انرژی هسته ای چیست؟

استخراج اورانیوم از معدن

اورانیوم که ماده خام اصلی مورد نیاز برای تولید انرژی در برنامه های صلح آمیز یا نظامی هسته ای است، از طریق استخراج از معادن زیرزمینی یا سر باز بدست می آید. اگر چه این عنصر بطور طبیعی در سرتاسر جهان یافت می شود تنها حجم کوچکی از آن بصورت متراکم در معادن موجود است.

اورانیوم چیست؟

یکی از چگالترین فلزات رادیو اکتیو است که در طبیعت یافت می شود. این فلز در بسیاری از قسمتهای دنیا در صخره ها، خاک و حتی اعماق دریا و اقیانوس ها وجود دارد. اگر بخواهید از میزان موجودیت آن ایده ای بدست آورید باید بگوییم که میزان وجود و پراکندگی آن از طلا، نقر یا جیوه بسیار بیشتر است.

اورانیوم در طبیعت بصورت اکسید و یا نمک های مخلوط در مواد معدنی (مانند اورانیت یا کارونیت) یافت می شود. این نوع مواد اغلب از فوران آتشفشانها بوجود می آیند و نسبت وجود آنها در زمین چیزی معادل دو در میلیون نسبت به سایر سنگها و مواد کانی است. این فلز به رنگ سفید نقره ای است و کمی نرم تر از استیل بوده و تقریباً قابل انعطاف است. اورانیوم در سال ۱۷۸۹ توسط مارتین کلاپورت (Martin Klaproth) شیمی دان آلمانی از نوعی اورانیت بنام Pitchblende کشف شد. وجه تسمیه این فلز به کشف سیاره اورانوس بازمی گردد که هشت سال قبل از آن، ستاره شناسان آن را کشف کرده بودند. اورانیوم یکی از اصلی ترین منابع گرمایشی در مرکز زمین است و بیش از ۴۰ سال است که بشر برای تولید انرژی از آن استفاده می کند. دانشمندان معتقد هستند که اورانیوم بیش از ۶.۶ بیلیون سال پیش در اثر انفجار یک ستاره بزرگ بوجود آمده و در منظومه شمسی پراکنده شده است. برای درک بهتر از توانایی اورانیوم در تولید انرژی لازم است نگاهی به ساختمان اتمی این فلز داشته باشیم.

اورانیوم را بهتر بشناسیم

اورانیوم را درواقع می توان سنگین ترین (به بیان دقیقتر چگالترین) عنصر در طبیعت نامید. شاید بد نباشد بدانید که در این میان هیدروژن سبک ترین عناصر طبیعت است. اورانیوم خالص حدود ۱۸.۷ بار از آب چگالتر است و همانند بسیاری از دیگر مواد رادیو اکتیو در طبیعت بصورت ایزوتوپ یافت می شود. بطور ساده ایزوتوپ حالت خاصی از حضور یک عنصر در طبیعت است که در هسته آن به تعداد مساوی - با عنصر اصلی - پروتون وجود دارد اما تعداد نوترون های آن متفاوت است. بنابراین طبق این تعریف ساده می توان دریافت که ایزوتوپ های یک عنصر عدد اتمی مشابه خود عنصر را خواهند داشت اما وزن اتمی متفاوتی دارند. اورانیوم شانزده ایزوتوپ دارد که هریک از آنها دارای وزن اتمی خاصی هستند. حدود ۹۹.۳ درصد از اورانیومی که در طبیعت یافت می شود ایزوتوپ ۲۳۸ (U-238) است و حدود ۰.۷ درصد ایزوتوپ ۲۳۵ (U-235)، که هر دو دارای تعداد پروتون یکسانی بوده و تنها تفاوتشان در سه نوترون اضافه ای است که در هسته ۲۳۸U وجود دارد. اعداد ۲۳۵ و ۲۳۸ بیانگر مجموع تعداد پروتونها و نوترونها در هسته هر کدام از این دو

ایزوتوپ است. سایر ایزوتوپ ها بسیار نادر هستند. در این میان ایزوتوپ ۲۳۵ برای بدست آوردن انرژی از نوع ۲۳۸ آن بسیار مهمتر است چرا که U-235 (با فراوانی تنها ۰.۷ درصد) آمادگی آن را دارد که تحت شرایط خاص شکافته شده و مقادیر زیادی انرژی آزاد کند. به این ایزوتوپ Fissil Uranium، به معنای اورانیوم شکافتنی هم گفته می شود و برای این عملیات از اصطلاح شکافت هسته ای یا Nuclear Fission استفاده می شود. اورانیوم نیز همانند سایر مواد رادیواکتیو دچار پوسیدگی و زوال می شود. مواد رادیو اکتیو دارای این خاصیت هستند که از خود بطور دائم ذرات آلفا و بتا و یا اشعه گاما منتشر می کنند. U-238 با سرعت بسیار کمی فسیل می شود و نیمه عمر آن چیزی در حدود ۴,۵۰۰ میلون سال (تقریباً معادل عمر زمین) است. این موضوع به این معنی است که با فسیل شدن اورانیوم با همین سرعت کم انرژی معادل ۰.۱ وات برای هر یک تن اورانیوم تولید می شود و این برای گرم نگاه داشتن هسته زمین کافی است.

نگاهی به شکاف هسته ای اورانیوم

هنگامی که هسته اتم اورانیوم در یک واکنش زنجیره ای شکافته شود مقداری انرژی آزاد خواهد شد.

گفتیم کهU-235قابلیت شکاف هسته ای دارد. این نوع از اتم اورانیوم دارای ۹۲ پروتون و ۱۴۳ نوترون است (بنابراین جمعاً ۲۳۵ ذره در هسته خود دارد و به همین دلیل U-235 نامیده می شود)، کافی است یک نوترون دریافت کند تا بتواند به دو اتم دیگر تبدیل شود. برای شکافت هسته اتم اورانیوم، یک نوترون به هسته آن شلیک می شود و در نتیجه این فرایند، اتم مذکور به دو اتم کوچکتر تجزیه شده و تعدادی نوترون جدید نیز آزاد می شود که هرکدام به نوبه خود میتوانند هسته های جدیدی را در یک فرایند زنجیره ای تجزیه کنند.

در این حالت یک اتم U-235 به دو اتم دیگر تقسیم می شود و دو ، سه و یا بیشتر نوترون آزاد می شود. نوترون های آزاد شده خود با اتم های دیگر U-235 ترکیب می شوند و آنها را

تقسیم کرده و به همین منوال یک واکنش زنجیره ای از تقسیم اتم های U-235 تشکیل می شود. مجموع جرم اتمهای کوچکتری که از تجزیه اتم اورانیوم بدست می آید از کل جرم اولیه این اتم کمتر است و این بدان معناست که مقداری از جرم اولیه که ظاهرا ناپدید شده در واقع به انرژی تبدیل شده است، و این انرژی با استفاده از رابطه E=MC۲ یعنی رابطه جرم و انرژی که آلبرت اینشتین نخستین بار آنرا کشف کرد قابل محاسبه است.

برای بدست آوردن بالاترین بازدهی در فرایند زنجیره ای شکافت هسته باید از اورانیوم ۲۳۵ استفاده کرد که هسته آن به سادگی شکافته میشود. هنگامی که این نوع اورانیوم به اتمهای کوچکتر تجزیه میشود علاوه بر آزاد شدن مقداری انرژی حرارتی دو یا سه نوترون جدید نیز رها میشود که در صورت برخورد با اتمهای جدید اورانیوم بازهم انرژی حرارتی بیشتر و نوترونهای جدید آزاد میشود.

اما بدلیل "نیمه عمر" کوتاه اورانیوم ۲۳۵ و فروپاشی سریع آن، این ایزوتوپ در طبیعت بسیار نادر است بطوری که از هر

۱۰۰۰ اتم اورانیوم موجود در طبیعت تنها هفت اتم از نوع ^{235}U بوده و مابقی از نوع سنگینتر ^{238}U است.

فراوری

سنگ معدن اورانیوم بعد از استخراج، در آسیابهائی خرد و به گردی نرم تبدیل میشود. گرد بدست آمده سپس در یک فرایند شیمیائی به ماده جامد زرد رنگی تبدیل میشود که به کیک زرد موسوم است. کیک زرد دارای خاصیت رادیو اکتیویته است و ۶۰ تا ۷۰ درصد آنرا اورانیوم تشکیل میدهد.

دانشمندان هسته ای برای دست یابی هرچه بیشتر به ایزوتوپ نادر ^{235}U که در تولید انرژی هسته ای نقشی کلیدی دارد، از روشی موسوم به غنی سازی استفاده می کنند. برای این کار، دانشمندان ابتدا کیک زرد را طی فرایندی شیمیائی به ماده جامدی به نام هگزافلوئورید اورانیوم تبدیل میکنند که بعد از حرارت داده شدن در دمای حدود ۶۴ درجه سانتیگراد به گاز تبدیل میشود.

هگزافلوئورید اورانیوم که در صنعت با نام ساده هگز شناخته میشود ماده شیمیائی خورنده ایست که باید آنرا با احتیاط

نگهداری و جابجا کرد. به همین دلیل پمپها و لوله هائی که برای انتقال این گاز در تاسیسات فراوری اورانیوم بکار میروند باید از آلومینیوم و آلیاژهای نیکل ساخته شوند. همچنین به منظور پیشگیری از هرگونه واکنش شیمیایی برگشت ناپذیر باید این گاز را دور از معرض روغن و مواد چرب کننده دیگر نگهداری کرد.

کیک زرد چیست؟

کیک زرد یاYellowcake که بنام اورانیا (Urania) هم شناخته می شود در واقع خاک معدنی اورانیوم است که پس از طی مراحل تصفیه و پردازشهای لازم از سنگ معدنی آن تهیه می شود. تهیه این ماده به منزله رسیدن به بخش میانی از مراحل مختلف تصفیه سنگ معدن اورانیوم است و باید توجه داشت که فاصله بسیار زیادی برای استفاده در یک بمب اتمی دارد. روش تهیه کیک زرد کاملآ به نوع سنگ معدن بدست آمده بستگی دارد، اما بطور معمول از طریق آسیاب کردن و انجام پردازش های شیمایی بر روی سنگ معدن اورانیوم،

پودر زبر و زرد رنگی بدست می آید که قابلیت حل شدن در آب را ندارد و حدود ۸۰٪ غلظت اکسید اورانیوم آن خواهد بود. این پودر در دمایی معادل ۲۸۷۸ درجه سانتیگراد ذوب می شود.

روش تهیه

در ابتدا سنگ معدن توسط دستگاههای مخصوصی خرد شده آسیاب می شود و پس از آن برای جدا سازی اورانیم و بالا بردن خلوص خاک سنگ، آنرا در حمامی از اسید سولفوریک، آلکالاین و یا پراکسید می خوابانند، این عمل برای بدست آوردن اورانیوم خالص تر صورت می گیرد. پس از این محصول بدست آمده را خشک و فیلتر می کنند و نتیجه آن چیزی خواهد شد که به کیک زرد معروف است. امروزه روشهای جدیدی برای تهیه این پودر اورانیوم وجود دارد که محصول آنها بیشتر از آنکه زرد باشد به قهوه ای و سیاه نزدیک است، در واقع رنگ ماده بدست آمده به میزان وجود ناخالصی ها در این پودر دارد. نهادن این نام بر روی این محصول به گذشته بر می گردد که کیفیت روشهای خالص سازی سنگ معدن مناسب نبود و ماده بدست آمده زرد رنگ بود.

مواد تشکیل دهنده کیک زرد

قسمت بیشتر کیک زرد (معادل ۷۰-۹۰ درصد وزنی) شامل اکسید های اورانیوم با فرمول شیمیایی U۸ O3 - و یا سایر اکسید ها - است، و مابقی آن از دیگر موادی تشکیل شده است که مهمترین آنها عبارتند از : - هیدراکسید اورانیوم که در صنایع ساخت شیشه و سرامیک از آن استفاده می شود. این ماده تشعشع رادیو اکتیو دارد و باید تحت شرایط خاصی نگهداری و حمل شود. - سولفات اورانیوم که ماده ای بی بود با رنگ زرد لیمویی است.

- اکسید اورانیوم زرد (یا اورانیت سدیم) که ماده ای با رنگ زرد - نارنجی است. - پراکسید اورانیوم با رنگ زرد کم رنگ. یکی از کاربردهای کیک زرد تهیه هگزا فلورایید اورانیوم است. این گاز در حالت عادی حدود ۰.۷ درصد شامل ایزوتوپ ۲۳۵ است و مابقی آن ایزوتوپ ۲۳۸ است. در مرحله غنی سازی درصد U-235 به حدود ۳.۵ یا حتی بیشتر افزایش داده می شود.

کاربرد ها

کیک زرد عموماً برای تهیه سوخت رآکتورهای هسته ای بکار برده می شود، در واقع این ماده است که پس از انجام پردازشهایی به UO ۲ تبدیل شده برای استفاده در میله های سوختی بکار برده می شود.

این ماده همچنین میتواند برای غنی سازی تبدیل به گاز هگزا فلوراید اورانیوم یا UF۶ تبدیل شود، چرا که در این صورت می تواند چگالی ایزوتوپهای اورانیوم ۲۳۵ را در آن افزایش داد. در هر صورت کیک زرد در اغلب کشورهایی که معادن طبیعی اورانیوم دارند تهیه می شود و تولید این ماده مشکل خاصی ندارد و بطور متوسط سالانه ۶۴ هزار تن از این ماده در جهان تولید می شود.

کانادا یکی از تولید کنندگان این ماده است، این کشور دارای معادنی است که خلوص سنگ اورانیوم آنها به ۲۰٪ هم می رسد، در آسیا نیز کشوری مانند قزاقستان دارای صنایع بزرگ تولید این پودر است. قیمت این پودر در بازارهای بین المللی چیزی حدود ۲۵ دلار برای هر کیلو است.

غنی سازی

هدف از غنی سازی تولید اورانیومی است که دارای درصد بالایی از ایزوتوپ ۲۳۵ U باشد. اورانیوم مورد استفاده در راکتورهای اتمی باید به حدی غنی شود که حاوی ۲ تا ۳ درصد اورانیوم ۲۳۵ باشد، در حالی که اورانیومی که در ساخت بمب اتمی بکار میرود حداقل باید حاوی ۹۰ درصد اورانیوم ۲۳۵ باشد. یکی از روشهای معمول غنی سازی استفاده از دستگاههای سانتریفوژ گاز است. سانتریفوژ از اتاقکی سیلندری شکل تشکیل شده که با سرعت بسیار زیاد حول محور خود می چرخد. هنگامی که گاز هگزا فلوئورید اورانیوم به داخل این سیلندر دمیده شود نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش آن باعث میشود که مولکولهای سبکتری که حاوی اورانیوم ۲۳۵ است در مرکز سیلندر متمرکز شوند و مولکولهای سنگینتری که حاوی اورانیوم ۲۳۸ هستند در پایین سیلندر انباشته شوند. (شکل ۳) اورانیوم ۲۳۵ غنی شده ای که از این طریق بدست می آید سپس به داخل

سانتریفوژ دیگری دمیده میشود تا درجه خلوص آن باز هم بالاتر رود. این عمل بارها و بارها توسط سانتریفوژهای متعددی که بطور سری به یکدیگر متصل میشوند تکرار میشود تا جایی که اورانیوم ۲۳۵ با درصد خلوص مورد نیاز بدست آید.

آنچه که پس از جدا سازی اورانیوم ۲۳۵ باقی میماند به نام اورانیوم خالی یا فقیر شده شناخته میشود که اساساً از اورانیوم ۲۳۸ تشکیل یافته است. اورانیوم خالی فلز بسیار سنگینی است که اندکی خاصیت رادیو اکتیویته دارد و از آن برای ساخت گلوله های توپ ضد زره پوش و اجزای برخی جنگ افزار های دیگر از جمله منعکس کننده نوترونی در بمب اتمی استفاده می شود. یک شیوه دیگر غنی سازی روشی موسوم به دیفیوژن یا روش انتشاری است. دراین روش گاز هگزافلوئورید اورانیوم به داخل ستونهایی که جدار آنها از اجسام متخلخل تشکیل شده دمیده میشود. سوراخهای موجود در جسم متخلخل باید قدری از قطر مولکول هگزافلوئورید اورانیوم بزرگتر باشد. در نتیجه این کار مولکولهای سبکتر حاوی اورانیوم ۲۳۵ با سرعت بیشتری در این ستونها منتشر شده و تفکیک میشوند. این روش غنی سازی نیز باید مانند

روش سانتریفوژ بارها و باره تکرار شود. سانتریفیوژ هایی که برای غنی سازی اورانیوم استفاده می شود حالت خاصی دارند که برای گاز تهیه شده اند که به آنها Hyper-Centrifuge گفته می شود. پیش از آنکه دانشمندان از این روش برای غنی سازی اورانیوم استفاده کنند از تکنولوژی خاصی بنام Gaseous Diffusion به معنی پخش و توزیع گازی استفاده می کردند.

Diffusion Gaseou

در روش Gaseous Diffusion، گاز هگزافلوراید اورانیوم (UF۶) را با سرعت از صفحات خاصی که حالت فیلتر دارند عبور داده می شود و طی آن این صفحات می توانند به دلیل داشتن منافذ و خلل و فرج زیاد تا حدی می توانند اوانیوم ۲۳۵ را از ۲۳۸ جدا کنند. در این روش با تکرار استفاده از این صفحات فیلتر مانند، بصورت آبشاری (Cascade)، میزان اورانیوم ۲۳۵ را به مقدار دلخواه بالا می بردند. این روش اولین راهکارهای صنعتی برای غنی سازی اورانیوم بود که کابرد عملی پیدا کرد. Gaseous Diffusio از جمله تکنولوژی هایی بود که ایالات متحده طی جنگ جهانی دوم در

پـــروژه ای بنـــام منهـــتن (Manhattan) بـــرای ســـاخت بمـــب هســـته ای، با کمک انگلیس و کانادا به آن دست پیدا کرد.

Hyper-Centrifuge

امـــا در روش اســـتفاده از ســـانتریفیوژ بـــرای غنـــی ســـازی اورانیـــوم، تعـــداد بســـیار زیـــادی از ایـــن دســـتگاهها بصـــورت ســـری و مـــوازی بکـــار مـــی برنـــد تـــا بـــا کمـــک آن بتواننـــد غلظـــت اورانیـــوم ۲۳۵ را افـــزایش دهنـــد. گـــاز هگزافلورایـــد اورانیـــوم (UF۶) در داخـــل ســـیلندرهای ســـانتریفیوژ تزریـــق مـــی شـــود و بـــا ســـرعت زیـــاد بـــه گـــردش در آورده مـــی گـــردد. گـــردش ســـریع ســـیلندر، نیـــروی گریـــز از مرکـــز بســـیار قـــوی ای تولیـــد مـــی کنـــد و طـــی آن مولکولهـــای ســـنگین تـــر (آنهـــایی کـــه شـــامل ایزوتـــوپ اورانیـــوم ۲۳۸ هســـتند) از مرکـــز محـــور گـــردش دور تـــر مـــی گردنـــد و بـــرعکس آنهـــا کـــه مولکـــول هـــای ســـبک تـــری دارنـــد (حـــاوی ایزوتـــوپ اورانیـــوم ۲۳۵) بیشـــتر حـــول محـــور ســـانتریفیوژ قـــرار مـــی گیرنـــد. در ایـــن هنگـــام بـــا اســـتفاده از روشـــهای خـــاص گـــازی کـــه حـــول محـــور جمـــع شـــده اســـت جمـــع آوری شـــده بـــه مرحلـــه دیگـــر یعنـــی دســـتگاه ســـانتریفیوژ بعـــدی هـــدایت مـــی گـــردد. میـــزان گـــاز هگزافلورایـــد اورانیـــوم شـــامل اورانیـــوم ۲۳۵ ای کـــه در ایـــن روش از یـــک واحـــد جداســـازی بدســـت مـــی آیـــد بـــه مراتـــب بیشـــتر از

مقداری است که در روش قبلی (Gaseous Diffusion) بدست می آید، به همین علت است که امروزه در بیشتر نقاط جهان برای غنی سازی اورانیوم از این روش استفاده می کنند.

بزرگترین دستگاههای آبشاری سانتریفیوژ در کشورهایی مانند فرانسه، آلمان، انگلستان و چین در حال غنی سازی اورانیوم هستند. این کشورها علاوه بر مصرف داخلی به صادرات اورانیوم غنی شده نیز می پردازند. کشور ژاپن هم دارای دستگاههای بزرگ سانتریفیوژ است اما تنها برای مصرف داخلی اورانیوم غنی شده تولید می کند.

راکتور هسته ای

راکتور هسته ای وسیله ایست که در آن فرایند شکافت هسته ای بصورت کنترل شده انجام می گیرد. انرژی حرارتی بدست آمده از این طریق را می توان برای بخار کردن آب و به گردش درآوردن توربین های بخار ژنراتورهای الکتریکی مورد استفاده قرار داد. اورانیوم غنی شده ، معمولا به صورت قرصهائی که سطح مقطعشان به اندازه یک سکه معمولی و

ضخامتشان در حدود دو و نیم سانتیمتر است در راکتورها به مصرف میرسند. این قرصها روی هم قرار داده شده و میله هایی را تشکیل میدهند که به میله سوخت موسوم است. میله های سوخت سپس در بسته های چندتائی دسته بندی شده و تحت فشار و در محیطی عایقبندی شده نگهداری می شوند.

در بسیاری از نیروگاهها برای جلوگیری از گرم شدن بسته های سوخت در داخل راکتور، این بسته ها را داخل آب سرد فرو می برند. در نیروگاههای دیگر برای خنک نگه داشتن هسته راکتور ، یعنی جائی که فرایند شکافت هسته ای در آن رخ میدهد ، از فلز مایع (سدیم) یا گاز دی اکسید کربن استفاده می شود. برای تولید انرژی گرمائی از طریق فرایند شکافت هسته ای ، اورانیومی که در هسته راکتور قرار داده میشود باید از جرم بحرانی بیشتر (فوق بحرانی) باشد. یعنی اورانیوم مورد استفاده باید به حدی غنی شده باشد که امکان آغاز یک واکنش زنجیره ای مداوم وجود داشته باشد. برای تنظیم و کنترل فرایند شکافت هسته ای در یک راکتور از میله های کنترلی که معمولا از جنس کادمیوم است استفاده میشود. این میله ها با جذب نوترونهای آزاد در داخل راکتور از تسریع واکنشهای زنجیره ای جلوگیری میکند. زیرا با کاهش تعداد

نوترونها ، تعداد واکنشهای زنجیره ای نیز کاهش می یابد. حدوداً ۴۰۰ نیروگاه هسته ای در سرتاسر جهان فعال هستند که تقریبا ۱۷ درصد کل برق مصرفی در جهان را تامین می کنند. از جمله کاربردهای دیگر راکتورهای هسته ای، تولید نیروی محرکه لازم برای جابجایی ناوها و زیردریایی های اتمی است.

دفن اورانیوم مصرف شده

پس از استفاده از اورانیوم برای تولید انرژی در رآکتور هسته ای، این سوخت دیگر قابل استفاده نیست و باید به روشی بازیافت یا دفن شود، که به دلیل تشعشع زیاد کار ساده ای نیست. روش کار این است که معمولآ سوخت مصرف شده را در حوضچه هایی برای سرد شدن اولیه نگهداری می کنند، به این ترتیب علاوه بر سرد شدن تا حدی از شدت تشعشع آنها کاسته می شود. این حوضچه ها به گونه ای ساخته شده اند که اجازه وارد کردن آسیب به طبیعت را از این مواد می گیرند، درواقع می توان برای مدتهای طولانی این زباله ها را در این حوضچه ها نگهداری کرد اما به دلایل بسیاری از جمله موارد اقتصادی این کار ممکن نیست. لذا باید روی سوخت فرآیندهایی انجام بگیرد تا بتوان آنرا در انبارهایی که از آنها

نام بردیم ذخیره کرد. این فرآیندها شامل فعالیت هایی است که توسط آنها اورانیوم و پلوتونیوم (پلوتونیوم به دلیل سادگی عملیات fission بیشتر در ساخت سلاح های اتمی بکار برده می شود) از سایر مواد جدا می شوند. برای اینکار میله های سوختی را خرد کرده و آنها را در ظروف اسید قرار می دهند، اورانیوم و پلوتونیوم بازیافت شده به ابتدای چرخه سوخت باز می گردند تا قابل استفاده شوند و مازاد تفاله های سوختی را برای دفن آماده می کنند.

باز فراوری

برای بازیافت اورانیوم از سوخت هسته ای مصرف شده در راکتور از عملیات شیمیایی موسوم به بازفراوری استفاده میشود. در این عملیات، ابتدا پوسته فلزی میله های سوخت مصرف شده را جدا میسازند و سپس آنها را در داخل اسید نیتریک داغ حل می کنند. در نتیجه این عملیات، ٪۱ پلوتونیوم ، ٪۳ مواد زائد به شدت رادیو اکتیو و ٪۹۶ اورانیوم بدست می آید که دوباره میتوان آنرا در راکتور به مصرف رساند. راکتورهای نظامی این کار را بطور بسیار موثرتری

انجام میدهند. راکتور و تاسیسات باز فراوری مورد نیاز برای تولید پلوتونیوم را میتوان بطور پنهانی در داخل ساختمانهای معمولی جاسازی کرد. به همین دلیل، تولید پلوتونیوم به این طریق، برای هر کشوری که بخواهد بطور مخفیانه تسلیحات اتمی تولید کند گزینه جذابی خواهد بود. (شکل ۵)

بمب پلوتونیومی

استفاده از پلوتونیوم به جای اورانیوم در ساخت بمب اتمی مزایای بسیاری دارد. تنها چهار کیلوگرم پلوتونیوم برای ساخت بمب اتمی با قدرت انفجار ۲۰ کیلو تن کافی است. در عین حال با تاسیسات بازفراوری نسبتاً کوچکی میتوان چیزی حدود ۱۲ کیلوگرم پلوتونیوم در سال تولید کرد. کلاهک هسته ای شامل گوی پلوتونیومی است که اطراف آنرا پوسته ای موسوم به منعکس کننده نوترونی فرا گرفته است. این پوسته که معمولا از ترکیب بریلیوم و پلونیوم ساخته میشود، نوترونهای آزادی را که از فرایند شکافت هسته ای به بیرون میگریزند، به داخل این فرایند باز می تابانند. استفاده از منعکس کننده نوترونی عملا جرم بحرانی را کاهش میدهد و باعث میشود که برای ایجاد واکنش زنجیره ای مداوم به پلوتونیوم کمتری نیاز باشد. (شکل ۶). برای کشور یا گروه

تروریستی که بخواهد بمب اتمی بسازد، تولید پلوتونیوم با کمک راکتورهای هسته ای غیر نظامی از تهیه اورانیوم غنی شده آسان تر خواهد بود. کارشناسان معتقدند که دانش و فناوری لازم برای طراحی و ساخت یک بمب پلوتونیومی ابتدائی، از دانش و فنآوری که حمله کنندگان با گاز اعصاب به شبکه متروی توکیو در سال ۱۹۹۵ در اختیار داشتند پیشرفته تر نیست. چنین بمب پلوتونیومی میتواند با قدرتی معادل ۱۰۰ تن تی ان تی منفجر شود، یعنی ۲۰ مرتبه قویتر از قدرتمندترین بمب گزاری تروریستی که تا کنون در جهان رخ داده است.

بمب اورانیومی

هدف طراحان بمبهای اتمی ایجاد یک جرم فوق بحرانی (از اورانیوم یا پلوتونیوم) است که بتواند طی یک واکنش زنجیره ای مداوم و کنترل نشده، مقادیر متنابهی انرژی حرارتی آزاد کند. یکی از ساده ترین شیوه های ساخت بمب اتمی استفاده از طرحی موسوم به "تفنگی" است که در آن گلوله کوچکی از اورانیوم که از جرم بحرانی کمتر بوده به سمت جرم بزرگتری از اورانیوم شلیک میشود بگونه ای که در اثر برخورد این دو قطعه، جرم کلی فوق بحرانی شده و باعث آغاز واکنش

زنجیره ای و انفجار هسته ای میشود. کل این فرایند در کسر کوچکی از ثانیه رخ میدهد. جهت تولید سوخت مورد نیاز بمب اتمی، هگزا فلوئورید اورانیوم غنی شده را ابتدا به اکسید اورانیوم و سپس به شمش فلزی اورانیوم تبدیل میکنند. انجام این کار از طریق فرایندهای شیمیائی و مهندسی نسبتاً ساده ای امکان پذیر است. قدرت انفجار یک بمب اتمی معمولی حداکثر ۵۰ کیلو تن است، اما با کمک روش خاصی که متکی بر مهار خصوصیات جوش یا گداز هسته ای است میتوان قدرت بمب را افزایش داد. در فرایند گداز هسته ای ، هسته های ایزوتوپهای هیدروژن به یکدیگر جوش خورده و هسته اتم هلیوم را ایجاد میکنند. این فرایند هنگامی رخ میدهد که هسته های اتمهای هیدروژن در معرض گرما و فشار شدید قرار بگیرند. انفجار بمب اتمی گرما و فشار شدید مورد نیاز برای آغاز این فرایند را فراهم میکند. طی فرایند گداز هسته ای نوترونهای بیشتری رها میشوند که با تغذیه واکنش زنجیره ای، انفجار شدیدتری را بدنبال می آورند. اینگونه بمبهای اتمی تقویت شده به بمبهای هیدروژنی یا بمبهای اتمی حرارتی موسومند. (شکل ۷)

کاربردهای انرژی هسته ای

انرژی هسته ای در پزشکی : کاربرد انرژی هسته ای در پزشکی به دو بخش تقسیم می شود : تشخیص و درمان. پزشکی هسته ای یکی از شاخه های علم پزشکی است که در آن از مواد رادیواکتیو برای تشخیص و درمان بیماری ها استفاده می شود .به گزارش تارنمای سازمان انرژی اتمی ایران ، در زمینه تشخیص بیماری ها از رادیوداروهای (داروهایی متشکل از مواد رادیواکتیو) مختلف درتصویر برداری جهت تشخیص و بررسی تومورهای سرطانی ، بررسی بیماری های کبد و کیسه صفرا ، بررسی عفونت و التهاب مفصلی استفاده می شود. هم چنین این مواد در تشخیص گرفتگی عروق خونی ، تشخیص نارسائی های قلب، کلیه و سایر ارگان های بدن کاربرد دارند. در آنالیز خون، پروتئین ها و سرم ها از پرتوهای رادیواکتیو استفاده می شود. هم چنین برخی از رادیوداروها تولید شده اند که برای تشخیص بیماری هایی مثل تیروئید به کار می روند. MRI نیز

یکی از روش های تشخیصی در پزشکی هسته ای است . در حوزه درمان بیماری ها، رادیو داروهای مختلفی ساخته شده اند که برای از بین بردن کیست ها وتومورهای سرطانی استفاده می شوند. هم چنین در برخی از بیماری های مغزی می توان بدون نیاز به باز کردن جمجمه از اشعه برای جراحی استفاده کرد . در بیست سال اخیر جراحی پرتوی، اولین راه درمان پس از استفاده از شیمی درمانی ، پرتو درمانی و جراحی بوده است .

دانشمندان پزشکی هسته ای در حال بررسی روش های تشخیصی جدیدی هستند تا بتوانند میزان عناصر اصلی و مهم موجود در بدن جنین را اندازه گیری کرده و با تغییر آنها پیش از تولد، از بروز ناهنجاری ها در نوزادان جلوگیری کنند.

انرژی هسته ای در بهداشت: در سترون سازی وسایل یکبارمصرف پزشکی از پرتوهای رادیواکتیو استفاده می شود. هم چنین در صورتی که مواد اولیه داروها و مواد بهداشتی یا محصولات استریل پزشکی آلودگی داشته باشند، این آلودگی

با کمک مواد رادیو اکتیو قابل اندازه گیری است. با این روش آلودگی سبزیجات بسته بندی شده نیز قابل اندازه گیری است .

انرژی هسته ای در کشاورزی: از طریق روش های هسته ای اصلاح بذر، بذرگیاهانی مثل گندم ، برنج ، جو و پنبه به نحوی تغییر داده می شوند که در برابر بیماری های قارچی، سرما، خوابیدگی و مقاوم باشند. هم چنین با استفاده از این روش بذر و نهال گیاهان شورپسند با هدف پرورش و برداشت محصول در شرایط نامناسب وبرای جلوگیری از افزایش بیابانی شدن اراضی تولید می شود

انرژی هسته ای در دامپزشکی و دامپروری: در تشخیص و درمان بیماریهای دام، تولید مثل دام، اصلاح نژاد دام در جهت بازدهی بیشتر مثل اصلاح نژاد گاوها به صورتی که گوشت قابل استفاده آنها به حداکثر برسد، از روش های هسته ای استفاده می شود.درخصوص بهداشت وایمن سازیخوراکدام ازپرتوهای رادیواکتیو،میتوان بهره جست

انرژی هسته ای در صنعت: چشمه های رادیواکتیو در صنعت برای بررسی جوشکاری های صنعتی ، جوش لوله های نفت و گاز و نشت یابی لوله های انتقال به کار می رود. از میکروسکوپ های الکترونی می توان در اندازه گیری لایه های اپتیکی ، کالیبره کردن دستگاه های اندازه گیری ، تعیین خواص مکانیکی مواد ، سطح سنجی و ضخامت سنجی استفاده می شود. در سازمان انرژی اتمی دستگاه هایی وجود دارند که بررسی خوردگی فلزات ، تعیین کیفیت فرآورده های صنعتی ، مواد اولیه و آلیاژها را انجام می دهند .

انرژی هسته ای در امنیت: کشف مین های ضد نفرو حتی بررسی تراکم گلوله ها و خمپاره ها از دستگاه هایی که بر مبنای فیزیک هسته ای کار می کنند ، امکان پذیر است .

انرژی هسته ای در باستان شناسی: کارهایی از قبیل بررسی نمونه های باستان شناسی مانند سکه ، سفال و غیره جهت عمرسنجی و تجزیه و تحلیل آنها از طریق علم هسته ای امکان پذیر است . برای تشخیص نمونه های تقلبی آثار

باستانی و فسیل ها و عمرسنجی آنها ، میزان کربن رادیواکتیو موجود در نمونه ها اندازه گیری می شود.

انرژی هسته ای در اکتشافات: با بکار گیری روش های هسته ای می توان محل دقیق معادن مختلف و حوزه های آب زیرزمینی را کشف کرد. برای شیرین کردن آبها نیز می توان از فن آوری هسته ای استفاده کرد .

انرژی هسته ای در تولید برق: اگرچه ایران یکی از کشورهای غنی از لحاظ ذخایر نفت و گاز به شمار می رود اما باید پذیرفت که این منابع دائمی نیستند. بنابراین اگر نسل امروز هم چنان به امید سوخت های فسیلی دست روی دست بگذارد، نسل های آینده با بحران انرژی روبرو خواهند شد. بهترین و مطمئن ترین راه حل ، ساخت نیروگاه های هسته ای و استفاده از سوخت هسته ای است. مقدار انرژی تولید شده توسط نیروگاه های هسته ای قابل مقایسه با نیروگاه های آبی یا گازی نیست. در یک واکنش سوخت هسته ای ، بیست هزار برابر سوخت فسیلی انرژی تولید می شود . علاوه بر این، نیروگاه های هسته ای معضل آلودگی محیط را به همراه ندارد

. تنها مشکل این نیروگاه ها ، زباله های هسته ای آنهاست که در صورت رعایت جوانب ایمنی و دفن اصولی آنها در محل های غیر مسکونی و دور از انسان ها خطر خاصی ایجاد نمی کنند .

انرژی هسته ای در صنایع غذایی: کیفیت مواد غذایی ، بهداشتی و آشامیدنی از جمله مواردی است که با فن آوری هسته ای قابل تعیین است . با استفاده از سیستم های جذب اتمی تعیین مقدارعناصر سمی کم مقدار در مواد غذایی ، تشخیص پرتودیدگی مواد غذایی امکان پذیر است . پرتودهی مناسب به مواد غذایی موجب پاستوریزه و استریلیزه شدن و افزایش زمان ماندگاری آنها می شود .

موارد ذکر شده گوشه ای از کاربردهای گسترده انرژی و فن آوری هسته ای در حوزه های گوناگون و برخی فعالیتهای سازمان انرژی اتمی است . این کاربردها هر روز در حال گسترش و افزایش است . با این توصیفات می توان علت ایستادگی ایران بر حق خود مبنی بر دستیابی به انرژی صلح آمیز هسته ای را دریافت . پیشرفت سریع علم و فن آوری در مسیری است که در آینده نه چندان دور کشورهایی که فاقد

تـــوان تولیـــد و اســـتفاده از دانـــش هســـته ای باشـــند ، از لحـــاظ اقتصادی و علمی عقب مانده و وابسته خواهند بود.

۲۰ آوریل، روز جدا سازی رادیوم

در روز بیســـتم آوریـــل ۱۹۰۲، مـــاری (Marie) **و پیـــر کـــوری** (Pierre Curie) **موفـــق شـــدند نمـــک رادیـــوم رادیواکتیـــو را از یـــک کـــانی پیچبلنـــد** – pitchblende **(کـــانی ســـیاهرنگ محتـــوی اورانیوم و رادیوم) جدا کنند.**

در ســـال ۱۸۹۸، کـــوری هـــا در حـــین تحقیقـــات خـــود بـــر روی کـــانی پیچبلنـــد، عناصـــر رادیـــوم و پولونیـــوم را کشـــف کردنـــد. یـــک ســـال بعـــد از جـــدا ســـازی رادیـــوم، آنهـــا، همـــراه بـــا هنـــری بکـــرل (A. Henri Becquerel) **دانشـــــــمند فرانســـــــوی – کاشـــــف رادیواکتیویتـــه اورانیـــوم- ، جـــایزه نوبـــل فیزیـــک ســـال ۱۹۰۳ را بـــه خـــاطر پیشـــگام شـــدن در تحقیقـــات رادیواکتیویتـــه، از آن خـــود کردند.**

ماری کوری، با نام خانوادگی اسکلودوفسکا (Sklodowska)، در سال ۱۸۶۷ در ورشو، لهستان متولد شد. او دختر یک معلم فیزیک و دانش آموزی با استعداد بود و موفق شد در سال ۱۸۹۱ برای ادامه تحصیل به دانشگاه سوربن (Sorbonne) پاریس برود. او توانست تحصیلات خود را با درجه عالی در علوم فیزیک و ریاضیات به اتمام برساند و در همان سال (۱۸۹۴) با پیر کوری، فیزیکدان و شیمیست برجسته فرانسوی که کارهایی ارزنده در زمینه علوم مغناطیس انجام داده بود، آشنا شد و آنها در سال ۱۸۹۵ با یکدیگر ازدواج کردند. این ازدواج، آغاز یک همکاری علمی بود که توانست این زوج را به شهرت جهانی برساند. ماری در پی یافتن موضوعی برای تز دکترای خود به مطالعه اورانیوم پرداخت، که این با کشف رادیواکتیویته توسط بکرل همزمان بود. اصطلاح رادیواکتیویته، که پدیده پرتوافکنی ناشی از تجزیه اتم را توصیف میکند، درواقع توسط ماری کوری ابداع شد. او در آزمایشگاه شوهرش مشغول مطالعه بر روی کانی پیچبلند، که اورانیوم عنصر اصلی تشکیل دهنده آن است، بود و وجود احتمالی یک یا دو عنصر رادیو اکتیو دیگر را در آن

اعـــلام کـــرد. پیـــر کـــوری در تحقیقـــات بـــه او پیوســـت و در ســـال ۱۸۹۸، آنهـــا دو عنصـــر رادیـــوم و پولـــونیم (کـــه بـــه خـــاطر زادگـــاه مـــاری Poland _لهســـتان_ بـــه ایـــن نـــام خوانـــده شـــد) را کشـــف کردند.

در مـــدتی کـــه پیـــر مشـــغول جســـتجو در خـــواص فیزیکـــی ایـــن عناصـــر جدیـــد بـــود، مـــاری بـــر روی جـــدا ســـازی شـــیمیایی رادیـــوم از پیچبلنـــد کـــار میکـــرد. بـــرخلاف رادیـــوم و پولـــونیم، رادیـــوم بـــه صـــورت آزاد در طبیعـــت وجـــود نـــدارد و مـــاری بـــه همـــراه دســـتیارش آنـــدری دوبیـــرن (Andrý Debierne)، بـــه طـــور خســـتگی ناپـــذیری کـــار کردنـــد تـــا در ســـال ۱۹۰۲ موفـــق شـــدند از چنـــد تـــن کـــانی پیچبلنـــد، تنهـــا یـــک دهـــم گـــرم کلریـــد رادیـــوم خـــالص را جـــدا کننـــد. حاصـــل ایـــن تحقیقـــات ، دریافـــت درجـــه دکتـــرا در مـــاه ژوئـــن ۱۹۰۳ و دریافـــت جـــایزه نوبـــل مشـــترک بـــا شـــوهرش و بکـــرل بـــود. مـــاری کـــوری اولـــین زنـــی بـــود کـــه موفـــق بـــه دریافـــت ایـــن جایزه شد.

پیـــر کـــوری در ســـال ۱۹۰۴ بـــه ســـمت اســـتاد فیزیـــک دانشـــگاه ســـوربن منتصـــب شـــد و مـــاری بـــه کوششـــهای خـــود در راه جـــدا

سازی رادیوم خالص غیر کلرید ادامه داد. در ۱۹ آوریل ۱۹۰۶، پیر کوری در یک تصادف کشته شد و ماری با وجود روحیه تباه شده خود، عهد کرد که کار علمی خود را به نتیجه برساند. او در ماه مه ۱۹۰۶ جانشین شوهر فقید خود در دانشگاه سوربن شد و در این مرحله از زندگی خود هم اولین زنی بود که بر کرسی استادی تکیه زد. بالاخره در سال ۱۹۱۰، او به اتفاق دوبیرن موفق شدند رادیوم خالص و فلزی را جدا کنند. ماری کوری به خاطر این دستاورد برنده جایزه نوبل شیمی سال ۱۹۱۱ شد و در اینجا برای بار سوم در زندگی خود، اولین شد، او تنها کسی بود که دوبار موفق به دریافت این جایزه شد. سپس او به موارد کاربرد مواد رادیواکتیو در پزشکی علاقمند شد و در طی جنگ جهانی اول بر روی رادیولوژی و همچنین امکانات بالقوه رادیوم در معالجه سرطان کار میکرد. انستیتو رادیوم دانشگاه پاریس، که کار خود را در ۱۹۱۸ آغاز کرد، تحت نظارت ماری کوری و از همان ابتدای کار، مبدل به یکی از مراکز اصلی شیمی و فیزیک هسته ای شد. در ۱۹۲۱، او به ایالات متحده سفر کرد و رئیس جمهور وقت، وارن جی. هاردینگ (Warren G. Harding)، با هدیه ای شامل یک گرم رادیوم به استقبال او

رفت. دختر خانواده کوری، ایرن کوری (Irene Curie) نیز یک شیمی فیزیکدان بود و همراه شوهرش فردریک ژولیو (Frederic Joliot) به خاطر کشف رادیواکتیویته مصنوعی، موفق به دریافت جایزه نوبل شیمی ۱۹۳۵ شد.در سال ۱۹۳۴ ماری کوری در اثر سرطان خون ناشی از چهار دهه کار با مواد رادیو اکتیویته، درگذشت.