

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه یزد

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

شیمی تجزیه

استفاده از تکنیک‌های جداسازی به منظور پیش‌تغلیظ و  
اندازه‌گیری اورانیم با روش اسپکتروفتومتری

استاد راهنما: دکتر علی محمد حاجی شعبانی

استاد مشاور: دکتر شایسته دادفرنیا

۱۳۸۸ / ۷ / ۱

پژوهش و نگارش: مسعود کازرانی نژاد

استاد راهنما: دکتر علی محمد حاجی شعبانی  
شیمی یزد

مهرماه ۱۳۸۷

۱۲۶۸۸۸

**تقدیم به**

**پدر عزیزم و مادر دلسوزم که وجودشان  
همواره مایه دلگرمی من است.**

سپاس ایزد منان را بر آنچه بسان ودیعه بر ما ارزانی داشت و سلام و درود نامتناهی خداوند بر خاتم پیامبران حضرت محمد (ص) و خاندان پاکش (علیهم السلام) باد.

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و تلاش‌های دلسوزانه کلیه اساتید و معلمان محترمی که در طول دوره‌های تحصیلی مختلف، از محضر آن‌ها کسب فیض نمودم کمال تشکر را داشته باشم. امیدوارم که خداوند به‌طور روز افزون بر توفیقات آن‌ها بیفزاید.

همچنین از زحمات و همکاری‌های صمیمانه استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر حاجی شعبانی که در طول اجرای این پروژه، از تجربیات سودمند ایشان بهره‌مند شدم، نهایت سپاس‌گزاری را دارم.

از استاد فرزانه‌ام، سرکار خانم دکتر دادفرنیا که همواره از رهنمودها و ارشاداتشان بهره‌جسته‌ام کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از آقایان، دکتر قاسمی و دکتر بنویدی که زحمت داوری این پایان‌نامه و کمک در اصلاح آن را متحمل شدند و همچنین ناظر تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر شاهزاده فاضلی صمیمانه تشکر می‌کنم.

در پایان از کارشناس محترم آزمایشگاه، جناب آقای سلمان‌زاده و کلیه دوستان، خصوصاً دوست عزیز و فداکارم، آقای حمید دهقان که در تهیه این پایان‌نامه مرا یاری کرده‌اند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.



مدیریت تحصیلات تکمیلی

صور تجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی  
دوره کارشناسی ارشد

شناسه: ب/ک/۳

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای مسعود کازرانی نژاد دانشجوی کارشناسی ارشد رشته/گرایش:

شیمی / شیمی تجزیه

تحت عنوان: استفاده از تکنیک‌های جداسازی به منظور پیش تغلیظ و اندازه‌گیری اورانیم با روش اسپکتروفتومتری

و تعداد واحد: ۸ در تاریخ ۱۳۸۷/۷/۲۴ با حضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.  
پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان‌نامه با نمره: به عدد ۱۹/۵ به حروف نوزده و نیم تمام و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

عنوان	نام و نام خانوادگی	امضاء
استاد / استادان راهنما:	دکتر علی محمد حاجی شعبانی	
استاد / استادان مشاور:	دکتر شایسته دادفر نیا	
متخصص و صاحب نظر داخلی:	دکتر علی بنویدی	
متخصص و صاحب نظر خارجی:	دکتر جهانبخش قاسمی	

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام و نام خانوادگی: دکتر سید ابوالفضل شاهزاده فاضلی

امضاء:

## چکیده

در این مطالعه، روشی ساده و قابل اعتماد برای جداسازی و پیش‌تغلیظ مقادیر کم اورانیم (VI) به‌وسیله استخراج فاز جامد توسعه داده شده است. برای این منظور، ستونی از آلومینای اصلاح شده با سدیم دودسیل سولفات (SDS) و ۸-هیدروکسی کینولین (اکسین) برای استخراج اورانیم (VI) از نمونه‌های آبی استفاده شد. شرایط تجربی برای جذب موثر اورانیم بهینه شدند. اورانیم (VI) به‌طور کامل با ۴/۰ ml محلول نیتریک اسید ( $2/5 \text{ mol l}^{-1}$ ) شسته و با استفاده از آرسنازو III به عنوان عامل رنگ‌ساز با روش اسپکتروفوتومتری اندازه‌گیری شد. فاکتور پیش‌تغلیظ ۲۰۰ برای روش پیشنهادی به‌دست آمد. این روش به‌طور موفقیت‌آمیز برای اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه‌های آب به‌کار برده شد.

روشی ساده و سریع با استفاده از استخراج نقطه ابری برای اندازه‌گیری اورانیم در نمونه‌های آب ارائه شده است. لیگاند استفاده شده ۴-(۲-تیازولیل آزو) رزورسینال (TAR) بود و فاز میسل با استفاده از سورفکتانت غیر یونی تریتون X-۱۱۴ به‌دست آمد. شرایط تجربی برای پیش‌تغلیظ و اندازه‌گیری اورانیم بررسی شدند. در شرایط بهینه نمودار معیارگیری در محدوده  $1-80 \mu\text{g l}^{-1}$  اورانیم با حد تشخیص  $0/3 \mu\text{g l}^{-1}$  خطی بود. فاکتور پیش‌تغلیظ ۶۰ برای حجم نمونه ۳۰ ml به‌دست آمد. روش پیشنهادی برای اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه‌های آب به‌کار برده شد.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده

فصل اول:

### مقدمه‌ای بر اورانیم و روش‌های جداسازی و اندازه‌گیری آن

- ۱-۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۱-۱-۱-۱- تاریخچه ..... ۲
- ۱-۱-۲- سمیت اورانیم ..... ۳
- ۱-۱-۳- ویژگی‌های اورانیم ..... ۳
- ۱-۱-۴- ترکیبات اورانیم ..... ۴
- ۱-۱-۵- ایزوتوپ‌های اورانیم ..... ۵
- ۱-۱-۶- کاربردهای اورانیم ..... ۶
- ۱-۲- اهمیت جداسازی و اندازه‌گیری مقادیر کم اورانیم ..... ۶
- ۱-۳- روش‌های اندازه‌گیری اورانیم ..... ۷
- ۱-۳-۱- روش‌های کلاسیک ..... ۷
- ۱-۳-۱-۱- وزن‌سنجی ..... ۷
- ۱-۳-۱-۲- تیتراسیون حجم‌سنجی ..... ۸
- ۱-۳-۱-۳- روش‌های دستگاہی ..... ۸
- ۱-۳-۲- طیف‌سنجی گاما ..... ۸
- ۱-۳-۲-۲- روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) ..... ۹
- ۱-۳-۲-۳- تلفیق طیف‌سنجی گاما و XRF ..... ۱۰
- ۱-۳-۲-۴- طیف‌سنجی جرمی ..... ۱۰

- ۱۱..... ۵-۲-۳-۱- فلوریمتری
- ۱۱..... ۶-۲-۳-۱- کولومتری
- ۱۲..... ۷-۲-۳-۱- پلاروگرافی
- ۱۲..... ۸-۲-۳-۱- طیف‌سنجی آلفا
- ۱۲..... ۹-۲-۳-۱- اسپکتروفوتومتری
- ۱۳..... ۴-۱- روش‌های جداسازی و پیش‌تغلیظ اورانیم
- ۱۳..... ۱-۴-۱- مبادله یون
- ۱۵..... ۲-۴-۱- استخراج مایع-مایع
- ۱۶..... ۳-۴-۱- استخراج نقطه ابری
- ۱۶..... ۱-۳-۴-۱- مفهوم استخراج نقطه ابری
- ۱۸..... ۲-۳-۴-۱- مکانیسم جدایی فازها در سیستم‌های میسلی
- ۲۰..... ۳-۳-۴-۱- سورفکتانت‌ها و خصوصیت آن‌ها
- ۲۱..... ۴-۳-۴-۱- عوامل مؤثر در استخراج نقطه ابری
- ۲۳..... ۵-۳-۴-۱- حلال‌های رقیق‌کننده فاز غنی از سورفکتانت
- ۲۳..... ۶-۳-۴-۱- مزایا و معایب روش CPE در تجزیه یون‌های فلزی
- ۲۴..... ۷-۳-۴-۱- کاربردهای استخراج نقطه ابری
- ۲۵..... ۸-۳-۴-۱- استفاده از CPE در جداسازی و پیش‌تغلیظ اورانیم
- ۲۷..... ۴-۴-۱- استخراج فاز جامد
- ۲۷..... ۱-۴-۴-۱- تاریخچه استخراج با فاز جامد
- ۲۸..... ۲-۴-۴-۱- مفهوم استخراج فاز جامد
- ۲۹..... ۳-۴-۴-۱- جداسازی به روش استخراج فاز جامد
- ۳۱..... ۴-۴-۴-۱- مزایای استخراج فاز جامد



- ۳۱ ..... ۵-۴-۴-۱- مراحل انجام استخراج فاز جامد
- ۳۲ ..... ۶-۴-۴-۱- خصوصیات جاذب مورد استفاده در استخراج فاز جامد
- ۳۳ ..... ۷-۴-۴-۱- مروری بر کاربرد SPE در جداسازی و پیش‌تغلیظ اورانیم
- ۳۷ ..... ۵-۱- انواع جاذب
- ۳۷ ..... ۱-۵-۱- آلومینا
- ۳۸ ..... ۲-۵-۱- مکانیسم جذب سطحی SDS بر روی آلومینا

### فصل دوم:

## پیش‌تغلیظ و جداسازی اورانیم (VI) با استفاده از اکسین تثبیت‌شده بر روی آلومینای پوشیده‌شده با سورفکتانت و اندازه‌گیری به روش اسپکتروفتومتری

- ۴۲ ..... ۱-۲- هدف تحقیق
- ۴۲ ..... ۲-۲- اکسین و کاربرد آن
- ۴۵ ..... ۳-۲- قسمت تجربی
- ۴۵ ..... ۱-۳-۲- مواد و دستگاه‌های مورد استفاده
- ۴۵ ..... ۱-۳-۲- مواد و محلول‌های مورد نیاز
- ۴۶ ..... ۲-۳-۲- دستگاه‌های مورد استفاده
- ۴۶ ..... ۲-۳-۲- تهیه جاذب پوشیده‌شده با اکسین
- ۴۷ ..... ۳-۳-۲- روش کار
- ۴۸ ..... ۴-۳-۲- نتایج و بحث
- ۴۸ ..... ۱-۴-۳-۲- اثر pH بر جذب اورانیم (VI) روی جاذب
- ۵۰ ..... ۲-۴-۳-۲- انتخاب شوینده مناسب
- ۵۰ ..... ۳-۴-۳-۲- بررسی اثر غلظت شوینده بر واجدبی اورانیم (VI) از روی جاذب

- ۵۲.....۴-۴-۳-۲- بررسی سرعت عبور محلول شوینده
- ۵۲.....۵-۴-۳-۲- اثر سرعت عبور نمونه بر روی جذب اورانیم (VI)
- ۵۵.....۶-۴-۳-۲- بررسی تأثیر حجم نمونه
- ۵۵.....۵-۳-۲- عملکرد تجزیه‌ای سیستم
- ۵۵.....۱-۵-۳-۲- نمودار معیارگیری
- ۵۵.....۲-۵-۳-۲- حد تشخیص روش
- ۵۸.....۳-۵-۳-۲- بررسی دقت روش
- ۵۹.....۴-۵-۳-۲- تعیین ظرفیت جذب اورانیم (VI)
- ۵۹.....۵-۵-۳-۲- بررسی اثر مزاحمت‌ها
- ۶۰.....۶-۳-۲- کاربردهای روش
- ۶۰.....۱-۶-۳-۲- اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه‌های آب
- ۶۱.....۲-۶-۳-۲- اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه استاندارد
- ۶۲.....۴-۲- نتیجه‌گیری

## فصل سوم

### اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم اورانیم توسط اسپکتروفتومتری پس از

### پیش‌تغلیظ به روش استخراج نقطه ابری

- ۶۴.....۱-۳- هدف تحقیق
- ۶۴.....۲-۳- قسمت تجربی
- ۶۴.....۱-۲-۳- دستگاه‌ها و مواد مورد استفاده
- ۶۴.....۱-۱-۲-۳- دستگاه‌های مورد استفاده
- ۶۵.....۲-۱-۲-۳- تهیه محلول‌های مورد استفاده
- ۶۵.....۲-۲-۳- روش کار

۶۶	.....۳-۲-۳- نتایج و بحث
۶۷	.....۳-۲-۳-۱- اثر pH محلول بر استخراج اورانیم (VI)
۶۷	.....۳-۲-۳-۲- اثر غلظت تریتون ۱۱۴-X بر استخراج اورانیم (VI)
۷۰	.....۳-۲-۳-۳- اثر غلظت TAR بر استخراج اورانیم (VI)
۷۰	.....۳-۲-۳-۴- اثر دما بر استخراج اورانیم (VI)
۷۳	.....۳-۲-۳-۵- اثر زمان تعادل بر استخراج اورانیم (VI)
۷۳	.....۳-۲-۳-۶- اثر غلظت نمک NaCl بر استخراج اورانیم (VI)
۷۵	.....۳-۲-۳-۷- اثر حجم محلول آبی بر استخراج اورانیم (VI)
۷۵	.....۳-۲-۴- عملکرد تجزیه‌ای سیستم
۷۵	.....۳-۲-۴-۱- نمودار معیارگیری
۷۵	.....۳-۲-۴-۲- حد تشخیص روش
۷۸	.....۳-۲-۴-۳- دقت روش
۷۹	.....۳-۲-۴-۴- بررسی مزاحمت‌ها
۸۰	.....۳-۳- کاربرد روش
۸۱	.....۳-۴- نتیجه‌گیری

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
۱-۱- واکنش‌های رنگی آرسنازو III در pH های مختلف.....	۱۴
۲-۱- مروری بر کاربردهای استخراج فاز جامد در جداسازی اورانیم (IV) به منظور اندازه‌گیری با روش‌های مختلف دستگاهی.....	۳۶
۳-۱- انواع آلومینای تجاری.....	۳۷
۱-۲- فلزات قابل استخراج با اکسین در کلروفرم یا حلال‌های دیگر.....	۴۳
۲-۲- اثر pH نمونه بر جذب اورانیم (VI) روی جاذب.....	۴۹
۳-۲- اثر نوع شوینده بر واجذب اورانیم (VI) روی جاذب.....	۵۰
۴-۲- اثر غلظت شوینده نیتریک اسید بر واجذب اورانیم (VI) روی جاذب.....	۵۱
۵-۲- اثر سرعت شویش بر واجذب اورانیم (VI) از روی جاذب.....	۵۳
۶-۲- اثر سرعت عبور نمونه بر جذب اورانیم (VI) روی جاذب.....	۵۴
۷-۲- اثر حجم نمونه بر جذب اورانیم (VI) روی جاذب.....	۵۶
۸-۲- اثر غلظت اورانیم بر جذب.....	۵۷
۹-۲- تکرارپذیری روش.....	۵۸
۱۰-۲- اثر برخی گونه‌های مزاحم در اندازه‌گیری اورانیم (VI).....	۶۰
۱۱-۲- اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه‌های آب.....	۶۱
۱۲-۲- اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه استاندارد.....	۶۱
۱۳-۲- مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های استخراج‌های فاز جامد گزارش شده قبلی برای اورانیم (VI).....	۶۲
۱-۳- اثر pH محلول بر استخراج اورانیم (VI).....	۶۸
۲-۳- اثر غلظت تریتون X-۱۱۴ بر استخراج اورانیم (VI).....	۶۹

- ۳-۳- اثر غلظت TAR بر استخراج اورانیم (VI)..... ۷۱
- ۳-۴- اثر دما بر استخراج اورانیم (VI)..... ۷۲
- ۳-۵- اثر زمان بر استخراج اورانیم (VI)..... ۷۴
- ۳-۶- اثر حجم محلول آبی بر استخراج اورانیم (VI)..... ۷۶
- ۳-۷- اثر غلظت اورانیم بر جذب..... ۷۷
- ۳-۸- تکرارپذیری روش..... ۷۸
- ۳-۹- اثر برخی گونه‌های مزاحم در اندازه‌گیری اورانیم (VI)..... ۷۹
- ۳-۱۰- اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه‌های آب..... ۸۰
- ۳-۱۱- اندازه‌گیری اورانیم (VI) در نمونه استاندارد..... ۸۰
- ۳-۱۲- مروری بر استخراج نقطه ابری اورانیم (VI) با روش‌های اندازه‌گیری مختلف..... ۸۲

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
۱-۱- ساختار آرسنازو III	۱۳
۲-۱- طیف جذبی آرسنازو III و کمپلکس آرسنازو III - اورانیم(VI)	۱۵
۳-۱- مراحل استخراج به روش نقطه ابری	۱۸
۴-۱- دیاگرام فازی سورفکتانت غیر یونی تریتون X-۱۱۴	۱۹
۵-۱- تشکیل میسل	۲۰
۶-۱- وسایل مورد استفاده در استخراج فاز جامد	۲۹
۷-۱- مراحل استخراج فاز جامد	۳۲
۸-۱- گیرافتادن عامل کی‌لیت‌دهنده در تجمع‌های SDS بر روی آلومینا	۳۸
۹-۱- ایزوترم جذب سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS) روی آلومینا	۴۰
۱-۲- ساختار اکسین	۴۳
۲-۲- طیف FT-IR	۴۷
۳-۲- اثر pH نمونه بر جذب اورانیم (VI) روی جاذب	۴۹
۴-۲- اثر غلظت شوینده نیتریک اسید بر واجذب اورانیم (VI) از روی جاذب	۵۱
۵-۲- اثر سرعت شویش بر واجذب اورانیم (VI) از روی جاذب	۵۳
۶-۲- اثر سرعت عبور نمونه بر جذب اورانیم(VI) روی جاذب	۵۴
۷-۲- اثر حجم نمونه بر جذب اورانیم (VI) روی جاذب	۵۶
۸-۲- نمودار تغییرات جذب بر حسب غلظت اورانیم (VI)	۵۷
۹-۲- تکرارپذیری روش	۵۸
۱-۳- ساختار TAR	۶۴
۲-۳- طیف جذبی کمپلکس TAR - اورانیم(VI)	۶۶

- ۶۸ ..... اثر pH محلول بر استخراج اورانیوم (VI) ۳-۳-۳
- ۶۹ ..... اثر غلظت تریتون X-۱۱۴ بر استخراج اورانیوم (VI) ۳-۴-۳
- ۷۱ ..... اثر غلظت TAR بر استخراج اورانیوم (VI) ۳-۵-۳
- ۷۲ ..... اثر دما بر استخراج اورانیوم (VI) ۳-۶-۳
- ۷۴ ..... اثر زمان بر استخراج اورانیوم (VI) ۳-۷-۳
- ۷۶ ..... اثر حجم محلول آبی بر استخراج اورانیوم (VI) ۳-۸-۳
- ۷۷ ..... منحنی معیارگیری تغییرات جذب بر حسب غلظت اورانیوم (VI) ۳-۹-۳
- ۷۸ ..... تکرارپذیری روش ۳-۱۰-۳

## فصل اول

مقدمه‌ای بر اورانیم و روش‌های جداسازی و اندازه‌گیری آن



## ۱-۱- مقدمه

### ۱-۱-۱- تاریخچه

استفاده از اورانیم به شکل اکسید طبیعی آن به سال ۷۹ میلادی بر می‌گردد. یعنی زمانی که از این عنصر برای اضافه کردن رنگ زرد به لعاب سفال استفاده شد. در سال ۱۷۸۹، یک شیمیدان آلمانی به نام مارتین کلاپروت<sup>۱</sup> که بر روی کانی پیچبلند<sup>۲</sup> تحقیق می‌کرد، نتیجه گرفت که این کانی باید حاوی عناصر جدیدی باشد. وی این ماده پودری شکل سیاه رنگ را در رابطه با سیاره اورانوس که هشت سال قبل از آن کشف شده بود، اورانیم نام‌گذاری کرد [۱]. در سال ۱۸۴۱ پلیگوت<sup>۳</sup> متوجه شد که جسم قبلی در حقیقت اورانیم اکسید ( $U_3O_8$ ) بوده و فلز خالص اورانیم را همان سال با موفقیت از طریق احیاء کردن آن با فلز پتاسیم در یک ظرف پلاتینی تهیه نمود.

در سال ۱۸۹۶، هانری بکرل<sup>۴</sup> فیزیکدان فرانسوی، کشف جالبی کرد. وی هنگام مطالعه پدیده فسفرسانس، مقداری اورانیم را روی یک فیلم عکاسی که با ورقه سیاهی پوشیده شده بود، قرار داد. پس از چند روز با تعجب متوجه شد که فیلم‌ها سیاه شده‌اند، و به این ترتیب اولین بار به خاصیت رادیواکتیویته اورانیم پی برد. در دهه ۱۹۳۰ دو فیزیکدان آلمانی به نام هان<sup>۵</sup> و استراسمن<sup>۶</sup> موفق به شکستن هسته اورانیم شدند. در دسامبر ۱۹۴۲ اولین رآکتور هسته‌ای توسط فرمی<sup>۷</sup> و گروهی دیگر از دانشمندان در شیکاگو آمریکا ساخته شد [۱]. در طی جنگ جهانی دوم اورانیم از نظر اهداف دفاعی اهمیت پیدا کرد.

<sup>1</sup> Martin Klaproth

<sup>2</sup> Pitchblende

<sup>3</sup> Peligot

<sup>4</sup> Henri Becquerel

<sup>5</sup> Hahn

<sup>6</sup> Strassman

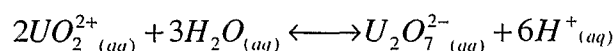
<sup>7</sup> Fermi

### ۱-۱-۲- سمیت اورانیم

اورانیم عنصری سمی است که از دو بعد شیمیایی و رادیواکتیویته مورد توجه می‌باشد. سمیت شیمیایی آن در پستانداران و انسان در کلیه‌ها نمود پیدا می‌کند و موجب بیماری نفریتیس<sup>۱</sup> یا ورم کلیه می‌شود که توأم با تخریب بافت‌های کلیه، در نهایت منجر به مرگ می‌شود. سمیت رادیواکتیویته اورانیم، از نشر پرتو آلفا نشأت می‌گیرد و جذب این پرتو در مغز قرمز استخوانکه سازنده گلبول‌های قرمز خون است، مانع ساختن گلبول شده و در غلظت‌های بالا منجر به سرطان می‌شود [۲]. همچنین اورانیم مانند سایر عناصر سنگین اثرات زیان‌آوری روی اعضای بدن دارد. این عنصر با آنزیم‌های معینی واکنش شیمیایی می‌دهد و همچنین پروتئین‌های بدن را از بین می‌برد. هر یون اورانیل می‌تواند با دو گروه کربوکسیل از دو پروتئین، کمپلکس پایداری تشکیل بدهد و این کمپلکس از طریق جریان خون به تمام بدن انتقال می‌یابد.

### ۱-۱-۳- ویژگی‌های اورانیم

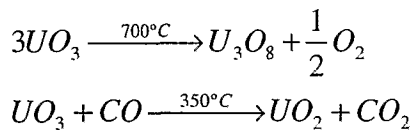
اورانیم فلزی سخت، چکش‌خوار، هادی جریان الکتریسیته، براق به رنگ سفید مایل به نقره‌ای می‌باشد و بعد از پلوتونیم سنگین‌ترین عنصری است که در طبیعت یافت می‌شود. اورانیم خالص حدود ۱۸/۷ مرتبه از آب چگال‌تر است. نقطه ذوب این فلز  $1133^{\circ}\text{C}$  می‌باشد و نقطه جوش آن  $3818^{\circ}\text{C}$  است. اورانیم در اسیدهای رقیق حل شده و یون اورانیم (IV) و گاز هیدروژن تشکیل می‌شود. یون‌های اورانیم به سادگی به حالت شش‌ظرفیتی که پایدارترین حالت اکسایش اورانیم است اکسید می‌شوند. در این حالت اکسایش، بسته به pH محلول دو یون تشکیل می‌شود. کاتیون اورانیل،  $\text{UO}_2^{2+}$  که در محلول‌های اسیدی و آنیون دی‌اورانات  $\text{U}_2\text{O}_7^{2-}$  که در محیط بازی پایدار است. در محلول این دو یون با یکدیگر در تعادل هستند.



<sup>۱</sup> Nephritis

### ۱-۱-۴- ترکیبات اورانیم

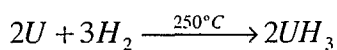
الف) اکسیدها: سیستم U-O بسیار پیچیده است. اکسیدهای اصلی اورانیم عبارتند از  $UO_3$  به رنگ زرد نارنجی و  $U_3O_8$  به رنگ قهوه‌ای.  $UO_3$  از گرم کردن اکسید آبدار اورانیم (که به طور عمده  $UO_2(OH)_2 \cdot H_2O$  است) تهیه می‌شود. اکسیدهای دیگر این عنصر با واکنش‌های زیر به دست می‌آیند [۳]:



کلیه این اکسیدها در نیتریک اسید حل می‌شوند و اورانیل نیترات  $UO_2(NO_3)_2 \cdot nH_2O$  تولید می‌کنند. کیک زرد، اورانیم تغلیظ شده است. نام این ترکیب به دلیل رنگ و شکل آن در هنگام تولید می‌باشد. کیک زرد تقریباً ۷۰ تا ۹۰٪  $U_3O_8$  دارد.

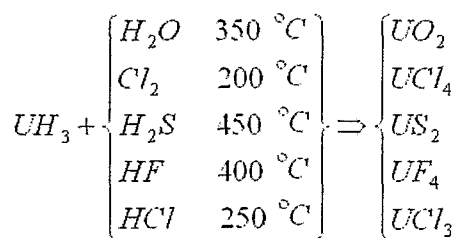
ب) هالیدها: اورانیم تترا فلوئورید ( $UF_4$ ) که به نمک سبز معروف است، در اثر فلوئوردار کردن اورانیم در دمای  $400^\circ C$  به اورانیم هگزا فلوئورید ( $UF_6$ ) تبدیل می‌شود.  $UF_6$  به صورت بلورهای بی‌رنگ فرار، دارای نقطه ذوب  $64^\circ C$  بوده و یک عامل اکسنده بسیار قوی است و با آب به شدت آبکافت می‌شود.  $UF_6$  ترکیبی از اورانیم است که در فرآیند غنی‌سازی<sup>۱</sup> از آن استفاده می‌شود [۴].

ج) هیدرید: اورانیم حتی در  $250^\circ C$  با هیدروژن ترکیب می‌شود و پودر سیاه‌رنگی می‌دهد که آتش‌گیر است [۵].



برای تهیه ترکیبات اورانیم استفاده از این هیدرید اغلب مناسب‌تر از خود فلز است. برخی از واکنش‌هایی که با استفاده از اورانیم هیدرید قابل انجام می‌باشند، در زیر آورده شده است.

<sup>۱</sup> Enrichment



د) نمک‌ها: متداول‌ترین نمک اورانیم، اورانیل نیترات زرد رنگ است که بسته به این که در نیتریک اسید دودکننده، غلیظ یا رقیق متبلور شده باشد، ۲، ۳ یا ۶ مولکول آب به همراه دارد. با افزودن سدیم استات اضافی به محلول  $UO_2^{2+}$  در استیک اسید رقیق نمک نامحلول  $Na[UO_2(CO_2Me)_3]$  رسوب می‌کند. یون اورانیل به وسیله  $Na/Hg$  یا  $Zn$  به  $U^{3+}$  که رنگ قرمز قهوه‌ای دارد، کاهش می‌شود و  $U^{3+}$  به وسیله هوا به  $U^{4+}$  سبز رنگ اکسید می‌شود.

### ۱-۱-۵- ایزوتوپ‌های اورانیم

اورانیم ۱۶ ایزوتوپ دارد که همگی رادیواکتیو هستند. سه ایزوتوپ طبیعی اورانیم،  $^{238}U$ ،  $^{235}U$  و  $^{234}U$  می‌باشند.  $^{238}U$  فراوان‌ترین آن‌ها می‌باشد که فراوانی حدود ۹۹/۲۸٪ دارد و نیمه عمر آن در حدود  $4.5 \times 10^9$  سال است. واپاشی  $^{238}U$  بسیار کند است، بنابراین آن را به زحمت می‌توان رادیواکتیو دانست، ولی همین مقدار کم واپاشی برای تولید حرارت در هسته زمین کافی است.  $^{235}U$  از اهمیت بیشتری برخوردار است و فراوانی آن در طبیعت ۰/۷۱۱٪ و نیمه عمر آن در حدود  $7 \times 10^8$  سال می‌باشد و از آن جایی که به راحتی شکافته می‌شود می‌توان آن را منبع بزرگی از انرژی در نظر گرفت. فراوانی  $^{234}U$  برابر ۰/۰۰۵۴٪ و نیمه عمر آن حدود  $2.5 \times 10^5$  می‌باشد [۶]. جدا کردن ایزوتوپ‌های اورانیم به منظور تهیه سوخت هسته‌ای، فرآیند غنی‌سازی نامیده می‌شود.