

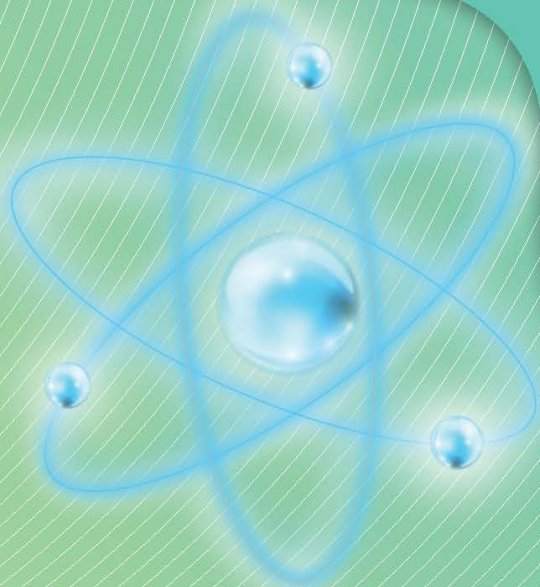


سازمان انرژی اتمی ایران

آشنایی با

# انرژی هسته‌ای و کاربردهای آن

جلد ۱ - سطح مقدماتی





عنوان: آشنایی با انرژی هسته‌ای و کاربردهای آن - جلد ۱.  
پدیدآورندگان:

دفتر تدوین برنامه و طرح‌های راهبردی، معاونت برنامه‌ریزی هسته‌ای و نظارت راهبردی

ناشر: اداره کل دیپلماسی عمومی و اطلاع‌رسانی

کلیه حقوق چاپ و نشر این اثر متعلق به سازمان انرژی اتمی ایران است.

مشخصات ظاهری: ۵۰ ص - مصور (رنگی).

چاپ اول: پائیز ۱۳۹۹. حق چاپ محفوظ.

تیراژ: ۱۰۰۰

موضوع: انرژی هسته‌ای

امام خامنه‌ای (مدظله العالی):

مسئله هسته‌ای، فقط مسئله امروز کشور ما نیست؛ مسئله فرداهای کشور و آینده کشور است؛ مسئله سرنوشت کشور است.



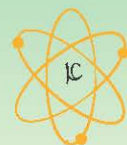


پیشگفتار

# «اول دقربه نام ایزد دانا صانع پروردگار حیّ توانا»

توسعه روز افزون بهره‌برداری از مواهب فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای به ویژه در دهه‌های اخیر و تأثیرات گسترده آن در تأمین رفاه جوامع بشری موجب آن شده است تا گسترش فعالیت‌های سازمان انرژی اتمی ایران خاصه در سال‌های پس از پیروزی شکوهمند انقلاب اسلامی با هدف بهره‌مندی کشور از مزایای این فناوری نوین

با رشدی شتابان همراه شده و تثبیت حقوق انکارناپذیر نسل‌های کنونی و آینده ایران اسلامی با قدرت و صلابت در دستور کار قرار



روزافزون کاربرد پرتوها در حوزه بهداشت و درمان، صنعت، کشاورزی و نیز ایجاد بستر مناسب برای بهره‌مندی بهینه از امکانات و ظرفیت‌های موجود در حوزه علوم و فنون لیزر و کوانتوم، بخشی از چشم‌انداز ترسیم شده برای پیشبرد اهداف کلان صنعت هسته‌ای است.

لازم به توضیح است که مطالب مندرج در دو جلد کتاب حاضر با هدف آشنایی کلیه شهروندان عزیز ایرانی به ویژه دانش‌آموزان در سطوح پایان دوره ابتدایی و آغاز دوره متوسطه با مبانی دانش هسته‌ای و کاربردهای متنوع آن تهیه شده است. در نگارش این اثر، این نکته مد نظر قرار گرفته که بخش وسیعی از افراد جامعه و حتی کسانی که از آشنایی مختصری با علوم و فنون هسته‌ای برخوردارند، از این توانایی بهره‌مند شوند تا خود را مخاطب اصلی



گیرد. برنامه‌ریزی بلندمدت به منظور تولید برق هسته‌ای، تکمیل زنجیره تأمین سوخت مورد نیاز واحدهای نیروگاهی، توسعه

اثر با عطف توجّه به آثاری که پیش از این در این حوزه به نگارش در آمده است، بر آن بوده‌اند تا با رویکردی متفاوت و در قالبی بروز و کارآمد، تصویری اجمالی و در عین حال جامع و کاربردی از مطالب و موضوعات علمی ارائه نمایند. باشد تا از این رهگذر، فضای مناسبی جهت معرفی دقیق‌تر دستاوردها و افتخارات صنعت هسته‌ای کشورمان فراهم آید. در پایان ضمن سپاس و قدردانی فراوان از ریاست محترم سازمان، معاونین و همه بزرگوارانی که ما را در مسیر تهیه و انتشار این اثر یاری رساندند، بویژه همکاران محترم در اداره کل دیپلماسی عمومی و اطلاع‌رسانی، از پیشگاه همه خوانندگان گرانقدر استدعا داریم تا با ارائه پیشنهادات و دیدگاه‌های راهگشای خود بیش از پیش ما را در راه ارتقاء کیفیت ارائه مطالب یاری فرمایند.

آری به اتفاق جهان می‌توان گرفت.

ما بیابند. شایان ذکر است در جلد اول، به استفاده از ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای جهت تأمین بخشی از برق مورد نیاز جهان و معرفی نیروگاه اتمی بوشهر پرداخته شده است. افزون بر این، مراحل تولید سوخت هسته‌ای در کنار تأسیسات مربوط به چرخه سوخت به طور اجمالی مورد اشاره قرار گرفته است.

در جلد دوم نیز برخی از کاربردهای متنوع و متعدّد پرتوها در حوزه‌های مختلف از جمله در عرصه پزشکی، صنعت، کشاورزی و مواد غذایی و همچنین در زمینه محیط‌زیست تشریح شده و در فراز پایانی آن، به منظور آشنایی مخاطبان ارجمند با اهمیّت و حسّاسیّت مبحث ایمنی در صنعت هسته‌ای، برخی از اقداماتی که در این بخش با موفقیت صورت پذیرفته، معرفی شده است.

لازم به توضیح است که تهیه کنندگان این





## فهرست



برق با چه روش‌هایی  
تولید می‌شود؟

۱۳

برق  
چيست؟

۹

انرژی  
چيست؟

۸

نیروگاه هسته‌ای  
چيست؟

۲۴

انرژی هسته‌ای چیست  
و چگونه تولید می‌شود؟

۲۱

گذاخت هسته‌ای  
چيست؟

۴۸

سوخت هسته‌ای  
چگونه تولید می‌شود؟

۳۰



## انرژی چیست؟

ما برای انجام هر کاری به انرژی نیاز داریم. مثلاً برای راه رفتن، فکر کردن و یا به حرکت درآوردن اجسام نیازمند انرژی هستیم. پس می‌توان گفت که انرژی همان توانایی انجام کار است.

انرژی حرکتی، حرارتی، الکتریکی، نوری، صوتی و هسته‌ای برخی از انواع مختلف انرژی هستند. انرژی می‌تواند از نوعی به نوع دیگر تبدیل شود. برای مثال، وقتی غذا می‌خوریم انرژی دریافت می‌کنیم و زمانی که راه می‌رویم، انرژی در بدن ما به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود و یا وقتی که دوچرخه‌سواری می‌کنیم، با انرژی خود دوچرخه را به حرکت درمی‌آوریم.



## برق چیست؟

برق یا همان انرژی الکتریکی، پُرکاربردترین نوع انرژی است و می‌تواند به آسانی به انرژی‌های دیگر مانند حرارتی، نوری، صوتی و حرکتی تبدیل شود. بیشتر وسایل و دستگاه‌های برقی موجود در منازل، فروشگاه‌ها، کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها و غیره از برق استفاده می‌کنند و آن را به صورت دیگری از انرژی تبدیل می‌کنند. اگر به کارهای روزمره خود و اطرافیانمان دقت کنیم، متوجه می‌شویم که در طول روز، حداقل چندین بار از لوازم برقی مختلف استفاده می‌کنیم.



انرژی حرارتی



انرژی حرارتی و نور



انرژی صوتی و نور



انرژی حرکتی



همان‌طور که متوجه شده‌اید، امروزه برق به یکی از مهم‌ترین نیازهای بشر تبدیل شده است. به همین دلیل انسان‌ها همواره به دنبال یافتن راه‌های جدید برای تولید برق هستند.

روش‌های مختلفی برای تولید برق وجود دارد؛ اما روش معمول این است که ابتدا با کمک انرژی جریان باد، آب و یا بخار تولیدشده در نیروگاه‌ها، دستگاهی به نام توربین به چرخش درآید. سپس چرخش توربین به دستگاه دیگری به نام **مولد برق** (تولیدکننده برق) منتقل می‌شود. این دستگاه، انرژی حرکتی را به برق تبدیل می‌کند.



## طرز کار مولد برق

وسایل زیر را تهیه کنید و مراحل را مطابق شکل دنبال نمایید.

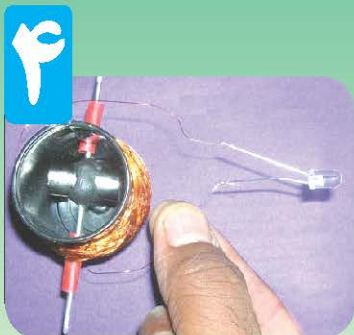
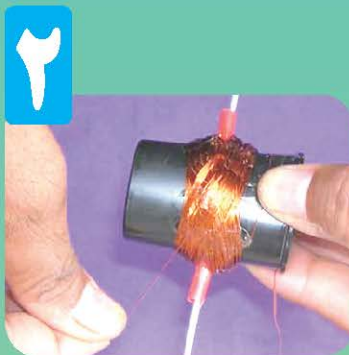
**لوازم مورد نیاز:** قوطی پلاستیکی به قطر حدود ۵ سانتیمتر، سیم مفتول ضخیم، لوله پلاستیکی به قطر ۱ سانتیمتر، آهنربای کوچک، سیم نازک روکش دار، لامپ کوچک (۲ ولتی).

- ۱ قوطی پلاستیکی را به اندازه قطر لوله سوراخ کنید. لوله را از آن عبور دهید و سیم مفتول ضخیم را درون آن قرار دهید. سپس آهنربای کوچک را با چسب در وسط سیم مفتول بچسبانید.
- ۲ سیم نازک روکش دار را به دور قوطی بپیچید.
- ۳ دو سر آزاد سیم را به دو سر لامپ وصل کنید.
- ۴ سیم مفتول را با دست بچرخانید.





ملاحظه می‌کنید که با چرخاندن میله، لامپ روشن می‌شود. هرچه سرعت چرخش بیشتر باشد، نور لامپ نیز بیشتر خواهد شد. مولد برق نیز به همین صورت، انرژی حرکتی را به برق تبدیل می‌کند. از همین روش، برای روشن کردن چراغ برخی از دوچرخه‌ها نیز استفاده می‌شود. به این ترتیب که وقتی دوچرخه‌سوار در حال رکاب زدن است، انرژی حرکتی چرخ به برق تبدیل می‌شود و باعث روشن شدن چراغ دوچرخه می‌شود.



بـ برق  
تولید شد



## برق با چه روش‌هایی تولید می‌شود؟

همان‌طور که گفتیم، برای تولید برق ابتدا باید به دنبال راهی باشیم که به کمک آن، توربین را به چرخش درآوریم.

یکی از این راه‌ها، استفاده از گرمای حاصل از سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند گاز طبیعی، زغال‌سنگ و محصولات نفتی است. در نیروگاه‌های حرارتی، از این گرما برای تولید بخار آب و چرخاندن توربین استفاده می‌شود. در برخی نیروگاه‌های دیگر به جای بخار آب، گازهای حاصل از سوزاندن سوخت‌های فسیلی، توربین را به چرخش درمی‌آورد.



بخشی از نیروگاه  
حرارتی تولید  
برق قزوین



در نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند، در اثر سوزاندن سوخت، گازهایی مانند دی‌اکسید کربن تولید می‌شود که برای محیط‌زیست ضرر دارند. تولید مقدار زیاد این نوع گازها باعث گرم شدن کره زمین، آب شدن یخچال‌های طبیعی و نابودی برخی از گونه‌های گیاهان و جانوران می‌شود.

باید به دنبال  
روش‌های پاک‌تری  
برای تولید انرژی  
باشیم





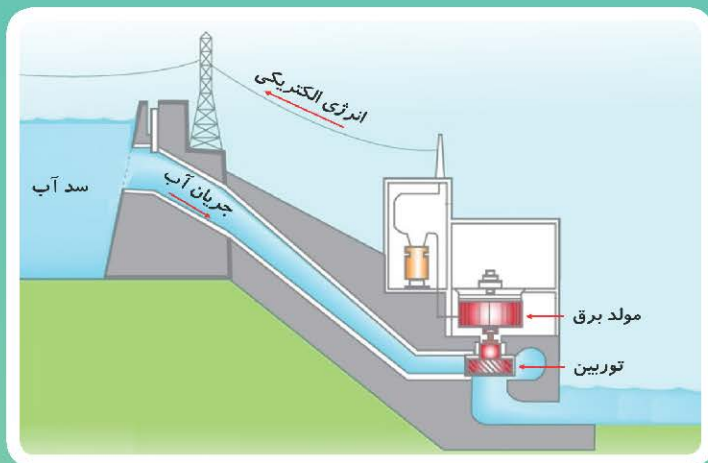
بهترین منبع برای به دست آوردن انرژی پاک، طبیعت اطراف ما و نیروهای موجود در آن مانند آب، باد و نور خورشید است. برای مثال، در نیروگاه‌های بادی از نیروی باد برای چرخاندن توربین و تولید برق استفاده می‌شود.



نیروگاه بادی  
تولید برق  
در شهر منجیل



یکی دیگر از راه‌های تولید برق پاک، استفاده از آب ذخیره‌شده در پشت سدها است. در نیروگاه‌های آبی، یک توربین در مسیر آبی که از خروجی سد به پایین سرازیر می‌شود، قرار می‌گیرد. فشار آب می‌تواند باعث چرخش توربین و تولید برق شود.



سد کارون ۳  
در استان خوزستان



استفاده از تابش نور خورشید، یکی دیگر از روش‌های تولید برق پاک است. در صفحات خورشیدی، انرژی نور خورشید مستقیماً به برق تبدیل می‌شود. همچنین در یک نوع دیگر از نیروگاه‌های خورشیدی، از گرمای نور خورشید برای تبخیر آب استفاده می‌شود و بخار آب نیز باعث چرخش توربین و تولید برق می‌شود.



**نیروگاه‌های خورشیدی  
از تعداد زیادی صفحه خورشیدی  
تشکیل می‌شوند.**

تولید برق با کمک انرژی‌های موجود در طبیعت مانند خورشید و باد، معمولاً وابسته به شرایط محیطی و جغرافیایی است و محدودیت‌هایی مانند موارد زیر دارد:

♦ فقط در روزهایی که هوا آفتابی است، امکان تولید برق از طریق صفحات خورشیدی وجود دارد.

♦ تولید برق در نیروگاه‌های بادی، بیشتر در مناطق با سرعت وزش باد بالا صورت می‌گیرد.

♦ میزان تولید برق در نیروگاه‌های آبی در فصل‌های مختلف سال، متفاوت بوده و به میزان بارش‌ها وابسته است.



انرژی برخی از چراغ‌های راهنمایی از طریق نور خورشید تأمین می‌شود.



♦ مساحت زمین مورد نیاز برای نیروگاه‌های بادی و خورشیدی نسبت به سایر نیروگاه‌ها بیشتر است.

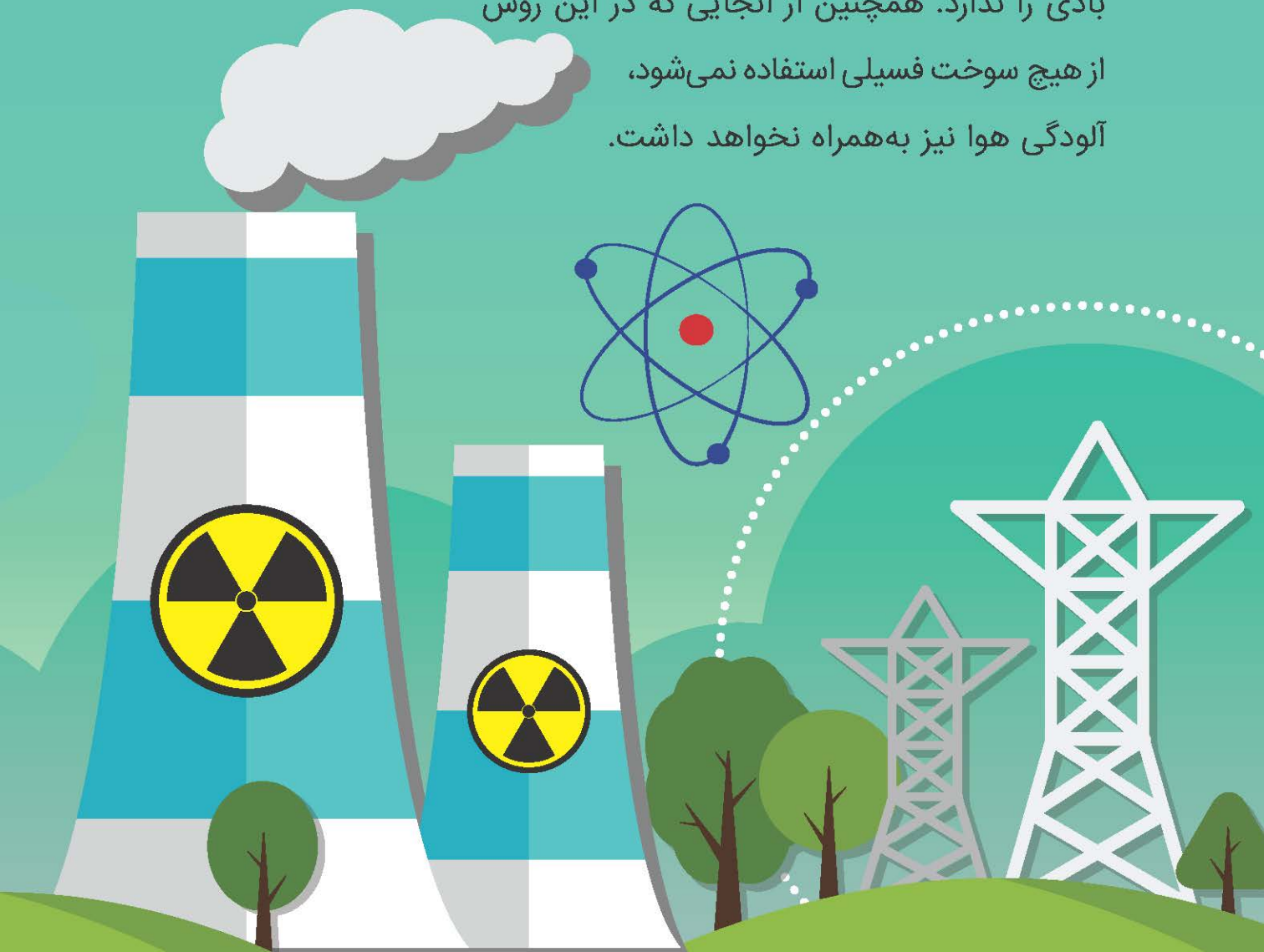
♦ توربین‌های بادی نسبت به صاعقه و تندباد آسیب‌پذیر هستند؛ به همین علت باید دور از مناطق مسکونی قرار داده شوند.



با توجه به دلایلی که گفته شد، بهتر است روشی برای تولید برق پیدا کنیم که علاوه بر پاک بودن، همیشگی بوده و محدودیت‌های کمتری داشته باشد.

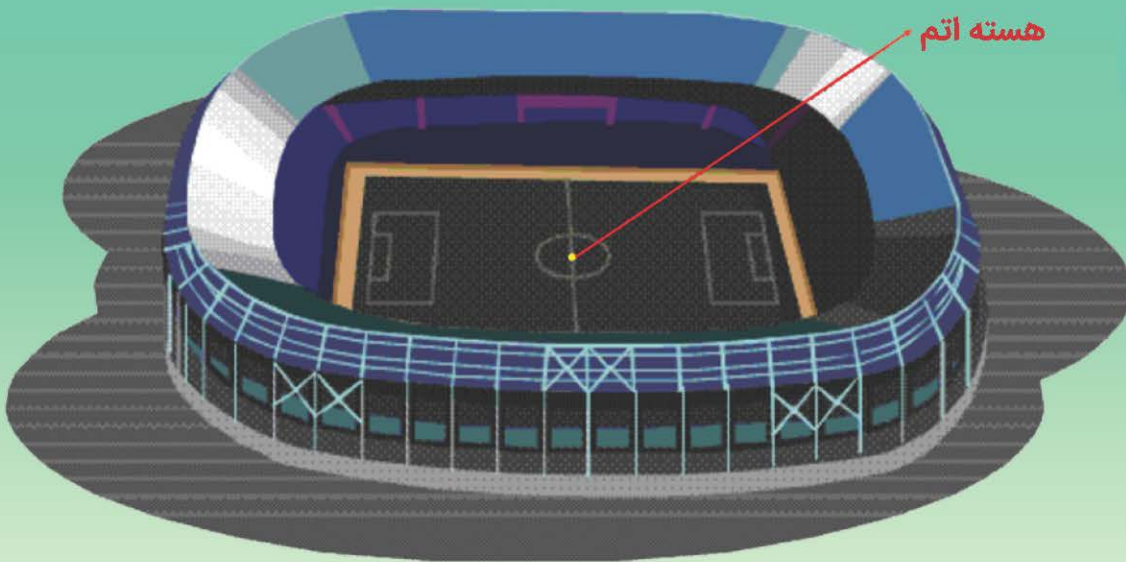


یکی از این روش‌ها، استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق است. تولید برق با کمک انرژی هسته‌ای محدودیت‌های تولید برق خورشیدی و بادی را ندارد. همچنین از آنجایی که در این روش از هیچ سوخت فسیلی استفاده نمی‌شود، آلودگی هوا نیز به همراه نخواهد داشت.

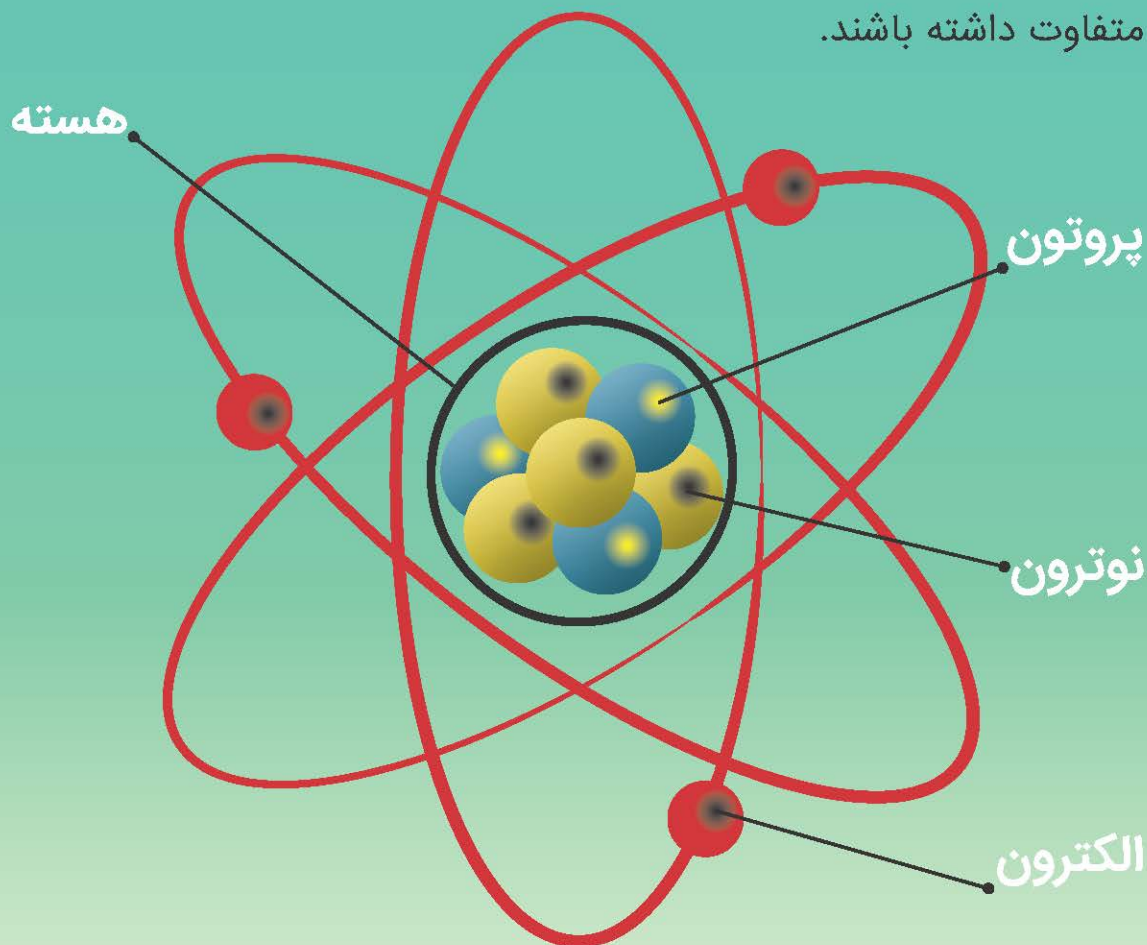


## انرژی هسته‌ای چیست و چگونه تولید می‌شود؟

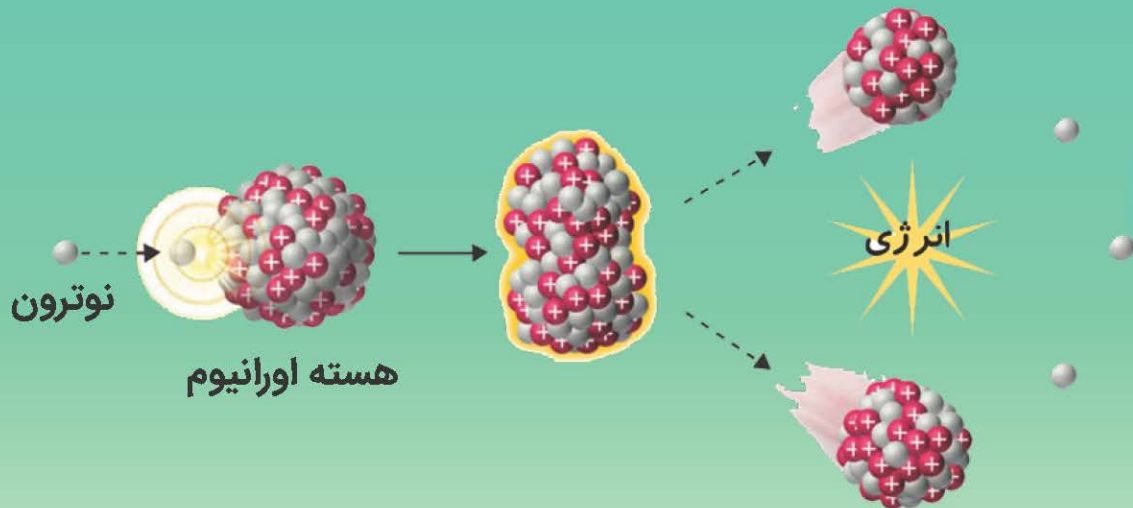
همه مواد اطراف ما از اتم تشکیل شده‌اند. اتم‌ها بسیار کوچک هستند، در حدی که صد میلیون اتم  $(100,000,000)$ ، فضایی به اندازه سر یک سوزن اشغال می‌کنند. هر اتم از یک هسته و یک یا چند الکترون در اطراف آن تشکیل شده است. هسته نسبت به الکترون بسیار سنگین‌تر است. جرم سبک‌ترین هسته حدوداً ۲۰۰۰ برابر جرم یک الکترون است. با این حال، هسته فضای کوچکی از اتم را اشغال می‌کند؛ به طوری که می‌توان گفت نسبت هسته به اتم مانند نسبت توپ فوتبال به زمین فوتبال است.



هسته اتم از ذرات کوچک‌تری به نام پروتون و نوترون تشکیل شده است. پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت و نوترون‌ها بدون بار هستند. شکل‌های مختلفی از اتم یک عنصر، می‌توانند تعداد پروتون یکسان اما تعداد نوترون متفاوت داشته باشند.

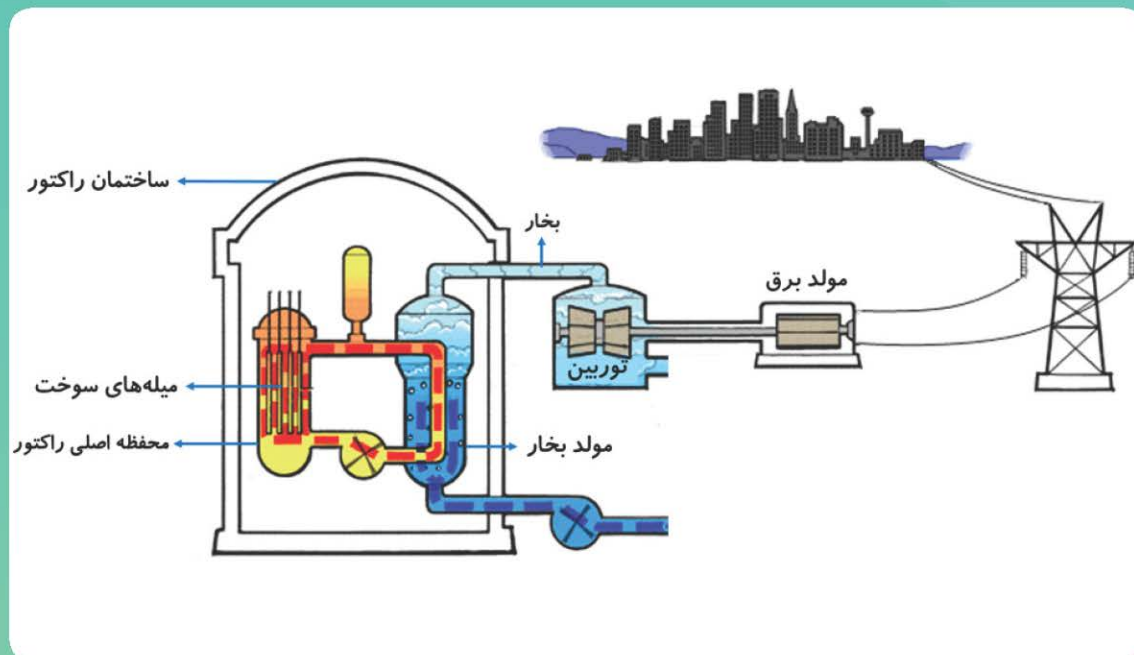


در اثر برخورد نوترون به هسته‌ی برخی عناصر سنگین مانند اورانیوم، هسته این عناصر شکافته شده و به دو هسته سبک‌تر تقسیم می‌شود. با شکافت هسته، مقدار زیادی انرژی به صورت گرما و پرتو آزاد می‌شود. این انرژی حاصل از شکافت هسته را **انرژی هسته‌ای** می‌نامند که می‌توان از آن برای تولید برق استفاده نمود.





## نیروگاه هسته‌ای چیست؟



نیروگاهی که در آن از انرژی هسته‌ای برای تولید برق استفاده می‌شود، نیروگاه هسته‌ای نام دارد. در اغلب این نوع نیروگاه‌ها، از اورانیوم به عنوان سوخت و منبع تولید انرژی استفاده می‌شود. نخستین نیروگاه هسته‌ای در سال ۱۳۳۳ هجری شمسی در کشور روسیه به شبکه برق متصل گردید.

یک نیروگاه هسته‌ای از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است که مهم‌ترین



آن‌ها **راکتور** می‌باشد. راکتورها انواع گوناگونی دارند و بر همین اساس، شکل آن‌ها نیز کمی با یکدیگر متفاوت است.

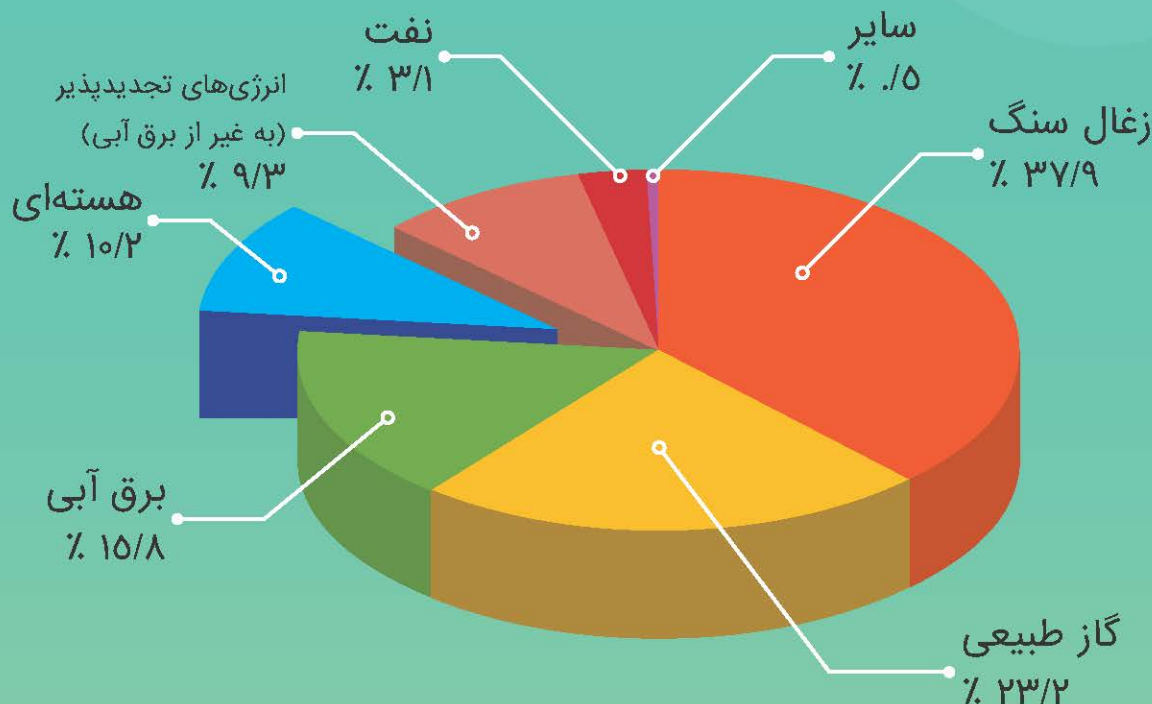
راکتور از یک محفظه اصلی تشکیل شده است که اغلب داخل آن با آب پُر می‌شود و میله‌های سوخت اورانیوم در آن قرار می‌گیرند. در اثر برخورد نوترون به سوخت هسته‌ای، هسته اورانیوم شکافته می‌شود و انرژی هسته‌ای به شکل گرما آزاد خواهد شد. از این گرما برای گرم کردن آب، تولید بخار و چرخش توربین استفاده می‌شود. چرخش توربین نیز به مولد برق منتقل شده و به این ترتیب برق تولید خواهد شد.

امروزه در بسیاری از کشورها، از نیروگاه‌های هسته‌ای برای تولید برق استفاده می‌شود. طبق آمارهای جهانی تا سال ۱۳۹۹ هجری شمسی، کشورهای آمریکا، فرانسه، چین و روسیه بیش از سایر کشورها، برق هسته‌ای تولید کرده‌اند.

در سال ۱۳۹۷ هجری شمسی، بیش از ۱۰ درصد برق تولیدشده در سراسر دنیا با کمک انرژی هسته‌ای به دست آمده است اما همچنان سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ بیشترین سهم را در تولید برق دنیا دارند.



## سهم منابع مختلف انرژی در تولید برق جهان (سال ۱۳۹۷)



استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق، مزایای فراوانی دارد، از جمله:

- ♦ تولید برق با استفاده از انرژی هسته‌ای، باعث آلوده کردن هوا نمی‌شود.
- ♦ استفاده از انرژی هسته‌ای به ما کمک می‌کند که به جای سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی، آن‌ها را در کارخانه‌ها به مواد ارزشمندی تبدیل کنیم.





♦ مقدار کمی از سوخت هسته‌ای می‌تواند معادل حجم بالایی از سایر سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی برق تولید کند. برای مثال، ۱۶ گرم اورانیوم می‌تواند به اندازه ۱۰۶۰۰۰ گرم زغال سنگ و یا ۶۴۰۰۰ گرم گاز طبیعی فشرده انرژی تولید کند.



کشور ما نیز دارای یک نیروگاه هسته‌ای ۱۰۰۰ مگاواتی<sup>۱</sup> در نزدیکی شهر بوشهر است. این نیروگاه به عنوان **اولین نیروگاه هسته‌ای در غرب آسیا**، در سال ۱۳۹۰ راه‌اندازی شده است. با احداث این نیروگاه، جمهوری اسلامی ایران در میان **۳۰ کشور دارنده نیروگاه هسته‌ای** قرار گرفته است.<sup>۲</sup>

۱- مگاوات، واحد سنجش ظرفیت نیروگاه تولید برق است.

۲- این آمار مربوط به سال ۱۳۹۸ می‌باشد.

ظرفیت تولید برق نیروگاه بوشهر در حدی است که می‌تواند برق یک شهر با جمعیت تقریبی ۲/۵ میلیون نفر را تأمین کند. با توجه به برق تولیدشده در این نیروگاه، تا پایان سال ۱۳۹۸، حدود ۱۱ میلیارد مترمکعب در مصرف گاز طبیعی کشور در بخش تولید برق صرفه‌جویی شده است. در حال حاضر، کار ساخت دو نیروگاه هسته‌ای ۱۰۰۰ مگاواتی دیگر نیز در بوشهر آغاز شده است.



۱- این عدد براساس مقدار متوسط مصرف برق هر فرد در کشور ایران به دست آمده است.



## پیشران هسته‌ای

بدانید...

راکتورهای هسته‌ای علاوه بر تولید برق، برای به حرکت درآوردن کشتی‌ها و زیردریایی‌ها نیز استفاده می‌شوند. از بخار تولیدی راکتورهای هسته‌ای، برای ایجاد نیروی محرکه استفاده می‌گردد. این روش، آلودگی کمتری تولید می‌کند و باعث می‌شود که کشتی‌ها و زیردریایی‌ها بتوانند سفرهای دریایی طولانی مدتی را بدون سوخت‌گیری مجدد، انجام دهند.

یکی از کشتی‌هایی  
که با پیشران  
هسته‌ای کار  
می‌کند.



به چنین سیستمی **پیشران هسته‌ای** گفته می‌شود و در حال حاضر یکی از موضوعات تحقیقاتی متخصصان کشورمان نیز می‌باشد.





## سوخت هسته‌ای چگونه تولید می‌شود؟

نیروگاه هسته‌ای برای تولید برق نیاز به سوخت هسته‌ای دارد که در اکثر موارد از اورانیوم تهیه می‌شود. فرآیند تبدیل سنگ‌های معدنی دارای اورانیوم، به سوخت قابل استفاده برای نیروگاه هسته‌ای **چرخه سوخت هسته‌ای** نام دارد.

### مرحله اول

در اولین مرحله از فرآیند تولید سوخت هسته‌ای، اورانیوم به شکل سنگ، از معدن استخراج می‌شود.



در حال حاضر، ایران دارای دو معدن اورانیوم در حوالی منطقه گچین بندرعباس و ساغند در استان یزد می‌باشد. البته متخصصان کشورمان در حال شناسایی و پیدا کردن معادن جدید اورانیوم نیز هستند.

سنگ معدن  
دارای اورانیوم



بخش عمده معدن اورانیوم ساغند، به شکل زیرزمینی و بخش اندکی به صورت روباز می‌باشد. در معدن‌کاری روباز، سنگ‌های معدنی بدون حفر تونل و از سطح زمین برداشته می‌شوند.



مجمع  
معدنی اورانیوم  
ساغند



بخش زیرزمینی  
معدن اورانیوم  
ساغند



بخش روباز  
معدن اورانیوم  
ساغند





عملیات حفاری  
در مرحله اکتشاف اورانیوم

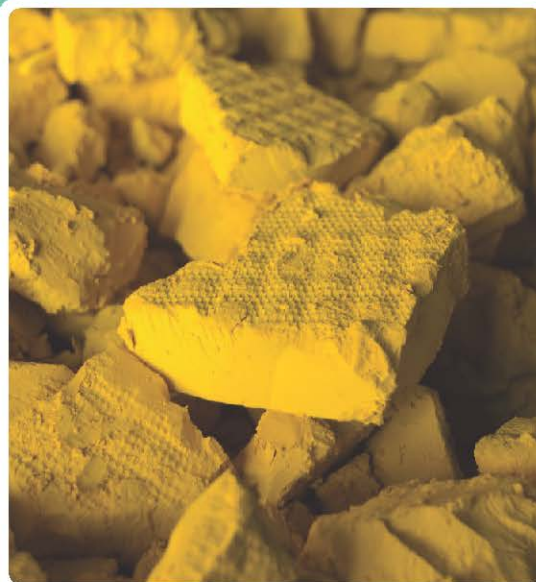




## مرحله دوم

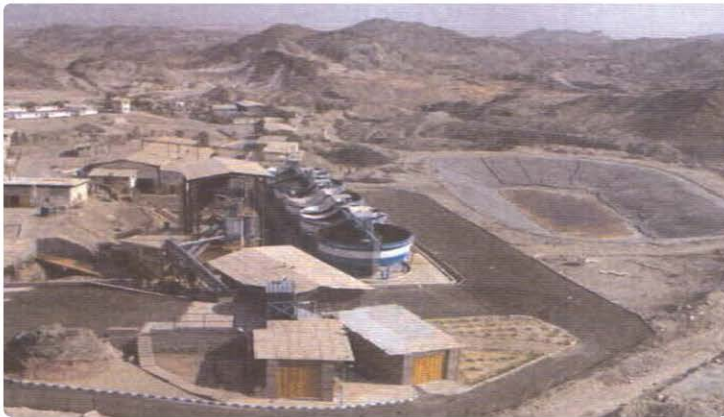
در مرحله بعدی، سنگ‌ها خرد شده و اورانیوم از سایر مواد موجود در سنگ‌های خردشده، با روش‌های خاصی جدا می‌شود.

در کشور ما، کارخانه‌هایی که این کار را انجام می‌دهند در شهرستان‌های اردکان و بندرعباس قرار دارند. محصولی که در این کارخانه‌ها تولید می‌شود، **کیک زرد** نام دارد.

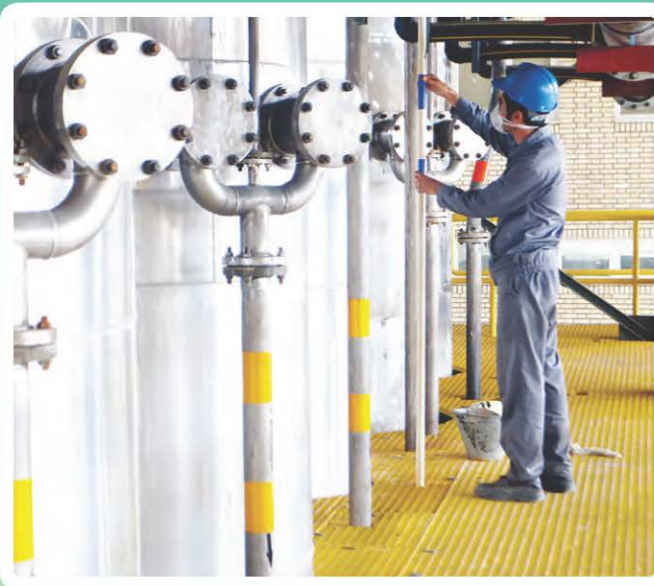


کیک زرد





کارخانه تولید  
کیک زرد  
بندرعباس



مجمع شهید رضایی نژاد (کارخانه تولید کیک زرد اردکان)





## مرحله سوم

در ادامه فرآیند، پس از جدا کردن ناخالصی‌ها، اورانیوم با عنصر فلوئور واکنش داده و یک ترکیب اورانیومی گازی شکل تولید می‌شود. به این کار **تبدیل اورانیوم** می‌گویند و در کارخانه تبدیل اورانیوم اصفهان انجام می‌شود.

کارخانه تبدیل اورانیوم اصفهان





## مرحله چهارم

اتم اورانیوم دارای انواع مختلفی است. از آنجایی که تنها یکی از آن‌ها برای استفاده در راکتور مناسب می‌باشد، باید میزان این نوع خاص افزایش داده شده و یا اصطلاحاً غنی شود. این فرآیند که **غنی‌سازی اورانیوم** نام دارد، توسط دستگاهی به نام **سانتریفیوژ** انجام می‌شود.

کشور ما دارای دو مجتمع غنی‌سازی اورانیوم در منطقه نطنز در استان اصفهان و فردو در استان قم می‌باشد. در این دو مجتمع، هزاران دستگاه سانتریفیوژ قرار دارند که می‌توانند اورانیوم را غنی‌سازی کنند. **جمهوری اسلامی ایران یکی از ۱۵ کشور دنیا است که به فناوری غنی‌سازی اورانیوم دست یافته است.**



سانتریفیوژهای  
مجتمع غنی‌سازی  
شهید احمدی روشن  
(نطنز)





دستگاه‌های سانتریفیوژ  
جدید که توسط  
متخصصان ایرانی ساخته  
شده است. 



## مرحله پنجم

در آخرین مرحله از تولید سوخت هسته‌ای، اورانیوم غنی‌شده به پودر و قرص تبدیل می‌شود. سپس قرص‌ها در داخل میله سوخت قرار داده می‌شوند. در نهایت میله‌های سوخت در کنار هم قرار می‌گیرند و مجتمع سوخت را تشکیل می‌دهند. متخصصان کشور ما، این کار را در کارخانه ساخت سوخت اصفهان انجام می‌دهند.



یکی از واحدهای  
تولید سوخت  
هسته‌ای کشورمان

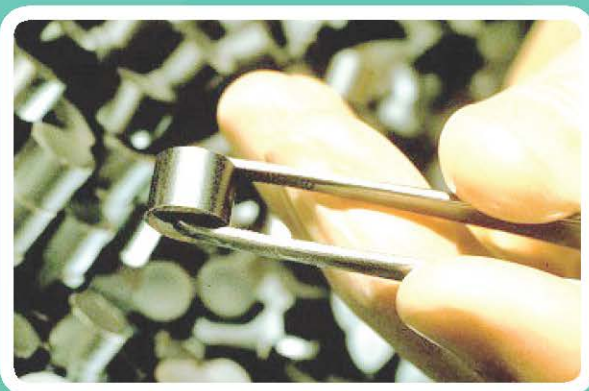






بخشی از تجهیزات  
کارخانه ساخت  
سوخت اصفهان





قرص  
سوخت



میله  
سوخت



نمونه‌ای از یک مجتمع سوخت  
که توسط متخصصان ایرانی  
ساخته شده است.



یکی از مهمترین موادی که در تولید میله سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد، فلز زیرکونیوم است. این ماده در ساخت پوشش بیرونی میله سوخت به کار می‌رود و تولید آن با ویژگی‌های مورد نظر، کار سخت و پیچیده‌ای است؛ اما متخصصان کشور ما توانسته‌اند این کار را در کارخانه تولید زیرکونیوم اصفهان انجام دهند. علاوه بر آن، فلزات ارزشمند دیگری مانند منیزیم نیز در این کارخانه تولید می‌شود.



اسفنج  
زیرکونیوم



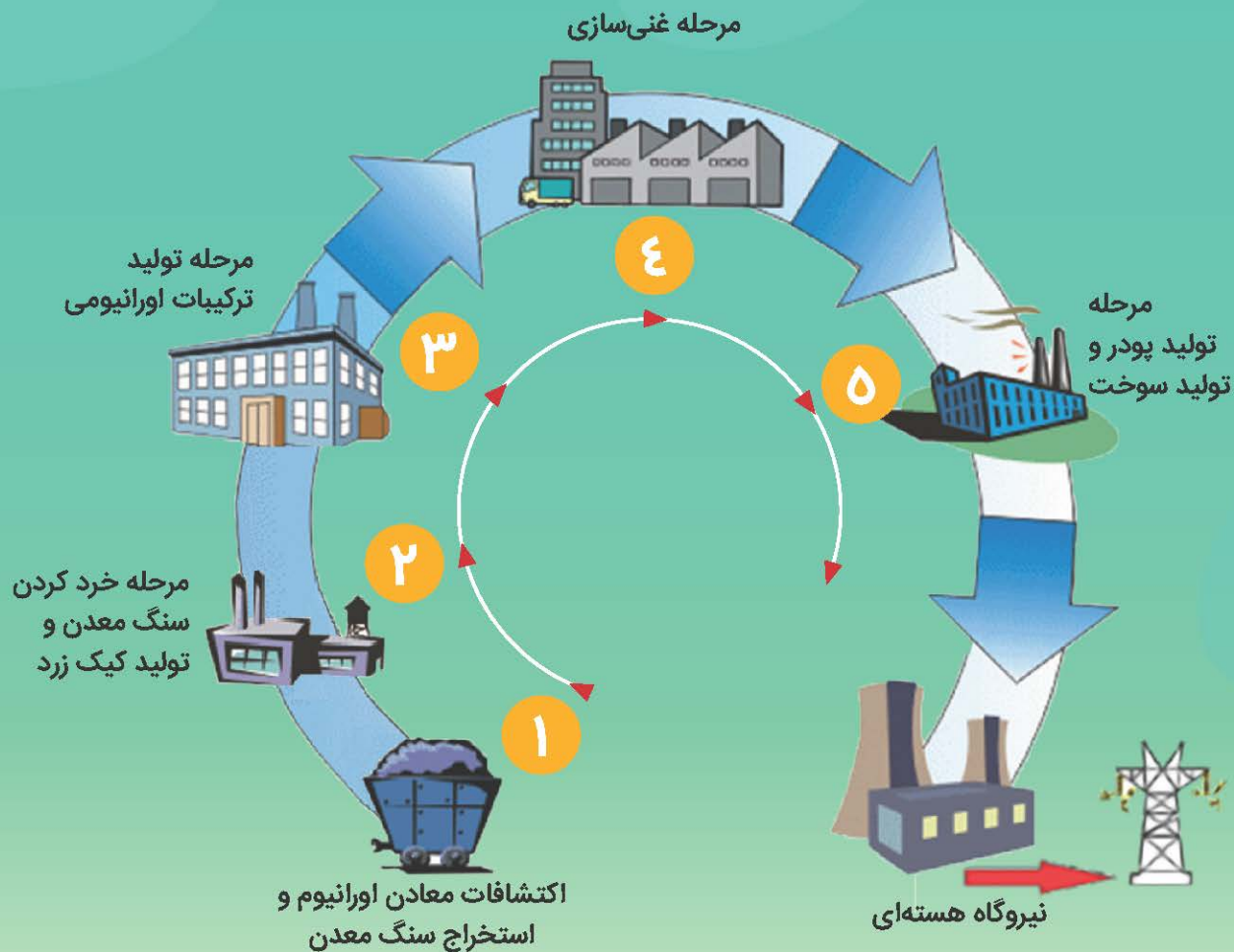




بخشی از تجهیزات کارخانه  
تولید زیرکونیوم اصفهان



مراحل چرخه سوخت هسته‌ای به صورت ساده در شکل زیر نشان داده شده است.



## تأسیسات چرخه سوخت هسته‌ای کشور و نیروگاه هسته‌ای بوشهر





## روز ملی فناوری هسته‌ای

بدانید...

غنی‌سازی اورانیوم و تولید سوخت هسته‌ای، فرآیندی بسیار سخت و پیچیده است و تنها چند کشور دنیا توانسته‌اند به این مهم دست پیدا کنند. همانطور که پیش از این نیز گفته شد، جمهوری اسلامی ایران از جمله معدود کشورهایی است که توانسته با کمک متخصصان خود، به فناوری غنی‌سازی اورانیوم دست یابد. به مناسبت موفقیت‌های بزرگی که محققان ایرانی در این راه کسب کرده‌اند، روز بیستم فروردین ماه به عنوان **روز ملی فناوری هسته‌ای** نام‌گذاری شده است. ما هر سال این روز بزرگ را گرامی می‌داریم و موفقیت‌های جدید متخصصان خود در زمینه دانش هسته‌ای را اعلام می‌کنیم.



## آب سنگین چیست؟

بدانید...

در برخی از انواع راکتورها، به جای آب معمولی از آب سنگین استفاده می‌شود. آب معمولی از یک اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن تشکیل شده است اما آب سنگین در ساختار خود یک اتم اکسیژن و دو اتم دوتریوم دارد. دوتریوم در واقع شکل دیگری از اتم هیدروژن است. از آنجایی که دوتریوم از هیدروژن سنگین‌تر است، به این ترکیب مولکولی، آب سنگین می‌گویند.



مجتمع تولید  
آب سنگین خنداب



متخصصان کشور ما توانسته‌اند این ماده باارزش را تولید کنند و برای کاربردهای مختلف از آن استفاده نمایند. جمهوری اسلامی ایران یکی از ده کشور دنیا است که دارای کارخانه تولید آب سنگین می‌باشد.<sup>۱</sup> در حال حاضر، سالانه میزان زیادی از این ماده در مجتمع آب سنگین خنداب در حوالی شهر اراک تولید می‌شود و بخشی از آن نیز به کشورهای مختلف صادر می‌شود.

۱- این آمار مربوط به سال ۱۳۹۸ می‌باشد.

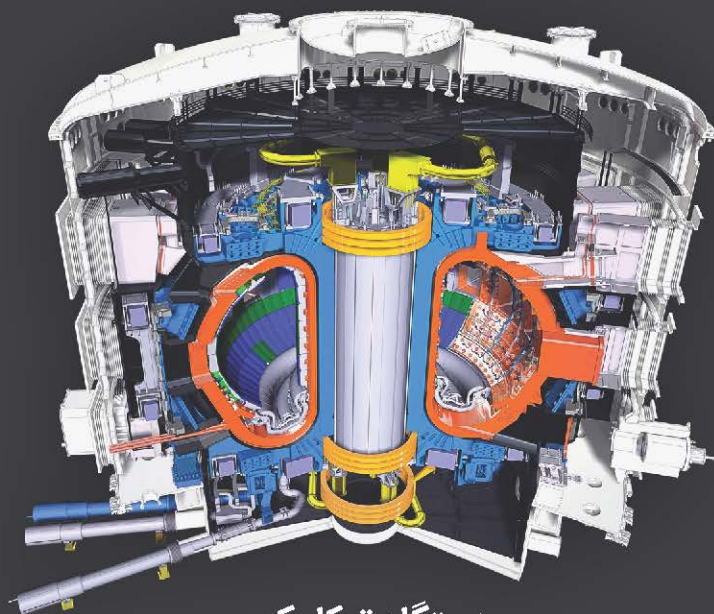


## گداخت هسته‌ای چیست؟

روش دیگر تولید انرژی هسته‌ای، **گداخت** یا **همجوشی هسته‌ای** نام دارد. در این روش، برخلاف پدیده شکافت، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و یک هسته سنگین‌تر به وجود می‌آورند. در اثر این فرآیند، انرژی زیادی آزاد می‌شود که می‌تواند برای تولید برق مورد استفاده قرار گیرد؛ اما تاکنون محققان نتوانسته‌اند با استفاده از این روش، به صورت عمومی و تجاری برق تولید کنند و تحقیقات درباره این موضوع همچنان ادامه دارد. خوب است بدانید انرژی خورشید و تمام ستارگان نیز ناشی از همجوشی هسته‌ای است.

یکی از اصلی‌ترین دستگاه‌هایی که برای دستیابی به انرژی حاصل از فرآیند همجوشی هسته‌ای به‌کار می‌رود، **توکامک** نام دارد. در داخل این دستگاه، انرژی حاصل از همجوشی، به صورت گرما جذب می‌شود و می‌توان از آن برای تولید بخار، چرخش توربین‌ها و تولید برق استفاده کرد.





دستگاه توکامک

در کشور ما گروه‌های تحقیقاتی مختلفی در سازمان انرژی اتمی و برخی از دانشگاه‌ها، در حال پژوهش در موضوع گداخت هسته‌ای می‌باشند. کشور ما چند دستگاه توکامک دارد که متخصصان با کمک آن‌ها به فعالیت‌های تحقیقاتی خود ادامه می‌دهند. توکامک دماوند یکی از این دستگاه‌ها است. خوب است بدانید کشورهای اندکی در دنیا روی موضوع همجوشی هسته‌ای کار می‌کنند که ایران یکی از این کشورها می‌باشد.



دستگاه توکامک دماوند







سازمان انرژی اتمی ایران  
اداره کل دیپلماسی عمومی و اطلاع رسانی

در جلد دوم

### این کتابچه خواهید دید

دانش هسته‌ای علاوه بر تولید برق،  
کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف  
مانند کشاورزی و مواد غذایی، پزشکی،  
صنعت و محیط‌زیست دارد.

