

طرح درس آشنایی با یادگیری انرژی هسته‌ای

برای دانش‌آموزان متوسطه

احمد احمدی

درگیر شده‌اند؟

این پرسش به اهمیت راهبردی منابع انرژی در سطح جهانی می‌پردازد و می‌تواند مقدمه‌ای برای گفت‌وگو دربارهٔ مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی باشد.

انرژی؛ پایه و اساس حرکت و زندگی

انرژی در زندگی روزمره ما نقشی اساسی دارد. بدون انرژی، هیچ‌چیز نمی‌تواند حرکت یا رشد کند. ما برای دویدن، گیاهان برای رشد و وسایل نقلیه برای حرکت به انرژی نیاز دارند. وقتی کلید برق را می‌زنیم، انرژی باعث روشن شدن چراغ خانه می‌شود. وقتی باد می‌وزد، این انرژی باد است که شاخه‌ها و برگ‌ها را حرکت می‌دهد و قایق‌های بادبانی را در آب جلو می‌برد. همهٔ وسایل برقی مانند یخچال، ماشین لباسشویی، لپ‌تاپ و... برای کار کردن به انرژی نیاز دارند.

هر کاری که انجام می‌دهیم، از راه رفتن و فکر کردن گرفته تا استفاده از گوشی همراه و مسافرت با قطار و هواپیما به انرژی نیاز

اگر روزی هیچ‌گونه انرژی‌ای در دسترس نباشد، زندگی ما چگونه خواهد بود؟ آیا می‌توانید دنیایی را تصور کنید که در آن خبری از روشنایی شب، گرمایش زمستان، حرکت قطارها و کشتی‌ها یا حتی ارتباطات اینترنتی نباشد؟ زندگی امروز ما، از ساده‌ترین کارها تا پیچیده‌ترین فناوری‌ها، وابسته به چه چیزی است؟ این پرسش ذهن دانش‌آموزان را به تفکر دربارهٔ وابستگی زندگی روزمره به انرژی سوق می‌دهد. از روشنایی و گرمایش گرفته تا حمل‌ونقل و ارتباطات، همه‌چیز به انرژی نیاز دارد.

آیا می‌توان انرژی را نابود کرد یا فقط می‌توان آن را از شکلی به شکل دیگر تبدیل کرد؟

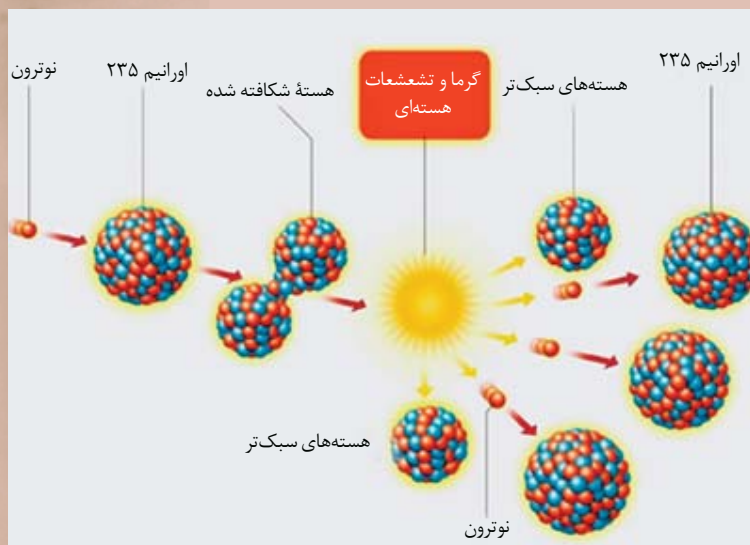
این سؤال دانش‌آموزان را به‌سوی درک مفهوم بنیادی قانون پایستگی انرژی هدایت می‌کند. قانونی که بیان می‌کند انرژی از بین نمی‌رود، بلکه فقط تغییر شکل می‌دهد.

چرا بسیاری از کشورها بر سر منابع انرژی با یکدیگر

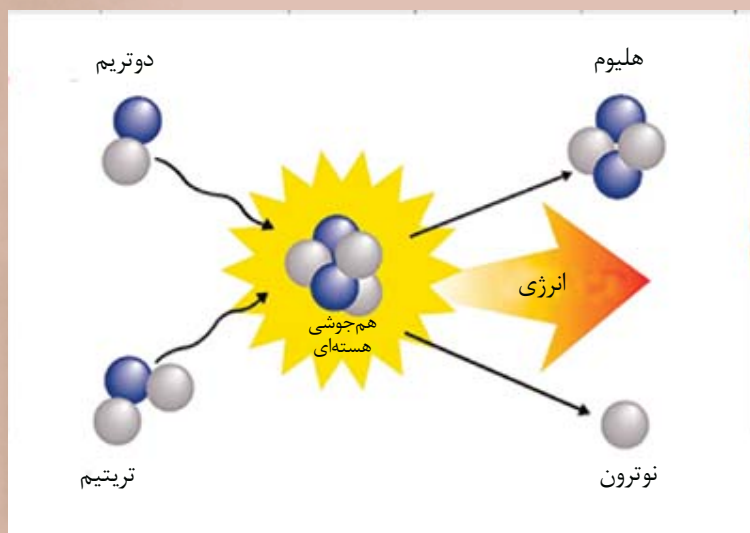
همجوشی هسته اتم هاست. شکافت در نیروگاه‌های هسته‌ای روی زمین انجام می‌شود. همجوشی در خورشید و ستارگان رخ می‌دهد و دانشمندان در تلاش‌اند آن را روی زمین هم اجرا کنند. همه این شکل‌های انرژی می‌توانند به یکدیگر تبدیل



دارد. بدون انرژی، هیچ فعالیتی امکان‌پذیر نخواهد بود.



توضیح شکل: شکافت هسته‌ای فرایندی است که در آن یک هسته سنگین به دو یا چند هسته سبک‌تر، چند نوترون و مقدار زیادی انرژی تبدیل می‌شود. بیشتر اوقات این واکنش با ایزوتوپ اورانیوم-۲۳۵ انجام می‌شود؛ عنصری که در طبیعت بسیار کمیاب است.



توضیح شکل: همجوشی هسته‌ای فرایندی است که در آن دو هسته اتم سبک به هم می‌پیوندند و یک هسته سنگین‌تر را تشکیل می‌دهند. در این واکنش مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود.

آیا در حالت خوابیده نیز به انرژی نیاز داریم؟

انرژی در زندگی ما به صورت‌های گوناگون دیده می‌شود و می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود. مهم‌ترین شکل‌های انرژی عبارت‌اند از:

۱. **انرژی مکانیکی:** ترکیبی از انرژی جنبشی (حرکتی) و پتانسیل (ذخیره‌ای) است. حرکت خودرو، حرکت توپ یا جریان آب رودخانه و فنر فشرده‌شده، آب پشت سد یا سنگی که بالای تپه قرار دارد، هواپیمایی که در حال پرواز است و... انرژی مکانیکی دارند.

۲. **انرژی گرمایی:** انرژی‌ای که باعث گرم‌شدن اجسام می‌شود؛ مانند گرمای آتش، بخاری یا خورشید. این انرژی ناشی از حرکت ذرات تشکیل‌دهنده ماده است. هرچه دمای جسم بیشتر باشد، انرژی گرمایی آن بیشتر است.

۳. **انرژی نورانی (تابشی):** انرژی‌ای که به صورت نور دیده می‌شود؛ مانند نور خورشید، شعله شمع، نور لامپ یا لیزر. این انرژی به صورت امواج الکترومغناطیسی منتشر می‌شود.

۴. **انرژی الکتریکی:** انرژی‌ای که از جریان برق به دست می‌آید؛ مانند انرژی‌ای که لامپ را روشن می‌کند یا موتور وسایل برقی را به کار می‌اندازد. این انرژی حاصل حرکت بارهای الکتریکی در مدار است مانند جریان برق در سیم‌ها، باتری و دینام دوچرخه.

۵. **انرژی صوتی:** انرژی صوتی نوعی از انرژی است که هنگام لرزش یا ارتعاش اجسام به وجود می‌آید. وقتی چیزی مثل یک طبل، بلندگو یا حنجره انسان به لرزه درمی‌آید، این لرزش باعث ایجاد تراکم و انبساط هوای اطراف شده و این حرکت در محیط به صورت موج در فضا پخش می‌شود و ما آن را به شکل «صدا» می‌شنویم.

۶. **انرژی شیمیایی:** انرژی ذخیره‌شده در پیوندهای مولکولی مواد است و هنگام سوختن یا واکنش شیمیایی آزاد می‌شود. مانند انرژی موجود در غذا، چوب، زغال سنگ، بنزین و گاز.

۷. **انرژی هسته‌ای:** انرژی آزادشده حاصل از شکافت یا

به نظر شما چرا دانش و فناوری‌های بومی یعنی دانش و فناوری‌هایی که تحقیق و گسترش آن‌ها توسط دانشمندان و متخصصان یک کشور انجام شده است را نمی‌توان با وحشت‌افکن (ترور) و بمباران از بین برد؟ توضیح دهید.

مصرف درست انرژی

امروزه بخش زیادی از انرژی در جهان به دلایلی مانند استفاده نادرست، کارایی کم بعضی دستگاه‌ها، هدررفت در خطوط انتقال برق، عادات‌های نادرست در زندگی روزانه و نبود عایق مناسب در ساختمان‌ها از بین می‌رود. با یادگیری و به‌کارگیری روش‌های درست مصرف انرژی، می‌توان این هدررفت را کاهش داد. همچنین استفاده از منابع پاک و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی، و نیز بهره‌گیری از انرژی هسته‌ای که آلودگی کمی دارد، به حفظ محیط‌زیست و تأمین انرژی برای آینده کمک می‌کند.

اگر بخواهی در خانه یا مدرسه انرژی کمتری هدر ببرد، چه کارهایی می‌توانی انجام دهی؟

این سؤال به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا ارتباط مستقیم میان رفتار روزانه و مصرف انرژی را درک کنند و همچنین راه‌حلی مانند خاموش کردن چراغ‌های اضافی، استفاده از نور طبیعی، بستن درها و پنجره‌ها برای حفظ گرما یا سرما، استفاده درست از وسایل برقی، توصیه به استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف و استفاده از لباس‌های مناسب فصل را پیشنهاد دهند و خود را در نقش فعال صرفه‌جو در انرژی ببینند.

فناوری هسته‌ای؛ فراتر از تولید برق

وقتی عنوان «فناوری هسته‌ای» را می‌شنویم، بیشتر یاد نیروگاه‌های برق می‌افتیم. اما این فناوری کاربردهای زیاد دیگری نیز دارد. بعضی از آن کاربردها در زندگی روزمره هم دیده می‌شوند، مانند:

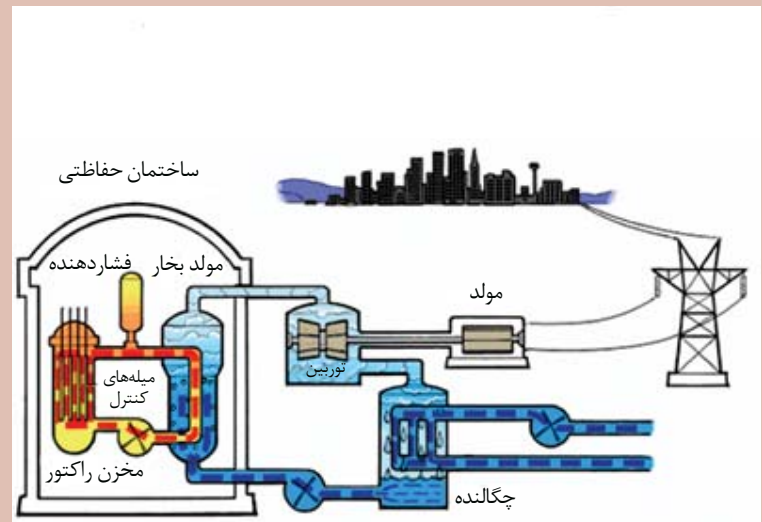
- **پزشکی:** از فناوری هسته‌ای برای تشخیص بیماری‌ها (مثل سرطان)، درمان‌های پیشرفته و ضدعفونی کردن تجهیزات پزشکی استفاده می‌شود.

- **کشاورزی و غذا:** به کمک آن می‌توان محصولات مقاوم‌تر و سالم‌تر تولید کرد، آفت‌ها را مهار کرد و ماندگاری مواد غذایی را بیشتر کرد.

- **صنعت:** این فناوری به ساخت قطعه‌های دقیق، پیدا کردن ایرادهای پنهان دستگاه‌ها، بازرسی جوش‌ها و اندازه‌گیری ضخامت مواد کمک می‌کند.

- **پژوهش:** دانشمندان از فناوری هسته‌ای برای آموزش، تولید داروهای هسته‌ای و انجام آزمایش‌ها استفاده می‌کنند. به این منظور آن‌ها از واکنشگاه (راکتور)‌های تحقیقاتی که

شوند. مثلاً انرژی هسته‌ای می‌تواند طی یک فرایند به انرژی الکتریکی و انرژی الکتریکی می‌تواند به نور، گرما یا حرکت تبدیل شود. این تبدیل‌ها پایه بسیاری از فناوری‌های امروزی هستند.

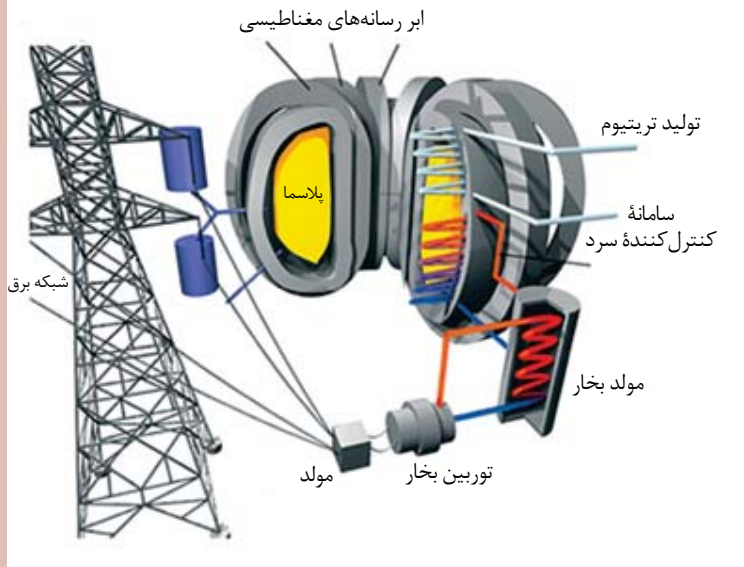


آیا تا به حال فکر کرده‌اید که چگونه می‌توان با ذراتی بسیار کوچک، انرژی‌ای آزاد کرد که توانایی روشن کردن یک شهر را داشته باشد؟ اگر به شما بگویند درون یک دانه برنج، آن قدر انرژی نهفته است که بتواند صدها لامپ را برای روزها روشن نگه دارد، چه حسی پیدا می‌کنید؟

این همان دنیای شگفت‌انگیز انرژی هسته‌ای است؛ دنیایی که می‌تواند آینده‌ای پاک‌تر و پیشرفته‌تر بسازد، اما هم‌زمان نیازمند دانش، دقت و مسئولیت‌پذیری فراوان است.

رشد سریع هوش مصنوعی مصرف برق جهانی را افزایش و شرکت‌های بزرگ فناوری را به سمت انرژی هسته‌ای سوق داده است، زیرا این منبع می‌تواند برق پایدار و کم‌کربن برای مرکزهای داده فراهم کند. انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی، ناپیوسته و سوخت‌های فسیلی آلاینده‌اند، اما انرژی هسته‌ای با وجود هزینه و زمان ساخت بالا دوباره در کانون توجه قرار گرفته است. فشار تقاضا، کشورها را به بازنگری در سیاست‌های انرژی واداشته و روند بازگشت به انرژی هسته‌ای در آمریکا، چین و بخشی از اروپا آغاز شده است.

انرژی همواره یکی از نیازهای اساسی بشر بوده است. در طول تاریخ، انسان‌ها برای دسترسی به منابع انرژی، مانند نفت، گاز و...، با چالش‌های زیادی روبه‌رو شده‌اند و جنگ‌های زیادی سر دسترسی یا تسلط بر این منابع انرژی رخ داده است. گفت‌وگو در مورد برخی از این جنگ‌ها و تحلیل آن‌ها می‌تواند مفید و فراتر از بحث انرژی و مرتبط با مباحث اخلاقی و فرهنگی ارائه شود.



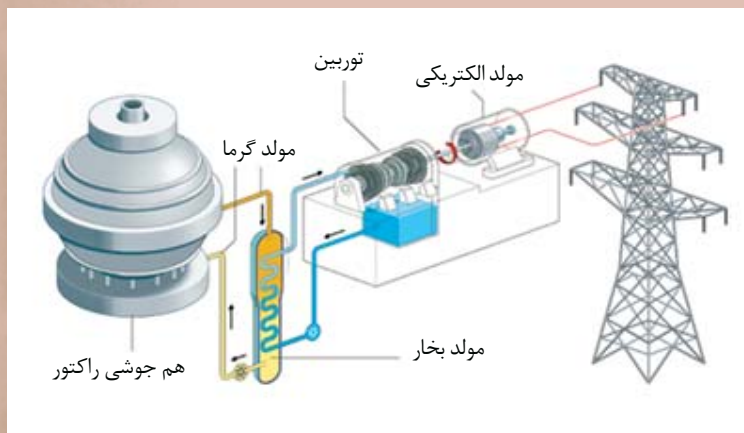
می آورند. برای مثال، این واکنش همجوشی را در نظر بگیرید:

$$D + T \rightarrow He + 1n + \text{energy}$$

در این واکنش با همجوشی هسته های دو ایزوتوپ هیدروژن یعنی دوتریم و تریتیوم، هسته هلیوم و یک نوترون پرانرژی تولید می شود. در واکنش گداخت، مجموع جرم محصولات فرایند، کمتر از مجموع جرم هسته های اولیه است.

این اختلاف جرم با توجه به رابطه معروف اینشتین $E=mc^2$ ، سبب آزاد شدن مقدار زیادی انرژی می شود. انرژی همجوشی می تواند جایگزین سوخت های فسیلی شود و انرژی پاک، فراوان و پایدار فراهم کند و در ضمن کربن هم تولید نکند.

پیش بینی می شود به زودی انرژی حاصل از همجوشی هسته ای مورد بهره برداری قرار گیرد. مثلاً شرکت Helion قصد دارد تا سال ۲۰۲۸ برق حاصل از همجوشی را به شرکت های بزرگی مانند مایکروسافت عرضه کند. با بهره برداری از این فناوری انقلابی بزرگ در صنعت انرژی ایجاد می شود و وابستگی بشر به سوخت های فسیلی به شدت کاهش می یابد.



شبیه نیروگاه های کوچک هسته ای هستند بهره می برند.

• **پژوهش و علم:** دانشمندان از فناوری هسته ای برای کشف رازهای تازه و حل مسائل مهم استفاده می کنند. واکنشگاه های تحقیقاتی مانند نیروگاه های کوچک هسته ای هستند که برای تولید داروهای هسته ای، انجام آزمایش های علمی و آموزش دانشجویان به کار می روند.

• **محیط زیست:** با کمک مواد پرتوزا (رادیواکتیو) می توان مسیر حرکت آب ها را ردیابی کرد، میزان آلودگی ها را سنجید و حتی تغییرات آب و هوا را بررسی کرد. این روش ها در مطالعات محیط زیست نقش مهمی دارند.

• **فضا:** بعضی فضاپیماها با باتری های هسته ای کار می کنند تا در سفرهای طولانی و جاهایی که نور خورشید کم است، برق داشته باشند.

• **حمل و نقل دریایی:** یک کشتی عظیم یا یک زیردریایی اتمی ماه ها یا حتی سال ها در دریا حرکت می کند، بدون اینکه حتی یک قطره سوخت معمولی بسوزاند! راز این توانایی، نیروگاه هسته ای کوچکی است که داخل آن نصب شده و انرژی لازم را فراهم می کند.

• **کاربرد نظامی:** یکی از کاربردهای انرژی هسته ای، ساخت سلاح های هسته ای است؛ سلاح هایی بسیار قدرتمند که می توانند خسارت های گسترده ای ایجاد کنند. البته استفاده از این سلاح ها از نظر انسانی و اخلاقی به شدت محکوم است و جامعه جهانی تلاش می کند مانع گسترش و به کارگیری آن ها شود. پس فناوری هسته ای فقط برای تولید برق نیست؛ بلکه در سلامت، کشاورزی، صنعت، پژوهش و حتی فضا هم نقش مهمی دارد.

به نظر شما انسان ها در دهه های آینده بیشتر از چه نوع انرژی هایی استفاده خواهند کرد؟ آیا انرژی هسته ای (شکافت و همجوشی هسته ای) می تواند جایگزین سوخت های فسیلی شود؟

در دهه های آینده، انسان ها به سمت استفاده بیشتر از انرژی های پاک و تجدیدپذیر حرکت خواهند کرد. این انرژی ها شامل: انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی آبی، سوخت های زیستی و البته انرژی همجوشی هسته ای خواهند بود. پیش بینی می شود از میان این منابع، انرژی خورشیدی بیشترین کاربرد و سریع ترین رشد را داشته باشد، زیرا هزینه تولید آن کاهش یافته است و فناوری های مربوط به آن پیشرفت زیادی کرده اند.

یکی از هیجان انگیزترین منابع انرژی در آینده، همجوشی هسته ای است. این نوع انرژی با شبیه سازی فرایندی که در خورشید رخ می دهد، می تواند مقدار بسیار زیادی انرژی تولید کند؛ آن هم بدون تولید گازهای گلخانه ای یا زباله های خطرناک. در فرایند گداخت یا همان همجوشی هسته ای، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می شوند و هسته سنگین تری به وجود

- مزیت‌ها و عیب‌های آن چیست؟
- آیا در ایران قابل استفاده است؟
- چه کشورهایی در این زمینه پیشرو هستند؟
- آینده این نوع انرژی چگونه پیش‌بینی می‌شود؟

غنی‌سازی اورانیم

اورانیم فلزی سنگین و پرتوزاست که به‌طور طبیعی در سنگ‌ها و خاک یافت می‌شود و سوخت اصلی برخی نیروگاه‌های هسته‌ای محسوب می‌شود. وقتی هسته یک اتم سنگین مثل اورانیم-۲۳۵ شکسته می‌شود، به دو هسته کوچک‌تر و چند نوترون تبدیل می‌گردد. این فرایند که «شکافت هسته‌ای» نام دارد، مقدار بسیار زیادی انرژی آزاد می‌کند. در هر واکنش شکافت، انرژی آزادشده حدود ۱۰۰ میلیون برابر انرژی آزادشده به‌ازای هر مولکول در یک واکنش شیمیایی معمولی، مثل سوختن بنزین است.

اورانیم طبیعی از دو نوع ایزوتوپ تشکیل شده است که درصد فراوانی آن‌ها به‌شدت متفاوت است:



برای استفاده از انرژی هسته‌ای باید درصد اورانیم-۲۳۵ افزایش یابد. این فرایند را «غنی‌سازی اورانیم» می‌نامند.

ویژگی	درصد در اورانیم طبیعی	ایزوتوپ
سنگین‌تر، برای شکافت مناسب نیست	بیش از ۹۹ درصد	U-۲۳۸
سبک‌تر، به راحتی شکافته می‌شود و انرژی زیادی آزاد می‌کند	کمتر از ۱ درصد	U-۲۳۵

چون اورانیم-۲۳۵ کمی سبک‌تر از اورانیم-۲۳۸ است، می‌توان آن‌ها را با استفاده از تفاوت جرمشان جدا کرد. مراحل کار به این صورت است:

در این میان، کشورهایی که هم‌اکنون در زمینه فناوری هسته‌ای فعال هستند، می‌توانند سریع‌تر خود را به این فناوری جدید برسانند و از مزیت‌های گسترده آن بهره‌مند شوند.

توجه داشته باشیم که امکان خرید و انتقال بسیاری از فناوری‌های پیشرفته به دلایل امنیتی و سیاسی همواره فراهم نیست. کشورهای صاحب این فناوری تمایلی به انتقال فناوری‌هایی که می‌توانند موازنه قدرت را تغییر دهند، به کشورهای در حال توسعه یا کشورهایی با چالش‌های سیاسی ندارند.

انرژی هسته‌ای به دلیل ماهیت راهبردی (استراتژیک) و دانش‌بنیان خود، یکی از محدود فناوری‌هایی است که وابستگی به واردات انرژی (به‌ویژه در بخش تولید برق) و همچنین واردات برخی فناوری‌های پیشرفته مرتبط را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

پروژه‌های بزرگی مانند «ایتر»^۱ و شرکت‌هایی مثل «هلیون انرژی»^۲ و «کامن‌ولث فیوژن سیستمز»^۳ در حال ساخت واکنشگاه‌هایی هستند که بتوانند انرژی همجوشی را به شکل تجاری و پایدار تولید کنند. برای مثال، شرکت هلیون قصد دارد تا سال ۲۰۲۸ برق حاصل از همجوشی را به شرکت‌های بزرگی مانند مایکروسافت عرضه کند، و کامن‌ولث فیوژن سیستمز نیز با پیشرفت در فناوری آهنرباهای ابررسانا، زمان رسیدن به نیروگاه‌های همجوشی را کوتاه‌تر کرده است.

فعالیت گروهی: آینده انرژی و نقش همجوشی هسته‌ای

هدف فعالیت: آشنایی با انواع انرژی‌های آینده، بررسی مزیت‌ها و چالش‌های آن‌ها، و تحلیل جایگاه انرژی همجوشی هسته‌ای در تأمین انرژی پایدار برای بشر.

تقسیم‌بندی گروه‌ها: دانش‌آموزان به ۴ یا ۵ گروه تقسیم شوند. هر گروه روی یکی از این موضوع‌ها تحقیق کنند:

گروه	موضوع تحقیق
۱	انرژی خورشیدی و آینده آن
۲	انرژی بادی و نقش آن در تولید برق
۳	انرژی همجوشی هسته‌ای چگونه کار می‌کند و چه آینده‌ای دارد؟
۴	مقایسه انرژی‌های تجدیدپذیر با سوخت‌های فسیلی
۵	چالش‌های زیست‌محیطی و راه‌حل‌های انرژی پاک

۱. تحقیق و جمع‌آوری اطلاعات (با استفاده از منابع معتبر یا راهنمایی معلم)
 ۲. تهیه گزارشی کوتاه یا پوستر آموزشی
 ۳. ارائه شفاهی در کلاس (۵ تا ۷ دقیقه برای هر گروه)
 ۴. پرسش و پاسخ بین گروه‌ها برای تقویت تعامل و یادگیری
- * نکته‌های قابل بررسی در تحقیق:**
- انرژی مورد نظر چگونه تولید می‌شود؟

شرکت‌های پیشرو در انرژی همجوشی هسته‌ای

۱. هلیون انرژی

- یک شرکت آمریکایی است که در ایالت واشنگتن قرار دارد.
- هدف آن ساخت اولین نیروگاه همجوشی هسته‌ای تجاری جهان است.
- این شرکت از فناوری خاصی به نام همجوشی ضربه‌ای^۴ استفاده می‌کند که برخلاف روش‌های سنتی، به جای تولید بخار برای چرخاندن توربین، به طور مستقیم برق تولید می‌کند.
- سوخت مورد استفاده در واکنشگاه‌های هلیون ترکیبی از دوتریوم و هلیوم-۳ است که باعث می‌شود دستگاه‌ها کوچک‌تر و کارآمدتر باشند.
- هلیون تاکنون چندین نمونه آزمایشی ساخته است و در سال ۲۰۲۸ قصد دارد اولین نیروگاه خود به نام آرین^۵ را راه‌اندازی کند و برق آن را به شرکت مایکروسافت بفروشد.

۲. کامنولث فیوژن سیستمز (سی‌اف‌اس)

- این شرکت در سال ۲۰۱۸ از دل تحقیقات دانشگاه ام‌آی‌تی در آمریکا شکل گرفت.
- سی‌اف‌اس از فناوری پیشرفته‌ای به نام آهنرباهای ابررسانای دمای بالا استفاده می‌کند که امکان ساخت واکنشگاه‌های همجوشی کوچک‌تر و ارزان‌تر را فراهم می‌کند.
- واکنشگاه آزمایشی این شرکت به نام اسپارک^۶ طراحی شده است تا بتواند انرژی مثبت خالص تولید کند.
- پس از اسپارک، هدف اصلی ساخت نیروگاه بزرگ‌تری به نام آرک^۷ است که در ایالت ویرجینیا ساخته می‌شود و تا اوایل دهه ۲۰۳۰ برق تولید کند.
- شرکت‌هایی مانند گوگل و مایکروسافت قراردادهایی برای خرید برق از این نیروگاه‌ها امضا کرده‌اند.

چرا این شرکت‌ها مهم هستند؟

- این شرکت‌ها در تلاش‌اند تا انرژی همجوشی را از حالت آزمایشگاهی به مرحله تجاری و قابل استفاده در زندگی روزمره برسانند.
- اگر موفق شوند، انرژی همجوشی می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود و انرژی پاک، فراوان و پایدار برای همه فراهم کند.
- برای مثال، فرانسه حدود ۶۳ درصد (آمار ۲۰۲۲، برخی منابع قدیمی‌تر ۷۰ درصد را ذکر کرده‌اند) از برق مورد نیاز خود را از طریق انرژی هسته‌ای تأمین می‌کند که این امر به ثبات و امنیت انرژی، و کاهش وابستگی به واردات سوخت‌های فسیلی کمک شایانی کرده است.

۱. تبدیل اورانیم به گاز: اورانیم را به شکل گاز (هگزافلوراید اورانیم) در می‌آورند.
۲. چرخش در سانتریفیوژ: این گاز در دستگاه‌هایی به نام (سانتریفیوژ) با سرعت بسیار زیاد می‌چرخد.
۳. جداسازی ایزوتوپ‌ها: در این چرخش، اورانیم-۲۳۸ (سنگین‌تر) به سمت بیرون رانده می‌شود و اورانیم-۲۳۵ (سبک‌تر) در مرکز باقی می‌ماند. با تکرار این مراحل، درصد اورانیم-۲۳۵ افزایش می‌یابد.

- میزان غنی‌سازی اورانیم بستگی به کاربرد آن دارد:
- برای نیروگاه‌های برق هسته‌ای (مثل نیروگاه بوشهر): حدود ۳ درصد اورانیم-۲۳۵ غنی‌سازی شده لازم است.
- در واکنشگاه‌های پژوهشی (مثل واکنشگاه دانشگاه تهران): درصد غنی‌سازی معمولاً ۲۰ تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد.
- برای ساخت سلاح‌های هسته‌ای: اورانیم باید بیش از ۹۰ درصد غنی‌سازی شود.

اگرچه جامعه جهانی با ساخت و استفاده از سلاح‌های هسته‌ای مخالف است، متأسفانه برخی کشورها تعداد زیادی از این بمب‌ها را ساخته‌اند که این موضوع به تهدیدی جدی برای امنیت جهانی تبدیل شده است.

انرژی شکافت هسته‌ای از کجا می‌آید؟

وقتی نوترونی به هسته اورانیم-۲۳۵ برخورد می‌کند و جذب می‌شود، هسته شکافته می‌شود. جالب است بدانید که جرم محصولات شکافت کمتر از جرم اولیه است و این اختلاف جرم طبق رابطه معروف اینشتین $E = mc^2$ به انرژی تبدیل می‌شود. در این رابطه، m تغییر جرم و c تندی نور در هوا یا خلأ است. با توجه به اینکه مقدار c^2 بسیار زیاد است (حدود 10^{17} به توان ۱۷)، با تغییر جرم بسیار کم، انرژی زیادی آزاد می‌شود.



جدول مقایسه‌ای شرکت‌های پیشرو در انرژی همجوشی

ویژگی‌ها	هلیون انرژی	کامن ولث فیوژن سیستمز (سی اف اس)
کشور	ایالات متحده (واشنگتن)	ایالات متحده (ماساچوست)
سال تأسیس	۲۰۱۳	۲۰۱۸
منشأ	شرکت خصوصی مستقل	منشأ دانشگاه ام‌ای‌تی
فناوری اصلی	همجوشی ضربه‌ای	آهنرباهای ابررسانای دمای بالا (HTS)
نوع سوخت	دوتریوم + هلیوم-۳	دوتریوم + تریتیوم
هدف نهایی	تولید مستقیم برق	تولید بخار برای توربین برق
پروژه آزمایشی	دستگاه‌های متعدد (آخرین: پلاریز ^۹)	سپارک
نیروگاه تجاری آینده	اوریان (تا سال ۲۰۲۸)	آرک (اوایل دهه ۲۰۳۰)
مشتریان بزرگ	مایکروسافت	گوگل، مایکروسافت
مزیت اصلی	تولید برق بدون توربین	آهنرباهای قدرتمند و کوچک‌تر

نقش فناوری‌های هسته‌ای

نگاه به انرژی هسته‌ای فقط به‌عنوان یک منبع تولید برق، نگرشی تقلیل‌گرایانه و ناقص است. فناوری هسته‌ای یک حوزه پیشرفته و میان‌رشته‌ای است که دستیابی و تسلط بر آن، اثرات سرریز^۹ قابل توجهی در سایر بخش‌های اقتصادی و علمی به همراه دارد. این بخش‌ها در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

الف) ارتقاء سرمایه انسانی و صنایع پیشرفته

فرایند طراحی، ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات هسته‌ای نیازمند تربیت نیروی انسانی متخصص در رشته‌های گوناگون مهندسی (مکانیک، برق، مواد، عمران و شیمی)، علوم پایه (فیزیک و شیمی) و مدیریت پروژه است. این امر به ارتقای سطح دانش و مهارت‌های فنی هر کشور کمک شایانی می‌کند. علاوه بر این، توسعه فناوری هسته‌ای به رشد صنایع پیشرفته و جانبی متعددی منجر می‌شود؛ از جمله صنایع مرتبط با مواد پیشرفته (مانند آلیاژهای خاص مقاوم در برابر حرارت و تشعشع)، سامانه‌های کنترل دقیق و خودکارسازی (اتوماسیون) صنعتی، الکترونیک قدرت، رباتیک و ساخت تجهیزات پیچیده.

ب) کاربردهای متنوع صلح‌آمیز

فناوری هسته‌ای کاربردهای گسترده‌ای در پزشکی (تولید رادیوداروها برای تشخیص و درمان سرطان، تجهیزات تصویربرداری پزشکی)، کشاورزی (اصلاح بذر، کنترل آفات،

پرتودهی محصولات برای افزایش ماندگاری، مدیریت منابع آب و خاک)، صنعت (سنجش و کنترل کیفیت، ردیابی صنعتی، سترون‌سازی (استریلیزاسیون) تجهیزات) و شیرین‌سازی آب دریا دارد. کشور ما نیز در زمینه تولید رادیوداروها و استفاده از فناوری هسته‌ای در کشاورزی و صنعت پیشرفت‌هایی داشته است. هم‌چنین دستیابی به فناوری‌های سطح بالا مانند انرژی هسته‌ای، توان چانه‌زنی اقتصادی و ژئوپلیتیکی کشور را در عرصه بین‌المللی افزایش می‌دهد. در جهانی که دانش و فناوری یکی از مؤلفه‌های اصلی قدرت ملی محسوب می‌شوند، تسلط بر فناوری هسته‌ای مزیتی راهبردی و نشانه‌ای از توانمندی علمی و صنعتی کشور است. کشورهایی با ظرفیت هسته‌ای پیشرفته مانند آمریکا، فرانسه، روسیه و چین به قطب‌های اصلی صادرات فناوری و تجهیزات هسته‌ای در سطح بین‌المللی تبدیل شده‌اند و از این طریق نفوذ سیاسی و اقتصادی جهانی قابل توجهی کسب کرده‌اند.

پی‌نوشت‌ها

1. ITER
2. Helion Energy
3. Commonwealth Fusion Systems (CFS)
4. pulsed fusion
5. Orion
6. SPARC
7. ARC
8. Polaris
9. spillover effects