

## فهرست مطالب

۲.....	مقدمه
۳.....	فصل اول - انرژی هسته ای چیست؟
۳.....	شکافت و همجوشی هسته ای
۴.....	ساختار نیروگاه اتمی
۵.....	غنی سازی اورانیم
۷.....	واکنش های هسته ای
۱۰.....	فصل دوم- کاربردهای انرژی هسته ای
۱۰.....	پیل هسته ای
۱۱.....	پروتوزشکی
۱۴.....	بمب هسته ای
۱۶.....	کاربرد انرژی هسته ای در تولید برق
۱۸.....	فصل سوم - فناوری هسته ای در ایران
۲۰.....	تولید کیک زرد
۲۰.....	موفقیت در زمینه کشاورزی هسته ای
۲۱.....	دستیابی به دانش فنی ساخت محفظه شتابگرها
۲۱.....	آغاز تحقیقات پژوهشگران در زمینه گداخت هسته ای
۲۲.....	نتیجه گیری
۲۳.....	فهرست منابع

## مقدمه

می‌دانیم که هسته از پروتون (با بار مثبت) و نوترون (بدون بار الکتریکی) تشکیل شده است. بنابراین بار الکتریکی آن مثبت است. اگر بتوانیم هسته را به طریقی به دو تکه تقسیم کنیم، تکه‌ها در اثر نیروی دافعه الکتریکی خیلی سریع از هم فاصله گرفته و انرژی جنبشی فوق العاده‌ای پیدا می‌کنند. در کنار این تکه‌ها ذرات دیگری مثل نوترون و اشعه‌های گاما و بتا نیز تولید می‌شود. انرژی جنبشی تکه‌ها و انرژی ذرات و پرتوهای بوجود آمده، در اثر برهمکنش ذرات با مواد اطراف، سرانجام به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. مثلاً در واکنش هسته‌ای که در طی آن  $U_{235}$  به دو تکه تبدیل می‌شود، انرژی کلی معادل با  $200 \text{ MeV}$  را آزاد می‌کند. این مقدار انرژی می‌تواند حدود  $20$  میلیارد کیلوگالری گرما را در ازای هر کیلوگرم سوخت تولید کند. این مقدار گرما  $2800000$  بار بزرگتر از حدود  $7000$  کیلوگالری گرمایی است که از سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ حاصل می‌شود.

علم انرژی هسته‌ای، شکل گرفته از مطالعات در علوم شیمی و فیزیک در سده‌های اخیر می‌باشد. در  $1879$  با انجام یونیزاسیون یک گاز از طریق تخلیه الکتریکی به وسیله کراکس شروع شده و در  $1897$  توسط تامسون الکترون به عنوان ذره باردار مسئول الکتریسیته معرفی شد.

"روننگن" در  $1895$  پرتو ایکس نافذ حاصل از یک لوله تخلیه را کشف کرد و "بکرل" در  $1896$  پرتوهایی مشابه (که امروزه لاندا می‌نامیم) را یا منشأ کاملاً متفاوت کشف کرد که منجر به کشف اورانیوم و پدیده ی پرتوزایی شد. در  $1905$  "انیشتن" نتیجه گیری کرد که جرم هر جسمی با سرعت آن افزایش پیدا می‌کند و فرمول مشهور خود  $E = mc^2$  را که بیانگر هم ارزی جرم و انرژی است بیان نمود (کوری‌ها در  $1898$  عنصر پرتوزای رادیوم را جداسازی نمودند) در زمان انیشتن بررسی تجربی مقدور نبود و انیشتن نتوانست مفاهیم معادله خود را پیش بینی کند.

در اوایل قرن بیستم یک سری آزمایش با ذرات مختلف حاصل از مواد پرتوزا به فهم نسبتاً شفاف ساختار اتم و هسته منجر شد. از کار "رادرفورد" و "بور" نتیجه گیری شد که اتم خنثی از نظر الکتریکی از بار منفی به شکل الکترون‌های احاطه کننده یک هسته مرکزی مثبت که قسمت اعظم ماده اتم را شامل می‌شود، تشکیل شده است. اگرچه هسته از ذرات مقید به یکدیگر از طریق نیروهای قوی هسته‌ای تشکیل شده است، تبدیلات هسته‌ای می‌توانند القا شوند یعنی بمباران نیتروژن با هلیوم منجر به تولید اکسیژن و هیدروژن می‌شود.

در  $1930$  "بوته" و "بکر" بریلیم را با ذرات آلفای حاصل از پولونیم بمباران کردند و آنچه را که فکر کردند پرتوهای گاما است کشف کردند اما "چادویک" در  $1932$  نشان داد که باید نوترون‌ها باشند. در حال حاضر واکنش‌های مشابهی در راکتورهای هسته‌ای به عنوان چشمه نوترون به کار می‌رود. پرتوزایی مصنوعی اولین بار توسط "کوری" و "ژولیو" گزارش شد ذرات تزریق شده به داخل هسته‌های بور، منیزیم و آلومینیوم ایزوتوپ‌های پرتوزای جدید عناصر متعددی را به وجود آورد. توسعه ماشین‌ها برای شتاب دادن ذرات باردار تا سرعت‌های بالا فرصت‌های جدیدی را برای مطالعه واکنش‌های هسته‌ای فراهم ساخت. سیکلوترون، طراحی و ساخته شده در  $1932$  به وسیله "لارنس" اولین سری از دستگاه‌های با توانمندی بالا بود.

## فصل اول

### انرژی هسته ای چیست؟

#### شکافت و همجوشی هسته ای

واکنشی که در هسته اتم رخ می دهد و منجر به آزاد سازی انرژی می گردد، انرژی هسته ای است. به دو صورت امکان تحریک هسته اتم و تولید انرژی هسته ای وجود دارد.

۱- شکافت هسته ای اتم

۲- همجوشی هسته چند اتم

#### شکافت هسته ای

درون هسته اتم پروتون ها با بار مثبت و نوترون ها قرار دارند که به شدت به هم چسبیده اند. این پروتون ها به شدت همدیگر را دفع می کنند ولی نیرویی دیگر آنها را با قدرت زیادی به هم در داخل هسته جذب می کند. در این حالت اگر شرایط به گونه ای فراهم شود که نیروی دافعه هسته اتم بر نیروی جاذبه آن غلبه کند نیروی بسیار عظیمی به صورت حرارت تولید می گردد.

البته باید بدانیم این مسئله تنها در اتم های عنصر اورانیم - ۲۳۵ امکان پذیر است.

دانشمندان توانسته اند به وسیله یک سری فعل و انفعالات پیچیده اتمی، برخی از اتم های اورانیم را تحریک کرده تا نوترون هایی از خود تولید نمایند. این نوترون های تولید شده دارای انرژی و سرعت زیادی هستند به طوریکه می توان آن را برای شکافتن هسته اتم بکار برد.

این نوترون های پر سرعت هنگام برخورد به هسته اتم باعث ناپایداری هسته می شوند و آن را به دو یا چند هسته کوچکتر تبدیل می کنند. البته به همراه این دو هسته کوچکتر دو نوترون نیز تولید می شود. این عمل "شکافت هسته اتم" نام دارد. هنگامی که یک نوترون پر انرژی به یک هسته اتم برخورد می کند آن هسته متلاشی می شود و از متلاشی شدن آن، دو هسته کوچکتر که مربوط به دو عنصر دیگر است (باریم و کریپتون) و همچنین دو نوترون دیگر تولید می شود. و به همین ترتیب دو نوترون تولید شده خودشان به دو هسته دیگر برخورد می کنند و از متلاشی شدن آن دو هسته نیز، جمعاً چهار نوترون تشکیل می شود که از برخورد این چهار نوترون به چهار هسته دیگر هشت نوترون تولید می شود. و در نهایت تعداد زیادی نوترون ساخته می شود و تعداد بی شماری از هسته های اتم متلاشی می شوند. به این نوع عمل زنجیر وار شکافت "واکنش زنجیره ای" می گویند.

هسته اتم های فلز اورانیم می تواند دچار شکافت گردد. از شکافت یک هسته اورانیم، هسته های دو عنصر کریپتون و باریم به همراه دو نوترون ایجاد می شود که در این میان مقداری از جرم هسته اولیه نابود می شود و به مقدار زیادی حرارت تبدیل می شود و البته در این میان بر اثر این واکنش، اشعه هایی نیز تولید می گردد.

بنابر این می توان حاصل بمباران نوترونی هسته اتم و شکافت هسته ای را در چهار مرحله زیر خلاصه کرد:

۱- با ناپایدار کردن هسته اورانیم به وسیله یک نوترون پر سرعت، یک هسته اورانیم به دو هسته کوچکتر (باریم و کریپتون) شکافته می شود.

۲- دو یا سه نوترون از هسته جدا می شود و با سرعت به سوی اتم های دیگر می رود.

۳- در اثر جدا شدن هسته، انرژی حرارتی زیادی تولید می شود که ما از آن استفاده می کنیم.

۴- اشعه های رادیو اکتیو تولید می گردد.

### همجوشی هسته ای

در عمل همجوشی یا گداخت هسته ای دقیقاً عکس عمل شکافت رخ می دهد. در عمل همجوشی دو هسته سبک با هم برخورد کرده و تبدیل به یک هسته سنگین تر می شود. نکته بسیار مهم در عمل گداخت هسته ای آن است که برای این عمل باید دو هسته در فشار و گرمایی بسیار بالا به هم برخورد کنند.

آنچه مبحث همجوشی هسته ای را برای دانشمندان مورد توجه قرار داده، آن است که هنگام عمل همجوشی هسته ای، مقدار بسیار زیادی انرژی به وجود می آید که به مراتب بیشتر از انرژی آزاد شده در عمل شکافت هسته ای است. دانشمندان معتقدند در خورشید عمل همجوشی هسته ای انجام می شود و حرارت بسیار زیاد خورشید نیز ناشی از همین فرایند است. چنان که در خورشید دما به ۱۵ میلیون درجه بالای صفر می رسد و فشار آنجا حدود ۱۱۲۲ اتمسفر است و تمام شرایط برای همجوشی فراهم است.

### ساختار نیروگاه اتمی

نیروگاه اتمی از مواد مختلفی شکل گرفته است که همه آنها نقش اساسی و مهم در تعادل و ادامه حیات آن را دارند. این مواد عبارتند از:

#### ماده سوخت

ماده سوخت متشکل از اورانیوم طبیعی، اورانیوم غنی شده، اورانیوم و پلوتونیم است. که سوختن اورانیوم بر اساس واکنش شکافت هسته ای صورت می گیرد.

#### نرم کننده ها

نرم کننده ها موادی هستند که برخورد نوترون های حاصل از شکست با آنها الزامی است و برای کم کردن انرژی این نوترون ها به کار می روند. زیرا احتمال واکنش شکست پی در پی به ازای نوترون های کم انرژی بیشتر می شود. آب سنگین ( $D_2O$ ) یا زغال سنگ (گرافیت) به عنوان نرم کننده نوترون بکار برده می شوند.

#### میله های مهار کننده

این میله ها از مواد جاذب نوترون درست شده اند و وجود آنها در داخل راکتور اتمی الزامی است و مانع افزایش ناگهانی تعداد نوترون ها در قلب راکتور می شوند. اگر این میله ها کار اصلی خود را انجام ندهند، در زمانی کمتر از چند هزارم ثانیه قدرت راکتور چند برابر شده و حالت انفجاری یا دیورژانس راکتور پیش می آید. این میله ها می توانند از جنس عنصر کادمیم و یا بور باشند.

### مواد خنک کننده یا انتقال دهنده انرژی حرارتی

این مواد انرژی حاصل از شکست اورانیوم را به خارج از راکتور انتقال داده و توربین های مولد برق را به حرکت در می آورند و پس از خنک شدن مجدداً به داخل راکتور برمی گردند. البته مواد در مدار بسته و محدودی عمل می

کنند و با خارج از محیط راکتور تماسی ندارند. این مواد می توانند گاز  $CO_2$ ، آب، آب سنگین، هلیوم گازی و یا سدیم مذاب باشند.

## غنی سازی اورانیم

اورانیم طبیعی شامل سه ایزوتوپ می باشد. از آنجاییکه مقدار سومین ایزوتوپ آن به نام اورانیم-۲۳۴ بسیار ناچیز است. معمولاً آن را مخلوطی از دو ایزوتوپ نام می برند. فقط ۰/۷۲ درصد از اورانیم طبیعی می تواند تحت واکنش شکافت قرار گیرد. این فرآیندی است که راکتورهای هسته ای از آن تولید انرژی می کند. این ایزوتوپ، اورانیم-۲۳۵ می باشد و بقیه آن ایزوتوپ اورانیم-۲۳۸ به میزان ۹۹/۲۸ است. فرآیند غنی سازی به طور معمول، اورانیم-۲۳۵ موجود در اورانیم طبیعی را ۵ تا ۶ برابر افزایش می دهد، (البته این افزایش می تواند تا بالای ۹۰ درصد برای مقاصد دیگری ادامه یابد)

غنی سازی طی فرآیندهای فیزیکی، معمولاً مبتنی بر تفاوت کوچکی است که در جرم اتم های اورانیم-۲۳۸ و اورانیم-۲۳۵ وجود دارد. امروزه فرآیند غنی سازی تجاری ملزم است که از اورانیم به صورت گاز استفاده کند. لذا ترکیب هگزا فلوتور اورانیم برای این منظور بسیار مناسب است. این ماده در ۵۶ درجه سانتی گراد تحت فشار معمولی به صورت گاز است، اما این ماده به آسانی تحت فشار در سیلندرهای فولادی به صورت مایع یا جامد در می آید. برای دستیابی به اورانیم-۲۳۵ با غلظت یا غنای ۴/۵ - ۳/۵ درصد مقدار زیادی از اورانیم - ۲۳۸ باید از این مخلوط خارج شود (برای حصول به ۳/۵ درصد اورانیم-۲۳۵، حدود ۸۰ درصد اورانیم-۲۳۸ باید خارج شود). اکثر راکتورهای هسته ای قدرت از آب معمولی برای هر دو منظور کندکننده و خنک کننده استفاده می کنند. حالت بحرانی و کار موثر راکتورها زمانی حاصل خواهد شد که کند کننده آب معمولی بوده و سوخت هم غنی شده باشد.

روش های مهم غنی سازی عبارتند از:

- دیفیوژن گازی

- سانتریفیوژ

- لیزری

- شیمیایی

دو روش اولی بر مبنای جداسازی ایزوتوپی کار می کنند که در مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار گرفته اند. محصول آن ها در این بخش از سیکل سوخت هگزا فلوتور اورانیم غنی شده (از اورانیم-۲۳۵) می باشد که طی فرآیند "تبدیل مجدد"، اکسید اورانیم غنی شده حاصل خواهد شد.

مراحل زیر زنجیره سوخت هسته ای را تشکیل می دهند:

## ۱-اکتشاف و استخراج و تغلیظ اورانیم:

اورانیم موجود در سنگ معدن حدود یک درصد است که توسط روشهای مکانیکی و شیمیایی به اکسید اورانیم که یک زرد نام دارد تبدیل می شود. اورانیم ۲۳۵ قابل شکافت و مناسب برای سوخت هسته ای در اکسید اورانیم

وجود دارد که با ظرفیت صفر یا آزاد هرگز در طبیعت وجود ندارد. اورانیم یک فلز رادیواکتیو است که استفاده از آن در راکتورهای هسته ای برای تولید الکتریسیته اقتصادی برآورد شده است. در ایران مرکزی انواع دگرگونی با پرتوایی قابل توجه یافت می شود. برای استخراج اورانیم از روشهای روباز زیرزمینی بازیابی درجا و روش بازیابی تپه ای استفاده می شود.

عملیات تغلیظ بلافاصله پس از استخراج و آماده سازی مواد معدنی به فرایندهای کانه آرای جداسازی اورانیم از مواد معدنی و تخلیص آن اطلاق می گردد. محصول تغلیض شده اورانیم را کیک زرد می نامند که حدوداً ۶۰٪ اورانیم دارد. مهم ترین فرایند تغلیظ لیچینگ (محلول سازی) نام دارد.

## ۲- تبدیل اورانیم:

اورانیم تغلیظ شده به صورت کیک زرد مستقیماً غیر قابل استفاده به عنوان سوخت در راکتور هسته ای می باشد. بنابراین فرایندهای بیشتری باید روی محصول فوق صورت بگیرد که به آن تبدیل اورانیم گفته می شود. در مجتمع تبدیل، اورانیم به دی اکسید اورانیم یا اورانیم هگزا فلوراید تبدیل می شود. اولی به عنوان سوخت راکتور که اورانیم غنی شده نیاز ندارد و می تواند مستقیماً بدون غنی سازی مورد استفاده قرار گیرد استفاده شده و ترکیب دوم قابلیت غنی شدن را دارد که پس از چند فرایند دیگر می تواند به عنوان سوخت در اکثر راکتورهای اتمی به کار گرفته شود. بنابراین لازم است که اورانیم به صورت گازی شکل درآید تا امکان انجام عملیات غنی سازی با سهولت بیشتری فراهم گردد. لذا تبدیل اورانیم پیش نیاز این فرایند می باشد.

## ۳- غنی سازی اورانیم:

منظور از غنی شدن یا غنی سازی افزایش ایزوتوپ طبیعی اورانیم-۲۳۵ از ۰/۷ درصد به ۳/۵-۴ درصد است. در نتیجه غنی کردن درصد اورانیم قابل شکافت که برای راکتورهای آب سبک لازم است افزایش می یابد. روشهای مهم غنی سازی عبارتند از: (۱) دیفیوژن گازی، (۲) سانتریفیوژ، (۳) لیتری و (۴) شیمیایی دو روش اول بر مبنای جدا سازی ایزوتوپی کار میکنند درمقیاس بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند.

## ۴- فرآوری اورانیم:

ساخت سوخت که در بعضی مواقع به فرآوری اورانیم اطلاق می گردد، از مرحله تبدیل مجدد و یا به عبارتی از مرحله تولید اکسید اورانیم آغاز می گردد. سوخت راکتورها عموماً به صورت حبه های سرامیکی می باشد این حبه ها از اکسید اورانیم فشرده که از حرارت های بالا سینتر شده اند ساخته می شود. این حبه ها در لوله های فلزی با روشهای خاص قرار گرفته و جمع آنها به صورت مجتمع سوخت جهت قرار دادن در قلب راکتور در محلهای مربوطه حمل می شوند.

## ۵- نیروگاه اتمی (مدیریت سوخت):

مجتمع های سوخت داخل محفظه تحت فشار راکتور قرار داده می شوند که هسته مرکزی راکتور را تشکیل می دهد. حرارت ایجاد شده در نتیجه شکافت هسته ای آب را به بخار تبدیل می کند. بخار حاصله توربین را به حرکت در می آورد و توربین مولد را چرخانده و نیروی برق تولید می شود. در این بخش از سیکل سوخت هسته ای نتایج کلیه فعالیت ها به عنوان اصلی ترین بخش از سیکل سوخت هسته ای باید منجر به نتیجه گردد که همان تولید انرژی است.

## ۶- سوخت مصرف شده:

در مدتی که سوخت های هسته ای در راکتور قرار گرفته اند، در اثر واکنشهای زنجیره ای شکافت تولید حرارت می نماید. در عین حال پرتو گیری بسیار زیادی نیز بر آن تحمیل شده و پس از مدتی به اصطلاح سوخته شده و رادیواکتیویته آن کاهش میابد. به عبارتی اورانیم آن مصرف شده و محصولات شکافت در آن تجمع پیدا می کنند. این مواد از این پس برای اتم های اورانیم-۲۳۵ به دلیل جاذب نوترون های حاصل از شکافت، مواد مسموم کننده محسوب شده و سبب کاهش ضریب ازدیاد نوترون و رادیواکتیویته می شوند. لذا در این موقع که مجموعه های سوخت کمترین رادیواکتیویته را دارند به عنوان سوخت های مصرف شده از راکتور خارج می شوند.

## ۷- بازفرآوری سوخت:

از آنجایی که سوخته های مصرف شده در راکتورهای اتمی دارای بیشترین مقدار رادیواکتیویته حاصل از فعالیتهای هسته ای هستند عملیات بازفرآوری اهمیت فوق العاده ای دارد و به روشهای مختلفی با آن رفتار می شود:

- ۱- چنانچه این سوخته های مصرف شده پس از مدتی مورد بازفرآوری جهت استفاده مجدد از اورانیم باقیمانده و پلوتونیم تولید شده، قرار گیرند سیکل سوخت بسته نام می گیرند.
- ۲- چنانچه این پسماندها و سوخته های مصرف شده برای همیشه دفن شوند به آن سیکل سوخت باز گفته می شود. در جریان عملیات بازفرآوری حجم پسمان ها به میزان قابل توجهی کاهش داده می شود.

## ۸- پسمانداری سیکل سوخت:

پسمانداری ناشی از فعالیتهای مربوط به سیکل سوخت هسته ای و تولید الکتریسیته می باشد. منظور از پسمانداری کاهش حجم مواد رادیواکتیو بر جا مانده و ایمنی محیط زیست می باشد، ممکن است طی اتخاذ استراتژیهای متفاوت در جهت همین منظور و بهره برداری بهینه به طور متفاوت با آن رفتار شود که این پسماندها به سه دسته با رادیواکتیو کم متوسط و زیاد تقسیم می شوند. این پسماندها بسته به تاثیر مخرب خود روی محیط زیست به روشهای گوناگونی دفع می شوند.

## واکنش های هسته ای

عبارت واکنش های هسته ای به طور کلی به فرآیندی اطلاق می شود که در آن هسته اتم از طریق بر همکنش با ذرات بنیادی یا سایر هسته های اتمی تغییر پیدا می کند.

چنین تغییراتی می تواند خیلی عمیق باشد. تبدیلات هسته ای نیز ممکن است از طریق یک تجزیه رادیواکتیو بوقوع پیوندد. این تبدیلات به طور خود به خود و بدون تاثیر عوامل خارجی نیز بوقوع می پیوندد که عبارتند از تجزیه منفی و مثبت، گاما، شکافت خود بخود، تجزیه پروتون، ذرات سنگین تر نظیر کربن و نئون و تجزیه های تاخیری. اولین واکنش هسته ای مصنوعی در سال ۱۹۱۹، به وسیله رادفورد مشاهده شد. او نشان داد که ضمن تاثیر ذرات آلفا حاصل از تجزیه پلوتونیوم-۲۱۴ روی اتم های نیتروژن، تشکیل پروتون را می توان شناسایی کرد که طبق واکنش های مختلف بوجود می آیند.

واکنش های هسته ای شباهت بسیاری با واکنش های شیمیایی دارند. تفاوت های عمده آنها عبارتست از:

الف) در واکنش های شیمیایی، تغییرات جرم قابل توزین و مشاهده است، در حالیکه در واکنش های هسته ای، با تغییرات اتم ها به صورت تک تک سر و کار داریم. بنابراین در واکنش های هسته ای همواره صحبت از اتم ها است. در حالیکه در واکنش های شیمیایی کمیت اندازه گیری، مول می باشد. تغییرات انرژی در واکنش های هسته ای به واحد الکترون ولت بیان می شود ولی در واکنش های شیمیایی، واحد نجش تغییرات انرژی ژول است.

ب) در واکنش های شیمیایی عناصر شرکت کننده در تبدیل دست نخورده باقی می مانند و فقط پیوندهای بین اتم ها تغییر می کنند. در واکنش های هسته ای نوکلئیدهای دیگری تشکیل می شوند که الزاما به همان عنصر تعلق ندارند.

ج) انرژی آزاد شده در واکنش های شیمیایی اغلب کمتر از واکنش های هسته ای می باشد. فقط در شبکه بلوری بخش قابل توجهی از ماده به انرژی تبدیل می شود.

## رادیواکتیویته

در اتمهای یک عنصر، چنانچه پروتون ها و نوترون هایشان به صورت ناپایداری چیده شده باشند، آن عنصر رادیواکتیو یا تابش زا خواهد بود. یک اتم رادیواکتیو در اثر عدم تعادل مناسب میان تعداد پروتون ها و نوترون های خود، در پی یافتن آرایشی پایدار دچار واپاشی رادیواکتیو می شود. این واپاشی ها بطور کاتوره ای نسبت به زمان رخ می دهند ولیکن تعداد زیادی از مواد رادیواکتیو، طول عمر قابل پیش بینی دارند.

## واپاشی

در بسیاری از موارد، گسیل نوکلئون ها، الکترون ها یا پوزیترون ها منجر به حالت برانگیخته ای از هسته می شود که آن هسته نیز این انرژی برانگیختگی را به شکل فوتون های بسیار متعددی از دست می دهد. بازگشت به حالت اولیه، بطور معمول ۱۰ به توان ۱۳ ثانیه بعد از واپاشی آلفا و بتا رخ می دهد ولیکن در برخی موارد، انتقال به حالت پایه، نتیجه ای ممنوعه در حالت ایزومتریک دارد که به طور مستقلی از طریق تشکیل آن، واپاشی می شود. واپاشی آلفا برای هسته های سنگینی که عدد اتمی  $Z$  بیشتر از ۸۳ دارند مشاهده شده است و برای برخی از گروه های هسته بسیار دورتر از خط پایداری بتا این اتفاق می افتد. رادیونوکلئیدهایی که نیمه عمر بسیار بالایی دارند، بیشتر گسیل کننده آلفا هستند. گسیل پروتون برای هسته هایی یافت شده است که تعداد زیادی پروتون دارند و از خط پایداری بتا فاصله زیادی دارند و معمولا به صورت یک روند دو مرحله ای پس از واپاشی ظاهر می شوند. محصولات رایج واپاشی، با سه حرف اول الفبای یونانی یعنی آلفا، بتا و گاما نام گذاری شده اند.

با افزایش عدد اتمی، خودبخودی شروع به رقابت با واپاشی آلفا می کند. در واپاشی آلفا یک هسته هلیوم از هسته می گریزد. گسیل آلفا تعداد پروتون ها و نوترون ها را به میزان ۲ واحد کاهش می دهد. واپاشی آلفا بیشتر در هسته های با جرم زیاد رخ می دهد که تعداد پروتون هایش نسبت به نوترون هایش بسیار بیشتر است. یک ذره آلفا با داشتن دو پروتون و دو نوترون، ترکیب بسیار پایداری از ذرات است. بسیاری از هسته ها که جرم بیشتری از سرب دارند، بدین طریق واپاشی می شوند.



مثلاً پلوتونیم-۲۱۰ را که به واسطه گسیل ذره آلفا واپاشی می شود، در نظر بگیرید. هسته پلوتونیم، ۸۴ پروتون و ۱۲۶ نوترون دارد. نسبت پروتون ها به نوترون ها ۰,۶۶۷۰ است. هسته بوجود آمده ۸۲ پروتون و ۱۲۴ نوترون دارد که نسبت پروتون به نوترون آن ۰,۶۶۱ است، همین تغییر کم در نسبت کافیسیت تا هسته به حالت پایداری بیشتری برسد.

واپاشی بتا می تواند هم با گسیل یک الکترون و هم پادنوترینو و یا با گسیل پادذرات آنها، یعنی یک پوزیترون و نوترینو انجام شود. واپاشی بتا منجر به تغییر تعداد پروتون و نوترون موجود در هسته با تبدیل یک اتم به اتم عنصری دیگر می شود. عکس واپاشی بتا، شامل جذب یک الکترون توسط هسته است.

در واپاشی گاما، فوتون با انرژی بالا، هسته را ترک می کند و موجب می شود تا هسته به حالت پایدار و انرژی پایین برسد. در این فرآیند، تعداد پروتون ها و نوترون ها در هسته تغییر نمی کند، در نتیجه، اتم های مادر و دختر، هر دو یک گونه عنصر شیمیایی هستند.

در واپاشی گاما، در یک هسته، فوتون گسیل شده و هسته پس زده شده، هرکدام یک میزان انرژی معین، پس از واپاشی به دست می آورند. این انرژی مشخص، تنها میان دو ذره تقسیم می شود

## فصل دوم

### کاربردهای انرژی هسته ای

همانطور که می دانیم همگام با پیشرفت تکنولوژی روز بروز بر موارد مصرف انرژی هسته ای به عنوان یک انرژی پاک افزوده می شود. در ذیل به توضیح برخی از این موارد می پردازیم

### کاربردهای انرژی هسته ای

#### ۱ پیل هسته ای

پیل هسته ای یا اتمی دستگاه تبدیل کننده انرژی اتمی به جریان برق مستقیم است. ساده ترین پیل ها شامل دو صفحه است. یک پخش کننده بتای خالص مثل استرنيوم ۹۰ و یک هادی مثل سیلیسیم. جریان الکترون های سریعی که بوسیله استرنيوم منتشر می شود از میان نیم هادی عبور کرده و در حین عبور تعداد زیادی الکترون ها اضافی را از نیم هادی جدا می کند که در هر حال صدها هزار مرتبه زیاده از جریان الکتریکی حاصل از ایزوتوپ رادیواکتیو استرنيوم ۹۰ می باشد.

پیل های هسته ای، باطری های با عمر بسیار طولانی (ده ها سال) هستند در باطری های فعلی اتمی بر اثر تشعشعات یک عنصر رادیو اکتیو نظیر پلوتونیم یا .. با استفاده از اثر یونیزاسیون ذرات الفا و بتا منتشر شده این عناصر و جذب یونهای ایجاد شده آنها به صفحات خاصی جریان کوچکی و ولتاژ کوچکی در الکترودها ایجاد شده که با جمع آنها به ولتاژ و جریان مناسبی جهت استفاده در برخی از تجهیزات دست پیدا می نمایم ولی اکثرا بدلیل عدم جذب اشعه گامای متصاعد شده و گرمای حاصل برخی از ترکیبات با نیمه پایین رادیو اکتیو این باطری ها برای استفاده بی خطر از آنها نیاز به محفظه های خاص فلزی می باشد که هم حجم آنها و هم وزن آنها را بالا می برد و این سیستمها بدلیل عدم جذب کامل پرتوها و تبدیل قسمت اعظم انرژی آنها به گرما دارای راندمان بسیار پایینی هستند ولی در باطری اتمی با سیستم کنونی با استفاده از لایه های مختلف فلزی و تشکیل یک لایه نازک خلع کتونی بیش از ۹۰ درصد انرژی جنبشی ذرات حتی گاما تبدیل به الکترونها و یونهای آزاد شده و با استفاده از صفحات الکترودهای باردار جریان آنها جذب مدار شده در نتیجه جریان برق مناسبی از آن آزاد می شود با توجه به جذب ۹۸ درصدی تشعشعات گاما در این باطری به صورت یونی گرمای کمی در آن ایجاد شده ولی در عوض سیستم دارای ابعاد خیلی کوچکتر با راندمانی بیش از ۹۰ برابر باطری های فعلی است که حتی قادر به جایگزینی باطری های اسیدی و شیمیایی فعلی نیز می باشد.

این باطری ها حدودا ۱۰ تا ۲۰ سال که در سطح بین المللی مورد استفاده قرار گرفته اند.

## ۲ پرتوپزشکی

### تاریخچه پرتوپزشکی

یکی از روشهای تشخیصی و درمانی ارزشمند در طب، پزشکی هسته ای می باشد. که تبلور آن از ابتدا تا کنون تلفیقی از کشفیات مهم تاریخی بوده است. اولین جرعه در سال ۱۸۹۵ با کشف اشعه X و در ۱۹۳۴ با کشف مواد رادیواکتیو زده شد. اولین استفاده کلینیکی مواد رادیواکتیو، در سال ۱۹۳۷ جهت درمان لوسمی در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی بود. بعد از آن در ۱۹۴۶ با استفاده از این مواد توانستند در یک بیمار مبتلا به سرطان تیروئید از پیشرفت این بیماری جلوگیری کنند.

البته تا ۱۹۵۰ کاربرد کلینیکی مواد رادیواکتیو بطور شایع رواج نیافت و مسکوت ماند. طی سالهای بعد از آن متخصصین و فیزیکدانان به این واقعیت پی بردند که می توان از تجمع رادیو داروها در ارگان هدف تصاویری از آن تهیه نمود و یا به درمان بافت آسیب دیده کمک نمود. بطوریکه در اواسط دهه ۶۰ مطالعات بسیاری در خصوص طراحی تجهیزات لازم آغاز گشت. در دهه ۱۹۷۰ توانستند با جاروب نمودن از ارگانهای دیگر بدن مانند کبد و طحال، تومورهای مغزی و مجاری گوارشی تصاویری را تهیه نمایند. و در دهه ۱۹۸۰ از رادیو داروها جهت تشخیص بیماری های قلبی استفاده نمودند و هم اکنون نیز با ضریب اطمینان بسیار بالایی از پزشکی هسته ای در درمان و تشخیص و پیگیری روند درمان بیمارها استفاده می گردد.

### پرتوپزشکی چیست؟

پرتوپزشکی شاخه ای از پزشکی است که در آن تشعشع خواص هسته ای نوکلیدهای رادیواکتیو و نوکلیدهای پایدار، هم برای تشخیص و هم برای درمان امراض بکار می روند. این امر می تواند یا با پرتودهی مستقیم مریض با یک چشمه تشعشع خارجی یا با تزریق داروهای نشاندار با رادیواکتیویته به مریض تحقق یابد.

### رادیو داروها

داروهای نشاندار رادیواکتیو که به مریض تزریق یا خورانده می شوند، به نام رادیو داروها معروف هستند. دارویی هسته ای یا رادیو فارماکولوژی روش دارویی خاصی است که با ترکیبات، آزمایش یا تزریق مناسب رادیو دارو به مریض ارتباط دارد.

### کاربرد رادیو داروها

#### روشهای تشخیص زنده

روشهای تشخیص زنده آن روشهایی هستند که در آنها یک رادیو دارو در سیستم یک مریض زنده، بطریق خوراندن، تزریق، یا با استنشاق وارد می گردد اشعه گامای نشر شده بوسیله رادیو داروها برای تامین اطلاعات مورد نیاز بر روی صفحه کامپیوتر قابل مشاهده هستند.

#### روشهای تشخیص غیر زنده

روشهای غیر زنده آنهایی هستند که روی نمونه های برداشته شده از یک مریض انجام می گیرد. تعدادی از این روشها مستلزم بکارگیری رادیو داروها است. ولی مهمترین آنها روش رادیو ایمونواسی (RIA) می باشد.

## تصویر برداری در پرتوپزشکی

مشکل تصویر برداری از بدن انسان این است که ماده ای کدر و غیر شفاف است، نگاه کردن درون بدن انسان نیز بطور کلی دردناک است. در گذشته روش معمول دیدن درون بدن انسان جراحی بود! اما امروزه با استفاده از انبوهی از روشهای جدید دیگر نیازی به این روشهای وحشتناک نیست. تصویر برداری اشعه X، MRI، تصویر برداری CAT و مافوق صوت برخی از این تکنیک ها هستند. هر کدام از این تکنیک ها مزایا و معایبی دارند که باعث می شود برای شرایط مختلف و اعضای مختلف بدن مفید باشند.

تکنیک های تصویر برداری پزشکی هسته ای روشهای جدیدی را برای نگاه کردن به درون بدن انسان برای پزشکان فراهم می کند. این تکنیک ها ترکیبی از استفاده از کامپیوتر، حسگرها و مواد رادیواکتیو است. این روشها عبارتند از:

- توموگرافی با استفاده از تابش پوزیترون (PET)

- اسپکت SPECT

- تصویر برداری قلبی - عروقی

- اسکن استخوان

هر کدام از این روشها از یکی از خصوصیات عناصر رادیواکتیو برای تولید یک تصویر استفاده می کنند.

تصویر برداری در پزشکی هسته ای برای شناسایی موارد زیر بسیار مفید است:

- تومورها

- آنوریسم Aneurysms

- نارسایی سلول های خونی و اختلال در عملکرد دستگاههای بدن مثل غده تیروئید و ریه

استفاده از هر کدام از این روشهای خاص یا مجموعه ای از آنها بستگی به علائم بیمار و نوع بیماری دارد.

## پرتوپزشکی و درمان بیماریها

از مواد رادیواکتیو به عنوان ردیاب رادیواکتیو استفاده می شود. این مواد از طریق بلعیدن و یا تزریق وارد جریان خون می شود. یکی از روشهای ردیابی به این شکل است که مواد ردیاب در خون حرکت می کنند و امکان می دهند که ساختار رگهای خونی مشاهده شود. این روش مشاهده به پزشکان این امکان را می دهد که لخته و دیگر ناهنجاریهای رگهای خونی را به راحتی تشخیص دهند. علاوه بر این، برخی اعضاء بدن هستند که نوع خاصی از مواد شیمیایی را در خود جمع می کنند. برای مثال غده تیروئید، ید را در خود جمع می کند بنابراین با بلعیدن ید رادیواکتیو (به صورت مایع یا به صورت قرص) می توان تومورهای تیروئید را تشخیص داد و درمان کرد. به همین ترتیب تومورهای سرطانی نیز، فسفات را در خود جمع می کنند. بنابراین با تزریق ایزوتوپ رادیواکتیو فسفر - ۳۲ در جریان خون می توان تومورهای سرطانی را، به دلیل افزایش رادیو رادیواکتیویشان، شناسایی کرد.

در تصویر برداری، آزمایش یا درمان به وسیله پزشکی هسته ای، مواد رادیواکتیوی که بلعیده یا تزریق می شوند به بدن آسیب نمی رسانند. رادیو ایزوتوپ هایی که در پزشکی هسته ای استفاده می شوند به سرعت در عرض چند دقیقه تا حداکثر یک ساعت واپاشیده می شوند. سطح تابش های رادیواکتیو آنها هم نسبت به اشعه X یا CT اسکن بسیار پایین تر است.

برخلاف درمان از طریق پزشکی هسته ای، رادیوتراپی ( که کاملاً با آن متفاوت است ) از این مزیت بهره می گیرد که برخی سلولها با شدت بسیار بیشتری تحت تأثیر تابش های یونیزه یعنی تابش های آلفا، بتا و گاما و X قرار می گیرند. سلولها با سرعت های متفاوتی تقسیم می شوند و سلولهایی که با سرعت بیشتری تقسیم می شوند به دو دلیل، بیشتر تحت تأثیر تابش های یونیزه قرار می گیرند:

- سلولها دارای مکانیسمی هستند که به آنها این امکان را می دهد تا DNA آسیب دیده را ترمیم کنند.  
- وقتی که یک سلول در حال تقسیم متوجه شود که DNA آسیب دیده است خودش را از بین می برد.  
سلولهایی که به سرعت تقسیم می شوند زمان کمتری برای مکانیسم ترمیم و شناسایی خطاهای DNA قبل از تقسیم شدن دارند، بنابراین احتمال بیشتری وجود دارد که پس از قرار گرفتن در معرض تابش های هسته ای از بین بروند.

از آنجایی که در اکثر انواع سرطان، سلولهای سرطانی به سرعت تقسیم می شوند در برخی موارد می توان به وسیله رادیوتراپی سرطان را درمان کرد. معمولاً مواد رادیواکتیو اطراف یا کنار تومور قرار می گیرند. در تومورهایی که در عمق بدن یا نواحی غیر جراحی قرار گرفته اند پرتو X با شدت بالایی روی تومور تابانیده می شود.  
اما تنها مشکلی که این نوع از درمان دارد این است که دیگر سلولهای سالم که به سرعت تقسیم می شوند نیز، همراه سلولهای سرطانی تحت تأثیر پرتوها قرار می گیرند. به همین دلیل کسانی که تحت درمان سرطان هستند دچار حالت تهوع و ریزش موی شدید می شوند.

**پرتوپزشکی از صرف هزینه های سنگین درمان جلوگیری می کند.**

هم اکنون اغلب مواد اولیه مربوط به تهیه تجهیزات مربوط به پرتوپزشکی وارد کشور می شود ، در صورتی که اگر مواد اولیه هسته ای در مرکز انرژی هسته ای و یا مرکز تحقیقاتی وابسته به دانشگاهها تولید شود می توان از مشکلات اقتصادی بخش درمان جلوگیری کرد.

پرتوپزشکدر ایران ریشه قدیمی دارد چون سالهای زیادی است که در ایران با مواردی نظیر اسکن، رادیوتراپی برای درمان بیماران سرطان از آن استفاده می شود. متأسفانه چون تکنیک ها و وسایل موجود در این زمینه قدیمی هستند کشور در مقایسه با کشورهای پیشرفته به لحاظ پزشکی هسته ای فاصله دارد. هم اکنون تعداد دستگاه ها و تجهیزات پزشکی در این زمینه در کشور بسیار اندک است به گونه ای که فقط در تهران و چند شهر دیگر این تجهیزات وجود دارد و این برای بیماران مشکل ایجاد کرده چون باید از نقاط مختلف کشور برای درمان به این چند شهر خاص سفر کنند.

پرتوپزشکدر ایران از جایگاه مطلوبی برخوردار است و فقط در صورتی که وسایل جدید در کشور فراهم شود به گونه ای که برخی از مواد که امکان تولید از طریق هسته ای وجود دارد ساخته شود می توان این زمینه به پیشرفت های مطلوبی رسید.

به طور حتم وسایل جدید مربوط پرتوپزشکی در دنیا وجود دارد اما علاوه بر اینکه تهیه آنها هزینه زیادی در بر دارد طول عمر این وسایل نیز بسیار کم است

### ۳ بمب هسته ای

#### نگاه اجمالی

آنچه خداوند در طبیعت به ودیعه نهاده است، اگر بصورت صحیح و در جهت درست مورد استفاده قرار گیرد، وسایل رفاه و آسایش بیشتر را تأمین خواهد کرد. اما اگر این امکانات خدادادی در جهت نادرست و نامشروع مورد بهره برداری قرار گیرند، نه تنها وسیله ای برای آرامش و آسایش او نخواهد بود، بلکه بلای جان او شده و وسیله ای برای تهدید هستی او تبدیل خواهد شد. یکی از این منابع طبیعی سنگ معدن اورانیوم است که اگر بصورت درست مورد استفاده قرار گیرد، بسیار مفید بوده و به تعداد فوق العاده ای می تواند انرژی برق مورد استفاده بشر را تأمین کند، اما متأسفانه استفاده های نادرست سبب شده است که این عنصر خدادادی ماده اولیه سلاح های مرگبار باشد که بمب اتمی یکی از این نمونه ها می باشد.

#### تاریخچه

در سال ۱۹۳۸ دو دانشمند آلمانی به نام های اتوهان و فرتیس شتراسمن با بمباران هسته اتم اورانیم به وسیله نوترون ها به عناصر رادیواکتیو دست یافتند که جرم اتمی کوچکتری نسبت به اورانیم داشت، و این ابتدای ساخت بمب اتم بود.

در وسایل انفجاری یا بمب های هسته ای از نوع شکافت همان فرآیندی اتفاق می افتد که در راکتورهای هسته ای، با این تفاوت که در یک راکتور هسته ای واکنش شکافت تحت کنترل است و بصورت معمول و در شرایط عادی قابلیت انفجار ندارد. در راکتورهای هسته ای تحقیقاتی یا قدرت، ادوات ایمنی بسیار گران قیمتی تعبیه شده است که روند کار متداوم و متعادل آنرا فراهم می آورند. ولی علیرغم تمام تمهیدات و احتیاط ها، ممکن است عیب ها قصوری، کارکرد راکتور را هم منجر به حادثه کند.

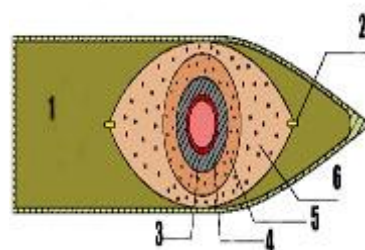
در بمب های اتمی و سایللی تعبیه شده است که دفعته انرژی معتنا بهی در ظرف چند ثانیه با انجام واکنش شکافت حاصل می گردد. سوخت بمب های هسته ای چه از نوع اورانیوم ۲۳۵ یا پلوتونیم ۲۳۹ در وضعیتی به صورت قطعاتی با جرم پایین تر از جرم بحرانی نگهداری می شوند. این قطعات در هنگام انفجار با کمک اولیه مواد انفجاری متعارف، مثل تری نیترو تولوئن یا همان TNT و با حصول به جرم بحرانی، انفجار هسته ای اتفاق می افتد. در واقع نوترون های رها شده از مرکز این توده، واکنش های زنجیره ای انفجاری را سبب میشوند. انرژی سینتیکی فراوان واکنش های شکافت، ساختمان ها را فرو میریزد، انرژی حرارتی، آنچه را که سر راه دارد می سوزاند و تابش های مرگ بار هسته ای موجودات زنده را شدیداً متأثر می سازد.

در ششم اوت ۱۹۴۵ بمب هسته ای "بچه کوچک" از نوع اورانیوم ۲۳۵ بر روی هیرو شیما استفاده شد، با برخورد یک نوترون آزاد با هسته اورانیوم ۲۳۵، هسته، نوترون را جذب می کند و نوترون ها آزاد می شوند، با متلاشی شدن اتم، اتم هسته های دیگر را متلاشی می کند.

در نهم اوت همان سال بمب هسته ای دیگری به نام "مرد چاق" از نوع پلوتونیم ۲۳۹ روی ناکازاکی در ژاپن انداخته شد. در این روش پلوتونیم ۲۳۹ توسط اورانیم ۲۳۸ احاطه شده است با انفجار مواد منفجره پلوتونیم به مخزن کره ای شکل وارد می شود ، هسته مرکزی منفجر می شود و واکنش شکافت هسته ای رخ می دهد.

آمریکا در نوامبر سال ۱۹۵۲ اولین انفجار هیدروژنی مایع و سپس در بهار سال ۱۹۵۴ انفجار هیدروژنی لیتیم دو تراید خود را آزمایش کرد . این درحالی بود که شوروی سابق اولین بمب هیدروژنی جامد خود را در اوت ۱۹۵۳ (که از بمب هیدروژنی اولیه به مراتب پیشرفته تر بود ) آزمایش کرده بود . به همین دلیل آندره ساخاروف تئوریسین گداخت هسته ای در ۳۲ سالگی لقب پدر بمب هیدروژنی را به خود اختصاص داد.

### قسمت های مختلف یک بمب هسته ای



۱- باتری بمب

۲- کلاهک انفجاری الکتریکی

۳- خرجی

۴- پلوتونیم

۵- مواد منفجره

۶- مواد منفجره اولیه

### مضرات بمب هسته ای

۱- گرمای شدید

۲- فشار زیاد که باعث تخریب می شود

۳- مواد رادیو اکتیو

### منطقه انفجار بمب های هسته ای به پنج قسمت تقسیم می شود:

۱- منطقه تبخیر ۲- منطقه تخریب کلی ۳- منطقه آسیب شدید گرمایی ۴- منطقه آسیب شدید انفجاری ۵- منطقه آسیب شدید باد و آتش.

در منطقه تبخیر درجه حرارتی معادل سیصد میلیون درجه سانتیگراد بوجود می‌آید و هر چیزی، از فلز گرفته تا انسان و حیوان، در این درجه حرارت آتش نمی‌گیرد بلکه بخار می‌شود که نمونه آن جنایت آمریکا در هیروشیما و ناکازاکی است.

آثار زیانبار این انفجار حتی تا شعاع پنجاه کیلومتری وجود دارد و موج انفجار آن که حامل انرژی زیادی است می‌تواند میلیون‌ها دلار تجهیزات الکترونیکی پیشرفته نظیر ماهواره‌ها و یا سیستم‌های مخابراتی را به مشتی آهن پاره تبدیل کند و همه آنها را از کار بیندازد.

اینها همه آثار ظاهری و فوری بمب‌های هسته‌ای است. پس از انفجار تا سال‌های طولانی تشعشعات زیانبار رادیواکتیو مانع ادامه حیات موجودات زنده در محل‌های نزدیک به انفجار می‌شود.

### **بمب نوترونی**

بمب نوترونی در واقع یک بمب شکافت گداختی است. در این بمب واکنش هسته‌ای شکاف با استفاده از اورانیم  $^{235}\text{U}$  یا پلوتونیم  $^{239}\text{Pu}$  به عنوان چاشنی آغاز می‌شود. این واکنش شکافت به طور خود به خود، واکنش گداخت زیر را سبب شده و لذا نوترون‌های زیادی را با سرعت و انرژی خیلی زیاد تولید می‌کند.

این نوترون‌های پر انرژی می‌توانند از هر چیزی از جمله دیواره‌های سخت، مثل بتن و فلز عبور کنند. تابش‌های نوترونی مردم را ظرف ۵ دقیقه فلج می‌سازند و طی ۲ تا ۳ روز همه را از پای در می‌آورد. این بمب انرژی گرمایی و انرژی سینتیکی کمی را همراه با نوترون‌ها به وجود می‌آورد. بنا براین این بمب ساختمان‌ها و وسایل را آسیب نمی‌رساند. لذا این بمب، "بمب کشنده تمیز" نام گرفته است.

## **۴- کاربرد انرژی هسته‌ای در تولید برق**

از اهداف اعلام شده ایران همواره تولید برق هسته‌ای محوریت داشته است و در طول چهار دهه گذشته با توجه به روند روبه رشد توسعه اجتماعی و اقتصادی در ایران استراتژی بهره‌برداری از منابع فسیلی از دو عامل محدود کننده متأثر شده است. از یک طرف ارتقای سطح زندگی و برنامه‌های بهبود شاخص‌های اقتصادی نیازمند تأمین روند تقاضای صعودی انرژی در کلیه بخش‌های خانگی و صنعتی داخلی می‌باشد و از طرفی اقتصاد ملی وابسته به درآمدهای نفتی است که رهایی از این دو عامل متضاد، مستلزم ایجاد یک استراتژی دراز مدت و تجدید نظر در روند استفاده بی‌رویه از منابع فسیلی مدنظر بوده است؛ زیرا این منابع محدود بوده و متعلق به نسل‌های آتی کشور نیز می‌باشند و از طرفی استفاده از آنها در صنایع تبدیلی نظیر پتروشیمی در قیاس با انرژی هسته‌ای ارزش کمتری برای کشور در پی دارند در حالی که هزینه آن بالا است و مصرف این منابع در داخل کشور به عنوان سوخت به شدت ارزش حاصل از صادرات نفت و گاز طبیعی را تحت الشعاع خود قرار داده است.

در صورت ادامه این روند تا چند دهه دیگر ایران به عنوان یکی از واردکنندگان نفت خام و برخی از فرآورده‌های مرتبط با آن خواهد شد. از طرفی دولت یارانه‌های پنهان زیادی بابت مصرف سوخت در داخل کشور می‌پردازد که هزینه‌های تولید و توزیع این فرآورده‌های سوختی نیز تأمین نمی‌گردد. بنابراین متکی بودن سیستم عرضه انرژی کشور به سوخت‌های فسیلی را غیرمنطقی ساخته و استفاده کشور از تکنولوژی‌های جدید از جمله تکنولوژی هسته‌ای را در مقام مقایسه با سوخت‌های فسیلی، رقابتی می‌سازد.



به منظور تعیین سهم بهینه انواع نیروگاه‌ها برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز کشور طی ۲۰ سال آینده، نتایج استفاده از مدل برنامه‌ریزی «KASP» که معروف‌ترین و کاربردی‌ترین مدل بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی الکتریکی است نشان می‌دهد که تا سال ۱۴۱۰ شمسی در سناریوی رشد متوسط حدود ۷۰۰۰ مگاوات و در سناریوی رشد بالای کلیه شاخصه‌های اقتصادی کشور سهم برق هسته‌ای معادل ۱۰/۰۰۰ مگاوات خواهد بود. از این رو جمهوری اسلامی ایران سناریوی رشد متوسط مؤلفه‌های اقتصادی کشور و ساخت ۶۰۰۰ مگاوات برق هسته‌ای علاوه بر نیروگاه در دست ساخت بوشهر (۱۰۰۰ مگاوات) را به عنوان برنامه اصلی توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای کشور تعیین نموده است در صورتی که تا بیست سال آینده تولید ۷۰۰۰ مگاواتی محقق شود به میزان ۱۹۰ میلیون بشکه نفت خام در مصارف نیروگاهی کشور صرفه‌جویی شده است که ارزش اقتصادی آن بیش از پنج میلیارد دلار در سال برآورد می‌شود.

علاوه بر صرفه اقتصادی دلایل زیر استفاده از انرژی هسته‌ای را ضروری می‌نماید:

- الف - منابع فسیلی محدود بوده و متعلق به نسل‌های آتی می‌باشد
- ب - استفاده از نفت خام در صنایع تبدیلی پتروشیمی ارزش بیشتری دارد
- ج - تولید برق از طریق نیروگاه اتمی آلودگی نیروگاه‌های کنونی را ندارد.

## فصل سوم

### فناوری هسته ای در ایران

#### نگاهی به گذشته

از سالهای پایانی دهه ۱۹۵۰ میلادی موج نگرانی از کاهش و پایان ذخایر سوخت‌های فسیلی برای تامین انرژی در جهان، سبب شد کشورهای زیادی به کاروان پرشتاب جویندگان فناوری اتمی بپیوندند. کشور ما نیز که در آن زمان، یعنی حکومت پهلوی به عنوان ژاندارم منطقه‌ای آمریکا عمل می‌کرد، در جمع کشورهای قرار داشت که ذخیره منابع نفتی رو به پایان داشتند.

بنابراین برای دستیابی به این سوخت جدید تلاش کرد، و کشورهای غربی، ایران را به عنوان نخستین اولویت برخوردار از انرژی اتمی در منطقه خاورمیانه اعلام کردند و در کوتاهترین مدت، نخستین پروژه عملیاتی فناوری هسته‌ای در بوشهر توسط کارشناسان آلمانی با پشتیبانی آمریکا کلید خورد.

نخستین کشوری که ایران را به دستیابی به فناوری هسته‌ای ترغیب و این تکنولوژی را به ایران منتقل کرد (ایالات متحده آمریکا)، نخستین مخالف امروزی ایران در تحقق فعالیتهای هسته‌ایش، بود.

همان حمایت‌های آشکاری که ایران در سال ۱۹۵۸، به عضویت آژانس بین المللی انرژی اتمی (I.A.E.A) درآمد و ایران در سال ۱۹۶۸، پیمان عدم تکثیر سلاح‌های هسته‌ای (N.P.T) را پذیرفت و در سال ۱۹۷۰، آن را در مجلس شورای ملی به تصویب رساند.

بعد از آن در سال ۱۹۷۴ میلادی، شرکت زیمنس آلمان، بر اساس قراردادی با دولت وقت ایران، ساخت دو راکتور هسته ای ۱۲۰۰ مگاواتی آب سبک را در بوشهر، بندری در جنوب ایران آغاز کرد و کارشناس آلمانی به همراه کارشناسان ایرانی در احداث این نیروگاه که در آن زمان یکی از بزرگترین نیروگاههای اتمی جهان به شمار می رفت، شرکت داشتند.

ایران یک قرارداد چرخه سوخت هسته‌ای ۱۰ ساله قابل تمدید با آمریکا در سال ۱۹۷۴، آلمان غربی در سال ۱۹۷۶ و فرانسه در سال ۱۹۷۷ منعقد نمود و کشورهای غربی در این دوره برای ارائه چرخه سوخت هسته‌ای از جمله غنی سازی به ایران با یکدیگر رقابت می‌کردند همان کشورهای که امروزه مخالف دستیابی به برنامه های هسته ای هستند.

#### انقلاب اسلامی و هزاران افتخار برای ایران زمین

با پیروزی انقلاب شکوهمند اسلامی در سال ۵۷ اگرچه آمریکا در ایران پایگاه خود را از دست داد اما دخالت‌ها و توطئه‌های این کشور پایان نداشت.

تلاش آمریکا برای جلوگیری از دستیابی ایران به فناوری هسته‌ای با توجیه برخوردار از منابع نفتی و گازی در حالی ادامه دارد که چهار دهه پیش ایران اولویت یک در خاورمیانه برای استفاده از این فناوری معرفی شده بود و آلمان نیز نیروگاه بوشهر را تقریباً به نیمه رساند.

توطئه‌های آمریکا علیه ایران تا آنجا ادامه یافت که در ۲۰ فروردین ۱۳۵۹ دولتمردان این کشور، رابطه سیاسی خود را با ایران قطع و دست به توطئه‌های نافرجامی علیه انقلاب اسلامی از جمله حمله نظامی به طبرس، کودتای نوژه، جنگ تحمیلی، تحریم اقتصادی زدند.

و آمریکا با توجه به نفوذ خود در رسانه‌ها جهانی همیشه ایران متهم کرده که در فکر ساخت سلاح‌های کشتار جمعی است اما همگان می‌دانند این آمریکایی‌ها بوده‌اند که دشمنان ایران را به اینگونه سلاح‌ها تجهیز و آنان را در به کار بردن آن علیه ایران تحریک کردند.

در خصوص مخالفت‌های آمریکا و رژیم اشغالگر اسرائیل و برخی کشورهای غربی با فعالیت‌های هسته‌ای کارشناسان بر این عقیده‌اند که آمریکا در این زمینه برخورد دوگانه و تبعیض‌آمیز دارد، و کشورهای غربی دارای انرژی هسته‌ای، دانش مربوط به غنی‌سازی اورانیوم را در انحصار خود قرار داده و از دسترسی کشورهای جهان سوم به این فن‌آوری جلوگیری می‌کنند و در عین حال همچنان به سکوت حمایت‌آمیز خود از توسعه زرادخانه اتمی اسرائیل ادامه می‌دهند.

با تمام مشکلات و موانع اکنون ایران در حالی وارد سومین سالروز ملی فناوری هسته‌ای خود می‌شود که مطابق قوانین بین‌المللی و پادمان‌های جهانی در این زمینه، عمل کرده است بازرسی آزادانه بازرسان آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و دوربین‌ها، تمامی دال بر این ادعاست.

اکنون با دستیابی ایران به دانش هسته‌ای صلح‌آمیز به هدف تامین انرژی همه جهان به این باور رسیده‌اند که امروزه با تمامی موانعی که در راه رسیدن ایران وجود دارد دستیابی به انرژی هسته‌ای کاری بزرگ‌تر از ملی شدن نفت است.

دولت و مردم ایران تمامی تلاش را دارند تا ذره‌ای از حق خود برای دستیابی به انرژی هسته‌ای کوتاه نیابند چرا که به گفته رهبرشان انرژی هسته‌ای را یک نیاز و ضرورت و جزیی از پیشرفت علمی ایران می‌دانند.

باید گفت که برای خود دشمنان نیز مسلم است که ایران بعنوان یکی از امضاءکنندگان پیمان منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای یا معاهده "ان پی تی" و طبق مفاد همین پیمان، به عنوان یک کشور عضو، از حق غنی‌سازی اورانیوم و تولید چرخه سوخت هسته‌ای برای مقاصد صلح‌آمیز برخوردار است.

دانشمندان جوان ایران زمین ثابت کردند که ایرانی می‌تواند و با هوش و ذکاوت بالای خود باردیگر گامی بلند در عرصه‌های علمی و فناوری برداشته و دانش هسته‌ای را برای ایران و ایرانی بومی کند و کشور سربلند مان اکنون آمادگی انتقال این دانش صلح‌آمیز را به کشورهای ازاده سراسر جهان دارد.

## نمونه پیشرفت‌های اخیر در این عرصه

### تولید رادیو داروها

داروهای نشاندار رادیواکتیو که به بیمار تزریق یا خورانده می‌شوند، به رادیو داروها معروف هستند. با توجه به اهمیت این نوع داروها در درمان برخی بیماریها سازمان انرژی اتمی ایران توانست به تولید انبوه رادیو داروی مولیبدن ۹۹ - تکنسیم ۹۹ M در کشور و خودکفایی در این زمینه دست یابد. این ماده دارویی که در تشخیص

بسیاری از بیماری‌ها از جمله بیماری‌هایی که نیاز به اسکن از ماهیچه‌های قلبی، مغز استخوان، غدد بزاقی، تیروئید، پاراتیروئید، شش‌ها، کبد، کلیه و ... دارند در تمام مراحل توسط متخصصان و فارغ التحصیلان دانشگاه‌های داخلی تهیه و تولید شد.

ماده مولیبدن ۹۹ - تکنسیم ۹۹ M در حال حاضر تنها در چند کشور از جمله بلژیک، کانادا، آفریقای جنوبی، هلند، انگلیس، چین و هند تولید می‌شود و ایران جز معدود کشورهای تولید کننده این رادیو داور است.

## تولید کیک زرد

تولید کیک زرد از دیگر دستاوردهای محققان کشور بوده است. کیک زرد یا Yellowcake که به نام اورانیا (Urania) هم شناخته می‌شود در واقع خاک معدنی اورانیوم است که پس از گذراندن مراحل تصفیه و پردازشهای لازم از سنگ معدنی آن تهیه می‌شود. تهیه این ماده به منزله رسیدن به بخش میانی مراحل مختلف تصفیه سنگ معدن اورانیوم است. کیک زرد به طور معمول با آسیاب کردن و پردازشهای شیمیایی بر روی سنگ معدن اورانیوم، پودر زبر و زردرنگی به دست می‌آید که قابلیت حل شدن در آب را ندارد. کیک زرد عموماً برای تهیه سوخت رآکتورهای هسته‌ای به کار برده می‌شود. در واقع این ماده پس از پردازش به  $UO_2$  تبدیل و برای استفاده در میله‌های سوختی به کار می‌رود.

در حال حاضر در پروژه ساغند یزد اورانیوم از اعماق ۳۵۰ متری استخراج و به کیک زرد تبدیل و به عنوان خوراک اصلی غنی‌سازی نطنز استفاده می‌شود. به گفته رئیس سازمان انرژی اتمی تاکنون ۱۱۰ تن  $UF_6$  در تاسیسات اصفهان تولید شده و جمهوری اسلامی ایران جزو ۸ کشور اول جهان در دارا بودن تاسیسات فراوری اورانیوم به عنوان یک مجموعه کامل است.

## موفقیت در زمینه کشاورزی هسته‌ای

محققان کشور با استفاده از فناوری هسته‌ای موفق به تولید ارقام اصلاح شده گونه‌های گیاهی چون گندم مقاوم به خوابیدگی در مناطق شور چون گرمسار، ورامین، طبس، یزد، قم و اشتهارد، جو اصلاح شده متحمل به سرما برای کشت در مناطق سرد، پنبه اصلاح شده دارای مقاومت نسبی به بیماری قارچی و "رتیسیلیوز" و بهبود خواص کیفی، ایجاد تیپ‌های مختلف زودرس و بی‌دانه نارنگی شدند.

القای موتاسیون توسط اشعه گاما در پرتو دهی پرتقال تامسون "ناول" به منظور ایجاد ژنوتیپ‌ها با صفات برتر، مطالعه اثر سطوح مختلف گوگرد و مایع تلقیح باکتری‌های ریزبیوم و تیوباسیلوس بر عملکرد تثبیت ازت، جذب برخی عناصر غذایی ارقام سویا به روشهای ایزوتوپی، تاثیر شدت‌های پرتو دهی گاما در زمانهای مختلف پس از برداشت بر انبارهای توده‌ای پیاز، تهیه و تولید موتانت‌های مقاوم به آنتی‌یوتیک باکتریهای آنتا‌گونیت برای استفاده در مطالعات مزرعه‌ای، بررسی تاثیر منابع مختلف کود نیتروژنه و تعداد تقسیط بر عملکرد کمی و کیفی کلزا با استفاده از نیتروژن ۱۵ هسته‌ای و بررسی سازگاری و مقایسه عملکرد لاینهای موتانت‌ها و ارقام پیشرفته سویا، افزایش زمان نگهداری سیب و سیر با استفاده از روش پرتو دهی و ارزیابی کمی و کیفی موتانت‌های زودرس از دیگر موفقیت‌های کشور در زمینه کشاورزی هسته‌ای به شمار می‌رود.

### **دستیابی به دانش فنی ساخت محفظه شتابگرها**

همچنین در ادامه تحقیقات مبتنی بر فناوری هسته ای، دانشمندان پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای خبر از طراحی و ساخت شتابگر خطی دادند. دستیابی به دانش فنی ساخت این دستگاه نوید تازه ای برای صنایع (پلیمر- سترون کردن) و پزشکی خواهد بود.

### **آغاز تحقیقات پژوهشگران در زمینه گداخت هسته ای**

از دیرباز آرزوی بشر دستیابی به منبعی از انرژی بوده که علاوه بر آنکه بتواند مدت مدیدی از آن استفاده کند، تولید پسماندهای خطرناک نیز در پی نداشته باشد. اکنون در هزاره سوم میلادی این آرزوی به ظاهر دست نیافتنی کم کم به واقعیت می پیوندد.

اکنون بشر خود را آماده می کند تا با ساخت اولین رآکتور گرما هسته ای (همجوشی هسته ای) آرزوی نیاکان خود را تحقق بخشد. سوختی پاک و ارزان به نام هیدروژن با انرژی تولیدی سرشار و پسماندی بسیار پاک به نام هلیوم. در این زمینه سازمان انرژی اتمی کشور تحقیقاتی را آغاز کرده است که در زمان مناسب گزارش کاملی از آن ارائه خواهد شد.

## نتیجه گیری:

بر اساس مطالب ذکر شده در تحقیق به عمل آمده واضح است که انرژی هسته ای می تواند در تمامی طول زندگی بشریت در خدمت وی بوده و با کاربردهای فراوانش سعی در بهبود فرایند زیستن انسان نماید.

به این امید که ما نیز روزی به این تکنولوژی دست یابیم.

## فهرست منابع:

[www.aftab.ir](http://www.aftab.ir)

ماهنامه ی نوآور- شماره ی ۲۷۴

مجله ی دانستنیها - شماره ی ۴۳

[daneshnameh.roshd.ir](http://daneshnameh.roshd.ir)

[www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)