

## تشکیل میانبارهای موناзит و زئوتیم دگرنهادی در کلرآپاتیت‌های کانسار فسفات اسفوردی

صدیقه تقی‌پور، علی کنعانیان\*

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله: ۹۱/۱۰/۲۱، نسخه نهایی: ۹۲/۲/۲۵)

**چکیده:** آپاتیت اصلی‌ترین کانی فسفاتی موجود در کانسار اسفوردی است که به‌صورت بلورهای کاملاً شکل دار (۲-۲۰ سانتیمتر) هم‌رشد با مگنتیت و هماتیت، رگچه‌ای و رگه‌ای رخمون یافته است. بررسی‌های سنگ نگاری حاکی از حضور دو نوع آپاتیت اولیه و ثانویه در این کانسار است. در تصاویر BSE تهیه شده از آپاتیت‌های اولیه، بخش‌های سالم بلور به رنگ روشن و بخش‌های دگرسان شده آن تیره دیده می‌شوند. ترکیب اولیه‌ی آپاتیت؛ کلرآپاتیت (مناطق روشن) بوده که در اثر دگرنهادی به‌طور بخشی به هیدروکسیل-فلور آپاتیت (مناطق تیره) تبدیل شده است. مناطق روشن آپاتیت از نظر  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Cl}$  و  $\text{Y}+\text{LREE}$  غنی شده هستند. میانبارهای موناзит و زئوتیم درون آپاتیت به دو گروه اولیه ( $30-100\ \mu\text{m}$ ) و گرمابی ( $5-20\ \mu\text{m}$ ) قابل تقسیم‌اند که انواع گرمابی در بخش‌های تیره، در محل شکستگی‌ها، میکروحفره‌ها و مرز دانه‌ها تشکیل شده‌اند. میانبارهای موناзит و زئوتیم موجود در بخش‌های تیره به ترتیب از LREE و  $\text{Y}+\text{HREE}$  غنی شده‌اند و با استفاده از دماسنج موناзит-زئوتیم، دمای حدود  $150-350^\circ\text{C}$  را برای آپاتیت دگرنهادی نشان می‌دهند که این به دگرنهادی در شرایط رخساره شیبست سبز دلالت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کانسار فسفات اسفوردی؛ کلرآپاتیت؛ دگرنهادی؛ موناзит؛ زئوتیم.

### مقدمه

کانسار فسفات اسفوردی واقع در منطقه بافق و یکی از کانسارهای آپاتیت-مگنتیت نوع کیرونا [۱] است که از زیر شاخه‌های مهم کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا، محسوب می‌شوند. مگنتیت-آپاتیت موجود در کانسارهای نوع کیرونا بلافاصله بعد از جایگیری ماگمای سازنده‌ی آپاتیت-مگنتیت در دامنه‌ی دمای  $700-800^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند. از طرف دیگر تاثیر گرماب غنی از  $\text{K-S-C-Cl-H}$  در مرحله‌ی دگرسانی گرمابی ( $450-300^\circ\text{C}$ ) نیز باعث تشکیل آپاتیت و میانبارهای موناзит و زئوتیم می‌شود [۲]. بر مبنای نتایج حاصل از دماسنجی‌های انجام شده روی آپاتیت‌های منطقه‌ی

اسفوردی دمای تشکیل آن‌ها بین  $130-450^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتیگراد تعیین شد [۱]. بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شیمیایی و سنگ‌شناسی روی کانسارهای حوزه‌ی بافق نشان می‌دهد که فرآیندهای گرمابی سبب تشکیل مجموعه کانی‌های آپاتیت، موناзит و زئوتیم در منطقه بافق شده است [۵،۳].

زوج موناзит-زئوتیم در شرایط دگرگونی، آذرین و دگرنهادی پایدارند [۴] و ترکیب شیمیایی آن‌ها به شیمی کل سیستم، ضریب جدایش عناصر نادرخاکی بین آن‌ها، فشار و دمای سیستم بستگی دارد [۵]. بررسی رفتار این عناصر در طول دگرنهادی آپاتیت می‌تواند اطلاعات مفیدی

\* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۶۶۴۹۱۶۲۳ (۰۲۱)، پست الکترونیکی: Kananian@khayam.ut.ac.ir

CAMECA استفاده شد. در طول آنالیز ولتاژ شتاب دهنده 20 kv، شدت جریان 20nA و 50nA به ترتیب برای آپاتیت و مونازیت، قطر باریکه‌ی الکترونی ۱ میکرون، و زمان شمارش برای کلیه عناصر 300 s بوده است.

### زمین‌شناسی عمومی

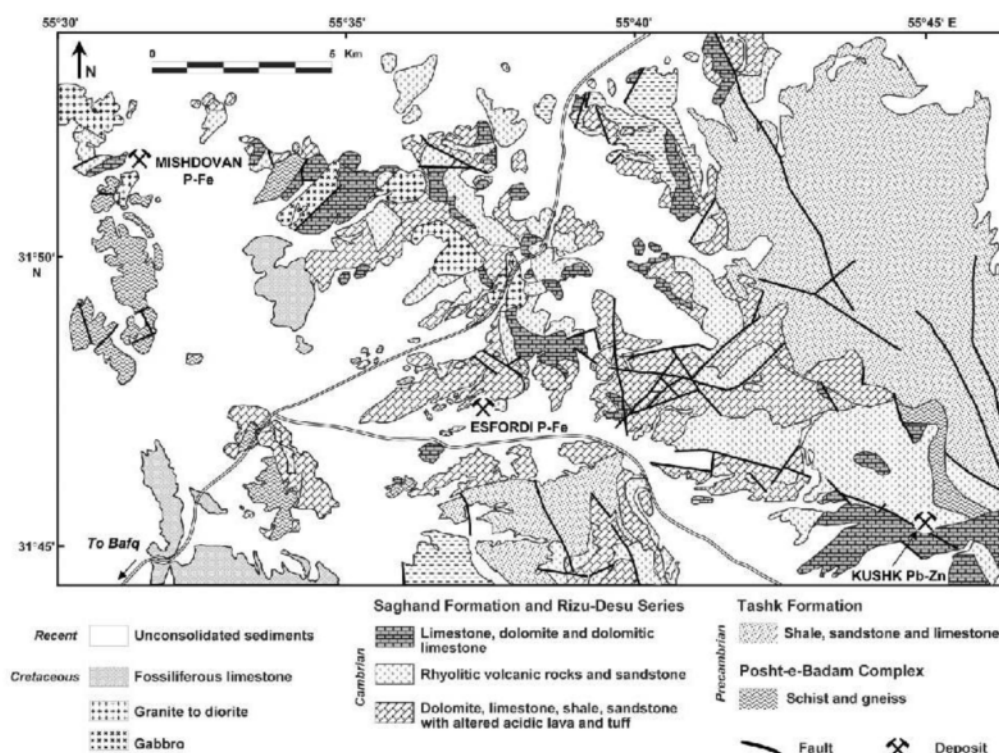
کانسار فسفات اسفوردی واقع در ۳۶ کیلومتری شمال شرق بافق به عنوان اصلی‌ترین کانسار فسفات آذرین ایران در منطقه-ی کانسارزائی بافق قرار گرفته است. این منطقه که جزئی از خرد قاره‌ی ایران مرکزی است، در اثر کوهزایی پان آفریکن و حرکت‌های زمین‌ساختی آن طی ۶۰۰ میلیون سال گذشته، تکامل یافته است [۶] (شکل ۱). پی سنگ منطقه‌ی اسفوردی از همبافت‌های چادونی، بنه شور و سازند تاشک تشکیل شده است [۷]. کانسار اسفوردی بین سنگ‌های ریولیتی، آتشفشانی-آواری، ماسه سنگ، کربنات، جاسپیلیت مربوط به بخش‌های میانی سازند ساغند رخمون یافته است. قسمت اصلی کانسنگ آهن (زون آهن دار) به‌صورت یک عدسی بزرگ به ضخامت ۹۰ متر از سطح تا عمق ۴۰۰ متری امتداد یافته است. لایه اصلی آپاتیت دار روی این منطقه‌ی آهن‌دار واقع شده است. ضخامت لایه‌ی آپاتیتی در اعماق مختلف متفاوت است (شکل ۲).

در خصوص چگونگی تشکیل میانبارهای مونازیت و زنوتیم و نیز شرایط شارهای سازنده‌ی آن‌ها در اختیار ما قرار دهد.

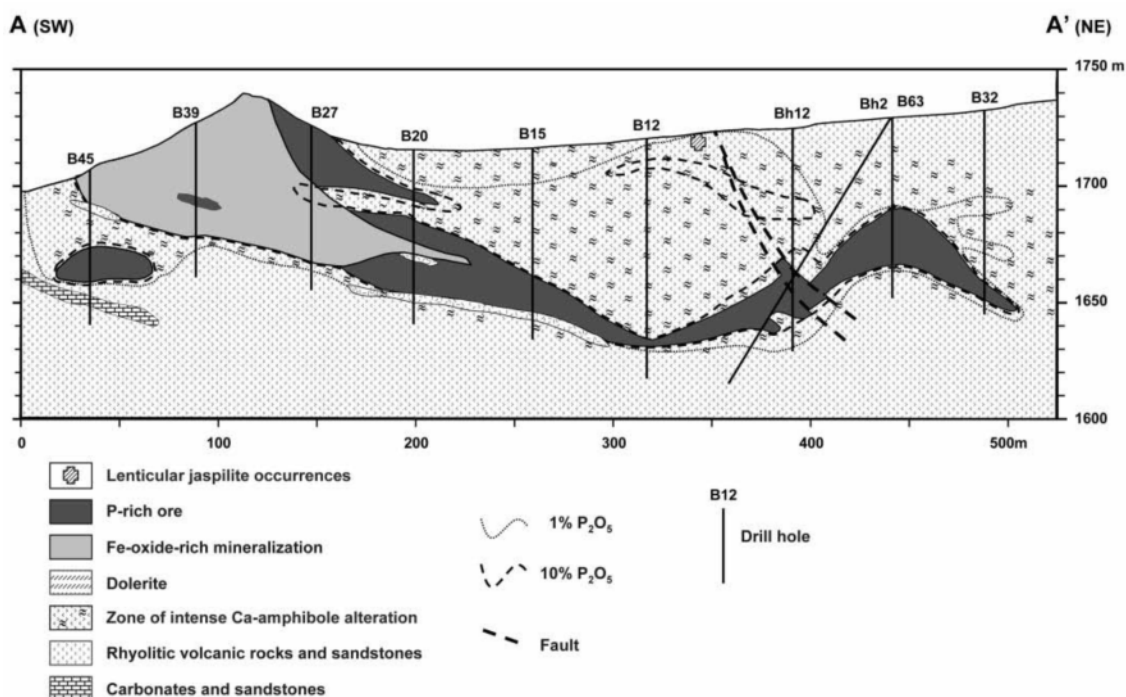
در این پژوهش سعی بر آن است که با بررسی شیمی آپاتیت، میانبارهای مونازیت و زنوتیم و بررسی رفتار عناصر نادر خاکی در این کانی‌ها، اطلاعاتی در خصوص ترکیب، شکل‌گیری و شرایط حاکم بر شارهای عامل دگرنهادی در کانسار فسفات اسفوردی به دست آوریم و نتایج حاصل از این پژوهش را با بررسی‌های انجام شده‌ی دیگر در نمونه‌های طبیعی و مصنوعی دنیا مقایسه کنیم.

### روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی و کتابخانه‌ای ۱۲ نمونه از رخنمون‌های مختلف آپاتیت معدن اسفوردی جمع‌آوری شدند. تعداد ۱۲ مقطع نازک صیقلی و ۴ گرین مانت مورد بررسی‌های ریز پردازشی قرار گرفتند. بررسی‌های سنگ‌نگاری با (میکروسکوپ الیمپوس مدل BH-2) در دانشگاه تهران و بررسی‌های ریز پردازشی و تصویر برداری با (Backscattered BSE (electron در جی اف زد (GFZ, Germany) روی کانی آپاتیت و میانبارهای مونازیت و زنوتیم موجود در آن انجام شد. به این منظور از یک ریز پردازنده‌ی مدل SX-50



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی پیرامون اسفوردی و جایگاه معدن اسفوردی روی آن [۱].



شکل ۲ مقطع عرضی لایه‌های آپاتیتی و آهن دار در میان سنگ میزبان ریولیتی و دگرسان شده اسفوردی [۱].

آپاتیت‌های اولیه در تصاویر BSE از بخش‌های تیره و روشن تشکیل شده‌اند (شکل ۴ ث و ج). مناطق تیره آپاتیت حاوی میانبارهای کانی‌های عناصر نادر خاکی است که حدود ۸۵٪ آن‌ها از موناژیت (شکل ۴ پ) و ۱۵٪ از زنونیم (شکل ۴ ت) تشکیل شده است. میانبارهای موناژیت و زنونیم به صورت شکل دار تا کاملاً بی‌شکل هستند (شکل ۴ الف-ج). در اکثر موارد انواع اولیه این میانبارها کاملاً شکل‌دار و بزرگتر از ۵۰ میکرومتر ( $300\text{--}100\text{ }\mu\text{m}$ ) (شکل ۴ الف، ب، پ) بوده در حالی که انواع گرمابی بی‌شکل تا نیمه شکل دارند (۵–۲۰ میکرومتر) (شکل ۴ الف، ب، ت، ج) و در مناطق تیره آپاتیت، شکستگی‌ها، میکرو و نانو حفره‌های موجود در آپاتیت و در مرز سایر دانه‌ها رشد یافته‌اند. میکرو و نانو حفره‌های در مناطق واکنشی آپاتیت به وفور مشاهده می‌شوند (شکل ۴ ث، ج). روابط پاراژنتیکی برای کانی‌های فسفاتی و کانسنگ آهن اسفوردی در جدول ۱ خلاصه شده است. مگنتیت، هماتیت، کلریت، تالک، اکتینولیت، کلسیت و کوارتز از دیگر کانی‌هایی هستند که در اطراف آپاتیت‌ها و در داخل درز و شکاف‌ها و مناطق واکنشی این کانی مشاهده می‌شوند.

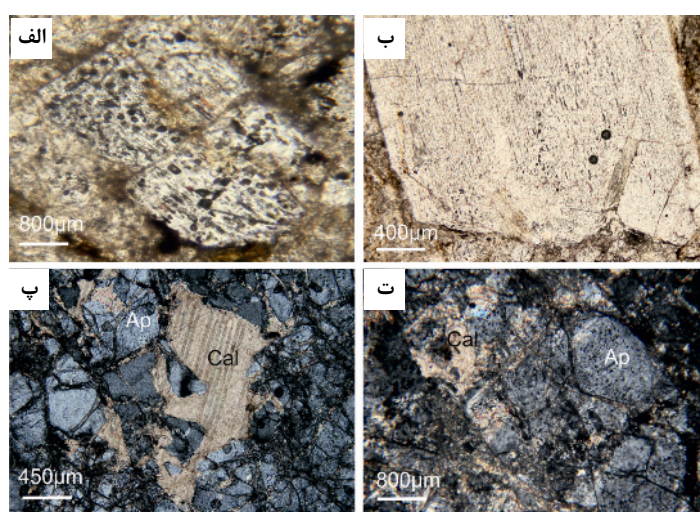
ویلیام و هوشمندزاده [۸]، برای اولین بار بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی به وجود آپاتیت همراه آهن اسفوردی اشاره کرده‌اند. عیار میانگین  $\text{P}_2\text{O}_5$  در این زون حدود ۱۷ درصد است. میزان ذخیره احتمالی این معدن با عیار متوسط ۱۳ درصد  $\text{P}_2\text{O}_5$  حدود ۱۵ میلیون تن برآورد شده است [۶]. آپاتیت به صورت بلورهای بسیار بزرگ و شفاف زرد تا ارغوانی رنگ (در حد ۲۰ سانتیمتر)، توده‌ای، رگچه‌ای و رگه‌ای در کانسار اسفوردی رخنمون یافته است.

#### کانی‌شناسی و سنگ نگاری کانی‌های فسفاتی

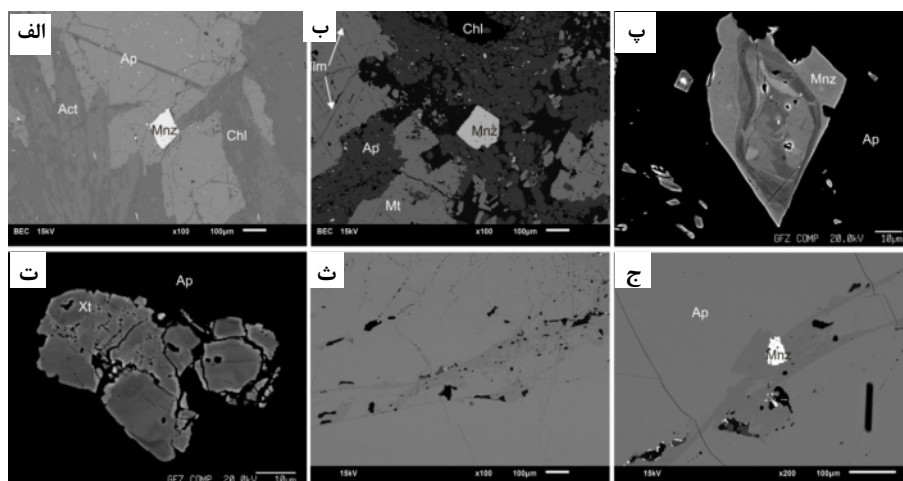
آپاتیت اصلی‌ترین کانی فسفاتی موجود در کانسار اسفوردی است. این کانی به صورت اولیه و ثانویه در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. انواع اولیه به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و معمولاً بزرگتر از ۵۰۰ میکرومتر هستند. آپاتیت‌های اولیه حاوی میانبارهای کانی‌های عناصر نادر خاکی بوده و معمولاً به کربنات دگرسان شده‌اند (شکل‌های ۳، ۴ الف، ب، ج). میانبارهای کانی‌های عناصر نادر خاکی، غالباً شامل موناژیت و زنونیم هستند و معمولاً در راستای محور c آپاتیت کشیده شده‌اند. انواع ثانویه بی‌شکل تا نیمه شکل دارند و معمولاً با کانی‌های تاخیری نظیر کوارتز، کلسیت، تالک و کلریت یافت می‌شوند.

جدول ۱ روابط پاراژنتیکی کانی‌های موجود در کانسار فسفات اسفوردی.

| کانی‌ها            | مرحله‌ها | اولیه | تاخیری |
|--------------------|----------|-------|--------|
|                    |          |       |        |
| آپاتیت اولیه       |          |       |        |
| آپاتیت ثانویه      |          |       |        |
| مونازیت اولیه      |          |       |        |
| مونازیت هیدروترمال |          |       |        |
| زنوتیم اولیه       |          |       |        |
| زنوتیم هیدروترمال  |          |       |        |
| مگنتیت             |          |       |        |
| هماتیت             |          |       |        |
| کلسیت              |          |       |        |
| کوارتز             |          |       |        |



شکل ۳ الف، ب، ت میانبارهای مونازیت و زنوتیم در راستای محور c آپاتیت‌های اولیه شکل شده است، پ، ت کلسیت ثانویه بدنبال کربناتی شدن تاخیری در حاشیه آپاتیت‌های اولیه رخنمون یافته است.



شکل ۴ تصاویر BSE از کانسنگ فسفات اسفوردی. الف- تشکیل اکتینولیت و کلریت در کنار آپاتیت‌های اولیه، تشکیل یک مونازیت اولیه کاملاً شکل دار و انواع بسیار ریز دانه (به صورت نقاط سفید) درون آپاتیت‌های اولیه. ب- تشکیل همزمان مگنتیت-آپاتیت، رخداد تیغک‌های ایلمنیت درون مگنتیت و مونازیت‌های اولیه (شکل دار) و گرماب درون آپاتیت (نقاط سفید و ریزدانه). تصاویر BSE از میانبارهای مونازیت (پ) و زنوتیم (ت) موجود در آپاتیت‌های کانسار اسفوردی. ث- نمای کلی از یک آپاتیت اولیه که مناطق تیره، روشن و میکرو و نانو حفره‌ها به وضوح در آن قابل مشاهده اند. ج مونازیت‌های بی‌شکل و گرمابی در بخش‌های تیره‌ی آپاتیت تشکیل شده است.

## شیمی کانی‌های فسفاتی

## آپاتیت

میانگین نتایج آنالیزهای ریزپردازشی آپاتیت‌های منطقه‌ی اسفوردی در جدول ۲ خلاصه شده است. آپاتیت‌های مورد بررسی بیشتر از نوع هیدروکسیل فلورآپاتیت با مقدار کمی کلر هستند (شکل ۵). از لحاظ زمین‌شیمیایی مناطق تیره

و روشن آپاتیت دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی است. مناطق تیره (واکنشی) از نظر (درصد)  $\text{SiO}_2$  (۰/۱۳)،  $\text{Na}_2\text{O}$  (۰/۰۷)،  $\text{Y}+\text{LREE}$  (۱/۵۲) و  $\text{Cl}$  (۰/۵۳) نسبت به مناطق روشن (غیر واکنشی) غنی‌ترند. آپاتیت‌های منطقه اسفوردی از لحاظ عناصر نادرخاکی سبک و به ویژه سریم غنی هستند و در زمره آپاتیت‌های تیپ کیرونا قرار می‌گیرند.

جدول ۲ نتایج آنالیزهای ریزپردازشی بر روی بخش‌های روشن (تعداد = ۳۸) آپاتیت‌های اسفوردی.

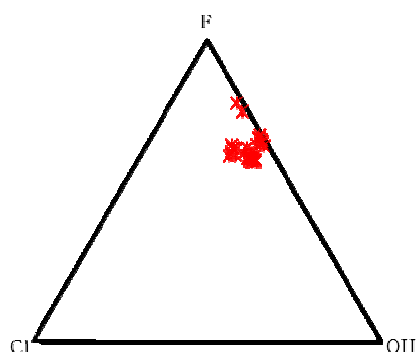
| No.                     | ۱      | ۲      | ۳     | ۴     | ۵      | ۶     | ۷      | ۸     | ۹      | ۱۰     | ۱۱     | ۱۲    | ۱۳     | ۱۴     | ۱۵     | ۱۶     | ۱۷    | ۱۸     | ۱۹     |
|-------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | ۴۱/۱۱  | ۴۱/۴۵  | ۴۱/۰۲ | ۴۱/۸۰ | ۴۱/۱۷  | ۴۰/۹۵ | ۴۱/۵۸  | ۴۰/۸۳ | ۴۱/۵۱  | ۴۱/۲۴  | ۴۱/۹۰  | ۴۰/۸۱ | ۴۱/۵   | ۴۰/۹۷  | ۴۱/۷۳  | ۴۱/۲۵  | ۴۱/۱۳ | ۴۱/۳۲  | ۴۱/۳۵  |
| $\text{SO}_3$           | ۰/۱۹   | ۰/۱۸   | ۰/۱۸  | ۰/۲۰  | ۰/۱۸   | ۰/۱۷  | ۰/۱۲   | ۰/۱۴  | ۰/۱۴   | ۰/۱۶   | ۰/۳۳   | ۰/۱۶  | ۰/۱۴   | ۰/۱۶   | ۰/۱۵   | ۰/۱۵   | ۰/۲۰  | ۰/۲۹   | ۰/۲۵   |
| $\text{SiO}_2$          | ۰/۰۶   | ۰/۱۰   | ۰/۰۸  | ۰/۰۹  | ۰/۱۷   | ۰/۱۳  | ۰/۰۵   | ۰/۰۷  | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۲۴   | ۰/۰۹  | ۰/۰۸   | ۰/۰۶   | ۰/۰۶   | ۰/۰۵   | ۰/۱۳  | ۰/۰۸   | ۰/۱۰   |
| $\text{Y}_2\text{O}_3$  | ۰/۱۸   | ۰/۱۶   | ۰/۱۷  | ۰/۱۵  | ۰/۱۶   | ۰/۱۱  | ۰/۱۳   | ۰/۱۴  | ۰/۱۲   | ۰/۱۴   | ۰/۰۰   | ۰/۱۵  | ۰/۱۶   | ۰/۱۷   | ۰/۱۱   | ۰/۱۱   | ۰/۲۰  | ۰/۰۸   | ۰/۱۳   |
| $\text{La}_2\text{O}_3$ | ۰/۴۹   | ۰/۴۴   | ۰/۴۴  | ۰/۳۳  | ۰/۳۹   | ۰/۳۱  | ۰/۳۱   | ۰/۴۱  | ۰/۵۶   | ۰/۴۱   | ۰/۴۳   | ۰/۴۶  | ۰/۳۵   | ۰/۴۶   | ۰/۶۲   | ۰/۴۱   | ۴۱/۰  | ۰/۴۵   | ۰/۴۷   |
| $\text{Ce}_2\text{O}_3$ | ۰/۹۸   | ۱/۰۲   | ۱/۰۸  | ۰/۷۳  | ۰/۹۵   | ۰/۸۳  | ۰/۷۵   | ۰/۹۹  | ۰/۹۴   | ۰/۸۰   | ۰/۶۵   | ۰/۷۶  | ۰/۹۹   | ۰/۹۷   | ۰/۸۱   | ۰/۹۵   | ۰/۹۵  | ۰/۹۹   | ۰/۸۹   |
| $\text{Nd}_2\text{O}_3$ | ۰/۴۲   | ۰/۵۳   | ۰/۳۲  | ۰/۴۴  | ۰/۴۳   | ۰/۲۷  | ۰/۲۳   | ۰/۴۱  | ۰/۴۶   | ۰/۳۱   | ۰/۲۰   | ۰/۲۵  | ۰/۳۴   | ۰/۳۲   | ۰/۳۳   | ۰/۳۴   | ۰/۳۸  | ۰/۳۰   | ۰/۴۱   |
| $\text{Pr}_2\text{O}_3$ | ۰/۰۰   | ۰/۰۹   | ۰/۰۹  | ۰/۰۲  | ۰/۲۰   | ۰/۰۲  | ۰/۰۵   | ۰/۱۳  | ۰/۱۷   | ۰/۰۰   | ۰/۱۳   | ۰/۱۱  | ۰/۰۷   | ۰/۱۳   | ۰/۱۵   | ۰/۰۸   | ۰/۰۳  | ۰/۲۶   | ۰/۱۳   |
| $\text{CaO}$            | ۵۳/۷۰  | ۵۳/۶۳  | ۵۳/۴۵ | ۵۳/۳۷ | ۵۳/۵۸  | ۵۳/۵۸ | ۵۴/۱۰  | ۵۳/۷۴ | ۵۳/۶۰  | ۵۴/۰۷  | ۵۴/۶۱  | ۵۳/۷۰ | ۵۳/۹۴  | ۵۳/۹۸  | ۵۳/۷۳  | ۵۳/۹۲  | ۵۳/۴۵ | ۵۳/۷۰  | ۵۴/۰۴  |
| $\text{MnO}$            | ۰/۰۲   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۳   | ۰/۰۱  | ۰/۰۳   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۲   | ۰/۰۴   | ۰/۰۴  | ۰/۰۳   | ۰/۰۴   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۳  | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   |
| $\text{FeO}$            | ۰/۰۷   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸  | ۰/۰۷  | ۰/۱۰   | ۰/۰۸  | ۰/۰۸   | ۰/۰۸  | ۰/۰۹   | ۰/۰۵   | ۰/۰۳   | ۰/۱۷  | ۰/۰۸   | ۰/۰۶   | ۰/۱۰   | ۰/۰۷   | ۰/۰۸  | ۰/۰۶   | ۰/۰۵   |
| $\text{SrO}$            | ۰/۰۱   | ۰/۰۲   | ۰/۰۰  | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۴  | ۰/۰۳   | ۰/۰۱  | ۰/۰۰   | ۰/۰۶   | ۰/۰۷   | ۰/۰۰  | ۰/۰۲   | ۰/۰۲   | ۰/۰۲   | ۰/۰۶   | ۰/۰۴  | ۰/۰۶   | ۰/۰۲   |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | ۰/۳۹   | ۰/۵۰   | ۰/۳۶  | ۰/۲۷  | ۰/۳۶   | ۰/۳۰  | ۰/۲۳   | ۰/۳۶  | ۰/۳۵   | ۰/۳۴   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۲۵   | ۰/۳۶   | ۰/۲۵   | ۰/۳۷  | ۰/۵۱   | ۰/۳۵   |
| F                       | ۱/۸۰   | ۱/۸۵   | ۱/۹۰  | ۱/۷۳  | ۱/۸۲   | ۱/۷۵  | ۱/۸۹   | ۱/۷۸  | ۱/۷۲   | ۱/۸۴   | ۱/۸۳   | ۱/۶۰  | ۱/۷۲   | ۱/۸۲   | ۱/۷۶   | ۱/۷۴   | ۱/۶۸  | ۱/۳۴   | ۱/۳۵   |
| Cl                      | ۰/۳۹   | ۰/۴۰   | ۰/۳۶  | ۰/۴۰  | ۰/۴۲   | ۰/۴۲  | ۰/۳۷   | ۰/۳۸  | ۰/۳۸   | ۰/۳۶   | ۰/۰۹   | ۰/۳۰  | ۰/۳۶   | ۰/۳۷   | ۰/۳۶   | ۰/۳۱   | ۰/۴۰  | ۰/۴۱   | ۰/۴۰   |
| OH                      | ۱/۲۰   | ۱/۲۵   | ۱/۲۶  | ۱/۱۴  | ۱/۲۴   | ۱/۱۷  | ۱/۲۶   | ۱/۱۶  | ۱/۱۰   | ۱/۱۹   | ۰/۹۲   | ۰/۹۰  | ۱/۰۸   | ۱/۱۹   | ۱/۱۱   | ۱/۰۵   | ۱/۰۸  | ۰/۷۵   | ۰/۷۵   |
| O-F-Cl                  | ۱/۵۸   | ۱/۶۳   | ۱/۶۴  | ۱/۵۱  | ۱/۶۱   | ۱/۵۴  | ۱/۶۵   | ۱/۵۵  | ۱/۵۱   | ۱/۵۹   | ۱/۵۲   | ۱/۳۶  | ۱/۵۰   | ۱/۵۸   | ۱/۵۴   | ۱/۵۰   | ۱/۴۸  | ۱/۲۲   | ۱/۲۲   |
| total                   | ۱۰۰/۱۳ | ۱۰۰/۷۹ | ۹۹/۸۲ | ۹۸/۹۱ | ۱۰۰/۳۰ | ۹۹/۲۷ | ۱۰۰/۲۸ | ۹۹/۷۷ | ۱۰۰/۴۵ | ۱۰۰/۲۰ | ۱۰۰/۸۶ | ۹۸/۸۴ | ۱۰۰/۰۸ | ۱۰۰/۱۸ | ۱۰۰/۶۰ | ۱۰۰/۷۹ | ۹۹/۷۶ | ۱۰۰/۱۳ | ۱۰۰/۲۲ |
| Y+REE                   | ۰/۱۳   | ۰/۱۴   | ۰/۱۴  | ۰/۱۱  | ۰/۱۴   | ۰/۱۰  | ۰/۰۹   | ۰/۱۳  | ۰/۱۴   | ۰/۱۱   | ۰/۰۹   | ۰/۱۱  | ۰/۱۲   | ۰/۱۳   | ۰/۱۳   | ۰/۱۲   | ۰/۱۳  | ۰/۱۳   | ۰/۱۳   |

| No.                     | ۲۰     | ۲۱    | ۲۲     | ۲۳    | ۲۴    | ۲۵     | ۲۶    | ۲۷    | ۲۸     | ۲۹    | ۳۰    | ۳۱    | ۳۲    | ۳۳     | ۳۴    | ۳۵     | ۳۶    | ۳۷    | ۳۸    |
|-------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | ۴۱/۳۲  | ۴۱/۲۲ | ۴۱/۳۰  | ۴۱/۰۵ | ۴۱/۳۲ | ۴۱/۰۳  | ۴۱/۶۰ | ۴۱/۲۸ | ۴۱/۲۵  | ۴۱/۰۹ | ۴۱/۵۱ | ۴۰/۹۶ | ۴۱/۴۸ | ۴۱/۶۰  | ۴۱/۲۸ | ۴۱/۲۵  | ۴۱/۱۲ | ۴۱/۰۹ | ۴۱/۵۱ |
| $\text{SO}_3$           | ۰/۱۸   | ۰/۲۱  | ۰/۳۵   | ۰/۲۹  | ۰/۲۴  | ۰/۲۴   | ۰/۱۵  | ۰/۱۴  | ۰/۱۵   | ۰/۱۶  | ۰/۱۶  | ۰/۲۷  | ۰/۰۹  | ۰/۱۴   | ۰/۱۴  | ۰/۱۵   | ۰/۱۵  | ۰/۱۶  | ۰/۱۶  |
| $\text{SiO}_2$          | ۰/۰۹   | ۰/۱۰  | ۰/۱۴   | ۰/۱۶  | ۰/۱۲  | ۰/۱۲   | ۰/۰۵  | ۰/۱۰  | ۰/۱۰   | ۰/۰۶  | ۰/۰۸  | ۰/۱۷  | ۰/۱۱  | ۰/۰۵   | ۰/۱۰  | ۰/۰۹   | ۰/۰۶  | ۰/۰۶  | ۰/۰۷  |
| $\text{Y}_2\text{O}_3$  | ۰/۱۳   | ۰/۰۷  | ۰/۱۷   | ۰/۱۵  | ۰/۱۴  | ۰/۱۷   | ۰/۱۴  | ۰/۱۱  | ۰/۱۲   | ۰/۱۵  | ۰/۱۵  | ۰/۱۵  | ۰/۱۲  | ۰/۱۴   | ۰/۱۱  | ۰/۱۲   | ۰/۱۴  | ۰/۱۵  | ۰/۱۵  |
| $\text{La}_2\text{O}_3$ | ۰/۳۷   | ۰/۲۷  | ۰/۴۷   | ۰/۲۸  | ۰/۳۰  | ۰/۳۴   | ۰/۴۴  | ۰/۳۸  | ۰/۵۱   | ۰/۴۵  | ۰/۴۲  | ۰/۲۸  | ۰/۳۳  | ۰/۴۳   | ۰/۳۸  | ۰/۵۰   | ۰/۴۳  | ۰/۴۵  | ۰/۴۲  |
| $\text{Ce}_2\text{O}_3$ | ۰/۷۴   | ۰/۷۷  | ۰/۷۸   | ۱/۱۵  | ۰/۸۴  | ۰/۹۸   | ۱/۱۵  | ۰/۸۴  | ۰/۹۶   | ۰/۸۵  | ۰/۹۰  | ۰/۹۶  | ۰/۶۵  | ۱/۱۵   | ۰/۸۳  | ۰/۹۶   | ۰/۸۶  | ۰/۸۵  | ۰/۸۹  |
| $\text{Nd}_2\text{O}_3$ | ۰/۲۸   | ۰/۲۰  | ۰/۴۵   | ۰/۴۳  | ۰/۳۸  | ۰/۴۲   | ۰/۳۷  | ۰/۳۸  | ۰/۴۶   | ۰/۴۹  | ۰/۳۳  | ۰/۴۶  | ۰/۲۸  | ۰/۳۷   | ۰/۳۸  | ۰/۴۵   | ۰/۴۶  | ۰/۴۸  | ۰/۳۳  |
| $\text{Pr}_2\text{O}_3$ | ۰/۲۱   | ۰/۰۸  | ۰/۲۴   | ۰/۱۴  | ۰/۰۹  | ۰/۱۱   | ۰/۰۳  | ۰/۰۳  | ۰/۱۴   | ۰/۰۲  | ۰/۰۷  | ۰/۰۹  | ۰/۱۴  | ۰/۰۲   | ۰/۰۳  | ۰/۱۴   | ۰/۰۳  | ۰/۰۲  | ۰/۰۶  |
| $\text{CaO}$            | ۵۴/۳۴  | ۵۴/۴۲ | ۵۳/۵۱  | ۵۳/۳۳ | ۵۳/۶۹ | ۵۳/۹۲  | ۵۳/۵۱ | ۵۳/۵۶ | ۵۳/۷۴  | ۵۳/۸۲ | ۵۳/۹۵ | ۵۳/۰۸ | ۵۴/۱۰ | ۵۳/۵۱  | ۵۳/۵۶ | ۵۳/۷۴  | ۵۳/۸۱ | ۵۳/۸۲ | ۵۳/۹۵ |
| $\text{MnO}$            | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۴   | ۰/۰۴  | ۰/۰۱  | ۰/۰۳   | ۰/۰۱  | ۰/۰۰  | ۰/۰۴   | ۰/۰۱  | ۰/۰۶  | ۰/۰۲  | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۰  | ۰/۰۳   | ۰/۰۲  | ۰/۰۱  | ۰/۰۶  |
| $\text{FeO}$            | ۰/۱۱   | ۰/۰۹  | ۰/۰۸   | ۰/۱۰  | ۰/۱۱  | ۰/۰۹   | ۰/۰۹  | ۰/۰۸  | ۰/۰۷   | ۰/۰۸  | ۰/۱۰  | ۰/۰۸  | ۰/۰۶  | ۰/۰۸   | ۰/۰۸  | ۰/۰۶   | ۰/۰۸  | ۰/۰۷  | ۰/۱۰  |
| $\text{SrO}$            | ۰/۰۲   | ۰/۰۵  | ۰/۰۱   | ۰/۰۴  | ۰/۰۳  | ۰/۰۲   | ۰/۰۱  | ۰/۰۲  | ۰/۰۲   | ۰/۰۲  | ۰/۰۱  | ۰/۰۳  | ۰/۰۲  | ۰/۰۰   | ۰/۰۲  | ۰/۰۲   | ۰/۰۰  | ۰/۰۲  | ۰/۰۰  |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | ۰/۲۹   | ۰/۲۹  | ۰/۴۲   | ۰/۳۵  | ۰/۳۳  | ۰/۳۶   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۴۲  | ۰/۲۷  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  |
| F                       | ۱/۴۰   | ۱/۳۲  | ۱/۳۲   | ۱/۳۰  | ۱/۳۳  | ۱/۴۱   | ۱/۷۳  | ۱/۹۰  | ۱/۹۲   | ۱/۸۰  | ۱/۵۶  | ۱/۴۰  | ۱/۴۸  | ۳/۲۲   | ۳/۵۳  | ۳/۵۸   | ۳/۲۳  | ۳/۳۴  | ۲/۹۱  |
| Cl                      | ۰/۳۹   | ۰/۳۹  | ۰/۴۵   | ۰/۵۱  | ۰/۴۶  | ۰/۴۶   | ۰/۳۸  | ۰/۳۹  | ۰/۳۶   | ۰/۳۷  | ۰/۳۸  | ۰/۴۷  | ۰/۳۴  | ۰/۷۱   | ۰/۷۳  | ۰/۶۷   | ۰/۷۲  | ۰/۶۸  | ۰/۷۱  |
| OH                      | ۰/۷۹   | ۰/۷۰  | ۰/۷۷   | ۰/۸۱  | ۰/۸۰  | ۰/۸۷   | ۱/۱۱  | ۱/۲۹  | ۱/۲۸   | ۱/۱۷  | ۰/۹۴  | ۰/۸۷  | ۰/۸۲  | ۱/۱۳   | ۱/۱۱  | ۱/۲۸   | ۱/۴۲  | ۱/۳۱  | ۱/۵۱  |
| O-F-Cl                  | ۱/۲۶   | ۱/۱۹  | ۱/۲۲   | ۱/۲۲  | ۱/۲۳  | ۱/۲۹   | ۱/۵۲  | ۱/۶۵  | ۱/۶۶   | ۱/۵۶  | ۱/۳۹  | ۱/۲۸  | ۱/۳۰  | ۱/۱۷   | ۱/۸۵  | ۱/۲۸   | ۱/۷۵  | ۱/۵۲  | ۱/۴۳  |
| total                   | ۱۰۰/۱۴ | ۹۹/۷۵ | ۱۰۰/۰۳ | ۹۹/۶۱ | ۹۹/۶۹ | ۱۰۰/۰۰ | ۹۹/۹۷ | ۹۹/۵۳ | ۱۰۰/۱۴ | ۹۹/۶۷ | ۹۹/۹۷ | ۹۹/۱۲ | ۹۹/۷۵ | ۱۰۰/۳۱ | ۹۹/۳۲ | ۱۰۰/۵۲ | ۹۹/۳۶ | ۹۹/۷۱ | ۹۹/۹۲ |
| Y+REE                   | ۰/۱۱   | ۰/۰۹  | ۰/۱۴   | ۰/۱۴  | ۰/۱۱  | ۰/۱۳   | ۰/۱۴  | ۰/۱۱  | ۰/۱۴   | ۰/۱۳  | ۰/۱۲  | ۰/۱۳  | ۰/۱۰  | ۲/۱۳   | ۱/۷۳  | ۲/۱۸   | ۱/۹۳  | ۱/۹۵  | ۱/۸۶  |

ادامه جدول ۲ نتایج آنالیزهای ریزپردازشی بر روی بخش‌های تیره‌ی (تعداد = ۳۲) آپاتیت‌های اسفوردی.

| No.                            | ۱      | ۲      | ۳      | ۴      | ۵     | ۶     | ۷      | ۸     | ۹      | ۱۰     | ۱۱     | ۱۲     | ۱۳    | ۱۴     | ۱۵    | ۱۶     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۴۲٫۲۵  | ۴۲٫۰۳  | ۴۲٫۰۵  | ۴۲٫۱۵  | ۴۱٫۹۰ | ۴۱٫۸۹ | ۴۱٫۹۳  | ۴۱٫۹۰ | ۴۲٫۱۰  | ۴۱٫۷۸  | ۴۱٫۶۶  | ۴۱٫۹۹  | ۴۱٫۶۵ | ۴۲٫۱۴  | ۴۱٫۸۱ | ۴۱٫۹۳  |
| SO <sub>3</sub>                | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲   |
| SiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۰   | ۰٫۱۲   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۴   | ۰٫۲۵  | ۰٫۲۳  | ۰٫۱۲   | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۳   | ۰٫۱۴   | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۴  | ۰٫۱۰   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۰٫۰۵   | ۰٫۱۱   | ۰٫۱۱   | ۰٫۰۹   | ۰٫۰۷  | ۰٫۰۶  | ۰٫۱۴   | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۲   | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۵   | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۴  | ۰٫۰۳   | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۹   |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۰   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۱۵   | ۰٫۱۶   | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۹   | ۰٫۱۳  | ۰٫۱۴  | ۰٫۲۳   | ۰٫۱۳  | ۰٫۱۸   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۶   | ۰٫۱۹  | ۰٫۰۸   | ۰٫۰۶  | ۰٫۲۳   |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۱۶   | ۰٫۰۳   | ۰٫۲۱   | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۶  | ۰٫۰۶  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۶   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۸   | ۰٫۲۰   | ۰٫۱۵  | ۰٫۰۷   | ۰٫۱۷  | ۰٫۲۷   |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۰   | ۰٫۱۲   | ۰٫۰۳   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۱۱   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۸   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۷  | ۰٫۰۱   |
| CaO                            | ۵۵٫۸۳  | ۵۵٫۹۹  | ۵۵٫۸۹  | ۵۵٫۵۷  | ۵۵٫۱۹ | ۵۵٫۱۳ | ۵۶٫۰۷  | ۵۵٫۹۹ | ۵۶٫۲۷  | ۵۶٫۱۲  | ۵۶٫۲۵  | ۵۶٫۰۵  | ۵۵٫۹۲ | ۵۶٫۰۴  | ۵۶٫۰۴ | ۵۵٫۸۶  |
| MnO                            | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   |
| FeO                            | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۷   | ۰٫۲۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   |
| SrO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱   |
| F                              | ۲٫۱۰   | ۲٫۰۱   | ۱٫۸۶   | ۲٫۰۰   | ۱٫۸۴  | ۱٫۸۳  | ۱٫۴۴   | ۱٫۴۳  | ۱٫۴۵   | ۱٫۹۴   | ۱٫۸۷   | ۱٫۴۲   | ۱٫۳۳  | ۱٫۴۸   | ۱٫۳۵  | ۱٫۴۶   |
| Cl                             | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۹   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۶  | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۵   |
| OH                             | ۱٫۱۷   | ۱٫۰۸   | ۰٫۹۲   | ۱٫۰۵   | ۰٫۹۲  | ۰٫۸۹  | ۰٫۴۸   | ۰٫۴۸  | ۰٫۵۲   | ۱٫۰۴   | ۰٫۹۰   | ۰٫۴۸   | ۰٫۳۹  | ۰٫۵۳   | ۰٫۴۰  | ۰٫۵۱   |
| O-F-Cl                         | ۱٫۷۱   | ۱٫۶۳   | ۱٫۵۰   | ۱٫۶۱   | ۱٫۴۹  | ۱٫۵۰  | ۱٫۱۵   | ۱٫۱۵  | ۱٫۱۸   | ۱٫۵۸   | ۱٫۴۹   | ۱٫۱۴   | ۱٫۰۷  | ۱٫۱۹   | ۱٫۰۸  | ۱٫۱۷   |
| total                          | ۱۰۰٫۹۸ | ۱۰۰٫۹۶ | ۱۰۰٫۸۶ | ۱۰۰٫۵۱ | ۹۹٫۸۳ |       | ۱۰۰٫۲۶ | ۹۹٫۹۳ | ۱۰۰٫۸۰ | ۱۰۰٫۳۸ | ۱۰۰٫۴۴ | ۱۰۰٫۲۱ | ۹۹٫۷۴ | ۱۰۰٫۱۰ | ۹۹٫۹۶ | ۱۰۰٫۱۷ |
| Y+REE                          | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۲  |       | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴   |

| No.                            | ۱۷     | ۱۸     | ۱۹     | ۲۰     | ۲۱     | ۲۲     | ۲۳     | ۲۴    | ۲۵    | ۲۶    | ۲۷    | ۲۸     | ۲۹    | ۳۰    | ۳۱     | ۳۲    |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۴۲٫۳۵  | ۴۲٫۳۵  | ۴۱٫۹۰  | ۴۲٫۱۵  | ۴۱٫۷۸  | ۴۱٫۹۴  | ۴۱٫۶۶  | ۴۱٫۹۹ | ۴۱٫۶۵ | ۴۲٫۱۴ | ۴۱٫۸۱ | ۴۱٫۹۳  | ۴۱٫۹۳ | ۴۱٫۹۰ | ۴۲٫۱۰  | ۴۱٫۴۸ |
| SO <sub>3</sub>                | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۹  |
| SiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۲۵   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۰   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۳   | ۰٫۱۴  | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۴  | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۲  | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۳   | ۰٫۱۱  |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۰٫۰۸   | ۰٫۰۸   | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۹   | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۵   | ۰٫۱۰  | ۰٫۱۴  | ۰٫۰۳  | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۹   | ۰٫۱۴  | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۲   | ۰٫۱۲  |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۵   | ۰٫۲۳  |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۱۸   | ۰٫۱۸   | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۹   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۶  | ۰٫۱۹  | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۶  | ۰٫۲۳   | ۰٫۲۳  | ۰٫۱۳  | ۰٫۱۸   | ۰٫۶۵  |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۶   | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۴   | ۰٫۱۸   | ۰٫۰۸   | ۰٫۲۰  | ۰٫۱۵  | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۷  | ۰٫۲۷   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۶   | ۰٫۲۸  |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۱۳   | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۰   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۷  | ۰٫۰۱   | ۰٫۱۱  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۸   | ۰٫۱۴  |
| CaO                            | ۵۵٫۴۸  | ۵۵٫۴۸  | ۵۵٫۱۹  | ۵۵٫۵۷  | ۵۶٫۱۲  | ۵۶٫۱۴  | ۵۶٫۲۵  | ۵۶٫۰۵ | ۵۵٫۹۲ | ۵۶٫۰۴ | ۵۶٫۰۴ | ۵۵٫۸۶  | ۵۶٫۰۷ | ۵۵٫۹۹ | ۵۶٫۲۷  | ۵۴٫۱۰ |
| MnO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  |
| FeO                            | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۶  |
| SrO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲  |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۷   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۲۷  |
| F                              | ۱٫۹۲   | ۱٫۹۲   | ۳٫۴۶   | ۳٫۷۷   | ۳٫۶۶   | ۳٫۶۵   | ۳٫۵۱   | ۲٫۶۶  | ۲٫۴۷  | ۲٫۷۸  | ۲٫۵۲  | ۲٫۷۲   | ۲٫۶۹  | ۲٫۶۷  | ۲٫۷۳   | ۲٫۷۵  |
| Cl                             | ۰٫۰۸   | ۰٫۰۸   | ۰٫۱۴   | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۸   | ۰٫۱۱   | ۰٫۰۵   | ۰٫۱۱  | ۰٫۱۱  | ۰٫۰۹  | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۸  | ۰٫۱۰  | ۰٫۱۲   | ۰٫۶۳  |
| OH                             | ۱٫۰۰   | ۱٫۰۰   | ۱٫۱۷   | ۰٫۶۲   | ۱٫۰۶   | ۰٫۸۲   | ۱٫۴۶   | ۱٫۰۹  | ۱٫۵۲  | ۱٫۳۱  | ۱٫۱۲  | ۱٫۰۹   | ۱٫۲۴  | ۱٫۴۶  | ۱٫۱۹   | ۱٫۱۷  |
| O-F-Cl                         | ۱٫۵۷   | ۱٫۵۷   | ۱٫۱۷   | ۱٫۶۲   | ۱٫۴۶   | ۱٫۵۲   | ۱٫۴۶   | ۱٫۷۳  | ۱٫۵۲  | ۱٫۳۹  | ۱٫۶۲  | ۱٫۰۹   | ۱٫۷۴  | ۱٫۴۶  | ۱٫۱۹   | ۱٫۱۷  |
| total                          | ۱۰۰٫۶۸ | ۱۰۰٫۶۸ | ۱۰۰٫۱۴ | ۱۰۰٫۵۰ | ۱۰۰٫۵۰ | ۱۰۰٫۷۸ | ۱۰۰٫۴۷ | ۹۹٫۶۲ | ۹۹٫۲۹ | ۹۹٫۹۰ | ۹۹٫۴۲ | ۱۰۰٫۲۵ | ۹۹٫۶۷ | ۹۹٫۶۲ | ۱۰۰٫۷۹ | ۹۹٫۸۸ |
| Y+REE                          | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳   | ۰٫۲۹   | ۰٫۴۶   | ۰٫۱۶   | ۰٫۳۳   | ۰٫۳۲   | ۰٫۳۸  | ۰٫۵۰  | ۰٫۱۸  | ۰٫۵۱  | ۰٫۶۱   | ۰٫۴۸  | ۰٫۳۲  | ۰٫۶۰   | ۱٫۵۲  |



شکل ۵ نتایج حاصل از آنالیز ریزپردازشی آپاتیت‌های منطقه اسفوردی روی نمودار سه تایی OH-F-Cl. آپاتیت‌های مذکور بیشتر از نوع گرماب فلور ( $\pm$  کلر) آپاتیت هستند.

## مونازیت

$\text{Pr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (برحسب درصد) به ترتیب ۳۲/۰۷، ۱۲/۰۳،

۲/۱۷ و ۳/۸۵ است. تمامی میانبارهای مونازیت دارای مقداری  $\text{ThO}_2$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Y}_2\text{O}_3$  و  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  و از نظر HREE بسیار تهی هستند (جدول ۳).

میانگین نتایج حاصل از آنالیزهای میکروپروب انجام شده بر روی مونازیت‌های موجود در آپاتیت‌های کانسار اسفوردی در جدول ۳ خلاصه شده است. همه‌ی مونازیت‌های مورد آنالیز از LREE غنی هستند. میزان اکسیدهای  $\text{La}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Ce}_2\text{O}_3$

جدول ۳ میانگین نتایج آنالیزهای ریزپردازشی میانبارهای زئوتیم (تعداد = ۲۸) موجود در آپاتیت‌های اسفوردی.

| No.                            | ۱      | ۲      | ۳      | ۴      | ۵      | ۶      | ۷      | ۸      | ۹     | ۱۰    | ۱۱     | ۱۲     | ۱۳     | ۱۴     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Na <sub>2</sub> O              | ۰/۰۳   | ۰/۰۴   | ۰/۰۶   | ۰/۰۲   | ۰/۰۰   | ۰/۰۸   | ۰/۰۳   | ۰/۰۵   | ۰/۰۵  | ۰/۰۴  | ۰/۰۳   | ۰/۰۳   | ۰/۰۴   | ۰/۰۳   |
| FeO                            | ۰/۰۰   | ۰/۰۳   | ۰/۰۰   | ۰/۱۲   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱  | ۰/۰۴  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۳۴/۶۴  | ۳۴/۸۶  | ۲۹/۹۳  | ۳۳/۵۸  | ۳۲/۹۵  | ۳۶/۱۹  | ۳۶/۱۲  | ۳۳/۶۱  | ۳۲/۱۵ | ۲۸/۹۸ | ۳۴/۸۳  | ۳۴/۳۴  | ۳۴/۵۴  | ۳۴/۷۱  |
| CaO                            | ۱/۰۹   | ۱/۱۹   | ۱/۱۱   | ۵/۴۹   | ۰/۹۴   | ۲/۶۷   | ۳/۶۳   | ۱/۳۹   | ۱/۶۳  | ۱/۶۵  | ۰/۷۰   | ۰/۶۱   | ۰/۷۲   | ۱/۲۶   |
| SiO <sub>2</sub>               | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۱/۰۷   | ۰/۲۶   | ۱/۶۴   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۷۷   | ۱/۵۰  | ۴/۳۰  | ۰/۰۶   | ۰/۲۶   | ۰/۴۲   | ۰/۰۶   |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۱/۲۹   | ۱/۰۰   | ۰/۰۳   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰  | ۰/۰۸  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| UO <sub>2</sub>                | ۰/۱۴   | ۰/۱۲   | ۰/۳۸   | ۰/۳۳   | ۰/۳۰   | ۰/۱۸   | ۰/۱۲   | ۰/۱۴   | ۰/۴۰  | ۰/۹۱  | ۰/۱۰   | ۰/۱۳   | ۰/۱۴   | ۰/۱۰   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۴۳/۹۱  | ۴۴/۴۵  | ۱۴/۴۲  | ۴۰/۵۶  | ۴۳/۹۲  | ۴۳/۶۲  | ۴۶/۰۶  | ۴۶/۴۹  | ۴۴/۲۷ | ۴۵/۳۴ | ۴۶/۲۰  | ۴۵/۱۵  | ۴۵/۷۵  | ۴۵/۷۳  |
| PbO                            | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰  | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۴   | ۰/۰۹   | ۲/۷۱   | ۰/۰۲   | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۲   | ۰/۱۰   | ۰/۰۸  | ۰/۱۳  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۲   | ۰/۰۰   |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۳   | ۰/۰۰   | ۰/۲۳   | ۰/۰۴   | ۰/۰۶   | ۰/۰۳   | ۰/۰۷   | ۰/۰۶   | ۰/۰۶  | ۰/۱۳  | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| ThO <sub>2</sub>               | ۰/۸۹   | ۰/۶۱   | ۰/۲۴   | ۰/۰۸   | ۱/۲۹   | ۰/۱۱   | ۰/۰۴   | ۰/۲۰   | ۰/۳۲  | ۰/۱۲  | ۰/۰۷   | ۰/۱۱   | ۰/۱۲   | ۰/۰۵   |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳/۵۱   | ۳/۳۷   | ۱/۸۶   | ۲/۰۶   | ۲/۴۳   | ۲/۹۳   | ۱/۹۷   | ۲/۴۱   | ۲/۶۳  | ۱/۳۷  | ۲/۷۲   | ۳/۲۲   | ۲/۵۰   | ۲/۴۵   |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۱۳   | ۰/۲۶   | ۰/۹۵   | ۰/۱۳   | ۰/۳۰   | ۰/۳۸   | ۰/۱۲   | ۰/۴۹   | ۰/۲۶  | ۰/۱۲  | ۰/۱۰   | ۰/۰۸   | ۰/۱۱   | ۰/۰۸   |
| Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۵/۲۱   | ۵/۱۲   | ۴/۱۶   | ۴/۴۹   | ۴/۶۹   | ۵/۰۳   | ۴/۰۴   | ۴/۸۰   | ۵/۰۸  | ۳/۶۷  | ۵/۰۳   | ۵/۵۵   | ۵/۱۴   | ۴/۹۲   |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۳۵   | ۰/۴۰   | ۰/۲۷   | ۰/۲۱   | ۰/۴۵   | ۰/۵۵   | ۰/۱۶   | ۰/۵۴   | ۰/۳۸  | ۰/۰۷  | ۰/۳۱   | ۰/۳۸   | ۰/۳۷   | ۰/۳۱   |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۴۴   | ۰/۴۹   | ۰/۴۸   | ۰/۴۸   | ۰/۴۳   | ۰/۴۴   | ۰/۵۰   | ۰/۴۶   | ۰/۳۸  | ۰/۷۵  | ۰/۴۸   | ۰/۴۹   | ۰/۴۵   | ۰/۴۹   |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲/۸۵   | ۲/۷۳   | ۳/۰۳   | ۲/۸۸   | ۲/۹۱   | ۲/۸۲   | ۳/۱۸   | ۳/۰۹   | ۲/۶۹  | ۴/۳۶  | ۲/۹۸   | ۳/۰۰   | ۲/۸۳   | ۳/۰۳   |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۸۳   | ۰/۷۰   | ۰/۵۳   | ۰/۵۱   | ۰/۵۹   | ۰/۶۸   | ۰/۵۲   | ۰/۶۰   | ۰/۶۳  | ۰/۳۶  | ۰/۵۸   | ۰/۷۱   | ۰/۶۹   | ۰/۶۳   |
| Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱/۰۸   | ۱/۰۵   | ۱/۰۱   | ۱/۰۴   | ۰/۹۹   | ۱/۱۶   | ۱/۰۰   | ۱/۰۵   | ۱/۱۱  | ۰/۹۰  | ۱/۰۱   | ۱/۰۶   | ۱/۱۲   | ۱/۱۷   |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳/۶۱   | ۳/۵۲   | ۳/۷۰   | ۳/۴۳   | ۳/۵۸   | ۳/۶۴   | ۳/۸۰   | ۳/۶۲   | ۳/۶۵  | ۴/۱۰  | ۳/۶۴   | ۳/۷۱   | ۳/۶۸   | ۳/۵۹   |
| Total                          | ۱۰۰/۵۴ | ۱۰۰/۷۳ | ۹۶/۷۱  | ۹۷/۳۵  | ۹۹/۲۲  | ۱۰۲/۴۱ | ۱۰۲/۹۱ | ۱۰۱/۵۱ | ۹۹/۳۳ | ۹۸/۸۲ | ۱۰۰/۵۴ | ۱۰۰/۵۹ | ۱۰۰/۴۱ | ۱۰۰/۴۱ |
| No.                            | ۱۵     | ۱۶     | ۱۷     | ۱۸     | ۱۹     | ۲۰     | ۲۱     | ۲۲     | ۲۳    | ۲۴    | ۲۵     | ۲۶     | ۲۷     | ۲۸     |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰/۰۷   | ۰/۰۱   | ۰/۰۳   | ۰/۰۲   | ۰/۰۴   | ۰/۰۱   | ۰/۰۳   | ۰/۰۴   | ۰/۰۶  | ۰/۰۲  | ۰/۰۰   | ۰/۰۸   | ۰/۰۳   | ۰/۰۵   |
| FeO                            | ۲/۱۵   | ۱/۰۰   | ۰/۰۲   | ۰/۱۶   | ۲/۷۹   | ۲/۱۵   | ۰/۰۰   | ۰/۰۳   | ۰/۰۰  | ۰/۱۲  | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۳۵/۰۵  | ۳۲/۷۶  | ۳۵/۴۳  | ۳۴/۸۸  | ۳۴/۴۰  | ۳۴/۷۱  | ۳۴/۶۴  | ۳۴/۸۶  | ۲۹/۹۳ | ۳۳/۵۸ | ۳۲/۹۵  | ۳۶/۱۹  | ۳۶/۱۲  | ۳۳/۶۱  |
| CaO                            | ۰/۶۹   | ۱/۶۸   | ۱/۹۳   | ۱/۵۶   | ۰/۲۴   | ۰/۹۹   | ۱/۰۹   | ۱/۱۹   | ۱/۱۱  | ۵/۴۹  | ۰/۹۴   | ۲/۶۷   | ۳/۶۳   | ۱/۳۹   |
| SiO <sub>2</sub>               | ۰/۵۰   | ۵/۹۰   | ۰/۱۱   | ۰/۰۴   | ۱/۸۳   | ۰/۶۶   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۱/۰۷  | ۰/۲۶  | ۱/۶۴   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۷۷   |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۳   | ۰/۱۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۱/۲۹  | ۱/۰۰  | ۰/۰۳   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   |
| UO <sub>2</sub>                | ۰/۰۷   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۱۴   | ۰/۱۲   | ۰/۳۸  | ۰/۳۳  | ۰/۳۰   | ۰/۱۸   | ۰/۱۲   | ۰/۱۴   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۴۴/۲۸  | ۴۰/۱۹  | ۴۰/۵۱  | ۴۱/۰۷  | ۴۲/۳۰  | ۴۱/۱۶  | ۴۳/۹۱  | ۴۴/۴۵  | ۱۴/۴۲ | ۴۰/۵۶ | ۴۳/۹۲  | ۴۳/۶۲  | ۴۶/۰۶  | ۴۶/۴۹  |
| PbO                            | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۱   | ۰/۰۰   | ۰/۰۰   | ۰/۰۱   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۸   | ۰/۱۱   | ۰/۷۱   | ۰/۷۵   | ۰/۱۷   | ۰/۷۶   | ۰/۰۴   | ۰/۰۹   | ۲/۷۱  | ۰/۰۲  | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۲   | ۰/۱۰   |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۰   | ۰/۱۲   | ۰/۲۷   | ۰/۲۵   | ۰/۰۹   | ۰/۲۱   | ۰/۰۳   | ۰/۰۰   | ۰/۲۳  | ۰/۰۴  | ۰/۰۶   | ۰/۰۳   | ۰/۰۷   | ۰/۰۶   |
| ThO <sub>2</sub>               | ۰/۰۶   | ۰/۰۱   | ۰/۰۳   | ۰/۰۳   | ۰/۰۳   | ۰/۰۱   | ۰/۸۹   | ۰/۶۱   | ۰/۲۴  | ۰/۰۸  | ۱/۲۹   | ۰/۱۱   | ۰/۰۴   | ۰/۲۰   |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳/۳۰   | ۳/۳۵   | ۳/۳۸   | ۳/۸۷   | ۳/۷۵   | ۳/۷۱   | ۳/۵۱   | ۳/۳۷   | ۱/۸۶  | ۲/۰۶  | ۲/۴۳   | ۲/۹۳   | ۱/۹۷   | ۲/۴۱   |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۰۸   | ۰/۷۸   | ۱/۸۲   | ۲/۰۲   | ۱/۰۱   | ۲/۱۶   | ۰/۱۳   | ۰/۲۶   | ۰/۹۵  | ۰/۱۳  | ۰/۳۰   | ۰/۳۸   | ۰/۱۲   | ۰/۴۹   |
| Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۶/۰۷   | ۵/۰۲   | ۴/۶۲   | ۴/۸۹   | ۵/۴۶   | ۵/۰۱   | ۵/۲۱   | ۵/۱۲   | ۴/۱۶  | ۴/۴۹  | ۴/۶۹   | ۵/۰۳   | ۴/۰۴   | ۴/۸۰   |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۳۲   | ۰/۸۸   | ۱/۲۸   | ۱/۵۸   | ۱/۱۷   | ۱/۴۸   | ۰/۳۵   | ۰/۴۰   | ۰/۲۷  | ۰/۲۱  | ۰/۴۵   | ۰/۵۵   | ۰/۱۶   | ۰/۵۴   |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۴۹   | ۰/۴۲   | ۰/۴۱   | ۰/۳۷   | ۰/۴۴   | ۰/۳۸   | ۰/۴۴   | ۰/۴۹   | ۰/۴۸  | ۰/۴۸  | ۰/۴۳   | ۰/۴۴   | ۰/۵۰   | ۰/۴۶   |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲/۵۱   | ۲/۷۱   | ۲/۴۱   | ۲/۴۰   | ۲/۶۹   | ۲/۵۲   | ۲/۸۵   | ۲/۷۳   | ۳/۰۳  | ۲/۸۸  | ۲/۹۱   | ۲/۸۲   | ۳/۱۸   | ۳/۰۹   |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۷۰   | ۰/۶۶   | ۰/۶۶   | ۰/۶۶   | ۰/۷۶   | ۰/۶۲   | ۰/۸۳   | ۰/۷۰   | ۰/۵۳  | ۰/۵۱  | ۰/۵۹   | ۰/۶۸   | ۰/۵۲   | ۰/۶۰   |
| Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱/۱۷   | ۱/۰۲   | ۰/۹۵   | ۰/۹۲   | ۱/۱۹   | ۰/۹۵   | ۱/۰۸   | ۱/۰۵   | ۱/۰۱  | ۱/۰۴  | ۰/۹۹   | ۱/۱۶   | ۱/۰۰   | ۱/۰۵   |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳/۴۸   | ۳/۳۷   | ۳/۲۱   | ۳/۱۲   | ۳/۴۹   | ۳/۱۹   | ۳/۶۱   | ۳/۵۲   | ۳/۷۰  | ۳/۴۳  | ۳/۵۸   | ۳/۶۴   | ۳/۸۰   | ۳/۶۲   |
| Total                          | ۱۰۲/۹۵ | ۱۰۱/۶۵ | ۱۰۰/۴۰ | ۱۰۰/۳۱ | ۱۰۳/۷۶ | ۱۰۲/۲۷ | ۱۰۰/۵۴ | ۱۰۰/۷۳ | ۹۶/۷۱ | ۹۷/۳۵ | ۹۹/۲۲  | ۱۰۲/۴۱ | ۱۰۲/۹۱ | ۱۰۱/۵۱ |

ادامه جدول ۳ میانگین نتایج آنالیزهای ریزپردازشی میانبراهای مونازیت (تعداد=۳۴) موجود در آپاتیت‌های اسفوردی.

| No.                            | ۱      | ۲      | ۳     | ۴      | ۵      | ۶      | ۷      | ۸      | ۹     | ۱۰     | ۱۱    | ۱۲     | ۱۳     | ۱۴     | ۱۵     | ۱۶     | ۱۷     |
|--------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۲۹,۳۸  | ۳۰,۱۳  | ۲۸,۸۹ | ۲۹,۳۹  | ۲۹,۹۹  | ۳۰,۴۳  | ۳۰,۷۴  | ۳۰,۵۰  | ۳۰,۱۱ | ۳۰,۵۴  | ۲۹,۶۱ | ۳۱,۵۳  | ۲۹,۳۲  | ۲۹,۶۵  | ۲۹,۷۷  | ۳۰,۱۳  | ۲۹,۹۴  |
| CaO                            | ۳,۷۱   | ۵,۰۵   | ۲,۳۶  | ۲,۳۱   | ۲,۵۵   | ۲,۳۸   | ۲,۳۵   | ۲,۸۶   | ۱,۲۷  | ۰,۴۷   | ۲,۶۳  | ۱,۹۰   | ۲,۱۴   | ۰,۳۸   | ۰,۵۲   | ۰,۸۷   | ۰,۷۸   |
| SiO <sub>2</sub>               | ۱,۲۹   | ۱,۱۰   | ۱,۴۷  | ۱,۲۸   | ۰,۴۵   | ۰,۱۴   | ۰,۰۸   | ۰,۱۷   | ۰,۴۶  | ۰,۵۶   | ۰,۴۱  | ۰,۰۰   | ۲,۲۲   | ۱,۶۲   | ۱,۶۴   | ۱,۳۱   | ۰,۵۹   |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۳,۳۳  | ۱۳,۶۶  | ۱۶,۴۶ | ۱۶,۸۴  | ۱۴,۲۰  | ۱۴,۳۷  | ۱۳,۸۷  | ۱۴,۸۷  | ۱۶,۱۷ | ۱۳,۸۸  | ۱۲,۴۵ | ۱۵,۷۷  | ۱۶,۳۲  | ۱۳,۳۳  | ۱۳,۴   | ۱۳,۵۷  | ۱۴,۰۲  |
| UO <sub>2</sub>                | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۰,۶۵   | ۰,۴۸   | ۰,۰۶  | ۰,۰۵   | ۰,۸۰   | ۰,۴۱   | ۰,۳۴   | ۰,۳۸   | ۰,۰۷  | ۰,۶۳   | ۱,۱۱  | ۰,۱۱   | ۰,۱۱   | ۰,۱۴   | ۰,۱۲   | ۰,۳۱   | ۰,۱۶   |
| PbO                            | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳۵,۰   | ۳۲,۷۰  | ۳۵,۷۵ | ۵۱,۳۵  | ۳۳,۲۲  | ۳۳,۲۹  | ۳۳,۰۴  | ۳۳,۲۴  | ۳۴,۰۶ | ۳۳,۵۳  | ۳۱,۵۲ | ۳۳,۵۸  | ۳۴,۵۶  | ۳۳,۳۵  | ۳۳,۴۳  | ۳۳,۰۹  | ۳۴,۵   |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳,۵۲   | ۳,۳۴   | ۳,۲۸  | ۳,۳۰   | ۳,۳۴   | ۳,۵۱   | ۳,۵۴   | ۳,۵۰   | ۳,۲۵  | ۳,۶۹   | ۳,۶۱  | ۳,۴۵   | ۳,۰۶   | ۳,۷۲   | ۳,۶۷   | ۳,۷۷   | ۳,۶۳   |
| ThO <sub>2</sub>               | ۰,۰۲   | ۰,۰۶   | ۰,۴۲  | ۰,۲۱   | ۰,۳۱   | ۰,۰۳   | ۰,۱۱   | ۰,۰۳   | ۰,۰۲  | ۰,۰۷   | ۰,۱۱  | ۰,۰۰   | ۰,۱۸   | ۰,۲۱   | ۰,۲۲   | ۰,۱۸   | ۰,۲۰   |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۵۲   | ۰,۵۴   | ۰,۱۸  | ۰,۳۷   | ۰,۹۸   | ۱,۰۵   | ۱,۰۵   | ۰,۹۳   | ۰,۷۶  | ۰,۹۸   | ۱,۳۴  | ۰,۶۲   | ۰,۲۱   | ۰,۹۵   | ۱,۰۹   | ۱,۱۳   | ۰,۷۴   |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۱,۵۳  | ۱۰,۶۵  | ۱۰,۱۱ | ۱۰,۰۴  | ۱۱,۷۲  | ۱۲,۸۳  | ۱۲,۹۹  | ۱۲,۲۸  | ۱۱,۶۷ | ۱۳,۹۱  | ۱۳,۶۶ | ۱۱,۴۶  | ۸,۸۲   | ۱۳,۹۴  | ۱۴,۲۵  | ۱۳,۸۶  | ۱۳,۲۵  |
| Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۲۰   | ۰,۱۰   | ۰,۰۶  | ۰,۰۱   | ۰,۲۶   | ۰,۱۷   | ۰,۱۹   | ۰,۱۱   | ۰,۰۹  | ۰,۲۱   | ۰,۴۵  | ۰,۰۸   | ۰,۰۴   | ۰,۱۳   | ۰,۱۱   | ۰,۱۸   | ۰,۰۹   |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱,۰۱   | ۰,۹۱   | ۰,۶۲  | ۰,۶۹   | ۱,۴۱   | ۱,۶۱   | ۱,۶۷   | ۱,۴۵   | ۱,۲۷  | ۱,۵۲   | ۲,۰۵  | ۱,۲۵   | ۰,۴۹   | ۱,۸۵   | ۱,۹۰   | ۱,۹۱   | ۱,۳۴   |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   | ۰,۰۲  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   | ۰,۰۵   | ۰,۰۲  | ۰,۰۰   | ۰,۰۲  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۲   | ۰,۰۰   | ۰,۰۲   | ۰,۰۴   |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۱  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۲  | ۰,۰۵   | ۰,۰۲   | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۸   | ۰,۰۵   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۱۴   | ۰,۰۴   | ۰,۱۰   | ۰,۰۳   | ۰,۰۳  | ۰,۰۵   | ۰,۱۲  | ۰,۰۹   | ۰,۰۰   | ۰,۰۶   | ۰,۰۱   | ۰,۰۷   | ۰,۰۲   |
| Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۶   | ۰,۰۱   | ۰,۰۵  | ۰,۰۰   | ۰,۰۳   | ۰,۰۱   | ۰,۰۵   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۱۳  | ۰,۰۰   | ۰,۰۵   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۰   | ۰,۱۱   | ۰,۰۵  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۳   | ۰,۰۴  | ۰,۰۴   | ۰,۰۹  | ۰,۰۶   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Total                          | ۱۰۰,۴۷ | ۱۰۰,۲۰ | ۹۹,۸۶ | ۱۰۰,۰۱ | ۹۹,۴۶  | ۱۰۰,۳۵ | ۱۰۰,۲۶ | ۱۰۰,۴۹ | ۹۹,۵۷ | ۱۰۰,۲۹ | ۹۹,۵۶ | ۱۰۰,۰  | ۹۸,۶۰  | ۹۸,۶۰  | ۱۰۰,۳۷ | ۱۰۰,۷۱ | ۹۹,۵۳  |
| No.                            | ۱۸     | ۱۹     | ۲۰    | ۲۱     | ۲۲     | ۲۳     | ۲۴     | ۲۵     | ۲۶    | ۲۷     | ۲۸    | ۲۹     | ۳۰     | ۳۱     | ۳۲     | ۳۳     | ۳۴     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۲۹,۸۵  | ۳۰,۱۷  | ۳۰,۲۴ | ۳۰,۲۷  | ۳۰,۳۱  | ۳۰,۲۳  | ۳۰,۲۳  | ۳۰,۴۲  | ۳۰,۳۰ | ۳۰,۱۹  | ۳۰,۳۵ | ۳۰,۳۱  | ۳۰,۰۷  | ۳۰,۱۷  | ۳۰,۴۵  | ۳۰,۲۴  | ۳۰,۳۱  |
| CaO                            | ۰,۸۹   | ۰,۴۳   | ۰,۴۲  | ۰,۲۵   | ۰,۲۵   | ۰,۰۶   | ۰,۲۸   | ۰,۱۳   | ۰,۷۲  | ۰,۷۱   | ۰,۵۸  | ۰,۲۸   | ۰,۲۶   | ۰,۲۸   | ۰,۲۸   | ۰,۲۵   | ۰,۲۵   |
| SiO <sub>2</sub>               | ۰,۶۰   | ۰,۴۲   | ۰,۳۹  | ۰,۳۶   | ۰,۳۸   | ۰,۴۹   | ۰,۳۴   | ۰,۳۱   | ۰,۳۱  | ۰,۲۹   | ۰,۲۴  | ۰,۵۴   | ۰,۴۶   | ۰,۴۱   | ۰,۵۶   | ۰,۴۵   | ۰,۴۵   |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۳,۶۸  | ۱۱,۷۵  | ۱۱,۶۲ | ۱۲,۲   | ۱۲,۰۹  | ۱۲,۶۶  | ۱۱,۴۱  | ۱۲,۲۵  | ۱۰,۵۹ | ۱۰,۸۲  | ۱۴,۵۹ | ۱۱,۳۴  | ۱۲,۸۱  | ۱۳,۶۱  | ۱۱,۷۳  | ۱۲,۷۷  | ۱۲,۷۷  |
| UO <sub>2</sub>                | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | ۰,۲۲   | ۳۲,۲۱  | ۰,۵۴  | ۰,۴۵   | ۰,۴۷   | ۰,۰۸   | ۰,۴۲   | ۰,۲۵   | ۰,۵۵  | ۰,۴۶   | ۰,۱۶  | ۰,۴۹   | ۰,۳۲   | ۰,۲۴   | ۰,۳۰   | ۰,۲۶   | ۰,۲۶   |
| PbO                            | ۰,۰۰   | ۳,۷۴   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۳۲,۲۳  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳۴,۰۱  | ۰,۶۳   | ۳۲,۱۳ | ۳۲,۸۷  | ۳۲,۷۵  | ۳۴,۰۱  | ۳,۹۶   | ۳۳,۳۶  | ۳۱,۱۹ | ۳۱,۶۶  | ۳۴,۵۷ | ۳۱,۸۴  | ۳۴,۰۸  | ۳۴,۷۲  | ۳۲,۹۴  | ۳۳,۱۴  | ۳۳,۸۳  |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳,۶۷   | ۱,۵۰   | ۳,۷۸  | ۳۲,۱۳  | ۳,۹۴   | ۳,۹۰   | ۰,۰۸   | ۳,۹۴   | ۳,۸۲  | ۳,۹۰   | ۳,۵۲  | ۳,۹۱   | ۳,۹۳   | ۳,۷۶   | ۳,۹۱   | ۳,۸۵   | ۳,۹۶   |
| ThO <sub>2</sub>               | ۰,۱۸   | ۱۵,۳۳  | ۰,۷۰  | ۳,۷۸   | ۰,۱۴   | ۰,۰۰   | ۱,۲۷   | ۰,۰۰   | ۰,۱۱  | ۰,۱۳   | ۰,۰۲  | ۰,۵۳   | ۰,۳۹   | ۰,۰۲   | ۰,۰۳   | ۰,۴۳   | ۰,۳۶   |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۸۱   | ۰,۲۰   | ۱,۵۱  | ۰,۵۲   | ۱,۴۵   | ۰,۸۸   | ۱۶,۵۵  | ۰,۹۲   | ۱,۵۶  | ۱,۵۲   | ۰,۸۷  | ۱,۵۱   | ۰,۸۱   | ۰,۷۷   | ۱,۳۰   | ۱,۲۴   | ۱,۰۹   |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۳,۳۴  | ۲,۳۳   | ۱۵,۴۹ | ۱,۴۸   | ۱۵,۶۷  | ۱۵,۶۸  | ۰,۱۶   | ۰,۰۳   | ۱۶,۸۶ | ۱۶,۵۱  | ۱۳,۱۱ | ۱۶,۲۹  | ۱۵,۰۹  | ۱۴,۵۱  | ۱۵,۶۲  | ۱۴,۹۵  | ۱۴,۵۹  |
| Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۴   | ۰,۰۲   | ۰,۱۹  | ۱۵,۱۵  | ۰,۲۸   | ۰,۱۵   | ۲,۴۸   | ۱,۸۴   | ۰,۲۹  | ۰,۲۱   | ۰,۰۹  | ۰,۲۱   | ۰,۰۶   | ۰,۰۸   | ۰,۲۴   | ۰,۱۸   | ۰,۱۳   |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱,۴۷   | ۰,۰۰   | ۲,۴۸  | ۰,۱۹   | ۲,۴۵   | ۲,۰۲   | ۰,۰۰   | ۰,۰۳   | ۲,۷۴  | ۰,۰۲   | ۱,۵۷  | ۲,۵۵   | ۱,۶۷   | ۱,۵۵   | ۲,۴۴   | ۲,۲۸   | ۲,۰۷   |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۲   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۲,۲۷   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۲   | ۰,۰۱  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۵   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۳  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۴   | ۰,۰۰   | ۰,۰۲  | ۰,۰۴   | ۰,۰۲  | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۳   | ۰,۰۶   | ۰,۰۳   | ۰,۰۰   |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۴   | ۰,۰۰   | ۰,۰۳  | ۰,۰۰   | ۰,۰۳   | ۰,۰۲   | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   | ۰,۰۳  | ۰,۰۱   | ۰,۰۰  | ۰,۰۸   | ۰,۰۲   | ۰,۰۰   | ۰,۰۷   | ۰,۰۸   | ۰,۰۳   |
| Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۳  | ۰,۰۰   | ۰,۰۵   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۳   | ۰,۰۹  | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۳   | ۰,۰۷   | ۰,۰۵   | ۰,۰۰   | ۰,۰۶   | ۰,۱۲   |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰,۰۰   | ۰,۰۷   | ۰,۰۶  | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰  | ۰,۰۱   | ۰,۰۰  | ۰,۰۳   | ۰,۰۲   | ۰,۰۰   | ۰,۰۰   | ۰,۰۱   | ۰,۰۰   |
| Total                          | ۹۹,۱۱  | ۹۹,۴۵  | ۹۹,۷۹ | ۹۹,۹۴  | ۱۰۰,۴۰ | ۱۰۰,۲۱ | ۹۹,۵۳  | ۹۹,۵۹  | ۹۹,۳۹ | ۹۹,۱۵  | ۹۹,۹۶ | ۱۰۰,۱۳ | ۱۰۰,۳۰ | ۱۰۰,۳۷ | ۱۰۰,۳۷ | ۹۹,۷۹  | ۱۰۰,۴۳ |



## زئوتیم

میانگین نتایج آنالیزهای ریزپردازشی زئوتیم‌های موجود در آپاتیت‌های منطقه‌ی اسفوردی در جدول ۳ خلاصه شده است. انباشت LREE در مقایسه با HREE در دانه‌های زئوتیم بسیار کم است. اکسیدهای  $Gd_2O_3$  (۳/۴۴)،  $Dy_2O_3$  (۵/۱۷)،  $Er_2O_3$  (۳/۵۶)،  $Yb_2O_3$  (۲/۷۹)،  $Ho_2O_3$  (۱/۰۶)،  $Tb_2O_3$  (۰/۷۷)، و  $Sm_2O_3$  (۰/۳۸) در زئوتیم دارای درصد قابل توجهی هستند.

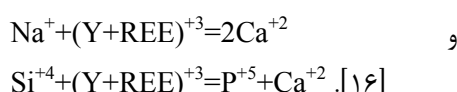
## دماسنج موناژیت-زئوتیم

هاینریچ و همکاران [۴] و آندرس و هاینریچ [۵] به صورت تجربی، بر اساس توزیع عناصر نادرخاکی سنگین و ایتیریم دماسنج جفت کانی موناژیت-زئوتیم را درجه بندی کرده‌اند. بر اساس این دماسنج‌ها جفت کانی موناژیت-زئوتیم (گرماب) در دامنه‌ی دمایی ۱۲۰-۳۵۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده‌اند (شکل ۶).

## بحث

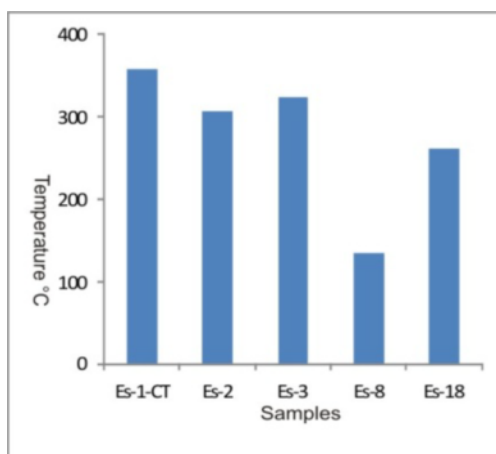
سنگ میزبان کانسار اسفوردی از سنگ‌های آتشفشانی فلسیک نظیر ریولیت و توف ریولیتی عضو میانی سازند ساغند تشکیل شده است [۱]. در کانسارهای آهن نوع کیرونا و اکسید آهن-مس-طلا (IOCG)، معمولاً چند نسل آپاتیت در کنار کانه‌های آهن با بافت توده‌ای تا برشی حضور دارند [۱، ۲، ۹-۱۱]. در این کانسارها آپاتیت و میانبارهای موناژیت و زئوتیم اولیه از شورابه‌های غنی از Cl یا  $H_2SO_4$  که از ماگما خارج می‌شود؛ به وجود می‌آید [۲]. به منظور تشکیل فلور آپاتیت لازم است  $X_F > 0.9$  باشد در صورتی که برای تشکیل کلر آپاتیت  $X_{Cl} < 0.1$  کافی است [۱۲]. بنابراین افزایش اندکی کلر در شاره نقش با اهمیتی بر ترکیب آپاتیت و دگرنهادی این کانی دارد. بر اساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی کمی و نیمه کمی، فراوانی غیر عادی کلر در آپاتیت‌های اولیه (بخش‌های روشن) کانسار اسفوردی نشان می‌دهد که این آپاتیت‌ها از نوع کلر آپاتیت بوده‌اند که در اثر دگرنهادی به هیدروکسیل فلور آپاتیت (بخش‌های تیره) تبدیل شده‌اند. هارلو و همکاران [۱۳] به صورت تجربی نشان دادند که در اثر تبدیل کلر آپاتیت به فلور آپاتیت و کاهش حجم ناشی از آن، میکرو و نانو حفره‌هایی در بخش‌های واکنشی آپاتیت به وجود می‌آیند که مسیر مناسبی برای عبور شاره شبه دگرنهادی کننده و جابه‌جایی

عناصر محسوب شده و در عین حال جایگاهی برای رشد میانبارهای موناژیت و زئوتیم در ساختار آپاتیت فراهم می‌کند. مناطق تیره‌ی آپاتیت از لحاظ  $Na_2O$ ,  $SiO_2$ , Cl, Y+LREE نسبت به مناطق روشن تهی شده‌اند. مشابه این بافت‌ها را پژوهشگران دیگر در نمونه‌های طبیعی [۱۴، ۲] و مصنوعی [۱۵، ۱۳] گزارش کرده‌اند. بخش‌های واکنشی کلر آپاتیت به دنبال دو واکنش زیر از لحاظ Y+LREE, Na, Si, Cl تهی شده است (شکل ۷ الف، ب):

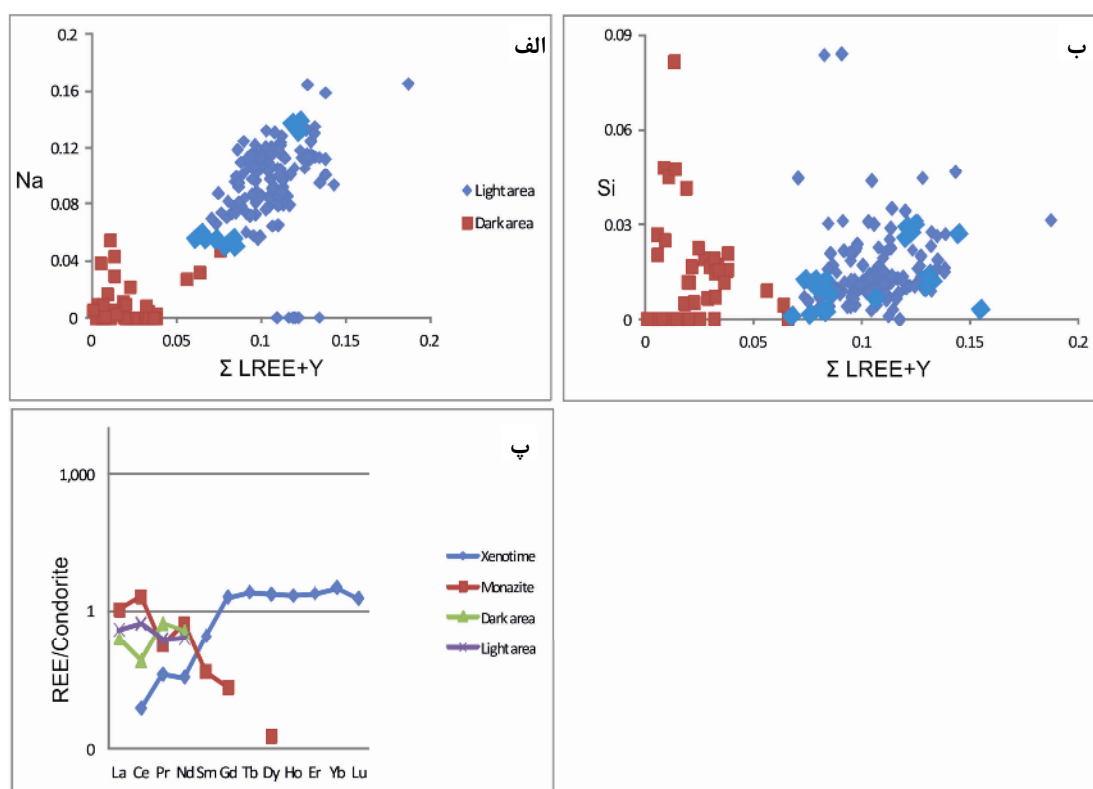


در حضور شورابه‌های غنی از H-Ca-Na-Cl میانبارهای موناژیت و زئوتیم در بخش‌های تیره آپاتیت تشکیل نمی‌شود، در حالی که در حضور شورابه‌های غنی از K-H-Cl-C-S میانبارهای یاد شده در بخش‌های واکنشی آپاتیت تشکیل می‌شود [۱۵، ۱۳]. میانبارهای موناژیت و زئوتیم موجود در آپاتیت‌های منطقه اسفوردی به ترتیب از لحاظ LREE و HREE (شکل ۷ پ) غنی شده‌اند [۱۷]. از طرف دیگر میزان اورانیوم و توریم در آن‌ها کمتر از ۳٪ وزنی است که این امر نشان می‌دهد که موناژیت و زئوتیم مورد بررسی خاستگاه گرمابی دارند [۱۴، ۱۸، ۱۹].

به طور کلی دماسنجی‌های انجام شده روی سنگ میزبان کانسارهای مگنتیت-آپاتیت و IOCG دنیا، دما زیر حد ماگمایی را برای تشکیل آن‌ها پیشنهاد کرده است [۱۰]. برای مثال دماسنجی‌های انجام شده روی کانسارهای کیرونا [۲۰] و سوسگو [۲۱] به ترتیب گستره‌های دمایی  $400^\circ C$  و  $200^\circ C$ - $450^\circ C$  را نشان می‌دهند. بر مبنای دماسنجی انجام شده روی جفت کانی موناژیت-زئوتیم موجود در بخش‌های تیره آپاتیت‌های اولیه اسفوردی، دمای تشکیل آن‌ها ۱۵۰-۳۵۰ درجه‌ی سانتیگراد به دست آمده است که این دما با نتایج ریز دماسنجی‌های انجام شده روی آپاتیت‌های اسفوردی منطبق است [۱]. کلر آپاتیت در حضور شاره‌های غنی از K-C-H در دمای  $300^\circ C$  و فشار ۵۰۰ مگاپاسکال به فلور آپاتیت تبدیل می‌شود و میانبارهای موناژیت و زئوتیم نیز در آن تشکیل می‌شوند [۲۲].



شکل ۶ نمودار حاصل از دماسنج زئوتیم-مونازیت.



شکل ۷ الف، ب نمودار دو تایی تغییرات عناصر Na, Si نسبت به LREE+Y برای آپاتیت‌های اسفوردی. پ- عناصر نادر خاکی موجود در بخش‌های تیره-روشن آپاتیت و میانبارهای مونازیت-زئوتیم موجود در این کانی نسبت به کاندريت بهنجار شده است، به منظور بهنجار کردن از داده‌های آندرس و همکار [۱۷] استفاده شده است.

## برداشت

H<sub>2</sub>O به هیدروکسیل فلورآپاتیت تبدیل شده و از طرف دیگر مناطق واکنشی آپاتیت از Na, Si, Cl تهی شده است. این پدیده سبب تحرک عناصر نادر خاکی و پیدایش میانبارهای مونازیت و زئوتیم با خاستگاه گرمایی (در دمای زیر ۳۰۰ درجه

ترکیب آپاتیت (I) در کانستگ فسفات اسفوردی از نوع کلرآپاتیت است، که از لحاظ عناصر نادر خاکی و به ویژه سریم غنی است  $((Y+LREE)_2O_3 = 1.52)$ . کلرآپاتیت در حضور

- [7] Haghipour A., "Geological map of the Biabanak-Bafq area", Geological Survey of Iran. scale 1:100,000 (1977).
- [8] Williams G.J., Houchmandzadeh T.J., "A petrological and genetic study of the Chogart iron body and the surrounding rocks", Geological Survey of Iran. Unpublished Report (1966) 18.
- [9] Hitzman M.W., "Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why. In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper gold & Related Deposits*", A Global Perspective, 1. PGC Publishing, Adelaide, Australia (2000) 9–25.
- [10] Hitzman M.W., Oreskes N., Einaudi M.T., "Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits", *Precambrian Reserch* 58 (1992) 241–287.
- [11] Nyström J.O., Henriquez F., "Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry", *Economic Geology* 89 (1994) 820–839.
- [12] Zhu C., Sverjensky D.A., "Partitioning of F-Cl-OH between minerals and hydrothermal fluids", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55 (1991) 1837–1858.
- [13] Harlov D.E., Wirth R., Förster H.J., "An experimental study of dissolution-reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite", *Contrib. Miner. Petrol* 150 (2005) 268–286.
- [14] Torab F.M., Lehmann B., "Magnetite-apatite deposits of the Bafq district, Central Iran: apatite geochemistry and monazite geochronology", *Mineralogical Magazine* 71 (2007) 347–363.
- [15] Harlov D.E., Förster H J., "Fluid-induced nucleation of (Y+REE)-phosphate minerals within apatite: Nature and experiment. Part II. Fluorapatite", *American Mineralogist* 88 (2003) 1209–1229.
- [16] Fleet M.E., Pan Y., "Site preference of rare earth elements in fluorapatite", *Amer. Min* 80 (1995) 329–335.
- [17] Anders, E., Grevesse, N., "Abundances of the elements: Meteoritic and solar", *Geochim. Cosmochim. Acta* 53 (1989) 197–214.
- [18] Kositsin N., Mcnaughton N.J., Griffin B.H., Fletcher I.R., Groves D.I., Rasmussen B., "Textural and geochemical discrimination between

سانتیگراد) در بخش‌های تیره آپاتیت، در محل شکستگی‌ها، میکرو و نانو حفره‌ها و در مرز کانی‌های دیگر شده است. حضور کانی‌های رخساره‌ی شیبست سبز مثل اکتینولیت، کلریت، تالک، کوارتز و کلسیت در درز و شکاف آپاتیت‌های واکنشی حاکی از شرایط حاکم بر رخساره شیبست سبز هنگام دگرنهادی کلرآپاتیت بوده است.

### قدردانی

این پژوهش بخشی از پایان نامه‌ی دکتری نویسنده اول است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به سبب حمایت از این طرح تقدیر و تشکر به عمل آورند. همچنین از دکتر دیتز رده و دکتر دانیل هارلو (GFZ, Germany) به خاطر آنالیزهای ریزپردازشی و تهیه‌ی تصاویر BSE تشکر می‌نمایند.

### مراجع

- [1] Jami M., Dunlop A.C., Cohen D.R., "Fluid Inclusion and Stable Isotope Study of the Esfordi Apatite-Magnetite Deposit, Central Iran" *Economic Geology* 102 (2007) 1111–1128.
- [2] Harlov D.E., Andersson U.B., Förster H.J., Nyström J.O., Dulski P., Broman C., "Apatite-monazite relations in the Kiirunavaara magnetite-apatite ore, northern Sweden", *Chemical Geology* 191 (2002b) 47–72.
- [۳] تراب ف. م، "بررسی‌های ژئوشیمی و رادیوایزوتوپی برای تعیین خاستگاه آپاتیت در ذخایر آهن و آپاتیت منطقه‌ی معدنی بافقی"، *مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران* ۳ (۱۳۸۹) ۴۰۹–۴۱۸.
- [4] Heinrich W., Andrehs G., Franz G., "Monazite-xenotime miscibility gap thermometry: I. An empirical calibration", *Journal of Metamorphic Geology* 15 (1997) 3–17 [15]
- [5] Andrehs G., Heinrich W., "Experimental determination of REE distributions between monazite and xenotime: potential for temperature-calibrated geochronology", *Chemical Geology* 149 (1998) 83–96.
- [6] Förster H., Jafarzadeh A., "The Bafq mining district in central Iran—a highly mineralized Infracambrian volcanic field", *Economic Geology* 89 (1994) 1697–1721.

- [21] Monteiro L., Xavier R., Hitzman M., Juliani C., Souza Filho C., Carvalho E., “*Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil*”, Ore Geology Reviews 34 (2008) 317–336.
- [22] Harlov D.E., Förster H.J., Nijland T.G., “*Fluid-induced nucleation of REE-phosphate minerals in apatite: Nature and experiment. Part I. Chlorapatite*”, American Mineralogist 87 (2002a) 245–261.
- xenotime of different origin in the Archaean Witwatersrand Basin, South Africa*”, Geochimica et Cosmochimica Acta 67 (4) (2003) 709–731.
- [19] Schandl E.S., Gorton M.P., “*A textural and geochemical guide to the identification of hydrothermal monazite: criteria for selection of samples for dating epigenetic hydrothermal ore deposits*”, Economic Geology 99 (2004) 1027–1035.
- [20] O’Farrelly K.S., “*A stable isotopic investigation of the origin and evolution of the Kiirunavaara iron mine, northern Sweden*”, Ph D Thesis, Univ. of Wales, Cardiff, Wales, United Kingdom (1990).