



دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی معدن

رساله تحصیلی برای دریافت درجه دکتری رشته مهندسی معدن
گرایش فرآوری مواد معدنی

جداسازی توریم، اورانیوم، لانتانیدها و اکتینیدها از محلول
فروشوی آنومالی زیرگان با روش استخراج حلالی

استادان راهنما:
دکتر عباس سام - دکتر سعید علمدار میلانی

مؤلف:
محمود اسکندری نسب

آذرماه ۱۳۸۹



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این رساله به عنوان یکی از شرایط درجه دکتری به

گروه مهندسی معدن

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو:

استاد راهنما: ۱:

استاد راهنما: ۲:

استاد مشاور:


داور ۱:

داور ۲:

داور ۳:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

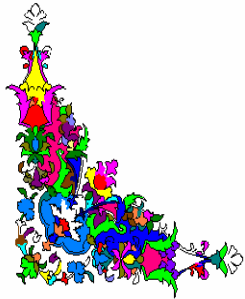


تقدیم به:

شهءا، كه با عروج آسمانی‌اشان، درس زندگی را به تمامی
آزادگان دنیا آموختند.

همسرم، كه كاستی های ابتدای زندگی مشترك را در هنگام
تحصیل اینجانب با بزرگواری تمام تحمل كردند.

گل زندگیم، دختر عزیزم كه نگفت تا بگویم و....



تشکر و قدردانی

خدای متعال را به عظمت کبریایی اش می ستایم، او که خالق این بنده و همیشه راهنما و همراه من در سخت ترین لحظات زندگی و همچنین در این تحقیق بوده است. ای خدای بزرگ، تو را به خاطر نعمت‌های بی پایانت شکر می گویم. مجموعه حاضر مدیون حمایت و تلاش بزرگوارانی است که در جهت پیشبرد این تحقیق مرا از الطاف بی دریغ خویش بهره مند ساخته اند و بر خود لازم می دانم که تلاش ایشان را با بضاعتی اندک ارج نهم.

اینجانب از آقایان دکتر عباس سام، دکتر سعید علمدار میلانی استادان راهنمای بزرگوارم به خاطر راهنمایی های صمیمانه تشکر می کنم. همچنین از آقایان دکتر محمد قنادی مراغه ریاست محترم پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای و آقای دکتر سید جواد احمدی رئیس محترم پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای به خاطر مساعدت های زیاد کمال تشکر و قدردانی را دارم. از آقای پروفیسور فتحی حبشی استاد دانشگاه لاوال کانادا که با بزرگواری تمام، بنده را شایسته راهنمایی‌های ارزنده علمی‌اشان قرار دادند بی نهایت تشکر می‌نمایم. همچنین، از کارکنان محترم و زحمتکش پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای، مخصوصاً آقایان مهندس ذوالفنون و آقای کیان پیشه سپاسگزاری می‌نمایم. این مجموعه با همکاری گروهی شکل گرفته است که ذکر نام تک تک این بزرگواران در اینجا امکان پذیر نمی باشد و فقط می توانم از خداوند بزرگ برای آنها سعادت و موفقیت آرزو کنم.

در پایان از تمامی اساتید و معلمین محترم که از دوره ابتدائی تحصیل تا این لحظه افتخار شاگردی‌اشان را داشتم کمال قدردانی را دارم.

چکیده

توریم در انرژی هسته ای دارای اهمیت زیادی است، به طوری که از آن به عنوان یکی از مهمترین منابع انرژی آینده دنیا یاد می شود. لذا، در این رساله، امکان فرآوری آن از سنگ معدن زیریگان با استفاده از استخراج حلالی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مختصری به ویژگی های کلی توریم و اصول استخراج حلالی و سپس به ترتیب به برخی از تحقیقات انجام شده در خصوص استخراج حلالی و همچنین روش انجام آزمایش ها و مواد اشاره شده است. در نتیجه انجام عملیات کانه آرای، عیار توریم و اورانیم به ترتیب از ۴۵۰ و ۵۰۰ گرم در خوراک به ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ گرم بر تن افزایش پیدا کردند. محصول کانه آرای توسط سولفوریک اسید ۱۰ مول بر لیتر در دمای ۱۸۰ درجه ی سانتیگراد، تحت عملیات هضم و سپس فروشویی قرار گرفت. در این مرحله، میزان بازیابی اورانیم و توریم به درون محلول فروشویی به ترتیب برابر ۸۸ و ۹۰ درصد به دست آمد. تأثیر متغیرهایی مانند نوع استخراج کننده، نوع اسید و غلظت آن ها، روی استخراج حلالی توریم با استفاده از طرح تاگوچی و هم چنین، تأثیر متغیرهای فیزیکی، مانند نوع رقیق کننده و سرعت هم-زن، نیز بررسی شد. مطابق نتایج این بخش، فاز آلی کروزن حاوی استخراج کننده سیانکس ۲۷۲ و هیدروکلریک اسید $10^{-3} \times 10$ مول بر لیتر شرایط بهینه ی استخراج توریم را بوجود آوردند که باعث استخراج ۹۹٫۷ درصدی توریم شد. مطالعه کمپلکس دهنده گی توریم، نشان داد که کمپلکس توریم تشکیل شده در هر غلظت اسید برای انواع اسیدها متفاوت است. با تغییر غلظت اسیدها، بار کمپلکس تشکیل شده در محیط نیتریکی بین صفر تا ۲+، برای سیستم هیدروکلریکی، بین ۲- تا ۲+ و برای سیستم سولفوریک، بین صفر تا ۴+ متغیر بود. هم چنین مشخص شد که در غلظت های بالای اسیدهای با قدرت کم تر، آنیون های اسید، نقش اساسی در تشکیل کمپلکس دارند، ولی در غلظت های کم، نقش برتر از آن یون های هیدروکسید است. مکانیسم استخراج توریم از محیط آبی نیتراتی بوسیله استخراج کننده سیانکس ۲۷۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مکانیسم استخراج بر خلاف ادعاهای قبلی، فقط در غلظت های میانی نیتریک اسید، از نوع تبادل کاتیونی است و در غلظت های پایین و بالای نیتریک اسید، به مکانیسم حلال پوشانی تغییر می یابد. نتایج حاصل از مطالعات جداسازی توریم از مهم ترین عناصر موجود در محلول فروشویی سنگ معدن زیریگان نشان داد، که بیش ترین فاکتور جداسازی توریم از سریم، لانتانیم و تیتانیم در محیط نیتریک اسید ۰٫۱ مول بر لیتر و بوسیله استخراج کننده سیانکس ۲۷۲ حاصل می - شود. ولی برای جداسازی از ایتیریم و آهن، به ترتیب نیتریک اسید ۰٫۱ مول بر لیتر + سیانکس ۳۰۲ و نیتریک اسید ۱/۰ مول بر لیتر + سیانکس ۲۷۲ شرایط بهینه را فراهم می کنند. هم - چنین مطالعات تک عاملی نشان داد که نیتریک اسید ۰/۵ مول بر لیتر، شرایط بهینه برای جداسازی

توریم از عناصر مذکور را فراهم کرد. استخراج معکوس توریم، اورانیم، لانتانیم و آهن از فاز آلی، حاوی استخراج کننده‌ی سیانکس ۲۷۲ نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که شرایط بهینه استخراج معکوس انتخابی توریم از عناصر تحت مطالعه، با استفاده از سولفوریک اسید ۰/۵ مول بر لیتر و در حضور عامل کمپلکس ساز اتیلن دی آمین تترا استیک اسید با غلظت $10^{-4} \times 2/7$ مول در لیتر حاصل می‌شود. با استفاده از نمودار مک کیب تیلی تعداد مراحل لازم برای دستیابی به استخراج ۹۰ درصدی توریم در مدار استخراج جریان متقابل، برابر ۳ به دست آمد. سپس مدار جریان متقابل پیوسته با استفاده از ظروف آزمایشگاهی شبیه سازی و بر روی محلول فروشویی واقعی اجراء شد که بازیابی ۹۰ درصد را برای توریم نتیجه داد.

واژه‌های کلیدی: توریم، اورانیم، خاک‌های نادر، استخراج حلالی، زریگان، مک کیب تیلی

فصل اول - مقدمه‌ای بر ویژگی‌های توریسم

۲-۱-۱	هدف از انجام رساله.....	۲
۲-۱-۲	ضرورت انجام رساله.....	۲
۳-۱	کلیاتی در مورد توریسم.....	۵
۳-۱-۱	خصوصیات فیزیکی و رادیواکتیو توریسم.....	۵
۳-۱-۲	ترکیبات توریسم.....	۸
۴-۱	خواص شیمیائی توریسم.....	۸
۴-۱-۱	توریسم فلزی.....	۸
۴-۱-۲	شیمی آبی توریسم.....	۹
۴-۱-۲-۱	هیدرولیز و پلی‌مریزاسیون توریسم در محیط‌های آبی.....	۹
۴-۱-۲-۲	تاثیر آنیون‌های مختلف بر روی کمپلکس دهنده‌گی توریسم.....	۱۳
۴-۱-۲-۳	ترکیبات (نمک‌های) نامحلول توریسم.....	۱۵
۴-۱-۲-۴	ترکیبات (نمک‌های) محلول توریسم.....	۱۷
۴-۱-۲-۵	ترکیبات کی‌لیت توریسم.....	۱۷
۵-۱	ذخائر معدنی حاوی توریسم.....	۱۷
۶-۱	کانی‌های توریسم.....	۱۸
۷-۱	مشخصات کلی آنومالی زیریگان.....	۲۰

فصل دوم - تئوری تکنیک استخراج حلالی

۲-۱	مقدمه.....	۲۳
۲-۲	تئوری و توصیف فرآیند.....	۲۴
۲-۲-۱	حلال‌ها و حلالیت.....	۲۷
۲-۲-۲	مکانیسم‌های موثر در فرآیند استخراج حلالی.....	۳۰
۲-۲-۳	شناسایی گونه‌های تشکیل شده در هر فاز.....	۳۱
۲-۳	استخراج حلالی صنعتی.....	۳۳

۲-۳-۱ دیاگرام مک کب تالیلی..... ۳۵

فصل سوم- مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه استخراج حلالی توریم

۳-۱ مقدمه..... ۳۸
۳-۲ مطالعات استخراج و جداسازی..... ۳۸
۳-۳ مطالعات مکانیسم استخراج و گونه‌های استخراجی..... ۴۲
۳-۴ مطالعات کانه آرای و لیچینگ..... ۴۳
۳-۵ طرح کلی کار..... ۴۵

فصل چهارم- روش تحقیق و مواد

۴-۱ مواد شیمیایی..... ۵۱
۴-۲ تهیه فازهای آبی و آلی..... ۵۱
۴-۳ تجهیزات آزمایش..... ۵۲
۴-۴ روش انجام آزمایش‌ها..... ۵۲
۴-۴-۱ آزمایش‌های کانه آرای و فروشویی..... ۵۲
۴-۴-۲ آزمایش‌های استخراج حلالی..... ۵۳
۴-۴-۱-۲-۱ آزمایش‌های استخراج حلالی برای تعیین شرایط بهینه استخراج توریم..... ۵۴
۴-۴-۲-۲ بررسی رفتار کمپلکس دهنده‌گی توریم در فازهای آبی..... ۵۴
۴-۴-۳-۲ تعیین مکانیسم استخراج توریم با استخراج کننده‌ی سیانکس ۲۷۲..... ۵۵
۴-۴-۳ آزمایش‌های جداسازی توریم..... ۵۵
۴-۴-۴ آزمایش‌های تهی سازی (استریپینگ)..... ۵۶
۴-۵ آزمایش‌های اثر دما..... ۵۶
۴-۶ آزمایش‌های بررسی اثر رقیق کننده‌ها در فاز آلی..... ۵۶
۴-۷ طراحی آزمایش به کار گرفته شده در این رساله و نرم افزارها..... ۵۷
۴-۷-۱ طراحی‌های آزمایش به منظور یافتن شرایط بهینه (استخراج، جداسازی و استخراج معکوس)..... ۵۷
۴-۷-۲ نرم افزار *DX-7*..... ۵۸

فصل پنجم - کانه آرای و فروشویی

- ۱-۵ کانه آرائی..... ۶۰
- ۱-۱-۵ جداسازی ثقلی با استفاده از میز لرزان..... ۶۲
- ۲-۱-۵ جداسازی مغناطیسی..... ۶۳
- ۳-۱-۵ جداسازی الکتریکی..... ۶۵
- ۲-۵ عملیات هضم و فروشویی..... ۶۷
- ۳-۵ رسوب دهی محلول لیچینگ..... ۶۷

فصل ششم - پیشنهاد سیستم استخراج حلالی جدید توریم

- ۱-۶ بررسی تاثیر شرایط فیزیکی بر استخراج توریم..... ۷۰
- ۱-۱-۶ سطح و زمان تماس فازها..... ۷۰
- ۲-۱-۶ اثر دما..... ۷۱
- ۲-۶ بررسی تاثیر رقیق کننده بر روی استخراج..... ۷۲
- ۳-۶ تعیین شرایط بهینه‌ی استخراج حلالی توریم با استفاده از طرح آزمایشی تاگوچی..... ۷۳
- ۱-۳-۶ آزمایش‌های بهینه سازی تک پارامتری..... ۷۹

فصل هفتم - مطالعه‌ی کمپلکس دهنده‌گی توریم در فاز های آبی

- ۱-۷ بررسی رفتار کمپلکس دهنده‌گی توریم در محیط‌های آبی با تغییر اسید..... ۸۴
- ۱-۱-۷ رفتار استخراج توریم از محیط‌های آبی نیتراتی..... ۸۴
- ۲-۱-۷ رفتار توریم در استخراج آن از محیط‌های آبی کلریدی..... ۸۷
- ۳-۱-۷ رفتار توریم در استخراج آن از محیط‌های آبی سولفاتی..... ۸۸
- ۲-۷ بررسی رفتار کمپلکس دهنده‌گی توریم در مقابل تغییرات قدرت یونی..... ۹۰
- ۱-۲-۷ اسیدیته‌ی پایین..... ۹۰
- ۲-۲-۷ اسیدیته‌های میانی..... ۹۲
- ۳-۷ بررسی رفتار کمپلکس دهنده‌گی توریم با استخراج کننده آلی سیانکس ۲۷۲..... ۹۴

فصل هشتم - پیشنهاد مکانیسم استخراج توریم به وسیله سیانکس ۲۷۲

- ۱-۸ مکانیسم استخراج توریم در اسیدیته پائین (۰/۰۱ مول بر لیتر)..... ۹۸
- ۲-۸ مکانیسم استخراج توریم در اسیدیته‌های میانی (۰/۵ مول بر لیتر)..... ۱۰۰

- ۳-۸ مکانیسم استخراج توریم در اسیدپتیه خیلی بالا (۸ مول بر لیتر)..... ۱۰۳
- ۴-۸ خلاصه ای از نقد تحقیقات گذشته و نوآوری‌های انجام شده در این فصل..... ۱۰۵

فصل نهم - معرفی سیستم استخراج جدید برای جداسازی توریم از سایر عناصر

- ۱-۹ تعیین شرایط بهینه‌ی جداسازی توریم..... ۱۰۸
- ۲-۹ بررسی رفتار جداسازی توریم به وسیله آزمایش های تک پارامتری..... ۱۱۲
- ۱-۲-۹ بررسی استخراج و جداسازی عناصر با استخراج کننده سیانکس ۲۷۲..... ۱۱۳
- ۲-۲-۹ بررسی استخراج عناصر مختلف با استفاده از استخراج کننده تری بوتیل فسفات..... ۱۱۷

فصل دهم - استخراج معکوس (استریپینگ)

- ۱-۱۰ بررسی استریپینگ با استفاده از طرح آزمایش تاگوچی L_9 ۱۲۱
- ۲-۱۰ بررسی استریپینگ با استفاده از آزمایش های تک پارامتری..... ۱۲۵

فصل یازدهم - کاربرد صنعتی

- ۱-۱۱ تعیین تعداد مراحل جهت استخراج متقابل توریم..... ۱۳۰
- ۲-۱۱ شبیه سازی استخراج جریان متقابل..... ۱۳۱

فصل دوازدهم - نتیجه گیری، پیشنهادها و یافته های جدید

- ۱-۱۲ کانه آرائی و فروشویی..... ۱۳۶
- ۲-۱۲ استخراج حلالی و جداسازی..... ۱۳۷
- ۳-۱۲ پیشنهادها..... ۱۴۱
- ۴-۱۲ یافته های جدید..... ۱۴۲
- منابع..... ۱۴۳

- شکل ۱-۱ فرآیند تولید اورانیم ۲۳۳ از توریم ۲۳۲..... ۳
- شکل ۲-۱ کسر مولی هیدرولیز توریم در pH های مختلف (غلظت توریم $0/12a$ مول بر لیتر؛
 b $0/01$ مول بر لیتر)..... ۱۲
- شکل ۱-۲ طرح کلی فرآیند استخراج حلالی..... ۲۵
- شکل ۲-۲ استخراج اورانیم (IV) بوسیله ترکیبی از TTA و TBP (یا $TBPO$)..... ۳۲
- شکل ۳-۲ شمای کلی استخراج، استریپینگ و بازیابی فلز..... ۳۴
- شکل ۴-۲ طرح استخراج جریان متقابل..... ۳۵
- شکل ۵-۲ خطوط عملیاتی و کاری در فرآیند استخراج حلالی (نمودار مک کیپ - تایل)..... ۳۶
- شکل ۱-۳ ساختار شیمیائی استخراج کننده های تحت بررسی و مقایسه قدرت بازی و اسیدی آن-
 ها..... ۴۸
- شکل ۱-۵ جداسازی کانی های مهم سبک و سنگین با استفاده از میز لرزان..... ۶۲
- شکل ۲-۵ جداسازی کنسانتره ی سنگین میز به وسیله ی جداکننده ی مغناطیسی شدت- بالا..... ۶۴
- شکل ۳-۵ وضعیت جداسازی در جداکننده ی مغناطیسی شدت- پایین..... ۶۴
- شکل ۴-۵ جداسازی جزء غیرمغناطیسی جداکننده ی مغناطیسی شدت- پایین با جداکننده ی
 الکتریکی..... ۶۵
- شکل ۵-۵ جداسازی جزء مغناطیسی جداکننده ی مغناطیسی شدت پایین با استفاده از جداکننده ی
 الکتریکی..... ۶۶
- شکل ۶-۵ مدار کانه آرایی پیشنهادی برای کانسار توریم- اورانیم زیرگان..... ۶۶
- شکل ۶-۱ میزان استخراج توریم به صورت تابعی از دور همزن..... ۷۱
- شکل ۶-۲ تأثیر زمان بر میزان استخراج توریم..... ۷۱
- شکل ۶-۳ تأثیر دما بر میزان استخراج توریم..... ۷۲
- شکل ۶-۴ تأثیر رقیق کننده بر روی استخراج توریم..... ۷۳
- شکل ۶-۵ نمودار S/N برای ضریب توزیع در استخراج حلالی توریم..... ۷۶
- شکل ۶-۶ نمودار ضریب توزیع متوسط توریم..... ۷۸

شکل ۶-۷ مقایسه قابلیت استخراج توریم بوسیله استخراج کننده های فسفردار آلی و خنثی.....۷۹
شکل ۶-۸ مقایسه تاثیر اسدیته محیط بر میزان استخراج حلالی توریم با استخراج کننده های
سیانکس ۲۷۲ و D_2EHPA

.....۸۰

شکل ۶-۹ مقایسه میزان استخراج توریم با سیانکس ۲۷۲ از فازهای آبی حاوی اسیدهای مختلف
.....۸۱

شکل ۷-۱ تاثیر اسیدیته روی استخراج توریم.....۸۵

شکل ۷-۲ تغییرات بار کمپلکس توریم در فاز آبی با تغییر غلظت نیتریک اسید.....۸۶

شکل ۷-۳ تغییرات درصد استخراج توریم با غلظت نیتریک اسید.....۸۷

شکل ۷-۴ تغییرات درصد استخراج توریم با غلظت هیدروکلریک.....۸۷

شکل ۷-۵ تغییرات بار کمپلکس توریم در فاز آبی با تغییر غلظت هیدروکلریک اسید.....۸۸

شکل ۷-۶ تغییرات درصد استخراج توریم با تغییر غلظت سولفوریک اسید.....۸۹

شکل ۷-۷ تغییرات بار کمپلکس توریم در فاز آبی با تغییر غلظت سولفوریک اسید.....۸۹

شکل ۷-۸ توزیع کمپلکس های هیدرولیز توریم.....۹۰

شکل ۷-۹ تغییرات درصد استخراج توریم با قدرت یونی.....۹۱

شکل ۷-۱۰ تغییرات استخراج توریم با تغییر قدرت یونی.....۹۲

شکل ۷-۱۱ تغییرات شیب منحنی لگاریتم ضریب توزیع بر حسب غلظت نترات در اسیدیته های
پایین.....۹۲

شکل ۷-۱۲ تغییرات درصد استخراج توریم با تغییر قدرت یونی در اسیدیته بالا

([اسید نیتریک] = $1/5 \times 10^{-3}$ مول

برلیتر).....۹۳

شکل ۷-۱۳ تغییرات استخراج توریم با تغییر قدرت یونی در اسیدیته بالا ([اسید پرکلریک] =

$1/5 \times 10^{-3}$ مول بر لیتر).....۹۳

شکل ۷-۱۴ شیب منحنی لگاریتم ضریب توزیع بر حسب غلظت نترات در اسیدیته های

میانی.....۹۴

شکل ۷-۱۵ تغییرات درصد استخراج توریم با تغییر غلظت استخراج کننده سیانکس ۲۷۲

در کروزن.....۹۵

شکل ۷-۱۶ تعداد مول های سیانکس ۲۷۲ شرکت کننده در استخراج توریم به صورت تابعی از غلظت آن در رقیق کننده ی کروزن.....۹۵

شکل ۷-۱۷ تغییرات درصد استخراج توریم بر حسب غلظت سیانکس ۲۷۲ در غلظت ۱ مول بر لیتر اسید نیتریک.....۹۶

شکل ۷-۱۸ تغییر تعداد مولکول های سیانکس ۲۷۲ شرکت کننده در تشکیل کمپلکس بر حسب غلظت سیانکس ۲۷۲ در غلظت اسید نیتریک ۱ مول بر لیتر.....۹۶

شکل ۸-۱ نمودار لگاریتمی ضریب توزیع نسبت به غلظت نیترات (مول بر لیتر) در اسیدیته پایین.....۹۹

شکل ۸-۲ نمودار لگاریتمی ضریب توزیع - غلظت سیانکس ۲۷۲.....۱۰۰

شکل ۸-۳ نمودار لگاریتمی ضریب توزیع نسبت به غلظت نیترات در اسیدیته های میانی.....۱۰۱

شکل ۸-۴ منحنی لگاریتمی ضریب توزیع نسبت به غلظت اسید نیتریک.....۱۰۲

شکل ۸-۵ لگاریتم ضریب توزیع به صورت تابعی از لگاریتم غلظت سیانکس ۲۷۲ (اسید نیتریک) $[= 0.5 \text{ مول بر لیتر}]$۱۰۳

شکل ۸-۶ منحنی لگاریتمی تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت نیترات در غلظت اسید نیتریک ۸ مول بر لیتر.....۱۰۴

شکل ۹-۱ متوسط نسبت هشدار به اغتشاش برای استخراج عناصر مختلف.....۱۱۰

شکل ۹-۲ متوسط فاکتور جداسازی مستقیم توریم از عناصر مختلف.....۱۱۱

شکل ۹-۳ متوسط فاکتور جداسازی معکوس توریم از عناصر مختلف.....۱۱۲

شکل ۹-۴ استخراج عناصر مختلف در غلظت های مختلف نیتریک اسید بوسیله سیانکس ۲۷۲.....۱۱۴

شکل ۹-۵ تغییرات میزان استخراج عناصر مختلف با *TBP* بر حسب غلظت نیتریک اسید.....۱۱۸

شکل ۱۰-۱ مقدار *S/N* برای بازیابی استریپینگ عناصر مختلف.....۱۲۳

شکل ۱۰-۲ مقدار *S/N* برای فاکتور جداسازی توریم از عناصر مختلف در مرحله ی استریپینگ.....۱۲۴

شکل ۱۰-۳ مقدار میانگین فاکتور جداسازی توریم از عناصر مختلف در مرحله ی استریپینگ.....۱۲۵

شکل ۱۰-۴ مقدار استخراج معکوس عناصر به صورت تابعی از غلظت اسیدها در آزمایش های تک متغیری، $[EDTA]=0$۱۲۶

شکل ۱۰-۵ میزان استخراج معکوس عناصر بر حسب غلظت *EDTA* در آزمایش های تک متغیری.....۱۲۷

شکل ۱۱-۱ تعداد مراحل لازم جهت استخراج جریان متقابل موثر توریم از خوراک.....۱۳۱

شکل ۱۱-۲ مدار استخراج جریان متقابل توریم در مقیاس نیمه صنعتی.....۱۳۱

شکل ۱۱-۳ فلوشیت انجام آزمایش های شبیه سازی سیستم استخراج جریان متقابل ۳ مرحله ای، *F*: محلول خوراک، *S*: استخراج کننده، *R*: محلول بدون بار و *E*: استخراج شده.....۱۳۲

فهرست جدول ها:

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱- ایزوتوپ های توریم.....	۷
جدول ۲-۱- مقادیر لگاریتم ثابت های پایداری هیدرولیزهای توریم در قدرت یونی معادل صفر.....	۱۲
جدول ۳-۱- برخی از کمپلکس توریم و لیگاندهای معدنی.....	۱۴
جدول ۴-۱- ترکیبات نامحلول توریم.....	۱۶
جدول ۵-۱- ترکیب ماسه های مونازیتی بعد از فرآوری.....	۱۹
جدول ۶-۱- کانی های توریم حاوی بیش از ۳ درصد توریم.....	۲۰
جدول ۱-۳- خلاصه ای از سوابق تحقیق.....	۴۴
جدول ۱-۵- ترکیب شیمیایی عناصر مختلف موجود در سنگ معدن زریگان.....	۶۱
جدول ۲-۵- ترکیب کانی های مختلف موجود در سنگ معدن زریگان.....	۶۱
جدول ۳-۵- حاصل ضرب حلالیت (K_{sp}) هیدروکسیدهای برخی از مهم ترین عناصر تحت مطالعه.....	۶۸
جدول ۱-۶- مشخصات رقیق کننده ها.....	۷۲
جدول ۲-۶- طرح آزمایش آرایه های متعامد تاگوچی L'_{16} و مقدار متوسط درصد استخراج و ضریب توزیع توریم.....	۷۴
جدول ۳-۶- نتایج آنالیز واریانس برای استخراج حلالی توریم.....	۷۵
جدول ۴-۶- رتبه و درجهی اهمیت عوامل مختلف بر روی استخراج حلالی توریم.....	۷۵
جدول ۵-۶- ثابت های تعادل تشکیل کمپلکس های توریم.....	۷۸
جدول ۶-۶- ثابت های پایداری کمپلکس های توریم با آنیون های مختلف.....	۸۲

جدول ۷-۱- تعداد هیدروژن $[d(\log D)/d(\log H^+)]$ در غلظت های مختلف نیتریک اسید.....	۸۵
جدول ۸-۱- مقدار کمپلکس های توریم در pH های مختلف.....	۱۰۲
جدول ۹-۱- پارامترها و سطوح آنها برای جداسازی توریم از سایر عناصر طی آزمایش های جداسازی تاگوچی	۱۰۹
جدول ۹-۲- مقدار متوسط فاکتور جداسازی توریم نسبت به سایر عناصر در طرح آزمایشی تاگوچی	۱۰۹
جدول ۹-۳- نسبت بار به شعاع یونی یون های فلزی تحت مطالعه	۱۱۵
جدول ۹-۴- فاکتورهای جداسازی و غلظت بهینه اسید نیتریک برای جداسازی عناصر	۱۱۶
جدول ۱۰-۱- ترکیب آزمایش های استریپینگ به همراه نتایج حاصله	۱۲۳
جدول ۱۰-۲- لگاریتم قدرت کمپلکس دهنده گی عناصر مورد مطالعه با آنیون های مختلف ...	۱۲۷
جدول ۱۱-۱- استخراج و جداسازی توریم طی آزمایش های شبیه سازی جریان متقابل سه مرحله- ای.....	۱۳۳
جدول ۱۱-۲- محصولات فاز آبی عملیات های مختلف پس از استخراج.....	۱۳۴

مقدمه ای بر ویژگی‌های توریم

فصل ۱

چکیده

به دلیل وجود منابع عظیم توریم، کم شدن ذخایر محدود اورانیوم و همچنین نیاز شدید آینده‌ی جهان به انرژی، فرآوری توریم از اهمیت بالایی برخوردار است. بعد از اورانیوم، توریم تنها عنصری است که با پرتوهای نوترونی می‌تواند به ایزوتوپ قابل شکافت اورانیوم ۲۳۳ تبدیل شود. به همین دلایل از توریم به عنوان منبع انرژی آینده‌ی دنیا یاد می‌شود. در این فصل ضمن معرفی توریم، به ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی، کاربردها و همچنین ذخایر و کانی‌های حاوی آن پرداخته می‌شود. ضمناً به دلیل این‌که عملیات استخراج حلالی از محیط‌های آبی انجام می‌گیرد، به جنبه‌های شیمی آبی توریم شامل هیدرولیز و کمپلکس دهنده‌گی توریم در محلول‌های آبی به طور کامل اشاره می‌شود.

مقدمه

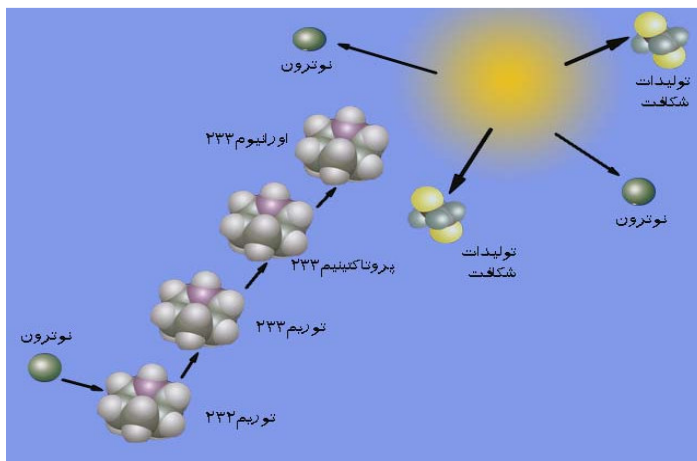
۱-۱- هدف از انجام رساله

اساس این رساله، بر پایه دو هدف استوار است: دستیابی به فن آوری پرعبارسازی توریم با استفاده از روش استخراج حلالی و استحصال آن از سنگ معدن کم عیار زیریگان. به منظور نیل به این هدف ها، از محیط شبیه سازی شده برای دستیابی به فن آوری استخراج و هم چنین از محیط واقعی برای استخراج و جداسازی توریم از سنگ معدن زیریگان استفاده شد. ضمناً با توجه به نبود سابقه‌ی تحقیق مدون در این زمینه، عملیات فروشویی و رسوب دهی سنگ معدن نیز به عنوان یک موضوع جنبی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه از انواع مختلف حلال‌ها، شرایط گوناگون استخراج و جداسازی برای طراحی مدار استخراج مناسب استفاده شد. در این تحقیق امکان به-کارگیری خصوصیات سینرژیستی حلال‌ها نیز برای استخراج عناصر اورانیم و توریم مورد بررسی قرار گرفت. ضمناً مکانیسم‌های استخراج نیز تعیین گردید. استخراج متقابل توریم از محلول فروشویی واقعی نیز با استفاده از جریان متقابل در مقیاس آزمایشگاهی، شبیه سازی و اجراء گردید. هم چنین، نرم افزاری برای تعیین دقیق تعداد مراحل استخراج جریان متقابل با استفاده از نمودار مک کیب-تیلی نوشته شد، و مورد استفاده قرار گرفت.

۱-۲- ضرورت انجام رساله

با توجه به افزایش تقاضا برای سوخت، محدودیت منابع فسیلی و هم چنین اثرات گلخانه ای ناشی از انتشار کربن دی اکسید ایجاد شده از سوخت های هیدروکربنی و زغال، فن آوری هسته ای یک جایگزین مناسب به شمار می رود [۲۱]. در حال حاضر مقدار زیادی از تولید برق هسته ای دنیا بر اساس چرخه سوخت اورانیمی است. اورانیم طبیعی حاوی تنها ۰٫۷ درصد اورانیم ^{235}U یا ایزوتوپ قابل شکافت اورانیم) است. لذا تعداد زیادی از رآکتورهای قدرت در دنیا بر اساس

سوخت اورانیم غنی شده ($U^{235} \geq 3\%$) کار می‌کنند و به عنوان رآکتورهای آب سبک شناخته می‌شوند. همان‌طور که از شکل ۱-۱ قابل مشاهده است، اورانیم ^{233}U ایزوتوپ قابل شکافت دیگری است که خصوصاً برای رآکتورهای حرارتی مناسب است و از طریق بمباران نوترونی توریم ^{232}Th به دست می‌آید [۱]. ضمناً علاوه بر فراوانی نسبتاً بالای توریم نسبت به اورانیم در دنیا (حدود ۳ تا ۴ برابر)؛ مزایای دیگری مانند امکان پایان یافتن منابع اورانیم، سطح مقطع جذب نوترونی بالاتر توریم (حدود ۲/۸ برابر)، قابلیت کار با طیف‌های سریع حرارتی، کارایی بالاتر ذخیره سازی و هم‌چنین تولید کمتر اکتیوهای دراز-عمر، توریم را به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی آینده دنیا مطرح کرده است [۲ و ۳].



شکل ۱-۱- فرآیند تولید اورانیم ^{233}U از توریم ^{232}Th

توریم دارای کاربردهای متعدد دیگری از جمله در شتاب‌دهنده‌ها، لوله‌های الکترونی، رشته‌های لامپ‌های التهابی، جوشکاری و ذوب، متالورژی و سرامیک‌ها، ساخت بوته‌های ذوب، در شیشه‌های بصری خاص و استفاده از آن به عنوان کاتالیست در اکسایش سولفور دی‌اکسید به سولفور تری‌اکسید، کربن مونواکسید به گاز آبی و آمونیاک به نیتریک اسید نیز می‌باشد [۴ و ۵]. لذا، با توجه به برنامه فعلی کشور مبنی بر توسعه تولید برق هسته‌ای و هم‌چنین نیازهای انرژی کشور در آینده، استفاده از توریم در رآکتورهای هسته‌ای برای تولید انرژی اجتناب‌ناپذیر است. کانی‌های توریم را نمی‌توان به طور مستقیم به عنوان سوخت به کار گرفت بلکه باید با انجام عملیات شیمیایی و فیزیکی متفاوت آن‌ها به شکل قابل استفاده در رآکتورهای نیروگاه‌های اتمی تبدیل کرد. برای دستیابی به سوخت هسته‌ای توریم و یا برای بازآوری سوخت هسته‌ای توریمی مصرف شده، عمدتاً از روش‌های مختلف جداسازی مانند استخراج حلالی، استخراج با