

رونمایی از بزرگ‌ترین ربات ضد تشعشع جهان برای

استفاده در نیروگاه‌های همجوشی هسته‌ای چین



ماهنامه

چین

شماره
۲۳

نو و تجدیدپذیر
انرژی‌های

سال دوم | شماره ۲۳ | آذر ۱۴۰۴



www.techchina.ir



www.chinnegar.com

امنیت انرژی چین تا چه حد مقاوم است؟



گذار انرژی
چین وارد
فصل جدیدی
می‌شود



راکتور «لین لونگ وان» نقطه عطفی در
عرشه انرژی هسته‌ای



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

امنیت انرژی چین تا چه حد مقاوم است؟ ۴

رآکتور «لین لونگ وان» نقطه عطفی در عرصه انرژی هسته‌ای ۳۰

رونمایی از بزرگ‌ترین ربات ضد تشعشع جهان برای استفاده در نیروگاه‌های همجوشی هسته‌ای چین ۳۶

گذار انرژی چین وارد فصل جدیدی می‌شود ۳۹



امنیت انرژی چین تا چه حد مقاوم است؟



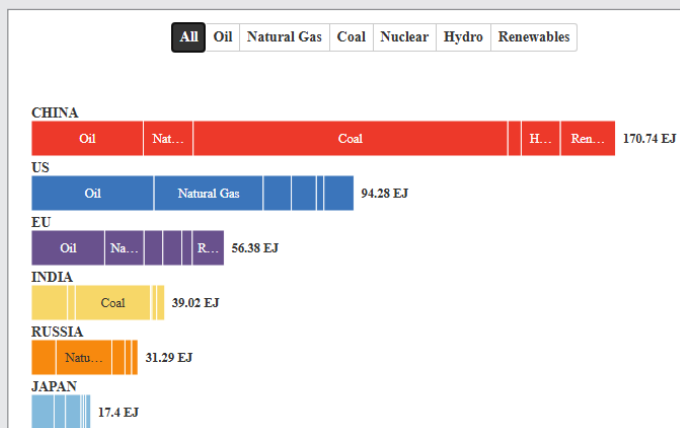
امنیت انرژی یکی از ارکان حیاتی امنیت اقتصادی و ملی هر کشور است. اختلال در عرضه پایدار انرژی می‌تواند اثرات زنجیره‌ای گسترده‌ای بر صنایع و جامعه داشته باشد.

امنیت انرژی چین ترکیبی از آسیب‌پذیری‌ها و نقاط قوت است. این کشور با فاصله زیاد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در جهان است، موضوعی که فشار زیادی بر سیاست‌گذاران وارد می‌کند تا نیازهای بخش عظیم تولیدی خود را تأمین کنند. چین همچنین به‌طور قابل‌توجهی به سوخت‌های فسیلی وارداتی وابسته است، مسئله‌ای که آن را در برابر اختلالات ناشی از بی‌ثباتی و رقابت‌های ژئوپلیتیکی آسیب‌پذیر می‌سازد.

با این حال، چین در حوزه امنیت انرژی دارای نقاط قوت مهمی است. این کشور به‌سرعت در حال توسعه زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر

است تا وابستگی خود به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد. چین همچنین در تولید مواد معدنی حیاتی که نقشی کلیدی در امنیت انرژی دارند، پیشتاز جهان است. سرمایه‌گذاری‌های گسترده در شبکه انرژی نیز به این کشور کمک می‌کند تا خود را برای آینده‌ای مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر آماده سازد. در نهایت، ذخایر فراوان زغال‌سنگ در چین برای سیاست‌گذاران نوعی پشتوانه ایمنی در صورت بروز اختلالات عمده در سایر منابع انرژی فراهم می‌کند.

این گزارش از مؤسسه چایناپاور، به بررسی همین نقاط قوت و آسیب‌پذیری‌ها می‌پردازد. در این تحلیل، صرفاً نیازهای امنیتی مطلق چین مدنظر نیست، بلکه وضعیت این کشور در بستر جهانی، به‌ویژه در مقایسه با دومین مصرف‌کننده بزرگ انرژی یعنی ایالات متحده نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. در مجموع، موقعیت چین در زمینه امنیت انرژی نسبتاً قوی ارزیابی می‌شود و انتظار می‌رود مزیت‌های آن در این حوزه بیش از پیش افزایش یابد.

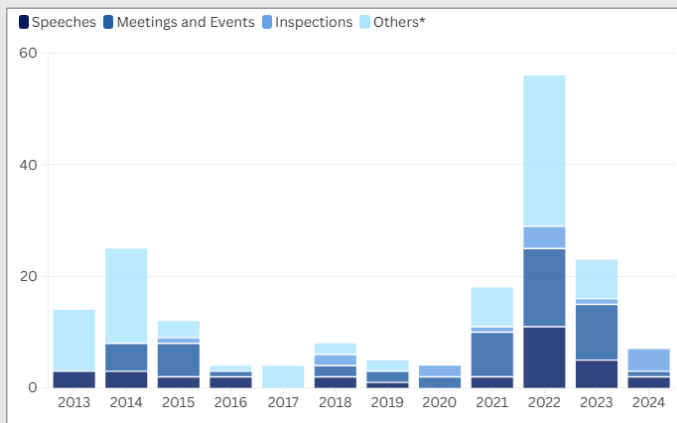


مصرف جهانی انرژی
به تفکیک نوع
سوخت

آسیب‌پذیری‌های امنیت انرژی چین

پکن به‌خوبی از اهمیت انرژی در وضعیت اقتصادی و امنیت ملی چین آگاه است. بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴، شی جین‌پینگ، رهبر چین، دست‌کم در ۱۸۰ سخنرانی، نشست و فعالیت رسمی مختلف، از «امنیت انرژی» یاد کرده است.

تعداد دفعات اشاره
شی جین‌پینگ به
امنیت انرژی



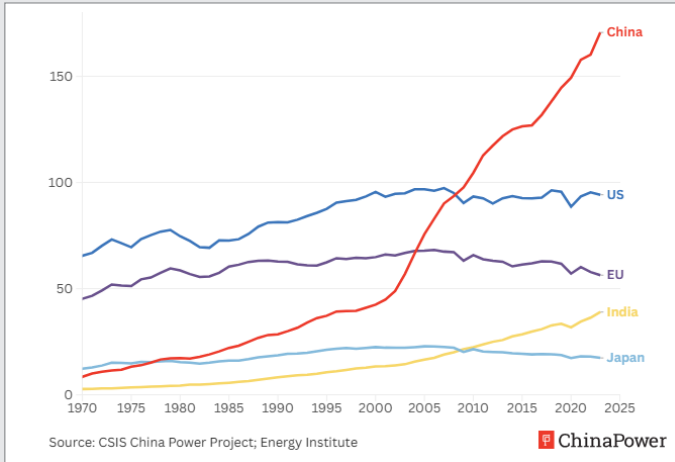
تمرکز شی بر امنیت انرژی در سال ۲۰۲۲ افزایش چشمگیری یافت، این امر هم‌زمان با تلاش جهانی برای مقابله با اختلالات در جریان انرژی در پی جنگ روسیه و اوکراین بود. برای پکن، این جنگ بر نیاز چین به دستیابی به استقلال بیشتر در حوزه انرژی تأکید گذاشت؛ به‌طوری‌که شی بارها تأکید کرد امنیت انرژی «یکی از مهم‌ترین مسائل امنیتی» پیش‌روی این کشور است.

چین با دو چالش مهم در حوزه انرژی روبروست که هر یک در ادامه بررسی می‌شوند:

- تقاضای عظیم و رو به رشد برای انرژی
- وابستگی به نفت و گاز وارداتی

تقاضای عظیم و رو به رشد برای انرژی

دهه‌ها رشد سریع اقتصادی، تقاضای چین برای انرژی را به شکلی چشمگیر افزایش داده است. در سال ۱۹۸۰، هم‌زمان با آغاز دوره «اصلاحات و گشایش» اقتصادی، مصرف انرژی چین کمتر از یک‌چهارم مصرف ایالات متحده بود. اما تا سال ۲۰۰۸، چین از آمریکا پیشی گرفت و به بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در جهان تبدیل شد. در سال ۲۰۲۳، مصرف انرژی چین حتی از مجموع مصرف ایالات متحده، اتحادیه اروپا و ژاپن نیز فراتر رفت.

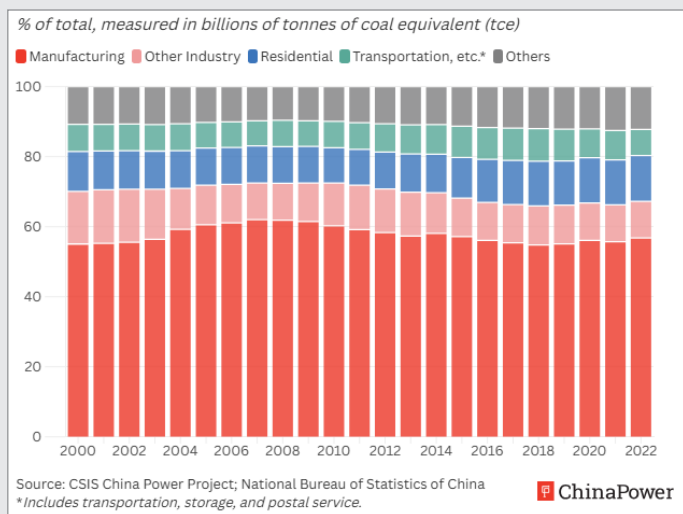


مصرف انرژی
اقتصادهای برتر
جهان

تقاضای بی‌سابقه چین برای انرژی عمدتاً ناشی از سلطه جهانی این کشور در بخش تولید صنعتی است. در سال ۲۰۲۲، تولیدکنندگان چینی ۵۷ درصد از کل مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص دادند، رقمی

معادل حدود ۹۰ اگزاژول (EJ)، که قابل مقایسه با کل مصرف انرژی ایالات متحده و تقریباً معادل ۱۵ درصد از مصرف جهانی انرژی در آن سال بود.

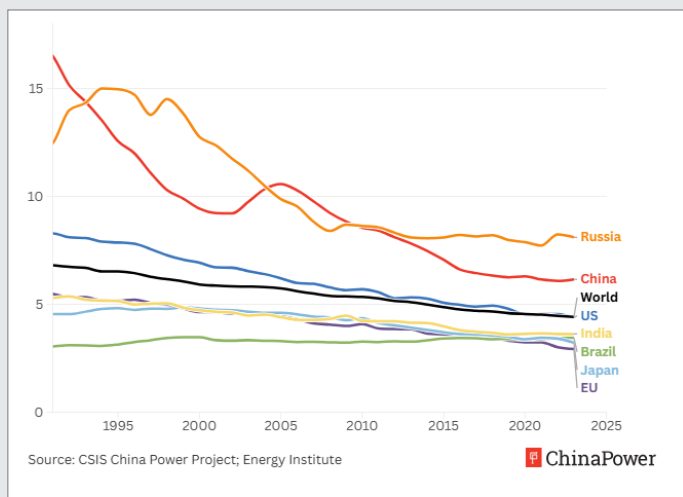
با این حال، با افزایش سطح رفاه، سهم خانوارهای چینی از مصرف انرژی به تدریج در حال افزایش است. مصرف انرژی در بخش خانگی چین از ۱۰.۵ درصد کل مصرف انرژی کشور در سال ۲۰۱۲ به ۱۳ درصد در سال ۲۰۲۲ رسیده است.



مصرف انرژی چین به تفکیک بخش‌ها

مصرف انرژی چین در سال‌های آینده بیش از پیش افزایش خواهد یافت، چراکه فناوری‌های نوینی مانند هوش مصنوعی باعث افزایش تقاضا برای برق می‌شوند. شرکت‌های فناوری پیشرو در ایالات متحده، چین و سایر کشورها به شدت در تلاش‌اند مراکز داده پرمصرفی را برای پشتیبانی از مدل‌های هوش مصنوعی خود راه‌اندازی کنند.

برآوردهای رسمی چین نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۵، مراکز داده این کشور بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ تراوات ساعت (TWh) برق مصرف خواهند کرد، که حدود ۱.۵ تا ۲ درصد از کل مصرف برق چین را شامل می‌شود. این میزان ممکن است تا سال ۲۰۳۰ بیش از دو برابر شود و به حدود ۴۰۰ تراوات ساعت برسد؛ عددی تقریباً معادل با کل مصرف برق عربستان سعودی در سال ۲۰۲۳. در برآوردهای خوش‌بینانه‌تر، این رقم ممکن است تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۵۳۰ تراوات ساعت نیز برسد. با اینکه تقاضای انرژی در چین در حال رشد است، احتمالاً در آینده به نقطه اوج خواهد رسید. برخی مطالعات پیش‌بینی می‌کنند این اوج تا حدود دو دهه دیگر، یعنی حدود سال ۲۰۴۹، رخ ندهد؛ البته زمان دقیق آن به عواملی همچون شرایط اقتصاد کلان و سرعت سازگاری صنعتی بستگی دارد.



شدت انرژی

میزان مصرف انرژی اولیه (بر حسب مگاژول) به ازای هر دلار تولید ناخالص داخلی (بر پایه دلار ثابت سال ۲۰۲۱ و بر اساس برابری قدرت خرید PPP)

یکی از دلایل این چشم‌انداز، بهبود بهره‌وری انرژی است. در سال ۱۹۹۰، چین برای تولید مقدار مشخصی از تولید ناخالص داخلی (GDP) دو برابر بیشتر از ایالات متحده انرژی مصرف می‌کرد. از آن زمان، شدت انرژی چین (که به این شاخص گفته می‌شود) به شدت کاهش یافته است، با این حال تا سال ۲۰۲۳، چین هنوز ۴۰ درصد نسبت به ایالات متحده، و حدود ۵۰ درصد نسبت به اتحادیه اروپا و ژاپن، کارایی کمتری در مصرف انرژی داشت.

عوامل بلندمدت دیگری مانند کاهش جمعیت نیز ممکن است موجب کاهش تقاضای انرژی شوند. جمعیت چین پس از رسیدن به اوج خود با بیش از ۱.۴۲ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۱، طبق پیش‌بینی‌های اخیر تا سال ۲۰۳۰ حدود ۲ میلیون نفر کاهش خواهد یافت و تا سال ۲۰۵۰ ممکن است با کاهش ۱۳۰ میلیون نفری مواجه شود. هرچند کاهش جمعیت چالش‌های اقتصادی و اجتماعی فراوانی برای چین به همراه دارد، اما خود شی جین‌پینگ اشاره کرده است که این موضوع می‌تواند به کاهش برخی مشکلات مانند محدودیت منابع و آسیب‌های زیست‌محیطی کمک کند.

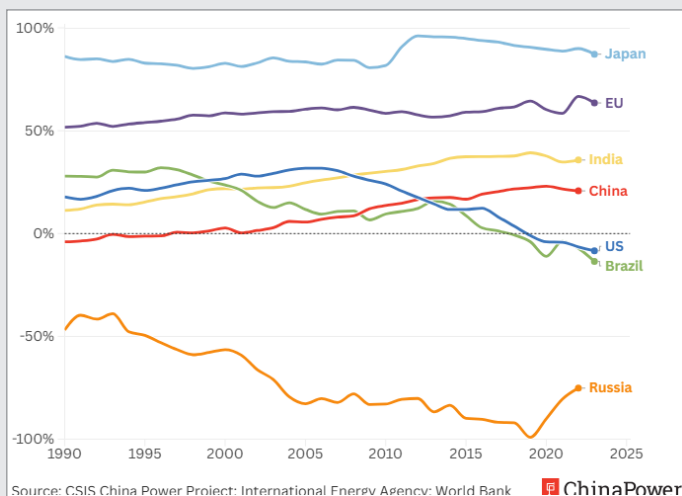
وابستگی به نفت و گاز وارداتی

افزایش شدید تقاضای انرژی، چین را بیش از پیش وابسته به منابع خارجی کرده است. تا دهه ۱۹۹۰، چین صادرکننده خالص انرژی بود، اما تا سال ۲۰۲۲، حدود یک‌پنجم نیاز انرژی خود را از خارج وارد می‌کرد. با این حال، در مقایسه با برخی اقتصادهای بزرگ، وضعیت چین کمتر بحرانی به نظر می‌رسد. برای نمونه، کمبود منابع طبیعی در ژاپن و موقعیت جغرافیایی جزیره‌ای آن باعث شده تا تقریباً تمام انرژی



مورد نیاز خود را از خارج وارد کند (۸۷ درصد در سال ۲۰۲۳)، و اتحادیه اروپا نیز حدود دوسوم از انرژی خود را وارد می‌کند.

وابستگی به
واردات انرژی
سهم خالص انرژی
اولیه‌ای که از طریق
واردات تأمین
می‌شود. مقادیر
منفی نشان‌دهنده آن
است که یک اقتصاد
صادرکننده خالص
انرژی است.



بزرگ‌ترین اقلام وارداتی انرژی چین، نفت و گاز خارجی هستند. چین با فاصله زیاد، بزرگ‌ترین واردکننده نفت خام در جهان است و حدود ۲۵ درصد از کل واردات جهانی را به خود اختصاص می‌دهد. این کشور همچنین بزرگ‌ترین واردکننده گاز طبیعی نیز محسوب می‌شود. در مجموع، چین در سال ۲۰۲۳ حدود ۸۳ درصد از نفت و ۳۹ درصد از گاز طبیعی مورد نیاز خود را وارد کرده است.

این وضعیت در تضاد آشکار با موقعیت انرژی ایالات متحده قرار دارد. در سال ۲۰۱۸، ایالات متحده از عربستان سعودی پیشی گرفت و به بزرگ‌ترین تولیدکننده نفت خام جهان تبدیل شد. در سال ۲۰۱۹ نیز برای نخستین بار از دهه ۱۹۵۰، به صادرکننده خالص انرژی بدل شد. این



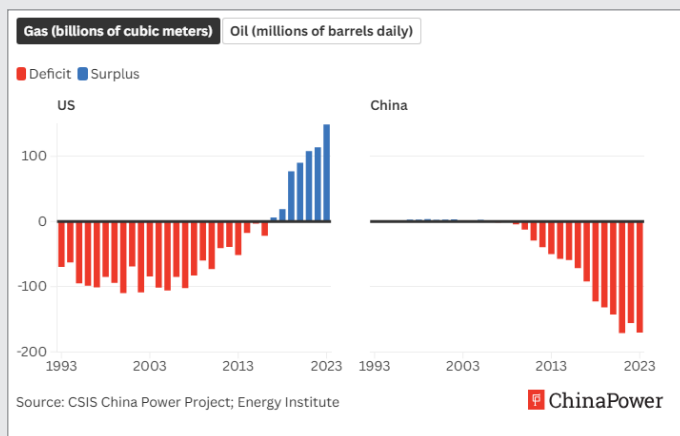
چین | انرژی‌های نو و تجدیدپذیر

سال دوم | شماره ۲۳ | آذر ۱۴۰۴

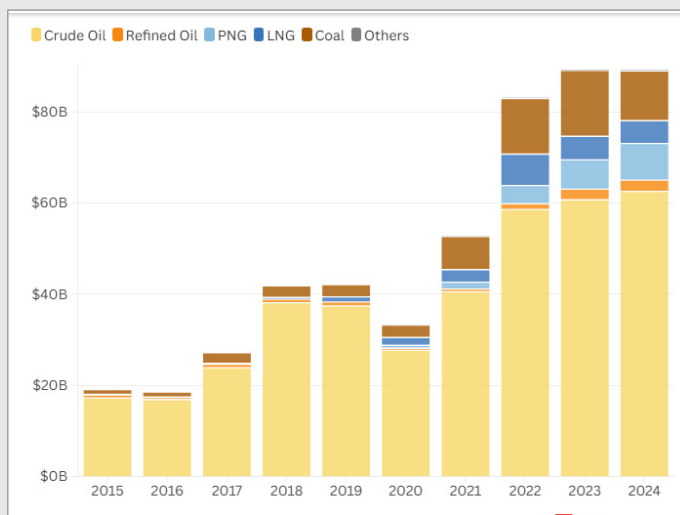
موفقیت‌ها عمدتاً نتیجه «انقلاب شیل» در آمریکا بود؛ یعنی پیشرفت در فناوری شکست هیدرولیکی و حفاری افقی که منجر به بهره‌برداری از ذخایر عظیم نفت و گاز شد. همچنین توسعه زیرساخت‌های گاز طبیعی مایع (LNG) امکان افزایش صادرات جهانی از سوی تأمین‌کنندگان آمریکایی را فراهم ساخت.

با وجود تلاش‌های اخیر، چین در تکرار موفقیت‌های آمریکا با چالش‌هایی جدی روبه‌رو است. هرچند برآورد می‌شود که چین بزرگ‌ترین ذخایر شیل گاز جهان را داراست—تقریباً دو برابر ایالات متحده—اما این ذخایر در عمق بیشتری قرار دارند، پراکندگی جغرافیایی بیشتری دارند و اغلب در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند که استخراج آن‌ها را دشوارتر می‌سازد. تا سال ۲۰۲۰، چین تنها ۱.۵ درصد از ذخایر نفت قابل استحصال فنی در جهان و ۴.۵ درصد از ذخایر جهانی گاز طبیعی را در اختیار داشت.

استقلال در نفت
و گاز: ایالات
متحده در برابر
چین
ایالات متحده اکنون
دارای مازاد در تولید
نفت و گاز است
و بیش از مصرف
داخلی تولید می‌کند
در حالی که چین با
کسری فزاینده مواجه
است.



استقلال و تنوع‌بخشی در حوزه انرژی در پی تشدید تنش‌های ژئوپلیتیکی، به اولویتی فوری برای بسیاری از کشورها تبدیل شده است. از زمان حمله جنگ روسیه و اوکراین در سال ۲۰۲۲، اتحادیه اروپا تلاش کرده تا وابستگی خود به انرژی روسیه را کاهش دهد و درآمدهای مسکو برای تأمین هزینه‌های جنگ را محدود کند. نتایج این تلاش‌ها تاکنون متفاوت بوده‌اند: در پایان سال ۲۰۲۴، تنها ۲ درصد از نفت وارداتی اتحادیه اروپا از روسیه تأمین می‌شد؛ کاهش چشمگیر نسبت به ۱۸ درصد در سه‌ماهه چهارم سال ۲۰۲۲. با این حال، وابستگی اتحادیه اروپا به واردات گاز طبیعی مایع (LNG) از روسیه طی همان دوره از ۱۱ درصد به ۲۲ درصد افزایش یافت، حتی با وجود کاهش شدید واردات گاز طبیعی از طریق خطوط لوله (PNG).



واردات چین از
محصولات کلیدی
انرژی روسیه
(بر حسب میلیارد
دلار آمریکا)

در مقابل، چین در مسیر معکوسی حرکت کرده و در چارچوب تقویت روابط گسترده‌تر خود با مسکو پس از جنگ روسیه و اوکراین، واردات انرژی از این کشور را افزایش داده است. بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴، سهم واردات نفت خام چین از روسیه از کمتر از ۱۶ درصد به نزدیک ۲۰ درصد رسید. طی همین دوره، سهم روسیه در واردات گاز طبیعی از طریق خطوط لوله چین تقریباً سه برابر شد و از ۱۳ درصد به ۳۸ درصد رسید، روندی که عمدتاً ناشی از افزایش تولید روسیه در امتداد خط لوله «نیروی سیبری ۱» بوده است. همچنین سهم روسیه در واردات LNG چین نیز از ۶ درصد به ۱۱ درصد افزایش یافته است.

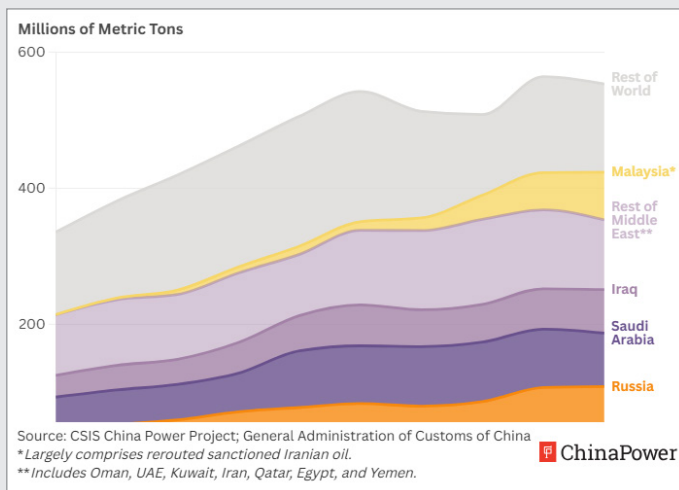
روابط انرژی چین و روسیه ممکن است در سال‌های آینده بیش از پیش تقویت شود. روسیه در حال مذاکره با چین برای ساخت یک خط لوله گاز طبیعی جدید به نام Power of Siberia 2 است که گاز را از شبه‌جزیره یامال در سیبری غربی از طریق مغولستان به شمال چین منتقل می‌کند. طبق گزارش‌ها، مسکو قصد داشته در سال ۲۰۲۴ ساخت این خط لوله را با هدف آغاز انتقال گاز در سال ۲۰۳۰ آغاز کند. با این حال، به نظر می‌رسد چین منتظر است تا قیمت مطلوب‌تری برای گاز دریافت کند، پیش از آن‌که پروژه را پیش ببرد. چین همچنین در پروژه‌های دیگر گاز طبیعی روسیه از جمله کارخانه Arctic LNG 2 مشارکت دارد که راه‌های بیشتری برای تعمیق همکاری‌های انرژی میان دو کشور فراهم می‌کند.

خرید انرژی از روسیه مزایای مهمی برای پکن به همراه دارد. خریدهای چین به‌عنوان یک خط نجات اقتصادی حیاتی برای روسیه در دوران جنگ اوکراین عمل کرده‌اند و همین مسئله پیوندهای مسکو با پکن را

مستحکم‌تر کرده است. نزدیکی جغرافیایی روسیه به چین نیز احتمال قطع فیزیکی ارسال انرژی را کاهش می‌دهد که در مجموع به تقویت امنیت انرژی چین منجر می‌شود.

تأمین‌کنندگان خارجی نفت خام چین

بیشتر واردات نفت خام چین از روسیه، خاورمیانه و مالزی تأمین می‌شود. (سایر کشورهای خاورمیانه شامل عمان، امارات متحده، کویت، ایران، قطر، مصر و یمن می‌شود)



با این حال، خرید انرژی از روسیه می‌تواند همه چالش‌های چین در زمینه وابستگی به واردات را حل کند. وابستگی چین به سایر کشورها برای تأمین نفت و گاز همچنان این کشور را در برابر اختلالات آسیب‌پذیر نگه می‌دارد. بیش از نیمی از نفت خام وارداتی چین از خاورمیانه تأمین می‌شود، منطقه‌ای که مدت‌هاست درگیر درگیری‌ها و بی‌ثباتی بوده و همین مسئله باعث بروز اختلالات و نوسانات قیمتی شده است. به‌طور کلی، تقریباً تمام نفت وارداتی چین از کشورهایی به‌جز روسیه—یعنی حدود ۸۰ درصد از واردات نفت خام این کشور—از مسیر دریا و از تنگه ملاکا عبور می‌کند؛ گذرگاهی راهبردی که اقیانوس هند را به

اقیانوس آرام متصل می‌کند. همچنین، تقریباً یک‌سوم از کل واردات کالای چین از تنگه تایوان عبور می‌کند؛ مسیری که در سال ۲۰۲۲ حدود ۵۰۰ میلیارد دلار نفت خام، فرآورده‌های نفتی و سایر محصولات معدنی و فلزی از آن ترانزیت شده است. درگیری احتمالی بر سر تایوان یا دریای جنوبی چین می‌تواند دسترسی چین به انرژی وارداتی از این مسیرهای کلیدی تجاری را به شدت به خطر بیندازد.

نقاط قوت امنیت انرژی چین

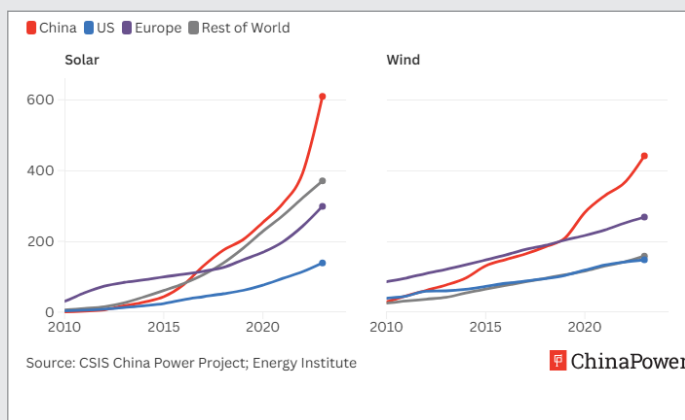
با وجود چالش‌های قابل‌توجهی که چین در حوزه امنیت انرژی با آن‌ها مواجه است، این کشور در موقعیتی قوی برای غلبه بر تقاضای رو به رشد، هزینه‌های زیست‌محیطی، وابستگی به واردات و توسعه زیرساخت‌های انرژی قرار دارد. چین چهار نقطه قوت درهم‌تنیده برای تأمین انرژی موردنیاز جمعیت و اقتصاد خود دارد:

۱. پیشتازی فناوریانه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر
۲. نقش برجسته در تولید مواد معدنی حیاتی
۳. پیشرفت سریع در نوسازی شبکه برق
۴. ذخایر عظیم زغال‌سنگ به‌عنوان پشتوانه اضطراری

۱. پیشتازی فناوریانه در منابع انرژی تجدیدپذیر

رهبران چین مصمم‌اند وابستگی کشور به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند و انرژی‌های تجدیدپذیر را کلید امنیت بلندمدت انرژی، رشد اقتصادی، و اهداف کاهش انتشار کربن چین می‌دانند. آن‌ها به همین منظور سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای انجام می‌دهند تا چین را به رهبر جهانی در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر تبدیل کنند.

چین با سرعتی بالا در حال توسعه ظرفیت انرژی تجدیدپذیر به‌ویژه در حوزه خورشیدی و بادی است. در سال ۲۰۲۳، چین ۲۱۷ گیگاوات ظرفیت خورشیدی جدید نصب کرد، بیشتر از کل ظرفیت خورشیدی نصب‌شده ایالات متحده تا آن زمان، آن هم فقط در یک سال. همچنین ظرفیت نصب‌شده انرژی بادی چین در سال ۲۰۲۳ تقریباً ۲۱ درصد افزایش یافت؛ سرعتی که سه برابر اروپا و نزدیک به پنج برابر ایالات متحده بود.

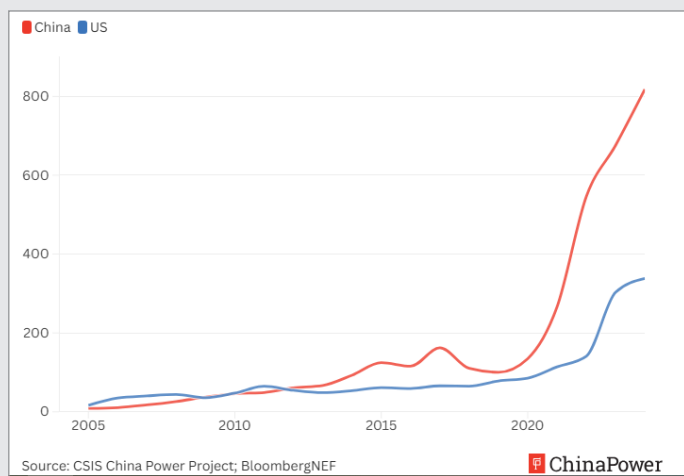


رشد سریع چین
در توسعه انرژی
خورشیدی و بادی
ظرفیت نصب‌شده بر
حسب گیگاوات

پیشرفت چشمگیر چین در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، حاصل سرمایه‌گذاری‌های بی‌سابقه‌ای است که بانک‌ها و نهادهای سرمایه‌گذاری تحت حمایت دولت در پروژه‌های انرژی سبز انجام می‌دهند. سرمایه‌گذاری چین در انرژی پاک در سال ۲۰۲۴ به رقم خیره‌کننده ۸۱۸ میلیارد دلار رسید.

ایالات متحده نیز مانند چین به‌طور گسترده در منابع انرژی تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کرده است. قانون کاهش تورم (IRA) این کشور در

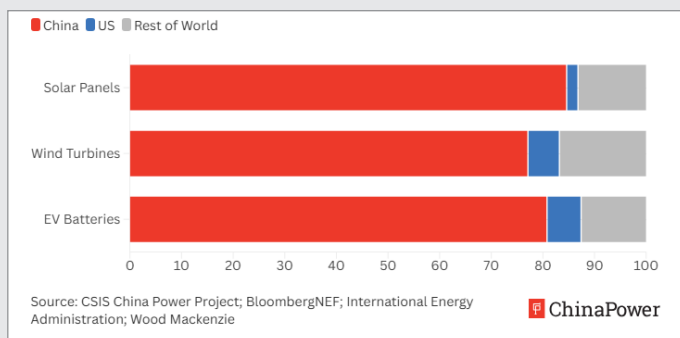
سال ۲۰۲۲ با هدف تحریک سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق اعطای کمک‌هزینه، وام و اعتبار مالیاتی، در مجموع حدود ۳۷۰ میلیارد دلار اختصاص داد. این سیاست‌ها موجب رشد در بخش انرژی‌های پاک ایالات متحده شده‌اند. اما با وجود این پیشرفت‌ها، سطح سرمایه‌گذاری آمریکا همچنان از چین عقب‌تر است. در سال ۲۰۲۴، میزان سرمایه‌گذاری آمریکا در انرژی پاک تنها ۳۳۸ میلیارد دلار بود، یعنی کمتر از نیمی از رقم چین.



پیشتازی چین در
سرمایه‌گذاری در
انرژی پاک
سرمایه‌گذاری سالانه
در انرژی‌های پاک، بر
حسب میلیارد دلار
آمریکا

پیشتازی چین در حوزه انرژی‌های پاک به لطف حمایت‌های قوی سیاست‌گذاری در سطوح عالی در مسیر گسترش بیشتر قرار دارد. پکن انرژی پاک و فناوری‌های مرتبط با آن را نه تنها برای امنیت انرژی و کربن‌زدایی، بلکه برای رشد اقتصادی نیز حیاتی می‌داند. شی جین‌پینگ در سخنرانی‌ای در آوریل ۲۰۲۵ تأکید کرد که: «گذار سبز... موتور جدیدی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی است.»

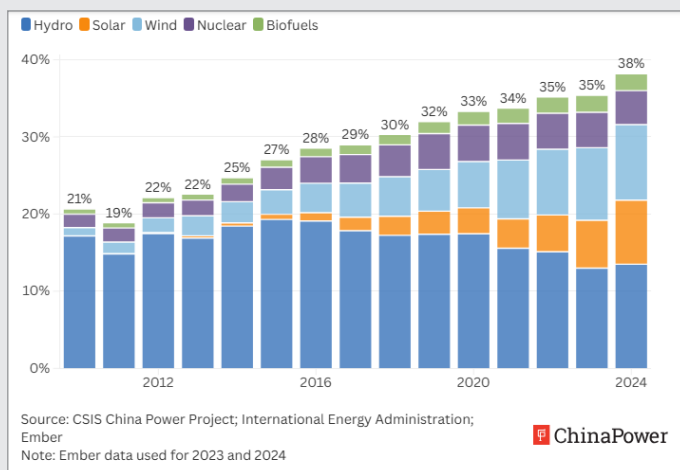
به‌طور مشخص، از دست‌کم سال ۲۰۲۳، برنامه‌ریزان اقتصادی چین از مفهومی به نام «سه‌گانه نو» یاد می‌کنند—که شامل سلول‌های فتوولتائیک (خورشیدی)، باتری‌های لیتیومی و خودروهای برقی است—و آن را منبعی برای پویایی اقتصادی تلقی می‌کنند. تولیدکنندگان چینی به جایگاهی مسلط در زنجیره تأمین جهانی این سه فناوری کلیدی سبز دست یافته‌اند، و در کنار آن در تولید سایر تجهیزات انرژی تجدیدپذیر مانند اجزای نیروگاه‌های بادی و برق‌آبی نیز پیش‌تازند.



پیش‌تازی چین
در تولید جهانی
فناوری‌های سبز
درصد سهم از تولید
جهانی، ۲۰۲۳

رقبای بالقوه چین در ایالات متحده، اتحادیه اروپا و بازارهای نوظهور همچنان به‌شدت به تأمین‌کنندگان چینی برای مواد اولیه و اجزای بالادستی پروژه‌های انرژی پاک وابسته‌اند. با افزایش رقابت اقتصادی با چین، سیاست‌گذاران آمریکایی اقداماتی را در پیش گرفته‌اند تا وابستگی ایالات متحده به چین در مسیر کربن‌زدایی آینده را کاهش دهند. فراتر از انرژی‌های تجدیدپذیر، چین در حال گسترش استفاده از طیف وسیع‌تری از سوخت‌های غیر فسیلی برای تأمین انرژی اقتصاد خود است. برنامه پنج‌ساله چهاردهم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر که در سال ۲۰۲۲ منتشر شد، خواستار ایجاد یک نظام انرژی «پاک، کم‌کربن،

ایمن و بسیار کارآمد» شده و مقرر می‌دارد که سهم تولید برق از منابع غیر فسیلی باید تا سال ۲۰۲۵ به حدود ۳۹ درصد برسد. چین در مسیر تحقق این هدف حرکت می‌کند؛ به‌طوری‌که تا سال ۲۰۲۴، نیروگاه‌های برق‌آبی، خورشیدی، بادی، هسته‌ای و زیست‌سوخت‌ها در مجموع بیش از ۳۸ درصد از تولید برق چین را تأمین می‌کردند.



سهم تولید برق
چین از منابع غیر
فسیلی

نیروگاه‌های هسته‌ای نقش فزاینده‌ای در این تلاش‌ها ایفا می‌کنند. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، چین بیش از ۵۵ گیگاوات ظرفیت نصب‌شده تولید برق هسته‌ای دارد که آن را در جایگاه سوم پس از ایالات متحده (۹۷ گیگاوات) و فرانسه (۶۳ گیگاوات) قرار می‌دهد. همچنین چین حدود ۳۰ گیگاوات ظرفیت هسته‌ای در دست ساخت دارد که پس از تکمیل، چین را بالاتر از فرانسه قرار خواهد داد. بر اساس برخی برآوردها، سهم برق هسته‌ای می‌تواند تا سال ۲۰۳۵ به حدود ۱۰ درصد از کل تولید برق چین برسد؛ رقمی که در سال ۲۰۲۳ تنها ۴.۵ درصد بود.

۲. نقش پیشرو در تولید مواد معدنی حیاتی

رهبری چین در بسیاری از فناوری‌های نوین انرژی بر پایه تسلط این کشور در زنجیره‌های تأمین مواد معدنی حیاتی استوار است. دهه‌ها سیاست صنعتی فشرده، مقررات زیست‌محیطی نسبتاً سهل‌گیرانه و اقتصاد گسترده، چین را به پیشرو در پالایش و فرآوری بسیاری از مواد معدنی حیاتی که برای اقتصاد جهانی ضروری هستند، تبدیل کرده است. چین در هر دو بخش بالادستی و پایین‌دستی بسیاری از مواد معدنی حیاتی نقش مهمی ایفا می‌کند. در بخش بالادستی، چین تأمین‌کننده اصلی بسیاری از سنگ معدن‌ها است، مواد خامی که می‌توان آن‌ها را استخراج و به محصولات خالص‌تر برای استفاده پایین‌دستی تبدیل کرد. تسلط چین در پالایش و فرآوری پایین‌دستی حتی برجسته‌تر است. به عنوان مثال، در سال ۲۰۲۴، چین ۲۱ درصد از بوکسیت جهان—ماده اصلی تولید آلومینیوم—را تولید کرد، اما تقریباً ۶۰ درصد از آلومینیوم پالایش‌شده جهان را تولید نمود. این موضوع تأثیرات جانبی بیشتری نیز دارد؛ زیرا فرآوری بوکسیت به آلومینیوم می‌تواند گالیوم را به عنوان محصول جانبی تولید کند. به همین دلیل، چین ۹۸ درصد از گالیوم جهان را تولید می‌کند که در بسیاری از فناوری‌های انرژی از جمله سلول‌های خورشیدی، خودروهای برقی و دستگاه‌های شارژ سریع کاربرد دارد. فراتر از این‌ها، چین تقریباً نیمی از فولاد، روی و سرب جهان را پالایش و بیش از دو سوم کبالت و لیتیوم جهان را نیز فرآوری می‌کند. علاوه بر این، در سال ۲۰۲۳، چین ۷۹ درصد از گرافیت باتری‌دار جهان و ۹۲ درصد از عناصر خاکی نادر که در تولید آهن‌رباهای دائمی به کار می‌روند که جزئی اساسی از توربین‌های بادی، موتورهای الکتریکی و بسیاری فناوری‌های دیگر هستند را پالایش کرده است.

Mineral	Key Energy Uses	China's Share (%) of Global Refinery Production, 2023
Gallium	Electric Vehicles, Solar Cells	
Rare Earths*	Batteries, Electric Vehicles, Solar Cells, Wind Turbines	
Graphite*	Batteries, Electric Vehicles	
Silicon	Batteries, Solar Cells	
Cobalt	Batteries, Wind Turbines	
Tellurium	Batteries, Solar Cells	
Indium	Solar Cells	
Lithium	Batteries	
Aluminum	Electric Grid	
Raw steel	Batteries, Electric Grid, Electric Vehicles, Solar Cells, Wind Turbines	
Copper	Batteries, Electric Grid, Electric Vehicles, Solar Cells, Wind Turbines	
Arsenic	Solar Cells	
Nickel	Batteries, Electric Vehicles, Solar Cells, Wind Turbines	

نقش کلیدی چین در زنجیره‌های تأمین مواد معدنی حیاتی، مزایایی برای بخش انرژی پاک این کشور به همراه دارد. به‌عنوان مثال، فراوانی مواد معدنی پالایش‌شده، انتقال انرژی به سوی فناوری‌های سبز را مقرون به صرفه‌تر و مقیاس‌پذیرتر می‌کند، زیرا صنعت متالورژی چین می‌تواند تأمین قطعات حیاتی برای تولیدکنندگان فناوری‌های سبز را به‌صورت قابل‌اطمینان تضمین کند.

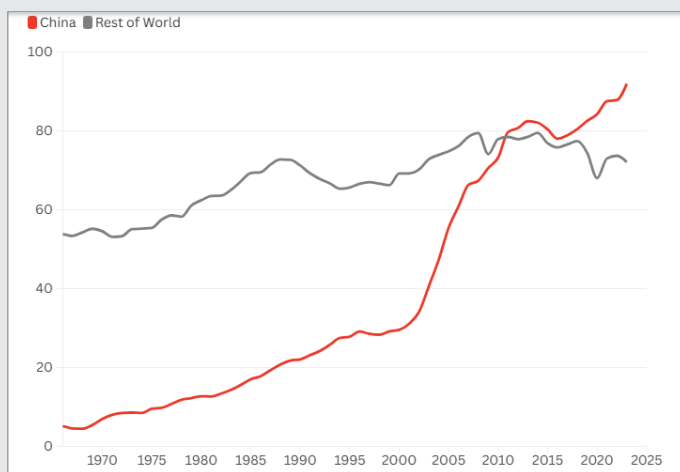
۳. پیشرفت سریع در نوسازی شبکه برق

وقتی صحبت از انرژی می‌شود، تولید تنها بخشی از داستان است. برای اینکه برق کاربردی باشد، باید به‌صورت قابل‌اعتماد و مقرون به صرفه به مصرف‌کنندگان نهایی رسانده شود. این وظیفه شبکه برق در حال رشد سریع چین است.

بخش عمده‌ای از تقاضای انرژی چین در شرق پرجمعیت و شهری شده کشور متمرکز است. این موضوع چالشی برای اهداف گذار سبز چین ایجاد می‌کند، زیرا منابع انرژی تجدیدپذیر که سریع‌ترین رشد را دارند—یعنی خورشیدی و بادی—نیازمند اراضی وسیع هستند. تأسیسات انرژی تجدیدپذیر جدید چین بیشتر در استان‌های غربی واقع شده‌اند که زمین فراوان‌تر است، اما این مناطق با مشکلاتی مانند هدررفت برق و نرخ پایین بهره‌برداری مواجه‌اند. به‌عنوان مثال، در منطقه غربی تبت، در ماه‌های ژانویه و فوریه ۲۰۲۵، ۲۷.۵ درصد از برق بادی و ۳۲.۲ درصد از برق خورشیدی هدر رفت؛ ارقامی که بسیار بالاتر از میانگین‌های ملی ۶.۲ درصد و ۶.۱ درصد هستند.

اپراتورهای شبکه برق چین با سرمایه‌گذاری‌های کلان در زیرساخت‌ها و بازطراحی معماری شبکه، به دنبال رفع این مشکلات هستند. سنگ بنای این تلاش، شبکه فوق‌العاده‌ولتاژ (UHV) است که قادر به انتقال برق در فواصل طولانی بوده و می‌تواند عدم تطابق بین عرضه و تقاضا را با انتقال انرژی تولید شده در غرب به مصرف‌کنندگان شرق کاهش دهد. رهبری جهانی چین در زیرساخت‌های UHV حاصل سال‌ها برنامه‌ریزی است. برنامه‌ریزی این شبکه از سال ۲۰۰۶، در جریان برنامه پنج‌ساله یازدهم چین آغاز شد. جدیدترین شبکه UHV در سال ۲۰۲۴ با سرمایه‌گذاری حدود ۳۵.۳ میلیارد یوان (۴.۸ میلیارد دلار) به مرحله ساخت رسید. این پروژه به ۴۲ پروژه UHV قبلی افزوده می‌شود، اما هنوز کارهای زیادی برای رسیدن به هدف پکن در ادغام شبکه سراسری و یکپارچه‌سازی بازار برق باقی است. تلاش‌های چین برای به‌روزرسانی زیرساخت‌های شبکه با گام‌هایی

در جهت آزادسازی بازار انرژی همراه شده است. موج‌های قبلی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر از سیاست‌های کنترل قیمت بهره‌مند شدند که تولید مبتنی بر زغال‌سنگ را نااقتصادی کرده و در سال ۲۰۲۱ باعث بحران کمبود انرژی شد. پس از این بحران، درخواست‌ها برای ساختار قیمت‌گذاری یکپارچه و مبتنی بر بازار افزایش یافت. مقامات چین در فوریه ۲۰۲۵ اصلاحات قابل توجهی در این زمینه اجرا کردند که تحلیل‌گران انتظار دارند باعث هوشمندسازی سرمایه‌گذاری در باتری‌ها و تخصیص منابع شبکه شود.



چین در حال
جبران فاصله با
ایالات متحده در
قابلیت اطمینان
شبکه برق
ساعت‌های سالانه‌ای
که مشتری قطعی
برق را تجربه کرده
است

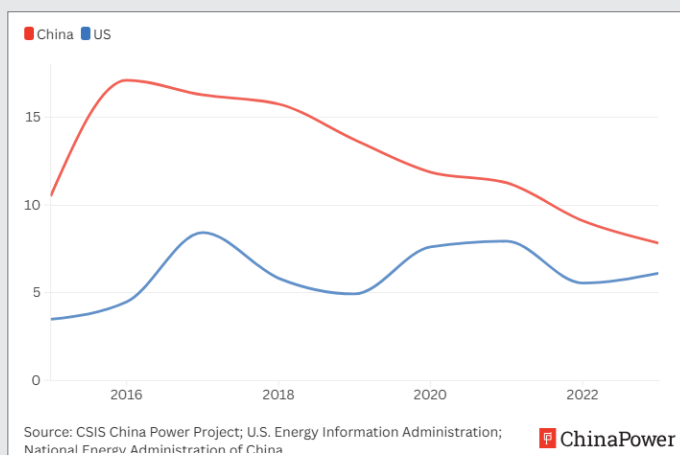
با وجود اینکه ارتقای شبکه برق چین هنوز در حال انجام است، این کشور از ایالات متحده پیشی گرفته است. کارشناسان آمریکایی بارها خواستار سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های UHV شده‌اند، اما تاکنون هیچ پروژه‌ای در این زمینه تکمیل نشده است. طراحان شبکه برق آمریکا با موانع مجوزدهی و تأمین مالی روبرو هستند که تمایل به سرمایه‌گذاری در UHV

را کاهش داده است. یک مطالعه اشاره کرده که روند مجوزدهی ممکن است تا ۱۷ سال طول بکشد تا ساخت آغاز شود.

ایالات متحده هنوز در برخی شاخص‌های عملکرد شبکه، مانند فرکانس و مدت زمان قطعی برق—که معیاری رایج برای سنجش قابلیت اطمینان شبکه است—از چین پیش است. اما چین در سال‌های اخیر پیشرفت‌های سریعی داشته و به تدریج این فاصله را کاهش می‌دهد.

۴. ذخایر عمیق زغال‌سنگ به‌عنوان پشتوانه اضطراری

با وجود تلاش‌های چین برای گذار به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر و سایر منابع غیر فسیلی، زغال‌سنگ همچنان نقش برجسته‌ای در سیستم انرژی این کشور ایفا می‌کند. در سال ۲۰۲۳، زغال‌سنگ حدود ۵۴ درصد از انرژی اولیه چین را تأمین کرد که این رقم بسیار بالاتر از ایالات متحده با ۹ درصد است. در واقع از سال ۲۰۱۱ به این سو چین بیشتر از مجموع بقیه جهان زغال‌سنگ مصرف کرده است.



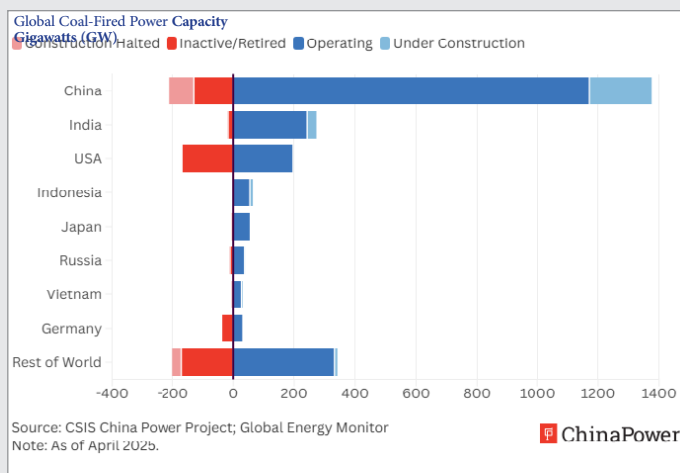
مصرف جهانی
زغال‌سنگ
بر حسب اگزاژول
(EJ)

چین در زمینه زغال سنگ نسبت به سایر سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز بسیار خودکفتر است. این کشور حدود ۱۳.۳ درصد از ذخایر فنی قابل استخراج زغال سنگ جهان را در اختیار دارد و به طور قاطع بزرگ ترین تولیدکننده زغال سنگ در جهان است. هرچند چین مقداری زغال سنگ نیز وارد می کند—که عمدتاً از روسیه، استرالیا، مغولستان و اندونزی تأمین می شود—اما میزان زغال سنگ وارداتی تنها حدود ۶ درصد از کل مصرف انرژی چین را تشکیل می دهد.

زغال سنگ به ویژه پس از بحران های اخیر انرژی اهمیت زیادی یافته است. قیمت های بی سابقه بالا برای زغال سنگ به دلیل کمبود عرضه و کنترل های دولتی قیمت برق، به بحران شدید تأمین برق در چین در اواخر سال ۲۰۲۱ منجر شد که ۲۰ استان را تحت تأثیر قرار داد و باعث خاموشی های طولانی مدت در برخی مناطق شد. در تابستان ۲۰۲۲، دمای رکوردشکن و خشکسالی در رودخانه یانگ تسه عرضه برق آبی را در شرایط اوج مصرف کاهش داد که موجب اختلالات برق در استان های جنوبی مانند سیچوان شد؛ استانی که ۸۰ درصد برق خود را از نیروگاه های برق آبی تأمین می کند.

پس از این بحران ها، چین بیش از پیش روی زغال سنگ به عنوان منبع پشتیبان انرژی تأکید کرد و به سرعت ظرفیت نیروگاه های زغال سنگی خود را گسترش می دهد. تا آوریل ۲۰۲۵، دست کم ۳۱۱ نیروگاه زغال سنگی در چین در حال ساخت بود که ظرفیت ترکیبی آن ها به ۲۰۴ گیگاوات می رسید—که تقریباً چهار برابر مجموع ظرفیت نیروگاه های زغال سنگی در حال ساخت در سایر نقاط جهان است. تنها استان مغولستان داخلی در چین، ظرفیت نیروگاه های زغال سنگی بیشتری نسبت به همه کشورها به جز دو کشور ایالات متحده و هند در سال ۲۰۲۵ دارد.

ظرفیت جهانی
نیروگاه‌های
زغال‌سنگی
بر حسب گیگاوات
(GW)



سوزاندن زغال‌سنگ ممکن است مطمئن‌ترین مسیر چین برای دستیابی به امنیت نهایی انرژی باشد، اما این مسیر هزینه‌هایی هم دارد. در سال ۲۰۲۳، ۷۲ درصد از انتشار گازهای CO2 چین ناشی از زغال‌سنگ بود، در حالی که این رقم در هند ۶۶.۴ درصد و در ایالات متحده تنها ۱۵.۸ درصد بود. افزایش وابستگی به زغال‌سنگ ممکن است اهداف چین برای کاهش انتشار کربن تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ را به خطر بیندازد و یا دست‌کم، هزینه‌های انتقال به انرژی‌های پاک را در آینده افزایش دهد. میزان بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای همچنین هزینه‌های بهداشتی زیادی به همراه دارد. در سال ۲۰۲۱، آلودگی هوای خانگی ناشی از سوزاندن سوخت‌های جامد مانند زغال‌سنگ و چوب باعث مرگ تقریبی ۲۹.۲ نفر در هر ۱۰۰ هزار نفر در چین شد که در مجموع بیش از ۴۱۵ هزار نفر را شامل می‌شود، در حالی که در ایالات متحده این عدد تنها حدود ۱۶ نفر بود.

علاوه بر این، تولید برق از زغال‌سنگ بار مصرف آب چین را افزایش می‌دهد. چین یکی از کشورهای با تنش آبی شدید است و نیروگاه‌های زغال‌سنگ حجم زیادی آب شیرین برای خنک‌سازی تجهیزات، شستشوی زغال‌سنگ و تولید بخار برای توربین‌ها مصرف می‌کنند.

مناطق شمالی و غربی چین که معمولاً تراکم نیروگاه‌های زغال‌سنگی در آن‌ها بالاست، با چالش‌هایی در تخصیص آب بین صنایع انرژی و کشاورزی روبرو هستند، در حالی که کشاورزی بخش بزرگی از مصرف آب کشور را به خود اختصاص می‌دهد. سیاست‌گذاران چینی از سال ۲۰۱۲ به دنبال جایگزینی فناوری‌های خنک‌کننده هوایی در نیروگاه‌های زغال‌سنگی بوده‌اند؛ تلاشی که مصرف آب در تولید انرژی را کاهش داده اما می‌تواند به کاهش بهره‌وری حرارتی و افزایش میزان انتشار آلاینده‌ها منجر شود.

با وجود هزینه‌های زیست‌محیطی و بهداشتی، بعید است چین در کوتاه‌مدت از زغال‌سنگ عقب‌نشینی کند. نیاز فزاینده چین به برق، فشار زیادی بر تأمین انرژی و رشد صنعتی وارد می‌کند اگر تقاضا تأمین نشود. تا کنون، اصرار دولت بر قراردادهای بلندمدت زغال‌سنگ، بسیاری از خریداران برق را تشویق کرده است که به جای انرژی‌های تجدیدپذیر، زغال‌سنگ را انتخاب کنند. همچنین برخی استان‌ها به‌شدت به صنعت زغال‌سنگ برای درآمد مالیاتی و اشتغال وابسته‌اند که این موضوع تغییر سریع به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر را برای دولت‌های محلی از نظر سیاسی دشوار می‌کند.

نتیجه‌گیری

وضعیت کنونی امنیت انرژی چین ترکیبی از فرصت‌ها و چالش‌هاست. از یک سو، این کشور با مشکلات قابل توجهی در کوتاه‌مدت مواجه است. تلاش پکن برای تسلط بر تولید صنعتی جهان، حجم حیرت‌انگیزی از انرژی جهانی را مصرف می‌کند و ذخایر محدود انرژی در داخل، چین را به شدت به منابع خارجی آسیب‌پذیر وابسته کرده است، موضوعی که موجب نگرانی رهبران چینی شده است.

اما از سوی دیگر، چین مجموعه‌ای از نقاط قوت چشمگیر را به میدان آورده است. تسلط این کشور در فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و مواد معدنی حیاتی، همراه با پیشرفت سریع در نوسازی شبکه برق، چین را در خط مقدم تلاش‌های جهانی برای گذار به انرژی‌های آینده قرار داده است. در عین حال، در صورت وقوع بحران، چین می‌تواند برای تأمین اضطراری انرژی به زغال‌سنگ تکیه کند، هرچند این کار با هزینه‌های زیست‌محیطی و سیاسی همراه خواهد بود.

در نهایت، امنیت انرژی چین به توانایی این کشور در ایجاد توازن میان اولویت‌های متضاد بستگی دارد. اینکه پکن چگونه این مسیر پرچالش را طی کند، تنها پیامدهای داخلی نخواهد داشت، بلکه تأثیرات گسترده‌ای بر بازارهای جهانی انرژی، اقدامات اقلیمی و رقابت ژئوپلیتیکی نیز خواهد گذاشت.



رآکتور «لین لونگ وان» نقطه عطفی در عرصه انرژی هسته‌ای



اوایل ماه جاری، شرکت ملی هسته‌ای چین (China National Nuclear Corporation) quietly یک دستاورد بزرگ را رقم زد: این شرکت اعلام کرد که رآکتور «لین لونگ وان» (Linglong One) که از آن به‌عنوان نخستین رآکتور ماژولار کوچک تجاری مستقر در خشکی در جهان یاد می‌شود، با موفقیت «آزمایش عملکرد سرد» خود را به پایان رسانده است. این آزمایش، نخستین ارزیابی جامع از رآکتور پیش از بارگذاری سوخت است که عملکرد سامانه را تحت فشار بالا بررسی می‌کند. به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، رآکتور «لین لونگ وان» که ساخت آن به‌مراتب ارزان‌تر از رآکتور بزرگ‌تر «هوالونگ وان» بوده، می‌تواند نقطه عطفی در عرصه انرژی هسته‌ای باشد. این رآکتور نخستین رآکتور



کوچک تجاری در جهان بود که وارد مرحله ساخت شد و در سال ۲۰۱۶ تأییدیه ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی را دریافت کرد. پس از آغاز بهره‌برداری، انتظار می‌رود این رآکتور سالانه حدود ۸۸۰ هزار تُن دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد، رقمی معادل کاشت ۷.۵ میلیون درخت. در سراسر آسیا، رشد انرژی هسته‌ای چشمگیر بوده است. بر اساس داده‌های «انجمن جهانی هسته‌ای»، در حال حاضر حدود ۱۴۵ رآکتور هسته‌ای فعال در آسیا وجود دارد، ۴۵ رآکتور در دست ساخت است و ۶۰ رآکتور دیگر نیز در برنامه‌های قطعی ساخت قرار دارند. از میان رآکتورهای فعال، ۵۸ مورد در چین، ۳۳ مورد در ژاپن (اگرچه بسیاری از آن‌ها موقتاً تعطیل شده‌اند)، ۲۶ مورد در کره جنوبی و ۲۴ مورد در هند قرار دارند.

با توجه به فوریت تحقق اهداف انرژی پاک، جذابیت انرژی هسته‌ای به‌راحتی قابل درک است. برخی کارشناسان معتقدند این نوع انرژی، کلید دستیابی به اهداف جهانی «کربن‌زدایی» است. برخلاف انرژی خورشیدی و بادی، نیروگاه‌های هسته‌ای قادرند به‌صورت پیوسته برق تولید کنند — شبانه‌روز و بدون وابستگی به شرایط آب‌وهوایی.

نیروگاه‌های هسته‌ای در زمان بهره‌برداری تقریباً هیچ دی‌اکسیدکربن یا گاز گلخانه‌ای دیگری تولید نمی‌کنند. انتشار گازهای آن‌ها در کل چرخه عمر — از استخراج مواد تا ساخت تأسیسات — نیز نسبتاً پایین است. همچنین برای احداث نیروگاه‌های هسته‌ای، زمین چندان مورد نیاز نیست. به‌عنوان نمونه، یک نیروگاه هسته‌ای با ظرفیت ۱۰۰۰ مگاوات به‌مراتب کمتر از یک مزرعه خورشیدی یا بادی با ظرفیت مشابه زمین می‌خواهد.

شگفت‌انگیز نیست که بر اساس گزارش وزارت انرژی آمریکا، انرژی هسته‌ای بزرگ‌ترین منبع انرژی پاک در این کشور است. در آمریکا ۹۴ رآکتور فعال وجود دارد که سالانه نزدیک به ۷۷۵ میلیارد کیلووات‌ساعت برق تولید می‌کنند — یعنی تقریباً نیمی از برق بدون انتشار کربن چین — و از انتشار بیش از ۴۷۱ میلیون تُن کربن در سال جلوگیری می‌کند، معادل خارج کردن ۱۰۰ میلیون خودرو از جاده‌ها.

با این حال، هرچند ایالات متحده بزرگ‌ترین ناوگان تولید برق هسته‌ای تجاری جهان را در اختیار دارد، این نیروگاه‌ها رو به فرسودگی‌اند. در دهه گذشته، آمریکا تنها دو رآکتور جدید ساخته است که هر دو با تأخیرهای چشمگیر و افزایش هزینه‌ها مواجه بودند.

در مقابل، چین گام‌های بلندی در زمینه انرژی هسته‌ای برداشته است؛ پیشرفت‌هایی که به لطف پشتیبانی دولتی از فناوری، تأمین مالی گسترده و فرآیندهای نظارتی ساده‌تر حاصل شده است. دستاوردهای چین در دهه گذشته از ایالات متحده فراتر رفته است.



بر اساس گزارشی از «بنیاد فناوری اطلاعات و نوآوری» (ITIF) در ژوئن ۲۰۲۴، آمریکا در زمینه استقرار رآکتورهای نسل چهارم هسته‌ای حدود ۱۰ تا ۱۵ سال از چین عقب‌تر است؛ در حالی که پروژه‌های چین به‌طور متوسط در حدود ۷ سال تکمیل می‌شوند.

در آسیا که هم‌زمان با رشد صنعتی سریع با بحران آلودگی فزاینده روبه‌روست، پذیرش انرژی هسته‌ای به‌نظر تنها راه عملی برای رسیدن به اهداف اقلیمی است. با این حال، چالش‌های بزرگی نیز وجود دارد. یکی از موانع اصلی، هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه است. تولید برق هسته‌ای به پروژه‌های زیرساختی چند میلیارد دلاری با زمان ساخت بیش از یک دهه نیاز دارد که آن را برای سرمایه‌گذاران خصوصی کمتر جذاب می‌سازد؛ در حالی که منابع تجدیدپذیر ارزان‌تر و سریع‌تر مانند انرژی خورشیدی و بادی قابل اجرا هستند.

اراده دولت‌ها و توان مالی آن‌ها همیشه در ساخت زیرساخت‌های هسته‌ای حیاتی بوده است. اکنون با ظهور رآکتورهای ماژولار کوچک (SMR) که می‌توانند در سایت‌های فشرده‌تر ساخته شوند و چندمنظوره باشند، فرصت جدیدی برای همکاری‌های منطقه‌ای در آسیا فراهم شده است.

بر اساس گزارشی از مؤسسه «وود مکنزی» در سپتامبر، کشورهای جنوب شرق آسیا — شامل ویتنام، مالزی، تایلند، فیلیپین و سنگاپور — باید تا سال ۲۰۵۰ به‌طور جمعی ۲۰۸ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری کنند تا به اهداف هسته‌ای خود برسند، تمرکز اصلی نیز بر توسعه رآکتورهای ماژولار کوچک است. با این حال، گزارشی از «مؤسسه اقتصاد انرژی و تحلیل مالی» (IEEFA) در مه ۲۰۲۴ هشدار داد که این رآکتورها هنوز

بسیار گران قیمت و زمان بر هستند و هزینه های ساخت و بهره برداری آن ها به طور چشمگیری کمتر از واقع برآورد می شود.



دغدغه های ایمنی همواره نقطه ضعف انرژی هسته ای بوده اند — چه در زمینه عملکرد و چه در دفع پسماندهای رادیواکتیو. نگرش های منفی نسبت به انرژی هسته ای همچنان پابرجاست و پذیرش عمومی آن را برای دولت ها دشوار می سازد. اعتراضات اخیر در واکنش به طرح ژاپن برای رهاسازی آب تصفیه شده نیروگاه فوکوشیما به اقیانوس نمونه ای از این چالش هاست.

در ژوئیه ۲۰۲۲، چین نخستین مرکز بزرگ دفع پسماند هسته ای خود را در صحرای گوبی در استان گانسو افتتاح کرد، انبار «لانگه» که قادر است یک میلیون مترمکعب زباله جامد با سطح پایین تشعشع را در خود جای دهد، زباله هایی که در طول چند قرن به سطح بی ضرر فروکاهند. مقام های چینی می گویند این سایت می تواند پسماند ۱۰۰

رآکتور هسته‌ای را برای بیش از یک قرن ذخیره کند. اما همه کشورها به چنین راه‌حلی دسترسی ندارند.

در شرایطی که بحران جهانی انرژی به نقطه عطفی تاریخی رسیده است، هیچ مسیری برای دستیابی به اهداف خالص صفر انتشار کربن بدون گسترش عمده انرژی هسته‌ای وجود ندارد. اکنون باید دید آیا آسیا می‌تواند با چالش‌های متعدد این مسیر روبه‌رو شود یا نه.



رونمایی از بزرگ‌ترین ربات ضد تشعشع جهان برای استفاده در نیروگاه‌های همجوشی هسته‌ای چین



یک ربات غول‌پیکر در چین ساخته و آزمایش شده است که می‌تواند معادل وزن ۱۰ فیل آفریقایی را حمل کند و تعمیر و نگهداری رآکتورهای همجوشی هسته‌ای را بر عهده بگیرد.

به گزارش ساوت چاینا مورنینگ پست، این ربات از راه دور کنترل می‌شود و سه بازو دارد، و بازوی اصلی آن قادر است بارهایی به وزن ۶۰ تن را با دقت خارق‌العاده ۴ میلی‌متر جابجا کند که بسیار فراتر از توانایی‌های بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین سامانه‌های رباتیک قبلی مورد استفاده در صنعت انرژی هسته‌ای جهان است.

مثلا بازوی رباتیک ۷ متری ساخت شرکت صنایع سنگین میتسوبیشی ژاپن حداکثر می‌تواند ۲ تن بار را جابجا نماید.

دو بازوی کوچک‌تر ربات جدیدچینی هم از انعطاف‌پذیری و دقت فوق‌العاده‌ای برخوردارند و با ضریب خطای $\pm 01/0$ میلی‌متر به نقطه تعیین نشده باز می‌گردند.

این ربات کوافو (Kuaifu) نام دارد - برگرفته از نام یک شخصیت اساطیری چین که سعی کرد خورشید را بگیرد - و یکی از زیرسامانه‌های کلیدی مرکز پژوهشی جامع فناوری همجوشی (CRAFT) محسوب می‌شود. مهندسان در این مرکز واقع در شهر هفئی استان آن‌هوئی که تحت نظارت موسسه فیزیک پلاسما (وابسته به آکادمی علوم چین) قرار دارد، اجزای کلیدی رآکتورهای همجوشی را طراحی و آزمایش می‌کنند.

رآکتورهای همجوشی با شرایط بی‌نهایت سختی اعم از حرارت، فشار، میدان‌های مغناطیسی قوی و تابش نوترونی مواجه خواهند بود و بنابر این به‌شدت در معرض آسیب‌دیدگی قرار دارند، و تعمیر و نگهداری آنها نیز فقط از راه دور و با کمک ربات‌هایی بسیار مقاوم امکان‌پذیر است. با وجود پیشرفت‌های سریع در زمینه رباتیک صنعتی، مدل‌های فعلی این ربات‌ها به شکلی طراحی نشده‌اند که بتوانند چنین محیط‌هایی را تحمل کنند و در عین حال توان حمل بارهای سنگین با دقت بسیار زیاد را نیز داشته باشند.

ولی سازندگان کوافو با غلبه بر موانع فناورانه مختلف، از جمله در حوزه علم مواد، ساختار و کنترل ربات و قدرت حسگرها، دستگاهی را ساخته‌اند که می‌تواند در شرایط مزبور به‌خوبی عمل کند.

انتظار می‌رود فناوری‌های به کار رفته در ساخت این ربات، در نسل

جدید رآکتورهای همجوشی هسته‌ای چه در داخل چین و چه در کشورهای دیگر مورد استفاده قرار گیرند، از جمله در توکاماک ابررسانای آزمایشی پلاسمای سوزان (Burning Plasma Experimental Su-perconducting Tokamak) در هفنی که طبق برنامه باید تا سال ۲۰۲۷ تکمیل شود، و ابرپروژه رآکتور گرماهسته‌ای آزمایشی بین‌المللی (ITER) که با مشارکت ۳۵ کشور در فرانسه در حال احداث است و پس از تکمیل، بزرگ‌ترین توکاماک جهان خواهد بود.

انتظار می‌رود که سامانه کنترل از راه دور ITER قادر به جابجایی بارهایی تا وزن ۴۵ تن باشد.

علاوه بر این می‌توان فناوری‌های مذکور را در بخش‌های دیگری مانند هوافضا، ماشین‌آلات سنگین و امداد و نجات در شرایط اضطراری هم به خدمت گرفت.

پروژه CRAFT با مشارکت بیش از ۳۰۰ نفر از دانشمندان و مهندسان در حال انجام است و طبق برنامه باید تا پایان امسال تکمیل شود.



گذار انرژی چین وارد فصل جدیدی می‌شود



چین در حال ورود به مرحله‌ای تازه از بزرگ‌ترین گذار انرژی جهان است؛ اما هنوز مشخص نیست این مرحله دقیقاً چه شکلی به خود خواهد گرفت. این مهم‌ترین نتیجه‌گیری گردهمایی دو روزه متخصصان انرژی در شانگهای بود.

به گزارش بلومبرگ، پنج سال از زمانی که شی جین‌پینگ، رئیس‌جمهور چین، وعده داد بزرگ‌ترین آلاینده جهان تا سال ۲۰۶۰ به انتشار صفر خالص خواهد رسید می‌گذرد. از آن زمان، نصب گسترده پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی نگرانی‌ها از کمبود برق را کاهش داده و چین را سریع‌تر از انتظار به نقطه اوج انتشار نزدیک کرده است.

اما این پیشرفت اکنون به مرحله بازدهی کاهنده رسیده است؛ چراکه ائتلاف انرژی افزایش یافته و شبکه‌های برق در مدیریت حجم عظیم برق تولیدی در ساعات پرتابش خورشید و وزش باد با مشکل روبه‌رو شده‌اند. برای ادامه این گذار، صنعت باید راهبردهای جدیدی را امتحان کند؛ راهبردهایی که هنوز هیچ‌کدام اثبات شده نیستند.

مدیران صنعت خورشیدی در این اجلاس از یک تغییر رویکرد صحبت کردند: حرکت به سمت تولید تجدیدپذیر «مصرف‌پسند»، یعنی استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی برای توزیع یکنواخت‌تر تولید در طول روز، به‌جای اتکا به شبکه برای مدیریت نوسان‌ها.

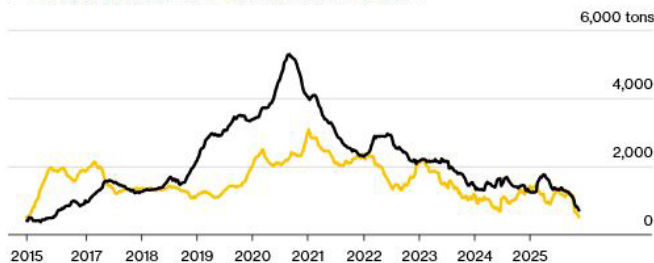
این روند خبر خوبی برای سازندگان باتری است؛ آن‌ها شاهد رشد شدید تقاضا هستند. اما توجه اقتصادی این روند به سیاست‌های دولتی وابسته است؛ سیاست‌هایی که از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت‌اند و در برخی نقاط هنوز در حال تدوین هستند.

Chart of the day

Silver Stockpiles in China Slump After Record Exports

Exchange-tracked inventories in Shanghai at decade-low

— Shanghai Gold Exchange — Shanghai Futures Exchange



Sources: Shanghai Futures Exchange, Shanghai Gold Exchange, Galaxy Futures
Note: Date is up to Friday, Nov. 21

پکن همچنین کارخانه‌ها را تحت فشار گذاشته تا برق پاک بیشتری را به صورت مستقیم خریداری کنند تا تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یابد. اما چندین خریدار بزرگ گفته‌اند که این الزام هزینه‌ها و پیچیدگی را افزایش می‌دهد، بدون آنکه مزایای قابل توجهی ایجاد کند. مدیران شرکت‌های خورشیدی همچنین از همکاری با هیدروژن سبز سخن گفتند؛ سوختی که با وعده حمایت پایدار دولت دوباره مورد توجه قرار گرفته است. اما هنوز مشخص نیست تقاضا برای این سوخت بدون کربن چه زمانی و در کجا شکل خواهد گرفت. چین آنقدر در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر جلوتر از جهان است که هیچ تجربه مشابهی وجود ندارد تا نشان دهد کدامیک از این راهبردها موفق خواهند بود و کدام نه.

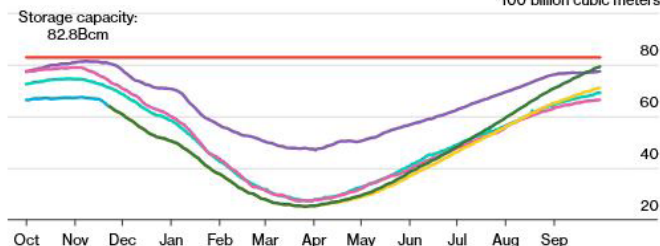
BNEF today

Europe's Gas Inventories Take a Tumble After First Cold Snap

Europe's underground gas storage inventories

/ GY25 forecast (based on futures curve) / GY25 forecast (adjusted) / GY25 actuals
/ GY24 actuals / GY23 actuals / Average inventory (GY16-GY20) / Maximum capacity

100 billion cubic meters



Source: BloombergNEF.

Note: GY is gas year, a 12-month period starting from October 1. 'Europe' refers to the BNEF Europe Perimeter - Northwest Europe, Spain Italy and Austria. Actuals are through November 22, 2025. Based on the end-of-November futures curve. *The adjusted forecast reflects BNEF's assumption that Europe will not target maximum storage levels.

در حال حاضر، گذار انرژی چین بیشتر شبیه این است که «همه گزینه‌ها را امتحان کند تا ببیند کدام جواب می‌دهد». این مرحله ممکن است پر هرج و مرج باشد، اما احتمالاً در نهایت به الگویی تبدیل خواهد شد که برای سال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وضعیت ذخایر گاز در اروپا

ذخایر گاز در شمال غرب اروپا، اسپانیا، ایتالیا و اتریش در پایان ماه نوامبر به ۷۷ درصد رسیده، یعنی ۸ درصد کمتر از مدت مشابه سال گذشته، پس از آنکه موج سرمای اخیر برداشت گاز را افزایش داد. با این حال قیمت‌ها واکنش چندانی نشان نداده‌اند، زیرا عرضه LNG در زمستان امسال نسبت به سال قبل بهبود یافته است. ■

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 فضای چین

و صنعت دریایی چین





سفارت جمهوری اسلامی ایران - پکن

Embassy of the I.R. of Iran—Beijing

