

استقلال انرژی چین با تولید اورانیوم از توریم



ماهنامه

شماره
۲۴

نو و تجدیدپذیر
انرژی های

چین

سال دوم | شماره ۲۴ | دی ۱۴۰۴



www.techchina.ir



www.chinnegar.com

آیا چین می تواند نخستین کشوری
باشد که انرژی همجوشی هسته ای
را مهار می کند؟



حرکت چین به سوی آینده ای سبز؛
آمریکا باقیمانده در گذشته

«توقف کربنی» چین؛ نقطه
عطف یا یک سکون موقت؟





چین طی دو دهه اخیر با سرعتی بی‌سابقه در عرصه انرژی‌های نوین پیشرفت کرده و به عنوان بزرگ‌ترین سرمایه‌گذار و تولیدکننده جهان در حوزه‌هایی چون انرژی خورشیدی، بادی، ذخیره‌سازی و خودروهای برقی شناخته می‌شود. این پیشرفت‌ها نتیجه ترکیبی از سیاست‌گذاری کلان، سرمایه‌گذاری وسیع در تحقیق و توسعه، حمایت‌های مالیاتی و یارانه‌ای، و حضور فعال شرکت‌های بزرگ و نوآور در زنجیره تأمین جهانی انرژی پاک است.

دولت چین در چارچوب اهداف بلندمدت، راهبردی چندلایه برای گذار از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های پاک ترسیم کرده است. این راهبرد شامل توسعه زیرساخت‌های تولید برق تجدیدپذیر، پیشرفت در فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی، گسترش شبکه‌های هوشمند برق، و استفاده از مدل‌های نوین کسب‌وکار برای بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌شود. در همین راستا، چین توانسته است بخش قابل‌توجهی از فناوری‌ها و تجهیزات مورد نیاز را به صورت بومی تولید کند و حتی در صادرات این محصولات به بازارهای جهانی پیشتاز شود.

تحولات این حوزه نه تنها بر ساختار اقتصادی چین اثرگذار بوده، بلکه در معادلات ژئوپلیتیکی و رقابت‌های فناورانه نیز نقش فزاینده‌ای ایفا کرده است.

برای جمهوری اسلامی ایران، شناخت دقیق این روندها از دو منظر اهمیت دارد: نخست، بهره‌گیری از تجربیات و فناوری‌های روز چین در توسعه بخش انرژی‌های نوین کشور؛ و دوم، شناسایی فرصت‌های همکاری و سرمایه‌گذاری مشترک در پروژه‌های تولید، انتقال و ذخیره‌سازی انرژی پاک. این همکاری‌ها می‌تواند نه تنها به ارتقای ظرفیت فنی و صنعتی ایران منجر شود، بلکه به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و افزایش سهم انرژی‌های پایدار در سبد انرژی کشور کمک کند. ماهنامه «انرژی‌های نو تجدیدپذیر چین»، با هدف ارائه تحلیلی جامع و روزآمد از تازه‌ترین رویدادها، سیاست‌ها، نوآوری‌ها و چالش‌های این بخش تدوین شده است. امید است انتشار این مجموعه بتواند بستری برای گسترش همکاری‌های فناورانه و اقتصادی بین دو کشور، و گامی مؤثر در مسیر توسعه پایدار و امنیت انرژی ایران باشد.

عبدالرضا رحمانی فضلی

سفیر جمهوری اسلامی ایران - پکن

فهرست مطالب

چین با برتری در حوزه انرژی سبز آینده را شکل خواهد داد ۴

استقلال انرژی چین با تولید اورانیوم از توریم ۹

آیا چین می‌تواند نخستین کشوری باشد که انرژی همجوشی هسته‌ای را مهار می‌کند؟ ۱۴

حرکت چین به سوی آینده‌ای سبز؛ آمریکا باقیمانده در گذشته ۲۳

چرا دانشمندان هسته‌ای اروپا برای اولین دستاورد همجوشی هسته‌ای به چین روی آورده‌اند؟ ۲۸

«توقف کرینی» چین؛ نقطه عطف یا یک سکون موقت؟ ۳۳



چین با برتری در حوزه انرژی سبز آینده را شکل خواهد داد



یک قرن پیش، تصمیم وینستون چرچیل برای تحول و تغییر مسیر نیروی دریایی سلطنتی از زغال سنگ به نفت منجر به برتری دریایی بریتانیا شد. امروز هم انتخاب یکی از دو گزینه انرژی های نو یا انرژی های سنتی و سرمایه گذاری در فناوری های مربوط به آن می تواند حاکمان آینده انرژی جهان را مشخص کند.

به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، گذار انرژی هم اکنون به رقابتی فناورانه و ژئوپلیتیک بین قدرت های سنتی بخش انرژی فسیلی و رقباتی نوظهور آنها یعنی کشورهای پیشتاز در بخش انرژی تجدیدپذیر تبدیل شده است.



با توجه به پیچیدگی سیستم‌های تجدیدپذیر مدرن و نیز مخاطرات ناشی از تغییر اقلیم، سیاست‌گذاران باید از روش‌های مرسوم تحلیل هزینه-فایده و مدل‌های ریسک ایستا فاصله بگیرند و برای بهره‌برداری از فرصت‌های ناشی از اقدام به‌موقع و زودهنگام تلاش کنند.

در این حوزه، پیشرفت تابع الگوهایی شبیه به قانون مور است و بخش‌هایی مانند انرژی خورشیدی و بادی و باتری‌ها بر اساس «منحنی‌های تجربه» عمل می‌کنند، یعنی هزینه‌ها با بالا رفتن مقیاس و افزایش و انباشت تجارب، به شکلی قابل پیش‌بینی کاهش می‌یابند. از این لحاظ، انرژی‌های نو در تضاد کامل با سوخت‌های فسیلی هستند. قیمت هر واحد انرژی فسیلی در حال حاضر تقریباً فرقی با قیمت‌های سال ۱۹۰۰ ندارد. با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری، ذخایر با دسترسی آسان رو به اتمام است. کارایی روش‌های حفاری و استخراج افزایش می‌یابد؛ ولی به موازات آن، کار مشکل‌تر و هزینه‌ها نیز بیشتر می‌شود.

برعکس، هزینه انرژی خورشیدی در یک دهه اخیر به نصف کاهش یافته و در مجموع از دهه ۱۹۵۰ تا امروز ۱۰ هزار برابر ارزان‌تر شده است. باتری‌ها نیز مسیر مشابهی را طی می‌کنند و انرژی بادی هم با فاصله کمی در رتبه بعدی قرار دارد.

اثرات مقیاس (scale effects) در فناوری‌هایی از این دست معمولاً به وضعیت «همه برای برنده» منجر می‌شوند. کشوری که بیشترین حجم تولید را داشته باشد، ارزان‌ترین و باکیفیت‌ترین محصول را تولید می‌کند و همچنین از بیشترین سهم در زمینه پیشرفت دانش مربوطه برخوردار خواهد بود.

رسیدن به جایگاه یک ابرقدرت، از دیرباز رابطه تنگاتنگی با تسلط بر منابع انرژی داشته است. از زمانی که مشخص شد انرژی معادل با قدرت است، کشورهای جهان روابط، جریان سرمایه و لجستیک نظامی خود را به شکلی تغییر دادند که منابع انرژی را تحت کنترل خود داشته باشند و مانع از دستیابی رقبا به آن شوند؛ و همچنین از دسترسی به انرژی به عنوان ارز دیپلماتیک برای پاداش دادن به متحدان‌شان و جذب متحدان جدید استفاده کردند. بنابر این هر گذار انرژی نقطه عطفی تاریخی در قدرت سخت و نرم است.

از منظر قدرت سخت، کشوری که فناوری‌های انرژی آینده را در دست داشته باشد چشم‌انداز صنعتی جهان را شکل خواهد داد و از امتیاز تسلط بر صنایع تولیدی پرارزش، در اختیار گرفتن زنجیره‌های تامین مطمئن و خودکفا و محافظت از اقتصاد خود در برابر گلوگاه‌های ژئوپلیتیکی برخوردار می‌شود. به این ترتیب فناوری انرژی، یکی از پایه‌های استقلال راهبردی خواهد بود.

از جنبه قدرت نرم نیز کشورهای مسلط بر فناوری‌های پیشرفته انرژی قادرند استانداردهای جهانی را تعریف کنند، اعتبار فناورانه خود را بالا ببرند و مسیر پیشرفت را تعیین نمایند. تسلط بر این حوزه باعث جذب استعدادها و سرمایه‌ها و همراهی مقامات سیاسی می‌شود و اثرات آن از بخش انرژی فراتر رفته و به افزایش قدرت فرهنگی و دیپلماتیک کشور منجر می‌گردد.

ابرقدرتی که سیاست انرژی را به عنوان یک مساله سیستمی در نظر می‌گیرد و با توجه به مزیت مقیاس، حلقه‌های بازخورد و وابستگی به مسیر (path dependence)، تصمیماتی عمل‌گرایانه و مبتنی بر شواهد

اتخاذ می‌کند، هدایت و رهبری عصر انرژی بعدی را به دست خواهد گرفت. کشورها به جای تلاش برای رسیدن به پیشرفت‌های تدریجی، باید به دنبال سرمایه‌گذاری راهبردی در فناوری‌هایی با نتایج غیرخطی باشند. مدت‌هاست که چین سیاست‌هایی حمایتی را برای فناوری‌های پیشرفته در بخش انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته است و در نتیجه هم‌اکنون جایگاه برتر را در زنجیره‌های تامین جهانی انرژی خورشیدی، باتری‌ها، و توربین‌های بادی دارد. هر گام رو به جلو در جهت افزایش بهره‌برداری از این فناوری‌ها، هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و حلقه‌های بازخورد خودتقویت‌کننده‌ای را به وجود می‌آورد که حرکت به سمت انرژی‌های نو را تسریع می‌کنند.

گذار انرژی گسستی در مسیر تاریخ است، نه اصلاحاتی جزئی، و اثراتی زنجیره‌ای در صنایع، ژئوپلیتیک و زیست‌بوم‌ها در پی خواهد داشت. این تأثیرات اغلب بسیار فراتر از چیزهایی است که مدل‌های خطی می‌توانند پیش‌بینی کنند. لذا بهتر است سیاست‌گذاران به جای تحلیل‌های سنتی هزینه-فایده که ماهیتی خطی دارند، ابزارهای جامع‌تر و قدرتمندتری مانند تحلیل ریسک-فرصت را به خدمت بگیرند.

این ابزار بر ماهیت غیرخطی، عدم قطعیت و بازخورد سیستمی تأکید دارد، مداخلات با اثرگذاری بالا را شناسایی می‌کند، به پیش‌بینی سناریوها و گزینه‌های مختلف می‌پردازد و سیستم‌ها را از نظر احتمال فروپاشی به بوته آزمایش می‌گذارد. بر اساس چنین ابزارهایی که بر تحولات غیرخطی تمرکز دارند، نتیجه‌گیری می‌شود که سیاست‌ها باید نقاط مداخله (intervention points) حساس را در سیستم‌های پیچیده هدف قرار دهند.

به عنوان مثال می‌توانیم به پرداخت یارانه برای باتری‌های ذخیره انرژی اشاره کنیم. این کار فقط ظرفیت ذخیره‌سازی را افزایش نمی‌دهد، بلکه امکان استفاده شبانه‌روزی و پایدار و مطمئن از انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم می‌سازد و به این ترتیب می‌توان از پتانسیل این نوع انرژی به طور کامل بهره برد.

هر باتری که صادر می‌شود ممکن است زمینه‌ساز بازارهای آینده (مثلا برای صادرات خودروهای برقی) باشد و در نتیجه به مرور زمان این اهرم راهبردی هر چه بیشتر تقویت می‌گردد. به موازات این کار باید با بررسی مداوم زنجیره‌های تامین، شرایط اقلیمی و شبکه‌های مالی، ریسک‌های فروپاشی سیستمی را نیز شناسایی و مهار نمود.

تکامل فناوری هیچ‌گاه متوقف نمی‌شود، ولی بخش‌های سنتی مانند نفت و سایر سوخت‌های فسیلی هم برای حفظ منافع خود سخت تلاش می‌کنند.

با توجه به مقیاس فعالیت‌ها و حجم تجارب و دانش گرد آمده در چین در زمینه فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، بعید است که این کشور تسلطش بر این حوزه را از دست بدهد. با تقویت جایگاه چین در این عرصه، نفوذ ژئوپلیتیکی پکن هم افزایش خواهد یافت.

در حالی که سرریز فزاینده انرژی پاک به یک دارایی دیپلماتیک قدرتمند برای چین تبدیل شده، واشینگتن هنوز تابع منطق هزینه- فایده نهایی است و در برابر انقلاب انرژی تجدیدپذیر مقاومت می‌کند و این کارش احتمالا به عنوان خطایی راهبردی در تاریخ به ثبت خواهد رسید.



استقلال انرژی چین با تولید اورانیوم از توریم



یک راکتور آزمایشی که توسط مؤسسه فیزیک کاربردی شانگهای وابسته به آکادمی علوم چین در صحرای گوبی توسعه یافته است، توانسته به تبدیل سوخت توریم به اورانیوم دست یابد؛ دستاوردی که راه را برای تأمین تقریباً بی‌پایان انرژی هسته‌ای هموار می‌کند.

به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، این دستاورد باعث شد راکتور نمک مذاب توریمی با سوخت مایع و توان ۲ مگاوات (TMSR) به تنها نمونه فعال در جهان تبدیل شود که با موفقیت سوخت توریم را بارگذاری و مورد استفاده قرار داده است.

به گفته آکادمی علوم چین، این آزمایش نخستین گواه فنی از امکان‌پذیری استفاده از منابع توریم در سامانه‌های راکتور نمک مذاب را ارائه داده و گامی بزرگ در پیشرفت این فناوری به‌شمار می‌رود.

این اولین بار در جهان است که دانشمندان توانسته‌اند داده‌های تجربی از عملکرد توریم درون یک راکتور نمک مذاب به‌دست آورند و تأیید رسمی چین از موفقیت خود در توسعه فناوری TMSR است — نوآوری‌ای که می‌تواند چهره آینده انرژی هسته‌ای پاک و پایدار را دگرگون کند.

از زمان دستیابی راکتور توریمی نمک مذاب به حالت بحرانی اولیه در ۱۱ اکتبر ۲۰۲۳، این راکتور به‌طور پایدار از طریق شکافت هسته‌ای، گرما تولید می‌کند.

توریم به‌مراتب فراوان‌تر و در دسترس‌تر از اورانیوم است و پتانسیل انرژی عظیمی دارد. تنها در یکی از محوطه‌های باطله معدنی در مغولستان داخلی، مقدار توریم موجود می‌تواند انرژی مورد نیاز کل چین را برای بیش از ۱۰۰۰ سال تأمین کند.

در قلب این دستاورد، فرایندی قرار دارد به نام تبدیل درون‌هسته‌ای توریم به اورانیوم که در آن توریم طبیعی ۲۳۲ به اورانیوم ۲۳۳ تبدیل می‌شود، ایزوتوپ شکافت‌پذیر که توانایی حفظ واکنش‌های زنجیره‌ای هسته‌ای را دارد.

این تبدیل از طریق دنباله‌ای دقیق از واکنش‌های هسته‌ای انجام می‌گیرد: توریم ۲۳۲ - یک نوترون جذب می‌کند و به توریم ۲۳۳ - تبدیل می‌شود؛ سپس این ایزوتوپ به پروتاکتینیوم ۲۳۳ - و در نهایت به اورانیوم ۲۳۳ - واپاشی می‌کند که سوخت نهایی و پرقدرد هسته‌ای است.



نکته کلیدی این است که کل این فرایند درون هسته راکتور انجام می‌شود و نیازی به تولید سوخت در خارج از راکتور نیست.

در این سامانه، توریم در نمک فلوریدی مذاب با دمای بالا حل می‌شود که هم به عنوان سوخت و هم خنک کننده عمل می‌کند. نوترون‌ها از یک منبع اولیه کوچک از مواد شکافت پذیر مانند اورانیوم ۲۳۵- غنی شده یا پلوتونیوم ۲۳۹- آزاد می‌شوند تا واکنش زنجیره‌ای را آغاز کنند.

در طول عملکرد راکتور، توریم ۲۳۲- به طور مداوم نوترون جذب کرده و به اورانیوم ۲۳۳- تبدیل می‌شود؛ سپس این ایزوتوپ با شکافت خود انرژی آزاد می‌کند و یک چرخه خودپایدار «سوختن هم‌زمان با پرورش» (burn while breeding) ایجاد می‌کند — ویژگی‌ای که از مزایای اصلی این فناوری به شمار می‌رود.

برخلاف راکتورهای آب‌فشارده متداول که باید به طور دوره‌ای خاموش شوند تا میله‌های سوخت جامد تعویض گردد، در TMSR سوخت مایع به شکل یکنواخت در نمک مذاب گردش می‌کند، بنابراین سوخت‌گیری در حین کار و بدون توقف راکتور ممکن است.

این طراحی نه تنها کارایی مصرف سوخت را به طور چشمگیر افزایش می‌دهد، بلکه حجم پسماندهای رادیواکتیو بلندعمر را نیز به شدت کاهش می‌دهد. این یکی از مهم‌ترین مزیت‌های راکتور توریمی نمک مذاب است.

مزیت دیگر این فناوری آن است که هیچ نیازی به آب ندارد؛ در حالی که نیروگاه‌های هسته‌ای معمولی برای خنک‌سازی عظیم خود معمولاً در نزدیکی سواحل ساخته می‌شوند.

این محدودیت، گسترش نیروگاه‌های هسته‌ای در مناطق خشک و داخلی



چین را دشوار کرده بود، اما TMSR از نمک‌های فلوریدی مذاب در دمای بالا به‌عنوان سوخت‌بر و خنک‌کننده استفاده می‌کند و در نتیجه، بدون وابستگی به منابع آبی قادر به فعالیت است.

از آنجا که این نمک‌ها می‌توانند گرما را در فشار عادی و دماهای بسیار بالا به‌طور کارآمد منتقل کنند، این فناوری راه را برای نیروگاه‌های هسته‌ای ایمن، کارآمد و مستقر در مناطق داخلی و حتی روی سکوی‌های متحرک مانند کشتی‌های بزرگ باز می‌کند.

آکادمی علوم چین در سال ۲۰۱۱ پروژه سامانه انرژی هسته‌ای TMSR را به‌عنوان برنامه پژوهشی راهبردی ملی آغاز کرد تا به اهداف این کشور در زمینه انرژی پایدار و کاهش کربن پاسخ دهد.

این اقدام بر پایه این درک بود که ذخایر عظیم توریم چین می‌تواند به این کشور در کنار فرصت‌های تجاری و راهبردی گسترده امکان دستیابی به استقلال واقعی انرژی را بدهد.

این تلاش‌ها — از تشکیل گروه‌های تخصصی و ساخت پلتفرم‌های تحقیقاتی ویژه گرفته تا توسعه مواد و فناوری‌های هسته‌ای نوین — سرانجام در ۱۱ اکتبر ۲۰۲۳ ساعت ۱۱:۰۸ صبح به ثمر نشست، زمانی که راکتور ۲ مگاواتی با سوخت مایع برای نخستین بار به حالت بحرانی رسید.

در ۱۷ ژوئن ۲۰۲۴، این راکتور به عملیات در توان کامل دست یافت و چند ماه بعد، در اکتبر همان سال، نخستین آزمایش جهانی تزریق توریم به راکتور نمک مذاب انجام شد.

این موفقیت به معنای آن بود که چین تنها کشور جهان است که دارای راکتور فعال با سوخت توریم است و اکنون دارای پلتفرم جامع

آزمایشگاهی برای پژوهش نسل بعدی فناوری هسته‌ای محسوب می‌شود.

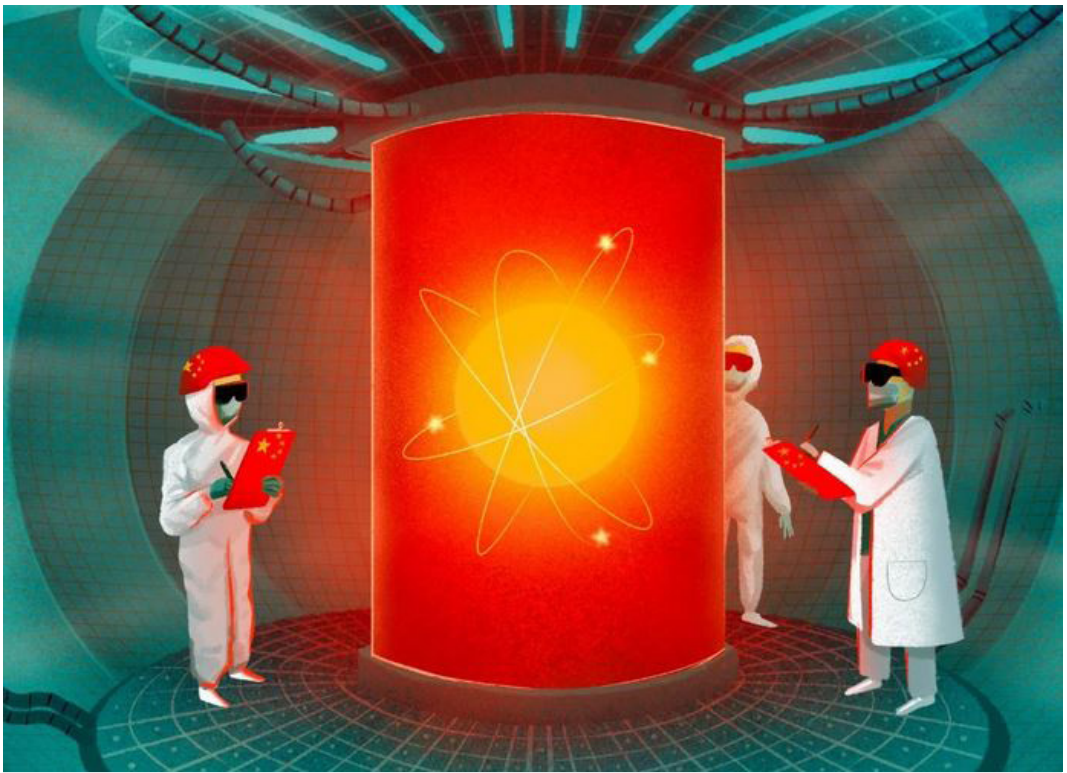
ایمنی همواره دغدغه اصلی در فناوری هسته‌ای است. طبق گفته توسعه‌دهندگان، این راکتور به‌عنوان یک راکتور پیشرفته نسل چهارم دارای ویژگی‌های ذاتی ایمنی بالا است.

سامانه در فشار اتمسفری کار می‌کند و در نتیجه خطر انفجارهای پرفشار را از بین می‌برد. ساختار آن در زیر زمین با حفاظ کامل در برابر تابش قرار دارد و نمک‌های شیمیایی پایدار نیز قادرند مواد رادیواکتیو را به‌طور مؤثر در خود حبس کنند. در صورت نادر بروز نشتی، نمک مذاب به مخزن ایمنی غیرفعال تخلیه می‌شود و با سرد شدن جامد می‌گردد، که هرگونه نشت احتمالی را مهار می‌کند.

به گفته آکادمی علوم چین، اکوسیستم صنعتی کاملی برای فناوری TMSR در چین در حال شکل‌گیری است و نزدیک به ۱۰۰ مؤسسه تحقیقاتی در زمینه طراحی راکتور، علم مواد و سایر چالش‌های کلیدی همکاری دارند.

نکته مهم آن است که تمام اجزای اصلی راکتور آزمایشی به‌طور کامل در داخل کشور تولید شده‌اند، و این امر استقلال کامل در زنجیره تأمین و خودکفایی فناوریانه چین را تضمین می‌کند.

بر اساس برنامه رسمی اخیر، چین اکنون در حال ساخت یک راکتور نمایشی ۱۰۰ مگاواتی در صحرای گوبی است که هدف آن اثبات قابلیت تجاری‌سازی گسترده این فناوری تا حدود سال ۲۰۳۵ عنوان شده است.



آیا چین می‌تواند نخستین کشوری باشد که انرژی همجوشی هسته‌ای را مهار می‌کند؟

در آزمایشگاهی در شمال چین که کمتر از یک ساعت با پکن فاصله دارد، گروهی از دانشمندان در حال کار بر روی فناوری جدیدی هستند که می‌تواند منبعی عظیم از انرژی پاک باشد: همجوشی هسته‌ای. به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، پردیس بزرگ گروه ای‌ان‌ان (ENN Group) در لانگ فنگ استان هبئی میزبان مجموعه‌ای از تاسیسات آزمایشی است و در قلب آن یک محفظه کروی به نام EXL-50U قرار دارد، توکاماکی کوچکی که از یک میدان مغناطیسی جهت

کنترل و مهار یا «محصورسازی» گاز یونیزه شده یا همان پلاسما برای همجوشی اتم‌های هیدروژن بهره می‌برد. مهندس ارشد این پروژه می‌گوید که هدف، رساندن دمای پلاسما به ۱۰۰ میلیون درجه سانتیگراد است.

برای دستیابی به همجوشی، اتم‌های سبک باید تا دماهای فوق‌العاده بالا گرم شوند و به مدت کافی در کنار هم قرار گیرند تا بتوانند با هم ادغام و به اتم‌های سنگین‌تر تبدیل گردند. انرژی آزاد شده در این فرایند را می‌توان به مقادیر عظیمی از برق پاک تبدیل کرد. گروه ای‌ان‌ان یکی از چند شرکت خصوصی چینی است که در کنار تعدادی از شرکت‌های تحت حمایت دولت، سعی دارند تا سال ۲۰۳۵ یا حتی قبل از آن یک رآکتور همجوشی تجاری بسازند.

پروژه‌های بلندپروازانه آنها، از جمله توکاماک ابررسانای تجربی پلاسمای سوزان (Burning Plasma Experimental Superconducting Tokamak) یا BEST که شرکت نئو فیوژن (Neo Fusion) مشغول ساخت آن در شهر هفئی (استان آن‌هوئی) است، به سرعت در حال پیشرفت هستند.

این پیشرفت‌ها با بهره‌گیری از نقاط قوت چین در حوزه‌هایی مانند ابررساناهای دما بالا (high-temperature superconductor)، ساخت و تولید دقیق (precision manufacturing) و مهندسی بزرگ‌مقیاس (large-scale engineering) به دست آمده و شاید به زودی تسلط غرب بر همجوشی در مقیاس تحقیقاتی را به چالش بکشد.

چین راهبردی هماهنگ شامل سرمایه‌گذاری تهاجمی (aggressive funding)، بازگرداندن نیروی انسانی نخبه و نمونه‌سازی سریع را در

پیش گرفته و ممکن است از همین طریق، به اولین کشوری تبدیل شود که انرژی همجوشی هسته‌ای را مهار می‌کند.

ای‌ان‌ان در هشت سال اخیر چندین میلیارد یوآن را برای پژوهش در زمینه همجوشی صرف کرده است و قصد دارد میلیاردها یوآن دیگر هم برای ساخت توکاماک نسل بعدی یعنی هه‌لونگ ۲ (Helong-2) سرمایه‌گذاری نماید.

این شرکت یک تیم تحقیق و توسعه با بیش از ۳۰۰ نفر عضو دارد که برخی از آنها قبلاً در موسسات برتر بین‌المللی کار کرده‌اند، و می‌خواهد با رفع چالش‌های فناورانه و مهندسی، طی مدت یک دهه نمونه‌ای آزمایشی از یک رآکتور همجوشی هسته‌ای تجاری را بسازد.



رسیدن همجوشی هسته‌ای به مرحله کاربردی و علیاتی قبلاً بسیار دور از دسترس تلقی می‌شد؛ اما با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر فناوری و ظرفیت‌های ساخت و تولید، هم اکنون تعداد فزاینده‌ای از شرکت‌ها در

سرتاسر جهان برای ساخت نیروگاه‌های همجوشی تجاری تا سال ۲۰۳۵، ۲۰۳۰ و یا حتی زودتر از آن تلاش می‌کنند.

گروهی از متخصصان همجوشی هسته‌ای موسسه فناوری ماساچوست (ام‌آی‌تی) ماه ژوئیه امسال در مقاله‌ای نوشتند که چین در سه مورد از شش صنعت کلیدی مرتبط با همجوشی شامل پردازش لایه‌های نازک (thin-film processing)، ساختارهای آلیاژی بزرگ و الکترونیک قدرت پیش‌تاز بوده و ممکن است در دو صنعت دیگر هم از غرب پیشی بگیرد. این صنایع با سرمایه‌گذاری کلان دولت و نیز بخش خصوصی، و همچنین نیروی انسانی و زنجیره تامین صنعتی عظیم چین پشتیبانی می‌شوند. شرکت ای‌ان‌ان ابتدا در زمینه منابع انرژی کم‌کربن مانند انرژی زمین‌گرمایی و زیست‌انرژی فعالیت داشت، ولی از سال ۲۰۱۷ بر انرژی بدون کربن متمرکز گردید و در نهایت به حوزه بسیار چالش‌برانگیز همجوشی هسته‌ای ورود کرد، چون آن را راه‌حل نهایی مساله انرژی می‌داند.

همجوشی هسته‌ای می‌تواند منبعی ایمن و تقریباً نامحدود از انرژی باشد و بر خلاف شکافت هسته‌ای، ضایعات هسته‌ای پرتوزا هم تولید نمی‌کند.

ای‌ان‌ان پس از بررسی روش‌های مختلف و طراحی‌های معمول که حالت حلقوی یا دونات مانند دارند، توکاماکی کروی و فشرده‌تر را انتخاب نمود که در واقع نوعی فناوری «محصولسازی مغناطیسی» است؛ و همچنین از هیدروژن- بور که پایداری بیشتری دارد، به عنوان منبع سوخت استفاده کرد.

طبق گزارش انجمن صنعت همجوشی یا به اختصار FIA (سازمانی

غیرانتفاعی مستقر در واشنگتن)، از سال ۲۰۱۸ تا امروز سرمایه‌گذاری‌های عظیمی در صنعت همجوشی هسته‌ای در سراسر جهان صورت گرفته و تا ژوئیه سال جاری بیش از ۵۰ شرکت فعال در این زمینه تاسیس شده‌اند که بیشتر از نصف آنها آمریکایی هستند. از بین شرکت‌های تازه تاسیس در چین هم می‌توان به استارت‌آپ فیوژن (Startorus Fusion) و انرژی سینگیولاریتی (Energy Singularity) اشاره کرد که هر دو در سال ۲۰۲۱ تاسیس شده‌اند.

کارشناسان می‌گویند یکی از عوامل استقبال چشمگیر و رشد این بخش، پیشرفت‌های به دست آمده در زمینه مواد جدید - مانند ابررساناهای دما بالا - بوده است.

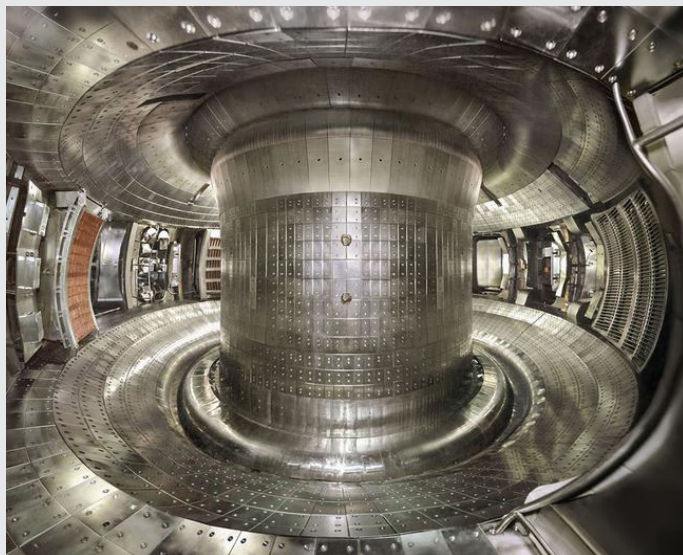
اولین آهنبای ابررسانای جهان برای استفاده در همجوشی هسته‌ای در سال ۲۰۲۱ توسط ام‌آی‌تی و شرکت نوپای سی‌اف‌اس (Common-wealth Fusion Systems) ساخته شد و چگالی شار مغناطیسی آن ۲۰ تسلا بود.

تولید این آهنبای پیشرفت بزرگی محسوب می‌شود، چون می‌توان از ابررساناها برای ساخت توکاماک‌های کوچک‌تر استفاده کرد که شاید کاربرد تجاری فناوری همجوشی را امکان‌پذیر سازد.

پکن امیدوار است که با فراهم کردن منابع مالی دولتی سخاوتمندانه، در این حوزه به مزیت رقابتی دست یابد. حجم سرمایه‌گذاری سالانه چین در بخش همجوشی را ۵/۱ میلیارد دلار تخمین می‌زنند که تقریباً دو برابر میزان سرمایه‌گذاری آمریکاست.

در ماه ژوئیه از شرکت بزرگ دولتی چاینا فیوژن انرژی (China Fusion Energy) با سرمایه ثبت شده ۱۵ میلیارد یوان (۱/۲ میلیارد دلار)

روغایی شد که در شانگهای مستقر بوده و هدف آن تجاری سازی فناوری همجوشی هسته ای تا سال ۲۰۵۰ است.



هفت غول دولتی در بخش های انرژی هسته ای و نفت - از جمله شرکت ملی هسته ای چین، کونلون کاپیتال (Kunlun Capital) وابسته به پتروچاینا، و صندوق صنایع آینده محور شانگهای (Shanghai Fu-ture-oriented Industries Fund) - از این شرکت پشتیبانی می کنند. مدیر عامل سی اف اس، شرکت مذکور را حاصل ترکیبی از حمایت دولتی از یک شرکت خصوصی و نیز ارتباط با دانشگاه ها و شرکت های دولتی و کارشناسان بخش صنعت می داند که آن را در موقعیت مناسبی برای تکرار موفقیت های قبلی چین در فناوری های دیگر مثل خودروهای برقی، پنل های خورشیدی و باتری ها قرار می دهد.

وی به این نکته هم اشاره می‌کند که مشارکت پکن در پروژه‌های بین‌المللی باعث آموزش و تربیت کادری مجرب در این زمینه شده است که حالا با برنامه‌ریزی متمرکز دولت برای توسعه فناوری همجوشی، می‌توانند به کشور خود برگشته و به توسعه فناوری و صنعت همجوشی آن کمک کنند.

تعداد زیادی از کارشناسان و پژوهشگران چینی بیش از دو دهه در ابرپروژه رآکتور گرمابه‌ای آزمایشی بین‌المللی کار کرده‌اند که هدف آن ساخت بزرگ‌ترین توکاماک جهان با مشارکت 35 کشور در فرانسه است.

چینی‌ها از لحاظ نوآوری‌های فناورانه و ظرفیت‌های زنجیره تامین و بخش صنایع تولیدی مزیت دارند و همچنین از ظرفیت ساخت و ارتقای سریع تجهیزات و تاسیسات آزمایشی برخوردارند.

یکی از مهم‌ترین پروژه‌های همجوشی در این کشور، توکاماک BEST در هفئی است که مرحله مونتاژ آن در ماه می امسال آغاز شد و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۷ تکمیل گردد. BEST بر پایه توکاماک ابرسانای نسل اول چین که توکاماک ابرسانای تجربی پیشرفته (EAST) نام داشت، ساخته شده است.

EAST امکان‌پذیر بودن همجوشی کنترل شده را ثابت کرد، اما BEST به شکلی طراحی شده است که بتواند از طریق واکنش‌های همجوشی انرژی واقعی تولید نماید و اصطلاحاً به مرحله تولید انرژی خالص مثبت (net energy generation) برسد.

طبق اعلام سازنده BEST، طی کمتر از دو سال عملیات عمرانی این پروژه تکمیل گردید و برخی از اجزای آن آماده بهره‌برداری شد؛ در حالی

که شرکت آمریکایی سی‌اف‌اس ساخت توکاماک اسپارک (SPARC) را در اواخر سال ۲۰۲۱ آغاز کرد و هدفش تولید انرژی خالص مثبت تا سال ۲۰۲۷ است.

با این همه، بنیان‌گذار یکی از شرکت‌های چینی فعال در زمینه فناوری همجوشی هسته‌ای که خواست نامش فاش نشود، می‌گوید آمریکا با توجه به تجربه طولانی، تحقیقات فراوان و سرمایه‌گذاری هنگفت، همچنان در این حوزه پیش‌تاز است.

شرکت سی‌اف‌اس هم پیش‌قراول همجوشی در آمریکا به شمار می‌رود. این شرکت تا ماه اوت سال جاری حدود ۳ میلیارد دلار سرمایه جذب کرده است که تقریباً یک سوم کل مبالغ سرمایه‌گذاری شده در شرکت‌های خصوصی همجوشی هسته‌ای سراسر جهان است، و احتمالاً سرمایه بیشتری هم جذب خواهد نمود.

سی‌اف‌اس بیش از هزار نفر نیروی متخصص دارد و در بسیاری از حوزه‌های فناوریانه کلیدی هم نوآوری‌هایی داشته است.

شرکت هلیون انرژی (مستقر در واشنگتن) یکی دیگر از بازیگران بزرگ به شمار می‌رود که در سال ۲۰۱۳ تأسیس شده و از پشتیبانی بازوی سرمایه‌گذاری خطرپذیر سافت‌بانک ژاپن و سم آلتمن (مدیر عامل اجرایی اوپن‌ای‌آی) برخوردار است. این شرکت حدود یک میلیارد دلار سرمایه جذب کرده و به جای ساختار توکاماک‌های مرسوم، مشغول آزمایش فناوری جدید موسوم به پیکربندی میدان معکوس (field-re-versed configuration) برای رسیدن به همجوشی هسته‌ای است.

شرکت چینی نوا فیوژن ایکس (NovaFusionX) شانگهای نیز که در ماه آوریل تأسیس شد، بر روی همین فناوری کار می‌کند.

چین تجربه‌ای طولانی در طراحی و ساخت توکاماک‌های همجوشی هسته‌ای دارد. اولین توکاماک بزرگ‌مقیاس این کشور HL-1 بود که کار بر روی آن در دهه 1970 و در موسسه فیزیک جنوب غرب (South-western Institute of Physics) در چنگدو آغاز شد و در سال 1984 تکمیل گردید و بعدها نیز طرح‌ها و اقداماتی برای توسعه و ارتقای آن به اجرا درآمد.

بنیان‌گذار یک شرکت نوپای چینی فعال در همین حوزه در پاسخ به این سوال که چه کسی زودتر همجوشی هسته‌ای را مهار خواهد کرد، می‌گوید هنوز برای جواب دادن به این سوال خیلی زود است؛ ولی احتمالا طی پنج سال آینده پاسخ آن مشخص می‌شود.



حرکت چین به سوی آینده‌ای سبز؛ آمریکا باقیمانده در گذشته



سخنرانی دونالد ترامپ رئیس‌جمهور آمریکا، در سازمان ملل متحد، به‌عنوان نقطه‌ای عاطفی تاریخی در نظر گرفته خواهد شد؛ لحظه‌ای که مسیر انرژی چین و آمریکا به‌طور غیرقابل بازگشتی از یکدیگر جدا شد. در حالی‌که چین رهبری جهان را در گذار به انرژی‌های سبز بر عهده گرفته، ایالات متحده در خطر گرفتار ماندن در زنجیره‌های سوخت‌های فسیلی است.

به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، در پنج سال گذشته، میزان سالانه‌ی ظرفیت‌های جدید انرژی تجدیدپذیر در جهان بیش از دو برابر شده و از کمتر از ۳۰۰ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۷۰۰ گیگاوات

در سال ۲۰۲۴ رسیده است. انتظار می‌رود تولید برق از سوخت‌های فسیلی طی یک دهه‌ی آینده به نقطه‌ی اوج برسد و سپس کاهش یابد، در حالی‌که انرژی خورشیدی و بادی تا سال ۲۰۳۵ از آن پیشی خواهند گرفت. این انقلاب سبز در چند دهه به دستاوردی رسیده که انقلاب صنعتی برای تحقق آن بیش از یک قرن زمان برد.

ترامپ در دوره‌ی نخست ریاست‌جمهوری خود آمریکا را از توافق اقلیمی پاریس خارج کرد. در دولت دوم خود نیز، او تقریباً تمام تلاش‌هایی را که در دولت بایدن برای آغاز گذار سبز آمریکا صورت گرفته بود، به سرعت معکوس کرده است.

در دوران بایدن، به‌دلیل مشوق‌های مالی و حمایتی، نصب تاسیسات انرژی پاک در آمریکا به‌طور چشمگیری افزایش یافت. با این حال، حتی با وجود رشد پایدار سالانه، میزان خالص نصب پنل‌های خورشیدی در آمریکا در سال ۲۰۲۴ تنها ۱۵ درصد ظرفیت چین بود. اکنون، این بخش تحت دولت ترامپ با ابهامات و تهدیدهای جدی مواجه است.

ترامپ عملاً از دیدگاهی نفت‌محور سخن می‌گوید. آمریکا در سال ۲۰۲۳ بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی نفت و گاز طبیعی در جهان بود و از صادرات انرژی میلیارد‌ها دلار درآمد به دست آورد. در عین حال، سهم سوخت‌های فسیلی در تولید برق این کشور بیشتر از چین است.

ایالات متحده همچنین از مسئولیت خود به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین آلاینده‌های کره زمین شانه خالی می‌کند. در سال ۲۰۲۳، چین در مجموع بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشت، اما در شاخص سرانه، آمریکا آلاینده‌تر بود؛ میزان انتشار سرانه‌ی آن حدود ۵۰ درصد بالاتر از چین گزارش شده است.

در سوی دیگر، اتحادیه‌ی اروپا در چارچوب پیمان سبز اروپا (Euro-pean Green Deal) مسیر خود را برای بی‌طرفی کربنی تا سال ۲۰۵۰ ترسیم کرده است. چین نیز در نشست اقلیمی سازمان ملل اعلام کرد که تا سال ۲۰۳۵ انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۷ تا ۱۰ درصد از سطح اوج کاهش خواهد داد.

در حالی که جنگ‌های تجاری متعدد ترامپ تأثیرات مخربی در سراسر جهان برجا گذاشته، حملات او به سیاست‌های مقابله با تغییرات اقلیمی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. اما جریان اجتناب‌ناپذیر گذار سبز را نمی‌توان با شعار متوقف کرد؛ این حرکت به‌وسیله‌ی علم، اقتصاد و سرمایه‌گذاری پیش خواهد رفت.

سرمایه‌گذاری در انرژی پاک، شامل انرژی‌های تجدیدپذیر، هسته‌ای و ذخیره‌سازی در سال جاری میلادی به ۲.۲ تریلیون دلار خواهد رسید؛ دو برابر سرمایه‌گذاری در سوخت‌های فسیلی. انرژی خورشیدی بیشترین سهم را در این رشد دارد و انتظار می‌رود ۴۵۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری را به خود جذب کند.

حتی کشورهای نفت‌خیز خلیج فارس که اقتصادشان به سوخت‌های فسیلی وابسته است، وعده داده‌اند که تا سال ۲۰۳۰ حدود ۱۰۰ میلیارد دلار در انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کنند. این کشورها اکنون به مقاصد کلیدی سرمایه‌گذاری سبز تبدیل شده‌اند. عربستان سعودی نیز در چارچوب چشم‌انداز Vision 2030 قصد دارد نیمی از برق خود را تا سال ۲۰۳۰ از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کند.

چین که در سال گذشته بیش از مجموع سایر کشورها پنل خورشیدی و توربین بادی نصب کرده است، اکنون بیش از ۴۰ درصد ظرفیت انرژی

تجدیدپذیر جهان را در اختیار دارد. پکن همچنین قصد دارد ظرفیت انرژی خورشیدی و بادی خود را تا سال ۲۰۳۵ شش برابر سطح سال ۲۰۲۰ افزایش دهد.

چین در تولید فناوری‌های سبز جهان سلطه دارد و در سال ۲۰۲۴ ۱۷۷ میلیارد دلار تجهیزات سبز صادر کرده است. پنج شرکت برتر سازنده پنل خورشیدی جهان همگی چینی‌اند. از سال ۲۰۲۳ تاکنون، شرکت‌های چینی ۱۶۸ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری خارجی در زمینه‌ی تولید و زیرساخت انرژی پاک اعلام کرده‌اند.

تفاوت دیدگاه‌های چین و آمریکا در انرژی سبز ریشه در منابع طبیعی و نیازهای انرژی این دو کشور دارد. ایالات متحده، با وجود پیشگامی در نوآوری‌های انرژی پاک، نتوانست از «نفرین منابع» خود عبور کند. چین اما، در مواجهه با آسیب‌پذیری‌های انرژی، توانست نیاز را به مزیت تبدیل کند و از وابستگی به واردات به موقعیت برتری صنعتی برسد.

گسترش بی‌وقفه ظرفیت‌های تولید تجهیزات انرژی سبز در چین باعث شده هزینه‌ها به شدت کاهش یابد. تا سال ۲۰۲۴، حدود ۹۰ درصد پروژه‌های جدید تجدیدپذیر ارزان‌تر از پروژه‌های فسیلی بوده‌اند. در حال حاضر، برق خورشیدی حدود ۴۰ درصد و برق بادی فراساحلی بیش از ۵۰ درصد ارزان‌تر از سوخت‌های فسیلی تمام می‌شود.

دولت ترامپ شاید بتواند از فشار اقتصادی برای وادار کردن متحدان به خرید نفت و گاز آمریکایی استفاده کند، اما این اقدام تنها سهمی موقت از بازارهای اشباع‌شده را نصیب واشنگتن خواهد کرد. در اقتصادهای صنعتی‌شده‌ای مانند کره جنوبی و ژاپن، مصرف برق تقریباً به اوج خود رسیده است.

در مقابل، بخش عمده‌ی رشد تولید برق در کشورهای جنوب جهانی (Global South) رخ خواهد داد؛ رشدی که بر پایه‌ی منطق اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر است. تا میانه‌ی قرن، برخی کشورهای پیشرو آفریقایی ممکن است از آمریکا پیشی بگیرند و با زیرساخت‌های سبز پیشرفته‌تر، «شبکه‌ی برق آینده» را بسازند، در حالی‌که ایالات متحده همچنان به شبکه‌ی فرسوده‌ی قرن بیستم خود وابسته است.

چین در حال پیشبرد صنعتی دگرگون‌ساز و متعلق به آینده است، در حالی‌که آمریکا به میراث رو به افول گذشته‌ی خود چسبیده است. در حالی‌که واشنگتن از قدرت سیاسی خود برای بازاریابی نفت و گاز استفاده می‌کند، بقیه‌ی جهان - با تکیه بر منطق اقتصادی - با سرعتی غیرقابل توقف در مسیر گذار سبز جهانی پیش می‌رود.

این انقلاب سبز به کشورهای در حال توسعه اجازه داده است تا مستقیماً به زیرساخت‌های تجدیدپذیر پیشرفته و مقرون به صرفه جهش کنند. شهر شنژن، که اتوبوس‌های آن به‌طور کامل برقی هستند، تصویری از آینده‌ی پس از سوخت‌های فسیلی ارائه می‌دهد.

اگر ایالات متحده از منافع محدود و محلی خود در سوخت‌های فسیلی عبور نکند، ممکن است خود به موزه‌ای صنعتی تبدیل شود، یادگاری از دوران شکوه میانه‌ی قرن بیستم، در حالی‌که جهان بدون آن به حرکت خود ادامه می‌دهد.



چرا دانشمندان هسته‌ای اروپا برای اولین دستاورد همجوشی هسته‌ای به چین روی آورده‌اند؟

با توجه به وضعیت ژئوپولیتیک کنونی، شاید چین به نظر برسد که دانشمندان غربی در رقابت جهانی انرژی همجوشی هسته‌ای عموماً همسو با ایالات متحده هستند؛ اما برخی از برجسته‌ترین فیزیکدانان هسته‌ای اروپا اکنون روی چین حساب باز کرده‌اند.

به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، تردید نسبت به اهداف همجوشی آمریکا و تأخیرهای مزمن در پروژه بین‌المللی ITER، که توسط ۳۳

کشور در فرانسه در حال ساخت است، فضای مناسبی برای ظهور یک رهبر جدید در این حوزه فراهم کرده و به نظر می‌رسد چین آماده پرکردن این خلأ است.

راکتور ابرسانی آزمایشی پلاسما سوز (BEST) در هفی چین، که تکمیل آن برای سال ۲۰۲۷ هدف گذاری شده، به سرعت در حال جذب استعدادهای بین‌المللی است که از پیشرفت کند پروژه‌های دیگر ناامید شده‌اند.

اخیراً این تمایل به همکاری با چین رسمیت یافت و پژوهشگرانی از چندین کشور اروپایی وارد هفی شدند تا «بیانیه همجوشی هفی» را امضا کنند.

این توافق نشانه تعمیق تعهد جهانی به حل معمای همجوشی هسته‌ای پایدار بود؛ به گونه‌ای که تیم‌های بین‌المللی اکنون متعهد شده‌اند تلاش‌های خود را با جدول زمانی سرعت گرفته چین هماهنگ کنند.

در همان روز، «همکاری بین‌المللی پلاسما سوز» رسماً توسط آکادمی علوم چین آغاز شد؛ برنامه‌ای که هدف آن تسریع تکمیل راکتور BEST برای دستیابی به «جام مقدس» انرژی پاک، یعنی همجوشی هسته‌ای پایدار است.

این بدان معناست که BEST باید از پروژه SPARC در ایالات متحده پیشی بگیرد؛ دستگاه توکاماک آزمایشی که توسط شرکت Common-wealth Fusion Systems و مؤسسه MIT در حال توسعه است و از سال ۲۰۲۱ ساخت آن شروع شده و هدف دارد تا سال ۲۰۲۷ به توان خالص دست یابد.

طرح پژوهشی BEST برای نخستین بار به جامعه جهانی همجوشی

ارائه شد. این برنامه بر فیزیک پلاسماسوز، دستیابی به انرژی خالص و نمایش تولید انرژی همجوشی متمرکز است.

در رویداد هفی، دانشمندانی از بیش از دوازده کشور از جمله فرانسه، بریتانیا، آلمان، ایتالیا، سوئیس، اسپانیا، اتریش و بلژیک این بیانیه همکاری را امضا کردند.

مهندس ارشد پروژه از مؤسسه فیزیک پلاسما در هفی، گفت برنامه تحقیقاتی تحت رهبری چین به «تجمیع خرد و توان دانشمندان جهان برای غلبه بر چالش‌های همجوشی سوزان در مرزهای فیزیک» کمک خواهد کرد.

در حالی که مونتاژ فیزیکی BEST از ماه مه آغاز شده بود، این پروژه در ۲۵ اکتبر توجه بیشتری را جلب کرد، زمانی که سخنگوی وزارت خارجه چین، در رسانه‌های اجتماعی درباره آن نوشت. او این دستگاه را «خورشید مصنوعی» توصیف کرد و گفت که در مسیر تکمیل در سال ۲۰۲۷ است و ممکن است «نخستین در تاریخ» باشد که برق همجوشی تولید می‌کند.

بر اساس برنامه جدید پژوهشی، پس از تکمیل دستگاه، آزمایشات پلاسماسوز دوتریوم-تری‌توم انجام خواهد شد تا توانایی دستگاه در عملکرد پایدار و طولانی‌مدت تأیید شود.

هدف این است که بین ۲۰ تا ۲۰۰ مگاوات توان همجوشی تولید شود تا به انرژی خالص دست یابد، یعنی زمانی که انرژی خروجی از ورودی بیشتر شود.

این یک لحظه سرنوشت‌ساز برای پژوهش مهندسی همجوشی است؛ مرحله‌ای که در آن واکنش همجوشی توسط گرمای تولید شده از خود

واکنش ادامه می‌یابد و پایه‌ای برای تولید پیوسته برق ایجاد می‌کند. با این حال این سرزمینی ناشناخته است و انتظار می‌رود چالش‌های مهندسی و فیزیکی زیادی پیش رو باشد. برای نمونه، ذرات آلفا که محصولات جانبی واکنش‌های معمول همجوشی هستند برای حفظ دماهای فوق‌العاده بالا ضروری‌اند، اما سازوکار انتقال آن‌ها هنوز به‌درستی شناخته نشده است.

پروژه ITER، قدرتمندترین آزمایش همجوشی جهان و بزرگ‌ترین همکاری بین‌المللی در این حوزه هنوز در جنوب فرانسه در حال ساخت است.

هدف ITER تولید ۵۰۰ مگاوات توان به‌مدت حداقل ۴۰۰ ثانیه با استفاده از تنها ۵۰ مگاوات توان گرمایش پلاسماست. این هدف از طرح BEST بلندپروازانه‌تر است، اما جدول زمانی آن بسیار عقب‌تر افتاده است.



ITER نخستین بار در دهه ۱۹۸۰ مطرح شد و ساخت آن در سال ۲۰۱۰ آغاز شد؛ اما با تأخیرهای متعدد مواجه بوده است. در ژوئیه سال گذشته، مدیرکل ITER، اعلام کرد که تولید واکنش‌های همجوشی انرژی‌زا تا سال ۲۰۳۹ به تعویق افتاده و تنها در دوره‌های کوتاه رخ خواهد داد یعنی ۹ سال دیرتر از برنامه قبلی. این در تضاد شدید با سرعت پیشرفت BEST بود.

رئیس شرکت دولتی Neo Fusion که مسئولیت پروژه را برعهده دارد، گفت: «در کمتر از دو سال ساخت‌وساز مدنی را تکمیل کردیم و اجزای سیستم‌های مختلف اکنون به مرحله آمادگی عملیاتی رسیده‌اند، چیزی که ما آن را سرعت چین می‌نامیم.»

براساس برنامه همکاری بین‌المللی، مؤسسه فیزیک پلاسما امکانات اصلی پژوهش همجوشی هسته‌ای خود را به روی دانشمندی که عضو پروژه BEST نیستند باز خواهد کرد. همچنین قرار است یک صندوق پژوهشی باز ایجاد شود و تبادلات علمی میان کارشناسان افزایش یابد.



«توقف کربنی» چین؛ نقطه عطف یا یک سکون موقت؟



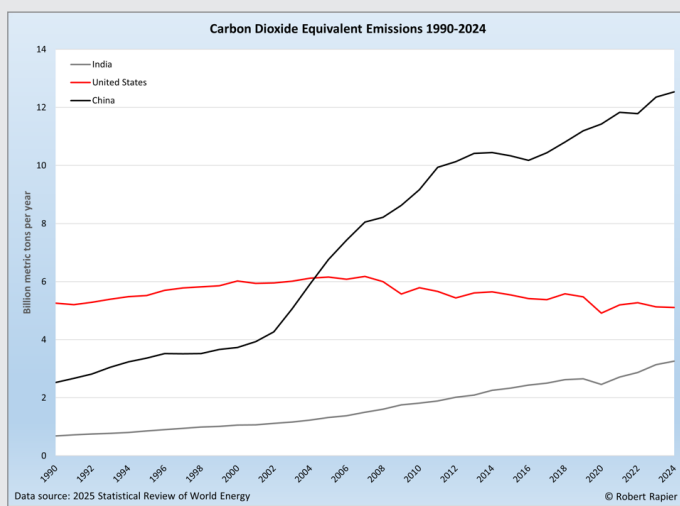
طی یک‌ربع قرن گذشته، چین موتور اصلی افزایش انتشار کربن در جهان بوده است. صنعتی‌سازی سریع، رشد فزاینده مصرف برق و یک جهش بی‌سابقه در ساخت‌وساز، مسیر کربنی جهان را بیش از هر کشور دیگری شکل داده است.

اما آخرین داده‌ها یک روند غیرمعمول در مسیر همواره صعودی چین نشان می‌دهد: توقف.

به گزارش فوربس، تحلیل جدید «مرکز پژوهش انرژی و هوای پاک»



(CREA) نشان می‌دهد که انتشار CO₂ چین در سه ماهه سوم ۲۰۲۵ تقریباً برابر با سال قبل بوده است. این یعنی حدود یک سال ونیم است که انتشار چین یا ثابت مانده یا کاهش یافته، روندی که از مارس ۲۰۲۴ آغاز شده است و برای بزرگ‌ترین منتشرکننده کربن جهان، همین ثبات نیز خبر مهمی است.



نکته مهم این است که مصرف انرژی چین متوقف نشد. برعکس تقاضای انرژی در سه ماهه سوم ۶,۱ درصد رشد کرد، چنین افزایشی معمولاً به رشد متناسب مصرف زغال سنگ و انتشار منجر می‌شد. اما امسال، افزایش کم کربن—خورشیدی، بادی، آبی و هسته‌ای—تقریباً کل این تقاضای جدید را پوشش داد. سرعت نصب عظیم انرژی خورشیدی چین شبکه برق را دگرگون کرده است. مزارع خورشیدی در مقیاس گیگاوات با سرعتی بی‌رقیب در جهان وارد مدار می‌شوند. باد

به‌ویژه فراساحلی با سرعت بالا توسعه یافته است. تولید برق آبی پس از دو سال خشکسالی سخت دوباره اوج گرفت، و ظرفیت هسته‌ای هم با روندی پایدار در حال افزایش است.

انتشار بخش حمل‌ونقل نیز مسیر متفاوتی داشت و ۵ درصد کاهش یافت. دلیل اصلی آن خودروهای برقی است که چین در فروش جهانی آن‌ها پیش‌تاز است. با بیش از ۵۰ درصد سهم خودروهای نو از نوع الکتریکی، جاده‌های چین حالا بخش مهمی از معادله کربنی این کشور شده‌اند. صنایع سنگین خصوصاً فولاد و سیمان نیز کاهش انتشار داشتند، چه از مسیر بهره‌وری بیشتر و چه به‌واسطه کاهش نسبی فعالیت‌های بسیار پرکربن ساخت‌وساز.

مجموعه این تغییرات نشان می‌دهد که «سکون» ایجادشده احتمالاً واقعی است و نه حاصل یک اقتصاد ضعیف یا اختلالات موقتی. این روند درست در زمانی اتفاق می‌افتد که بقیه جهان طبق «بودجه جهانی کربن»، در سال ۲۰۲۵ حدود ۱,۱ درصد افزایش انتشار از سوخت‌های فسیلی را تجربه خواهند کرد؛ تحت تأثیر بخش‌هایی مثل هواپیمایی، کشتیرانی و رشد تقاضای انرژی در اقتصادهای نوظهور. در چنین فضایی، توقف انتشار چین می‌تواند نقش متعادل‌کننده داشته باشد و شاید آغاز اوج‌گیری جهانی انتشار باشد. اما مثل همیشه در مسائل اقلیمی، تصویر کاملاً روشن نیست.

انتشار بخش مواد شیمیایی در چین در سه‌ماهه سوم افزایش قابل توجهی داشت و بخشی از پیشرفت سایر حوزه‌ها را خنثی کرد. افزون بر این، ثبات کنونی کاملاً در برابر نوسانات اقتصادی و سیاستی آسیب‌پذیر است. چین بارها در دوره‌های محرک اقتصادی یا فشار زنجیره تأمین به

صنایع سنگین و نیروگاه‌های زغال‌سنگ تکیه کرده و ممکن است دوباره چنین کند.

سیگنال‌های سیاستی پشت اعداد

این سکون زمانی رخ داده که پکن در حال بازتنظیم استراتژی اقلیمی خود است. در نوامبر، مقامات چینی بار دیگر بر دو هدف ملی کلیدی تأیید کردند: اوج انتشار قبل از ۲۰۳۰ و کربن‌خنثی تا ۲۰۶۰ نکته مهم‌تر این بود که برای اولین بار متان و اکسید نیتروژن به‌طور صریح در برنامه‌ها وارد شدند—گازهایی که پیش‌تر کمتر مورد توجه بودند. این تغییر نشان می‌دهد چین در حال حرکت به سمت رویکردی جامع‌تر در حکمرانی اقلیمی است.

این چرخش سیاستی در زمان حساسی رخ می‌دهد. داده‌های انتشار درست هم‌زمان با برگزاری COP30 در بلم، برزیل منتشر شد؛ جایی که مذاکره‌کنندگان جهانی درباره واقعیت‌های دشوار کربن‌زدایی چانه‌زنی می‌کنند. توانایی چین در نشان‌دادن پیشرفت بدون فشار بر رشد اقتصادی موضع دیپلماتیکش را تقویت می‌کند.

چه چیزهایی را باید در ماه‌های آینده زیر نظر داشت؟

اینکه «سکون کربنی» به یک اوج واقعی تبدیل می‌شود یا نه، به چند عامل کلیدی بستگی دارد:

- تداوم ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر و ادغام در شبکه:

سدهای انتقال و محدودیت‌های جذب، تهدیدی واقعی‌اند.

- نظارت صنعتی: فولاد، سیمان و مواد شیمیایی تعیین می‌کنند

بهره‌وری تا چه حد پایدار بماند.

• شتاب خودروهای برقی و زیرساخت: ایستگاه‌های شارژ و

سیاست‌های تشویقی نقش تعیین‌کننده دارند.

• چرخه‌های کالایی و تقاضای صادراتی: جهش دوباره ساخت‌وساز

یا تولید می‌تواند انتشار را بالا ببرد.

برای سرمایه‌گذاران، سیاست‌گذاران و تحلیلگران ریسک اقلیمی، مسیر

انتشار چین در مرکز چشم‌انداز جهانی کربن قرار دارد. فصل‌های آینده

مشخص خواهند کرد که آیا این یک توقف زودگذر است یا آغاز چرخشی

مهم در مسیر انتشار جهانی. ■

دفتر همکاری فناوری سفارت جمهوری اسلامی ایران در پکن

با همکاری:

گروه مطالعاتی چین نگار



 www.chinnegar.com

 [@chinnegar](https://t.me/chinnegar)

 www.techchina.ir

 info@techchina.ir

 [@fanavarichin](https://t.me/fanavarichin)

 [@fanavarichin](https://t.me/fanavarichin)

فصلنامه‌هاک

گروه مطالعاتی چین نگار:



فصلنامه سلامت و کساورزی چین



فصلنامه هوا فضایی چین

و

صنعت دریایی چین





سفارت جمهوری اسلامی ایران - پکن

Embassy of the I.R. of Iran—Beijing

