

# تشریح فرآیند غنی سازی اورانیوم توسط سانتریفوژ

خوراک هگزا فلئورید اورانیوم که جهت فرآیند غنی سازی توسط سانتریفوژ ، به کارخانه آورده می شود ، می تواند توسط سیلندرهایی X 48 یا Y 48 به واحد تامین خوراک کارخانه آورده شود .

واحد تغذیه کارخانه از سه قسمت اصلی و یک واحد حمل و نقل تشکیل می گردد .  
سیلندرهایی مذکور شامل ماده UF6 در فاز گازی شکل می باشد که به مرکز خوراک کارخانه آورده می شود .  
جدول ( 2-4 ) - مقایسه روشهای مختلف جداسازی از نظر میزان

Separation technology	Field of use	Production per year	Cost
Electromagnetic (mass-spectroscopy effect)	universal	tens of grams	high
Chemical & phys. processes (rectification, chem. exchange etc)	light elements	tons	low
Gas diffusion	elements forming gas compounds	thousands of tons	middle
Gas centrifuge	elements forming gas compounds	thousands of tons	low
Laser (optical) separation	elements having isotope shift of spectrum lines	kilograms	middle
Plasma ion-cyclotron effect (under developing – the USA, Russia)	universal	hundreds of kilograms	middle

پس از عملیات غنی سازی در سالن زنجیره و یا در واقع واحد آبشار ، محصول به همراه پسماند تولید شده از سالن زنجیره خارج و برای انجماد سازی به سالن مربوطه هدایت خواهد گردید . در این واحد نیز محصول به شکل جامد در مخازن مربوطه جمع آوری خواهد شد .

مخازن محصول پس از تعیین و کنترل وزن و میزان غنای اورانیوم جهت تبدیل به اکسید اورانیوم و میله سوخت به کارخانه سوخت هسته ای انتقال داده خواهد شد . فرآیند ذکر شده بطور خلاصه شامل مراحل آورده شده به شکل زیر است : محصول غنی شده سالن غنی سازی مرکز حمل محصول مرکز انجماد سازی واحد مرکز خوراک اورانیوم طبیعی محصول تهی شده به شکل UF6 در حقیقت وظیفه اصلی واحد تغذیه خوراک ، تهیه و آماده سازی UF6 برای سالن زنجیره و یا در اصطلاح خود تالار آبشار می باشد . این خوراک می تواند توسط سیلندرهایی X 48 و یا Y 48 به سالن زنجیره انتقال پیدا نماید .

در جدول ( 2-5 ) مشخصات سیلندرها و سایر اجزاء مورد نیاز در طی فرآیند آورده شده است .

1-5-2- قسمت تغذیه خوراک خوراک اورانیوم باید هنگام ارسال به سانتریفوژها دارای فشار پایینی جهت جداسازی ایزوتوپها در فرآیند باشد . مخزن نگهداری اورانیوم در داخل مخازن بزرگتری به شکل استوانه افقی قرار دارند که این مخازن را اتوکلاو می نامند . مخزن اتوکلاو به گونه ای ساخته می شود که از هرگونه نفوذ رطوبت به داخل آن جلوگیری شده و جهت اطمینان کار ، هوای داخل آن نیز تخلیه شده و نیتروژن به جای آن تزریق می شود . با تنظیم دما و فشار داخل اتوکلاو ، هگزا فلئورید اورانیوم به حالت گازی شکل در می آید . البته باید در نظر داشت که این فشار همچنان برای واحد غنی سازی مناسب نبوده و بالاتر از مقدار مورد نیاز می باشد .

برای کاهش فشار گاز UF6 و ارسال آن به سالن زنجیره ، از شیر کاهنده فشار استفاده خواهد گردید . یک مخزن دیگر نیز جهت کاهش نوسانات خوراک در فرآیند مورد استفاده واقع می شود .

برای تبدیل حالت جامد UF6 به حالت گازی ، باید دمای سیلندر 48 x و یا 48 y در داخل اتوکلاو افزایش پیدا نماید ، لذا برای تامین این خواسته از اتوکلاو استفاده می شود . می توان با تنظیم دمای نیتروژن اطراف مخزن 48 x داخل اتوکلاو به حرارت مورد نظر دست یافت و چون دما با فشار رابطه مستقیم دارد ، باید در نظر داشت که افزایش دما باعث افزایش فشار خوراک نیز می شود که بدین جهت از کاهنده فشار استفاده خواهد گردید .

دستگاه سانتریفوژ همانگونه که در قسمت های قبل گفته شد ، دارای یک راندمانی می باشد که با میزان خوراک و نیز ارتفاع دستگاه و سرعت دورانی آن وابسته است . یک نکته دیگر را هم باید به آن اضافه نمود و آن این است که : دما نیز در این فرآیند تاثیر خواهد گذاشت . زیرا باعث تغییر در جرم حجمی گاز و نیز سایر نیروها در درون سانتریفوژ می شود .

جدول ( 2-5 ) - مواد و مشخصات اجزاء سیستم

حداقل ضخامت دیواره ضخامت اسمی دیواره مواد وسایل mm 7/12 mm 16  
کربن استیل A S T M A 516 ( سیلندرهایی 48 Y ) UF6 و mm 8 mm ( 48 X )  
7/12 کربن استیل A S T M A 516 سیلندر محصول 6/1mm ( B30 ) UF6  
6/1 mm مونل / نیکل ASTM B162 بطری نمونه گیری ( mm 6/1mm s 1 )  
8/2 مونل / نیکل بطری نمونه گیری ( mm 7/3 ) not applicable s 2 )  
آلومینیوم و استینلس استیل لوله های محل عبور UF6 not applicable  
بیشتر از mm 7/3 آلومینیوم و استینلس استیل شیرهای UF6 not  
applicable mm 8 استینلس استیل تله های خنک کننده

اورانیومی که توسط کانتینر شماره x48 به واحد خوراک حمل می شود ، دارای 711/0 درصد ایزوتوپ اورانیوم 235 می باشد . این ماده بصورت جامد بوده و در فشار پایین تر از اتمسفر و در دمای محدودی درون کانتینر نگهداری می شود .

جدول ( 2-6 ) - خلاصه برخی از مشخصات اتوکلاو  
شکل ( 2-13 )

Design parameters	Main dimensions	Design pressure	Design temperature	Operating Tmax	Material	UF6 bottles to be handled
6 bar abs./vacuum	130 °C	110 °C	carbon steel	48Y, 30B	Length	Length with the rail
Height	Width	Total weight	6320 mm	11500 mm	2800 mm	3620 mm
						6700 kg

فشار خوراک توسط کاهش دما پایین آورده خواهد شد . در قسمت خوراک موادی که باید تحت کنترل و بررسی قرار داشته باشند شامل :

1 - دمای مخزن UF6 : که باید در حدود 70 درجه سانتیگراد تنظیم گردد و در این دما ، فشار تعادل معادل 8/1 بار ، خواهد بود پس از خروج گاز از مخزن و انتقال به سالن زنجیره ، فشار گاز درون سیلندر کاهش پیدا می نماید و می توان با تامین حرارت مورد نیاز ، مقداری از مایع درون مخزن را تبخیر نموده و بدین ترتیب جریان ثابتی را به بیرون هدایت نمود .

2 - فشار مخزن تنظیم : فشار مخزن تنظیم کننده ، دقیقاً هم اندازه فشار خروجی شیر کاهنده است که باید در محدوده مورد نظر تحت کنترل باشد .

2-5-2- قسمت غنی سازی کار اصلی این واحد ، جداسازی ایزوتوپها از یکدیگر است و خوراک ورودی به این قسمت پس از طی عملیات جداسازی به دو خروجی تبدیل می شود : ی که محصول دلخواه و دیگری محصول حاوی اورانیوم تهی شده از ایزوتوپ 235 .

پس این دو محصول جهت فرآیند انجماد سازی به قسمت مورد نظر انتقال داده می شوند . اورانیوم 235 دارای 3 نوترون کمتر از اورانیوم 238 است که این اختلاف وزن ناشی از تفاوت نوترونها ، عامل جداسازی در دستگاہی است که روتور نامیده می شود . روتور یک استوانه آلومینیومی شکل است که با سرعت بالا در حالی که خوراک به

خط مرکزی آن یعنی محور استوانه تزریق می شود می چرخد در این هنگام بدلیل سرعت بالای روتور ، ایزوتوپها که تحت نیروی گریز از مرکز قرار دارند به طرف دیواره حرکت می نمایند .

چون اورانیوم 238 سنگین تر از اورانیوم 235 است ، لذا غلظت آن در نزدیکی دیواره بیشتر خواهد بود و در نتیجه با نزدیک شدن به خط محوری استوانه ، غلظت 235 بیشتر از 238 میگردد .

شکل ( 10-2 ) - شکل مخزن UF6

با توجه به آنچه ذکر شد این دو ایزوتوپ می توانند از دو قسمت که یکی نزدیکی دیواره و دیگری در نزدیکی محور می باشد از سانتریفوژ خارج شوند . چنانچه در قبل نیز اشاره شد ، قبل از گازدهی باید سیستم در وضعیت خلاء قرار گرفته باشد و هنگامی که شیر مخزن حاوی UF6 باز می شود ، این گاز با فشار 8/1 بار ، وارد یک شیر کنترل سرعت جریان خواهد گردید که قبل از کاهنده فشار قرار گرفته و دارای یک پس خور می باشد . از آنجائیکه ماشین های سانتریفوژ بر روی سرعت جریان حساس می باشند ، این جزء نیز باید بوسیله دبی سنج دیگری بعد از کاهنده فشار و قبل از ارسال به واحد آبشار کنترل گردد . کاهش فشار در واحد خوراک ، در یک و یا دو مرحله انجام خواهد گرفت و یک تانک تنظیم کننده جریان نیز در بالای مسیر جریان اتوکلاو جهت هر شیر کاهنده فشار قرار داده شده است .

شکل ( 11-2 ) - نمایی از یک اتوکلاو افقی

شکل ( 12-2 ) - حمل و نقل مخازن UF6

شکل ( 13-2 ) - نحوه قرار گرفتن و اتصالات اتوکلاو افقی

مشخصات اتوکلاو بکار رفته در شکل فوق به قرار ذیل می باشد :

- اندازه های طراحی شامل : فشار طراحی : 6 بار مطلق / خلاء دمای طراحی : 130 درجه سانتیگراد حداکثر دمای کارکرد : 110 درجه سانتیگراد جنس : کربن استیل ظروف حامل 30B , 48Y : UF6 • اندازه های اصلی طول : 6320 میلیمتر طول با احتساب ریل : 11500 میلیمتر ارتفاع : 2800 میلیمتر عرض : 3620 میلیمتر وزن کل : 6700 کیلوگرم

شکل ( 14-2 ) - نمایی از سیلندر UF6 که در اتوکلاو قرار دارد

شکل ( 15-2 ) - نمایی از یک اتوکلاو عمودی

شکل ( 2-16 ) - نحوه قراردادن مخازن UF6 در اتوکلاو

تجهیزات بکار رفته در اتوکلاو افقی شامل : • درب اتوکلاو و آب بندی باز و بسته شدن درب این نوع اتوکلاو ، تحت فشار هوای 6 بار با تامین فشار لازم از یک کمپرسور صورت می گیرد .

شکل ( 2-17 ) - نمایی از نحوه قرار گرفتن سانتریفوژ

شکل ( 2-18 ) - نمایی دیگر از نحوه قرار گرفتن سانتریفوژ

• سیستم تامین حرارت المنتهای الکتریکی با خروجی 160 کیلووات برای تامین دما و حرارت مورد نیاز بکار می روند . این المنتها بطور مارپیچ بدور اتوکلاو و داخل آن بین جداره قرار گرفته اند .

• خنک کننده حلقه خنک کننده با پره های بکار گرفته شده بر روی لوله های آن همانند المنتها بدور اتوکلاو قرار داده شده و به همراه المنتها کار تنظیم دما را بر عهده خود دارد . مواد مورد استفاده در لوله های سیستم خنک کننده ، آهن DN 40 می باشد . شکل ( 2-19 ) - نمای بالایی و لوله های متصل به سانتریفوژ

• توزین در اتوکلاو مورد بحث ، 4 عدد سنسور الکترونیکی برای اندازه گیری وزن بکار رفته است .

• تجهیزات نمونه گیری اتوکلاو میتواند مجهز به وسایل لازم جهت اندازه گیری نمونه های لازم از UF6 باشد . شکل ( 2-20 ) - شمایی فرآیند غنی سازی

• سیستم گردش هوا یک فن در اتوکلاو در بین المنتها و سیستم خنک کننده جهت تبادل دما و یکنواخت کردن آن در داخل اتوکلاو قرار گرفته است . در این فن یک تسمه موتور را به محور چرخشی متصل می نماید . شکل ( 2-21 ) - اتصال سانتریفوژ به زمین

• چرخش ، محورها و لوله فلزی مخزن UF6 در مدت انتقال UF6 ، مخزن مربوطه می تواند تا حدود 150 درجه چرخش نماید و این کار معمولا بطور دستی صورت می گیرد . بدین منظور لوله های انعطاف پذیر بکار برده خواهد شد . برای بستن درب اتوکلاو نیز از چرخ دنده های مخصوصی استفاده می شود .

شکل ( 2-22 ) - شکل سانتریفوژ جریان مخالف

• بالابر و ریل برای انتقال مخزن UF6 به داخل اتوکلاو از یک بالابر مخصوص روی ریل که می تواند شامل مشخصات زیر باشد استفاده خواهد گردید : قدرت الکتریکی موتور : 5/1 کیلو وات سرعت انتقال : 5 متر

در دقیقه حداکثر فاصله انتقال : حدود 32 متر وزن بالابر : 700 کیلو گرم وزن پایه برای مخزن 450 : 30B کیلوگرم

شکل ( 23-2 ) - سالن زنجیره سانتریفوژ

• عایق بندی حرارتی مواد عایق بندی از نوع ، SFS 3976-60M1.2-0 5P5 می باشد . 60 میلیمتر از پشم و شیشه به همراه PVC و نیز ورق استیل به ضخامت 5/0 میلیمتر . در هر سانتریفوژ سه خط لوله قرار گرفته است که در بالای آن بوده و یکی برای محصول دلخواه و دیگری برای محصول تهی شده و سومی هم برای خوراک ورودی به سانتریفوژ می باشد .

هر سه این خطوط توسط شیر به روتور متصل هستند تا در صورت نیاز مثلاً : هنگام آسیب دیدگی بتوان جریان گازها را قطع نمود . علاوه بر سه قسمت قبلی ، یک لوله نیز نصب شده است تا در صورت نیاز بتوان گاز موجود در سانتریفوژ را تخلیه نمود . با توجه به چهار قسمت ذکر شده در بالای هر روتور ، باید چهار شیر نیز در نظر گرفته شود که قبل از اتصال هر یک از قسمتهای مذکور به روتور در مسیر آن برای قطع و وصل جریان گاز قرار بگیرد . فرآیند جداسازی در واحد غنی سازی زنجیره ای ، در فشار پایین کار می کند و چون حتی مقدار کمی از ناخالصی ، اثر نامطلوبی بر روی روتورها خواهد گذاشت ، لذا یک قسمت خالص سازی باید با دقت ، کار خلوص را به انجام برساند . همانگونه که از مطالب آورده شده در قبل معلوم می گردد ، کار این روتورها بر اساس اختلاف وزن موجود بین ایزوتوپها می باشد .

شکل ( 24-2 ) - مراحل فرآیند فرآوری و غنی سازی اورانیوم خوراک تازه از 711/0 درصد اورانیوم 235 تشکیل شده است که باید به حدود غنای 4 تا 5 درصد برای سوخت مورد تقاضا برسد . از آنجائیکه به علت اختلاف وزنی ناچیز این دو ایزوتوپ ، رسیدن به غنای مورد نظر با استفاده از یک روتور مقدور نیست ، بنابراین از یک زنجیره از سانتریفوژها که بطور سری قرار گرفته اند استفاده خواهد شد .

فاکتور جداسازی برای روتور براساس درصد وزنی 235 به 238 در محصول بدست آمده از آن ، متناظر با سرعت خوراک ورودی معلوم می باشد . این فاکتور بوسیله که بین 18/1 تا 2/1 می باشد ، نمایش داده می شود .

در هر حال هر روتور این درصد را افزایش خواهد داد و با توجه به فاکتور 2/1 برای هر روتور بخوبی می توان دریافت که برای رسیدن به غلظت مورد نظر باید تعداد زیادی دستگاه سانتریفوژ بطور سری کار کنند و با ارسال محصول هر مجموعه از روتورها به روتورهای بعدی و

نیز بازگشت اورانیوم تهی شده از هر مجموعه روتور به روتورهای قبلی ، به درصد مورد نیاز دست خواهیم یافت . در واقع يك زنجیره از روتورها ، غنا در محصول را تا 5 درصد و نیز میزان 235 در پسماند را به حدود 2/0 درصد خواهد رسانید .

2-5-3- واحد جامد سازی در قسمت جامد سازی ، محصول و پسماند بدست آمده از واحد غنی سازی ( سالن زنجیره ) ، بطور جداگانه در دو مخزن نگهداری می شود و این عملیات طی دو مرحله صورت خواهد پذیرفت :

2-5-3-1- مرحله اول : جمع آوری گاز خروجی از سالن زنجیره در يك تله خنك کننده در دمای پایین منتقل شده و پس از انتقال حرارت بین گاز ورودی به تله و نیز جداری آن ، دمای گاز پایین آمده و به شکل جامد در خواهد آمد . برای خنك نمودن تله ، از نیتروژن مایع استفاده می شود و برای حذف انتقال حرارت با محیط اطراف ، تله باید بطور کامل و مناسب عایق بندی شود . برای اینکه بتوان پس از پرشدن تله خنك کننده ، عملیات ذخیره سازی را ادامه داد ، از دو تله بصورت موازی استفاده خواهد شد و در این هنگام شیر نصب شده بر سر راه ورود گاز به تله ، جریان را به تله دوم هدایت می نماید.

2-5-3-2- مرحله دوم : تبدیل هگزا فلئورید جامد به مایع و نگهداری در مخازن مربوطه در این مرحله دمای تله خنك کننده توسط بخار و یا آب گرم بالا خواهد رفت . به هر حال باید در نظر داشت که : با افزایش دما ، فشار گاز نیز افزایش یافته و در هر دمایی تعادلی بین فاز مایع و گاز بوجود خواهد آمد . در این زمان شیر خروجی تله باز شده و مایع UF6 از پایین تله ، به مخزن جمع آوری فرستاده می شود و در مخزن ، بصورت جامد در خواهد آمد . بوسیله يك ردیاب الکتریکی که در مسیر جریان مایع تا مخزن نگهداری قرار گرفته است ، کل مسیر تحت کنترل قرار می گیرد تا احياناً مایع UF6 بصورت جامد در خط لوله ظاهر نشده و باعث قطع جریان در مسیر نگردد .

2-5-3-3- وسایل مورد استفاده جهت جامد سازی با توجه به محصولات تولیدی در سالن زنجیره و مواد باقیمانده از فرآیند غنی سازی 6 تله مورد نیاز خواهد بود که برای محصول دلخواه و تهی شده هر کدام دو تله و نیز دو تله هم برای پسماند ( مواد باقیمانده در مواقعی که دستگاه از کار افتاده و نیاز به بازسازی دارد ) در نظر گرفته

می شود .

از آنجائیکه فشار گاز خروجی از سالن زنجیره حدود 5 میلی بار است ، پس از ورود به تله خنک کننده و تبدیل به فاز جامد از حجم ماده کاسته شده و بدین ترتیب با ایجاد کاهش فشار و خلاء ، باعث می شود تا گاز انتقال یافته به داخل تله مکش شود . گاز UF<sub>6</sub> پس از ورود به تله های خنک کننده و با افت حرارتی در آن تله ها ، ابتدا به مایع و سپس در فشار و دمای تعادل ، به فاز جامد تبدیل خواهد شد و با توجه به اینکه مقدار محصول مورد نیاز در مقایسه با اورانیوم تهی شده حجم بسیار کمتری را دارد ، لذا مخزن انباشت آن نیز می تواند کوچکتر باشد .

در قبل ذکر شد که : تله خنک کننده به یک پمپ خلاء وصل می باشد و چون گاز خروجی از تله دارای UF<sub>6</sub> است و هنگام آسیب دیدگی پمپ ، ممکن است به محیط نشت پیدا کند ، لذا یک تله شیمیایی در مسیر خنک کننده با پمپ قرار گرفته است . تله شیمیایی از NaF و یا NaOH انباشته شده است که با ایجاد کمپلکس با UF<sub>6</sub> باعث عدم نشت آن به محیط می شود .

4-3-5-2- روش جامد سازی قبل از ورود گاز به تله خنک کننده ، تله های مورد استفاده باید دارای خلاء کافی جهت فرآیند مربوطه باشند که این عمل توسط پمپ های خلاء انجام می گیرد . پس از خلاء نمودن دیواره تله ، اتانول بین این جداره تزریق شده و سپس نیتروژن مایع به دور جداره فرستاده می شود . پس از ورود گاز UF<sub>6</sub> به تله و تماس با دیواره ، انتقال حرارت صورت گرفته و با سرد شدن گاز UF<sub>6</sub> فشار آن نیز کاهش پیدا می نماید . در ابتدای کار و قبل از انجماد گاز UF<sub>6</sub> ، میزان افت فشار ناچیزی ایجاد می شود اما پس از ایجاد کریستالهای جامد UF<sub>6</sub> ، دما و فشار کاهش محسوس پیدا خواهد نمود . مجموعه پوسته خنک کننده باید بتواند UF<sub>6</sub> را سرد و جامد نماید . دما برای این فرآیند حدود 100- درجه سانتیگراد می باشد و با تنظیم جریان نیتروژن ، کنترل خواهد گردید . چنانچه دما کاهش یابد باعث می شود تا الکل موجود منجمد شده و در انتقال حرارت اختلال ایجاد گردد . موقعی که تمام سطح بستر تله خنک کننده از بلورهای UF<sub>6</sub> پوشیده شد ، به دلیل ایجاد مقاومت حرارتی ، راندمان کار پایین خواهد آمد که در این مرحله گاز به تله دوم که از قبل تدارک دیده شده است هدایت می شود . پس از قطع جریان گاز تله اول ، جریان نیتروژن نیز قطع خواهد شد و پس از قطع جریان نیتروژن ، بدلیل انتقال حرارت جابجایی طبیعی ، دمای مخزن مقداری بالا می رود



و بعد از آن نیز الکل توسط شیر تعبیه شده از مخزن خارج می گردد .  
بدلیل عایق بندی مخزن مذکور ، حرارت به میزان ناچیزی وارد تله خواهد شد ، در ضمن از آنجائیکه مقداری الکل پس از خروج آن ، در بین جداره باقی مانده است لذا برای خارج کردن آن ، از نیتروژن استفاده می شود که خود باعث افت دما در تله خواهد شد . جریان نیتروژن باعث خروج الکل از مجاری شده و چون نمی خواهیم به محیط بیرون سرایت نماید لذا آنرا به فاضلاب هدایت می نمایم . پس از اطمینان یافتن از خروج الکل از جداره و اینکه دما به حد کافی افزایش یافته است ، جریان گرم را به درون جداره خواهیم فرستاد . جریان گرم باید دمای مخزن را افزایش دهد .

بدلیل محدود بودن حجم مخزن و نیز بسته بودن شیرهای خروجی ، افزایش دما باعث افزایش فشار گاز شده و در دمای معین ، تعادلی بین دو فاز جامد و گاز ایجاد خواهد شد . در دمای 64 درجه سانتیگراد و فشار 5/1 بار ، هگزا فلئوئورید اورانیوم جامد ، شروع به ذوب شدن می نماید که این دما ، نقطه تعادل سه گانه فازها خواهد بود و تا همه جامد به مایع تبدیل نشده است ، دمای مخلوط افزایش پیدا نخواهد نمود . مخازنی که UF6 خارج شده از تله های خنک کننده را نگهداری می کنند ، باید قبل از ورود UF6 به درون آنها ، توسط شستشو و نیز تمیز نمودن همه آلودگیهای احتمالی ، آماده سازی شده باشند و پس از خشک نمودن باید آنرا تحت خلاء درآورده ، فشار خلاء نیز 1 اتمسفر باشد . بنابر این چنانچه 10 درصد از حجم مخزن خالی باشد ، فشار خلاء آن باید حدود 100 میلی بار و یا 10 کیلو پاسکال باشد .

یعنی فشار خلاء معادل 100 میلی بار کفایت می نماید . پس از آماده سازی مخزن نگهداری ، آنرا در نزدیک تله خنک کننده و در پایین دست آن قرار می دهند . سپس خروجی تله توسط یک خط لوله به شیر مخزن هدایت خواهد گردید . دمای این خط لوله باید حدود 80 درجه سانتیگراد ثابت باقی بماند تا مانع از انجماد UF6 شود . پس از باز کردن شیر رابط ، جریان UF6 مایع ، وارد مخزن شده و با پایین آمدن فشار آن ، به گاز تبدیل خواهد شد . لذا مخزن باید مجدداً تا دمای محیط خنک شود . پ

س از این مرحله و کاهش فشار که باعث گازی شدن UF6 می گردد و نیز کاهش دمای مخزن ، همزمان با انجماد UF6 تعادلی بین فاز جامد و گاز ایجاد خواهد شد و این اتفاق در دمای 20 درجه سانتیگراد و فشار 1/0 بار صورت می گیرد . پس از ورود همه مایع به مخزن ، فشار تله خنک کننده به 1/0 بار کاهش پیدا می نماید که این مسئله ، خود نشان دهنده تخلیه شدن تله خنک کننده خواهد بود . در این زمان شیر

خروجی تله و نیز ورودی مخزن بسته شده و از آن جدا می شود .  
با تخلیه یک تله خنک کننده ، مخزن نگهداری پر نشده و باید تا مرتبه بعدی بارگیری از تله بعدی ، در دمای 25 درجه و فشار 1/0 بار نگهداری شود زیرا در این دما و فشار ، مایع UF6 به راحتی می تواند جریان داشته باشد . بعد از بستن شیر خروجی ، تله خنک کننده پر از گاز UF6 در دمای 80 درجه سانتیگراد خواهد شد و این گاز باید قبل از مرحله بعدی جامد سازی خنک شود . البته بستن شیر خروجی خود باعث می شود تا در مرحله بعدی ایجاد خلاء در تله ها ، از افت انرژی خلاء سازی جلوگیری شود . قبل از باز کردن شیر پسماند ، جریان گرم بسته خواهد شد و هوای فشرده به جای آن تزریق شده ، در نهایت الکل بین جداره فرستاده خواهد گردید .  
در این هنگام شیر بسته می شود . سپس نیتروژن مایع نیز پیرامون آن تغذیه خواهد شد . نظر به اینکه فشار تله در حدود 1/0 بار است ، پس از سرد شدن تله در 20 درجه سانتیگراد ، گاز UF6 شروع به جامد شدن نموده در نتیجه فشار کاهش خواهد یافت . همه UF6 در دمای 70- درجه سانتیگراد جامد خواهد شد و بنابراین باز هم فشار کاهش می یابد و در این زمان شیر پسماند می تواند باز شود . مواردی که باید در طول این فرآیند تحت کنترل قرار داشته باشد شامل : سرعت جریان نیتروژن مایع و سیال گرم بخار می باشد . نیتروژن در اطراف پوسته ، باید در دمایی حدود 100- درجه جریان داشته و چنانچه دما در کمتر از این مقدار تنظیم شود ، همان گونه که قبلاً ذکر شده است ، باعث انجماد الکل و در نتیجه کاهش انتقال حرارت خواهد گردید . دمایی که برای کنترل محاسبه می شود می تواند ، دمای دیواره و یا دمای خود الکل باشد .  
سرعت جریان بخار نیز باید به گونه ای تحت کنترل قرار گیرد که دمایی در حدود 80 تا 90 درجه سانتیگراد را ایجاد نماید . در هر حال باید در نظر داشت که فشار و دما وابسته به یکدیگر بوده و با افزایش هر کدام تحت شرایط ثابت از نظر حجم ، دیگری هم افزایش پیدا خواهد نمود و با توجه به وابستگی این دو گزینه نسبت به یکدیگر ، فشار حدود 3/2 تا 5/3 اتمسفر قرار خواهد داشت .

برگرفته از کتاب : ( بررسی تولید و انتشار سم HF در فرآیند غنی سازی اورانیوم )

# روش سانتریفوژ در فرآیند غنی سازی اورانیوم

روش جداسازی توسط سانتریفوژ از حدود یکصد سال پیش آغاز شده است . . .

در سال 1919 این روش جهت جداسازی گازها مورد استفاده قرار گرفت و جهت حذف حرکات لرزشی و جریان انتقال حرارت بین محیط و خود سانتریفوژ ، باید در خلاء مورد استفاده واقع گردد .

در این میان جهت غنی سازی اورانیوم ، شرط اصلی این است که در روش سانتریفوژ ، ماده اورانیوم بصورت گازی شکل درآید . چون تنها فلئور دارای یک ایزوتوپ پایدار است ، لذا در ترکیب با انواع ایزوتوپ های اورانیوم به صورت هگزا فلئورید اورانیوم ، دارای شکل گازی بوده علاوه بر این با توجه به تکی بودن ایزوتوپ فلئور ، در ترکیب با ایزوتوپ های متفاوت اورانیوم دارای وزن مولکولی متفاوت خواهد بود و بدین سان قابلیت استفاده در دستگاه سانتریفوژ را پیدا می نماید .

در سال 1930 از سانتریفوژهای با جریان همسو استفاده می شد و در این حالت ماده تغذیه شده به دستگاه ، از درون لوله ای که در مرکز درپوش بالایی سانتریفوژ قرار دارد وارد شده و پس از اعمال نیرو بر آن ، مولکولهای سبک به اطراف محور مرکزی و مولکولهای سنگین بیشتر به طرف جداری دستگاه حرکت می نمایند و توسط مجراهایی که برای خروج آن در نظر گرفته شده است از سانتریفوژ خارج می گردند . چنین دستگاههایی دارای دو نقص عمده بود :

یکی بازده کم و

دیگری خارج کردن مولکولهای سبک از محور آن زیرا در این قسمت فشار کم می باشد . ف

فرآیند غنی سازی توسط سانتریفوژ در اروپا نیز از حدود 30 سال پیش آغاز شده است و کشور ما ایران هم در چند سال اخیر به این سمت حرکت نموده است و با توجه به تجربه سایر کشورها و امکانات خود در این زمینه تلاش فراوانی را آغاز نموده تا به این صنعت پیشرفته دنیا دست پیدا نماید .

شکل ( 2-3 ) - قسمتهای مختلف سانتریفوژ

مشکلات موجود در مورد دستگاههای جریان همسو باعث شد تا روش دیگری که جریان مخالف نام دارد ، ابداع شود . در این دستگاه خوراک اورانیوم از میان محور چرخشی وارد شده و با حرکت در طول محور جداره ، در دو جهت مختلف موجب اختلاف غلظت ایزوتوپ ها در طول محور می گردد . در نتیجه می توان ایزوتوپ های سبک و سنگین را در دو انتهای محور و در نزدیک جداره برداشت نمود . چون فشار در کنار دیواره زیاد است ، لذا خروج محصول و ایزوتوپ سبک مشکلی را بوجود نخواهد آورد .

شکل ( 2-4 ) - نمای درونی یک سانتریفوژ

برگرفته از کتاب : ( بررسی تولید و انتشار سم HF در فرآیند غنی سازی اورانیوم )

# روش لیزر در فرآیند غنی سازی اورانیوم

روش لیزر جهت جداسازی ایزوتوپ ها ابتدا در دوران جنگ جهانی دوم در ابتدا مورد استفاده قرار گرفت . اگر بخواهیم در بین همه روشهای غنی سازی ، این روش را مورد مقایسه قرار دهیم ، باید اذعان نمود که : نسبت به دیگر روشها توفیق زیادی را بدست نیاورده است . قابلیت تنظیم طول موج در لیزرهای رنگی ، امکان استفاده از این روش را برای جدا سازی ایزوتوپ های مختلف یک عنصر ایجاد کرده است . جابجایی بینایی ایزوتوپ های هر عنصری از جمله اورانیوم ، اساس جداسازی در روش لیزر را تشکیل میدهد . دو نوع متفاوت جدا سازی با لیزر وجود دارد یکی جداسازی اتمی و دیگری جداسازی مولکولی . برای جداسازی در روش اتمی ، فرآیند یونش فوتونی چند مرحله ای بکار گرفته شده و در حین این مراحل ، بخار اورانیوم با لیزرهای با طول موج متفاوت یونیزه می شود و سپس اتمهای مورد نظر به روش الکترومغناطیسی جذب خواهند گردید . علت استفاده چند مرحله ای در فرآیند جداسازی اتمی ، محدودیت بازده لیزرهای رنگی قابل تنظیم می باشد . در روش جداسازی مولکولی از فرآیند های فاز گازی استفاده شده و از فاز های مایع و جامد که در آنها اثر ایزوتوپی تحت تاثیر گستردگی خطوط انرژی بیناب قرار می گیرد اجتناب گردیده است .

# فرآیند جت در غنی سازی اورانیوم

در این روش که توسط بکر ( Backer ) در آلمان توسعه یافته و به مرحله نیمه صنعتی رسید ، از روش نیروی گریز از مرکز بصورت آئرودینامیکی استفاده میشود . در این فرآیند ماده اولیه مرکب از 5% UF<sub>6</sub> و 95% هیدروژن است . قطر دایره 1/0 میلیمتر و سرعت گاز در سطح دایره 3 برابر سرعت صوت و فاکتور جدا سازی در هر مرحله 02/1 می باشد . این روش بدلیل مصرف زیاد انرژی ، مورد استفاده قرار نگرفته است . جدا سازی ایزوتوپ ها به این ترتیب صورت می گیرد که : هر دو نوع ایزوتوپ ، با سرعت زیاد از سطح دایره ای شکل عبور کرده و در قسمت انتهایی آن از هم جدا می شوند .

# روش پخش گازی در فرآیند غنی سازی اورانیوم

اگر محفظه ای را در نظر بگیریم که از گازهای یک ماده با ایزوتوپهای مختلف پر شده باشد و از نظر دما شرایط یکسانی را برای همه مولکولهای گاز ایجاد نماییم بطوریکه در تعادل با دمای محیط باشد ، لذا با توجه به بقای جرم و انرژی ، انرژی جنبشی تمام مولکولهای گاز یکسان خواهد بود . حال آنکه سرعت مولکولهای سبک و سنگین تفاوت خواهند داشت . مولکولهای سبک تر سرعت بیشتری داشته

و تعداد برخوردهای زیادتری را با جداری طرف انجام می دهند. این مسئله باعث شده تا روش دیگری جهت جداسازی ایزوتوپها کشف و مورد استفاده قرار گیرد. این فرآیند که بنام فرآیند پخش گازی مرسوم است در سال 1846 توسط گراهام کشف و معرفی گردید. شرط افزایش راندمان و جلوگیری از برخورد مولکول ها با یکدیگر که مانع از برخورد با جداره و عبور از منافذ جداره می شود، آن است که: قطر منفذ های در نظر گرفته شده در جداری طرف از مسافت آزاد متوسط بیشتر نباشد.

# روش الکترومغناطیس در فرآیند غنی سازی اورانیوم

روش الکترومغناطیس به علت آسان بودن فرآیند و نیز در دسترس بودن آن، در سالهای جنگ جهانی دوم مورد استفاده قرار گرفت. این روش براساس جدا نمودن مسیر هگزا فلئورید اورانیوم یونیزه شده در یک میدان مغناطیسی، استوار شده است. در ابتدا گاز UF6 توسط الکترودهای میدان الکتریکی سرعت می گیرد و سپس با عبور از یک میدان مغناطیسی بسیار قوی که عمود بر صفحه وجود دارد، مولکولهای 235 که سبکتر از 238 هستند مسیر دایره ای کوچک تری را طی خواهند نمود و بدین صورت مولکولهای حاوی 235 و 238 در قسمتهای جداگانه ای از یکدیگر جمع آوری خواهند گردید. این روش به دلیل کم بودن بازده و هزینه زیاد مقرون به صرفه نبوده و در کاربردهای پزشکی و کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند.

## مقدمه ای بر فرآیند های موجود در غنی سازی اورانیوم

فرآیندهای موجود و معروف در غنی سازی اورانیوم شامل:

- الکترومغناطیس
- پخش گازی
- شیمیایی
- فتوشیمیایی
- و سانتریفوژ می باشد.

هر کشوری بنا به موقعیت خود از لحاظ تکنولوژی و صنعت مربوطه و دست یابی به امکانات لازم، روش خاص خود را برگزیده است، لذا برآورد اقتصادی و مقایسه روشهای مختلف کمی دشوار به نظر می رسد. در ابتدای این قسمت به تعریف دو اصطلاح متداول در روش غنی سازی می پردازیم سپس توضیحاتی در مورد فرآیندهای مختلف آورده خواهد شد:

• **آبشار (Cascade) :** در اغلب فرآیندها در هر مرحله از جداسازی تفاوت بسیار ناچیزی در ترکیب درصد ایزوتوپ در محصول بدست می آید . لذا بدیهی است جهت اصول نتیجه مناسب و دلخواه باید مراحل زیادی بصورت سری که آبشار نامیده می شود صورت گیرد . حتی این مراحل برای غنای کم مثل 4 درصد در فرآیند پخش گازی 1200 مرحله را شامل می شود .

شکل ( 2-2 ) - نمایی از یک فرآیند آبشار

• **آبشار ایده آل :** در کارخانجات غنی سازی اورانیوم ، معمولا از جریان مخالف برای فرآیند استفاده می شود . بدین صورت که پسماند هر مرحله به مرحله پایین تر انتقال داده می شود . این روش باعث افزایش بازده و هزینه کمتر جداسازی خواهد گردید . چنانچه تولید هر مرحله به مرحله بعدی و پسماند به مرحله قبلی منتقل شود یک آبشار با جهت مخالف قرینه نام دارد . حال آنکه اگر محصول هر مرحله به چند مرحله بعدی و پسماند به چند مرحله قبلی انتقال یابد ، این آبشار را پرشی می نامند . در آبشار ایده آل مواد با درصد مختلف با یکدیگر مخلوط نخواهند شد و چون عملا این کار ممکن نیست ، لذا آبشار ایده آل به مفهوم واقعی خود وجود نخواهد داشت .

برگرفته از کتاب : ( بررسی تولید و انتشار سم HF در فرآیند غنی سازی اورانیوم )

## مقدمه ای بر فرآیند غنی سازی اورانیوم

غنی سازی اورانیوم یک فرآیند اصلاحی برای ایزوتوپهای اورانیوم از یکدیگر می باشد . . .

اورانیوم طبیعی دارای سه نوع ایزوتوپ به نامهای اورانیوم 234 و اورانیوم 235 و در نهایت اورانیوم 238 است ، که به ترتیب دارای 0058/0 و 0/ 711 و نیز 99 /28 درصد وزنی میباشد . اورانیوم 235 برخلاف اورانیوم 238 شکافت پذیر بوده و می تواند در واکنش زنجیره ای هسته ای بکار گرفته شود .

واحدهای هسته ای قدرت که با آب سبک کار می کنند معمولا با 2 تا 5 درصد اورانیوم 235 مشغول به بهره برداری می باشند . در یک راکتور معمولا 3 غنای مقاومت برای یکسان نمودن شار نوترون و نیز تولید حرارت و انرژی یکنواخت ، بطور همزمان استفاده خواهد گردید . بطوریکه در هنگام سوخت گذاری در حین کارکرد راکتور ، سوخت با غنای بیشتر در طرف بیرونی مجموعه های سوخت قلب راکتور قرار می گیرد و پس از حدود 12 تا 18 ماه ، سوخت گیری بعدی انجام شده و با قرار دادن اورانیوم تازه مجموعه مصرف شده را از مرکز قلب راکتور خارج نموده و سوخت جدید از محیط بیرونی به وسط و سوخت با غنای متوسط جای سوخت با غنای کمتر را اشغال خواهد نمود .

بهرحال قبل از استفاده سوخت در راکتور ، اورانیوم مربوطه باید با فرآیند غنی سازی اصلاح شود . فرآیند افزایش درصد ایزوتوپ

235 در محصول را غنی سازی اورانیوم می نامند . تاریخ غنی سازی از جنگ جهانی دوم آغاز می شود و در آن زمان از اورانیوم غنی شده بیش از 90 % برای ساخت سلاح اتمی استفاده می گردید . فرآیندهای مختلفی جهت غنی سازی بکار می رود که در اینجا مختصراً هر کدام توضیح داده خواهد شد و از آنجائیکه روش سانتریفوژ مبحث اصلی این کتاب است ، لذا در مورد این روش توضیحات جامع تری ارائه خواهد گردید .

( برگرفته از کتاب : ( بررسی تولید و انتشار سم HF در فرآیند غنی سازی اورانیوم )

# انحلال و استخراج سنگ معدن اورانیوم

برای این منظور ، کنسانتره U3O8 ابتدا در اسید نیتریک حل شده و بدین ترتیب محلول آبی نترات اورانیل بدست می آید . این محلول ناخالص بوده و ( UNH ) نامیده می شود . . .

برای خالص سازی ، بعد از تنظیم غلظت و اسیدیته محلول بدست آمده ، آنرا در حلال آبی 30% نرمال تری بوتیل فسفات ، در کرویزین قرار می دهند . در این هنگام پس از تماس یافتن دو محلول فوق با یکدیگر ، اورانیوم موجود از فاز آبی نترات اورانیل جدا شده و به فاز آلی منتقل می گردد .

با انجام این جابجایی ناخالصی های محلول در فاز آبی باقی خواهند ماند . برای خالص سازی بیشتر و اطمینان از اینکه کلیه ناخالصی ها در فاز آبی حل شود و در فاز آلی اثری از آن باقی نماند ، لذا در مرحله بعدی مقداری اسید نیتریک و آب به محلول آبی اضافه می شود تا باقیمانده ناخالصی از آن جدا شده و به فاز آبی محلول آب و اسید نیتریک انتقال پیدا نماید .

پس از اینکه اورانیوم از ناخالصی های خود جدا شد ، می بایست برای استخراج به فاز آبی برگشت داده شود . این کار با افزایش آب مقطر به محلول فوق و در نتیجه رقیق شدن و کم شدن غلظت یون نترات صورت خواهد گرفت و در این هنگام اورانیوم از فاز آبی جدا و به فاز آبی هدایت می شود . آنگاه محلول نترات اورانیل خالص بوسیله تبخیر کننده ها تا غلظت مورد نیاز غلیظ خواهد گردید . روابط زیر ارتباط بین این مراحل و واکنشهای انجام گرفته را نشان می دهد :

( 1-2 )

(2) TBP در فرمول فوق ، TBP مخفف تری بوتیل فسفات است و همانگونه که مشخص شده است در مرحله اول بدلیل زیاد بودن غلظت نترات در محلول ، واکنش به سمت راست هدایت می شود و پس از اضافه شدن آب مقطر به محلول ، واکنش به سمت چپ برگشت پیدا می نماید .

جهت بازیابی حلال و نیز بازیابی اورانیوم باقی مانده باید حلال آبی موجود در تماس با محلول کربنات سدیم قرار گیرد تا کربنات با نترات اورانیل تشکیل یک کمپلکس داده و فاز حلال آبی خالص جهت استفاده به سیستم بازگشت پیدا نماید :

( 2-2 )

پس از حل شدن اورانیوم در فاز آبی ، می باید این محلول جهت رسوب گیری به کمک آمونیاک و یا مخلوطی از گاز آمونیاک و گاز کربنیک مهیا شود در مورد رسوب گیری AUC واکنش بصورت ذیل انجام می گیرد :

( 3-2 )

رسوب AUC بصورت بلورهای منفرد زرد رنگ بوده و در هنگام عملیات رسوب گیری با هم زدن محلول باعث بوجود آمدن ذراتی بدون گوشه و زاویه و بصورت مدور می شود . اگر این عمل مدور شدن به درستی صورت پذیرد ، بدون اینکه نیازی به خرد کردن و گرانولاسیون باشد ، پودر حاصله مستقیماً می تواند جهت پرس شدن مورد استفاده قرار بگیرد . رسوب تشکیل شده باید توسط پمپ به داخل فیلتر خلاء هدایت شود و برای جداسازی آن از فیلتر ، رسوب تشکیل شده را با کمک محلول کربنات آمونیوم و الکل متیلیک شستشو می دهند و چون این پودر بصورت مدور بوده و قابلیت جذب و چسبندگی کمی با دیواره ها دارد ، لذا انتقال آن براحتی صورت خواهد گرفت . پس از جداسازی رسوب از فیلتر ، آنرا تا مرحله تجزیه تحت تاثیر حرارت قرار می دهند .

مواد تولید شده در اثر تجزیه بستگی به دمای فرآیند دارد بطوریکه در درجه حرارت 250 تا 300 درجه سانتیگراد ماده حاصل شده UO3 بوده و در دماهای بالاتر حدود 500 °C ، محصول ایجاد شده U3O8 می باشد . این محصولات بدست آمده را به راکتورهای بستر سیال و یا کوره دوار انتقال داده و در فشار اتمسفر تحت تاثیر احیاء کننده هیدروژن در دمای 500 تا 1700 درجه سانتیگراد احیاء نموده و ماده اصلی مورد نظر یعنی UO2 را تولید خواهند نمود . این واکنش گرمازا بوده و کاهش حجمی معادل 35% ماده جامد را موجب خواهد گردید . شکل ( 1-2 )- مراحل تبدیل U3O8 به UO2 از طریق فرآیند AUC برای بهینه سازی عمل خالص کردن پودر ، می توان بخار آب را از روی پودر مورد نظر و در حین عمل احیاء عبور داد . در نتیجه این عمل گازهای ناشی از واکنش ، از درون پودر

به طرف سطح بیرونی انتقال یافته و باعث ایجاد خلل و فرجی در پودرها خواهند شد و این خلل و فرج خود عامل افزایش سطح تماس با بخار آب شده و خالص سازی بهتری را موجب می گردد .  
علاوه بر آن ، عمل هیدرولیز باعث می شود تا فلئور موجود در پودر ، خارج شده و مقدار آن به 20 تا 60 ppm کاهش یابد . تجزیه حرارتی AUC و احیاء اورانیوم شش ظرفیتی به اورانیوم چهار ظرفیتی ، برطبق واکنش آورده شده در زیر صورت می پذیرد : ( 2-4 )  
پودر تولید شده در مرحله قبل ، با قرار گرفتن در معرض هوا ، اکسید شده و نسبت O/U در آن از حد مجاز بالاتر می رود .  
از اینرو برای غیر فعال کردن پودر ، آنرا به آهستگی و تا رسیدن به دی اکسید UO<sub>2</sub>/10 اکسید می نمایند . پایدار کردن پودر در راکتور بستر سیال و در فشار 10% هوا و 90% ازت و در دمای 80 °C به مدت 15 دقیقه انجام می گیرد .

برگرفته از کتاب : ( بررسی تولید و انتشار سم HF در فرآیند غنی سازی اورانیوم )

# تهیه پودر دی اکسید اورانیوم UO<sub>2</sub>

همانند سایر فلزات و موادی که از معادن استخراج می شوند ، معادن اورانیوم نیز که همیشه در ترکیب با اکسیژن در طبیعت وجود دارد و بصورت پراکنده در اقلشار مختلف زمین یافت می شود ، باید کشف گردند . . .

اکتشاف معادن اورانیوم بدلیل اینکه این ماده دارای خصوصیت رادیواکتیویته می باشد می تواند توسط اندازه گیری تابش صورت پذیرد . بدین صورت که بوسیله هواپیما و یا هر وسیله دیگری و با کمک وسایل اندازه گیری تابشی از قبیل آشکارسازهای گایگرمولر و شمارشگرهای سنتیلاسیون و یا غلظت رادن 222 در هوای محل هایی که دارای فعالیت رادیواکتیوی زیادتری نسبت به سایر مناطق هستند مورد شناسایی قرار می گیرند . پس از کشف این مناطق ، عملیات اکتشاف با دقت بیشتر و توسط عملیات بر روی منطقه مورد بحث تکمیل خواهد شد .

اورانیوم در طبیعت بصورت ترکیبات مختلفی وجود دارد که ممکن است تعداد این ترکیبات به بیش از 100 نوع برسد . یکی از مهمترین اشکال طبیعی اورانیوم U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> می باشد که چنانچه غلظت آن ppm1000 باشد باید معدن مربوطه را دارای کانی های خوب اورانیوم نام برد و این غلظت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود . البته در مورد غلظتهای کمتر نیز باید با توجه به قیمت جهانی اورانیوم مطالعات اقتصادی بیشتری صورت پذیرد .

پس از اکتشاف معادن اورانیوم ، باید عملیات استخراج صورت گیرد و در این میان اهمیت وجود گاز رادن مهمترین مشکلی است که در برخی معادن بخصوص معدنی که در زیر زمین قرار دارند سلامت کارگران را به خطر خواهد انداخت . گاز رادن بخودی خود نمی تواند برای انسان خطر ساز باشد اما پس از واپاشی دخترهایی تولید می کند که از میان آنها 214Po و 210Po مهمترین مواد حاصله است و می تواند به ریه انسان صدمه جدی را وارد نماید . در هر حال حد آستانه وجود گاز رادن در معادن باید با تهویه مناسب و مکش هوای آلوده به آن ، تحت کنترل درآید .

روشهای مختلفی برای استخراج سنگ معدن اورانیوم وجود دارد از جمله روش استخراج بصورت مایع است . اما در هر روشی باید یک نکته را در نظر داشت و آنهم اینکه پس از خاتمه بهره برداری از معادن اورانیوم ، باید ایمنی محل معدن از نظر امکان نشست مواد رادیواکتیو به محیط بیرون مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد . از آنجایی که درصد اورانیوم در معدن مربوطه بسیار پایین می باشد لذا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست که سنگهای معدن اورانیوم جهت تغلیط و جداسازی اورانیوم از آنها به کارخانه ای حمل شود که فاصله زیادی با معدن آن دارد . لذا بهترین حالت ، تهیه U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> که به کیک زرد نیز معروف است در نزدیکی محل معدن می باشد .

برای تهیه کیک زرد باید سنگ معدن ، آماده عملیات فرآوری باشد لذا در ابتدا پس از شستشو عملیات مکانیکی از قبیل خرد کردن و سائیدن ، انجام می پذیرد و پس از فرآیند مکانیکی ریز کردن سنگ معدن حتی با سایش مرطوب و حصول اندازه 044/0 mm در هر دانه سنگ اورانیوم ، آنرا در یک حلال مناسب از نوع اسیدی و یا بازی حل می کنند . اگر سنگ معدن اورانیوم حاوی ترکیبات سیلیس باشد ، در اسید سولفوریک و اگر حاوی ترکیباتی همچون کربنات کلسیم باشند در محلول بازی از کربنات و یا بی کربنات سدیم محلول خواهند شد .

با افزودن اسید سولفوریک به سنگ معدن ، محلول اورانیل سولفات یا UO<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> و با افزودن باز به این سنگ معدن ، ناتریوم اورانیل کربنات از سنگ معدن جدا خواهد گردید . انتخاب دما و سایر شرایط انحلال نیز بستگی به نوع سنگ معدن داشته و ممکن است در فشار 10-12 اتمسفر و حتی دمای 150°C صورت پذیرد . پس از انحلال سنگ معدن اورانیوم در اسید و یا باز ، می باید اورانیوم حل شده در آنرا با ته نشینی و ایجاد رسوب جدا سازی نمود . برای این منظور می توان با استفاده از حوضچه های ته نشینی و نیز فیلتراسیون ، جریان سطحی حاوی سولفات اورانیل را از محلول جدا نموده و ضمن کنترل اسیدیته محلول تا حدود عدد 1 ، آنرا پس از



فیلتر نمودن به واحد جداسازی با حلال انتقال داد .

استخراج اورانیوم از اورانیل سولفات توسط روش تبادل یونی و یا با استفاده از یک حلال مناسب صورت می گیرد . در روش استخراج با حلال با استفاده از رقیق کننده آمین ، اورانیوم جدا می شود که با توجه به غلظت کم اورانیوم در محلول حاصل شده ، وجود تجهیزات زیاد برای این منظور یک مشکل جدی را ایجاد خواهد نمود . البته باید در نظر داشت که برای جداسازی در محلولهای بازی نمی توان از استخراج با حلال استفاده کرد لذا برای آن دسته از محلولها ، صرفا روش تبادل یونی مورد نیاز خواهد بود .

روش تبادل یونی شامل دو نوع : بستر ثابت و یا بستر سیال است .

در این روش برای کم کردن میزان مواد معلق در محلول ، از فیلتر استفاده می شود بطوریکه حداکثر غلظت جامد باقی مانده به 1% در محلول برسد . روش رزین در خمیر نیز علاوه بر دو روش فوق ، امروزه بکار گرفته می شود با این مزیت که در این روش نیازی به فیلتر کردن محلول حاوی اورانیوم وجود ندارد . پس از استخراج اورانیوم ، با افزودن موادی همچون اکسید سزیم ، بی کربنات سدیم و یا آمونیاک به محلول غلیظ شده ، می توان اورانیوم را بصورت اورانات سزیم ، اورانات سدیم و یا اورانات آمونیوم رسوب داد .

همچنین از موادی مثل : هیدروکسید آمونیوم ، هیدروکسید سدیم و یا پراکسید هیدروژن هم می توان برای رسوب دادن استفاده نمود . رسوب بدست آمده می تواند توسط عبور از فیلتر و یا عمل سانتریفوژ ، آب زدایی شود تا محصول نهایی با حدود 50 درصد رطوبت بدست آمده و در نهایت خشک سازی شود . دی اورانات خشک شده ، پس از شستشو با اسید رقیق و یا آب و عبور از فیلتر مجددا خشک شده و در اثر حرارت و تجزیه شدن ، تولید U308 می نماید و چنانچه مخلوط مذکور حداقل 65% وزنی اورانیوم داشته باشد یک زرد نامیده می شود .

یک زرد حاصل شده ، باید از نظر ترکیبات ایزوتوپی همانند اورانیوم طبیعی باشد و مقادیر اورانیوم نامحلول در اسید نیتریک نباید از 1/0 درصد وزنی اورانیوم تجاوز کند . مواد ارگانیکی باقی مانده نیز قبل از خشک کردن باید کمتر از 1/0 درصد وزنی نمونه بوده و ذرات مخلوط باید بتواند براحتی از الکی با اندازه قطر 35/6 میلی متر عبور نماید . در صورتیکه هدف ، بکارگیری اکسید اورانیوم طبیعی در راکتورهای قدرت و یا غیره باشد ، در اینصورت مخلوط یک زرد پس از طی عملیات متفاوتی به U02 و در غیر اینصورت پس از تبدیل به گاز UF6 جهت غنی سازی ، عملیات مربوطه بر روی آن صورت خواهد پذیرفت .

در نهایت سوخت مورد استفاده در راکتورها U02 خواهد بود . چه در حالت غنی شده و چه در حالت طبیعی .