

پرعیارسازی نمونه پلاسمای موناژیت مروست و استحصال عناصر نادر خاکی از کنسانتره

محسن محمدخانی*، غلامرضا ملاطهری^۱ و احمد امینی^۱

^۱سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

نمونه معرف از چاهک‌های اکتشافی ذخیره آبرفت‌های مروست در جنوب یزد (جنوب خاوری پهنه سوندج- سیرجان) تهیه و پس از گل‌شویی و حذف بخش درشت‌تر از ۲ میلی‌متر به وزن ۱۵۰۰ کیلوگرم به آزمایشگاه ارسال گردید. با توجه به نتایج XRD کانی‌های کوارتز، کلسیت و فلدسپات بیشترین مقدار را در نمونه موناژیت‌دار به خود اختصاص داده‌اند. همچنین هماتیت، پیریت هماتیته شده و کانی‌های آلومینوسیلیکات از جمله کلریت و اپلیت در نمونه وجود دارد. پس از تجزیه سرنندی نمونه معرف تهیه شد، d_{80} نمونه معرف ۱۵۸۸ میکرون تعیین شد.

آزمایش‌های کانه‌آرایی شامل روش‌های دانه‌بندی، ثقلی (میز لرزان)، الکتریکی و مغناطیسی بودند. تجزیه سرنندی اولیه نشان داد که تقریباً تمامی موناژیت (۹۹ درصد) در بخش ۲۵+۶۰- مش (۷۱۰- و ۲۵۰+ میکرون) قرار دارد. آزمایش‌های میز لرزان روی نمونه ۲۵+۶۰- مش انجام گرفت که عیار و بازیابی نسبی در محصول ۱ (پر عیار) ۴۹۸۲ گرم بر تن و ۶۲ درصد و در محصول میانی ۱۳۰۷ گرم بر تن و ۳۸ درصد بدست آمد و محصول سوم عاری از کانی موناژیت بود. آزمایش‌های دانه‌بندی، ثقلی (میز لرزان)، الکتریکی و مغناطیسی بر روی نمونه پرعیار و میانی میز اول انجام گرفت. محصول نهایی هردو نمونه با هم مخلوط و آزمایش میز بر روی آن صورت پذیرفت. محصول دارای عیار ۵۶ درصد موناژیت با بازیابی کلی ۵۰ درصد بدست آمد. آزمایش مغناطیسی بر روی این محصول که شامل موناژیت و پیریت بود انجام و کنسانتره‌ای با بیش از ۹۵ درصد موناژیت حاصل شد.

عملیات استحصال عناصر نادر از موناژیت شامل فروپاشی ساختار کانی در یک لیچ بازی و حذف بخش فسفات آن به صورت تری‌سدیم فسفات محلول با فیلتراسیون است، سپس انحلال اکسید عناصر نادر در یک لیچ اسیدی و تغییر فاز این عناصر به کلریدهای محلول و نهایتاً ترسیب آن‌ها به صورت هیدروکسیدهای جامد توسط هیدروکسید آمونیوم که منجر به کسب محصولی نسبتاً خالص از هیدروکسید این عناصر شامل بیش از ۵۰ درصد REO با بازیابی ۷۱ درصد گردید.

کلید واژه‌ها: پلاسمای موناژیت، استحصال عناصر نادر خاکی، پهنه سوندج- سیرجان

Email: M.mkhani@yahoo.com

*نویسنده مسئول: محسن محمدخانی

۱- مقدمه

کنسانتره کانی حاوی عناصر نادر در اسیدها یا بازها شکسته شده می‌شود. هضم در بازها تولید هیدروکسید عناصر نادر که می‌توان آن‌ها را در اسید هیدروکلریدریک یا نیتریک غلیظ حل کرد. هضم کانه در اسید سولفوریک یا اسید هیدروکلریدریک، عناصر نادر را به سولفات‌ها یا کلریدهای محلول تبدیل می‌کند سپس می‌توان از روش‌های استخراج حلال، تعویض یونی و ترسیب برای جدایش آن‌ها استفاده کرد [۴].

۲- مواد

۲-۱- مواد و روش

آبرفت‌های موناژیت‌دار محدوده مروست در جنوب غرب استان یزد واقع شده است این محدوده به‌عنوان پتانسیل ذخیره عناصر نادر خاکی شناخته شده است. ۱۵۰۰ کیلوگرم نمونه آبرفتی پس از حذف بخش درشت‌تر از ۲ میلی‌متر و گل‌شویی (۷۴ میکرون) در محل به آزمایشگاه کانه‌آرایی منتقل شد. این نمونه حاوی ۴۱۰ گرم در تن (۰/۴۱ درصد) پلت‌های موناژیت می‌باشد (نمونه برجای اولیه حاوی ۲۰۵ گرم در تن پلت‌های موناژیت می‌باشد).

۲-۲- شناسایی نمونه

جهت بررسی‌های کانی‌شناسی و شناسایی ترکیبات (اکسیدها) موجود در نمونه اولیه، دو نمونه معرف تهیه و توسط دو دستگاه XRD و XRF مورد تجزیه قرار

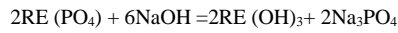
عناصر نادر خاکی شامل لانتانیدها (عناصر با عدد اتمی ۵۷-۷۱) و Y است به استثنای یورپیم که به صورت ۲ ظرفیتی نیز مشاهده می‌شود، و سریم که حالت ۴ ظرفیتی نیز دارد، حالت اکسیدان عناصر نادر خاکی اغلب ۳ ظرفیتی است. این عناصر به دو دسته عناصر نادر سبک یا زیرگروه سریم (Cerium Earth، LREE) و عناصر نادر سنگین یا زیرگروه یوتریم (Yttrium Earth، HREE) تقسیم‌بندی می‌شوند [۷]. عناصر نادر خاکی سنگ‌دوست بوده و بیشتر در ترکیب‌های اکسیدهای مانند کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و فسفات‌ها تمرکز می‌یابند [۴].

سریم، لانتانیوم و نئودیمیوم (گروه سریم) به ترتیب بیشترین فراوانی را در بین عناصر نادر خاکی دارند و مهمترین منابع استحصال آن‌ها دو کانی موناژیت (۶۵٪ اکسید عناصر نادر) و باستانسیت (۷۵٪ اکسید عناصر نادر) هستند [۹، ۸]. مهمترین منبع استحصال عناصر نادر خاکی سنگین (گروه یوتریم) کانی زنوتیم (۶۲٪ اکسید عناصر نادر) و گادولینیت (۴۸٪ اکسید عناصر نادر) است [۴].

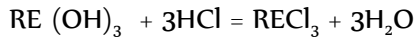
منابع اصلی موناژیت همراه با ذخایر کانی‌سنگین در ذخایر پلاسمای و ماسه‌های ساحلی است. پرعیارسازی آن‌ها با توجه به خصوصیات کانی‌های همراه صورت می‌گیرد اما در غالب آن‌ها پرعیارسازی اولیه توسط روش‌های طبقه‌بندی، جدایش ثقلی، الکترواستاتیکی و مغناطیسی و انجام می‌شود [۳].

۲-۴- روش استحصال عناصر نادر

معمولاً موناژیت و زئوتیم در دمای ۱۵۰-۱۴۰ درجه در اتوکلاو با محلول ۶۰-۴۰ درصد NaOH شکسته می‌شوند. بعد از رقیق‌سازی با آب، محلول Na_3PO_4 خارج شده و REE به صورت $RE(OH)_3$ و توریم به صورت $Th(OH)_4$ می‌آیند [۴ و ۹].



$RE(OH)_3$ در HCl حل شده تا کلرید محلول حاصل شود.



ph محلول افزایش داده می‌شود تا عناصر نادر با هم به شکل کلرید رسوب کنند.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- پرعیارسازی

با توجه به تجربه قبلی، کل نمونه (حدود ۱/۵ تن) با سرندهای ۷۱۰ و ۲۵۰ میکرون دانه‌بندی شد که توزیع آن به شرح جدول ۴ می‌باشد. بخش (۲۵۰+۷۱۰- میکرون) دارای بیشترین مقدار موناژیت (۹۹/۲۵ درصد) بوده و دوبخش دیگر تقریباً فاقد موناژیت هستند.

بخش ۲۵۰+۷۱۰- میکرون که دارای ۹۹/۲ درصد موناژیت است به میز لرزان نیمه‌صنعتی منتقل گردید، تقریباً ۱۰۰ درصد نمونه در بخش کنسانتره (۶۲٪) و میانی (۳۸٪) بازیابی شد. کنسانتره و میانی میز اول هر کدام جداگانه به میز برگردانده شد که بازیابی موناژیت در کنسانتره هر دو بخش بیش از ۹۹ درصد بود بنابراین برای بار دوم کنسانتره‌های حاصل در دو مسیر به میز لرزان برگردانده شد. در میز دوم افت ۱۵ درصدی برای محصول مسیر اول و افت ۲۰ درصدی برای محصول مسیر دوم اتفاق افتاد، عیار محصول مسیر اول به ۱۸٪ موناژیت و عیار محصول مسیر دوم به ۸/۲٪ درصد موناژیت رسید.

با توجه به اینکه بخش زیادی از باطله باقی‌مانده را پیریت‌های اکسید شده تشکیل می‌دهد بنابراین محصول مسیر اول بر روی دستگاه مغناطیسی شدت بالا (۲۴۰۰۰ گوس) برای حذف پیریت منتقل گردید اما به دلیل مناسب نبودن شدت میدان برای جدایش پیریت از موناژیت موفقیتی حاصل نشد. محصول مغناطیسی به دستگاه الکترواستاتیکی منتقل تا کانی‌های غیر هادی (موناژیت) از کانی‌های هادی (پیریت) جدا گردد، تقریباً ۱۰۰ درصد موناژیت به بخش غیرهادی منتقل و عیار محصول به ۲۸/۵٪ موناژیت رسید. مقدار زیادی از باطله‌ها پس از گذر از چندین مرحله جدایش خرد شده بودند بنابراین دوباره نمونه با سرندهای ۷۱۰ و ۲۵۰ میکرون طبقه‌بندی شد. محصول میانی ۲۵۰+۷۱۰- مش حاوی بیش از ۹۸ درصد موناژیت بود و عیار موناژیت در این مرحله به ۴۶٪ رسید.

کنسانتره میز دوم در مسیر ۲ با دو سرند ۷۱۰ و ۲۵۰ میکرون طبقه‌بندی و دو بار توسط دستگاه الکترواستاتیکی تحت جدایش کانی‌های هادی و غیرهادی قرار گرفت. محصول این بخش دارای عیار ۳۶٪ موناژیت است.

محصول مسیر اول و دوم با هم مخلوط و به میز منتقل شدند. عیار محصول نهایی (کنسانتره و میانی) ۵۶٪ و بازیابی کلی فرآیند ۵۰٪ درصد به دست آمد. فلوشیت فرآیند در شکل ۲ ارائه شده است.

محصول نهایی نیز به دستگاه مغناطیسی با شدت قابل تنظیم منتقل و محصولی نسبتاً خالص از موناژیت (بیش از ۹۵ درصد موناژیت) به دست آمد.

گرفت. آبرفت‌های این ناحیه شامل کانی‌های کوارتز، کلسیت، فلدسپار، کلریت، ایلیت، ژیس، هماتیت، سلسیت، پیریت هماتیستی شده، اپیدوت، سریسیت، قطعات سنگی (ماسه‌سنگ آهک و شیل)، کانی‌های رسی و مقدار ناچیزی زیرکن، آپاتیت گارنت، ایلمنیت، آنیدریت و موناژیت می‌باشد.

اندازه دانه‌های موناژیت در آبرفت‌های جنوب مروست از ۰/۱ تا ۲ میلی‌متر تغییر می‌کند که دانه‌های ۰/۳ تا ۰/۸ میلی‌متری غالب هستند. نودول‌های موناژیت دارای رنگ خاکستری و خاکستری متمایل به سبز و رنگ خاکه سفید متمایل به خاکستری هستند. موناژیت مروست به شکل‌های عدسی، بیضوی و بسان کیک پهن مشاهده می‌شوند. این کانی با سختی ۵، دارای وزن مخصوص ۴ تا ۴/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که بسته به درصد میانبراهای موجود (کوارتز، کلسیت، سریسیت، کلریت و آلپیت) تغییر می‌کند.

در اکتشافات نیمه تفصیلی موناژیت در آبرفت‌های جنوب مروست تعداد ۹۷ حلقه چاهک اکتشافی حفر شده است. تمرکزهای موناژیت نمونه‌های ۴۰ چاهک، با استفاده از روش طیف سنجی جرمی پلاسماهای مزدوج القایی (ICP-MS) برای عناصر خاکی نادر در کشور استرالیا تجزیه گردیده، که متوسط مقادیر بدست آمده در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود دانه‌های موناژیت مروست غنی از عناصر خاکی نادر سبک (تقریباً ۱۵٪ سریم، ۶/۶٪ لانتانیم، ۳/۷٪ نئودیمیم و مقادیری پرازئودیمیم و ساماریوم) است و با توجه به این که ذخیره از نوع پلاسمای و پرعیارسازی آن با روش‌های ساده و ارزان‌قیمت ثقلی امکان‌پذیر است می‌توان به صورت اقتصادی عناصر نادر سبک را از آن استحصال و ارزش افزوده قابل توجهی را فراهم آورد.

۲-۳- روش پرعیارسازی نمونه اولیه

موناژیت با فرمول کلی $(Ce,La,Nd,Th,Y...)PO_4$ دارای خاصیت مغناطیسی ضعیف تا متوسط بوده و از نظر الکترواستاتیکی جزء کانی‌های غیرهادی محسوب می‌شود. وزن مخصوص موناژیت بین ۴/۶-۵/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است اما وزن مخصوص موناژیت مروست به دلیل داشتن اذخال‌هایی از کوارتز، سریسیت، کلسیت، کلریت و آلپیت بین ۴-۴/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

وزن مخصوص تقریبی عمده گانگ موجود در حدود ۲/۶ است که با توجه به وزن مخصوص دانه‌های موناژیت، نسبت چگالی موثر بزرگ‌تر از ۲ است و روش‌های جدایش ثقلی برای جدایش گانگ از دانه‌های موناژیت با ابعاد ۲۵+۶۰- مناسب است. میز لرزان به عنوان موثرترین روش ثقلی در این دانه‌بندی استفاده می‌شود. بنابراین بخش عمده گانگ که توسط میز لرزان حذف گردید. باقیمانده گانگ را عمدتاً پیریت‌های هماتیستی شده تشکیل می‌دهد که تا حدودی هادی بوده و خاصیت مغناطیسی متوسطی دارند بنابراین بررسی جدایش آن‌ها از موناژیت‌های غیرهادی و دارای خاصیت مغناطیسی ضعیف به روش‌های الکترواستاتیکی و مغناطیسی انجام شده است. همچنین در طی مراحل جدایش بخشی از گانگ خرد می‌شود و دانه‌بندی نیز می‌تواند به جدایش کمک کند.

۳-۲- روش استحصال عناصر نادر

نمونه با سود ۶۰ درصد در دمای ۱۴۰-۱۳۰ درجه سانتی گراد لیچ شد. در این مرحله عناصر نادر به صورت هیدرو اکسیدهای جامد درآمده و بخش فسفات‌ها آن به شکل تری سدیم فسفات در دمای بالای ۸۰ درجه به صورت محلول باقی می‌ماند و باید در این دما فیلتر و از کیک جدا گردد.

کیک خشک شده (۱۰۰ درجه سانتی گراد) با اسید کلرید ۳۷ درصد با نسبت وزنی اسید به جامد ۴ به ۱ در دمای ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد لیچ شد و پس از رقیق‌سازی با آب داغ، فیلتر شد. در این مرحله عناصر نادر به شکل کلریدهای محلول درآمده و ناخالصی‌های نامحلول حذف می‌شوند.

هیدروکسید آهن و توریم در PH اسیدی ضعیف (۵-۶) رسوب می‌کند. هیدروکسید عناصر نادر در PH بازی (۱۰-۱۱) رسوب می‌کنند. PH محلول توسط هیدروکسید آمونیوم تا ۵/۵ افزایش یافته و به محلول مدت دو ساعت برای ترسیب هیدروکسید فلزات زمان داده شد سپس مخلوط فیلتر شد و دوباره PH توسط هیدروکسید آمونیوم تا ۱۰/۵ افزایش یافت. در این مرحله عناصر نادر به شکل هیدروکسید رسوب و با فیلتراسیون جدا شدند. همان طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود در محصول نهایی (کیک عناصر نادر در PH=10/5) مجموع عیار اکسید عناصر نادر سریم، لانتانیم و نئودیمیم به ۴۸ درصد رسیده است. اندازه‌گیری دیگر عناصر نادر برای آزمایشگاه مقدر نبوده ولی با توجه به درصد غنی‌سازی این سه عنصر و با ضرب در عیارهای اولیه عناصر نادر دیگر می‌توان دریافت که مجموع درصد کل اکسیدعناصر نادر به بیش از ۵۰ درصد در نمونه است.

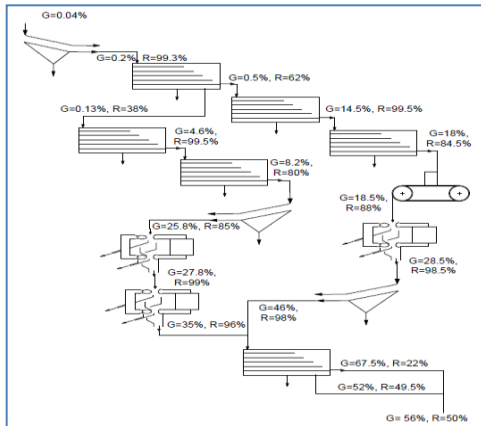
۴- جمع‌بندی

نمونه پلاستی مروسه دارای پلت‌های موناژیت با عیار ۲۰۰ گرم در تن موناژیت (۰/۲٪ موناژیت) است که حاوی درصد قابل توجهی عناصر نادر خاکی سبک هستند. این نمونه با استفاده از روش‌های ساده و کم‌هزینه طبقه‌بندی و تقلی ب i صورت چشم‌گیری (٪ موناژیت ۱۸) پرعیار شد و سپس با استفاده از روش‌های مغناطیسی و الکترواستاتیکی به همراه روش‌های تقلی و طبقه‌بندی کنسانتره با عیار بیش از ۹۵٪ موناژیت حاصل شد.

استحصال عناصر نادر سبک موجود در موناژیت با هضم کانی در هیدروکسید سدیم و خارج‌سازی بخش فسفات‌ها از آن و سپس انحلال بخش باقی‌مانده (بازیابی ۹۴/۵٪) که به صورت هیدروکسیدهای جامد درآمده در اسید سولفوریک و تبدیل هیدروکسیدهای جامد عناصر نادر به کلریدهای محلول انجام شد (بازیابی ۷۹/۲٪). سپس با استفاده از هیدروکسید آمونیوم که عامل افزایش PH و ترسیب هیدروکسیدهای فلزی محسوب می‌شود در یک مرحله عناصر فلزی مزاحم (آهن) و توریم حذف و در مرحله بعد با افزایش PH تا ۱۰/۵ هیدروکسید عناصر نادر رسوب و محصولی حاوی ۴۸ درصد اکسید عناصر نادر (Ce, La, Nd, Pr) و مقادیری از عناصر نادر دیگر به خصوص پرازئودیمیم و ساماریوم و یورپیم است به دست آمد (بازیابی ۹۷/۳٪) که قابل فروش و عرضه به بازار می‌باشد. بازیابی کل فرآیند استحصال ۱۲/۸٪ است.



شکل ۱- نودول‌های بیضوی شکل موناژیت از پلاسر مروست



شکل ۲- فلوشیت پرعیارسازی موناژیت مروست



شکل ۳- کانی موناژیت به صورت نسبتاً خالص



شکل ۴- تصویر سمت چپ محلول باردار حاوی عناصر نادر و تصویر سمت راست

رسوب کلریدهای عناصر تادر در ته ظرف

جدول ۱- کانی شناسی نمونه معرف به روش XRD

روش	کانی
-----	------

XRD کوارتز- کلسیت- فلدسپار- کلریت- الیت- ژپیس

جدول ۲- عیار سنجی نمونه معرف موناژیت‌دار با دستگاه XRF

ترکیب	عیار (ppm)	ترکیب	عیار (ppm)	ترکیب	عیار (%)
Sc	۱۹/۴	Ba	۲۹۰	SiO ₂	۵۷/۳۴
Cr	۱۲۶/۱	Ce	۸۰/۳	Al ₂ O ₃	۸/۶۹
Co	۲۳/۴	Sm	۹/۶	Fe ₂ O ₃	۵/۱۳
Ni	۵۳/۷	Eu	۱/۷	MgO	۱/۸۰
Zn	۷۴/۴	Yb	۲/۷	NaO	۰/۹۵

جدول ۵- نتایج آزمایش لیج بازی

محصول	CeO ₂	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	مجموع عیار	وزن/حجم	بازیابی
حد	۱۸/۷	۹/۹	۱۰/۰	۳۸/۶۰	۴۰	---
محلول	۲۳۵	۸۷	۸۲	۴۰۴	۸۰۰	۵/۵
کیک	۱۸/۲	۱۱/۷	۹/۶	۳۹/۵	۳۴	۹۴/۵

جدول ۶- نتایج آزمایش لیج اسیدی

محصول	CeO ₂	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	مجموع عیار	وزن/حجم	بازیابی
حد (کیک)	۱۸/۲	۱۱/۷	۹/۶	۳۹/۵	۳۴	---
کیک لیج	۵/۰	۱/۴	۳/۳	۹/۷	۱۲/۷	۲۰/۸
محلول لیج	۱۲۳۴	۵۱۲	۵۰۳	۲۲۵۰	۱۰۰۰	۷۹/۲

جدول ۷- نتایج ترسیب عناصر نادر با استفاده از عامل PH

محصول	CeO ₂	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	مجموع عیار	وزن/حجم	بازیابی
حد (محلول لیج اسیدی)	۱۲۳۴	۵۱۲	۵۰۳	۲۲۵۰	۱۰۰۰	---
کیک (pH=5/5)	۳/۸	۱/۰	۲/۴	۷/۲	۱/۵	۲/۴
کیک (pH=10/5)	۲۴/۴	۱۲/۷	۱۰/۹	۴۸/۰	۸/۸	۹۷/۳
محلول بی بار	۴	۱	۱	۶	۱۷۰۰	۰/۳

Ga	۱۲/۹	Th	۱>	K ₂ O	۱/۶۶
Rb	۴۷/۲	Cu	۲۴/۵	TiO ₂	۰/۴۸
Sr	۳۴۱/۱	Mo	۲	P ₂ O ₅	۰/۱۸
Zr	۱۶۲/۶	La	۳۵	CaO	۱۲/۱۳
Nb	۴/۶	Nd	۳۵	MnO	۰/۱۲
Cs	۸/۳	Pb	۳۸/۷	L.O.I	۱۰/۴۴
Total	۸۷۳/۷	Total	۵۲۰/۵	Total	۹۸/۹۲

جدول ۳- میانگین مقادیر عناصر نادر خاکی ۴۰ کنسانتره‌های موناژیت چاهک‌های

ذخیره پلاسمی مروست تجزیه شده در استرالیا

Monazite	Method	Unit	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Average	ICPMS	ppm	665.69	1495.71	1123.8	370.23	69.5	119.1	54.13
Monazite	Method	Unit	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Lu	---
Average	ICPMS	ppm	315.0	915.0	805.0	477.0	43.6	42.6	---

جدول ۴- توزیع موناژیت در دانه‌بندی‌های مختلف

توزیع	مقدار موناژیت (گرم بر	درصد	فراکسیون (میکرون)
۰/۷۵	۱۲	۵۴	-۲۰۰۰+۷۱۰
۹۹/۲۵	۲۱۵۱	۴۰/۵	-۷۱۰+۲۵۰
۰	۰	۵/۵	-۲۵۰
۱۰۰	۸۷۸	۱۰۰	مجموع

Reference

- Daniel J, Cordier and Hedrick B., 2008, Rare Earths, USGS.
 Donald, W.Olson., 2005, Rare Earths, U.S.G.S, Mineral Commodity summaries.
 Gupta C.K & Krihnamurthy N., 2005, Extractive Metallurgy of Rare Earths, 522p.
 Habashi, F., 1997, Handbook of extractive metallurgy, 2426p.
 John Elder, The attraction of Rare Earth Magnetic Separators, Outokumpu Technology.
 Nwe Nwe Soe, Lwin Thuzar Shwe, and Kay Thi Lwin., 2008, World Academy of Science, Engineering and Technology.
 Pamela Alex, Suri A.K, Gupta C.K., 1998, Processing of xenotime concentrate, Hydrometallurgy 50 _ 331-338.
 Roskill., 2000, The Economics of Rare Earths.
 Shwe L.T, Soe N.N, and Lwin K.T., 2008, Study on Extraction of Ceric Oxide from Monazite Concentrate, World Academy of Science, Engineering and Technology.
 Si Thu Kyawand Aye Myint., 2008, A Study on the Production of Neodymium Oxide from Monazite Concentrate, International Conference on Sustainable Development: Issues and Prospects for the GMS.