انقلاب در شیوه تولید انرژی اتمی

تا همین اواخر هم جوشی هسته‌ای (Fussion) روشی هیجان‌انگیز برای تولید انرژی بنظر می‌رسید. اما در عمل از شکافت اتم (Fission) چندان کارسازتر از آب در نیامد.

در آزمایشگاههای هسته‌ای اطراف و اکناف جهان فیزیکدانان برای ایجاد خورشیدهائی در «بطری‌های نشت‌کن» سخت در تکاپو هستند. هدف آنها هرچه بیشتر درخشان کردن خورشیدی در یک بطری یا کپسول است، تا بتوان از آن به عنوان منبع پایان‌ناپذیر انرژی استفاده کرد. این بطری محتوی خورشید را آنها «نیروگاه هم‌جوشی هسته‌ای»[1] می‌نامند. چند دهه تحقیق آنها را به کوشش برای ساخت چنین نیروگاهی متمایل کرده، اما هنوز تا دستیابی عملی به این هدف راه درازی در پیش است.

این روزها مجریان طرح نیروگاه آزمایشی حرارتی هسته‌ای بین‌المللی (ITER) قصد دارند با اجرای یک تصمیم حیرت‌انگیز گامی بلند در مسیر پیشرفت فن‌شناختی هم جوشی هسته‌ای بردارند: قرار است با همکاری تمامی کشورهائی که در پژوهش هم جوشی هسته‌ای دست دارند، سرانجام خورشید در بطری فرو برده شود (در واقع مجموعه وسیعی از میادین مغناطیسی ایجاد گردد) که در تاریخ بشری اقدامی به واقع بی‌سابقه است. در داخل این بطری فرضی، خورشید کوچکِ نیروگاه آزمایشیِ حرارتیِ هسته‌ای بین‌المللی (ITER) قرار خواهد گرفت. این خورشید فرضی هم چیزی جز پلاسمای باردار آشکالِ نادر هیدروژن نخواهد بود. داغی این خورشید به حدی است که اتمها با هم واکنش هم جوشی خواهند داشت و در نتیجه انرژی فراوانی آزاد می‌شود.

نیروگاه مذکور در دورانی طراحی شد که هیجان و شوق انجام پروژه‌های بزرگ علمی در اوج بود. در سال ۱۹۸۵ میلادی، و در مذاکراتی که بین شوروی و آمریکا در ژنو جریان داشت، این طرح پیشنهاد شد و اروپای غربی و ژاپن هم خیلی سریع از آن استقبال کردند. اما گرچه طراحی مهندسی این پروژه در سال ۱۹۹۲ پایان یافت اما هنوز تصمیم نهائی برای ساخت چنین نیروگاهی اتخاذ نشده است.

آیا جهان می‌تواند در شرایطی که نیاز به انرژی بطور مداوم رو به افزایش است نسبت به چنین منبع عظیمی از انرژی بی‌اعتنا بماند؟ البته تا این زمان این بی‌اعتنایی نشان داده شده است.

چندین دهه است که شکافت هسته‌ای (Fission) برای بشر انرژی [اتمی] تولید می‌کند. اما در اکثر کشورهای صنعتی جهان این روش دشواری‌هائی ایجاد کرده است. در افکار عمومی این کشورها مشکل زباله‌های رادیواکتیو و امکان تولید سلاحهای هسته‌ای از این زباله‌ها فاجعه جنگ هسته‌ای را در اذهان زنده می‌کند.

سینتیا کارتر (Cynthia Carter) رئیس بخش تکنولوژی پیشرفته وزارت انرژی آمریکا می‌گوید «این روزها اگر سیاستمداری بگوید که به انرژی هسته‌ای علاقمند است کارش ساخته است و مرگ سیاسیش فرا می‌رسد». وی می‌افزاید که «ما می‌کوشیم این نیروگاهها را تعطیل کنیم نه اینکه بر اهمیت آنها تأکید بورزیم».

در کشورهای صنعتی، با وجود توانایی و ظرفیت به اثبات رسیده علمی و فنی آنها، کوششی برای توسعه اشکال جدید شکافت هسته‌ای (نوع رایج استخراج انرژی از هسته) انجام نمی‌شود. بنابراین چرا همین کشورها می‌خواهند مقادیر هنگفتی پول را به مصرف استخراج انرژی هسته‌ای به روشی نوین و امتحان نشده، برسانند؟

باید دانست گرچه واکنش‌های هسته‌ای شامل دو روش «شکافت» و «هم‌جوشی هسته‌ای» می‌شود اما این دو روش دو مقوله بسیار متفاوت به شمار می‌روند. هسته‌های اتمی کوچک اگر بر روی هم فشرده شوند انرژی آزاد می‌کنند. این روش استخراج انرژی را هم‌جوشی هسته‌ای (Fusion) می‌نامند. اما اگر هسته‌های بزرگ اتمی شکافته شوند، شکافت هسته‌ای (Fission) رخ می‌دهد. همه عناصر بجز آهن به هر یک از این دو روش از خود انرژی آزاد می‌کنند.

در عمل، «هم‌جوشی هسته‌ای» برای هسته‌های کوچک و با وزن اتمی کم مناسب است، و «شکافت» برای هسته‌های بزرگ و با وزن اتمی زیاد.

بعضی از هسته‌های بزرگ ناپایدار هستند. اگر هسته سنگین را با یک نوترون مورد حمله قرار دهیم، آن هسته به قطعات کوچکتر تقسیم می‌شود و نوترون‌های بیشتری آزاد می‌شوند و لاجرم هسته‌های سنگین بیشتری شکافته می‌گردند. حال اگر تعداد قابل ملاحظه‌ای از این هسته‌ها را در معرض حملات نوترونی قرار دهیم، به ناگزیر واکنش‌های هسته‌ای زنجیره‌ای رخ خواهد داد. متأسفانه عناصری با وزن اتمی سنگین (نظیر اورانیوم یا پلوتونیوم) معمولاً کمیاب و گران قیمت هستند و از این گذشته، هسته‌های کوچکتر شکافته شده ناشی از واکنش‌های زنجیره‌ای خطرناک می‌باشند. و بدتر از همه اینکه، واکنش‌های زنجیره‌ای گاهی از مهار خارج می‌شوند، لگام می‌گسلند و کار به ذوب شدن همه چیز در نیروگاه می‌انجامد.

شکافت هسته‌ای منطقاً آسان است. نخستین نیروگاه شکافت هسته‌ای در زمین بازی اسکوواش (squash) که نوعی بازی با راکت و توپ در داخل سالن است، در شیکاگو و تحت نظارت و هدایت انریکو فرمی (Enrico Fermi) احداث شد. اما به یاد بیاوریم که وقتی فرایند لگام گسیختگی واکنش‌های هسته‌ای در نیروگاه چرنوبیل اوکراین رخ داد و به ذوب شدن همه چیز انجامید، مهار واکنش‌های زنجیره‌ای اتمها چقدر دشوار بود.

از سوی دیگر، واکنش‌های هم جوشی هسته‌ای (Fusion)، دشوار آغاز می‌شوند. در حالیکه هسته‌های شکستنی میل به فروپاشی دارند، آن دسته از هسته‌ها که امکان هم جوشی با هم دارند از نزدیک شدن به یکدیگر بیزارند.

برای نزدیک هم آوردن دو هسته سبک لازم است که نیروی دافعه طبیعی آندو را در هم بشکنیم. به همین دلیل باید بر سرعت حرکت آنها افزود. افزایش سرعت حرکت به گرم شدن آنها منجر می‌گردد. اصطلاح هسته‌ای ـ حرارتی (Thermanuclear) برای توصیف واکنش‌های هم جوشی هسته‌ای و بمب‌های هیدروژنی از همین خاصیت ناشی می‌شود. داغ کردن هسته‌ها، و در عین حال تحت کنترل داشتن آنها کاری دشوار است. امّا اگر بتوان این کار را انجام داد، نتایج حاصله بسیار بهتر از واکنش‌های شکافت است.

نخست باید از سوخت نیروگاه شروع کرد: نیروگاههای نسل اول هم‌جوشی هسته‌ای، از مخلوط دوتریوم (DEuterium) و تریتیوم (Tritium)، به عنوان سوخت استفاده می‌کردند، و می‌کنند. اقیانوسها سرشار از دوتریوم هستند. از دو نیم کردن هسته‌های لیثیوم (Lithium) با شلیک نوترون، تریتیوم بدست می‌آید که در اکثر نیروگاههای هسته‌ای موجود در جهان کاربرد دارد و اکنون اقدامی آسان شده است. بنابراین تهیه سوخت برای نیروگاههای هم‌جوشی هسته‌ای کار

←

دشواری نیست. همچنین زباله حاصل از این واکنش‌ها، خطرناک و رادیواکتیو سمی نیستند. زیرا این زباله چیزی جز گاز بی‌ضرر هلیوم نمی‌باشد. **با این حال باید دانست تحصیل انرژی از طریق شکافت هسته‌ای مستلزم مصرف سوخت فراوان با بازده کم است و اگر واکنش‌های زنجیره‌ای از مهار خارج شود به طور فزاینده ادامه می‌یابد. لیکن در روش همجوشی هسته‌ای، وضع برعکس است، یعنی تحصیل انرژی با سوخت کم اما با بازده فراوان امکان‌پذیر می‌شود و علاوه بر آن، واکنش زنجیره‌ای هم رخ نمی‌دهد و چون تنها مقدار اندکی از سوخت در اتاقک واکنش موجود است بنابراین خطر بروز فاجعه لگام‌گسیختگی هم وجود ندارد.**

می‌دانیم که تنها راه منفجر ساختن دئوتریم و تریتیوم در یک بمب استفاده از بمب شکافت هسته‌ای است. اما برخلاف شکافت هسته‌ای، در روش واکنش هم‌جوشی نمی‌توان از یک نیروگاه هسته‌ای برای تولید سلاح هسته‌ای استفاده کرد. با روش هم‌جوشی هسته‌ای و با استفاده از دئوتریم و تریتیوم تحت فشار و شلیک لیزر می‌توان یک هم‌جوشی هسته‌ای محدود (ICF) آفرید و ساز و کار (میکانیسم) انفجار بمب را بررسی کرد. در حال حاضر وزارت‌خانه‌های دفاع فرانسه و آمریکا ساخت چندین نیروگاه (ICF) را با هزینه‌های چند میلیارد دلاری در دستور کار دارند.

هدف آنها از ساخت این نیروگاهها این است که بدون انجام آزمایشات پرخرج و پر دردسر به تجارب و یافته‌های جدید در زمینه روش هم‌جوشی هسته‌ای دست یابند. (به یاد بیاورید که چه قشقرقی بر سر آزمایشات هسته‌ای فرانسه در پولینزی و جزایر مرجانی آنجا برپا شد)

حال برگردیم به پژوهشهای در دست انجام پیرامون هم جوشی هسته‌ای برای مصارف غیرنظامی: در این پژوهش‌ها از میادین مغناطیسی به جای سدّ اشعه، برای جهت دادن پلاسما (حالت چهارم مادّه) استفاده می‌شود. میادین مغناطیسی قوی هسته‌های باردار در حال حرکت را در جهت مدارهای مارپیچی هدایت می‌کند. هر چقدر میادین مغناطیسی قوی‌تر باشد، پلاسمای هسته‌های محدودتر- و لاجرم بیشتر تحت مهار- خواهد بود.

به چند روش این میادین مغناطیسی را ایجاد می‌کنند؛ اما روشی که این روزها مورد پسند فیزیک‌دانان است ایجاد یک اتاقک یا دالان به شکل نانِ دونات می‌باشد. در داخل این اتاقک یک توده هیدروژن گرم می‌شود و به هسته‌ها این نیرو را می‌دهد تا در هنگام برخورد با یکدیگر، هم جوش گردند. میادین مغناطیسی اتمها را آنقدر به هم نزدیک می‌سازند که برخورد هسته‌ها به دفعات فراوان رخ دهد.

برای آنکه نیروگاه هسته‌ای هم‌جوشی به هزینه و زحمت آن بیارزد، انرژی واکنش‌های هسته‌ای هم‌جوشی باید پلاسما را به حد کافی داغ نگهدارد تا بدین ترتیب واکنش هم‌جوشی بدون حرارت خارجی امکان‌پذیر شود. این نوع برقراری واکنش را احتراق و سوختن پایدار می‌نامند و هدف اصلی پروژه (ITER) است. هرگاه دانشمندان بتوانند این نوع احتراق و سوختن پایدار هسته‌ای را ایجاد کنند دیگر فقط باید سوخت نیروگاه را تأمین و هلیوم تولید شده را استخراج کنند. در

دانشمندان قصد دارند از طریق هم جوشی هسته‌ای خورشیدی را در درون یک بطری قرار دهند!

آن صورت واکنشی خود پایدار خواهند داشت که تا زمان در مهار ماندن پلاسما ادامه خواهد یافت.

به هم ریختگی در داخل بطری

پروژه و برنامه (ITER) از همانجائی کار را آغاز می‌کند که پروژه‌های کوچکتری نظیر نیروگاه آزمایشی توکامک هم جوشی (IETR) در آمریکا، مارپیچ مشترک اروپایی (JET) در بریتانیا و JT-60 در ژاپن به پایان رسیده بودند. این نیروگاههای ملی و منطقه‌ای به دانشمندان در مورد چگونگی ساخت و قرار دادن خورشید در درون بطری و کپسول تجارب فراوان آموختند. اما این نیروگاههای موجود در فرانسه، آمریکا و ژاپن کوچکتر از آنند که بتوانند واکنش‌های پایدار هم‌جوشی هسته‌ای ایجاد کنند. برای آنکه نیروگاهها به حد کافی بزرگ باشند هزینه (ITER) به ناگزیر باید افزایش یابد. پروژه ITER نه تنها از نظر ابعاد اقتصادی و مکانی باید بزرگ باشد، بلکه از لحاظ فن شناختی (تکنولوژی) هم باید پیشرفته‌ترین باشد و از ابر رسانه‌هائی در آن استفاده شود که بشر تاکنون به تولید انبوه آنها اقدام نکرده است. مغناطیس‌های این نیروگاهها ۴۰٪ کل هزینه را می‌بلعند. بنابراین ساخت چنین نیروگاهی عظیم، یعنی مشارکت بین‌المللی عظیم همراه با نظام دیوان سالاری، سیاسی و ریخت و پاش‌ها و در هم ریختگی‌های گریزناپذیر این نوع همکاری.

برای به اجرا درآوردن پروژه (ITER) به سه محل طراحی مجهز در آمریکا، ژاپن و آلمان نیاز است.

اما مشکل اینجاست که نیروگاههای تک کاره باید تعطیل شوند تا فیزیک پلاسما و هم‌جوشی هسته‌ای جانشین شکافت هسته‌ای نیروگاههای موجود گردند که این نکته با منافع ملّی کشورهای دارای فن‌شناختی هسته‌ای مغایرت دارد و لذا پیداکردن نگرشی بین‌المللی و بشری برای نیروگاههای جدید و پروژه (ITER) ضروری است.

تقسیم میراث

آینده فن شناختی هم‌جوشی هسته‌ای نامشخص است. همانطورکه فن‌شناختی شکافت هسته‌ای در حال حاضر وضع بهتری ندارد.

شکافت هسته‌ای ارزان تمام نشده است و هزینه احداث یک نیروگاه هسته‌ای شکافت هسته‌ای (Fission) هنوز خیلی کمرشکن است. بسیاری از کشورها عطای این نیروگاه‌ها را به لقای آنها بخشیده‌اند.

در ایتالیا، یعنی زادگاه فرمی (Fermi) دانشمند فیزیک هسته‌ای حتی یک نیروگاه هسته‌ای وجود ندارد و ساخت آن در دستور کار هم نیست. در آمریکا با وجود ۱۰۹ نیروگاه هسته‌ای (از نوع شکافت هسته‌ای) نیروی اتم تنها ۲۰٪ کل برقِ مصرفی کشور را تأمین می‌کند و از ۱۹۸۹ به این سو هم هیچ نیروگاه اتمی جدید ساخته نشده است.

در اساس، نیروگاههای هسته‌ای در کشورهائی رشد داشته‌اند که تکنولوژی دوستی یا حتی پرستش تکنولوژی با فقر منابع طبیعی همراه بوده است: نظیر فرانسه، ژاپن و کره جنوبی.

در کشورهای کمونیست سابق نیز تعداد نیروگاههای هسته‌ای فراوان است.

از سوی دیگر افکار عمومی جهان نسبت به نیروگاه هسته‌ای بدبین و مظنون است. رخداد یک نقص در یک نیروگاه هسته‌ای در آمریکا و یک فاجعه تمام عیار در چرنوبیل اکراین کافی بود تا افکار عمومی را متوجه خطرات زیست محیطی این نیروگاهها کند. از این گذشته ضایعات هسته‌ای محصولات بسیار دردسرآفرین و خطرناکی هستند. میله‌های کنترل (مهار) مستعمل بسیار خطرناک و از لحاظ خواص رادیواکتیو بسیار فعال هستند و باید در عمق دریاها دفن شوند. هرچند میزان ضایعات نیروگاههای متکی بر شکافت هسته‌ای کم است امّا دردسر آن بسیار زیاد می‌باشد.

طرفداران نیروگاههای هم‌جوشی هسته‌ای قبلاً در مورد ارزانی هزینه تمام شده ساخت نیروگاه هم داد سخن می‌دادند اما این روزها دیگر هزینه را مورد نظر ندارند زیرا معلوم نیست این نیروگاههای جدید آیا واقعاً ارزانتر از نیروگاههای شکافت هسته‌ای تمام می‌شوند یا خیر. از این رو طرفداران نیروگاههای هم‌جوشی بیشتر به ایمنی و پاکیزگی آن از لحاظ ضایعات اشاره می‌کنند.

هر چند از دیدگاه فیزیک محض، در مورد پلاسما جای هیچ‌گونه نگرانی نیست، اما وقتی به اجرا و احداث

انریکو فرمی

پروژه از دیدگاه مهندسی می‌اندیشیم آن را خالی از خطر نمی‌بینیم، زیرا هم‌جوشی هسته‌ای هلیوم و نیز نوترون تولید می‌کند. میدان‌های مغناطیسی بر نوترون‌ها هیچ جاذبه‌ای نمی‌توانند اعمال کنند چون نوترون‌ها خنثی و فاقد بار هستند، بنابراین نوترون‌ها به دیواره اتاق دونات شکل دارای خلاء برخورد می‌کنند و به مرور زمان خود دیوارهٔ اتاق را به یک منبع عظیم رادیواکتیو تبدیل ساخته و ساختار نیروگاه را تضعیف می‌کنند، بنابراین هر از چندی باید دیواره‌ها تعویض و نوسازی شوند. طبق محاسبات مقدماتی، هر دو سال یکبار باید دیواره‌ها تعویض شوند، و هر تعویض به منزله ایجاد صدها تن ضایعات هسته‌ای است! و تازه وجود موادی مانند آلیاژهای وندیوم (Vanadium) برپیچیدگی موضوع می‌افزاید.

وانگهی هزینه تعویض این دیواره‌ها و تدفین این زباله‌های هسته‌ای را از کجا باید تأمین کرد؟

نکته نگران‌کننده‌تر این که فرضیه ایمنی هم‌جوشی هسته‌ای نیز چندان اعتباری ندارد. زیرا پلاسما، حالت بسیار موذی ماده در جهان است. هرگاه به دلیلی جریان مرتب پلاسما قطع گردد، بخش‌هائی از آن دیوارهٔ اتاقک را ذوب و تبخیر می‌کند و خسارات فراوانی وارد می‌سازد. سوخت تریتیوم هم خالی از خطر نیست: هر چند برای جذب نوترون‌ها، نیروگاه تریتیوم را در لفافی از لیثیوم (Lithium) قرار می‌دهند اما از آنجائی که خود لیثیوم مانند سدیم، فلزی بسیار فعال است و در معرض رطوبت می‌سوزد یا منفجر می‌شود. پس خطر استفاده از این دو ماده را هم نمی‌توان دست‌کم گرفت. در گزارش کمیسیون علمی و تکنولوژی اروپا آمده است: **«در صورت بروز حادثه‌ای در نیروگاه هم‌جوشی هسته‌ای، لیثیوم با حرارت بالا خواهد سوخت و ممکن است به آزادسازی ترتیتیوم بیانجامد و حادثه‌ای شبیه فاجعه چرنوبیل ایجاد نماید.»**

از سوی دیگر باید دانست نیروگاههای شکافت هسته‌ای (Fission) رایج در جهان، در آینده به اندازه گذشته خطرآفرین نخواهند ماند. امروزه می‌توان آنها را طوری طراحی کرد که نقص میکانیکی مسئله‌ساز نشود. نیروگاه AP600 ساخت وستینگهاوس چنین نیروگاهی است. در این نوع نیروگاه به جای وسایل میکانیکی، که امکان خراب شدن دارند، از مخازن آبی و هوایی استفاده می‌شود که با قدرت جاذبه زمین کار می‌کنند و هسته مرکزی نیروگاه (Core) را خنک نگاه می‌دارند. حتی این امکان وجود دارد که نوعی از نیروگاههای شکافت هسته‌ای را طراحی کرد که در صورت لگام گسیختگی احتمالی واکنش‌های شکافت و ذوب شدن هسته مرکزی، به طور خودکار واکنش‌ها متوقف شوند.

اما به نظر می‌رسد که پژوهشهای پیشرفته نیروگاههای هسته‌ای شکافت رو به افول گذاشته‌اند، برای مثال در آمریکا اداره انرژی هسته‌ای وزارت انرژی امسال فقط ۴۰ میلیون دلار صرف فن‌شناختی (تکنولوژی) این نوع نیروگاهها می‌کند. صنایع خصوصی نیز بیشتر به بهبود سودآور طرحهای موجود علاقمند هستند تا پژوهش درباره فن‌شناختی جدید؛ در سایر نقاط جهان نیز وضع کم و بیش همانند آمریکا است.

هم جوشی هسته‌ای یا هیچ؟

بی‌تردید تقاضای انرژی جهان روز به روز بیشتر می‌شود و عاقبت روزی سوخت فسیلی جهان به پایان می‌رسد، بگذریم که بزودی اثرات محیط زیستی این نوع سوخت هم غیرقابل تحمل می‌شود... اما هم‌جوشی هسته‌ای پاسخی کامل به مشکلات، معضلات و کمبودها نیست: حداقل در کوتاه مدت حلال مشکلات به شمار نمی‌رود، زیرا همانطور که در این گزارش آمد از روش شکافت هسته‌ای نه ارزانتر است و نه بی‌خطرتر و از لحاظ اجرا و مهندسی نیز فعلاً عملی نیست. با این همه نباید پنداشت که پژوهش دربارهٔ هم‌جوشی هسته‌ای بی‌ارزش است، در دراز مدت منبع نیرو یا نیروگاهی که از دئوتریوم به عنوان سوخت استفاده کند ساخته خواهد شد. فراموش نکنیم که ذخیره ذغال سنگ و اورانیوم جهان چند قرنی بیشتر نخواهد پائید. اما به هر حال نباید هیچ شتاب بی‌موردی در زمینه پژوهشهای هم‌جوشی هسته‌ای کرد. اگر قرار باشد از تولید دی‌اکسید کربن بیشتر برای جلوگیری از گرم شدن زمین، جلوگیری کرد بهتر است بر روی طراحی نیروگاههای شکافت هسته‌ای ایمن‌تر سرمایه گذاری کنیم.

باز هم تکرار می‌کنیم این بدان معنا نیست که شکافت هسته‌ای (Fission) ایده‌آل است. ضایعات هسته‌ای و تکثیر سلاحهای هسته‌ای از آنها، هنوز معضل بزرگی برای کل بشریت است و شکافت هسته‌ای هم گران تمام می‌شود. اما دست‌کم، تا ۵۰ سال دیگر که تکنولوژی هم‌جوشی هسته‌ای در سراسر جهان قابل اجرا گردد، شکافت هسته‌ای تنها ابزار در دسترس محسوب می‌شود.

ماخذ: اکونومیست ـ ۱۶ سپتامبر ۹۵

برگردان از سرویس ترجمه «گزارش»

1- nuclear - Fusion reactor

□