Archive of SID

IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

No. 2, 1385/2006 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

RECOGNITION OF PINAVAND FLUORITE MINES OCCURRENCE BASED ON GEOTHERMOMETRY AND REE DATA

A. Qishlaqi , F. Moore

Department of Earthsciences, Faculty of Sciences, Shiraz University,P.O.Box 71454
Email: af.qishlaqi@gmail.com

(Received: 11/12/2005, received in revised form: 10/6/2006)

Abstract: Geochemical studies of the Pinavand Fluorite Mines indicates that fluorite has been deposited from a high salinity, typically low temperature and Mg-rich fluid in two stages: Based on geothermometrical data, at the first stage fluorites were formed at relatively high temperature (85-235Cº) and accompanied by host rock replacement (in the form of epigenetic dolomitization). The second stage of fluorite mineralization has occurred at low temperature (65-115 ºC) and has formed lodes and vein-likes along the breccia and fault zones. However, the salinity was relatively invariable (15-23 wt% NaCl), suggesting salinity of fluorite-forming fluid was the same at all occurrences. By studying of REE patterns and regarding to some ratios of HREE to LREE, it could be observed that the first stage of fluorites was enriched in LREE revealing mineralization has occurred in early stage of crystallization .In contrast, the second stage of fluorites containing high proportion of HREE were deposited in the last stages of crystallization event. Based on the calculated (Yb/La), (Yb/Ca), (Tb/La) and (Tb/Ca) ratios, two mechanisms could be proposed: assimilation (replacement) for the first type fluorites and remobilization (rejuvinilization) for fluorites of the second stage.

Keywords: *Pinavand Fluorite Mines, Geothermometry ,Rare Earth Elements*

www.SID.ir

Archive of SID

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۸۵، از صفحهٔ ۳۲۵ تا ۳۳۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

تشخیص نحوه رخداد و مراحل تشکیل معادن فلوریت پیناوند بر اساس داده‌های زمین دماسنجی و عناصر نادر خاکی

افشین قشلاقی، فرید مُر

شیراز ، دانشکده علوم ، بخش علوم زمین، صندوق پستی ۷۱۴۵۴

پست الکترونیکی : af.qishlaqi@gmail.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۴/۹/۲۰ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۵/۳/۲۰)

چکیده: مطالعات زمین شیمیائی در معادن فلوریت پیناوند حاکی از آن است که فلوریت به عنوان کانی اصلی ذخیره از یک شارهٔ شور و غنی از Mg و در دمای پائین و در دو مرحلهٔ کاملاً متفاوت تهنشست یافته است. بر اساس بررسیهای زمین دماسنجی، فلوریتهای مرحلهٔ اول (پیشین) در دمای به نسبت بالا ($^{\circ}$C۲۳۵-۸۵) و در ژرفای بیشتر (با میانگین ۲۳۰ متر) تشکیل شده و با جانشینی شدید سنگ دیواره- به صورت دولومیتی شدن اپی ژنتیک- همراه بوده است. در عوض، فلوریتهای مرحلهٔ دوم (پسین) در دمای تقریباً پائین (C^{o} ۱۱۵-۶۵) و صرفاً به صورت رگه‌ای و شکافه پرکن در زونهای برشی و یا گسلهای سطوح بالاتر ایجاد شده‌اند. در هر حال، گسترهٔ درجهٔ شوری شارهٔ کانه‌زا ثابت باقی مانده است (بین ۲۳-۱۵ درصد وزنی معادل NaCl) که مبین وجود یک شارهٔ واحد در تشکیل هر دو نوع فلوریت است. مطالعهٔ پراکندگی عناصر نادر خاکی REE در تعدادی از نمونه‌های فلوریت پیناوند نیز مؤید چنین امری است، به طوریکه محاسبهٔ برخی از نسبتهای LREE به HREE نشان می‌دهد که فلوریتهای جانشین (فلوریتهای پیشین) از عناصر نادر خاکی سبک غنی بوده و در نتیجه در مراحل آغازین تبلور از شارهٔ کانه‌زا نهشت یافته‌اند. از طرف دیگر فلوریتهای مرحلهٔ دوم (پسین) به علت غنی‌شدگی از HREE در مراحل پایانی کانه‌زائی تشکیل یافته‌اند. همچنین مطالعهٔ نسبت تغییرات (Tb/La) به (Tb/Ca) و نسبتهای (Yb/La) و (Yb/Ca) از یک سو نشان می‌دهد که مجموعهٔ کل عناصر نادر خاکی در این نمونه‌ها اساساً پایین بوده است (به علت جانشینی گستردهٔ سنگ میزبان آهکی) و از سوی دیگر مبین آن است که دو فرایند احتمالی هضم یا جانشینی سنگ دیواره در تشکیل فلوریتهای مرحلهٔ اول و تحرک دوباره در تشکیل فلوریتهای مرحلهٔ دوم دخالت داشته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

واژهای کلیدی: *معادن فلوریت پیناوند ، زمین دما سنجی ، عناصر نادر خاکی*

مقدمه

از نظر شیمیائی فلوریت ترکیبی از فلوئورین (F) با عناصری چون Ca، Na، P و As است. با این حال از نظر کانی‌شناختی فلوریت با فرمول CaF_2 مهمترین ترکیب فلوئورین در طبیعت محسوب می‌شود. این کانی که در صنعت با نام تجاری فلورسپار مشهور است امروزه در سه شاخهٔ مهم صنعتی یعنی صنایع متالورژی (به عنوان گدازآور)، صنایع شیمیائی (در تهیهٔ HF) و در صنایع سرامیک و شیشه (در تهیه شیشه‌های اپال) به کار می‌رود. فلوریت یا به صورت یک محصول فرعی در بسیاری از ذخایر سرب و روی و یا به عنوان یک کانی اصلی در ذخایر گرمابی، پگماتیتی و یا ته‌نشستی مشاهده می‌شود. در ایران بیشتر ذخایر فلوریت از نوع گرمابی (و یا به عقیدهٔ برخی ته‌نشستی- دیاژنتیک) بوده و در شمال بلوک طبس، البرز مرکزی، و یا در حاشیهٔ زون ایران مرکزی قرار گرفته‌اند. از جمله مهمترین این ذخایر می‌توان به کمرمهدی (جنوب باختری طبس)، پاچی میانا (البرز مرکزی)، پیناوند (شمال خاوری اصفهان) و آتشکوه (جنوب دلیجان) و ... اشاره کرد. این کار پژوهشی روی معادن فلوریت پیناوند و سه رخداد از ۷ رخداد اصلی آن صورت گرفته است.

زمین شناسی گسترهٔ مورد مطالعه

پیناوند و نواحی اطراف آن در شمال خاوری اصفهان و در منتهی الیه جنوب باختری زون ایران مرکزی و زیر نوار آتشفشانی سهند - بزمان قرار گرفته است. ویژگیهای ساختاری و زمین شناختی این منطقه به پیروی از زون ایران مرکزی تحولات مهمی را پشت سر نهاده است؛ به طوریکه سه فاز اصلی کوهزائی در این زون یعنی کیمیرین پیشین (در تریاس فوقانی)، کیمیرین پسین (در حدواسط ژوراسیک و کرتاسه) و لارامید (در پالئوسن)، این منطقه را به شدت تحت تاثیر خود قرار داده‌اند که در این میان فاز کوهزائی لارامید با اعمال تنشهای کششی و با ایجاد گسلهای عمدتاً امتداد لغز، بستر مناسبی را برای انواع کانه زائی (سرب + روی + باریت + فلوریت) در منطقه پیناوند مهیا کرده است. از نظر چینه‌شناختی و در مقایس کوچکتر، واحدهای سنگ‌شناختی زیر (شکل۱) در محل هر سه رخداد مورد مطالعه مشاهده می‌شود[۱]:

۱- واحدهای دولومیتی تریاس میانی (قابل انطباق با سازند شتری در ایران مرکزی).

۲- واحدهای ماسه سنگی (لیت آرنایتی) ژوراسیک (قابل انطباق با سازند شمشک).

۳-واحدهای آهکی (آهکهای دولومیتی) کرتاسه زیرین حاوی اربیتولین (قابل انطباق با آهکهای اربیتولین دار ایران مرکزی). توالیهای این واحد، میزبان اصلی کانه‌زائی فلوریت در پیناوند است.

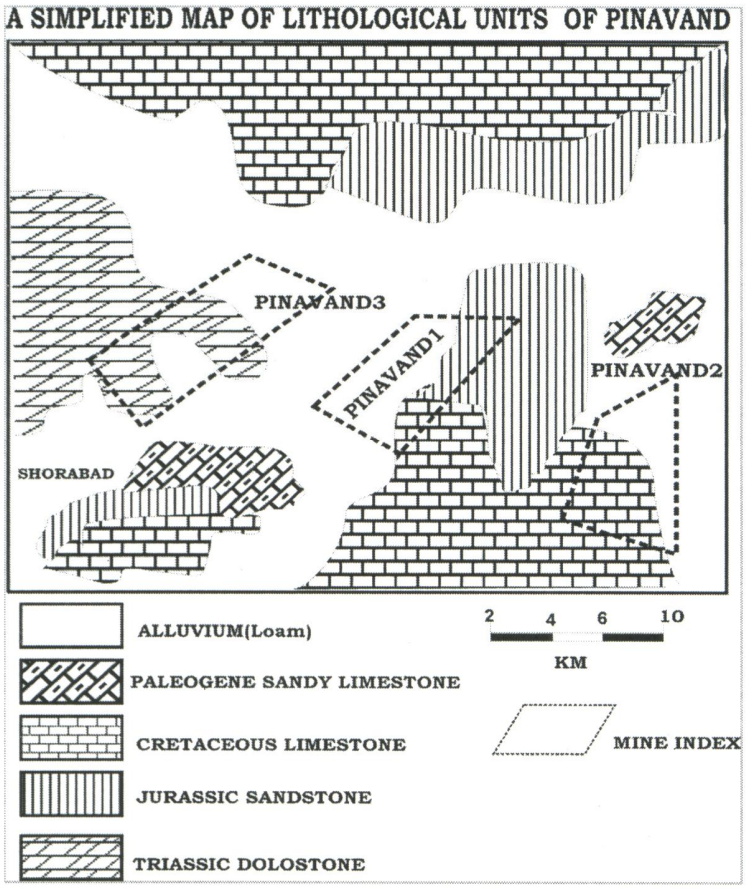
۴- واحدهای آهکی و آهک ماسه‌ای پالئوژن و نئوژن.

وجود حداقل سه سیستم گسلی (به ویژه گسلهای امتداد لغز با راستای عمود بر امتداد لغزش) و نیز گسترش گستردهٔ سنگ آهک دولومیتی به عنوان سنگ میزبان اصلی کانه‌زائی باعث شد تا هر دو عامل فیزیکی و شیمیائی کانه‌زائی را در کنترل خود داشته باشند. عوامل

www.SID.ir

Archive of SID

شیمیائی (انحلال‌پذیری سنگ آهک دولومیتی) جانشینی سنگ دیواره را در کنترل داشته و حدود آن با نفوذپذیری سنگ دیواره تعیین می‌شود به طوری که این نوع کانه‌زائی در مرز بین سنگهای ژوراسیک و سنگهای آهکی کرتاسه خاتمه می‌یابد. این کانه‌زائی در دو رخداد پیناوند ۱ و ۳ مشاهده می‌شود. عوامل فیزیکی یا ساختاری، کانه‌زائی نوع شکافه پُرکن را موجب شده‌اند. این کانه‌زائی به صورت چند کانیائی (فلوریت، باریت، کلسیت و کوارتز) بوده و به زونهای گسلی و برشی نزدیک به سطح محدود می‌شود. این نوع کانه‌زائی منحصراً در رخداد معدنی پیناوند ۲ قابل مشاهده است. هر دو حالت کانه‌زائی دیرزاد (اپی ژنتیک) بوده و نسبت به لایه‌های اطراف به صورت ناهمشیب (discordant) نمایان شده‌اند. از نظر ریخت‌شناسی نیز شکل عمدهٔ کانه‌زائی، رگه‌سان (vein-like or lode) و تخت (flat) است. [۲، ۳]



www.SID.ir

Archive of SID

شکل۱ نقشهٔ ساده شده‌ای از واحدهای سنگی رخنمون یافته در پیناوند.

مطالعات زمین شیمیائی

۱- مطالعات زمین دما سنجی

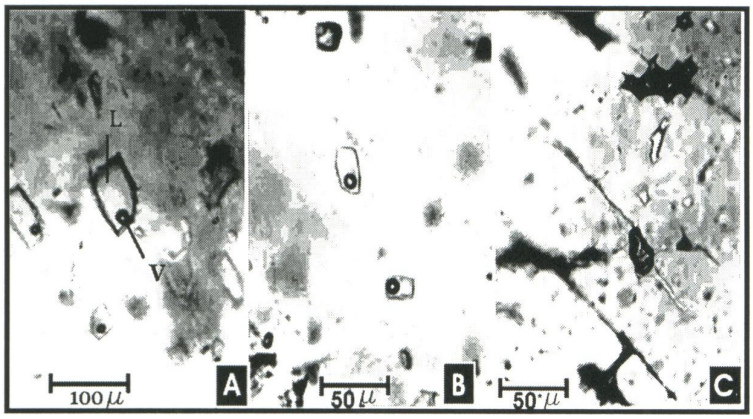
گرماسنجی با استفاده از میانبارهای شاره بیش از هر روش دیگری برای تعیین دمای تشکیل کانسارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مطالعات همچنین یکی از مطمئن‌ترین روشها در تعیین ترکیب شیمیائی و درجهٔ شوری شارهٔ کانه‌زا است. به منظور نیل به این اهداف بیش از ۱۰۰ مقطع دوبر صیقل از دو نوع اصلی فلوریت یعنی از فلوریتهای سفید و بنفش از سه رخداد اصلی پیناوند تهیه شدند و در مجموع ۳۵۰ میانبار شارهٔ اولیه و ثانویه کاذب (بر اساس شاخصه‌های ارائه شده توسط رُودر) درآنها مورد بررسی قرار گرفت (شکل۲) [۴]. این مطالعات در دو بخش سرمایش و گرمایش صورت گرفت و ضمن آن ۷ نمونه از فلوریتهای سفید و بنفش نیز به روش خردایش- آبشوئی (crushing-leaching) و با دستگاههای AAS و FES مورد تجزیه شیمیائی قرار گرفتند. لازم به توضیح است که نمونه‌های مورد نظر برای این مطالعات در دو مقطع عرضی و طولی و از محل کلیه رگه‌ها و گمانه‌های موجود برداشت شده است.

نتایج مطالعات گرمایش نشان می‌دهد که فلوریتهای سفید و بنفش پیناوند ۱ و ۲ در گستره‌ای بین ۷۵ تا ^{o}C ۱۲۰ به وجود آمده‌اند. میانگین این دما برای پیناوند۱ ،۸۰ درجهٔ سانتیگراد و برای پیناوند ۲، ^{o}C ۸۵ است (شکلهای۳ الف و ب). همین مطالعات برای نمونه‌های پیناوند۳ گسترهٔ دمای همگن شدگی را بین ۷۰ تا ^{o}C ۲۱۵ نشان داد که حداکثر فراوانی در دمائی در حدود ^{o}C ۱۱۰ مشاهده می‌شود (شکل۳پ). رژیم گرمایی حاکم بر منطقه (که بر اساس تغییرات میانگین دما بر حسب تغییرات عمق در هر سه رخداد رسم شده است) نیز به وضوح نشان می‌دهد که شاخص معدنی پیناوند ۳ در مقایسه با دو رخداد دیگر در دمای بیشتری تشکیل شده است. از آنجا که کانه‌زائی در هر سه شاخص بیشتر به صورت شکافه پرکن و در اعماق کم صورت گرفته است. داده‌های به دست آمده نیاز به تصحیح فشار نداشتند. (بر اساس داده‌های به دست آمده از حفر گمانه‌ها در پیناوند، حداکثر عمق کانه‌زائی در پیناوند ۲۳۰ متر گزارش شده است).

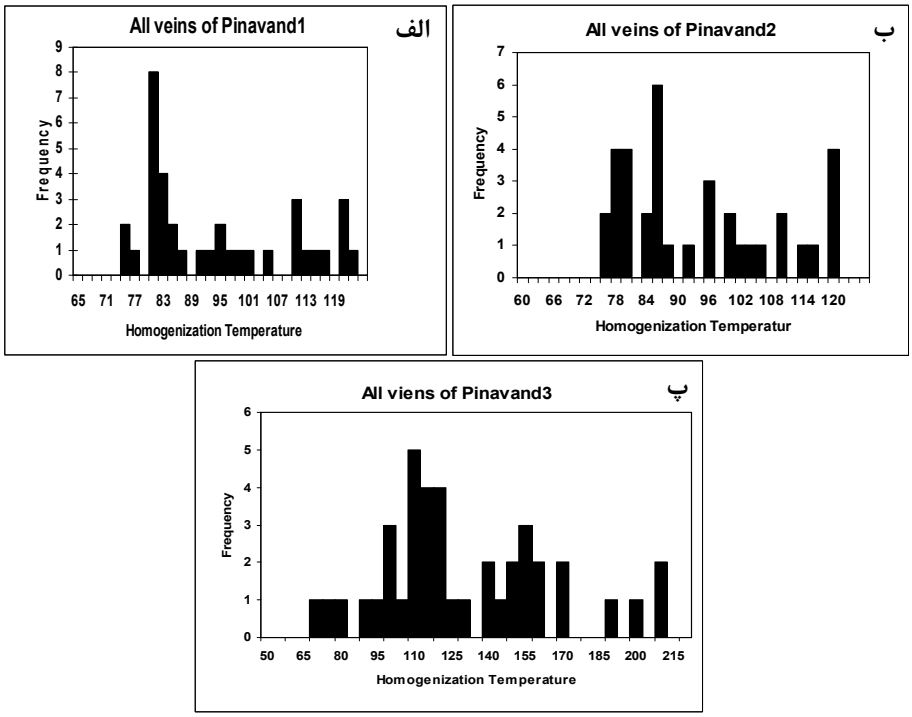
مطالعات سرمایش نیز مشخص می‌سازد که گسترهٔ درجهٔ شوری شارهٔ کانه‌زا در هر سه رخداد نسبتاً یکسان بوده و میانگین آن به ۱۵ درصد وزنی معادل NaCl می‌رسد (شکلهای۴ الف،ب وپ). دمای یوتکتیک به دست آمده برای این درجهٔ شوری از ۲۳- تا ۵۷- درجهٔ سانتیگراد متغیر است که حد بالائی آن نشان دهندهٔ وجود کاتیونهایی (املاح) چون Ca و Mg در آبگون میانبارها است. از این رو به نظر می‌رسد که از نظر کیفی ترکیب شارهٔ کانه‌زا یک سیستم چند همنه‌ای شامل $NaCl-H_2O-CaCl_2/MgCl_2$ باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



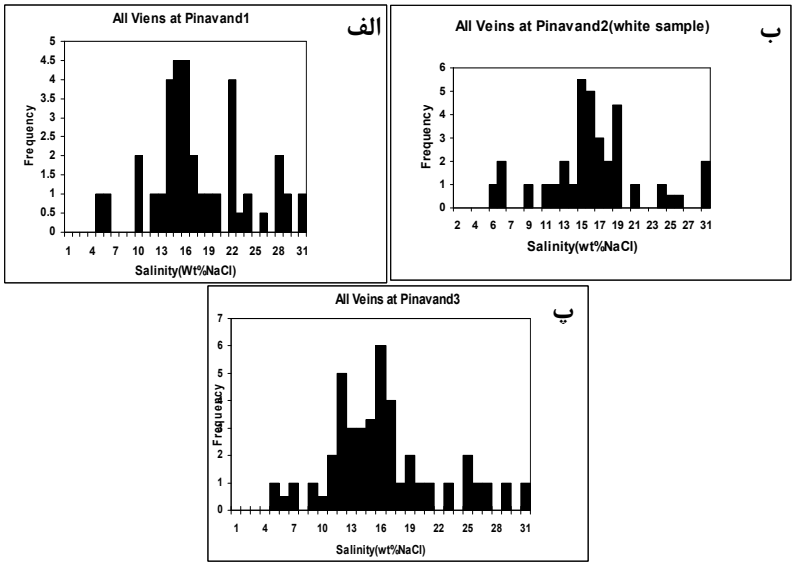
شکل۲ نمونه‌هایی از میانبارهای شاره در فلوریتهای پیناوند A) میانبار شاره اولیه (بزرگنمائی۵۰۰×)، B) میانبار شاره ثانویه کاذب (بزرگنمائی۵۰۰ ×)، C) میانبار شاره ثانویه (بزرگنمائی۵۰۰ ×).



www.SID.ir

Archive of SID

شکل۳ نمودار تلفیقی دمای همگن شدگی پیناوند۱ (الف) ، پیناوند۲ (ب) و پیناوند۳ (پ).



شکل۴ نمودار تلفیقی درجه شوری پیناوند۱ (الف) ، پیناوند۲ (ب) و پیناوند۳ (پ).

۲- تجزیه به روش خردایش-آبشوئی (Crushing-Leaching)

به منظور تعیین ترکیب کمی و عنصری شارهٔ مسؤل کانه‌زائی، تعداد ۷ نمونه فلوریت سفید و بنفش به روش خردایش- آبشوئی تجزیه شدند (جدول۱). سپس محلول حاصل از آبشوئی (leachate) به روشهای طیف‌سنجی جذب اتمی AAS (برای عناصر Ca، Mg و Fe) و طیف سنجی نشر شعله‌ای FES (برای عناصر K و Na) تجزیه شده و مقادیر این عناصر بر حسب PPM به دست آمدند. نتایج این روش نشان می‌دهد که شارهٔ کانه‌زا از Ca، Mg وNa غنی بوده و از Fe وK به نسبت تهی است. بدیهی است که درجهٔ شوری یک شاره متأثر از وجود املاح در آن است و طبعاً هر چه مقدار این املاح بیشتر باشد درجهٔ شوری افزایش و در نتیجه دمای یوتکتیک آن کاهش می‌یابد [۵] که این امر با نتایج حاصل از مطالعات سرمایش همخوانی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- مطالعهٔ ترکیب عناصر نادر خاکی REE

همهٔ عناصر نادر خاکی دارای رفتار ژئوشیمیائی یکسانی هستند.[۶] از این رو چنانچه در رفتار شیمیائی آنها اختلافات کوچکی به وجود آید (به علت کاهش یکنواخت اندازهٔ یونی با افزایش عدد اتمی) می تواند دلیلی بر تفکیک آنها به دنبال برخی فرایندهای ژئوشیمیائی باشد. از این پدیده (تفکیکREE) می‌توان در پی‌بردن به نحوهٔ تشکیل کانیها و یا سنگها و یا به طور کلی در تعیین ماهیت فرایندهای زمین شناختی استفاده کرد. [۷] بنابر قوانین جایگزینی عناصر کمیاب، کلسیم موجود در ساختار فلوریت به راحتی با عناصر نادر خاکی (بویژه Ce وY) جایگزین می‌شود زیرا کلسیم و REE علاوه بر دارا بودن شعاع یونی مشابه، میل ترکیبی یکسانی داشته و یا لیتوفیل هستند. از این رو فلوریت و یا به طور کلی کانیهای حاویF و Ca را باید میزبان مناسبی برای عناصر نادر خاکی به حساب آورد. [۸] در این کار پژوهشی به منظور مطالعهٔ فراوانی این عناصر در کانی فلوریت (به عنوان کانی اصلی ذخیره) و نیز تشخیص ساز و کارهای احتمالی در کانه‌زائی مرحلهٔ اصلی، تعداد ۶ نمونه فلوریت به روش INAA (فعال‌سازی نوترونی دستگاهی) در مرکز راکتور مینیاتوری اصفهان تجزیه شدند که نتایج آن در جدول(۲) آورده شده‌اند. داده‌های حاصل از این روش نسبت به ترکیب کندریتها (بر اساس داده‌هایWakita et al,1971) بهنجار شده‌اند. لازم به توضیح است که بر اساس بررسیهای انجام گرفته توسط اشنایدر و همکاران [۹] میزان دقت و صحت نتایج حاصل از تجزیهٔ عناصر نادر خاکی در یک کانسار فلوریت چندان تابع تعداد نمونه‌های برداشت شده نبوده و با تعداد محدودی نمونه نیز می‌توان به نتایج مطلوبی دست یافت و این بدان علت است که کیفیت داده‌های REE در کانیهای غیرفلزی کاملاً مستقل از کمیت آنهاست.

جدول۱ نتایج حاصل از روش خردایش- آبشوئی روی تعدادی از نمونه‌های فلوریت (بر حسب ppm).

نمونه	Na	K	Ca	Mg	Na/K	Na/Ca	Ca/Mg
پیناوند۱(سفید)	۵۰٫۱	۴٫۴۱	۳۵٫۰۱	۲٫۰۴	۱۱٫۳۶	۱٫۴۳	۱۷٫۱۶
پیناوند۱(بنفش)	۸۸٫۹۹	۲٫۴۹	۱۰٫۴۷	۲٫۱۴	۳۵٫۷۴	۸٫۴۹	۴٫۸۹
پیناوند۲(سفید)	۴۳٫۱۷	۲٫۰۲	۱۳۹٫۹	۱٫۴۴	۲۱٫۳۷	۰٫۲۶	۱۱۳٫۸۱
پیناوند۲(بنفش)	۶۰٫۶۱	۲٫۴۹	۳۸٫۶	۳٫۳۶	۲۴٫۳۴	۱٫۵۷	۱۱٫۴۸
پیناوند۳(سفید)	۵۰٫۱۵	۳٫۰۹	۹۸٫۵	۳٫۲۵	۱۶٫۲۲	۰٫۵۳	۳۰٫۳
پیناوند۳(بنفش)	۵۱٫۲۲	۵٫۱	۱۹۰٫۱	۱۰٫۱۸	۱۰٫۰۴	۰٫۲۶	۱۸٫۹۷

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲ میزان عناصر نادر خاکی در ۶ نمونه فلوریت پیناوند (کلیه مقادیر بر حسب ppm).

نمونه	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Tm	Yb	Lu	REE
پیناوند۱(سفید)	۰/۶۴	۱/۶	۷/۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۸۵	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۰۴	۱۱/۷۸
پیناوند۱(بنفش)	۰/۵۷	۱/۶	۱۲/۳	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۹۳	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۶۵	۰/۲۷	۰/۰۴	۱۷/۱۵
پیناوند۲(سفید)	۰/۰۴	۱/۶	۷۵	۹۶	۰/۰۸	۰/۸۸	۰/۱۹	۰/۱۸	۱/۳	۱۶	۱۲۰	۳۱۱/۲
پیناوند۲(بنفش)	۰/۰۶	۱/۷	۸۰	۶۰	۰/۰۵	۱/۵۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۷۰	۱۳	۹۰	۲۴۷/۵
پیناوند۳(سفید)	۰/۵۹	۱/۴	۶/۷	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۷۸	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۲۳	۰/۰۳	۱۰/۸۸
پیناوند۳(بنفش)	۰/۶۷	۱/۷	۷/۶	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۷۵	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۶۱	۰/۲۱	۰/۰۸	۱۲/۲۶

۱-۳- الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی در نمونه‌های سفید و بنفش پیناوند ۱، ۲ و ۳

چنانکه از شکلهای (۵ الف، ب، پ، ت، ث، و ج) پیداست، روند تغییرات REE در نمونه‌های سفید و بنفش پیناوند۱و۳ ،کم و بیش به یکدیگر شبیه است. در این میان الگوی تغییرات نمونه‌های پیناوند۲ با دیگر نمونه‌ها کاملاً متفاوت بوده است که حاکی از تفاوت در ساز و کار تشکیل و نیز تاریخچهٔ پیچیده‌تری برای فلوریتهای این رخداد است. با بررسی چنین الگوی تغییراتی (از لحاظ کمی و کیفی) می‌توان به موارد ذیل پی‌برد:

الف- پایین بودن مجموع کل عناصر نادر خاکی در نمونه‌های پیناوند ۱ و ۳ و بالا بودن آن در نمونه‌های فلوریت پیناوند۲. طبق نظر مُولر و همکاران [۱۰] پایین بودن مجموع عناصر نادر خاکی در فلوریت نشان دهندهٔ واکنش شارهٔ گرمابی با سنگ دیوارهٔ آهکی و افزایش pH شاره است (پدیده جانشینی سنگ دیواره به وسیله شارهٔ کانه‌زا). از طرف دیگر بالا بودن مجموع این عناصر مبین آن است که فلوریت در اثر تحرک دوبارهٔ بلورهای قبلی (preexist fluorites) ایجاد شده است.

ب- محاسبهٔ نسبتهای $(La/Yb)_n$ ، $(Tb/Yb)_n$ و (Ce/Yb) (جدول۳) نشان دهنده غنی‌شدگی نمونه‌های فلوریت پیناوند ۱و۳ از عناصر نادر خاکی سبک و غنی‌شدگی نمونه‌های پیناوند۲ از عناصرنادرخاکی سنگین است. مولر و همکاران [۱۱] به طور تجربی ثابت کردند که فلوریتهائی که در مراحل اولیه تا میانی تبلور، ایجاد می‌شوند از عناصر نادر خاکی سبک غنی بوده و در آنها میزان La بالا و Tb پایین است. در عوض فلوریتهای مربوط به مراحل پایانی تبلور ترجیحاً از عناصر نادر خاکی سنگین غنی شده‌اند.

پ- محاسبهٔ نسبتهای Tb/La (معرف میزان تفریق محیط ته‌نشست) و Tb/Ca(معرف محیط شیمیائی نهشت) نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های فلوریت پیناوند در گسترهٔ ته‌نشستی نمودار مربوطه قرار می‌گیرند (شکل۶) علت این امر از یک سو پایین رفتن نسبت Tb/Ca در اثر

www.SID.ir

Archive of SID

واکنش شارهٔ گرمابی با سنگ آهک (غنی از Ca) و از سوی دیگر پایین بودن مجموع عناصر نادر خاکی در این نمونه‌هاست.

ت- محاسبهٔ نسبت تغییرات Yb/La و Yb/Ca که تعیین کننده ساز و کار غالب در کانه‌زائی فلوریت است نشان می‌دهد که فلوریتهای پیناوند۱ و ۳ (فلوریتهای جانشینی) احتمالاً در اثر فرایند هضم یا جانشینی و فلوریتهای پیناوند۲ در اثر فرایند تحرک دوباره (remobilization) ایجاد شده‌اند (شکل۷).

ث- محاسبهٔ نابهنجاری Eu (که شدت آن به صورت نسبت Eu/Eu^* بیان می‌شود) مبین آن است که این عنصر در نمونه‌های سفید پیناوند۱ و ۳ نا بهنجاری مثبت و در نمونه بنفش پیناوند ۱ و ۲ نا بهنجاری منفی نشان می‌دهد. وجود نا بهنجاری مثبت در نمونه‌های فلوریت نشان دهنده جانشین شدن Ca به وسیله Eu در ساختار فلوریت است. با این حال وجود هر دو نا بهنجاری مثبت و منفی حاکی از قلیائی بودن محیط نهشت و یا افزایش pH شارهٔ کانه‌زاست [۱۲].

ج- محاسبهٔ نا بهنجاریCe در نمونه‌های فلوریت پیناوند نشان دهندهٔ منفی بودن نا بهنجاری این عنصر در کلیهٔ نمونه‌های مورد نظر است. علت چنین رفتاری در نمونه‌های فلوریت پیناوند احتمالا خروج Ce از محیط در اثر واکنش شاره با سنگ دیوارهٔ آهکی و افزایش فوگاسیته اکسیژن است (جدول۳).

در هر حال به عقیدهٔ نگارندگان، الگوی کلی و کیفی تغییرات عناصر نادر خاکی در فلوریتهای پیناوند را می‌توان (به ترتیب اهمیت) ناشی از یکی از عوامل زیر دانست:

۱- توزیع عناصر نادر خاکی بین کانی تبلور یافته و محلول اولیه (محتملترین عامل).

۲- بروز تغییرات سیستماتیک در فراوانی عناصر نادر خاکی.

۳- ته‌نشین شدن همزمانREE آزاد در شبکهٔ فلوریت.

۴- کمپلکس شدن REE در محلول کانه‌زا (نا محتملترین عامل).

جدول۳ نسبت برخی از عناصر نادر خاکی و نیز محاسبهٔ نابهنجاری Ce و

نمونه	Ce/La	Tb/La	Tb/Ca	Yb/La	Yb/Ca	$(La/Yb)_n$	$(Tb/Yb)_n$	Eu/Eu*	Ce Anomaly
پیناوند۱(سفید)	۶/۱۵	۰/۳۹	$۱/۸ \times ۱۰^{-۷}$	۰/۴۰	۴×۱۰^{-۷}	۱/۵	۱/۹۸	۰/۱	۰/۲۷
پیناوند۱(بنفش)	۵/۹۲	۰/۲۲	$۲/۵ \times ۱۰^{-۷}$	۰/۴۷	۵×۱۰^{-۷}	۱/۳۹	۲/۲۶	۱/۵۷	۰/۱۷
پیناوند۲(سفید)	۰/۱	۴/۴۱	۳×۱۰^{-۷}	۳۷۲/۰۹	۲×۱۰^{-۷}	$۱/۶ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
پیناوند۲(بنفش)	۰/۱۳	۳/۳۹	۴×۱۰^{-۷}	۲۱۳/۱	$۲/۲ \times ۱۰^{-۷}$	$۲/۸ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳
پیناوند۳(سفید)	۶/۰۸	۰/۲۵	۲×۱۰^{-۷}	۰/۳۸	۴×۱۰^{-۳}	۶/۰۸	۱/۵۸	۱/۵۸	۰/۲۱
پیناوند۳(بنفش)	۸/۰۹	۰/۳۲	۳×۱۰^{-۷}	۰/۳۱	$۳/۶ \times ۱۰^{-۷}$	۲/۰۶	۵/۷۶	۲/۶۵	۰/۲۸

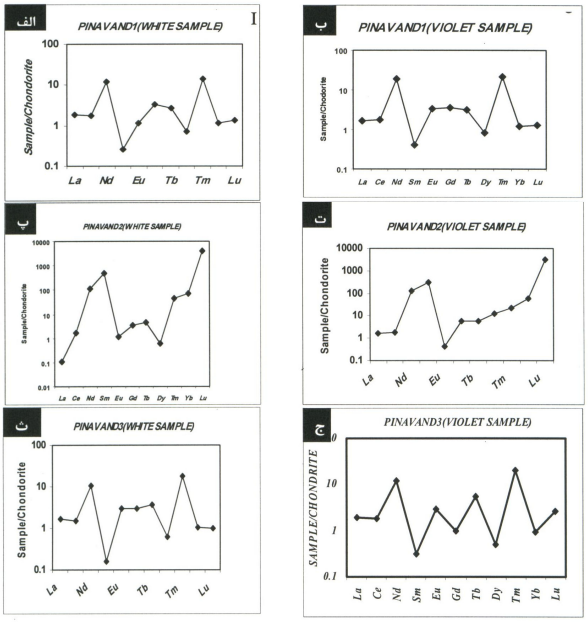
www.SID.ir

Archive of SID

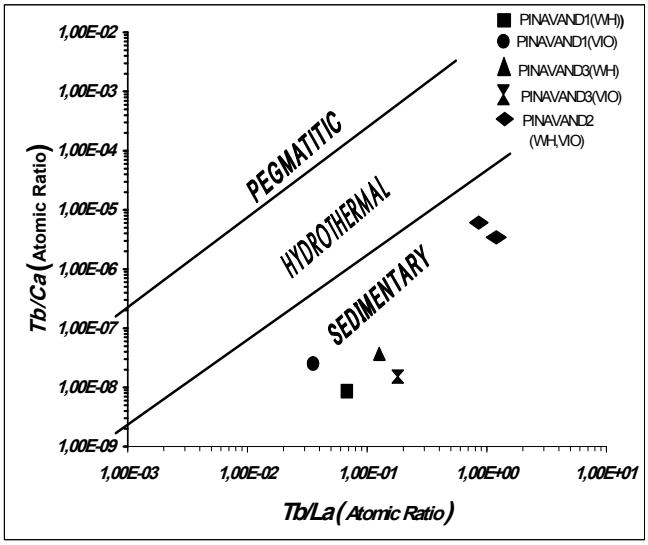
Eu در نمونه‌های فلوریت پیناوند.

www.SID.ir

Archive of SID



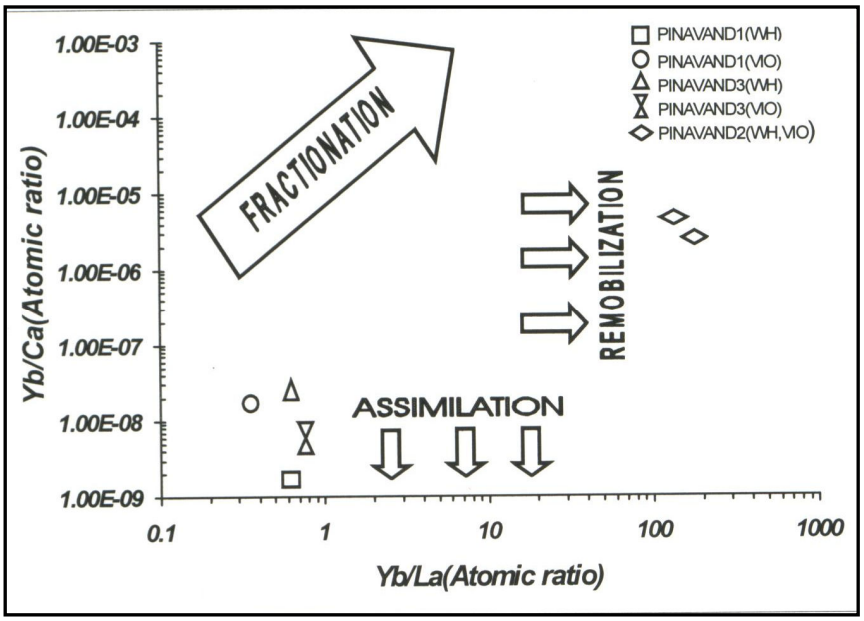
شکل۵ نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی در نمونه های سفید پیناوند۱(الف)، نمونهٔ بنفش پیناوند۱(ب)، نمونهٔ سفید پیناوند ۲(پ)، نمونهٔ بنفش پیناوند۲(ت)، نمونهٔ سفید پیناوند ۳(ث) و نمونه بنفش پیناوند ۳(ج).



شکل ۶ نسبت تغییرات Tb/Ca به Tb/La (نقل از Moller et al, 1976) و قرار گیری نمونه‌های فلوریت پیناوند در محدوده ته‌نشستی.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷ نسبت تغییرات Yb/La به Yb/Ca (نقل از Schneider et al, 1975) و قرارگیری نمونه‌های فلوریت پیناوند ۱ و ۳ در گسترهٔ فرایند هضم و نمونه‌های پیناوند۲ در گسترهٔ تحرک دوباره.

برداشت

بر اساس مطالعات انجام گرفته در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که فلوریت‌های پیناوند دست کم در دو مرحلهٔ کاملاً متفاوت از یکدیگر تشکیل شده‌اند:

الف - مرحلهٔ جانشینی (کانه‌زائی پیشین): با توجه به بررسیهای زمین دما سنجی فلوریتهای این مرحله (رخدادهای معدنی پیناوند۱ و ۳) در دمای به نسبت بالا (با میانگین ۱۱۰ ^{o}C) و از یک شارهٔ شور و غنی از Mg به وجود آمده و با دگرسانی متاسوماتیک (دولومیتی شدن اپی ژنتیک) همراه بوده‌اند. از نظر زمین شیمیائی، غنی بودن این فلوریتها از عناصر نادر خاکی سبک، بالا بودن نسبت Tb/Ca و پایین بودن نسبت Yb/La، حکایت از آن دارد که فلوریتهای یاد شده اولاً در مراحل اولیهٔ تبلور ایجاد شدند و ثانیاً فرایند هضم و یا جانشینی سنگ دیواره، ساز و کار احتمالی در تشکیل آنها بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

ب- مرحلهٔ شکافه پرکن یا رگه‌ای (کانه‌زائی پسین): که فلوریتهای مربوط به این مرحله (رخداد معدنی پیناوند۲) در دمای پایین (با میانگین ۸۰ ^{o}C) تشکیل شده‌اند و در امتداد گسلها و شکستگیهای کوچکتر مشاهده می‌شوند. از نظر ترکیب زمین شیمیائیREE، فلوریتهای این مرحله از عناصر نادر خاکی سنگین به نسبت غنی بوده و در آنها نسبتهای Tb/Ca و Yb/Ca بالاست که مبین نهشت آنها در مراحل آخر تبلور و احتمالاً در اثر فرایند تحرک دوبارهٔ فلوریتهای مرحلهٔ پیشین است.

مرجع‌ها

[۱] قشلاقی ا.، *"زمین شیمی و زایش معادن فلوریت پیناوند"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز (۱۳۸۱).

[۲] قشلاقی ا.، *"معادن فلوریت پیناوند؛ MVT یا اپی ترمال؟"* ،(خلاصه مقاله) بیست و دومین گردهمائی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۲)

[3] Abromov V., *"Report on the results of geological exploration works experienced at the area No:3 Pinavand deposits of fluorite"*, National Steel Corporation, Techno export USSR, Esfahan Geological Department (1988) 110.

[4] Roedder E., *"FLUID INCLUSIONS; Review in Mineralogy"*, Mineralogical Society of America, Reston, Virginia(1984)

[5] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., *"A PRACTICAL GUIDE TO FLUID INCLUSION STUDIES"*, New York (1985) 239

[۶] رولینسن هیو ریچارد، *"کاربرد داده های ژئوشیمیائی"*، برگردان: کریم زاد ثمرین، علیرضا. انتشارات دانشگاه تبریز (۱۳۸۱).

[7] Hill G.T., *"Geochemistry of south western New Mexico fluorite occurrences implication for precious metals exploration in fluorite-Bearing system"*, J. of Geochemcal Exploration 68 (2000) 1-20

[8] Constantopoulos C.W., *"Fluid inclusion and rare earth element geochemistry of fluorite from south-central"*, Idaho. Economic Geology (1988) 83 626-636.

[9] Schneider H.J., et al., *"Rare earth elements distribution in fluorite and carbonate sediments of East-Alpine mid-triassic in the Nordichle Kalkalpen"*, Mineralum Deposita (1975) 10 330-344.

[10] Moller P., Dulski P., *"La-ICPMS study of REE and Y distribution in fluorite"*, Mineral deposits Processes to Processing, Rotterdam, Balkana.(1999) 1 1133-1136.

www.SID.ir

Archive of SID

[11] Moller P., Parekh P.P., Schneider H.J., *"The application of Tb/Ca-Tb/La abundance ratios to problems of fluorspar genesis"*, Mineralum Deposita (1986) 11 111-116.
[12] Ganzeyev A.A., Satsokov Y.P., *"REE in fluorite of different origin"*, Geochemistry international (1976) 73 51-56

www.SID.ir