافت تنش‌آوری (کاناکلستی) آنهاست. در بخش‌های چین‌خورده شیب‌های سولفیدی، پیریت با ساخت بالشتکی یافت می‌شود. فضای بین بالشتکها با کوارتز و یا کلریت پر شده است.

هر جا که پیریت به فراوانی یافت می‌شود و در جایی که بلوره‌های خوش‌وجه پیریت تحت تاثیر نیروهای عمل‌کننده در مقابل یکدیگر قرار گیرند، دگرشکلی تنش‌آوری رخ می‌دهد [۷] (شکل ۲).

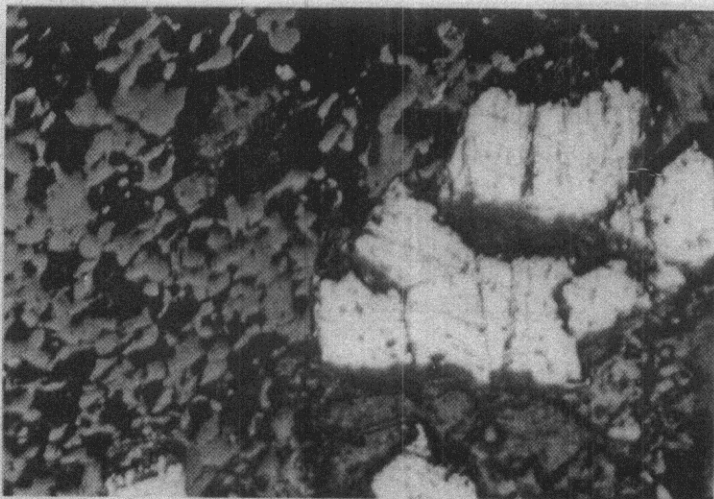
کانی پیریت علیرغم سختی و ماهیت دیرگداز خود، تمایل دارد که در واکنش به دگرگونی در درجات رخساره شیب سبز و بالاتر، باز بلوریده شود. باز بلورش بخشهای حاوی پیریت فراوان باعث تشکیل پیریت‌های موزاییکی با بافت پیوندگاه سه‌گانه شده و از روی زاویه ۱۲۰ بین دانه‌های پیریت مشخص می‌شود [۸] (شکل ۳). در مواردی مرزهای پیوندگاه سه‌گانه در اثر فشارهای زمین‌ساختی یا فشار شاره باز می‌شود که در این حالت کانیهای نرمتر مانند کالکوپیریت بین مرز دانه‌ها جانشین می‌شوند (شکل ۴).

اغلب کانسارهای سولفیدی که تحت تاثیر دگرگونی قرار گیرند، بافتی به وجود می‌آیند که نشانگر تحرک مواد سولفیدی نرمتر (کالکوپیریت، پیروتیت، اسفالریت، و گالن) به داخل شکستگیهای موجود در درون سولفیدهای سخت‌تر و شکننده‌تر (پیریت و آرسنوپیریت) است. شکل ۵ چنین حالتی را در ذخیره مس جیان نشان می‌دهد که

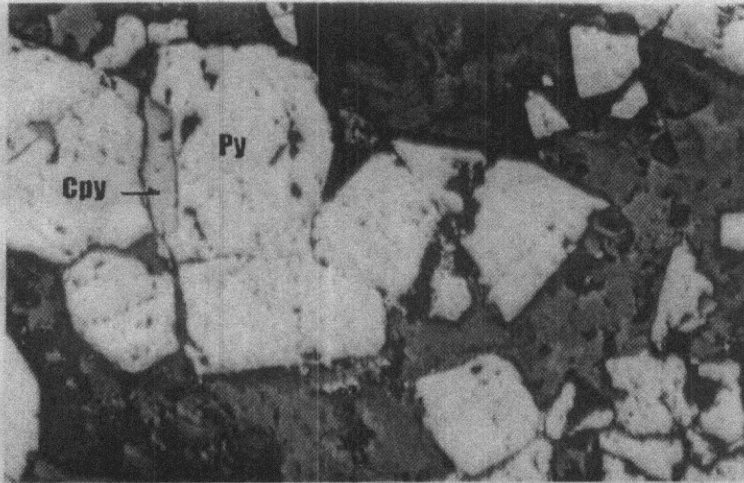
شکستگیهای پیریت با کالکوپیریت پر شده است. از جنبه‌های دیگر همین فرایند مهاجرت مواد سولفیدی نرم به صورت سایه فشاری در اطراف کانیه‌های سختتر و سفتر است (شکل ۶).



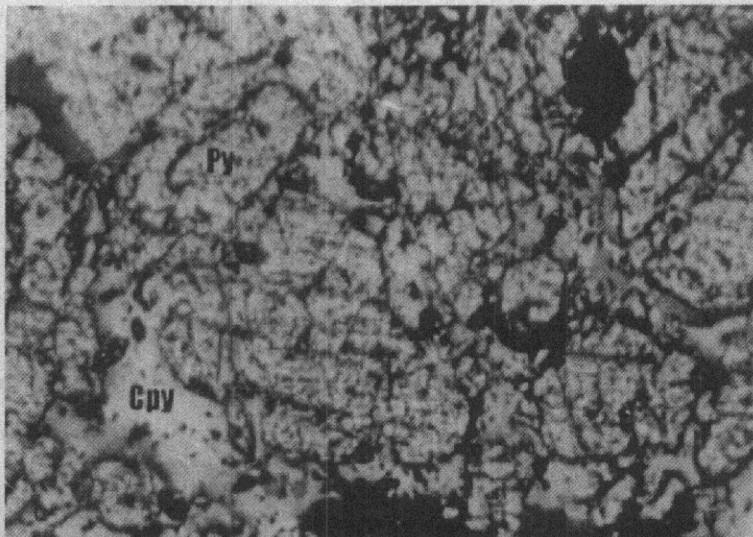
شکل ۲- بافت تنش آواری (کاتاکلستی) در پیریت درون عدسی کوارتزی (نور عادی)
بزرگنمایی ۵۰x.



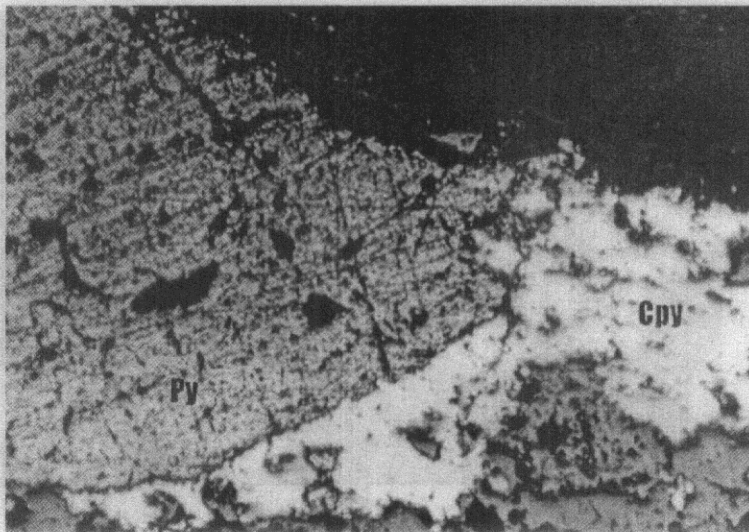
شکل ۳- بافت پیوندگاه سه گانه در پیریت درون شیبست کانه دار (نور عادی)
بزرگنمایی ۵۰x.



شکل ۴- پر شدن فضای بین بلورهای پیریت تشکیل دهنده بافت پیوندگاه سه گانه با کالکوپیریت (نور عادی) بزرگنمایی ۱۰۰x.



شکل ۵- بافت تنش آواری (کاتاکلستی) در پیریت و پرشدگی شکستگیها با کالکوپیریت (نور عادی) بزرگنمایی ۵۰x.



شکل ۶- سایه فشاری کالکوپیریت در اطراف پیریت در عدسی کوارتزی (نور عادی)
 بزرگنمایی، ۵۰x.

مارشال و همکاران [۳] اخیراً "بحثی در بارهٔ تحرک دوباره، در محیط‌های دگرگون ناحیه‌ای ارائه کرده‌اند. بنا بر نظر این پژوهشگران سازوکارهای اصلی در دگرگونی، شامل شارش تنش‌آواری و دانه‌ای^(۱) و شارش دررفتگی^(۲) است. به عقیدهٔ کاکس [۵] در محیط‌های با فشار محصور کننده و دمای پایین، شارش تنش‌آواری^(۳) و گسیخت شکننده^(۴)، ساز و کارهای مهم دگرشکلی کانیهای سولفیدی هستند. با شواهد ریز بافتی تحرک دوباره در محیط‌های دگرگون، پیریت غالباً گسیخته یا شکسته می‌شود و سپس این شکستگیها به وسیلهٔ سیلیکاتها، کربناتها، و یا سولفیدها به صورت نهشته شدن از یک محلول به طور همزمان با خرد شدن پیریت، و یا از طریق حمل در حالت جامد سولفیدهای انعطاف‌پذیر، پر می‌شود.

1- Cataclasis and granular flow
 3- Cataclasis flow

2- Dislocation flow
 4- Brittle failure

بر اساس نظر مارشال و گیلیگان [۲] کالکوپیریت کانی رایجی است که یا با حرکت دوباره خود به صورت شاره و یا با مهاجرت انحلال فشاری^(۱)، شکستگیهای موجود در پیریت را پر می‌کند.

زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی (REE)

به منظور مطالعه عناصر نادر خاکی و بررسی چگونگی توزیع و انتقال این عناصر در فرایند دگرگونی، ۷ نمونه از زون کانه‌دار و ۳ نمونه از شیست‌ها برای تجزیه به روش فعال‌سازی نوترونی (NAA) به مرکز انرژی اتمی اصفهان ارسال شد. عناصر REE که در این تجزیه اندازه‌گیری شده‌اند، شامل La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Tm, Yb, Lu بودند.

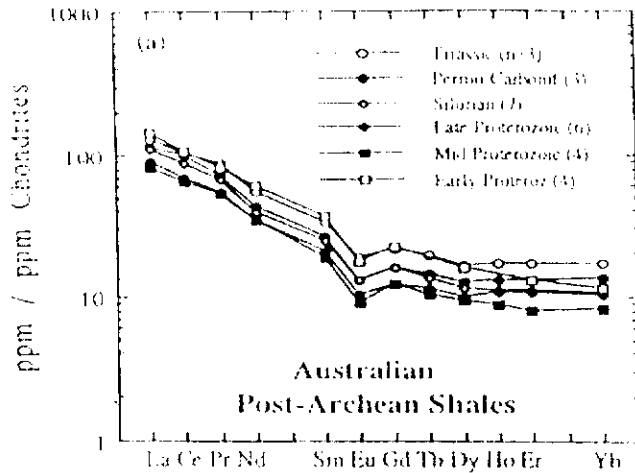
برای اینکه این بررسی به سهولت انجام شود، فراوانی این عناصر در هر یک از نمونه‌های برداشت شده، به فراوانی عناصر مشابه در کندریت بهنجار شد. در این بررسی پارامترهای $\Sigma LREE/\Sigma HREE$, ΣREE , $\Sigma HREE$, $\Sigma LREE$ بهنجار شده و بر اساس کندریت نیز برای این نمونه‌ها محاسبه شدند (جدول ۱).

مقایسه الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی شیست‌های ذخیره مس جیان با الگوی پراکندگی REE شیلها

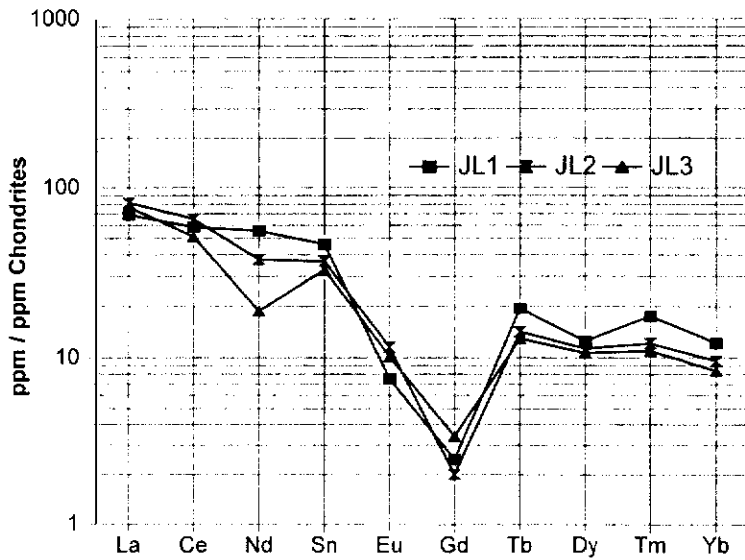
با توجه به اینکه شیست، میزبان کانه‌زای کانه‌های مس است، و مقدار کانی کوارتز در شیست بیش از ۵۰٪ حجمی و میزان کانیهای میکایی بیش از ۲۵٪ است، بنابراین می‌توان گفت که این شیست‌ها از دگرگونی سنگهای ناآذین به وجود آمده‌اند. برای مشخص کردن سنگ متشاء شیست‌ها، مقایسه‌ای بین پراکندگی REE در شیست‌ها و پراکندگی REE در ۲۳ نمونه از شیل‌های پس از آرکئن استرالیا صورت گرفته است. شکل ۷ نمودار REE بهنجار شده با کندریت شیل‌های پس از آرکئن استرالیا را نشان می‌دهد. از مشخصه‌های بارز این نمودار، غنی‌شدگی این شیلها نسبت به LREE و ناهنجاری منفی Eu می‌باشد. در این شیلها نیز $Gd_N/Yb_N=1-2$ و La_N/Yb_N کمتر از ۱۵ است [۱۰].

جدول 1 مقادیر عناصر نادر خاکی و نسبت آنها در شیستهای ذخیره مس جیان.

	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Tm	Yb	Lu	ΣREE_x	$\Sigma HREE_{xx}$
JL3	68.66	58.10	55.27	45.89	7.47	2.45	19.45	12.41	17.42	12.14	1.52	299.79	64.39
JL2	80.65	64.79	37.27	36.45	11.49	1.99	14.14	11.34	12.08	9.56	0.97	280.73	50.08
JL1	76.57	50.89	18.71	32.55	10.11	3.37	12.93	10.63	10.96	8.35	0.87	235.92	188.83



شکل ۷- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت شیلهای پس از آرکئن استرالیا.



شکل ۸- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی شیستهای ذخیره مس جیان.

مقایسه‌ای که بین نمودار ۲۳ نمونه از شیل‌های پس از آرکن استرالیا و نمودار شیبست رخداد مس جیان (شکل ۸) صورت گرفت، وجوه تشابه و تفاوتی دیده می‌شود. نمودار شیبست‌های رخداد مس جیان حالت غنی‌شدگی نسبت به LREE را نشان می‌دهند. در این نمودارها نسبت $\Sigma LREE / \Sigma HREE$ بیش از یک، و پراکندگی REE از La به Lu سیر نزولی دارد و نسبت La_N / Yb_N کمتر از ۱۵ است (جدول ۲). تفاوت‌هایی که مشاهده می‌شوند عبارتند از (۱) نسبت Gd_N / Yb_N کمتر از یک است که دلیل آن مقدار بسیار کم Gd است که احتمالاً به علت عدم وجود همبافت‌های جذب‌کننده Gd در محیط بوده است. بنابراین Gd احتمالاً جذب نشده، از محیط خارج شده است. (۲) هر چند مقدار Eu نسبت به عنصر قبلی خود سیر نزولی نشان می‌دهد، ولی به خاطر مقدار بسیار کم Gd قله منفی آن دیده نمی‌شود.

تاثیر دگرگونی بر پراکندگی REE

اگر هنگام دگرگونی کانی جدیدی تشکیل شود و یا دما و فشار تشکیل سنگ مولد متفاوت باشند، دگرگونی باعث به حرکت درآمدن دوباره REE در مقیاس محلی خواهد شد [۱۱].

آگاهی از حرکت عناصر نادر خاکی در محلول‌های آبگون برای تفسیر الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی مهم است و تحرک‌پذیری و تحرک‌ناپذیری REE توسط افراد مختلف بررسی شدند [۱۲، ۱۳، ۱۴]. در واکنش‌های شاره-سنگ، الگوی پراکندگی فاز شاره از پارامترهای زیر تاثیر می‌پذیرد [۱۵].

- ۱- الگوی پراکندگی REE سنگی که شاره در تماس با آن است
- ۲- جذب سطحی
- ۳- همبافت‌های شیمیایی

تاثیر جذب سطحی و همبافت‌های شیمیایی بر فراوانی عناصر نادر خاکی در شاره‌ها عکس یکدیگرند. جذب سطحی که بر سطح کانیها و ذرات انجام می‌شود باعث کاهش REE در شاره می‌شود. در حالی که همبافت‌های قویتر باعث افزایش REE در شاره خواهد شد، زیرا انحلال‌پذیری همبافت‌های REE بیشتر از نمونه‌های REE ناهمبافتی است [۱۵].

جدول ۲- مقادیر La, Gd, Yb بهنجار شده با کندریت و نسبت آنها در شیستهای ذخیره مس جیان.

Sample	La	Gd	Yb	(La/Yb) _{cn}	(Gd/Yb) _{cn}
JL1	68.66	2.45	12.14	5.65	0.2
JL2	80.65	1.99	9.56	8.43	0.2
JL3	76.57	3.37	8.35	9.17	0.4

اگر الگوی پراکندگی REE_{cn} (عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت) یک شاره به وسیله فرایند جذب سطحی کنترل شود، با کاهش در شعاع یونی REE سه ظرفیتی، (La/Lu)_{cn} بیش از یک می شود. اما در صورتیکه الگوی پراکندگی REE به وسیله ساز و کارهای همبافتی (همبافت‌های هیدروکسیدی، فلوتوریتی و یا کربناتی) کنترل شود، با کاهش در شعاع یونی عناصر نادر خاکی، نسبت (La/Lu)_{cn} کمتر از یک خواهد شد [۶].

در نمونه‌های شیست‌های رخداد مس جیان، نسبت (La/Lu)_{cn} بیش از یک است و به همین دلیل الگوی پراکندگی REE_{cn} در شاره حاصل از دگرگونی به وسیله جذب سطحی کنترل شده است و نیز روند پراکندگی REE_{cn} از La به Lu یک سیر نزولی را نشان می‌دهد که گویای انتقال و پراکندگی REE_{cn} به وسیله جذب سطحی است.

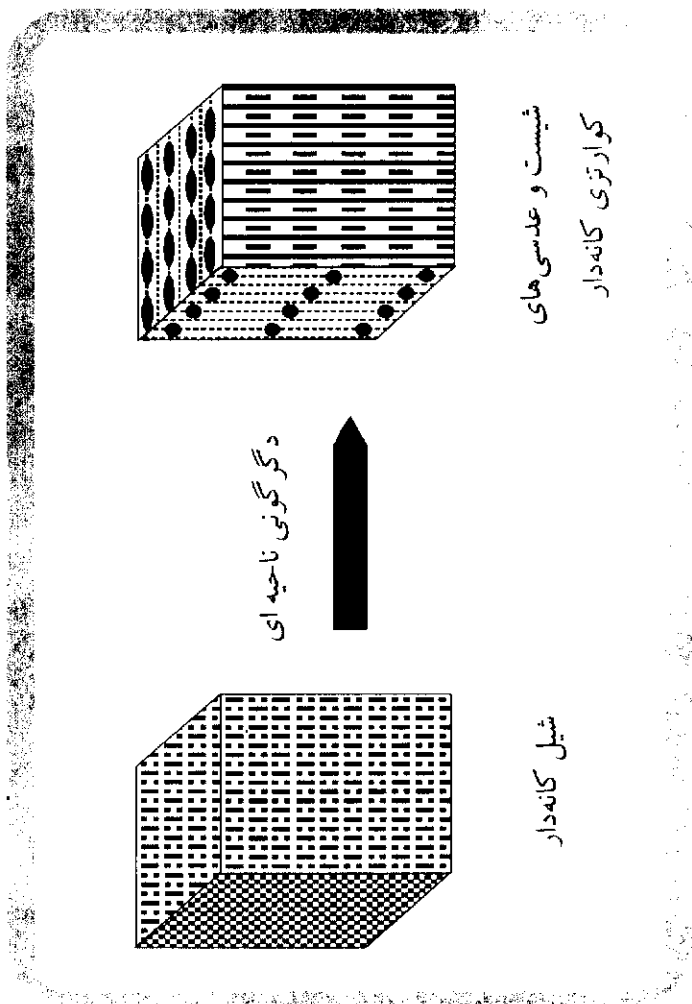
برداشت

با مطالعه عناصر نادر خاکی شیست‌های رخداد مس جیان نسبت $\sum LREE / \sum HREE$ بیش از یک است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی و تمرکز بیشتر LREE است. الگوی پراکندگی REE این شیست‌ها از عناصر نادر خاکی سبک به سمت عناصر نادر خاکی سنگین یک سیر نزولی را نشان می‌دهد و نسبت Gd_N / Yb_N کمتر از ۱۵ است که مشابه شیلهاست. بنابراین شیلها سنگ مادر شیستهای رخداد مس جیان هستند.

مطالعه نمونه‌های دستی و میکروسکوپی رخداد مس جیان به خوبی تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین را بر این ذخیره نشان می‌دهد بافتهای تنش‌آواری در پیریت، بافت پیوندگاه سه‌گانه در پیریت، سایه فشاری کالکوپیریت در اطراف پیریت و پر شدن شکستگیهای پیریت به وسیله کالکوپیریت، نشانگر حرکت دوباره در طول دگرگونی در این ذخیره است.

نحوه تشکیل ذخیره مس جیان را می توان چنین بیان کرد که شیلهای کانه دار تحت تاثیر دگرگونی ناحیه ای رخساره شیبست سبز با دمای پایین واقع شده است. در اثر این دگرگونی شیبست ها و عدسی های کوارتزی بوجود آمده اند و کانه های داخل شیلها نیز تحت تاثیر این دگرگونی، حرکت دوباره یافته و در جهت برگوارگی شیبست ها و در عدسی های کوارتزی قرار گرفتند.

شکل ۹ تشکیل ذخیره مس جیان را طرحوار نشان می دهد.



شکل ۹ - طرحواره ای از تشکیل ذخیره مس جیان

مراجع

- 1- Guha, Jayanta and Koo, Jahak, (1975) "Role of fluid state mobilization during metamorphism of the Henderson ore deposits, Chibougamau, Quebec, Canada". *Can. J. Earth Sci.*,12, 1516-1523
- 2- Marshall, Brian & Gilligan, Lindsay B. (1987) "An introduction to remobilisation: information from ore-body geometry and experimental considerations". *Ore Geology Reviews*,2,87-131.
- 3- Marshall, Brian, Larocque, Adrienne C.L. & Vokes, Frank M. (1999) "Extensive remobilisation in massive sulphide deposits": A fluid affair! *Mineral Deposits : Processes to Processing*.
- 4- McClay, K. R. & Ellis, P.G. (1983) "Deformation and recrystallization of Pyrite". *Mineralogical Magazine*, Vol. 47, pp.527-538.
- 5- تقی پور، نادر (۱۳۷۹) زمین شناسی و ژنز رخداد مس جیان استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز، ۲۰۱ صفحه.
- 6- هوشمند زاده، ع. سهیلی، م. (۱۳۶۹). شرح نقشه زمین شناسی چهار گوش اقلید. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- 7- Craig, Jamis r. & Vokes, Frankm (1993) "The metamorphism of Pyrite and Pyritic ores: an overview". *Mineralogical Magazine*. Vol.57, pp.3-18.
- 8- Stanton, R.L. (1972) *Ore Petrology*. McGraw-Hill,
- 9- Cox, S.F. (1987) "Flow mechanisms in sulphide minerals". *Ore Geology Reviews*, 2,133-171.
- 10- Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A. & Korotev, R. L. (1984) "North America Shale composite: its compilation, major and element characteristics". *Geochim Cosmochim. Acta* 48,2469-2482
- 11- Henderson, P. (1984) *REE geochemistry*, Elsevier Science Pub. Holand
- 12- Bienvenu, P., Bougault, H., Joron, J.L., Treuil, M. & Dmitriev, L. (1990) "MORB alteration: Rare-earth element / non rare - earth hygromagmaphile element fractionation". *Chem. Geol.*,82:1-14
- 13- Meen, J.K. (1990) "Negative Ce anomalies in Archean amphibolites and Laramide granitoids, South Western Montana, U.S.A". *Chem. Geol.*,81:191-207
- 14- Muecke, G., Pride, C. & Sarkar, P. (1979) *Rare earth element geochemistry of regional metamorphic rocks*. in: L.H. Ahrens (Editor), origin and distribution of the elements. Vol. II. Pergamon. Oxford. PP.449-463
- 15- Bau. Micheal (1991) "Rare earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significance of the oxidation state of europium". *Chemical Geology*, 93, 219-230.