

**موضوع:**

 **نیروگاه هسته ای**

فهرست مطالب

[نیروگاه‌های اتمی 3](#_Toc415654758)

[نحوه آزاد شدن انرژی هسته‌ای 7](#_Toc415654759)

 [9](#_Toc415654760)

[کاربرد حرارتی انرژی هسته‌ای 9](#_Toc415654761)

[تبدیل اورانیوم 12](#_Toc415654762)

[غنی سازی اورانیوم 12](#_Toc415654763)

[راکتورهای هسته‌ای 13](#_Toc415654764)

[نیروگاه هسته‌ای 15](#_Toc415654765)

[انرژی بستگی هسته‌ای 16](#_Toc415654766)

 [17](#_Toc415654767)

[.  17](#_Toc415654768)

[کاربرد انرژی هسته ای در تولید برق: 17](#_Toc415654769)

[فرآیند عملیاتی نیروگاه اتمی بوشهر 22](#_Toc415654770)

[وظیفه سیستم‌های ایمنی در هنگام بروز احتمالی حادثه: 33](#_Toc415654771)

|  |
| --- |
| نیروگاه‌های اتمی |
|  |  |
|

|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
|  |

میزان کل انرژی‌های شناخته شده در کره زمین، در جدول زیر منعکس شده است:C:\Documents and Settings\Parsa\Desktop\نیروگاه های اتمی_files\350_orig.gifبسادگی ملاحظه می‌شود که نفت و گاز طبیعی کمترین میزان ذخیره را دارا می‌باشند و ذغال سنگ در مرحله بعد قرار دارد. ذخیره اورانیوم 235، که تکنولوژی امروزی تولید انرژی از آن را امکان پذیر ساخته است کمی بیش از میزان ذخایر نفت می‌باشد. ذخیره گونه‌های دیگر مواد رادیو اکتیو سنگین هزاران برابر ذخیره نفت خام است. همانطوریکه از اطلاعات انتهای جدول نیز مشخص است میزان انرژی دو تریم موجود در طبیعت، که با تبدیل آن به هلیوم انرژی کسب می‌گردد (پمپ‌های هیدروژنی)، به تنهائی هزاران برابر ذخایر کل مواد رادیو اکتیو می‌باشند. C:\Documents and Settings\Parsa\Desktop\نیروگاه های اتمی_files\351_orig.jpgمیزان ذخایر موجود جهت جهت گیری آتی انسان را برای تأمین انرژی قابل مصرف خود به نمایش می‌گذارد. در حال حاضر علاوه بر مصرف نفت، گاز طبیعی و ذغال سنگ در تولید انرژی‌های قابل کنترل، اورانیوم نیز جزء منابع اقتصادی تأمین کننده انرژی الکتریکی در آمده است، گرچه تلاش و جهت گیری‌ها به سمتی است که بتوان از هیدروژن سنگین (دتریم) موجود در طبیعت نیز، که عمده‌ترین گونه شناخته شده انرژی نهفته در جهان است، استفاده کرد.با توجه به آنچه که در بالا به آن اشاره شد ساختار و گونه‌های مختلف نیروگاه اتمی در زیر بیان می‌گردد.شکل عمومی تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های اتمی همانند نیروگاه‌های بخاری است با این تفاوت که منبع تولید گرما سوخت فسیلی نمی‌باشد و انرژی مورد نیاز جهت تولید بخار برای گرداندن توربین، از فعل و انفعالات اتمی در راکتور بدست می‌آید. C:\Documents and Settings\Parsa\Desktop\نیروگاه های اتمی_files\352_orig.jpgمعمولاً انرژی حاصل از فعل و انفعالات اتمی در راکتور به یک سیال منتقل می‌گردد که این سیال می‌تواند بطور مستقیم به طرف توربین هدایت گردد و یا با عبور از مبدل گرما، سیال دیگری را گرم نموده و نهایتاً آب لازم را به بخار تبدیل کرده و آنرا به توربین هدایت کند.در راکتورهای اتمی اولیه، سیال منتقل کننده اولیه آب بوده که مستقیماٌ پس از تبدیل شدن به بخار بطرف توربین هدایت می‌شد اما در تکنولوژی امروزی برای ایجاد امکان کنترل بیشتر روی فعل وانفعالات اتمی و کاهش خطرات ناشی از فعل و انفعالات، سیال واسطی بصورت مدار بسته حرارت تولیده شده در راکتور را در مبدل حرارتی جداگانه ای به آب منتقل نموده و آنرا به بخار تیدیل می‌نماید.. فعل و انفعالات اتمی بدو صورت انجام می‌پذیرد:**الف )** شکافت یا شکست اتمی**:**در این روش عناصر سنگین از طریق فعل وانفعالات اتمی به عناصر سبک تبدیل شده و انرژی آزاد می‌نمایند. در این حالت عناصر سنگین با از دست دادن نوترون و کاهش وزن به آزاد سازی انرژی درونی خود می‌پردازند. در راکتورهای نیروگاه‌های اتمی موجود، از این فرایند استفاده می‌شود**ب )** جوش یا گداخت اتمی:در این روش عناصر سبک با جذب نوترن به عناصر سنگین تر تیدیل می‌شوند و همزمان با از دست دادن بخش جزئی از وزن خود، قسمتی از انرژی درونی خود را آزاد می‌کنند.شمای کلی مولدهای اتمی در شکل زیر منعکس شده است: C:\Documents and Settings\Parsa\Desktop\نیروگاه های اتمی_files\353_orig.gifدر پایان مناسب است به شمای حرارتی این نوع نیروگاه‌ها نیز اشاره ای داشته باشیم. نمودار زیر به صورت ساده ای راندمان این نوع نیروگاه‌ها را نشان می‌دهد:C:\Documents and Settings\Parsa\Desktop\نیروگاه های اتمی_files\354_orig.gif |

 |  |

# نحوه آزاد شدن انرژی هسته‌ای

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 235U به دو تکه تبدیل می‌شود، انرژی کلی معادل با 200MeV 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 برگ‌تر از حدود 7000 کیلوگالری گرمایی است که از سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ حاصل می‌شود

|  |
| --- |
|  |



# کاربرد حرارتی انرژی هسته‌ای

گرمای حاصل از واکنش هسته‌ای در محیط راکتور هسته‌ای تولید و پرداخته می‌شود. بعبارتی در طی مراحلی در راکتور این گرما پس از مهارشدن انرژی آزاد شده واکنش هسته‌ای تولید و پس از خنک سازی کافی با آهنگ مناسبی به خارج منتقل می‌شود. گرمای حاصله آبی را که در مرحله خنک سازی بعنوان خنک کننده بکار می‌رود را به بخار آب تبدیل می‌کند. بخار آب تولید شده، همانند آنچه در تولید برق از زعال سنگ، نفت یا گاز متداول است، بسوی توربین فرستاده می‌شود تا با راه اندازی مولد، توان الکتریکی مورد نیاز را تولید کند. در واقع، راکتور همراه با مولد بخار، جانشین دیگ بخار در نیروگاه‌های معمولی شده است... **سوخت راکتورهای هسته‌ای** ماده‌ای که به عنوان سوخت در راکتورهای هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد باید شکاف پذیر باشد یا به طریقی شکاف پذیر شود.235U شکاف پذیر است ولی اکثر هسته‌های اورانیوم در سوخت از انواع 238U است. این اورانیوم بر اثر واکنش‌هایی که به ترتیب با تولید پرتوهای گاما و بتا به 239Pu تبدیل می‌شود. پلوتونیوم هم مثل 235U شکافت پذیر است. به علت پلوتونیوم اضافی که در سطح جهان وجود دارد نخستین مخلوط‌های مورد استفاده آن‌هایی هستند که مصرف در آنها منحصر به پلوتونیوم است..
میزان اورانیومی که از صخره‌ها شسته می‌شود و از طریق رودخانه‌ها به دریا حمل می‌شود، به اندازه‌ای است که می‌تواند 25 برابر کل مصرف برق کنونی جهان را تأمین کند. با استفاده از این نوع موضوع، راکتورهای زاینده‌ای که بر اساس استخراج اورانیوم از آب دریاها راه اندازی شوند قادر خواهند بود تمام انرژی مورد نیاز بشر را برای همیشه تأمین کنند، بی آنکه قیمت برق به علت هزینه سوخت خام آن حتی به اندازه یک درصد هم افزایش یابد.

.****

. چرخه سوخت هسته‌ای شامل مراحل استخراج، آسیاب، تبدیل، غنی سازی، ساخت سوخت باز تولید و راکتور هسته‌ای است و به یک معنا کشوری که در چرخه بالا به حد کاملی از خودکفایی و توسعه رسیده باشد با فناوری تولید سلاح‌های هسته‌ای فاصله چندانی ندارد

**:** استخراج

در فناوری هسته‌ای، خواه صلح آمیز باشد یا نظامی، ماده بنیادی مورد نیاز، اورانیوم است. اورانیوم از معادن زیر زمینی و همچنین حفاری‌های روباز قابل استحصال است. این ماده به رغم آنکه در تمام جهان قابل دستیابی است، اما سنگ معدن تغلیظ شده آن به مقدار بسیار کمی قابل دستیابی است. زمانی که اتم‌های مشخصی از اورانیوم در یک واکنش زنجیره‌ای دنباله دار که به دفعات متعدد تکرار شده، شکافته می‌شود، مقادیر متنابهی انرژی آزاد می‌شود، به این فرآیند شکافت هسته‌ای می‌گویند..
فرآیند شکاف در یک نیروگاه هسته‌ای به آهستگی و در یک سلاح هسته‌ای با سرعت بسیار روی می‌دهد، اما در هر دو حالت باید به دقت کنترل شوند. مناسب‌ترین حالت اورانیوم برای شکافت هسته‌ای ایزوتوپ‌های خاصی از 235U (یا 239Pu) است. ایزوتوپ‌ها، اتم‌های یکسان با تعداد نوترون‌های متفاوت هستند. به هرحال 235U به دلیل تمایل باطنی به شکافت در واکنش‌های زنجیری و تولید انرژی حرارتی به عنوان «ایزوتوپ شکافت» شناخته شده است.
هنگامی که اتم 235U شکافته می‌شود دو یا سه نوترون آزاد می‌کند. این نوترون‌ها با سایر اتم‌های 235U برخورد کرده و باعث شکاف آنها و تولید نوترون‌های جدید می‌شود. برای روی دادن یک واکنش هسته‌ای به تعداد کافی از اتم‌های 235U برای امکان ادامه یافتن این واکنش‌ها بصورت زنجیری و البته خودکار نیاز است. این جرم مورد نیاز به عنوان «جرم بحرانی» شناخته می‌شود. باید توجه داشت که هر 1000 اتم طبیعی اورانیوم شامل تنها حدود هفت اتم 235U، یعنی (0.7 درصد) بوده و 993 اتم دیگر از نوع 238U هستند که اصولاً کاربردی در فرآیندهای هسته‌ای ندارند.

# تبدیل اورانیوم

سنگ معدن اورانیوم استخراج شده در آسیاب خرد و ریز شده و به پودر بسیار ریزی تبدیل می‌شود. پس از آن طی فرآیند شیمیایی خاصی خالص سازی شده و بصورت یک حالت جامد به هم پیوسته که (yellow cake) یاد می‌شود، درمی‌آید. کیک زرد شامل 70 درصد اورانیوم بوده و دارای خواص پرتوزایی (radioactive) است. هدف پایه‌ای دانشمندان هسته‌ای از فرآیند غنی سازی افزایش میزان اتم‌های 235U است که برای این هدف اورانیوم باید اول به گاز تبدیل شود.
با گرم کردن اورانیوم تا دمای 64 درجه سانتیگراد حالت جامد به گاز هگزا فلوئورید اورانیوم (UFG) تبدیل می‌شود. هگزافلوئورید اورانیوم خورنده و پرتوزا است و باید با دقت جابجا شود، لوله‌ها و پمپ‌ها در کارخانه‌های تبدیل کننده بصورت ویژه‌ای از آلیاژ آلومینیوم و نیکل ساخته می‌شوند. گاز تولیدی همچنین باید از نفت و روغن‌های گریس به جهت جلوگیری از واکنش‌های ناخواسته شیمیایی دور نگه داشته شود..

# E:\majid\New Folder (2)\جدیدترین عکس ها_files\cerenkov.jpgغنی سازی اورانیوم

هدف غنی سازی مشخصاً افزایش میزان 235U \_ ایزوتوپ شکافت \_ است. اورانیوم مورد نیاز در مصارف صلح آمیز نظیر راکتورهای هسته‌ای نیروگاه‌ها باید شامل دو تا سه درصد 235U باشد، اما اورانیوم مورد نیاز در تسلیحات اتمی باید شامل بیش از نود درصد 235U باشد. شیوه متداول غنی سازی اورانیوم سانتریفوژ کردن گاز است. در این روش هگزافلوئورید اورانیوم در یک محفظه استوانه‌ای با سرعت بالا در شرایط گریز از مرکز قرار می‌گیرد. این کار باعث جدا شدن ایزوتوپ‌های با جرم حجمی بالاتر از 235U می‌شود (238U). 238U در طی فرآیند گریز از مرکز به سمت پائین محفظه کشیده شده و خارج می‌شود، اتم‌های سبک‌تر 235U از بخش میانی محفظه جمع آوری و جدا می‌شود.

235U تجمع یافته پس از آن به محفظه‌های گریز از مرکز بعدی هدایت می‌شود. این فرآیند بارها در میان زنجیری از دستگاه‌های گریز از مرکز در کنار هم چیده شده تکرار می‌شود تا خالص‌ترین میزان اورانیوم بسته به کاربرد آن به دست آید. از اورانیوم غنی شده در دو نوع سلاح هسته‌ای استفاده می‌شود، یا بصورت مستقیم در بمب‌های اورانیومی و یا طی چند مرحله در بمب‌های پلوتونیومی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

# راکتورهای هسته‌ای

راکتورها دارای کاربردهای کاملاً دوگانه هستند. در مصارف صلح آمیز با بهره گیری از حرارت تولیدی در شکافت هسته‌ای کار می‌کنند. این حرارت جهت گرم کردن آب، تبدیل آن به بخار و استفاده از بخار برای حرکت توربین‌ها بهره گرفته می‌شود. همچنین اگر قصد ساخت بمب‌های پلوتونیومی در کار باشد نیز اورانیوم غنی شده را به راکتورهای هسته‌ای منتقل می‌کنند. در نوع خاصی از راکتورهای هسته‌ای از اورانیوم غنی شده به شکل قرص‌هایی به اندازه یک سکه و ارتفاع یک اینچ بهره می‌گیرند. این قرص‌ها بصورت کپسول‌های میله‌ای شکل صورت بندی شده و درون یک محفظه عایق، تحت فشار قرار داده می‌شوند.

در بسیاری از نیروگاه‌های هسته‌ای این میله‌ها جهت خنک شدن درون آب غوطه‌ور هستند. روش‌های دیگر خنک کننده نیز نظیر استفاده از دی اکسیدکربن یا فلز مایع هستند. برای کارکرد مناسب یک راکتور (مثلاً تولید حرارت با کمک واکنش شکافت) هسته اورانیومی باید دارای جرم فوق بحرانی باشد، این بدین معناست که مقدار کافی و مناسبی از اورانیوم غنی شده جهت شکل گیری یک واکنش زنجیری خود به خود پیش رونده موردنیاز است.

برای تنظیم و کنترل فرآیند شکافت میله‌های کنترل کننده از جنس موادی نظیر گرافیت با قابلیت جذب نوترون‌های درون راکتور وارد محفظه می‌شوند. این میله‌ها با جذب نوترون‌ها باعث کاهش شدت فرآیند شکافت می‌شوند. در حال حاضر بیش از چهارصد نیروگاه هسته‌ای در جهان وجود دارند و 17 درصد الکتریسیته جهان را تولید می‌کنند. راکتورها همچنین در کشتی‌ها و زیردریایی‌ها کاربرد دارند

# نیروگاه هسته‌ای

نیروگاه هسته‌ای (Nuclear Power Stotion) یک نیروگاه الکتریکی که از انرژی تولیدی شکست هسته اتم اورانیوم یا پلوتونیم استفاده می‌کند. اولین جایگاه از این نوع در 27 ژوئن سال 1958 در شوروی سابق ساخته شد. که قدرت آن 5000 کیلو وات است. چون شکست سوخت هسته‌ای اساساً گرما تولید می‌کند، از گرمای تولید شده راکتورهای هسته‌ای برای تولید بخار استفاده می‌شود. از بخار تولید شده برای به حرکت در آوردن توربین‌ها و ژنراتورها که نهایتاً برای تولید برق استفاده می‌شود...در واکنش‌های شکافت هسته‌ای مقادیر زیادی نیز انرژی آزاد می‌گردد (در حدود 200Mev) اما مسئله مهم‌تر اینکه نتیجه شکستن هسته 235U، آزادی دو نوترون است که می‌تواند دو هسته دیگر را شکسته و چهار نوترون را بوجود آورد. این چهار نوترون نیز چهار هسته 235U را می‌شکند. چهار هسته شکسته شده تولید هشت نوترون می‌کنند که قادر به شکستن همین تعداد هسته اورانیوم می‌باشند. سپس شکست هسته‌ای و آزاد شدن نوترون‌ها بصورت زنجیروار به سرعت تکثیر و توسعه می‌یابد. در هر دوره تعداد نوترون‌ها دو برابر می‌شود، در یک لحظه واکنش زنجیری خود بخودی شکست هسته‌ای شروع می‌گردد. در واکنش‌های کنترل شده هسته‌ای تعداد شکست در واحد زمان و نیز مقدار انرژی بتدریج افزایش یافته و پس از رسیدن به مقداری دلخواه ثابت نگهداشته می‌شود..



# انرژی بستگی هسته‌ای

می‌توان تصور کرد که جرم هسته، M، با جمع کردن Z (تعداد پروتون‌ها) ضربدر جرم پروتون N تعداد نوترون‌ها ضربدر جرم نوترون بدست می‌آید.
**M = Z×Mp + N×Mn**

از طرف دیگر M همیشه کمتر از مجموع جرم‌های تشکیل دهنده‌های منزوی هسته است. این اختلاف به توسط فرمول انیشتین توضیح داده می‌شود که رابطه بین جرم و انرژی هم ارزی جرم و انرژی را برقرار می‌سازد. اگر یک دستگاه مادی دارای جرم باشد در این صورت دارای انرژی کلی E است. E = M C2 که در آن C سرعت نور در خلأ و M جرم کل هسته مرکب از نوکلئون‌ها و E مقدار انرژی‌ای است که در اثر فروپاشی جرم M تولید می‌شود. بنابر این اصول انرژی هسته‌ای بر آزاد سازی انرژی پیوندی هسته استوار است. هر سیستمی که دارای انرژی پیوندی بیشتر باشد پایدار می‌باشد. در واقع جرم مفقود شده در واکنش‌های هسته‌ای طبق فرمول E = M C2 به انرژی تبدیل می‌شود. پس انرژی بستگی اختلاف جرم هسته و جرم نوکلئون‌های تشکیل دهنده آن است، که معرف کاری است که باید انجام شود تا نوکلئون‌ها از هم جدا شوند



|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
| . فن آوري هسته ايکاربرد انرژی هسته ای در تولید برق:یکی از مهم‌ترین موارد استفاده صلح آمیز از انرژی هسته ای، تولید برق از طریق نیروگاه‌های اتمی است. با توم به پایان پذیر بودن منابع فسیلی و روند رو به رشد توسعه اجتماعی و اقتصادی، استفاده از انرژی هسته ای برای تولید برق را امری ضروری و لازم می‌دانند و ساخت چند نیروگاه اتمی را دنبال می‌نماید.ایران هر ساله حدوداً به هفت هزار مگاوات برق در سال نیاز دارد. نیروگاه اتمی بوشهر 1000 مگاوات برق را در صورت راه اندازی تأمین می‌نماید. و احداث نیروگاه‌های دیگر برای رفع این نیازی ضروری است. برای تولید میزان برق حدود 190 میلیون بشکه نفت خام مصرف می‌شود. که در صورت تأمین از طریق انرژی هسته ای سالیانه 5 میلیارد دلار صرفه جویی خواهد شد. |

 |

**1-6- نیروگاه شکافت هسته ای**:
دردهه اول و دوم قرن بیستم نظریه‌های نسبیت اینشتین امکان تبدیل جرم به انرژی رابه بشر آموخت. متأسفانه اولین کاربرد این نظریه منجر به تولید بمب‌های اتمی درسال 1945 توسط آمریکا شد. بعد از این مرحله غیرانسانی از کاربرد فرمول اینشتین (E=MC2)، دانشمندان راه مهارکردن بمب‌های اتمی رایافته و از آن پس نیروگاه‌های اتمی متکی برپدیده شکست اتم‌های اورانیوم - تبدیل بخشی از جرم آنها به انرژی - برای تولید الکتریسیته ساخته شد.
اتم‌های سنگینی از جمله ایزوتوپ اورانیوم 235 ویا ایزوتوپ پلوتونیوم 239 دراثر ورود یک نوترون شکسته می شودودراثراین شکست 200 میلیون ولت انرژی آزادشده ودوتکه حاصل از شکست غالباً رادیواکتیو بوده و بانشر پرتوهای پرانرژی و خطرناک وبا نیمه عمرنسبتا طولانی درطی زمان تجزیه می‌شوند. این پدیده راشکست اتم‌ها گویند که برروی اتم‌های بسیار سنگین اتفاق می‌افتد لذا باید نوترون‌های اضافی را ازدرون راکتور خارج کرد و این کار به کمک میله‌های کنترل کننده درداخل راکتور انجام می‌گیرد واین عمل رامهارکردن راکتورگویند که مانع ازانفجار زنجیره ای اتم‌های اورانیوم می‌شود.

از آغاز نیمه دوم قرن بیستم ساخت نیروگاه‌های اتمی یا برای تولید الکتریسیته ویا برای تولید رادیواکتیو عنصر پلوتونیوم که دربمب اتم و هیدروژن کاربرد دارد شروع شد و ساخت این نیروگاه‌ها تا قبل از حوادث مهمی نظیر تری میل آیلند درآمریکا درسال 1979 میلادی وچرنوبیل دراتحاد جماهیرشوروی سال 1986 تعداد نیروگاه‌های اتمی تاسال 1990 ازرقم 437 تجاوز می‌کرد بعداز این دوحادثه مهم تامدتی ساخت نیروگاه‌ها متوقف شد. درسال 1990 مقدار انرژی تولیدشده درنیروگاه های صنعتی جهان ازمرز 300 هزارمگاوات تجاوز می‌کرد.
ولی متأسفانه درسال های اخیر گویا حوادث فوق فراموش شده و گفت وگو درباره تأسیس نیروگاه‌های اتمی جدید بین دولت‌ها وصنعتگران از یک سو دانشمندان و مدافعان محیط زیست آغاز شده که آنها و مدافعان محیط زیست مخالف بااین روش هستند و محاسباتشان نشان می‌دهد که اگر قرارباشد تمام جهانیان از نیروگاه اتمی استفاده کنند از یک سو دیکتاتور غیرمنقول و نا آشنا با مفاهیم تعادل محیط زیست دارای این سلاح خطرناک شود از سوی دیگر افزایش مواد زاید این نیروگاه که غالباً رادیوایزوتوپ هاست سزیم 137 واسترانسیوم 90 وپلوتونیوم 239 می‌باشند سیاره زمین رامبدل به جهنمی غیرقابل سکونت می‌کنند. باوجوداین اخیراً ایلات متحده آمریکا مسائل فوق رافراموش کرده وبرنامه ساخت نیروگاه‌های اتمی را مورد مطالعه قرارداده ولی خوشبختانه دراین کشورها بامقاومت شدید مدافعان محیط زیست روبه روشدند. درحال حاضر 22 نیروگاه اتمی دردست ساخت است (تایوان، چین، هندوستان، کره جنوبی، ژاپن، کره شمالی و ایران) و درکشورهای کمونیستی سابق ده نیروگاه درحال ساخت است (اوکراین، روسیه، اسلواکی، رومانی

مواد زاید نیروگاه‌های موجود و درحال بهره برداری از 300 هزارتن درسال تجاوز می‌کند و تاسال 2020 که 33 نیروگاه درحال ساخت کنونی است به بهره برداری می‌رسد موادزاید رادیواکتیو وخطرناک از مرز 500 هزار تن درسال تجاوز می‌کند باید توجه داشت که برای از بین رفتن 99 درصد رادیواکتیویته این مواد زاید باید حداقل 300 سال صبر کرد.

**2-6-** نیروگاه جوش هسته ای**:**

ازاواسط قرن بیستم دانشمندان باجدیت فراوان مشغول پژوهش و آزمایش برروی پدیده پیوست اتم‌های سبک هستند. درآغاز نیمه دوم قرن بیستم کشورهای غربی واتحاد جماهیرشوروی سابق از این پدیده برای مصارف نظامی و تولید بمب هیدروژنی استفاده کرده و به علت ارزان بودن فرآورده‌های نفتی کشوری پیشرفته کمک مالی چندانی به دانشمندان برای یافتن وسیله کنترل بمب هیدروژنی نکردند و به فکر ساختن نیروگاهی براساس پدیده پیوست اتم‌ها افتاده‌اند که درآغاز به آن اشاره شد ودرزیراصول آن تشریح شده است..
بمب هیدروژنی: بمب هیدروژنی درواقع یک بمب اتمی است که درمرکز آن ایزوتوپ‌های سنگین هیدروژن (دوتریم وتریتیم ویا فلزبسیار سبک لیتیم را قرارداده اند) بمب اتمی به عنوان چاشنی شروع کننده واکنش است با انفجار بمب اتمی دمایی معادل ده‌ها میلیون درجه درمرکز توده سوخت ایجاد می‌شود. که به مراتب از قارچ اول بزرگ تر است مثل واکنشی که درخورشید اتفاق می‌افتد نتیجه پیوست اتم‌های هیدروژن است، دمای درونی خورشید میلیون‌ها درجه است. (دمای سطح خورشید 6000 درجه است). درمرکز خورشید از پیوست اتم‌های هیدروژن معمولی ایزوتوپ‌های دوتریم وتریتیم تولید می‌شود وسپس این ایزوتوپ به هم پیوسته شده و هسته اتم هلیم رابه وجودمی آورد این واکنش‌ها انرژی زا هستند و در اثر واکنش اخیر 17/6 میلیون الکترون ولت (هر الکترون ولت برابر 19-10\*6/1 ژول است) انرژی تولید می‌شود. اثر نیروی گرانشی بر روی جرم بی نهایت زیاد درون خورشید است وقتی که ذخیره هیدروژن تمام شود، زمان مرگ خورشید فرامی رسد (البته در 5 یا 6 میلیاردسال دیگر). درمقایسه نسبی اوزان درپدیده پیوست 4 برابرانرژی بیشترازپدیده شکست اتم‌های اورانیوم تولید می‌شود.
نیروگاه متکی برپیوست: اتم‌های سبک با یکدیگر پیوست حاصل کرده و اتمی سنگین تر از خود بر جای می‌گذارند در واقع همان واکنشی است که درخورشید رخ می‌دهد. تاکنون درآزمایشگاه ها توانسته‌اند به مدت حداکثر 4 دقیقه این واکنش را ایجاد کرده وشدت جریان الکتریکی درحدود 15 میلیون آمپر را به دست آورند. درمرکز این دستگاه اتم‌های سبک در اثر میدان مغناطیسی و الکتریکی حالت پلاسما راخواهند داشت. یعنی درحالت هسته اتم‌ها دردریایی از الکترون غرق‌اند. درچنین حالتی اتم‌های سبک آنقدر تحریک و نزدیک به هم‌اند که درهم نفوذ کرده واتم جدیدی که هلیم است می‌سازند. (ستارگان بسیارحجیم ترازخورشیددمای درونی بیش از صدها میلیون و یا حتی میلیاردها درجه است و در آنها اتم‌های سنگین ترنظیر کربن، ازت و اکسیژن باهم پیوست می‌کنند و عناصری مانند سیلیسیم و گوگرد و … رابه وجود می‌آورند.

# فرآیند عملیاتی نیروگاه اتمی بوشهر

مولد بخار یک مبدل حرارتی است که آب مدار اول درون لوله‌های U شکل فولادی آن جریان دارد و آب مدار دوم در یک سیکل کاملاً مجزا با گردش در اطراف این لوله‌ها، ضمن برداشت حرارت به بخار تبدیل می‌شود. علیرغم پیچیدگی فناوری یک نیروگاه هسته ای از نوع نیروگاه بوشهر، فرآیند تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه هسته ای را می‌توان به طور ساده به سه مرحله کاملاً مجزا تقسیم نمود که در سه مدار مستقل شامل مدار اول، مدار دوم و مدار خنک کننده انجام می‌پذیرد.
**● مدار اول**
شکافت اورانیوم غنی شده در راکتور منبع تولید انرژی به صورت گرمایی است. این انرژی گرمایی توسط آب مدار اول که در یک مسیر بسته (چهار حلقه) جریان دارد به مولدهای بخار منتقل می‌شود. مولد بخار یک مبدل حرارتی است که آب مدار اول درون لوله‌های U شکل فولادی آن جریان دارد و آب مدار دوم در یک سیکل کاملاً مجزا با گردش در اطراف این لوله‌ها، ضمن برداشت حرارت به بخار تبدیل می‌شود. آب مدار اول پس از خروج از مولد بخار توسط پمپ مدار اول برای برداشت مجدد گرما به راکتور بازگردانده می‌شود.
**● مدار دوم**
در مدار دوم، بخار تولید شده درمولد بخار به توربین هدایت شده و در آن جا به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود (چرخش توربین به طور مستقیم ژنراتور نیروگاه را به حرکت درآورده، که منجر به تولید انرژی الکتریکی می‌شود). سپس بخار خروجی از توربین، به وسیله کندانسور به آب تبدیل شده و مجدداً برای تکمیل و تکرار این چرخه به مولد بخار بازگردانده می‌شود.

**● مدار خنک کننده**
برای چگالش بخار خروجی از توربین، آب دریا به عنوان خنک کننده، در یک مدار کاملاً مجزا از مدار دوم توسط پمپ‌های سیرکولاسیون به کندانسور هدایت می‌شود و پس از برداشت گرما، از طریق یک کانال روباز به طول ۴۰۰ متر و به دنبال آن چهار تونل ۱۲۰۰ متری در زیر بستر دریا، در عمق ۷ متری به دریا باز می‌گردد.
نقش اصلی راکتور در نیروگاه هسته ای تولید انرژی گرمایی است. فرآیندی که در این راکتور سبب تولید گرما می‌شود شکافت هسته ای نام دارد. شکافت، فرآیندی است که در طی آن یک هسته اتم سنگین به دو یا چند هسته کوچک تر تبدیل می‌شود و ضمن این عمل مقداری انرژی به صورت گرما و تابش ساطع می‌گردد.
در نیروگاه هسته ای با آب سبک، فرایند شکافت غالباً توسط نوترون‌های حرارتی انجام می‌گیرد. هسته اورانیوم ۲۳۵ پس از جذب نوترون ناپایدار شده، به دو یا چند جز به نام شکاف‌پاره تقسیم می‌شود. علاوه بر شکاف‌پاره ها، دو تا سه نوترون بعلاوه مقداری انرژی و ذرات آلفا، بتا و تابش گاما نیز در هر شکافت به دست می‌آید (نوترون‌های آزاد شده به طور متوسط دارای انرژی Mev۲ بوده که برای انجام شکافت هسته اورانیوم ۲۳۵ بایستی انرژی جنبشی خود را از دست داده، با اتم‌های محیط خود به تعادل حرارتی دست یابند؛ یعنی انرژی آنها به چند صدم ev برسد. این عمل در نتیجه برخوردهای متوالی نوترون با هسته اتم‌های هیدروژن مولکول‌های آب درون راکتور صورت می‌گیرد). به این طریق، یک عمل شکافت می‌تواند منجر به شکافت‌های دیگری شود که آنها هم به نوبه خود شکافت‌های دیگری را به دنبال خواهند داشت. به این واکنش که به صورت تسلسلی شکل ادامه می‌یابد، واکنش شکافت زنجیره ای گویند. لازم به ذکر است که پایدار ماندن واکنش زنجیره ای در قلب راکتور مستلزم وجود جرم بحرانی در قلب راکتور می‌باشد.
انرژی آزاد شده از فرایند شکافت به گرما تبدیل می‌شود. حرارت تولید شده توسط آب مدار اول برداشت شده، به آب مدار دوم انتقال می‌یابد و در مدار دوم برای تولید بخار و چرخاندن توربین مورد استفاده قرار می‌گیرد.
تنظیم مقدار انرژی آزاد شده در یک راکتور هسته‌ای با تعداد شکافت‌هایی که اتفاق می‌افتد، کنترل می‌گردد. این عمل با کنترل کردن تعداد نوترون‌هایی که برای انجام عمل شکافت موجود می‌باشد صورت می‌گیرد. هر چه تعداد چنین نوترون‌هایی کمتر باشد، تعداد شکافت‌ها نیز کمتر است. یکی از روش‌های رسیدن به چنین کنترلی، این است که ماده ای را در راکتور قرار دهند که به آسانی نوترون‌ها را جذب کند. بنابراین با تنظیم مقدار این ماده در راکتور، تعداد نوترون‌های موجود برای عمل شکافت می‌تواند به میزان مطلوب تنظیم شود.
راکتور نیروگاه هسته ای بوشهر از نوع آب سبک تحت فشار می‌باشد که توان تولید Mw(t) ۳۰۰۰ انرژی گرمایی را داشته و متشکل از یک پوسته از جنس فولاد کربنی است که با فولاد ضد زنگ پوشش داده شده است و درون آن قلب راکتور (Core)، سپر حرارتی و نوترونی (Core baffle)، نگهدارنده قلب (Core barrel، محافظ کانال‌های هادی (Protective Tube Unit) قرار گرفته و توسط درپوش راکتور (Upper Unit) بسته می‌شود. آب که به عنوان کند کننده نوترون و خنک کننده استفاده می‌شود، توسط پمپ‌های مدار اول با فشار bar۱۵۷ و حرارت &#۷۳۰;C۲۹۱ از طریق ۴ نازل خط سرد (Cold Leg) وارد راکتور می‌شود و پس از برداشت حرارت از قلب راکتور با حرارت &#۷۳۰;C۳۲۱ از طریق ۴ نازل خط گرم (Hot Leg) به سمت مولدهای بخار هدایت شده، و در آنجا با تبادل حرارت با آب مدار دوم بخار تولید می‌شود.
منبع تولید گرما، سوخت هسته ای از نوع دی اکید اورانیوم غنی شده با غنای ۰۲/۴%، ۶۲/۳%، ۴/۲%، ۶/۱% می‌باشد. سوخت هسته‌ای به صورت قرص‌های استوانه‌ای به قطر ۵۷/۷ و ارتفاع ۱۲ میلی متر ساخته شده که درون میله‌های سوخت قرار دارد.
تعداد ۳۱۱ میله سوخت با آرایش شش ضلعی، یک مجتمع سوخت را می‌سازند و تعداد ۱۶۳ مجتمع سوخت در کنار هم قلب راکتور را تشکیل می‌دهند. مکانیزم تولید گرما، واکنش هسته‌ای شکافت اورانیوم و تبدیل آن به پاره‌های شکافت سبک تر است که همراه با آزاد شدن انرژی و تولید نوترون برای ادامه این زنجیره است.
کنترل واکنش هسته‌ای و در نتیجه کنترل راکتور به کمک اسیدبوریک محلول در آب، به همراه میله‌های کنترل که به محرک‌های سیستم کنترل و حفاظت متصل است، انجام می‌شود.

**●** اجزای راکتور

۱) محرک میله‌های کنترل
۲) درپوش راکتور
۳) پوسته اصلی راکتور
۴) نگهدارنده قلب راکتور
۵) محافظ کانال‌های هادی
۶) قلب راکتور
۷) ورودی خنک کننده
۸) خروجی خنک کننده

مجموعه توربین بخار K – ۱۰۰۰ – ۳۰۰۰/۶۰ – ۳ با قدرت نامی ۱۰۰۰ مگاوات و سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه جهت به حرکت درآوردن ژنراتور جریان متناوب به کار می‌رود. ژنراتور به همراه مجموعه توربین بر روی یک سازه بتنی سوار شده که این سازه به صورت مجزا از سازه اصلی ساختمان توربین، بر روی فنرهای مخصوصی (جهت خنثی کردن ارتعاشات ناشی از دورهای بحرانی) قرار گرفته است. توربوست نیروگاه اتمی بوشهر شامل چهار توربین از جمله یک توربین فشار بالا و سه توربین فشار پایین می‌باشد. مجموعه توربین مذکور تک محوری و هر چهار توربین از نوع دو طرفه متقارن است که در هر طرف دارای پنج ردیف پره می‌باشند. روتور توربین‌های فشار پایین و فشار بالا به روش آهنگری و به صورت یکپارچه و بدون سوراخ مرکزی ساخته می‌شود که این کار باعث کاهش تمرکز تنش در روتور خواهد شد.
سیکل آب و بخار نیروگاه اتمی بوشهر این گونه است که بخار تولید شده در مولدهای بخار به ساختمان توربین هدایت و با حداکثر، رطوبت ۲/۰% و فشار bar۸/۵۸ r وارد توربین فشار قوی شده و پس از انجام کار به علت کاهش فشار و حرارت اولیه مرطوب می‌شود. برای این که این رطوبت به پره‌های توربین فشار ضعیف آسیب نرساند، بخار خشک و مجدداً گرم می‌شود تا به پارامترهای مطلوب دست یابد و پس از آن با فشار bar۸/۶ r به توربین فشار ضعیف هدایت می‌شود، به دنبال آن در کندانسور تغییر حالت داده، طی مراحلی احیا شده (پیش گرم و گاززدایی گردیده و تا C&#۷۳۰; ۲۲۲ گرم می‌شود) و مجدداً به مولدهای بخار باز می‌گردد.
واحد توربین نیروگاه اتمی بوشهر دارای مدار پیشرفته احیاء از جمله چهار مرحله هیتر فشار پایین، دئراتور (هوازدا)، یک مرحله هیتر فشار بالا و پمپ انتقال کندانس بخار گرم کننده است. تمام هیترهای فوق به غیر از دئراتور که از نوع مخلوطی است. از نوع تبادل حرارت سطحی می‌باشند. تمام هیترهای احیاء کننده غیر از هیتر فشار پایین شماره چها ر و دئراتور، شامل دو پوسته می‌باشند و در دو خط موازی قرار دارند.

**● ژنراتور**
ژنراتور نیروگاه اتمی بوشهر از نوع سنکرون سه فاز می‌باشد که سیم پیچ استاتور آن با آب خنک می‌گردد. خنک کننده روتور و هسته استاتور آن نیز هیدروژن می‌باشد. قدرت خروجی آن ۱۰۰۰ مگاوات و دارای دو قطب بوده و با مارک صنعتی TBB – ۱۰۰۰- ۲۷/۲ – T۳ معرفی می‌گردد. ولتاژ خروجی استاتور آن نیز kv۲۷ می‌باشد.

**● پست**
نیروگاه اتمی بوشهر دارای دو پست kv۲۳۰ و kv۴۰۰ می‌باشد که پست kv۴۰۰ از نوع GIS (گاز ایزوله کننده بین کنتاکت ها) بوده و از طریق دو خط به پست چغادک و شبکه سراسری متصل می‌گردد و پست kv۲۳۰ از نوع AIS (هوا ایزوله کننده بین کنتاکت ها) می‌باشد و اتصال آن به شبکه سراسری توسط دو خط و از طریق پست بوشهر صورت می‌پذیرد.
اگر راکتور را قلب یک نیروگاه اتمی بدانیم، بدون شک سیستم کنترل و ابزار دقیق، مغز و شبکه عصبی این تأسیسات مهم و گسترده می‌باشد. سیستم کنترل و ابزار دقیق نیروگاه اتمی بوشهر یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های اتوماسیون موجود در جهان و به صورت یک سیستم کنترل توزیع شده (DCS) بوده، که از نظر لایه‌های کنترلی به سه سیستم سطح بالا (TLSU)، میانی (TPTS) و پایین (سنسورها و عملگرها) تقسیم می‌شود.
(Top Level System of the power Unit) TLSU از یک شبکه کامپیوتری با سرعت MBit/s۱۰۰ تشکیل شده است که بالاترین لایه کنترلی نیروگاه به حساب می‌آید، اطلاعات را از سطح میانی دریافت کرده، آنها را بر روی ایستگاه‌های کاری نشان داده و امکان کنترل مرکزی را ایجاد می‌کند. تابلوهای TPTS از چندین (Software Hardware Complex) SHC تشکیل شده که وظیفه نظارت و کنترل سیستم‌ها و تجهیزات فنی را بر اساس دستورالعمل‌های جاری بهره برداری نیروگاه اتمی بوشهر عهده‌دار است. TPTS از طریق Gateway به TLSU متصل شده و تبادل داده می‌نماید.

**●** نیروگاه اتمی بوشهر و محیط زیست
امروزه از انرژی هسته ای به عنوان یکی از رهیافت‌های زیست محیطی باری مقابله با افزایش دمای کره زمین و کاهش آلودگی محیط زیست یاد می‌شود. در حال حاضر نیروگاه‌های هسته ای جهان با ظرفیت نصب شده فعلی توانسته‌اند سالانه از انتشار ۸ درصد از گازهای گلخانه ای در فضا جلوگیری کنند.
ساخت و بهره برداری از تأسیسات هسته ای در هر کشور عضو آژانس بین المللی انرژی اتمی، مشمول ضوابط و مقررات ویژه ایمنی هسته‌ای و نظارت مستمر قانونی بر کلیه فعالیت‌ها در مراحل انتخاب محل، طراحی، ساخت قطعات و تجهیزات، احداث، راه اندازی، بهره برداری و از کاراندازی تأسیسات فوق الذکر است.
لازم به ذکر است در نیروگاه‌های اتمی تماماً خروجی‌ها (گازها و مایعات) به محیط اطراف از نقطه نظر اکتیویته و شیمیایی کنترل می‌شود و ملزم به رعایت نُرم‌ها و استانداردهای لازم می‌باشند، به طوری که در مسیر خروجی آب و گاز به محیط اطراف فیلترهای مختلفی وجود دارد که در آنها اکتیویته به صورت خودکار و پیوسته و همچنین به صورت دستی و دوره ای کنترل می‌شوند و تا اکتیویته آنها به حد مجاز قابل خروج نرسد، در محیط رهاسازی نمی‌شوند.
نُرم مجاز برای آب‌های خروجی ۱۱-۱۰ کوری بر لیتر و برای گازهای بی اثر خروجی از هواکش نیروگاه ۵۰ کوری در شبانه روز می‌باشد. دُزِ مجاز دریافتی سالانه پرسنل گروه A (پرسنل راکتور) ۲۰ میلی سیورت می‌باشد. در حالی که دز دریافتی سالانه مردم از منابع پرتوزای طبیعی، اشعه کیهانی، استفاده‌های پزشکی و انفجارات اتمی حدود ۳/۲ میلی سیورت می‌باشد. مقدار دز مجاز دریافتی ساکنین اطراف نیروگاه‌های هسته ای حداکثر برابر با ۵/۱ میلی سیورت می‌باشد که در مقایسه با دز دریافتی از دیگر منابع پرتوزا بسیار اندک است.
در حال حاضر در سراسر دنیا ایمنی نیروگاه‌های هسته ای بر پایه «دفاع در عمق» بنا نهاده می‌شود. چنین دیدگاهی طراحان را بر آن وا می‌دارد تا سلسله ای از حائل‌های فیزیکی را به صورت پشت سر هم در مسیر انتشار مواد رادیو اکتیو به محیط مدنظر قرار دهند. وجود چند لایه حائل فیزیکی از آثار سوء مواد رادیو اکتیو به پرسنل بهره بردار، محیط پیرامون نیروگاه و مردمی که در اطراف نیروگاه زندگی می‌کنند، جلوگیری می‌نماید. این حائل‌ها به ترتیب عبارت‌اند از: شبکه سرامیکی قرص‌های سوخت، غلاف میله‌های سوخت، تجهیزات مدار اول، کره فولادی و در نهایت کره بتونی. لازم به ذکر است که بیش از ۹۸% محصولات شکافت (مواد رادیواکتیو) در داخل شبکه سرامیکی قرص‌های سوخت محبوس می‌گردند.
واحد اول نیروگاه هسته ای بوشهر از راکتور آب تحت فشار نوع VVER – ۱۰۰۰ مدل V-۴۴۶ تشکیل یافته که از نظر ساختاری و اساس کار، کاملاً با نیروگاه هسته ای چرنوبیل متفاوت بوده و متناظر با نیروگاه‌های هسته ای غربی با راکتور PWR می‌باشد که دارای ایمنی ذاتی هستند، بدین معنی که با افزایش قدرت نوترونی راکتور، دمای آب در آن افزایش یافته که این نیز به نوبه خود باعث کاهش قدرت نوترونی و مهار واکنش زنجیره ای شکافت پایا در قلب راکتور می‌گردد.
در صورت به خطر افتادن نیروگاه و پایین آمدن شاخص‌های ایمنی آن، طبق دستورالعمل‌های بهره برداری نیروگاه، قدرت راکتور تا سطح لازم کاهش داده شده، یا اساساً خاموش می‌گردد تا ایمنی راکتور به سطح مورد نظر رسانده شود. در صورت بروز احتمالی حادثه، سیستم‌های چهارکاناله ایمنی، وظیفه خاموش کردن راتور و برداشت انرژی حرارتی پسماند قلب راکتور را به عهده دارند. وجود یک کانال و عملکرد درست آن در هنگام بروز حادثه کاملاً کفایت می‌کند و وجود سه کانال دیگر جهت بالا بردن ضریب اطمینان عمل سیستم در نظر گرفته شده است. این کانال‌ها کاملاً از همدیگر جدا بوده و مستقل عمل می‌کنند.

وظیفه سیستم‌های ایمنی در هنگام بروز احتمالی حادثه:
۱) متوقف کردن واکنش زنجیره ای شکافت هسته‌ای پایا
۲) خنک کردن راکتور
۳) محدود نمودن آثار حادثه می‌باشد.
این سیستم‌ها مجهز به دیزل ژنراتورهای خاص خود بوده که در صورت قطعی کامل برق در نیروگاه، می‌توانند به کار خود ادامه دهند.
ساختمان راکتور در مقابل برخورد مستقیم هواپیمای غول پیکر بوینگ ۷۴۷، هواپیماهای جنگی و زلزله ای به شدت ۸ ریشتر مقاوم بوده و در صورت بروز چنین سوانحی هیچ صدمه‌ای به تأسیسات راکتور و قلب آن وارد نمی‌شود و سیستم کنترل و حفاظت خودکار نیروگاه به راحتی آن را خاموش و به وضعیت ایمن می‌رساند.

**● نمودار ایمنی**
نمودار ایمنی دارای بخش‌های زیر است:
۱) راکتور
۲) مولد بخار
۳) پمپ اصلی مدار اول
۴) حفاظ بیولوژیکی
۵) محوطه تردد
۶) کره فولادی
۷) پوشش بتنی
۸) هواکش
۹) سیستم خنک کننده اضطراری قلب
۱۰) پمپ تزریق اضطراری
۱۱) مخزن ذخیره محلول اسید بوریک
۱۲) تأسیسات تهویه
۱۳) تأسیسات فیلتراسیون
۱۴) سیستم دفع گرمای پسماند
۱۵) سیستم کنترل خلاء
۱۶) محفظه آب آلوده کره فولاد